บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงสมุนไพร

การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อหาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของผู้บริโภค สามารถใช้วิธี Ideal Ratio Profile Technique โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 12 คนทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบและกำหนดลักษณะคุณภาพของเนคต้ามะม่วงสมุนไพร พร้อมทั้งให้คะแนนความชอบในแต่ละลักษณะเหล่านั้น ค่าคะแนน (Sample score) นี้จะถูกนำมาหารด้วยค่าคะแนนที่ถูกกำหนดว่าดีที่สุดของลักษณะนั้นๆ (Ideal score) จะได้ค่าสัดส่วน (Ratio score) ของผู้ทดสอบชิมแต่ละคน เมื่อนำมารวมกันเพื่อหาค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จะทราบเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในอุดมคติซึ่งมีค่าสัดส่วนทุกลักษณะเท่ากับ 1.00

ตาราง 4.1 : ลักษณะสำคัญทางประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร และค่าสัดส่วนเฉลี่ยจากการทดสอบชิม

ลักษณะสำคัญ	จำนวนผู้ทดสอบชิมที่ระบุตรงกัน	Mean sample scores	Mean ideal scores	Mean ideal ratio scores
สีปรากฏ	12	5.79±1.08	5.43±0.91	1.07±0.20
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	12	5.21±0.92	6.43±0.87	0.81±0.14*
กลิ่นมะม่วง	12	5.74±0.91	6.23±0.56	0.92±0.15
กลิ่นรสสมุนไพร	9	2.84±1.04	3.82±0.80	0.74±0.27*
รสเปรี้ยว	12	3.28±0.91	4.16±1.46	0.79±0.22*
รสหวาน	11	5.24±1.22	4.99±0.81	1.05±0.25
ความข้นหนืด	11	5.41±1.64	4.71±2.06	1.15±0.35*
การยอมรับโดยรวม	12	6.94±0.69	10.00±0.01	0.69±0.07*

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ที่กำกับค่า Mean ideal ratio score แสดงว่ามีความแตกต่างกับค่าสัดส่วนในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การแปลความหมายของค่าสัดส่วนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

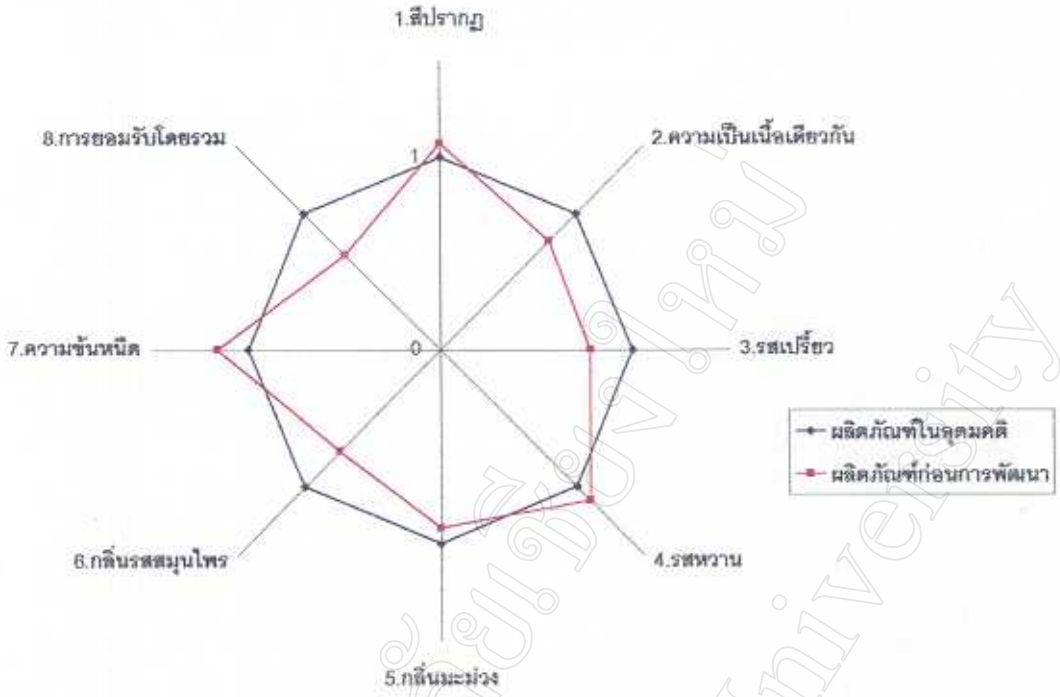
ค่าสัดส่วนเฉลี่ย

- ถ้าสัดส่วนเท่ากับ 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นเป็นลักษณะที่ดีเท่ากับลักษณะในอุดมคติที่ผู้ทดสอบชิมต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลง
- ถ้าสัดส่วนมากกว่า 1.00 หมายความว่าลักษณะนั้นมีความจำเป็นต้องลดความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้นลงเพื่อให้เข้าใกล้ค่าในอุดมคติ
- ถ้าสัดส่วนน้อยกว่า 1.00 หมายความว่าลักษณะนั้นมีความจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้นลงเพื่อให้เข้าใกล้ค่าในอุดมคติ

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 หมายความว่าผู้ทดสอบชิมมีความเห็นตรงกันหรือพ้องกัน
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 หมายความว่าผู้ทดสอบชิมมีความเห็นแตกต่างกันบ้าง
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า 0.5 หมายความว่าผู้ทดสอบชิมมีความเห็นแตกต่างกันมาก ในกรณีนี้จำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบและใช้เหตุผลอื่นประกอบในการตัดสินใจดำเนินการต่อไป

ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะ และค่าสัดส่วนในอุดมคติ (I=1.00) จากตาราง 4.1 สามารถนำมาสร้างเป็นแผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ (Product profile) ในรูปแบบใยแมงมุมได้ดังนี้



ภาพ 4.1 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ก่อนการพัฒนาของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ภาพ 4.1 แสดงให้ทราบว่าเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรมีลักษณะสำคัญ 8 ลักษณะที่ต้องพัฒนาไปในแนวทางดังนี้

สีปรากฏ หมายถึงสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งควรมีสีเหลืองสว่างพบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีคะแนนความชอบด้านสีปรากฏใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติดีแล้ว

ความเป็นเนื้อเดียวกัน หมายถึงลักษณะที่ส่วนผสมทั้งหมดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันอย่างคงตัวโดยไม่เกิดการแยกชั้น พบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีความเป็นเนื้อเดียวกันต่ำกว่าค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงต้องพัฒนาให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

กลิ่นมะม่วง หมายถึงกลิ่นของมะม่วงในผลิตภัณฑ์ โดยเป็นกลิ่นของมะม่วงสุกซึ่งไม่รวมกลิ่นเขียว (Greeny smell) ที่อาจพบในมะม่วงดิบ พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นมะม่วงของผลิตภัณฑ์ต้นแบบใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติดีแล้ว

กลิ่นรสสมุนไพร หมายถึงกลิ่นรสโดยรวมของสมุนไพรสามชนิดที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชะเอม มินต์ และคาโมมายล์ คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสมุนไพรของผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าต่ำกว่าค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงต้องพัฒนาให้มีกลิ่นรสของสมุนไพรในผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น

รสเปรี้ยว หมายถึงรสเปรี้ยวที่เกิดจากกรดที่มีอยู่แล้วในวัตถุดิบมะม่วงรวมทั้งกรดซิตริกที่เติมลงไปในปลิตภัณฑ์ พบว่าคะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าต่ำกว่าค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงต้องพัฒนาให้มีรสเปรี้ยวมากขึ้น

รสหวาน หมายถึงรสหวานที่เกิดจากปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่แล้วในวัตถุดิบมะม่วงรวมทั้งจากน้ำตาลซูโครสที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ พบว่าคะแนนความชอบด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติดีแล้ว

ความข้นหนืด หมายถึงความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ เกิดจากสารที่ก่อให้เกิดความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ ได้แก่สารประกอบเพคตินที่มีอยู่แล้วในวัตถุดิบมะม่วงและคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ พบว่าคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดสูงเกินค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงต้องลดความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ลง

การยอมรับโดยรวม หมายถึงคะแนนความชอบโดยรวมทั้งหมดที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าคะแนนความชอบด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าต่ำกว่าค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงขึ้น

ในการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์เบื้องต้นนี้ สามารถกำหนดค่าอุดมคติถาวร (Fixed Ideal) ของแต่ละลักษณะได้ โดยนำค่าอุดมคติของลักษณะเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ย (Mean ideal score) จุดอุดมคติถาวรนี้จะนำไปใช้ตลอดขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์นี้

4.1ผลการวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบมะม่วงและการทดลองหาสายพันธุ์และระดับความสุกที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

4.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมีของมะม่วงสายพันธุ์แก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ จะถูกนำมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) ผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

คุณลักษณะทางกายภาพ

ค่าสี (Color)

สีของผลไม้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ใช้บ่งชี้ระดับคุณภาพ โดยเฉพาะด้านลักษณะปรากฏ การวิเคราะห์ค่าสีในอาหาร นิยมใช้เครื่องวัดสีโดยวัดออกมาเป็นหน่วยค่าสีต่างๆ ในที่นี้วัดเป็นค่าสีในระบบ Hunter ซึ่งค่าที่วัดได้จะอยู่ในหน่วย L, a และ b มีความหมายดังนี้

ค่าสี L หมายถึงค่าความสว่าง (Lightness) มีช่วงตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)
ค่าสี a เมื่อมีค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียว ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีแดง
ค่าสี b เมื่อมีค่าเป็นลบหมายถึงสีน้ำเงิน ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีเหลือง

ตาราง 4.2 แสดงให้เห็นว่ามะม่วงแก้วและโชคอนันต์มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่วัดได้ในระหว่างการสุกคล้ายคลึงกันกล่าวคือ ค่าสี L หรือความสว่างลดลงตามระยะการสุก เมื่อมะม่วงสุกเต็มที่จะมีค่าสี L ต่ำที่สุด โดยค่าสี L ที่วิเคราะห์ได้ในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกเต็มที่มีค่าเท่ากับ 70.42±0.22 และ 73.26±0.19 ตามลำดับ แสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์มีค่าสี L สูงกว่ามะม่วงแก้วเล็กน้อย ในระยะแรกของการสุกในมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์พบว่าค่าสี a มีค่าเป็นลบแสดงว่ามีสีเขียวปนอยู่ เมื่อมะม่วงสุกมากขึ้นค่าสี a ที่วัดได้มีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีสีแดงเพิ่มขึ้นตามระยะการสุก โดยค่าสี a ที่วัดได้ในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่สุกเต็มที่มีค่าเท่ากับ 12.24±0.10 และ 7.84±0.31 ตามลำดับ กล่าวได้ว่ามะม่วงแก้วมีค่าสีแดงมากกว่ามะม่วงโชคอนันต์เล็กน้อย ค่าสี b ที่วัดได้ในมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์มีค่าเป็นบวกและมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการสุก

แสดงว่ามะม่วงยิ่งสุกจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ค่าสี b ที่วัดได้ในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่สุกเต็มที่มีค่าเท่ากับ 67.05±0.98 และ 71.44±0.93 ตามลำดับ ความแตกต่างในด้านสีของมะม่วงในระยะการสุกที่แตกต่างกันสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับความสุกได้ นอกจากนี้ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านสีของมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์ทำให้ทราบว่า มะม่วงแก้วเมื่อสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองผสมแดงในขณะที่มะม่วงโชคอนันต์มีสีเหลืองสว่างกว่ามะม่วงแก้ว ความแตกต่างในด้านสีของมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์นี้ทำให้มีความเหมาะสมต่อ การนำไปแปรรูปต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงในระหว่างการสุกอธิบายได้ว่ามะม่วงเมื่อยังดิบมีคลอโรฟีลล์เป็นรงควัตถุหลักในคลอโรพลาสต์ มีสีเขียวและทำหน้าที่สังเคราะห์แสง เมื่อมะม่วงสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา กายภาพและเคมี ทำให้คลอโรฟีล์สลายตัวสีเขียวจึงหายไป รงควัตถุอื่นได้แก่สารกลุ่มแคโรทีนอยด์และแซนโทฟีลล์ซึ่งมีอยู่แล้วในผลไม้แต่ถูกคลอโรฟีลล์บดบังไว้จึงปรากฏขึ้น ทำให้เห็นว่ามะม่วงสุกมีสีเหลือง ส้ม หรือแดง

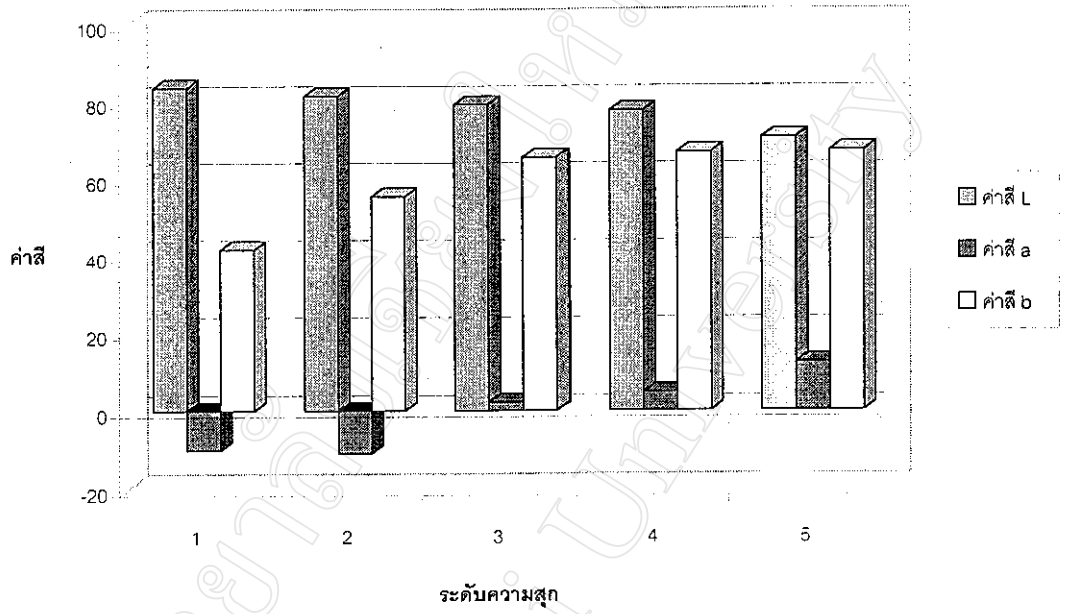
ตาราง 4.2 : ค่าสีของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์	ระดับความสุก				
	1	2	3	4	5
			มะม่วงแก้ว		
L	83.58 ± 0.59^{a}	81.35 ± 0.22^{b}	79.14 ± 0.11^{c}	77.48 ± 0.21^{d}	70.47 ± 0.22^{e}
a	-10.06 ± 0.19^{d}	-10.88 ± 0.29^{e}	2.08 ± 0.35^{c}	4.65 ± 0.73^{b}	12.24 ± 0.10^{a}
b	41.45 ± 2.42^{d}	55.21 ± 1.70^{c}	65.34 ± 0.47^{b}	66.64 ± 0.78^{ab}	67.05 ± 0.98^{a}
			มะม่วงโชคอนันต์		
L	86.50 ± 0.24^{a}	82.27 ± 0.62^{c}	83.85 ± 0.45^{b}	77.33 ± 0.12^{d}	73.26 ± 0.19^{e}
a	-9.43 ± 0.35^{d}	-10.178 ± 0.10^{e}	-7.28 ± 0.24^{c}	1.67 ± 0.41^{b}	7.84 ± 0.31^{a}
b	33.64 ± 2.47^{d}	44.03 ± 4.00^{c}	45.64 ± 9.78^{c}	68.13 ± 0.53^{b}	71.44 ± 0.93^{a}

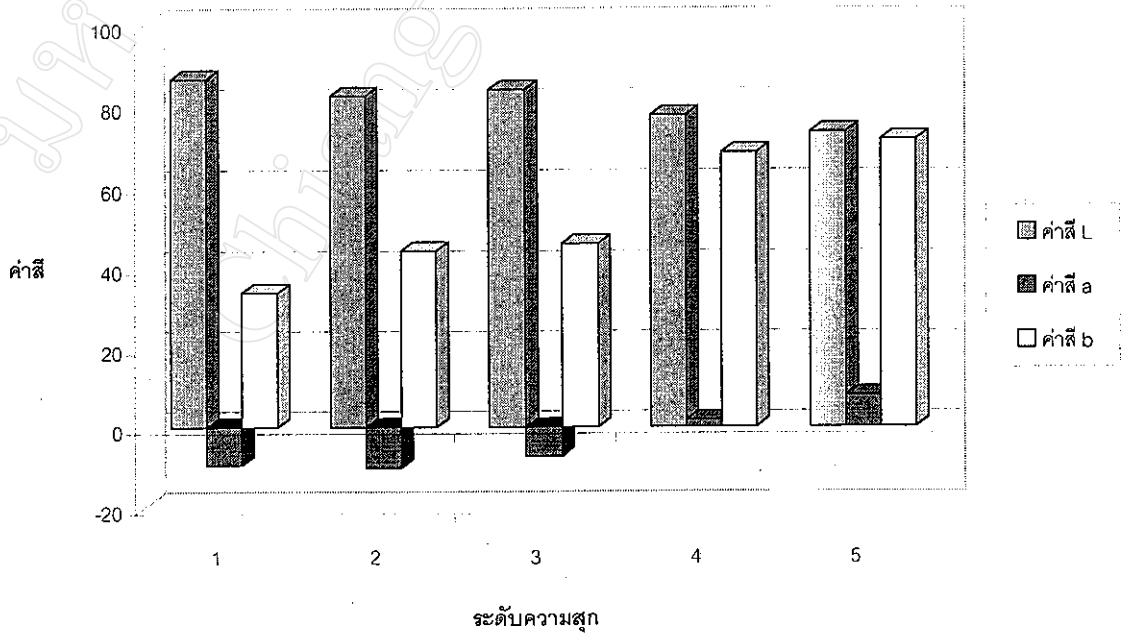
หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทั้งนี้แสดงให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุกในรูปกราฟ ดังต่อไปนี้



ภาพ 4.2 : การเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการสุกของมะม่วงแก้ว



ภาพ 4.3 : การเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการสุกของมะม่วงโชคอนันต์

ค่าวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture)

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงในที่นี้ ได้วัดเป็นค่าแรงเฉือน (Shear force) ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบผันแปรตามกันกับความแน่นเนื้อ (Firmness) ของผล โดยจะพบว่าถ้าค่าแรงเฉือนสูงแสดงว่ามะม่วงมีความแน่นเนื้อมาก ค่าแรงเฉือนนี้สามารถนำมาบ่งบอกระดับความสุกของมะม่วงได้

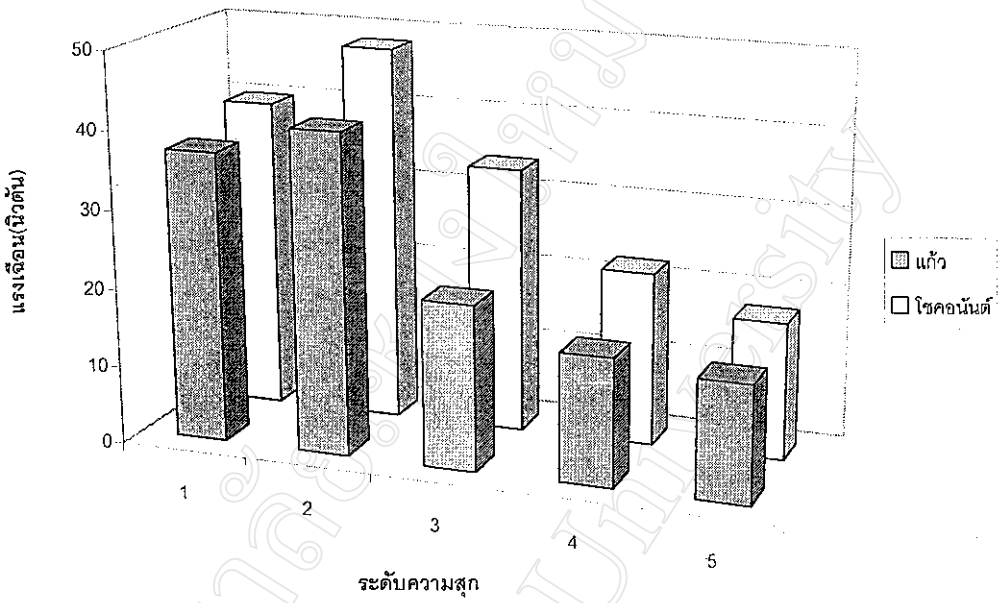
ตาราง 4.3 และภาพ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมะม่วงสุกมากขึ้นค่าแรงเฉือนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเปลี่ยนแปลงนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมะม่วงสุกมากขึ้นจะมีความแน่นเนื้อลดลง ทั้งนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินในผนังเซล โดยโปรโตเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำและมีมากในผลดิบจะถูกย่อยสลายโดยมีเอนไซม์ Polygalacturonase และ β-galactosidase เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยา Depolymerization ทำให้โครงสร้างที่เป็นสายยาวของเพคตินสั้นลงจึงละลายน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้เอนไซม์ Pectinesterase จะเร่งกระบวนการ De-esterification แยกหมู่เมธิลออกจากโครงสร้างของเพคติทำให้ได้กรดเพคติกที่สามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ผนังเซลหลวมตัวมากขึ้นส่งผลให้เนื้อผลไม้นิ่มลง

ตาราง 4.3 : ค่าแรงเฉือนของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์	ระดับความสุก				
	1	2	3	4	5
ค่าแรงเฉือน (นิวตัน)	**มะม่วงแก้ว**				
	37.04 ± 1.65^{b}	40.88 ± 1.11^{a}	21.16 ± 1.36^{c}	16.34 ± 1.77^{d}	15.03 ± 0.02^{d}
	มะม่วงโชคอนันต์				
	39.94 ± 1.52^{b}	48.16 ± 0.42^{a}	33.91 ± 1.20^{c}	22.19 ± 1.13^{d}	17.60 ± 0.02^{e}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 4.4 : การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนในระหว่างการสุก ของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์

คุณลักษณะทางเคมี

ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Total titratable acid)

ตาราง 4.4 แสดงให้เห็นว่ามะม่วงแก้วและโชคอนันต์มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดที่แตกต่างกัน โดยพบว่ามะม่วงแก้วจะมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้สูงสุดเมื่อผลยังดิบ (ระดับความสุกที่ 1) โดยมีค่าเท่ากับ 1.23$\pm$0.01 กรัมต่อร้อยกรัมในรูปกรดซิตริก หลังจากนั้นปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงตามระยะการสุก โดยมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในขณะที่มะม่วงโชคอนันต์ระยะแรกจะมีปริมาณกรดต่ำแล้วเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในระดับความสุกที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.90$\pm$0.01 กรัมต่อร้อยกรัมในรูปกรดซิตริก หลังจากนั้นปริมาณกรดจะลดลงตามระยะการสุกเช่นเดียวกับมะม่วงแก้ว

ตาราง 4.4 : ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์	ระดับความสุก				
	1	2	3	4	5
ปริมาณกรด (กรัมต่อร้อยกรัม) ในรูปกรดซิตริก	**มะม่วงแก้ว**				
	1.23 ± 0.01^{a}	1.13 ± 0.01^{b}	0.89 ± 0.01^{c}	0.72 ± 0.01^{d}	0.35 ± 0.01^{e}
	มะม่วงโชคอนันต์				
	0.66 ± 0.01^{c}	0.68 ± 0.01^{b}	0.90 ± 0.01^{a}	0.65 ± 0.01^{d}	0.34 ± 0.01^{e}

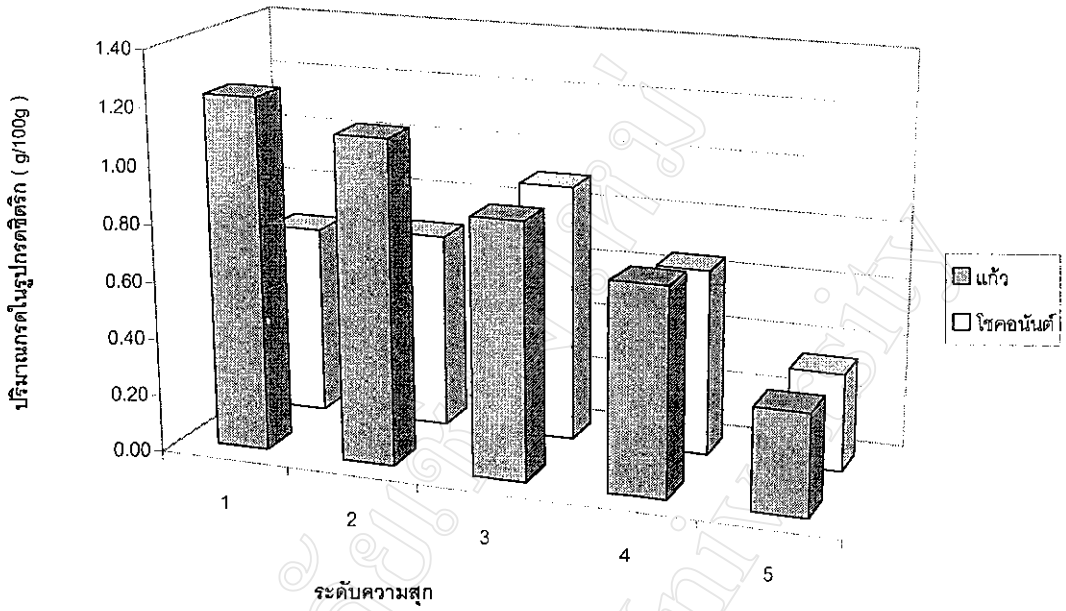
หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อย่างไรก็ตามเมื่อมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์อยู่ในระยะสุกเต็มที่ (ระดับความสุกที่ 5) จะมีปริมาณกรดต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในมะม่วงแก้วที่สุกจัดพบว่ามีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.35 ± 0.01 กรัมต่อร้อยกรัมในรูปกรดซิตริก และในมะม่วงโชคอนันต์ที่สุกจัดมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.34 ± 0.01 กรัมต่อร้อยกรัมในรูปกรดซิตริก

