ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดสมุย (*Micromelum minutum*) และการประยุกต์ใช้ในไส้กรอกหมู

ANTIOXIDANT EFFICIENCY OF SAMUI (*MICROMELUM MINUTUM*) EXTRACTS AND ITS APPLICATION IN PORK SAUSAGE

วรรณรดา กรึงไกร

WANRADA KRUNGKRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2564

KMITL-2021-FI-M-054-397

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANTIOXIDANT EFFICIENCY OF SAMUI (*MICROMELUM MINUTUM*) EXTRACTS AND ITS APPLICATION IN PORK SAUSAGE

WANRADA KRUNGKRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SAFETY MANAGEMENT

SCHOOL OF FOOD-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

KMITL-2021-FI-M-054-397

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF FOOD-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดสมุย (*Micromelum minutum*) และการประยุกต์ใช้ในไส้กรอกหมู
นักศึกษา	นางสาววรรณรดา กรึงไกร
รหัสประจำตัว	59608025
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การจัดการความปลอดภัยอาหาร
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.วริพัสย์ อารีกุล

บทคัดย่อ

ใบสมุย (*Micromelum minutum*) ที่บริโภคกันทั่วไปในภาคใต้ของประเทศไทยมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง ในการศึกษานี้ การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด มีผลต่อสารสกัดสมุยทั้งชนิดและปริมาณฟีนอลิค ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (DPPH scavenging activity), ABTS (ABTS $^{+}$ radical scavenging activity) FRAP (Ferric reducing/ antioxidant power (FRAP) และ Anti-TBARs โดยสารสกัดจากเอธานอลและอะซิโตนมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อมาในการศึกษาความคงตัวของสารสกัดสมุยที่พีเอชระหว่าง 5-7 และสภาวะการให้ความร้อน 3 สภาวะในกระบวนการผลิตไส้กรอกหมู พบว่า โดยส่วนใหญ่การเพิ่มพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนทำให้สารประกอบฟีนอลิค และสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ยกเว้น ABTS โดยรวมสารสกัดจากอะซิโตนมีความคงตัวต่อพีเอช 5 และสภาวะการให้ความร้อนต่ำได้ดีกว่าสารสกัดจากตัวทำละลายอื่นๆ

การทดลองที่สองเป็นศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในไส้กรอกหมูที่เติมด้วยสารสกัดจากสมุยที่ความเข้มข้นต่างๆ 2 ความเข้มข้น ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พารามิเตอร์สีในไส้กรอกหมูทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความสว่าง (L^*) และ b^* ลดลงเล็กน้อย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของทุกๆ ตัวอย่าง แต่การลดลงของค่าความสว่างในตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยมีค่ามากกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม สำหรับพารามิเตอร์เนื้อสัมผัสทั้งความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) และการยึดเกาะ (Cohesiveness) มีค่าค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดสมุยสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) และ TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances) ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BHT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย การใช้สารสกัดสมุยที่ความเข้มข้นสูงกว่า (500 พีพีเอ็ม) มีประสิทธิภาพสูงกว่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่า (100 พีพีเอ็ม) เล็กน้อย ดังนั้นจากผลการทดลองนี้ การเติมสารสกัดสมุยในไส้กรอกหมูช่วยลดการออกซิเดชันของไขมันในตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้

คำสำคัญ: สารสกัดสมุย ประสิทธิภาพของสารสกัด, สารประกอบฟีนอลิค, กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ, ไส้กรอกหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Antioxidant Efficiency of Samui (*Micromelum Minutum*) Extracts and Its Application in Pork Sausage
Studant	Miss. Wanrada Krungkri
Studant ID.	59608025
Degree	Master of Science
Program	Food safety management
Year	2021
Thesis Advisor	Asst. Prof.Dr. Varipat Areekul

ABSTRACT

Samui (*Micromelum minutum*) leaf, commonly consumed in southern Thailand has a high potential of antioxidant. In this study, 3 various solvents affected on the Samui extracts in type and amount of phenolic contents, total phenolic content, DPPH radical scavenging (DPPH), ABTS radical scavenging (ABTS), FRAP (ferric ion reducing antioxidant power) and antioxidation by TBARS (anti-TBARs). The ethanol and acetone had more extraction effectiveness compared to water ($p \leq 0.05$). Furthermore, the stabilities of Samui extracts in pH (5-7) and 3 heating conditions in pork sausages process were studied, it was found that increasing pH and heating condition mainly deteriorated on phenolic content and antioxidant activities except ABTS ($p \leq 0.05$). Among result, the acetone extract had the higher stability at pH 5 and lowest heating condition.

In the second experiment, physical, chemical and microbial changes were determined in pork sausages added with 2 Samui extract concentration during storage at 4 °C for 35 days. As the retention period increased, the color parameter in all samples and control were insignificant difference ($p>0.05$). The lightness (L^*) and b^* slightly decreased leading to major change in color difference (ΔE) in all samples but L^* in sample added with Samui extract slightly decreased higher than control and sample added with BHT ($p>0.05$). For texture parameters (hardness, springiness and cohesiveness), there seemed to be consistency. However, the addition of Samui extract in sausage was significantly able to inhibit lipid oxidation. Both peroxide value (PV) and Thiobarbituric acid reactive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

substances (TBARS) in sample added with Samui extract were statistically lower compared with control and sample with BHT ($p \leq 0.05$). The total amount of microorganisms increased with increasing storage but the sample with extract showed slightly lower than control. The higher concentration (500 ppm) were slightly be more effective compared with lower concentration (100 ppm). From this experiment, the addition of Samui extract in pork sausage can help slow down lipid oxidation during storage at 4 °C.

Key words: Samui extract (*Micromelum minutum*), extract effectiveness, phenolic compounds, antioxidant activity, pork sausages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการความปลอดภัยอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วริพัสย์ อารีกุล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้แนวคิด คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งท่านอาจารย์ประจำคณะอุตสาหกรรมอาหารทุกท่านที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการแก้ไขปัญหา ตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการได้แก่ ผศ.ดร. วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์ ผศ. ดร. โสรยา เกิดพิบูลย์ และ ดร. ระจิตร สุวพานิช เป็นอย่างสูงที่ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการสอบปกป้องวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและชี้แนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของคณะที่ให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดทั้งในเรื่องสถานที่ งานธุรการ สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะอุตสาหกรรมอาหารทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่เป็นแรงผลักดันสนับสนุนให้กำลังใจ รวมถึงให้ความรัก ความห่วงใย และความเข้าใจตลอดจนสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้ประโยชน์อันเกิดจากการทำรายงานฉบับนี้ ขอมอบให้แก่บิดา มารดา คณาจารย์และผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

วรรณรดา กรึงไกร

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1	
1.1 ที่มา และความสำคัญ	13
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	14
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	14
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	14
บทที่ 2	
2.1 พืช	15
2.2 สารพฤษเคมี	17
2.3 วิธีการสกัดสารพฤษเคมี	21
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารสกัด	22
2.5 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidants)	24
2.6 วิธีการทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชัน	29
2.7 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก	33
2.8 การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก	34
2.9 การประยุกต์ใช้สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์	37
บทที่ 3	
3.1 วัสดุอุปกรณ์	41
3.2 วิธีการทดลอง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4

4.1 การศึกษาความคงตัวของการสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน ต่อชนิดและปริมาณสารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน 51

4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในไส้กรอกหมู ที่เติมสารสกัดสมุยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 35 วัน 73

บทที่ 5

5.1 สรุปผลการทดลอง 87

5.2 ข้อเสนอแนะ 88

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเตรียมสารละลายมาตรฐานและรีเอเจนต์ทดสอบ 105

ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐาน 108

ภาคผนวก ค ตารางผลการทดลอง 112

ประวัติผู้เขียน 129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เครื่องเทศ และพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ	25
2.2	กลไกการต้านอนุมูลอิสระและตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระ	29
4.1	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิค ในสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ	51
4.2	ชนิด และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ	53
4.3	สารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ ในพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ และเปอร์เซ็นต์ความคงตัว	58
4.4	ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดสมุย ด้วยตัวทำละลายต่างๆ	60
4.5	ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{+}$ ของสารสกัดสมุย ด้วยตัวทำละลายต่างๆ	64
4.6	ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดสมุย ด้วยตัวทำละลายต่างๆ	67
4.7	ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Anti-TBARs) ของสารสกัดสมุย ด้วยตัวทำละลายต่างๆ	70
4.8	ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุย และตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สมุย	15
2.2	โครงสร้างของกรดแกลลิค	18
2.3	โครงสร้างของกรดคลอโรจีนิค	18
2.4	โครงสร้างของกรดวานิลิก	19
2.5	โครงสร้างของกรดไซริงจิค	19
2.6	โครงสร้างของกรดเฟอรูริค	20
2.7	โครงสร้างของกรดคูมาริก	20
2.8	โครงสร้างของกรดซินนามิก	20
3.1	ไส้กรอกหมู	47
4.1	ผลของสภาวะความร้อน และพีเอช ต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัวปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดสมุย	55
4.2	ผลของสภาวะความร้อน และพีเอชต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว DPPH ของสารสกัดสมุย	63
4.3	ผลของสภาวะความร้อน และพีเอชต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว $ABTS^{+}$ ของสารสกัดสมุย	66
4.4	ผลของสภาวะความร้อน และพีเอชต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว FRAP ของสารสกัดสมุย	69
4.5	ผลของสภาวะความร้อน และพีเอชต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว anti-TBARs ของสารสกัดสมุย	71
4.6	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไส้กรอกหมูระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 35 วัน	73
4.7	ค่าความสว่าง (L^*) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 35 วัน	74
4.8	ค่าค่าสีแดง (a^*) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา	75
4.9	ค่าค่าสีเหลือง (b^*) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

4.10 ค่าความแข็ง (Hardness) ของไส้กรอกหมู
ที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา 78

4.11 ค่าการยืดหยุ่น (Springiness) ของไส้กรอกหมู
ที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา 80

4.12 ค่าการยึดเกาะ (Cohesiveness) ของไส้กรอกหมู
ที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา 81

4.13 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV) ของไส้กรอกหมู
ที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา 82

4.14 ค่าปริมาณ Thio barbituric acid reactive substances (TBARS) ของไส้กรอกหมู
ที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา 84

4.15 ค่าปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total microbial count) ของไส้กรอกหมู
ที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญ

สมุย เป็นพืชอาหารที่พบทั่วไปในภาคใต้ของประเทศไทย นิยมใช้ยอดอ่อน และใบอ่อน ในการประกอบอาหารต่างๆ รวมถึงบริโภคสด ใบของสมุยประกอบด้วยสารพฤกษเคมี ได้แก่ ฟีนอลิค คูมาริน อัลคาลอยด์ และเบตา-ซิโตสเตอรอล (นันทวัน และอรนุช, 2543; สุธรรม, 2552; van Valkenburg และ Bunyaprapatsara, 2001)) สารพฤกษเคมีเหล่านี้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารคูมารินในใบสมุยสามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ (Sakunpak และคณะ, 2013) ดังนั้น การบริโภคผักชนิดนี้จึงอาจช่วยป้องกันโรคที่ไม่ติดต่อเรื้อรังได้

ในปัจจุบัน คนไทยมีอัตราการบริโภคเนื้อหมูแปรรูปเพิ่มขึ้น ทั้งในรูปเนื้อหมูชำแหละ ไส้กรอก แฮม ลูกชิ้น และผลิตภัณฑ์พื้นเมืองต่างๆ เช่น กุนเชียง หมูยอ หมูแผ่น เป็นต้น (เยาวลักษณ์, 2532; สัญชัย, 2543) สำหรับไส้กรอกหมู เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดขึ้นรูปประเภทหนึ่ง ที่นำมาต้ม นึ่ง หรือทอด จัดเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่นิยมบริโภคในประเทศ อย่างไรก็ตามในระหว่างการเก็บรักษา มักพบการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้มีกลิ่นหืน มีรสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการและอายุการเก็บรักษาลดลง (Haak และคณะ, 2006) การเติมสารสังเคราะห์ เช่น ไนเตรท บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีอะนิซอล (Butylated hydroxyanisole, BHA) และบิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene, BHT) เป็นต้น หากได้รับสารต่างๆ เหล่านี้ในปริมาณมาก อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (ศิวาพร, 2535; Moure และคณะ, 2001) ประกอบกับในปัจจุบัน ผู้บริโภคหันมาสนใจสุขภาพมากขึ้น จึงเริ่มมีใช้การสารกันหืนจากธรรมชาติมากขึ้น โดยเฉพาะสารพฤกษเคมีที่มีศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง ได้แก่ สารโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ แอนโธไซยานิน แคโรทีนอยด์ และวิตามิน เป็นต้น

