

รายงานวิจัยประจำปี 2551  
โครงการวิจัยที่ 3055 - 3728

เรื่อง การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบเสริมแคลเซียม  
และสารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่

**Development of Fruit and Vegetable Crispy Products Fortified  
with Calcium and Antioxidant**

หัวหน้าโครงการวิจัย

รศ.ดร.ไพโรจน์ วิริยจारी Assoc.Prof.Dr.Pairote Wiriyacharee

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

ธันวาคม 2551



รายงานวิจัยประจำปี 2551  
โครงการวิจัยที่ 3055 - 3728

เรื่อง การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบเสริมแคลเซียม  
และสารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่

**Development of Fruit and Vegetable Crispy Products Fortified  
with Calcium and Antioxidant**

รศ.ดร.ไพโรจน์ วิริยจารี

Assoc.Prof.Dr.Pairote Wiriyacharee

นางสาวณัฐพร จำหื่นไวย์

Miss Natthaphon Chamuonwai

นางสาวสลักจิต บุญทาคำ

Miss Salakjit Boontakum

นายวีระศักดิ์ แสนญาติสมุทร

Mrs.Veerarak Sanyatsamoot

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

ธันวาคม 2551

## บทคัดย่อ

การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบเสริมแคลเซียมและสารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของแคลเซียม ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป และกระบวนการแช่ผักผลไม้ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ โดยวางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points จากการศึกษาเค้าโครงผลิตภัณฑ์ (Ideal ratio profile) พบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ฟักทองทอด แครอททอดและชุกินีทอด ได้แก่ สี กลิ่น รสหวาน และความกรอบ และจากการศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม พบว่าอัตราส่วนของสารละลายที่เหมาะสมสำหรับฟักทองคือ ใช้ปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.10 ความเข้มข้นกลูโคสไซรัปร้อยละ 60 แครอทและชุกินีใช้ปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.30 ความเข้มข้นกลูโคสไซรัปร้อยละ 60 ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อแช่ฟักทอง แครอทและชุกินีในสารละลายที่มีความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงเจาะที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับกระบวนการแช่ผักผลไม้ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation โดยศึกษาระยะเวลาการแช่ในสารละลายของผักผลไม้และระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสม พบว่าฟักทองใช้ระยะเวลาการแช่ในสารละลาย 34 นาที ที่ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.27 บาร์ สำหรับแครอทและชุกินีใช้ระยะเวลาการแช่ในสารละลาย 20 นาที ที่ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.46 บาร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าระยะเวลาการแช่ในสารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศของฟักทอง แครอทและชุกินีเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานและความกรอบที่เพิ่มขึ้นด้วย

## Abstract

The quality development of production of crispy vegetables and fruits fortified with calcium and antioxidant from Rosemary were studied in order to study the amount of calcium, optimum concentration of glucose syrup solution together with vegetable and fruit soaking process using - optimum vacuum impregnation technology for processing of crispy fruits and vegetable products. The experiment using  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points and the study of Ideal Ratio Profile were studied and the important sensory of fried pumpkin, carrot and zucchini products were color, flavor, sweetness and crispiness. The quantity of calcium and optimum concentration of glucose syrup solution were carried out and found that suitable conditions for pumpkin were 0.10% calcium and 60% glucose syrup come were used for carrot and zucchini. The experiments also showed that when pumpkin, carrot and zucchini were soaked in higher concentration of glucose syrup, the crispiness and shear force were higher as well.

Furthermore, soaking of fruits and vegetable using vacuum impregnation technology considering soaking times together with optimum vacuum pressure. Of was found that the optimum soaking time were 34 minutes at the vacuum pressure of -0.27 bar where as carrot and zucchini were soaked for 20 minutes at the vacuum pressure of -0.46 bar. These showed that the longer soaking time with higher vacuum pressure for pumpkin, carrot and zucchini affected their positive sweetness and crispiness.



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ญ
บทนำ	1
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	19
ผลการวิจัย	26
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	92
กิตติกรรมประกาศ	94
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รูปภาพ	99
ภาคผนวก ข. แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส	104
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์คุณภาพ	109
ภาคผนวก ง. งบประมาณและการจัดการเงินงบประมาณ	114

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทองสดน้ำหนัก 100 กรัม	5
2	คุณค่าทางโภชนาการของแครอทน้ำหนัก 100 กรัม	7
3	ปริมาณการสะสมแคลเซียมในร่างกายตามกลุ่มวัยต่างๆ	10
4	ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการใน 1 วัน ตามกลุ่มวัยต่างๆ	11
5	แสดงคุณค่าอาหารในส่วนที่กินได้ 100 กรัม เปรียบเทียบเฉพาะปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส	12
6	แสดงปริมาณธาตุแคลเซียม (ร้อยละ) ในเกลือแคลเซียม	13
7	สิ่งทดลองของแผนการทดลอง $2^2$ Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points โดยผันแปรระดับความเข้มข้นของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป	23
8	แสดงการวางแผนการทดลองแบบ $2^2$ Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points เมื่อแปรระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	25
9	ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบที่ต้องการพัฒนา	26
10	ค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของลักษณะที่สำคัญของผักผลไม้กรอบ	28
11	แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรระดับปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	30
12	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของฟักทองทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	31
13	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของฟักทองทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	32
14	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	33

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้ายกายภาพและทางด้าน ประสาทสัมผัสที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อทำการ ผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป	35
16	สมการถอดถอดครหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้ายกายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัสที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป	35
17	ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของฟักทองทอด เมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	40
18	แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็ง ที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรระดับปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของ สารละลายกลูโคสไซรัป	42
19	ผลการวิเคราะห์ คุณภาพทางกายภาพของแครอททอดเมื่อแปรระดับของ ปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	43
20	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแครอททอดเมื่อแปรระดับของปริมาณ แคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	44
21	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอททอดเมื่อแปรระดับของ ปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	45
22	สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มี นัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แครอท) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียม และระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป	46
23	สมการถอดถอดครหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านรสหวานและ ความกรอบ นัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แครอท) เมื่อทำการผันแปร ปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป	47
24	ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอททอดเมื่อแปรระดับของ ปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
25	51
แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรระดับปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	
26	52
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	
27	53
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	
28	54
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	
29	55
สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านค่าแรงเจาะ รสหวาน และความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ชุกินี) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป	
30	56
สมการถอดถอดครหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านค่าแรงเจาะ รสหวาน และความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ชุกินี) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป	
31	59
ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป	
32	61
แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	
33	62
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	
34	63
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
35	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	64
36	สมการแบบหุนทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	66
37	สมการถอดถอดครหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	66
38	ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	69
39	แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	71
40	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของแครอททอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความดันสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	72
41	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแครอททอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	73
42	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอททอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	74
43	สมการแบบหุนทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แครอท) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	76

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
44	สมการถอดถอดครหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แครอท) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	76
45	ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอททอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	80
46	แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	82
47	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	83
48	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	84
49	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	85
50	สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ชุกินี) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ ในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	87
51	สมการถอดถอดครหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ชุกินี) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	87

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
52	ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลา และระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	90
53	ปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม สำหรับผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบและปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์	92
54	ระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมสำหรับ ผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบและปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์	93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ฟลักทอง	3
2	แครอต	6
3	ซูกีนี	8
4	กราฟพื้นที่การตอบสนองของค่าแรงเจาะเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	37
5	กราฟพื้นที่การตอบสนองของค่าสี a เมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	38
6	กราฟพื้นที่การตอบสนองของคุณภาพด้านสีเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	38
7	กราฟพื้นที่การตอบสนองของคุณภาพด้านความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	39
8	กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสโซไรป์ที่เหมาะสมของฟลักทองในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	41
9	กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	48
10	กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	48
11	กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสโซไรป์ที่เหมาะสมของแครอตในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	50
12	กราฟพื้นที่การตอบสนองของค่าแรงเจาะเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	57
13	กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	58
14	กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซไรป์	58



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสโซลไรซ์ที่เหมาะสมของชุกินีในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	60
16	กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	68
17	กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	68
18	กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของฟักทองในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	70
19	กราฟพื้นที่การตอบสนองของสีเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	78
20	กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	79
21	กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	79
22	กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของแครอทในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	81
23	กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	89
24	กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ	89
25	กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของชุกินีในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation	91

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก.1	ฟักทอง	100
ก.2	ฟักทองหั่น	100
ก.3	แครอท	100
ก.4	แครอทหั่น	100
ก.5	ชุกินี	100
ก.6	ชุกินีหั่น	100
ก.7	แช่สารละลายด้วยระบบ VI	101
ก.8	ทอดระบบสุญญากาศ	101
ก.9	สะเด็ดน้ำมัน	102
ก.10	ผลิตภัณฑ์ฟักทองกรอบ	102
ก.11	ผลิตภัณฑ์แครอทกรอบ	102
ก.12	ผลิตภัณฑ์ชุกินีกรอบ	103
ก.13	ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ	103

วิทยาลัยการทอผ้า  
จังหวัดตาก

## บทนำ

---

### ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตโดยโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง ตั้งแต่ พ.ศ. 2540 โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทำการผลิตขึ้นโดยใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีการทอดด้วยน้ำมันภายใต้ระบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถคงสี รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงกับผักผลไม้สด แต่ปัญหาหนึ่งของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ก็คือ การเกิดกลิ่นเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งกลิ่นหืนดังกล่าวเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคไม่ให้การยอมรับและเป็นดัชนีในการบ่งบอกถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นเพื่อเพิ่มคุณค่าและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยการเสริมแคลเซียม ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์และการใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่ไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานขึ้น

### วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม ที่ใช้ในกระบวนการแช่ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation
2. เพื่อศึกษากระบวนการแช่ผัก ผลไม้ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสม

### ขอบเขตของการวิจัย

1. การหาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม ที่ใช้ในกระบวนการแช่ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation
2. การหากระบวนการแช่ผัก ผลไม้ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสม

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทราบถึงปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป รวมทั้งกระบวนการแช่ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสมสำหรับผักผลไม้แต่ละชนิด เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความกรอบดีขึ้นและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารให้กับผู้บริโภคโดยเสริมธาตุแคลเซียมในผลิตภัณฑ์



## รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### ฟักทอง (Pumpkin)

ฟักทอง เป็นพืชวงศ์ Cucurbitaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ Cucurbita moschata Deane ชื่อสามัญ Pumpkin, Winter squash, Cushaw ชื่ออื่นๆ มะฟักแก้ว (ภาคเหนือ) มะน้ำแก้ว (เลย) น้ำเต้า (ภาคใต้) หมักอ้อ (เลย - ปราจีนบุรี) หมากฟักเหลือง (ฉาน - แม่ฮ่องสอน) เหลืองเกล้า



ภาพที่ 1 ฟักทอง

ที่มา : เด็กดีต่อทคอม, 2551

ฟักทอง เป็นพืชที่มีวิตามินเอสูง ช่วยบำรุงผิวพรรณและถนอมสายตา นำมาทำอาหารได้หลายชนิด เช่น ยอดอ่อนนำมาลวกจิ้มน้ำพริก ใส่แกงเลียง แกงส้มแประ แกงส้ม เป็นต้น เนื้อใช้ทำอาหารได้ทั้งคาว หวาน ผัด แกง ขนم และใช้เป็นอาหารเสริมในเด็กเล็ก รวมทั้งดัดแปลงมาใช้โรยหน้าหรือผสมในขนมต่างๆ ทำให้มีสีสันสวยงามและมีคุณค่าทางอาหารมากยิ่งขึ้น ฟักทองที่รสชาติดี ต้องเนื้อแน่น ละเอียดย มีน้ำหนัก

#### ลักษณะทั่วไป

ต้น เป็นพุ่มไม้ล้มลุกที่มีลำต้นเป็นเถาเลื้อยไปตามพื้นดินและต้องการหลักยึด ตามลำเถาจะมีมือเอาไว้เกาะ เถามีขนาดยาวใหญ่และมีขนปกคลุมอยู่มีสีเขียว

ใบออกใบเดี่ยวตามลำเถาใบของฟักทองเป็นแผ่นใหญ่สีเขียวแยกออกเป็น 5 หยักและมีขนมือปกคลุมอยู่ทั่วทั้งใบ

ดอก ออกดอกเดี่ยวตามง่ามใบและที่ส่วนยอดของเถาลักษณะของดอกเป็นรูปกระดิ่งสีเหลืองในดอกตัวเมียเมื่อบานเต็มที่แล้ว จะมองเห็นผลเล็กๆ ติดอยู่ใต้ดอก

ผล มีขนาดใหญ่ ลักษณะเป็นพวงกลมจะมีทั้งทรงแบนและทรงสูงเปลือกของผลจะแข็งมีทั้งสีเขียวหรือสีน้ำตาลแดงขึ้นอยู่กับชนิดของฟักทองนั้นๆ เนื้อในผลมีสีเหลือง

### คุณค่าทางโภชนาการ

ฟักทองมีคุณค่าทางอาหารสูงมาก หากกินทั้งเปลือกจะได้คุณค่ามากขึ้นนอกจากนั้นยังมีเบต้าแคโรทีนในปริมาณที่สูง ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันมะเร็ง ฟักทองเป็นพืชผักที่มีกากใยมากพอสมควร ช่วยในระบบย่อยอาหารดีขึ้นและไม่ทำให้อ้วนเพราะมีแคลอรีไม่สูง มีวิตามินสูง ช่วยบำรุงผิวพรรณและสายตา หากทานมากเกินไปจะทำให้เกิดท้องอืด ท้องเฟ้อ ไม่สบายท้องได้ (วารสาร, 2548)

เนื้อฟักทอง มีวิตามินเอสูง มีฟอสฟอรัส แคลเซียม วิตามินซี เบต้าแคโรทีน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน

ใบอ่อน มีวิตามินเอสูงเท่ากับเนื้อฟักทอง มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงกว่าในเนื้อดอก มีวิตามินเอ ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส มีวิตามินซีเล็กน้อย เมล็ด มีน้ำมัน แป้ง ฟอสฟอรัส โปรตีนและวิตามิน

### สรรพคุณด้านสมุนไพร

เมล็ด มีน้ำมันช่วยถ่ายพยาธิตัวตืด ขับปัสสาวะและบำรุงร่างกาย บำรุงประสาทแก้พิษปวด รากมีรสเย็น ดมน้ำต้มบำรุงร่างกาย แก้ไอ ถอนพิษของฝิ่น แก้พิษสัตว์กัดต่อย ขั้วมีรสเย็นฝนกับมะนาวผสมยี้ฝ้ายเผาไฟรับประทานแก้พิษกึ่งก็อกัด เชือกกลางผลมีรสหวานเย็น ใช้พอกแก้ฟกช้ำแก้ปวด เนื้อในสีเหลืองของผลฟักทองมีเบต้าแคโรทีน เมื่อสารนี้เข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ เป็นอาหารเสริมสุขภาพ กระตุ้นการหลั่งของอินซูลิน สามารถป้องกันโรคเบาหวาน ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคตับและโรคไต เสริมสมรรถภาพของตับและไตให้ทำงานดีขึ้น ควบคุมสมดุลในร่างกาย (โหระพา, 2551)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทองสดน้ำหนัก 100 กรัม

องค์ประกอบ	เมล็ดฟักทอง	เนื้อฟักทอง	ยอดฟักทอง
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	124.00	43.00	16.00
โปรตีน (กรัม)	2.90	1.90	2.00
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	24.60	8.50	1.60
ไขมัน (กรัม)	1.50	0.20	0.20
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	7.00	21.00	6.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	17.00	17.00	9.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.90	4.90	1.20
วิตามินเอ (หน่วยมาตรฐานสากล)	3,200	3,266	4,083
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.10	0.10	0.08
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.04	0.05	0.18
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	84.00	52.00	41.00
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	1.00	1.00	1.40
ไทอามีน (มิลลิกรัม)	-	0.10	-
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	-	0.05	-
เส้นใยอาหาร (กรัม)	-	1.70	-

ที่มา : สำนักบริหารงานการศึกษาออกโรงเรียน, 2551

### แครอท (Carrot)

แครอท เป็นพืชวงศ์ Umbelliferae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Daucus carota*, L. จัดอยู่ในพวกเดียวกับผักชี อาจเรียกว่า ผักกาดหัวเหลือง ผักชีหัว ภาษาอังกฤษเรียก Carrot, Bird' nest Root, Beesnest Plant และ Queensnest Anne's lace



ภาพที่ 2 แครอท

ที่มา : ฤเพรช, 2551

แครอทเป็นพืชล้มลุก ปลูกง่ายและสามารถปลูกได้ทั่วไปในแถบที่มีอากาศค่อนข้างเย็น ใบมีลักษณะเป็นฝอยจึงเรียกว่าผักชีหัว หัวแครอทมีลักษณะเรียวยาว สีส้มทั้งผิวและเนื้อ ไซ้บริโภคและนำมาปรุงอาหารได้หลายชนิด ใช้เป็นเครื่องประกอบในอาหาร เช่น สลัดผัก ยำผักผัก หรือเป็นเครื่องแฉมเครื่องเคียง หรือนำมาเป็นเครื่องคั้นน้ำผัก ในแครอทมีสารเริ่มต้นของวิตามินเอสูง คือ เบต้าแคโรทีน ซึ่งมีสีส้ม เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วร่างกายจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอเป็นเบต้าแคโรทีน นอกจากเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ให้แก่ร่างกาย สีส้มที่ได้จากหัวแครอทคั้นสามารถใช้เป็นสีแต่งอาหาร ในแครอทยังประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย นอกจากนั้นยังสามารถใช้ประโยชน์ทางยา กล่าวคือมีฤทธิ์ขับพยาธิไส้เดือน ช่วยขับปัสสาวะเนื่องจากมีเกลือโพแทสเซียมในปริมาณสูง ช่วยย่อยอาหาร ทำให้ระบบย่อยอาหารเป็นปกติ (ปัญญาไทย, 2551) คุณค่าทางโภชนาการของแครอทโดยเทียบจากน้ำหนักของแครอทส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 2



ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของแครอทน้ำหนัก 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	37.00
โปรตีน (กรัม)	1.60
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	6.80
ไขมัน (กรัม)	0.40
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	1.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	68.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.20
เบต้าแคโรทีน (RE)*	1,166
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	41.00
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.80
ไทอามีน (มิลลิกรัม)	0.04
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.05
เส้นใยอาหาร (กรัม)	ไม่มีการวิเคราะห์

หมายเหตุ : \*RE ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล

ที่มา : กองโภชนาการ, 2544

### ซูกินี (Zucchini)

ซูกินี เป็นพืชตระกูลแตง เรียกว่า Summer squash อยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae ถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเม็กซิโก เป็นพืชฤดูเดียว เจริญเป็นพุ่มหรือกิ่งเลื้อย ลำต้นมีข้อสั้น มือเกาะมีจำนวน 2 - 6 อัน ใบมีลักษณะเป็นเหลี่ยม 4 - 5 เหลี่ยม ผิวหยาบและมีขนอ่อนบนใบ บางสายพันธุ์มีจุดสีขาวบนใบ ขนาดกว้าง 20 - 30 เซนติเมตร ดอกตัวเมียและตัวผู้แยกกันอยู่แต่อยู่บนต้นเดียวกัน (Monoecious) ผสมเกสรโดยแมลง เช่น ผึ้ง จำนวนแมลงในพื้นที่และการทำงานของแมลง จะมีอิทธิพลต่อผลผลิตและคุณภาพ ผลมีลักษณะกลมยาว เก็บเกี่ยวผลอ่อน (นิพนธ์, 2551)



ภาพที่ 3 ซูกินี

ที่มา : กิน กิน กิน, 2551

### น้ำตาลกลูโคสและกลูโคสไซรัป

คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำให้สตาร์ชที่บริโภคนิยมใช้สตาร์ชข้าวโพด แต่ประเทศไทยนิยมใช้สตาร์ชมันสำปะหลังมาสลายตัวบางส่วน โดยวิธีการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและ/หรือเอนไซม์ ทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นขึ้น ซึ่งจะประกอบด้วย ดี - กลูโคส มอลโทส และพอลิเมอร์ของดี-กลูโคส ในสัดส่วนที่ต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสถานะของการไฮโดรไลซ์หรือวิธีผลิต ระดับของการสลายตัวของสตาร์ชจะมีผลต่อชนิดและคุณสมบัติของกลูโคสไซรัป ซึ่งนิยามกำหนดด้วยค่าสมมูลเดกซ์โทรส (Dextrose Equivalent) นิยมเรียกสั้น ๆ ว่า ค่า D.E. ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โดยคำนวณในรูปของ D(+)-glucose ของปริมาณน้ำหนักแห้ง ชนิดของกลูโคสไซรัปแบ่งออกตามค่า D.E. ได้ 5 ชนิด ดังนี้

1. มอลโทเดกซ์ทริน เป็นชนิดที่มีค่า D.E. ต่ำกว่า 20 จะไม่เรียก กลูโคสไซรัป
2. กลูโคสไซรัปที่มีการแปรผันต่ำ จะมีค่า D.E. 20 - 38
3. กลูโคสไซรัปที่มีการแปรผันปานกลาง จะมีค่า D.E. 39 - 58 ชนิดที่เป็น Standard grade จะมีค่า D.E. 42
4. กลูโคสไซรัปที่มีการแปรผันสูง จะมีค่า D.E. 49 - 65

### 5. ฟรักโทสสูง (High Fructose) จะมีค่า D.E. 75 - 96

กลูโคสไซรัปจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามค่าของ D.E. และวิธีการผลิตกลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. ต่ำจะมีความหนืดสูง มีความหวานต่ำ ช่วยป้องกันการตกผลึกได้ดี มีการดูดซับความชื้นต่ำ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในสารที่ใช้เคลือบผิว เพื่อป้องกันการเหนียวเหนอะหนะเมื่อจับต้องและช่วยให้มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีความเลื่อมมันทนต่อการแตกหักได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

### แคลเซียม (Calcium)

แคลเซียม (Calcium) เป็นธาตุเคมีในตารางธาตุซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น Ca มีเลขอะตอมเป็น 20 แคลเซียมเป็นธาตุโลหะหนักประเภทอะคาไลที่มีสีเทาอ่อน มันถูกใช้เป็นสารรีดิวซ์เอเจนต์ในการสกัดธาตุทองแดง เซอร์โคเนียม และยูเรเนียม แคลเซียมอยู่ในกลุ่ม 50 ธาตุที่มีมากที่สุดบนเปลือกโลก มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในระบบสรีระวิทยาของเซลล์และการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ

#### ความสำคัญของแคลเซียม

แคลเซียม เป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุดในร่างกายประมาณร้อยละ 99 อยู่ที่กระดูกและฟัน แคลเซียมยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายของคนเรา เช่น ระบบประสาทที่ต้องอาศัยแคลเซียมเป็นแร่ธาตุจำเป็นในการนำกระแสประสาทของเซลล์ในระบบประสาท กระบวนการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อ ระบบหัวใจที่ต้องทำงานตลอดเวลาเช่นกัน นอกจากนี้แคลเซียมยังเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการแข็งตัวของเลือด เป็นตัวนำสารอาหารที่สำคัญผ่านเข้าออกเซลล์ และที่สำคัญที่สุดแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักของกระดูก รวมทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดโรคกระดูกพรุนด้วย

ร่างกายมีการสร้างและสลายกระดูกตลอดเวลา จะมีการสร้างกระดูกไปเรื่อยๆ จนกระทั่งอายุมากขึ้นการสร้างจะลดลง ดังนั้นเมื่ออายุมากขึ้น ร่างกายก็ยังคงต้องการแคลเซียม เพื่อป้องกันโรคกระดูกพรุน กระดูกมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ แคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งประกอบเป็นโครงร่างคน เป็นส่วนที่แข็งแรงที่สุดในร่างกายสามารถรับน้ำหนักตัวของเราได้ ถ้าขาดแคลเซียมร่างกายกับสมองอาจสื่อสารกันไม่ได้ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ ส่งผลให้ไม่สามารถบีบตัวได้ หัวใจจะหยุดเต้น

ในร่างกายมีฮอร์โมนชื่อแคลซิโตรอล (Calcitriol) ถูกสร้างมาจากวิตามินดี 3 (วิตามินดี 3 เป็นวิตามินที่ร่างกายสร้างขึ้นมาจากปฏิกิริยาระหว่างแสงแดดกับเมลาโทนิที่ผิวหนัง) เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการใช้แคลเซียม ถ้าได้รับแคลเซียมเข้าไปน้อย ฮอร์โมนแคลซิโตรอล ก็จะไป

กระตุ้นให้ร่างกายหลั่งสารแคลซิไตรอล ออกมามากขึ้น ทำให้การดูดซึมแคลเซียมมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่ถ้าได้รับแคลเซียมเข้าไปมาก ก็จะไปกีดการรสร้างสารตัวนี้ การใช้แคลเซียมก็จะมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการกินแคลเซียมปริมาณมากเป็นเวลานานอาจมีผลทำให้เกิดนิ่วในไตได้ (อัมพร, 2550)

### การทำงานของแคลเซียม

การทำงานของแคลเซียมจะเริ่มเมื่อร่างกายได้รับแคลเซียมจากอาหารก็จะถูกกรดในกระเพาะทำให้แคลเซียมแตกตัวได้ดีขึ้นและถูกดูดซึมได้ง่ายขึ้นจากบริเวณลำไส้ส่วนต้นซึ่งปกติแล้วร่างกายจะดูดซึมแคลเซียมได้ประมาณร้อยละ 20 - 40 หลังจากนั้นแคลเซียมจะเข้าสู่เลือดผ่านไปตามระบบไหลเวียนโลหิตแล้วไปสู่อวัยวะต่างๆ ส่วนใหญ่จะเข้าสู่กระดูก นอกจากนั้นจะเข้าสู่เซลล์ต่างๆในร่างกาย ที่เหลือจะถูกขับออกทางปัสสาวะ

โดยปกติแม้กระดูกจะไม่ยึดตัวให้เห็นแต่จะมีแคลเซียมผ่านเข้า - ออกจากกระดูกวันละประมาณ 700 มิลลิกรัม แคลเซียมที่อยู่ในกระดูกจะถูกดึงออกพร้อมกับขบวนการละลายกระดูก (Resorption) และเสริมเข้าไปพร้อมกับการสร้างกระดูกใหม่ (Formation) อยู่ตลอดเวลาทั้งนี้ขึ้นกับภาวะโภชนาการ ปริมาณแคลเซียม ความสมดุลของฮอร์โมนและวัย