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิสซึมในวัฏจักรเครปส์ (Tricarboxylic acid cycle or TCA cycle) ซึ่งสร้างขึ้นในระหว่างการหายใจของเซลล์พืช โดยอาจเกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตหรือเกิดจากการเคลื่อนย้ายกรดจากส่วนอื่นๆของต้นมาที่ผล ปริมาณกรดอินทรีย์มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อรสเปรี้ยวในมะม่วง เมื่อมะม่วงสุกมากขึ้นเกิดการหายใจและการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีภายในทำให้ปริมาณกรดลดน้อยลง มะม่วงสุกจึงมีรสเปรี้ยวน้อยกว่ามะม่วงดิบ นอกจากนี้เมื่อผลสุกจะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นซึ่งจะไปกลบรสเปรี้ยวแต่เดิมของมะม่วงด้วย

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในระหว่างการสุกของมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์แสดงดังภาพ 4.5



ภาพ 4.5 : การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกในระหว่างการสุกของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์

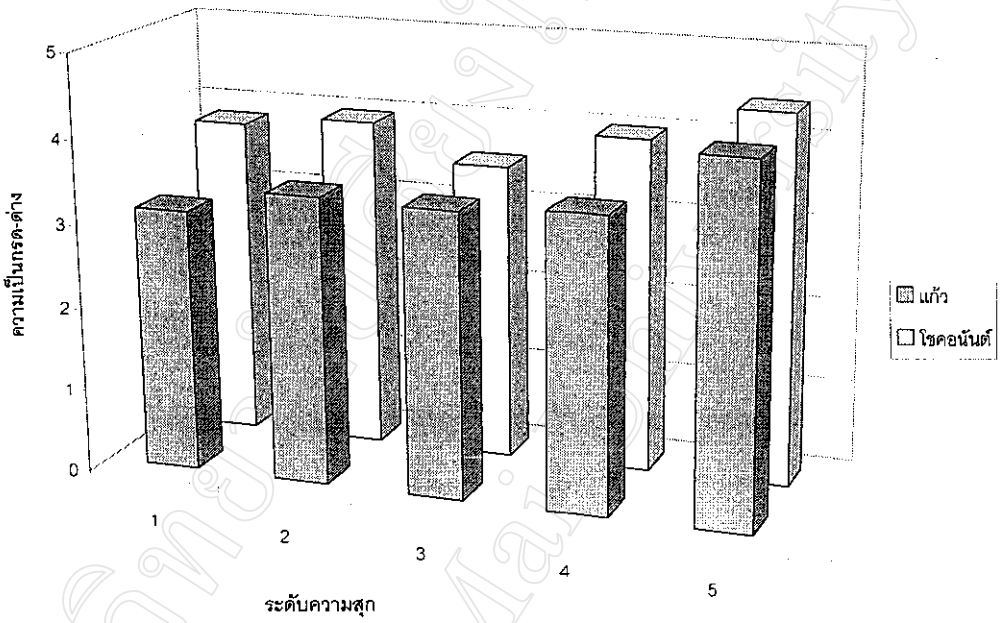
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ตาราง 4.5 : ค่าความเป็นกรด-ด่างของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์	ระดับความสุก				
	1	2	3	4	5
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	**มะม่วงแก้ว**				
	3.14 $\pm$0.01^{d}	3.44 $\pm$0.02^{c}	3.41 $\pm$ 0.02^{c}	3.50 $\pm$ 0.02^{b}	4.25 $\pm$0.04^{a}
	มะม่วงโชคอนันต์				
	3.83 $\pm$0.01^{d}	3.96 $\pm$0.03^{c}	3.55 $\pm$ 0.03^{e}	3.99 $\pm$ 0.01^{b}	4.41 $\pm$0.02^{a}

ตาราง 4.5 และภาพ 4.6 แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์เพิ่มขึ้นตามระยะการสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะมีค่าต่ำสุดเมื่อผลยังดิบ เมื่อความสุกเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่อผลสุกจัดเต็มที่ มะม่วงแก้วมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในช่วง 3.14$\pm$0.01 ถึง 4.25$\pm$0.04 ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในช่วง 3.83$\pm$0.01 ถึง 4.41$\pm$0.02

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้ในมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์ โดยพบว่ามะม่วงที่ผลยังดิบมีปริมาณกรดสูงจึงมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ ในขณะที่ผลสุกจะมีปริมาณกรดต่ำและค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด ความสัมพันธ์ของค่าวิเคราะห์ดังกล่าวนำไปสู่การพิจารณาความเหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ



ภาพ 4.6 : การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการสุกของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในผลไม้ ไม่ได้หมายถึงน้ำตาลเพียงอย่างเดียวแต่รวมถึงกรดอินทรีย์ และสารประกอบอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้นี้สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความสุกของมะม่วงได้ ทั้งนี้มีข้อดีคือสามารถทำการวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องใช้ดัชนีบ่งบอกความสุกอื่นๆ เพื่อพิจารณาร่วมด้วย

ตาราง 4.6 และภาพ 4.7 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์มีค่าต่ำสุดขณะที่ผลยังดิบ โดยมีค่าเท่ากับ 7.18±0.12 และ 6.67±0.06 องศาบริกซ์ตามลำดับ หลังจากนั้นพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะ

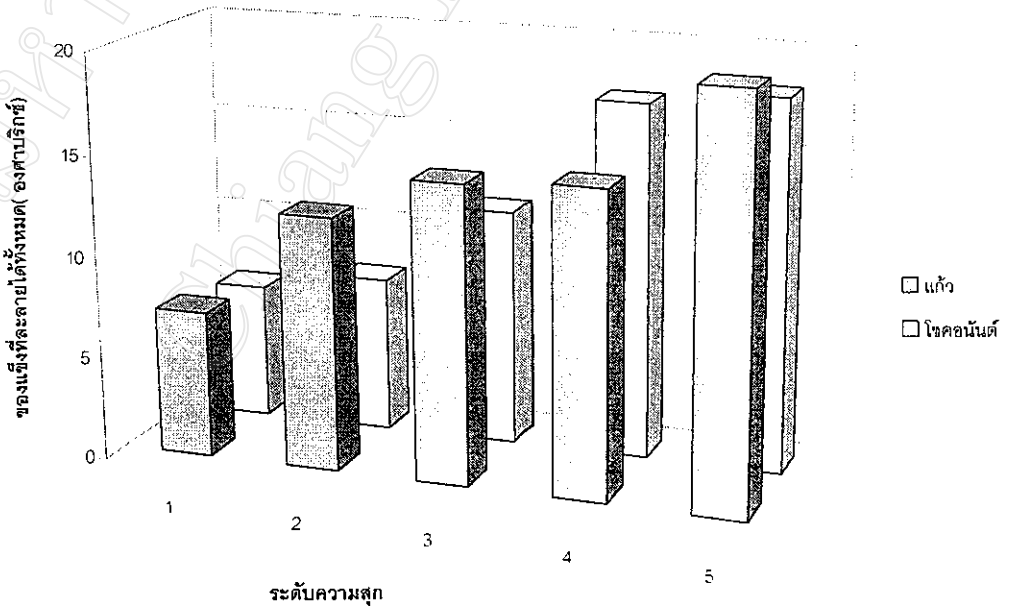
การสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีค่าสูงสุดเมื่อผลสุกเต็มที่ โดยในมะม่วงแก้วมีค่าเท่ากับ19.87±0.01 องศาบริกซ์ และมะม่วงโชคอนันต์มีค่าเท่ากับ 18.20±0.10 องศาบริกซ์ ทั้งนี้เกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลในมะม่วงสุกนั่นเอง

ตาราง 4.6 : ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	ระดับความสุก				
	1	2	3	4	5
	มะม่วงแก้ว				
	7.18 ± 0.12 ^{e}	12.43 ± 0.12 ^{d}	14.58 ± 0.01 ^{c}	14.88 ± 0.12 ^{b}	19.87 ± 0.01 ^{a}
	มะม่วงโชคอนันต์				
	6.67 ± 0.06 ^{e}	7.64 ± 0.21 ^{d}	11.65 ± 0.10 ^{c}	17.46 ± 0.10 ^{b}	18.20 ± 0.10 ^{a}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 4.7 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในระหว่างการสุกของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์

ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส (D-glucose, D-fructose and Sucrose)

น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส จัดว่าเป็นน้ำตาลสามชนิดหลักที่พบมากในผลไม้ ผลวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งสามชนิดในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่ระดับความสุกต่างๆ แสดงดังนี้

ตาราง 4.7 : ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์	ระดับความสุก				
(g/100g)	1	2	3	4	5
			มะม่วงแก้ว		
กลูโคส	0.33 ± 0.01^{d}	0.25 ± 0.01^{e}	0.48 ± 0.01^{b}	0.64 ± 0.01^{a}	0.37 ± 0.01^{c}
ฟรุคโตส	1.90 ± 0.01^{b}	1.56 ± 0.01^{e}	1.80 ± 0.01^{c}	2.28 ± 0.01^{a}	1.66 ± 0.01^{d}
ซูโครส	1.09 ± 0.01^{c}	3.62 ± 0.01^{b}	3.55 ± 0.01^{b}	3.86 ± 0.01^{b}	5.73 ± 0.01^{a}
น้ำตาลทั้งหมด	3.32 ± 0.18^{e}	5.43 ± 0.01^{d}	5.82 ± 0.19^{c}	6.77 ± 0.03^{b}	7.77 ± 0.06^{a}
			มะม่วงโชคอนันต์		
กลูโคส	0.60 ± 0.01^{d}	0.74 ± 0.01^{bc}	0.79 ± 0.01^{b}	0.86 ± 0.01^{a}	0.78 ± 0.01^{b}
ฟรุคโตส	1.84 ± 0.01^{e}	2.53 ± 0.01^{b}	2.34 ± 0.01^{d}	2.56 ± 0.01^{a}	2.48 ± 0.01^{c}
ซูโครส	0.40 ± 0.01^{d}	0.68 ± 0.01^{c}	1.77 ± 0.01^{b}	4.96 ± 0.01^{a}	5.06 ± 0.01^{a}
น้ำตาลทั้งหมด	2.84 ± 0.19^{d}	3.95 ± 0.04^{c}	4.90 ± 0.16^{b}	8.32 ± 0.13^{a}	8.39 ± 0.05^{a}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

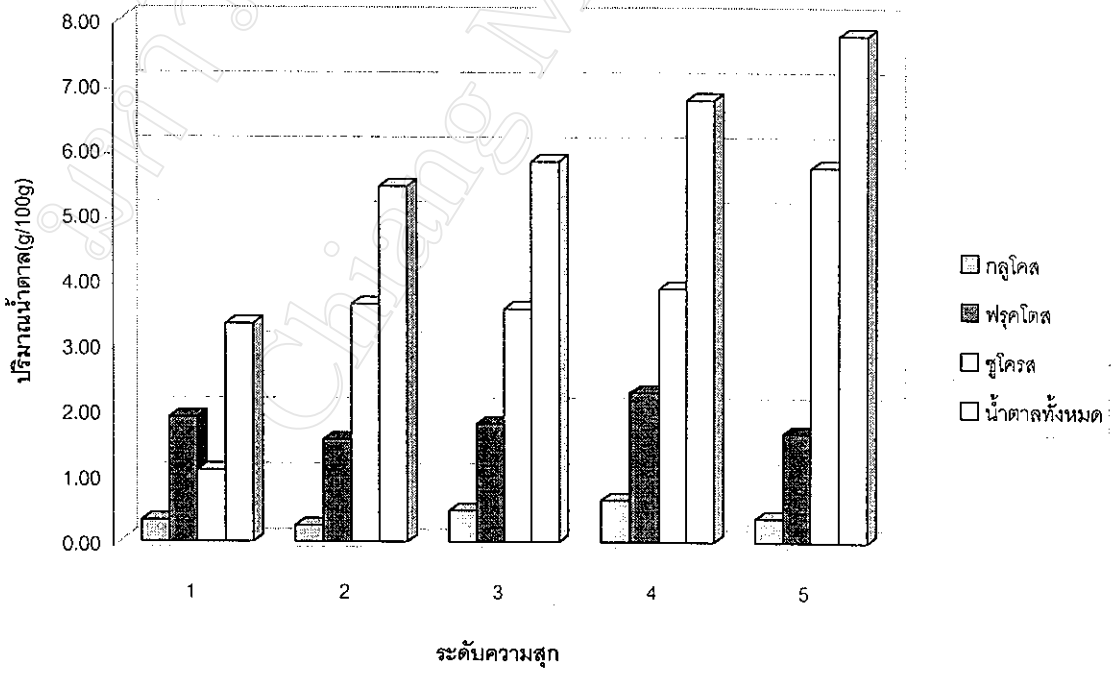
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พบว่าปริมาณน้ำตาลซูโครสในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่น้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสในมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะการสุกแต่เมื่อผลสุกเต็มที่ปริมาณน้ำตาลทั้งสองชนิดลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ผลรวมของน้ำตาลทั้งหมดพบว่าที่ระดับความสุกสูงสุด มะม่วงแก้วมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 7.77±0.06 กรัม

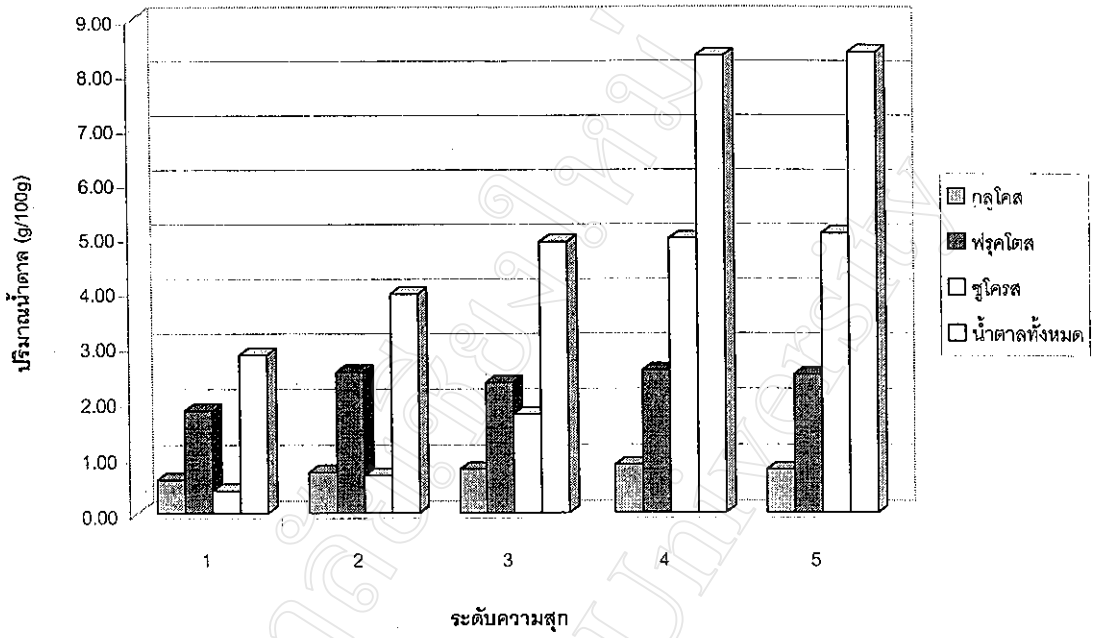
ต่อร้อยกรัม มะม่วงโชคอนันต์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 8.39±0.05 กรัมต่อร้อยกรัม โดยมีสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสสูงสุด รองลงมาได้แก่ น้ำตาลฟรุคโตส และกลูโคส ตามลำดับ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลในมะม่วงสุกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่สะสมในผลแก่ถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กๆแล้วจึงเปลี่ยนเป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ โดยมีหลายปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลดังกล่าว ได้แก่ ปฏิกิริยา Inversion ซึ่งน้ำตาลซูโครสเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตส ในขณะที่น้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสอาจเกิดการ Isomerization โดยเอนไซม์ในผลไม้ ทำให้เปลี่ยนรูปกลับไป-มาได้

ชนิดและปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อคุณภาพด้านรสชาติของมะม่วงโดยเฉพาะด้านรสหวาน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจัดว่าเป็นของแข็งที่ละลายได้ส่วนใหญ่ในผลไม้ โดยเมื่อผลสุกจะมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น ดังได้กล่าวไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลทั้งสามชนิดในระหว่างการสุกของมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์แสดงดังภาพ 4.8 และ 4.9



ภาพ 4.8 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ในระหว่างการสุกของมะม่วงแก้ว



ภาพ 4.9 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ในระหว่างการสุกของมะม่วงโชคอนันต์

ปริมาณวิตามินซี (L-ascorbic acid)

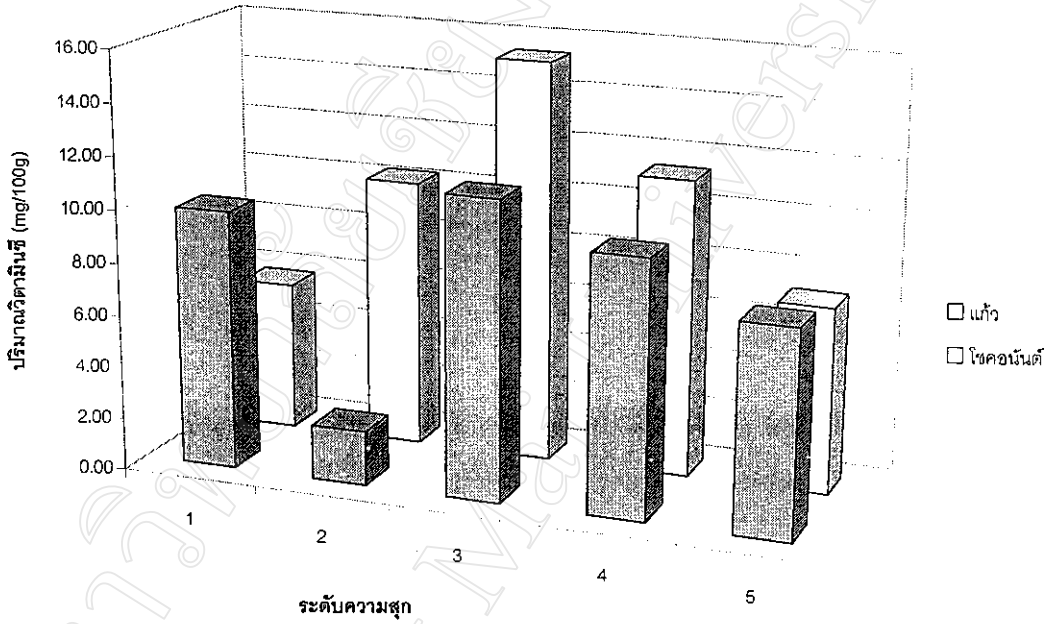
ตาราง 4.8 : ปริมาณวิตามินซีในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์	ระดับความสุก 1	2	3	4	5
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)	**มะม่วงแก้ว**				
	9.90 ± 1.08 [a]	2.90 ± 0.74 [c]	11.38 ± 0.01 [b]	9.77 ± 0.38 [a]	7.89 ± 0.01 [b]
	มะม่วงโชคอนันต์				
	5.76 ± 1.46 [c]	10.29 ± 2.41 [b]	15.38 ± 0.01 [a]	11.35 ± 0.01 [b]	7.16 ± 0.08 [c]

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.8 แสดงให้เห็นว่ามะม่วงในแต่ละระดับความสุกมีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ในมะม่วงแก้วมีค่าต่ำสุดและสูงสุดคือ 2.90 ± 0.74 และ 11.38 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัมตามลำดับ มะม่วงโชคอนันต์มีปริมาณวิตามินซีต่ำสุดและสูงสุดคือ 5.76 ± 1.46 และ 15.38 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัมตามลำดับ กล่าวได้ว่ามะม่วงโชคอนันต์มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่ามะม่วงแก้วเล็กน้อย



ภาพ 4.10 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในระหว่างการสุกของมะม่วงแก้ว และโชคอนันต์

การใช้ลักษณะสีเปลือกเป็นเกณฑ์ในการแบ่งระดับความสุกทำให้แบ่งกลุ่มตัวอย่างมะม่วงออกมาได้ไม่ดีนักและอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ไม่สัมพันธ์กับระดับความสุก ภาพ 4.10 แสดงให้เห็นว่ามะม่วงแก้วที่มีเปลือกสีเขียวอมเหลืองหรืออยู่ในระดับความสุกที่ 2 อาจมีลักษณะเนื้อผลที่ค่อนข้างสุกมากจึงมีวิตามินซีในปริมาณต่ำ มะม่วงโชคอนันต์ที่มีเปลือกสีกึ่งเขียว-เหลืองหรืออยู่ในระดับความสุกที่ 3 อาจมีเนื้อผลค่อนข้างดิบจึงวิเคราะห์พบวิตามินซีในปริมาณสูง เมื่อพิจารณาค่าวิเคราะห์อื่นๆของมะม่วงโชคอนันต์กลุ่มตัวอย่างเดียวกันนี้พบว่ามีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้สูงสุดและมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดด้วย ผลวิเคราะห์ที่สอดคล้องกันดังกล่าวแสดงว่ามะม่วงโชคอนันต์มีเนื้อผลค่อนข้างดิบ

อย่างไรก็ตามวิตามินซีเป็นองค์ประกอบที่เกิดการสูญเสียได้ง่าย ทั้งจากปัจจัยภายในได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ และปัจจัยภายนอกได้แก่ ออกซิเจน แสงสว่าง อนุมูลโลหะ และความร้อน ล้วนมีผลต่อการสูญเสียของวิตามินซีทั้งสิ้น

ปริมาณสารประกอบเพคติน (Pectin constituents)

ปริมาณสารประกอบเพคตินทั้งสามชนิดที่วิเคราะห์ได้ในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์แสดงดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 : ปริมาณสารประกอบเพคตินของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกต่างกัน 5 ระดับ

ค่าวิเคราะห์	ระดับความสุก				
(mg/100g)	1	2	3	4	5
			มะม่วงแก้ว		
โปรโตเพคติน	78.11 ± 4.29^{b}	94.90 ± 4.48^{a}	61.21 ± 0.01^{c}	67.69 ± 0.32^{c}	49.47 ± 0.11^{d}
กรดเพคตินิก	14.41 ± 0.13^{d}	17.31 ± 0.01^{c}	18.07 ± 0.85^{c}	29.80 ± 0.42^{a}	21.44 ± 2.77^{b}
กรดเพคติก	7.59 ± 0.77^{e}	39.45 ± 1.05^{c}	30.34 ± 0.09^{d}	43.29 ± 0.42^{b}	74.69 ± 0.95^{a}
เพคติน ทั้งหมด	100.10 ± 4.86^{c}	151.66 ± 3.62^{a}	109.79 ± 0.76^{c}	140.78 ± 0.32^{b}	145.76 ± 2.93^{a}
			มะม่วงโชคอนันต์		
โปรโตเพคติน	56.63 ± 4.29^{b}	90.23 ± 4.48^{a}	90.56 ± 0.01^{a}	55.17 ± 0.32^{b}	30.99 ± 0.11^{c}
กรดเพคตินิก	9.84 ± 0.22^{c}	9.59 ± 0.12^{c}	7.07 ± 1.29^{c}	63.75 ± 0.37^{b}	49.92 ± 3.65^{b}
กรดเพคติก	6.69 ± 0.77^{d}	11.41 ± 1.05^{c}	12.82 ± 0.09^{c}	29.35 ± 0.42^{b}	71.21 ± 0.95^{a}
เพคติน ทั้งหมด	73.16 ± 4.86^{c}	111.24 ± 3.62^{b}	110.45 ± 0.76^{b}	148.27 ± 0.32^{a}	152.12 ± 4.11^{a}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โปรโตเพคติน เป็นสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายด่าง จึงเรียกว่า Alkaline-soluble pectin พบว่ามะม่วงทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณโปรโตเพคตินลดลงตามระยะการสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มะม่วงแก้วมีค่าปริมาณโปรโตเพคตินสูงสุดขณะที่ผลยังดิบกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 94.90±4.48 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม และมีค่าต่ำสุดเมื่อผลสุกเต็มที่โดยมีค่าเท่ากับ 49.47±0.11 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ในมะม่วงโชคอนันต์มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของปริมาณโปรโตเพคตินเท่ากับ 90.23±4.48 และ 30.99±0.11 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ตามลำดับ

โปรโตเพคตินเป็นสารประกอบเพคตินที่มีหมู่เมธิลอยู่ในโมเลกุลปริมาณมาก พบมากในเนื้อเยื่อพืชที่ยังอ่อนหรือดิบ เมื่อผลไม้เริ่มสุกโปรโตเพคตินจะถูกไฮโดรไลซ์ทำให้หมู่เมธิลถูกแยกออกไปบางส่วนและได้หมู่คาร์บอกซิลอิสระเรียกว่ากรดเพคตินิก (Pectinic acid)

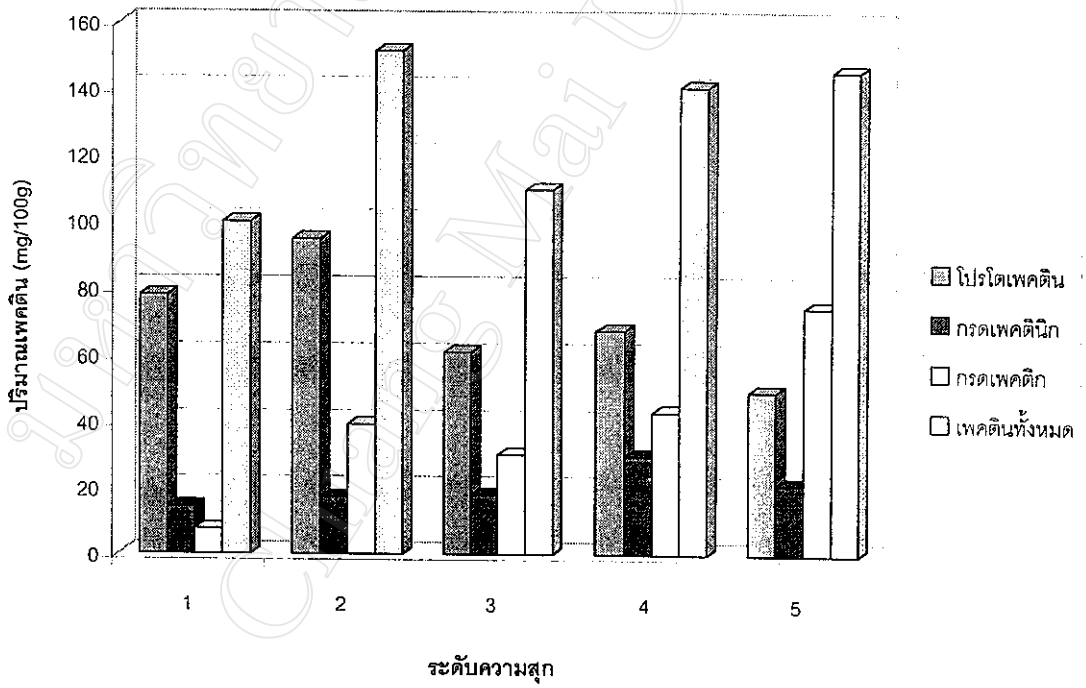
กรดเพคตินิก เป็นสารประกอบเพคตินที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีจึงเรียกว่า Water-soluble pectin ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเพคตินในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วจึงลดลง มะม่วงแก้วมีปริมาณเพคตินต่ำสุดเมื่อผลอยู่ในระดับความสุกที่ 1 หรือเมื่อผลดิบซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.41±0.13 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม และมีค่าสูงสุดเมื่ออยู่ที่ระดับความสุกที่ 4 เท่ากับ 29.80±0.42 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ในมะม่วงโชคอนันต์ปริมาณเพคตินต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 7.07±1.29 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม และ 63.75±0.37 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ตามลำดับ

