การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียว

DEVELOPMENT OF MUNG BEAN DRINKING PRODUCT

ฐายี แสงวงศ์รัศมี
ณัฐกานต์ สุขเกษม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

DEVELOPMENT OF MUNG BEAN DRINKING PRODUCT

THAYEE SANGWONGRATSAME
NATTAKARN SUKKASEAM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN
PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN BIOTECHNOLOGY
DEPARTMENT OF BIOLOGY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียว
Development of mung bean drinking product
ชื่อนักศึกษา นางสาวฐายี แสงวงศ์รัศมี รหัสนักศึกษา 63050382
นางสาวณัฐกานต์ สุขเกษม รหัสนักศึกษา 63050387
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
ภาควิชา ชีววิทยา
ปีการศึกษา 2566
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กวินชญา สายแก้ว

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ประจำปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. มงคล เพ็ญสายใจ ประธานกรรมการ	
ดร. ตรีสินธุ์ โพธารส กรรมการ	
ดร. กวินชญา สายแก้ว กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียว
ชื่อนักศึกษา นางสาวฐายี แสงวงศ์รัศมี รหัสนักศึกษา 63050382
นางสาวณัฐกานต์ สุขเกษม รหัสนักศึกษา 63050387
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
ภาควิชา ชีววิทยา
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2566
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กวินชญา สายแก้ว

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวทั้งสูตรธรรมชาติและสูตรนมโอ๊ต ผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลง แต่ความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติในสภาวะควบคุม ก่อนทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิก ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.77 mg BSA/ml, 0.55 mg GAE/ml, 13,001.90 units/mg protein, 0.44 µmol TE/ml และ 11.88 µmol TE/ml ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปริมาณโปรตีนจะลดลงเหลือเพียง 7.74 mg BSA/ml แต่ค่ากิจกรรมของเอนไซม์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 17,361.76 units/mg protein ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตในสภาวะเดียวกัน โดยที่ปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิก ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 9.70 mg BSA/ml, 0.81 mg GAE/ml, 7,357.39 units/mg protein, 0.45 µmol TE/ml และ 14.33 µmol TE/ml ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปริมาณโปรตีน และสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงเหลือ 8.72 mg BSA/ml และ 0.63 mg GAE/ml ตามลำดับ แต่ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 11,346.33 units/mg protein ซึ่งผลที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่ากิจกรรมเอนไซม์ที่ได้จากสภาวะควบคุมของผลิตภัณฑ์แต่ละสูตรในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ : ถั่วเขียว, กลิ่นถั่ว, เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส, เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

Title	Development of mung bean drinking product
Students	Miss Thayee Sangwongratsame Student ID 63050382
	Miss Nattakarn Sukkaseam Student ID 63050387
Degree	Bachelor of Science Program in Biotechnology
Department	Biology
School	Science
University	King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2023
Advisor	Dr. Kawinchaya Saikaew

Abstract

The research aimed to investigate the effects of storing products at 4±2 degrees Celsius on lipoxygenase activity and quality changes of the mung bean drinking product, natural and oat milk-based flavor. Results showed that prolonged storage reduced protein content, phenolic compounds and antioxidant abilities while increasing enzyme activity. In the mung bean drinking product of natural flavor under controlled conditions before storage, the protein quantity, phenolic compound content, Lipoxygenase enzyme activity and antioxidant capacity (DPPH and ABTS) were initially 8.77 mg BSA/ml, 0.55 mg GAE/ml, 13,001.90 units/mg protein, 0.44 µmol TE/ml and 11.88 µmol TE/ml, respectively. At the end of the storage period, the protein quantity decreased to 7.74 mg BSA/ml, while the enzyme activity increased to 17,361.76 units/mg protein. The obtained results are consistent with the analysis of mung bean drinking product of oat milk-based flavor under the same conditions. Initially, the protein quantity, phenolic compound content, enzyme activity and antioxidant capacity were 9.70 mg BSA/ml, 0.81 mg GAE/ml, 7,357.39 units/mg protein, 0.45 µmol TE/ml and 14.33 µmol TE/ml, respectively. After storage, the protein and phenolic compound quantities decreased to 8.72 mg BSA/ml and 0.63 mg GAE/ml, respectively, while the enzyme activity increased significantly to 11,346.33 units/mg protein ($p \leq 0.05$). This increase in enzyme activity was statistically significant when comparing the enzyme activity values obtained from the control condition of each product recipe at all storage time intervals.

Keywords : Mung bean, Beany flavor, Lipoxygenase enzyme, Healthy drinks

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. กวินชญา สายแก้ว อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบในรายวิชาโครงงานพิเศษทุกท่าน ได้แก่ ผศ. มงคล เพ็ญสายใจ และดร. ตรีสินธุ์ โพธารส ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานพิเศษ จนทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัย

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาชีววิทยาทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

ฐายี แสงวงศ์รัศมี
ณัฐกานต์ สุขเกษม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........ ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ ข

กิตติกรรมประกาศ........ ค

สารบัญ........ ง

สารบัญตาราง........ ช

สารบัญรูป........ ฌ

คำย่อ/สัญลักษณ์........ ฎ

บทที่ 1 บทนำ........ 1

- 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ........ 1
- 1.2 วัตถุประสงค์........ 3
- 1.3 ขอบเขต........ 3
- 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 4

- 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว........ 4
  - 2.1.1 ความหมายและการจำแนกลักษณะของถั่วเขียว........ 4
  - 2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเขียว........ 5
  - 2.1.3 ความสำคัญทางเศรษฐกิจ........ 6
  - 2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการและการใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว........ 7
- 2.2 กลิ่นถั่ว........ 8
  - 2.2.1 ปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นถั่ว........ 8
  - 2.2.2 เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase)........ 9
  - 2.2.3 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid)........ 11
  - 2.2.4 ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide)........ 11
  - 2.2.5 สารสำคัญที่ให้กลิ่นถั่ว (Beany flavor)........ 12
- 2.3 วิธีการกำจัดกลิ่นถั่วจากพืชตระกูลถั่ว........ 12
  - 2.3.1 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ด้วยความร้อน........ 12
  - 2.3.2 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ด้วยสารเคมี........ 13
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 15
3.1 การพัฒนาสูตรสำหรับการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียว 15
3.1.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ 15
3.1.2 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียวในสภาวะควบคุม 15
3.1.3 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียวในแต่ละสภาวะทดลอง 16
3.1.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส 18
3.1.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียว 19
3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียว 19
3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 20
3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford 20
3.2.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase 21
3.2.4 การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (DPPH/ABTS) 21
3.2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) 22
3.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ 23
3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ 23
3.5 กรอบงานวิจัย 24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 25
4.1 ผลการศึกษาการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากเมล็ดถั่วเขียว 25
4.1.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ 26
4.1.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต 26
4.2 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มจากถั่วเขียว 27
4.2.1 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ 29
4.2.2 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต........ 34
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ 40
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ 47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 56
5.1 สรุปผลการวิจัย 56
5.2 ข้อเสนอแนะ 56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.. 57
ภาคผนวก.. 64
ภาคผนวก ก.. 65
ภาคผนวก ข.. 67
ภาคผนวก ค.. 92
ภาคผนวก ง.. 93

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างถั่วเขียวผิวมันกับถั่วเขียวผิวดำ.. 5

2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเขียวดิบต่อน้ำหนักถั่วเขียว 100 กรัม... 7

2.3 ระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase ในพืชแต่ละชนิด.. 9

4.1.1 ส่วนผสมที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ.. 26

4.1.2 ส่วนผสมที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต.. 27

4.2.1 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ... 32

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความหนืดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ.. 32

4.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ............................. 32

4.2.4 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต.. 36

4.2.5 ผลการวิเคราะห์ความหนืดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต... 37

4.2.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต................................. 38

4.3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ........................... 40

4.3.2 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์...... 41

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ความหนืด และการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์... 43

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์.. 44

4.3.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์.. 45

4.4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต............................... 47

4.4.2 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์.......... 49

4.4.3 ผลการวิเคราะห์ความหนืด และการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์... 50

4.4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์.. 52

4.4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์.. 53

ข.1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA) กับค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง............................. 67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข.1.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม ที่ทำการเจือจางเป็น 1:9 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)........ 68
ข.1.3 แสดงค่าปริมาณโปรตีนที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีน.......... 68
ข.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่าง......... 82
ข.3.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)........ 83
ข.3.3 แสดงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่คำนวณได้จากสมการเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน.......... 83
ข.4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง.............. 84
ข.4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)........ 84
ข.4.3 แสดงค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน........ 85
ข.5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง................. 86
ข.5.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)........ 87
ข.5.3 แสดงค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS) ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน......... 88

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะความแตกต่างระหว่างถั่วเขียวผิวมันกับถั่วเขียวผิวดำ.. 4
2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase.. 9
2.3 โครงสร้างภายนอกของเมล็ดถั่วเหลือง.. 10
2.4 การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน.......................... 10
2.5 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิกและกรดอะแรคิโดนิก ที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน... 11
2.6 ปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ในกรดไขมันไม่อิ่มตัว........................ 11
2.7 โครงสร้างของ (ก) Pentanal และ (ข) Hexanal.. 12
2.8 การเปลี่ยนรูปจาก Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ซึ่งเป็นรูปแบบที่เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่สามารถทำงานได้..... 13
3.1 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียวแบบดั้งเดิม... 16
4.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสในตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวทั้งสูตรธรรมชาติ และสูตรนมโอ๊ตของสภาวะที่ 1 (สภาวะควบคุม) และสภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต)... 29
4.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติทั้ง 4 สภาวะทดลอง.. 30
4.3 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ... 31
4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตทั้ง 4 สภาวะทดลอง...... 35
4.5 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต.. 37
ก.1 เข็มวัดความหนืด (Spindle) รหัส 61, 62, 63 และ 64.. 66
ข.1 กราฟมาตรฐานปริมาณโปรตีนของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA).. 68
ข.2.1 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 1 (ควบคุม) ทั้ง 3 ซ้ำ........... 70
ข.2.2 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียม-ไบคาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ.. 71
ข.2.3 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) 3 ซ้ำ.... 72
ข.2.4 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ... 73
ข.2.5 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ.. 74
ข.2.6 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียม-ไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ.. 75
ข.2.7 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 1 (ควบคุม) ทั้ง 3 ซ้ำ............... 76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ข.2.8 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบ-คาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ.......... 77
ข.2.9 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) ทั้ง 3 ซ้ำ.. 78
ข.2.10 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ.......... 79
ข.2.11 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ.......... 80
ข.2.12 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียม-ไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ.......... 81
ข.3 กราฟมาตรฐานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก.......... 83
ข.4 กราฟมาตรฐานกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์.......... 85
ข.5 กราฟมาตรฐานกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์.......... 87
ง.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ.......... 94
ง.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต.......... 96
ง.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวัดค่าสีในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ.......... 99
ง.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวัดค่าสีในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต.......... 102
ง.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน กิจกรรมเอนไซม์ LOX และความหนืดในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ.......... 103
ง.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน กิจกรรมเอนไซม์ LOX และความหนืดในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต.......... 104
ง.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ.......... 106
ง.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต.......... 108

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	**คำอธิบาย**
kcal	กิโลแคลอรีหรือแคลอรี่ เป็นหน่วยที่ใช้บอกพลังงานจากอาหาร
LOX	เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase)
Fe^{2+}	Ferrous ion
Fe^{3+}	Ferric ion
Active site	บริเวณเร่ง ซึ่งเป็นบริเวณหนึ่งที่อยู่บนผิวของโมเลกุลของเอนไซม์ มีลักษณะเป็นร่อง เกิดจากการม้วนพับของสายพอลิเพปไทด์ ทำให้เกิดเป็นบริเวณที่สำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา
pH	ค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นเบสของสารเคมี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันผู้บริโภคมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมากขึ้น โดยเลือกบริโภคอาหารที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย มีคุณค่าทางโภชนาการ สนับสนุนการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดโรค และอาจช่วยบรรเทาอาการของโรคต่างๆ ได้ (ธีรวีร์, 2557) สำหรับแนวทางการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการดูแลสุขภาพ มีการให้ความสนใจกับการเพิ่มปริมาณสารอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ และเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โปรตีน วิตามิน และใยอาหาร จากรายงานของสถาบันอาหาร (2565) พบว่าจากปัจจัยสนับสนุนทั้งเทรนด์รักสุขภาพ กระแสความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม และสวัสดิภาพสัตว์ (Animal Welfare) ผลักดันให้ความนิยมในการบริโภคเครื่องดื่มทางเลือกเพื่อสุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา โดยผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองครองส่วนแบ่งทางการตลาดสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 93.4 ในขณะที่นมจากพืชชนิดอื่นๆ เช่น นมอัลมอนด์ น้ำนมข้าว นมข้าวโอ๊ต และกะทิ มีอัตราการเติบโตสูงถึงร้อยละ 18.5 ต่อปี ส่งผลให้ตลาดนมทางเลือกจากพืช (Plant-Based Milk) มีอัตราการเติบโตสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ในปี 2566 มีการคาดการณ์ว่ามูลค่าตลาดผลิตภัณฑ์นมจากพืชในประเทศไทย จะมีมูลค่าประมาณ 18,946 ล้านบาท อัตราการขยายตัวคิดเป็นร้อยละ 5.5 เมื่อเทียบกับปี 2565 และคาดการณ์ว่าในปี 2570 อัตราการเติบโตเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 21.7 ต่อปี โดยมีปัจจัยสนับสนุนจากการให้ความสำคัญด้านสุขภาพ ความตระหนักด้านสวัสดิภาพสัตว์และสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ถูกนำมาวางจำหน่ายออกสู่ตลาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ยิ่งเป็นการกระตุ้นตลาดให้มีการเติบโตมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์นมจากพืชที่ไม่ใช่นมถั่วเหลือง ที่มีแนวโน้มขยายตัวขึ้นอย่างต่อเนื่อง สามารถดึงดูดความสนใจของกลุ่มผู้ประกอบการรายใหม่ให้เข้าสู่ตลาดมากขึ้น ส่งผลให้การแข่งขันในตลาดมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น (สถาบันอาหาร, 2565)

ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วอีกชนิดหนึ่งที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ถั่วเขียวมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเมล็ดถั่วเขียวดิบ 100 กรัม ให้พลังงาน 347 kcal ประกอบไปด้วยโปรตีน 23.86 กรัม ใยอาหาร 16.30 กรัม ไขมัน 1.15 กรัม และคาร์โบไฮเดรต 62.62 กรัม นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ ฟอสฟอรัส 367 มิลลิกรัม แคลเซียม 132 มิลลิกรัม และธาตุเหล็ก 6.74 มิลลิกรัม (USDA Nutrient database, 2019) นอกจากนี้ถั่วเขียวยังเป็นธัญพืชที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index: GI) ต่ำ (GI=48) ซึ่งเป็นผลดีต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดในผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน โรคหัวใจ ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550) ดังนั้นถั่วเขียวจึงถือเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพต่อการนำมาใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (Ganesan and Xu,

2018) อย่างไรก็ตามกลิ่นถั่ว (beany flavor) ที่พบในผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลถั่ว เช่น เครื่องดื่มเสริมโปรตีนจากพืชและผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง ส่งผลเสียต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

กลิ่นถั่วเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ที่มีองค์ประกอบของ 1,4-cis, cis-pentadiene ในสภาวะที่มีการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase, LOX) ซึ่งเอนไซม์จะทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมันเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจำพวกอัลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) และแอลกอฮอล์ (Alcohol) โดยเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว สารประกอบสำคัญที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดการมีกลิ่นถั่ว ได้แก่ เพนทานอล (Pentanal) และเฮกซานอล (Hexanal) (Shin *et al.*, 2013; Kudre and Benjakul, 2013; Baysal and Demirdoven, 2007; Halliwell *et al.*, 1995) โดยสารประกอบเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพืชตระกูลถั่ว เหตุผลนี้จึงเป็นตัวกระตุ้นให้มีการทำวิจัยเพิ่มขึ้นเพื่อปรับปรุงรสชาติผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชตระกูลถั่ว โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพ

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะลดกลิ่นถั่วจากเมล็ดถั่วเขียว ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ โดยใช้วิธีการให้ความร้อนและสารเคมีเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส จากงานวิจัยของ Marston *et al.* (2016) ได้กล่าวไว้ว่าการให้ความร้อนโดยตรงกับเมล็ดถั่วเป็นวิธีอย่างง่ายที่นิยมใช้ แต่จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐาน การลดกลิ่นถั่วโดยการนำเมล็ดถั่วไปให้ความร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับเหมาะสมที่จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ โดยควรใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (Shin *et al.*, 2013; Baysal and Demirdoven, 2007) อย่างไรก็ตาม การใช้ความร้อนสูงอาจมีผลต่อการสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ การคงอยู่ของสารพฤกษเคมี และคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญในเมล็ดถั่วเขียว ดังนั้นจึงควรใช้สภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุดเพื่อรักษาสมบัติเชิงหน้าที่ และการคงอยู่ของสารพฤกษเคมี หรือสารอาหารสำคัญในเมล็ดถั่วเขียว

การลดกลิ่นถั่วของเมล็ดถั่วเขียวโดยวิธีการใช้สารเคมีเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นิยมใช้ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน เป็นวิธีการที่ช่วยให้เมล็ดถั่วไม่สัมผัสกับความร้อน สามารถรักษาปริมาณสารอาหารสำคัญ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีประโยชน์กับร่างกายเอาไว้ได้ รวมถึงทำให้เมล็ดถั่วเขียวยังคงมีปริมาณโปรตีนสูง ซึ่งการใช้ความร้อนมีโอกาสทำให้องค์ประกอบของโครงสร้างทางเคมีกายภาพและปริมาณโปรตีนในถั่วเขียวนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้สูงถึงร้อยละ 20 (อภิญญา และปาริฉัตร, 2550) ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบ กลไกการทำงานเอนไซม์ Lipoxygenase เกิดจากการที่ภายในโมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก (Iron : Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมันและเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมัน เกิดเป็นสารประกอบในกลุ่มไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่สามารถสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไป (Halliwell *et al.*, 1995) ดังนั้น แนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งกลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ คือการใช้สารเคมีที่มีสมบัติเป็น Chelating agent โดยจะมีผลให้

เกิดการสร้างพันธะจับกับเหล็กที่บริเวณ active site ของเอนไซม์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีเลต (Chelate) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว สามารถดึงธาตุเหล็กออกจากโมเลกุลของเอนไซม์ Lipoxygenase ส่งผลให้เอนไซม์นั้นไม่สามารถทำงานได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อลดความเข้มของกลิ่นถั่วก่อนนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในผลิตภัณฑ์ ผลิตเป็นเครื่องดื่มทางเลือกเพื่อสุขภาพจากถั่วเขียวที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ มีกลิ่นรสที่ดี รสชาติทานง่าย ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน และเป็นการเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากเมล็ดถั่วเขียวอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการลดกลิ่นรสของถั่วเขียวในวัตถุดิบด้วยวิธีการใช้ความร้อนและสารเคมี
2. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่เตรียมได้จากการใช้สภาวะทดลองที่แตกต่างกันในการจัดเตรียมวัตถุดิบ เปรียบเทียบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในสภาวะควบคุม
3. ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่ช่วงอุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 เดือน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้เมล็ดถั่วเขียวตราไร่ทิพย์ในการทดลอง ซึ่งเป็นถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการเลาะเปลือกหรือผ่าซีก
2. สภาวะการเตรียมวัตถุดิบเมล็ดถั่วเขียวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน หรือแช่ในสารละลายทางเคมี จะใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในสภาวะควบคุม
3. ทำการแช่ถั่วเขียวในน้ำสะอาดเป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนน้ำหนักถั่วต่อปริมาตรน้ำที่ใช้สำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1: 6
4. การลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีทางเคมี จะใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5
5. ใบเตยสดเป็นสมุนไพรจากธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยทำการนึ่งให้ความร้อนเมล็ดถั่วเขียวที่ถูกนำมาคลุกรวมกับใบเตย ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เมล็ดถั่วเขียวมีความเข้มของกลิ่นถั่วที่ลดลง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ จากเมล็ดถั่วเขียว
2. การนำเมล็ดถั่วเขียวมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทางเลือกเพื่อสุขภาพ สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับถั่วเขียวได้

บทที่ 2

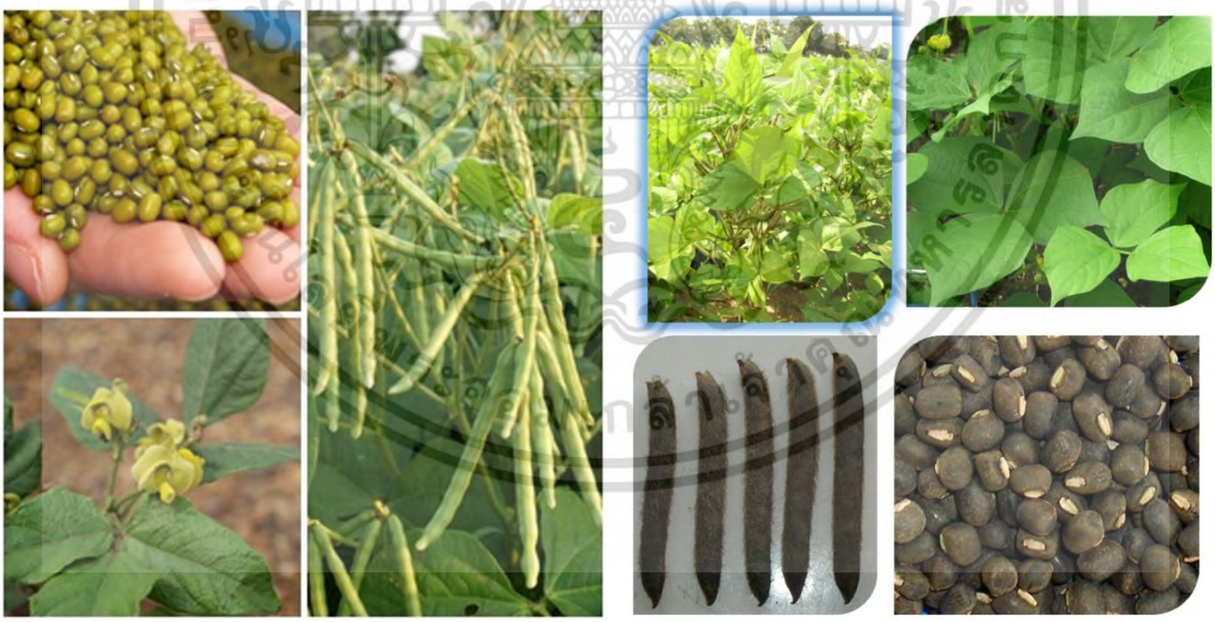
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำเล่มโครงงานพิเศษในครั้งนี้ ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดจำแนกลักษณะของถั่วเขียว คุณประโยชน์ของถั่วเขียว สาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่วและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย รวมถึงวิธีการกำจัดกลิ่นถั่วเขียว เพื่อใช้เป็นแนวทางการศึกษาของงานวิจัยนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว

2.1.1 ความหมายและการจำแนกลักษณะของถั่วเขียว

ถั่วเขียว (Mung bean) ซึ่งในที่นี้รวมไปถึงถั่วเขียวผิวมัน (Green gram) ถั่วเขียวผิวทอง (Golden gram) และถั่วเขียวผิวดำ (Black gram) (Rachie and Robert, 1974) ซึ่งได้จัดอยู่ในกลุ่มของ *Vigna radiata* (L.) Wilczek อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Verdcourt (1970) ได้จัดจำแนกถั่วเขียวออกเป็น 2 สายพันธุ์ย่อยเพื่อแยกให้เห็นถึงลักษณะความแตกต่าง โดยจัดจำแนกถั่วเขียวผิวมันและผิวทองอยู่ใน *Vigna radiata* var. *aureous* ซึ่งมีลักษณะของฝักโค้งงอ ขนบนฝักสั้น เมล็ดกลม ไฮลัมหรือตาเรียบ จำแนกถั่วเขียวผิวดำอยู่ใน *Vigna radiata* var. *mungo* ซึ่งมีลักษณะฝักตรง ฝักจะสั้นกว่า ขนบนฝักยาว มีไฮลัมโค้ง ลักษณะความแตกต่างของถั่วเขียวในแต่ละสายพันธุ์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.1 และในตารางที่ 2.1



(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 ลักษณะความแตกต่างระหว่างถั่วเขียวผิวมันกับถั่วเขียวผิวดำ

(ก) ถั่วเขียวผิวมัน (ข) ถั่วเขียวผิวดำ

ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2557) และศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท (2564)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างถั่วเขียวผิวมันกับถั่วเขียวผิวดำ

ลักษณะ	**ถั่วเขียวผิวมัน**	**ถั่วเขียวผิวดำ**
1. ขนที่ฝัก	สั้นและเบาบาง	ยาวและแน่น
2. เมล็ด	เล็กและกลม มีสีเขียวเหลืองจนถึงดำเข้ม โดยทั่วไปมีสีเขียวหรือเขียวแกมเหลือง เปลือกนอกมีรอยนูนของ hypocotyl-radicle axis	ใหญ่และยาวกว่า มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม โดยทั่วไปมีสีดำ ไม่มีรอยนูนของ hypocotyl-radicle axis
3. ไฮลัม	ไม่เว้า	เว้า
4. กิ่งแขนง	น้อยกว่า	มากกว่า
5. ขนาดของใบ	โดยทั่วไปใหญ่กว่า	เล็กกว่า
6. จำนวนฝักต่อต้น	น้อยกว่า	มากกว่า
7. ความยาวฝัก	ยาวกว่า	สั้นกว่า
8. อายุเก็บเกี่ยว	สั้นกว่า (ประมาณ 65-70 วัน)	นานกว่า (ประมาณ 90-120 วัน)

ที่มา: ทรงเชาว์ (2545)

การจำแนกชนิดของถั่วเขียวในประเทศไทย

ประเทศไทยได้มีการจำแนกประเภทของถั่วเขียวโดยใช้เปลือกของเมล็ดเป็นหลักในการพิจารณา ซึ่งสามารถแบ่งถั่วเขียวออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. ถั่วเขียวผิวมัน เมล็ดมีสีเขียวและมัน
2. ถั่วเขียวเมล็ดด้านหรือถั่วเขียวธรรมดา เมล็ดมีสีเขียวด้าน
3. ถั่วเขียวสีทองหรือถั่วทอง เมล็ดมีสีเขียวอมเหลือง
4. ถั่วเขียวผิวดำ เมล็ดมีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเขียว (ทรงเชาว์, 2545)

1. เมล็ด (Seed) มีรูปร่างกลมยาว (Globular) ขนาดเมล็ดค่อนข้างเล็ก ถั่วเขียวจำนวน 100 เมล็ด มีน้ำหนักประมาณ 4-8 กรัม ในแต่ละเมล็ดประกอบด้วย
   - ➢ เปลือกนอกเมล็ด (Hull) มีสีต่างกัน เช่น สีเขียว เหลืองและดำ ขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์ โดยทั่วไปจะมีสีเขียวและสีขาว ลักษณะยาวแบน ภายในเมล็ดประกอบด้วยใบเลี้ยง 2 อัน ทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร
   - ➢ ยอดอ่อน (Plumule) เป็นส่วนยอดของต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด ซึ่งจะเจริญเป็นใบจริงคู่แรก
   - ➢ แกนกลางของต้นอ่อนในเมล็ด (Hypocotyl-radicle axis) เป็นแถบกลางของต้นอ่อน ในเมล็ดมีอยู่ 1 อัน เมื่อเมล็ดงอกจะเจริญเป็นราก และส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ใบเลี้ยงลงมา

2. ราก (Root) มีรากแก้วและรากแขนงทำหน้าที่ดูดซึมธาตุอาหาร บนรากของถั่วเขียวมีปม (Nodule) เกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียพวกไรโซเบียม (*Rhizobium sp.*) เข้าไปอาศัยอยู่ในราก ทำให้รากถั่วเขียวสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ถั่วเขียวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
3. ลำต้น (Stem) เป็นพืชล้มลุก มีลักษณะลำต้นตั้งตรง เป็นพุ่ม มีความสูงประมาณ 40-130 เซนติเมตร ลำต้นมีการแตกกิ่งแขนงมาก บางพันธุ์มีลำต้นกึ่งเลื้อย บนส่วนต่างๆ ของลำต้นมีขนอ่อนปกคลุมอยู่
4. ใบ (Leaf) เป็นแบบใบประกอบ มีใบย่อย 3 ใบ แต่ละใบย่อยมีความกว้าง 1.5-12 เซนติเมตร และมีความยาวประมาณ 2-20 เซนติเมตร
5. ดอก (Flower) มีดอกเป็นช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (Perfect flower) คือเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน
6. ฝัก (Pod) มีรูปร่างเรียวยาว ส่วนปลายโค้งงอเล็กน้อย มีขนปกคลุมทั่วไป ฝักแก่มีตั้งแต่สีดำ สีเทา และสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลแก่ ฝักมีความยาวประมาณ 5-10 เซนติเมตร แต่ละฝักมีเมล็ดถั่วประมาณ 10-15 เมล็ด

2.1.3 ความสำคัญทางเศรษฐกิจ

ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปลูกได้ดีในเขตร้อนชื้น ไม่ชอบอากาศหนาวเย็น แหล่งปลูกส่วนใหญ่จะอยู่ในทวีปเอเชีย ซึ่งประเทศที่มีการเพาะปลูกมาก ได้แก่ อินเดีย ไทย เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน อินโดนีเซีย เกาหลี บังกลาเทศ ศรีลังกา มาเลเซีย สาธารณรัฐประชาชนจีน และเนปาล เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปมีการเพาะปลูกทั้งถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำ ซึ่งไม่ได้ปลูกเป็นพืชหลักแต่ปลูกเป็นพืชประกอบร่วมกับพืชชนิดอื่นๆ เช่น ปลูกตามหลังข้าวในบริเวณที่นา หรือก่อนพืชไร่อื่นๆ เช่น ปลูกก่อนการปลูกถั่วเหลืองหรือปลูกตามหลังข้าวโพดไร่ โดยในปัจจุบันถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่เกษตรกรให้ความสนใจที่จะทำการเพาะปลูกมากขึ้น ทางราชการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกถั่วเขียวผิวมันเป็นพันธุ์มาตรฐานซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 พันธุ์ คือ พันธุ์อู่ทอง 1 พันธุ์กำแพงแสน 1 และพันธุ์กำแพงแสน 2 (ทรงเชาว์, 2545)

ถั่วเขียวผิวมันที่เพาะปลูกได้ในแต่ละปีถูกนำมาใช้ภายในประเทศประมาณร้อยละ 40 และส่งออกต่างประเทศร้อยละ 60 ส่วนที่ใช้ภายในประเทศนั้นจะใช้ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ นำไปกะเทาะเป็นถั่วซีกเพื่อนำไปประกอบอาหารและขนมต่างๆ นำไปผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อสกัดเอาแป้งทำวุ้นเส้นหรือแป้งถั่ว หรือนำไปแช่น้ำทิ้งไว้เพื่อทำถั่วงอก การส่งออกสู่ต่างประเทศนั้นส่วนใหญ่จะนำเข้าไปใช้เพาะเป็นถั่วงอก ทำวุ้นเส้นหรือแป้งถั่ว ซึ่งบริโภคกันในหมู่ชาวเอเชียเท่านั้น ส่วนในประเทศในแถบทวีปอเมริกาและทวีปยุโรป นำเข้าเพื่อให้ผู้อพยพที่เข้าไปอยู่ในประเทศเหล่านั้นได้บริโภค

สำหรับถั่วเขียวผิวดำที่เพาะปลูกได้ในแต่ละปีถูกนำมาใช้ภายในประเทศประมาณร้อยละ 10 และส่งออกสู่ต่างประเทศประมาณร้อยละ 90 ส่วนที่ใช้ภายในประเทศส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้เพาะถั่วงอกรวมกับถั่วเขียวผิวมัน ซึ่งถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเขียวผิวดำจะมีลักษณะอวบและเก็บรักษาไว้ได้นานกว่า การส่งออกสู่ต่างประเทศผู้ซื้อรายใหญ่คือประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจะนำถั่วเขียวไปเพาะให้เป็นถั่วงอก ในประเทศอินเดีย ปากีสถาน และประเทศอื่นๆ จะนำไปใช้ทำอาหารจำพวกแป้งเป็นส่วนใหญ่

2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการและการใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว

การใช้ประโยชน์จากแป้งถั่วเขียวในอุตสาหกรรม ส่วนมากถั่วเขียวจะถูกนำมาใช้สำหรับการโม่แบบแห้ง และการโม่แบบเปียกหรือโม่แบบใช้น้ำ (สมชาย, 2523) เพื่อการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน ได้แก่

การโม่แบบแห้ง โดยการนำเมล็ดถั่วเขียวที่กะเทาะเปลือก (Peeled mung bean) มาบดด้วยเครื่องโม่ให้ละเอียดเป็นแป้ง (Mung bean flour) ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งในแป้งถั่วเขียวมีโปรตีนหลัก โดยมีกลูเตนิน (Glutenin, Glutelin) และไกลอะดิน (Gliadin) รวมตัวกันเป็นกลูเตน (Gluten) ทำให้เกิดลักษณะของโครงข่ายโปรตีนในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์คงรูปและมีความเหนียวนุ่ม

สำหรับการบดแบบเปียก โดยนำเมล็ดถั่วเขียวกะเทาะเปลือกไปแช่น้ำจนนิ่ม บดพร้อมผสมน้ำลงไปเพื่อแยกแป้งออกจากน้ำ การผสมน้ำมากจะมีส่วนช่วยชะล้างแป้งและโปรตีนออกมาได้มาก น้ำสีเขียวที่ได้เป็นน้ำที่มีโปรตีนละลายอยู่สามารถนำไปตกตะกอนโปรตีนใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์หรือใช้ผลิตซีอิ๊วได้ ในส่วนของแป้งที่ได้เมื่อถูกนำมาทำให้แห้งแล้วบดส่วนที่แห้งให้ละเอียดเป็นแป้งถั่วเขียวหรือสตาร์ช (Mung bean starch) ปริมาณของสารประกอบอื่นๆ ในสตาร์ช ที่ภาคอุตสาหกรรมยอมรับว่าเป็นสตาร์ชต้องมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.5 ปริมาณไขมันต้องน้อยกว่าร้อยละ 1 (อรอนงค์ และคณะ, 2531)

ในปัจจุบันการนำสตาร์ชดิบมาใช้ยังไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมีคุณสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ จึงได้มีการดัดแปรสตาร์ช (Modified starch) ให้สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ โดยถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จัดเป็นพืชอาหารไม่ใช่พืชน้ำมันเพราะเมล็ดถั่วเขียวประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนมากกว่าน้ำมัน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเขียวดิบต่อน้ำหนักถั่วเขียว 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)
คาร์โบไฮเดรต	62.62
โปรตีน	23.86
ไขมัน	1.15
ใยอาหาร	16.30
ความชื้น	9.05

ที่มา : USDA Nutrient database (2019)

ถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับเนื้อปลาและเนื้อไก่ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าถั่วชนิดอื่น นอกจากนี้ยังมีวิตามิน และสารอาหารสำคัญต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยปริมาณไขมันในถั่วเขียวมีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วลิสงและถั่วเหลือง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่เป็นอาหารประเภทย่อยง่าย ไม่ทำให้ท้องอืดเหมือนถั่วชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ทำเป็นอาหารสำหรับเด็ก ผู้พักฟื้น หรือคนชรา (ทรงเชาว์, 2545)

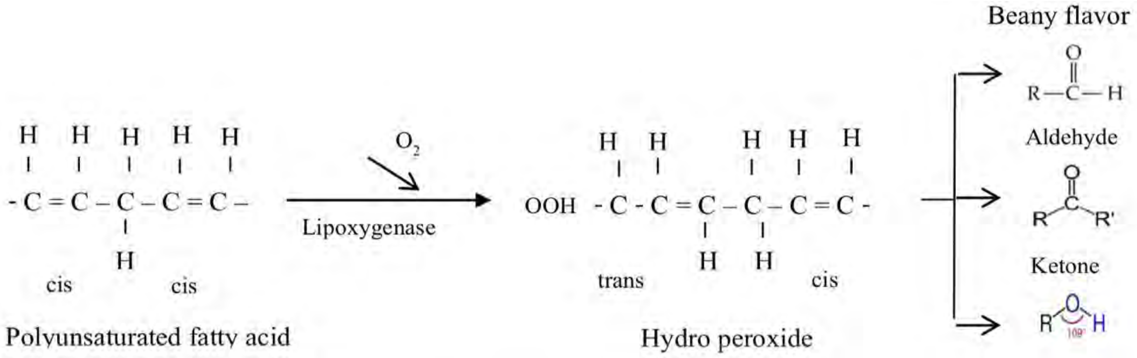
กระบวนการแปรรูปถั่วเขียวมีขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ การเอาเปลือกออก (Dehulling) การแช่น้ำ (Soaking) การงอก (Germination) การต้ม (Boiling) และการนึ่งภายใต้ความดัน โดยกระบวนการต่างๆ จะส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในถั่วเขียว จากงานวิจัยของ Mubarak (2005) พบว่าในกระบวนการแปรรูปถั่วเขียวทั้งการนำเมล็ดถั่วไปแช่น้ำให้ถั่วเขียวงอก หรือการนำเมล็ดถั่วเขียวมาให้ความร้อนโดยการนึ่งเพื่อทำให้สุกส่งผลให้ปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโนจำเป็นที่มีในเมล็ดถั่วเขียวมีปริมาณลดลง เช่น ไลซีน (Lysine) ทริปโตเฟน (Tryptophan) ทรีโอนีน (Threonine) และกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เป็นต้น

2.2 กลิ่นถั่ว

กลิ่นถั่ว (Beany flavor) เป็นลักษณะของกลิ่นเฉพาะตัวที่พบในผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลถั่ว (Legumes) ชนิดต่างๆ ตัวอย่างเช่น แป้งถั่ว ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่ว โดยอาจมีชื่อเรียกอื่นอีกคือ กลิ่นเหม็นเขียว (Grassy flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Campbell *et al*., 2016) กลิ่นถั่วเป็นลักษณะเฉพาะของกลิ่นที่จะพบในพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วปากอ้า (Faba bean) ถั่วหรั่ง (Bambara bean) และถั่วเหลือง (Soy bean) เป็นต้น (Jiang *et al*., 2016; Kudre and Benjakul, 2013; Shin *et al*., 2013) ซึ่งหากสามารถกำจัดกลิ่นถั่วให้ลดลงได้ จะง่ายต่อการนำมาเติมลงในอาหารต่างๆ ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นของอาหารนั้นๆ ไม่เปลี่ยนไป สามารถเพิ่มการใช้แป้งจากพืชตระกูลถั่วได้มากขึ้น (Shin *et al*., 2013; สุมาลี, 2554) ปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นถั่ว รวมถึงปัจจัยที่เป็นสาเหตุเกี่ยวกับการเกิดกลิ่นถั่ว ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส กรดไขมันไม่อิ่มตัว สารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ และกลุ่มสารสำคัญที่ให้กลิ่นถั่ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นถั่ว

กลิ่นถั่วเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ที่มีองค์ประกอบของ 1,4-cis, cis-pentadiene ($-CH=CH-CH_2-CH=CH-$) คือมีพันธะคู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ในสภาวะที่มีการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ จะทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) โดยมีหมู่ -OOH เพิ่มเข้ามาและเปลี่ยนรูปจาก Cis form เป็น Trans form ซึ่งไฮโดรเพอร์ออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารที่ระเหยได้จำพวกสารประกอบแอลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) และแอลกอฮอล์ (Alcohol) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว แสดงดังรูปที่ 2.2 (Shin *et al*., 2013; Kudre and Benjakul, 2013; Baysal and Demirdoven, 2007)



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase
ที่มา: ดัดแปลงจาก Janette (2005) และ Jiang *et al*. (2016)

2.2.2 เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase)

เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) จัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเทส (Oxidoreductase) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งเอนไซม์ Lipoxygenase นี้มีอยู่ในพืชโดยธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว (Baysal and Demirdoven, 2007) ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ Lipoxygenase ได้สูงที่สุด จึงใช้เป็นตัวเปรียบเทียบระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase กับถั่วชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 จากตารางจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองมีระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase คิดเป็นร้อยละ 100 แต่พืชตระกูลถั่วชนิดอื่นๆ เช่น ถั่วเขียว มีระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase เพียงร้อยละ 14 (Obaidy and Siddhiqui, 1982)

ตารางที่ 2.3 ระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase ในพืชแต่ละชนิด

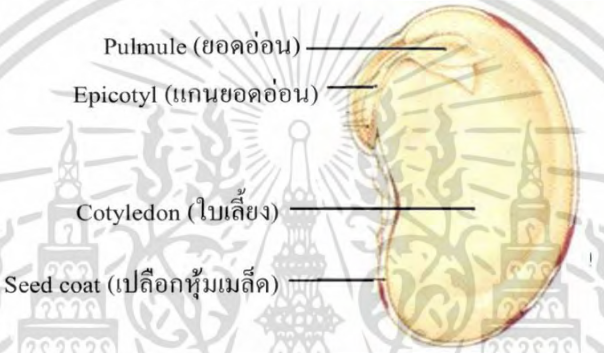
ชนิดพืช	ระดับของปฏิกิริยา lipoxygenase (ร้อยละ)
ถั่วเหลือง (Soy bean)	100
ถั่วเขียว (Mung bean)	14
ถั่วลันเตา (Green pea)	13
ถั่วแขก (Bush bean)	28
ถั่วปากอ้า (Broad Bean)	11

ที่มา: Obaidy and Siddhiqui (1982)

เอนไซม์ไลพอกซีจีเนสมีอยู่ในพืชโดยธรรมชาติ เป็นโปรตีนประเภทโกลบูลิน ที่สะสมอยู่ในเซลล์ของเนื้อถั่วชนิดต่างๆ หรืออาจสะสมอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง จากผลการวิจัยของคัดนางค์ (2542) พบว่าเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสจะสะสมอยู่ในส่วนของใบเลี้ยงซึ่งเป็นส่วนของเนื้อเมล็ดถั่วเหลืองทั้งหมด ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3

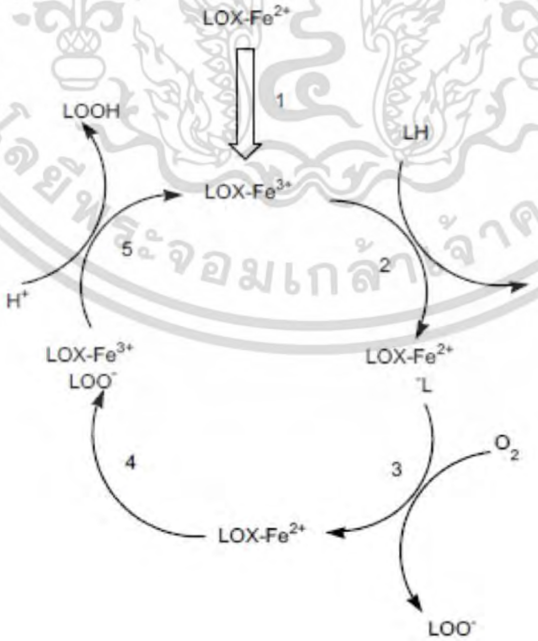
สำหรับการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เอนไซม์จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) โดยภายในโมเลกุลของเอนไซม์ Lipoxygenase นี้มีธาตุเหล็ก (Iron: Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมัน เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่สามารถสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไปได้ (Halliwell *et al*., 1995) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชัน (Peroxidation) ของกรดไขมันจากเอนไซม์ Lipoxygenase นี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการทำให้อาหารเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษา และกระบวนการแปรรูปอาหาร เนื่องจากสามารถทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ตลอดจนมีศักยภาพเป็นสารพิษในผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ (Kubo *et al*., 2013; เจนจิรา และประสงค์, 2554)