โดยทั่วไปร่างกายจะมีการรักษาระดับแคลเซียมในเลือดให้ปกติเสมอเพื่อให้อวัยวะต่างๆ ปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างปกติ การที่ร่างกายได้รับแคลเซียมไม่พอเพียงต่อการรักษาระดับแคลเซียมให้ปกติจึงต้องมีการละลายแคลเซียมจากกระดูกมาเพิ่มให้กับเลือดทำให้แคลเซียมในกระดูกค่อยๆ ลดลงๆท้ายที่สุดระดับแคลเซียมปกติก็ลดลงจนไม่พอใช้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการสะสมแคลเซียมของร่างกายมนุษย์นั้นเริ่มตั้งแต่ยังเป็นทารกในครรภ์มารดาโดยในแต่ละวัยร่างกายสามารถสะสมปริมาณแคลเซียมในระดับที่แตกต่างกันนี้ (อัมพร, 2550)

### ตารางที่ 3 ปริมาณการสะสมแคลเซียมในร่างกายตามกลุ่มวัยต่างๆ

กลุ่มวัยต่างๆ	ปริมาณการสะสมแคลเซียมในร่างกาย (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน)
เด็กแรกเกิด - 9 ปี	100
เด็ก อายุ 10 ปี	100 - 150
วัยรุ่น อายุ 11 - 18 ปี	200 - 400
วัยผู้ใหญ่ อายุ 19 - 30 ปี	50 - 100
วัยผู้ใหญ่ อายุ 30 ปีขึ้นไป	0

ที่มา : อัมพร, 2550

หลังจากอายุ 30 ปีไปแล้ว ร่างกายจะไม่สะสมแคลเซียมอีกต่อไปจึงต้องมีการเสริมแคลเซียมให้ร่างกายเพื่อรักษาระดับแคลเซียมในกระดูก

#### ความต้องการของแคลเซียม

ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการจะเปลี่ยนแปลงตามวัยและสถานะต่างๆ ของร่างกายทารก เด็กและวัยรุ่น เป็นช่วงที่มีการสร้างกระดูกมากที่สุด ทำให้มวลกระดูกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงวัยรุ่นจึงเป็นช่วงสำคัญในการสะสมมวลกระดูกสำหรับการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลกระดูก ให้มีปริมาณสูงสุด

วัยหนุ่มสาวในช่วงอายุ 19 - 30 ปี มีการสะสมมวลกระดูกเล็กน้อยจึงจะถึงปริมาณสูงสุด วัยผู้ใหญ่และวัยสูงอายุ เป็นช่วงที่มีการดึงแคลเซียมออกจากกระดูกเพิ่มขึ้น ทำให้มวลกระดูกลดลง โดยเฉพาะผู้หญิงที่หมดประจำเดือนในช่วง 5 ปีแรก มวลกระดูกจะลดลงอย่างรวดเร็ว หญิงตั้งครรภ์ และหญิงให้นมบุตร เนื่องจากในขณะตั้งครรภ์หรือให้นมบุตรร่างกายมีการปรับตัวโดยการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น และดึงแคลเซียมออกจากกระดูกน้อยลง ดังนั้นปริมาณแคลเซียมที่แนะนำในกลุ่มนี้จึงเท่ากับก่อนตั้งครรภ์ แต่เนื่องจากหญิงก่อนตั้งครรภ์ส่วนใหญ่ มักจะกินแคลเซียมในปริมาณน้อยกว่าที่แนะนำ ดังนั้นในระยะตั้งครรภ์และให้นมบุตรจึงต้องกินอาหารที่มีแคลเซียมเพิ่มขึ้นให้เพียงพอตามที่แนะนำ เพื่อการสร้างกระดูกของทารกในครรภ์ซึ่งจะส่งผลให้มีพัฒนาการและการเจริญเติบโตที่ดี (อัมพร, 2550)

#### ตารางที่ 4 ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการใน 1 วัน ตามกลุ่มวัยต่างๆ

กลุ่มวัยต่างๆ	ปริมาณที่ต้องการใน 1 วัน (มิลลิกรัม)
วัยทารก อายุ 0 - 6 เดือน	210
อายุ 7 - 12 เดือน	270
วัยเด็ก อายุ 1 - 3 ปี	500
อายุ 4 - 8 ปี	800
วัยรุ่น อายุ 9 - 18 ปี	1,300
วัยผู้ใหญ่ อายุ 19 - 50 ปี	1,000
อายุ 50 ปีขึ้นไป	1,200
หญิงตั้งครรภ์/หญิงให้นมลูก	1,200

ที่มา : อัมพร, 2550

ตารางที่ 5 แสดงคุณค่าอาหารในส่วนที่กินได้ 100 กรัมเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส

ชื่ออาหาร	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	ชื่ออาหาร	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)
ปลาร้าผง	2,392	1,312	เนยแข็ง	630	800
กุ้งแห้งตัวเล็ก	2,167	436	มะขามหวาน	141	165
กุ้งฝอย	1,339	247	ไข่ไก่	126	204
กะปิ	926	661	นมวัว	118	99
งาดำ ดิบ	1,100	570	ผักคะน้า	245	80
ถั่วแดงหลวง ดิบ	965	415	ผักกาดเขียว	178	67
งาขาว ดิบ	630	650	ถั่วลันเตา	171	115
ใบชะพลู	601	30	มะกอกไทย	160	36
ถั่วแปะยี ถั่ว	592	481	มะเขือพวง	158	110
เห็ดลม	541	7	ใบขี้เหล็ก	156	190
ใบยอ	469	-	ใบย่านาง	155	11
มะขามฝักสด	429	14	พริกไทยอ่อน	152	23
ยอดแค	395	40	ใบเหลียง	151	224
ผักกะเจ็ด	387	7	ใบบัวบก	146	30
ยอดสะเดา	354	26	ใบแมงลัก	140	40
เมล็ดบัวดิบ	335	342	ยอดกระถิน	137	11
ถั่วเหลือง ดิบ	245	500	ถั่วเขียว ดิบ	125	340

ที่มา : กองโภชนาการ, 2544

#### แหล่งของแคลเซียม

แหล่งของแคลเซียมที่พบในปริมาณมากคือ นม ผลิตภัณฑ์นม ผักใบเขียว ถั่ว เต้าหู้ และปลา ผักที่พบว่าปริมาณแคลเซียมมาก เช่น ใบยอ ใบชะพลู ยอดแค ยอดสะเดา ผักคะน้า ผักแพว นอกจากนี้ในงาดำ ถั่วแดงหลวง ถั่วเหลือง เมล็ดบัว มีแคลเซียมปริมาณมาก (อัมพร, 2550)

### ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม

แคลเซียมที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดมีหลายรูปแบบทั้งที่เป็นเม็ด เม็ดฟูละลายน้ำดื่ม หรือ แคปซูล ซึ่งอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมแบบต่างๆ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) แคลเซียมกลูโคเนต (Calcium gluconate) แคลเซียมซิเตรด (Calcium citrate) แคลเซียมแลคเตต (Calcium lactate) และแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate) เกลือของแคลเซียมแต่ละรูปแบบนั้นจะให้แคลเซียมแก่ร่างกายในปริมาณที่ไม่เท่ากัน (อัมพร, 2550)

### ตารางที่ 6 แสดงปริมาณธาตุแคลเซียม (ร้อยละ) ในเกลือแคลเซียม

เกลือแคลเซียม	ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละ)
แคลเซียมคาร์บอเนต	40
แคลเซียมกลูโคเนต	9
แคลเซียมซิเตรด	21
แคลเซียมฟอสเฟต	38

ที่มา : อัมพร, 2550

ดังนั้นการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมจึงต้องพิจารณาปริมาณเกลือแคลเซียมว่าเป็นเกลือรูปแบบใดด้วย

### เทคโนโลยีกระบวนการผลิตโดยวิธี Vacuum Impregnation (VI)

เทคนิคนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นก่อนที่จะนำไปทำการแปรรูปต่อไป เช่น การอบแห้ง การแช่เยือกแข็ง การผลิตอาหารกระป๋องและการทอด ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปตัดแปลงสูตรและการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

หน้าที่หลักของเทคนิค Vacuum Impregnation สามารถแบ่งได้ 2 ข้อ ดังนี้

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ โดยปรับปรุงรูพรุนในโครงสร้างของอาหารให้ดีขึ้นส่วนใหญ่จะใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยอุณหภูมิต่ำหรือความร้อนมีผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อของพืช นอกจากนี้เทคนิค Vacuum Impregnation ยังช่วยในเรื่องของการรักษาสี กลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ และช่วยป้องกันการสูญเสียคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อน เช่น การใช้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมร่วมกับระบบ

Vacuum Impregnation จะช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นในผลไม้สดได้ และยังพบว่าเทคนิค Vacuum Impregnation มีผลต่อการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นผลไม้จากเอนไซม์และการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ เทคนิค Vacuum Impregnation ยังช่วยให้สารอาหารอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารที่ช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ สามารถซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างของอาหารซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพที่ดีขึ้นและมีอายุการเก็บที่นานขึ้น

Gras *et al.* (2001) ทำการศึกษาการเสริมแคลเซียมโดยใช้เทคโนโลยี Vacuum Impregnation ในผักเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป โดยมีการศึกษาถึงผลของแคลเซียมต่อเนื้อเยื่อของผักและผลของ Vacuum Impregnation ต่อกลไกที่เกิดขึ้น ซึ่งผักที่นำมาทำการทดลอง คือ มะเขือเปราะ เห็ดนางรมและแครอท สารละลายที่ใช้ในการแช่ประกอบด้วย ซูโครสร่วมกับ Calcium lactate และใช้สารละลายซูโครสเป็นตัวอย่างควบคุม โดยใช้ความดันที่ระดับ 50 มิลลิบาร์เป็นเวลานาน 10 นาที จากนั้นปรับความดันไว้ที่ระดับความดันบรรยากาศ นาน 10 นาที จากการวิเคราะห์ผลของการดูดซึมสารละลายและการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง พบว่า แคลเซียมมีผลต่อการดูดซึมสารละลายเพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อกลไกภายในเนื้อเยื่อของมะเขือเปราะและแครอท นอกจากนี้แคลเซียมไม่มีผลต่อเห็ดนางรม อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการตรวจสอบถึงระดับการดูดซึมแคลเซียมของเนื้อเยื่อของผักโดยวิธี Energy dispersive X - ray microanalysis (EDXMA) พบว่าแคลเซียมถูกดูดซึมเข้าไปในช่องว่างภายในเซลล์ของมะเขือเปราะและเห็ดนางรม และสามารถเข้าไปภายใน Xylem ของแครอท

## 2. ช่วยประหยัดพลังงาน โดยลดพลังงานและเวลาในการผลิต

เทคนิค Vacuum Impregnation เป็นเทคนิคที่ประยุกต์ใช้หลักการสุญญากาศและการออสโมซิสในระบบสารละลาย โดยอาศัยความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของสารละลาย ทั้งนี้เมื่อมีการประยุกต์ใช้ความดันแบบสุญญากาศเข้าไปในระบบทำให้การออสโมซิสเกิดได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตได้ โดย Yanyun *and Jing.* (2004) ได้ทำการสรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในเทคนิค Vacuum Impregnation ของการแปรรูปผักและผลไม้ดังนี้



**พารามิเตอร์**

ความเข้มข้นของสารละลาย

**สถานะ**

โดยส่วนใหญ่จะใช้สารละลายซูโครสสำหรับ  
ระดับความเข้มข้นใช้อย่างน้อยที่สุด ร้อยละ  
20 - <50

อุณหภูมิของสารละลาย

สำหรับ Dehydrated Food ใช้ร้อยละ 50 - 75

ระดับสุญญากาศ

20 - 50 องศาเซลเซียส

ใช้อย่างน้อยที่สุด 0.005 - 0.05 บาร์

เวลาที่ใช้ในระดับสุญญากาศ

สำหรับ Dehydrated Food ใช้ 0.05 - 0.2 บาร์

10 - 30 นาที

เวลาที่ใช้ในระดับความดันบรรยากาศ

ใช้อย่างน้อยที่สุด 10 - 20 นาที

สำหรับ Dehydrated Food ใช้เวลาเป็นชั่วโมง

**ปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อผลิตภัณฑ์อาหาร**

การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าที่จะเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (Free radical chain reaction) (นิธิยา, 2544) ปฏิกิริยานี้จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพเสื่อมลง เนื่องจากเกิดการสลายตัวของกรดไขมันจำเป็นในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือการสลายตัวของวิตามินชนิดที่ละลายได้ในไขมัน เช่น วิตามินดี อี และเค เป็นต้น หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือสารพิษเกิดขึ้น เช่น สารก่อมะเร็ง หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสและเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะสีประเภทแคโรทีนอยด์ ไมโอโกลบิน แอนโทไซยานิน และคลอโรฟิลล์ เป็นต้น (สิวาพร, 2546) และทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงมีการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารป้องกันการหืนหรือสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เติมในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ

**ผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อผลิตภัณฑ์อาหาร****1. การทำลายโปรตีน**

โปรตีน เปปไทด์ และกรดอะมิโน เป็นสารประกอบที่ค่อนข้างไวต่อสารเคมีและภาวะต่างๆ ได้ง่าย มีผลทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป (นิธิยา, 2545) ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีแสง รังสี โลหะไอออน เป็นตัวเร่งจะเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง มีผลทำให้การทำงานเปลี่ยนไปโดยส่งผลต่อ การเปลี่ยนแปลง

เนื้อสัมผัส สี ความสามารถในการละลายน้ำของโปรตีนลดลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อการสูญเสียคุณค่าอาหาร เนื่องจากสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น (Madhavi *et al.*, 1996)

## 2. การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ กลิ่นเหม็นหืนที่เกิดขึ้นเกิดจากสารจำพวกอัลดีไฮด์ หรือ คีโตน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสาร ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เช่น ในเนื้อสัตว์มักจะเกิดกลิ่นรสผิดปกติ เช่น กลิ่นเหม็นเขียว กลิ่นหืน กลิ่นไขมัน กลิ่นฉุน และกลิ่นรสผิดปกติอื่นๆ (Johnson *et al.*, 1992)

## 3. การสูญเสียวิตามิน

วิตามินที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันได้ เช่นวิตามินเอ เบต้าแคโรทีน วิตามินอีและวิตามินซี เป็นต้น ซึ่งจะทำหน้าที่จับกับออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นเริ่มต้น และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัว ทำให้สามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ขั้นต่อเนื่องได้ วิตามินเอและซี จะมีความไวต่อออกซิเจน ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงจากแสง เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสูญเสียวิตามินด้วย (Madhavi *et al.*, 1996)

## 4. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเม็ดสี

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากมายโดยเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบในอาหาร เช่น เม็ดสี กรดอะมิโน เป็นต้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพืชจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเม็ดสี ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลเกิดขึ้น

## สารป้องกันการหืน (Antioxidant)

สารป้องกันการหืนหรือสารต้านอนุมูลอิสระ หมายถึง สารที่สามารถชะลอจุดเริ่มต้นหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือออกซิเดชัน (Autoxidation) ของไขมันอย่างช้าๆ (นิธิยา, 2545) ซึ่งช่วยทำให้ไขมันหรือน้ำมันและ ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบเกิดการหืนได้ช้าลง แต่ไม่สามารถทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วดีขึ้น สารป้องกันการหืนสามารถพบได้ในอาหารโดยธรรมชาติ อีกทั้งยังสามารถเติมเข้าไปในผลิตภัณฑ์อาหารได้ หรืออาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตได้ เช่นกัน ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีคุณภาพดีขึ้น รวมทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นอีกด้วย (Akoh and Min, 1998)

การเติมสารป้องกันการหืนลงในผลิตภัณฑ์อาหาร ควรพิจารณาถึงความสามารถในการละลายในไขมัน สารป้องกันการหืนจะต้องไม่มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และจะต้องมีประสิทธิภาพอย่างน้อย 1 ปี ที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้จะต้องมีความคงตัวเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน รวมทั้งก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Joseph and Anthony, 1995)

#### สารป้องกันการหืนจากธรรมชาติ (Natural antioxidant)

สารป้องกันการหืนจากธรรมชาติ สามารถพบได้หลายแหล่ง เช่น พืช สัตว์ รวมทั้งจุลินทรีย์ อีกทั้งยังสามารถพบในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารได้เช่นกัน ซึ่งจะพบสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Madhavi *et al.*, 1996) เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคเฟอรอล แคลโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ กรดอะมิโน โปรตีน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Maillard reaction ฟอสโฟลิปิด และเอนไซม์ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากพืช เครื่องเทศ และสารสกัดจากผักหรือเนื้อเยื่อของสัตว์ต่างๆ (ศิวาพร, 2546)

#### โรสแมรี่

โรสแมรี่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาร 1, 8-Cineole และ Borneol ซึ่งจะแตกต่างกับการสกัดโรสแมรี่โดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งได้สารจำพวก Phenolic diterpenes ได้แก่ Carnosic acid และ Carnosol สารเหล่านี้จะมีความสามารถในการป้องกันการหืนสูงกว่าสาร 1, 8-Cineole และ Borneol

นิยมใช้โรสแมรี่ในรูปของเครื่องเทศ โดยใช้ใบนำไปแต่งกลิ่น และรสชาติของซอสอาหารประเภทเนื้อ สัตว์ปีก นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดโรสแมรี่ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (Curde rosemary extract) มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อและผลิตภัณฑ์ที่เป็นอิมัลชัน (Akoh and Min, 1998)

Richheimer *et al.* (1996) รายงานว่าในใบของโรสแมรี่ เสา และท่ายม พบสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืนสูงที่สุดในบรรดาสมุนไพร่ทั้งหลาย โดยโรสแมรี่และเสาประกอบด้วยสารต่างๆ ดังนี้ Phenolic acid, Rosmarinic acid, Phenolic diterpenes, Carnosic acid, Carnosol, Rosmanol, Rosmadiol, Methylcarnosate, Epiisorosmanol Flavonoid และ Monoterpene

Wu *et al.* (1982) ได้นำสารสกัดโรสแมรี่มาเปรียบเทียบกับสารป้องกันการหืนสังเคราะห์ BHA และ BHT โดยตรวจวัดค่าสารเปอร์ออกไซด์ พบว่า สารสกัดโรสแมรี่มีความสามารถในการป้องกันการหืนดีกว่า BHA และ BHT และได้สกัดสาร Carnosol จากสารสกัดโรสแมรี่เพื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดโรสแมรี่ และ BHT พบว่าสารสกัดโรสแมรี่มีความสามารถดีที่สุด แสดงให้

เห็นว่า สารป้องกันการเหินที่อยู่ในรูปสารสกัดโรสแมรี่สามารถป้องกันการเหินได้ดีกว่าการแยกสารที่มีความสามารถในการป้องกันการเหินออกมา เนื่องจากในสารสกัดโรสแมรี่มีสารที่มีความสามารถในการป้องกันการเหินมากกว่า 1 ชนิด จึงมีการทำงานที่เสริมฤทธิ์กันมากกว่าที่จะทำงานเพียงชนิดเดียว

ไพโรจน์ และคณะ (2549) ได้ศึกษาองค์ประกอบหลักของน้ำมันโรสแมรี่ 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันโรสแมรี่ที่สกัดได้จากโรสแมรี่สดที่เพาะปลูกในพื้นที่ส่งเสริมการเกษตรของมูลนิธิโครงการหลวง และน้ำมันโรสแมรี่ทางการค้า โดยการใช้เทคนิคทาง GC - MS พบว่า น้ำมันโรสแมรี่ที่สกัดด้วยไอน้ำจากโรสแมรี่ที่เพาะปลูกในพื้นที่ส่งเสริมการเกษตรของมูลนิธิโครงการหลวง มีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่  $\alpha$ -Pinene ร้อยละ 21.77 Camphor ร้อยละ 15.85 1,8-Cineole ร้อยละ 11.40 1-Verbenone ร้อยละ 10.16 และ Camphene ร้อยละ 7.54 น้ำมันโรสแมรี่ที่มีจำหน่ายทางการค้า มีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ 1,8-Cineole ร้อยละ 27.77  $\alpha$ -Pinene ร้อยละ 20.48 Camphor ร้อยละ 17.86 Camphene ร้อยละ 12.58 และ  $\beta$ -pinene ร้อยละ 6.99

## อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

---

### สถานที่ทดลอง

โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง

### วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผักผลไม้กรอบเสริมแคลเซียมและสารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่

- ฟักทอง
- แครอท
- ชูกี

### สารเคมี

- กลูโคสไซรัป
- แคลเซียมแลคโตส กลูโคเนส

### อุปกรณ์

- หม้อความดันระบบสุญญากาศ (Vacuum Impregnation)
- หม้อทอดระบบสุญญากาศ (Vacuum Frier)
- เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง (Analytical balance, Satorius : Model A 120 S, Germany)

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

1. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ
  - เครื่องวัดสี (Minolta Lab Camera, Chroma meter CR - 310, Japan)
  - เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Model 5565, USA Instron, 1993)
2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี
  - เครื่องวัดน้ำอิสระ (Aw - box, Novasina : AWC 200, Switzerland)
  - เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Hand refractometer, ATAGO: Model

N1 Brix 0 - 100 %)

3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

- ชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบชิม
- แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

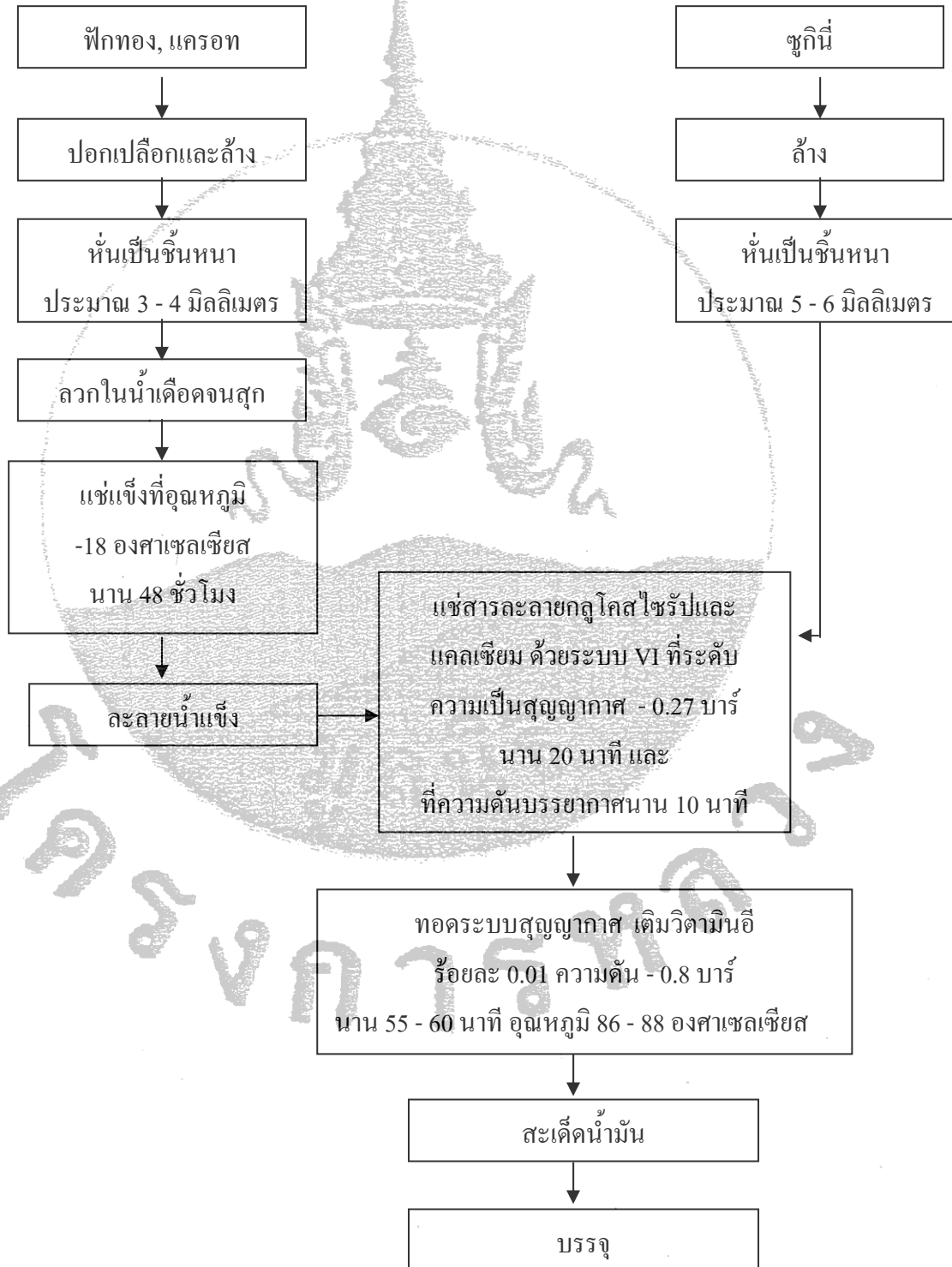
เครื่องประมวลผลข้อมูล

- โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ
- เครื่องคอมพิวเตอร์



## วิธีการทดลอง

## กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบ



(ดัดแปลงจาก กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบ โรงงานแปรรูปฯ มูลนิธิโครงการหลวง)

## ตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโซลที่ที่เหมาะสม ที่ใช้ในกระบวนการการแช่ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

### 1.1 การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์

ก่อนทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องทราบข้อมูลเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ก่อน เพื่อทราบแนวทางที่ถูกต้อง ว่ามีลักษณะใดของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบชิมให้ความสำคัญและต้องการให้พัฒนาไปในทิศทางใด การหาเค้าโครงผลิตภัณฑ์ใช้หลักการของ Ideal ratio profile (ไพโรจน์, 2545) เป็นวิธีการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้วยค่าสัดส่วน โดยใช้สเกลเส้นตรงแบบ Horizontal line scale และให้ผู้ทดสอบชิมเป็นผู้กำหนดลักษณะต่างๆ ด้วยตนเอง ซึ่งลักษณะที่ใช้ในการทดสอบ แบ่งได้เป็น 4 ลักษณะคือลักษณะปรากฏภายนอก กลิ่นและรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม จากนั้นให้ผู้ทดสอบชิมทำเครื่องหมายลงบนสเกลในตำแหน่งที่เห็นว่าเป็นคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุดของผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ (Ideal) และทำอีกเครื่องหมายในตำแหน่งที่ผู้ทดสอบชิมเห็นว่าเป็นคุณลักษณะแท้จริงของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการทดสอบ หาค่าสัดส่วนของระยะทางระหว่างตำแหน่งทั้งสอง เพื่อเป็นข้อมูลเค้าโครงผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาในการทดลองต่อไปตามแบบการทดลองของวิธี Ideal ratio profile ซึ่งถ้าค่าสัดส่วนของลักษณะใดมีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าตัวอย่างมีลักษณะตามที่ต้องการจึงไม่ต้องทำการพัฒนาต่อไป แต่ถ้าค่าสัดส่วนมีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 1 หมายความว่าต้องทำการพัฒนาให้ลักษณะนั้นมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงตามลำดับ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการมากที่สุด

ในการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของผัก ผลไม้กรอบเสริมแคลเซียมและสารต้านอนุมูลอิสระ จะใช้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบคือผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบของมูลนิธิโครงการหลวง เป็นตัวอย่างอ้างอิง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน เป็นผู้กำหนดลักษณะต่างๆ ที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ และจะใช้โครงสร้างที่ได้ในขั้นตอนนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตลอดการวิจัย



## 1.2 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม

เพื่อศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม ที่ใช้ในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ซึ่งกำหนดเวลาและความดันไว้ที่ 20 นาที และ -0.27 บาร์ และที่ระดับความดันบรรยากาศ 10 นาที โดยวางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points (ไพโรจน์, 2547) โดยระดับของปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

	ระดับต่ำสุด	ระดับสูงสุด
ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละ) (น้ำหนัก/น้ำหนัก)	0.10	0.30
ระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	20	60

ตารางที่ 7 สิ่งทดลองของแผนการทดลอง  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points โดยผันแปรระดับความเข้มข้นของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)
(1)	0.10 (-)	20.00 (-)
a	0.30 (+)	20.00 (-)
b	0.10 (-)	60.00 (+)
ab	0.30 (+)	60.00 (+)
$-\alpha a$	0.06 (-1.682)	40.00 (0)
$+\alpha a$	0.34 (+1.682)	40.00 (0)
$-\alpha b$	0.20 (0)	11.72 (-1.682)
$+\alpha b$	0.20 (0)	68.28 (+1.682)
Cp1	0.20 (0)	40.00 (0)
Cp2	0.20 (0)	40.00 (0)

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป;

Cp = จุดกึ่งกลาง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสดังนี้

#### คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าสี วัดสีในระบบ Hunter Lab ด้วยเครื่องวัดสี Minolta Camera: Model CR - 310, Japan. ตามวิธีของ Minolta Camera Co., Ltd., 1991
- ค่าแรงตัด ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Model 5565, USA) ตามวิธีของ Instron, 1993

#### คุณภาพทางเคมี

- ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ด้วยเครื่องวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (AW - box, Novasina: AWC200, Switzerland) ตามวิธีของ AOAC, 2005
- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid) โดยใช้ Hand refractometer (ATAGO, Japan) ตามวิธีของ AOAC, 2005
- ปริมาณน้ำตาล ตามวิธีของ AOAC, 2005
- ปริมาณแคลเซียม ตามวิธี Wet digestion and Atomic absorption spectrophotometry

#### คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

- Ideal ratio profile ตามวิธีของไพโรจน์, 2545

ในการทดสอบชิมจะใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน สุ่มตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสิ่งทดลองให้ผู้ทดสอบทำการประเมินลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ

จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อเลือกเอาปัจจัยทดลองที่มีความสำคัญต่อกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

## ตอนที่ 2 ศึกษากระบวนการแช่ผักผลไม้ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

ศึกษากระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสม โดยศึกษาระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ ซึ่งวางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points (ไพโรจน์, 2547) เมื่อ 2 เท่ากับ จำนวนปัจจัยที่ศึกษา โดยระดับของปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

	ระดับต่ำสุด	ระดับสูงสุด
ระยะเวลาในการแช่สารละลาย (นาที)	10	30
ระดับความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	- 0.13	- 0.40

โดยกำหนดให้ แช่ที่ระดับความดันบรรยากาศปกติอีก 10 นาที

ตารางที่ 8 แสดงการวางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points เมื่อแปรระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาแช่ (นาที)	ระดับสุญญากาศ (บาร์)
(1)	10 (-)	- 0.13 (-)
a	30 (+)	- 0.13 (-)
b	10 (-)	- 0.40 (+)
ab	30 (+)	- 0.40 (+)
$-\alpha a$	6 (-1.682)	- 0.27 (0)
$+\alpha a$	34 (+1.682)	- 0.27 (0)
$-\alpha b$	20 (0)	- 0.07 (-1.682)
$+\alpha b$	20 (0)	- 0.46 (+1.682)
Cp1	20 (0)	- 0.27 (0)
Cp2	20 (0)	- 0.27 (0)

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ;

Cp = จุดกึ่งกลาง

เมื่อสิ่งทดลองทั้งหมดผ่านกระบวนการผลิตแล้ว จากนั้นนำสิ่งทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ เช่นเดียวกับตอนที่ 1



## ผลการวิจัย

### ตอนที่ 1.1 การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์

ได้ทำการสำรวจเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบของมูลนิธิโครงการหลวงโดยใช้ Ideal ratio profile (ไพโรจน์, 2545) เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยให้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 20 คน กำหนดลักษณะคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบที่ต้องการพัฒนา

ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ ผักผลไม้กรอบที่ต้องการพัฒนา	จำนวนผู้ทดสอบชิมที่ให้ความสำคัญ (คน)		
	ผักทองทอด	แครอททอด	चुกีนีทอด
ลักษณะที่ปรากฏภายนอก			
- สี	20	20	20
- รูปร่าง/ขนาด	9	9	8
กลิ่นและรสชาติ			
- กลิ่นหอม	11	15	16
- กลิ่นหืน	6	7	5
- รสหวาน	16	18	16
- รสเค็ม	6	4	4
ลักษณะเนื้อสัมผัส			
- ความกรอบ	19	19	19
- ความหนาแน่นเนื้อ	1	2	-
- ความเหนียว	-	-	1

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ ผักทองทอด แครอททอด และ चुกีนีทอด ที่ประมวลจากผู้ทดสอบชิม ได้แก่

1. คุณลักษณะด้านสี
2. คุณลักษณะด้านกลิ่นหอม
3. คุณลักษณะด้านรสหวาน
4. คุณลักษณะด้านความกรอบ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าโครงสร้างส่วน (Ratio profile test) ทำโดยการวัดความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดตำแหน่งของตัวอย่าง (Sample) แล้วนำมาหารด้วยความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดแสดงตำแหน่งที่เหมาะสม (Ideal) นำค่าสัดส่วนที่ได้ของผู้ทดสอบชิมแต่ละคนในลักษณะเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ตารางที่ 10) ค่าเฉลี่ยที่ได้นำมาสร้าง ค่าโครงสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่างๆ ตลอดจนสามารถบอกความต้องการในเชิงปริมาณได้ การแปลความหมายของค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

#### ค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score)

ถ้าสัดส่วนเท่ากับ 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลง เป็นลักษณะที่ดีเท่ากับลักษณะที่ต้องการของผู้ทดสอบชิม ในอุดมคติ

ถ้าสัดส่วนมากกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นๆ มีความจำเป็นต้องลดความเข้มข้นหรือความแรงของลักษณะนั้น ๆ ลง

ถ้าสัดส่วนน้อยกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นๆ มีความจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นหรือความแรงของลักษณะนั้น ๆ ขึ้น

#### ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 หมายความว่า ผู้ทดสอบชิมมีความเห็นตรงกันหรือพ้องกัน

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.50 หมายความว่า ผู้ทดสอบชิมมีความเห็นต่างกันบ้าง

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 หมายความว่า ผู้ทดสอบชิมมีความเห็นต่างกันมาก ในกรณีนี้จะต้องพิจารณาด้วยความรอบคอบ ต้องมีเหตุผลอื่นประกอบก่อนที่จะตัดสินใจดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 10 ค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของลักษณะที่สำคัญของผักผลไม้กรอบ

ลักษณะที่สำคัญ ของผลิตภัณฑ์	Ideal (เซนติเมตร)	Sample (เซนติเมตร)	Ratio (S/I)
<b>ผักทองทอด</b>			
1. ลักษณะปรากฏ			
- สี	6.46±1.61*	6.33±1.70	1.00±0.24
2. กลิ่นและรสชาติ			
- กลิ่นผักทอง	6.61±1.46	6.14±1.79	0.93±0.19
- รสหวาน	6.38±1.54	6.02±1.53	0.94±0.09
3. ลักษณะเนื้อสัมผัส			
- ความกรอบ	7.78±1.61	7.38±1.51	0.97±0.19
<b>แครอททอด</b>			
1. ลักษณะปรากฏ			
- สี	7.08±1.37	7.08±1.35	1.00±0.07
2. กลิ่นและรสชาติ			
- กลิ่นแครอท	6.20±1.76	6.06±1.68	1.06±0.41
- รสหวาน	6.05±1.46	5.44±1.71	0.92±0.28
3. ลักษณะเนื้อสัมผัส			
- ความกรอบ	7.87±1.60	7.41±1.84	0.95±0.18
<b>ชุกินีทอด</b>			
1. ลักษณะปรากฏ			
- สี	6.29±1.78	6.17±1.95	0.98±0.16
2. กลิ่นและรสชาติ			
- กลิ่นชุกินี	6.22±2.37	6.10±1.95	1.05±0.37
- รสหวาน	6.35±1.50	5.67±1.48	0.89±0.12
3. ลักษณะเนื้อสัมผัส			
- ความกรอบ	7.92±1.49	5.96±2.45	0.75±0.26

หมายเหตุ : \*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ฟักทองทอด ด้านสี มีค่าสัดส่วนเฉลี่ย เท่ากับ  $1.00 \pm 0.24$  ด้านกลิ่นฟักทอง มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ  $0.93 \pm 0.19$  ด้านรสหวาน มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ  $0.94 \pm 0.09$  และด้านความกรอบ มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ  $0.97 \pm 0.19$  ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของฟักทองทอด ไม่มีความแตกต่างจากค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

แครอททอด คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี มีค่าสัดส่วนเฉลี่ย เท่ากับ  $1.00 \pm 0.07$  คุณลักษณะด้านกลิ่นแครอท มีค่าสัดส่วนเฉลี่ย เท่ากับ  $1.06 \pm 0.41$  ด้านรสหวาน มีค่าสัดส่วนเฉลี่ย เท่ากับ  $0.92 \pm 0.28$  และด้านความกรอบ มีค่าสัดส่วนเฉลี่ย เท่ากับ  $0.95 \pm 0.18$  ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของแครอททอด ไม่มีความแตกต่างจากค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ฟักทองทอดและแครอททอดเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยการเสริมแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค Vacuum Impregnation และการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่

สำหรับชุกินีทอด คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ  $0.98 \pm 0.16$  และคุณลักษณะด้านกลิ่นชุกินี มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ  $1.05 \pm 0.37$  ซึ่งคุณลักษณะทั้งสองไม่มีความแตกต่างจากค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวาน มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ  $0.89 \pm 0.12$  และคุณลักษณะด้านความกรอบ มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ  $0.75 \pm 0.26$  ซึ่งมีความแตกต่างจากค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในด้านคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบ พร้อมทั้งเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการเสริมแคลเซียมในผลิตภัณฑ์และยืดอายุการเก็บรักษาด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่



## 1.2 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม

ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม ที่ใช้ในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ซึ่งกำหนดเวลาและระดับสุญญากาศไว้ที่ 20 นาที และ - 0.27 บาร์ และที่ความดันบรรยากาศ 10 นาที ซึ่งวางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points (ไพโรจน์, 2547)

### 1.2.1 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของฟักทองทอด

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรระดับปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก่อนแช่สารละลาย (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหลังแช่สารละลาย (ร้อยละ)	อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
(1)	0.10	20.00	20.00	15.00	25.00
a	0.30	20.00	20.00	15.60	22.00
b	0.10	60.00	60.00	40.00	33.33
ab	0.30	60.00	60.00	44.00	26.67
- $\alpha$ a	0.06	40.00	40.00	30.00	25.00
+ $\alpha$ a	0.34	40.00	40.00	31.00	22.50
- $\alpha$ b	0.20	11.72	11.72	10.00	14.68
+ $\alpha$ b	0.20	68.28	68.28	49.00	28.24
Cp1	0.20	40.00	40.00	29.00	27.50
Cp2	0.20	40.00	40.00	30.00	25.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป;

Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของฟักทองทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ค่าแรงเจาะ (นิวตัน)	L (ค่าความสว่าง)	a (ค่าสีแดง - เขียว)	b (ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน)
(1)	0.10	20.00	3.39±1.48 *	59.30±0.24	+10.93±0.06	+42.98±1.40
a	0.30	20.00	2.57±0.07	59.45±0.05	+9.21±0.03	+38.44±0.35
b	0.10	60.00	6.90±1.61	62.08±0.05	+10.57±0.08	+45.36±0.65
ab	0.30	60.00	6.02±1.58	67.33±0.14	+7.49±0.05	+57.82±0.21
-αa	0.06	40.00	2.58±0.04	62.73±0.11	+10.39±0.18	+53.11±0.36
+αa	0.34	40.00	3.49±1.35	60.76±0.14	+8.79±0.09	+43.70±0.67
-αb	0.20	11.72	2.21±0.73	50.12±0.09	+11.79±0.10	+24.81±1.08
+αb	0.20	68.28	7.94±0.18	63.27±0.07	+8.05±0.07	+52.95±0.68
Cp1	0.20	40.00	6.09±1.41	59.45±0.09	+11.11±0.05	+43.95±0.72
Cp2	0.20	40.00	5.22±0.11	57.50±0.36	+12.23±0.06	+40.80±0.94

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของฟักทองทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw)
(1)	0.10	20.00	0.19±0.02*
a	0.30	20.00	0.24±0.04
b	0.10	60.00	0.24±0.03
ab	0.30	60.00	0.25±0.02
-αa	0.06	40.00	0.25±0.03
+αa	0.34	40.00	0.23±0.04
-αb	0.20	11.72	0.23±0.06
+αb	0.20	68.28	0.26±0.04
Cp1	0.20	40.00	0.20±0.03
Cp2	0.20	40.00	0.22±0.04

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	สี	กลิ่น	รสหวาน	ความกรอบ
(1)	0.10	20.00	1.05±0.29*	0.76±0.26	0.73±0.27	0.86±0.20
a	0.30	20.00	0.87±0.24	0.79±0.24	0.77±0.23	0.86±0.22
b	0.10	60.00	0.93±0.27	0.83±0.23	1.00±0.22	0.97±0.12
ab	0.30	60.00	0.79±0.24	0.76±0.26	0.96±0.27	0.97±0.15
-αa	0.06	40.00	0.86±0.27	0.75±0.26	0.72±0.27	0.86±0.24
+αa	0.34	40.00	0.84±0.28	0.80±0.19	0.79±0.29	0.85±0.16
-αb	0.20	11.72	1.10±0.26	0.87±0.29	0.70±0.32	0.62±0.30
+αb	0.20	68.28	0.89±0.20	0.72±0.28	0.88±0.28	0.93±0.15
Cp1	0.20	40.00	0.93±0.18	0.77±0.23	0.81±0.25	0.82±0.24
Cp2	0.20	40.00	0.96±0.18	0.81±0.21	0.87±0.21	0.90±0.19

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง

จากตารางที่ 12 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าแรงเจาะอยู่ในช่วง 2.21 - 7.94 นิวตัน ค่า L (ค่าความสว่าง) อยู่ในช่วง 50.12 - 67.33 ค่าสี a (สีแดง - สีเขียว) อยู่ในช่วง 7.49 - 12.23 และค่าสี b (สีเหลือง - สีนํ้าเงิน) อยู่ในช่วง 24.81 - 57.82

จากตารางที่ 13 แสดงคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $A_w$ ) อยู่ในช่วง 0.19 - 0.26

จากตารางที่ 14 แสดงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสี อยู่ในช่วง 0.79 - 1.10 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านกลิ่นฟักทองอยู่ในช่วง 0.72 - 0.87 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานอยู่ในช่วง 0.70 - 1.00 และค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบอยู่ในช่วง 0.62 - 0.97

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลในรูปสมการถดถอย (Multiple regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (Y) กับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป แสดงดังตารางที่ 15 ซึ่งสมการถดถอยนี้ต้องนำไปถอดรหัสตัวแปรเพื่อให้ได้สมการที่แท้จริง แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 15 สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านกายภาพและทางด้านประสาทสัมผัสที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป

สมการ (Coded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านกายภาพ		
ค่าแรงเจาะ	$5.66 - 0.051(C) + 1.88(G) - 0.017(C)(G) - 1.14(C)^2 - 0.12(G)^2$	0.93
ค่าสี a	$11.76 - 0.48(C) - 1.01(G) - 0.74(C)(G) - 0.73(C)^2 + 0.61(G)^2$	0.90
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
สี	$0.96 - 0.05(G) - 0.08(C)(G) - 0.033(C)^2 + 0.018(G)^2$	0.85
ความกรอบ	$0.86 + 0.09(G) - 0.03(G)^2$	0.85

หมายเหตุ : C หมายถึง แคลเซียม G หมายถึง กลูโคสไซรัป

ตารางที่ 16 สมการถอดถอดรหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านกายภาพและทางด้านประสาทสัมผัสที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป

สมการ (Decoded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านกายภาพ		
ค่าแรงเจาะ	$- 3.14 + 45.55(C) + 0.12(G) - 0.0083(C)(G) - 114.33(C)^2 - 0.00031(G)^2$	0.93
ค่าสี a	$9.66 + 18.92(C) + 0.063(G) - 0.19(C)(G) - 37.18(C)^2 - 0.00077(G)^2$	0.90
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
สี	$0.83 + 1.48(C) + 0.00044(G) - 0.02(C)(G) - 1.67(C)^2 + 0.000023(G)^2$	0.85
ความกรอบ	$0.67 + 0.0061(G) - 0.000037(G)^2$	0.85

หมายเหตุ : C หมายถึง แคลเซียม G หมายถึง กลูโคสไซรัป

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่

ค่าแรงเจาะ ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปและในรูปสมการยกกำลังสองของปริมาณแคลเซียม ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.20 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 68.28 จะทำให้ค่าแรงเจาะมีค่าเท่ากับ 7.94 นิวตัน การตอบสนองของแรงเจาะเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าแรงเจาะเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารละลายกลูโคสไซรัปแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ฟักทอง เกิดผลึกน้ำตาลยึดเกาะภายในโครงสร้างของเซลล์ ดังนั้นเซลล์จึงมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4

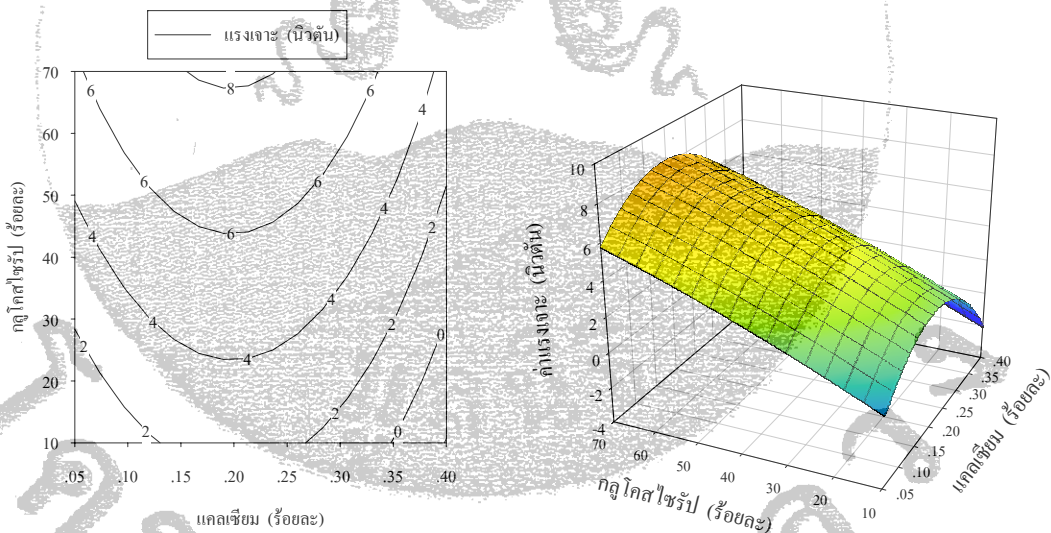
ค่าสี a ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.20 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 40 จะทำให้ค่าสี a มีค่าเท่ากับ 12.23 การตอบสนองของค่าสี a เมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสี a ลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอด เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ความร้อนในการสลายโมเลกุลให้แยกออก (Thermolysis) และเกิดโพลีเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอน ได้เป็นสารที่ให้สีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นคือน้ำตาล (คิวพร, 2546) ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดมีสีคล้ำลง ดังแสดงในภาพที่ 5

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่

ด้านสี ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปรวมถึงความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.20 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 40 จะให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 0.96 การตอบสนองด้านสีเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอดทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี a ที่ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 6

ด้านความกรอบ ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.10 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 60 จะให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 0.97 การตอบสนองด้านความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารละลายกลูโคสไซรัปแทรกซึมเข้าไปในเซลล์พืชของ ทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงเจาะที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 7

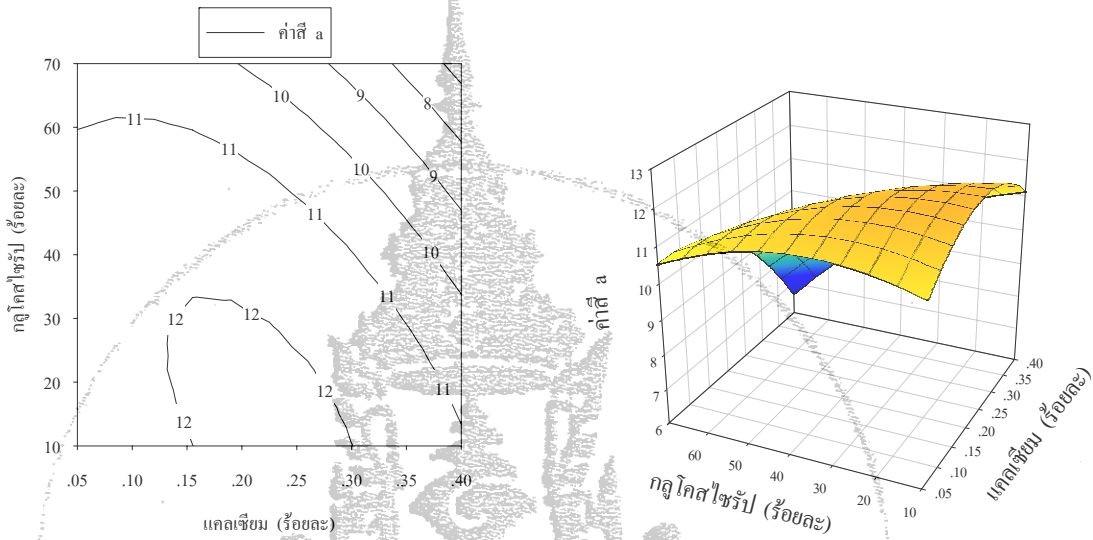
$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงเจาะ} = & -3.14 + 45.55(\text{แคลเซียม}) + 0.12(\text{กลูโคสไซรัป}) - 0.0083(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) \\ & - 114.33(\text{แคลเซียม})^2 - 0.00031(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.93 \end{aligned}$$



ภาพที่ 4 กราฟพื้นที่การตอบสนองของค่าแรงเจาะเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

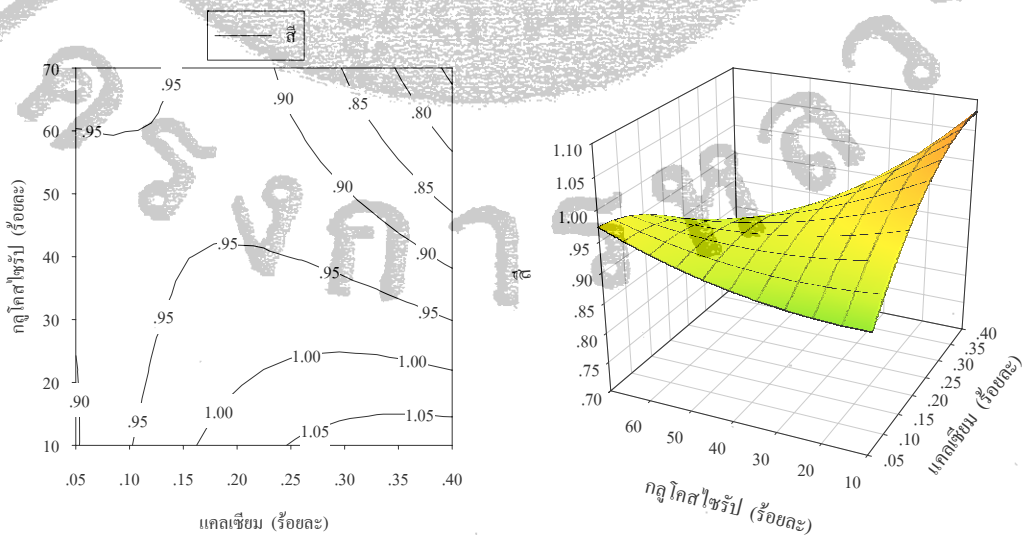


$$\text{ค่า } a = 9.66 + 18.92(\text{แคลเซียม}) + 0.063(\text{กลูโคสไซรัป}) - 0.19(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) - 37.18(\text{แคลเซียม})^2 - 0.00077(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.90$$



ภาพที่ 5 กราฟพื้นที่การตอบสนองของค่า  $a$  เมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

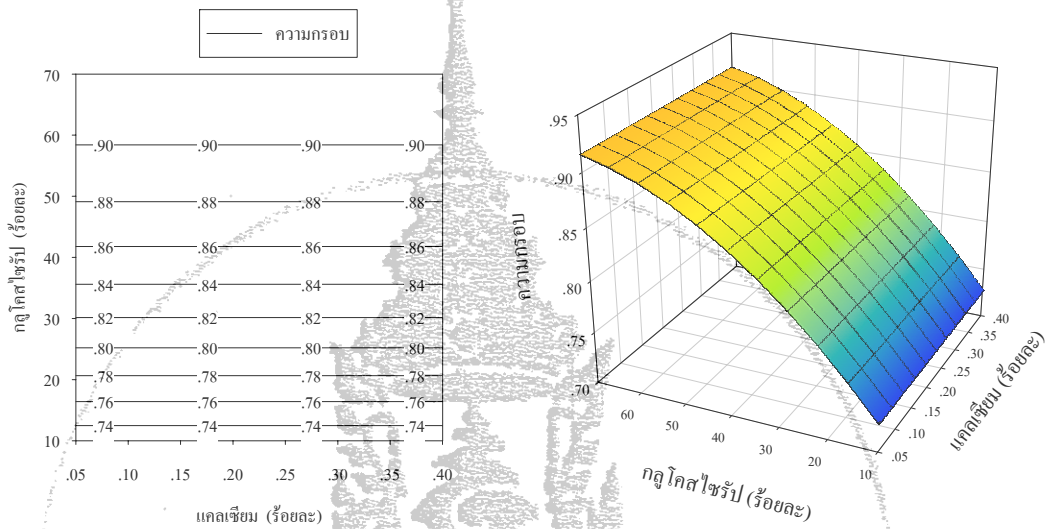
$$s = 0.83 + 1.48(\text{แคลเซียม}) + 0.00044(\text{กลูโคสไซรัป}) - 0.02(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) - 1.67(\text{แคลเซียม})^2 + 0.000023(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.85$$