กรดเพคตินิกเป็นสารประกอบเพคตินที่มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระประมาณร้อยละ 75 แต่ยังคงมีหมู่เมธิลเอสเทอร์เหลืออยู่บางส่วน กรดเพคตินิกนี้เมื่อละลายน้ำจะก่อให้เกิดสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติข้นหนืดและก่อเจลได้ เมื่อผลไม้สุกมากขึ้นเอนไซม์กลุ่มเพคติเนสจะไฮโดรไลซ์กรดเพคตินิกให้เป็นกรดเพคติกต่อไป

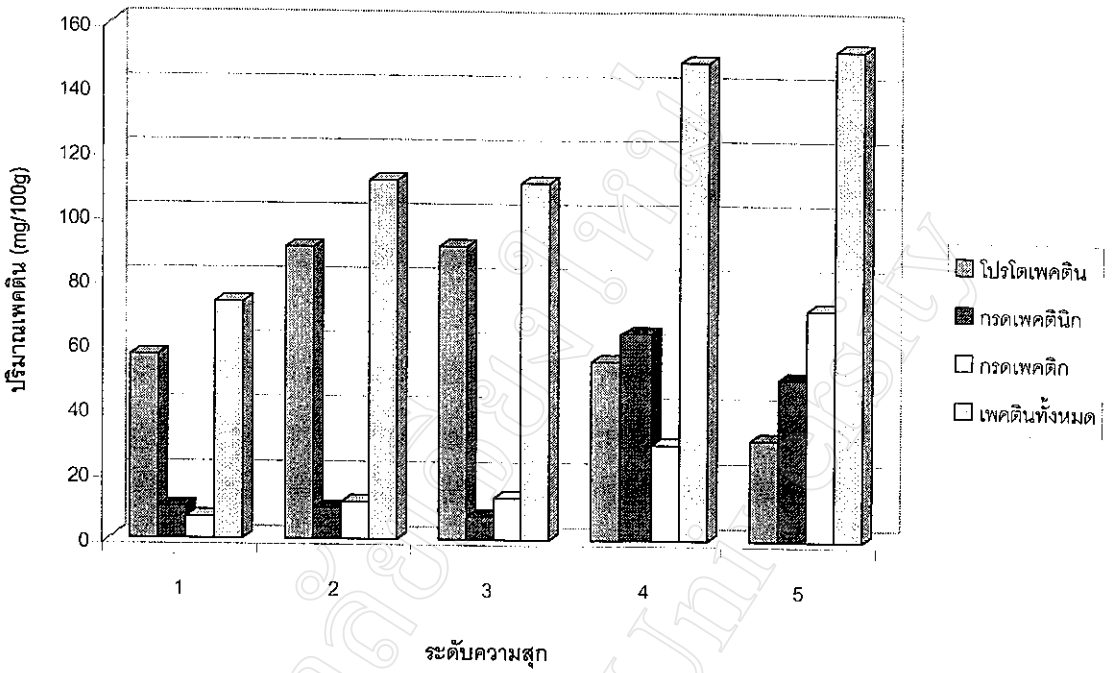
กรดเพคติก เป็นสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายใน Ammonium oxalate จึงเรียก Oxalate-soluble pectin เป็นสารประกอบเพคตินที่มีหมู่เมธิลเหลืออยู่ในโมเลกุลน้อยมาก โดยถูกไฮโดรไลซ์จนกลายเป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระเกือบทั้งหมด แต่หมู่คาร์บอกซิลมักถูกจับไว้ด้วย Divalent ion ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้อยู่ในรูปแคลเซียมเพคเตต และแมกนีเซียมเพคเตตซึ่งไม่ละลายน้ำ

ตาราง 4.9 แสดงให้ทราบว่ามะม่วงทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณกรดเพคติกเพิ่มขึ้นตามระยะการสุก มะม่วงแก้วมีปริมาณกรดเพคติกต่ำสุดเมื่ออยู่ในระยะผลดิบโดยมีค่าเท่ากับ 7.59±0.77 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม และมีค่าสูงสุดเมื่อผลสุกเต็มที่เท่ากับ 74.69±0.95 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ในมะม่วงโชคอนันต์มีปริมาณกรดเพคติกต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 6.69±0.77 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม และ 71.21±0.95 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ตามลำดับ

ผลรวมของสารประกอบเพคตินทั้งหมด ในมะม่วงแก้วและโชคอนันต์มีปริมาณสารประกอบเพคตินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และยังพบว่าสัดส่วนของเพคตินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันด้วย เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรโตเพคตินในผลไม้ดิบไปเป็นกรดเพคตินิกในผลไม้ห่ามและกลายเป็นกรดเพคติกในผลไม้สุกตามลำดับ



ภาพ 4.11 : การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินในระหว่างการสุกของมะม่วงแก้ว



ภาพ 4.12 : การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินในระหว่างการสุกของมะม่วงโชคอนันต์

ความแตกต่างของสายพันธุ์มะม่วงสองสายพันธุ์คือมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ และระดับความสุกซึ่งแบ่งโดยใช้หลักเกณฑ์คือสีเปลือกออกเป็น 5 ระดับ ทำให้คุณภาพด้านกายภาพและเคมีแตกต่างกัน ในเบื้องต้นพบว่าค่าวิเคราะห์ทางกายภาพได้แก่ สีเนื้อ แรงเฉือน และค่าวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ความเป็นกรด-ด่าง ชนิดและปริมาณน้ำตาลที่ตรวจพบ ชนิดและปริมาณของสารประกอบเพคติน สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความสุกของมะม่วงได้ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณวิตามินซีในมะม่วงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับความสุก เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่เกิดการสูญเสียได้ง่ายปริมาณที่ตรวจพบอาจไม่แน่นอน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้บางค่าสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความสุกของมะม่วงได้ เช่น การคำนวณอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด (Sugar : acid ratio) การกำหนดดัชนีบ่งบอกความสุกอาจจำเป็นต้องใช้หลายวิธีร่วมกันเพื่อให้ได้ผลที่สอดคล้องและเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงวิธีการตรวจวัดซึ่งจะต้องเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากจนเกินไป รวมทั้งให้ผลวิเคราะห์รวดเร็วและแม่นยำเพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติจริง ในอุตสาหกรรมที่แปรรูปผัก-ผลไม้จำเป็นต้องกำหนดดัชนีบ่งบอกความแก่หรือความสุกของวัตถุดิบ รวมทั้งวิธีการตรวจและเกณฑ์คุณภาพในการตรวจรับ

วัตถุดิบที่ชัดเจน เพื่อให้การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

มะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่ระดับความสุกต่างๆมีความเหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปต่างกัน มะม่วงที่ยังดิบเป็นสีเขียวจะมีปริมาณกรดมาก น้ำตาลน้อย ทำให้มีรสเปรี้ยวจัด และยังมีแป้งที่สะสมอยู่ในผลเหลืออยู่มาก ขณะเดียวกันเนื้อมีความแข็งกรอบเนื่องจากมีสารประกอบเพคตินอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะดังกล่าวนี้อาจเหมาะต่อการนำไปแปรรูปเป็นมะม่วงดองหรือมะม่วงเส้นเค็มที่ต้องการรสเปรี้ยวเป็นพื้นฐาน ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานหรือเค็มเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มน้ำตาลและเกลือลงไปและไม่จำเป็นต้องเติมสารเพิ่มความแน่นเนื้อ (Firming agent) เพื่อเพิ่มความแข็งกรอบแต่อย่างใด

มะม่วงสุกจำเป็นต้องกำหนดระดับความสุกที่เหมาะสมต่อการนำมาแปรรูปในลักษณะนั้นๆ โดยใช้ดัชนีบ่งบอกความสุกดังที่ได้กล่าวไปแล้ว มะม่วงสุกที่เริ่มเหลืองจะมีปริมาณกรดลดลง มีปริมาณน้ำตาลมากขึ้นจึงมีรสหวานมากขึ้นและรสเปรี้ยวน้อยลง เนื้อเยื่อจะอ่อนตัวลงและมีความนิ่มมากขึ้นเนื่องจากสารประกอบเพคตินเปลี่ยนจากรูปที่ไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์จากมะม่วงสุกที่พบมากได้แก่ มะม่วงในน้ำเชื่อม มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงอบแห้ง และมะม่วงแช่แข็ง ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่ควรใช้มะม่วงที่สุกจัดเกินไปเพราะจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสทำให้นิ่มเละ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จำพวกน้ำมะม่วง แยมมะม่วง และ Puree จะสามารถใช้มะม่วงที่สุกจัดในการผลิตได้ ลักษณะเนื้อผลที่ค่อนข้างนิ่มจะเป็นปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการคั้นน้ำหรือตีปั่นเพราะทำได้ง่ายและประหยัดพลังงาน ผลที่ค่อนข้างสุกมีปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำได้มากจึงก่อให้เกิดความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ในบางกรณียังช่วยในการก่อเจลทำให้สามารถลดการใช้สารก่อเจล (Gelling agent) ลง ปริมาณน้ำตาลที่มากทำให้สามารถลดปริมาณน้ำตาลที่ต้องเติมเพื่อปรับรสชาติลง ในทางตรงข้ามปริมาณกรดที่น้อยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง จึงจำเป็นต้องเติมกรดเพื่อเพิ่มรสเปรี้ยวและรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์มากขึ้น

4.1.2 ผลการทดลองหาสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุกที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ผลการทดลอง 4.1.1 ทำให้ทราบว่าวัตถุดิบมะม่วงที่จะนำมาแปรรูปเป็นน้ำมะม่วง ควรจะมีระดับความสุกตั้งแต่สุกเล็กน้อยถึงสุกมากเนื่องจากมีคุณภาพด้านกายภาพและเคมีที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังทำให้ทราบดัชนีบ่งบอกความสุกที่เหมาะสมคือ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ได้ง่ายด้วยเครื่อง Hand refractometer

การทดลองนี้เป็นการศึกษาปัจจัยทดลองคือสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก ทำโดยแบ่งระดับความสุกของมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ออกเป็นสามระดับ ให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 12-14, 15-17 และ 18-20 องศาบริกซ์ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตเป็นเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรตามสูตรและกระบวนผลิตพื้นฐานจะได้ผลิตภัณฑ์หรือสิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง นำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส กายภาพ และเคมี จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดย Analysis of variance (ANOVA) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยที่เป็นผลของปัจจัยทดลองในแง่อิทธิพลหลัก (Main effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ของทั้งสองปัจจัยดังต่อไปนี้

ตาราง 4.10 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เกิดจากอิทธิพลหลัก (Main effect) ของสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน
สายพันธุ์				
มะม่วงแก้ว	0.83±0.07[a]	0.97±0.01	0.91±0.07	0.94±0.10
มะม่วงโชคอนันต์	0.76±0.02[b]	0.94±0.05	0.90±0.15	0.96±0.11
ระดับความสุก				
12-14 ° Brix	0.77±0.03[a]	0.95±0.01	1.02±0.02[a]	0.84±0.02[c]
15-17 ° Brix	0.78±0.03[a]	0.97±0.01	0.91±0.04[a]	0.94±0.02[b]
18-20 ° Brix	0.84±0.09[b]	0.94±0.06	0.78±0.07[b]	1.07±0.03[a]

ตาราง 4.10 (ต่อ)

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	กลิ่นมะม่วง	กลิ่นรสสมุนไพร	ความข้นหนืด	การยอมรับโดยรวม
สายพันธุ์				
มะม่วงแก้ว	0.92±0.03	0.74±0.02^{b}	1.04±0.05	0.76±0.07
มะม่วงโชคอนันต์	0.91±0.06	0.78±0.02^{a}	1.02±0.07	0.73±0.05
ระดับความสุก				
12-14 $^{\circ}$ Brix	0.89±0.01^{b}	0.76±0.02	0.97±0.04^{b}	0.70±0.05^{b}
15-17 $^{\circ}$ Brix	0.91±0.06^{b}	0.77±0.03	1.03±0.05^{ab}	0.75±0.06^{a}
18-20 $^{\circ}$ Brix	0.96±0.01^{a}	0.76±0.05	1.09±0.02^{a}	0.78±0.05^{a}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พบว่าความแตกต่างของสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุกมีผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร ดังนี้

ตาราง 4.10 เมื่อทำการเปรียบเทียบคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสระหว่างสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงแก้วและโชคอนันต์ พบว่าสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงแก้วจะได้รับคะแนนความชอบด้านสีปรากฏมากกว่ามะม่วงโชคอนันต์ ในทางตรงข้ามสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงโชคอนันต์ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสมุนไพรมากกว่ามะม่วงแก้วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของคุณภาพด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน รสเปรี้ยว รสหวาน กลิ่นมะม่วง ความข้นหนืดและการยอมรับโดยรวม อย่างไรก็ตามพบว่าเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เตรียมจากมะม่วงแก้วมีคะแนนความชอบในแต่ละลักษณะดังกล่าวเข้าใกล้ค่าในอุดมคติ (I=1.00) มากกว่ามะม่วงโชคอนันต์

ความแตกต่างของระดับความสุกมีผลต่อคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม อธิบายได้ว่ามะม่วงที่มีความสุกมากเมื่อนำมาเตรียมเป็นเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

จะมีคะแนนความชอบด้านสีปรากฏ รสหวาน กลิ่นมะม่วง ความข้นหนืด และการยอมรับโดยรวมสูงกว่ามะม่วงที่มีความสุกน้อย ในทางตรงข้ามได้รับคะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวต่ำกว่า ทั้งนี้ความแตกต่างของระดับความสุกไม่มีผลต่อคุณภาพด้านความเป็นเนื้อเดียวกันและกลิ่นรสสมุนไพรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จึงกล่าวได้ว่ามะม่วงที่มีระดับความสุกสูงสุดเหมาะต่อการนำมาแปรรูปเป็นเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรมากที่สุด เนื่องจากได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมในคุณภาพด้านประสาทสัมผัสหลายลักษณะ

ตาราง 4.11 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร ที่เกิดจากอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก

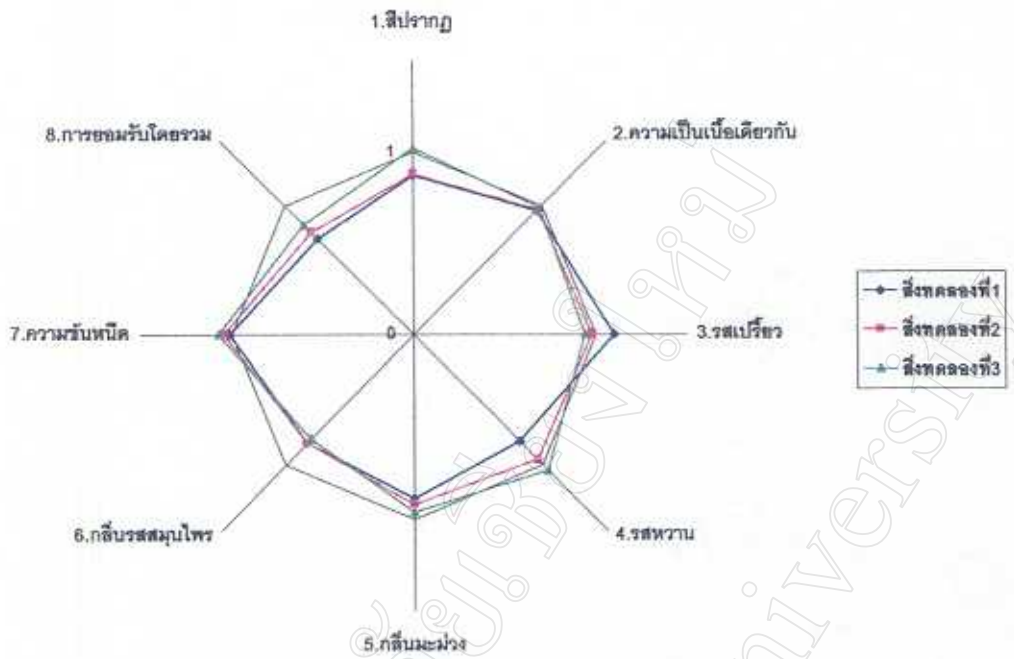
สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน
มะม่วงแก้ว 12-14 ° Brix	0.87±0.13^{b}	0.96±0.08^{b}	1.10±0.21^{ab}	0.82±0.13^{c}
มะม่วงแก้ว 15-17 ° Brix	0.88±0.14^{b}	0.97±0.06^{ab}	0.98±0.09^{cd}	0.96±0.08^{b}
มะม่วงแก้ว 18-20 ° Brix	1.02±0.08^{a}	0.98±0.05^{a}	0.94±0.09^{d}	1.04±0.09^{a}
มะม่วงโชคอนันต์ 12-14 ° Brix	0.83±0.31^{b}	0.95±0.06^{b}	1.15±0.12^{a}	0.86±0.12^{c}
มะม่วงโชคอนันต์ 15-17 ° Brix	0.84±0.16^{b}	0.97±0.07^{ab}	1.04±0.11b^{c}	0.93±0.08^{b}
มะม่วงโชคอนันต์ 18-20 ° Brix	0.86±0.19^{b}	0.95±0.24^{b}	0.80±0.15^{e}	1.09±0.09^{a}

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	กลิ่นมะม่วง	กลิ่นรสสมุนไพร	ความข้นหนืด	การยอมรับโดยรวม
มะม่วงแก้ว 12-14 ° Brix	0.89±0.12^{b}	0.83±0.19^{ab}	1.01±0.10^{c}	0.74±0.14^{c}
มะม่วงแก้ว 15-17 ° Brix	0.92±0.12^{ab}	0.83±0.19^{ab}	1.04±0.12b^{c}	0.79±0.11^{b}
มะม่วงแก้ว 18-20 ° Brix	0.96±0.06^{a}	0.80±0.18^{b}	1.07±0.10^{ab}	0.85±0.07^{a}
มะม่วงโชคอนันต์ 12-14 ° Brix	0.87±0.12^{b}	0.85±0.19^{ab}	0.93±0.08^{d}	0.72±0.10^{c}
มะม่วงโชคอนันต์ 15-17 ° Brix	0.94±0.11^{a}	0.87±0.19^{a}	1.03±0.12^{bc}	0.80±0.11^{b}
มะม่วงโชคอนันต์ 18-20 ° Brix	0.96±0.14^{a}	0.88±0.18^{a}	1.10±0.12^{a}	0.78±0.12^{b}

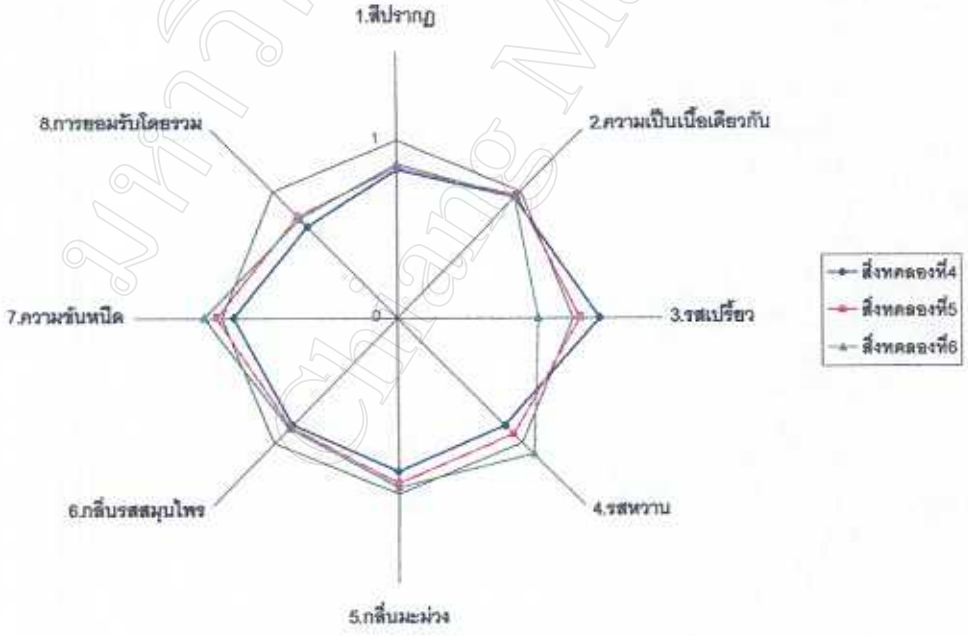
หมายเหตุ :
- ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

อิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก มีผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของสิ่งทดลองในทิศทางคล้ายคลึงกับอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัย (Main effect) ตาราง 4.11 อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงที่มีสายพันธุ์และระดับความสุกต่างกันจะมีคะแนนความชอบในทุกลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสามารถสร้างกราฟใยแมงมุมเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของสิ่งทดลองได้ดังภาพ 4.13 และ 4.14

การเปรียบเทียบคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสทำให้สามารถตัดสินว่ามะม่วงสายพันธุ์ใดและมีระดับความสุกเท่าใดเมื่อนำมาแปรรูปเป็นเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรจะได้รับการยอมรับมากที่สุด พบว่าเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เตรียมจากมะม่วงแก้วที่ระดับความสุกมากที่สุด (18-20 องศาบริกซ์) มีคะแนนความชอบด้านสีปรากฏ ความเป็นเนื้อเดียวกัน รสหวาน กลิ่นมะม่วงและการยอมรับโดยรวมเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด ในขณะที่มีคะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวต่ำกว่าค่าในอุดมคติเล็กน้อยจึงอาจปรับปรุงด้วยการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกในสูตรให้สูงกว่าปริมาณเดิมคือร้อยละ 0.10 ในด้านความข้นหนืดพบว่ามีคะแนนความชอบสูงกว่าค่าในอุดมคติมากซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความหนืดมากเกินไป โดยที่อาจเกิดจากผลของกรดเพคตินิกซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดความข้นหนืดซึ่งมีอยู่ในมะม่วงสุกในปริมาณมากอยู่แล้ว การเติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดความข้นหนืดสังเคราะห์ปริมาณร้อยละ 0.15 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดมากเกินไปซึ่งจำเป็นต้องปรับลดปริมาณลง อย่างไรก็ตามเป็นการส่งผลให้สิ่งทดลองมีคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันสูงเข้าใกล้ค่าในอุดมคติ นอกจากนี้ยังพบว่าทุกสิ่งทดลองมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสมุนไพรค่อนข้างต่ำกว่าค่าในอุดมคติแสดงว่ามีกลิ่นรสสมุนไพรน้อยเกินไป จึงควรปรับปรุงโดยการเพิ่มปริมาณน้ำสมุนไพรผสมในสูตรให้สูงกว่าปริมาณเดิมคือร้อยละ 20



ภาพ 4.13 : เค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุกของสิ่งทดลองที่ 1-3



ภาพ 4.14 : เค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก สิ่งทดลองที่ 4-6

ความแตกต่างของสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุกมีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร ดังนี้

ตาราง 4.12 : คุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เกิดจากอิทธิพลหลัก (Main effect) ของสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความหนืด (Centipoise)
	L	a	b	
สายพันธุ์				
มะม่วงแก้ว	72.67±2.14	0.86±2.06[a]	53.46±6.87[a]	211.87±39.66[b]
มะม่วงโชคอนันต์	72.58±2.61	-0.62±1.69[b]	45.63±5.81[b]	271.02±59.82[a]
ระดับความสุก				
12-14 ° Brix	75.00±16.24	-1.91±1.72[c]	42.07±12.53[c]	187.73±19.14[b]
15-17 ° Brix	72.01±1.37	0.10±0.94[b]	49.89±3.69[b]	262.93±2.34[a]
18-20 ° Brix	70.87±1.52	2.18±1.41[a]	56.68±5.21[a]	273.67±75.89[a]

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.12 แสดงถึงความแตกต่างของสายพันธุ์มะม่วงมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยอธิบายได้ว่าสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันในด้านค่าสี L แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่าสี a, b และค่าความหนืด โดยสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงแก้วมีค่าสี a และ b มากกว่ามะม่วงโชคอนันต์แสดงว่ามีค่าสีแดงและเหลืองสูงกว่า นอกจากนี้พบว่าสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงโชคอนันต์มีค่าสี a เป็นลบ แสดงว่ามีสีเขียวปนอยู่ เมื่อพิจารณาค่าความหนืดพบว่าสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงโชคอนันต์มีค่าความหนืดสูงกว่ามะม่วงแก้ว

ความแตกต่างของระดับความสุกที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อธิบายได้ว่า สิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงที่มีความสุกต่างกันสามระดับไม่มีความแตกต่างกันในด้านค่าสี L แต่มีความแตกต่างกันของค่าสี a, b และค่าความหนืดดังนี้ มะม่วงที่มีระดับความสุกสูงสุด (18-20 องศา