Pulmule (ยอดอ่อน)
Epicotyl (แกนยอดอ่อน)
Cotyledon (ใบเลี้ยง)
Seed coat (เปลือกหุ้มเมล็ด)

รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายนอกของเมล็ดถั่วเหลือง

ที่มา: ฟาร์มสุขบนดาดฟ้า กับผักปลอดสารพิษ (2558)

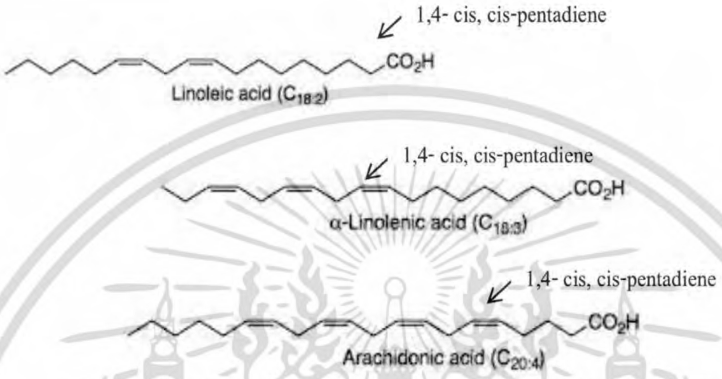

LOX-Fe2+
1
LOOH
LH
LOX-Fe3+
5
2
H+
H+
LOX-Fe3+
LOO·
LOX-Fe2+
·L
O2
4
3
LOX-Fe2+
LOO·

รูปที่ 2.4 การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน

ที่มา: Halliwell *et al.* (1995)

2.2.3 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นถั่ว เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีองค์ประกอบของ 1,4-cis, cis-pentadiene จะมีศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี เช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) และกรดอะแรคิโดนิก (Arachidonic acid) ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้ง 3 ชนิดนี้ มีองค์ประกอบของ 1,4-cis, cis-pentadiene (Chedea and Jisaka, 2011; Baysal and Demirdoven, 2007) ดังรูปที่ 2.5

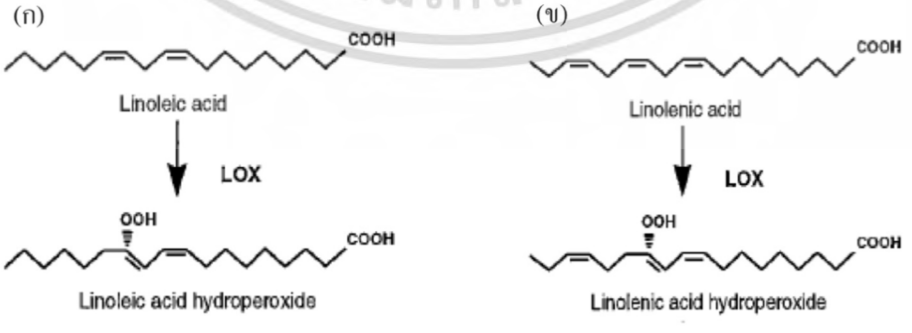

1,4- cis, cis-pentadiene
CO2H
Linoleic acid (C18:2)
1,4- cis, cis-pentadiene
CO2H
α-Linolenic acid (C18:3)
1,4- cis, cis-pentadiene
CO2H
Arachidonic acid (C20:4)

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิกและกรดอะแรคิโดนิก ที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา: Chedea and Jisaka (2011)

2.2.4 ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide)

สำหรับสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก แสดงดังรูปที่ 2.6 จะได้ลิโนเลอิกเอซิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Linoleic acid hydroperoxide) และลิโนเลนิกเอซิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Linolenic acid hydroperoxide) ซึ่งมีหมู่ -OOH เพิ่มเข้ามา (Baysal and Demirdoven, 2007; Bate *et al*., 1998)

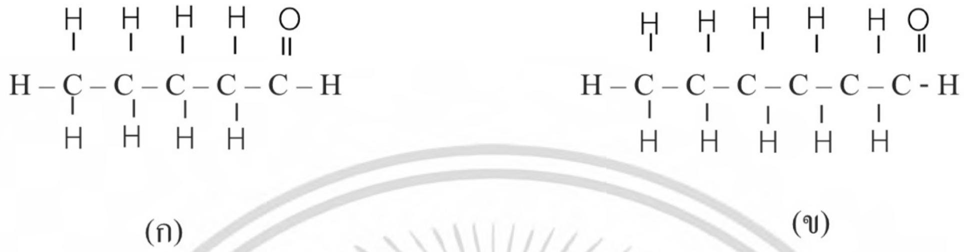

(ก)
COOH
Linoleic acid
LOX
OOH
COOH
Linoleic acid hydroperoxide
(ข)
COOH
Linolenic acid
LOX
OOH
COOH
Linolenic acid hydroperoxide

รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ในกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ก) กรดลิโนเลอิก และ (ข) กรดลิโนเลนิก

ที่มา: Bate *et al*. (1998)

2.2.5 สารสำคัญที่ให้กลิ่นถั่ว (Beany flavor)

เป็นผลได้ของปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว ส่วนมากจะเป็นกลุ่มของสารประกอบแอลดีไฮด์ (Aldehyde) โดยสารสำคัญที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดการมีกลิ่นถั่ว ได้แก่ เพนทานอล (Pentanal) และเฮกซานอล (Hexanal) (สุมาลี, 2554) โดยมีลักษณะโครงสร้าง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7



(ก) (ข)

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ (ก) Pentanal และ (ข) Hexanal

ที่มา: สุมาลี (2554)

2.3 วิธีการกำจัดกลิ่นถั่วจากพืชตระกูลถั่ว

จากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า ในการกำจัดกลิ่นถั่วมีแนวทางดำเนินการด้วยวิธีการใช้ความร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase และการใช้สารเคมีซึ่งจะไปยับยั้งการทำงานของกรดไขมัน ยับยั้งการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์และกำจัดสารประกอบแอลดีไฮด์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่ว อีกทั้งยังมีวิธีการกำจัดไขมันจากแป้ง รวมถึงวิธีการอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การดัดแปรแป้งเป็นโปรตีนเข้มข้น โปรตีนไอโซเลท การใช้จุลินทรีย์และเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น

ค่าตัวชี้วัดสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดกลิ่นถั่ว ได้แก่ ปริมาณไขมัน ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (Lipoxygenase activity) ความเข้มของกลิ่นถั่ว (Beany flavor) รวมถึงองค์ประกอบของสารระเหย (Volatile compounds) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) โครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure) ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase (Peroxidase activity) และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) โดยวิธีการกำจัดกลิ่นถั่วแต่ละวิธีมีรายละเอียดตามที่ระบุไว้ในแต่ละงานวิจัยดังต่อไปนี้

2.3.1 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ด้วยความร้อน

จากงานวิจัยของ Wilkens (1967) พบว่าการบดถั่วเหลืองด้วยความร้อนแห้ง (Drum dry) หรือการใช้น้ำเดือดที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำว่า 80 องศาเซลเซียส ในการแช่เมล็ดถั่วเหลืองเป็นเวลานาน 10 นาที สามารถช่วยกำจัดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลืองได้เป็นอย่างดี เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนถูกทำลาย เกิดการคลายเกลียวของโปรตีน จึงทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากเสียสภาพความร้อน

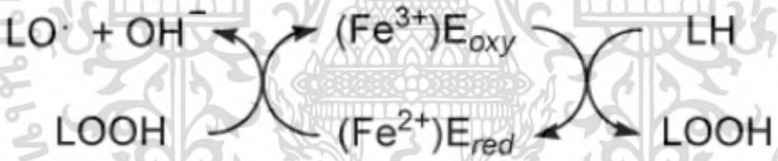
จากงานวิจัยของ Yuan and Chang (2007) ได้ทำการประเมินผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณสารประกอบระเหยที่ทำให้เกิดกลิ่นในถั่วเหลือง เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการฉีดพ่นไอน้ำโดยตรงกับเมล็ด

ถั่วเหลืองจะมีผลต่อกลิ่นถั่วเหลืองที่ปรุงสุกโดยรวมของผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองหรือไม่ ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า สายพันธุ์ถั่วเหลือง วิธีการให้ความร้อนและเวลาในการให้ความร้อน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อโครงสร้างของสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง การให้ความร้อนโดยทำการฉีดพ่นไอน้ำโดยตรงกับเมล็ดถั่วเหลือง มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสารประกอบระเหย 1-octene-3-ol, เฮกซานัล และเฮกซานอลในนมถั่วเหลืองมีปริมาณลดลงได้

2.3.2 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ด้วยสารเคมี

จากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า ในการกำจัดกลิ่นถั่วเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดถั่วสามารถดำเนินการได้ โดยวิธีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ด้วยสารเคมี จะมีความเกี่ยวข้องกับหลักการสำคัญ 4 หลักการดังต่อไปนี้

หลักการที่ 1 คือ ภายในโมเลกุลของเอนไซม์ Lipoxygenase มีธาตุเหล็ก (Iron: Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบอยู่ โดยจะทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมันและเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมัน ทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ที่สามารถสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันได้ต่อไป (Halliwell *et al.*, 1995) เมื่อสารเคมีไปทำปฏิกิริยาจับกับธาตุเหล็กที่บริเวณ Active site ของเอนไซม์ จะเกิดการเปลี่ยนรูปจาก Ferric ion (Fe^{3+}) ของเอนไซม์ เปลี่ยนไปอยู่ในรูป Ferrous ion (Fe^{2+}) ทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่สามารถทำงานได้ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนรูปจาก Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ซึ่งเป็นรูปแบบที่เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่สามารถทำงานได้
ที่มา: Kubo, Ha and Shimizu (2013)

จากงานวิจัยของ Riaz (1999) พบว่าการแช่ถั่วเหลืองในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.25 อย่างน้อย 10 นาที ช่วยทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีกลิ่นรสที่ดีขึ้น อีกทั้งในงานวิจัยของ Ediriweera (1996) ได้รายงานว่าสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลช่วยในการลดกลิ่นถั่ว (Beany flavor) ในน้ำนมถั่วเหลือง เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตจะจับกับเหล็กภายในโมเลกุลโครงสร้างของเอนไซม์ Lipoxygenase ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเติมออกซิเจนให้แก่กรดไขมันได้ ซึ่งเป็นรูปที่เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้

ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งกลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ คือการใช้สารเคมีที่มีสมบัติเป็น Chelating agent ซึ่งมีผลให้เกิดการสร้างพันธะจับกับเหล็ก เกิดปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีเลต (Chelate) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว และสามารถดึงธาตุเหล็กออกจากเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (Maestri *et al.*, 2000) วัตถุเจือปนอาหารในกลุ่ม Chelating agent ที่มีรายงานว่าสามารถช่วยลดกลิ่นถั่วได้ ได้แก่ Ethylene diamine tetra acetic (EDTA), Propyl gallate, Citric acid, Calcium carbonate, Sodium carbonate และ Sodium bicarbonate

หลักการที่ 2 คือการใช้สารต้านออกซิเดชัน เนื่องจากเอนไซม์ Lipoxygenase สามารถกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ได้ ดังนั้นการใช้สารต้านออกซิเดชันไปจับกับอนุมูลอิสระที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเป็นสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ โดยสารต้านออกซิเดชันที่มีสมบัติดังกล่าว ได้แก่ บีเอชเอ (BHA) บีเอชคิว (BHQ) โทโคฟีรอล (Tocopherol) โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) (ขวัญใจ, 2552) โดยสารประกอบ Propyl gallate มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ไขมัน และน้ำมัน จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารการผลิตเนยเทียม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า Propyl gallate สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้มากกว่า บีเอชเอ (BHA) บีเอชที (BHT) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic) ในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง (Vijayvaragiya and Pai, 1991)

หลักการที่ 3 คือการสร้างสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase มีรายงานว่าเอนไซม์ Lipoxygenase ทำงานได้ดีที่ pH ในช่วง 6.5-9.0 ซึ่งเป็นสภาวะค่อนไปทางเป็นกลางและเป็นเบส (Surrey, 1964) ดังนั้นการปรับสภาวะให้อยู่ในสภาวะกรด (pH ต่ำกว่า 6.5) อาจมีผลต่อการเสียสภาพธรรมชาติของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ทิพวรรณ และคณะ, 2555)

หลักการที่ 4 คือการอาศัยกลไกความจำเพาะของหัวและหางของสารยับยั้งเอนไซม์ กล่าวได้ว่าเป็นกลไกเติมสารเคมีที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ โดยอาศัยความจำเพาะต่อเอนไซม์ จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ ตัวอย่างเช่น สารยับยั้ง Resorcinol มีโครงสร้างโมเลกุลส่วนหางที่เรียกว่า Pentadeca(en)yl เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีความจำเพาะต่อเอนไซม์ Lipoxygenase มากจึงสามารถจับกับเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ สารนี้จึงเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase นอกจากนี้ยังพบข้อมูลการทดลองการยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase โดยการเลือกใช้สารยับยั้งที่มีโครงสร้างโมเลกุลส่วนหัวที่มีความจำเพาะต่อเอนไซม์ Lipoxygenase เช่น 5-Pentadeca(en)yl salicylic acids จึงมีผลให้สามารถยับยั้งการเกิดกรดลิโนเลอิกเพอร์ออกซิเดชันของกรดไขมันได้ (Kubo *et al.*, 2013; เจนจิรา และประสงค์, 2554)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ จุฬาลักษณ์ และคณะ (2559) ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญพืชจากเมล็ดถั่วเขียว โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพวัตถุดิบถั่วเขียวที่ใช้ในการผลิตทั้ง 2 ลักษณะ คือถั่วเขียวผ่าซีกที่ไม่ผ่านความร้อน กับถั่วเขียวผ่าซีกที่ผ่านการแช่น้ำและอบด้วยความร้อน จากนั้นวิเคราะห์สมบัติเชิงความหนืดและระดับการเกิดเจลาทิไนเซชันของวัตถุดิบทั้ง 2 แบบ ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่าวัตถุดิบทั้งในรูปแบบของถั่วเขียวที่ผ่านการอบความร้อน และถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการอบความร้อน ระดับการเกิดเจลาทิไนซ์และค่าความหนืดที่ได้จะใกล้เคียงกัน โดยรวมแล้วถั่วเขียวที่ผ่านการอบความร้อนจะให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า ในขณะที่ถั่วเขียวที่ไม่ผ่านการอบความร้อนให้กลิ่นรสถั่วค่อนข้างแรง ดังนั้นวัตถุดิบถั่วเขียวที่ผ่านการอบความร้อนจึงถูกคัดเลือกมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การพัฒนาสูตรสำหรับการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียว

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากถั่วเขียว ทั้งสภาวะที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ และสภาวะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป ได้แก่ การนึ่งให้ความร้อน การแช่เมล็ดถั่วในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย รวมทั้งอัตราส่วนน้ำหนักถั่วเขียวต่อปริมาตรน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสโดยรวมของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อปริมาณสารอาหารสำคัญต่างๆ จึงต้องทำการศึกษาในเบื้องต้นเพื่อเก็บข้อมูลไว้ใช้สำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองทำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวจำนวน 2 สูตร ได้แก่ สูตรธรรมชาติ และสูตรนมโอ๊ต โดยในแต่ละสูตรกำหนดให้สภาวะที่ใช้การทดลองมีจำนวน 6 สภาวะ ได้แก่ สภาวะควบคุม สภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต สภาวะการใช้ความร้อน สภาวะการใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย และสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย หลังจากทำการทดลองจนได้ผลิตภัณฑ์ครบทั้ง 12 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพ โดยทำการทดสอบคุณภาพจากการประเมินทางประสาทสัมผัส วัดค่าสี วัดความหนืด วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ตามลำดับ

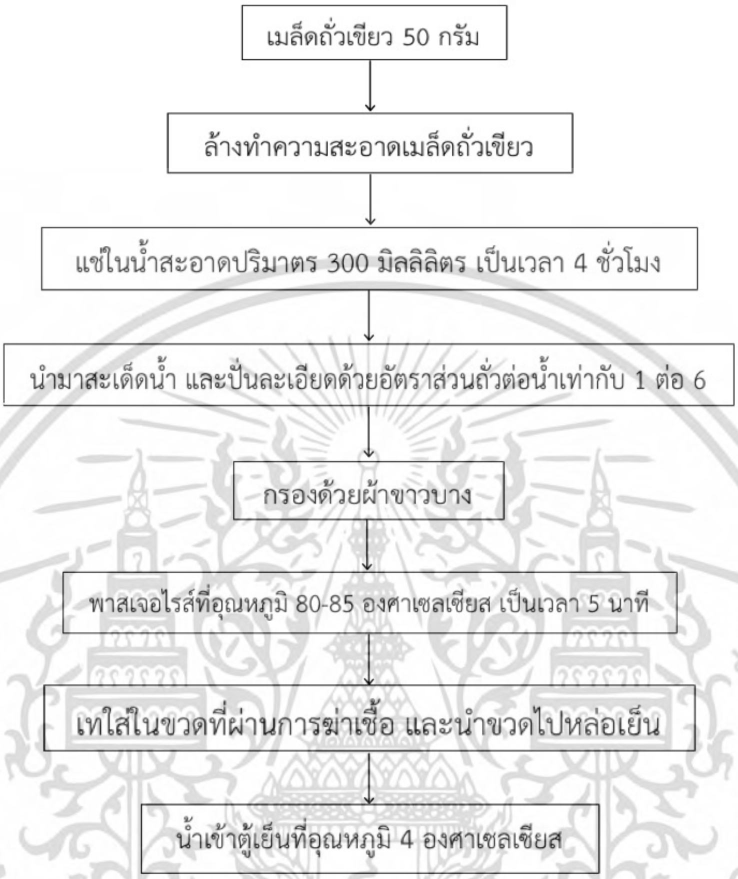
3.1.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์

ถั่วเขียวผิวมัน (*Vigna radiata* var. *aureous*) ซึ่งเป็นถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการเลาะเปลือกหรือผ่าซีกตราไร่ทิพย์ จากบริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด เบคกิ้งโซดาหรือโซเดียมไบคาร์บอเนต (วัตถุเจือปนอาหาร) ตราแม็กกาแรต จากบริษัท เจอาร์ เอฟ แอนด์ บี จำกัด น้ำนมข้าวโอ๊ตสูตรออริจินอล ตรากู๊ดเมท จากบริษัท ชบาบางกอก จำกัด และใบเตยสด จากร้านค้าผักสดพรพิมลเจริญทรัพย์สาขา 2 (เขตดินแดง กรุงเทพฯ)

3.1.2 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียวในสภาวะควบคุม

การผลิตเครื่องดื่มถั่วเขียวในสภาวะควบคุม วิธีการทดลองที่ใช้ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของสุธิดา และคณะ (2564) เริ่มจากการล้างเมล็ดถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการเลาะเปลือกหรือผ่าซีกจำนวน 50 กรัม ด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเขียวมาสะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปปั่นละเอียดให้ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 (ถั่วเขียว 50 กรัมต่อน้ำปริมาตร 300 มิลลิลิตร) ต่อมานำส่วนของน้ำที่ปั่นได้มาทำการกรองแยกเอาส่วนกากออกจากส่วนของน้ำถั่วเขียวก่อนนำไปต้มให้เดือด โดยการต้มจะต้องทำการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในระดับพาสเจอไรส์ประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 นาที พร้อมทั้งคนตลอดเวลา ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจมีการเติม

น้ำตาลทรายหรือวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆ ลงไปเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงรสชาติ ในการบรรจุทำการเทเครื่องดื่มใส่ลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วตอนอุ่นๆ และนำขวดแช่น้ำเย็นเพื่อลดระดับอุณหภูมิ ก่อนนำไปเก็บเข้าตู้เย็นที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4-10 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1


เมล็ดถั่วเขียว 50 กรัม
ล้างทำความสะอาดเมล็ดถั่วเขียว
แช่ในน้ำสะอาดปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
นำมาสะเด็ดน้ำ และปั่นละเอียดด้วยอัตราส่วนถั่วต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 6
กรองด้วยผ้าขาวบาง
พาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
เทใส่ในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ และนำขวดไปหล่อเย็น
นำเข้าตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียวแบบดั้งเดิม

3.1.3 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเขียวในแต่ละสภาวะทดลอง

ซึ่งจะมีวิธีการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียวที่แตกต่างกันจำนวน 5 วิธี ได้แก่

(ก) วิธีที่ 1 การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต

วิธีการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Alhendi (2016) และ Odu *et al*. (2012) โดยเริ่มจากการแช่เมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วจำนวน 50 กรัม แช่ลงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบคกิ้งโซดา ($NaHCO_3$) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง (การเตรียมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เริ่มจากการชั่งผงเบคกิ้งโซดาให้มีน้ำหนัก 1.5 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง จากนั้นนำไปทำละลายกับน้ำปริมาตร 300 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5) เมื่อทำการแช่ถั่วครบเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวมาสะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปปั่นละเอียดให้ผสมกับน้ำ

(ข) วิธีที่ 2 การใช้น้ำและความร้อน

วิธีการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียวด้วยน้ำและความร้อน ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Alhendi (2016) เริ่มจากการล้างเมล็ดถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการเลาะเปลือกหรือผ่าซีกจำนวน 50 กรัม ด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก ก่อนนำไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดถั่วเขียวดูดซับน้ำได้อย่างเต็มที่ เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเขียวมาสะเด็ดน้ำแล้วห่อด้วยผ้าขาวบาง ก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาตั้งทิ้งไว้รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

(ค) วิธีที่ 3 การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต

วิธีการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อน ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Alhendi (2016) และ Odu *et al*. (2012) โดยเริ่มจากการแช่เมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วจำนวน 50 กรัม แช่ลงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง (อัตราส่วนน้ำหนักผงเบคกิ้งโซดาต่อน้ำหนักถั่วเขียวที่ใช้เท่ากับ 1 ต่อ 33.5) จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวมาสะเด็ดน้ำแล้วห่อด้วยผ้าขาวบาง ก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาตั้งทิ้งไว้รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

(ง) วิธีที่ 4 การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย

วิธีการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียวโดยการแช่เมล็ดถั่วในน้ำ ก่อนนำไปนึ่งความร้อนรวมกับใบเตย ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Alhendi (2016) เริ่มจากการล้างเมล็ดถั่วเขียวจำนวน 50 กรัม ด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก ก่อนนำไปแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเขียวมาสะเด็ดน้ำ จากนั้นนำเมล็ดถั่วมาคลุกผสมกับใบเตยสดที่ตัดแบ่งไว้จำนวน 20 กรัม (ปริมาณใบเตยสดที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 40 ของน้ำหนักถั่วเขียว) แล้วห่อด้วยผ้าขาวบาง ก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนปริมาตร 2 ลิตร ที่มีการเติมใบเตยสดจำนวน 20 กรัม ลงในน้ำที่ใช้สำหรับการนึ่ง โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที เมื่อครบเวลาให้นำเมล็ดถั่วเขียวออกมาตั้งทิ้งไว้รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการเตรียมใบเตยสดที่ใช้ในกระบวนการนึ่ง เริ่มจากการล้างใบเตยสดด้วยน้ำสะอาด (ทำการตัดแบ่งเอาแต่ส่วนของใบที่มีสีเขียวสด) ต่อมาให้นำไปเตยสดมาตัดแบ่งเป็นชิ้นเล็กๆ ให้มีขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ให้ได้น้ำหนักใบเตยถ้วยละ 20 กรัม (คิดเป็นร้อยละ 40 ของน้ำหนักถั่วเขียวที่ใช้) จำนวน 2 ถ้วย (ใบเตยสดถ้วยแรกนำมาเทลงในส่วนของน้ำที่ใช้สำหรับต้มเพื่อนึ่งถั่ว และอีกถ้วยหนึ่งให้นำมาคลุกผสมรวมกับถั่วก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนพร้อมกัน)

(จ) วิธีที่ 5 การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย

วิธีการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Alhendi (2016) และ Odu *et al*. (2012) โดยเริ่มจากการแช่เมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วจำนวน 50 กรัม แช่ลงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวมาสะเด็ดน้ำแล้วคลุกเมล็ดถั่วให้ผสมเข้ากับใบเตยสดที่ตัดแบ่งไว้จำนวน 20 กรัม (ปริมาณใบเตยสดคิดเป็นร้อยละ 40 ของน้ำหนักถั่วเขียวที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ) ห่อด้วยผ้าขาวบาง ก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนด้วยน้ำร้อน (ที่มีการเติมใบเตยสดน้ำหนัก 20 กรัม ลงในน้ำสะอาดที่ใช้สำหรับนึ่งเมล็ดถั่ว) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาให้นำเมล็ดถั่วเขียวออกมาตั้งทิ้งไว้รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 5 วิธี ไปปั่นละเอียดให้ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 (ถั่วเขียว 50 กรัมต่อน้ำปริมาตร 300 มิลลิลิตร) ก่อนนำมาทำการกรองแยกกากออกจากส่วนของน้ำถั่วเขียวแล้วนำไปต้มให้ความร้อน โดยทำการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในระดับพาสเจอไรส์ประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 นาที พร้อมทั้งคนตลอดเวลา ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถเติมน้ำตาลทรายหรือวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆ ลงไปเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงรสชาติ กระบวนการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ช่วยยับยั้งการทำงานของทริปซินอินฮิบิเตอร์ (Trypsin inhibitor) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน ลดปริมาณกรดไฟติก (Phytic acid) ที่เป็นสารยับยั้งการดูดซึมแร่ธาตุ เช่น สังกะสี เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียม (Lima *et al*., 2014; Pardeshi *et al*., 2014) สำหรับการบรรจุใช้การบรรจุร้อน (hot filling) โดยเทตัวอย่างเครื่องดื่มใส่ลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วตอนอุ่นๆ จากนั้นนำขวดไปแช่น้ำเย็นเพื่อลดระดับอุณหภูมิ ก่อนนำไปเก็บเข้าตู้เย็นที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4-10 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

3.1.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบโดยใช้สภาวะทดลองทั้ง 4 สภาวะ ได้แก่ สภาวะการใช้ความร้อน สภาวะการใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย และสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย ทั้งสูตรธรรมชาติและสูตรนมโอ๊ต ถูกนำมาใช้ทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้กลุ่มผู้ประเมินที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน เพื่อประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) โดยคะแนนเท่ากับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และคะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง ความไม่ชอบมากที่สุด ทำการเสิร์ฟตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวที่มีอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ให้กับผู้ประเมินก่อนเริ่มทำการทดสอบ

3.1.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียว

(ก) การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์

ทำการวัดค่าสีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสี HunterLab รุ่น MiniScan EZ 45/0 (LAV) รายงานผลในระบบ CIE L^* a^* b^* ทำการวัดค่าสีเป็นจำนวน 3 ซ้ำ จดบันทึกค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่อ่านได้จากเครื่องวิเคราะห์ จากนั้นนำผลการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่าความเข้มของสี (C^*) และเฉดสี (Hue angle, $h°$) ที่เป็นค่าสีในระบบ CIE L^* C^* h ต่อไป

- ค่าสี L^* บ่งบอกถึงค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว)
- ค่าสี a^* บ่งบอกถึงค่าความเป็นสีแดง a^* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีแดง ถ้า a^* มีค่าลบให้ค่าสีทางสีเขียว
- ค่าสี b^* บ่งบอกถึงค่าความเป็นสีเหลือง b^* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีเหลือง b^* มีค่าลบให้ค่าทางสีน้ำเงิน
- ค่าสี C^* (Chroma) บ่งบอกถึงค่าความเข้มของสี เป็นระยะทางจากแกนถึงตำแหน่งฉายของสี

  คำนวณได้จาก $C^* = \sqrt{a^{*^2} + b^{*^2}}$
- ค่าสี h (Hue angle, $h°$) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงมุมสีหรือเฉดสี วัดโดยเทียบจากแกน a^*

  คำนวณได้จาก $h^o = arctan\frac{b^*}{a^*}$

(ข) การวัดความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์

ทำการวัดความหนืดของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียว โดยเทตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิประมาณ 4±2 องศาเซลเซียส ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาวัดค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) รุ่น Model DV1 MLVT “Brookfield” ใช้หัววัดเบอร์ 62 ความเร็วรอบในการหมุนเท่ากับ 100 รอบต่อนาที และอ่านค่าหลังมอเตอร์หมุน 60 วินาที ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ จดบันทึกค่าที่ได้แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วิธีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และรายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ก.2)

(ค) วัดการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์

ทำการวัดความสูงของตะกอนที่พบในเครื่องดื่มระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ไม้บรรทัดวัดความสูงของตะกอนที่พบในเครื่องดื่มถั่วเขียวแต่ละสูตร หน่วยที่ใช้ในการวัดเป็นเซนติเมตร (cm)

3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียว

ทำการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ในแต่ละสูตร จำนวน 2 สภาวะทดลองที่ดีที่สุด มารวมกับสภาวะควบคุม เกณฑ์ในการคัดเลือกพิจารณาจากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส และผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทั้ง 2 สูตร สูตรละ 3 สภาวะทดลอง มาทำการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยการวัดค่าสี ความหนืด ปริมาณโปรตีน กิจกรรมของเอนไซม์ LOX วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เพื่อหาปริมาณความชื้น

ของแข็ง โปรตีน เถ้า ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิก และวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ตามลำดับ

3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ดัดแปลงวิธีจาก ICH Guideline (2017)

นำตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ก่อนเก็บตัวอย่างส่วนใสนำมาวิเคราะห์ โดยทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1: 14 (ตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ต่อน้ำกลั่น 280 ไมโครลิตร) ปิเปตตัวอย่างส่วนใสที่ทำการเจือจางแล้วปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซนติฟิวก์ จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu Reagent ความเข้มข้นร้อยละ 20 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.75 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้สารละลายเข้ากัน และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 3.75 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้สารละลายเข้ากันอีกครั้งและตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 40 นาที ก่อนนำไปวัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu Design รุ่น UV-1900i จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยเทียบจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ในช่วงความเข้มข้นจาก 0 ถึง 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข.3)

$$\text{mg GAE/ml} \quad = \quad \frac{\left(\frac{OD765-c}{m}\right)}{1000} * \ dilution \qquad (1)$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก y=mx+c

ค่า m คือค่าความชันกราฟมาตรฐานฟีนอลิกของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford ดัดแปลงจาก Bradford (1976)

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในตัวอย่างมีวิธีการวิเคราะห์ โดยนำตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1: 9 (ปริมาตรตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำกลั่นปริมาตร 9 มิลลิลิตร) ทำการปิเปตส่วนใสที่ทำการเจือจางแล้วปริมาตร 25 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนติฟิวก์ จากนั้นเติมสารละลาย Bradford reagent ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้สารละลายเข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง เทียบจากกราฟมาตรฐานปริมาณโปรตีนของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA) ในช่วงความเข้มข้นจาก 0 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข.1)

$$\text{mg BSA/ml} \quad = \quad \left(\frac{OD595-c}{m}\right) * \ dilution \qquad (2)$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีน (BSA) y=mx+c

ค่า m คือค่าความชันของกราฟมาตรฐานโปรตีนของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA)

3.2.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Gokmen *et al*. (2004) และงานวิจัยของ Ding *et al*. (2006) วิธีการสกัดเอนไซม์ (รายละเอียดในภาคผนวก ข.2)

สารเคมี

1) บัฟเฟอร์สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase

บัฟเฟอร์ที่ใช้คือ 0.1 โมลาร์ Phosphate buffer pH 6.0 เตรียมโดยชั่ง Sodium dihydrogen orthophosphate จำนวน 14.7 กรัม ผสมกับ di-Sodium hydrogen orthophosphate จำนวน 0.85 กรัม ทำละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 800 มิลลิลิตร คนผสมให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นนำสารละลายไปปรับให้มีค่า pH เป็น 6.0 ก่อนนำมาปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

2) สารละลายสับสเตรทสำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase

เตรียมโดยปิเปตสารละลาย Linoleic acid ปริมาตร 78.6 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย Tween 20 ปริมาตร 78.6 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร คนผสมให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นเติมสารละลาย 1 N Sodium hydroxide ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร คนผสมให้เข้ากันอีกครั้งจะได้สารละลายใส ต่อมาเติมบัฟเฟอร์สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ทำการปรับให้สารละลายมีค่า pH เป็น 6.0 แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรด้วยบัฟเฟอร์สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

วิธีวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase

ใส่สารละลายสับสเตรทสำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในลงในคิวเวตต์ควอทซ์ (Quartz Cuvette) จากนั้นเติมตัวอย่างส่วนใส (จากการปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที) ที่ทำการเจือจางเป็น 10 เท่า ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงในคิวเวตต์ เขย่าเบาๆ ให้สารละลายเข้ากันแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร อ่านและจดบันทึกค่าทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที เทียบผลที่ได้จากการอ่านค่าผลของ Blank โดย Blank คือ สารละลายสับสเตรทสำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 10 ไมโครลิตร

3.2.4 การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (DPPH/ABTS)

(ก) การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2 diphenyl-picrylhydrazyl (DPPH)

วิธีการวิเคราะห์ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Yingngam *et al*. (2014) โดยนำตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 10 นาที ก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยปิเปตส่วนใสของตัวอย่างที่ปั่นเหวี่ยงได้ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนติฟิวก์ จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้สารละลายเข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 25 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Micro-centrifuge ความเร็ว 14 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลานำตัวอย่างส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าการดูดแสงที่ความยาว

คลื่น 517 นาโนเมตร จากนั้นนำไปคำนวณหาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ เทียบกับกราฟมาตรฐานการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ ในช่วงความเข้มข้นจาก 0 ถึง 120 มิลลิกรัมต่อลิตร (วิธีการเตรียมสารละลายที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์รายละเอียดดังที่แสดงในภาคผนวก ข.4)

$$\text{mg TE/ml} = \frac{\left(\frac{OD517-c}{m}\right)}{1000} * dilution \tag{3}$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ y=mx+c
ค่า m คือค่าความชันของกราฟมาตรฐานการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารละลายโทรลอกซ์

(ข) การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS

วิธีการวิเคราะห์ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Oonsiwilai *et al*. (2011) โดยนำตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำมาทำการวิเคราะห์ โดยนำตัวอย่างส่วนใสที่ปั่นเหวี่ยงได้มาทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1: 49 (ปริมาตรตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร ต่อน้ำกลั่นปริมาตร 9.8 มิลลิลิตร) การวิเคราะห์ให้ปิเปตส่วนใสที่ทำการเจือจาง 50 เท่า ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนติฟิวก์ จากนั้นเติมสารละลาย $ABTS^+$ cation radical ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้สารละลายเข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Micro-centrifuge ความเร็ว 14 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลานำตัวอย่างส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร จากนั้นนำไปคำนวณหาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ในช่วงความเข้มข้นจาก 0 ถึง 120 มิลลิกรัมต่อลิตร (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข.5)

$$\text{mg TE/ml} = \frac{\left(\frac{OD734-c}{m}\right)}{1000} * dilution \tag{4}$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ y=mx+c
ค่า m คือค่าความชันของกราฟมาตรฐานการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารละลายโทรลอกซ์

3.2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis)

ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียว โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ของแข็ง เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีวิเคราะห์ของ AOAC 991.20, 989.05 และ 945.46 (AOAC, 2000) (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข.6 ถึง ข.9) การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) มีวิธีการโดยชั่งตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมซึ่งผ่านการอบแห้งและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว จากนั้นนำไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

18 ชั่วโมง ก่อนนำมาพักให้เย็นในโถดูดความชื้น จนอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิห้อง จดบันทึกการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณความชื้น และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ดังสมการที่ 5-7 ตามลำดับ

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%wb) = (ปริมาณของแข็งที่เหลือ/น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น) x 100 (5)

ปริมาณความชื้น (%wb) = 100 - ปริมาณของแข็งทั้งหมด (6)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%wb) = 100 - ปริมาณความชื้น - ปริมาณโปรตีน - ไขมัน - เถ้า (7)

3.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 เดือน โดยทำการเก็บตัวอย่างในทุก 10 วัน (เก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0, 10, 20 และ 30 ตามลำดับ) เก็บตัวอย่างนำมาทำการวัดค่าสี วัดความหนืด วัดการเกิดตะกอน วิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ LOX วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิก ปริมาณโปรตีน และทำการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ตามลำดับ

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) สำหรับการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส และวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) สำหรับการวิเคราะห์ค่าสี ความหนืด การเกิดตะกอน กิจกรรมเอนไซม์ LOX ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณโปรตีน และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window® Version 29 ในการวิเคราะห์

3.5 กรอบงานวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียว

1. พัฒนาสูตร

- ประเมินหาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำของเมล็ดถั่วเขียว
- วิเคราะห์หาอัตราส่วนน้ำหนักถั่วเขียวต่อปริมาตรน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างให้มีความเหมาะสม
- ปรับปริมาณผงชาเขียวและน้ำตาลทรายแดงให้เหมาะสมกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในแต่ละสูตร
- เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพด้านรสชาติในผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรธรรมชาติกับสูตรนมโอ๊ต
- ทดสอบทางประสาทสัมผัส จำนวน 30 คน สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร

  วิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์โดยวัดค่าสี ความหนืด ปริมาณโปรตีน และกิจกรรมเอนไซม์ LOX

2. วิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

- ทำการคัดเลือกสูตรผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาจากผลทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เบื้องต้น ใช้สำหรับทำการเตรียมตัวอย่างให้มีคุณภาพดีที่สุดไว้ใช้ในวิเคราะห์คุณภาพ โดยทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์มาอย่างละ 2 สภาวะที่ดีที่สุด รวมกับสภาวะควบคุมของแต่ละสูตร สูตรละ 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะควบคุม สภาวะที่ดีที่สุดอันดับ 1 และสภาวะที่ดีที่สุดอันดับ 2
- นำผลิตภัณฑ์มาทำการวิเคราะห์สี ความหนืด กิจกรรมเอนไซม์ LOX ปริมาณฟีนอลิก และปริมาณโปรตีน
- วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis)
- วิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS

3. การเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา

- ทำการทดสอบทุก 10 วัน (เก็บตัวอย่างวันที่ 0, 10, 20 และ 30)
- วิเคราะห์สี ความหนืด กิจกรรมเอนไซม์ LOX ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณโปรตีน
- วิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS
- วัดการเกิดตกตะกอนในผลิตภัณฑ์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากเมล็ดถั่วเขียว

จากการศึกษาและการทดลองเบื้องต้น เพื่อวิเคราะห์หาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำของเมล็ดถั่วเขียว วิเคราะห์หาอัตราส่วนน้ำหนักถั่วเขียวให้สอดคล้องกับปริมาตรน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทรายแดง และปริมาณผงชาเขียวที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพด้านสีให้มีปริมาณที่เหมาะสม ผลที่ได้พบว่าระยะเวลาที่ใช้สำหรับการแช่เมล็ดถั่วเขียวในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำสะอาดปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เป็นช่วงเวลาที่เมล็ดถั่วสามารถดูดซับน้ำได้อย่างเหมาะสมที่สุด โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของเมล็ดถั่วเขียวที่ได้จะไม่แข็งหรือนิ่มจนเกินไป อัตราส่วนน้ำหนักถั่วเขียว (กรัม) ต่อปริมาตรน้ำ (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มที่เหมาะสมคือ น้ำหนักถั่วเขียว 1 ส่วน (1 กรัม) ต่อปริมาตรน้ำ 6 ส่วน (6 มิลลิลิตร) คิดเป็นร้อยละ 16.67 ของปริมาตรน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ สำหรับตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตจะใช้น้ำหนักถั่วเขียว 1 ส่วน ต่อปริมาตรน้ำผสมกับนมโอ๊ต 8 ส่วน (สัดส่วนของปริมาตรส่วนผสมที่เป็นของเหลวจะใช้น้ำ 4 ส่วน ผสมกับนมข้าวโอ๊ต 4 ส่วน) อัตราส่วนของน้ำหนักถั่วเขียวที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 12.50 ของปริมาตรน้ำผสมกับนมข้าวโอ๊ตที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มก่อนนำไปต้มพาสเจอไรส์เพื่อฆ่าเชื้อ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทรายแดง และปริมาณผงชาเขียวที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ พบว่าปริมาณน้ำตาลทรายแดงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีที่สุด คือการใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน (1 กรัม) ต่อปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ได้หลังจากการกรองแยกส่วนของกากออกจากน้ำ 15 ส่วน (15 มิลลิลิตร) โดยคิดเป็นร้อยละ 6.67 ของปริมาตรน้ำที่ได้จากการกรอง ในส่วนของปริมาณผงชาเขียวที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสูตรธรรมชาตินี้ จะใช้น้ำหนักผงชาเขียว 1 ส่วน (1 กรัม) ต่อปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ได้หลังจากการกรองแยกส่วนของกากออกจากน้ำ 750 ส่วน (750 มิลลิลิตร) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.13 ของปริมาตรน้ำที่ได้จากการกรอง เพื่อให้สีของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถดึงดูดความสนใจผู้บริโภคได้มากยิ่งขึ้น

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทรายแดง และปริมาณผงชาเขียวที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต พบว่าปริมาณน้ำตาลทรายแดงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีที่สุด คือการใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน (1 กรัม) ต่อปริมาตรตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมที่ได้หลังจากการกรองแยกส่วนของกากออกจากน้ำ 23 ส่วน (23 มิลลิลิตร) โดยคิดเป็นร้อยละ 4.35 ของปริมาตรตัวอย่างที่ได้จากการกรอง ในส่วนของปริมาณผงชาเขียวที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตนี้ จะใช้น้ำหนักผงชาเขียว 1 ส่วน (1 กรัม) ต่อปริมาตรตัวอย่างที่ได้หลังจากการกรองแยกส่วนของกากออกจากน้ำ 383 ส่วน (383 มิลลิลิตร) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.26 ของปริมาตรตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตที่ได้หลังจากทำการกรอง