ภาพที่ 6 กราฟพื้นที่การตอบสนองของคุณภาพด้าน  $s$  เมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

$$\text{ความกรอบ} = 0.67 + 0.0061(\text{กลูโคสไซรัป}) - 0.000037(\text{กลูโคสไซรัป})^2$$

$$R^2 = 0.85$$



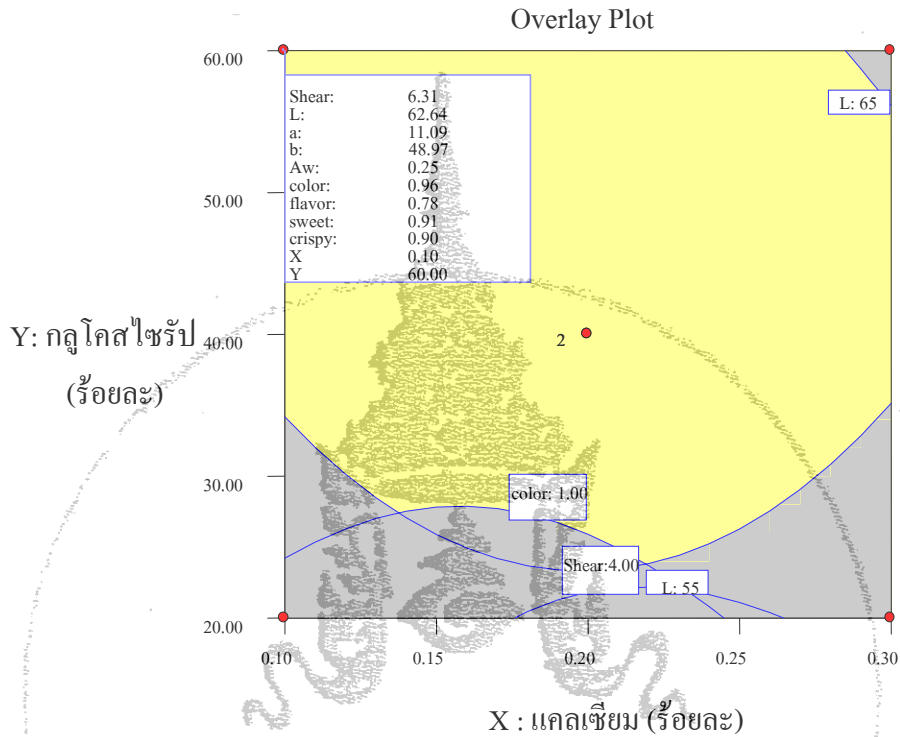
ภาพที่ 7 กราฟพื้นที่การตอบสนองของคุณภาพด้านความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

การคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป โดยการนำระดับของปัจจัยแทนค่าในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ถอดรหัสแล้ว เพื่อให้ทราบค่าการตอบสนองของคุณลักษณะ โดยต้องการค่า Mean ideal ratio profile ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของฟักทองทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคส ไซรัป (ร้อยละ)	คุณภาพทาง กายภาพ		คุณภาพทาง ประสาทสัมผัส		อัตราการ ดูดซึมของ สารละลาย (ร้อยละ)
			ค่า แรงเจาะ (นิวตัน)	ค่าสี a	สี	ความ กรอบ	
(1)	0.10	20	2.53	+11.79	0.94	0.78	25.00
a	0.30	20	2.46	+11.84	1.02	0.78	22.00
b	0.10	60	6.31	+11.09	0.95	0.90	33.33
ab	0.30	60	6.17	+9.62	0.87	0.90	26.67
- $\alpha$ a	0.06	40	3.47	+11.53	0.92	0.85	25.00
+ $\alpha$ a	0.34	40	3.32	+10.54	0.92	0.85	22.50
- $\alpha$ b	0.20	11.72	2.74	+12.18	1.02	0.74	14.68
+ $\alpha$ b	0.20	68.28	8.03	+10.11	0.92	0.91	28.24
Cp1	0.20	40	5.63	+11.76	0.95	0.85	27.50
Cp2	0.20	40	5.63	+11.76	0.95	0.85	25.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป;  
Cp = จุดกึ่งกลาง



ภาพที่ 8 กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของฟักทองในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

เมื่อพิจารณาโดยรวมถึงระดับปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการถอดรหัสและทำการแทนค่าในสมการเพื่อหาปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของฟักทองในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation จากตารางที่ 17 พบว่าผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดในสิ่งทดลอง b ระดับปริมาณแคลเซียม ร้อยละ 0.10 ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 60 ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด และมีอัตราการดูดซึมของสารละลายร้อยละ 33.33 ซึ่งเป็นอัตราการดูดซึมที่สูงที่สุด

ดังนั้นปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ฟักทองทอด คือ

ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละ)	0.10
ความเข้มข้นกลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	60
ปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้	52.30 มิลลิกรัม/100กรัม

### 1.2.2 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสม ของ แครอททอด

ตารางที่ 18 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรระดับปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก่อนแช่สารละลาย (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหลังแช่สารละลาย (ร้อยละ)	อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
(1)	0.10	20.00	20.00	16.00	20.00
a	0.30	20.00	20.00	16.00	20.00
b	0.10	60.00	60.00	49.00	18.33
ab	0.30	60.00	60.00	50.00	16.67
- $\alpha$ a	0.06	40.00	40.00	32.00	20.00
+ $\alpha$ a	0.34	40.00	40.00	31.00	22.50
- $\alpha$ b	0.20	11.72	11.72	10.00	14.66
+ $\alpha$ b	0.20	68.28	68.28	51.50	24.58
Cp1	0.20	40.00	40.00	31.50	21.25
Cp2	0.20	40.00	40.00	31.00	22.50

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป;

Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ คุณภาพทางกายภาพของแครอตทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณ แคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ค่าแรงเจาะ (นิวตัน)	L (ค่าความ สว่าง)	a (ค่าสีแดง - เขียว)	b (ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน)
(1)	0.10	20.00	12.67±0.08*	54.90±0.11	+36.46±0.02	+47.67±0.25
a	0.30	20.00	10.64±0.02	56.79±0.02	+34.84±0.10	+42.83±0.29
b	0.10	60.00	13.17±0.46	57.49±0.05	+33.67±0.04	+43.54±0.16
ab	0.30	60.00	13.47±0.51	59.18±0.02	+34.86±0.09	+47.59±0.04
-αa	0.06	40.00	10.47±0.07	57.20±0.02	+34.44±0.04	+45.52±0.05
+αa	0.34	40.00	10.43±0.07	56.70±0.02	+35.12±0.05	+44.81±0.08
-αb	0.20	11.72	15.27±0.25	54.63±0.05	+34.73±0.05	+41.91±0.07
+αb	0.20	68.28	10.65±0.09	57.25±0.05	+33.29±0.02	+46.17±0.03
Cp1	0.20	40.00	10.72±0.14	59.14±0.02	+33.87±0.05	+44.66±0.11
Cp2	0.20	40.00	10.39±0.03	56.09±0.04	+33.16±0.04	+45.05±0.08

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแคโรททอคเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียม และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw)
(1)	0.10	20.00	0.19±0.03*
a	0.30	20.00	0.18±0.04
b	0.10	60.00	0.17±0.02
ab	0.30	60.00	0.16±0.02
-αa	0.06	40.00	0.18±0.02
+αa	0.34	40.00	0.16±0.03
-αb	0.20	11.72	0.17±0.03
+αb	0.20	68.28	0.16±0.03
Cp1	0.20	40.00	0.16±0.02
Cp2	0.20	40.00	0.16±0.03

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของแคโรททอคเมื่อแปรระดับของปริมาณ แคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	สี	กลิ่น	รสหวาน	ความกรอบ
(1)	0.10	20.00	0.91±0.19 *	0.81±0.23	0.82±0.26	0.85±0.16
a	0.30	20.00	0.91±0.21	0.85±0.20	0.82±0.19	0.86±0.14
b	0.10	60.00	0.96±0.15	0.80±0.26	1.01±0.21	0.96±0.12
ab	0.30	60.00	0.95±0.18	0.80±0.28	1.03±0.24	0.97±0.11
-αa	0.06	40.00	0.80±0.23	0.76±0.25	0.94±0.24	0.95±0.17
+αa	0.34	40.00	0.83±0.17	0.74±0.26	0.84±0.22	0.90±0.20
-αb	0.20	11.72	0.94±0.17	0.72±0.29	0.77±0.23	0.82±0.20
+αb	0.20	68.28	1.00±0.16	0.72±0.28	1.15±0.21	0.98±0.14
Cp1	0.20	40.00	0.90±0.22	0.75±0.25	0.91±0.31	0.95±0.07
Cp2	0.20	40.00	0.94±0.15	0.72±0.30	0.90±0.29	0.91±0.19

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง



จากตารางที่ 19 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แคโรททอคที่แช่ในสารละลาย กลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกันพบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าแรงเจาะในช่วง 10.39 - 15.27 นิวตัน ค่า L (ค่าความสว่าง) อยู่ในช่วง 54.63 - 59.18 ค่าสี a (สีแดง - สีเขียว) อยู่ในช่วง 33.16 - 36.46 และ ค่าสี b (สีเหลือง - สีนํ้าเงิน) อยู่ในช่วง 41.91 - 47.67

จากตารางที่ 20 แสดงคุณภาพทางทางเคมีของผลิตภัณฑ์แคโรททอคที่แช่ในสารละลาย กลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $A_w$ ) อยู่ในช่วง 0.16 - 0.19

จากตารางที่ 21 แสดงคุณภาพทางทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคโรททอคที่แช่ ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ย ด้านสี อยู่ในช่วง 0.80 - 1.00 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านกลิ่นแคโรท อยู่ในช่วง 0.72 - 0.85 ค่าสัดส่วน เฉลี่ยด้านรสหวาน อยู่ในช่วง 0.77 - 1.15 และค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบอยู่ในช่วง 0.82 - 0.98

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสมาทำการ คำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบการถดถอย (Multiple regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (Y) กับปริมาณแคลเซียมและระดับ ความเข้มข้นกลูโคสไซรัป แสดงดังตารางที่ 22 ซึ่งสมการถดถอยนี้ต้องนำไปถอดรหัสตัวแปร เพื่อให้ได้สมการที่แท้จริง แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 22 สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มี นัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แคโรท) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับ ความเข้มข้นกลูโคสไซรัป

สมการ (Coded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
รสหวาน	$0.91 - 0.016(C) + 0.12(G) + 0.0035(C)(G) - 0.011(C)^2 + 0.026(G)^2$	0.96
ความกรอบ	$0.93 - 0.0060(C) + 0.056(G) + 0.00024(C)(G) - 0.0029(C)^2 - 0.015(G)^2$	0.93

หมายเหตุ : C หมายถึง แคลเซียม G หมายถึง กลูโคสไซรัป

ตารางที่ 23 สมการถอดถอดถอดรหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แครอท) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป

สมการ (Decoded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
รสหวาน	$0.78 + 0.22(C) + 0.00035(G) + 0.0018(C)(G) - 1.14(C)^2 + 0.000064(G)^2$	0.96
ความกรอบ	$0.76 + 0.051(C) + 0.0057(G) + 0.00012(C)(G) - 0.29(C)^2 - 0.000037(G)^2$	0.93

หมายเหตุ : C หมายถึง แคลเซียม G หมายถึง กลูโคสไซรัป

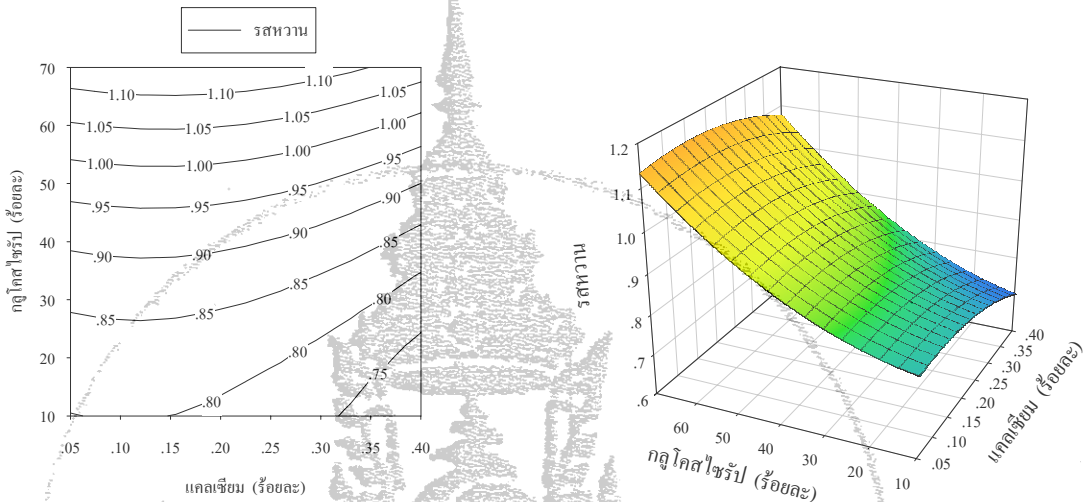
จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า

รสหวาน ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.10 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 60 จะให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยรสหวานของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 1.01 การตอบสนองด้านรสหวานเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 9

ความกรอบ ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.20 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 68.28 จะให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยรสหวานของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 0.98 การตอบสนองด้านความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 10

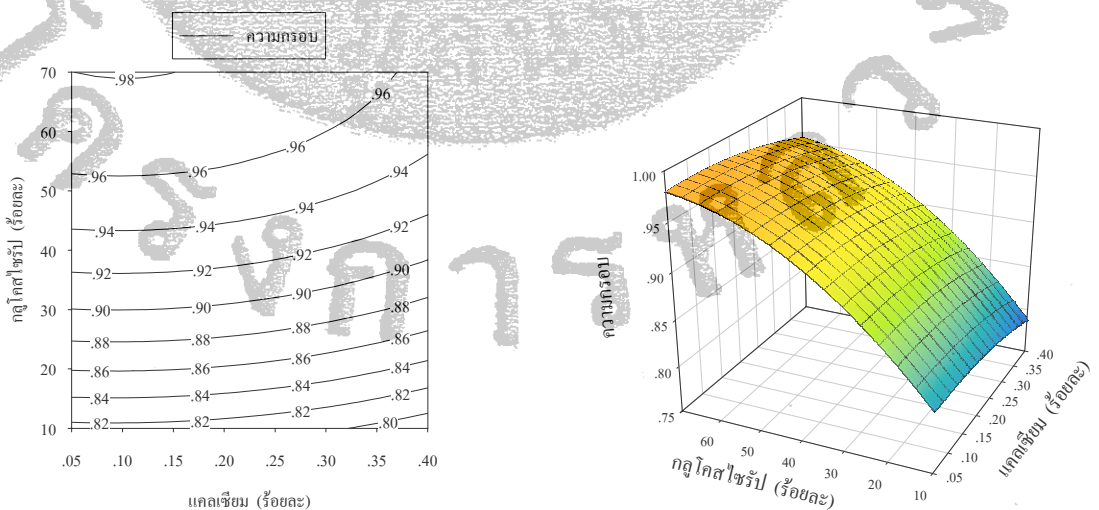
รสหวานและความกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายกลูโคสไซรัปแทรกซึมเข้าไปในเซลล์แครอท เกิดผลึกน้ำตาลยึดเกาะภายในโครงสร้างของเซลล์ ดังนั้นเซลล์จึงมีรสหวานและแข็งแรงมากขึ้น ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานและความกรอบจึงเพิ่มขึ้น

$$\text{รสนหวาน} = 0.78 + 0.22(\text{แคลเซียม}) + 0.00035(\text{กลูโคสไซรัป}) + 0.0018(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) - 1.14(\text{แคลเซียม})^2 + 0.000064(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.96$$



ภาพที่ 9 กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสนหวานเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

$$\text{ความกรอบ} = 0.76 + 0.051(\text{แคลเซียม}) + 0.0057(\text{กลูโคสไซรัป}) + 0.00012(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) - 0.29(\text{แคลเซียม})^2 - 0.000037(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.93$$



ภาพที่ 10 กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

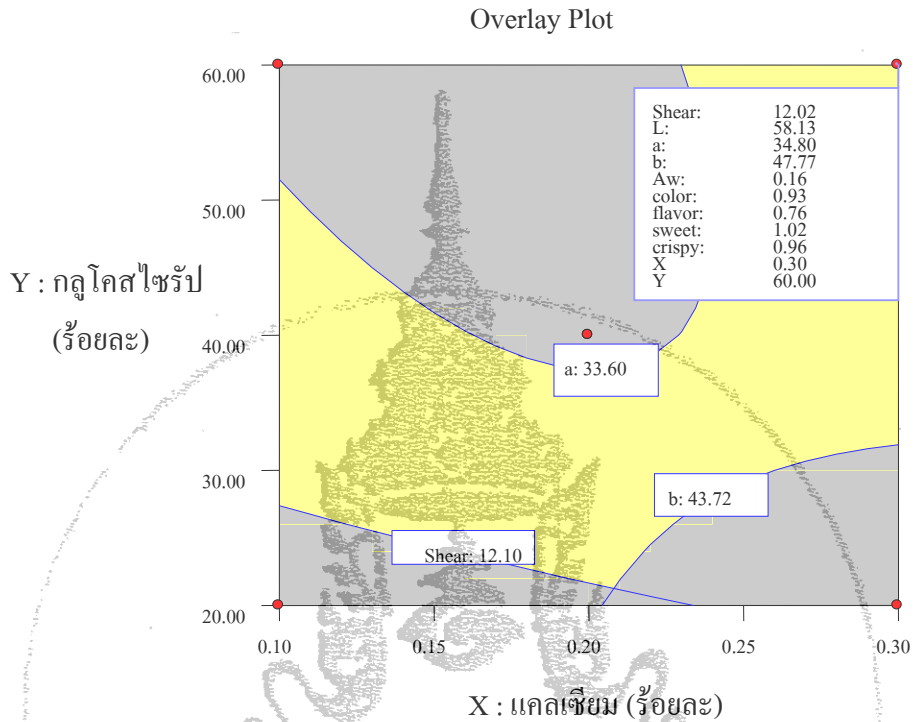
การคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป โดยการนำระดับของปัจจัยแทนค่าในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ถอดรหัสแล้ว เพื่อให้ทราบค่าการตอบสนองของคุณลักษณะโดยต้องการค่า Mean ideal ratio profile ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด สามารถแสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแคโรททอคเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส		อัตราการ ดูดซึมของ สารละลาย (ร้อยละ)
			รสหวาน	ความกรอบ	
(1)	0.10	20	0.83	0.86	20.00
a	0.30	20	0.79	0.85	20.00
b	0.10	60	1.05	0.97	18.33
ab	0.30	60	1.03	0.96	16.67
- $\alpha$ a	0.06	40	0.91	0.93	20.00
+ $\alpha$ a	0.34	40	0.86	0.91	22.50
- $\alpha$ b	0.20	11.72	0.80	0.82	14.66
+ $\alpha$ b	0.20	68.28	1.13	0.98	24.58
Cp1	0.20	40	0.91	0.93	21.25
Cp2	0.20	40	0.91	0.93	22.50

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง



ภาพที่ 11 กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของแครอทในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

เมื่อพิจารณาโดยรวมถึงระดับปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการถอดรหัสและทำการแทนค่าในสมการเพื่อหาปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของแครอทในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation จากตารางที่ 24 พบว่าผลิตภัณฑ์แครอททอดในสิ่งทดลอง b และ ab ใช้ความเข้มข้นกลูโคสไซรัปร้อยละ 60 เท่ากันและให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด แต่สิ่งทดลอง ab มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานที่เข้าใกล้ค่าในอุดมคติ มากกว่าสิ่งทดลอง b

ดังนั้น ปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์แครอททอด คือ

ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละ)	0.30	
ความเข้มข้นกลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	60	
ปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้	125.00 มิลลิกรัม/100กรัม	

### 1.2.3 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของชุกินีทอด

ตารางที่ 25 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรระดับปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก่อนแช่สารละลาย (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหลังแช่สารละลาย (ร้อยละ)	อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
(1)	0.10	20.00	20.00	17.50	12.50
a	0.30	20.00	20.00	18.00	10.00
b	0.10	60.00	60.00	52.50	12.50
ab	0.30	60.00	60.00	51.00	15.00
- $\alpha$ a	0.06	40.00	40.00	35.00	12.50
+ $\alpha$ a	0.34	40.00	40.00	36.20	9.50
- $\alpha$ b	0.20	11.72	11.72	10.50	10.40
+ $\alpha$ b	0.20	68.28	68.28	58.00	15.00
Cp1	0.20	40.00	40.00	36.00	10.00
Cp2	0.20	40.00	40.00	34.00	15.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป;

Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ค่าแรงเจาะ (นิวตัน)	L (ค่าความ สว่าง)	a (ค่าสีแดง - เขียว)	b (ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน)
(1)	0.10	20.00	5.03±0.01*	61.91±0.93	+1.53±0.05	+31.99±0.48
a	0.30	20.00	2.52±0.01	59.67±0.69	+0.11±0.08	+30.82±0.64
b	0.10	60.00	5.19±0.15	61.87±0.29	+0.56±0.08	+29.28±0.27
ab	0.30	60.00	5.13±0.02	63.21±0.64	+0.75±0.12	+30.09±0.71
-αa	0.06	40.00	5.16±0.14	60.78±0.92	+1.59±0.14	+26.77±0.59
+αa	0.34	40.00	5.18±0.17	62.32±0.27	+0.74±0.08	+27.58±0.30
-αb	0.20	11.72	2.54±0.02	59.78±0.61	+2.25±0.17	+27.28±0.35
+αb	0.20	68.28	5.80±0.61	60.45±0.09	+1.38±0.27	+24.70±0.28
Cp1	0.20	40.00	5.43±0.43	62.52±0.44	+2.52±0.22	+26.52±0.36
Cp2	0.20	40.00	5.22±0.30	58.32±0.38	+2.28±0.06	+24.54±0.37

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw)
(1)	0.10	20.00	0.16±0.03*
a	0.30	20.00	0.15±0.03
b	0.10	60.00	0.16±0.02
ab	0.30	60.00	0.18±0.03
-αa	0.06	40.00	0.16±0.03
+αa	0.34	40.00	0.15±0.03
-αb	0.20	11.72	0.17±0.03
+αb	0.20	68.28	0.17±0.03
Cp1	0.20	40.00	0.17±0.03
Cp2	0.20	40.00	0.18±0.03

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง



ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	สี	กลิ่น	รสหวาน	ความกรอบ
(1)	0.10	20.00	0.84±0.24 *	0.84±0.29	0.64±0.34	0.61±0.27
a	0.30	20.00	0.95±0.18	0.86±0.23	0.65±0.32	0.61±0.34
b	0.10	60.00	0.94±0.25	0.87±0.23	0.85±0.25	0.95±0.13
ab	0.30	60.00	1.04±0.15	0.89±0.20	0.87±0.29	0.94±0.13
-αa	0.06	40.00	1.02±0.18	0.92±0.21	0.90±0.26	0.87±0.22
+αa	0.34	40.00	0.89±0.21	0.91±0.12	0.96±0.16	0.89±0.20
-αb	0.20	11.72	1.04±0.18	0.84±0.18	0.56±0.38	0.55±0.38
+αb	0.20	68.28	1.00±0.18	0.85±0.16	0.94±0.35	0.93±0.17
Cp1	0.20	40.00	1.06±0.22	0.87±0.23	0.89±0.25	0.92±0.19
Cp2	0.20	40.00	0.96±0.17	0.91±0.23	0.96±0.24	0.89±0.18

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป; Cp = จุดกึ่งกลาง

จากตารางที่ 26 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดที่แช่ในสารละลาย กลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าแรงเจาะ อยู่ในช่วง 2.52 - 5.80 นิวตัน ค่า L (ค่าความสว่าง) อยู่ในช่วง 58.32 - 63.21 ค่าสี a (สีแดง - สีเขียว) อยู่ในช่วง 0.11 - 2.52 และ ค่าสี b (สีเหลือง - สีนํ้าเงิน) อยู่ในช่วง 24.54 - 31.99

จากตารางที่ 27 แสดงคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw) อยู่ในช่วง 0.15 - 0.18

จากตารางที่ 28 แสดงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมที่แตกต่างกัน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยสี อยู่ในช่วง 0.84 - 1.06 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านกลิ่นชุกินี อยู่ในช่วง 0.84 - 0.92 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานอยู่ในช่วง 0.56 - 0.96 และค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบอยู่ในช่วง 0.55 - 0.95

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบการถดถอย (Multiple regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (Y) กับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป แสดงดังตารางที่ 29 ซึ่งสมการถดถอยนี้ต้องนำไปถอดรหัสตัวแปรเพื่อให้ได้สมการที่แท้จริง แสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 29 สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านค่าแรงเจาะ รสหวาน และความกรอบ ที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ชุกินี) เมื่อทำการผันแปรปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป

สมการ (Coded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านกายภาพ ค่าแรงเจาะ	$5.33 - 0.32(C) + 0.92(G) + 0.61(C)(G) - 0.13(C)^2 - 0.63(G)^2$	0.89
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส รสหวาน	$0.93 - 0.015(C) + 0.12(G) + 0.0012(C)(G) - 0.022(C)^2 - 0.11(G)^2$	0.90
ความกรอบ	$0.91 + 0.0034(C) + 0.15(G) - 0.0024(C)(G) - 0.022(C)^2 - 0.092(G)^2$	0.98

หมายเหตุ : C หมายถึง แคลเซียม G หมายถึง กลูโคสไซรัป

ตารางที่ 30 สมการถอดถอดถอดรหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านค่าแรงเจาะ รสหวาน และความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ชุกินี) เมื่อทำการผันแปรปริมาณ แคลเซียมและระดับความเข้มข้นกลูโคสไซรัป

สมการ (Decoded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านกายภาพ ค่าแรงเจาะ	$3.53 - 10.16(C) + 0.11(G) + 0.31(C)(G) - 13.20(C)^2 - 0.0016(G)^2$	0.89
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส รสหวาน	$0.12 + 1.03(C) + 0.028(G) + 0.0059(C)(G) - 2.24(C)^2 - 0.00028(G)^2$	0.90
ความกรอบ	$0.13 + 0.95(C) + 0.026(G) - 0.0012(C)(G) - 2.18(C)^2 - 0.00023(G)^2$	0.98