บริกซ์) จะมีค่าสี a, b และค่าความหนืดสูงที่สุด โดยมีค่ามากกว่ามะม่วงที่ระดับความสุก 15-17 และ 12-14 องศาบริกซ์ตามลำดับ กล่าวได้ว่ามะม่วงที่มีความสุกเพิ่มขึ้นจะยิ่งเพิ่มสีแดง สีเหลือง และเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ โดยไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าสี L

เมื่อพิจารณาคุณภาพของสิ่งทดลองที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของสองปัจจัย ดังตาราง 4.13 แสดงว่าให้ผลในทิศทางเดียวกันกับอิทธิพลหลักตามที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยพบว่าค่าสี L ในทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของค่าสี a, b และค่าความหนืด พบว่าสิ่งทดลองมีค่าสี a อยู่ระหว่าง -2.54±0.56 ถึง 3.17±1.26 มีค่าสี b อยู่ระหว่าง 38.40±1.84 ถึง 61.62±0.56 และมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 170.27±0.61 ถึง 342.93±1.62 เซนติพอยซ์ กล่าวได้ว่ามะม่วงแก้วและโชคอนันต์ที่มีความสุกเพิ่มขึ้นจะยิ่งเพิ่มสีแดง สีเหลือง และความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ โดยไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความสว่างในผลิตภัณฑ์

ตาราง 4.13 : คุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร ที่เกิดจากอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความข้นหนืด (Centipoise)
	L	a	b	
มะม่วงแก้ว 12-14 ° Brix	74.54±2.17	-1.28±0.82^{d}	45.74±2.41^{c}	170.27±0.61^{e}
มะม่วงแก้ว 15-17 ° Brix	72.07±1.37	0.69±0.64^{b}	53.02±2.36^{b}	260.93±1.01^{d}
มะม่วงแก้ว 18-20 ° Brix	71.41±1.41	3.17±1.26^{a}	61.62±0.56^{a}	204.40±0.40^{c}
มะม่วงโชคอนันต์ 12-14 ° Brix	68.47±1.47	-2.54±0.56^{e}	38.40±1.84^{d}	205.20±0.69^{d}
มะม่วงโชคอนันต์ 15-17 ° Brix	71.96±1.45	-0.48±0.83^{c}	46.76±1.19^{c}	264.93±0.83^{b}
มะม่วงโชคอนันต์ 18-20 ° Brix	70.32±1.51	1.18±0.65^{b}	51.75±1.72^{b}	342.93±1.62^{a}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง 4.14 : คุณภาพด้านเคมีของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เกิดจากอิทธิพลหลัก (Main effect) ของสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก

สิ่งทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (g/100g)
สายพันธุ์			
มะม่วงแก้ว	3.37±0.27[b]	13.93±1.10[a]	0.08±0.03[a]
มะม่วงโชคอนันต์	3.58±0.43[a]	13.28±0.66[b]	0.07±0.03[b]
ระดับความสุก			
12-14 ° Brix	3.09±0.07[c]	12.88±0.35[a]	0.11±0.01[a]
15-17 ° Brix	3.46±0.04[b]	13.20±0.01[a]	0.08±0.01[b]
18-20 ° Brix	3.89±0.25[a]	14.73±0.73[b]	0.04±0.01[c]

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คุณภาพด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากอิทธิพลหลักของสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุกในตาราง 4.14 อธิบายได้ว่า สิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงสองสายพันธุ์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงแก้วมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดสูงกว่าสิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงโชคอนันต์ ในขณะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า

ระดับความสุกที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล่าวคือ สิ่งทดลองที่เตรียมจากมะม่วงที่มีความสุกแตกต่างกัน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณกรดที่ไตเตรทได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้พบว่าสิ่งทดลองจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้และค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นตามระดับความสุกในทางตรงกันข้ามจะมีปริมาณกรดลดลง

ตาราง 4.15 : คุณภาพด้านเคมีของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร ที่เกิดจากอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างสายพันธุ์มะม่วงและระดับความสุก

สิ่งทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (g/100g)
มะม่วงแก้ว 12-14 ° Brix	3.04 ± 0.04^{f}	13.20 ± 0.01^{c}	0.11 ± 0.01^{a}
มะม่วงแก้ว 15-17 ° Brix	3.42 ± 0.01^{d}	13.20 ± 0.01^{c}	0.08 ± 0.01^{c}
มะม่วงแก้ว 18-20 ° Brix	3.65 ± 0.03^{b}	15.40 ± 0.01^{a}	0.05 ± 0.01^{e}
มะม่วงโชคอนันต์ 12-14 ° Brix	3.14 ± 0.04^{e}	12.57 ± 0.06^{d}	0.10 ± 0.01^{b}
มะม่วงโชคอนันต์ 15-17 ° Brix	3.49 ± 0.01^{c}	13.20 ± 0.01^{c}	0.07 ± 0.01^{d}
มะม่วงโชคอนันต์ 18-20 ° Brix	4.12 ± 0.02^{a}	14.07 ± 0.01^{b}	0.03 ± 0.01^{f}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาคุณภาพของสิ่งทดลองที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของสองปัจจัย ในตาราง 4.15 พบว่าให้ผลในทิศทางเดียวกันกับผลของแต่ละปัจจัยทดลอง โดยพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ทั้งนี้สิ่งทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 3.04 ± 0.04 ถึง 4.12 ± 0.02 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 12.57 ± 0.06 ถึง 15.40 ± 0.01 องศาบริกซ์ และมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกอยู่ระหว่าง 0.03 ± 0.01 ถึง 0.11 ± 0.01 กรัมต่อร้อยกรัม กล่าวได้ว่ามะม่วงทั้งสองสายพันธุ์ที่มีความสุกเพิ่มขึ้นจะยิ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีปริมาณกรดลดลงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น

การทดลองต่อไปจึงเป็นการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่ใช้วัตถุดิบที่เหมาะสมคือมะม่วงแก้วที่มีความสุกสูงสุด (18-20 องศาบริกซ์) โดยทำการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมต่างๆ เพื่อให้ได้รับการยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด

4.2 ผลการทดลองหาสูตรการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

4.2.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำสมุนไพรผสม

ผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรประกอบด้วยน้ำสมุนไพรผสมจากน้ำสมุนไพรสามชนิด ได้แก่ ชะเอม มินต์ และคาโมมายล์ ซึ่งจำเป็นต้องหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ในการทดลองนี้ได้เพิ่มปริมาณน้ำสมุนไพรผสมในสูตรจากเดิมร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 30 ของผลิตภัณฑ์เพื่อให้กลิ่นรสของสมุนไพรชัดเจนขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณน้ำสมุนไพรผสมทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำเข้ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณน้ำมะม่วงจากเดิมร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 40 เพื่อปรับให้สีโดยรวมของผลิตภัณฑ์เป็นสีเหลืองสว่างดังลักษณะสีปรากฏในอุดมคติของผู้ทดสอบชิมตามที่ได้มีการสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์ไว้ ทั้งนี้ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่น้ำมะม่วง น้ำตาล กรดซิตริก เกลือ และคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส ยังคงกำหนดให้ใช้ในปริมาณเดิม

การผันแปรอัตราส่วนของน้ำสมุนไพรแต่ละชนิดทำโดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture design ซึ่งในแต่ละสิ่งทดลองจะประกอบด้วยสมุนไพรในอัตราส่วนต่างกันแต่รวมกันได้เท่ากับ 1.0 หรือร้อยละ100 ดังแสดงในตาราง 4.16 จากนั้นนำสิ่งทดลองทั้งหมดไปผ่านกระบวนการเตรียมเป็นเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ตาราง 4.16 : สิ่งทดลองในการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำสมุนไพรผสม

สิ่งทดลอง	อัตราส่วนสมุนไพร (ร้อยละ)			ผลรวม (ร้อยละ)
	ชะเอม	มินต์	คาโมมายล์	
1	10	30	60	100
2	10	50	40	100
3	30	30	40	100
4	20	50	30	100
5	30	40	30	100

ผลวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส กายภาพ และเคมี แสดงในตาราง 4.17, 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ

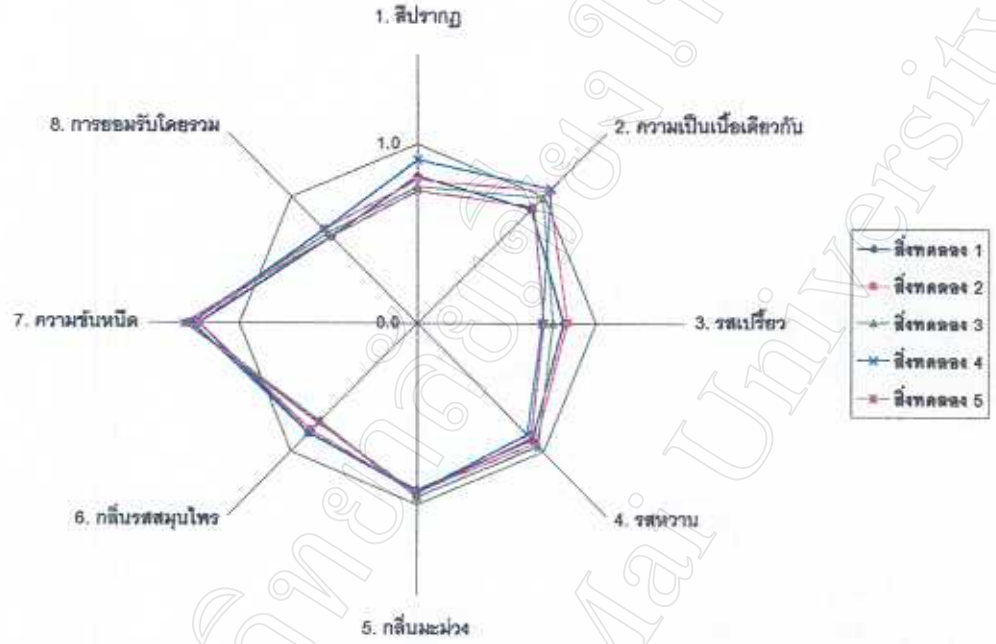
ตาราง 4.17 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรปริมาณน้ำชะเอม มินต์และคาโมมายล์

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน
1	0.82±0.25	0.90±0.17	0.82±0.29	0.91±0.13
2	0.80±0.22	1.04±0.12	0.84±0.29	0.94±0.12
3	0.76±0.22	0.99±0.17	0.76±0.34	0.96±0.12
4	0.91±0.16	1.06±0.10	0.70±0.21	0.87±0.08
5	0.74±0.24	0.92±0.25	0.71±0.20	0.90±0.10
สิ่งทดลอง	**คุณภาพด้านประสาทสัมผัส**			
	กลิ่นมะม่วง	**กลิ่นรสสมุนไพร**	**ความข้นหนืด**	**การยอมรับโดยรวม**
1	0.92±0.08	0.86±0.21	1.22±0.27	0.68±0.18
2	0.93±0.06	0.84±0.18	1.22±0.23	0.74±0.14
3	0.96±0.07	0.77±0.27	1.29±0.26	0.71±0.18
4	0.93±0.12	0.86±0.21	1.26±0.27	0.74±0.18
5	0.94±0.06	0.78±0.25	1.30±0.27	0.68±0.18

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อนำคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสหรือค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) ของแต่ละสิ่งทดลองในตาราง 4.17มาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกราฟใยแมงมุมดังภาพ 4.15 พบว่าสิ่งทดลองมีคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสในแต่ละลักษณะแตกต่างกันบ้างแต่ในภาพรวมมีทิศทางคล้ายคลึงกัน กล่าวคือสิ่งทดลองมีคะแนนความชอบด้านสีปรากฏต่ำกว่าค่าในอุดมคติเนื่องจากมีสีค่อนข้างคล้ำ เกิดจากการเพิ่มปริมาณน้ำสมุนไพรผสมในสูตรจากเดิมร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 30 อย่างไรก็ตามพบว่าสิ่งทดลองยังคงมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสมุนไพรน้อยกว่าค่าในอุดมคติซึ่งแสดงว่ายังมีกลิ่นรสสมุนไพรอ่อนกว่าระดับที่ผู้บริโภคต้องการ แต่ไม่สามารถเพิ่มปริมาณน้ำสมุนไพรผสมในสูตรได้มากกว่านี้ เนื่องจากมีผลกระทบทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำเข้ม เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าในอุดมคติแสดงว่ายังสามารถปรับปรุงรสเปรี้ยวโดยเพิ่มปริมาณกรดซิตริกลงไปได้อีก สิ่งทดลองมี

คะแนนความชอบด้านความข้นหนืดสูงกว่าค่าในอุดมคติซึ่งเกิดจากการเพิ่มปริมาณน้ำมะม่วงในสูตรมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความความหนืดสูงเกินไป จึงต้องพัฒนาเพื่อลดความหนืดลง นอกจากนี้สิ่งทดลองยังมีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำจึงต้องพัฒนาให้มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงขึ้นด้วย



ภาพ 4.15 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรปริมาณน้ำชะเอม มินต์และคาโมมายล์

ตาราง 4.18 : คุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรปริมาณน้ำชะเอม มินต์และคาโมมายล์

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความหนืด* (Centipoise)
	L	a	b	
1	65.94±0.13	6.41±0.31	55.52±0.23	413.67±2.52
2	63.68±0.36	7.62±0.38	52.65±0.36	494.33±2.08
3	64.01±0.01	8.26±0.04	52.70±0.43	510.67±3.51
4	64.87±0.03	7.78±0.05	54.05±0.03	499.67±4.51
5	63.37±0.02	7.90±0.04	51.98±0.03	458.00±1.00

หมายเหตุ : * ค่าความหนืดวัดโดยใช้หัวเข็ม Spindle หมายเลข 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตาราง 4.18 แสดงให้เห็นว่าการผันแปรปริมาณน้ำสมุนไพรแต่ละชนิดมีผลต่อคุณภาพด้านสีและความหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าค่าสี L (ความสว่าง) มีค่าอยู่ระหว่าง 63.37±0.02 ถึง 65.94±0.13 จากการพิจารณาชนิดและปริมาณน้ำสมุนไพรที่ใช้ในสูตรพบว่าเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรทีมีค่าสี L สูงสุดจะมีน้ำคาโมมายล์เป็นส่วนประกอบอยู่มากที่สุดคือร้อยละ 60 ทั้งนี้เนื่องจากน้ำคาโมมายล์มีสีเหลืองสว่างและค่อนข้างใสกว่าน้ำสมุนไพรชนิดอื่นๆจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่างสูง เมื่อพิจารณาค่าสี a หรือค่าสีแดงพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 6.41±0.31 ถึง 8.26±0.04 มีค่าสี b หรือค่าสีเหลืองอยู่ระหว่าง 51.98±0.03 ถึง 55.52±0.23 โดยสิ่งทดลองที่มีปริมาณของน้ำชะเอมและมินต์อยู่มากจะมีค่าสี a สูง เนื่องจากน้ำสมุนไพรทั้งสองชนิดมีสีน้ำตาลแดง

เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 413.67±2.52 ถึง 499.67±4.51 เซนติพอยซ์ สาเหตุที่มีค่าความหนืดค่อนข้างสูงกว่าในการทดลองที่ผ่านมาอธิบายได้ว่าเกิดจากการเพิ่มปริมาณน้ำมะม่วงในสูตรมากขึ้นจากเดิมร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 40 ผลการทดลอง 4.1.1 ทำให้ทราบว่าในมะม่วงสุกมีปริมาณกรดเพคตินิกค่อนข้างสูง กรดเพคตินิกนี้เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดเจลและเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์

ตาราง 4.19 : คุณภาพด้านเคมีของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรปริมาณน้ำชะเอมมินต์และคาโมมายล์

สิ่งทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (g/100g)
1	4.27±0.02	11.50±0.10	0.17±0.01
2	4.36±0.01	11.37±0.06	0.15±0.01
3	4.43±0.02	11.37±0.06	0.15±0.01
4	4.30±0.02	11.57±0.06	0.18±0.01
5	4.41±0.03	11.20±0.01	0.15±0.01

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.19 แสดงถึงคุณภาพด้านเคมีของของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร 5 สิ่งทดลอง ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ระหว่าง 4.27±0.02 ถึง 4.41±0.03 ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15±0.01 ถึง 0.17±0.01 กรัมต่อร้อยกรัม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 11.20±0.01 ถึง 11.57±0.06 องศาบริกซ์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำสมุนไพรสามชนิด สามารถใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear regression) หารูปแบบสมการถดถอยระหว่างค่าสังเกตและปัจจัยทดลอง โดยทำ Regression analysis ระหว่างคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสแต่ละลักษณะกับระดับของปัจจัยทดลองทีละสองปัจจัยรวมทั้ง Interaction ของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ได้สมการความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนี้

สีปรากฏ = 6.3228(L)+2.8588(M)-15.6748(LxM)	R^2=0.9924
สีปรากฏ = 5.5542(L)+2.4062(C)-11.9684(LxC)	R^2=0.9942
สีปรากฏ = 3.2502(M)+3.0696(C)-8.6861(MxC)	R^2=0.9932
ความเป็นเนื้อเดียวกัน = 3.8911(L)+2.4507(M)-10.0069(LxM)	R^2=0.9968
ความเป็นเนื้อเดียวกัน = 5.4886(L)+2.1512(C)-13.3439(LxC)	R^2=0.9801
ความเป็นเนื้อเดียวกัน = 2.5991(M)+1.8148(C)-5.0980(MxC)	R^2=0.9967
รสเปรี้ยว = 4.2941(L)+2.1996(M)-12.5430(LxM)	R^2=0.9929
รสเปรี้ยว = 3.1619(L)+1.7713(C)-7.8501(LxC)	R^2=0.9896
รสเปรี้ยว = 1.3015(M)+1.4040(C)-2.0649(MxC)	R^2=0.9964
รสหวาน = 4.8792(L)+2.3140(M)-12.7083(LxM)	R^2=0.9950
รสหวาน = 4.0148(L)+1.8833(C)-8.7455(LxC)	R^2=0.9910
รสหวาน = 2.2922(M)+2.1548(C)-5.6186(MxC)	R^2=0.9952

กลิ่นมะม่วง = 4.4891(L)+2.2548(M)-11.1622(LxM) R^2=0.9933

กลิ่นมะม่วง = 4.6011(L)+1.9452(C)-10.3879(LxC) R^2=0.9929

กลิ่นมะม่วง = 2.5829(M)+2.2908(C)-6.5929(MxC) R^2=0.9975

กลิ่นรสสมุนไพร = 3.4733(L)+2.1623(M)-9.5590(LxM) R^2=0.9880

กลิ่นรสสมุนไพร = 4.4404(L)+1.9681(C)-11.6107(LxC) R^2=0.9919

กลิ่นรสสมุนไพร = 1.8578(M)+1.6204(C)-3.6973(MxC) R^2=0.9999

ความข้นหนืด = 5.8139(L)+2.8967(M)-13.7586(LxM) R^2=0.9926

ความข้นหนืด = 6.4631(L)+2.5659(C)-14.4415(LxC) R^2=0.9943

ความข้นหนืด = 3.7537(M)+3.2677(C)-10.0840(MxC) R^2=0.9977

การยอมรับโดยรวม = 3.0396(L)+1.7839(M)-7.8926(LxM) R^2=0.9955

การยอมรับโดยรวม = 3.7972(L)+1.5628(C)-9.2063(LxC) R^2=0.9863

การยอมรับโดยรวม = 1.8223(M)+1.4204(C)-3.8194(MxC) R^2=0.9979

เมื่อ L คือ ชะเอม มีปริมาณร้อยละ 10-30

M คือ มินต์ มีปริมาณร้อยละ 30-50

C คือ คาโมมายล์ มีปริมาณร้อยละ 30-60

สมการดังกล่าวจะนำมาทำ Partial derivatives และใช้เทคนิค Lag range จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาอัตราส่วนของปัจจัยทดลองที่เหมาะสมต่อลักษณะนั้นๆ โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น (POM) ดังตัวอย่างในภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเชิงเส้นทำให้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำสมุนไพรสามชนิด ได้แก่ ชะเอม มินต์ และคาโมมายล์ ดังต่อไปนี้

ตาราง 4.20 : อัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำชะเอม มินต์ และคาโมมายล์

ลักษณะด้านประสาทสัมผัส	ปริมาณน้ำสมุนไพร (ร้อยละ)		
	ชะเอม	มินต์	คาโมมายล์
สีปรากฏ	21	41	38
กลิ่นมะม่วง	20	38	42
ความข้นหนืด	20	38	42
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	20±0.01	39±0.01	41±0.02

ตาราง 4.20 อธิบายได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำสมุนไพรสามชนิด ขึ้นกับลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีปรากฏ กลิ่นมะม่วง และความข้นหนืด โดยเมื่อนำค่าปริมาณน้ำสมุนไพรที่เหมาะสมของแต่ละลักษณะมาหาค่าเฉลี่ยจะได้อัตราส่วนของน้ำสมุนไพรผสม คือ น้ำชะเอม ร้อยละ 20±0.01 น้ำมินต์ร้อยละ 39±0.01 และน้ำคาโมมายล์ร้อยละ 41±0.02 อย่างไรก็ตาม ปริมาณของน้ำสมุนไพรผสมจากสมุนไพรทั้งสามชนิดดังกล่าวจำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในสูตรผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรต่อไป

4.2.2 ผลการกลั่นกรองปัจจัยทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

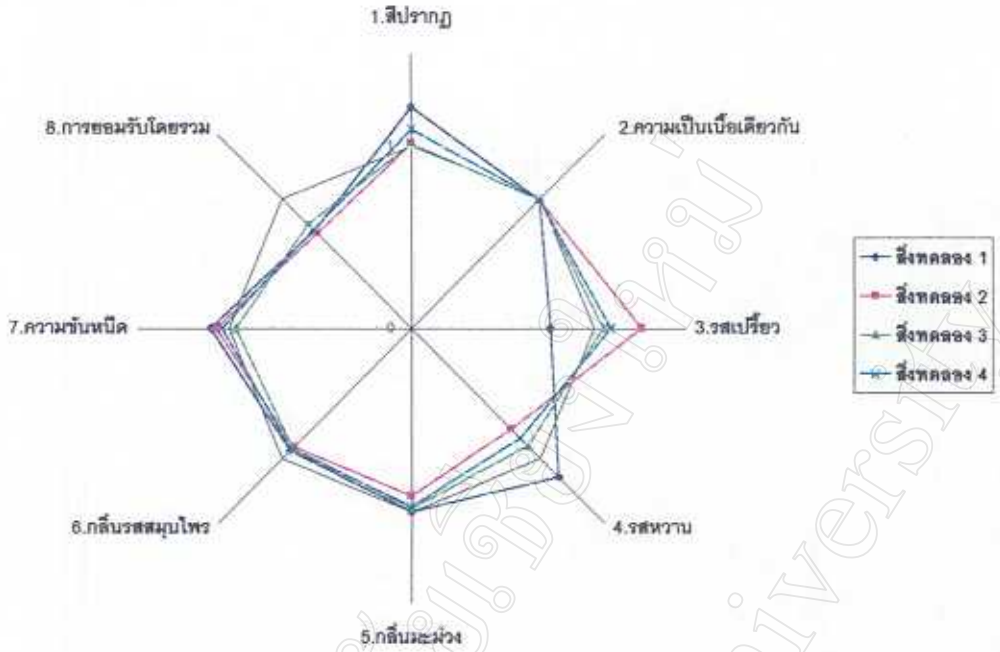
ผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรประกอบด้วย น้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส กรดซิตริก น้ำสมุนไพรผสม เกลือ และคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส ซึ่งทั้งหมดล้วนเป็นปัจจัยที่ต้องทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสม การทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ว่ามีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างไรบ้าง แล้วจึงทำการกลั่นกรองให้ได้เฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้แผนการทดลอง Plackett & Burman ซึ่งประกอบด้วยสิ่งทดลองทั้งหมด 12 สิ่งทดลองซึ่งมีปริมาณส่วนประกอบที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส กายภาพ และเคมี ดังต่อไปนี้

ตาราง 4.21 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรในการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง

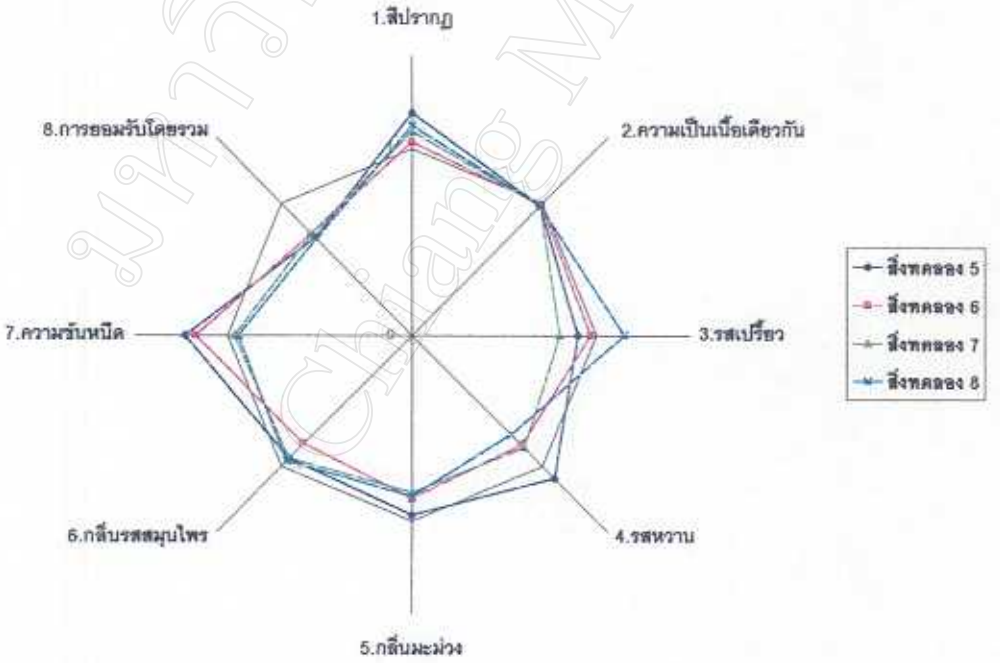
สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส							
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน	กลิ่นมะม่วง	กลิ่นสมุนไพร	ความข้นหนืด	การยอมรับโดยรวม
1	1.21±0.19	0.99±0.02	0.76±0.27	1.14±0.27	1.00±0.07	0.94±0.25	1.10±0.28	0.75±0.07
2	1.01±0.05	0.99±0.02	1.26±0.26	0.77±0.26	0.91±0.11	0.91±0.22	1.07±0.13	0.73±0.10
3	1.01±0.04	0.99±0.03	1.05±0.08	0.90±0.16	0.98±0.03	0.92±0.16	0.96±0.11	0.80±0.10
4	1.09±0.17	0.99±0.02	1.09±0.13	0.84±0.20	0.97±0.04	0.93±0.14	1.04±0.07	0.76±0.06
5	1.19±0.17	0.98±0.04	0.90±0.15	1.09±0.24	0.97±0.07	0.94±0.17	1.23±0.24	0.74±0.12
6	1.03±0.05	0.99±0.03	0.97±0.11	0.84±0.21	0.88±0.19	0.83±0.15	1.17±0.23	0.77±0.10
7	1.09±0.17	0.98±0.05	0.80±0.24	0.86±0.22	0.85±0.18	0.94±0.24	0.96±0.12	0.77±0.09
8	1.12±0.10	0.98±0.05	1.15±0.20	0.76±0.26	0.87±0.19	0.96±0.23	0.94±0.12	0.73±0.07
9	1.02±0.12	0.98±0.03	0.93±0.10	1.06±0.17	0.97±0.09	0.85±0.25	1.06±0.16	0.77±0.11
10	1.21±0.19	0.99±0.02	1.32±0.26	0.72±0.24	0.84±0.10	0.89±0.27	1.05±0.21	0.71±0.09
11	1.08±0.10	0.99±0.02	1.10±0.14	0.87±0.29	0.94±0.07	0.92±0.19	0.96±0.11	0.79±0.09
12	0.90±0.01	0.99±0.02	0.97±0.19	0.78±0.11	0.96±0.10	0.96±0.28	1.10±0.11	0.70±0.09