4.1.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ

เริ่มจากการล้างเมล็ดถั่วเขียวจำนวน 125 กรัม ด้วยน้ำสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวไปแช่ในน้ำสะอาดปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเขียวมาล้างทำความสะอาด และทำให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปปั่นละเอียด โดยปั่นถั่วเขียวจำนวน 125 กรัม กับน้ำสะอาดปริมาตร 750 มิลลิลิตร (อัตราส่วนน้ำหนักถั่วเขียวที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 16.67 ของปริมาตรน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง) ต่อมานำส่วนของน้ำที่ปั่นได้มาทำการกรองแยกเอาส่วนกากออกจากส่วนของน้ำถั่วเขียวด้วยผ้าขาวบางจำนวน 3 ชั้น โดยปริมาตรน้ำที่ได้หลังจากทำการกรองเท่ากับ 700 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มให้เดือด โดยจะต้องทำการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในระดับพาสเจอไรส์ประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พร้อมทั้งคนตลอดเวลา ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการเติมน้ำตาลทรายแดงจำนวน 46.6 กรัม (ปริมาณคิดเป็นร้อยละ 6.67 ของปริมาตรน้ำที่ได้จากการกรอง) และผงชาเขียวจำนวน 0.93 กรัม (คิดเป็นร้อยละ 0.13 ของปริมาตรน้ำที่ได้จากการกรอง) เพื่อปรับปรุงรสชาติและสีของผลิตภัณฑ์ หลังจากต้มพาสเจอไรส์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาตรเท่ากับ 620 มิลลิลิตร สำหรับการบรรจุใช้การบรรจุร้อน (hot filling) โดยเทตัวอย่างเครื่องดื่มใส่ลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วตอนอุ่นๆ จากนั้นนำขวดไปแช่น้ำเย็นเพื่อลดระดับอุณหภูมิ ก่อนนำไปเก็บเข้าตู้เย็นที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4-10 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ปริมาณส่วนผสมที่ใช้การเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 ส่วนผสมที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำสะอาด	750.00	81.30
ถั่วเขียว	125.00	13.55
น้ำตาลทรายแดง	46.60	5.05
ผงชาเขียว	0.93	0.10

หมายเหตุ : การเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวในแต่ละสูตรปริมาณน้ำตาลทรายแดงและปริมาณผงชาเขียวที่ใช้จะไม่เท่ากัน เนื่องจากมีการใช้อัตราส่วนของน้ำหนักถั่วเขียวต่อปริมาตรส่วนผสมที่เป็นของเหลวที่ไม่เท่ากัน โดยการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติปริมาณน้ำตาลทรายแดงที่ใช้จะคิดเป็นร้อยละ 6.67 ของปริมาตรน้ำถั่วเขียวที่ได้จากการกรอง และปริมาณผงชาเขียวที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 0.13 ของปริมาตรน้ำที่ได้จากการกรอง

4.1.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต

เริ่มจากการล้างเมล็ดถั่วเขียวจำนวน 100 กรัม ด้วยน้ำสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวไปแช่ในน้ำสะอาดปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเขียวมาล้างทำความสะอาด และทำให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปปั่นละเอียดให้ผสมกับน้ำและนมข้าวโอ๊ต โดยปั่นถั่วเขียวจำนวน 100 กรัม กับน้ำสะอาดปริมาตร 400 มิลลิลิตร และนมข้าวโอ๊ตปริมาตร 400 มิลลิลิตร (อัตราส่วน

น้ำหนักถั่วเขียวที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 12.50 ของปริมาตรน้ำรวมกับนมข้าวโอ๊ตที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง) ต่อมานำส่วนน้ำที่ปั่นได้มาทำการกรองแยกเอาส่วนกากออกจากส่วนของน้ำถั่วเขียวด้วยผ้าขาวบางจำนวน 3 ชั้น โดยปริมาตรน้ำที่ได้หลังจากทำการกรองจะเท่ากับ 760 มิลลิลิตร จากนั้นนำส่วนของน้ำถั่วเขียวที่กรองได้ไปต้มให้เดือด โดยจะต้องทำการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในระดับพาสเจอไรส์ประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พร้อมทั้งคนตลอดเวลา ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการเติมน้ำตาลทรายแดงจำนวน 33.00 กรัม (คิดเป็นร้อยละ 4.35 ของปริมาตรตัวอย่างที่ได้จากการกรอง) และผงชาเขียวจำนวน 1.98 กรัม (คิดเป็นร้อยละ 0.26 ของปริมาตรตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตที่ได้หลังจากที่ทำการกรอง) เพื่อปรับปรุงรสชาติและสีของผลิตภัณฑ์ หลังจากต้มพาสเจอไรส์ผลิตภัณฑ์สูตรนมโอ๊ตที่ได้จะมีปริมาตรเท่ากับ 650 มิลลิลิตร สำหรับการบรรจุใช้การบรรจุร้อน (hot filling) โดยเทตัวอย่างเครื่องดื่มใส่ลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วตอนอุ่นๆ จากนั้นนำขวดไปแช่น้ำเย็นเพื่อลดระดับอุณหภูมิ ก่อนนำไปเก็บเข้าตู้เย็นที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4-10 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ปริมาณส่วนผสมที่ใช้การเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตแสดงดังตารางที่ 4.1.2

ตารางที่ 4.1.2 ส่วนผสมที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำสะอาด	400.00	42.78
น้ำนมข้าวโอ๊ต	400.00	42.78
ถั่วเขียว	100.00	10.70
น้ำตาลทรายแดง	33.00	3.53
ผงชาเขียว	1.98	0.21

หมายเหตุ : การเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวในแต่ละสูตรปริมาณน้ำตาลทรายแดงและปริมาณผงชาเขียวที่ใช้จะไม่เท่ากัน เนื่องจากมีการใช้อัตราส่วนของน้ำหนักถั่วเขียวต่อปริมาตรส่วนผสมที่เป็นของเหลวที่ไม่เท่ากัน โดยการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตปริมาณน้ำตาลทรายแดงที่ใช้จะคิดเป็นร้อยละ 4.35 ของปริมาตรตัวอย่างที่ได้จากการกรอง และปริมาณผงชาเขียวที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 0.26 ของปริมาตรตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตที่ได้หลังจากนำไปกรอง

4.2 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มจากถั่วเขียว

การทดลองนี้ได้ศึกษาผลของวิธีการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งวิธีการเตรียมวัตถุดิบแบ่งออกเป็น 6 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 (สภาวะควบคุม) ทดลองโดยการนำเมล็ดถั่วเขียวแช่ในน้ำสะอาดปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำมาล้างทำความสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปปั่นละเอียดในขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์

วิธีที่ 2 (สภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ทำการทดลองโดยนำเมล็ดถั่วเขียวแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบคกิ้งโซดา ($NaHCO_3$) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (สารละลายเตรียมได้จากการชั่งผงเบคกิ้งโซดาจำนวน 1.50 กรัม ละลายในน้ำสะอาด

ปริมาตร 300 มิลลิลิตร) เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเขียวมาล้างทำความสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปปั่นละเอียดเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์

วิธีที่ 3 (สภาวะการใช้ความร้อน) ทำการทดลองโดยการนำเมล็ดถั่วเขียวแช่ในน้ำสะอาดปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำมาล้างทำความสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้น้ำสะอาดปริมาตร 2 ลิตร

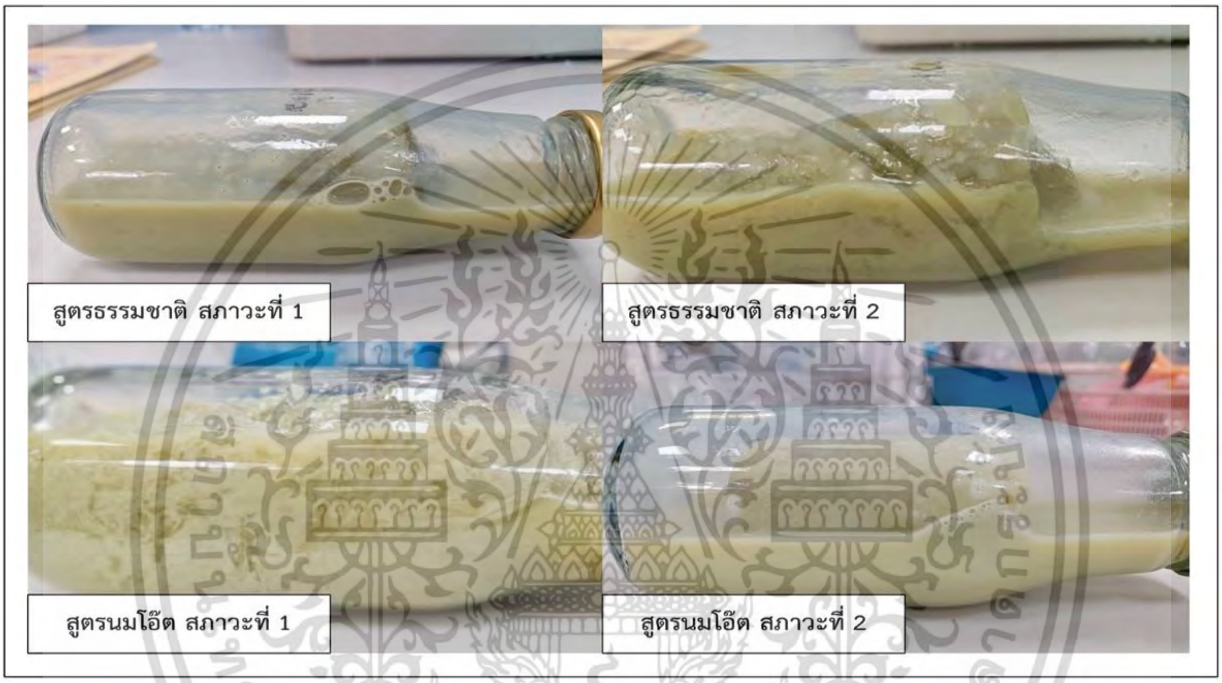
วิธีที่ 4 (สภาวะการใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ทำการทดลองโดยนำเมล็ดถั่วเขียวแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเขียวมาล้างทำความสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำไปนึ่งให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนปริมาตร 2 ลิตร ที่อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

วิธีที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ทำการทดลองโดยนำเมล็ดถั่วเขียวแช่ในน้ำสะอาดปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วมาล้างทำความสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวไปคลุกผสมกับใบเตยสด ห่อด้วยผ้าขาวบางก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ปริมาณใบเตยสดที่ใช้สำหรับนึ่งเมล็ดถั่วเขียวคิดเป็นร้อยละ 40 ของน้ำหนักถั่วเขียวที่ใช้ โดยในขั้นตอนการนึ่งถั่วเขียวให้เติมใบเตยสดปริมาณร้อยละ 40 ของน้ำหนักถั่วเขียว ลงในน้ำสะอาดปริมาตร 2 ลิตร ที่ใช้สำหรับการนึ่งให้ความร้อนด้วย

วิธีที่ 6 (สภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ทำการทดลองโดยนำเมล็ดถั่วเขียวแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วมาล้างทำความสะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำเมล็ดถั่วเขียวไปคลุกผสมกับใบเตยสด ห่อด้วยผ้าขาวบางและนำไปนึ่งให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนปริมาตร 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปปั่นละเอียดในขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ทั้งสูตรธรรมชาติและสูตรนมโอ๊ต สูตรละ 6 สภาวะทดลอง ได้แก่ สภาวะที่ 1 (ควบคุม) สภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) สภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) สภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) และสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) จากนั้นนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุกสภาวะทดลองมาวัดค่าสี ความหนืด วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน และกิจกรรมเอนไซม์ LOX นอกจากนี้ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเพิ่มอีก 4 สภาวะทดลอง ได้แก่ ตัวอย่างในสภาวะที่ 3, 4, 5 และ 6 ไว้ใช้สำหรับการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (ความชอบ) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมไว้ใช้ในการจัดเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในการทดลองขั้นต่อไป

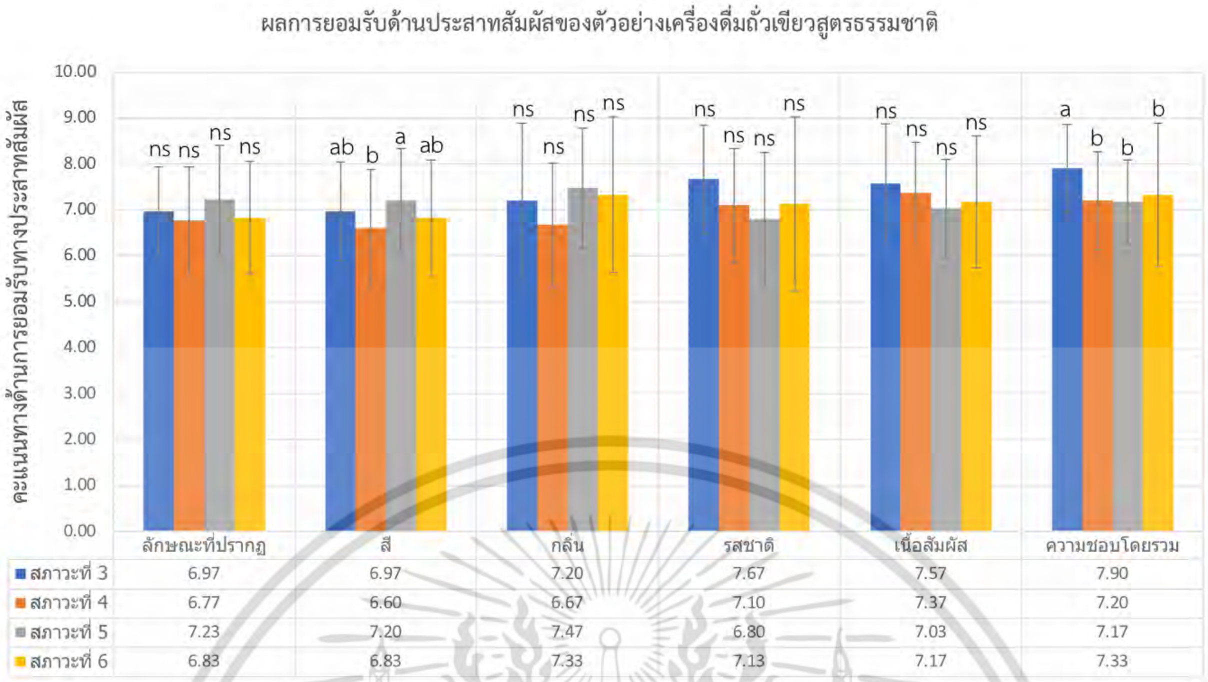
ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เบื้องต้นพบว่า สภาวะที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยเฉพาะลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสูตรธรรมชาติและสูตรนมโอ๊ต ในสภาวะควบคุม และสภาวะที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตในการแช่วัตถุดิบถั่วเขียว ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะมีความข้นหนืดและจับตัวกันเป็นก้อน ไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างในสภาวะอื่นๆ ได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบโดยใช้สภาวะควบคุม และสภาวะที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต จึงไม่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส



รูปที่ 4.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสในตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวทั้งสูตรธรรมชาติ และสูตรนมโอ๊ตของสภาวะที่ 1 (สภาวะควบคุม) และสภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต)

4.2.1 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติทั้ง 4 สภาวะทดลอง ได้แก่ สภาวะที่ 3 คือสภาวะการใช้ความร้อน สภาวะที่ 4 คือสภาวะการใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต สภาวะที่ 5 คือสภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย และสภาวะที่ 6 คือสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย โดยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยประเมินผลจากคะแนนที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผลการประเมินพบว่าตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติทั้ง 4 สภาวะทดลอง ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ดังผลที่แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติทั้ง 4 สภาวะทดลอง

หมายเหตุ : ตัวอักษร$^{a, b}$ ที่แตกต่างกันของตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และตัวอักษร^{ns} คือ ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (non-significant) ($p > 0.05$)

จากผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์ในทุกสภาวะทดลองได้คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 7.17 ถึง 7.90 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 3 (สภาวะการใช้ความร้อน) ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะที่ปรากฏ พบว่าเครื่องดื่มในแต่ละสภาวะทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีระดับคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.77 ถึง 7.23 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะที่ปรากฏสูงที่สุด

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี ได้คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.60 ถึง 7.20 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะด้านสีที่มีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

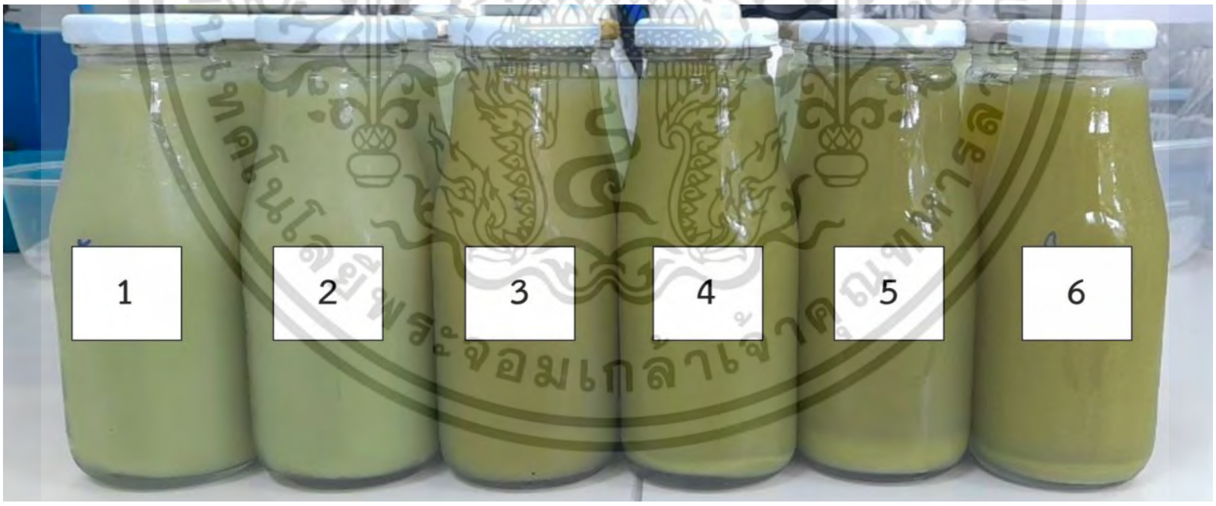
ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านกลิ่น พบว่าเครื่องดื่มในแต่ละสภาวะทดลองค่าคะแนนความชอบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีระดับคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.67 ถึง 7.47 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึง

ปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะด้านกลิ่นสูงที่สุด

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านรสชาติ พบว่าเครื่องดื่มในแต่ละสภาวะทดลองค่าคะแนนความชอบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีระดับคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.80 ถึง 7.67 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 3 (สภาวะการใช้ความร้อน) ได้รับคะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะด้านรสชาติสูงที่สุด

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสในตัวอย่าง พบว่าเครื่องดื่มในแต่ละสภาวะทดลองค่าคะแนนความชอบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระดับคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 7.03 ถึง 7.57 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบขั้นปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 3 (สภาวะการใช้ความร้อน) ได้คะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีค่าสูงที่สุด

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ทั้ง 6 สภาวะทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพทั้งค่าสี และความหนืดในผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์หากิจกรรมเอนไซม์ในตัวอย่าง และปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ จะได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.2.3



รูปที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ
หมายเลข 1 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 1 (ควบคุม)/ หมายเลข 2 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต)/ หมายเลข 3 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน)/ หมายเลข 4 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย)/ หมายเลข 5 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) และหมายเลข 6 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย)

ตารางที่ 4.2.1 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	**ค่าสี**				
	ความสว่าง (L^*)	ความเป็นสีแดง (a^*)	ความเป็นสีเหลือง (b^*)	ความเข้มของสี (Chroma, C^*)	เฉดสี (Hue angle, h°)
1	45.03 ± 0.25^{a}	-4.93 ± 0.15^{d}	9.83 ± 0.88^{b}	11.00 ± 0.82^{b}	-1.10 ± 0.03^{a}
2	42.71 ± 0.06^{b}	-5.36 ± 0.03^{e}	11.08 ± 0.09^{a}	12.31 ± 0.09^{a}	-1.12 ± 0.00^{a}
3	27.13 ± 0.09^{c}	-3.29 ± 0.18^{bc}	10.76 ± 0.27^{a}	11.25 ± 0.31^{b}	-1.27 ± 0.01^{bc}
4	25.05 ± 0.38^{d}	-3.09 ± 0.09^{ab}	10.67 ± 0.26^{a}	11.11 ± 0.24^{b}	-1.29 ± 0.01^{cd}
5	26.80 ± 0.34^{c}	-3.51 ± 0.18^{c}	10.89 ± 0.29^{a}	11.44 ± 0.33^{b}	-1.26 ± 0.01^{b}
6	24.65 ± 0.18^{d}	-2.89 ± 0.13^{a}	10.96 ± 0.12^{a}	11.33 ± 0.11^{b}	-1.31 ± 0.01^{d}

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตัวอักษร$^{a, b, c, d, e}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความหนืดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	**ความหนืด (cP)**
1	10.20 ± 2.95^{a}
2	10.40 ± 0.17^{a}
3	5.70 ± 0.30^{b}
4	6.20 ± 0.17^{b}
5	5.70 ± 0.00^{b}
6	5.20 ± 0.17^{b}

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตัวอักษร$^{a, b}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	**ปริมาณโปรตีน (mg BSA/ml)**	**ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (units/mg protein)**
1	7.93 ± 0.20^{a}	23,173.60 ± 102.21^{a}
2	8.23 ± 0.08^{a}	23,443.50 ± 285.49^{a}
3	6.02 ± 0.55^{b}	12,883.72 ± 91.77^{c}
4	6.48 ± 0.57^{b}	12,797.33 ± 33.00^{c}
5	6.36 ± 0.45^{b}	15,501.05 ± 777.88^{b}
6	6.24 ± 0.22^{b}	15,564.10 ± 469.49^{b}

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ พบว่าวิธีการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียวมีผลทำให้ค่าสี ความหนืด ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 2 (สภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) เป็นสภาวะที่ตัวอย่างเครื่องดื่มมีค่าความหนืดโดยเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 10.40 cP มีค่าสี *L**, *a**, *b**, *C** และ *h°* โดยเฉลี่ยเท่ากับ 42.71, -5.36, 11.08, 12.31, -1.12 ตามลำดับ โดยการแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตจะมีผลทำให้เมล็ดถั่วดูมีสีเขียวเข้มกว่าถั่วที่แช่ในน้ำประปา จึงอาจมีผลทำให้ค่าความสว่างมีค่าลดลง และทำให้ค่าความเป็นสีแดง (*a**) มีค่าติดลบมากขึ้น (Buzera *et al*., 2018) อย่างไรก็ตามผลที่ได้อาจมีความแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนที่ใช้ในการผสม และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติในสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยที่ได้จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนจากตัวอย่างในทุกสภาวะทดลอง จะมีค่าเท่ากับ 8.23 mg BSA/ml เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนในตัวอย่างที่ได้ไปคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX โดยเทียบจากกราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในช่วงนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ ข.2.2 (ภาคผนวก ข) ค่ากิจกรรมเอนไซม์ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 23,443.50 units/mg protein ดังผลที่แสดงในตารางที่ 4.2.3 การวิเคราะห์เพื่อหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ กำหนดให้ 1 หน่วย หรือ 1 Unit ของกิจกรรมเอนไซม์ LOX คือปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร มีค่าเพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย ในเวลา 1 นาที (สรยา, 2557) จากผลที่ได้จะพบว่า การแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิห้องไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นเบส เมื่อมีการใช้ในปริมาณมาก อาจทำให้สภาวะเป็นด่างในน้ำที่ใช้สำหรับแช่เมล็ดถั่วเขียวนั้นเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ LOX ได้ ซึ่งโดยทั่วไปเอนไซม์จะทำงานได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6.5-9.0 ในช่วงอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (Alhendi, 2016) แต่หาก pH หรืออุณหภูมิที่ใช้มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น เอนไซม์อาจทำงานผิดปกติหรือสามารถหยุดทำงานได้

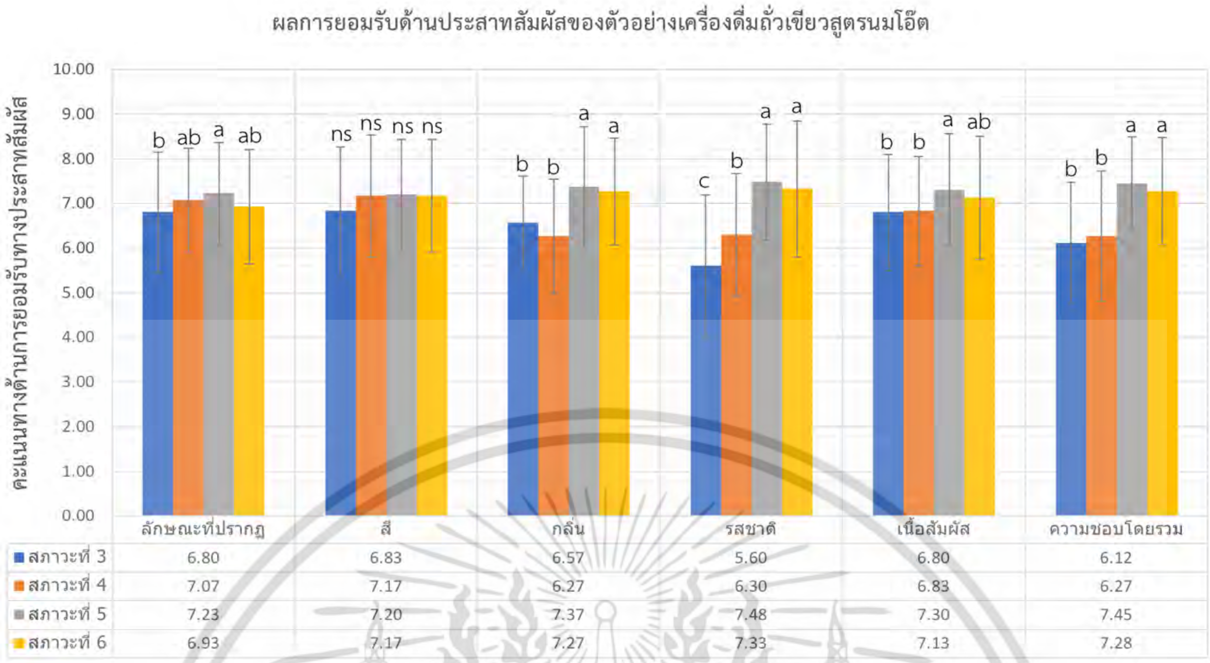
จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) มีผลทำให้ค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX มีค่ากิจกรรมน้อยที่สุด โดยผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลทางทฤษฎีที่กล่าวว่าการใช้อุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ (Alhendi, 2016; Lima *et al*., 2014; Pardeshi *et al*., 2014) นอกจากนี้การแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานาน ส่งผลทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่ในเมล็ดถั่วเกิดการกระจายตัว เช่น โปรตีน และแป้ง (Razak *et al*., 2019) เมื่อนำเมล็ดถั่วไปนึ่งให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูง โปรตีนที่กระจายตัวอยู่ในเมล็ดถั่วสามารถเกิดการสลายตัวได้เร็วกว่าเมล็ดถั่วที่แช่ในน้ำสะอาด แสดงว่าการใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต

ในการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียว ช่วยยับยั้งการทำปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับกรดไขมัน ลดปริมาณสารประกอบแอลดีไฮด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์ได้ แต่จะทำให้ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์สภาวะควบคุม

การคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมไว้ใช้ในการจัดเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จะพิจารณาจากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ความชอบ) ร่วมกับผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX เมื่อพิจารณาจากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจะพบว่า ตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติในสภาวะที่ 3 และสภาวะที่ 6 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาจากค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ตัวอย่างในสภาวะที่ 3 และสภาวะที่ 4 เป็นสภาวะที่ค่ากิจกรรมเอนไซม์มีค่าน้อยที่สุด การคัดเลือกหาสูตรที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากผลของทั้งสองปัจจัยร่วมกัน ตัวอย่างในสภาวะที่ 3 จึงถูกคัดเลือกเป็นอันดับแรก และอันดับต่อมาคือตัวอย่างในสภาวะที่ 6 ซึ่งจะพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสที่มีต่อตัวอย่าง เนื่องจากค่ากิจกรรมเอนไซม์ของตัวอย่างในสภาวะที่ 4 และสภาวะที่ 6 ถึงแม้ว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \le 0.05$) แต่เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถประเมินคะแนนความชอบด้านกลิ่นของตัวอย่างในแต่ละสภาวะให้แตกต่างกันได้ ดังนั้นการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมจึงพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์เป็นหลัก สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) และสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) จึงเป็นสภาวะที่ถูกคัดเลือกไว้ใช้สำหรับทำการจัดเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต่อไป

4.2.2 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตทั้ง 4 สภาวะทดลอง ได้แก่ สภาวะที่ 3 คือสภาวะการใช้ความร้อน สภาวะที่ 4 คือสภาวะการใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต สภาวะที่ 5 คือสภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย และสภาวะที่ 6 คือสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย โดยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยประเมินผลจากคะแนนที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผลการประเมินพบว่าตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตทั้ง 4 สภาวะทดลอง ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ดังผลที่แสดงในรูปที่ 4.4



	ลักษณะที่ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
■ สภาวะที่ 3	6.80	6.83	6.57	5.60	6.80	6.12
■ สภาวะที่ 4	7.07	7.17	6.27	6.30	6.83	6.27
■ สภาวะที่ 5	7.23	7.20	7.37	7.48	7.30	7.45
■ สภาวะที่ 6	6.93	7.17	7.27	7.33	7.13	7.28

รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตทั้ง 4 สภาวะทดลอง

หมายเหตุ : ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันของตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และตัวอักษร^{ns} คือ ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (non-significant) ($p > 0.05$)

จากผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต พบว่าผลิตภัณฑ์ในทุกสภาวะทดลองได้คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.12 ถึง 7.45 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะที่ปรากฏ ได้คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.80 ถึง 7.23 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะที่ปรากฏสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี พบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในแต่ละสภาวะทดลองค่าคะแนนความชอบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยจะอยู่ในช่วงระหว่าง 6.83 ถึง 7.20 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะด้านสีที่มีค่าสูงที่สุด

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านกลิ่น ได้คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.27 ถึง 7.37 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะด้านกลิ่นสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านรสชาติ ได้คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 5.60 ถึง 7.48 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเฉยๆ ไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสในตัวอย่าง ได้คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.80 ถึง 7.30 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความชอบจากเล็กน้อยไปจนถึงปานกลาง โดยตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (สภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ได้รับคะแนนความชอบในส่วนของคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสในตัวอย่างที่มีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ทั้ง 6 สภาวะทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพทั้งค่าสี และความหนืดในผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.2.4 และ 4.2.5 ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์หากิจกรรมเอนไซม์ LOX ในตัวอย่างและปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ จะได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.2.6

ตารางที่ 4.2.4 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	**ค่าสี**				
	ความสว่าง (L^*)	ความเป็นสีแดง (a^*)	ความเป็นสีเหลือง (b^*)	ความเข้มของสี (Chroma, C^*)	เฉดสี (Hue angle, h°)
1	62.45 ± 0.04^{a}	-3.51 ± 0.09^{bc}	17.37 ± 0.04^{de}	17.72 ± 0.05^{c}	-1.37 ± 0.00^{b}
2	62.24 ± 0.05^{ab}	-3.76 ± 0.03^{d}	17.21 ± 0.06^{e}	17.62 ± 0.06^{c}	-1.36 ± 0.00^{a}
3	61.00 ± 0.26^{c}	-3.57 ± 0.05^{c}	17.67 ± 0.13^{bc}	18.02 ± 0.13^{b}	-1.37 ± 0.00^{b}
4	62.00 ± 0.08^{b}	-3.22 ± 0.01^{a}	17.51 ± 0.17^{cd}	17.80 ± 0.16^{c}	-1.39 ± 0.00^{d}
5	60.11 ± 0.15^{d}	-3.45 ± 0.06^{b}	17.87 ± 0.11^{ab}	18.20 ± 0.11^{ab}	-1.38 ± 0.00^{c}
6	60.11 ± 0.11^{d}	-3.84 ± 0.06^{d}	17.91 ± 0.16^{a}	18.32 ± 0.16^{a}	-1.36 ± 0.00^{a}

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตัวอักษร$^{a, b, c, d, e}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.5 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต
โดยหมายเลข 1 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 1 (ควบคุม)/ หมายเลข 2 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต)/ หมายเลข 3 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน)/ หมายเลข 4 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต)/ หมายเลข 5 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) และหมายเลข 6 คือตัวอย่างในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย)

ตารางที่ 4.2.5 ผลการวิเคราะห์ความหนืดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	ความหนืด (cP)
1	21.10 ± 1.21^{a}
2	17.60 ± 0.17^{b}
3	6.90 ± 0.52^{cd}
4	7.60 ± 0.46^{c}
5	6.40 ± 0.17^{d}
6	6.30 ± 0.00^{d}

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ตัวอักษร$^{a, b, c, d}$ ที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	ปริมาณโปรตีน (mg BSA/ml)	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (units/mg protein)
1	9.25 ± 0.11^{a}	$14,063.06 \pm 2,909.25^{a}$
2	9.38 ± 0.22^{a}	$16,404.76 \pm 1,247.02^{a}$
3	7.54 ± 0.12^{c}	$2,798.63 \pm 1,170.89^{bc}$
4	8.21 ± 0.36^{b}	$1,750.91 \pm 451.92^{bc}$
5	7.99 ± 0.21^{bc}	605.55 ± 95.53^{c}
6	7.61 ± 0.34^{c}	$4,253.18 \pm 753.69^{b}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต พบว่าวิธีการเตรียมวัตถุดิบถั่วเขียวมีผลทำให้ค่าสี ความหนืด ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 1 (สภาวะควบคุม) เป็นสภาวะที่ตัวอย่างเครื่องดื่มมีค่าความหนืดโดยเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 21.10 cP มีค่าสี *L**, *a**, *b**, *C** และ *h°* โดยเฉลี่ยเท่ากับ 62.45, -3.51, 17.37, 17.72 และ -1.37 ตามลำดับ

ตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตในสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยที่ได้จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนจากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลอง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 9.38 mg BSA/ml เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนในตัวอย่างที่ได้ไปคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX โดยเทียบจากกราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในช่วงนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ ข.2.8 (ภาคผนวก ข) ค่ากิจกรรมเอนไซม์โดยเฉลี่ยของตัวอย่างจะมีค่าเท่ากับ 16,404.76 units/mg protein เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับตัวอย่างในสภาวะการใช้ความร้อน ที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 2,798.63 units/mg protein พบว่าการใช้ความร้อนมีผลทำให้ความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ LOX ในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลทางทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ว่า การใช้อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสับสเตรท อีกทั้งยังมีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ (Alhendi, 2016) อย่างไรก็ตาม เมื่อนำค่ากิจกรรมเอนไซม์ของตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต (สภาวะการใช้ความร้อน) ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ากิจกรรมเอนไซม์ของผลิตภัณฑ์สูตรธรรมชาติในสภาวะเดียวกัน พบว่าในผลิตภัณฑ์สูตรนมโอ๊ตจะมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ต่ำกว่าตัวอย่างสูตรธรรมชาติ อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการทำปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์ LOX กับสับสเตรทในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตจะมีน้อยกว่า เนื่องจากการกระตุ้นให้เอนไซม์ในนมทำปฏิกิริยากับสับสเตรทจะต้องอาศัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเพื่อให้เอนไซม์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น อุณหภูมิ ค่า pH ที่

เหมาะสม และสับสเตรทที่มีความจำเพาะต่อเอนไซม์แต่ละชนิด นอกจากนี้ปริมาณและความสมบูรณ์ของสับสเตรทที่มีในน้ำสะอาด ทำให้ไม่สามารถควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ในน้ำได้ ซึ่งโดยทั่วไปเอนไซม์ในน้ำสามารถทำปฏิกิริยาได้กับสับสเตรทได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่มีสารยับยั้งที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาระหว่างสับสเตรทกับเอนไซม์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Shahani (1966) โดยมีรายงานว่าส่วนประกอบของนมจะมีสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด อีกทั้งยังไม่มีสับสเตรทที่เฉพาะเจาะจงต่อการทำงานของเอนไซม์ จึงมีผลทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์ LOX กับสับสเตรทในผลิตภัณฑ์สูตรนมโอ๊ตมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตรธรรมชาติ

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต เมื่อเปรียบเทียบผลกับผลิตภัณฑ์ในสูตรธรรมชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์ในสูตรนมโอ๊ตจะมีค่าความหนืด และมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยสูงกว่าตัวอย่างในสูตรธรรมชาติ เนื่องจากในตัวอย่างมีส่วนประกอบของน้ำเพียงร้อยละ 42.78 และในกระบวนการผลิตมีการเติมนมข้าวโอ๊ตปริมาตรร้อยละ 50 ในส่วนผสมที่เป็นของเหลว โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำนมข้าวโอ๊ตจะมีความข้นหนืดที่มากกว่าน้ำ และในน้ำนมข้าวโอ๊ตมีสารอาหารต่างๆ และมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่แล้ว ดังนั้นการนำน้ำนมข้าวโอ๊ตมาใช้เป็นส่วนประกอบในการทำผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตมีปริมาณโปรตีน และค่าความหนืดโดยเฉลี่ยที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวในสูตรธรรมชาติ

การคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมไว้ใช้ในการจัดเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จะพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส (ความชอบ) ร่วมกับผลการวิเคราะห์หาค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX เมื่อพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสจะพบว่าเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตในสภาวะที่ 5 และสภาวะที่ 6 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาจากค่ากิจกรรมของเอนไซม์ตัวอย่างในสภาวะที่ 4 และสภาวะที่ 5 เป็นสภาวะที่ค่ากิจกรรมเอนไซม์มีค่าน้อยที่สุด การคัดเลือกหาสูตรที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากทั้งผลสองปัจจัยร่วมกัน ตัวอย่างในสภาวะที่ 5 จึงถูกคัดเลือกเป็นอันดับแรก และอันดับต่อมาคือตัวอย่างในสภาวะที่ 6 ซึ่งพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสความชอบด้านกลิ่น ร่วมกับค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX ของตัวอย่างในสภาวะที่ 4 และสภาวะที่ 6 ถึงแม้ว่าค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสภาวะที่ 4 จะมีค่าน้อยกว่า แต่ผลจากการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น ตัวอย่างในสภาวะที่ 6 ได้คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยสูงกว่าตัวอย่างในสภาวะที่ 4 ดังนั้นตัวอย่างในสภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) และสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) จึงเป็นสภาวะที่ถูกคัดเลือกไว้ใช้สำหรับการจัดเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ไว้ใช้สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ทั้ง 3 สภาวะทดลอง ได้แก่ สภาวะที่ 1 (ควบคุม) สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) และสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ของแข็งทั้งหมด โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	**ปริมาณ (ร้อยละ)**				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
1	86.80 ± 1.92^{ns}	1.20 ± 0.19^{a}	รอวิเคราะห์	0.39 ± 0.02^{ns}	รอวิเคราะห์
3	88.45 ± 1.05^{ns}	0.46 ± 0.14^{b}	รอวิเคราะห์	0.39 ± 0.02^{ns}	รอวิเคราะห์
6	89.09 ± 0.34^{ns}	0.83 ± 0.22^{ab}	8.69 ± 0.05	0.37 ± 0.02^{ns}	1.02 ± 0.34

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ตัวอักษร$^{a, b}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร^{ns} คือ ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (non-significant) ($p > 0.05$)
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างสภาวะที่ 1, 3 และ 6 มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 13,20, 11.55 และ 10.91 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติทุกสภาวะทดลอง พบว่าตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลอง มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 86.80 ถึง 89.09 มีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 0.37 ถึง 0.39 ซึ่งในแต่ละสภาวะปริมาณความชื้นและเถ้าที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในส่วนของปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยที่พบในตัวอย่างจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.46 ถึง 1.20 โดยปริมาณโปรตีนของตัวอย่างในสภาวะควบคุมเป็นสูตรที่มีค่าปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 1.20 รองลงมาคือตัวอย่างในสภาวะที่ 6 ที่มีค่าปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.83 และตัวอย่างในสภาวะที่ 3 เป็นสภาวะที่ตรวจพบปริมาณโปรตีนในตัวอย่างน้อยที่สุด โดยมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเพียงร้อยละ 0.46 ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกันกับปริมาณโปรตีนของตัวอย่างในสภาวะที่ 6 สูงถึงร้อยละ 55.4

สำหรับตัวอย่างในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) มีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 89.09 ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมด โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต คิดเป็นร้อยละ 10.91, 0.83, 8.69, 0.37 และ 1.02 ตามลำดับ โดยปริมาณโปรตีนของตัวอย่างในสภาวะที่ 3 และ 6 ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างจะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างสภาวะที่ 1 (ควบคุม) อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบของตัวอย่างในสภาวะที่ 3 และ 6 ได้มีการนำเมล็ดถั่วเขียวไปนึ่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำวัตถุดิบมาทำผลิตภัณฑ์ ส่วนวัตถุดิบของตัวอย่างในสภาวะควบคุมไม่ได้ถูกนำไปนึ่งให้ความร้อนก่อน ดังนั้นโปรตีนในถั่วเขียวที่เตรียมได้จากสภาวะที่ 3 และ 6 จึงสามารถเกิดการเสียสภาพได้มากกว่าสภาวะที่ 1 เนื่องจากวัตถุดิบถูกนำไปให้ความร้อนทำให้สายโมเลกุลของโปรตีนที่ยาวกลายเป็นสายที่สั้นลง ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างนั้นสูญเสียไปในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Lima *et al*., 2014)

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติทั้ง 3 สภาวะทดลอง ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ความหนืด การเกิดตะกอน ปริมาณโปรตีนและสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมเอนไซม์ LOX กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติสภาวะที่ 1 (ควบคุม) สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) และสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในลักษณะที่ปรากฏด้านสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.2 ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะของเนื้อสัมผัสและการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในตัวอย่างได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.4 ในส่วนของผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จะได้ผลการทดลองดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3.2 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	**สูตร**	**ความสว่าง** (*L**)	**ความเป็นสีแดง** (*a**)	**ความเป็นสีเหลือง** (*b**)	**ความเข้มของสี** (Chroma, *C**)	**เฉดสี** (Hue angle, *h°*)
0	1	$49.79 \pm 0.21^{a, C}$	$-4.90 \pm 0.04^{c, AB}$	$11.29 \pm 0.04^{a, B}$	$12.30 \pm 0.02^{a, B}$	$-1.16 \pm 0.00^{a, B}$
	3	$26.77 \pm 0.19^{c, C}$	$-2.79 \pm 0.03^{a, B}$	$10.51 \pm 0.15^{b, C}$	$10.87 \pm 0.15^{b, C}$	$-1.31 \pm 0.00^{c, B}$
	6	$34.52 \pm 0.29^{b, C}$	$-4.05 \pm 0.28^{b, B}$	$11.58 \pm 0.37^{a, B}$	$12.27 \pm 0.43^{a, B}$	$-1.23 \pm 0.01^{b, B}$
10	1	$49.49 \pm 0.10^{a, C}$	$-4.71 \pm 0.03^{c, A}$	$10.81 \pm 0.07^{c, C}$	$11.80 \pm 0.07^{b, C}$	$-1.16 \pm 0.00^{a, B}$
	3	$26.24 \pm 0.32^{c, C}$	$-3.40 \pm 0.13^{a, C}$	$11.12 \pm 0.07^{b, B}$	$11.63 \pm 0.07^{c, B}$	$-1.27 \pm 0.01^{c, B}$
	6	$40.21 \pm 0.03^{b, B}$	$-4.32 \pm 0.04^{b, B}$	$12.36 \pm 0.06^{a, A}$	$13.09 \pm 0.05^{a, A}$	$-1.23 \pm 0.00^{b, B}$
20	1	$55.73 \pm 0.14^{a, A}$	$-4.65 \pm 0.43^{a, A}$	$13.30 \pm 0.22^{a, A}$	$14.10 \pm 0.20^{a, A}$	$-1.23 \pm 0.03^{b, C}$
	3	$31.75 \pm 0.54^{c, A}$	$-4.36 \pm 0.43^{a, D}$	$10.98 \pm 0.52^{b, BC}$	$11.83 \pm 0.37^{b, AB}$	$-1.19 \pm 0.05^{b, A}$
	6	$49.64 \pm 0.40^{b, A}$	$-6.88 \pm 0.11^{b, C}$	$10.26 \pm 0.29^{b, C}$	$12.35 \pm 0.21^{b, B}$	$-0.98 \pm 0.02^{a, A}$