จากงานวิจัยต่างๆ พบว่าพืชพื้นบ้านหลายชนิดที่มีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และ สารสำคัญในปริมาณฟีนอลิคสูง อีกทั้งมีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมัน เช่น สมุย ติ้วขาว และทะโล้ เป็นต้น (นราพร, 2552; Maisuthisakul และคณะ, 2007) ในการทดสอบเบื้องต้น พบว่าสารสกัดสมุยที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมันได้ดี รวมถึงผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ที่มีส่วนประกอบของไขมันได้อีกด้วย (วริพัสย์ และนราพร, 2554) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของตัวทำละลายต่างๆ รวมถึงความคงตัวของสารสกัดสมุยที่สภาวะพีเอช และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วจึงประยุกต์ใช้สารสกัดในไส้กรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา จากนั้นนำวิเคราะห์แนวทางในการลดปริมาณการใช้สารสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก รวมถึงการส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าจากพืชพื้นบ้านดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ ต่อชนิดและปริมาณสารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

1.2.2 เพื่อศึกษาความคงตัวของสารสกัดสมุยที่พีเอชต่างๆ ในสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของสารสกัดสมุยที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไส้กรอกหมูระหว่างการเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

เป็นการศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีขั้วแตกต่างกัน 3 ชนิดของสารสกัดสมุย ต่อชนิดและปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic content, TPC) รวมถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ 4 วิธี แล้วศึกษาความคงตัวของสารสกัดที่พีเอชต่างๆ (5-7) ต่อสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส จากนั้นคัดเลือกสารสกัดเพื่อใช้ในการศึกษาในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูที่ความเข้มข้นต่างๆ 2 ระดับ และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และสุ่มตัวอย่างมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 35 วัน โดยเปรียบเทียบกับไส้กรอกสดควบคุม และไส้กรอกหมูสดที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อให้ทราบว่าความคงตัวของสารสำคัญในสารสกัดด้วยตัวทำละลายต่างๆ ที่พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

1.4.2 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำสารสกัดสมุยไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ

1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สารสกัดสมุยในอาหารประเภทผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมุย

พืชประกอบด้วยสารพฤกษเคมี (Phytochemcials) ต่างๆ ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในกระบวนการชีวสังเคราะห์ที่จำเพาะ ทำให้องค์ประกอบของสารพฤกษเคมีในพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน สารพฤกษเคมีสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ แอลคาลอยด์ และซาโปนิน เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีสมบัติที่แตกต่างกัน ทั้งอาจมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา หรือมีบทบาทในการกำจัดอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน รวมถึงส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด โดยพืชพื้นบ้านในแต่ละท้องถิ่น เป็นพืชกลุ่มหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก สามารถประกอบเป็นอาหาร ยารักษาโรค (Cherkupally และคณะ, 2017) สำหรับข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับชื่อและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ รวมถึงสรรพคุณและการใช้ประโยชน์ของสมุย พืชพื้นบ้านที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

ภาพที่ 2.1 สมุย

สมุย (*Micromelum minutum* (G. Forst.) Wight & Arn.) : Rutaceae พบมากบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย มีชื่อพื้นเมืองที่เรียกกันทั่วไป ว่า สมุย หมุยช้าง หมุยขาว หมุยขน และหัสคุณ โดยทั่วไปนิยมบริโภคยอดอ่อน และใบอ่อน ใช้ในการทำประกอบอาหารหลายประเภท เช่น จิ้มน้ำพริก ใส่ข้าวยำ และ มีรายงานสรรพคุณทางยาของใบ มีรสหอมเผ็ดร้อนตำทาแก้คัน พอกประคบหรืออบไอน้ำ แก้ผื่นคันตามผิวหนัง และส่วนของใบมีรสเผ็ดร้อนเป็นยาแก้ไข้ หืดไอ และปวดท้อง ซึ่งกลิ่นหอมของใบเป็นยาแก้เสมหะ และช่วยแก้ลมจุกเสียด ช่วยขับลม (วงศ์สถิตย์ และคณะ, 2539; สุธรรม, 2552)

สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่พบในสารสกัดส่วนใบของพืชชนิดนี้ ได้แก่ คูมารินอย่างน้อย 12 ชนิด เช่น Micromarn A, B, C, F, G และ H; Micromelin; Murralonginol-iso Valeratete; Micro-minutinin; 6-Methoxymicrominutinin, Microminutin และ Murrangatin และเมื่อสกัดโดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮกเซนผสมไดเอทิลอีเทอร์ ได้สาร Coumarin phebalosin ที่สกัดได้จากใบและกิ่งมีสาร Micromelin; Microminutinin; 6-Methoxymicrominutinin และ 1, 2-Seco-Dihydromicromelin จากพืชที่เก็บในมาเลเซีย ส่วนพืชที่เก็บในอินเดีย มีสารในกลุ่ม Coumarins ชนิด Othol; Murrangatin; Murralongin; Murrangatin; Dihydromicromelin-A และ –B และ Acetyldihydromicromelin A นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มอัลคาลอยด์ ได้แก่ Furoquinoline, Alkaloid และ Flindersine (van Valkenburg และ Bunyaprapatsara, 2001) ยังมีการรายงานสารอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้น ได้แก่ Angelical; 6-(2,3-Dihydroxy-3-methyl-butyi)-7-methoxy coumarin; Hentricontan-1-ol; N-hentriacontane; Imperatorin; Limettin;, Dihydro melin A และ B, Dihydro micromelin A acetate; Micromelumin; Micropubescin; Minumicrolin; Murralongin; Murrangatin; Murrangatin-7, 12-Ether-5, 7-Dihydroxy-3, 4', 6,8-Tetramethoxy-Flavone; Phebalosin; Scopoletin และ β-Sitosterol รวมทั้งสารอื่นๆ เช่น เบตา-ซิโตสเตอรอล Hentriacontane, Imperatorin, Limettin และ Melin A เป็นต้น (นันทวัน และอรนุช, 2543) รวมทั้งยังพบรายงานการแยกมอโนเทอร์พีนคูมาริน ได้แก่ คลอสแลกโทนอี (Clauslactone E, 6.86) และมินูทินบี (Minutin B, 6.87) ในใบสมุยสามารถยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Sakunpak และคณะ, 2013)

นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาผลของสารสกัดสมุย ต่อการต้านการหืนในอิมัลชัน ซึ่งสกัดพืชด้วยเอธานอล พบว่ามีปริมาณฟีนอลิคและความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH scavenging activity (DPPH) Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) และ Oxygen radical absorbance capacity assays (ORAC) มีค่าสูง โดยสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการต้านการหืนที่ดี และมีประสิทธิภาพที่ดีในอิมัลชันที่มีน้ำมันต่างกันทั้งอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมัน 90 เปอร์เซ็นต์และ 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสารสกัดทะโล้ หมีเหม็น และผักไผ่ ส่งผลให้สารสกัดดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบอิมัลชันทั้งสองได้ รวมถึงผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ที่มีส่วนประกอบของไขมันได้อีกด้วย (วริพัสย์ และนราพร, 2554) ซึ่งรายงานของ ยุพา และวริพัสย์ (2555) กล่าวว่าสารสกัดจากผักสมุย (*Micromelum minutum*) มีศักยภาพในการกันหืนได้ดีในน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้ เนื่องจากใบพืชมีสารประกอบโพลีฟีนอลที่สำคัญ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ กรดแกลลิค เควอซีทีน และสารประกอบอะโรมาติก ที่สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้

Pakit และ Sudarrt (2019) ศึกษาผลของความสามารถในการต้านการหืนของสารสกัดด้วยเอธานอลจากพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้จำนวน 10 ชนิด ที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ในน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 วัน จากนั้นวิเคราะห์ค่าความหืนด้วย Conjugated diene hydroperoxides (CD), Peroxide value (PV), Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) พบว่า น้ำมันที่เติมสารสกัดพืช 2 ชนิดคือ สารสกัดสมุย (*M. minutum*) และเสนียด (*Justicia*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

adhatoda) มีค่า CD, PV และ TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงว่าสารสกัดพืชทั้ง 2 ชนิด สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันเมล็ดทานตะวันได้ดีกว่าสารสกัดพืชชนิดอื่น (เปรมยุดา และวริพัสย์, 2556) ต่อมาศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระของพืชไทย 10 ชนิด พบว่า สารสกัดด้วย Dichlorometane ของ M. *minutum* มีสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูง และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่า BHT ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ แต่ต่ำกว่าสารสกัดอื่น ๆ โดยก่อนหน้านี้ Plernchai และคณะ (2005) ได้ศึกษาสารสกัดจากผักพื้นบ้านไทยเป็นสารยับยั้งการหืนในแบบจำลองอิมัลชันน้ำมันในน้ำ พบว่า สารสกัดสมุยที่สกัดด้วยเอธานอลมีปริมาณฟีนอลิคสูงกว่า และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าตัวทำละลายน้ำ มีฤทธิ์ยับยั้งการหืนได้มากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (BHA, 10 พีพีเอ็ม) ดังที่ได้กล่าวมาสารสกัดสมุยมีความหลากหลายของชนิด และปริมาณสารชีวกิจกรรม ซึ่งมีความปลอดภัยในการใช้ในอาหาร

2.2 สารพฤษเคมี

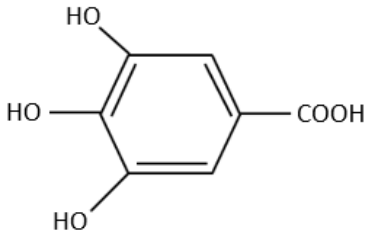
สารพฤกษเคมี หรือไฟโตนิวเทรียนท์ (Phytonutrients) หมายถึง สารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช สารกลุ่มนี้อาจเป็นสารที่ทำให้พืชผักชนิดนั้นๆ มีสี กลิ่นหรือรสชาติที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งพืชประกอบด้วยสารพฤกษเคมีหลายประเภทที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยมากเป็นสารทุติยภูมิ (Secondary product) ที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์บางอย่าง เช่น ป้องกันตัวเองจากเชื้อโรคและแมลง ให้สีสันกับพืช และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิค (Phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (Lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิคด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (Organic acid) เป็นต้น โดยสารพฤกษเคมีในพืช มีหลายชนิดแต่ละชนิดมีฤทธิ์ต่างกันไป แต่โดยส่วนใหญ่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีแนวโน้มให้อิเล็กตรอนได้ดี (รัตนา, 2547)

โดยสารพฤกษเคมีที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สำคัญในสารสกัดส่วนใบของสมุยที่ใช้ในการทดลองนี้ มีดังต่อไปนี้

2.2.1 กรดแกลลิค (Gallic acid)

กรดแกลลิค หรือ 3,4,5-Hydroxybenzoic acid เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_7H_6O_5$ ทั้งนี้โครงสร้างของกรดแกลลิคดังภาพที่ 2.2 โดยกรดแกลลิคเป็นส่วนประกอบของแทนนิน สามารถละลายได้ในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ พบมากในองุ่น ใบชา เปลือกไม้โอ๊คและพืชอื่นๆ โดยทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ดีในอุตสาหกรรมอาหารสามารถยับยั้งเชื้อรา เชื้อไวรัส และเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดี (นิธิยา, 2548)

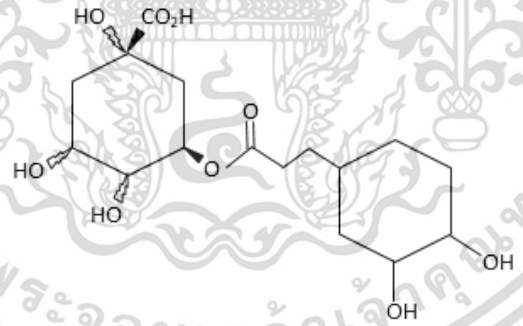
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของกรดแกลลิค

2.2.2 กรดคลอโรจินิค (Chlorogenic acid)

กรดคลอโรจีนิค เป็นเอสเทอร์ของกรดคาเฟอิค (Caffeic acid) เฟอรูลิค (Ferulic acid) และกรดพาราคูมาลิค (p-Coumaric) กับกรดควินิค (Quinic acid) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอธานอล อะซิโตน และละลายได้เล็กน้อยในเอทิลอะซิเตท โครงสร้างของกรดคลอโรจีนิคแสดงดังภาพที่ 2.3 พบในโครงสร้างที่แตกต่างกันเช่น Caffeoylquinic acids (CQA), Dicaffeoylquinic acids (di-CQA), Feruloylquinic acids (FQA), และ p-Coumaroylquinic acids (p-CoQA) (Kitts และ Liang, 2015) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิคที่มีความสำคัญทางชีวภาพเป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติพบได้ในพืชหลายชนิดได้แก่ ชา กาแฟ โกโก้ แอปเปิ้ล และลูกแพร เป็นต้น (Clifford, 2003) ในปริมาณที่สูง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสามารถยับยั้งการกลายพันธุ์ของเซลล์มะเร็ง และยังเป็นประโยชน์ต่อระบบภูมิคุมกันของร่างกาย ช่วยลดความเสี่ยงจากโรคติดต่อบางชนิดได้ อีกทั้งยังมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ (Zhou และคณะ, 2004)