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสของแต่ละสิ่งทดลอง สามารถนำมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกราฟใยแมงมุม ดังภาพ 4.16 ,4.17 และ 4.18 ต่อไปนี้

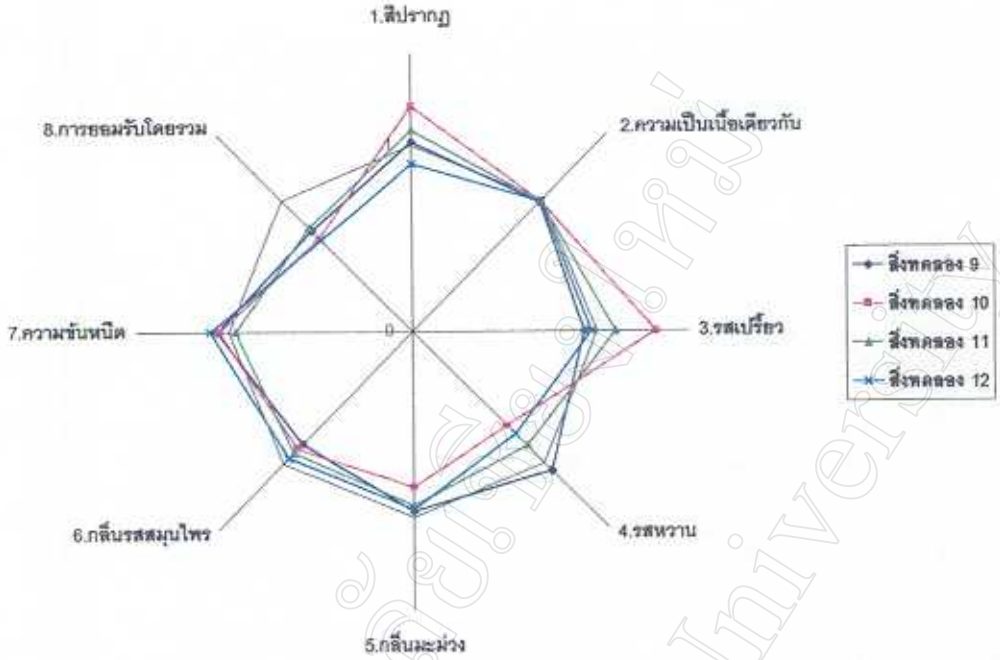


ภาพ 4.16 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรในการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง สิ่งทดลองที่ 1-4



ภาพ 4.17 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรในการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง สิ่งทดลองที่ 5-8

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



ภาพ 4.18 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรในการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง สิ่งทดลองที่ 9-12

ตาราง 4.21 แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่มีปริมาณส่วนประกอบที่แตกต่างกันมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัสแตกต่างกัน เช่นเดียวกับคุณภาพด้านกายภาพและเคมีในตาราง 4.22 และ 4.23 ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตาราง 4.22 : คุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรในการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความหนืด (Centipoise)
	L	a	b	
1	69.89±0.42	3.06±0.37	62.07±0.35	336.13±1.22
2	75.46±0.74	-0.66±0.60	63.63±1.64	225.07±1.29
3	75.20±1.88	-0.89±1.29	59.96±3.94	118.80±0.40
4	70.28±0.87	3.68±0.80	65.14±0.77	180.13±1.51
5	72.16±0.53	0.91±0.54	61.38±0.56	276.40±4.45
6	73.67±0.24	-0.38±0.23	62.04±0.55	273.20±2.12
7	74.54±1.06	-1.55±0.65	53.44±2.36	129.33±0.23
8	69.17±1.18	2.90±1.01	59.12±0.16	125.87±0.23
9	75.73±1.33	-2.82±0.74	53.14±3.08	146.27±0.61
10	73.86±1.30	-0.64±1.04	58.52±2.39	167.07±0.23
11	72.44±1.29	-0.28±0.94	56.16±1.61	123.20±0.10
12	74.77±1.11	-2.19±0.99	62.17±1.51	205.60±0.44

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตาราง 4.23 : คุณภาพด้านเคมีของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรในการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง

สิ่งทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (g/100g)
1	3.94±0.11	16.77±0.06	0.23±0.01
2	3.37±0.03	11.67±0.12	0.43±0.01
3	3.23±0.01	15.20±0.01	0.40±0.01
4	3.29±0.01	16.00±0.01	0.42±0.01
5	3.50±0.03	16.47±0.06	0.33±0.01
6	3.67±0.02	11.50±0.10	0.30±0.01
7	3.55±0.01	9.77±0.06	0.25±0.01
8	3.33±0.02	10.20±0.01	0.41±0.01
9	3.76±0.02	14.77±0.06	0.21±0.01
10	3.29±0.03	12.20±0.06	0.46±0.01
11	3.35±0.02	15.00±0.06	0.41±0.01
12	3.52±0.02	10.40±0.01	0.31±0.01

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มากน้อยต่างกัน ทำให้สามารถแบ่งประเภทของปัจจัยทดลองออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ ปัจจัยหลัก (Major factors) คือปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และปัจจัยรอง (Minor factors) คือปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย เกณฑ์ในการพิจารณาขึ้นอยู่กับว่าแต่ละปัจจัยทดลองมีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากน้อยเพียงไร

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยคุณภาพแต่ละลักษณะของสิ่งทดลองจะนำมาหาผล (Effect) ของปัจจัยทดลองที่มีต่อลักษณะนั้นๆ ดังสมการต่อไปนี้

ผลของปัจจัย = ผลตอบสนองเมื่อใช้ที่ระดับสูง − ผลตอบสนองเมื่อใช้ที่ระดับต่ำ
จำนวนสิ่งทดลองที่ใช้ระดับสูง จำนวนสิ่งทดลองที่ใช้ระดับต่ำ

ผลของ Dummy (Effect of dummy) จะถูกนำมารวมกันเพื่อประมาณค่าความแปรปรวนของผลจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ความแปรปรวน (Variance of effect) = (ผลรวมของ dummy)^2
จำนวนของ Dummy

ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากผลของ Dummy คำนวณได้ดังนี้

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน = (ความแปรปรวน)$^{1/2}$

ความแตกต่างทางสถิติของแต่ละปัจจัยสามารถคำนวณได้โดยใช้ t-test

t-value = ผลของปัจจัยแต่ละปัจจัย
ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

การทดสอบความแตกต่างทางสถิติทำโดยนำค่า t-value ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับตารางค่า t-test ที่มีค่า Degree of freedom เท่ากับจำนวนของ Dummy ในการทดลอง และมีระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบคือร้อยละ 80 หรือ $p \leq 0.20$ เหตุที่ใช้ระดับความเชื่อมั่นต่ำนั้นเพื่อลดการมองข้ามปัจจัยที่น่าจะมีความสำคัญไป

ปัจจัยที่มีความสำคัญคือปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลายๆด้าน นอกจากนี้การคำนวณผลของปัจจัย (Effect) ซึ่งมีค่าบวกหรือลบ ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้ปัจจัยระดับต่ำหรือสูงให้ผลอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบแนวโน้มว่าควรใช้ระดับของปัจจัยสูงหรือต่ำจึงจะทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการมากที่สุด ข้อพึงระวังในการพิจารณาคือแผนการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของปัจจัยโดยคำนึงถึงอิทธิพลหลัก (Main effect) เท่านั้น ไม่สามารถอธิบายอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ของปัจจัยได้ (ไพโรจน์, 2539)

ตาราง 4.24 : อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ปัจจัยทดลอง	สีปรากฏ		ความเป็นเนื้อเดียวกัน		รสเปรี้ยว		รสหวาน	
	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value
1 น้ำมะม่วง	0.080	4.022 [d]	0.003	1.000	0.050	0.876	0.033	1.240
2 ซูโครส	0.033	1.676 [a]	0.000	0.000	-0.107	-1.868 [b]	0.190	7.070 [c]
3 กรดซิตริก	0.007	0.335	0.003	1.000	0.273	4.787 [d]	-0.157	-5.830 [d]
4 เกลือ	0.017	0.838	0.000	0.000	-0.010	-0.175	0.050	1.861 [b]
5 CMC	-0.010	-0.503	0.000	0.000	0.007	0.117	0.037	1.364
6 น้ำสมุนไพร	0.133	6.704 [d]	-0.003	-1.000	-0.040	-0.701	0.037	1.364

ปัจจัยทดลอง	กลิ่นมะม่วง		กลิ่นสมุนไพร		ความข้นหนืด		การยอมรับโดยรวม	
	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value
1 น้ำมะม่วง	0.000	0.000	-0.018	-0.684	0.113	3.885 [d]	-0.017	-0.863
2 ซูโครส	0.087	4.021 [d]	0.002	0.062	0.010	0.343	0.033	1.725 [c]
3 กรดซิตริก	-0.020	-0.928	0.012	0.435	-0.100	-3.428 [d]	0.003	0.173
4 เกลือ	-0.007	-0.309	-0.015	-0.560	-0.040	-1.371 [a]	0.007	0.345
5 CMC	0.000	0.000	-0.028	-1.057	-0.007	-0.229	0.010	0.518
6 น้ำสมุนไพร	-0.033	-1.547 [a]	0.032	1.182	-0.027	-0.914	-0.007	-0.345

หมายเหตุ ค่า Degree of freedom เท่ากับ 5

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงระดับความมีนัยสำคัญดังนี้

a หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 มีค่า t-table เท่ากับ 1.476

b หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 มีค่า t-table เท่ากับ 1.699

c หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 มีค่า t-table เท่ากับ 2.015

d หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่า t-table เท่ากับ 2.571

ตาราง 4.25 : อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ปัจจัยทดลอง	ความหนืด		ค่าสี L		ค่าสี a		ค่าสี b	
	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value
1 น้ำมะม่วง	101.488	4.282 [d]	-1.088	-0.908	1.800	1.520 [a]	4.798	2.744 [d]
2 ซูโครส	9.132	0.385	-0.962	-0.802	1.030	0.870	-0.178	-0.102
3 กรดซิตริก	-71.132	-3.001 [d]	-0.725	-0.605	1.180	0.996	1.382	0.790
4 เกลือ	-10.288	-0.434	2.032	1.695 [a]	-1.357	-1.146	-2.545	-1.455
5 CMC	25.402	1.072	-0.742	-0.619	0.417	0.352	-0.738	-0.422
6 น้ำสมุนไพร	1.488	0.063	-2.175	-1.815 [b]	1.277	1.078	-2.565	-1.467

ตาราง 4.26 : อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพด้านเคมีของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ปัจจัยทดลอง	ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก		ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		ของแข็งที่ละลายได้ (° Brix)	
	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value
1 น้ำมะม่วง	0.028	1.968 [b]	0.053	1.196	1.545	6.846 [d]
2 ซูโครส	-0.025	-1.737 [b]	0.057	1.271	4.745	21.025 [d]
3 กรดซิตริก	0.148	10.304 [d]	-0.347	-7.773 [d]	0.098	0.436
4 เกลือ	-0.032	-2.200 [c]	0.080	1.794 [b]	0.135	0.598
5 CMC	-0.028	-1.968 [b]	0.173	3.887 [d]	-0.022	-0.096
6 น้ำสมุนไพร	0.002	0.116	0.020	0.448	0.145	0.643

หมายเหตุ ค่า Degree of freedom เท่ากับ 5

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงระดับความมีนัยสำคัญดังนี้

a หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 มีค่า t-table เท่ากับ 1.476

b หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 มีค่า t-table เท่ากับ 1.699

c หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 มีค่า t-table เท่ากับ 2.015

d หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่า t-table เท่ากับ 2.571

ผลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรอธิบายได้ดังต่อไปนี้

น้ำมะม่วง มีผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสกล่าวคือการเพิ่มปริมาณน้ำมะม่วงทำให้คะแนนความชอบด้านสีปรากฏและความข้นหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งยังมีแนวโน้มทำให้ความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันและรสหวานเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามมีแนวโน้มทำให้คะแนนการยอมรับโดยรวมลดลง เห็นได้ว่าการใช้น้ำมะม่วงในระดับสูงทำให้เกิดผลดีต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้ที่ระดับต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมะม่วงที่ระดับสูงทำให้คะแนนความชอบด้านสีปรากฏและความข้นหนืดสูงกว่าค่าในอุดมคติ ($I=1.00$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองสว่างและมีความข้นหนืดมากเกินไปจึงจำเป็นต้องลดปริมาณน้ำมะม่วงลง อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดด้านกฎหมายซึ่งกำหนดให้เนคต้ามะม่วงต้องประกอบด้วยน้ำมะม่วงอย่างน้อยร้อยละ 30 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2527)

เมื่อพิจารณาผลต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมะม่วงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าสี b และค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทำให้ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$) และทำให้ค่าสี a เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น

น้ำตาลซูโครส เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสพบว่าการใช้น้ำตาลซูโครสในระดับสูงทำให้คะแนนความชอบด้านรสหวานและกลิ่นมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทำนองเดียวกันทำให้คะแนนการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$) และความชอบด้านสีปรากฏเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) ในทางตรงข้ามทำให้คะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$) การใช้น้ำตาลซูโครสในระดับสูงทำให้เกิดผลดีต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้ที่ระดับต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยเฉพาะด้านรสหวานและการยอมรับโดยรวมจะพบว่ายังคงมีค่าต่ำกว่าค่าในอุดมคติ จึงควรทำการทดลองหาปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมต่อไปโดยผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสให้สูงขึ้น เพื่อทำให้คะแนนความชอบด้านรสหวานและการยอมรับโดยรวมเข้าใกล้ค่า 1.00

การใช้น้ำตาลซูโครสในระดับสูงส่งผลต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีคือทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ทำให้ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$) และมีแนวโน้มทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น

กรดซิตริก มีผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสโดยพบว่าการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกทำให้คะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามทำให้คะแนนความชอบด้านความข้นหนืดและรสหวานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จะเห็นได้ว่าการใช้กรดซิตริกในระดับสูงทำให้เกิดผลดีต่อผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้ที่ระดับต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยเฉพาะด้านรสเปรี้ยว พบว่าสิ่งทดลองส่วนใหญ่มีค่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติดีแล้ว ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงไม่ควรผันแปรปริมาณกรดสูงมากกว่าร้อยละ 0.30

การใช้กรดซิตริกในระดับสูงทำให้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทางตรงข้ามทำให้ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มทำให้ค่าสี a เพิ่มขึ้น

เกลือ มีผลต่อคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสโดยพบว่าการเพิ่มปริมาณเกลือทำให้คะแนนความชอบด้านรสหวานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$) ในขณะที่พบว่ามีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านความข้นหนืดลดลง

ผลของเกลือที่มีต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรอธิบายได้ว่าการเพิ่มปริมาณเกลือทำให้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$) และทำให้ค่าสี L เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มทำให้ค่าสี b ลดลง

การใช้เกลือที่ระดับต่ำน่าจะส่งผลดีต่อคุณภาพด้านเคมีของผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้ที่ระดับสูง การทดลองต่อไปจึงกำหนดให้ใช้ปริมาณเกลือที่ระดับต่ำ

คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส การใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสในระดับสูงมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านรสหวานเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาผลต่อคุณภาพด้านเคมีพบว่าทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทางตรงข้ามและทำให้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$)

เห็นได้ว่าการใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสในระดับต่ำจะส่งผลให้เกิดผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้ระดับสูง เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงและมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวในแง่จุลินทรีย์มากกว่า นอกจากนี้ความแตกต่างของการใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่ระดับต่ำหรือสูงไม่ได้ส่งผลต่อคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน การใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสในระดับต่ำยังเป็นการประหยัด การทดลองต่อไปจึงกำหนดให้ใช้ปริมาณคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่ระดับต่ำ

น้ำสมุนไพรผสม ในด้านคุณภาพด้านประสาทสัมผัสพบว่าการใช้ปริมาณน้ำสมุนไพรผสมในระดับสูงทำให้คะแนนความชอบด้านสีปรากฏเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) และมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านรสหวานเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามทำให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นมะม่วงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.20$) การเพิ่มปริมาณน้ำสมุนไพรผสมมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นสมุนไพรสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้น้ำสมุนไพรในระดับสูงทำให้คะแนนความชอบด้านสีปรากฏสูงกว่าค่าในอุดมคติและทำให้ความชอบด้านกลิ่นมะม่วงลดลงจากค่าในอุดมคติ ในขณะที่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านรสหวานและกลิ่นสมุนไพรน้อยมาก พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำสมุนไพรผสมมีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพคือ ทำให้ค่าสี L ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.15$) และทำให้ค่าสี b ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.25$) การใช้ปริมาณน้ำสมุนไพรในระดับต่ำจึงน่าจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากกว่า ในการทดลองต่อไปจึงกำหนดให้ใช้น้ำสมุนไพรในระดับต่ำ

ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อคุณภาพด้านต่างๆของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ($p \leq 0.20$) เรียกว่า ปัจจัยหลัก (Major factors) ซึ่งมี 3 ปัจจัยได้แก่ น้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริก ซึ่งนำไปสู่การทดลองหาระดับที่เหมาะสมต่อไป โดยผันแปรช่วงระดับที่ทดลองเป็นดังนี้

น้ำมะม่วง	ยังคงไว้ที่ช่วงระดับที่ทดลองเดิมคือร้อยละ 30-40
น้ำตาลซูโครส	ช่วงระดับที่ทดลองเดิมคือร้อยละ 5-10 กำหนดใหม่เป็นร้อยละ 5-15
กรดซิตริก	ยังคงไว้ที่ช่วงระดับที่ทดลองเดิมคือร้อยละ 0.10-0.30

ปัจจัยอื่นที่ไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากนัก เรียกว่าปัจจัยรอง (Minor factors) กำหนดให้มีระดับคงที่ ดังนี้

เกลือ	ใช้ที่ระดับต่ำ คือ ร้อยละ 0.10
คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส	ใช้ที่ระดับต่ำ คือ ร้อยละ 0.05
น้ำสมุนไพรผสม	ใช้ที่ระดับต่ำ คือ ร้อยละ 10.0

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.2.3 ผลการทดลองหาระดับที่เหมาะสมของน้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครสและกรดซิตริก

ผลการกลั่นกรองปัจจัยทดลองทำให้ทราบว่ามีปัจจัยทดลองหลักสามปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร ได้แก่ น้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริก จึงจำเป็นต้องหาระดับที่เหมาะสมโดยทำการทดลองแบบ 3^2 Factorial experiment และวางแผนการทดลองแบบ CCD (Central composite design) แต่ละปัจจัยทดลองมี 5 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับสูง (+1) ระดับกึ่งกลาง (0) และระดับ $\pm\alpha$ ทำให้ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 17 สิ่งทดลองดังนี้

ตาราง 4.27 : สิ่งทดลองในการทดลองหาระดับที่เหมาะสมของน้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริก

สิ่งทดลอง	รหัส	น้ำมะม่วง		น้ำตาลซูโครส		กรดซิตริก	
		ระดับ	ร้อยละ	ระดับ	ร้อยละ	ระดับ	ร้อยละ
1	(1)	-1	32	-1	7	-1	0.14
2	a	+1	38	-1	7	-1	0.14
3	b	-1	32	+1	13	-1	0.14
4	ab	+1	38	+1	13	-1	0.14
5	c	-1	32	-1	7	+1	0.26
6	ac	+1	38	-1	7	+1	0.26
7	bc	-1	32	+1	13	+1	0.26
8	abc	+1	38	+1	13	+1	0.26
9	$-\alpha a$	-1.682	30	0	10	0	0.2
10	$+\alpha a$	+1.682	40	0	10	0	0.2
11	$-\alpha b$	0	35	-1.682	5	0	0.2
12	$+\alpha b$	0	35	+1.682	15	0	0.2
13	$-\alpha c$	0	35	0	10	-1.682	0.1
14	$+\alpha c$	0	35	0	10	+1.682	0.3
15	0	0	35	0	10	0	0.2
16	0	0	35	0	10	0	0.2
17	0	0	35	0	10	0	0.2

สิ่งทดลองทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส กายภาพ และเคมี ผลที่ได้แสดงดังตาราง 4.28, 4.29 และ 4.30 ตามลำดับ

ตาราง 4.28 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของสิ่งทดลองเมื่อผันแปรระดับของน้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริก

สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน
1	1.13±0.15	0.94±0.18	0.88±0.11	0.97±0.20
2	1.05±0.07	1.00±0.08	1.94±0.13	1.00±0.10
3	1.10±0.06	0.98±0.06	1.94±0.07	1.12±0.16
4	1.08±0.13	1.02±0.06	1.92±0.09	1.11±0.18
5	1.04±0.10	1.00±0.01	1.15±0.13	0.87±0.13
6	1.09±0.10	0.99±0.05	1.16±0.14	0.91±0.10
7	1.06±0.06	1.02±0.06	1.15±0.13	0.94±0.10
8	1.07±0.09	1.02±0.06	1.11±0.15	1.02±0.13
9	1.02±0.09	1.00±0.01	1.01±0.10	1.00±0.11
10	1.06±0.06	1.02±0.08	1.01±0.14	0.98±0.13
11	1.06±0.11	0.99±0.02	1.06±0.10	0.87±0.11
12	1.12±0.08	0.99±0.02	1.02±0.17	1.03±0.10
13	1.12±0.09	0.97±0.10	0.81±0.11	1.08±0.09
14	1.00±0.07	1.02±0.05	1.15±0.09	0.88±0.10
15	1.06±0.12	1.00±0.01	1.02±0.04	0.97±0.10
16	1.06±0.11	1.02±0.05	0.99±0.11	1.02±0.10
17	0.01±0.07	1.02±0.07	1.03±0.14	1.00±0.11

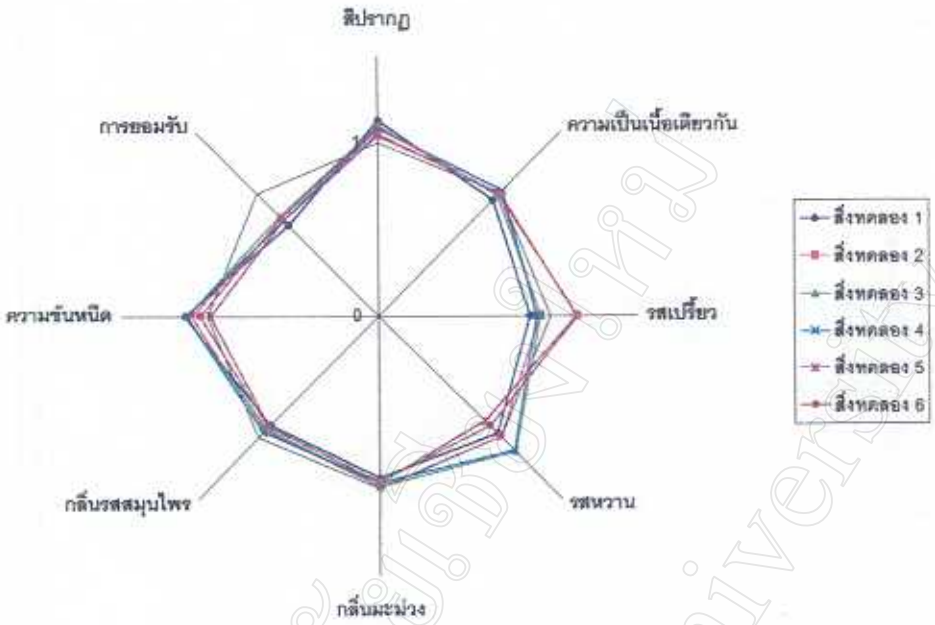
หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.28 (ต่อ)