หมายเหตุ : C หมายถึง แคลเซียม G หมายถึง กลูโคสไซรัป

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า

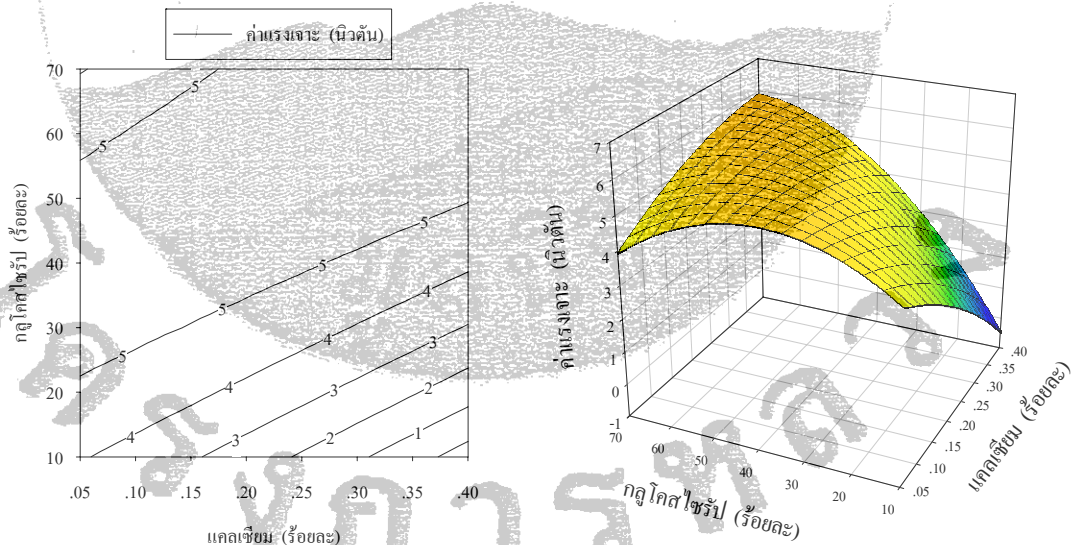
ค่าแรงเจาะ ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.20 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปร้อยละ 68.28 จะทำให้ค่าแรงเจาะมีค่าเท่ากับ 5.80 นิวตัน การตอบสนองของค่าแรงเจาะเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าแรงเจาะเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารละลายกลูโคสไซรัปแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ชุกินี เกิดผลึกน้ำตาลยึดเกาะภายในโครงสร้างของเซลล์ ดังนั้นเซลล์จึงมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 12

รสหวาน ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปและในรูปแบบสมการยกกำลังสองของระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.34 ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 40 และปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.20 ความเข้มข้นสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 40 จะให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยรสหวานของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 0.96 การตอบสนองด้านรสหวานเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 13

ความกรอบ ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปและในรูปสมการยกกำลังสองของระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่า ปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.10 และความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 60 จะให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าประมาณ 0.95 การตอบสนองด้านความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 14

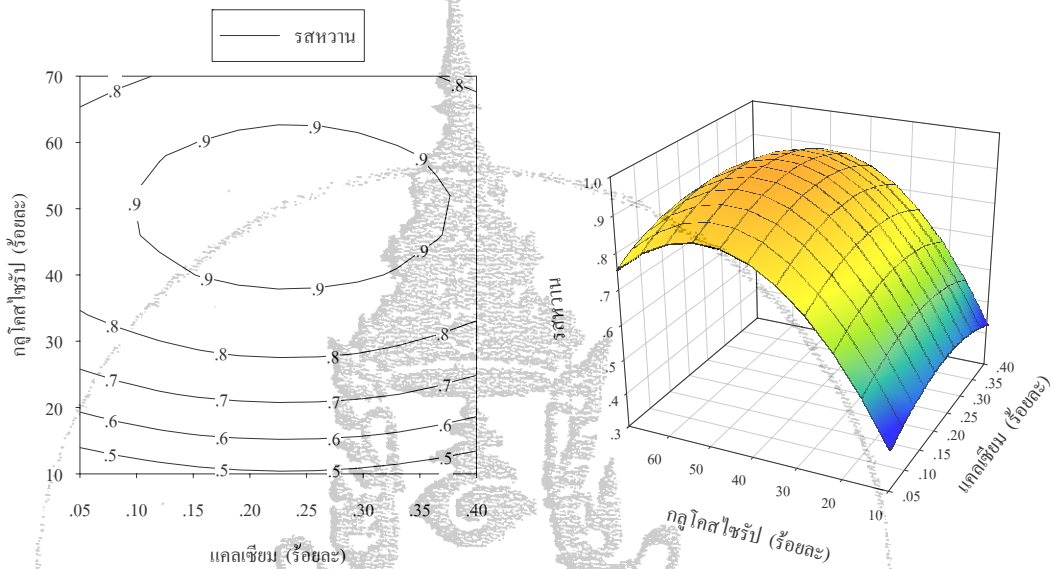
รสหวานและความกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายกลูโคสไซรัปแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ ชูกินี เกิดผลึกน้ำตาลยัดเกาะภายในโครงสร้างของเซลล์ ดังนั้นเซลล์จึงมีรสหวานและแข็งแรงมากขึ้น ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานและความกรอบจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงเฉาที่เพิ่มขึ้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงเฉา} = & 3.53 - 10.16(\text{แคลเซียม}) + 0.11(\text{กลูโคสไซรัป}) + 0.31(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) \\ & - 13.20(\text{แคลเซียม})^2 - 0.0016(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.89 \end{aligned}$$



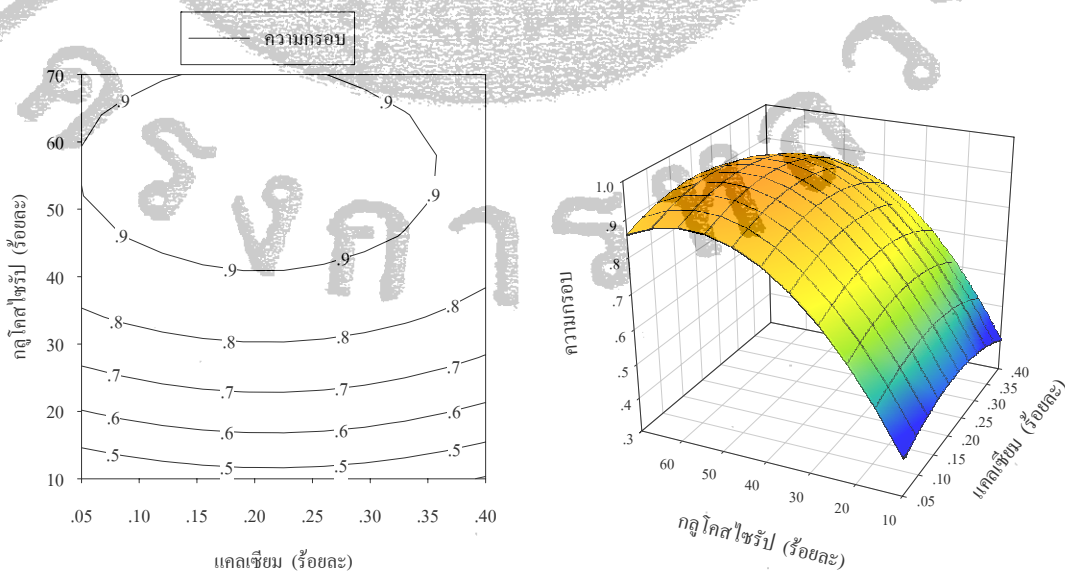
ภาพที่ 12 กราฟพื้นที่การตอบสนองของค่าแรงเฉาเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

$$\text{รสหวาน} = 0.12 + 1.03(\text{แคลเซียม}) + 0.028(\text{กลูโคสไซรัป}) + 0.0059(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) - 2.24(\text{แคลเซียม})^2 - 0.00028(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.90$$



ภาพที่ 13 กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

$$\text{ความกรอบ} = 0.13 + 0.95(\text{แคลเซียม}) + 0.026(\text{กลูโคสไซรัป}) - 0.0012(\text{แคลเซียม})(\text{กลูโคสไซรัป}) - 2.18(\text{แคลเซียม})^2 - 0.00023(\text{กลูโคสไซรัป})^2 \quad R^2 = 0.98$$



ภาพที่ 14 กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรระดับปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

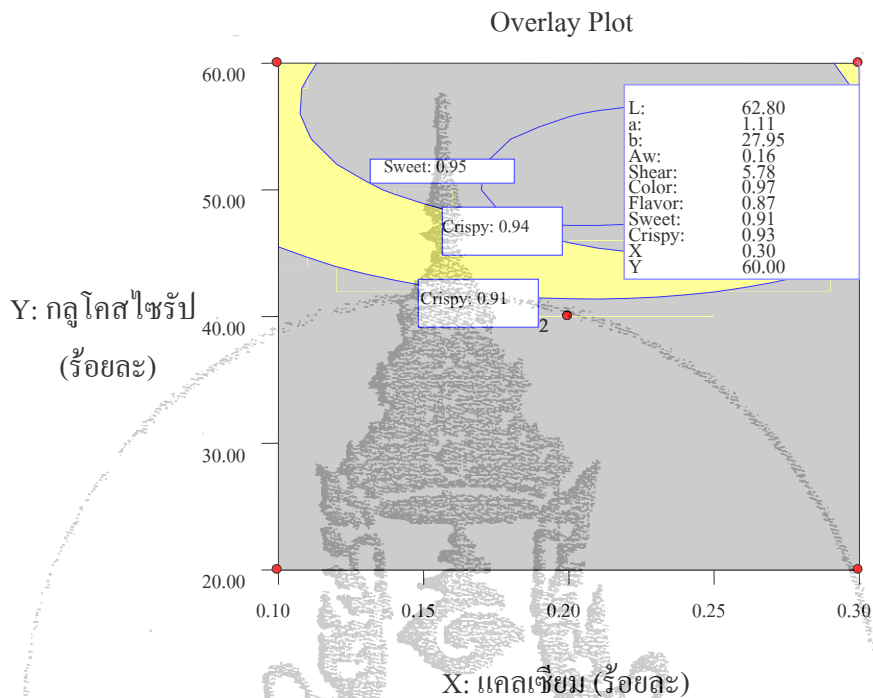
การคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมและระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป โดยการนำระดับของปัจจัยแทนค่าในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ถอดรหัสแล้ว เพื่อให้ทราบค่าการตอบสนองของคุณลักษณะโดยต้องการ Mean ideal ratio profile ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด สามารถแสดงดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรระดับของปริมาณแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป

สิ่งทดลอง	แคลเซียม (ร้อยละ)	กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	คุณภาพทาง	คุณภาพทาง		อัตราการ ดูดซึมของ สารละลาย (ร้อยละ)
			กายภาพ	ประสาทสัมผัส	รสหวาน	
			ค่าแรงเฉย (นิวตัน)			
(1)	0.10	20	4.58	0.65	0.63	12.50
a	0.30	20	2.71	0.68	0.64	10.00
b	0.10	60	5.20	0.88	0.93	12.50
ab	0.30	60	5.78	0.91	0.93	15.00
- $\alpha$ a	0.06	40	5.52	0.85	0.85	12.50
+ $\alpha$ a	0.34	40	4.62	0.89	0.86	9.50
- $\alpha$ b	0.20	11.72	2.77	0.53	0.50	10.40
+ $\alpha$ b	0.20	68.28	5.37	0.85	0.92	15.00
Cp1	0.20	40	5.33	0.91	0.90	10.00
Cp2	0.20	40	5.33	0.91	0.90	15.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ความเข้มข้นของแคลเซียม; b = ความเข้มข้นของกลูโคสไซรัป;

Cp = จุดกึ่งกลาง



ภาพที่ 15 กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาและคัดเลือกเพื่อหาปริมาณเคลือบและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของชุกินีในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

เมื่อพิจารณาโดยรวมถึงระดับปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการถอดรหัสและทำการแทนค่าในสมการเพื่อหาปริมาณเคลือบและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมของชุกินีในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation จากตารางที่ 31 พบว่าผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดในสิ่งทดลอง ab ระดับปริมาณเคลือบ ร้อยละ 0.30 ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัป ร้อยละ 60 ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุดและมีอัตราการดูดซึมของสารละลายร้อยละ 15 ซึ่งเป็นอัตราการดูดซึมที่สูงที่สุด ส่งผลให้รสหวาน ความกรอบของชุกินีทอดได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมและลักษณะของเนื้อสัมผัสมีความกรอบมากที่สุด

ดังนั้น ปริมาณเคลือบและความเข้มข้นกลูโคสไซรัปที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดกรอบ คือ

ปริมาณเคลือบ (ร้อยละ)	0.30
ความเข้มข้นกลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	60
ปริมาณเคลือบที่วิเคราะห์ได้	128 มิลลิกรัม/100กรัม



## ตอนที่ 2 ศึกษากระบวนการแช่ผักผลไม้ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

ศึกษากระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสมโดยศึกษาระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ ซึ่งวางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment in Central Composite Design with 2 center points (ไพโรจน์, 2547)

### 2.1 ศึกษากระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสมโดยศึกษาระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศของ ฟักทอง

ตารางที่ 32 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก่อนแช่สารละลาย (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหลังแช่สารละลาย (ร้อยละ)	อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
(1)	10	- 0.13	60.00	46.00	23.33
a	30	- 0.13	60.00	47.50	20.83
b	10	- 0.40	60.00	51.00	15.00
ab	30	- 0.40	60.00	48.00	20.00
- $\alpha$ a	6	- 0.27	60.00	58.00	3.33
+ $\alpha$ a	34	- 0.27	60.00	44.00	26.67
- $\alpha$ b	20	- 0.07	60.00	52.00	13.33
+ $\alpha$ b	20	- 0.46	60.00	51.00	15.00
Cp1	20	- 0.27	60.00	45.00	25.00
Cp2	20	- 0.27	60.00	45.00	25.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ;

Cp = จุดกึ่งกลาง



ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ค่าแรงเจาะ (นิวตัน)	L (ค่าความสว่าง)	a (ค่าสีแดง - เขียว)	b (ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน)
(1)	10	- 0.13	12.70±0.43*	58.59±0.23	+1.37±0.10	+32.01±0.22
a	30	- 0.13	20.81±0.62	61.85±0.13	+2.30±0.09	+34.61±0.31
b	10	- 0.40	15.38±0.26	59.84±0.10	+2.44±0.02	+32.32±0.05
ab	30	- 0.40	17.91±0.67	58.88±0.09	+2.60±0.02	+30.39±0.09
-αa	6	- 0.27	20.20±0.81	61.60±0.07	+2.13±0.02	+34.28±0.15
+αa	34	- 0.27	21.20±0.06	61.79±0.11	+2.73±0.02	+33.60±0.11
-αb	20	- 0.07	23.53±0.30	60.40±0.06	+3.08±0.06	+31.28±0.10
+αb	20	- 0.46	15.50±0.20	59.74±0.04	+2.73±0.02	+30.72±0.14
Cp1	20	- 0.27	15.54±0.39	60.10±0.06	+3.27±0.06	+31.44±0.11
Cp2	20	- 0.27	15.30±0.24	61.65±0.01	+2.51±0.07	+33.65±0.16

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ: น้ำหนัก/น้ำหนัก)
(1)	10	- 0.13	0.19±0.03*	26.13±0.10
a	30	- 0.13	0.19±0.02	27.71±0.05
b	10	- 0.40	0.18±0.02	26.82±0.01
ab	30	- 0.40	0.18±0.02	28.22±0.10
-αa	6	- 0.27	0.18±0.03	24.33±0.10
+αa	34	- 0.27	0.21±0.02	29.45±0.05
-αb	20	- 0.07	0.18±0.02	28.91±0.01
+αb	20	- 0.46	0.19±0.02	28.33±0.10
Cp1	20	- 0.27	0.19±0.03	28.86±0.15
Cp2	20	- 0.27	0.19±0.03	28.86±0.15

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็น สุญญากาศ (บาร์)	สี	กลิ่น	รสหวาน	ความกรอบ
(1)	10	- 0.13	0.98±0.21*	0.75±0.30	0.87±0.24	0.91±0.12
a	30	- 0.13	0.88±0.17	0.73±0.28	0.96±0.19	0.97±0.16
b	10	- 0.40	0.93±0.24	0.78±0.24	0.91±0.25	0.94±0.12
ab	30	- 0.40	1.06±0.11	0.85±0.22	0.97±0.24	0.98±0.12
-αa	6	- 0.27	0.88±0.25	0.76±0.33	0.87±0.24	0.91±0.12
+αa	34	- 0.27	0.96±0.21	0.75±0.23	1.02±0.20	1.02±0.10
-αb	20	- 0.07	0.96±0.21	0.84±0.24	0.93±0.20	0.93±0.15
+αb	20	- 0.46	0.96±0.20	0.84±0.21	0.99±0.23	1.00±0.14
Cp1	20	- 0.27	0.96±0.19	0.88±0.16	0.95±0.21	0.98±0.18
Cp2	20	- 0.27	0.96±0.16	0.87±0.22	0.95±0.18	0.98±0.14

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง

จากตารางที่ 33 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าแรงเจาะ อยู่ในช่วง 12.70 - 23.53 นิวตัน ค่า L (ค่าความสว่าง) อยู่ในช่วง 58.59 - 61.85 ค่าสี a (สีแดง - สีเขียว) อยู่ในช่วง 1.37 - 3.27 และค่าสี b (สีเหลือง - สีนํ้าเงิน) อยู่ในช่วง 30.39 - 34.61

จากตารางที่ 34 แสดงคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $A_w$ ) อยู่ในช่วง 0.18 - 0.21 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 24.33 - 29.45 น้ำหนัก/น้ำหนัก

จากตารางที่ 35 แสดงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่าผู้ทดสอบชิมให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีอยู่ในช่วง 0.88 - 1.06 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านกลิ่นฟักทองอยู่ในช่วง 0.73 - 0.88 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานอยู่ในช่วง 0.87 - 1.02 และค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบอยู่ในช่วง 0.91 - 1.02

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบการถดถอย (Multiple regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (Y) กับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ แสดงดังตารางที่ 36 ซึ่งสมการถดถอยนี้ต้องนำไปถอดรหัสตัวแปรเพื่อให้ได้สมการที่แท้จริง แสดงดังตารางที่ 37

ตารางที่ 36 สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านรสนหวานและความกรอบที่มี  
 นัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็น  
 สูญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สมการ (Coded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
รสนหวาน	$0.95 + 0.045(X) + 0.018(Y) + 0.009(X)(Y)$ $- 0.007(X)^2 - 0.0001(Y)^2$	0.91
ความกรอบ	$0.98 + 0.031(X) + 0.016(Y) - 0.005(X)(Y)$ $- 0.01(X)^2 - 0.008(Y)^2$	0.89

หมายเหตุ: X หมายถึง ระยะเวลาในการแช่สารละลาย

Y หมายถึง ระดับความเป็นสูญญากาศ

ตารางที่ 37 สมการถอดถอดครหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านรสนหวานและ  
 ความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ฟักทอง) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับ  
 ความเป็นสูญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

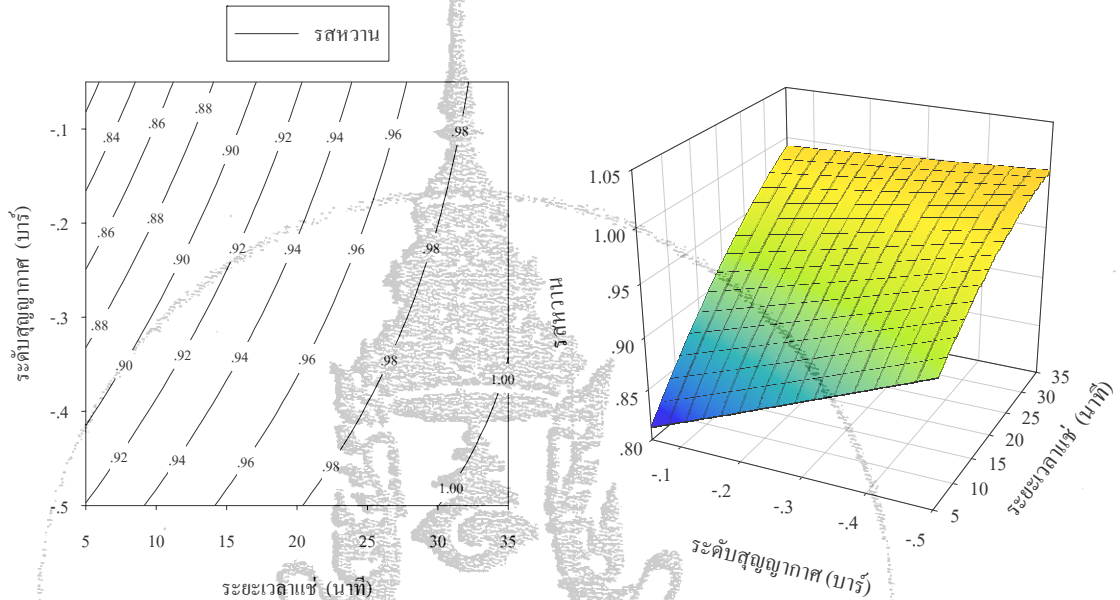
สมการ (Decoded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
รสนหวาน	$0.76 + 0.009(X) + 0.27(Y) - 0.007(X)(Y)$ $- 0.00007(X)^2 - 0.008(Y)^2$	0.91
ความกรอบ	$0.79 + 0.008(X) + 0.44(Y) - 0.006(X)(Y)$ $- 0.0001(X)^2 - 0.45(Y)^2$	0.89

หมายเหตุ: X หมายถึง ระยะเวลาในการแช่สารละลาย

Y หมายถึง ระดับความเป็นสูญญากาศ

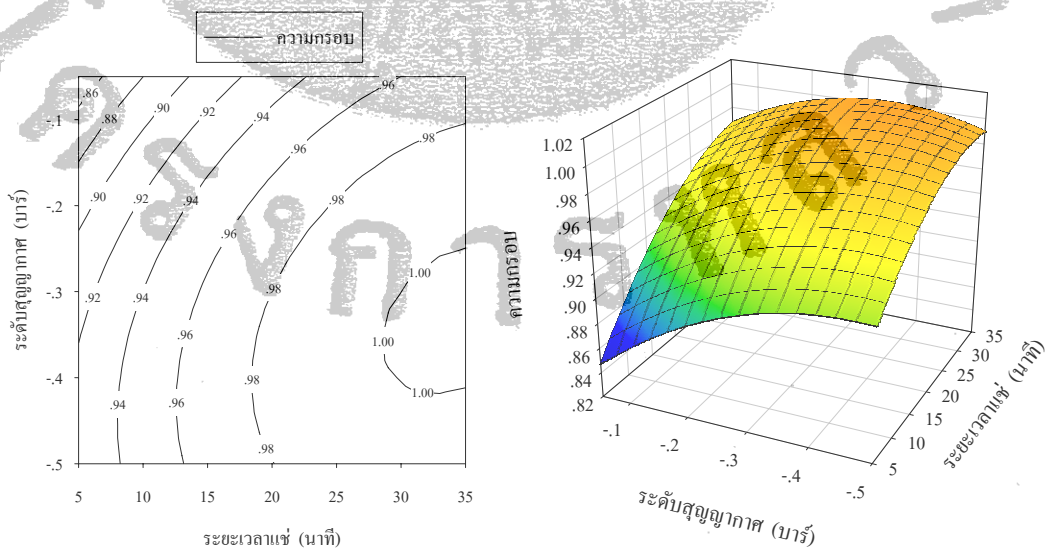


$$\text{รสหวาน} = 0.76 + 0.009(\text{เวลา}) + 0.27(\text{ระดับสุญญากาศ}) - 0.007(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ}) - 0.00007(\text{เวลา})^2 - 0.008(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \quad R^2 = 0.91$$



ภาพที่ 16 กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

$$\text{ความกรอบ} = 0.79 + 0.008(\text{เวลา}) + 0.44(\text{ระดับสุญญากาศ}) - 0.006(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ}) - 0.0001(\text{เวลา})^2 - 0.45(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \quad R^2 = 0.89$$



ภาพที่ 17 กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

การคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยได้แก่ ระยะเวลาในการแช่สารละลาย และระดับความเป็นสุญญากาศ โดยการนำระดับของปัจจัยแทนค่าในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ถอดรหัสแล้ว เพื่อให้ทราบค่าการตอบสนองของคุณลักษณะโดยต้องการค่า Mean ideal ratio profile ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด สามารถแสดงดังตารางที่ 38

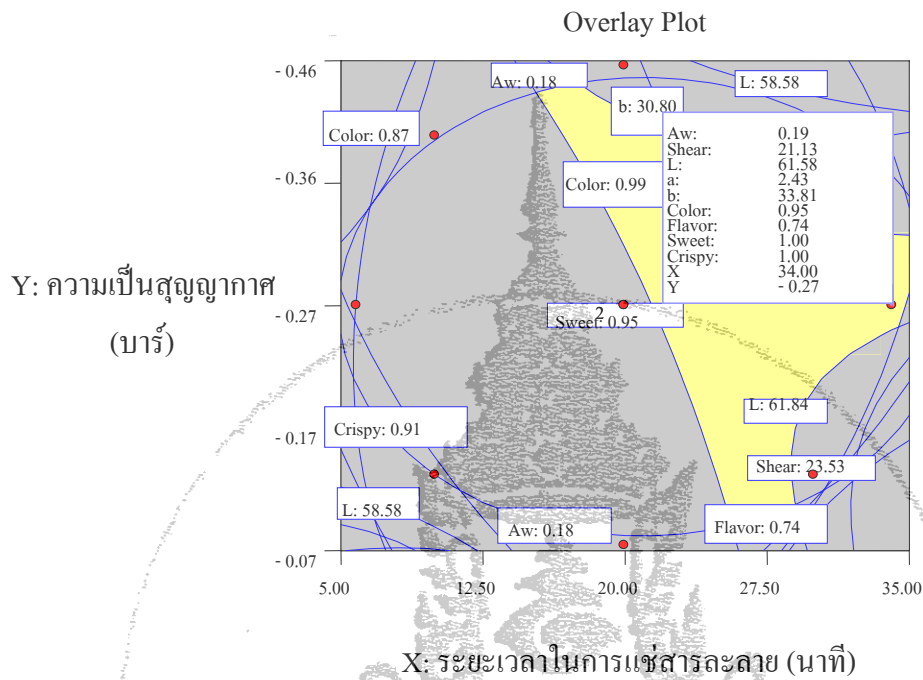
ตารางที่ 38 ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองทอดเมื่อแปรผันระยะเวลา และระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส		อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
			รสหวาน	ความกรอบ	
(1)	10	-0.13	0.87	0.91	23.33
a	30	-0.13	0.98	0.98	20.83
b	10	-0.40	0.92	0.95	15.00
ab	30	-0.40	0.99	1.00	20.00
- $\alpha$ a	6	-0.27	0.87	0.91	3.33
+ $\alpha$ a	34	-0.27	1.00	1.00	26.67
- $\alpha$ b	20	-0.07	0.92	0.94	13.33
+ $\alpha$ b	20	-0.46	0.97	0.98	15.00
Cp1	20	-0.27	0.95	0.98	25.00
Cp2	20	-0.27	0.95	0.98	25.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ;