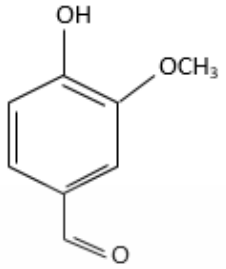
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของกรดคลอโรจีนิค

2.2.3 กรดวานิลิก (Vanillic acid)

กรดวานิลิก ประกอบด้วยหมู่อัลดีไฮด์และฟีโนลิก ละลายได้ในน้ำ เอธานอล อะซิโตน น้ำมัน และไฮดรอกไซด์ที่เป็นน้ำ (Van Ness, 1983) โครงสร้างของกรดวานิลิกแสดงดังภาพที่ 2.4 กรดวานิลิกเป็นอโรมาที่ใช้เป็นสารแต่งกลิ่นรสในอุตสาหกรรมอาหาร มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน สามารถละลายน้ำได้ และสามารถสังเคราะห์ได้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อใช้เป็นสารให้กลิ่นในลูกกวาด อาหารและเครื่องดื่ม นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในไวน์ที่บ่มนานๆ และได้จากการผลิตเคอร์คิวมิน (Curcumin) จากขมิ้น (Wang และคณะ, 1997) กรดวานิลิกมีกลิ่นแรง ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร และนิยมใช้ในกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

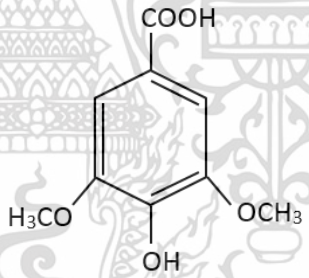
สังเคราะห์ยาในยุโรป อนุพันธุ์ของกรดวานิลิกถูกใช้เป็นยาบำรุงกำลัง กรดวานิลิกมีคุณสมบัติในการต้านสารก่อมะเร็ง (Ghosh และคณะ, 2006)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของกรดวานิลิก

2.2.4 กรดไซริงจิค (Syringic acid)

กรดไซริงจิค เป็นกรดอินทรีย์ที่เป็นอนุพันธ์ของสารฟีนอล สามารถผลิตและสังเคราะห์ได้จากธรรมชาติ และการสังเคราะห์ทางเคมี โดยโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 2.5 กรดชนิดนี้เป็นองค์ประกอบของพืชหลายชนิด สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอธานอล อะซิโตน ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ และไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ละลายได้ไม่ดีในน้ำ (Zhou และคณะ, 2003) ยังเป็นสารที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง อาทิ ใช้เป็นส่วนผสมเครื่องสำอาง ใช้เคลือบรักษาผลิตภัณฑ์การเกษตร ใช้สำหรับการป้องกัน และกำจัดจุลินทรีย์ เป็นต้น (Mahfuzur Rob และคณะ, 2020)



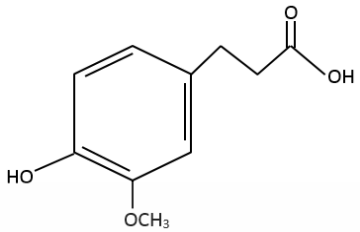
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของกรดไซริงจิค

2.2.5 กรดเฟอร์รูริค (ferulic acid)

กรดเฟอร์รูริค เป็นสารประกอบฟีนอลิคที่พบได้ทั่วไปในพืช เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างสายโพลิแซคคาไรด์ด้วยกันเองหรือเป็นตัวเชื่อมระหว่างสายโพลิแซคคาไรด์กับลิกนิน ทำให้เกิดโครงข่ายของผนังเซลล์ที่แข็งแรงซึ่งช่วยเสริมการยึดเกาะระหว่างเซลล์เนื้อเยื่อของพืช และช่วยยับยั้งการขยายตัวของเซลล์ที่มากเกินไป โครงสร้างทางเคมีของกรดเฟอร์รูริคแสดงดังภาพที่ 2.6 เฟอร์รูริค จัดให้เป็นสารเติมแต่งในอาหารที่มีฤทธิ์ในการถนอมอาหารและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบมากในส่วนของรากของเมล็ดธัญพืช เปลือกของผักผลไม้ และราก ทั้งในรูปอิสระ, เอสเทอร์ที่ละลายน้ำ (Soluble ester) หรือรูปคอนจูเกต (Conjugate form) และรูปที่รวมกับสารอื่นและไม่ละลายน้ำ (Insoluble-bound form) อีกทั้งมีการรายงานว่ากรดเฟอรูลิคมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

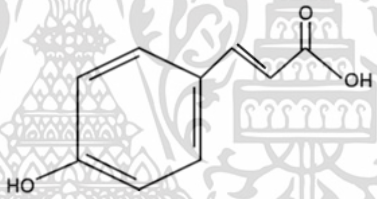
ต้านการอักเสบ ต้านแบคทีเรีย ต้านการเกิดลิ่มเลือด และต้านเซลล์มะเร็ง รวมทั้งสามารถป้องกันการเกิดโรคหัวใจได้ (วิภาภรณ์., 2014)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของกรดเฟอรูริค

2.2.6 กรดคูมาริก (Coumaric acid)

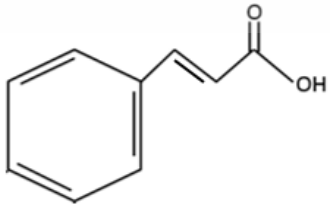
กรดคูมาริก เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีผลึกของแข็งที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้มาก เอธานอล อะซิโตน และไดเอทิลอีเทอร์ กรดคูมาริคมีโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 2.7 ฟีนอลิคชนิดนี้มีฤทธิ์ทางชีวภาพ คือสามารถต้านการออกซิเดชันของ Low-density lipoprotein (LDL) และเชื่อว่าสามารถลดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งในกระเพาะอาหาร พบมากที่สุดในธรรมชาติ เช่น ถั่วลิสง แครอท พริกสีเขียว สตรอเบอร์รี สับประรด มะเขือเทศ และกระเทียม (Galvez และคณะ, 1994)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของกรดคูมาริก

2.2.7 กรดซินนามิก (Cinnamic acid)

กรดซินนามิก เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรเคมีคือ $C_9H_8O_2$ จัดอยู่ในกลุ่มกรดคาร์บอกซิ-ลิกไม่อิ่มตัว มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.8 เป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้เล็กน้อยและละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ พบในพืชหลายชนิดในรูปไอโซเมอร์แบบซิส (Cis) และทรานส์ (Trans) โดยพบแบบทรานส์มากกว่า (Budavari และ Susan, 1996) พบกรดซินนามิกในน้ำมันอบเชย และยางไม้ สไตแรกซ์ (Styrax balsam) ซึ่งกรดซินนามิกมีกลิ่นคล้ายน้ำผึ้ง จึงใช้ในการเสริมรสชาติอาหาร การย้อมสี อุตสาหกรรมน้ำหอมและอุตสาหกรรมยา (Claisen, 1890)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของกรดซินนามิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีการสกัดสารพฤกษเคมี

การสกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ตัวทำละลายที่มีสมบัติความมีขั้วที่แตกต่างกัน จะทำให้สารสกัดพืชมีสารพฤกษเคมี หรือสารสำคัญที่อยู่ในพืชที่มีความเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีลักษณะโมเลกุลซับซ้อนที่แตกต่างกัน ทั้งอิสระ และรวมตัวอยู่กับสารอื่นๆ (รัตนา, 2547) ดังนั้นการเลือกตัวทำละลายจึงมีความสำคัญต่อสารที่สกัดออกมาได้ เนื่องจากตัวทำละลายที่มีขั้ว ย่อมละลายสารที่มีขั้วออกมา เช่นเดียวกับตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วย่อมละลายสารที่ไม่มีขั้ว ส่งผลให้สารสกัดมีสารสำคัญที่แตกต่างกัน (มานพ, 2553) สำหรับข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับวิธีการสกัดสาร มีดังนี้

2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นการสกัดสาร เพื่อการแยกสารประกอบบางชนิดออกจากพืช หรือสมุนไพร ทั้งนี้ การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน จะได้ สารสำคัญที่แตกต่างกัน ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ เอทิลอะซีเตท อะซิโตน เอธานอล เมทานอล กรดอะซิติก และน้ำ เป็นต้น การสกัดสารพฤกษเคมีส่วนใหญ่เป็นการสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Solid liquid extraction) ที่ต้องใช้ของเหลวหรือตัวทำละลายที่เหมาะสม ในการละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารประกอบหลายๆ ชนิดในพืชหรือของแข็ง ไม่ว่าจะเป็น ดอกไม้ ใบไม้ กิ่ง และเปลือกไม้ เป็นต้น ด้วยการแช่ การกวนผสมตัวทำละลายหรืออาจมีการเร่งด้วยอุณหภูมิ เพื่อให้ได้สารที่ต้องการ (Mariem และคณะ, 2014) ความมีขั้วที่แตกต่างกันของตัวทำละลายแต่ละชนิด มีผลต่อปริมาณสารสำคัญในการสกัด เนื่องจากสารสำคัญแต่ละชนิดมีความมีขั้วแตกต่างกัน ทั้งนี้สารสำคัญที่มีคุณสมบัติเป็นสารประกอบฟีนอลิค และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ถูกสกัดออกมานั้นพบทั้งที่เป็นสารที่มีขั้วและไม่มีมีขั้ว ซึ่งสารพฤกษณเคมีมีโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วมักเป็นหมู่ไฮดรอกซิลและ ส่วนที่ไม่มีขั้วมักเป็นหมู่อัลคิล ดังนั้นสารกลุ่มนี้จึงสามารถละลายได้ดีในเอทานอล หรือสารอินทรีย์ แต่สามารถละลายน้ำได้ปานกลาง เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วสูงเหมาะสำหรับใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดสารที่มีขั้วสูง ส่วนสารพฤกษณเคมีที่ไม่มีขั้ว หรือมีขั้วต่ำจะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (Montes และคณะ, 2003)

2.3.2 วิธีการสกัด ในการสกัดพืชสมุนไพรมีวิธีการต่างๆ ที่หลากหลาย เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Sovent extraction) การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-liquid extraction) การสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Solid–liquid extraction) การสกัดด้วยของไหลความดันสูง (Pressurized Liquid extraction) และการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction) เป็นต้น สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่ายในการแยกสารออกจากของผสม ซึ่งวิธีการสกัดที่เหมาะสมขึ้นกับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ได้แก่ ลักษณะและโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช ความสามารถในการละลายของสารสำคัญในตัวทำละลาย ความคงตัวของสารสำคัญในพืชสมุนไพรต่อความร้อน และความต้องการที่จะให้ได้การสกัดที่สมบูรณ์ ตลอดจนความพร้อมของอุปกรณ์และเครื่องมือที่มีอยู่ เพื่อพิจารณาเลือกว่าจะใช้วิธีการสกัดใด เพราะแต่ละวิธีการสกัดนั้นจะมีข้อดีและข้อเสีย รวมถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาการสกัดของแต่ละวิธีและเลือกวิธีให้เหมาะสมกับสารสำคัญที่ต้องการในพืชสมุนไพรนั้นๆ (รัตนา, 2547) โดยวิธีการสกัดที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อความสามารถในการสกัดสาร หรือความสามารถในการละลายของสารสำคัญที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

รายงานการศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างเช่น Tang และคณะ (2001a) ได้สกัดใบชาเขียวด้วยเอธานอล และน้ำ พบว่าประกอบด้วยสารคาทิชิน (Catechins) และ แอลฟาโทโคฟีรอล (α-Tocopherol) เพื่อใช้เป็นสารทดแทนสารกันหืนสังเคราะห์ อีกทั้งปริมาณของคาทิชินที่สกัดได้มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแอลฟาโทโคฟีรอล ต่อมา Cakir และคณะ (2006) ศึกษากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบของสารสกัดจากใบ *Teucrium orientale L. var.* ด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ปิโตรเลียมอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม อะซิโตน และเมทานอล พบว่าสารสกัดจากอะซิโตน มีค่า DPPH สูงสุด ซึ่งกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่มีขั้ว (อะซีโตน และเมทานอล) มากกว่าสารสกัดที่ไม่มีขั้ว (คลอโรฟอร์ม และปิโตรเลียมอีเธอร์) ต่อมา Falleh และคณะ (2013) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิคและกิจกรรมทางชีวภาพของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระทั้งก่อนและหลังการแยกส่วนด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน พบว่า ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิค และสารอื่นๆ เช่น กรด p-Coumaric และกรด 3,4-Dimethoxybenzoic ที่เฉพาะเจาะจง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yuliana และคณะ (2014) ที่ได้สกัดใบมะกอกด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ เมทานอล และอะซิโตน พบว่ามีปริมาณแทนนินและซาโปนินในตัวทำละลายอะซิโตนมากกว่าตัวทำละลายอื่นๆ ต่อมาอุดมเดชา และคณะ (2557) ได้ศึกษากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระจากใบมะเดื่อด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตต และเมทานอล พบว่าสารสกัดด้วยเมทานอลมีค่า DPPH มากที่สุด เท่ากับ 27 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณสารประกอบฟีนอกลิกสูงสุด เท่ากับ 102.39 มิลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับตัวทำละลายอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ ปิโตเลียม-อีเทอร์ เอทิลอะซิเตต อะซิโตน และน้ำของพืชสมุนไพร *Retama raetam* ที่พบว่าสารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตตมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด เมื่อเทียบกับปิโตเลียมอีเทอร์ อะซิโตน และน้ำ จะได้กรดซิตริก และคาร์มารีน (Mariem และคณะ, 2014)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารสกัด

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความคงตัวหรือประสิทธิภาพของสารพฤกษเคมี หรือสารสำคัญ คือ อุณหภูมิ เนื่องจากสารพฤกษเคมีหลายชนิด สามารถเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน จึงส่งผลให้ปริมาณสารสำคัญลดลง ส่วนความเป็นกรด-ด่าง ก็มีผลต่อการแตกตัวของสารสำคัญที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความคงตัวของสารสกัด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 อุณหภูมิ การใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปมีส่วนทำให้ปริมาณสารสำคัญลดลง โดยทั่วไปในธรรมชาติพบสารประกอบฟีนอลิคหลายชนิด พบมากที่สุดจะเป็นกลุ่มฟลาโวนอยด์ และฟีนอลิค เช่น ลิกนิน และแทนนิน (Zhou และคณะ, 2014) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณฟีนอลิคลดลง เนื่องจากเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน (ศรัณย์ และคณะ, 2555) การใช้ความร้อนในการแปรรูปมีส่วนทำให้ปริมาณฟินอลิคลดลง โดยปริมาณฟินอลิคจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช และโครงสร้างของพืช (พงศธร และคณะ, 2551)

2.4.2 พีเอช หรือ ความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อการแตกตัวของสารสำคัญ และความคงตัวตลอดจนการออกฤทธิ์ของสารสำคัญได้ (van der Woude และคณะ, 2003) โดยสภาวะที่เป็นกรด สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิคและสารสำคัญกลุ่มอื่นๆ เพิ่มขึ้น ในพืช และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่แตกต่างกันตามชนิดของตัวทำละลาย (Friedman และ Jurgens, 2000) นอกจากนี้พีเอชยังมีผลต่อการไฮโดรไลเซชันของโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิคส่งผลให้สารสำคัญมีความคงตัวลดลง (Friedman และ Jurgens, 2000) ทั้งนี้ยังมีรายงานของ Rosello-Soto และคณะ (2019) กล่าวว่า พีเอชมีผลกระทบต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิค และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าการเพิ่มอุณหภูมิ

สำหรับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูก็พบรายงานของธนกร และวิรัลพัชร (2562) ว่าด้วยความคงตัวในระหว่างการเก็บของไส้กรอกเวียนนาลดไนไตรท์ โดยการเติมสารสกัดจากแก่นฝางทดแทน พบว่าไส้กรอกต้มสุกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และมีค่าพีเอช อยู่ใน 5.26-5.79 ตลอดอายุการเก็บรักษา 30 วัน นอกจากนี้ยังพบรายงานของประดิษฐ์ และคณะ (2555) ในการลดปริมาณมันหมูแข็งในไส้กรอก พบว่าไส้กรอกมีค่าพีเอช อยู่ใน 5.01-5.85 ตลอดอายุการเก็บรักษา 36 วัน อีกทั้งรายงานของสัญชัย (2543) ในกระบวนการผลิตไส้กรอกเวียนนาที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที (จนอุณหภูมิภายใน 68 องศาเซลเซียส) โดยมีพีเอชเริ่มต้น 5.91-6.08 ระหว่างการเก็บรักษา 35 วัน เช่นเดียวกับรายงานของ สุจินดา (2556) ต้มไส้กรอกหมูสุกที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีค่าพีเอช 5.68-6.18 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน และรายงานของ ยุพร และอังฉรา (2553) ต้มไส้กรอกหมูในน้ำร้อนอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 5 นาที ต่อมามีรายงานของ คมแข และรุจริน (2562) กระบวนการผลิตไส้กรอกหมูการทำให้สุก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 20-25 นาที นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลา ในกระบวนการผลิตต้มสุกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (วลัย และคณะ, 2551) และไส้กรอกปลาเวียนนาต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิภายในไส้กรอกเป็น 50 องศาเซลเซียส (สุนทรณ์, 2560) ดังนั้นจึงเลือกศึกษาพีเอช 5-7 และสภาวะความร้อนที่ 60-80 องศาเซลเซียส Tang และคณะ (2001a) รายงานการศึกษาความคงตัวต่อความร้อนและพีเอชของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากใบยอ พบว่าสารสกัดจากใบยอที่พีเอช 7 และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ($p<0.05$) และรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Juntachote และคณะ (2006) พบว่าสารสกัดจากกะเพราและข่ามีค่า FRAP เพิ่มขึ้นที่พีเอช 7 และลดลงที่พีเอช 5 เนื่องจากสารประกอบในสารสกัดมีการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์เฟอร์ริกที่พีเอชแตกต่างกัน

2.4.3 ตัวทำละลาย การใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่าง ๆ กัน เนื่องจากสารประกอบในพืชมีมากมายหลายชนิด และมีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก ทำให้ประสิทธิภาพของสารสกัดจะขึ้นอยู่กับการคัดเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สารสำคัญที่เฉพาะเจาะจง (รัตนา, 2547) นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่สารหลายชนิดอยู่ปนกัน อาจเกิดการจับกันอย่างหลวมๆ ทำให้การละลายของสารแตกต่างออกไปจากคุณสมบัติในการละลายของสารแต่ละชนิด โดยคุณสมบัติของตัวทำละลายที่ดี นอกจากจะเป็นตัวทำละลายที่สามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้แล้วจะต้องไม่ระเหยยากหรือง่ายเกินไป รวมถึงไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด และไม่เป็นพิษต่อร่างกาย (Montes และคณะ, 2003) โดยตัวทำละลายที่ใช้กันมากได้แก่ เมธานอลและเอทานอล เนื่องจากมีความสามารถในการละลายกว้างและยังสามารถทำลายเอนไซม์ในพืชได้

2.5 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidants)

สารต้านออกซิเดชัน คือ สารที่ทำหน้าที่ชะลอ ยับยั้ง หรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน หรือการเกิดการเหม็นหืน แต่ไม่สามารถทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดออกซิเดชันแล้วดีขึ้น (มณฑาทิพย์, 2539) โดยสารกลุ่มนี้ทำหน้าที่สำคัญ ได้แก่ การให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ การจับโลหะที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือการลดการก่อตัวของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นวลศรี, 2545) ซึ่งสารต้านออกซิเดชันหรือสารกันหืนที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้ คือ ต้องไม่มีโทษต่อร่างกาย ไม่ทำให้เกิดสี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนแปลงไป มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความเข้มข้นต่ำ สามารถละลายได้ดีในไขมันและน้ำมัน ทนต่อกระบวนการแปรรูปอาหาร มีจำหน่ายทั่วไปและมีราคาถูก (นิธิยา, 2548) โดยสารกันหืนแบ่งตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ (Synthetic antioxidant)

สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ คือ สารที่ผลิตขึ้นด้วยวิธีทางเคมีเพื่อป้องกันการหืนในผลิตภัณฑ์อาหารและไม่ใช่อาหาร แต่มีเพียงสารกันหืนบางชนิดเท่านั้นที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ได้ในอาหาร ได้แก่ โพรพิวแกลเลต (Propyl gallate, PG) บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีอะนิซอล หรือบีเอชเอ (Butylated hydroxyanisole, BHA) บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอีน หรือบีเอชที (Butylated hydroxytoluene, BHT) และเทอเทียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน หรือทีบีเอชคิว (Tertiary butylhydroquinone, TBHQ) เป็นต้น สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิคที่มีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนได้ดีพอสมควร และไม่ทำให้เกิดสีในอาหารหรือไขมันที่เติมลงไป (Shahidi และคณะ, 1992) ทั้งนี้สารดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจน หรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวกว่า จึงทำหน้าที่ช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน แต่อย่างไรก็ตามสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์มีข้อจำกัดในการใช้ หากได้รับสารสังเคราะห์นี้ในปริมาณที่สูงกว่าที่ควรจะได้รับในแต่ละวัน และรับประทานเป็นประจำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดความผิดปกติแก่ผู้บริโภคได้ ซึ่งรายงานการวิจัยที่ระบุถึงอันตรายของการใช้สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ในสัตว์ทดลอง เช่น เกิดเลือดคั่งในปอดและอวัยวะอื่นๆ เนื้องอก การแยกตัวของดีเอ็นเอ (DNA) สายคู่ และการขยายตัวผิดปกติของเนื้อเยื่อหนูทดลอง (ศิวาพร, 2535) และการใช้สารต้านออกซิเดชันเหล่านั้น อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียง เช่น ทำลายตับ และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Lee และคณะ, 2009; Sabeena และ Jacobsen, 2013) เป็นต้น

2.5.2 สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ (Natural antioxidant)

สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ เครื่องเทศและพืชสมุนไพร เนื่องจากใช้ในการถนอมอาหาร เพื่อชะลอการเน่าเสียและเหม็นหืน จึงมีการค้นคว้าและวิจัยนำเอาเครื่องเทศและพืชสมุนไพรอื่นๆ มาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารสกัดพืชดังต่อไปนี้ได้รับการรับรองของสำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2562) แสดงดังตารางที่ 2.1 มีดังนี้

ตารางที่ 2.1 เครื่องเทศ และพืชสมุนไพรที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ

ที่	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อสามัญ		ส่วนที่ใช้/การละลาย/สารสำคัญ	เงื่อนไข
		ภาษาไทย	ภาษาอังกฤษ		
1	*Ocimum basilicum L.* *Ocimum tenuiflorum L.*	กะเพรา / โหระพา	Basil / Sweet basil	ใบ/ดอก ใส่ผงบด/สกัดด้วยน้ำ มีสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds)	ปริมาณไตรเทอพีนไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อวัน
2	*Origanum vulgare L.*	ออริกาโน	Oregano	ใบ ใส่ผงบด/สกัดด้วยน้ำ สารประกอบฟีนอลิค	
3	*Petroselinum crispum (Mill.) Fuss* *Petroselinum sativum Hoffm.*	พาร์สลีย์	Parsley	ใบ/ลำต้นส่วนเหนือดิน/เมล็ด ใส่ผงบด/บีบอัด (น้ำมันจากเมล็ด)/สกัดด้วยน้ำ มีสารประกอบฟีนอลิค ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	*Piper nigrum L.*	พริกไทย	Pepper / Black pepper	เมล็ด ใส่ผงบด/ สกัดด้วยน้ำ / สกัดด้วยน้ำและเอธานอล มีพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysac charides)/แอลคาลอยด์ (Alkaloids) ได้แก่ พิเพอรีน (Piperine)	ปริมาณพิเพอรีนไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อวัน
7	*Rosmarinus officinalis L.*	โรสแมรี	Rosemary	ใบ ใส่ผงบด/สกัดด้วยน้ำ/สกัดด้วยน้ำ และเอธานอล มีกรดโรสมารินิก (Rosma- rinic acid) กรดคาร์โนซิก (Carnosic acid)	ปริมาณน้ำมันโรสแมรี ไม่เกิน 10มิลลิกรัมต่อวัน
9	*Spinacia oleracea L.*	ปวยเล้ง	Spinach	ใบ ใส่ผงบด/สกัดด้วยน้ำ แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน (Beta-Carotene) ลูทีน (Lutein) / สารประกอบฟีนอลิค ได้แก่ ฟลาโวนอยด์	ปริมาณสารสกัดเซจ ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อวัน
10	*Apium graveolens L.*	ขึ้นฉ่าย	Celery	ใบ ใส่ผงบด/สกัดด้วยน้ำ มีสารประกอบฟีนอลิค ฟลาโวนอยด์	ปริมาณสารสกัดขึ้นฉ่ายไม่เกิน 260 มิลลิกรัมต่อวัน
11	*Allium fistulosum L*	ต้นหอมญี่ปุ่น	Japanese onion/ Scallion / Green onion / Spring onion	ใบ / ลำต้น สกัดด้วยน้ำ มีสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compoundsได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) / ใยอาหาร (Dietary fiber	ปริมาณใยอาหารไม่เกิน 25 กรัมต่อวัน
12	*Brassica oleracea var. alboglabra (L.H.Bailey) Musil*	คะน้า	Chinese broccoli	ใบ / ลำต้น สกัดด้วยน้ำ มีสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds) ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) / กลูโคสิโนเลต (Glucosinolate)	
13	*Camellia sinensis (L.) Kuntze*	ชา	Green tea White tea	ยอดอ่อน /ใบ / ใบและตาดอก ใช้บดผง / สกัดด้วยน้ำ/ สกัดด้วยน้ำและ เอธานอล มีฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ได้แก่ คาเทชิน (Catechins) อีพิแกลโลคาเทชิน-3-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				แกลเลต (Epigallocatechin3-gallate (EGCG))	
14	*Centella asiatica (L.)Urb.*	บัวบก	Pennywort	ใบ ใช้บดผง / สกัดด้วยน้ำ / สกัดด้วยน้ำ และเอธานอล มีสารประกอบไตรเทอพีนอยด์ (Triterpenoid compounds) ได้แก่ กรดเอเชียติก (Asiatic acid) เอเชียติโคไซด์ (Asiaticoside)	ปริมาณไตรเทอพีน ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม ต่อวัน
15	*Cynara scolymus L.*	อาร์ติโชค	Artichoke	ใบ บดผง/สกัดด้วยน้ำ มีกรด (Acids) ได้แก่ กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acid) ไซนารีน (Cynarine) /ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ได้แก่ ลูทีโอลิน ไกลโคไซด์ (Luteolin-7-glycoside)	
16	*Ginkgo biloba L.*	แปะก๊วย	Ginkgo	ใบแห้ง สกัดด้วยน้ำ และเอธานอล มีกิงโก ฟลาโวน ไกลโคไซด์ (Ginkgo flavone glycosides) / เทอพีน แลคโตน (Terpene lactones) ได้แก่ ไบโลบาไลด์ (Bilobalide) กิงโกไลด์ (Ginkgolides)	ปริมาณสารสกัดใบแปะก๊วย ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อวัน
17	*Gynostemma pentaphyllum (Thunb.) Makino*	เจียวกู่หลาน (ปัญจขันธ์)	Jiao Gu Lan	ใบ/ลำต้น บดผง/สกัดด้วยน้ำ มีสารประกอบฟี นอลิก (Phenolic compounds) ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) / ซาโปนิน (Saponins) ได้แก่ ไจพีโนไซด์ (Gypenosides)	ปริมาณเจียวกู่หลานบดผง ไม่เกิน 1 กรัมต่อวัน
18	*Houttuynia cordata Thunb.*	ผักคาวตอง/พลูคาว	Plu kaow	ใบ บดผง มีสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds) ได้แก่ ฟลาโวน (Flavone) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เควอเซติน (Quercetin)	ปริมาณเควอเซติน ไม่เกิน 1 กรัมต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19	*Mentha spicata L.*	สเปียร์มนต์	Spearmint	ใบ บดผง / บีบน้ำมัน / สกัดด้วยน้ำ มีกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) / แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน (Betacarotene) ไลโคพีน (Lycopene) / แอลฟา-โทโคเฟอรอล (Alphatocopherol)	ปริมาณไลโคพีนไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อวัน
20	*Morinda citrifolia L.*	ยอ	Noni	ผล / ใบ สกัดด้วยน้ำ และเอธานอล มีสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds) ได้แก่ มอรินดิน (Morindin)	
21	*Moringa oleifera Lam.*	มะรุม	Ben moringa / Drumstick tree	ใบอ่อน บดผง / สกัดด้วยน้ำ มีสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds) ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)	
22	*Morus alba L.*	หม่อน	Mulberry	ใบ / ผล บดผง / สกัดด้วยน้ำ มีฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ได้แกแอนโทไซยานิน (Anthocyanins)	ปริมาณใบ ไม่เกิน 2 กรัมต่อวัน
23	*Piper sarmentosum Roxb.*	ช้าพลู	Wild betle leaf bush	ใบ บดผง มีสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds) ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)	
24	*Salvia officinalis L.*	เซจ	Sage	ใบ บดผง / สกัดด้วยน้ำ มีไดเทอพีนส์ (Diterpene) ได้แก่ กรดคาร์โนสิก (Carnosic acid)	ปริมาณสารสกัดเซจ ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม ต่อวัน
25	*Gymnema inodorum (Lour.) Decne.*	ผักจินดา / ผักเชียงดา	Gymnema	ใบและยอดอ่อน บดผง มีสาร Gymnamic acid	ปริมาณผงผักเชียงดาบดผงไม่เกิน 1.5 กรัมต่อวัน

ที่มา: ดัดแปลงจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, (2562)

จากงานวิจัยต่างๆ ที่มีการประยุกต์ใช้สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติจะเห็นได้ว่าการเติมสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติทำหน้าที่เช่นเดียวกับสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ พบทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี บีตาแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (Non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟินอลิค โดยเฉพาะฟีนอลิค เช่น ฟลาโวนอยด์ และลิกนิน ซึ่งประกอบด้วยหมู่ Aromatic hydroxyl ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (Functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดับจับอนุมูลอิสระต่างๆ ไม่ให้ไปกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล H• แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิค สามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล OH• ปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชัน (Fe^{2+},Cu^{2+}) เป็นตัวเหนี่ยวนำ โดยการจับกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ (Formanek และคณะ, 2001; Tang และคณะ, 2001a; Jo และคณะ, 2003) แต่แตกต่างกันที่ไม่เป็นอันตราย หากใช้เป็นระยะเวลานานๆ เนื่องจากไม่มีโทษต่อร่างกาย ไม่ทำให้เกิดสี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนแปลงไป โดยสมบัติของสารต้านออกซิเดชัน แสดงดังตารางที่ 2.2 มีดังนี้

ตารางที่ 2.2 กลไกการต้านอนุมูลอิสระ และตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระ

กลไกการต้านอนุมูลอิสระ	ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระ
Metal chelation	กรดซิตริก, แลคโตเฟอร์ริน (Lactoferrin), กรดไฟติก (Phytic acid)
Oxygen scavenging	กรดแอสคอร์บิก, เอนไซม์ Glucose oxidase-cataiase
Singlet oxygen quenching	สารประกอบกลุ่มคาร์โรทีนอยด์ และกลุ่มโทโคฟีรอล
Active oxygen scavenging	เอนไซม์ Superoxide dismutase, แมนนิทอล, เอนไซม์คะตะเลส
Primary radical chain-breaking	สารประกอบกลุ่มโทโคฟีรอล, กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์, สารประกอบกลุ่มฟีนอลิค โรสแมรี และ Sage
Alkoxyl radical interruption	สารประกอบกลุ่มโทโคฟีรอล (ในโรสแมรีบางชนิด)
Secondary chain-breaking	เอนไซม์ Glutathione peroxidase และเอนไซม์ Glutathione-S-transferase, กรดไทโอไดโพรพิโอนิก (Thiodipropionic acid) และอนุพันธ์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Meyer และคณะ (2002)

2.6 วิธีการทดสอบสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน หรือการต้านอนุมูลอิสระ มีวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2, 2-Azobis (3-ethylbenzothialzoline-6-sulfonic acid) (ABTS) และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Thiobarbituric acid reactive substances (Anti-TBARS) ซึ่งมักนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากธรรมชาติกันอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่หลาย และสารประกอบฟีนอลิคหลายตัวสามารถต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยมีการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณสารประกอบฟินอลิค ดังนี้

1) การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิค

1.1) การทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic content (TPC)) โดยสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดทำปฏิกิริยากับ Folin-ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วย Phosphomolybdic -phosphotungstic acid reagents สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย Phenolic phenolic hydroxyl groups ของสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดเกิดเป็น Phosphotungstic–phosphomolybdic complex จากสารละลายสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสารละลายน้ำเงิน ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เมื่อตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา และเทียบกับสารมาตรฐาน Gallic acid (Weurman และ Swain, 1955) ดังสมการต่อไปนี้

$$R^{\bullet} + \text{Phenolic} - OH \longrightarrow \text{Phenolic} - O^{\bullet} + RH$$

ข้อดีคือ ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดจากธรรมชาติ ส่วนข้อด้อย คือ วัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล โดยไม่มีการระบุชนิดของสารประกอบฟีนอลิคที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง (Singleton, 1999)

1.2) High performance liquid chromatography (HPLC) เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพสูงในการแยกองค์ประกอบฟีนอลิคของสารสกัดพืช โดยสารสกัดปริมาณน้อยกว่า สามารถแยกวิเคราะห์ได้ในระดับนาโนกรัม (Tyihak และคณะ, 1979) ทั้งนี้ HPLC เป็นเทคนิคแยกสารผสมแบบใช้เครื่องปั๊มสูบแรงดันสูง (High pressure pump) สูบตัวทำละลายที่ทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) พาสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ที่ถูกฉีดเข้าทางช่องฉีดสาร (Injector) ผ่านอนุภาคที่เป็นเฟสคงที่ (Stationary phase) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ (Column) โดยสารผสมตัวอย่างจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ เข้าสู่เครื่องตรวจวัด (Detector) ถูกแยกตามเวลาและปริมาณของสารแต่ละชนิดที่ตรวจวัด จากการจับสัญญาณในรูปสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นส่งไปยังเครื่องบันทึก เพื่อแสดงผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram)

2) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

2.1 การทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ (DPPH Scavenging activity) DPPH เป็นวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปในการประเมินความสามารถในการต้านออกซิเดชันเบื้องต้นของสารสกัดจากพืช โดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอมด้วยอนุมูล DPPH (2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical) อนุมูล DPPH ที่ละลายในเอธานอล จะมีสีม่วง ซึ่งวัดต่าการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และเมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง จะทำให้เกิดสารประกอบไม่มีสี โดยอนุมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DPPH$^{\bullet}$ จะทำปฏิกิริยากับ Antioxidant (AH) หรือกับ Radical species (R$^{\bullet}$) ดังสมการต่อไปนี้ (Brand-Williams และคณะ, 1995)

$$DPPH^{\bullet} + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A^{\bullet}$$

$$DPPH^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow DPPH\text{-}R$$

เมื่อตั้งทิ้งไว้ ให้เกิดปฏิกิริยา จึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงจากการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH$^{\bullet}$ แล้วคำนวณเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox

ข้อดีคือ ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลจากธรรมชาติ ยกเว้นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีการดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกัน

ข้อด้อยคือ อนุมูล DPPH$^{\bullet}$ มีความคงตัว ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือในร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของอนุมูล DPPH$^{\bullet}$ นั้น อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตรทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่บางสารไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากำจัดอนุมูลอิสระได้หรือเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าความเป็นจริง (โอภา, 2549)

2.2 การทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ (ABTS$^{\bullet+}$ (Radical scavenging activity) ABTS เป็นวิธีการวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ABTS$^{\bullet+}$ (2,2'-Azino -bis (3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid) radical) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงิน สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ซึ่งการทำให้เกิด ABTS Cation radical จากปฏิกิริยาทางเคมีของสารเคมีบางชนิด เช่น Manganese dioxide, Potassium persulfate, 2,2'-Azo-bis-(2-amidinopropane) (ABAP) เป็นต้น โดย ABTS$^{\bullet+}$ จะเกิดปฏิกิริยากับ Antioxidant (AH) (Rice-Evans และ Miller, 1994) ดังสมการต่อไปนี้

$$OH + ABTS \longrightarrow ABTS^{+} + H_2O$$

Antioxidant (AH) จะทำปฏิกิริยากับ $ABTS^{+}$ ดังนี้

$$ABTS^{\bullet+} + AH \longrightarrow ABTS\ (\text{สีจางลง}) + A^{\bullet}$$

เมื่อตั้งทิ้งไว้ ให้เกิดปฏิกิริยา จะสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ ซึ่งคำนวณด้วยการเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox เช่นเดียวกับวิธี DPPH

ข้อดีของวิธีการนี้คือ $ABTS^{\bullet+}$ ละลายได้ดีในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ จึงทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง ส่วนข้อด้อย คือ $ABTS^{\bullet+}$ ไม่เป็นสารธรรมชาติที่พบในร่างกาย หรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และต้องทำปฏิกิริยากับสารอื่น ก่อนถึงจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ (Apak และคณะ, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing/ antioxidant power) FRAP เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์และติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อน คือ เมื่อสารประกอบเชิงซ้อน Ferric tripyridyltriazine (Fe^{3+}-TPTZ) ได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน Ferrous tripyridyltriazine (Fe^{2+}-TPTZ) จากสารละลายสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสารละลายสีม่วงน้ำเงิน สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ดังสมการต่อไปนี้ (Benzie และ Strain, 1996)

Fe^{3+}-TPTZ $\longrightarrow$ Fe^{2+}-TPTZ

เมื่อตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาจึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณ และการเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox ทำเช่นเดียวกับวิธี DPPH, $ABTS^{\bullet+}$

ข้อดีของวิธีนี้คือ เสียค่าใช้จ่ายน้อย สะดวก รวดเร็ว มีขั้นตอนในการทดลองไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมี Reproducibility ดี และสามารถทำซ้ำให้ผลเหมือนเดิม ส่วนข้อด้อย ได้แก่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกาย และสารละลายที่ใช้อ้างอิงต้องใช้น้ำ ปราศจากไอออน (Deionized water) (โอภา, 2549)