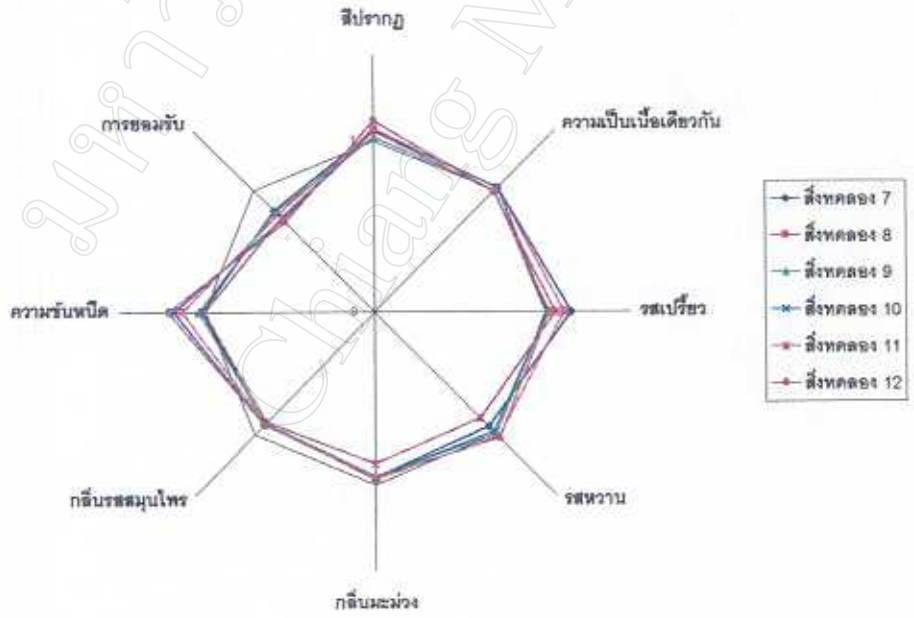
สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	กลิ่นมะม่วง	กลิ่นรสสมุนไพร	ความข้นหนืด	การยอมรับโดยรวม
1	0.94±0.05	0.90±0.15	1.13±0.16	0.74±0.13
2	0.99±0.06	0.94±0.15	1.09±0.12	0.78±0.10
3	0.99±0.06	0.93±0.12	1.12±0.14	0.81±0.12
4	0.97±0.07	0.96±0.15	1.12±0.10	0.78±0.11
5	0.97±0.04	0.91±0.13	0.98±0.04	0.78±0.06
6	0.96±0.04	0.92±0.13	1.04±0.06	0.80±0.07
7	0.96±0.06	0.92±0.12	1.01±0.07	0.83±0.11
8	0.97±0.07	0.91±0.13	1.13±0.13	0.80±0.09
9	0.95±0.08	0.91±0.16	1.03±0.09	0.82±0.10
10	0.96±0.07	0.92±0.18	1.18±0.22	0.76±0.16
11	0.88±0.11	0.90±0.14	1.00±0.21	0.77±0.11
12	0.96±0.07	0.92±0.14	1.21±0.14	0.74±0.13
13	0.89±0.15	0.92±0.17	1.22±0.17	0.73±0.14
14	0.95±0.05	0.93±0.16	1.00±0.10	0.76±0.10
15	0.98±0.03	0.92±0.18	1.05±0.07	0.82±0.09
16	0.97±0.09	0.90±0.16	1.03±0.12	0.83±0.07
17	0.95±0.07	0.92±0.14	1.06±0.07	0.83±0.08

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

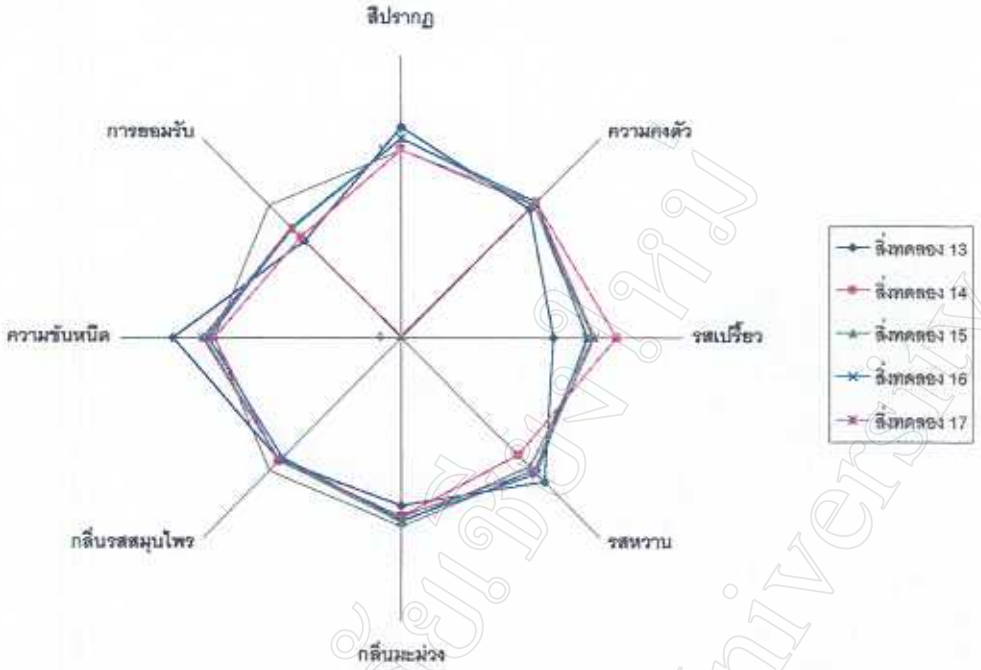
คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสแต่ละลักษณะของสิ่งทดลองสามารถนำมาสร้างกราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของสิ่งทดลอง ดังภาพ 4.19 , 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ



ภาพ 4.19 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรปริมาณน้ำมะม่วง กรดซิตริก และน้ำตาลซูโครส สิ่งทดลองที่ 1-6



ภาพ 4.20 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรปริมาณน้ำมะม่วง กรดซิตริก และน้ำตาลซูโครส สิ่งทดลองที่ 7-12



ภาพ 4.21 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรปริมาณน้ำมะม่วง กรดซิตริก และน้ำตาลซูโครส สิ่งทดลองที่ 13-17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตาราง 4.29 : คุณภาพด้านกายภาพของสิ่งทดลองเมื่อผันแปรระดับของน้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริก

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความหนืด (Centipoise)
	L	a	b	
1	64.23±0.93	10.34±0.68	59.96±1.77	191.67±2.31
2	68.59±0.02	7.05±0.22	66.85±0.30	257.67±4.61
3	68.55±0.12	6.40±1.19	66.08±0.08	239.33±4.73
4	64.74±0.48	11.00±0.35	62.29±0.75	253.00±4.58
5	68.52±0.44	5.99±0.55	66.23±0.06	155.67±0.58
6	65.18±0.65	11.03±0.51	62.60±1.02	245.67±4.16
7	70.91±0.42	3.50±0.50	66.38±0.42	177.33±2.08
8	63.94±0.34	11.87±0.23	60.92±0.68	283.00±6.24
9	72.30±0.07	1.74±0.05	65.03±0.21	137.67±0.58
10	65.80±0.28	10.29±0.27	63.35±0.74	295.00±7.55
11	68.62±0.48	6.66±0.67	66.75±0.15	171.33±3.06
12	67.68±0.55	7.62±0.61	66.62±0.75	310.67±9.07
13	67.26±0.27	8.37±0.35	65.68±0.52	289.33±7.02
14	68.98±0.23	6.76±0.16	68.54±0.26	177.67±2.52
15	68.23±0.14	6.91±0.24	67.01±0.42	191.33±5.03
16	68.01±0.25	6.21±0.28	66.19±0.10	213.00±4.58
17	70.17±0.32	4.52±0.32	68.36±0.22	197.00±3.61

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.30 : คุณภาพด้านเคมีของสิ่งทดลองเมื่อผันแปรระดับของน้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริก

สิ่งทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (g/100g)
1	3.33±0.04	13.87±0.12	0.23±0.01
2	3.46±0.02	14.93±0.12	0.25±0.01
3	3.43±0.02	19.67±0.12	0.24±0.01
4	3.48±0.02	20.67±0.12	0.27±0.01
5	3.19±0.01	14.00±0.01	0.36±0.01
6	3.25±0.01	15.20±0.01	0.37±0.01
7	3.20±0.01	19.57±0.06	0.36±0.01
8	3.26±0.03	20.00±0.01	0.37±0.01
9	3.31±0.03	16.00±0.01	0.29±0.01
10	3.24±0.02	17.87±0.12	0.32±0.01
11	3.33±0.02	11.73±0.12	0.30±0.01
12	3.32±0.02	22.07±0.12	0.30±0.01
13	3.69±0.01	16.93±0.12	0.20±0.01
14	3.25±0.02	16.93±0.12	0.40±0.01
15	3.41±0.03	16.80±0.01	0.30±0.01
16	3.39±0.01	16.57±0.06	0.29±0.01
17	3.38±0.01	16.67±0.12	0.29±0.01

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ Stepwise multiple regression หารูปแบบสมการถดถอยระหว่างผลตอบสนองกับปัจจัยทดลอง โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ลำดับสองหรือกำลังสอง (Quadratic regression model) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ได้สมการดังนี้

ลักษณะทางประสาทสัมผัส

รสเปรี้ยว	= 1.00856+0.10703(C)–0.01625(MxS)+0.01497(S)^2	R^2= 0.9631
รสหวาน	= 0.98647 – 0.05831(C) + 0.05192(S)	R^2= 0.8896
ความข้นหนืด	= 1.08235 - 0.04906(C) + 0.02872(M) + 0.03611(S)	R^2= 0.6860

ลักษณะทางกายภาพและเคมี

ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้	= 0.30176 + 0.00809(C) + 0.05977(S)	R^2=0.9811
ค่าสี L	= 67.7888-1.51506(C)–1.4750(CxM)–1.35750(CxS)	R^2=0.7150
ค่าสี a	= 7.42706+2.13066(C)+1.40250(CxM)+1.51250(CxS)	R^2=0.7662

เมื่อ M หมายถึง ปริมาณน้ำมะม่วง (ร้อยละ)
S หมายถึง ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)
C หมายถึง ปริมาณกรดซิตริก (ร้อยละ)
R^2 คือ Coefficient of determination

สมการที่ได้อยู่ในรูปที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) จึงต้องทำการถอดรหัสของปัจจัยเพื่อให้ได้สมการที่ถอดรหัส (Decoded equation) ในที่นี้เลือกเฉพาะสมการที่มี R^2 สูง ซึ่งแสดงว่าสมการนั้นใช้อธิบายความสัมพันธ์ได้ดีและสามารถใช้เป็นสมการทำนาย (Predict equation) ได้

การถอดรหัสแสดงในสมการดังนี้

$$\text{ค่าที่ถอดรหัสแล้ว} = \frac{\text{ค่าจริง}-(\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น} + \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}{(\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น} - \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}$$

สมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) แสดงดังตาราง

ตาราง 4.31 : สมการที่ถอดรหัสแล้วในการทดลองหาระดับที่เหมาะสมของน้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริก

สมการความสัมพันธ์	R^2
คุณภาพด้านประสาทสัมผัส	
รสเปรี้ยว = 0.62880 – 0.00650 (M) + 0.01077 (S) + 1.07030 (C) – 0.00065 (MxS) + 0.00059 $(S)^2$	0.9546
รสหวาน = 0.99925 + 0.010384 (S) - 0.5831 (C)	0.8738
คุณภาพด้านกายภาพและเคมี	
ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก = 0.1659 + 0.0510(C) + 0.01196(S)	0.9811
ค่าสี a = 28.8507 – 107.1180 (C) + 2.8050(CxM) – 0.5610(M) +3.0250 (CxS) - 0.6050 (S)	0.7662

หมายเหตุ M หมายถึง ปริมาณน้ำมะม่วง (ร้อยละ)
S หมายถึง ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)
C หมายถึง ปริมาณกรดซิตริก (ร้อยละ)

สมการของคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในตาราง 4.31 สามารถนำมาหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลองคือ น้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส และกรดซิตริกได้ โดยมีหลักเกณฑ์คือเลือกระดับของปัจจัยทดลองที่ทำให้คะแนนความชอบเข้าใกล้ค่าในอุดมคติ (I=1.00) มากที่สุด

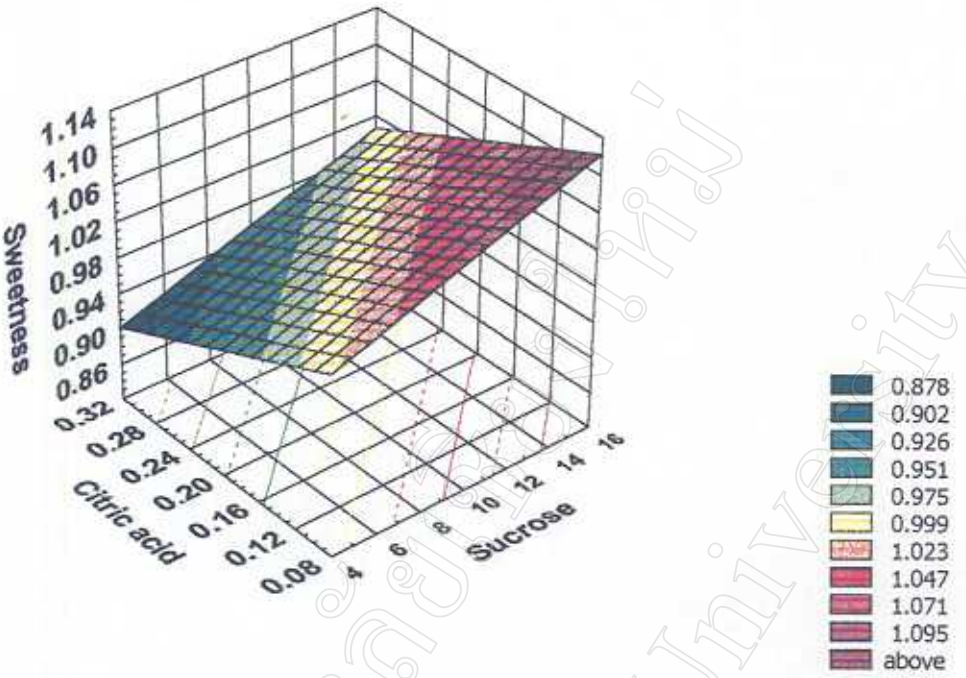
การสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองของลักษณะต่างๆที่เกิดจากปัจจัยทดลองหรือ Response Surface Methodology (RSM) มีประโยชน์ทำให้สามารถหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัยทดลองได้ ภาพ 4.22 เป็นกราฟพื้นผิวตอบสนองของความชอบด้านรสหวานที่เกิดจากปัจจัยทดลองคือน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริก อธิบายได้ว่าความชอบด้านรสหวานขึ้นตรงกับปริมาณน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริกแบบเส้นตรง ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำตาลซูโครสมีค่าเป็นบวกแสดงว่าถ้าใช้น้ำตาลในระดับสูงทำให้ความชอบด้านรสหวานเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามสัมประสิทธิ์ของกรดซิตริกมีค่าเป็นลบแสดงว่าการใช้กรดซิตริกในระดับสูงทำให้ความชอบด้านรสหวานลดลง พบว่าเมื่อใช้

น้ำตาลซูโครสปริมาณร้อยละ 15 และกรดซิตริกปริมาณร้อยละ 0.26 ทำให้ความชอบด้านรสหวานเท่ากับ 1.003 ซึ่งถือว่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด

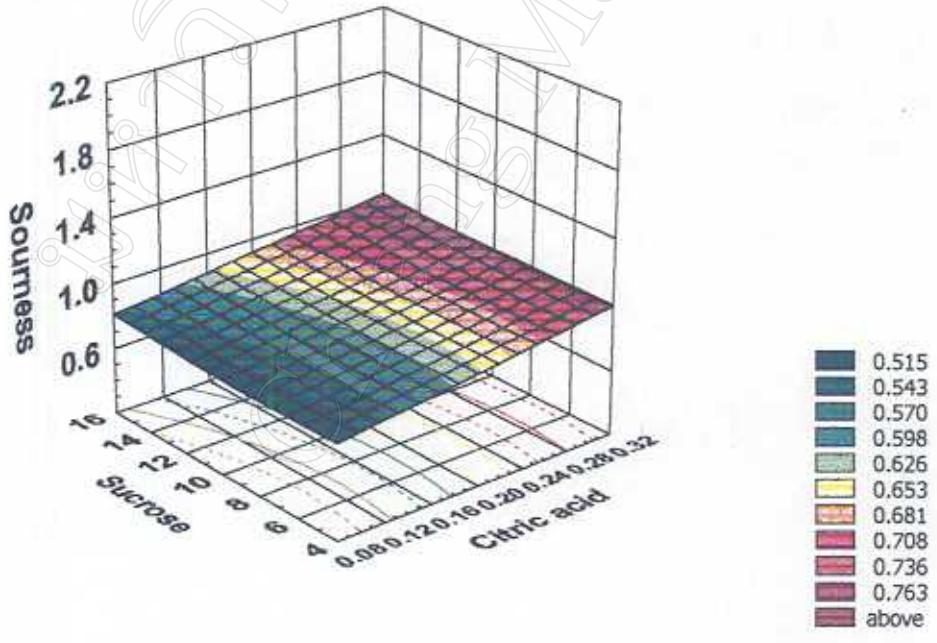
การสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองของความชอบด้านรสเปรี้ยวซึ่งมีอิทธิพลจากปัจจัยทดลองทั้ง 3 ปัจจัยนั้นไม่สามารถทำได้ จำเป็นต้องกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งให้เป็นค่าคงที่โดยพิจารณาว่าปัจจัยใดมีผลต่อความชอบด้านรสเปรี้ยวน้อยที่สุด จากสมการของความชอบด้านรสเปรี้ยวในตาราง 4.31 พบว่าน้ำมะม่วงเป็นปัจจัยทดลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริกแสดงว่าน้ำมะม่วงมีผลต่อความชอบด้านรสเปรี้ยวน้อยที่สุด ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเป็นลบแสดงว่าถ้าใช้น้ำมะม่วงที่ระดับสูงทำให้คะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวลดลง ในทางตรงกันข้ามการใช้น้ำมะม่วงที่ระดับต่ำจะทำให้คะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยวสูงขึ้น เนื่องจากระดับของน้ำมะม่วงที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 30-40 ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้น้ำมะม่วงในระดับต่ำสุดคือร้อยละ 30 แทนค่าในสมการเดิมจะทำให้ได้สมการใหม่ของความชอบด้านรสเปรี้ยวดังนี้

$$\text{รสเปรี้ยว} = 0.4338 + 1.0703(\text{กรดซิตริก}) - 0.00873(\text{ซูโครส}) + 0.00060(\text{ซูโครส})^2$$

สมการนี้นำไปสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองได้ดังภาพ 4.23 พบว่าการใช้น้ำตาลซูโครสปริมาณร้อยละ 15 และกรดซิตริกปริมาณร้อยละ 0.30 ทำให้ความชอบด้านรสเปรี้ยวของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด



ภาพ 4.22 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของคะแนนความชอบด้านรสหวาน เมื่อผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริก

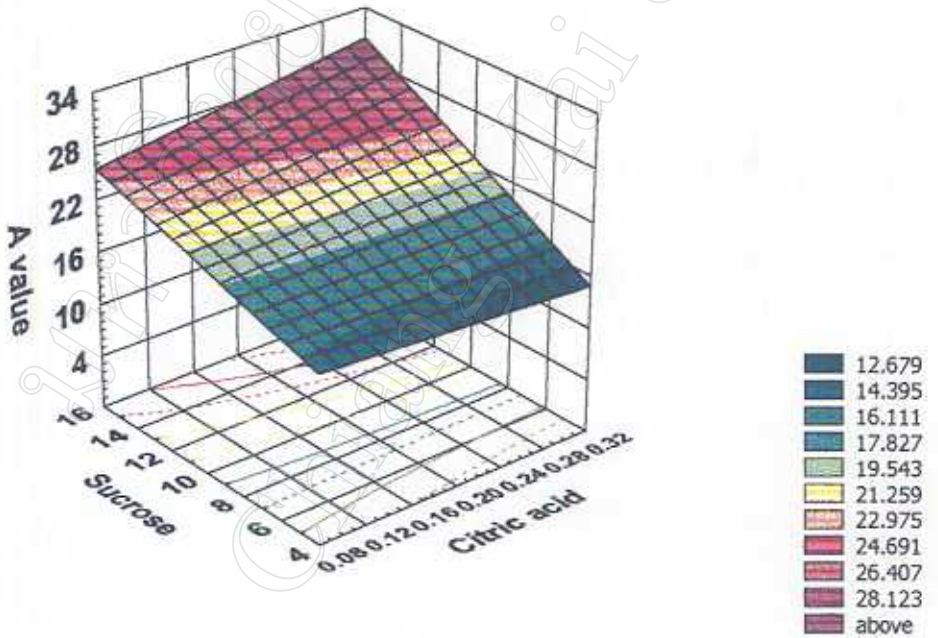


ภาพ 4.23 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของคะแนนความชอบด้านรสเปรี้ยว เมื่อกำหนดปริมาณน้ำมะม่วงเท่ากับร้อยละ 30 และผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริก

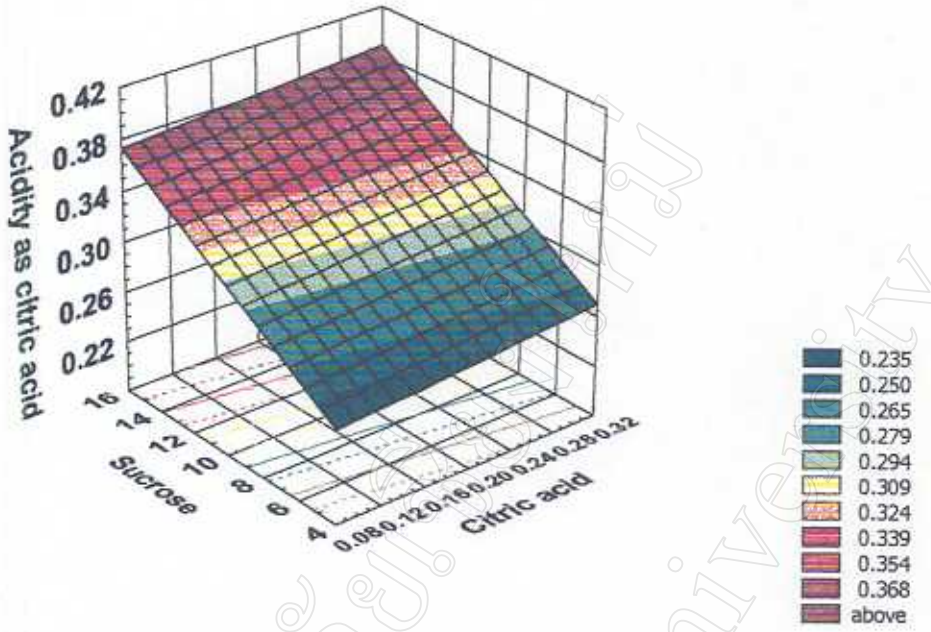
สมการของคุณภาพด้านกายภาพและเคมีในตาราง 4.31 แสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ขึ้นกับปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลซูโครสที่เติมลงไปโดยไม่ขึ้นกับปริมาณน้ำมะม่วง แต่อย่างใด เมื่อพิจารณาสมการของค่าสี a พบว่าขึ้นกับปัจจัยทดลองทั้งสามปัจจัย ได้แก่ น้ำมะม่วง กรดซิตริกและน้ำตาลซูโครส รวมทั้งขึ้นกับอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างน้ำมะม่วงร่วมกับกรดซิตริก และ กรดซิตริกร่วมกับน้ำตาลซูโครส เมื่อทำการกำหนดปริมาณน้ำมะม่วงที่เหมาะสมไว้ที่ระดับต่ำสุดคือร้อยละ 30 จะได้สมการใหม่ของค่าสี a ที่เกิดจากการแทนค่าปริมาณน้ำมะม่วงดังกล่าวคือ

ค่าสี a = 12.0207 –22.9680 (กรดซิตริก) +3.0250 (กรดซิตริก x ซูโครส) –0.6050 (ซูโครส)

กราฟพื้นผิวตอบสนองของค่าสี a และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก แสดงในภาพ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ



ภาพ 4.24 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของค่าสี a เมื่อกำหนดปริมาณน้ำมะม่วงเท่ากับร้อยละ 30 และผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริก



ภาพ 4.25 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก เมื่อผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริก

ระดับของน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริกที่ทำให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานและรสเปรี้ยวเข้าใกล้ค่าในอุดมคติจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ระดับที่เหมาะสมดังนี้

ตาราง 4.32 : ค่าเฉลี่ยระดับที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสและกรดซิตริกต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานและรสเปรี้ยว

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	น้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	กรดซิตริก (ร้อยละ)
รสหวาน	15	0.26
รสเปรี้ยว	15	0.30
ค่าเฉลี่ย±ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	15±0.01	0.28±0.02

ดังนั้นจะได้ว่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลองคือ น้ำมะม่วงร้อยละ 30 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 15±0.01 และกรดซิตริกร้อยละ 0.28±0.02 ที่ระดับของปัจจัยทดลองทั้งสามปัจจัยดังกล่าว ทำให้คะแนนความชอบด้านรสหวานเท่ากับ 0.99 และความชอบด้านรสเปรี้ยวเท่ากับ 0.73

4.3 ผลการทดลองหาสภาวะในกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

4.3.1 ผลการหาอัตราเร็วรอบและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการ Homogenization

การนำกระบวนการ Homogenization มาใช้ในการเตรียมเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้อนุภาคของส่วนผสมเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กลงและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่แยกชั้น ในการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสภาวะของการ Homogenize ตามกระบวนการผลิตพื้นฐานคือใช้อัตราเร็วรอบ 38,000-38,500 รอบต่อนาที เวลา 60 วินาที ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างดี แต่พบว่ามีคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดสูงกว่าค่าสัดส่วนในอุดมคติ (I=1.00) แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดมากเกินไปจึงต้องพัฒนาให้มีความข้นหนืดลดลง แนวทางการพัฒนากระบวนการ Homogenization อาจทำโดยลดอัตราเร็วรอบหรือเวลาในการ Homogenize ให้ต่ำลงกว่าสภาวะเดิม

การทดลองนี้ประกอบด้วยสองปัจจัยทดลอง คืออัตราเร็วรอบและเวลา Homogenize โดยมีสิ่งทดลองชุดควบคุมซึ่งผ่านกระบวนการ Homogenization ด้วยอัตราเร็วรอบและเวลาตามกระบวนการผลิตพื้นฐานดังกล่าว

ตาราง 4.33 : สิ่งทดลองในการทดลองหาอัตราเร็วรอบและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการ Homogenization

สิ่งทดลอง	อัตราเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	เวลาในการ Homogenize (วินาที)
1	25,000-27,000*	10
2	25,000-27,000*	30
3	38,000-38,500**	10
4	38,000-38,500**	30
5 (ควบคุม)	38,000-38,500**	60