Cp = จุดกึ่งกลาง





ภาพที่ 18 กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของฟักทองในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

เมื่อพิจารณาโดยรวมถึงระดับปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการลดครีส์และทำการแทนค่าในสมการเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของฟักทองในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation พบว่าผลิตภัณฑ์ฟักทองทอดในสิ่งทดลอง +αa ซึ่งมีระยะเวลาในการแช่สารละลาย 34 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ -0.27 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานและความกรอบเท่ากับ 1.00 และมีอัตราการดูดซึ่มของสารละลาย ร้อยละ 26.67 ซึ่งเป็นอัตราการดูดซึ่มที่สูงที่สุด

ดังนั้น ระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ฟักทองทอด คือ

ระยะเวลาในการแช่สารละลาย	34	นาที
ระดับความเป็นสุญญากาศ	-0.27	บาร์
ปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้	41.60	มิลลิกรัม/100กรัม

2.2 ศึกษากระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสม โดยศึกษาระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศของ แครอท

ตารางที่ 39 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก่อนแช่สารละลาย (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหลังแช่สารละลาย (ร้อยละ)	อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
(1)	10	-0.13	60.00	47.00	21.67
a	30	-0.13	60.00	44.00	26.67
b	10	-0.40	60.00	47.00	21.67
ab	30	-0.40	60.00	43.00	28.33
- $\alpha$ a	6	-0.27	60.00	48.00	20.00
+ $\alpha$ a	34	-0.27	60.00	44.00	26.67
- $\alpha$ b	20	-0.07	60.00	46.00	23.33
+ $\alpha$ b	20	-0.46	60.00	45.00	25.00
Cp1	20	-0.27	60.00	45.00	25.00
Cp2	20	-0.27	60.00	45.00	25.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ;

Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 40 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของแคโรททอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ค่าแรงเจาะ (นิวตัน)	L (ค่าความสว่าง)	a (ค่าสีแดง - เขียว)	b (ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน)
(1)	10	- 0.13	31.65±0.34*	60.16±0.03	+25.17±0.02	+30.73±0.08
a	30	- 0.13	26.67±0.73	60.73±0.09	+26.69±0.03	+30.47±0.14
b	10	- 0.40	25.54±0.38	60.46±0.02	+25.83±0.05	+30.94±0.05
ab	30	- 0.40	25.44±0.09	61.51±0.10	+26.27±0.02	+31.89±0.02
-αa	6	- 0.27	20.35±0.45	59.68±0.04	+26.15±0.02	+30.19±0.04
+αa	34	- 0.27	33.00±0.36	59.35±0.04	+26.61±0.06	+28.91±0.06
-αb	20	- 0.07	27.21±0.29	61.32±0.04	+25.97±0.04	+30.85±0.06
+αb	20	- 0.46	29.02±0.78	59.75±0.06	+25.11±0.07	+29.69±0.08
Cp1	20	- 0.27	21.35±0.10	59.18±0.04	+25.21±0.01	+28.46±0.10
Cp2	20	- 0.27	20.90±0.60	58.89±0.06	+25.32±0.06	+27.55±0.08

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 41 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแคโรททอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ: น้ำหนัก/น้ำหนัก)
(1)	10	- 0.13	0.17±0.02 *	30.65±0.01
a	30	- 0.13	0.17±0.02	29.21±0.05
b	10	- 0.40	0.17±0.02	33.08±0.05
ab	30	- 0.40	0.17±0.02	33.93±0.15
-αa	6	- 0.27	0.17±0.02	30.98±0.15
+αa	34	- 0.27	0.17±0.02	34.46±0.05
-αb	20	- 0.07	0.18±0.02	31.42±0.01
+αb	20	- 0.46	0.17±0.02	32.02±0.05
Cp1	20	- 0.27	0.16±0.02	31.05±0.01
Cp2	20	- 0.27	0.17±0.01	31.05±0.01

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 42 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของแคโรททอคเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็น สุญญากาศ (บาร์)	สี	กลิ่น	รสหวาน	ความกรอบ
(1)	10	- 0.13	0.93±0.27 *	0.91±0.22	0.99±0.25	0.91±0.22
a	30	- 0.13	0.97±0.21	0.93±0.17	0.92±0.23	0.96±0.15
b	10	- 0.40	1.01±0.18	0.88±0.30	0.96±0.23	0.94±0.17
ab	30	- 0.40	0.94±0.18	0.85±0.24	0.93±0.23	0.99±0.14
-αa	6	-0.27	0.97±0.19	0.87±0.23	0.86±0.21	0.89±0.24
+αa	34	-0.27	0.95±0.21	0.83±0.24	0.98±0.23	0.97±0.20
-αb	20	- 0.07	0.94±0.21	0.82±0.26	0.97±0.19	0.94±0.25
+αb	20	- 0.46	0.94±0.23	0.91±0.26	0.99±0.20	0.98±0.15
Cp1	20	- 0.27	1.05±0.17	0.86±0.28	0.96±0.25	0.96±0.20
Cp2	20	- 0.27	1.05±0.18	0.87±0.20	0.96±0.20	0.97±0.18

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง

จากตารางที่ 40 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แคโรททอคที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าแรงเจาะ อยู่ในช่วง 20.35 - 33.00 นิวตัน ค่า L (ค่าความสว่าง) อยู่ในช่วง 58.89 - 61.51 ค่าสี a (สีแดง - สีเขียว) อยู่ในช่วง 25.11 - 26.69 และค่าสี b (สีเหลือง - สีนํ้าเงิน) อยู่ในช่วง 27.55 - 31.89

จากตารางที่ 41 แสดงคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์แคโรททอคที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $A_w$ ) อยู่ในช่วง 0.16 - 0.18 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 29.21 - 34.46 น้ำหนัก/น้ำหนัก

จากตารางที่ 42 แสดงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคโรททอคที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่าผู้ทดสอบชิมให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีอยู่ในช่วง 0.93 - 1.05 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านกลิ่นแคโรทอยู่ในช่วง 0.82 - 0.93 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานอยู่ในช่วง 0.86 - 0.99 และค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบอยู่ในช่วง 0.89 - 0.99

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบการถดถอย (Multiple regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (Y) กับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ แสดงดังตารางที่ 43 ซึ่งสมการถดถอยนี้ต้องนำไปถอดรหัสตัวแปรเพื่อให้ได้สมการที่แท้จริง แสดงดังตารางที่ 44

ตารางที่ 43 สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านสี รสหวาน และความกรอบที่มี  
 นัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แครอท) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็น  
 สูญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สมการ (Coded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
สี	$1.05 - 0.007(X) + 0.007(Y) - 0.03(X)(Y)$ $- 0.04(X)^2 - 0.05(Y)^2$	0.97
รสหวาน	$0.96 + 0.04(X) + 0.007(Y) + 0.001(X)(Y)$ $- 0.02(X)^2 - 0.01(X)^2(Y) + 0.01(Y)^2$ $- 0.07(X)(Y)^2$	1.00
ความกรอบ	$0.96 + 0.03(X) + 0.02(Y) + 0.001(X)(Y)$ $- 0.02(X)^2 - 0.0006(Y)^2$	0.99

หมายเหตุ: X หมายถึง ระยะเวลาในการแช่สารละลาย

Y หมายถึง ระดับความเป็นสูญญากาศ

ตารางที่ 44 สมการถอดถอดรหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านสี รสหวาน และ  
 ความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (แครอท) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับ  
 ความเป็นสูญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สมการ (Decoded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
สี	$0.58 + 0.02(X) + 1.98(Y) - 0.02(X)(Y)$ $- 0.0004(X)^2 - 2.89(Y)^2$	0.97
รสหวาน	$1.45 - 0.02(X) - 4.57(Y) + 0.23(X)(Y)$ $- 0.00004(X)^2 - 0.0007(X)^2(Y) + 7.84(Y)^2$ $- 0.37(X)(Y)^2$	1.00
ความกรอบ	$0.82 + 0.009(X) + 0.12(Y) + 0.0008(X)(Y)$ $- 0.0002(X)^2 - 0.03(Y)^2$	0.99

หมายเหตุ: X หมายถึง ระยะเวลาในการแช่สารละลาย

Y หมายถึง ระดับความเป็นสูญญากาศ

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่

สี ขึ้นกับความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศรวมถึงในรูปสมการยกกำลังสองของระยะเวลาในการแช่สารละลาย รูปสมการยกกำลังสองของระดับความเป็นสุญญากาศ ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการแช่สารละลาย 10 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.40 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 1.01 การตอบสนองด้านสีเมื่อแปรระดับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาในการแช่สารละลายเท่ากับ 30 นาทีและระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.40 บาร์จะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีลดลง เนื่องจากระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นการแทรกซึมของสารละลายกลูโคสไซรัปมากขึ้นทำให้เกิดเป็นผลึกน้ำตาลภายในโครงสร้างของเซลล์แคโรท ดังนั้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเมลไลเซชัน (Caramelization) ในกระบวนการทอดทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำลง ดังแสดงในภาพที่ 19

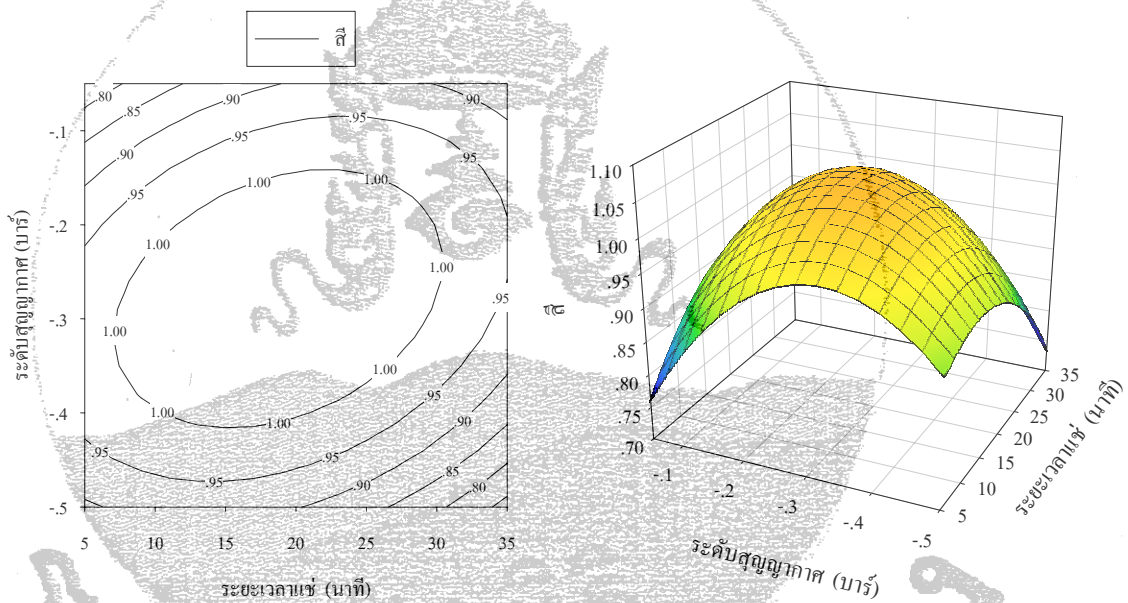
รสหวาน ขึ้นกับระยะเวลาในการแช่สารละลาย ระดับความเป็นสุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ รูปสมการยกกำลังสองของระยะเวลาในการแช่สารละลาย รูปสมการยกกำลังสองของระดับความเป็นสุญญากาศ ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการแช่สารละลาย 10 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.13 บาร์ และระยะเวลาในการแช่สารละลาย 20 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.46 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยรสหวานของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 0.99 การตอบสนองด้านรสหวานเมื่อแปรระดับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยรสหวานลดลงจนถึงระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.40 บาร์จะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 20

ความกรอบ ขึ้นกับระยะเวลาในการแช่สารละลาย ระดับความเป็นสุญญากาศและในรูปสมการยกกำลังสองของระยะเวลาในการแช่สารละลาย ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการแช่สารละลาย 30 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.40 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 0.99 การตอบสนองด้านความกรอบเมื่อแปรระดับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 21



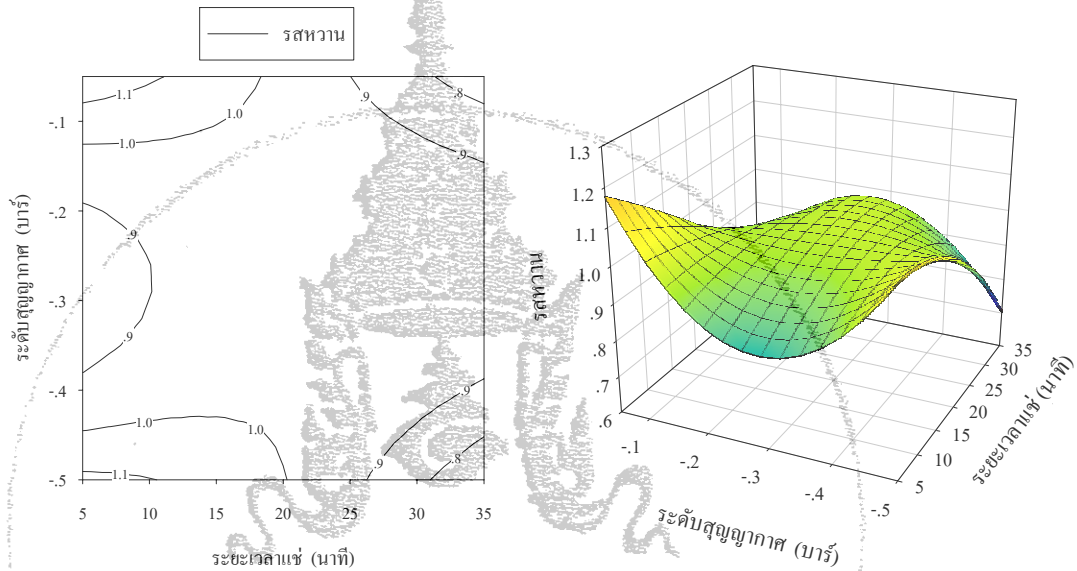
รสหวานและความกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นทำให้สารละลายกลูโคสไซรัปแทรกซึมเข้าไปในเซลล์แครอทมากขึ้น เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เกาะภายในโครงสร้างของเซลล์ ดังนั้นแครอทจึงมีรสหวานและเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานและความกรอบจึงเพิ่มขึ้น

$$\begin{aligned} \text{รส} = & 0.58 + 0.02(\text{เวลา}) + 1.98(\text{ระดับสุญญากาศ}) - 0.02(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ}) \\ & - 0.0004(\text{เวลา})^2 - 2.89(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \quad R^2 = 0.97 \end{aligned}$$



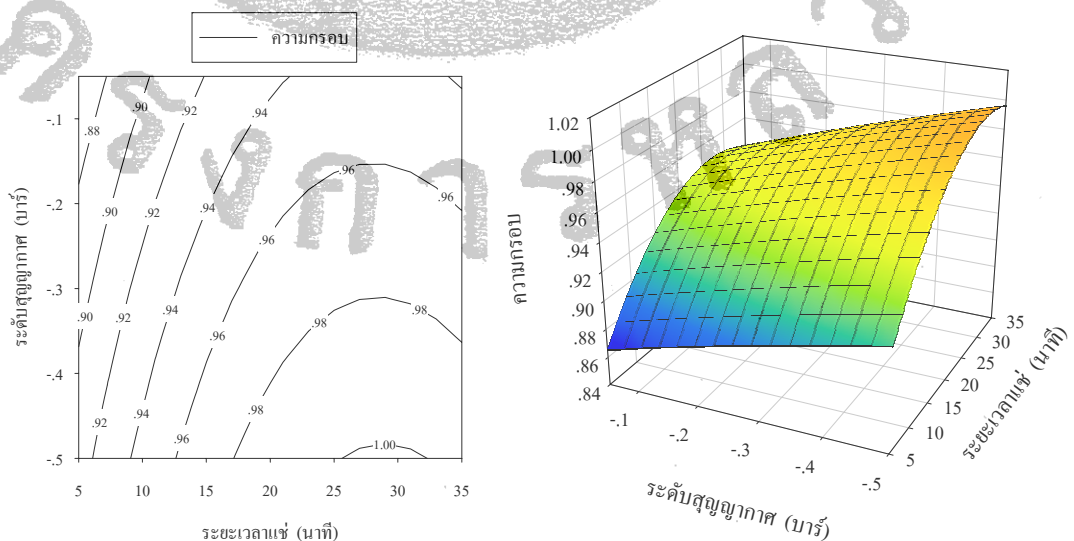
ภาพที่ 19 กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

$$\begin{aligned} \text{รศหวน} = & 1.45 - 0.02(\text{เวลา}) - 4.57(\text{ระดับสุญญากาศ}) + 0.23(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ}) \\ & - 0.00004(\text{เวลา})^2 - 0.0007(\text{เวลา})^2(\text{ระดับสุญญากาศ}) + 7.84(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \\ & - 0.37(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \quad R^2 = 1.00 \end{aligned}$$



ภาพที่ 20 กราฟพื้นที่การตอบสนองของรศหวนเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

$$\begin{aligned} \text{ความกรอบ} = & 0.82 + 0.009(\text{เวลา}) + 0.12(\text{ระดับสุญญากาศ}) + 0.0008(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ}) \\ & - 0.0002(\text{เวลา})^2 - 0.03(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \quad R^2 = 0.99 \end{aligned}$$



ภาพที่ 21 กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

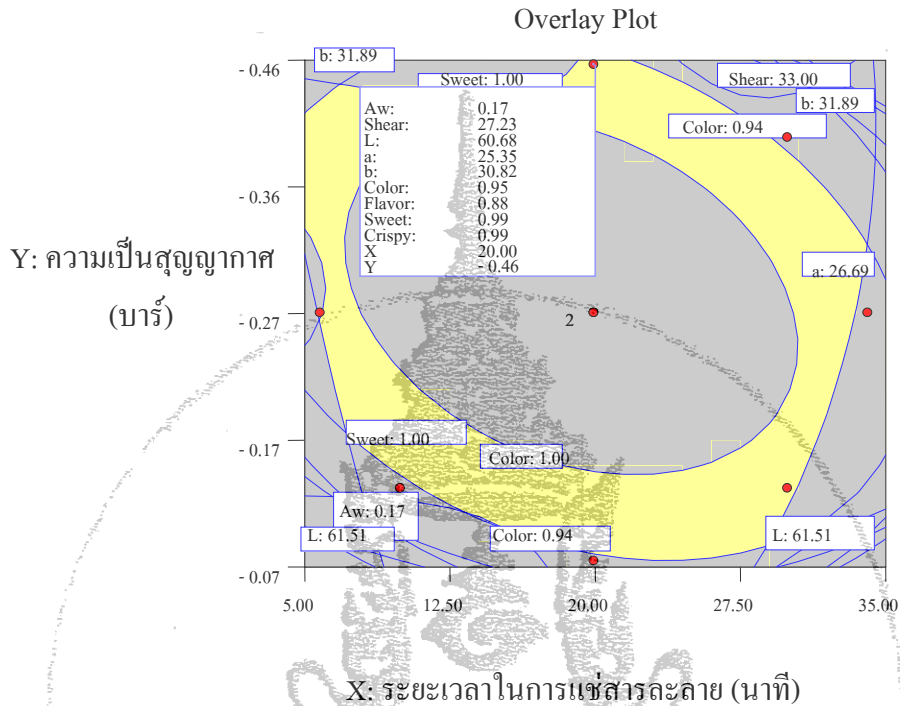
การคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่สารละลาย และระดับความเป็นสุญญากาศโดยการนำระดับของปัจจัยแทนค่าในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ถอดรหัสแล้ว เพื่อให้ทราบค่าการตอบสนองของคุณลักษณะโดยต้องการค่า Mean ideal ratio profile ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด สามารถแสดงดังตารางที่ 45

ตารางที่ 45 ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอททอดเมื่อแปรผันระยะเวลา และระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส			อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
			สี	รสหวาน	ความกรอบ	
(1)	10	- 0.13	0.93	0.99	0.91	21.67
a	30	- 0.13	0.97	0.92	0.96	26.67
b	10	- 0.40	1.00	0.96	0.94	21.67
ab	30	- 0.40	0.93	0.93	0.99	28.33
- $\alpha$ a	6	- 0.27	0.98	0.86	0.90	20.00
+ $\alpha$ a	34	- 0.27	0.96	0.98	0.97	26.67
- $\alpha$ b	20	- 0.07	0.93	0.97	0.94	23.33
+ $\alpha$ b	20	- 0.46	0.95	0.99	0.99	25.00
Cp1	20	- 0.27	1.05	0.97	0.96	25.00
Cp2	20	- 0.27	1.05	0.97	0.96	25.00

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ;

Cp = จุดกึ่งกลาง



ภาพที่ 22 กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของแครอทในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

เมื่อพิจารณาโดยรวมถึงระดับปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการถอดรหัสและทำการแทนค่าในสมการเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของแครอทในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation พบว่าผลิตภัณฑ์แครอททอดในสิ่งทดลอง +ab ระยะเวลาในการแช่สารละลาย 20 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ -0.46 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานและความกรอบ เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด สำหรับแครอททอดในสิ่งทดลอง b ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี เท่ากับ 1.00 แต่ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานและความกรอบมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากใช้เวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่น้อยกว่า

ดังนั้นระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์แครอททอด คือ

ระยะเวลาในการแช่สารละลาย	20	นาที
ระดับความเป็นสุญญากาศ	-0.46	บาร์
ปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้	141	มิลลิกรัม/100กรัม

### 2.3 ศึกษากระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation ที่เหมาะสม โดยศึกษาระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศของ ชุกนี้

ตารางที่ 46 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก่อนแช่สารละลาย (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดหลังแช่สารละลาย (ร้อยละ)	อัตราการดูดซึมของสารละลาย (ร้อยละ)
(1)	10	-0.13	60.00	51.20	14.67
a	30	-0.13	60.00	48.00	20.00
b	10	-0.40	60.00	49.80	17.00
ab	30	-0.40	60.00	47.00	21.67
- $\alpha$ a	6	-0.27	60.00	53.50	10.83
+ $\alpha$ a	34	-0.27	60.00	48.00	20.00
- $\alpha$ b	20	-0.07	60.00	48.50	19.17
+ $\alpha$ b	20	-0.46	60.00	48.50	19.17
Cp1	20	-0.27	60.00	49.00	18.33
Cp2	20	-0.27	60.00	49.00	18.33

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ;

Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 47 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ค่าแรงเจาะ (นิวตัน)	L (ค่าความสว่าง)	a (ค่าสีแดง - เขียว)	b (ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน)
(1)	10	- 0.13	5.16±0.01 *	58.51±0.94	+1.32±0.36	+28.97±0.38
a	30	- 0.13	5.19±0.07	59.09±0.68	+0.90±0.03	+29.48±0.42
b	10	- 0.40	5.24±0.05	58.13±0.35	+0.84±0.18	+28.23±0.33
ab	30	- 0.40	5.18±0.08	58.92±0.49	+0.81±0.15	+28.93±0.17
-αa	6	- 0.27	5.17±0.03	63.14±0.01	+0.82±0.07	+29.36±0.18
+αa	34	- 0.27	5.10±0.02	58.76±0.43	+1.26±0.11	+26.50±0.27
-αb	20	- 0.07	5.13±0.09	60.34±0.15	+1.46±0.44	+27.52±0.47
+αb	20	- 0.46	5.11±0.02	60.89±0.12	+1.33±0.06	+27.71±0.13
Cp1	20	- 0.27	5.14±0.02	60.59±0.06	+1.20±0.14	+27.84±0.03
Cp2	20	- 0.27	5.18±0.04	59.91±0.21	+0.61±0.10	+27.30±0.42

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 48 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ: น้ำหนัก/น้ำหนัก)
(1)	10	- 0.13	0.14±0.02*	35.53±0.05
a	30	- 0.13	0.14±0.02	32.46±0.05
b	10	- 0.40	0.14±0.02	30.78±0.05
ab	30	- 0.40	0.14±0.02	32.46±0.05
-αa	6	- 0.27	0.14±0.02	32.22±0.05
+αa	34	- 0.27	0.13±0.02	33.16±0.05
-αb	20	- 0.07	0.14±0.02	31.00±0.05
+αb	20	- 0.46	0.14±0.02	31.11±0.05
Cp1	20	- 0.27	0.14±0.02	30.67±0.05
Cp2	20	- 0.27	0.14±0.02	31.43±0.05

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง



ตารางที่ 49 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดสอบ	เวลา (นาที)	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	สี	กลิ่น	รสหวาน	ความกรอบ
(1)	10	- 0.13	1.01±0.19*	0.84±0.20	0.82±0.18	0.91±0.16
a	30	- 0.13	1.06±0.22	0.83±0.23	0.98±0.16	0.94±0.16
b	10	- 0.40	0.98±0.20	0.82±0.24	0.88±0.18	0.92±0.14
ab	30	- 0.40	1.05±0.20	0.74±0.25	1.02±0.16	0.99±0.12
-αa	6	-0.27	0.83±0.20	0.74±0.22	0.82±0.14	0.91±0.16
+αa	34	-0.27	1.10±0.15	0.82±0.27	1.02±0.24	0.97±0.07
-αb	20	-0.07	0.84±0.27	0.88±0.18	0.88±0.31	0.93±0.12
+αb	20	-0.46	0.91±0.18	0.81±0.25	1.00±0.13	0.99±0.08
Cp1	20	-0.27	1.02±0.22	0.83±0.19	0.97±0.16	0.94±0.12
Cp2	20	-0.27	1.02±0.23	0.89±0.31	0.97±0.19	0.94±0.09

หมายเหตุ: \* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ; Cp = จุดกึ่งกลาง



จากตารางที่ 47 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าแรงเจาะ อยู่ในช่วง 5.10 - 5.24 นิวตัน ค่า L (ค่าความสว่าง) อยู่ในช่วง 58.13 - 63.14 ค่าสี a (สีแดง - สีเขียว) อยู่ในช่วง 0.61 - 1.46 และ ค่าสี b (สีเหลือง - สีนํ้าเงิน) อยู่ในช่วง 26.50 - 29.48

จากตารางที่ 48 แสดงคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $A_w$ ) อยู่ในช่วง 0.13 - 0.14 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 30.67 - 35.53 น้ำหนัก/น้ำหนัก