2.4 ทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Anti-Thiobarbituric acid reactive substances) Anti-TBARS เป็นวิธีการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชันของสารจากธรรมชาติ อาศัยหลักการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นกับกรดไทโอบาร์บิทูริกได้สารละลายสีชมพูแดง สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (Moon และ Shibamoto, 2009) โดยสารต้านออกซิเดชันจะให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลเปอร์ออกซิล หรืออัลคอกซิล ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งหากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูมาก แสดงว่าสารสกัดพืชมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ไม่ดี โดยใช้บีเอชที เป็นสารมาตรฐานและ Anti-TBARS จะเกิดปฏิกิริยาได้สมการ ดังนี้

$R + AH \longrightarrow R^{\bullet} + AH$

$RH + A \longrightarrow RH\text{-}A$

หรือ

$RH^{\bullet} + AH \quad RH\text{-}H + A^{\bullet}$

$RH^{\bullet} + A^{\bullet} \quad RH\text{-}A$

การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งออกซิเดชันของไขมันแสดงผลด้วยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน เช่น วิตามินอี วิตามินซี บีเอชที เป็นต้น ซึ่ง สารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นมากจะให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TBARS ต่ำ ทำให้การแสดงผลในทางตรงกันข้าม หรือทิศทางผกผันกับการวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันของไขมันทั่วไป

ข้อดีของวิธีนี้คือ นิยมใช้ทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของสารจากธรรมชาติ ส่วน

ข้อด้อย คือ วิธีนี้ไม่เฉพาะเจาะจง ซึ่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย นอกเหนือจากมาลอนไดอัลดีไฮด์ นอกจากนี้สารประกอบประเภทอัลคานาล (Alkanals) อัลคีนาล (Alkenals) และ 2,4-ไดอีนาล (2,4-Dienals) สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริกได้ และการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตรได้เช่นเดียวกับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (โอภา, 2549)

2.7 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ไส้กรอก (Sausage) มีรากศัพท์มาจากภาษาลาตินว่า “Salsus” หมายถึง เนื้อสัตว์ที่มีการเก็บรักษาโดยการใช้เกลือ ส่วนภาษาเยอรมันว่า “Wurst” หมายถึง เนื้อสัตว์ที่เตรียมโดยการบดละเอียดผสมเครื่องเทศผสมเกลือ และเครื่องปรุงรสอื่นๆ แล้วบรรจุใส่ในไส้ อาจผ่านการรมควันและการทำให้สุกหรือไม่ก็ได้ ความแตกต่างของไส้กรอกขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องเทศและชนิดเนื้อสัตว์ที่ใช้ สัดส่วนของเนื้อ สัดส่วนของไขมัน ตลอดจนวิธีการ และชนิดของไส้ที่ใช้บรรจุ (เยาวลักษณ์, 2532) ซึ่งไส้กรอกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไส้กรอกอิมัลชั่น (Emulsion sausage) และไส้กรอกบดหยาบ มีลักษณะเนื้อบดละเอียด ซึ่งเป็นไส้กรอกที่ได้จากการใช้เนื้อสัตว์ ไขมัน และน้ำผสมรวมเป็นเนื้อเดียวอยู่ในสภาพที่เป็นมวลเหนียวเกิดเป็นอิมัลชั่น มีการปรุงด้วยเครื่องเทศและเครื่องปรุงรสต่างๆ ตัวอย่างของไส้กรอกประเภทนี้ ได้แก่ ไส้กรอกเวียนนา (Vienna sausage) โบโลญ่า (Bologna) และไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ (Frankfurter) เป็นต้น และไส้กรอกสด (Fresh sausage) (สัญชัย, 2543) ซึ่งข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไส้กรอกรวมถึงส่วนประกอบและขั้นตอนการทำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

ไส้กรอกหยาบ ได้จากการใช้เนื้อสัตว์ที่บดแบบหยาบ ผสมกับเครื่องปรุง เครื่องเทศแล้วบรรจุไส้ อาจจะรมควันหรือไม่รมควันก็ได้ จากนั้นทำให้สุกก่อนบรรจุเก็บรักษา ลักษณะที่สำคัญของไส้กรอกหยาบ คือ ต้องมีเนื้อสัมผัสที่เป็นเนื้อบดหยาบ มีความล้วน ชุ่มฉ่ำ และแน่นเนื้อ โดยการผลิตไส้กรอกให้มีคุณสมบัติที่ดี ต้องใช้ส่วนผสมที่มีคุณภาพในสัดส่วนที่เหมาะสม (ลักขณา, 2540) ดังนี้

1) เนื้อสัตว์ ควรใช้เนื้อแดงเพื่อให้โปรตีน ทำหน้าที่ประสานน้ำและน้ำมันให้เข้ากันได้ดีในส่วนผสมที่เป็นมวลเหนียว โดยทั่วไปพบว่า หากโปรตีนในเนื้อสามารถละลายได้ดีในเกลือ ก็จะมีเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการในการรวมตัวที่ดี

2) ไขมันเป็นส่วนผสมที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต ใช้ได้ทั้งไขมันพืชและสัตว์ โดยการใช้ไขมัน 30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ไส้กรอกมีลักษณะ กลิ่น สี และการยอมรับมากที่สุด ไส้กรอกจะมีความนุ่ม ความฉ่ำ และรสชาติที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) น้ำแข็ง ใช้ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการสับนวด ทำให้เกลือและส่วนผสมอื่นๆ ละลายและกระจายตัวได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อดีและนุ่ม

4) เกลือเป็นตัวสกัดไมโอซินและโปรตีนอื่นๆที่ละลายในเกลือให้ออกมา โดยใส่ในระยะแรกของการบด

5) ฟอสเฟต ช่วยให้ไส้กรอกมีความเหนียวและอุ้มน้ำได้ดี ผลิตภัณฑ์มีความชื้นและไขมันจะคงตัวดีขณะต้มหรือรมควัน

ขั้นตอนการผลิตไส้กรอกหมู (คมแข และรุจริน, 2562) แสดงดังนี้

1) การบดเนื้อหมู เนื้อที่จะใช้นำมาลดขนาด ภายหลังจากการหั่นในเครื่องบดเนื้อ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวง่ายต่อการสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือ โดยจะแยกการบดเนื้อกับไขมันออกจากกัน

2) การผสมกับเครื่องปรุง และเครื่องเทศ เพื่อช่วยให้เครื่องปรุงเข้ากันดี

3) การบรรจุและการผูกไส้กรอก ต้องผ่านเข้าเครื่องบรรจุไส้กรอก การบรรจุที่ดีควรมีการไล่อากาศขณะบรรจุ เพื่อทำให้ไส้กรอกแน่นปราศจากอากาศ

4) การทำให้สุก โดยต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 – 25 นาที เพื่อทำลายจุลินทรีย์บางส่วนที่เป็นสาเหตุให้ไส้กรอกเน่าเสีย และเพื่อทำให้ผิวด้านนอกของไส้กรอกเรียบตึง

5) การทำให้เย็น เป็นการลดความร้อนที่สะสมภายในชิ้นไส้กรอก และทำให้เนื้อภายนอกหดอย่างรวดเร็ว ช่วยให้การลอกเปลือกง่าย น้ำที่ใช้แช่เย็นต้องเป็นน้ำที่สะอาด

6) การเลือกไส้ การใช้ไส้เทียมที่รับประทานได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดสม่ำเสมอ เก็บรักษาได้ง่าย

7) การบรรจุ ควรเป็นห้องปรับอากาศ เพื่อควบคุมคุณภาพและสุขอนามัย นำไส้กรอกมาชั่งน้ำหนัก บรรจุถุงพอลีเอทิลีนปิดสนิทแบบสุญญากาศ และนำมาเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.8 การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ไส้กรอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของไขมันในปริมาณสูง ซึ่งไขมันเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดออกซิเดชันได้ง่าย เมื่อเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงเกิดกลิ่นหืน ซึ่งมีการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ จึงนิยมใช้สาร BHT และ BHA ซึ่งเป็นสารกันหืนสังเคราะห์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาสูง และหากได้รับในปริมาณมาก อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ นอกจากนี้การเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์เป็นปัญหาอีกประการหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับสุขลักษณะ กระบวนการผลิต ขั้นตอนการบรรจุ และการเก็บรักษา ทำให้เกิดสี กลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติไป (Moure และคณะ, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุเหล่านี้ทำให้แบ่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ออกเป็น 2 สาเหตุ (Shah และคณะ, 2014) ได้แก่

2.8.1 การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์ เกิดจากการปนเปื้อนในระหว่างขั้นตอนการผลิต และการบรรจุ สามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ย่อยไขมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเมือกที่ผิว เกิดสีเขียว รสเปรี้ยว และเกิดกลิ่นหืน จึงต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ (Dainty และคณะ. 1992) เช่นเดียวกับ Shah และคณะ (2014) ซึ่งการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์มีหลายลักษณะ โดยจะมีแนวโน้มขึ้นกับความชื้น และปริมาณจุลินทรีย์

2.8.2 การเสื่อมเสียทางเคมี มักเกิดจากการเหม็นหืน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับแสง และความร้อน ทำให้เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาในระหว่างกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษา ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการ และอายุการเก็บรักษาลดลง (Haak และคณะ, 2006) ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันอิ่มตัวในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่สำคัญ และส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ไม่พึงประสงค์ (Wasowicz และคณะ, 2004; Dave และ Ghaly, 2011; Santos-Fandila และคณะ, 2014) โดยเกิดขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็น Peroxide linkage ระหว่างพันธะคู่ ซึ่งอนุมูลเปอร์ออกซีขั้นตอนที่ 2 ที่เกิดขึ้น สามารทำปฏิกิริยาต่อกับโมเลกุลของไขมันอิ่มตัวอื่น เป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลอิสระตัวอื่น

สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อ โดยมีแสง อุณหภูมิ เอนไซม์ โลหะและจุลินทรีย์เป็นตัวเร่ง ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในปฏิกิริยาลูกโซ่ เร่งการเหม็นหืนเร็วขึ้น โดยเฉพาะเนื้อที่ผ่านการปรุงสุกจะเกิดง่าย และรวดเร็วมากขึ้น (Falowo และคณะ, 2014) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมทั้งไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ระเหยได้ เช่น แอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ ไฮโดรคาร์บอน จึงทำให้เกิดความผิดปกติของกลิ่นรสในอาหาร เช่น กลิ่นเหม็นเขียว (Green) กลิ่นหืน (Rancid) กลิ่นไขมัน (Fatty) กลิ่นฉุน (Pungent) และกลิ่นรสผิดปกติอื่นๆ รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเปลี่ยนแปลงไป (Dainty และคณะ, 1992) ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation) เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่รุนแรง โดยมีขั้นตอน 3 ขั้นตอนคือ initiation, propagation และ termination (Santos-Fandila และคณะ, 2014) ดังนี้

2.8.2.1 ขั้นเริ่มต้น (Initiation)

ในขั้นตอนเริ่มต้น เกิดการแตกตัวของพันธะโควาเลนต์ในห่วงโซ่ไฮโดรคาร์บอน C-H จะได้อนุมูลไฮโดรเจน ($H^{\bullet}$) และอนุมูลกรดไขมันอิสระ ($R^{\bullet}$) ดังสมการที่ 1 (Velisek และ Hajslova, 2009) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยานี้ ได้แก่ ความร้อน การแผ่รังสี โลหะไอออนและอนุมูลอิสระอื่น ๆ (Hajek และคณะ, 1998; Dave และ Ghaly, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RH \longrightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet} \quad (1)$$

2.8.2.2 ขั้นแผ่ขยาย (Propagation)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 ของการเกิดออโตออกซิเดชัน เกิดขึ้นระหว่างอนุมูลของกรดไขมัน หรือกรดไขมันชนิดที่ไวต่อปฏิกิริยาสูงกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิกที่มีปฏิกิริยาสูง ($ROO^{\bullet}$) ดังสมการที่ 2 จากนั้นทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอีกครั้ง เกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ROOH) ดังสมการที่ 3 (Wasowicz และคณะ, 2004; Velisek และ Hajslova, 2009)

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet} \quad (2)$$

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet} \quad (3)$$

อนุพันธ์ของ 2 ปฏิกิริยาที่ได้อาจจะซ้ำๆ หลายครั้ง จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Velisek และ Hajslova, 2009) ปฏิกิริยาของอนุมูลกรดไขมันอิสระกับออกซิเจนจะเกิดขึ้นเร็วกว่าปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical) และสายไฮโดรคาร์บอนของไขมัน (lipid hydrocarbon chain) ดังนั้นปฏิกิริยาที่ 2 จึงเป็นตัวกำหนดความเร็วของการเกิดออโตออกซิเดชัน (Wasowicz และคณะ, 2004; Velisek และ Hajslova, 2009)

2.8.2.3 ขั้นยุติ (Termination)