อายุการเก็บรักษา (วัน)	สูตร	ความสว่าง (*L**)	ความเป็นสีแดง (*a**)	ความเป็นสีเหลือง (*b**)	ความเข้มของสี (Chroma, *C**)	เฉดสี (Hue angle, *h°*)
30	1	51.88 ± 0.38$^{a, B}$	-5.19 ± 0.04$^{c, B}$	8.18 ± 0.21$^{c, D}$	9.69 ± 0.20$^{c, D}$	-1.00 ± 0.01$^{a, A}$
	3	30.70 ± 0.14$^{b, B}$	-2.01 ± 0.15$^{a, A}$	11.97 ± 0.23$^{a, A}$	12.14 ± 0.25$^{a, A}$	-1.40 ± 0.01$^{c, C}$
	6	25.45 ± 0.23$^{c, D}$	-2.43 ± 0.04$^{b, A}$	11.40 ± 0.10$^{b, B}$	11.66 ± 0.09$^{b, C}$	-1.36 ± 0.01$^{b, C}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.3.2 พบว่าตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองผลการวัดค่าสีในผลิตภัณฑ์แต่ละสภาวะที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในหนึ่งช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าสีที่วัดได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ในสภาวะควบคุม (ก่อนทำการเก็บรักษา ณ วันที่ 0) จะมีค่าความสว่าง (*L**) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 49.79 และจะมีค่าสี *a**, *b**, *C**, *h°* โดยเฉลี่ยเท่ากับ -4.90, 11.29, 12.30, -1.16 ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาเป็น 30 วัน ค่าความสว่าง (*L**) และค่าความเป็นสีแดง (*a**) โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 51.88, -5.19 ตามลำดับ แต่ค่าสี *b**, *C**, *h°* โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเหลือเพียง 8.18, 9.69, -1.00 ตามลำดับ แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีแดงในผลิตภัณฑ์สภาวะควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) ก่อนนำผลิตภัณฑ์ไปทำการเก็บรักษา จะมีค่าความสว่าง (*L**) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 26.77 และจะมีค่าสี *a**, *b**, *C**, *h°* โดยเฉลี่ยเท่ากับ -2.79, 10.51, 10.87, -1.31 ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ค่าสี *L**, *b**, *C** และ *h°* โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 30.70, 11.97, 12.14, -1.40 ตามลำดับ ในส่วนของค่าความเป็นสีแดง (*a**) โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเหลือเพียง -2.01 แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดงในผลิตภัณฑ์สภาวะการใช้ความร้อนมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ก่อนทำการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่าง (L^*) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 34.52 และจะมีค่าสี a^*, b^*, C^*, h° โดยเฉลี่ยเท่ากับ -4.05, 11.58, 12.27, -1.23 ตามลำดับ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสี L^*, a^*, b^* และ C^* โดยเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 25.45, -2.43, 11.40, 11.66 ตามลำดับ แต่ค่าเฉดสี (h°) โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น -1.36 แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความเข้มของสีในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \le 0.05$)

ตารางที่ 4.3.3 ผลการวิเคราะห์ความหนืด และการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	สูตร	ความสูงของตะกอน (cm)	ความหนืด (cP)
0	1	$0.20 \pm 0.00^{c, D}$	$17.70 \pm 0.00^{a, D}$
	3	$0.73 \pm 0.06^{a, B}$	$5.60 \pm 0.17^{c, C}$
	6	$0.30 \pm 0.00^{b, D}$	$6.10 \pm 0.17^{b, D}$
10	1	$0.33 \pm 0.06^{c, C}$	$19.23 \pm 0.55^{a, C}$
	3	$0.80 \pm 0.00^{a, B}$	$5.70 \pm 0.00^{c, C}$
	6	$0.60 \pm 0.10^{b, C}$	$7.70 \pm 0.17^{b, C}$
20	1	$0.40 \pm 0.00^{b, B}$	$39.30 \pm 0.30^{a, B}$
	3	$0.80 \pm 0.10^{a, B}$	$6.10 \pm 0.17^{c, B}$
	6	$0.83 \pm 0.06^{a, B}$	$12.57 \pm 0.35^{b, B}$
30	1	$8.50 \pm 0.00^{a, A}$	$49.50 \pm 0.30^{a, A}$
	3	$1.10 \pm 0.17^{b, A}$	$6.50 \pm 0.17^{c, A}$
	6	$1.10 \pm 0.00^{b, A}$	$13.37 \pm 0.14^{b, A}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \le 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \le 0.05$)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และการเกิดตะกอนในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.3 จะพบว่าเมื่อเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษาตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองจะมีค่าความหนืดโดยเฉลี่ยที่สูงขึ้น และอัตราการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 ตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวในสภาวะที่ 1 (ควบคุม) จะมีค่าความหนืดโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 17.70 cP มีความสูงตะกอนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 เซนติเมตร เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาครบ 1 เดือน ค่าความหนืดโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 49.50 cP มีความสูงตะกอนโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 8.50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นสภาวะทดลองที่ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัส และมีการเกิดตะกอนในตัวอย่างมากที่สุด ลักษณะของเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความข้นหนืดมากขึ้น เนื่องจากมีค่าความหนืดสูงขึ้นและมีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยระยะเวลาการเก็บรักษาจะมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง สาเหตุที่ตัวอย่างเครื่องดื่มเกิดการตกตะกอนเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบโพลีฟีนอลทำปฏิกิริยาจับกับโปรตีนซึ่งจับกันแบบไม่ใช้พันธะโควาเลนต์ โดยปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้ในระยะแรกของการก่อตัวเพื่อตกตะกอนของตัวอย่าง (Siebert, 2006) นอกจากนี้ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบโพลีแซ็กคาไรด์กับโปรตีนเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ตัวอย่างเครื่องดื่มเกิดตะกอนในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	สูตร	ปริมาณโปรตีน (mg BSA/ml)	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (units/mg protein)
0	1	$8.77 \pm 0.14^{a, A}$	$13,001.90 \pm 150.80^{a, D}$
	3	$7.04 \pm 0.24^{b, A}$	$9,374.05 \pm 67.61^{b, C}$
	6	$7.21 \pm 0.12^{b, A}$	$9,224.23 \pm 149.80^{b, C}$
10	1	$8.30 \pm 0.53^{a, AB}$	$14,318.88 \pm 212.27^{a, C}$
	3	$6.52 \pm 0.14^{b, B}$	$10,979.55 \pm 31.93^{b, B}$
	6	$6.77 \pm 0.19^{b, B}$	$10,560.32 \pm 128.68^{c, B}$
20	1	$7.97 \pm 0.23^{a, B}$	$15,930.57 \pm 624.39^{a, B}$
	3	$6.03 \pm 0.19^{b, C}$	$11,488.11 \pm 54.53^{b, A}$
	6	$6.29 \pm 0.26^{b, C}$	$10,900.90 \pm 638.20^{b, B}$
30	1	$7.74 \pm 0.20^{a, B}$	$17,361.76 \pm 828.80^{a, A}$
	3	$5.88 \pm 0.13^{b, C}$	$11,617.91 \pm 519.44^{b, A}$
	6	$6.05 \pm 0.30^{b, C}$	$11,776.31 \pm 242.50^{b, A}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรธรรมชาติ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	**สูตร**	**ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ml)**	**DPPH (µmol TE/ml)**	**ABTS (µmol TE/ml)**
0	1	$0.55 \pm 0.02^{a, A}$	$0.44 \pm 0.00^{a, A}$	$11.88 \pm 0.43^{a, A}$
	3	$0.32 \pm 0.02^{c, A}$	$0.39 \pm 0.01^{c, A}$	$7.63 \pm 0.55^{c, A}$
	6	$0.40 \pm 0.02^{b, NS}$	$0.42 \pm 0.01^{b, A}$	$9.26 \pm 0.39^{b, A}$
10	1	$0.54 \pm 0.02^{a, A}$	$0.42 \pm 0.02^{ns, AB}$	$9.45 \pm 0.52^{a, B}$
	3	$0.30 \pm 0.01^{c, A}$	$0.39 \pm 0.00^{ns, A}$	$6.92 \pm 0.17^{c, A}$
	6	$0.39 \pm 0.03^{b, NS}$	$0.40 \pm 0.00^{ns, AB}$	$8.46 \pm 0.36^{b, B}$
20	1	$0.49 \pm 0.01^{a, B}$	$0.42 \pm 0.01^{a, AB}$	$8.07 \pm 0.23^{a, C}$
	3	$0.29 \pm 0.02^{c, A}$	$0.37 \pm 0.02^{b, B}$	$4.41 \pm 0.14^{c, B}$
	6	$0.38 \pm 0.03^{b, NS}$	$0.38 \pm 0.02^{b, B}$	$6.57 \pm 0.19^{b, C}$
30	1	$0.47 \pm 0.01^{a, B}$	$0.40 \pm 0.02^{a, B}$	$7.15 \pm 0.45^{a, D}$
	3	$0.24 \pm 0.01^{c, B}$	$0.34 \pm 0.01^{b, C}$	$3.65 \pm 0.45^{c, C}$
	6	$0.36 \pm 0.03^{b, NS}$	$0.38 \pm 0.01^{a, B}$	$5.42 \pm 0.30^{b, D}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อ

เปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \leq 0.05$)

- ตัวอักษร$^{ns, NS}$ คือ ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (non-significant) ($p > 0.05$)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณโปรตีนในตัวอย่างจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป แต่เอนไซม์ LOX สามารถทำปฏิกิริยากับสับสเตรทได้ดีขึ้น จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.3.4 จะพบว่าตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวในสภาวะควบคุม ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 จะมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.77 mg BSA/ml และจะมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX โดยเฉลี่ยเท่ากับ 13,001.90 units/mg protein เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ครบระยะเวลา 1 เดือน ปริมาณโปรตีนจะลดลงเหลือเพียง 7.74 mg BSA/ml แต่ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 17,361.76 units/mg protein โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Roland *et al.* (2024) ที่ได้ทำการศึกษาความคงตัวของปริมาณโปรตีน และการสร้างกรดอะมิโนอิสระในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากพืช ผลการวิจัยพบว่าในกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากพืชโดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี และปริมาณโปรตีนจะมีความคงตัวเมื่อเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษา แต่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของถั่ว ความสามารถในการสร้างกรดอะมิโนอิสระ และความคงตัวของปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์จะลดลงหลังเข้าสู่กระบวนการการเก็บรักษา ในขณะเดียวกันเอนไซม์ LOX มีค่ากิจกรรมที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา คาดว่ามีสาเหตุมาจากเอนไซม์ Lipoxygenase ที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไขมันผลิตสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารประกอบอินทรีย์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วได้ โดยในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นเหม็นเขียวจากถั่วที่รุนแรงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น อย่างไรก็ตามยังเป็นเพียงข้อสันนิษฐานเนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยออกมายืนยันได้อย่างแน่ชัดว่ากระบวนการเก็บรักษาจะส่งผลให้ค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX ในเครื่องดื่มถั่วเขียวมีค่ากิจกรรมที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลง โดยผลิตภัณฑ์ในสภาวะควบคุมเป็นสภาวะที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างในสภาวะอื่นๆ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์จากสภาวะควบคุมจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 0.55 mg GAE/ml มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS คิดเป็นร้อยละ 0.44 และ 11.88 µmol TE/ml ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงเหลือเพียง 0.47 mg GAE/ml และจะมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ลดลงเหลือร้อยละ 0.40 และ 7.15 µmol TE/ml แสดงว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และการยับยั้งอนุมูลอิสระในถั่วเขียว เนื่องจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลานานส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารอาหารสำคัญอื่นๆ เช่น โปรตีน

วิตามิน กรดอะมิโน สามารถเกิดการสลายตัวได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของเซลล์ในถั่วเขียวที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา อาจส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอนไซม์กับกรดไขมัน ทำให้ปริมาณสารประกอบออกซิเดชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Ziegler *et al*., 2020)

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ทั้ง 3 สภาวะทดลอง ได้แก่ สภาวะที่ 1 คือสภาวะควบคุม สภาวะที่ 5 คือสภาวะการนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย และสภาวะที่ 6 คือสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ของแข็งทั้งหมด โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.4.1

ตารางที่ 4.4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	**ปริมาณ (ร้อยละ)**				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
1	83.94 ± 1.27^{b}	1.23 ± 0.22^{a}	รอวิเคราะห์	0.46 ± 0.00^{ns}	รอวิเคราะห์
5	83.78 ± 0.76^{b}	0.56 ± 0.02^{b}	14.79 ± 0.07	0.46 ± 0.00^{ns}	0.41 ± 0.78
6	88.33 ± 1.06^{a}	1.03 ± 0.07^{a}	10.09 ± 0.10	0.42 ± 0.03^{ns}	0.13 ± 0.99

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ตัวอักษร$^{a,\ b}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร^{ns} คือ ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (non-significant) ($p > 0.05$)
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างสภาวะที่ 1, 5 และ 6 มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 16.06, 16.22 และ 11.67 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตทุกสภาวะทดลอง พบว่าตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลอง มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 83.78 ถึง 88.33 มีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 0.42 ถึง 0.46 ซึ่งปริมาณเถ้าของตัวอย่างในแต่ละสภาวะจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนปริมาณโปรตีนจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 0.56 ถึง 1.23 โดยปริมาณโปรตีนของตัวอย่างในสภาวะควบคุมมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 1.23 สำหรับตัวอย่างในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) มีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 88.33 ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมด โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต คิดเป็นร้อยละ 11.67, 1.03, 10.09, 0.42 และ 0.13 ตามลำดับ

หากนำผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของตัวอย่างในสภาวะที่ 5 และสภาวะที่ 6 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยในตัวอย่างสภาวะที่ 5 ค่าที่ได้จะน้อยกว่าปริมาณโปรตีนจากตัวอย่างในสภาวะที่ 6 ถึงแม้ว่าวิธีที่ใช้ในการจัดเตรียมวัตถุดิบจะมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตมีส่วนช่วยในการยับยั้งการเสียสภาพของโปรตีนในตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างในสภาวะที่ 6 ได้มีการนำเมล็ดถั่วเขียวไปแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อน แต่ตัวอย่างในสภาวะที่ 5 ทำการทดลองโดยการนำเมล็ดถั่วเขียวแช่ในน้ำสะอาดก่อนนำไปนึ่งให้ความร้อน ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lima *et al.* (2014) โดยมีรายงานว่าการแช่เมล็ดถั่วในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ช่วยยับยั้งการทำงานของทริปซินอินฮิบิเตอร์ (Trypsin inhibitor) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน ดังนั้นการแช่เมล็ดถั่วเขียวในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตจึงมีส่วนช่วยในการยับยั้งการย่อยสลายของโปรตีนในเมล็ดถั่วเขียว ที่มีโอกาสสูญเสียไปในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ จึงทำให้ตัวอย่างในสภาวะที่ 6 นั้นมีปริมาณโปรตีนในตัวอย่างโดยเฉลี่ยสูงกว่าตัวอย่างในสภาวะที่ 5

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของผลิตภัณฑ์สูตรธรรมชาติ พบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์สูตรนมโอ๊ตจะมีค่าปริมาณความชื้น และคาร์โบไฮเดรตโดยเฉลี่ยน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ในสูตรธรรมชาติ เนื่องจากในตัวอย่างมีส่วนประกอบของน้ำเพียงร้อยละ 42.78 และใช้อัตราส่วนน้ำหนักถั่วเขียวในการเตรียมตัวอย่างเพียงร้อยละ 12.50 ในขณะที่ตัวอย่างในสูตรธรรมชาติมีส่วนประกอบของน้ำสูงถึงร้อยละ 81.29 และใช้อัตราส่วนน้ำหนักถั่วเขียวต่อปริมาตรน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสูงถึงร้อยละ 16.67 จึงส่งผลให้ตัวอย่างสูตรธรรมชาติมีปริมาณความชื้น และคาร์โบไฮเดรตโดยเฉลี่ยที่สูงกว่าตัวอย่างในสูตรนมโอ๊ต แต่ปริมาณโปรตีนและไขมันที่พบในตัวอย่างสูตรธรรมชาติจะมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ในสูตรนมโอ๊ต เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสูตรนมโอ๊ตมีการเติมน้ำนมข้าวโอ๊ตปริมาตรร้อยละ 50 ในส่วนผสมที่เป็นของเหลว ซึ่งในน้ำนมข้าวโอ๊ตมีโปรตีน ไขมัน และสารอาหารสำคัญต่างๆ เป็นส่วนประกอบอยู่แล้ว ดังนั้นการใช้น้ำนมข้าวโอ๊ตเป็นส่วนประกอบในการเตรียมตัวอย่างจึงทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตมีปริมาณโปรตีน และไขมันโดยเฉลี่ยที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในสูตรธรรมชาติ

นอกจากนี้ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตทั้ง 3 สภาวะทดลอง ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ความหนืด การเกิดตะกอน ปริมาณโปรตีนและสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมเอนไซม์ LOX กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตสภาวะที่ 1 (ควบคุม) สภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) และสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในลักษณะที่ปรากฏด้านสีของผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.4.2 ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะของเนื้อสัมผัสและการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและ

ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.4.4 สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS จะได้ผลการทดลองดังที่แสดงในตารางที่ 4.4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4.2 ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	สูตร	ความสว่าง (L^*)	ความเป็นสีแดง (a^*)	ความเป็นสีเหลือง (b^*)	ความเข้มของสี (Chroma, C^*)	เฉดสี (Hue angle, $h°$)
0	1	$61.74 \pm 0.14^{a, D}$	$-3.46 \pm 0.17^{c, C}$	$16.36 \pm 0.28^{c, A}$	$16.72 \pm 0.31^{c, A}$	$-1.36 \pm 0.01^{a, A}$
	5	$61.24 \pm 0.25^{b, B}$	$-3.11 \pm 0.05^{b, B}$	$17.99 \pm 0.16^{a, A}$	$18.26 \pm 0.16^{a, A}$	$-1.40 \pm 0.00^{b, B}$
	6	$61.81 \pm 0.15^{a, B}$	$-2.85 \pm 0.09^{a, B}$	$17.58 \pm 0.11^{b, A}$	$17.81 \pm 0.10^{b, A}$	$-1.41 \pm 0.01^{c, C}$
10	1	$63.56 \pm 0.06^{a, B}$	$-3.46 \pm 0.08^{b, C}$	$16.69 \pm 0.01^{c, A}$	$17.04 \pm 0.02^{c, A}$	$-1.37 \pm 0.00^{a, A}$
	5	$61.32 \pm 0.18^{b, B}$	$-3.18 \pm 0.15^{a, B}$	$17.32 \pm 0.01^{b, B}$	$17.61 \pm 0.03^{b, B}$	$-1.39 \pm 0.01^{b, B}$
	6	$61.42 \pm 0.10^{b, C}$	$-3.26 \pm 0.11^{ab, C}$	$17.47 \pm 0.05^{a, A}$	$17.77 \pm 0.06^{a, A}$	$-1.39 \pm 0.01^{b, B}$
20	1	$66.06 \pm 0.37^{a, A}$	$-3.16 \pm 0.20^{a, B}$	$14.81 \pm 0.34^{a, C}$	$15.15 \pm 0.33^{a, B}$	$-1.36 \pm 0.01^{c, A}$
	5	$65.14 \pm 0.45^{b, A}$	$-5.28 \pm 0.16^{b, C}$	$11.29 \pm 0.22^{c, C}$	$12.47 \pm 0.19^{c, C}$	$-1.13 \pm 0.02^{b, A}$
	6	$63.26 \pm 0.17^{c, A}$	$-7.20 \pm 0.24^{c, D}$	$12.12 \pm 0.22^{b, C}$	$14.10 \pm 0.08^{b, C}$	$-1.03 \pm 0.02^{a, A}$
30	1	$62.23 \pm 0.10^{a, C}$	$-2.21 \pm 0.04^{ns, A}$	$15.36 \pm 0.13^{c, B}$	$15.52 \pm 0.14^{c, B}$	$-1.43 \pm 0.00^{ns, B}$
	5	$60.95 \pm 0.56^{b, B}$	$-2.22 \pm 0.16^{ns, A}$	$17.39 \pm 0.28^{a, B}$	$17.53 \pm 0.25^{a, B}$	$-1.44 \pm 0.01^{ns, C}$
	6	$61.30 \pm 0.09^{b, C}$	$-2.11 \pm 0.06^{ns, A}$	$16.58 \pm 0.16^{b, B}$	$16.72 \pm 0.16^{b, B}$	$-1.44 \pm 0.00^{ns, D}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร^{ns} คือ ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (non-significant) ($p > 0.05$)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.4.2 พบว่าตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองผลการวัดค่าสีในผลิตภัณฑ์แต่ละสภาวะที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง

ในหนึ่งช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าสีที่วัดได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ในสภาวะควบคุม (ก่อนทำการเก็บรักษา ณ วันที่ 0) จะมีค่าความสว่าง (L^*) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 61.74 และจะมีค่าสี a^*, b^*, C^*, h° โดยเฉลี่ยเท่ากับ -3.46, 16.36, 16.72, -1.36 ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาเป็น 30 วัน ค่าความสว่าง (L^*) และค่าเฉดสี (h°) โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 62.23 และ -1.43 แต่ค่าสี a^*, b^*, C^* โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเหลือเพียง -2.21, 15.36, 15.52 ตามลำดับ แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความสว่างและค่าของเฉดสีในผลิตภัณฑ์สภาวะควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ก่อนนำผลิตภัณฑ์ไปทำการเก็บรักษา จะมีค่าความสว่าง (L^*) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 61.24 และจะมีค่าสี a^*, b^*, C^*, h° โดยเฉลี่ยเท่ากับ -3.11, 17.99, 18.26, -1.40 ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสี L^*, a^*, b^* และ C^* โดยเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 60.95, -2.22, 17.39, 17.53 ตามลำดับ แต่ค่าเฉดสี (h°) โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น -1.44 แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความเข้มของสีในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ก่อนทำการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่าง (L^*) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 61.81 และจะมีค่าสี a^*, b^*, C^*, h° โดยเฉลี่ยเท่ากับ -2.85, 17.58, 17.81, -1.41 ตามลำดับ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสี L^*, a^*, b^* และ C^* โดยเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 61.30, -2.11, 16.58, 16.72 ตามลำดับ แต่ค่าเฉดสี (h°) โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น -1.44 แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความเข้มของสีในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4.3 ผลการวิเคราะห์ความหนืด และการเกิดตะกอนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	สูตร	ความสูงของตะกอน (cm)	ความหนืด (cP)
0	1	$0.33 \pm 0.06^{b, C}$	$35.07 \pm 0.25^{a, D}$
	5	$0.50 \pm 0.00^{a, D}$	$6.80 \pm 0.17^{b, B}$
	6	$0.33 \pm 0.06^{b, D}$	$6.90 \pm 0.00^{b, C}$

อายุการเก็บรักษา (วัน)	สูตร	ความสูงของตะกอน (cm)	ความหนืด (cP)
10	1	$6.30 \pm 0.00^{a, B}$	$38.63 \pm 0.31^{a, C}$
	5	$2.10 \pm 0.17^{b, C}$	$6.90 \pm 0.00^{c, B}$
	6	$1.40 \pm 0.10^{c, C}$	$7.60 \pm 0.17^{b, B}$
20	1	$6.53 \pm 0.06^{a, B}$	$54.37 \pm 0.12^{a, B}$
	5	$2.30 \pm 0.00^{b, B}$	$6.90 \pm 0.00^{c, B}$
	6	$1.90 \pm 0.20^{c, B}$	$8.87 \pm 0.15^{b, A}$
30	1	$7.30 \pm 0.30^{a, A}$	$68.37 \pm 0.31^{a, A}$
	5	$2.50 \pm 0.00^{b, A}$	$7.80 \pm 0.00^{c, A}$
	6	$2.40 \pm 0.10^{b, A}$	$9.10 \pm 0.17^{b, A}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และการเกิดตะกอนในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.4.3 จะพบว่าตัวอย่างในแต่ละสภาวะจะมีค่าความหนืดที่สูงขึ้น และการเกิดตะกอนจะเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 ตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวในสภาวะที่ 1 (ควบคุม) จะมีค่าความหนืดโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 35.07 cP มีความสูงตะกอนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.33 เซนติเมตร เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาครบ 1 เดือน ค่าความหนืดโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 68.37 cP ค่าความสูงตะกอนโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 7.30 เซนติเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสในตัวอย่าง ระหว่างตัวอย่างสูตรธรรมชาติกับตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต จะพบว่าตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตจะมีค่าความหนืดโดยเฉลี่ยที่สูงกว่าตัวอย่างสูตรธรรมชาติ เนื่องจากตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ตมีการใช้น้ำนมข้าวโอ๊ตที่มีความหนืด และข้นกว่าน้ำเป็นส่วนประกอบในการทำผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตมีความข้นหนืดมากกว่าผลิตภัณฑ์ในสูตรธรรมชาติ

ตารางที่ 4.4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	**สูตร**	**ปริมาณโปรตีน (mg BSA/ml)**	**ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (units/mg protein)**
0	1	$9.70 \pm 0.23^{a, A}$	$7,357.39 \pm 13.42^{a, D}$
	5	$9.24 \pm 0.26^{a, A}$	$2,888.17 \pm 166.04^{b, C}$
	6	$8.56 \pm 0.38^{b, A}$	$2,095.02 \pm 491.02^{c, B}$
10	1	$9.47 \pm 0.29^{a, AB}$	$8,187.96 \pm 128.10^{a, C}$
	5	$8.49 \pm 0.41^{b, B}$	$3,613.66 \pm 86.20^{b, B}$
	6	$7.99 \pm 0.27^{b, AB}$	$3,717.98 \pm 252.76^{b, A}$
20	1	$9.07 \pm 0.32^{a, BC}$	$9,023.89 \pm 56.75^{a, B}$
	5	$8.07 \pm 0.31^{b, BC}$	$4,133.83 \pm 328.38^{b, A}$
	6	$7.69 \pm 0.46^{b, B}$	$4,043.35 \pm 155.82^{b, A}$
30	1	$8.72 \pm 0.22^{a, C}$	$11,346.33 \pm 87.13^{a, A}$
	5	$7.56 \pm 0.29^{b, C}$	$4,356.26 \pm 362.64^{b, A}$
	6	$7.48 \pm 0.31^{b, B}$	$4,266.49 \pm 173.16^{b, A}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \le 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \le 0.05$)

ตารางที่ 4.4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (วัน)	**สูตร**	**ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ml)**	**DPPH (µmol TE/ml)**	**ABTS (µmol TE/ml)**
0	1	$0.81 \pm 0.02^{a, A}$	$0.45 \pm 0.00^{a, A}$	$14.33 \pm 0.54^{a, A}$
	5	$0.66 \pm 0.03^{c, A}$	$0.42 \pm 0.00^{b, A}$	$10.28 \pm 0.32^{c, A}$
	6	$0.76 \pm 0.02^{b, A}$	$0.43 \pm 0.01^{b, A}$	$11.88 \pm 0.28^{b, A}$
10	1	$0.74 \pm 0.03^{a, B}$	$0.42 \pm 0.00^{a, B}$	$11.11 \pm 0.50^{a, B}$
	5	$0.60 \pm 0.02^{b, B}$	$0.40 \pm 0.00^{b, B}$	$9.27 \pm 0.49^{b, B}$
	6	$0.63 \pm 0.02^{b, B}$	$0.41 \pm 0.00^{a, B}$	$10.32 \pm 0.54^{a, B}$
20	1	$0.70 \pm 0.02^{a, B}$	$0.40 \pm 0.01^{ns, BC}$	$9.53 \pm 0.15^{a, C}$
	5	$0.47 \pm 0.03^{c, C}$	$0.39 \pm 0.01^{ns, BC}$	$7.64 \pm 0.43^{b, C}$
	6	$0.57 \pm 0.02^{b, C}$	$0.40 \pm 0.01^{ns, B}$	$8.99 \pm 0.39^{a, C}$
30	1	$0.63 \pm 0.03^{a, C}$	$0.38 \pm 0.01^{ns, C}$	$8.49 \pm 0.29^{a, D}$
	5	$0.43 \pm 0.01^{c, C}$	$0.38 \pm 0.00^{ns, C}$	$6.75 \pm 0.16^{b, D}$
	6	$0.50 \pm 0.01^{b, D}$	$0.39 \pm 0.01^{ns, B}$	$5.42 \pm 0.30^{c, D}$

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

- ตัวอักษร$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทุกสภาวะทดลองต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \le 0.05$)
- ตัวอักษร$^{A, B, C, D}$ ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะทดลอง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละสภาวะในทุกช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะทดลองนั้นๆ ($p \le 0.05$)
- ตัวอักษร^{ns} คือ ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (non-significant) ($p > 0.05$)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและค่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณโปรตีนในตัวอย่างจะมีค่าลดลง แต่เอนไซม์ LOX สามารถทำปฏิกิริยากับสับสเตรทได้ดีขึ้นเมื่อเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษา จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.4.4 จะพบว่าตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวในสภาวะควบคุม ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 จะมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.70 mg BSA/ml และจะมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ LOX โดยเฉลี่ยเท่ากับ 7,357.39 units/mg protein เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ครบระยะเวลา 1 เดือน ปริมาณโปรตีนจะลดลงเหลือเพียง 8.72 mg BSA/ml แต่ค่ากิจกรรม

ของเอนไซม์โดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 11,346.33 units/mg protein อาจเป็นไปได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลานาน 1 เดือน มีผลทำให้เอนไซม์ในนมสามารถทำปฏิกิริยากับสับสเตรทได้ดีขึ้น เพราะเมื่อเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษากิจกรรมเอนไซม์ LOX จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \le 0.05$) โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Malekian *et al.* (2000) ที่ได้ทำการศึกษากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (LOX) ในระหว่างการเก็บรักษารำข้าวเป็นเวลานาน 4 เดือน ซึ่งผลที่ได้จะพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้กรดไขมันในรำข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์ LOX กับกรดไขมันมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของนมเอาไว้เป็นระยะเวลานาน มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเน่าเสียจนเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความเป็นกรดด่างในผลิตภัณฑ์ มีส่วนช่วยกระตุ้นการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างกรดไขมัน ออกซิเจน และเอนไซม์ให้ผลิตสารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่างๆ (Barnes and Galliard, 1991) จึงทำให้เอนไซม์ LOX มีค่ากิจกรรมที่เพิ่มขึ้นหลังเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองที่ได้พบว่าตัวอย่างในแต่ละสภาวะทดลอง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ในผลิตภัณฑ์แต่ละสภาวะที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \le 0.05$) แต่ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาเป็น 20 และ 30 วัน ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แต่ละสภาวะที่ได้จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลิตภัณฑ์ในสภาวะควบคุม (ก่อนทำการเก็บรักษา ณ วันที่ 0) จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 mg GAE/ml มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยเฉลี่ยคิดเป็น 0.45, 14.33 µmol TE/ml ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มลดลงเหลือ 0.63 mg GAE/ml, 0.38 µmol TE/ml และ 8.49 µmol TE/ml ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ก่อนนำผลิตภัณฑ์ไปทำการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 0.66 mg GAE/ml มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยเฉลี่ยคิดเป็น 0.42, 10.28 µmol TE/ml ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มลดลงเหลือ 0.43 mg GAE/ml, 0.38 µmol TE/ml และ 6.75 µmol TE/ml ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ก่อนทำการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 0.76 mg GAE/ml มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยเฉลี่ยคิดเป็น 0.43, 11.88 µmol TE/ml ตามลำดับ ซึ่ง

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มลดลงเหลือ 0.50 mg GAE/ml, 0.39 µmol TE/ml และ 5.42 µmol TE/ml ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในแต่ละสภาวะทดลอง จะพบว่าผลิตภัณฑ์ในสภาวะควบคุมเป็นสภาวะการทดลองที่ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แต่เป็นสภาวะการทดลองที่ทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด และผลิตภัณฑ์ในสภาวะการทดลองที่ 6 เป็นสภาวะที่ส่งผลให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุด เนื่องจากวัตถุดิบถูกนำไปผ่านความร้อน อาจส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกในวัตถุดิบให้เกิดการสลายตัว อีกทั้งยังส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุมูลอิสระ โดยการใช้อุณหภูมิสูงมีผลทำให้อนุมูลอิสระเคลื่อนที่ได้รวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพภายในเซลล์ เช่น การทำให้โครงสร้างโปรตีนเสียหาย จึงอาจมีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ (Ghafoor *et al.*, 2019)

เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลของตัวอย่างในสูตรธรรมชาติ จะพบว่าผลิตภัณฑ์ในสูตรนมโอ๊ตจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นที่สูงกว่าตัวอย่างสูตรธรรมชาติในทุกสภาวะทดลอง เนื่องจากในน้ำนมข้าวโอ๊ตอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสารอาหารต่างๆ เช่น ไขมัน วิตามิน ใยอาหาร แร่ธาตุ ฟลาโวนอยด์ ฟีนอลิก โทโคฟีรอล และอะเวนแนนทราไมด์ (Xinping *et al.*, 2022, Yu *et al.*, 2022) อีกทั้งยังเป็นแหล่งโปรตีนที่ให้พลังงานต่อร่างกาย ดังนั้นผลิตภัณฑ์สูตรนมโอ๊ตจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้คุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภคได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ในสูตรธรรมชาติ แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความข้นหนืดมากกว่า และช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาที่จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไม่มากนักช่วงเวลาในการเก็บรักษาจะสั้นกว่าตัวอย่างในสูตรธรรมชาติ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง สภาวะที่ใช้ในเตรียมวัตถุดิบ รวมถึงระยะเวลาในการเก็บรักษา ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลง แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างจะมีความข้นหนืดมากขึ้นและค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเอนไซม์สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันผลิตสารประกอบแอลดีไฮด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วได้มากขึ้น แต่ช่วงเวลาในการเก็บรักษาจะไม่ส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ วิธีการเตรียมวัตถุดิบโดยการนำเมล็ดถั่วเขียวไปแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ก่อนนำไปให้ความร้อน สามารถช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส สามารถยับยั้งการเกิดกลิ่นเหม็นเขียวจากถั่วในผลิตภัณฑ์ได้เพียงบางส่วน เพราะในผลิตภัณฑ์ยังคงมีกลิ่นเหม็นเขียวจากถั่วหลงเหลืออยู่ ในขณะเดียวกันตัวอย่างในสภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นรสที่ดีกว่า อีกทั้งยังมีปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิก และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวทั้งสูตรธรรมชาติและสูตรนมโอ๊ต ควรนำเมล็ดถั่วเขียวไปแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ก่อนนำเมล็ดถั่วเขียวไปนึ่งรวมกับใบเตยสด เพื่อให้วัตถุดิบถั่วเขียวมีกลิ่นหอมของใบเตย และช่วยลดความเข้มของกลิ่นเหม็นเขียวในวัตถุดิบหลักได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคโดยทั่วไปจำนวน 30 คน โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตมากกว่าผลิตภัณฑ์ในสูตรธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ตต่อไป เช่น การเติมเวย์โปรตีน หรือสารสกัดจากพืชบางชนิดที่ให้คุณประโยชน์ต่อร่างกาย ตัวอย่างเช่น สารสกัดจากใบชาเขียว สารสกัดคอลลาเจน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ขวัญใจ แซ่ลิ่ม. 2552. ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของสะตอ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คัดนางค์ ทองสุก. 2542. ถั่วเหลืองอาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารอาหาร.29(3): 212-213.

จุฬาลักษณ์ จารุนุช, วราภรณ์ ประเสริฐ, นิพัฒน์ ลิ้มสุวรรณ และ พิสุทธิ์ บุตรสุวรรณ. 2559. พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญพืชจากถั่วเขียว. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=23305.

เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหานาม. 2554. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา Oxidants and antioxidants: Sources and mechanism. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 1(1): 59-70.

ฐานเศรษฐกิจ. 2566. “นมทางเลือก” คึกคัก รับเทรนด์สุขภาพ “ซิมเพิ้ล ฟู้ดส์” ผวาต้นทุนพุ่ง. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.thansettakij.com/business/marketing/563694.

ณัฐวรรณ แก่นไม้หอม, มนตรา ศรีษะแย้ม, เอกภพ จันทร์สุคนธ์ และ อรุณลักษณ์ โชตินาครินทร์. 2563. การผลิตเครื่องดื่มปลายข้าวกล้องหอมมะลิแดงผสมถั่วเขียวโดยใช้สารให้ความหวานซูคราโลส. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 19(1): 51-60.

ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. 2545. ถั่วเขียว (Mung bean): เอกสารประกอบการสอนวิชาพืชไร่สำคัญของประเทศไทย. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ทิพวรรณ จันทะรักษ์, ศิรินภา คำภู่, อรรณพ ทัศนอุดม และ เฉลิมพล ถนอมวงศ์. 2555. ผลของสารเคมีกลุ่ม GRAS ต่อคุณภาพของเปลือกแตงโมแช่อิ่มอบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 40(4): 1250-1259.

ธีรวีร์ วราธรไพบูลย์. 2557. พฤติกรรมการบริโภค: อาหารนิยมบริโภคกับอาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารปัญญาภิวัฒน์. 5(2): 255-264.

นุชเนตร ตาเย๊ะ และ รอมลี เจะดอเลาะ. 2560. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารฮาลาล: น้ำนมจากถั่วดาวอินคา. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ปณิดา ชัยปัน. 2561. การลดกลิ่นถั่วเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาและการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยบูรพา

พิทักษ์ สิมนาม, ปภาวดี สุธาวรรณ์, ดลปกิต สนสุภาพ, ทิพย์วรินทร์ ริมลำดวน, น้ำฝน สามสาลี, จิระวัลย์ โคตรศักดี และ นิสา ร่มส้มซ่า. 2563. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเมล็ดบัวผสมธัญพืชเพื่อสุขภาพ. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาประยุกต์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ฟาร์มสุขบนดาดฟ้า กับผักปลอดสารพิษ. 2558. โครงสร้างภายในของเมล็ดถั่ว. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.facebook.com/TrexOrganic/photos/a.1470840319810380/1643123375915406/?type=3.

ภัคธีมา สุขพันธ์ 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองเสริมพรีไบโอติกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://core.ac.uk/download/pdf/14978946.pdf.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (ม.ป.ป.). ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://cmuir.cmu.ac.th/bitstream/6653943832/20468/10/enfo31055ks_app.pdf.

รวินิภา ศรีมูล และ ศิริกมล นิยมวรรณ์. 2564. การพัฒนาและทดสอบความใช้ได้ของวิธี Folin-Ciocalteu แบบเซมิไมโครสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดใบรางแดง (*Ventilago denticulata* Willd.). วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 26(1): 378-398.

ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท. 2564. ถั่วเขียวผิวดำพันธุ์ชัยนาท 2. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.doa.go.th/fc/chainat/?p=5556.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2557. งานวิจัยและพัฒนาพันธุ์ถั่วเขียว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=6781.

สถาบันอาหาร. 2565. รายงานตลาดอาหารในประเทศไทย: ตลาดผลิตภัณฑ์นมจากพืช. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://fic.nfi.or.th/upload/market_overview/pdf377.pdf.

สมชาย ประภาวัต. 2523. การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว. เอกสารประกอบการอบรมวิชาชีพประชาชนภาคฤดูร้อน. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรยา รักษ์วงศ์. 2557. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สุธิดา อัครชนียากร, ศิริกุล นิธินาธร และ สิริกร ลิขิตวนิชกุล. 2564. ผลของวิธีการเตรียมถั่วเหลืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง และผลของอุณหภูมิอบแห้ง และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์. 20(1): 137-153.

สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ. 2554. การคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียแลคติกที่สามารถลดกลิ่นถั่วและลดน้ำตาลโอลิโก-แซคคาไรด์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากนมถั่วเหลือง. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยศิลปากร

แสงธรรม ไทยทัตกุล. 2559. การกำจัดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลืองดิบโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับการให้ความร้อน. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยสยาม

อภิญญา นาพรม และ ปาริฉัตร หงสประภาส. 2550. ผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้น. 363-371. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล, จิตธนา แจ่มเมฆ, อรพิน ภูมิภมร และ วุฒิชัย นาครักษา. 2531. คุณสมบัติของสตาร์ชและโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวบางพันธุ์. วารสารวิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์. 22(4): 330-337.

Alhendi, A. S. 2016. Inactivation of lipoxygenase in soymilk and soybean by plulsed light. Doctoral dissertation. Department of Food Science and Human Nutrition. Florida University, USA. [Online]. https://ufdc.ufl.edu/UFE0050266/00001.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official methods of analysis. 16th ed. Gaithersburg. Maryland.

Barnes, P. and Galliard, T. 1991. Rancidity in cereal products. Lipid Technology. 3: 23-28.

Bate, N. J., Sivasankar, S., Moxon, C., Riley, J. M. C., Thompson, J. E. and Rothstein, S. J. 1998. Molecular Characterization of an Arabidopsis Gene Encoding Hydroperoxide Lyase, a Cytochrome P-450 That Is Wound Inducible. Plant Physiology. 117(4): 1393–1400.

Baysal, T. and Demirdoven, A. 2007. Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review. Enzyme and Microbial Technology. 40: 491-496.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem. 72: 248-254.

Campbell, L., Euston, S. R. and Ahmed, M. A. 2016. Effect of addition of thermally modified cowpea protein on sensory acceptability and textural properties of wheat bread and sponge cake. Food Chemistry, 194: 1230-1237.

Chedea, V. S. and Jisaka, M. 2011. Inhibition of Soybean Lipoxygenases-Structural and Activity Models for the Lipoxygenase Isoenzymes Family. Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products. [Online]. Retrieved from: https://www.intechopen.com/pdf-legacy/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fcdn.intechopen.com%2Fpdfs%2F22600.pdf&type=chapter&id=22600.

Ding, Z., Tian, S., Wang, Y., Li, B., Chan, Z., Han, J. and Xu, Y. 2006. Physiological response of loquat fruit to different storage conditions and its storability. Postharvest Biology and Technology. 41: 143-150.

Ediriweera, N. D. 1996. Effect of calcium salt in minimising beany flavor in soymilk. In Buchanan, A. (Ed.). Proceedings of the Second International Soybean Processing and Utilization Conference (pp. 166-170). Bangkok Thailand: Funny Publishing Limited Partnership.