หมายเหตุ : การ Homogenization ทำกับสิ่งทดลองที่มีปริมาณ 1,000 กรัมต่อชุด
อัตราเร็วรอบ* วัดจาก Probe เครื่อง Homogenizer ที่ระดับความเร็วที่ 5
อัตราเร็วรอบ** วัดจาก Probe เครื่อง Homogenizer ที่ระดับความเร็วที่ 6

ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส กายภาพ และเคมี ของทุกสิ่งทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) ทำให้ทราบอิทธิพลหลัก (Main effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ของปัจจัยทดลอง ดังนี้

ตาราง 4.34 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เกิดจากอิทธิพลหลัก (Main effect) ของอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน
อัตราเร็วรอบ (รอบต่อนาที)				
25,000-27,000	0.99±0.03	0.88±0.10[b]	1.04±0.10	1.00±0.06
38,000-38,500	1.00±0.02	0.91±0.06[a]	1.00±0.07	1.01±0.09
ควบคุม	0.98±0.03	0.94±0.22[a]	1.02±0.17	1.02±0.13
เวลา (วินาที)				
10	0.99±0.03	0.87±0.09[b]	1.01±0.07	0.97±0.08
30	0.99±0.03	0.92±0.07[a]	1.00±0.06	0.99±0.10
ควบคุม	0.98±0.03	0.94±0.22[a]	1.02±0.17	1.02±0.13
สิ่งทดลอง	**คุณภาพด้านประสาทสัมผัส**			
	กลิ่นมะม่วง	**กลิ่นรสสมุนไพร**	**ความข้นหนืด**	**การยอมรับโดยรวม**
อัตราเร็วรอบ (รอบต่อนาที)				
25,000-27,000	0.98±0.04	0.93±0.14	1.01±0.14[b]	0.82±0.10
38,000-38,500	0.98±0.02	0.95±0.15	1.12±0.19[a]	0.84±0.09
ควบคุม	0.97±0.07	0.96±0.15	1.21±0.18[a]	0.81±0.14
เวลา (วินาที)				
10	0.98±0.03	0.94±0.14	1.03±0.16[b]	0.81±0.10
30	0.98±0.03	0.96±0.15	1.10±0.15[a]	0.85±0.09
ควบคุม	0.97±0.07	0.96±0.15	1.21±0.18[a]	0.81±0.14

หมายเหตุจากตาราง : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การเปรียบเทียบผลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสมีประโยชน์ในการพิจารณาว่าการ Homogenize โดยใช้อัตราเร็วรอบและเวลาเท่าใดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด ซึ่งสภาวะนั้นจะเป็นสภาวะของกระบวนการ Homogenization ที่เหมาะสมที่สุด

ตาราง 4.34 แสดงถึงอิทธิพลหลักของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัส อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองที่ใช้อัตราเร็วรอบในการ Homogenize ต่างกันทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของคุณภาพด้านความข้นหนืดและความเป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการ Homogenize ด้วยอัตราเร็วรอบระดับต่ำจะมีคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ใช้อัตราเร็วรอบระดับสูงแต่มีค่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากกว่า ในทางตรงกันข้ามสิ่งทดลองที่ใช้อัตราเร็วรอบระดับสูงจะมีคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันสูงกว่าและมีค่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากกว่า อิทธิพลหลักของเวลาในการ Homogenize ก็ให้ผลต่อคะแนนความชอบในทิศทางเดียวกับอิทธิพลของอัตราเร็วรอบดังกล่าว

มีข้อสังเกตว่าสิ่งทดลองชุดควบคุมซึ่งใช้อัตราเร็วรอบระดับสูง 38,000-38,500 รอบต่อนาที เวลานานที่สุดคือ 60 วินาที จะได้รับคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด แต่มีคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดสูงกว่าค่าในอุดมคติมาก จึงทำให้ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมน้อย

ตาราง 4.35 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เกิดจากอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ของอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize

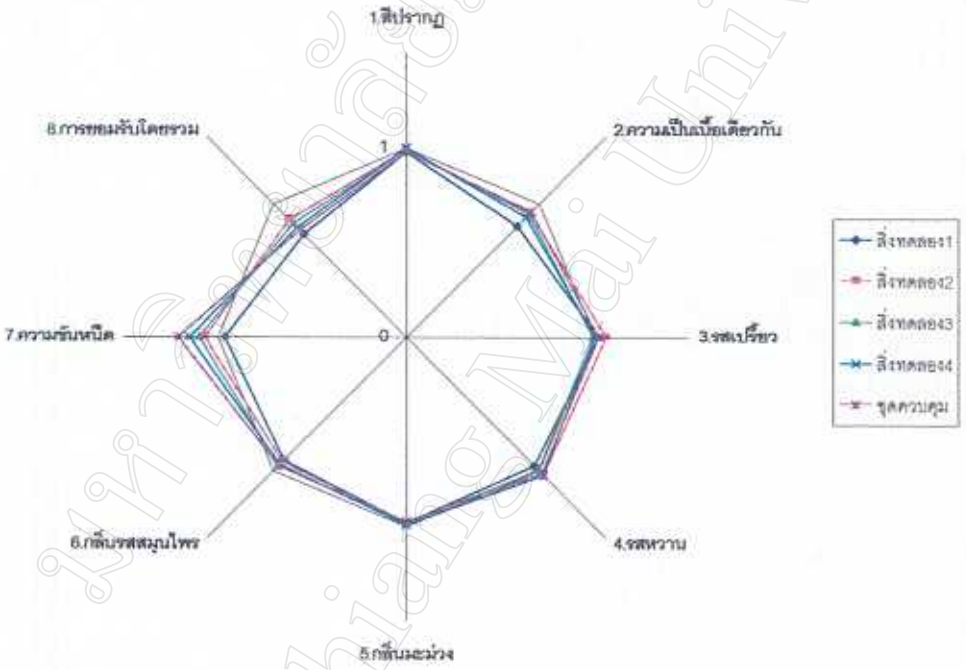
สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน
1	0.98±0.05	0.83±0.10^{b}	1.02±0.09	0.96±0.06^{b}
2	0.99±0.02	0.93±0.10^{a}	1.06±0.07	1.03±0.06^{a}
3	0.99±0.03	0.92±0.11^{a}	0.99±0.07	0.99±0.12^{ab}
4	1.00±0.03	0.90±0.11^{ab}	1.00±0.08	1.03±0.10^{a}
5 (ควบคุม)	0.98±0.03	0.94±0.22^{a}	1.02±0.17	1.02±0.13^{a}
สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านประสาทสัมผัส			
	กลิ่นมะม่วง	กลิ่นรสสมุนไพร	ความข้นหนืด	การยอมรับโดยรวม
1	0.98±0.04	0.92±0.15	0.96±0.17^{c}	0.77±0.12^{b}
2	0.98±0.05	0.93±0.14	1.07±0.12^{c}	0.88±0.08^{a}
3	0.98±0.03	0.96±0.15	1.10±0.19^{b}	0.85±0.10^{a}
4	0.99±0.02	0.95±0.15	1.15±0.23^{b}	0.82±0.11^{ab}
5 (ควบคุม)	0.97±0.07	0.96±0.15	1.21±0.18^{a}	0.81±0.14^{ab}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize ที่มีต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสดังตาราง 4.35 แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการ Homogenize ด้วยอัตราเร็วรอบและเวลาต่างกัน มีค่าคะแนนความชอบด้านสีปรากฏ รสเปรี้ยว กลิ่นมะม่วง และกลิ่นรสสมุนไพรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันของคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน รสหวาน ความข้นหนืด และการยอมรับโดยรวม ($p \leq 0.05$)

สิ่งทดลองที่ใช้อัตราเร็วรอบระดับต่ำ 25,000-27,000 รอบต่อนาที เวลาระดับสูง 30 วินาที ได้รับคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันและคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุดโดยมีค่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด แม้ว่าจะมีคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดสูงกว่าค่าในอุดมคติเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองชุดควบคุมซึ่งผ่านการ Homogenize ตามกระบวนการผลิตพื้นฐาน พบว่ามีคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่สิ่งทดลองชุดควบคุมมีคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดสูงกว่าค่าในอุดมคติมากและมีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำกว่า ดังนั้นสภาวะการ Homogenize ที่ใช้อัตราเร็วรอบ 25,000-27,000 รอบต่อนาที เวลา 30 วินาที จึงถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ Homogenization



ภาพ 4.26 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของสิ่งทดลองเมื่อผันแปรอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize

ตาราง 4.36 : คุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เกิดจากอิทธิพลหลัก (Main effect) ของอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความหนืด
	L	a	b	(Centipoise)
อัตราเร็วรอบ (รอบต่อนาที)				
25,000-27,000	73.19 ±1.59	1.99 ±1.69	56.62 ±6.50	90.93 ±25.49^{b}
38,000-38,500	71.90 ±1.68	1.88 ±1.77	58.21 ±4.44	104.20 ±7.10^{b}
ควบคุม	72.30 ±0.93	1.84 ±1.61	57.67 ±2.52	247.87 ±4.18^{a}
เวลา (วินาที)				
10	72.50 ±2.34	1.82 ±2.25	56.48 ±6.34	82.70 ±16.47^{b}
30	72.59 ±0.93	1.96 ±1.14	58.35 ±4.60	112.43 ±2.00^{b}
ควบคุม	72.30 ±0.93	1.84 ±1.61	57.67 ±2.52	247.87 ±4.18^{a}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลวิเคราะห์ทางกายภาพที่มาจากอิทธิพลหลักของปัจจัยทดลองดังตาราง 4.36 อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองที่มีการผันแปรอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize ต่างกัน มีค่าสี L, a และ b ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันของความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าสิ่งทดลองชุดควบคุมซึ่งผ่านการ Homogenize ตามกระบวนการผลิตพื้นฐานมีค่าความหนืดสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 247.87±4.18 เซนติพอยซ์ กล่าวได้ว่าการเพิ่มอัตราเร็วรอบหรือเวลาในการ Homogenize เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งมีแนวโน้มทำให้ค่าความหนืดของสิ่งทดลองเพิ่มขึ้น

ตาราง 4.37 : คุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เกิดจากอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ของอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความหนืด
	L	a	b	(Centipoise)
1	74.63±1.43	1.87±1.90	50.75±3.28	67.67±4.18^{c}
2	71.76±0.65	1.92±2.36	62.48±0.92	114.20± 2.10^{a}
3	70.37±0.36	1.82±1.09	62.20±0.63	97.97±7.31^{b}
4	73.42±1.78	1.99±2.01	54.21±4.86	110.67 ±11.70^{a}
5 (ควบคุม)	72.30 ±0.93	1.84 ±1.61	57.67 ±2.52	247.87 ±4.18^{a}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize แสดงดังตาราง 4.37 อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองที่มีการผันแปรอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize ต่างกัน มีค่าสี L, a และ b ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยสิ่งทดลองมีค่าสี L อยู่ระหว่าง 70.37±0.36 ถึง 74.63±1.43 ค่าสี a อยู่ระหว่าง 1.82±1.90 ถึง 1.99±2.01 และมีค่าสี b อยู่ระหว่าง 50.75±3.28 ถึง 62.48±0.92 แต่มีความแตกต่างกันของค่าความหนืด พบว่าสิ่งทดลองชุดควบคุมซึ่งผ่านการ Homogenize ด้วยอัตราเร็วรอบระดับสูง 38,000-38,500 รอบต่อนาที เวลานานที่สุด 60 วินาที จะมีค่าความหนืดสูงที่สุด ในทางตรงข้ามสิ่งทดลองที่ใช้อัตราเร็วรอบระดับต่ำ 25,000-27,000 รอบต่อนาที เวลาระดับต่ำ 10 วินาที จะมีค่าความข้นหนืดต่ำสุด กล่าวได้ว่าการผันแปรอัตราเร็วรอบและเวลาในการ Homogenize มีผลต่อคุณภาพด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยค่าความหนืดจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วรอบหรือเวลาในการ Homogenize อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองปัจจัยร่วมกัน การเพิ่มระดับของปัจจัยทดลองทั้งสองทำให้ค่าความหนืดของสิ่งทดลองเพิ่มขึ้น

สภาวะในการ Homogenize ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรคือการใช้อัตราเร็วรอบระดับต่ำ 25,000-27,000 รอบต่อนาที เวลาระดับสูง 30 วินาที

4.3.2 ผลการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 3.6-3.7 จึงจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (High acid food) เมื่อนำมาบรรจุในกระป๋องจำเป็นต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยเป้าหมายของการให้ความร้อนคือการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์และรา ซึ่งก่อให้เกิดความเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์และไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ยังรวมถึงการยับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส หรือ PPO ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลซึ่งไม่เป็นที่ต้องการในน้ำผลไม้ (ประสาร, 2538) และเอนไซม์เพคตินเอสเทอร์เรส หรือ PE ซึ่งทำให้น้ำผลไม้เกิดการตกตะกอนแยกชั้น (ประพันธ์, 2538) การใช้ความร้อนในระดับที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้จึงเป็นการรักษาคุณภาพให้คงที่ในระหว่างการเก็บรักษา

การทดลองนี้ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิซึ่งใช้ในระดับต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิน้ำเดือด และเวลาในการต้มฆ่าเชื้อ ดังนี้

ตาราง 4.38 : สิ่งทดลองในการทดลองหาอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (° C)	เวลา (นาที)
1	70	5
2	70	25
3	100	5
4	100	25
5	85	15
6	85	15
7	85	15
8 (ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ)*	0	0

หมายเหตุ : * สิ่งทดลองชุดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อจะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ วิตามินซี และกิจกรรมของเอนไซม์

การผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อส่งผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัส กายภาพ และเคมี ดังต่อไปนี้

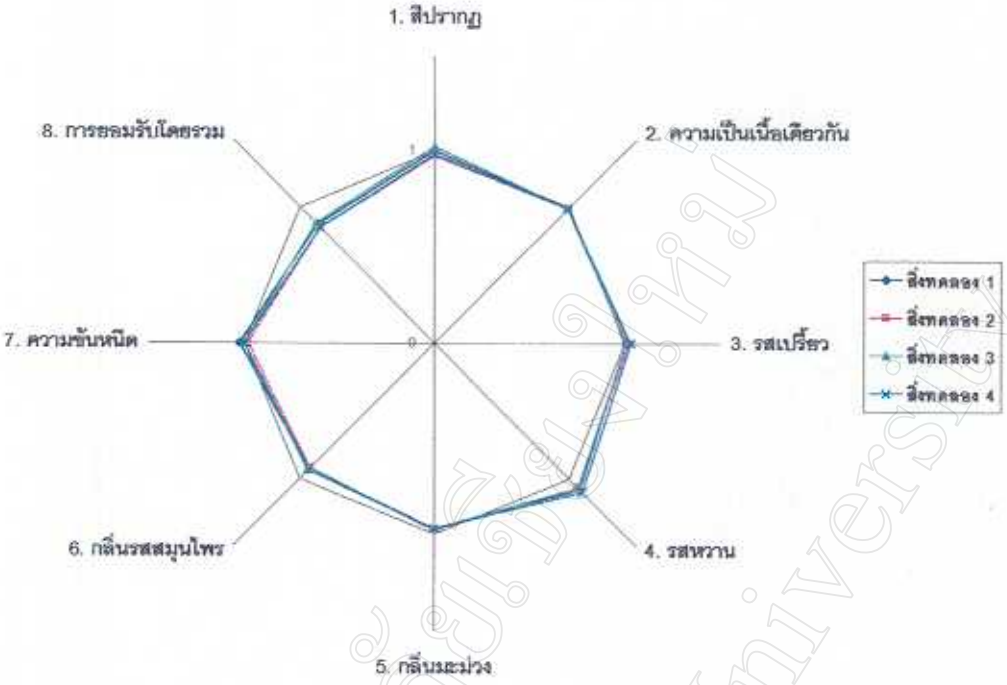
ตาราง 4.39 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเนคต้ามะม่วงเมื่อผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ

สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	สีปรากฏ	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	รสเปรี้ยว	รสหวาน
1	1.00±0.04	0.99±0.03	1.01±0.11	1.08±0.15
2	0.97±0.04	0.99±0.03	1.02±0.13	1.07±0.12
3	1.02±0.10	0.99±0.03	1.01±0.08	1.07±0.15
4	0.98±0.03	0.99±0.03	1.03±0.09	1.10±0.16
5	1.01±0.17	0.99±0.03	0.99±0.10	1.11±0.22
6	0.96±0.08	0.99±0.03	1.00±0.09	1.09±0.15
7	0.97±0.09	0.99±0.03	1.02±0.09	1.09±0.16

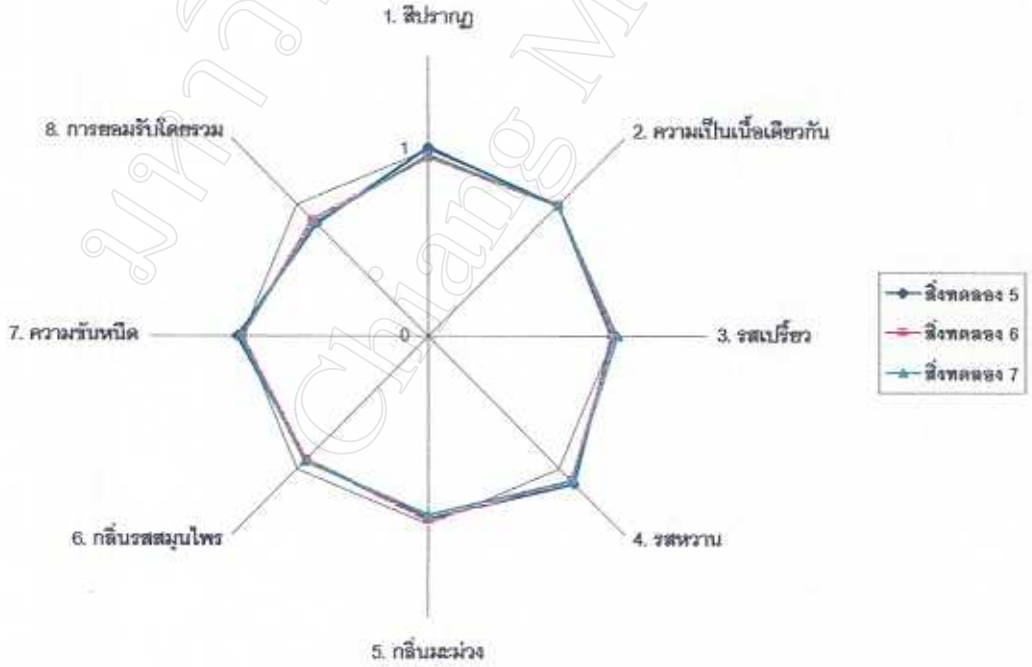
สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส			
	กลิ่นมะม่วง	กลิ่นรสสมุนไพร	ความข้นหนืด	การยอมรับโดยรวม
1	0.97±0.05	0.93±0.11	1.02±0.08	0.87±0.10
2	0.98±0.06	0.92±0.10	0.98±0.07	0.85±0.10
3	0.97±0.05	0.94±0.12	1.00±0.06	0.88±0.10
4	0.97±0.04	0.93±0.11	1.00±0.08	0.85±0.10
5	0.97±0.04	0.93±0.11	1.03±0.11	0.85±0.11
6	0.98±0.06	0.93±0.11	1.00±0.06	0.88±0.09
7	0.95±0.04	0.94±0.13	1.01±0.08	0.86±0.09

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.39 แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่มีการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อแตกต่างกันทำให้สิ่งทดลองมีคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสต่างกัน สามารถเปรียบเทียบได้ดังกราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ต่อไปนี้



ภาพ 4.27 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของสิ่งทดลองเมื่อผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ สิ่งทดลอง 1-4



ภาพ 4.28 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของสิ่งทดลองเมื่อผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ สิ่งทดลอง 5-8

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตาราง 4.40 : คุณภาพด้านกายภาพของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ความหนืด (Centipoise)
	L	a	b	
1	67.61±1.24	1.99±1.03	53.72±0.86	195.33±3.06
2	66.83±0.19	2.71±0.21	56.95±0.14	197.00±5.00
3	66.77±1.62	2.89±1.64	57.07±0.24	196.67±1.53
4	65.40±0.91	3.74±0.80	55.78±0.49	208.33±4.04
5	66.79±0.20	2.08±0.17	55.58±0.29	205.00±5.00
6	67.48±0.36	2.22±0.33	55.24±0.15	194.00±3.00
7	67.15±1.69	2.74±1.56	56.08±0.56	201.33±4.04

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.41 : คุณภาพด้านเคมีของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ

สิ่งทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (g/100ml)
1	3.63±0.03	21.43±0.06	0.42±0.01
2	3.66±0.03	21.33±0.06	0.41±0.01
3	3.64±0.01	21.43±0.06	0.41±0.01
4	3.66±0.02	21.60±0.01	0.42±0.01
5	3.68±0.02	21.17±0.01	0.42±0.01
6	3.67±0.01	21.40±0.01	0.41±0.01
7	3.67±0.01	21.27±0.06	0.42±0.01

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อในระดับต่างๆกัน ทำให้สิ่งทดลองมีค่าสีและค่าความหนืดแตกต่างกันดังตาราง 4.40 แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองมีค่าสี L (ความสว่าง) อยู่ระหว่าง 65.40±0.91 ถึง 67.61±1.24 มีค่าสี a (สีแดง) อยู่ระหว่าง 1.99±1.03 ถึง 3.74±0.80 มีค่าสี b (สีเหลือง) อยู่ระหว่าง 53.72±0.86 ถึง 57.07±0.24 และมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 194.00±3.00 ถึง 208.33±4.04 เซนติพอยซ์

เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านเคมีดังตาราง 4.41 พบว่าสิ่งทดลองที่มีการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อต่างกันมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.63±0.03 ถึง 3.69±0.01 สอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในทุกสิ่งทดลองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.41±0.01 ถึง 0.42±0.01 กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร ผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูงและมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 21.17±0.01 ถึง 21.60±0.01 องศาบริกซ์

ตาราง 4.42 : ปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆในเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร เมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ

สิ่งทดลอง	สภาวะการฆ่าเชื้อ		ปริมาณน้ำตาล (g/100ml)			
	อุณหภูมิ (° C)	เวลา (นาที)	ซูโครส	กลูโคส	ฟรุคโตส	น้ำตาลทั้งหมด
1	70	5	16.57±0.03	1.43±0.01	1.96±0.01	19.96±0.02
2	70	25	14.34±0.02	2.23±0.01	2.71±0.01	19.28±0.02
3	100	5	7.40±0.02	5.61±0.01	6.09±0.01	19.09±0.01
4	100	25	5.31±0.01	7.38±0.02	8.02±0.02	20.71±0.02
5	85	15	15.58±0.01	3.57±0.01	4.16±0.02	23.32±0.01
6	85	15	13.99±0.01	3.33±0.01	3.85±0.01	21.17±0.01
7	85	15	14.47±0.01	3.28±0.01	4.02±0.01	21.77±0.01

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆดังตาราง 4.42 แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันจะมีปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดแตกต่างกัน สิ่งทดลองที่ใช้

อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อสูงที่สุดคือ 100 องศาเซลเซียส เวลานานที่สุด คือ 25 นาที จะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสปริมาณน้อยที่สุดและมีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสและกลูโคสมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อต่ำกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 5.31±0.01 7.38±0.02 และ 8.02±0.02 กรัมต่อร้อยกรัมตามลำดับ อธิบายได้ว่าผลของความร้อนและความเป็นกรดของสิ่งทดลองทำให้เกิดปฏิกิริยา Acid hydrolysis ของน้ำตาลซูโครสทำให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสมากขึ้น

ตาราง 4.43 : คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ

สิ่งทดลอง	สภาวะการฆ่าเชื้อ		ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบ (cfu/ml)	
	อุณหภูมิ (° C)	เวลา (นาที)	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา
1	70	5	48.00±0.01	น้อยกว่า 30
2	70	25	33.00±0.06	น้อยกว่า 30
3	100	5	น้อยกว่า 30	น้อยกว่า 30
4	100	25	น้อยกว่า 30	น้อยกว่า 30
5	85	15	น้อยกว่า 30	น้อยกว่า 30
6	85	15	น้อยกว่า 30	น้อยกว่า 30
7	85	15	น้อยกว่า 30	น้อยกว่า 30
8	ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ		99.25±9.46	87.50±2.12

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดังตาราง 4.43 แสดงให้เห็นว่าการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อมีผลในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน ในสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราอยู่ระหว่าง 99.25± 9.46 และ 87.50±2.12 โคโลนีต่อมิลลิลิตรตามลำดับ เมื่อนำสิ่งทดลองมาผ่านการฆ่าเชื้อที่สภาวะต่างๆพบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลง โดยสิ่งทดลองที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 5 และ 25 นาที มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 48.00±0.01 และ 33.00±0.06 โคโลนีต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ในขณะที่มีปริมาณยีสต์และราเหลืออยู่น้อยกว่า 30

โคโลนีต่อมิลลิลิตร เมื่อทำการผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อสูงขึ้น ได้แก่การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 5 และ 25 นาที ทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเหลืออยู่น้อยกว่า 30 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ กล่าวได้ว่าสามารถเลือกใช้สภาวะการฆ่าเชื้อดังกล่าวในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรได้ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณวิตามินซีและเอนไซม์ชนิดทนร้อนที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์รวมทั้งคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสร่วมด้วย

ตาราง 4.44 : ปริมาณวิตามินซีและเอนไซม์ที่หลงเหลือในเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ

สิ่งทดลอง	สภาวะการฆ่าเชื้อ		ปริมาณวิตามินซี (mg/100ml)	ผลการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์	
	อุณหภูมิ (° C)	เวลา (นาที)		เปอร์ออกซิเดส	เพคติเนส
1	70	5	4.22±0.03	- ve	- ve
2	70	25	1.69±0.01	- ve	- ve
3	100	5	2.01±0.84	- ve	- ve
4	100	25	0.56±0.03	- ve	- ve
5	85	15	2.25±0.02	- ve	- ve
6	85	15	3.38±0.05	- ve	- ve
7	85	15	1.97±0.01	- ve	- ve
8	ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ		13.78±0.01	+ ve	+ ve

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ผลการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ ถ้าเป็น – ve หมายถึง ไม่แสดงผลของปฏิกิริยา
ถ้าเป็น + ve หมายถึง เกิดผลของปฏิกิริยา