จากตารางที่ 49 แสดงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดที่แช่ในสารละลายกลูโคสไซรัปผสมแคลเซียมเมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีอยู่ในช่วง 0.83 - 1.10 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านกลิ่นชุกินีอยู่ในช่วง 0.74 - 0.89 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานอยู่ในช่วง 0.82 - 1.02 และค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบอยู่ในช่วง 0.91 - 0.99

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลในรูปสมการถดถอย (Multiple regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (Y) กับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ แสดงดังตารางที่ 50 ซึ่งสมการถดถอยนี้ต้องนำไปถอดรหัสตัวแปรเพื่อให้ได้สมการที่แท้จริง แสดงดังตารางที่ 51

ตารางที่ 50 สมการแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบ ที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ซูกีนี่) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศ ในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สมการ (Coded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
รสหวาน	$0.97 + 0.072(X) + 0.035(Y) + 0.005(X)(Y) - 0.028(X)^2 - 0.018(Y)^2$	0.98
ความกรอบ	$0.94 + 0.024(X) + 0.018(Y) + 0.008(X)(Y) - 0.003(X)^2 - 0.007(Y)^2$	0.98

หมายเหตุ : X หมายถึง ระยะเวลาในการแช่สารละลาย

Y หมายถึง ระดับความเป็นสุญญากาศ

ตารางที่ 51 สมการถอดถอดถอดรหัส (Decoded equation) ของคุณภาพทางด้านรสหวานและความกรอบที่มีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบ (ซูกีนี่) เมื่อแปรผันระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สมการ (Decoded equation)	ความสัมพันธ์กับตัวแปร	R <sup>2</sup>
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
รสหวาน	$0.56 + 0.02(X) + 0.86(Y) - 0.003(X)(Y) - 0.0003(X)^2 - 1.01(Y)^2$	0.98
ความกรอบ	$0.90 + 0.002(X) - 0.19(Y) - 0.006(X)(Y) - 0.00003(X)^2 + 0.37(Y)^2$	0.98

หมายเหตุ : X หมายถึง ระยะเวลาในการแช่สารละลาย

Y หมายถึง ระดับความเป็นสุญญากาศ

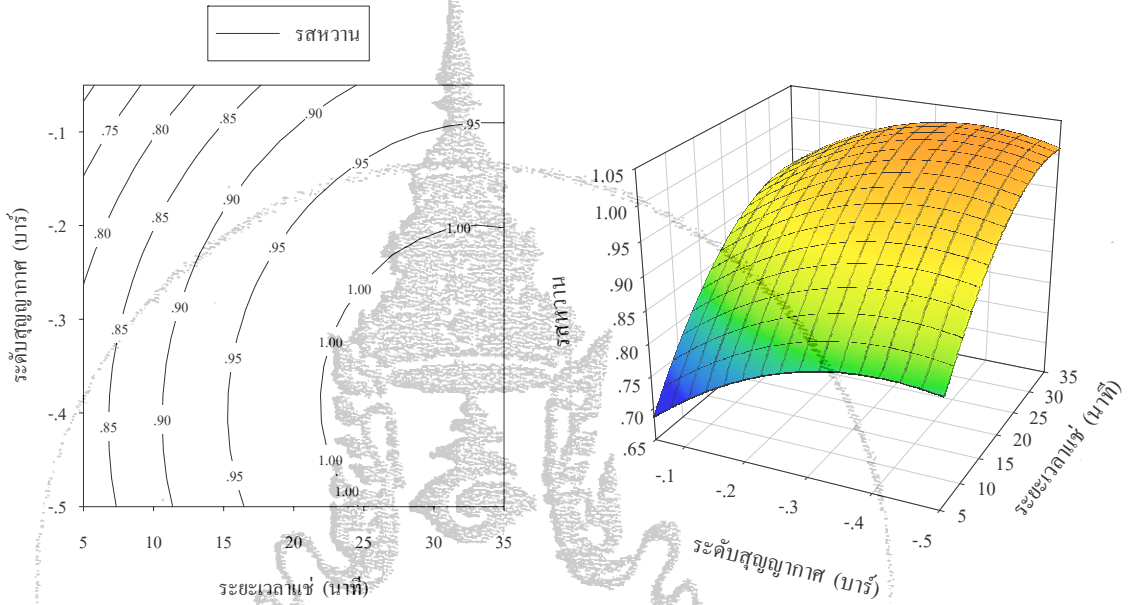
จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่

รสหวาน ขึ้นกับระยะเวลาในการแช่สารละลาย ระดับความเป็นสุญญากาศและในรูปสมการยกกำลังสองของระยะเวลาในการแช่สารละลาย ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการแช่สารละลาย 20 นาที และระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.46 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยรสหวานของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 1.00 การตอบสนองด้านรสหวานเมื่อแปรระดับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 23

ความกรอบ ขึ้นกับระยะเวลาในการแช่สารละลาย ระดับความเป็นสุญญากาศรวมถึงความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ ( $P \leq 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการแช่สารละลาย 30 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.40 บาร์ และระยะเวลาในการแช่สารละลาย 20 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ - 0.46 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่าประมาณ 0.99 การตอบสนองด้านความกรอบเมื่อแปรระดับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านความกรอบเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 24

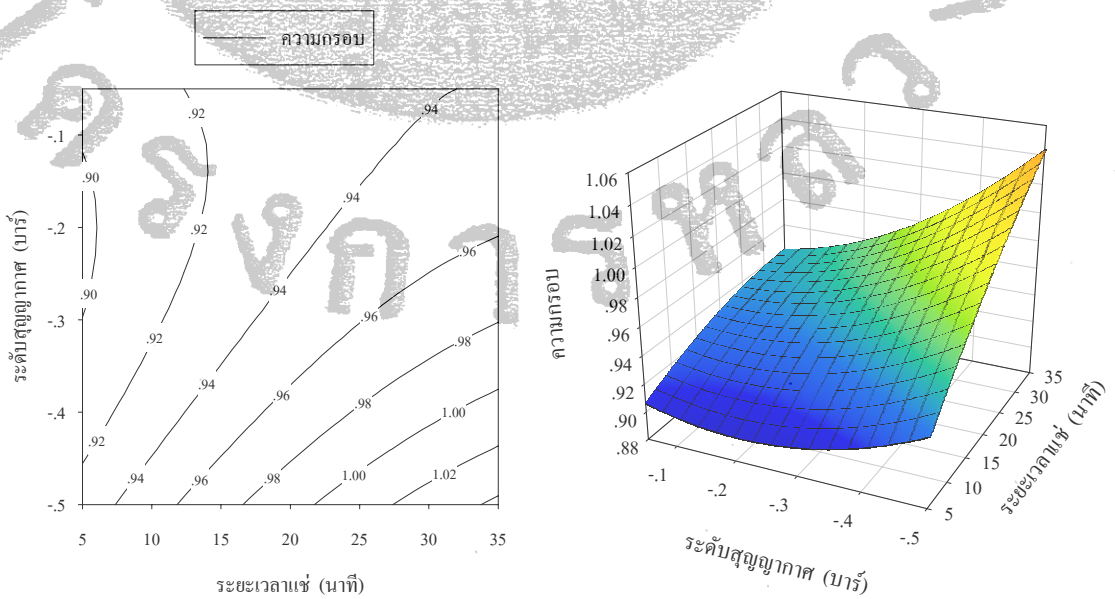
รสหวานและความกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศเพิ่มขึ้นทำให้สารละลายกลูโคสไซรัปแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ชุกินีมากขึ้น เกิดเป็นผลึกยี่ตเกาะภายในโครงสร้างของเซลล์ ดังนั้นชุกินีจึงมีรสหวานและเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น ค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านรสหวานและความกรอบจึงเพิ่มขึ้น

$$\begin{aligned} \text{รสหวาน} = & 0.56 + 0.02(\text{เวลา}) + 0.86(\text{ระดับสุญญากาศ}) - 0.003(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ}) \\ & - 0.0003(\text{เวลา})^2 - 1.01(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \quad R^2 = 0.98 \end{aligned}$$



ภาพที่ 23 กราฟพื้นที่การตอบสนองของรสหวานเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

$$\begin{aligned} \text{ความกรอบ} = & 0.90 + 0.002(\text{เวลา}) - 0.19(\text{ระดับสุญญากาศ}) - 0.006(\text{เวลา})(\text{ระดับสุญญากาศ}) \\ & - 0.00003(\text{เวลา})^2 + 0.37(\text{ระดับสุญญากาศ})^2 \quad R^2 = 0.98 \end{aligned}$$



ภาพที่ 24 กราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อแปรผันระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ

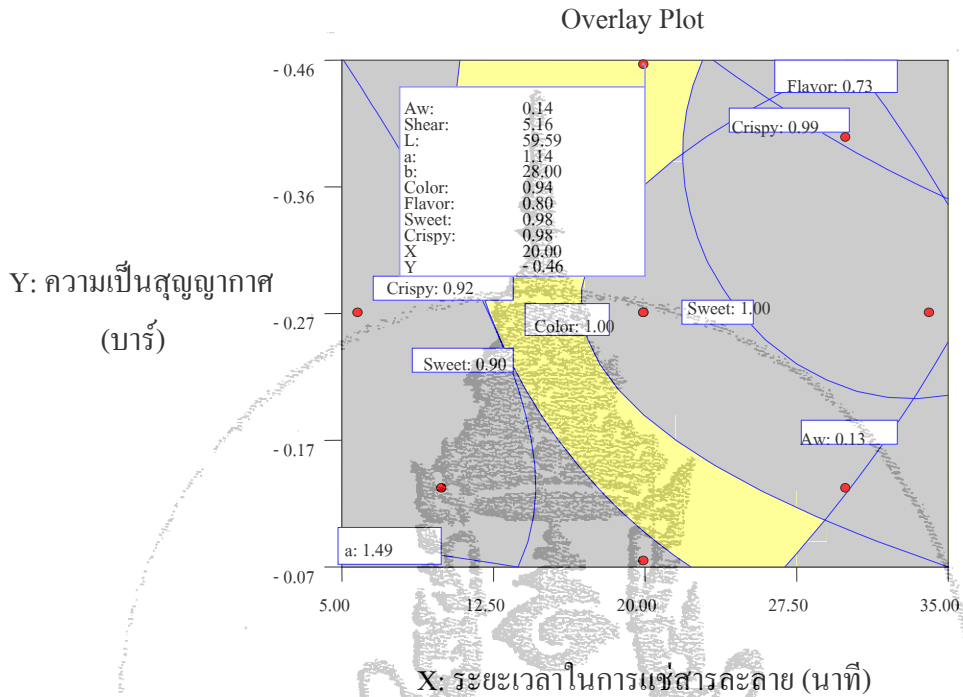
การคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่สารละลาย และระดับความเป็นสุญญากาศโดยการนำระดับของปัจจัยแทนค่าในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ถอดรหัสแล้ว เพื่อให้ทราบค่าการตอบสนองของคุณลักษณะ โดยต้องการค่า Mean ideal ratio profile ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด สามารถแสดงดังตารางที่ 52

ตารางที่ 52 ระดับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชุกินีทอดเมื่อแปรผันระยะเวลา และระดับความเป็นสุญญากาศในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	ความเป็น สุญญากาศ (บาร์)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส		อัตราการ ดูดซึมของ สารละลาย (ร้อยละ)
			รสหวาน	ความกรอบ	
(1)	10	- 0.13	0.81	0.91	14.67
a	30	- 0.13	0.97	0.94	20.00
b	10	- 0.40	0.89	0.93	17.00
ab	30	- 0.40	1.03	1.00	21.67
- $\alpha$ a	6	- 0.27	0.82	0.90	10.83
+ $\alpha$ a	34	- 0.27	1.02	0.97	20.00
- $\alpha$ b	20	- 0.07	0.88	0.93	19.17
+ $\alpha$ b	20	- 0.46	0.98	0.98	19.17
Cp1	20	- 0.27	0.97	0.94	18.33
Cp2	20	- 0.27	0.97	0.94	18.33

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; a = ระยะเวลาในการแช่สารละลาย; b = ความเป็นสุญญากาศ;

Cp = จุดกึ่งกลาง



ภาพที่ 25 กระบวนการที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาคัดเลือกเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของชุกินีในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

เมื่อพิจารณาโดยรวมถึงระดับปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการถอดรหัสและทำการแทนค่าในสมการเพื่อหาระยะเวลาและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมของชุกินีในกระบวนการแช่สารละลายด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation พบว่าผลิตภัณฑ์ชุกินีทอดในสิ่งทดลอง +ab มีระยะเวลาในการแช่สารละลาย 20 นาที ระดับความเป็นสุญญากาศ -0.46 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานและความกรอบเข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด สำหรับชุกินีทอดในสิ่งทดลองที่ ab ให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบเท่ากับ 1.00 แต่ค่าสัดส่วนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานมีค่ามากกว่า 1.00 และใช้ระยะเวลาในการแช่สารละลายนานกว่า

ดังนั้น ระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ชุกินีทอด คือ

ระยะเวลาในการแช่สารละลาย	20	นาที
ระดับความเป็นสุญญากาศ	-0.46	บาร์
ปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้	129	มิลลิกรัม/100กรัม

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมที่ใช้  
ในกระบวนการการแช่ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

ตอนที่ 1.1 การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์

การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์สามารถคัดเลือกลักษณะที่สำคัญของตัวอย่างได้ 4 ลักษณะ  
คือ คุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสหวาน และความกรอบ

ตอนที่ 1.2 การศึกษาปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่  
เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลคุณภาพทางด้านกายภาพ คุณภาพทางด้านเคมี คุณภาพทางด้าน  
ประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบเสริมแคลเซียม  
ที่มีคุณภาพในด้านต่างๆ อย่างเหมาะสมและได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดดังนี้

ตารางที่ 53 ปริมาณของแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมสำหรับ  
ผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบและปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณแคลเซียม (ร้อยละ)	ความเข้มข้น กลูโคสไซรัป (ร้อยละ)	ปริมาณแคลเซียม ที่วิเคราะห์ได้ (มิลลิกรัม/100 กรัม)
ฟักทอง	0.10	60	52.30
แครอท	0.30	60	125.00
ซูกีนี่	0.30	60	128.00

## ตอนที่ 2 ศึกษากระบวนการแช่ผักผลไม้ด้วยเทคโนโลยี Vacuum Impregnation

จากการวิเคราะห์ผลคุณภาพทางด้านกายภาพ คุณภาพทางด้านเคมี คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบเสริมแคลเซียมที่มีคุณภาพในด้านต่างๆอย่างเหมาะสมและได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดดังนี้

**ตารางที่ 54** ระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบและปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ระยะเวลาในการแช่สารละลาย (นาที)	ระดับความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	ปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้ (มิลลิกรัม/100 กรัม)
ฟักทอง	34.00	-0.27	41.60
แครอท	20.00	-0.46	141.00
ซูกีนี	20.00	-0.46	129.00

### ข้อเสนอแนะ

1. หากมีการนำงานวิจัยนี้ไปขยายผลต่อในระดับอุตสาหกรรม ควรมีการคำนึงถึงขนาดของเครื่อง Vacuum Impregnation และปริมาณวัตถุดิบที่นำเข้าไปแช่สารละลาย เนื่องจากขณะทำการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดลองในปริมาณน้อย ดังนั้นการผลิตในระดับอุตสาหกรรมซึ่งมีปริมาณมากอาจต้องมีการปรับระยะเวลาในการแช่สารละลายและระดับความเป็นสุญญากาศ รวมถึงขนาดของเครื่อง Vacuum Impregnation ควรจะมีขนาดใหญ่กว่าเครื่องต้นแบบเพื่อรองรับวัตถุดิบที่มีปริมาณมาก

2. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในการนำสารละลายที่ใช้ในกระบวนการแช่ผักและผลไม้มาใช้ซ้ำเพื่อเป็นการลดต้นทุนกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม



## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กรอบเสริมแคลเซียมและสารต้านอนุมูลอิสระจากโรสแมรี่ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมูลนิธิโครงการหลวง โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณประจำปี 2551 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณในการให้การสนับสนุนการวิจัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ของโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวงและภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนโครงการวิจัยนี้มาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดทั้งโครงการ ซึ่งทำให้โครงการดำเนินการไปได้ด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ แนวความคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งปวง คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและจะนำไปใช้ประโยชน์ในการทำงานในอนาคต องค์ความรู้ที่เกิดจากโครงการวิจัยนี้ขอให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติโดยรวมต่อไป

คณะผู้จัดทำ

โครงการหลวง

## เอกสารอ้างอิง

กิน กิน กิน. 2551. “ซูกินี.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://www.gingingin.com/recipes/tk/27-1.jpg> (13 มกราคม 2550).

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2544. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของ  
ไทย. โรงพิมพ์ รสพ. กรุงเทพฯ

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

คูเฟรช. 2551. “แครอท.” อุทยานเกษตรกำแพงแสน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://kufresh.com/products/1006.jpg> (20 มีนาคม 2551).

เด็กดีดอทคอม. 2551. “ฟักทอง.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://qwer.dek-d.com/contentimg/pueng/fakthong1.jpg> (17 เมษายน 2551).

นิธิยา รัตนปนนท์. 2544. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2551. “ซูกินี.” ระบบข้อมูลพืชผัก. สาขาพืชผัก. ภาควิชาพืชสวน.

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

[http://www.agric-prod.mju.ac.th/vegetable/File\\_link/zucchini.doc.pdf](http://www.agric-prod.mju.ac.th/vegetable/File_link/zucchini.doc.pdf) (7 กรกฎาคม 2551).

ปัญญาไทย. 2551. “แครอท.” โรงเรียนสวนกุหลาบนนทบุรี. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php> (27 มีนาคม 2551).

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2547. การออกแบบการทดลองขั้นสูง. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี รัตติกร เตชะพันธุ์ และปรีชา มีนาค. 2549. การกักเก็บกลิ่นของน้ำมันโรสแมรี่  
โดยวิธีการอบแห้งแบบฟุ้งและ การประยุกต์ใช้. มุฉนิตโครงการหลวง. เชียงใหม่.

วารสารณ วิษณุรัฐ. 2548. “ไม่เลื่อยกินได้.” สุริยวิทยาสาน. กรุงเทพมหานคร. [ระบบออนไลน์].

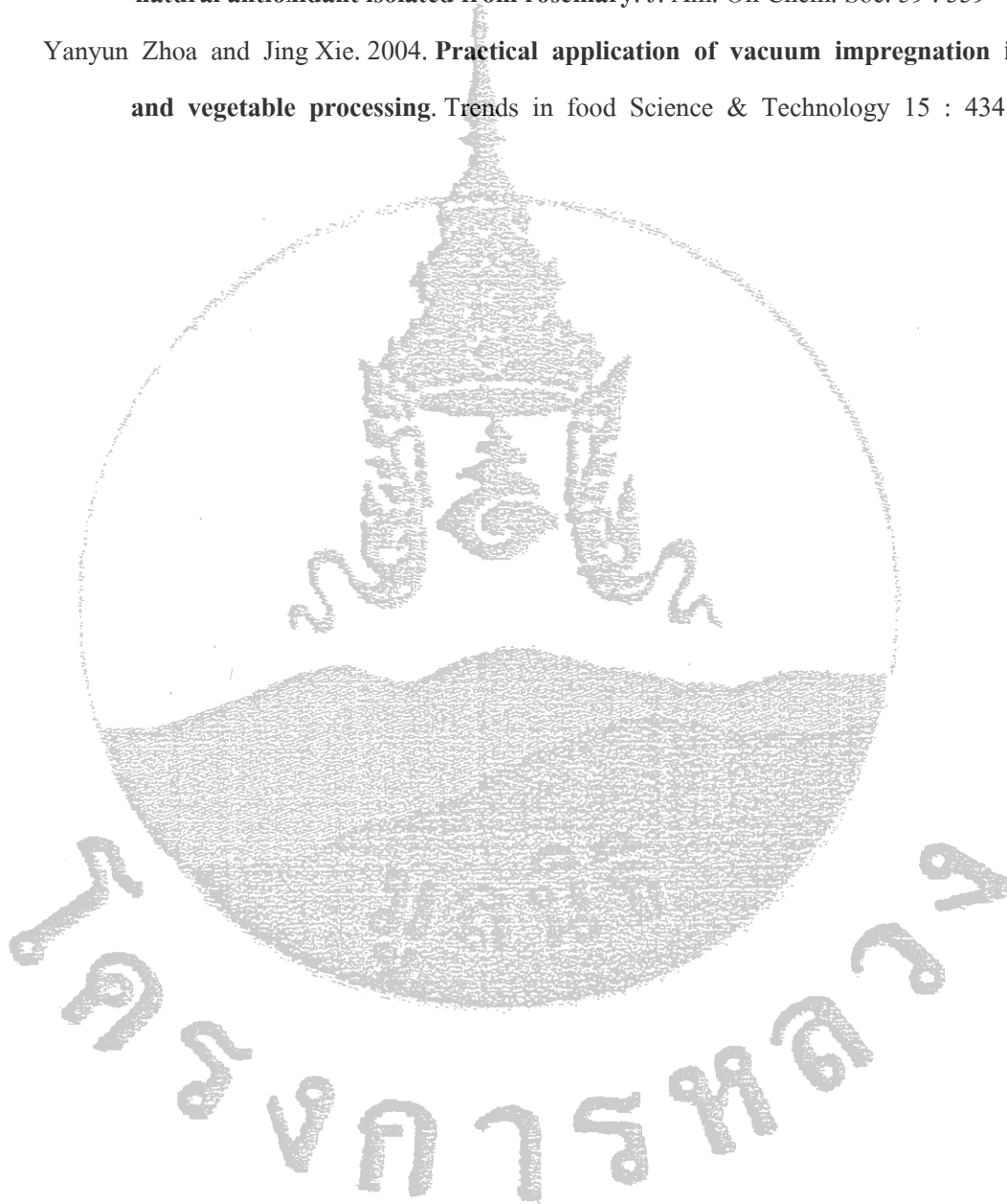
แหล่งที่มา <http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php> (2 พฤษภาคม 2551).

ศิวาพร ศิวเวชช. 2546. วัตถุดิบอาหาร เล่ม 1. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สำนักบริหารงานการศึกษาออกโรงเรียน. 2551. “ความรู้พื้นฐานและการเลือกผักทอง.”  
[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://dnfe5.nfe.go.th/ilp/occupation/45305/45305-1.html>  
(13 มีนาคม 2551).
- โหระพา. 2551. “น้ำผักทอง.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.horapa.com>  
(4 มีนาคม 2551).
- อัมพร จันทราภรณ์กุล. 2550. “แคลเซียมแร่ธาตุที่ถูกลืม.” [ระบบออนไลน์].  
แหล่งที่มา [http://www.healthtoday.net/thailand/nutrition/nutrition\\_72.htm](http://www.healthtoday.net/thailand/nutrition/nutrition_72.htm)  
(25 มีนาคม 2551).
- Akoh C.C. and Min D.B. 1998. **Food Lipids, Chemistry, Nutrition, and Biotechnology.**  
Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- AOAC. 2005. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 18<sup>th</sup> ea. AOAC  
International. Maryland, USA.
- Gras M. L., Vidal D., Betoret N., Chiralt A. and Fito P. 2001. **Calcium fortification of  
vegetables by vacuum impregnation interaction with cellular matrix.** Journal of Food  
Engineering. 56(2 - 3).
- Johnson D.E., Knight M.K. and Ledward D.A. 1992. **The Chemistry of Muscle - base Foods.**  
Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Joseph A.M. and Anthony T.T. 1995. **Food Additive Toxicology.** Marcel Dekker Inc., New  
York, USA.
- Keville K. 1991. **The Illustrated Herb Encyclopedia.** Michael Friedman Publishing Group Inc.,  
USA.
- Madhavi D.L., Deshpande, S.S. and Salunkhe D.K. 1996. **Food Antioxidant Technological,  
Toxicological and Health Perspectives.** Marcel Dekker Inc., New York. USA.
- Minolta Camera Co.,Ltd. 1991. **Chroma meter CR - 310 Instruction Manual.** Cho ku. Osaka.  
Japan.
- Richheimer S.L., Bernart M.W., King G.A., Kent M.C. and Bailey D.T. 1996. **Antioxidant  
activity of lipid-soluble phenolic diterpenes from rosemary.** J. Am. Oil Chem. Soc.  
73: 507 - 514.
- Instron Corporation. 1993. **Instron Series 5565 Load Frames and Instron Merlin Software.**  
Canton, Massachusetts.

Wu J.W., Lee M.H., Ho C-H. and Chang S.S. 1982. **Elucidation of the chemical structures of natural antioxidant isolated from rosemary.** J. Am. Oil Chem. Soc. 59 : 339 - 346.

Yanyun Zhoa and Jing Xie. 2004. **Practical application of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing.** Trends in food Science & Technology 15 : 434 - 451.







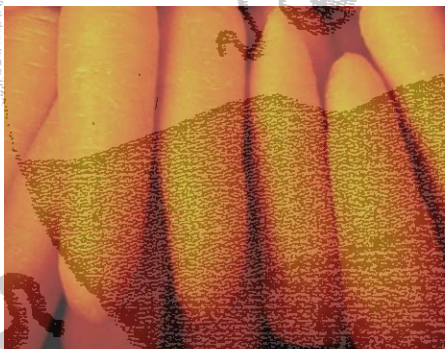
ภาพวัตถุดิบและกระบวนการผลิตผักผลไม้กรอบ



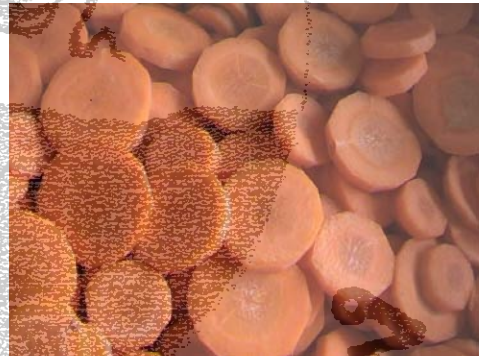
ภาพ ก.1 ฟักทอง



ภาพ ก.2 ฟักทองแห้ง



ภาพ ก.3 แครอท



ภาพ ก.4 แครอทแห้ง



ภาพ ก.5 ชูกินี



ภาพ ก.6 ชูกินีแห้ง





ภาพ ก.7 แท็บเล็ตละลายด้วยระบบ VI



ภาพ ก.8 ทอระบบสุญญากาศ





ภาพ ก.9 สะเต็ดน้ำมัน



ภาพ ก.10 ผลิตภัณฑ์ฟักทองกรอบ



ภาพ ก.11 ผลิตภัณฑ์แครอทกรอบ



ภาพ ก.12 ผลัดภัณฑ์ชูกินี้กรอบ



ภาพ ก.13 ผลัดภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบ



แบบทดสอบเก้าโครงผลัดกัน  
(Ideal Ratio Profile Test)

ผลัดกัน : ผักผลไม้กรอบ

กรุณากรอกแบบสอบถามให้ตรงกับความต้องการของท่านให้มากที่สุด

- อธิบายลักษณะของผลัดกัน และลักษณะที่ท่านคิดว่าเป็นลักษณะที่ควรคำนึงถึงในผลัดกัน
- กำหนดเครื่องหมาย I ในตำแหน่งที่ท่านคิดว่าลักษณะนั้นๆของผลัดกันควรจะเป็นลักษณะในอุดมคติของท่าน
- กำหนดเครื่องหมาย X ในตำแหน่งที่ท่านคิดว่าลักษณะนั้นๆของตัวอย่างเป็นระดับที่เป็นอยู่

1. ลักษณะปรากฏ

.....	_____	.....
.....	_____	.....
.....	_____	.....
.....	_____	.....