Ganesan, K. and Xu, B. 2018. A critical review on phytochemical profile and health promoting effects of mung bean (*Vigna radiata*). Food Science and Human Wellness. 7(1): 11–33.

Ghafoor, K., Ahmed, I. A. M., Doğu, S., Uslu, N., Fadimu, G. J., Juhaimi, F. A., Babiker, E. E. and Özcan, M. M. 2019. The Effect of Heating Temperature on Total Phenolic Content, Antioxidant Activity, and Phenolic Compounds of Plum and Mahaleb Fruits. International Journal of Food Engineering. 15: 11-12.

Gokmen, V., Bahceci, K., Serpen, A. and Acar, J. 2004. Study of lipoxygenase and peroxidase as blanching indicator enzymes in peas: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 38: 903-908.

Halliwell, B., Aeschbach, R., Loliger, J. and Aruoma, O. I. 1995. The characterization of antioxidants. Food and Chemical Toxicology. 33(7): 601-617.

ICH Guidelines. 2017. Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2(R1). [Online]. http://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1__Guideline.pdf.

Janette, E. P. S. 2005. Development, evaluation and characterization of protein-isoflavone enriched soymilk. The Department of Food Science. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.

Jiang, Z., Pulkkinen, M., Wang, Y., Lampi, A., Stoddard, F. L., Salovaara, H., Piironen, V. and Sontag-Strohm, T. 2016. Faba bean flavor and technological property improvement by thermal pre-treatments. LWT-Food Science and Technology. 68: 295-305.

Kubo, I., Ha, T. J. and Shimizu, K. 2013. Molecular Design of Soybean Lipoxygenase Inhibitors Based on Natural Products. Licensee InTech. 183-197. DOI: 10.5772/52703.

Kudre, T. G. and Benjakul, S. 2013. Effects of binary organic solvents and heating on lipid removal and the reduction of beany odor in Bambara groundnut (*Vigna subterranean*) flour. Food Chemistry. 141: 1390-1397.

Lima, F. S., Kurozawa, L. E. and Ida, E. I. 2014. The effects of soybean soaking on grain properties and isoflavones loss. LWT-Food Science and Technology. 59: 1274-1282. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.032.

Maestri, D. M., Labuckas, D. O. and Guzmán, C. A. 2000. Chemical and physical characteristics of a soybean beverage with improved flavor by addition of ethylenediaminetetraacetic acid. Grasas y Aceites. 51(5): 316-319.

Malekian, F., Rao, R. M., Prinyawiwatkul, W., Marshall, W. E., Windhauser, M. and Ahmedna, M. 2000. Lipase and Lipoxygenase Activity, Functionality, And Nutrient Losses in Rice Bran During Storage. [Online]. https://www.researchgate.net/publication/237244972_Lipase_and_Lipoxygenase_Activity_Functionality_And_Nutrient_Losses_in_Rice_Bran_During_Storage/comments.

Marston, K., Khouryieh, H. and Aramouni, F. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. LWT-Food Science and Technology II. 65: 637-644.

Mubarak, A. E. 2005. Nutritional composition and antinutritional factors of Mung bean seeds (Phaseolus aureus) as affected by some home traditional processes. Food Chemistry. 89(4): 489-495.

Nurhamidah, N., Elvinawati, E., Handayani, D., Ginting, S. M. and Wahyuni, N. 2002. Antipyretic Activity of Ethanol Fraction of Pandan Laut Leaves (*Pandanus odorifer*) against Male Mice (*Mus musculus*) Induced by DPT-HB Vaccine. JKPK (JURNAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA). 7(1): 76-85.

Obaidy, H. M. and Siddhiqui, A. M. 1982. Properties of broad bean lipoxygenase. Journal of Food Science, 46(2): 622-625.

Odu, N. N., Egbo, N. N. and Okonko, I. O. 2012. Assessment of the effect of different preservatives on the shelf-life of soymilk stored at different temperatures. Researcher. 4(6): 62-69. ISSN: 1553-9865.

Oonsiwilai, R., Aunmettaaree, J. and Singthong, C. 2011. Bioactivity and Functional properties of Yanang, Krueo Manoy and Rang Chuet extracts. Doctor of Philosophy (Food Technology). Suranaree University of Technology.

Pardeshi, I. L., Murumkar, R. P. and Tayade, P. T. 2014. Optimization of process for spray drying of soy milk and sprouted soybean milk. Journal of Grain Processing and Storage. 1(1): 13-20. ISSN: 2349-9214.

Rachie, K. O. and Roberts, L. M. 1974. Grain legume of the lowland tropics: Peanuts. Advances in Agronomy. 26: 1-132.

Razak, A. F. A., Hua, T. U., Abdullah, M. S. and Hassan, N. A. 2019. The Effect of Soaking Condition on Mung Bean *Vigna radiata* Towards Water Absorption and Mung Bean Extracted Crude Protein Content. Borneo Journal of Sciences and Technology. 1(2): 9-15.

Riaz, M. N. 1999. Soybeans as functional foods. Cereal Food World. 44(2): 88-92.

Roland, I. S., Le, T. T., Chen, T., Toro, M. A., Nielsen, S. D., Larsen, L. B. and Poulsen, N. A. 2024. Storage Stability of Plant-Based Drinks Related to Proteolysis and Generation of Free Amino Acids. Foods. 13(3): 367.

Shahani. K. M. 1966. Milk Enzymes: Their Role and Significance. Research Papers Department of Dairy Science. University of Nebraska. 907-920.

Shin, D. J., Kim, W. and Kim, Y. 2013. Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed and roasted soy flour. Food Chemistry. 141: 517-523.

Siebert, K. J. 2006. Haze formation in beverages. LWT-Food Science and Technology. 39(9): 987-994.

Surrey, K. 1964. Spectrophotometric method for determination of lipoxidase activity. Plant Physiology. 39: 65-70.

USDA Nutrient database. 2019. Mung beans, mature seeds, raw. [Online]. https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174256/nutrients.

Verdcourt, B. 1970. Studies in the Leguminosae-Papilionoïdeae for the 'Flora of Tropical East Africa': IV. Kew Bulletin. 24(1): 507-567.

Vijayvaragiya, R. R. and Pai, J. S. 1991. Lowering of lipoxygenase activity in soy milk preparation by propyl gallate. Food Chemistry. 41(1): 63-67.

Xinping, L., Linyue, Z., Yonghui, Y., Jingjie, Z., Jing, W. and Baoguo, S. 2022. The potential functions and mechanisms of oat on cancer prevention: A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 70(46): 14588-14599.

Wilkens, W. F., Mattick, L. R. and Hand, D. B. 1967. Effect of processing method on oxidative off-flavour of soybean milk. Food Technology. 21(12): 86-89.

Yingngam, B., Monschein, M. and Brantner, A. 2014. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Cratoxylum formosum* ssp. *formosum* leaves using central composite design and evaluation of its protective ability against H_2O_2 induced cell death. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine. 7(1): 497-505.

Yu, Y., Li, X., Zhang, J., Li, X., Wang, J. and Sun, B. 2023. Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. Food Chemistry: X. 19: 100859.

Yu, Y., Zhou, L., Li, X., Liu, J., Li, H., Gong, L. and Sun, B. 2022. The progress of nomenclature, structure, metabolism and bioactivities of oat novel phytochemical: Avenanthramides. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 70(2): 446-457.

Yuan, S. and Chang, S. K. 2007. Selected odor compounds in soymilk as affected by chemical composition and lipoxygenases in five soybean materials. J Agric Food Chem. 55(2): 426-431.

Ziegler, V., Veeck, I. A., Ugalde, M. L., Lang, G. H., Hoffmann, J. F., Santos, A. C. M., Postingher, M. E., Rossi, R. C. and Ferreira, C. D. 2020. Effects of storage period and temperature on the technological properties, starch digestibility, and phenolic compounds of mung beans (*Vigna radiata* L.). Journal of Stored Products Research. 89: 101694.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

ภาคผนวก ก.1 การวัดค่าสีด้วยเครื่อง HunterLab รุ่น MiniScan EZ 45/0 (LAV)

1) ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate ทั้งสีขาว และสีดำ แล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาว และค่าสีดำของแผ่นสำหรับ Calibrate เอาไว้
2) นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง ทำการวัดสีในระบบ CIE LAB Color Space บันทึกค่าที่ได้ ประกอบด้วยตัวแปรค่าสี 3 ค่า คือ ค่าสี *L** *a** และ *b** โดยที่

    - ค่าสี *L** บ่งบอกถึงค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว)
    - ค่าสี *a** บ่งบอกถึงสีแดงและสีเขียว เมื่อ *a** มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีแดง แต่ถ้า *a** มีค่าลบ ให้ค่าสีทางเขียว
    - ค่าสี *b** บ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อ *b** มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีเหลือง แต่ถ้า *b** มีค่าลบให้ค่าทางสีน้ำเงิน

3) ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ (วัดค่าสีจากตัวอย่างขวดที่ 1 วัดค่าสีจากตัวอย่างขวดที่ 2 และวัดค่าสีจากตัวอย่างผสมระหว่างขวดที่ 1 ผสมกับตัวอย่างขวดที่ 2) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสีที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในแต่ละสภาวะทดลองตามลำดับ

ภาคผนวก ก.2 การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น DV2T ดัดแปลงจาก นุชเนตร และรอมลี (2560)

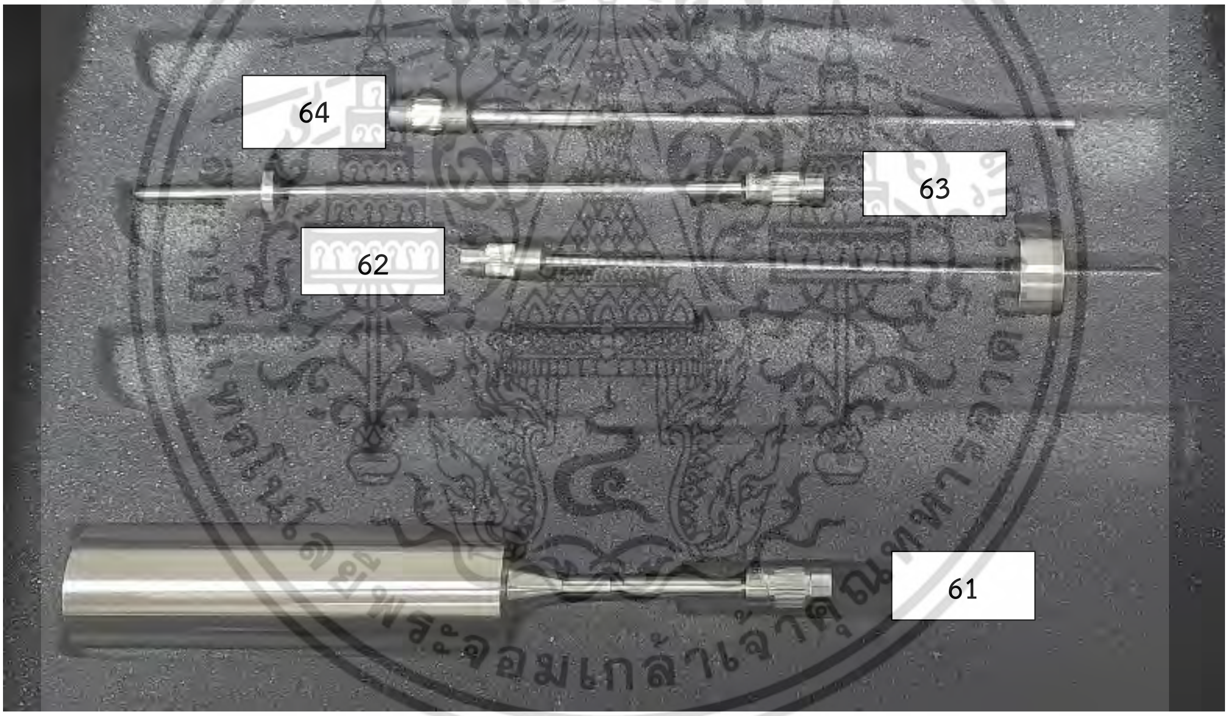
วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ตรา Model DV1 MLVT “Brookfield”
2. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. เทตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิประมาณ 4 ± 1 °C ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างมาวัดค่าความหนืด โดยทำตามขั้นตอนดังนี้
    - ➢ ประกอบเครื่องกับอุปกรณ์ต่างๆ ให้เรียบร้อย
    - ➢ ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่ในวงกลม โดยการปรับที่ขาตั้งของฐาน
    - ➢ เปิดสวิทช์ Power On ด้านหลังเครื่อง

- หน้าจอค้างที่ Remove Spindle and Level หากใส่เข็มอยู่ให้ถอดเข็มออกก่อน
- ตรวจเช็คระดับน้ำให้อยู่ในวงกลมสีดำ กดปุ่ม NEXT
- หน้าจอค้างที่ Replace Spindle
- หากทราบเบอร์เข็มอยู่แล้ว สามารถใส่เข็มที่ต้องการใช้วัดได้เลย หรือกด NEXT
- เข้าสู่หน้าจอการใช้งานหลัก
- ใส่เข็ม (Spindle) โดยยกแกนที่อยู่กับเครื่องขึ้น นำเข็มใส่หมุนตามเข็มนาฬิกา จุ่มเข็มลงในตัวอย่างจนถึงรอย Mark (ถ้าเข็มเป็น Disc Spindle ให้เอียงเข็มทำมุม 45 องศา จุ่มลงในตัวอย่าง แล้วใส่เข็มติดกับเครื่อง) และระวังอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ใต้ Disc Spindle
- กดปุ่ม SPINDLE เลือกเลขรหัสของเข็มกด SELECT เพื่อยืนยัน
- กดปุ่ม SPEED เลือกความเร็วรอบโดยใช้ลูกศรกดเลือกกด SELECT เพื่อยืนยัน
- กดปุ่ม MOTOR เพื่อให้เครื่องเริ่มทำงาน



รูปที่ ก.1 เข็มวัดความหนืด (Spindle) รหัส 61, 62, 63 และ 64

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford ดัดแปลงจาก Bradford (1976)

การเตรียมสาร Bradford reagent

ทำละลายสาร Bio-Rad Protein Assay Dye Reagent Concentrate (CTI) (นำมาตั้งพักทิ้งไว้ให้สารละลายมีอุณหภูมิเทียบเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้งาน) ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 48 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำสารละลายมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บได้นาน 2 สัปดาห์

การเตรียมกราฟมาตรฐานโปรตีน

เตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยชั่งสาร BSA (Bovine Serum Albumin) มา 0.010 กรัม ปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

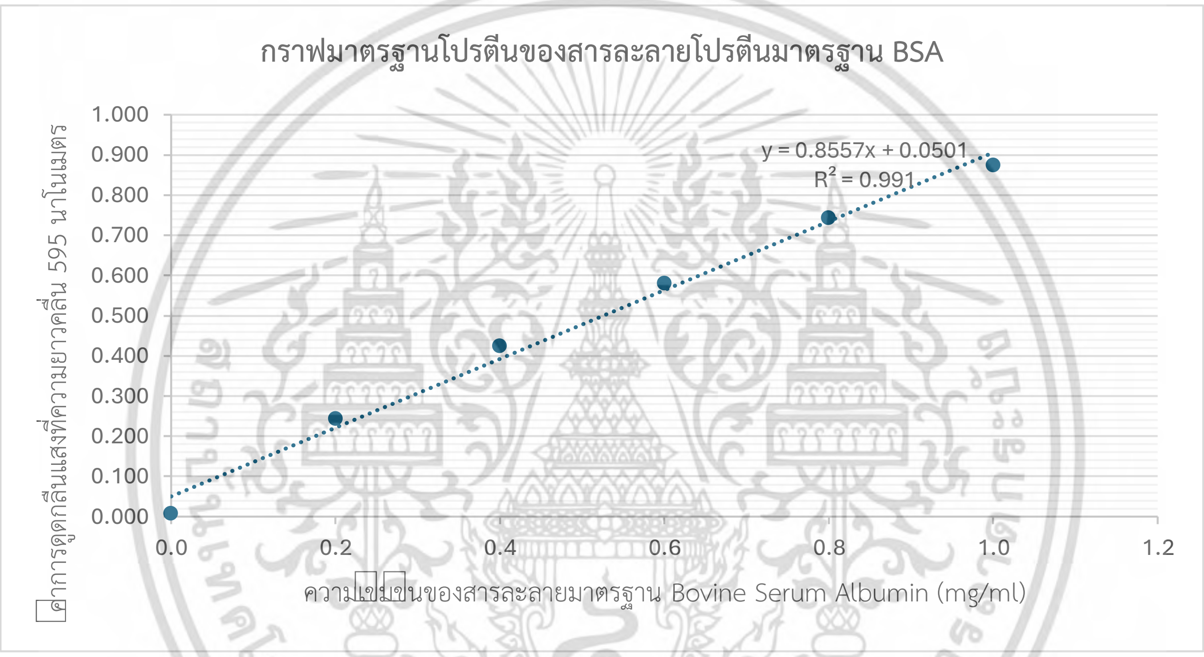
นำตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 5000 RPM นาน 30 นาทีก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:9 (ปริมาตรตัวอย่าง 2.5 ไมโครลิตร ต่อน้ำกลั่นปริมาตร 22.5 ไมโครลิตร) จากนั้นเติมสารละลาย Bradford reagent ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้สารละลายเข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง เทียบจากกราฟมาตรฐานปริมาณโปรตีนของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA) ในช่วงความเข้มข้นจาก 0 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ ข.1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

BSA Conc. (mg/ml)	Std.BSA 1 mg/ml (µL)	น้ำกลั่น (µL)	Bradford reagent (µL)	OD 595 nm
0.0	0	25	1200	0.007
0.2	5	20	1200	0.242
0.4	10	15	1200	0.423
0.6	15	10	1200	0.580
0.8	20	5	1200	0.743
1.0	25	0	1200	0.873

ตารางที่ ข.1.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม ที่ทำการเจือจางเป็น 1:9 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)

Vol. Sample (µL)	น้ำกลั่น (µL)	Bradford reagent (µL)	OD 595 nm
2.5	22.5	1200	0.850
2.5	22.5	1200	0.831
2.5	22.5	1200	0.844



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานปริมาณโปรตีนของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA)

สูตรการคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{mg BSA/ml} \quad = \quad \left(\frac{OD595-c}{m}\right) * dilution$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีน (BSA) y=mx+c

ค่า m คือค่าความชันของกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA)

ตารางที่ ข.1.3 แสดงค่าปริมาณโปรตีนที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีน

	ซ้ำที่ 1	**ซ้ำที่ 2**	**ซ้ำที่ 3**	**ค่าเฉลี่ย (mg BSA /ml)**
mg BSA/ml	9.35	9.13	9.28	9.25

ภาคผนวก ข.2 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase จากงานวิจัยของ Gokmen *et al*. (2004) และ Ding *et al*. (2006)

วิธีการสกัดเอนไซม์ในตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างเครื่องดื่มปริมาตร 20 มิลลิลิตร มาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที เมื่อครบเวลาเทส่วนใสที่ได้ใส่ในขวดแก้วใส เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไว้ใช้สำหรับการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ต่อไป การวิเคราะห์ให้ทำการเจือจางสารสกัดเอนไซม์ด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:9 ใช้ปริมาตรสารสกัดเอนไซม์ตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 18 มิลลิลิตร

บัฟเฟอร์สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase

บัฟเฟอร์ที่ใช้คือ 0.1 M Phosphate buffer pH 6.0 เตรียมโดยชั่ง Sodium dihydrogen orthophosphate จำนวน 7.35 กรัม และชั่ง di-Sodium hydrogen orthophosphate จำนวน 0.425 กรัม ทำละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 400 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นปรับให้สารละลายมีค่า pH เป็น 6.0 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

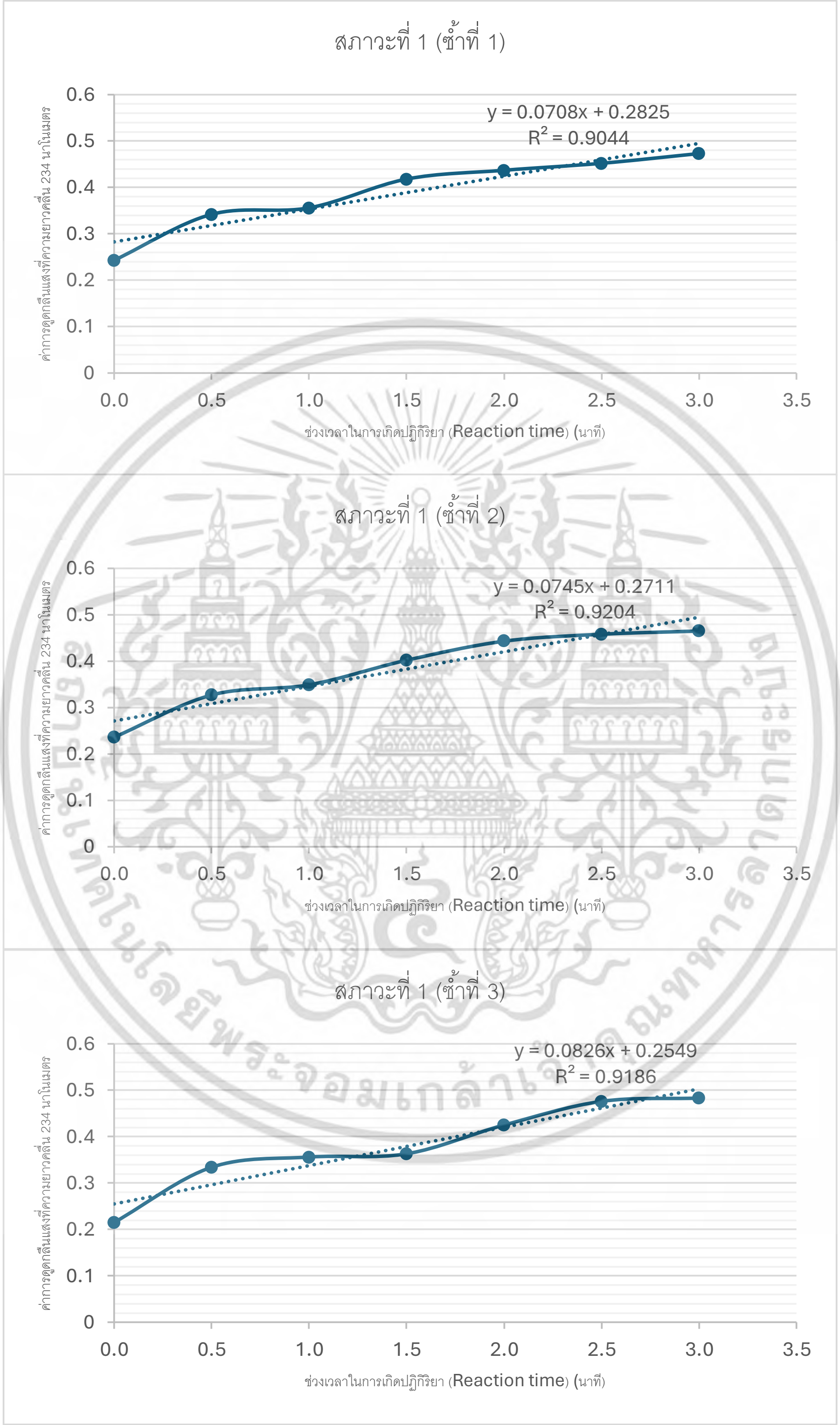
สารละลายสับสเตรทสำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase

เตรียมโดยปิเปต linoleic acid ปริมาตร 20 ไมโครลิตร และ Tween 20 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร คนผสมให้เข้ากัน ปิเปตสารละลาย 1 นอร์มอล Sodium hydroxide ปริมาตร 125 ไมโครลิตร คนผสมให้สารละลายเข้ากันอีกครั้ง จะได้สารละลายใส จากนั้นเติมบัฟเฟอร์สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ปริมาตร 20 มิลลิลิตร คนผสมให้สารละลายเข้ากัน แล้วนำไปปรับให้สารละลายมีค่า pH เป็น 6.0 ก่อนนำมาปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ด้วยบัฟเฟอร์สำหรับวิเคราะห์ Lipoxygenase ตามลำดับ

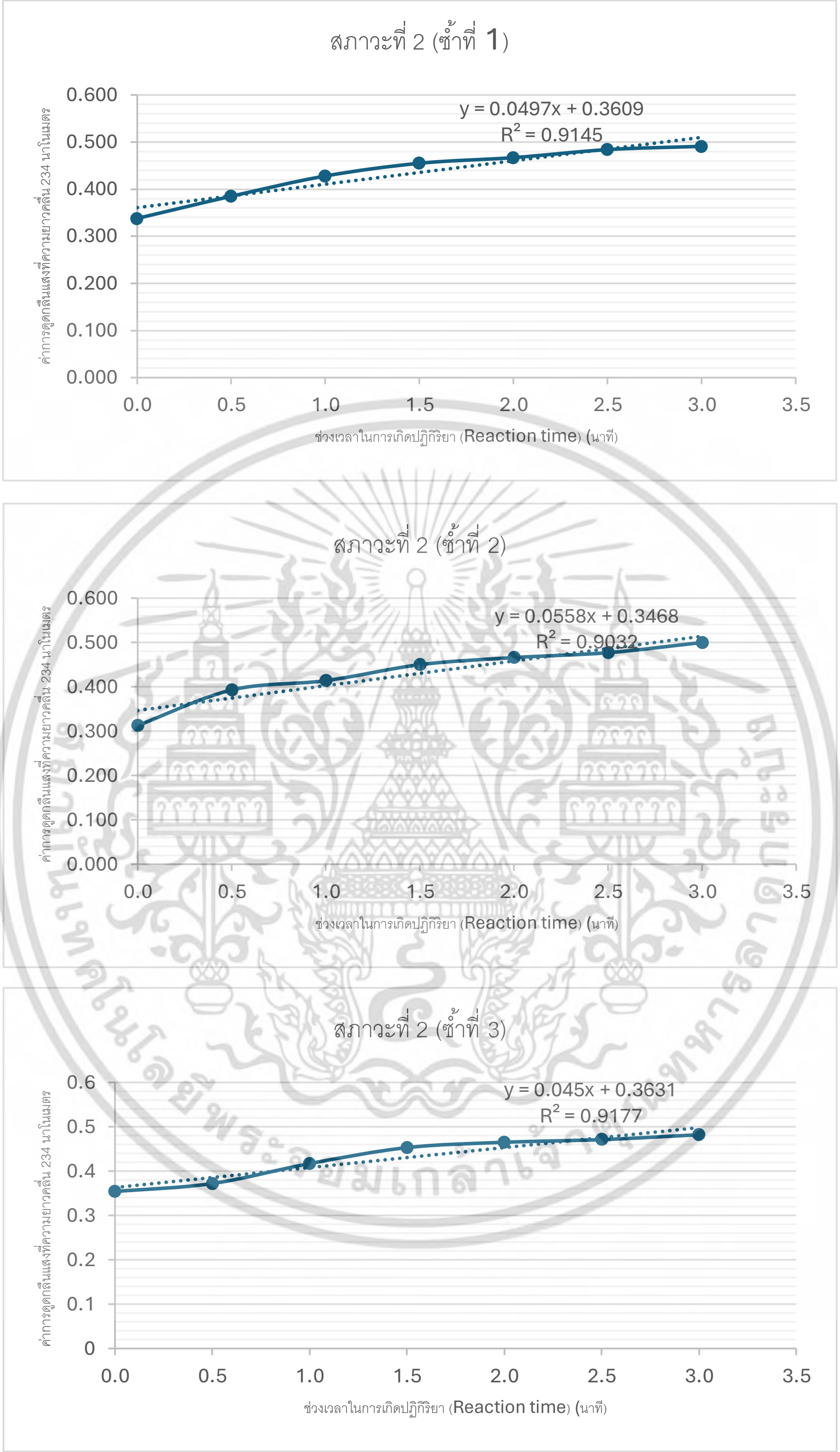
วิธีวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase

ปิเปตสารละลายสับสเตรทสำหรับวิเคราะห์ Lipoxygenase ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ลงในคิวเวตต์ (Quartz Cuvette) จากนั้นเติมตัวอย่างส่วนใสที่เจือจาง 10 เท่าปริมาตร 10 ไมโครลิตร เขย่าผสมให้สารละลายเข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร อ่านและจดบันทึกค่าทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลานาน 5 นาที โดย Blank ที่ใช้คือ สารสับสเตรทสำหรับวิเคราะห์ Lipoxygenase ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 10 ไมโครลิตร

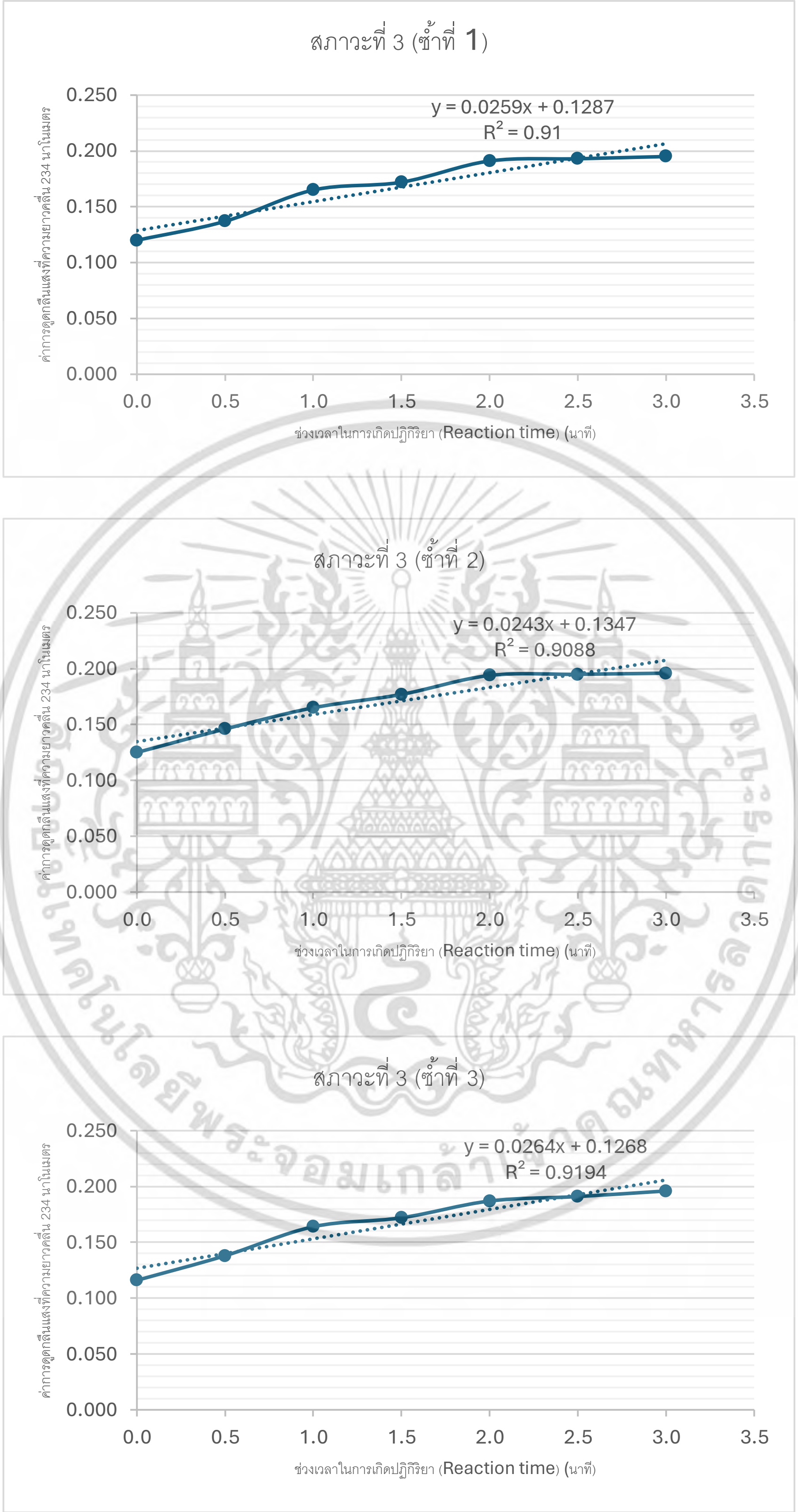
ภาพประกอบการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ



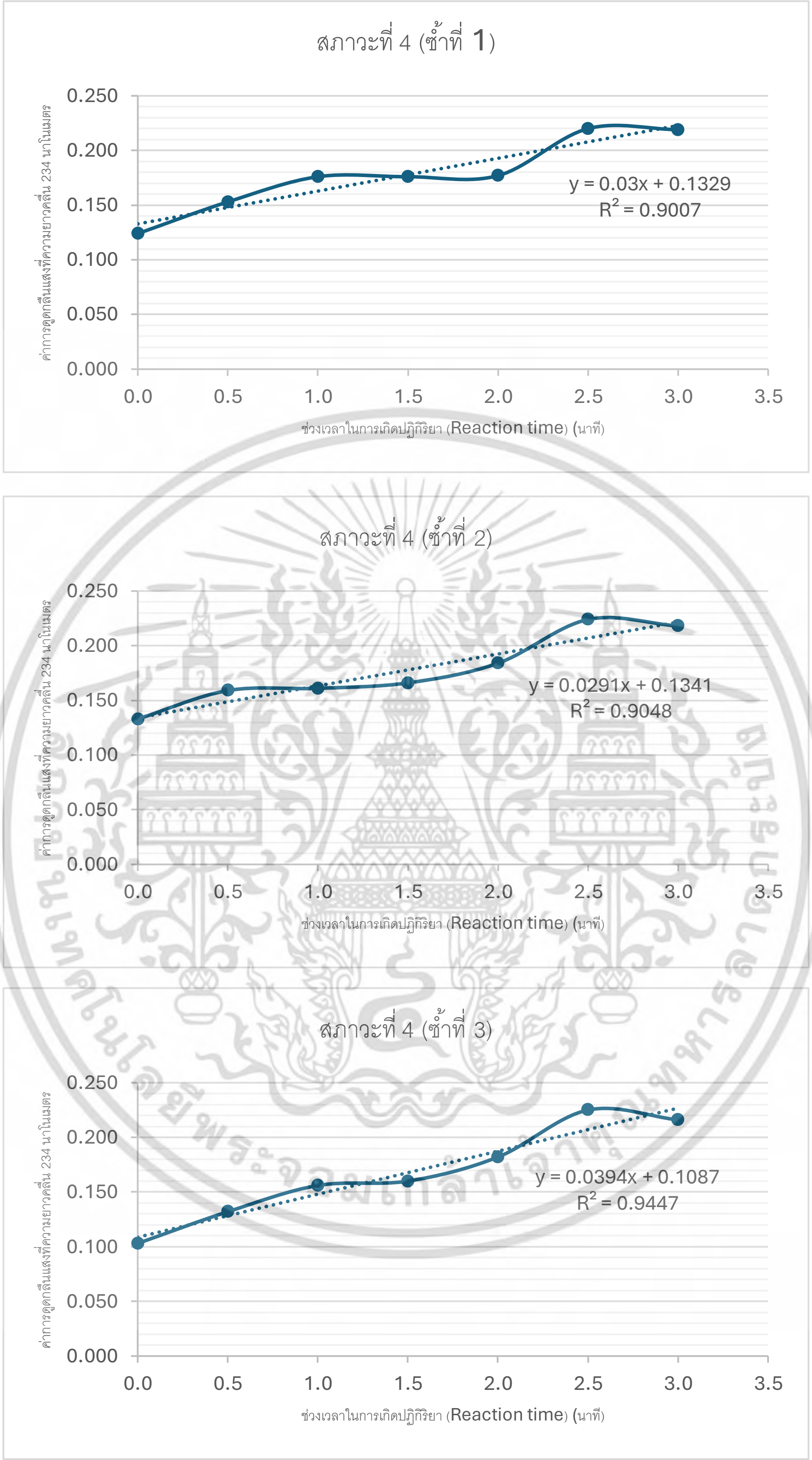
รูปที่ ข.2.1 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 1 (ควบคุม) ทั้ง 3 ซ้ำ



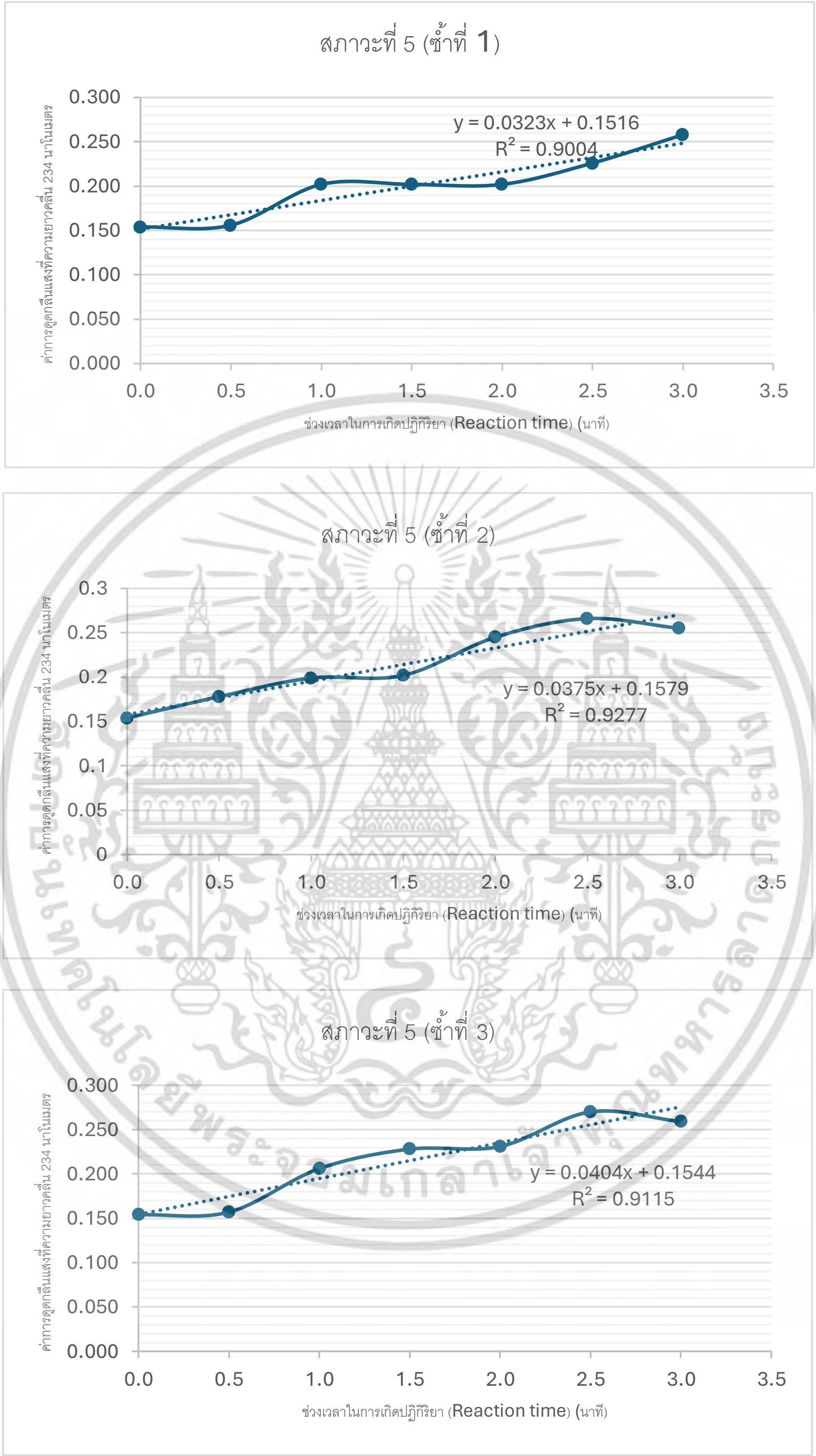
รูปที่ ข.2.2 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ



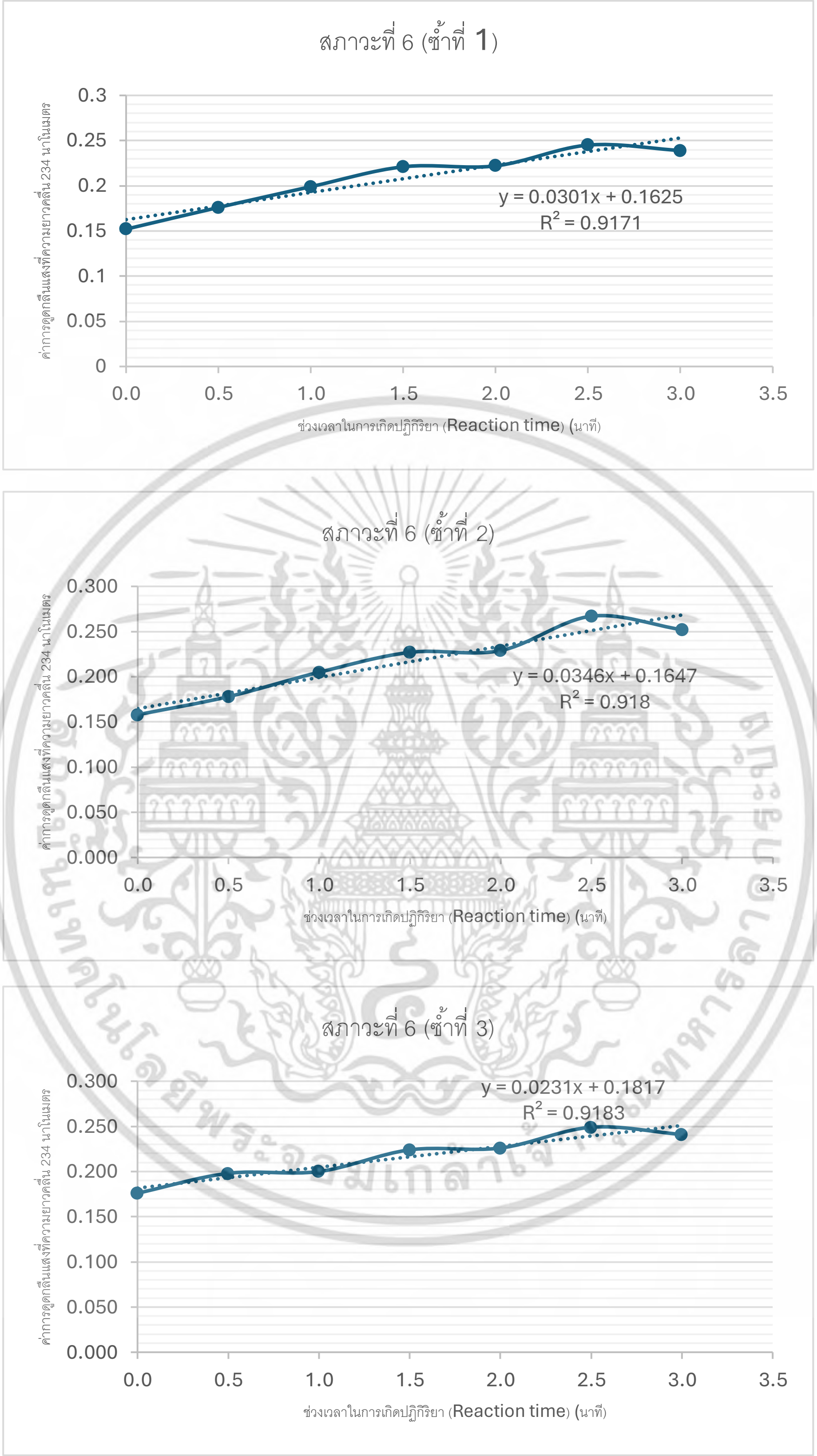
รูปที่ ข.2.3 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) 3 ซ้ำ