เมื่อผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อแตกต่างกัน พบว่าทำให้ปริมาณวิตามินซีที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ในสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อจะมีปริมาณวิตามินซีอยู่เท่ากับ 13.78±0.01 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร เมื่อนำสิ่งทดลองไปผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและ

เวลาต่างกัน พบว่าทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56±0.03 ถึง 4.22±0.03 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร กล่าวได้ว่าการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง

ปริมาณเอนไซม์ที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้พิจารณาความเหมาะสมของสภาวะการฆ่าเชื้อ โดยสภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมจะต้องสามารถยับยั้งหรือทำลายเอนไซม์ที่ไม่เป็นที่ต้องการได้หมด ได้แก่ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และเอนไซม์เพคตินเอสเทอร์เรส ตาราง 4.44 แสดงผลการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์กลุ่มเปอร์ออกไซด์ซึ่งรวมถึงเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส อธิบายได้ว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนทุกสภาวะจะให้ผลลบ (Negative) ต่อการทดสอบคือไม่มีการทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมของ Guaiacol และ Hydrogen peroxide ให้เป็นสีน้ำตาลแต่อย่างใด ในขณะที่สิ่งทดลองชุดที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อให้ผลการทดสอบเป็นบวก (Positive) โดยทำให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างชัดเจน ทั้งนี้ผลการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์กลุ่มเพคติเนสซึ่งรวมถึงเอนไซม์เพคตินเอสเทอร์เรสด้วยก็ให้ผลเช่นเดียวกันกล่าวคือสิ่งทดลองที่ผ่านการฆ่าเชื้อทุกสภาวะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารละลายเพคตินให้กลายเป็นกรดเพคติกแต่อย่างใด สังเกตได้จากค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายยังคงเท่าเดิมจึงถือว่าให้ผลลบกับปฏิกิริยา ในขณะที่สิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงและเมื่อไตเตรทด้วยสารละลายด่างมาตรฐานให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่าเดิม ปริมาณด่างที่ใช้ในการไตเตรทนำมาใช้ในการคำนวณค่า Enzyme activity ได้เท่ากับ 0.062 มิลลิกรัมของปริมาณเมธอกซิลต่อมิลลิลิตรของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรซึ่งถือว่าให้ผลบวกกับปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์แสดงให้ทราบว่าสิ่งทดลองที่มีการผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อต่างกันจะมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัส กายภาพ เคมี และจุลินทรีย์แตกต่างกัน สามารถทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Stepwise multiple regression หารูปแบบสมการถดถอยระหว่างผลตอบสนองและปัจจัยทดลองโดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ลำดับสองหรือกำลังสอง (Quadratic regression model) ได้สมการที่มีระดับความเชื่อมั่นตั้งแต่ร้อยละ 95 ขึ้นไป ($p \leq 0.05$) ดังนี้

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การยอมรับโดยรวม = 0.8629 – 0.0125(เวลา) R^2= 0.5469

คุณภาพด้านเคมี

ค่าสี b = 55.7743-1.1300 (อุณหภูมิ*เวลา) R^2= 0.6635

ค่าความเป็นกรด-ด่าง = 3.6733 + 0.0125 (อุณหภูมิ) – 0.0258 (อุณหภูมิ)^2 R^2= 0.9381

น้ำตาลซูโครส = 14.6800 – 1.0800 (อุณหภูมิ) – 4.5500 (เวลา) – 3.7750 (อุณหภูมิ)^2 R^2= 0.9882

น้ำตาลกลูโคส = 3.3933 + 0.6425(อุณหภูมิ) + 2.3325 (เวลา) + 0.7692 (อุณหภูมิ)^2
+ 0.2425 (อุณหภูมิ*เวลา) R^2= 0.9981

น้ำตาลฟรุคโตส = 4.0100 + 0.6700(อุณหภูมิ) + 2.3600 (เวลา) + 0.685 (อุณหภูมิ)^2
+ 0.2950 (อุณหภูมิ*เวลา) R^2= 0.9981

วิตามินซี = 2.2971 – 0.835(อุณหภูมิ) –0.9950 (เวลา) R^2= 0.7989

สมการที่ได้อยู่ในรูปที่ไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) จึงต้องทำการถอดรหัสของปัจจัยเพื่อให้ได้สมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) ดังต่อไปนี้

ตาราง 4.45 : สมการที่ถอดรหัสแล้วในการทดลองหาอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม

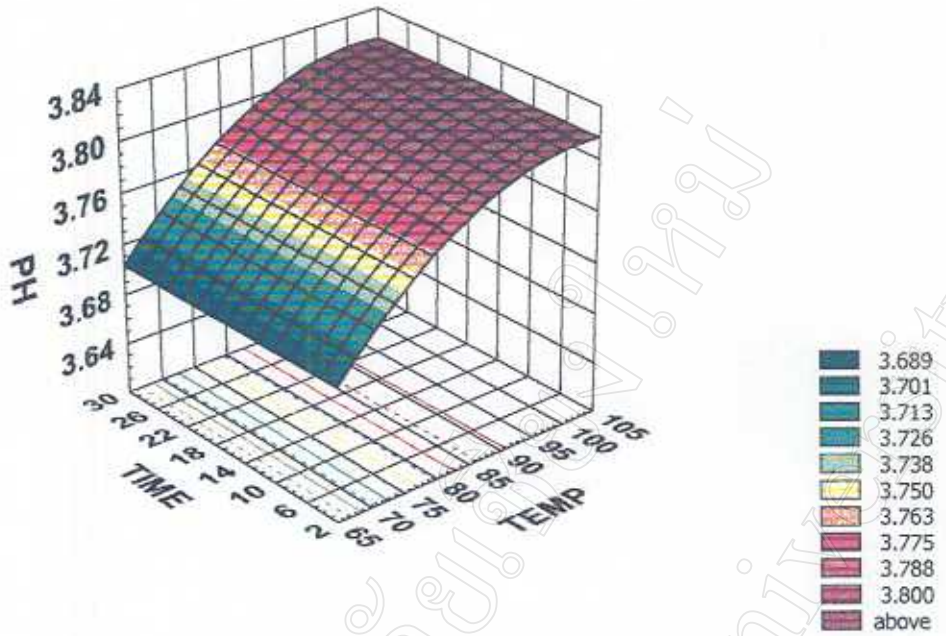
	สมการความสัมพันธ์	R^2
คุณภาพด้านประสาทสัมผัส		
การยอมรับโดยรวม	= 0.9337-0.0008(เวลา)	0.5469
คุณภาพด้านเคมี		
ค่าสี b	= 49.1693 + 0.1130 (อุณหภูมิ) + 0.6403 (เวลา) – 0.0075(อุณหภูมิ*เวลา)	0.6635
ความเป็นกรด-ด่าง	= 2.7740 + 0.0203(อุณหภูมิ) - 0.0001(อุณหภูมิ)^2	0.9381
น้ำตาลซูโครส	= -93.5974 + 2.7802(อุณหภูมิ) - 0.4550(เวลา) - 0.0168(อุณหภูมิ)^2	0.9882
น้ำตาลกลูโคส	= 22.9991- 0.5624(อุณหภูมิ) + 0.0958(เวลา) + 0.0034(อุณหภูมิ)^2 + 0.0016 (อุณหภูมิ*เวลา)	0.9981
น้ำตาลฟรุคโตส	= 22.4307 - 0.5174(อุณหภูมิ) - 0.0148(เวลา) + 0.0030(เวลา)^2 + 0.0029 (อุณหภูมิ*เวลา)	0.9981
วิตามินซี	= 8.5213 – 0.0557(อุณหภูมิ)-0.0995(เวลา)	0.7989

สมการความสัมพันธ์จากตาราง 4.45 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมขึ้นกับเวลาในการฆ่าเชื้อ โดยเวลาในการฆ่าเชื้อมีผลแบบเส้นตรง (Linear) ต่อคะแนนการยอมรับโดยรวม เนื่องจากสมการความสัมพันธ์นี้มีค่า R^2 ค่อนข้างต่ำจึงไม่สามารถใช้เป็นสมการทำนาย (Predict equation) แต่สามารถใช้เพื่อพิจารณาแนวโน้มได้ พบว่าการฆ่าเชื้อโดยใช้เวลานานมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านการยอมรับโดยรวมลดลง

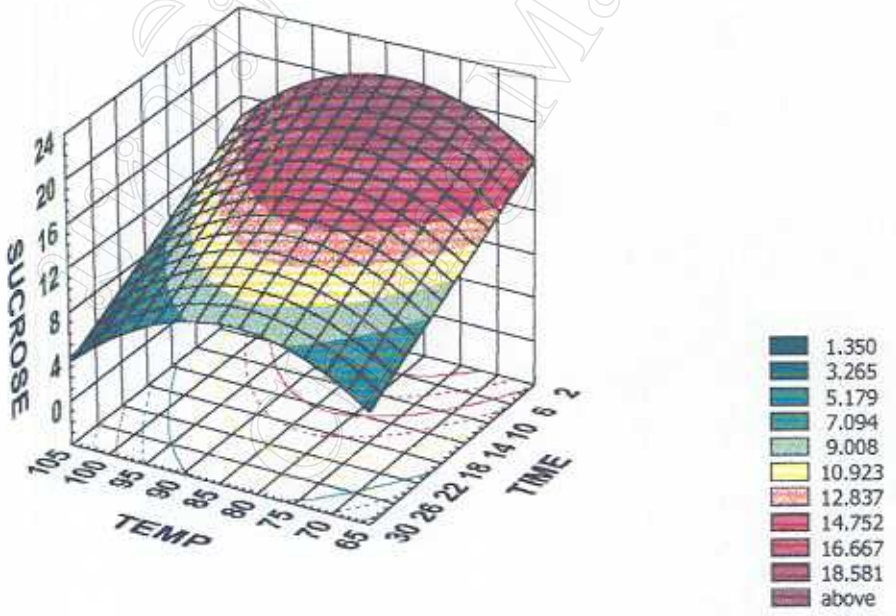
เมื่อพิจารณาสมการความสัมพันธ์ของคุณภาพด้านกายภาพและเคมี พบว่าค่าสี b ของสิ่งทดลองขึ้นกับอุณหภูมิ เวลาในการฆ่าเชื้อ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย ความเป็นกรด-ด่างของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรขึ้นกับระดับของอุณหภูมิฆ่าเชื้อเพียงอย่างเดียวโดยไม่ว่าจะใช้เวลาฆ่าเชื้อที่ระดับต่ำหรือระดับสูงก็ไม่มีผลต่อระดับความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสขึ้นกับทั้งอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสขึ้นกับอุณหภูมิ เวลาในการฆ่าเชื้อ และอิทธิพลร่วม (Interaction) ของทั้งสองปัจจัย นอกจากนี้พบว่าปริมาณวิตามินซีขึ้นกับทั้งอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อโดยทั้งสองปัจจัยมีผลแบบเส้นตรง (Linear) ต่อปริมาณวิตามินซี การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง

สภาวะในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมต้องสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ลงจนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้รวมทั้งสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่ไม่ต้องการ ได้แก่ โพลีฟีนอลออกซิเดส และเพคตินเอสเทอร์เรส โดยที่ควรจะมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด รวมทั้งมีคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสสูงที่สุดด้วย อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ Regression analysis ไม่สามารถหารูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่มีระดับนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ กิจกรรมของเอนไซม์ และคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของสิ่งทดลองได้ ดังนั้นการหาจุดหรือระดับที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อในที่นี้ไม่สามารถใช้วิธี Optimization จากลักษณะคุณภาพดังกล่าว แต่สามารถพิจารณาได้จากผลวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีซึ่งบ่งบอกคุณค่าทางอาหาร

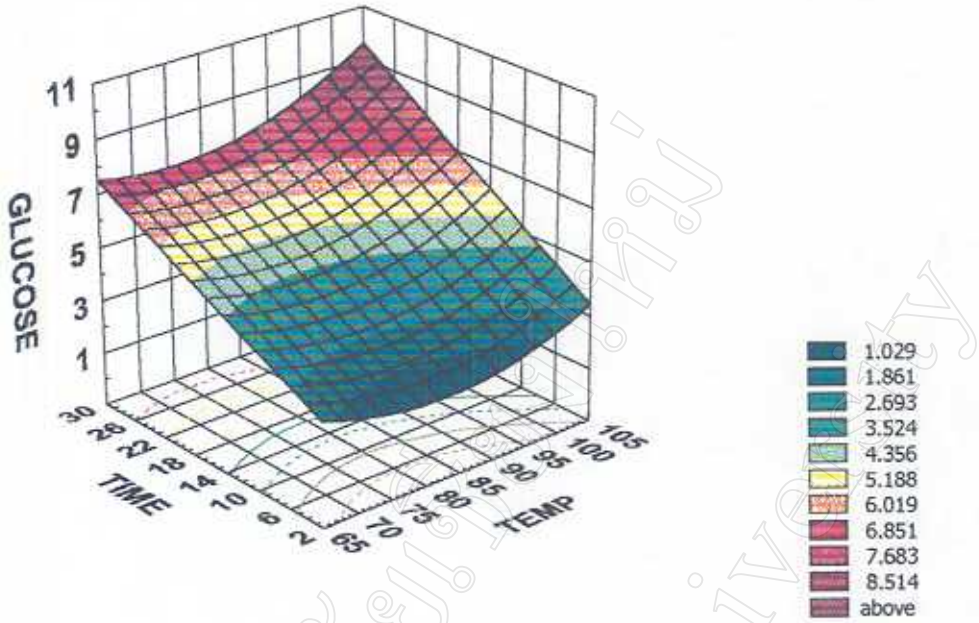
สมการความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส รวมทั้งปริมาณวิตามินซี สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (Response surface) ได้ดังภาพ 4.29 ถึง 4.33 ต่อไปนี้



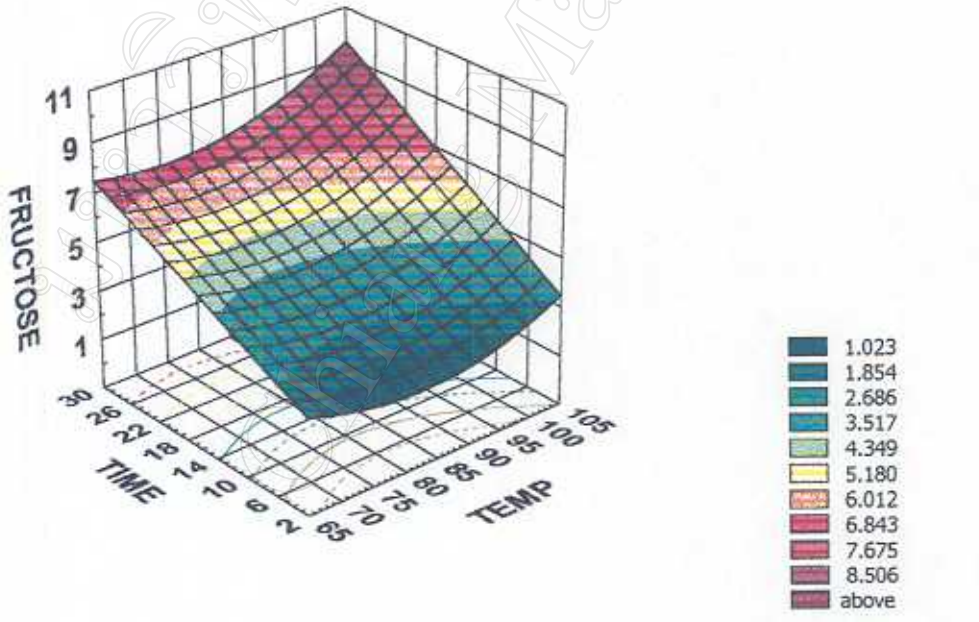
ภาพ 4.29 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของค่าความเป็นกรด-ด่างเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ



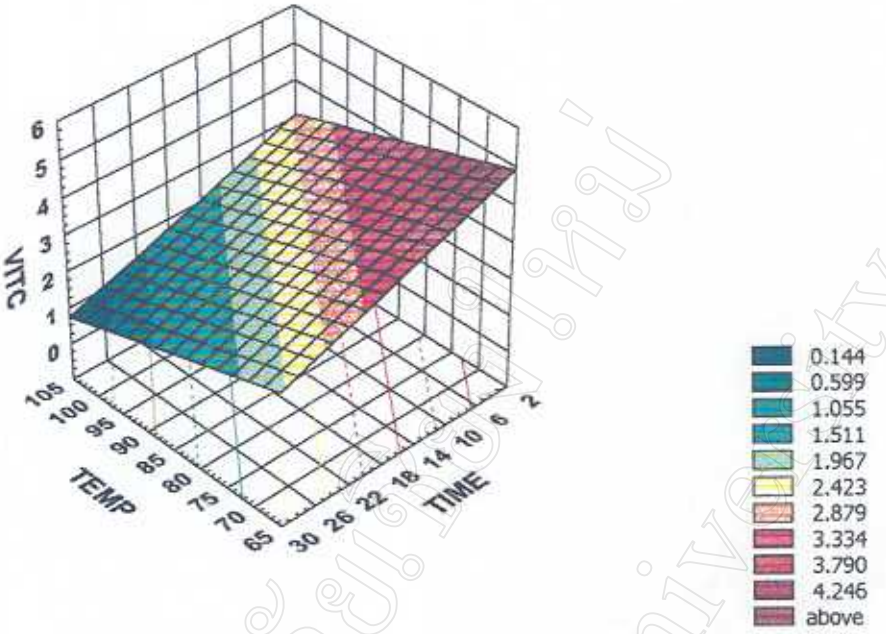
ภาพ 4.30 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณน้ำตาลซูโครสเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ



ภาพ 4.31 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณน้ำตาลกลูโคสเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ



ภาพ 4.32 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ



ภาพ 4.33 : กราฟพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณวิตามินซีเมื่อผันแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ

สภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสามารถเลือกใช้ที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที หรือที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที เนื่องจากสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ให้เหลือน้อยกว่า 30 โคโลนีต่อมิลลิลิตรทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสูงในแง่ของการนำไปบริโภค สภาวะการฆ่าเชื้อดังกล่าวยังสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวของคุณภาพตลอดอายุการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่หลังการฆ่าเชื้อทั้งสองสภาวะ พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.01 ± 0.84 และ 2.01 ± 0.84 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามการฆ่าเชื้อโดยใช้อุณหภูมิระดับสูงและเวลาระดับต่ำมีความเหมาะสมมากกว่าการฆ่าเชื้อที่ใช้อุณหภูมิระดับกลางและเวลาระดับกลางในแง่ความรวดเร็วของการผลิตและความประหยัด ดังนั้นสภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมคือการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย

การทดลองพัฒนาสูตรของเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรดังกล่าวข้างต้นทำให้ทราบสูตรการผลิตที่เหมาะสม ดังนี้

ตาราง 4.46 : สูตรการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำมะม่วง	30.00
น้ำตาลซูโครส	15.00
กรดซิตริก	0.28
เกลือ	0.10
คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโส	0.05
น้ำสมุนไพร	10.00
(ซะเอม : มินต์ : คาร์โมมายล์ = 20 : 39 : 41)	
น้ำ	44.57

กระบวนการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร เป็นดังนี้

- **เตรียมน้ำมะม่วง** โดยนำมะม่วงแก้วที่สุกเต็มที่ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 18-20 องศาบริกซ์ ล้าง ปอกเปลือก และคั้นน้ำโดยใช้เครื่องคั้นน้ำ (Juicer) น้ำมะม่วงที่ได้นำมาเติมกรดแอสคอร์บิก 200 ppm เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จากนั้นนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะนี้ไม่ควรเก็บนานกว่า 5 เดือน

- **เตรียมน้ำสมุนไพร** โดยชั่งน้ำหนักสมุนไพรร้อยละ 2 เติมลงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วกรองกากออก นำน้ำสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดผสมกันด้วยอัตราส่วน น้ำซะเอม : น้ำมินต์ : น้ำคาโมมายล์ เท่ากับ 20 : 39 : 41

- **เตรียมเป็นเนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร** นำน้ำมะม่วง น้ำสมุนไพรผสม น้ำตาลซูโครส กรดซิตริก เกลือ คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสและน้ำสะอาดมาผสมกันตามอัตราส่วน จากนั้น

นำไป Homogenize ที่อัตราเร็วรอบ 25,000-27,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ให้ความร้อนจนถึงระดับ 85-90 องศาเซลเซียส บรรจุใส่กระป๋องขณะร้อนและปิดฝากระป๋องแล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

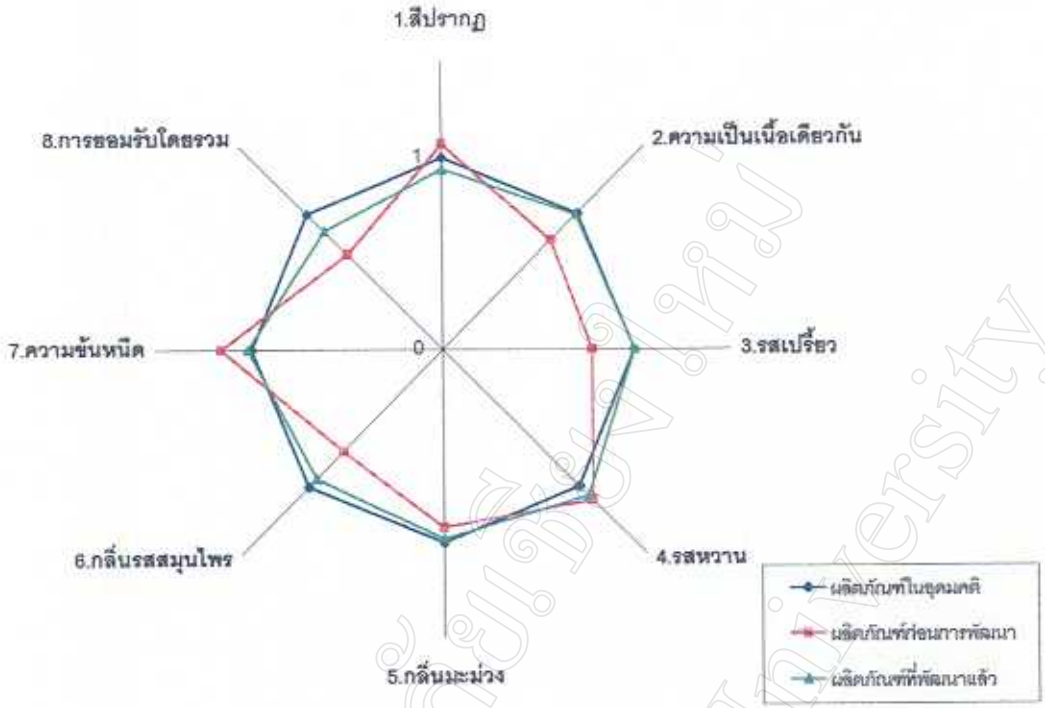
เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่เตรียมจากสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมดังกล่าว ได้นำมาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส รวมทั้งวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ ดังต่อไปนี้

ตาราง 4.47 : คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ลักษณะด้านประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ	t-value
สีปรากฏ	0.94±0.04	1.36
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0.99±0.07	1.21
รสเปรี้ยว	1.00±0.10	0.08
รสหวาน	1.07±0.11	1.53
กลิ่นมะม่วง	0.98±0.04	0.93
กลิ่นรสสมุนไพร	0.94±0.22	1.68
ความข้นหนืด	1.02±0.08	0.17
การยอมรับโดยรวม	0.87±0.12	3.66*

หมายเหตุ : * ที่กำกับค่า t-value แสดงว่าค่าคะแนนความชอบมีความแตกต่างกับค่าในอุดมคติ (I=1.00) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.47 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจากสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม จะได้รับคะแนนความชอบสูงในทุกลักษณะอีกทั้งมีค่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติ (I=1.00) มาก เมื่อทำการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของความแตกต่างระหว่างคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้กับค่าในอุดมคติ พบว่ามีเพียงลักษณะด้านการยอมรับโดยรวมเท่านั้นที่ยังคงมีค่าต่ำกว่าค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรเป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จากคุณภาพด้านประสาทสัมผัสส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับลักษณะในอุดมคติที่ผู้ทดสอบชิมต้องการ



ภาพ 4.34 : กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรที่พัฒนาจากสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ก่อนการพัฒนา

ตาราง 4.48 : องค์ประกอบโดยทั่วไปของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

องค์ประกอบ	ปริมาณ (กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร)
น้ำ	78.38±0.16
เถ้า	0.28±0.02
ไขมัน	0.45±0.04
โปรตีน	0.62±0.02
คาร์โบไฮเดรต	20.27±0.11

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.49 : คุณภาพด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ค่าวิเคราะห์	ค่าที่ตรวจพบ
ค่าสี L (ความสว่าง)	68.23±0.23
ค่าสี a (สีเขียว-แดง)	5.81±0.55
ค่าสี b (สีน้ำเงิน-เหลือง)	53.22±0.74
ความหนืด	146.20±8.09 เซนติพอยซ์

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.50 : คุณภาพด้านเคมีของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ค่าวิเคราะห์	ค่าที่ตรวจพบ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	3.68±0.01
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก	0.42±0.01 กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	21.63±0.04 กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	20.40±0.01 องศาบริกซ์
ปริมาณน้ำตาลซูโครส	11.28±0.02 กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณน้ำตาลกลูโคส	4.11±0.03 กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส	6.01±0.15 กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	21.28±0.12 กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณโปรโตเพคติน (เพคตินที่ละลายได้ในด่าง)	6.45±0.37 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณเพคติน (เพคตินที่ละลายได้ในน้ำ)	38.89±0.52 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณกรดเพคติก (เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต)	11.41±0.08 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณเพคตินทั้งหมด	56.84±0.36 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร
ปริมาณวิตามินซี	2.93±0.46 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าตัวเลขเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตาราง 4.51 : คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร

ค่าวิเคราะห์	ค่าที่ตรวจพบ
จุลินทรีย์ทั้งหมด	น้อยกว่า 30 โคโลนีต่อมิลลิลิตร
ยีสต์และรา	น้อยกว่า 30 โคโลนีต่อมิลลิลิตร
Coliform	ไม่พบ
Eschericia coli	ไม่พบ

ผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพรมีคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดจึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University