2. กลิ่น-รสชาติ

.....	_____	.....
.....	_____	.....
.....	_____	.....
.....	_____	.....

3. ลักษณะเนื้อสัมผัส

.....	_____	.....
.....	_____	.....
.....	_____	.....
.....	_____	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส  
ผลิตภัณฑ์ ผักผลไม้กรอบ (ผักทองทอดกรอบ)

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

กรุณา กำหนดเครื่องหมาย X ลงบนตำแหน่งที่ท่านคิดว่าเป็นระดับของลักษณะผลิตภัณฑ์ตัวอย่างนั้น  
เมื่อกำหนดให้เครื่องหมาย I เป็นระดับในอุดมคติของลักษณะนั้นที่ท่านต้องการ

1. ลักษณะปรากฏ



2. กลิ่น- รสชาติ



3. ลักษณะเนื้อสัมผัส



ข้อเสนอแนะ

.....

.....

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส  
ผลิตภัณฑ์ ผักผลไม้กรอบ (แครอททอดกรอบ)

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

กรุณา กำหนดเครื่องหมาย X ลงบนตำแหน่งที่ท่านคิดว่าเป็นระดับของลักษณะผลิตภัณฑ์ตัวอย่างนั้น  
เมื่อกำหนดให้เครื่องหมาย I เป็นระดับในอุดมคติของลักษณะนั้นที่ท่านต้องการ

1. ลักษณะปรากฏ



2. กลิ่น-รสชาติ



3. ลักษณะเนื้อสัมผัส



ข้อเสนอแนะ

.....

.....

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส  
ผลิตภัณฑ์ ผักผลไม้กรอบ (ชุกินีทอดกรอบ)

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

กรุณา กำหนดเครื่องหมาย X ลงบนตำแหน่งที่ท่านคิดว่าเป็นระดับของลักษณะผลิตภัณฑ์ตัวอย่างนั้น  
เมื่อกำหนดให้เครื่องหมาย I เป็นระดับในอุดมคติของลักษณะนั้นที่ท่านต้องการ

1. ลักษณะปรากฏ



2. กลิ่น-รสชาติ



3. ลักษณะเนื้อสัมผัส



ข้อเสนอแนะ

.....  
.....







## การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

### การวัดค่าสีระบบ Hunter Lab (Minolta Camera Co;Ltd.,1991)

เป็นการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta Camera : Model CR -310 ซึ่งเป็นการวัดค่าสีในระบบ Hunter Lab โดยค่าสี L เป็นค่าความสว่าง (Lightness) ค่าสี a เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness/Greeness) และค่าสี b เป็นค่าสีเหลืองและค่าสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness)

เมื่อ L คือ ความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
a คือ ค่าสีแดงและสีเขียว	เมื่อ a มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง
	เมื่อ a มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว
b คือ ค่าสีเหลืองและค่าสีน้ำเงิน	เมื่อ b มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง
	เมื่อ b มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก่อนทำการวัดสีทุกครั้งต้องปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank ;  $L = 97.67$ ,  $a = -0.18$  และ  $b = 1.84$ ) แล้วจึงทำการวัดสีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบใส่ลงในภาชนะใส (Petri dish) แล้วรองด้วยกระดาษสีขาว จึงวัดสีตัวอย่างผลิตภัณฑ์โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

### การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าแรงเจาะ หรือ Penetra force (Instron Model 5565, USA)

#### ตามวิธี Instron, 1993

เป็นการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบ โดยใช้ค่าแรงเจาะ หรือ Penetra force (นิวตัน) ด้วยเครื่อง Instron (Series 5565) ความเร็วของหัวตัดเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ต่อนาที วัดค่าแรงเจาะของผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

## การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

### การวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw) ตามวิธี AOAC, 2005

ทำการวัดโดยบดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบ ใส่ในตลับพลาสติกสำหรับวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ แล้วนำไปใส่ในเครื่องวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw - box, Novasina : AWC200, Switzerland) บันทึกค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่คงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการตรวจวัด 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### การตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid : ° Brix)

#### ตามวิธี AOAC, 2005

นำสารละลายที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบ มาตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้ Hand refractometer บันทึกค่าที่ได้เป็นหน่วยของศาบริกซ์ (° Brix) โดยปรับค่ามาตรฐานด้วยน้ำกลั่นก่อนทำการวัดทุกครั้ง ทำการตรวจวัด 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugars) ตามวิธีของ Lane and Eynon (AOAC 2005)

#### การเตรียมสารเคมี

- สารละลาย Fehling no.1

สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate pentahydrate :  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 34.639 กรัม ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

- สารละลาย Fehling no.2

สารละลายโซเดียมโปแตสเซียมตาร์เตรท (Sodium potassium tartrate หรือ rechelle salt :  $\text{KNaC}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 173 กรัม และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

- สารละลาย Carrez I

ละลาย Zinc acetate dehydrate 21.9 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น 3 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

- สารละลาย Carrez II

ละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ 10.6 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

- สารละลาย เมธิลีนบลู ความเข้มข้นร้อยละ 1

ละลาย เมธิลีนบลู 1 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

### วิธีวิเคราะห์

#### การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (D<sub>1</sub>)

เตรียมตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม แล้วนำมาปั่นกับน้ำกลั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน ถ่ายตัวอย่างที่ได้ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรเติม Clearing agent หรือสารละลาย Carrez I และ Carrez II อย่างละ 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จากนั้นนำไปกรอง เก็บสารละลายใสที่กรองได้ไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (D<sub>1</sub>)

#### Preliminary titration

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ในบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร (ชนิดปลายงอ) ใต้ฟองอากาศให้หมด ปิเปิดสารละลาย Fehling reagent ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย Fehling no.1 และ สารละลาย Fehling no.2 อย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ฟลasks ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้วขนาดเล็กลง ไป 2 - 3 เม็ด นำไปต้มให้เดือดบนตะเกียงเบนเสน ไตเตรทกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนสีน้ำเงินจางลง หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1 - 2 หยด ไตเตรทจนสีฟ้าหายไปหมดเหลือแต่ตะกอนสีส้มแดง จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

#### Accrate titration

ปิเปิดสารละลายสารละลาย Fehling reagent ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย Fehling no.1 และ สารละลาย Fehling no.2 อย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ฟลasks ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้วขนาดเล็กลง ไป 2 - 3 เม็ด เติมสารละลายน้ำตาลจากบิวเรตลงไปทันที โดยใช้ปริมาตรน้อยกว่าที่ใช้ไตเตรทครั้งแรกประมาณ 1 - 2 มิลลิลิตรปล่อยให้เดือดนาน 2 นาที หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1 - 2 หยด แล้วไตเตรทต่อจนสีฟ้าหายไปหมด โดยต้องไตเตรทให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือด จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

### การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชัน ( $D_2$ )

นำสารละลายน้ำตาลที่เหลือจากการไตเตรตหาน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลือความเข้มข้น 6.34 นอร์มัล จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนานประมาณ 10 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วปรับปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 โมลาร์ นำสารละลายที่ได้ไปปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร แล้วทำการไตเตรตเช่นเดียวกับการหาน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน

### การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส (Sucrose)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชันแล้ว สามารถหาปริมาณน้ำตาลซูโครสได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของน้ำตาลซูโครส} = \text{ร้อยละของผลต่าง} (D_2 - D_1) \times 0.95$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } D_1 &= \text{ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดก่อนทำการอินเวอร์ชัน} \\ D_2 &= \text{ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดหลังทำการอินเวอร์ชัน} \end{aligned}$$

### การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม (Calcium)

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท ปริมาณ 100 กรัม จำนวน ตัวอย่างละ 2 ตัวอย่าง ส่งตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน่วย Analytical Science Unit โดยเทคนิค Wet digestion and Atomic absorption spectrophotometry

## การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

### การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ตามวิธีของ AOAC, 2000

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
2. หลอดทดลอง (Test tube)
3. ปิเปต ขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath "Memmert" model 4999, Germany)
5. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator "Gallenkamp", England)
6. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave "Gallenkamp" model AUX-700-010, England)

#### อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Merk, Germany)
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) (Merk, Germany)

#### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยง PCA 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นหรือน้ำกลั่นปราศจากไอออน 1 ลิตร
2. ต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด
3. นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121-124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
4. อาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้จะมีความเป็นกรด - ค่า pH อยู่ที่ 7.0±0.2 ที่อุณหภูมิ 25 องศา

เซลเซียส

#### การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กรอบให้มีระดับเจือจาง (Dilution)  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ , และ  $10^{-3}$

### การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ใช้ปิเปต 1 มิลลิลิตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ว คูดสารละลายของตัวอย่าง อาหารที่ระดับเจือจางต่างๆ ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับเจือจางละ 2 จาน โดยเริ่มคูดจากระดับความเข้มข้นขั้นต่ำสุดก่อน
2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่กำลังหลอมเหลวลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างโดยใส่ลงในจาน จานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายใน 1-5 นาที
3. ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว กว่าจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

### การบ่มเชื้อ

บ่มจานอาหารเลี้ยงเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

### การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังการบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ระดับเจือจาง (Dilution) ที่มีจำนวนโคโลนี น้อยกว่า 300 โคโลนี คำนวณจำนวนโคโลนี ต่ออาหาร 1 กรัม(N) ตามสูตรดังนี้

$$N = \frac{C}{v (n_1 + 0.1 n_2) d}$$

เมื่อ	C	คือ	ผลรวมของจำนวนโคโลนีที่นับได้ในจานเพาะเชื้อทั้งหมด
	v	คือ	ปริมาตร (ml) ของอาหารที่ใส่ลงไปในการเลี้ยงเชื้อแต่ละจาน
	$n_1$	คือ	จำนวนจานที่ระดับเจือจางแรก ที่นำมานับจำนวนโคโลนี
	$n_2$	คือ	จำนวนจานที่ระดับเจือจางที่สอง ที่นำมานับจำนวนโคโลนี
	d	คือ	ระดับเจือจางระดับแรก ที่นำมานับจำนวนโคโลนี

รายงานผลการคำนวณเป็นจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง ระหว่าง 1.0-9.9 คูณด้วย  $10^x$  เมื่อ X คือ เลขยกกำลัง ดังตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้

จำนวนโคโลนีที่นับได้ ที่ระดับเจือจางระดับแรก ( $10^{-3}$ ) = 171 และ 194

จำนวนโคโลนีที่นับได้ ที่ระดับเจือจางระดับสอง ( $10^{-4}$ ) = 14 และ 20

ปริมาตรของอาหารที่ใส่ลงไป ในอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละจาน = 1 ml

$N = (171 + 194 + 14 + 20) / (1 \times (2 + (0.1 \times 2))) \times 10^{-3} = 399 / 0.0022 = 181,363$

ดังนั้น จึงรายงานผลการตรวจนับได้เป็น  $1.8 \times 10^5$  โคโลนีต่อกรัม

#### การหาปริมาณยีสต์และรา (Yeast and Mold) ตามวิธีของ AOAC, 2000

##### อุปกรณ์และเครื่องมืออุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
2. หลอดทดลอง (Test tube)
3. ปิเปต ขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath "Memmert" model 4999, Germany)
5. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator "Gallenkamp", England)
6. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave "Gallenkamp" model AUX-700-010, England)

##### อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Merk, Germany)
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) (Merk, Germany)
3. สารละลายกรดทาร์ทริก ความเข้มข้นร้อยละ 10

##### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA 39 กรัม ละลายในน้ำกลั่นหรือน้ำกลั่นปราศจากไอออน 1 ลิตร
2. ต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด
3. นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121-124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

4.ปรับอาหารเลี้ยงเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว ให้มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.5 โดยการเติม สารละลายทาร์ทริก ความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงไป (อาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิลิตร ใช้สารละลาย กรดทาร์ทริก 1.9 มิลลิลิตร)

#### การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ผัก ผลไม้ ครอบคลุมให้มีระดับเจือจาง (Dilution)  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ , และ  $10^{-3}$

#### การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

1.ใช้ปิเปต 1 มิลลิลิตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ว คูดสารละลายของตัวอย่าง อาหารที่ระดับเจือจางต่างๆ ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับเจือจางละ 2 จาน โดยเริ่มคูดจากระดับความเข้มข้นต่ำสุดก่อน

2.เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่กำลังหลอมเหลวลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างโดยใส่ลงใน จาน จานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายใน 1-5 นาที

3.ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว คั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

#### การบ่มเชื้อ

บ่มจานอาหารเลี้ยงเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังการบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ระดับเจือจาง (Dilution) ที่มีจำนวนโคโลนี น้อยกว่า 300 โคโลนี คำนวณจำนวนโคโลนี ต่ออาหาร 1 กรัม (N) ตามสูตรดังนี้

$$N = \frac{C}{v (n_1 + 0.1 n_2) d}$$

เมื่อ	C	คือ	ผลรวมของจำนวนโคโลนีที่นับได้ในจานเพาะเชื้อทั้งหมด
	v	คือ	ปริมาตร (ml) ของอาหารที่ใส่ลงไปในการเลี้ยงเชื้อแต่ละจาน
	$n_1$	คือ	จำนวนจานที่ระดับเจือจางแรก ที่นำมาับจำนวนโคโลนี



$n_2$  คือ จำนวนจานที่ระดับเจือจางที่สอง ที่นำมานับจำนวนโคโลนี  
 $d$  คือ ระดับเจือจางระดับแรก ที่นำมานับจำนวนโคโลนี

รายงานผลการคำนวณเป็นจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง ระหว่าง 1.0-9.9 คูณด้วย  $10^x$   
 เมื่อ X คือ เลขยกกำลัง ดังตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้

จำนวนโคโลนีที่นับได้ ที่ระดับเจือจางระดับแรก ( $10^{-3}$ ) = 171 และ 194  
 จำนวนโคโลนีที่นับได้ ที่ระดับเจือจางระดับสอง ( $10^{-4}$ ) = 14 และ 20  
 ปริมาตรของอาหารที่ใส่ลงไปในการเลี้ยงเชื้อแต่ละจาน = 1 ml  
 $N = (171 + 194 + 14 + 20) / (1 \times (2 + (0.1 \times 2))) \times 10^{-3} = 399 / 0.0022 = 181,363$   
 ดังนั้น จึงรายงานผลการตรวจนับได้เป็น  $1.8 \times 10^5$  โคโลนีต่อกรัม

การวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มและอี.โคไล (Coliform and *E.coli*) ตามวิธีของ AOAC, 2000

อุปกรณ์และเครื่องมืออุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
2. หลอดทดลอง (Test tube) 10 มิลลิลิตรแบบมีฝาปิด พร้อมหลอดดักแก๊ส (Durham tube)\*
3. ปิเปต ขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร\*
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath "Memmert" model 4999, Germany)
5. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator "Gallenkamp", England)
6. หม้อนึ่งความร้อน (Autoclave "Gallenkamp" model AUX-700-010, England)

หมายเหตุ \* จะต้องทำการอบฆ่าเชื้อในตู้อบไอร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส เวลา 1.5 ชั่วโมง

อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารละลายสำหรับเจือจาง

- อาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth
- Peptone

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ซั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth ปริมาณ 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ผสมสารละลาย Brilliant Green Lactose Bile Broth ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแบบมีฝาปิดพร้อมหลอดดักแก๊สในหลอดทดลอง จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 121-124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

#### การเตรียมสารละลายสำหรับเจือจาง

เตรียมเปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยละลายเปปโตนปริมาณ 25 ในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร หรือเตรียมตามปริมาณที่ต้องการใช้

#### วิธีวิเคราะห์

##### การเตรียมตัวอย่าง

1. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างผัก ผลไม้กรอบ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้อาหารที่เจือจาง 1 : 10 หรือ ( $10^{-1}$ )
2. เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 หรือ ( $10^{-1}$ ) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้อาหารที่เจือจาง 1:100 หรือ ( $10^{-2}$ )
3. ทำให้อาหารมีความเจือจาง  $10^{-3}$  ด้วยวิธีเดียวกับข้อ 2

##### การวิเคราะห์แบคทีเรียที่คาดว่าป็นโคลิฟอร์ม (Presumptive coliform)

1. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ผสมสารละลายของตัวอย่างอาหารที่ระดับเจือจางต่างๆ ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ) ลงในหลอดทดลองอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth ที่มีหลอดดักแก๊ส จำนวน 3 ชุด ชุดละ 5 หลอดทดลองดังนี้
  - ชุดที่ 1 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง  $10^{-1}$  จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง 5 หลอด
  - ชุดที่ 2 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง  $10^{-2}$  จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง 5 หลอด
  - ชุดที่ 3 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง  $10^{-3}$  จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง 5 หลอด
2. บ่มหลอดทดลองในตู้บ่มอุณหภูมิ  $37 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา  $48 \pm 3$  ชั่วโมง

หากหลอดทดลองใดมีแก๊สเกิดขึ้นในหลอดดักแก๊สหรือให้ผลบวก (Positive) ซึ่งคาดว่าจะมีเชื้อจุลินทรีย์ ชนิด โคลิฟอร์มเจริญอยู่ในตัวอย่าง ถ้าไม่พบว่ามีแก๊สเกิดขึ้นในหลอดใดเลยแสดงว่าให้ผลลบ (Negative) และไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ชนิด โคลิฟอร์มเจริญอยู่ในตัวอย่างนั้น

### การยืนยันโคลิฟอร์ม

1. ใช้ห่วง (Loop) เขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวกจากการทดสอบที่คาดว่าจะเป็ โคลิฟอร์ม ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methyl Blue Agar ในจานเพาะเชื้อ
2. บ่มจานเพาะเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 37±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง
3. ตรวจสอบโคโลนีที่เป็นลักษณะเฉพาะของโคลิฟอร์ม โดยโคโลนีของโคลิฟอร์มจะมีสีดำ หรือสีดำตรงกลางล้อมรอบด้วยบริเวณโปร่งใสไม่มีสี โคลิฟอร์มบางโคโลนีมีลักษณะนูน เป็ยก เยี่ยม (Mucoid)
4. บันทึกจำนวนหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชุดที่มีเชื้อจุลินทรีย์โคลิฟอร์มที่ได้รับการยืนยัน แล้ว

### การวิเคราะห์แบคทีเรียที่คาดว่าจะเป็ *E.coli*

1. ใช้เข็มเขี่ยเชื้อ (Needle) เขี่ยเชื้อจากหลอดทดลองที่ให้ผลบวกจากการทดลองแบคทีเรียที่ คาดว่าเป็นโคลิฟอร์ม ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth จำนวน 10 มิลลิลิตร โดยหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อนี้ต้องปรับอุณหภูมิเท่ากับ 44.5 องศาเซลเซียสก่อน นำไปใช้
2. เขี่ยเชื้อ *E.coli* ซึ่งเป็น เชื้อมาตรฐานในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth จำนวน 10 มิลลิลิตร อีก 2 หลอด สำหรับเป็หลอดเปรียบเทียบ
3. บ่มหลอดเลี้ยงเชื้อในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 44.5± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
4. หลอดทดลองที่มีแก๊สเกิดขึ้นหรือให้ผลบวก แสดงว่ามีแบคทีเรียที่คาดว่าจะเป็ *E.coli*

ให้ทำการวิเคราะห์เพื่อยืนยัน *E.coli*

### การวิเคราะห์เพื่อยืนยัน *E.coli*

1. เขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวกจากการทดสอบแบคทีเรีย ที่คาดว่าจะเป็ *E.coli* ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methyl Blue Agar
2. บ่มจานเพาะเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 37±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

3. เลือกโคโลนีที่เป็นลักษณะเฉพาะ ของ *E.coli* ซึ่งมีสีน้ำเงินอมดำตรงกลาง และมีสีเลื่อมมันอมเขียวสะท้อนแสงซึ่งบางครั้งสีเลื่อมอาจไม่ปรากฏ เชื้อเชื้อครั้งละ 1 โคลอนีลงในน้ำทริปโตน (Tryptone water) และบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ  $44.5 \pm 0.5$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. เชื้อเชื้อ *E.coli* มาตรฐานในหลอดน้ำทริปโตน เพื่อเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ

5. ทดสอบสารอินโดล - หลอดที่มีอินโดลเกิดขึ้นแสดงว่าเป็นเชื้อ *E.coli* จากนั้นบันทึกจำนวนหลอดทดลองที่ให้ผลบวก

6. คำนวณและรายงานค่า MPN ของ Coliform และ *E.coli* ในตัวอย่าง 1 กรัม

7. การทดสอบยืนยันเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Coliform และ *E.coli* ควรทำการทดสอบ เมธิลเรด (Methyl red) โวเกส - พรอสกาเออร์ (Voges-Proskauer) และซิเตรต (Citrate test) โดยก่อนจะทดสอบปฏิกิริยาเหล่านี้ต้องแยกเชื้อ *E.coli* ให้บริสุทธิ์ก่อน

### การคาดคะเนอายุการเก็บรักษา (Man and Jones, 1994)

การศึกษาอันดับและอัตราเร็วของปฏิกิริยา (Order and rate constant of reaction) การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยการศึกษ้อัตราเร็วและอันดับของปฏิกิริยา สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลศาสตร์

$$\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^n$$

dt

เมื่อ  $C_A$  = ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เวลา t

t = เวลา

k = อัตราเร็วของปฏิกิริยา

n = อันดับของปฏิกิริยา

### ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (n = 0)

มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับเวลา t

$$C_{At} = -kt + C_{A0}$$

สร้างกราฟระหว่าง  $C_{At}$  กับเวลา t เพื่อหาค่า k

### ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (n = 1)

มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Logarithmic ของความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับเวลา t

$$\ln(C_{At} / C_{A0}) = -kt$$

สร้างกราฟระหว่าง  $\ln(C_{At} / C_{A0})$  กับเวลา t เพื่อหาค่า k

### ปฏิกิริยาอันดับสอง (n = 2)

มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับเวลา t แบบ Hyperbolic หรือมีความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/C_A$  กับเวลาเป็นเส้นตรง

$$(1/C_{At}) - (1/C_{A0}) = -kt$$

สร้างกราฟระหว่าง  $\ln(C_{At} / C_{A0})$  กับเวลา t เพื่อหาค่า k

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส ภายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ทราบว่ามีความบางประการที่สามารถใช้ชี้บ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำลูกหมอนผสมน้ำผักผลไม้สมุนไพรได้ นั่นคือคุณภาพนั้นจะนำมาใช้เป็นดัชนีชี้บ่งอายุการเก็บรักษาต่อไป

การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาทำได้โดย นำค่าคุณภาพที่เป็นดัชนีชี้บ่งอายุการเก็บรักษาข้างต้นมาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับเวลา t เพื่อดูว่าการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาอันดับที่เท่าใด และทำการสร้างกราฟตามความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับนั้นๆ เพื่อคำนวณหาอัตราเร็วคงที่ (Rate constant ; k values) จากการหาความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ และนำค่า k ที่ได้มาคำนวณหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ หรือค่า t ในสมการ

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารมีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยเมื่อสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับเวลา จะพบว่ามีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic จากนั้นสร้างกราฟระหว่าง  $\ln(C_{At} / C_{A0})$  กับเวลา t เพื่อคำนวณหาอัตราเร็วของปฏิกิริยา หรือค่า k จากความชันของกราฟ และสามารถหาอายุการเก็บรักษา (t) ได้จากสูตร

$$\ln(C_{At} / C_{A0}) = -kt$$

## ตัวอย่างการคำนวณ

อัตราเร็วของปฏิกิริยาด้านกลิ่นผักและผลไม้เมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยขวดแก้วสี่ส

$$\text{สมการ (1)} \quad K = 0.2146 - 56.85 (1/T)$$

$$\text{อุณหภูมิ } 5^{\circ}\text{C} \text{ คือ } 273+5=278 \text{ องศา K}$$

$$1/T = 1/278 = 0.0036$$

$$\text{อุณหภูมิ } 25^{\circ}\text{C} \text{ คือ } 273+25=298 \text{ องศา K}$$

$$1/T = 1/298 = 0.0034$$

แทนค่าในสมการ (1)

$$K \text{ ที่ } 5^{\circ}\text{C} = 0.0099$$

$$K \text{ ที่ } 25^{\circ}\text{C} = 0.0213$$

$$\ln(C_{At} / C_{A0}) = -kt$$

$$\ln 0.7/1 = 0.3567$$

$$\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } 5^{\circ}\text{C} = 0.3567/0.0090 = 36 \text{ สัปดาห์} = 9 \text{ เดือน}$$

$$\text{อายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ } 25^{\circ}\text{C} = 0.3567/0.0213 = 16 \text{ สัปดาห์} = 4 \text{ เดือน}$$

อัตราเร็วของปฏิกิริยาด้านกลิ่นผักและผลไม้เมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยขวดแก้วสีชา

$$\text{สมการ (2) } K = 0.1719 - 45.8 (1/T)$$

$$\text{อุณหภูมิ } 5^{\circ}\text{C} \text{ คือ } 273+5 = 278 \text{ องศา K}$$

$$1/T = 1/278 = 0.0036$$

$$\text{อุณหภูมิ } 25^{\circ}\text{C} \text{ คือ } 273+25 = 298 \text{ องศา K}$$

$$1/T = 1/298 = 0.0034$$

แทนค่าในสมการ (2)

$$K \text{ ที่ } 5^{\circ}\text{C} = 0.0070$$

$$K \text{ ที่ } 25^{\circ}\text{C} = 0.0162$$

$$\ln (C_{At} / C_{A0}) = -kt$$

$$\ln 0.7/1 = 0.3567$$

$$\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } 5^{\circ}\text{C} = 0.3567/0.0070 = 50 \text{ สัปดาห์} = 12 \text{ เดือน}$$

$$\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } 25^{\circ}\text{C} = 0.3567/0.0162 = 22 \text{ สัปดาห์} = 5 \text{ เดือน}$$