รูปที่ ข.2.4 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ

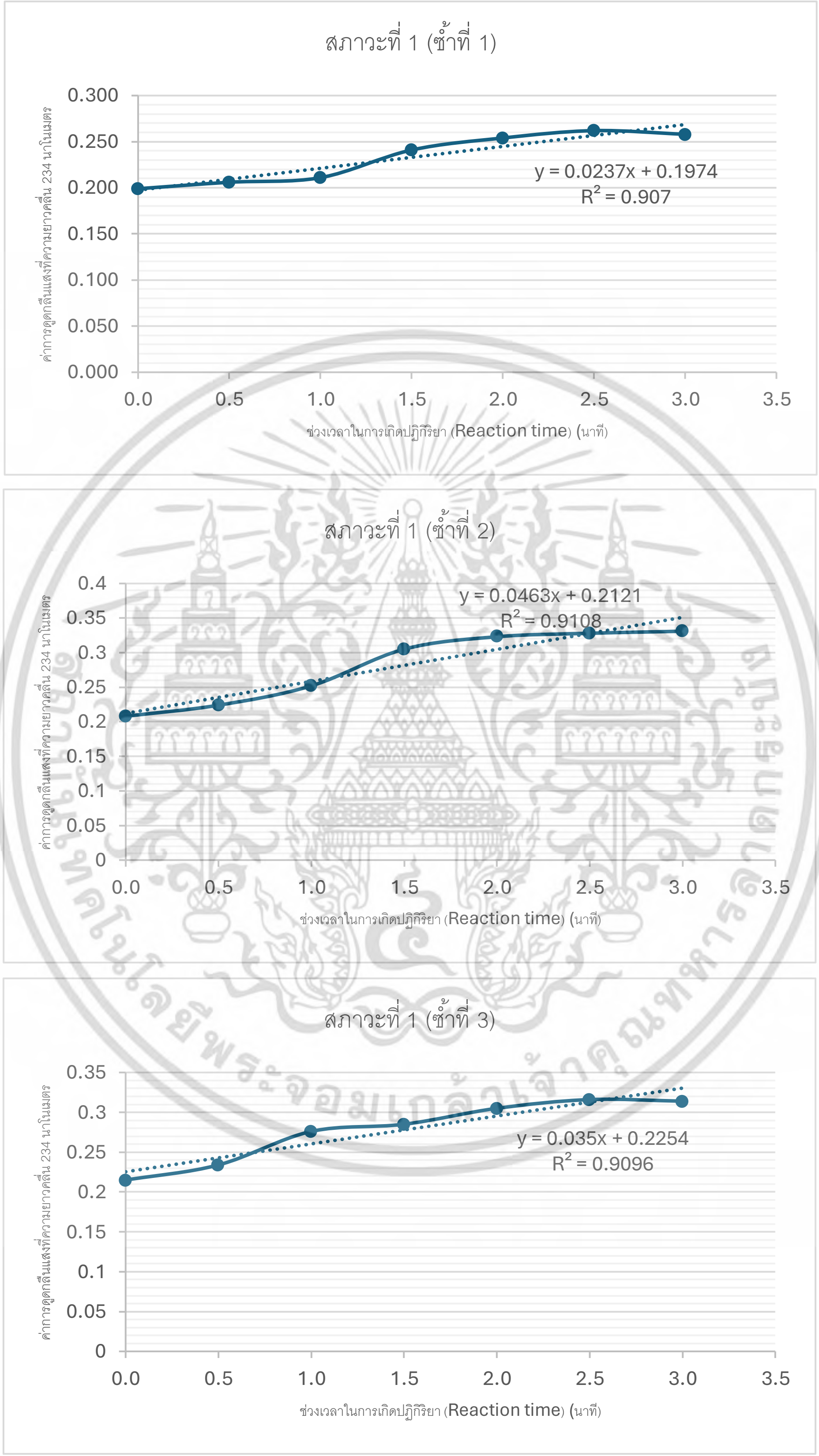


รูปที่ ข.2.5 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ

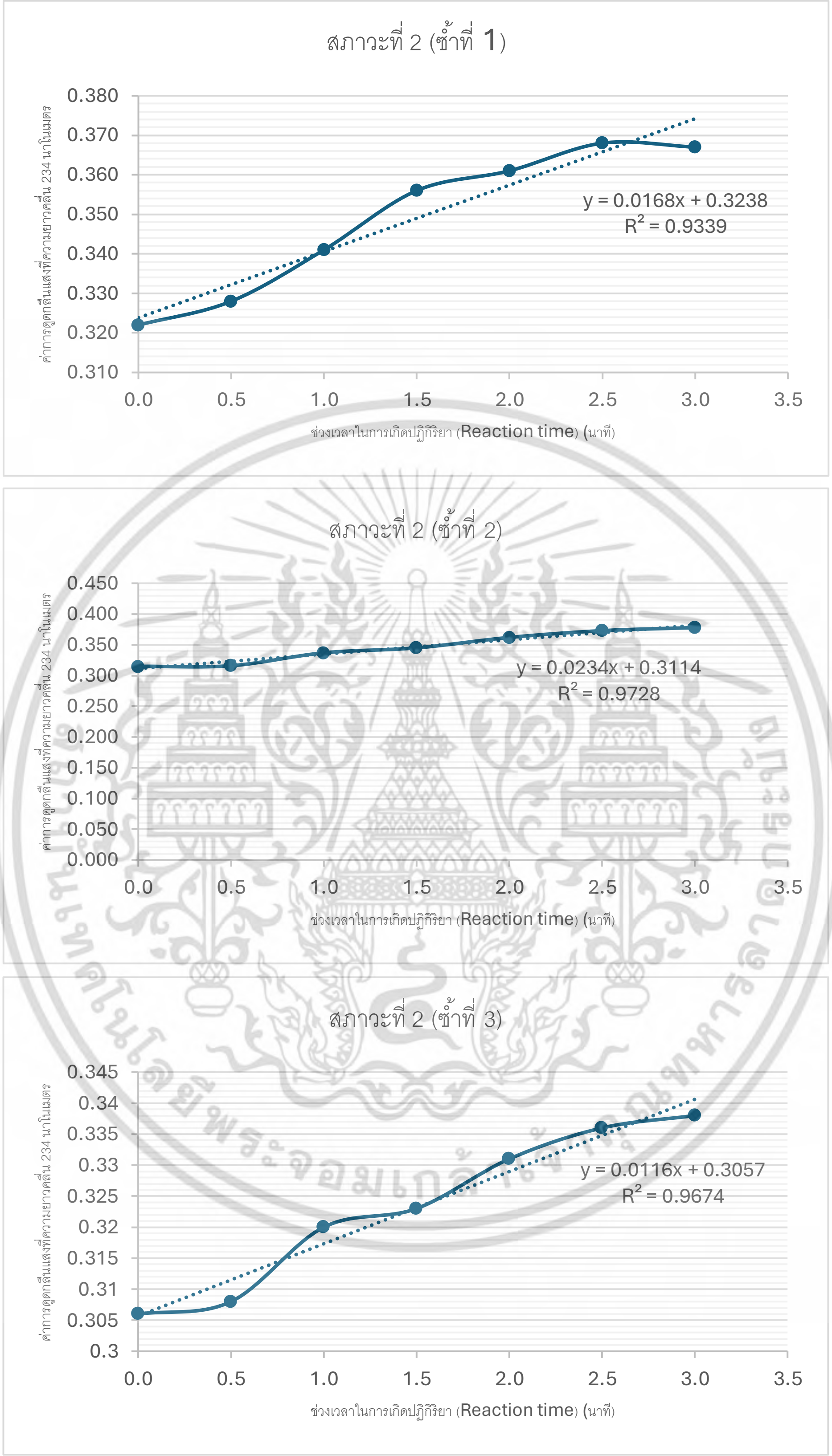


รูปที่ ข.2.6 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรธรรมชาติ สภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ

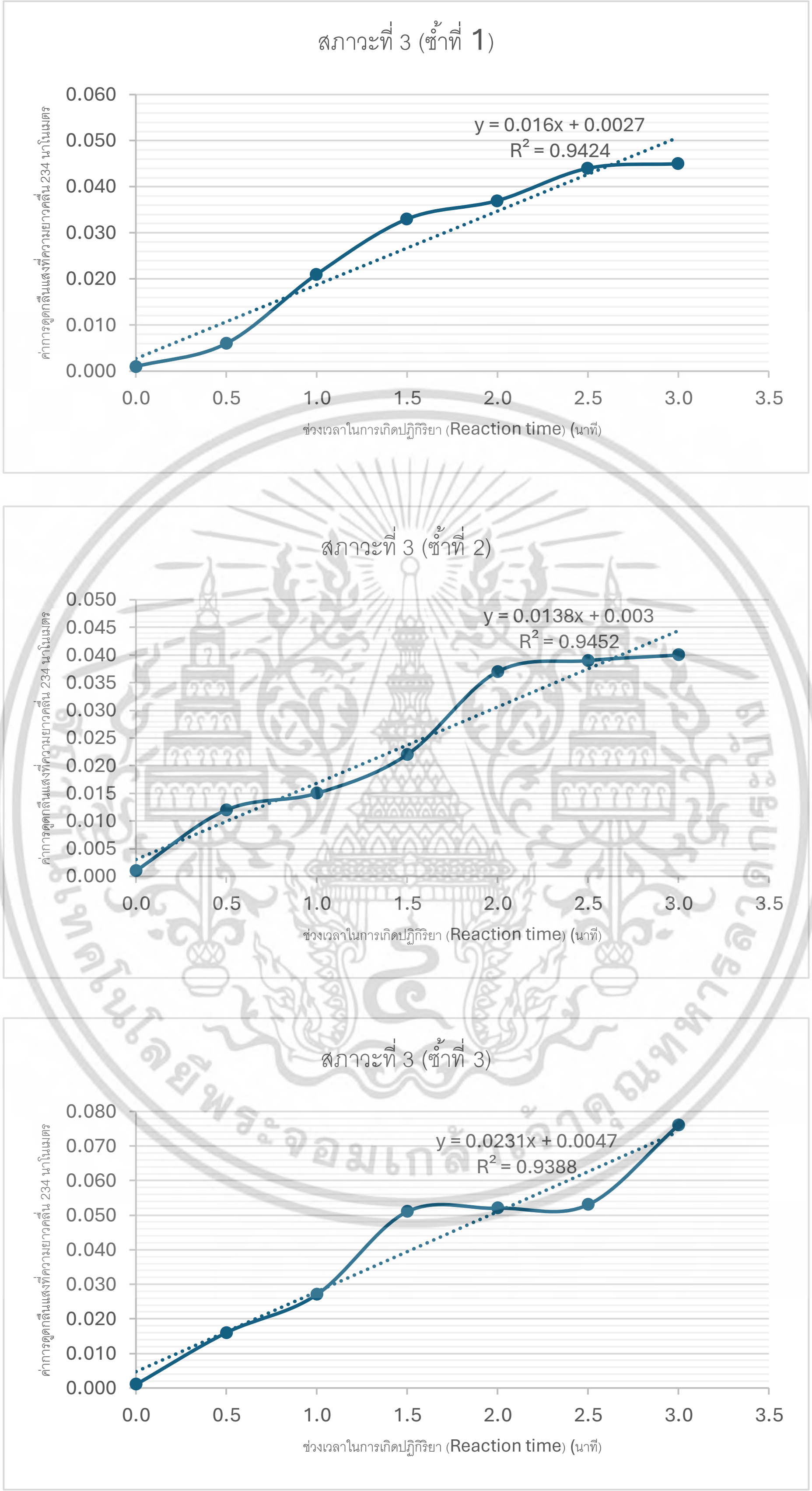
ภาพประกอบการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต



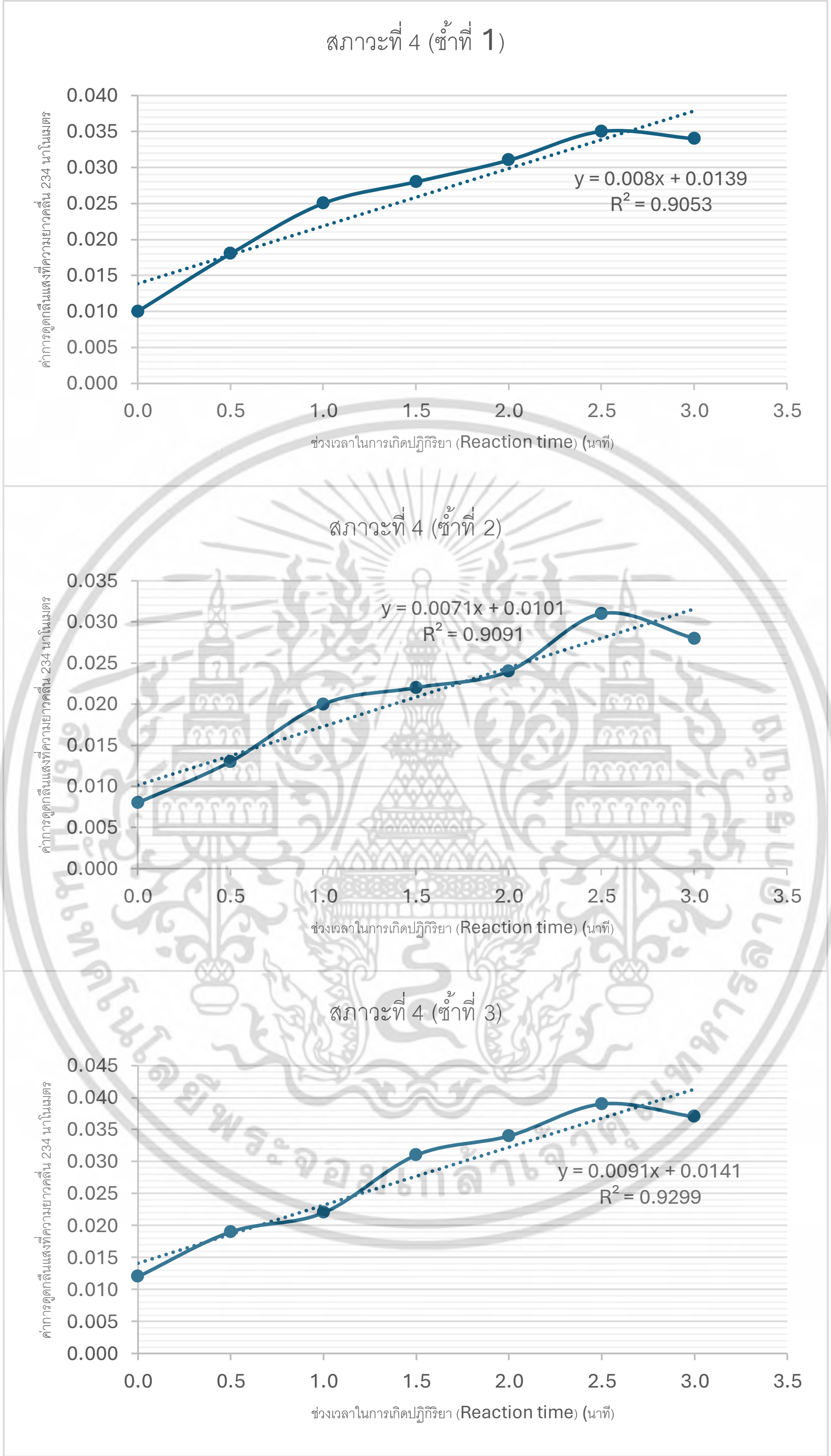
รูปที่ ข.2.7 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 1 (ควบคุม) ทั้ง 3 ซ้ำ



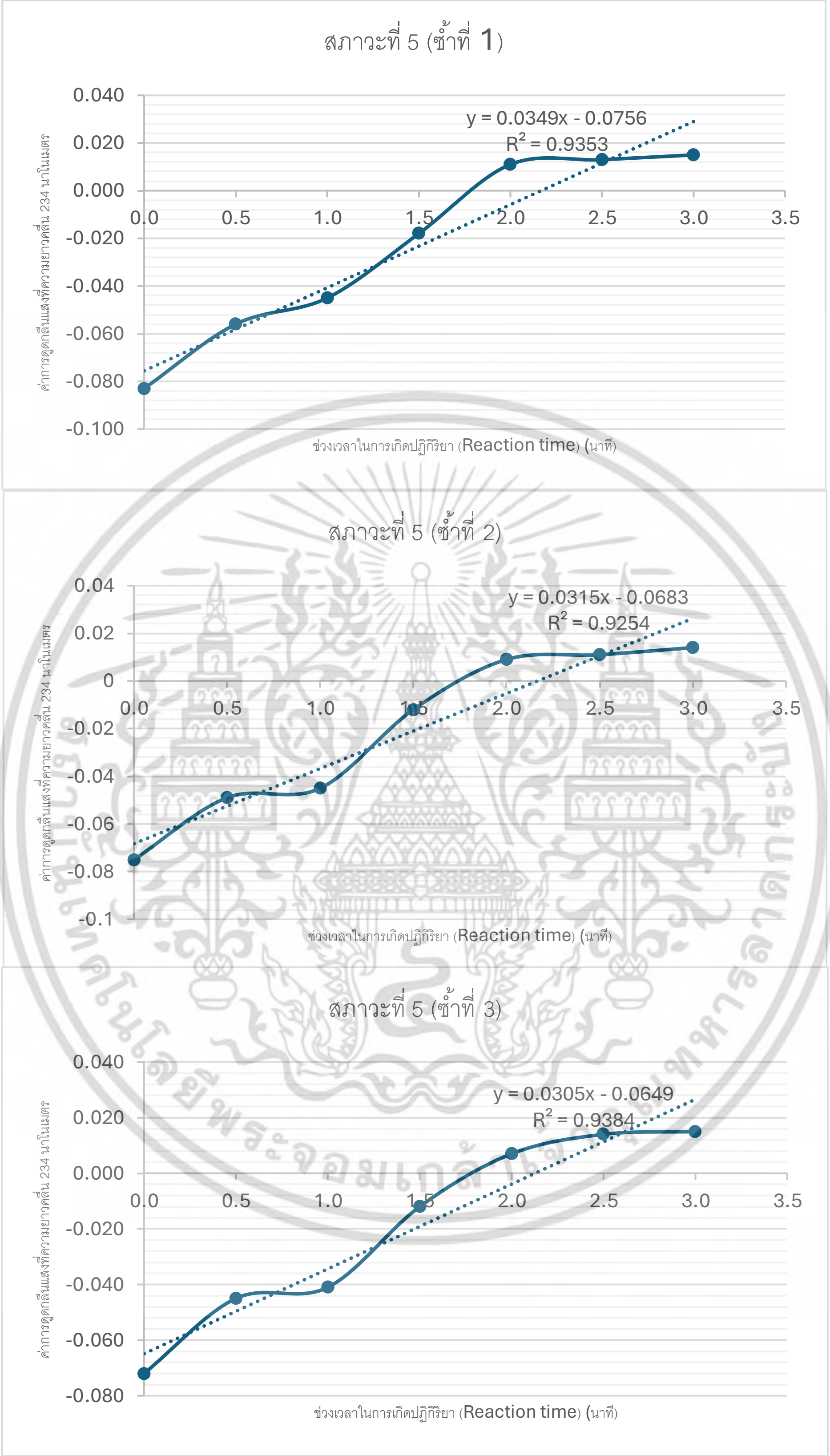
รูปที่ ข.2.8 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 2 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ



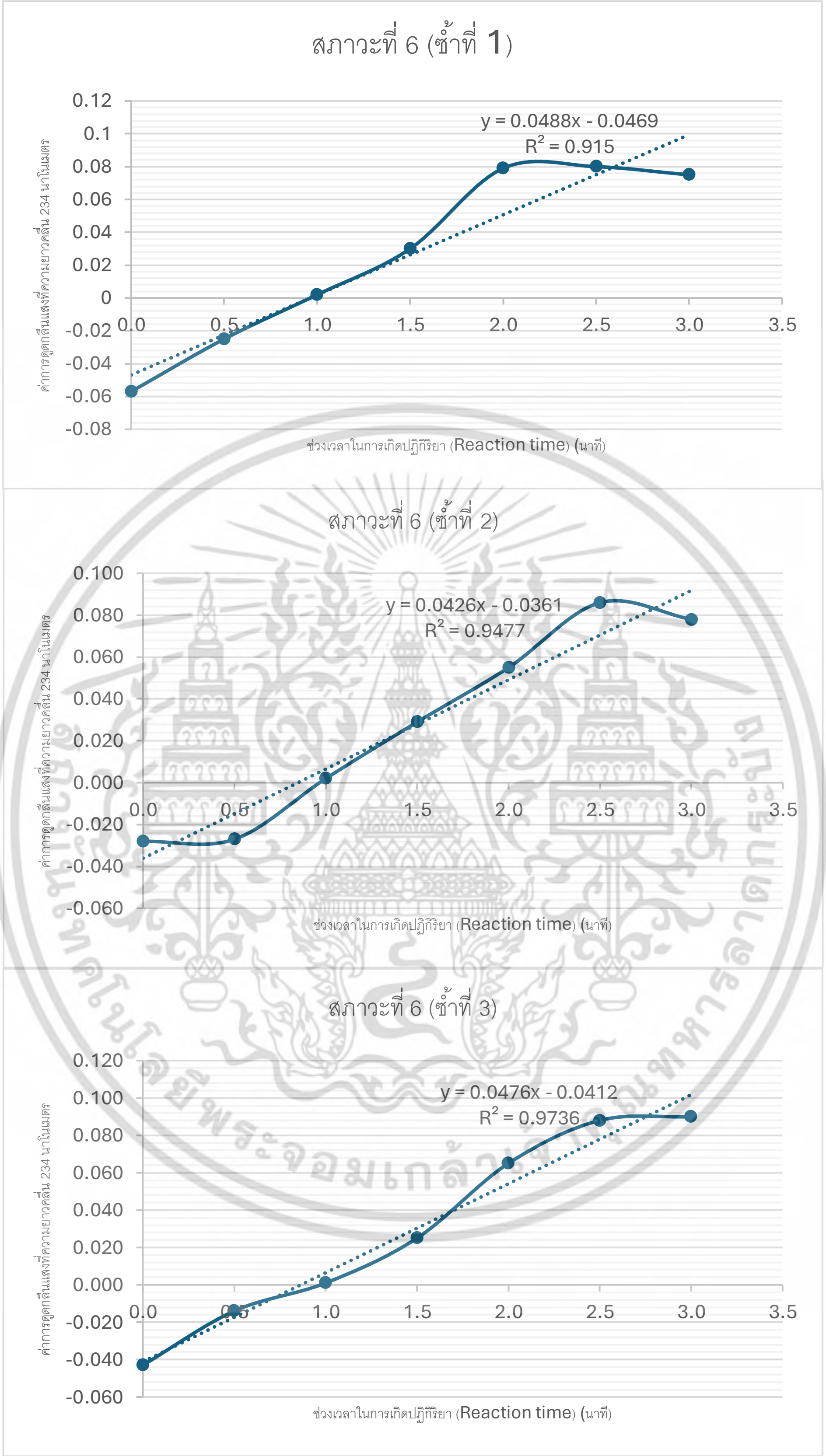
รูปที่ ข.2.9 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 3 (การใช้ความร้อน) ทั้ง 3 ซ้ำ



รูปที่ ข.2.10 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 4 (การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ



รูปที่ ข.2.11 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 5 (การนึ่งให้ความร้อนร่วมกับใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ



รูปที่ ข.2.12 กราฟแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในตัวอย่างสูตรนมโอ๊ต สภาวะที่ 6 (การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับการนึ่งให้ความร้อนด้วยใบเตย) ในตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ

ภาคผนวก ข.3 การวิเคราะปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-ciocalteu’s phenol reagent

ดัดแปลงวิธีจาก ICH Guideline (2017)

การเตรียมสารเคมี

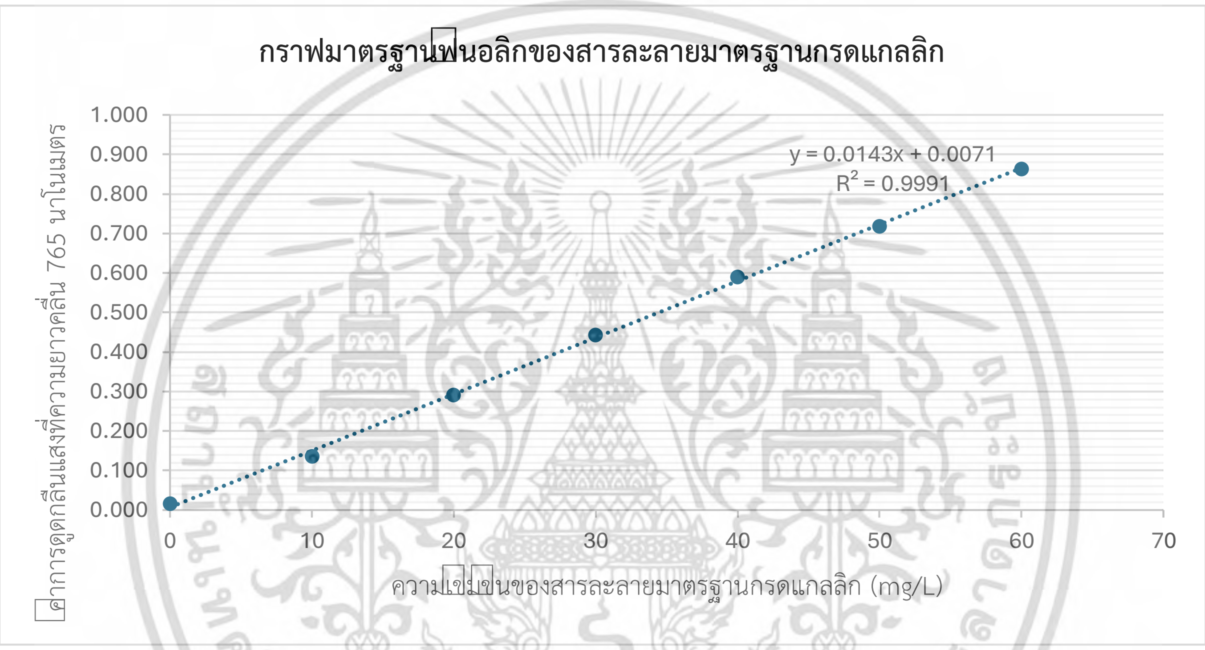
1) สารโฟลินความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร (20% v/v Folin-Ciocalteau reagent) นำสารละลายโฟลินมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 20 โดยปริมาตร เช่น หากต้องการเตรียมสารละลายโฟลินให้มีปริมาตรสุทธิเป็น 25 มิลลิลิตร ต้องปิเปตสารละลายโฟลินปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นต้น และต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้งาน ไม่สามารถเก็บไว้ใช้งานต่อได้
2) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 3.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (3.75% w/v) ชั่ง Na_2CO_3 anhydrous มา 1.875 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร
3) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.0125 กรัม ละลายในละลายในเอทานอลบริสุทธิ์และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ละลายในเอทานอลบริสุทธิ์ และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร
4) ทำการเจือจางสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้นเป็น 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ ข.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่าง

Gallic Conc. (mg/L)	Std.Gallic 100 (µL)	น้ำกลั่น (µL)	20% Folin (µL)	3.75% Na_2CO_3 (µL)	OD 765 nm
0	0	300	750	300	0.016
10	30	270	750	300	0.135
20	60	240	750	300	0.290
30	90	210	750	300	0.443
40	120	180	750	300	0.590
50	150	150	750	300	0.718
60	180	120	750	300	0.863

ตารางที่ ข.3.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)

Vol. Sample (μL)	น้ำกลั่น (μL)	20% Folin (μL)	3.75% Na_2CO_3 (μL)	OD 765 nm
20	280	750	300	0.800
20	280	750	300	0.760
20	280	750	300	0.786



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

สูตรการคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

$$\text{mg GAE/ml} = \frac{\left(\frac{OD765-c}{m}\right)}{1000} * dilution$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก y=mx+c

ค่า m คือค่าความชันของกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ข.3.3 แสดงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่คำนวณได้จากสมการเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

mg GAE/ml	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย (mg GAE/ml)
	0.832	0.790	0.817	0.81

ภาคผนวก ข.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity assay) ดัดแปลงจาก Yingngam *et al*. (2014)

การเตรียมสารเคมี

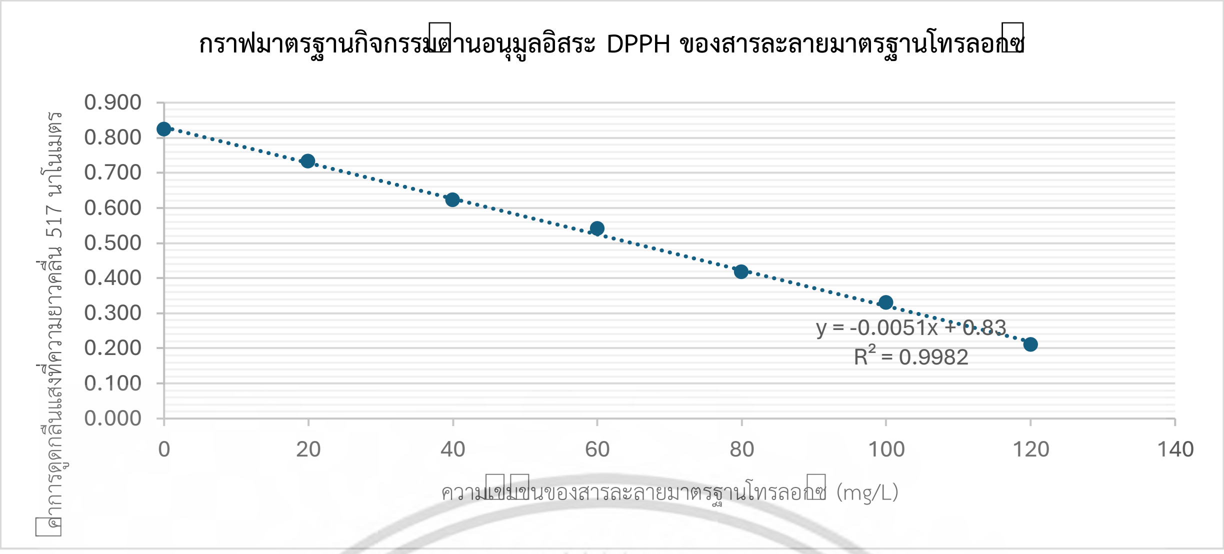
1) สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ (DPPH 0.1 mM) เตรียมโดยการชั่ง DPPH 0.0039 กรัม ละลายในเอทานอลบริสุทธิ์แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (ค่าการดูดกลืนแสงควรอยู่ในช่วง 0.80 ถึง 0.85)
2) เตรียมสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสาร Trolox 0.005 กรัม ละลายในเอทานอลบริสุทธิ์และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเป็น 0, 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ ข.4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง

Trolox Conc. (mg/L)	Std.Trolox 200 mg/L (µL)	น้ำกลั่น (µL)	0.1 mM DPPH (µL)	OD 517 nm
0	0	40	1200	0.823
20	4	36	1200	0.732
40	8	32	1200	0.621
60	12	28	1200	0.540
80	16	24	1200	0.417
100	20	20	1200	0.329
120	24	16	1200	0.209

ตารางที่ ข.4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)

Vol. Sample (µL)	0.1 mM DPPH (µL)	OD 517 nm
40	1200	0.245
40	1200	0.254
40	1200	0.254



รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์

สูตรการคำนวณหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

$$\text{mg TE/ml} = \frac{\left(\frac{OD517-c}{m}\right)}{1000} * dilution$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ y=mx+c

ค่า m คือค่าความชันของกราฟมาตรฐานการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารละลายโทรลอกซ์

ตัวอย่างการคำนวณ หาค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม ซ้ำที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.245 เมื่อแทนค่าลงในสูตรการคำนวณหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 0.115 mg TE/ml จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้มาทำการเปลี่ยนหน่วยให้เป็น μmol TE/ml (โดยที่ Trolox 1 โมล หรือ 10^6 ไมโครโมล (μmol) จะมีค่าน้ำหนักโดยมวลเท่ากับ 250.29 กรัม)

จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์จะได้ว่า Trolox 1 μmol จะมีค่าน้ำหนักโดยมวลคิดเป็น $\frac{250.29*1}{10^6}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.00025029 กรัม หรือ 0.25029 มิลลิกรัม

เมื่อ Trolox 1 μmol มีค่าน้ำหนักโดยมวลเท่ากับ 0.25029 มิลลิกรัม จะได้ว่า 0.115 mg TE/ml จะมีค่าเท่ากับ $\frac{0.115\ (\frac{mg}{ml})}{0.25029\ (mg)} * 1\ (\mu mol)$ = 0.458 หรือประมาณ 0.46 μmol TE/ml

ตารางที่ ข.4.3 แสดงค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

μmol TE/ml	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย (μmol TE/ml)
	0.46	0.45	0.45	0.45

ภาคผนวก ข.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2’-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) diammonium salt (ABTS) ดัดแปลงจาก Oonsiwilai *et al*. (2011)

การเตรียมสารละลาย ABTS$^+$ cation radical

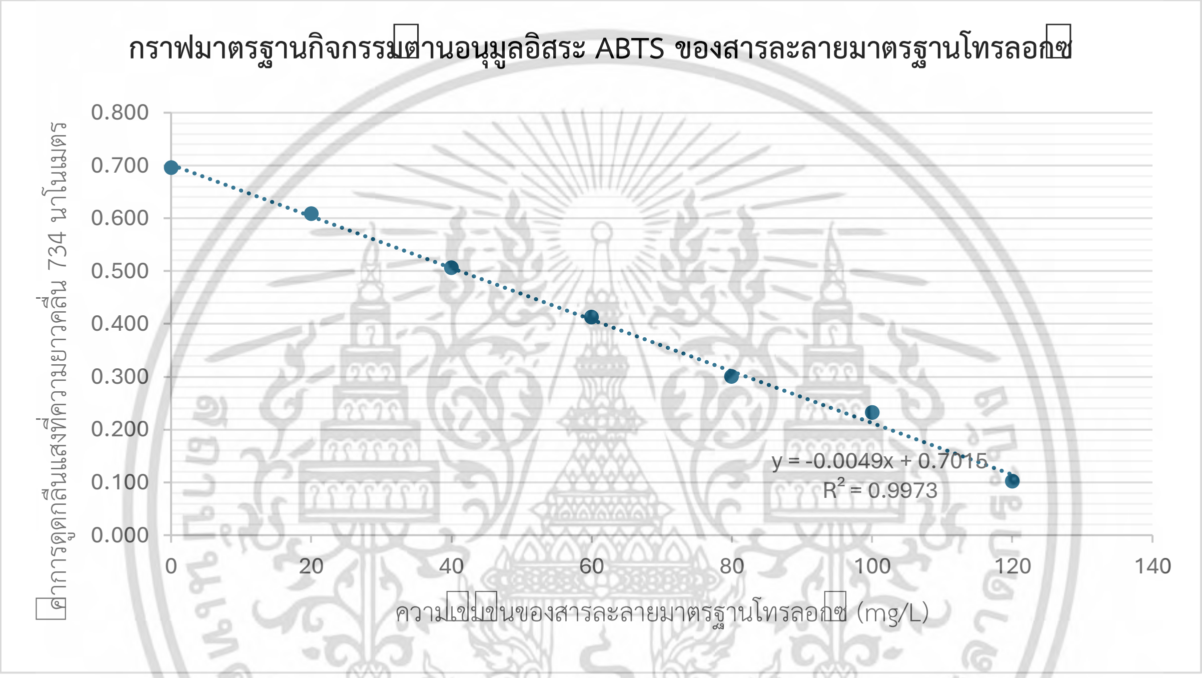
1) สารละลาย ABTS ความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ (ABTS 14 mM) เตรียมโดยการชั่ง ABTS 0.0385 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร
2) สารละลาย Potassium per-sulfate ($K_2S_2O_8$) 4.9 mM ละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.0662 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร
3) สารละลาย 1X PBS (Phosphate Buffered Saline) เตรียมโดยการละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จำนวน 4 กรัม โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 0.1 กรัม Disodium Hydrogen-phosphate (Na_2HPO_4) จำนวน 0.72 กรัม และละลาย Monopotassium phosphate (KH_2PO_4) จำนวน 0.1125 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 400 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 7.4 ก่อนนำมาปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร
4) เตรียมสารละลาย ABTS$^+$ cation radical โดยการผสมสารละลาย ABTS 14 mM ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และ 4.9 mM Potassium per-sulfate ($K_2S_2O_8$) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนใช้นำสารละลาย ABTS$^+$ มาเจือจางด้วยสารละลาย 1X PBS ให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.800 ± 0.020 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร จะมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.700 ± 0.020 ตามลำดับ

ตารางที่ ข.5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ที่ใช้ในการศึกษาหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง

Trolox Conc. (mg/L)	Std.Trolox 200 mg/L (µL)	น้ำกลั่น (µL)	ABTS$^+$ cation radical (µL)	OD 734 nm
0	0	40	1000	0.695
20	4	36	1000	0.609
40	8	32	1000	0.506
60	12	28	1000	0.412
80	16	24	1000	0.300
100	20	20	1000	0.232
120	24	16	1000	0.102

ตารางที่ ข.5.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม จากการเก็บตัวอย่าง ณ วันที่ 0 (ทำซ้ำ 3 ซ้ำ)

Vol. Sample diluted 50x (µL)	ABTS$^+$ cation radical (µL)	OD 734 nm
40	1000	0.340
40	1000	0.365
40	1000	0.345



รูปที่ ข.5 กราฟมาตรฐานกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์

สูตรการคำนวณหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

$$\text{mg TE/ml} = \frac{\left(\frac{OD734-c}{m}\right)}{1000} * dilution$$

โดยที่ ค่า c หาได้จากสมการเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ y=mx+c

ค่า m คือค่าความชันของกราฟมาตรฐานการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารละลายโทรลอกซ์

ตัวอย่างการคำนวณ หาค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ของตัวอย่างเครื่องดื่มถั่วเขียวสูตรนมโอ๊ต สภาวะควบคุม ซ้ำที่ 1 ที่ทำการเจือจางเป็น 50 เท่า จะมีค่าเท่ากับ 0.340 เมื่อแทนค่าลงในสูตรการคำนวณหากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 3.689 mg TE/ml จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้มาทำการเปลี่ยนหน่วยให้เป็น µmol TE/ml (โดยที Trolox 1 โมล หรือ 10^6 ไมโครโมล (µmol) จะมีค่าน้ำหนักโดยมวลเท่ากับ 250.29 กรัม)

จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์จะได้ว่า Trolox 1 µmol จะมีค่าน้ำหนักโดยมวลคิดเป็น $\frac{250.29*1}{10^6}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.00025029 กรัม หรือ 0.25029 มิลลิกรัม

เมื่อ Trolox 1 µmol มีค่าน้ำหนักโดยมวลเท่ากับ 0.25029 มิลลิกรัม จะได้ว่า 3.689 mg TE/ml จะมีค่าเท่ากับ $\frac{3.689\ (\frac{mg}{ml})}{0.25029\ (mg)} * 1\ (\mu mol)$ = 14.738 หรือประมาณ 14.74 µmol TE/ml

ตารางที่ ข.5.3 แสดงค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS) ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

	ซ้ำที่ 1	**ซ้ำที่ 2**	**ซ้ำที่ 3**	**ค่าเฉลี่ย (µmol TE/ml)**
µmol TE/ml	14.74	13.72	14.53	14.33

ภาคผนวก ข.6 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ดัดแปลงจาก AOAC (2000)

1) เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550±20 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง และพักให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้นเป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W1)
2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้องที่อบแล้ว น้ำหนักประมาณ 3 กรัม (ความละเอียด ±0.0001 กรัม) จดบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน (W2)
3) นำตัวอย่างไปเผาบนเตาไฟฟ้า (hot plate) โดยเพิ่มความร้อนเป็นระดับและเผากระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน จากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550±20 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทา
4) เมื่อครบเวลาให้ปิดเตาเผาและรอจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงประมาณ 150 องศาเซลเซียส (หรือตั้งทิ้งไว้ในเตาเผาเป็นเวลา 1 คืน) จากนั้นให้ใช้คีมคีบถ้วยกระเบื้อง และไปพักให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น (ปิดฝาถ้วยกระเบื้อง) นาน 30 นาที ทำการชั่งและจดบันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน (W3)

การคำนวณ

ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) = [(W3 – W1)/ (W2 – W1)] x 100

โดยที่ W1 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ (g)

W2 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่าง (g)

W3 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและเถ้า (g)

ภาคผนวก ข.7 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด ดัดแปลงจาก AOAC (2000)

1) อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา โดยเปิดฝาขณะอบ ในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และพักให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น นาน 30 นาที จากนั้นชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W1)
2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ในถ้วยพร้อมฝาที่อบแล้ว น้ำหนัก 3 กรัม เกลี่ยกระจายตัวอย่างให้ทั่วภาชนะ จดบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน (W2)
3) นำตัวอย่างไปเผาบนเตาไฟฟ้า (hot plate) โดยเพิ่มความร้อนเป็นระดับและเผากระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส (เปิดฝาอะลูมิเนียม) อบเป็นเวลานาน 16-18 ชั่วโมง
4) เมื่อครบระยะเวลาการอบให้ปิดฝาถ้วยอะลูมิเนียม และนำตัวอย่างไปพักให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น นาน 30 นาที จึงนำตัวอย่างออกมาชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W3)

การคำนวณ

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนัก) = [(W3 – W1) x 100]/ W2

โดยที่ W1 = น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมหลังอบ (g)

W2 = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

W3 = น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบ (g)

ภาคผนวก ข.8 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ดัดแปลงจาก AOAC (2000)

สารเคมี

1) Sulfuric acid cone.
2) Sodium hydroxide เข้มข้นร้อยละ 40
3) Catalyst ได้แก่ Selenium mixture หรือ $CuSO_4 + K_2SO_4$
4) Boric acid เข้มข้นร้อยละ 2
5) 0.1 N HCl

วิธีการทดลอง

1) ใช้ปิเปตดูดตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อยโปรตีน (Kjeldahl digestion flask) และเตรียมหลอดย่อยโปรตีนสำหรับทำ blank อย่างน้อย 1 หลอด
2) ชั่งคะตะลิสต์ 7 กรัม สำหรับแต่ละหลอดย่อยโปรตีน
3) ดูดกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร โดนเอียงหลอดย่อยโปรตีนและค่อยๆรินกรดลงข้างๆหลอด เพื่อล้างตัวอย่างที่อาจติดอยู่ข้างหลอดให้หมด และเขย่าตัวอย่างเบาๆ
4) นำไปย่อยที่ชุดเครื่องย่อยโปรตีน ใช้เวลาย่อยนาน 1 ชั่วโมง 30 นาที หรือกระทั่งได้ของเหลวสีเขียวใส จึงปิดชุดเครื่องย่อยโปรตีน รอจนกระทั่งสารละลายเย็ยลงในอุณหภูมิห้อง (ห้ามนำหลอดย่อยไปทำให้เย็นในน้ำ หลอดย่อยอาจแตกร้าว)
5) นำสารละลายที่ได้หลังการย่อยต่อกับเครื่องกลั่นโปรตีน และนำขวดรูปชมพู่ที่มีกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2 จำนวน 50 มิลลิลิตร ที่หยดอินดิเคเตอร์ผสม 6 หยด ต่อที่ปลาย condenser ของชุดเครื่องกลั่น โดยให้ปลาย condenser จุ่มในสารละลายกรดบอริก
6) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 ให้มากเกินพอ ลงในหลอดย่อยตัวอย่าง
7) เปิดเครื่องเริ่มทำการกลั่น และใช้เวลากลั่นนานประมาณ 5 นาที โดยกลั่นหลอด blank ก่อนการกลั่นตัวอย่าง
8) นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N จนได้จุดยุติมีสีแดง บันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (Vb และ Vs)

การคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละของน้ำหนัก) = [(Vs – Vb) x N x 1.4007] / W

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละของน้ำหนัก) = ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละของน้ำหนัก) x 6.25

โดยที่ Vs = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (mL)

Vb = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต blank (mL)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโรคลอริก (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ภาคผนวก ข.9 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ดัดแปลงจาก AOAC (2000)

วิธีการทดลอง

1) บดตัวอย่างให้ละเอียด ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม บนกระดาษกรองและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (W_1) ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง (thimble)
2) นำ extraction cups สำหรับวิเคราะห์ปริมาณไขมัน อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พักให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)
3) เติมตัวทำละลาย 150 มิลลิลิตร ลงใน extraction cups และนำ thimbles ที่มีตัวอย่างบรรจุลงใน extraction cups โดยใช้ชุดลวดช่วยพยุง (thimble holder)
4) นำชุดถ้วยสกัดไขมันที่มีตัวทำละลาย และตัวอย่างต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน
5) เปิดน้ำเย็นหล่ออุปกรณ์ควบแน่นก่อนวิเคราะห์ 30 นาที ตั้งอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
6) ตั้งค่าการทำงานของเครื่อง โดยตั้งค่าระยะเวลาในการการต้ม (boiling) เพื่อสกัดตัวอย่าง 30 นาที และการชะตัวอย่าง (rinse) นาน 1 ชั่วโมง (ขึ้นกับปริมาณไขมันในตัวอย่าง)
7) เมื่อครบเวลาการสกัด และเครื่องเสร็จสิ้นขั้นตอนการระเหยตัวทำละลายออกตามการตั้งค่าการทำงานของเครื่องแล้ว ให้นำ extraction cups ออกจากเครื่องสกัดไขมัน และอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที พักให้เย็นในโถดูดความชื้น
8) ชั่ง extraction cups ที่มีไขมัน และอบซ้ำนาน 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักสองครั้งไม่เกิน 0.005 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_3)

การคำนวณ

ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) = น้ำหนักไขมันหลังอบ / น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น x 100

$$= (W_3 - W_2) / W_1 \times 100$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนัก extraction cup (กรัม)

W_3 = น้ำหนัก extraction cup ที่มีไขมัน (กรัม)

ภาคผนวก ค

แบบประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale)

ตัวอย่าง..............เครื่องดื่มจากถั่วเขียว.............. **ลำดับผู้ประเมิน**.................................... **ชุดที่**.............1.............

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอจากซ้ายไปขวา แล้วเขียนเลขให้คะแนนความชอบจาก 1-9 ในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

กำหนดให้ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด 8 หมายถึง ชอบมาก 7 หมายถึง ชอบปานกลาง
6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย 5 หมายถึง เฉย ๆ 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

ในระหว่างการทดสอบกรุณาดื่มน้ำระหว่างตัวอย่าง

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง			
ลักษณะที่ปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

แบบประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale)

ตัวอย่าง..............เครื่องดื่มจากถั่วเขียว.............. **ลำดับผู้ประเมิน**.................................... **ชุดที่**.............2.............

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอจากซ้ายไปขวา แล้วเขียนเลขให้คะแนนความชอบจาก 1-9 ในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

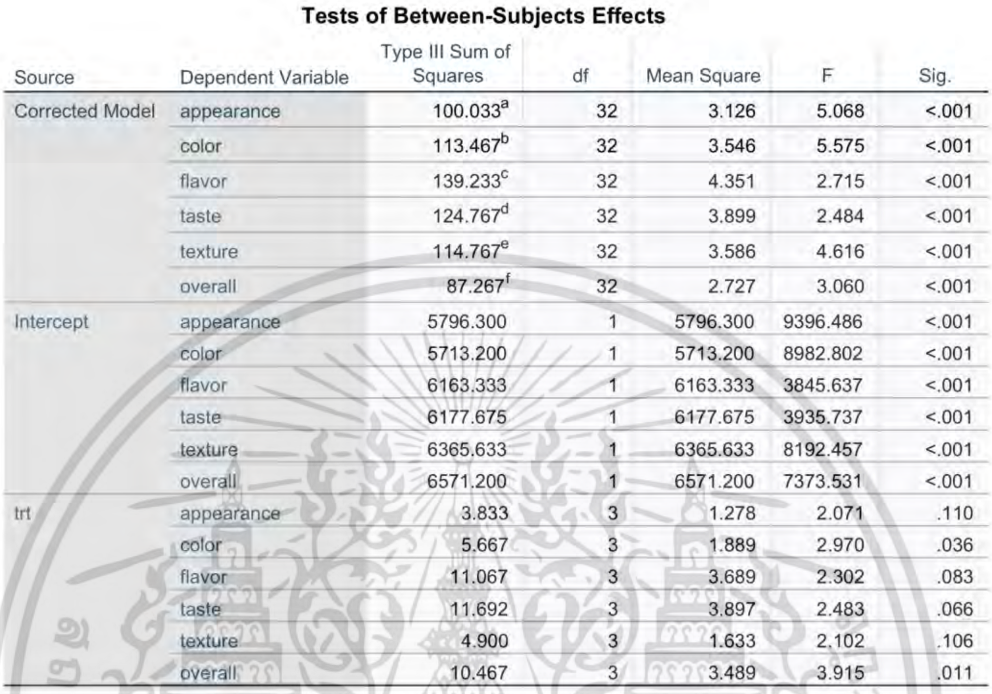
กำหนดให้ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด 8 หมายถึง ชอบมาก 7 หมายถึง ชอบปานกลาง
6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย 5 หมายถึง เฉย ๆ 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

ในระหว่างการทดสอบกรุณาดื่มน้ำระหว่างตัวอย่าง

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง			
ลักษณะที่ปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

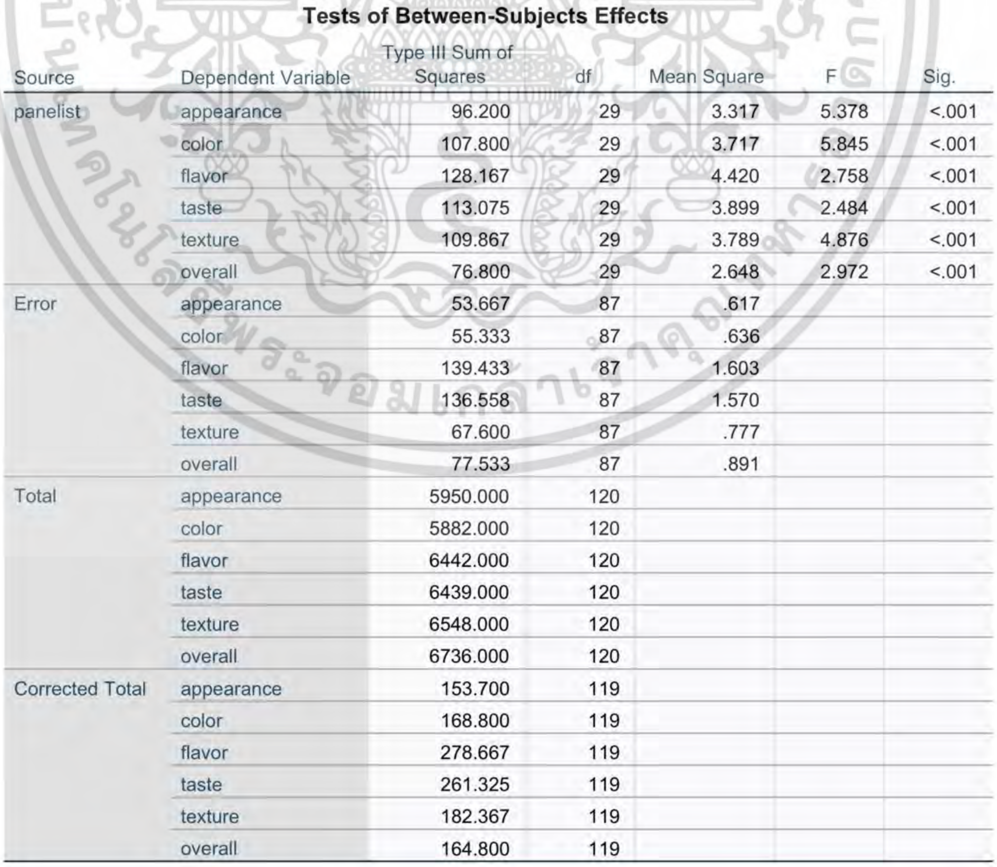
ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ



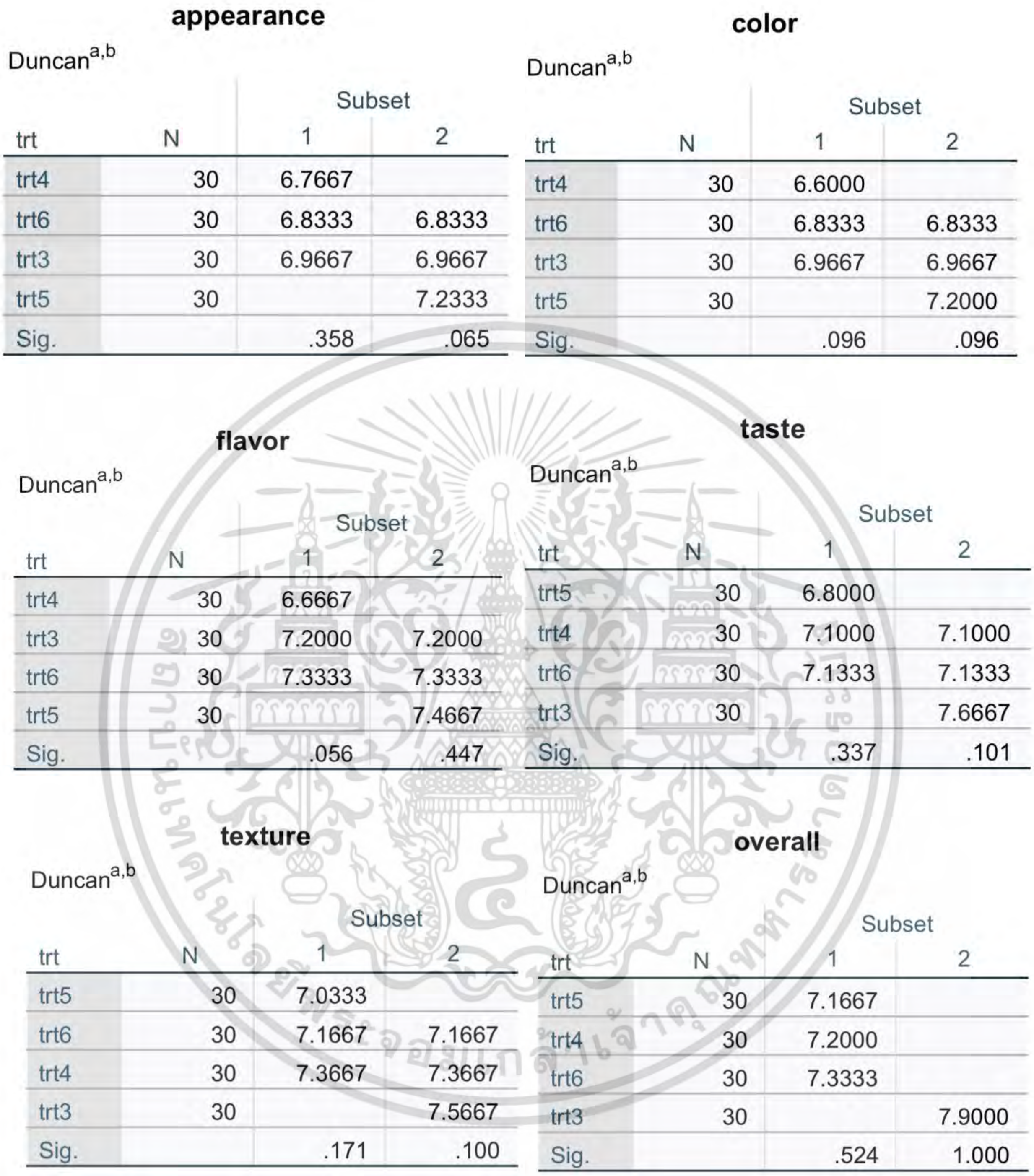
Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	appearance	100.033[a]	32	3.126	5.068	<.001
	color	113.467[b]	32	3.546	5.575	<.001
	flavor	139.233[c]	32	4.351	2.715	<.001
	taste	124.767[d]	32	3.899	2.484	<.001
	texture	114.767[e]	32	3.586	4.616	<.001
	overall	87.267[f]	32	2.727	3.060	<.001
Intercept	appearance	5796.300	1	5796.300	9396.486	<.001
	color	5713.200	1	5713.200	8982.802	<.001
	flavor	6163.333	1	6163.333	3845.637	<.001
	taste	6177.675	1	6177.675	3935.737	<.001
	texture	6365.633	1	6365.633	8192.457	<.001
	overall	6571.200	1	6571.200	7373.531	<.001
trt	appearance	3.833	3	1.278	2.071	.110
	color	5.667	3	1.889	2.970	.036
	flavor	11.067	3	3.689	2.302	.083
	taste	11.692	3	3.897	2.483	.066
	texture	4.900	3	1.633	2.102	.106
	overall	10.467	3	3.489	3.915	.011



Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
panelist	appearance	96.200	29	3.317	5.378	<.001
	color	107.800	29	3.717	5.845	<.001
	flavor	128.167	29	4.420	2.758	<.001
	taste	113.075	29	3.899	2.484	<.001
	texture	109.867	29	3.789	4.876	<.001
	overall	76.800	29	2.648	2.972	<.001
Error	appearance	53.667	87	.617		
	color	55.333	87	.636		
	flavor	139.433	87	1.603		
	taste	136.558	87	1.570		
	texture	67.600	87	.777		
	overall	77.533	87	.891		
Total	appearance	5950.000	120			
	color	5882.000	120			
	flavor	6442.000	120			
	taste	6439.000	120			
	texture	6548.000	120			
	overall	6736.000	120			
Corrected Total	appearance	153.700	119			
	color	168.800	119			
	flavor	278.667	119			
	taste	261.325	119			
	texture	182.367	119			
	overall	164.800	119			



appearance

Duncan^{a,b}

trt	N	Subset 1	2
trt4	30	6.7667	
trt6	30	6.8333	6.8333
trt3	30	6.9667	6.9667
trt5	30		7.2333
Sig.		.358	.065

color

Duncan^{a,b}

trt	N	Subset 1	2
trt4	30	6.6000	
trt6	30	6.8333	6.8333
trt3	30	6.9667	6.9667
trt5	30		7.2000
Sig.		.096	.096

flavor

Duncan^{a,b}

trt	N	Subset 1	2
trt4	30	6.6667	
trt3	30	7.2000	7.2000
trt6	30	7.3333	7.3333
trt5	30		7.4667
Sig.		.056	.447

taste

Duncan^{a,b}

trt	N	Subset 1	2
trt5	30	6.8000	
trt4	30	7.1000	7.1000
trt6	30	7.1333	7.1333
trt3	30		7.6667
Sig.		.337	.101

texture

Duncan^{a,b}

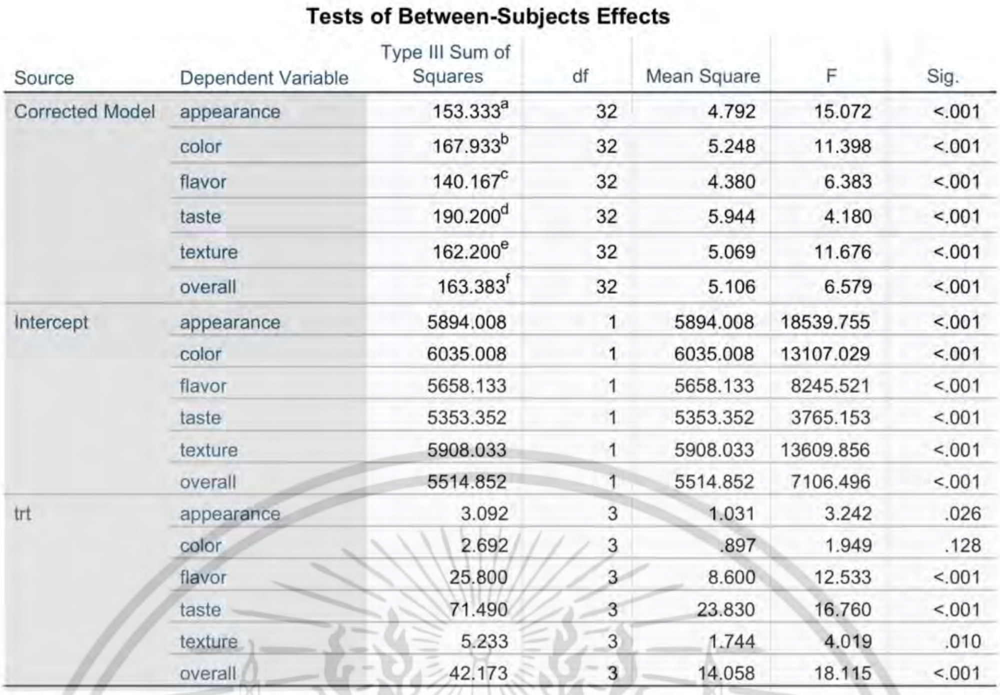
trt	N	Subset 1	2
trt5	30	7.0333	
trt6	30	7.1667	7.1667
trt4	30	7.3667	7.3667
trt3	30		7.5667
Sig.		.171	.100

overall

Duncan^{a,b}

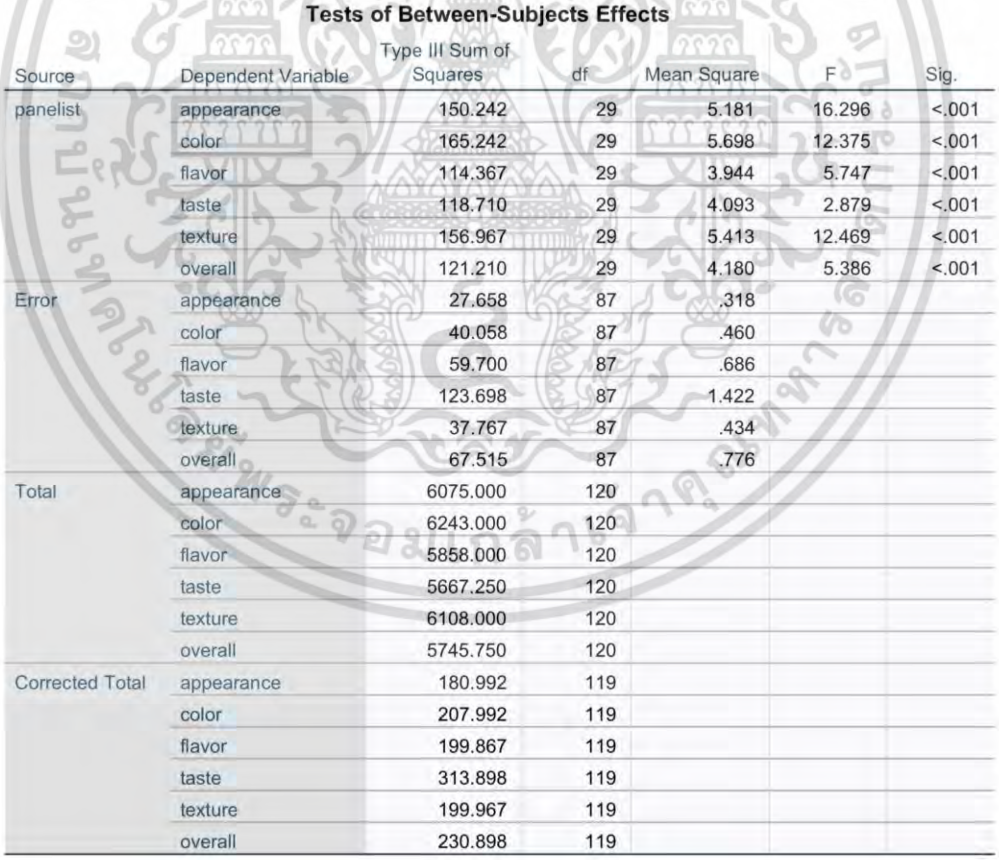
trt	N	Subset 1	2
trt5	30	7.1667	
trt4	30	7.2000	
trt6	30	7.3333	
trt3	30		7.9000
Sig.		.524	1.000

รูปที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ



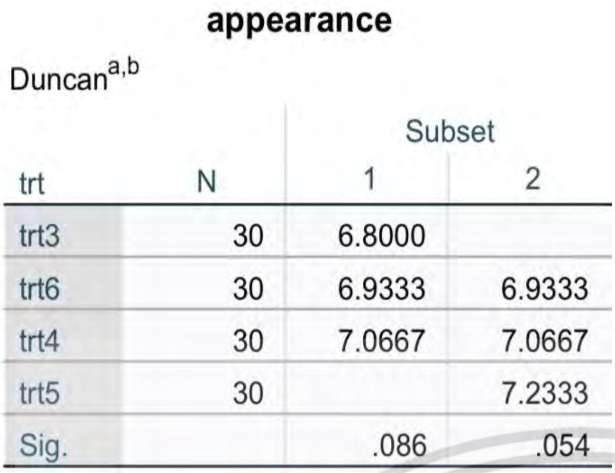
Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	appearance	153.333[a]	32	4.792	15.072	<.001
	color	167.933[b]	32	5.248	11.398	<.001
	flavor	140.167[c]	32	4.380	6.383	<.001
	taste	190.200[d]	32	5.944	4.180	<.001
	texture	162.200[e]	32	5.069	11.676	<.001
	overall	163.383[f]	32	5.106	6.579	<.001
Intercept	appearance	5894.008	1	5894.008	18539.755	<.001
	color	6035.008	1	6035.008	13107.029	<.001
	flavor	5658.133	1	5658.133	8245.521	<.001
	taste	5353.352	1	5353.352	3765.153	<.001
	texture	5908.033	1	5908.033	13609.856	<.001
	overall	5514.852	1	5514.852	7106.496	<.001
trt	appearance	3.092	3	1.031	3.242	.026
	color	2.692	3	.897	1.949	.128
	flavor	25.800	3	8.600	12.533	<.001
	taste	71.490	3	23.830	16.760	<.001
	texture	5.233	3	1.744	4.019	.010
	overall	42.173	3	14.058	18.115	<.001



Tests of Between-Subjects Effects

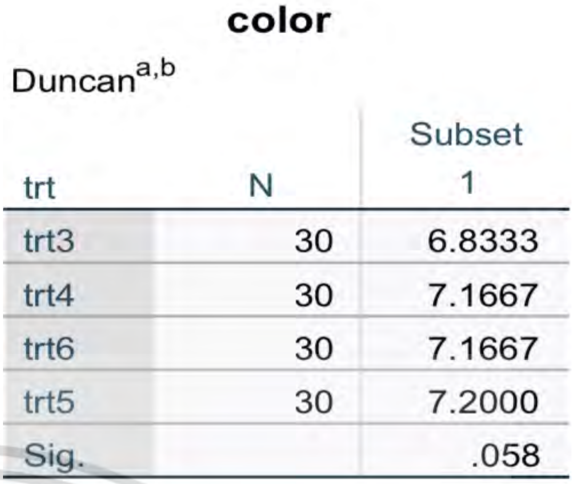
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
panelist	appearance	150.242	29	5.181	16.296	<.001
	color	165.242	29	5.698	12.375	<.001
	flavor	114.367	29	3.944	5.747	<.001
	taste	118.710	29	4.093	2.879	<.001
	texture	156.967	29	5.413	12.469	<.001
	overall	121.210	29	4.180	5.386	<.001
Error	appearance	27.658	87	.318		
	color	40.058	87	.460		
	flavor	59.700	87	.686		
	taste	123.698	87	1.422		
	texture	37.767	87	.434		
	overall	67.515	87	.776		
Total	appearance	6075.000	120			
	color	6243.000	120			
	flavor	5858.000	120			
	taste	5667.250	120			
	texture	6108.000	120			
	overall	5745.750	120			
Corrected Total	appearance	180.992	119			
	color	207.992	119			
	flavor	199.867	119			
	taste	313.898	119			
	texture	199.967	119			
	overall	230.898	119			



appearance

Duncan^{a,b}

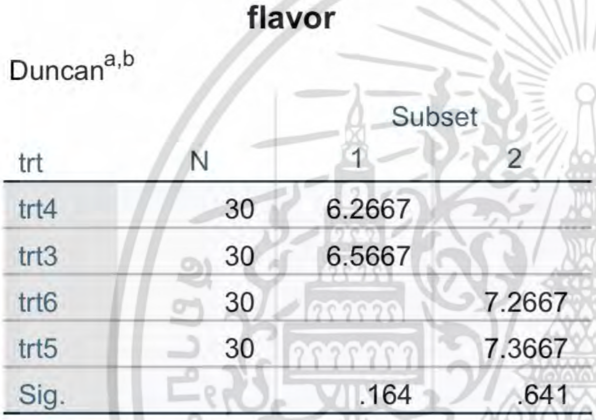
trt	N	Subset 1	Subset 2
trt3	30	6.8000	
trt6	30	6.9333	6.9333
trt4	30	7.0667	7.0667
trt5	30		7.2333
Sig.		.086	.054



color

Duncan^{a,b}

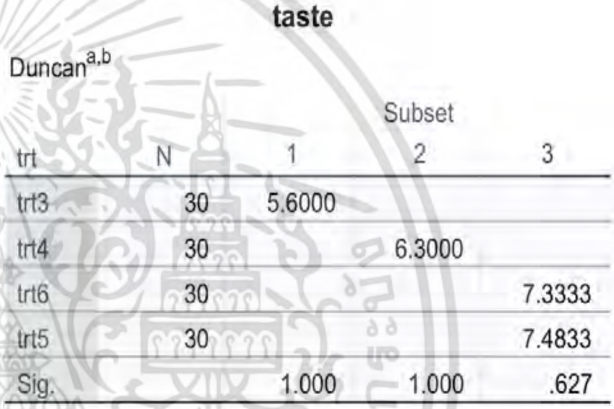
trt	N	Subset 1
trt3	30	6.8333
trt4	30	7.1667
trt6	30	7.1667
trt5	30	7.2000
Sig.		.058



flavor

Duncan^{a,b}

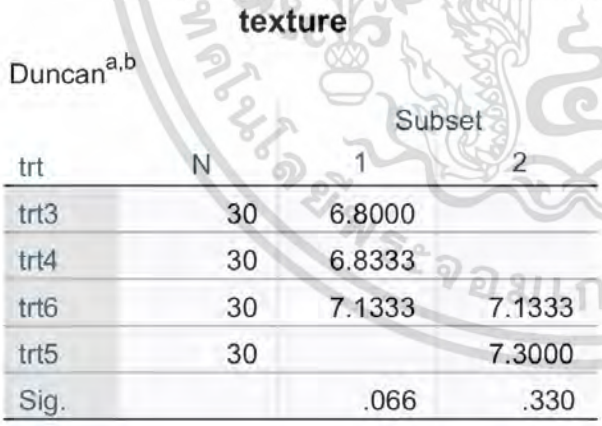
trt	N	Subset 1	Subset 2
trt4	30	6.2667	
trt3	30	6.5667	
trt6	30		7.2667
trt5	30		7.3667
Sig.		.164	.641



taste

Duncan^{a,b}

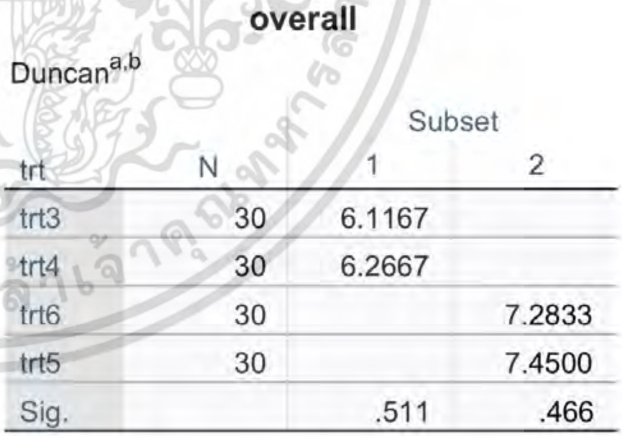
trt	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
trt3	30	5.6000		
trt4	30		6.3000	
trt6	30			7.3333
trt5	30			7.4833
Sig.		1.000	1.000	.627



texture

Duncan^{a,b}

trt	N	Subset 1	Subset 2
trt3	30	6.8000	
trt4	30	6.8333	
trt6	30	7.1333	7.1333
trt5	30		7.3000
Sig.		.066	.330

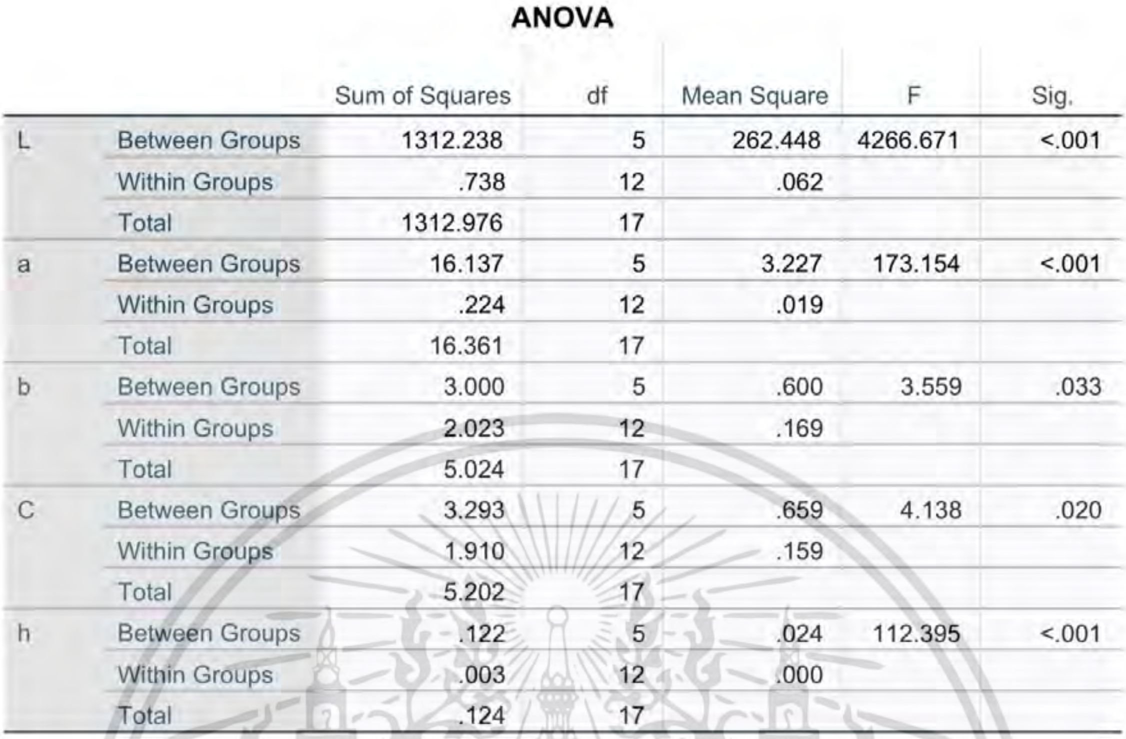


overall

Duncan^{a,b}

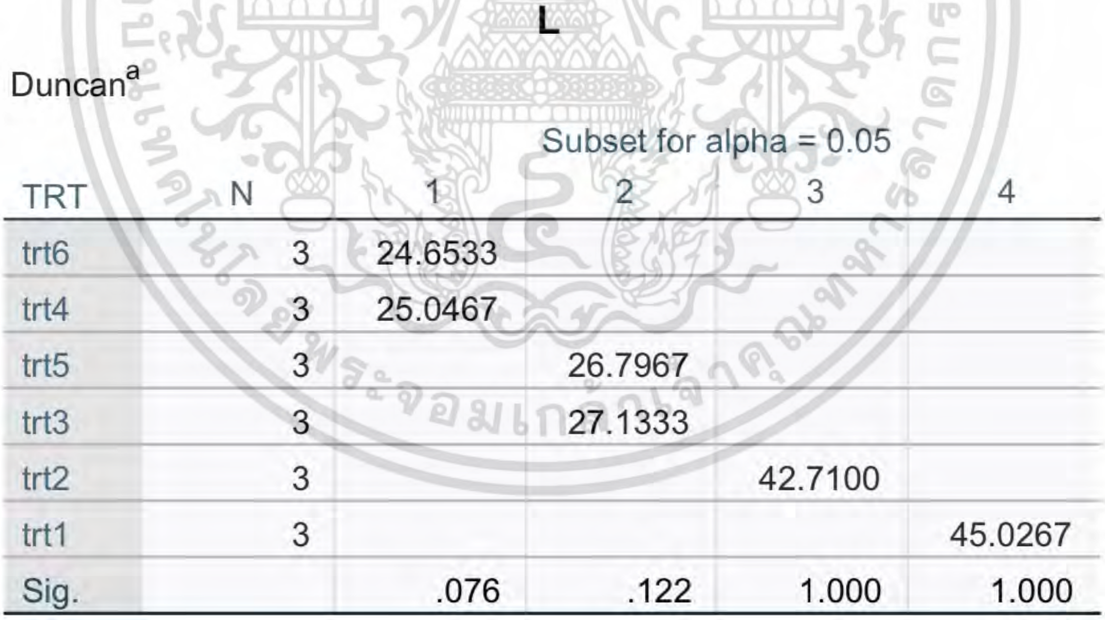
trt	N	Subset 1	Subset 2
trt3	30	6.1167	
trt4	30	6.2667	
trt6	30		7.2833
trt5	30		7.4500
Sig.		.511	.466

รูปที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการประเมินทางประสาทสัมผัสในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต



ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L	Between Groups	1312.238	5	262.448	4266.671	<.001
	Within Groups	.738	12	.062		
	Total	1312.976	17			
a	Between Groups	16.137	5	3.227	173.154	<.001
	Within Groups	.224	12	.019		
	Total	16.361	17			
b	Between Groups	3.000	5	.600	3.559	.033
	Within Groups	2.023	12	.169		
	Total	5.024	17			
C	Between Groups	3.293	5	.659	4.138	.020
	Within Groups	1.910	12	.159		
	Total	5.202	17			
h	Between Groups	.122	5	.024	112.395	<.001
	Within Groups	.003	12	.000		
	Total	.124	17			

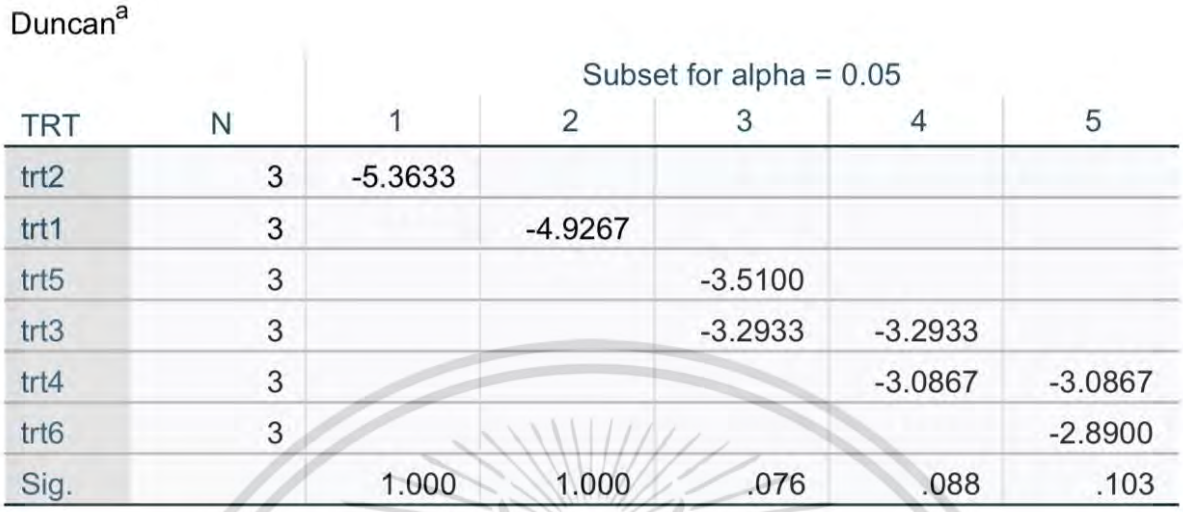


L

Duncan[a]

TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
trt6	3	24.6533			
trt4	3	25.0467			
trt5	3		26.7967		
trt3	3		27.1333		
trt2	3			42.7100	
trt1	3				45.0267
Sig.		.076	.122	1.000	1.000

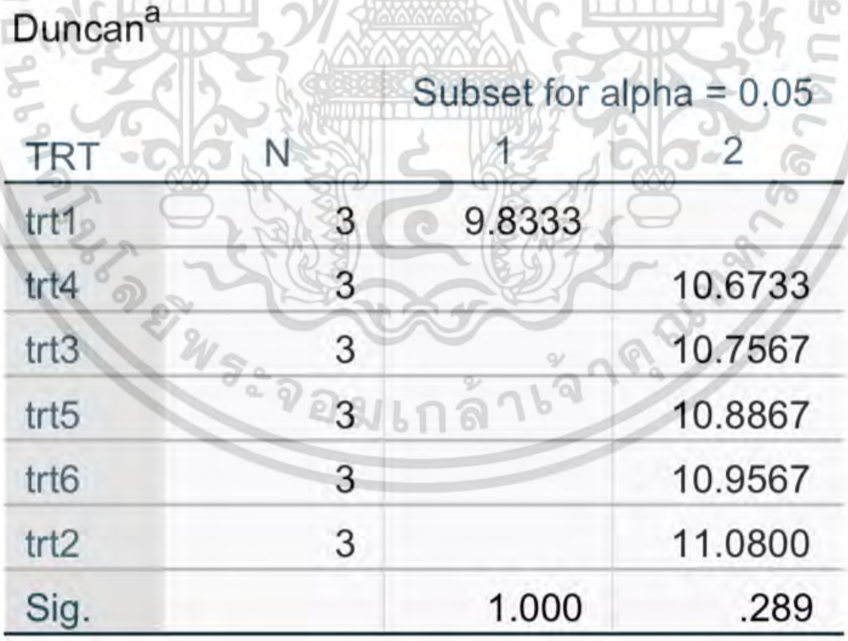
a



Duncan[a]

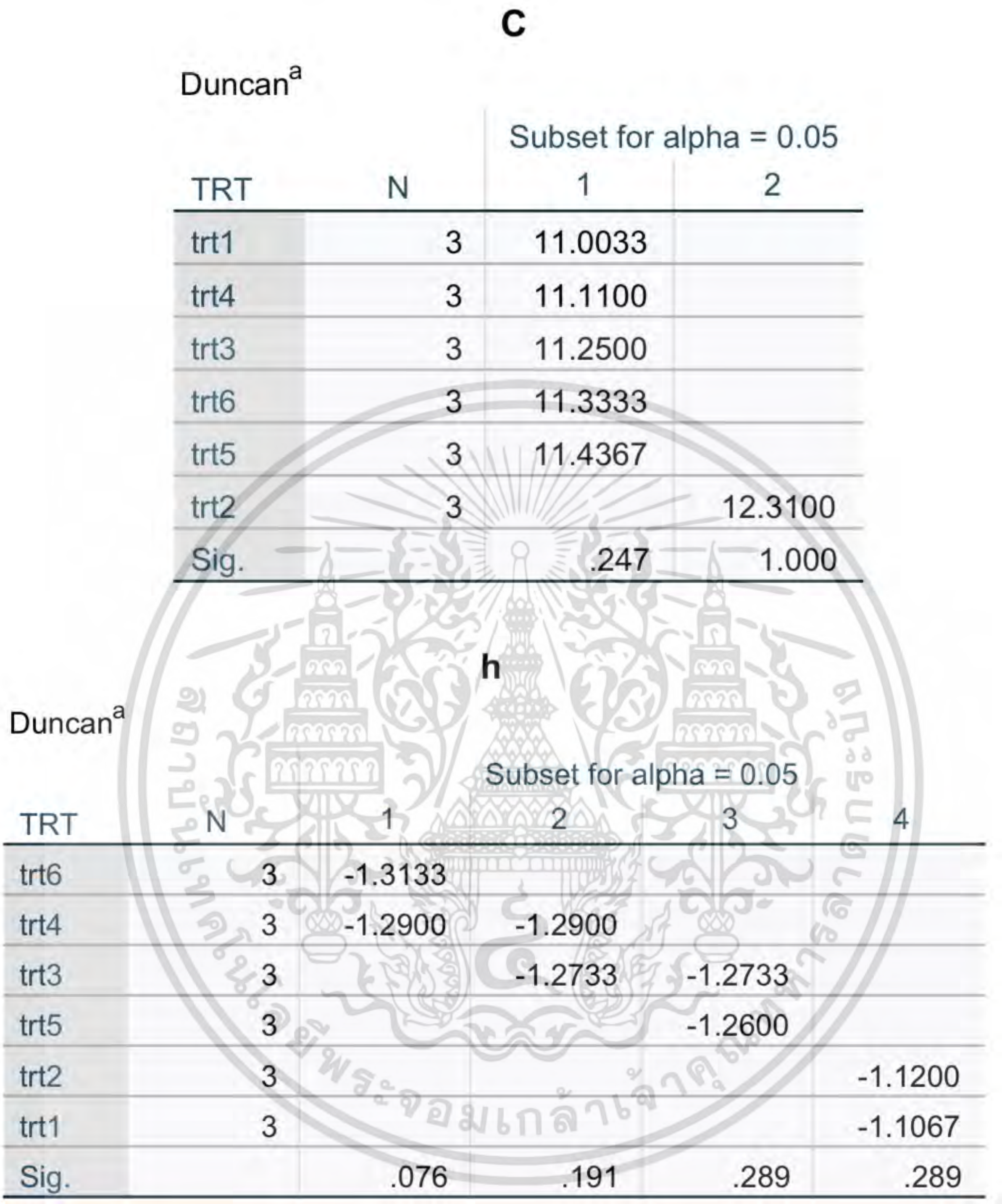
TRT	N	Subset for alpha = 0.05 1	2	3	4	5
trt2	3	-5.3633				
trt1	3		-4.9267			
trt5	3			-3.5100		
trt3	3			-3.2933	-3.2933	
trt4	3				-3.0867	-3.0867
trt6	3					-2.8900
Sig.		1.000	1.000	.076	.088	.103

b



Duncan[a]

TRT	N	Subset for alpha = 0.05 1	2
trt1	3	9.8333	
trt4	3		10.6733
trt3	3		10.7567
trt5	3		10.8867
trt6	3		10.9567
trt2	3		11.0800
Sig.		1.000	.289



C

Duncan[a]

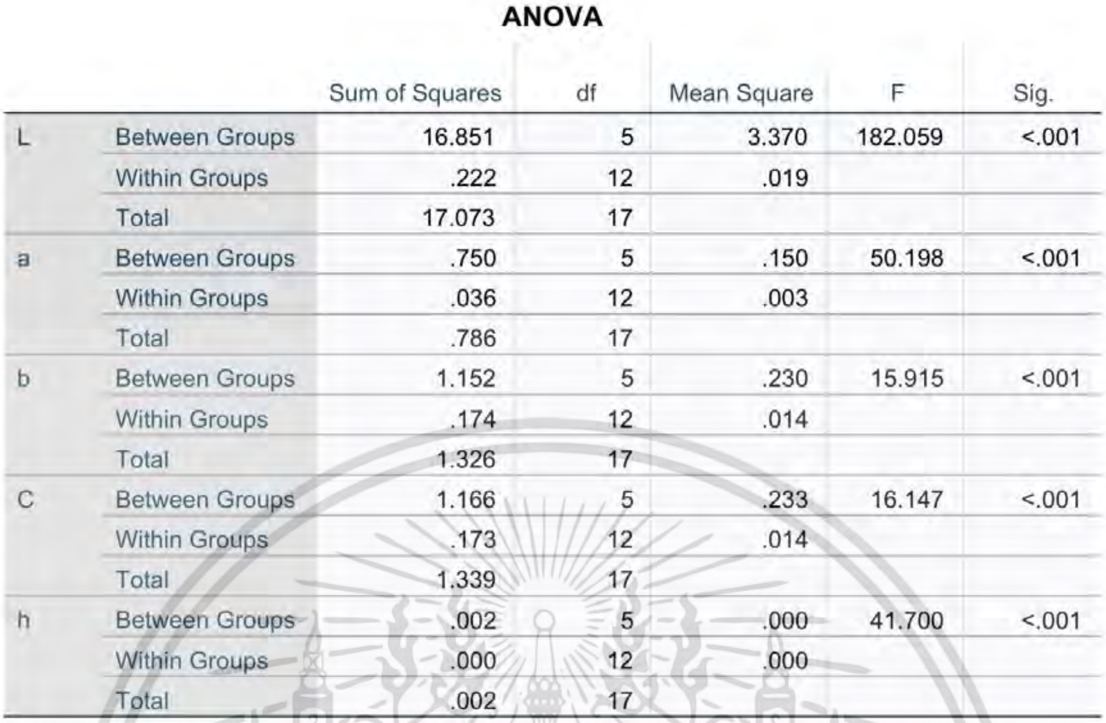
TRT	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
trt1	3	11.0033	
trt4	3	11.1100	
trt3	3	11.2500	
trt6	3	11.3333	
trt5	3	11.4367	
trt2	3		12.3100
Sig.		.247	1.000

h

Duncan[a]

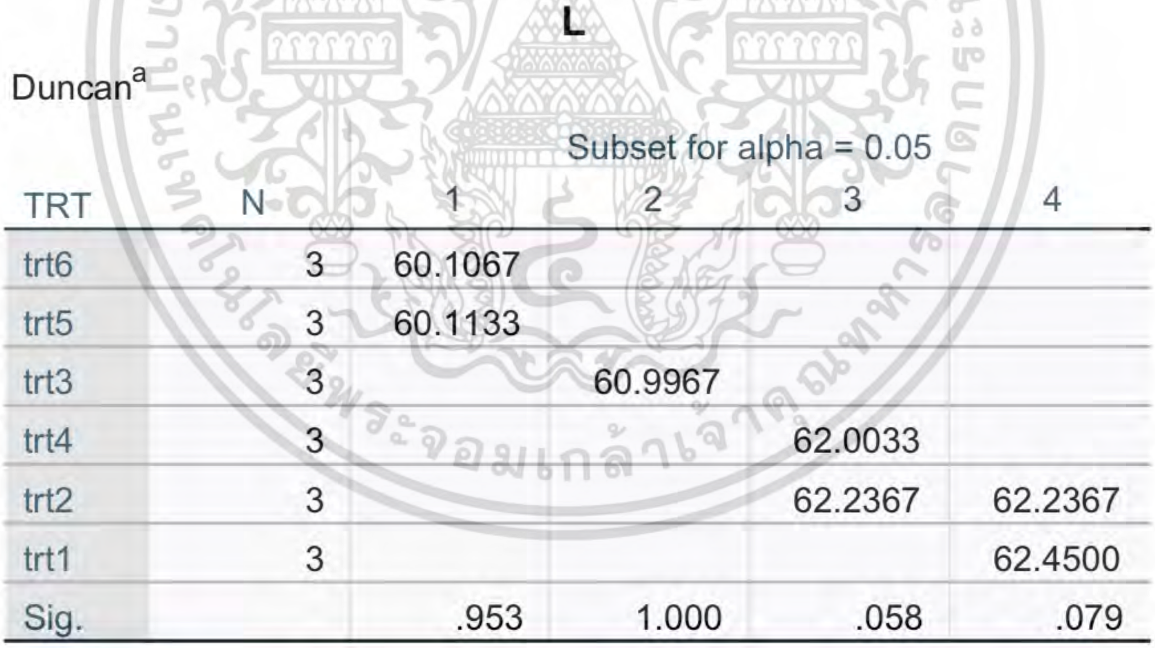
TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
trt6	3	-1.3133			
trt4	3	-1.2900	-1.2900		
trt3	3		-1.2733	-1.2733	
trt5	3			-1.2600	
trt2	3				-1.1200
trt1	3				-1.1067
Sig.		.076	.191	.289	.289

รูปที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวัดค่าสีในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ



ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L	Between Groups	16.851	5	3.370	182.059	<.001
	Within Groups	.222	12	.019		
	Total	17.073	17			
a	Between Groups	.750	5	.150	50.198	<.001
	Within Groups	.036	12	.003		
	Total	.786	17			
b	Between Groups	1.152	5	.230	15.915	<.001
	Within Groups	.174	12	.014		
	Total	1.326	17			
C	Between Groups	1.166	5	.233	16.147	<.001
	Within Groups	.173	12	.014		
	Total	1.339	17			
h	Between Groups	.002	5	.000	41.700	<.001
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.002	17			

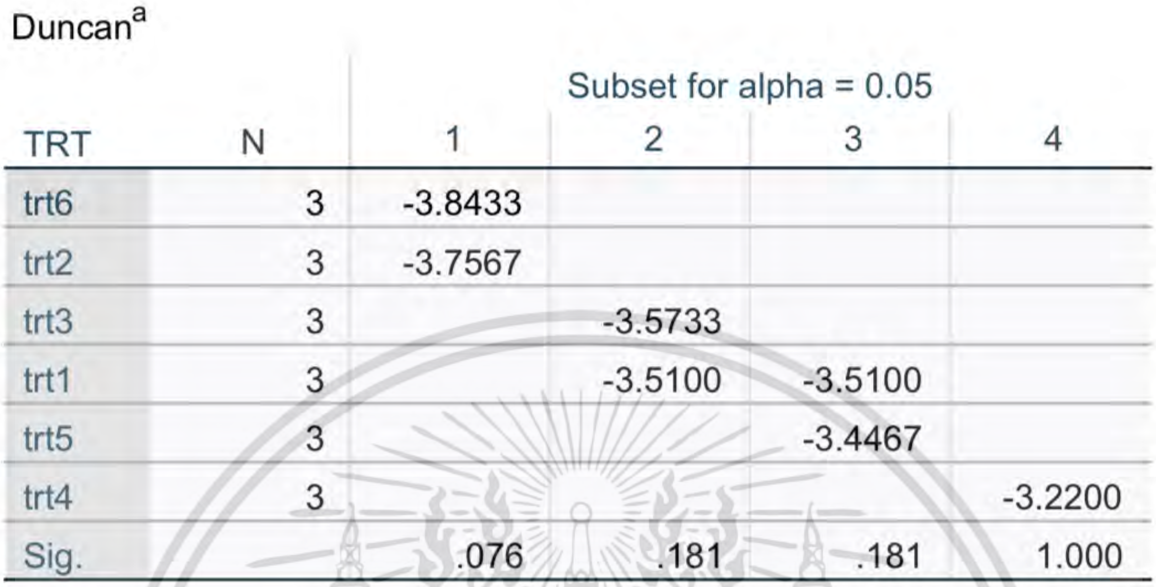


L

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05			
TRT	N	1	2	3	4
trt6	3	60.1067			
trt5	3	60.1133			
trt3	3		60.9967		
trt4	3			62.0033	
trt2	3			62.2367	62.2367
trt1	3				62.4500
Sig.		.953	1.000	.058	.079

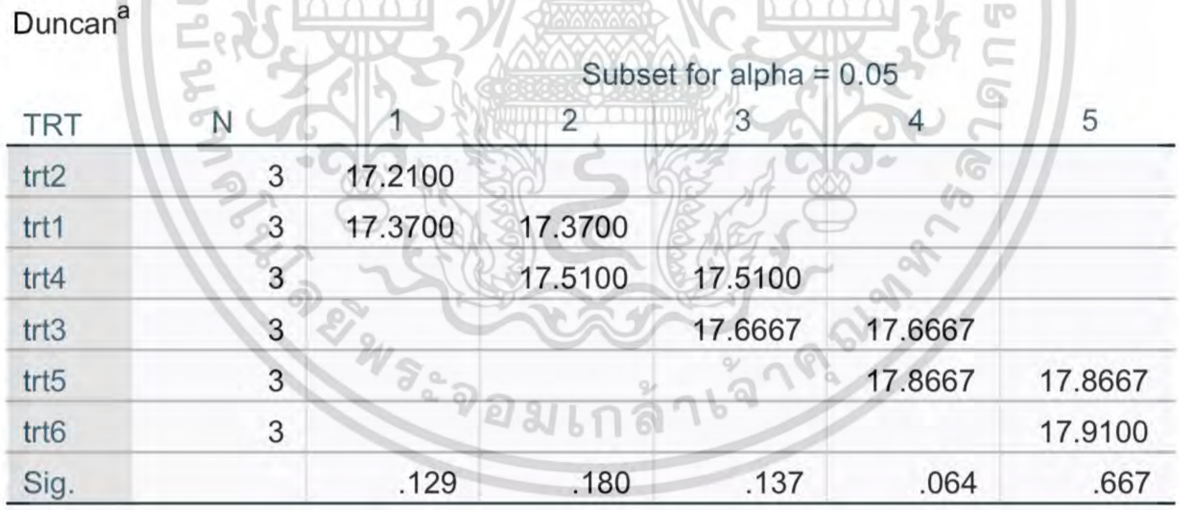
a



Duncan[a]

TRT	N	Subset for alpha = 0.05 1	2	3	4
trt6	3	-3.8433			
trt2	3	-3.7567			
trt3	3		-3.5733		
trt1	3		-3.5100	-3.5100	
trt5	3			-3.4467	
trt4	3				-3.2200
Sig.		.076	.181	.181	1.000

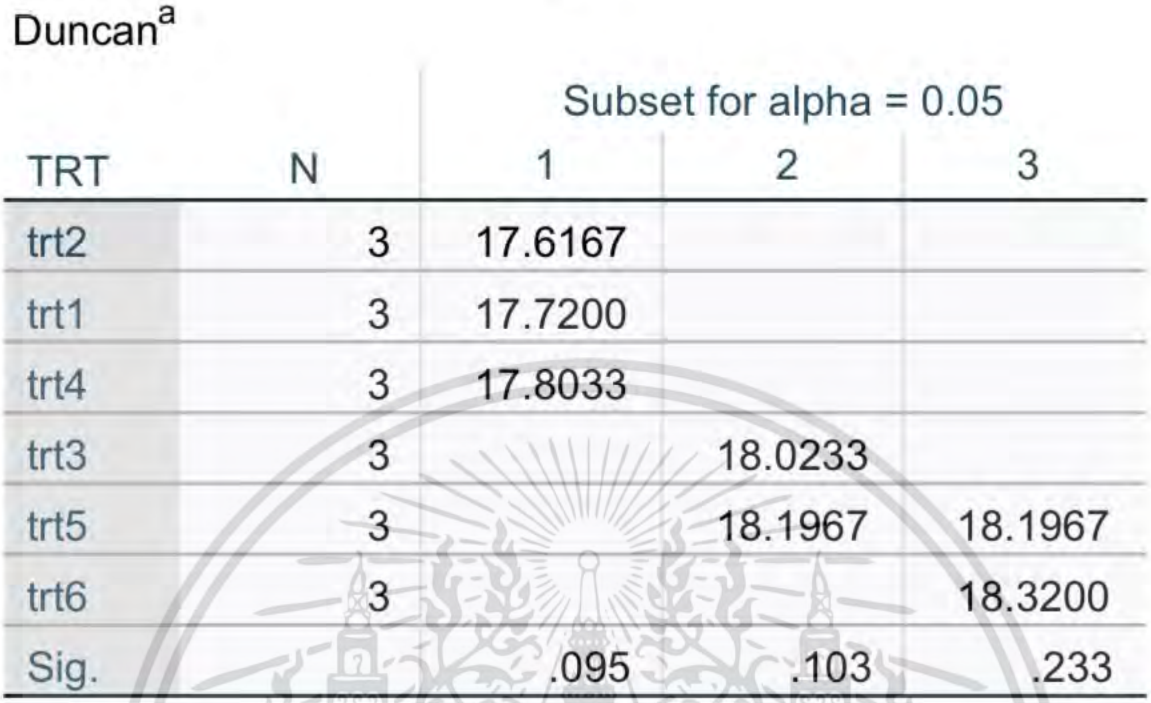
b



Duncan[a]

TRT	N	Subset for alpha = 0.05 1	2	3	4	5
trt2	3	17.2100				
trt1	3	17.3700	17.3700			
trt4	3		17.5100	17.5100		
trt3	3			17.6667	17.6667	
trt5	3				17.8667	17.8667
trt6	3					17.9100
Sig.		.129	.180	.137	.064	.667

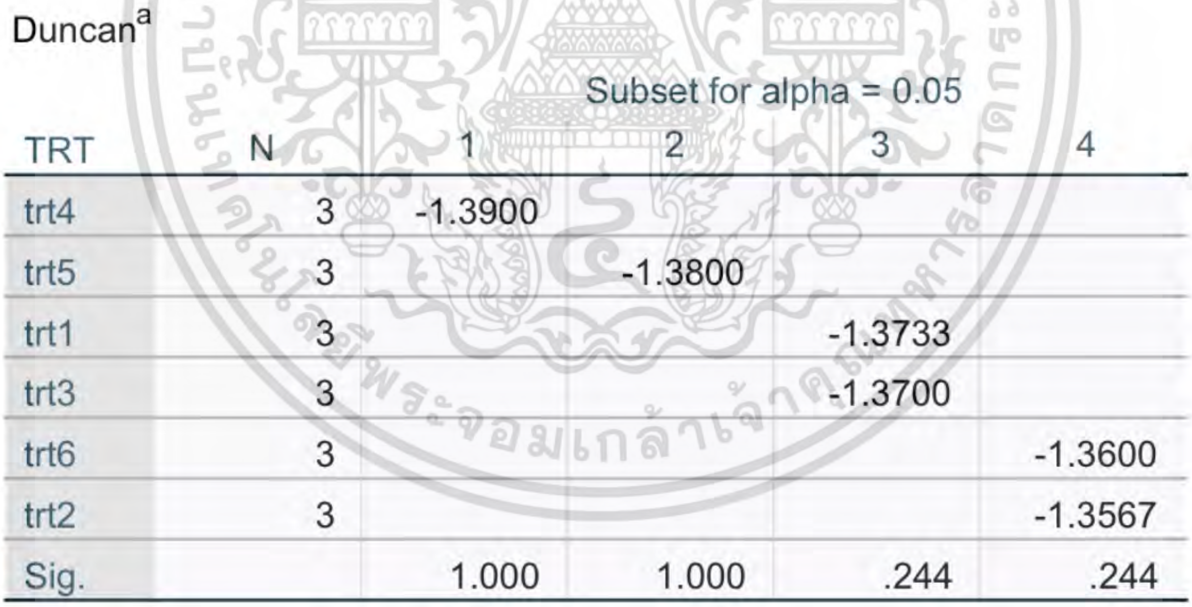
C



Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
trt2	3	17.6167		
trt1	3	17.7200		
trt4	3	17.8033		
trt3	3		18.0233	
trt5	3		18.1967	18.1967
trt6	3			18.3200
Sig.		.095	.103	.233

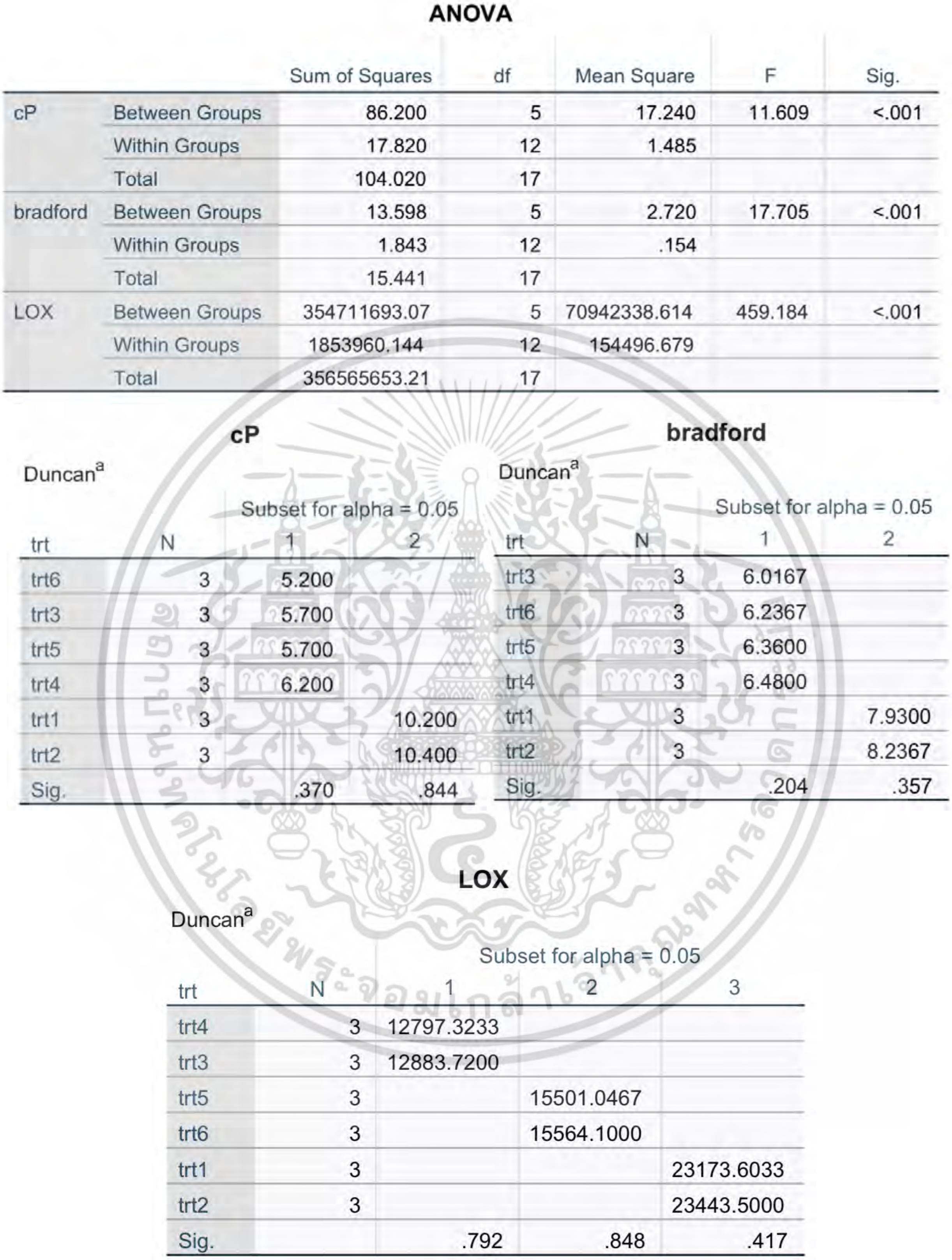
h



Duncan^a

TRT	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
trt4	3	-1.3900			
trt5	3		-1.3800		
trt1	3			-1.3733	
trt3	3			-1.3700	
trt6	3				-1.3600
trt2	3				-1.3567
Sig.		1.000	1.000	.244	.244

รูปที่ ง.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวัดค่าสีในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต



ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
cP	Between Groups	86.200	5	17.240	11.609	<.001
	Within Groups	17.820	12	1.485		
	Total	104.020	17			
bradford	Between Groups	13.598	5	2.720	17.705	<.001
	Within Groups	1.843	12	.154		
	Total	15.441	17			
LOX	Between Groups	354711693.07	5	70942338.614	459.184	<.001
	Within Groups	1853960.144	12	154496.679		
	Total	356565653.21	17			

cP

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05	
trt	N	1	2
trt6	3	5.200	
trt3	3	5.700	
trt5	3	5.700	
trt4	3	6.200	
trt1	3		10.200
trt2	3		10.400
Sig.		.370	.844

bradford

Duncan[a]

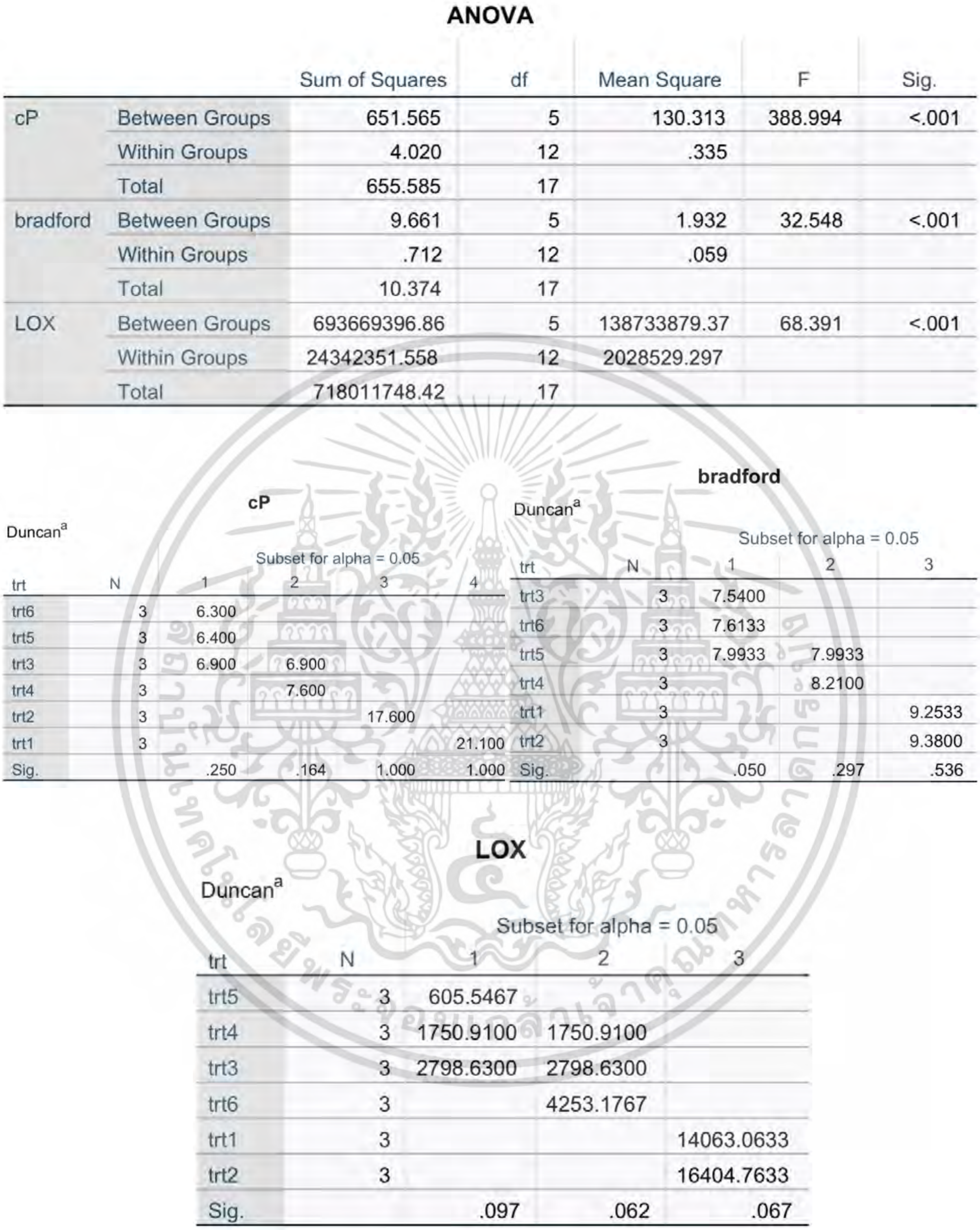
		Subset for alpha = 0.05	
trt	N	1	2
trt3	3	6.0167	
trt6	3	6.2367	
trt5	3	6.3600	
trt4	3	6.4800	
trt1	3		7.9300
trt2	3		8.2367
Sig.		.204	.357

LOX

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05		
trt	N	1	2	3
trt4	3	12797.3233		
trt3	3	12883.7200		
trt5	3		15501.0467	
trt6	3		15564.1000	
trt1	3			23173.6033
trt2	3			23443.5000
Sig.		.792	.848	.417

รูปที่ ง.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน กิจกรรมเอนไซม์ LOX และความหนืด ในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ



ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
cP	Between Groups	651.565	5	130.313	388.994	<.001
	Within Groups	4.020	12	.335		
	Total	655.585	17			
bradford	Between Groups	9.661	5	1.932	32.548	<.001
	Within Groups	.712	12	.059		
	Total	10.374	17			
LOX	Between Groups	693669396.86	5	138733879.37	68.391	<.001
	Within Groups	24342351.558	12	2028529.297		
	Total	718011748.42	17			

cP

Duncan^a

trt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
trt6	3	6.300			
trt5	3	6.400			
trt3	3	6.900	6.900		
trt4	3		7.600		
trt2	3			17.600	
trt1	3				21.100
Sig.		.250	.164	1.000	1.000

bradford

Duncan^a

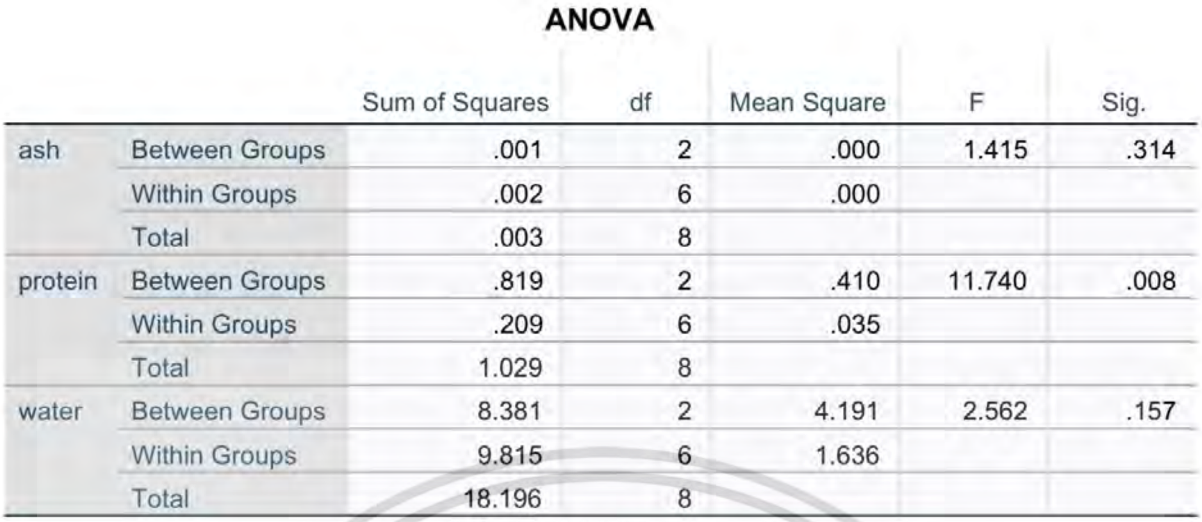
trt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
trt3	3	7.5400		
trt6	3	7.6133		
trt5	3	7.9933	7.9933	
trt4	3		8.2100	
trt1	3			9.2533
trt2	3			9.3800
Sig.		.050	.297	.536

LOX

Duncan^a

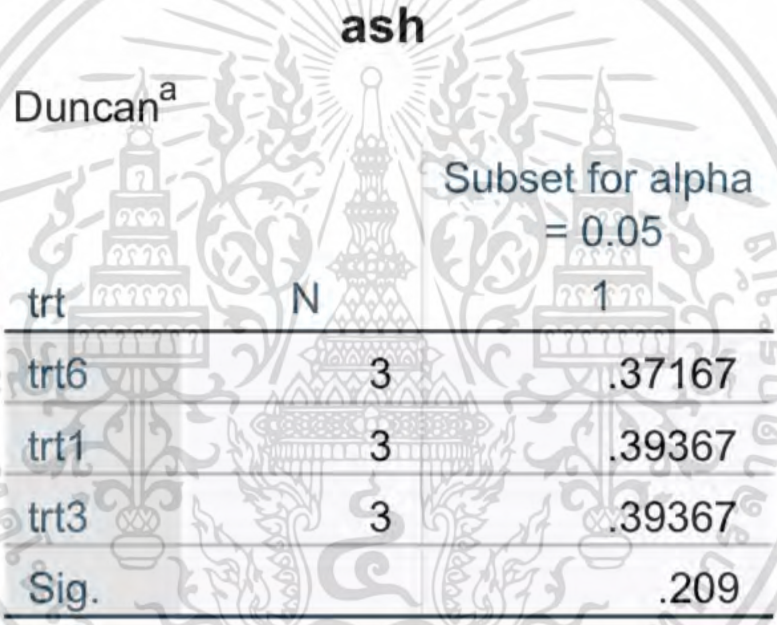
trt	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
trt5	3	605.5467		
trt4	3	1750.9100	1750.9100	
trt3	3	2798.6300	2798.6300	
trt6	3		4253.1767	
trt1	3			14063.0633
trt2	3			16404.7633
Sig.		.097	.062	.067

รูปที่ ง.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน กิจกรรมเอนไซม์ LOX และความหนืดในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต



ANOVA

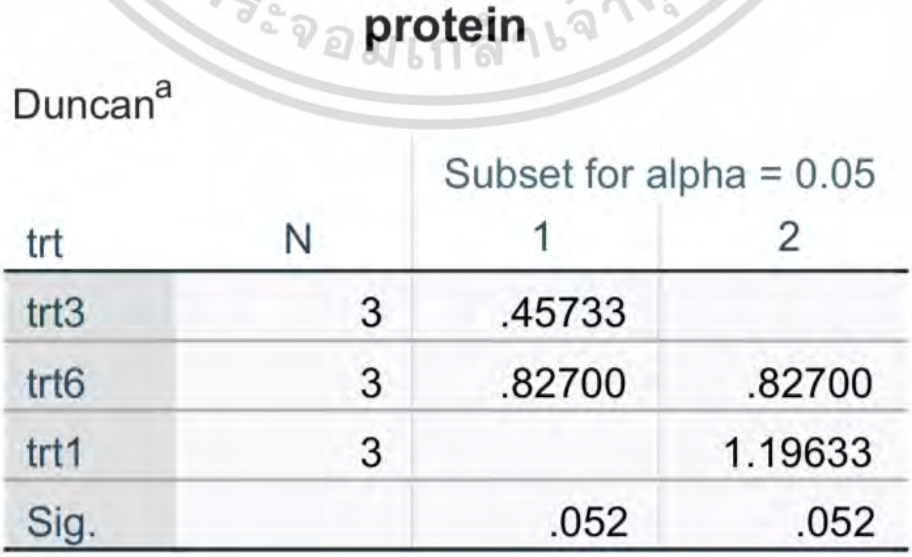
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ash	Between Groups	.001	2	.000	1.415	.314
	Within Groups	.002	6	.000		
	Total	.003	8			
protein	Between Groups	.819	2	.410	11.740	.008
	Within Groups	.209	6	.035		
	Total	1.029	8			
water	Between Groups	8.381	2	4.191	2.562	.157
	Within Groups	9.815	6	1.636		
	Total	18.196	8			



ash

Duncan[a]

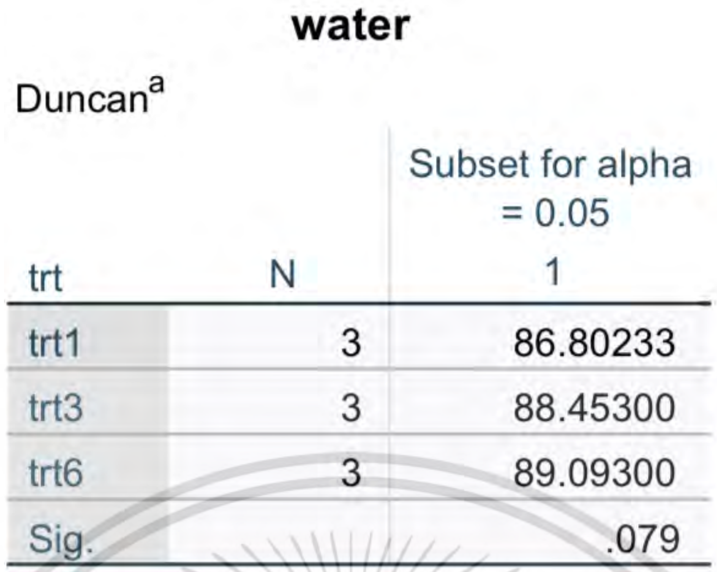
trt	N	Subset for alpha = 0.05 1
trt6	3	.37167
trt1	3	.39367
trt3	3	.39367
Sig.		.209



protein

Duncan[a]

trt	N	Subset for alpha = 0.05 1	 2
trt3	3	.45733	
trt6	3	.82700	.82700
trt1	3		1.19633
Sig.		.052	.052

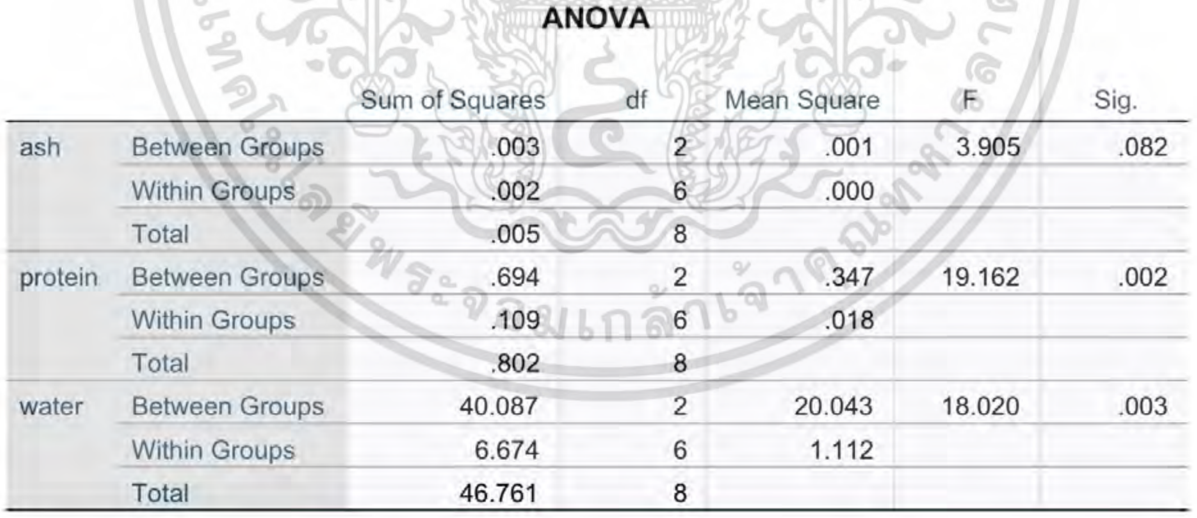


water

Duncan[a]

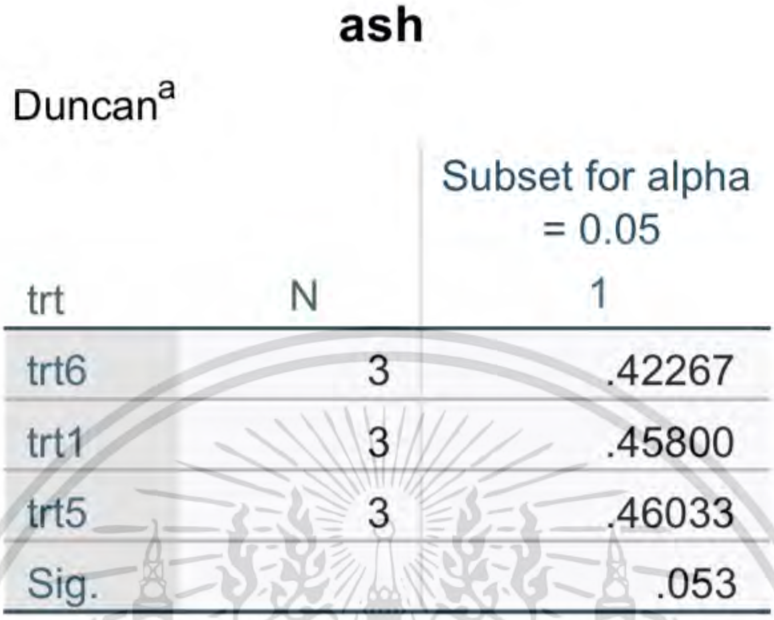
trt	N	Subset for alpha = 0.05
		1
trt1	3	86.80233
trt3	3	88.45300
trt6	3	89.09300
Sig.		.079

รูปที่ ง.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรธรรมชาติ



ANOVA

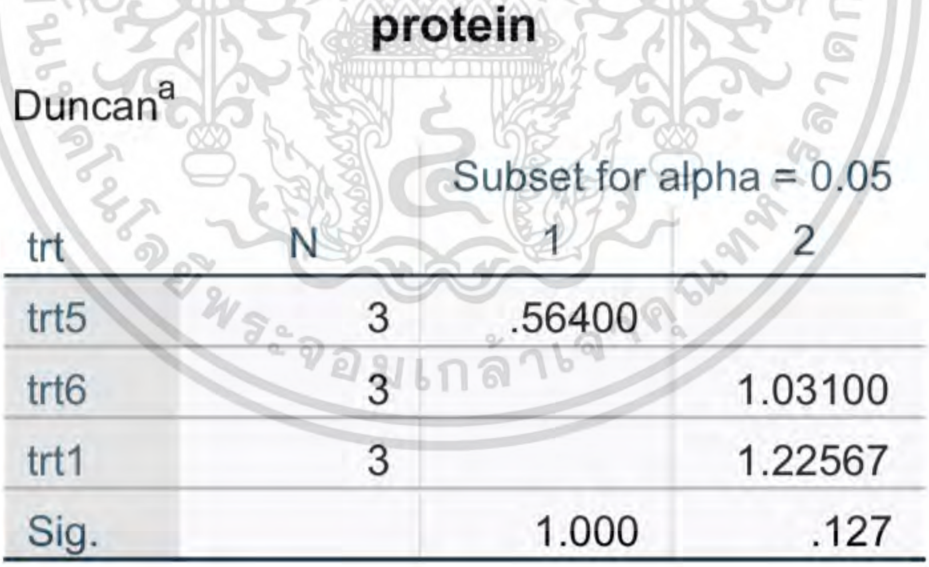
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ash	Between Groups	.003	2	.001	3.905	.082
	Within Groups	.002	6	.000		
	Total	.005	8			
protein	Between Groups	.694	2	.347	19.162	.002
	Within Groups	.109	6	.018		
	Total	.802	8			
water	Between Groups	40.087	2	20.043	18.020	.003
	Within Groups	6.674	6	1.112		
	Total	46.761	8			



ash

Duncan[a]

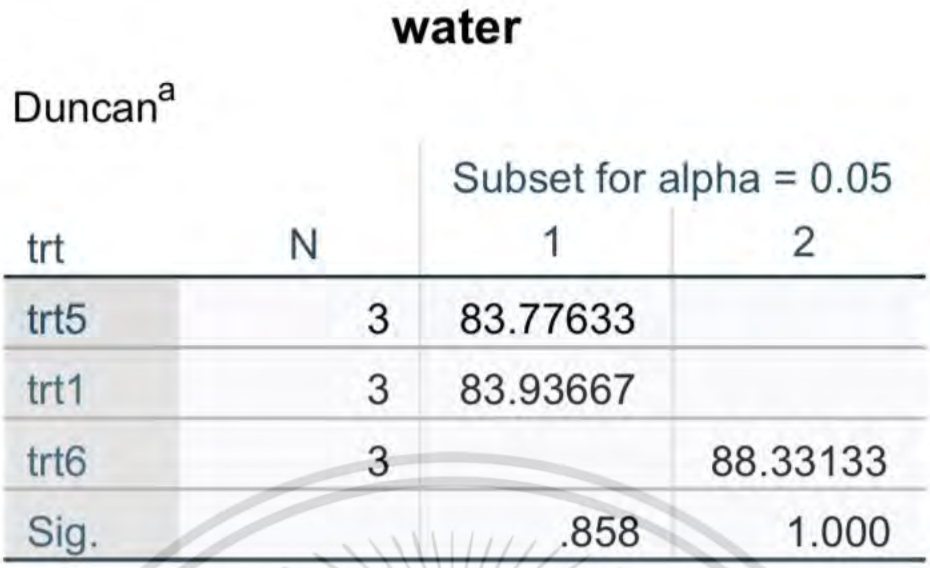
trt	N	Subset for alpha = 0.05
		1
trt6	3	.42267
trt1	3	.45800
trt5	3	.46033
Sig.		.053



protein

Duncan[a]

trt	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
trt5	3	.56400	
trt6	3		1.03100
trt1	3		1.22567
Sig.		1.000	.127



water

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05	
trt	N	1	2
trt5	3	83.77633	
trt1	3	83.93667	
trt6	3		88.33133
Sig.		.858	1.000

รูปที่ ง.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ในตัวอย่างเครื่องดื่มสูตรนมโอ๊ต

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบฟอร์มการตรวจสอบการคัดลอกผลงานทางวิชาการ

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/[✓ นางสาว]) ณัฐกานต์ สุขเกษม รหัสนักศึกษา 63050387

ระดับ ([✓ ปริญญาตรี]/ปริญญาโท/ปริญญาเอก) สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชา ชีววิทยา

คณะ วิทยาศาสตร์

ได้เสนอ

วิทยานิพนธ์	[✓ โครงงานพิเศษ]	สหกิจศึกษา
การค้นคว้าอิสระ	ปัญหาพิเศษ	เทียบเท่า ระบุ...........
ปริญญานิพนธ์	การศึกษาอิสระ	

หัวข้อเรื่อง

(ไทย) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วเขียว

(อังกฤษ) Development of mung bean drinking product

ได้ตรวจเช็คผลงานวิชาการข้างต้นแล้ว ในภาคเรียนที่ 2 วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม ปี 2567

โดยใช้โปรแกรม

☑ อักขราวิสุทธิ์ ☐ TURNITIN

ทั้งนี้ ตรวจสอบพบความเหมือนของเนื้อหา 1.85 % โดยอาจารย์ที่ปรึกษายอมรับได้ว่าไม่ได้คัดลอกข้อความที่มีสาระสำคัญจากผลงานของผู้อื่น

ลายมือชื่อนักศึกษา ณัฐกานต์ สุขเกษม
(ณัฐกานต์ สุขเกษม)
วันที่ 31 พฤษภาคม 2567

ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา กิติญา ฐนแก้ว
(ดร.กิติญา ฐนแก้ว)
วันที่ 4 มิถุนายน 2567