ในขั้นตอนสุดท้ายของการเกิดออโตออกซิเดชัน เป็นการเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสถียรและไม่ใช่อนุมูลอิสระ จึงยุติปฏิกิริยาต่อเนื่องนั้น ดังสมการที่ 4 - 6 ซึ่งการรวมตัวกันนี้จะทำให้ปฏิกิริยาหยุดลงได้ (Wasowicz และคณะ, 2004; Velisek และ Hajslova, 2009; Dave และ Ghaly, 2011)

$$R^{\bullet} + R \longrightarrow R\text{-}R \quad (4)$$

$$R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \; ROOR \quad (5)$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2 \quad (6)$$

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากขั้นยุติ เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน และกรดอินทรีย์ เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย และทำให้อาหารมีกลิ่นเหม็นหืน (Velisek และ Hajslova, 2009)

2.8.3 วิธีการทดสอบออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร

การทดสอบปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้ ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) และค่าไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid reactive substance) เป็นต้น ซึ่งมักนำมาใช้ในการทดสอบออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารกัน อย่างแพร่หลาย ดังนี้

1) วิธีหาเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value (PV))

ค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นการวัด Degree of lipid oxidation โดยการหาปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมัน หรือน้ำมัน และจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บที่สัมผัสกับอากาศ เรียกการเกิดนี้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oxidative rancidity เป็นการเกิดออโตออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมาก หรือมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิด Oxidative rancidity ได้ง่าย จึงนิยมวัดค่าเปอร์ออกไซด์ เพื่อใช้บ่งชี้การเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน (Pomeranz, 1994) ดังสมการต่อไปนี้

$$ROOH\ (Peroxide) + KI \qquad KOH + I_2 + ROH$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 + \text{น้ำแป้ง (สีฟ้า)} \qquad Na_2S_4O_6 + 2NaI + \text{น้ำแป้ง (ไม่มีสี)}$$

2) วิธีกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric Acid, TBA)

การทดสอบปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ คาร์บอนิล และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย การเพิ่มปริมาณของสารประกอบกลุ่มดังกล่าว แสดงถึงการเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยสารประกอบไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric Acid Reactive Substance , TBARS) ที่เกิดขึ้นจากมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde, MDA) ทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid, TBA) เมื่อผ่านการให้ความร้อนในสภาพกรดได้สารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูแดง สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร (Fernandez และคณะ, 1997) ดังสมการต่อไปนี้

$$TBA + MDA \xrightarrow[H_2O]{HCl} TBA\ Chromophore$$

ข้อดี คือ วิธีนี้ง่าย สะดวก และไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาสูง

ข้อด้อย คือ วิธีนี้ไม่เฉพาะเจาะจง ซึ่งการเกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน และอาจไม่เกิดเป็นสารประกอบมาลอนไดอัลดีไฮด์ อีกทั้งกรดไทโอบาร์บิทูริกไม่ได้ทำปฏิกิริยาอย่างเฉพาะเจาะจงกับมาลอนไดอัลดีไฮด์ แต่ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ เช่น อัลคานาล (Alkanals) อัลคีนาล (Alkenals) 2,4-ไดอีนาล (2,4-Dienals) และ น้ำตาล เป็นต้น (โอภา, 2549)

2.9 การประยุกต์ใช้สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญในการบริโภคอาหารที่ดีต่อสุขภาพ ด้วยการลดการใช้สารสังเคราะห์และนำสารที่ได้จากธรรมชาติมาทดแทน ประกอบกับการศึกษาการนำสารต้านออกซิเดชันหรือสารกันหืนจากธรรมชาติมาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ กันอย่างกว้างขวาง ดังนี้

2.9.1 กลุ่มเนื้อปรุงสุก

การศึกษาสารสกัดพืชในเนื้อหมูบดปรุงสุก โดย Wijeratne และคณะ (2006) ศึกษาสารสกัดเมล็ดอัลมอนด์ และสารสกัดเปลือกอัลมอนด์เทียบกับบีเอชที แอลฟา-โทโคฟีรอล และเควอซิทิน ยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อหมูบดปรุงสุกที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ตัวอย่างเนื้อที่เติมสารสกัดเมล็ดหรือสารสกัดเปลือกอัลมอนด์เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มีค่า TBARS สูงกว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชที แอลฟา-โทโคฟีรอล และเควอซิทิน 200 พีพีเอ็ม แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเมล็ด หรือสารสกัดเปลือกอัลมอนด์ เป็น 200 พีพีเอ็ม ตัวอย่างมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างที่เติมสารสังเคราะห์ และทดสอบพบกรดคาเฟอิก, กรดเฟอร์รูริค, คูมาริค, และกรดไซริงจิกเป็นกลุ่มสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดเมล็ด และเปลือกอัลมอนด์ อีกด้วย

ปี ค.ศ. 2010 Choe และคณะ (2010) รายงานการเติมผงใบบัวและผงใบบาร์เลย์ สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในหมูบดปรุงสุกที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน โดยเมื่อติดตามค่าของ TBARS ในวันที่ 10 พบว่า หมูบดปรุงสุกที่เติมผงใบบัว 100 และ 500 พีพีเอ็ม มีค่า TBARS ต่ำที่สุด รองลงมาหมูบดปรุงสุกที่เติมผงใบบาร์เลย์ 100 และ 500 พีพีเอ็ม แต่มีค่า TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม และที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม นอกจากนี้การเติมผงใบบัว 100 พีพีเอ็มในตัวอย่างและเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 วัน จะทำให้ตัวอย่างมีค่า *a** มากกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนค่าพีเอชของตัวอย่างหมูบดปรุงสุกที่เติมผงใบบัวและที่เติมบีเอชทีนั้น มีค่าลดลงจนถึงวันที่ 4 มีค่าจะเพิ่มขึ้น

2.9.2 กลุ่มผลิตภัณฑ์เนื้อดิบ

การศึกษาสารสกัดพืชในแพตตี้หมูดิบ โดย McCarthy และคณะ (2001) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของส่วนผสม 9 ชนิดในแพตตี้หมูดิบ ได้แก่ ว่านหางจระเข้ มัสตาร์ด โรสแมรี่ เสท (*Sage*) ฟีนูกรีก (*Fenugreek*) โสม ถั่วเหลือง ชาเขียว และเวย์โปรตีนเข้มข้น พบว่าส่วนผสมทั้ง 9 ชนิด สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในแพตตี้หมูดิบที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อีกทั้งในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาตัวอย่างที่เติมสารสกัดชาเขียว (2,500 พีพีเอ็ม) มัสตาร์ด (1,000 พีพีเอ็ม) และโสม (2,500 พีพีเอ็ม) มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมสารสกัดอื่นๆ แต่ในวันที่ 9 พบว่า ตัวอย่างที่เติมสารสกัดชาเขียว โรสแมรี่ (1,000 พีพีเอ็ม) และเสท (5,000 พีพีเอ็ม) มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมสารสกัดอื่นๆ ซึ่งตัวอย่างที่เติมสารสกัดถั่วเหลือง (1,000 พีพีเอ็ม) ทำให้แพตตี้หมูดิบมีสีแดงเพิ่มขึ้นและสูงกว่าค่าควบคุมในวันที่ 0-6 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างที่เติมสารสกัดมัสตาร์ดและโสมทำให้ค่าพีเอชลดลงช่วงแรกแล้วจึงเพิ่มขึ้น ส่วนตัวอย่างที่เติมฟีนูกรีก (100 พีพีเอ็ม) ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นช่วงแรกแล้วจึงลดลงจากวันที่ 3 เป็นต้นไป ต่อมา Jo และคณะ (2003) รายงานการเติมผงชาเขียวที่ผ่านการฉายรังสีและทำให้แห้งด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งในแพตตี้หมูดิบ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ตัวอย่างที่เติมผงชาเขียว 1,000 พีพีเอ็มที่ผ่านการฉายรังสี มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมผงชาเขียวที่ไม่ฉายรังสี นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างที่เติมผงชาเขียวทั้ง 2 แบบยังคงมีค่า *a** สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในไส้กรอกหมูดิบ มีรายงานของ Houser และคณะ (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสารสกัดโรสแมรี่ (500- 3,000 พีพีเอ็ม) และตัวอย่างที่เติมบีเอชเอหรือบีเอชที (1,000-2,000 พีพีเอ็ม) ในไส้กรอกหมูดิบเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 112 วัน พบว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดโรสแมรี่ 500 พีพีเอ็มในวันที่ 14 มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ แสดงว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดโรสแมรี่ที่ความเข้มข้นต่ำสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ เช่นเดียวกับสารสกัดโรสแมรี่ 1,500 และ 2,500 พีพีเอ็มมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชเอหรือบีเอชทีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยสารสกัดจากโรสแมรี่มีประสิทธิภาพมากกว่าบีเอชเอ หรือบีเอชที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและช่วงเวลาในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในไส้กรอกหมู

2.9.3 กลุ่มผลิตภัณฑ์เนื้อปรุง

McCarthy และคณะ (2001) รายงานการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของส่วนผสม 9 ชนิดในแพตตี้หมูปรุงสุกว่าสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในแพตตี้หมูปรงสุกที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 9 วัน โดยมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ต่อมา Jo และคณะ (2003) ก็รายงานว่าการเติมผงชาเขียวที่ผ่านการฉายรังสีหรือสารสกัดผงชาเขียวในแพตตี้หมูปรุงสุกนั้น สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้และแพตตี้หมูปรุงสุกที่เติมสารสกัดผงชาเขียว มีค่าความสว่าง (*L**) สูงกว่าตัวอย่างควบคุม เช่นเดียวกับตัวอย่างที่เติมสารสกัดผงชาเขียว มีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงกว่าตัวอย่างควบคุม

รายงานการศึกษาในพืชตระกูลซิตรัส โดย Jo และคณะ (2004) พบว่าการเติมสารสกัดจากผงเปลือกพืชตระกูลซิตรัส (*Citrus Peel Powder*) ในแพตตี้หมูปรุงสุกเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็มแล้วเก็บรักษาอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 วัน สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและมีค่า *a** สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย ในปี 2005 Vuorela และคณะรายงานการใช้สารสกัดจากเมล็ดองุ่นและเปลือกสับปะรดในแพตตี้หมูปรุงสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ภายใต้การให้แสงเป็นเวลา 9 วัน ว่าสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Thomas และคณะ (2016) ได้เติมสารสกัดด้วยน้ำจากผลมะเฟือง (*Averrhoa carambola*) (40,000 พีพีเอ็ม) และหน่อไผ่หอม (*Bambusa polymorpha*) (60,000 พีพีเอ็ม) เข้มข้นลงในนักเกตหมูและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษานักเกตจาก 21 วันเป็น 35 วัน โดยมีค่า TBARS และจำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เติมสารสกัดมะเฟือง และไผ่หอม มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย

Houser และคณะ (2005) ศึกษาผลของสารสกัดจากโรสแมรี่และบีเอชเอหรือบีเอชทีในไส้กรอกหมูปรุงสุกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 112 วัน พบว่าสารสกัดจากโรสแมรี่ 1,500 และ 2,500 พีพีเอ็มมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและที่เติมบีเอชเอหรือบีเอชที (100 พีพีเอ็ม) ตลอดการศึกษา 112 วัน ซึ่งสารสกัดโรสแมรี่ 2,500 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพดีที่สุด Sangkaeo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2010) ได้ศึกษาการเติมผงสารสกัดกระโดนบกลงในไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์หมู พบว่าการเติมผงสารสกัดกระโดนบก (10,000 พีพีเอ็ม) มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม รวมถึงบีเอชที (200 พีพีเอ็ม) และ α-Tocopherol (200 พีพีเอ็ม) แต่ไส้กรอกทุกตัวอย่างมีค่าเปอร์เซ็นต์ purge loss เพิ่มขึ้นและมีคะแนนด้านความชุ่มฉ่ำ ความอ่อนนุ่ม กลิ่นรสแปลกปลอมและการยอมรับโดยรวม ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น

สำหรับรายงานการใช้พืช หรือ สารสกัดพืชในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ปรุงสุกในประเทศไทยก็พบเช่นกัน ดังเช่น วาณี (2554) ได้ประเมินการต้านการหืนของพืชพื้นบ้านจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ทะโล้ และติ้วขาว ทั้งรูปแบบสารสกัดด้วยเอธานอลและพืชลงในแพตตี้หมูปรุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 32 วัน พบว่าแพตตี้หมูที่เติมผงพืช และสารสกัดพืชได้แก่ ติ้วขาว และทะโล้ทั้ง 200 และ 300 พีพีเอ็ม มีค่า TBARS และค่า PV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม และยังพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของแพตตี้หมูทุกตัวอย่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสารสกัดพืชในนักเกตหมูโดย Thomas และคณะ (2016) ได้เติมสารสกัดด้วยน้ำจากผลมะเฟือง (*Averrhoa carambola*) (40,000 พีพีเอ็ม) และหน่อไผ่หอม (*Bambusa polymorpha*) (60,000 พีพีเอ็ม) เข้มข้น ลงในนักเกตหมู เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษานักเกตจาก 21 วันเป็น 35 วัน โดยมีค่า TBARS และจำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย

โชษณ และคณะ (2560) ศึกษาผลของกากงาขี้ม้อนผงต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในหมูยอระหว่างการเก็บรักษา พบว่า หมูยอทุกตัวอย่างทั้งที่เติม และไม่เติมกากงาขี้ม้อนผง ไม่มีความแตกต่างกันของค่า TBARS ในวันที่ 0 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าผลิตภัณฑ์หมูยอทุกตัวอย่างมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นและมีปริมาณคงที่หลังจาก 14 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งการเติมกากงาขี้ม้อนผงสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์หมูยอระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้ ต่อมาธนกรและวิรัลพัชร (2562) ได้รายงานการศึกษาความคงตัวในระหว่างการเก็บของไส้กรอกเวียนนาลดไนไตรท์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากแก่นฝาง พบว่าไส้กรอกสูตรลดไนไตรท์ที่เติมผงสารสกัดจากแก่นฝาง (30,000 พีพีเอ็ม) มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเกือบตลอดช่วงการเก็บรักษา 30 วันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและการเติมผงสารสกัดจากแก่นฝางได้เพิ่มค่า a^* ให้กับไส้กรอก นอกจากนั้นผงสารสกัดจากแก่นฝางที่เติมลงในไส้กรอกมีค่าพีเอช ประมาณ 4.98-5.09 ช่วยให้จำนวนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในไส้กรอกหมูลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

ผักสมุย (ใบ, (*Micromelum minutum*)) จังหวัดสุราษฎร์ธานี

3.1.2 อุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบ

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE214 ประเทศเยอรมัน)
2) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) (ยี่ห้อ Patch รุ่น OV663 ประเทศไทย)
3) เทอร์โมมิเตอร์
4) เทอร์โมคัปเปิล (ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น 2455 ประเทศสิงค์โปร์)
5) เครื่องบด (Blender) (ยี่ห้อ Moulinex ประเทศฝรั่งเศส)
6) ตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh
7) เครื่องซีลสุญญากาศ (ยี่ห้อ Mini Vacuum Sealing Machine รุ่น DQ/500D/1 ประเทศไทย)
8) เครื่องหมุนเหวี่ยงตกตะกอนแบบควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerated centrifuge) (ยี่ห้อ Eppendorf รุ่น 5804R ประเทศเยอรมัน)

3.1.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

1) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE214 ประเทศเยอรมัน)
2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Denver รุ่น SI-234 ประเทศเยอรมัน)
3) เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerating Shaking Incubator) (ยี่ห้อ WiseCube รุ่น WIS-20R ประเทศเกาหลี)
4) เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Rotavapor BUCHI R-114, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
5) เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer ยี่ห้อ Scanvac รุ่น Coolsafe ประเทศเดนมาร์ก)
6) โถดูดความชื้น (Desiccator)
7) เครื่องผสม (Vortex mixer ยี่ห้อ Vortex genie รุ่น 2 G-560E)
8) เครื่องปั่นเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerated centrifuge ยี่ห้อ Herttich รุ่นZentrifugen EBA20 ประเทศเยอรมัน)
9) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven ยี่ห้อ Patch รุ่น OV663 ประเทศไทย)
10) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert WB 14, ประเทศเยอรมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ (Microprocessor Control Incubator i250 ยี่ห้อ Accuplus ประเทศประเทศไทย)
12) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Sartorious PB-10, ประเทศเยอรมัน)
13) เครื่องวัดสี (Colorimeter ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น ColorQuest XE, ประเทศญี่ปุ่น)
14) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (ยี่ห้อ Texture analyzer รุ่น TA xt plus ประเทศอังกฤษ)
15) เครื่องไมโครเพลท (Microtiter plate reader ยี่ห้อ Biochrom รุ่น EZ Read 2000 ประเทศอังกฤษ)
16) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น Agilent 1260 series ประเทศอังกฤษ)
17) หม้อนึ่งฆ่าเชื้อด้วยแรงดันไอน้ำ (Autoclave ยี่ห้อ Tomy รุ่น SS245 ประเทศญี่ปุ่น)
18) ตู้เขี่ยเชื้อ (Biological Safety Cabinet Bosstech รุ่น HVB120S ประเทศไต้หวัน)

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1) Petroleum ether 40-60 (Qrec, ประเทศนิวซีแลนด์)
2) Ethyl Acetate ($C_4H_8O_2$)
3) Acetone (CH_3COCH_3; Macron Fine Chemicals, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
4) Hexane (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
5) Methanol (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
6) Ethanol (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
7) Acetic acid (Vetec, ประเทศอินเดีย)
8) DPPH 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl ($C_{18}H_{12}N_5O_6$; Aaldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
9) Folin–ciocalteu reagent (VWR, Prolabo, Ecuador)
10) Sodium carbonate (Na_2CO_3; Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
11) Hydrochloric acid (HCl; J.T. Baker, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
12) Gallic acid ($C_7H_6O_5$; Sigma-Aldrich, ประเทศเยอรมัน)
13) Trolox 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid ($C_{14}H_{18}O_4$; BBL, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
14) Linoleic acid ($C_7H_6O_5$; Sigma-Aldrich, ประเทศเยอรมัน)
15) Thiobarbituric acid (Merck, ประเทศเยอรมัน)
16) Trichloroacetic acid (Merck, ประเทศเยอรมัน)
17) Tween 20 (Merck, ประเทศเยอรมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18) Tween 40 (Merck, ประเทศเยอรมัน)
19) Sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
20) Potassium iodide (KI) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
21) Crolofrom (Merck, ประเทศเยอรมัน)
22) 2,2'-Azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
23) 2,4,6-Tripyridyl-s-triazine (TPTZ) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
24) 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (MDA) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
25) Iron (III) chloride hydrate (Carlo, ประเทศอิตาลี)
26) Chlorogenic (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
27) Ferulic acid (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
28) Sinapic acid (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
29) Vanillic acid (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
30) Syringic acid (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
31) *p*-Coumaric acid (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การศึกษาผลของการสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ ต่อชนิดและปริมาณสารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

การศึกษาผลของความคงตัวของสารสกัดสมุยนี้ เป็นการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely randomized design (Factorial in CRD) โดยกำหนดปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ตัวทำละลาย (เอธานอล, อะซิโตน และน้ำ) อุณหภูมิ (60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส) และพีเอช (5, 6 และ 7)

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างใบสมุย คัดส่วนยอดอ่อนและส่วนใบที่ใช้บริโภคได้ ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง แล้วผึ่งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ประมาณ 18-24 ชั่วโมง จนใบสมุยมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จึงนำใบสมุยแห้งมาบดด้วยเครื่องบดแห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช (mesh) จากนั้นนำตัวอย่างสมุยผง บรรจุลงในถุงพอลีเอทิลีน (Polyethylene; PE) ปิดผนึกปากถุง และเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 การเตรียมสารสกัดสมุย ดัดแปลงมาจาก Mariem และคณะ (2014)

ชั่งสมุยผง 5 กรัม ใส่ลงในชวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมตัวทำละลาย (เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ อะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำ) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้น นำไปตั้งในเครื่องเขย่าที่ควบคุมอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วจึงกรองสารสกัดสมุยด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำส่วนที่กรองได้ไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จนสารสกัดที่เข้มข้น หลังจากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตัวอย่างที่ได้จะเรียกว่า “ผงสารสกัดสมุย” และเก็บรักษาผงสารสกัดสมุยที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3.2.1.3 การศึกษาความคงตัวต่อความร้อนและความเป็นกรดด่างของสารสกัดสมุย

ชั่งผงสารสกัดสมุย (จากข้อ 3.2.1.2) 3 มิลลิกรัมมาละลายด้วยน้ำ DI (Deionize Water) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วปรับพีเอชด้วยอะซิเตทบัฟเฟอร์ (0.3-0.4 โมลาร์ พีเอช 6-7) ให้มีพีเอช 5 แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 30 มิลลิลิตร จะได้สารสกัดสมุยที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ใส่ลงในหลอดฝาเกลียว หลอดละ 10 มิลลิลิตร แล้ว นำไปแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ 3 สภาวะ คือ (1) 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที (2) 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และ (3) 80 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที) ตัวอย่างนี้จะเรียกว่า “สารสกัดสมุย” จากนั้นแช่สารสกัดสมุยลงในอ่างน้ำเย็น (Carlos และคณะ, 2009; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550ก; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550ข

ทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยปรับพีเอช เป็น 6 และ 7 ตามลำดับ สำหรับผงสารสกัดสมุยที่สกัดด้วยอะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์จะนำมาละลายด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำ 25 มิลลิลิตร ส่วนตัวอย่างควบคุม ทำโดยนำผงสารสกัดสมุยมาละลายด้วยน้ำ DI ให้ได้ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์ทางเคมีตามหัวข้อ 3.2.1.4 ต่อไป

3.2.1.4 การวิเคราะห์ทางเคมี ดังนี้

1) ปริมาณฟีนอลลิคทั้งหมด (Total phenolic content, TPC) ด้วยวิธี Folin-ciocalteu โดยดัดแปลงจากวิธีของ Shaghaghi และคณะ (2008)

ปิเปตสารสกัดสมุยปริมาตร 40 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 100 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท จากนั้นเติมรีเอเจนต์ Folin-ciocalteau ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในที่มืด แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเครื่องอ่านไมโครเพลท จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดสมุยมาคำนวณหาปริมาณฟีนอลลิคทั้งหมด โดยใช้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิค โดยค่าที่ได้จะเรียกว่า “TPC” มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม (สมมูลแกลลิก) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง

2) ชนิด และปริมาณฟีนอลิคด้วยวิธี HPLC ตามวิธีของ Moussi และคณะ (2015)

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิคด้วยเทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC) ใช้เครื่อง HPLC-DAD Agilent HP 1100 คอลัมน์ Luna 5U (C18) (250mm×4.6mm, 5 ไมครอน, 100 °A) ควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ปริมาตรการฉีดตัวอย่าง 10 ไมครอน อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที เฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ได้แก่ อะซีโตไนไตรล์ (A) และกรดฟอร์มิก 1 เปอร์เซ็นต์ (B) ใช้สภาวะการชะแบบเกรเดียนท์ โดยเพิ่มความเข้มข้นของอะซีโตไนไตรส์ (เฟสเคลื่อนที่ A) จาก 2 เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลาต่างๆ ดังนี้ นาทีที่ 0: A 2 เปอร์เซ็นต์, นาทีที่ 5: A 10 เปอร์เซ็นต์, นาทีที่ 15 : A 20 เปอร์เซ็นต์, นาทีที่ 25 : A 30 เปอร์เซ็นต์, นาทีที่ 35 : A 40 เปอร์เซ็นต์ และนาทีที่ 45 : A 10 เปอร์เซ็นต์ รวมระยะเวลาทดสอบทั้งสิ้น 45 นาที ตรวจวัดสัญญาณด้วยเครื่อง Diode Array Detector โดยกรดฟีนอลิคทุกชนิด ตรวจสอบที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร เก็บสเปคตรัมทุกๆ 2 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ทำโดยนำสารสกัดสมุยมากรองด้วย Syringe Membrane Filter ขนาด 0.20-0.45 ไมโครลิตรก่อน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นวิเคราะห์ตามสภาวะดังที่กล่าวไปแล้วข้าวต้น จากนั้นเปรียบเทียบ Retention time และ คำนวณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิคชนิดต่างๆ จากพื้นที่ใต้กราฟ กับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน 7 ชนิด ได้แก่ กรดแกลลิค กรดคลอโรจินิค กรดวานิลิก กรดไซริงจิค กรดเฟอร์รูริค กรดคูมาริก และกรดซินนามิค

3) ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity (DPPH) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Murakami และคณะ (2004)

ปิเปตสารสกัดสมุย 50 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท แล้วเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ในที่มืด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยเครื่องอ่านไมโครเพลท จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาคำนวณหาค่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox โดยค่าที่ได้จะเรียกว่า “DPPH” มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง

4) ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ด้วยวิธี $ABTS^+$ radical scavenging activity ตามวิธีของ Zhou และ Yu (2004)

ปิเปตสารสกัดสมุย 50 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท แล้วเติมสารละลาย $ABTS^+$ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีในที่มืด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร โดยเครื่องอ่านไมโครเพลท จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาคำนวณหาค่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{+}$ โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox โดยค่าที่ได้จะเรียกว่า “ABTS” มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง

5) ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกด้วยวิธี Ferric reducing/ antioxidant power (FRAP) ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

ปิเปตสารสกัดสมุย 10 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท แล้วเติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 8 นาทีในที่มืด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยเครื่องอ่านไมโครเพลท จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาคำนวณหาค่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ FRAP โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox โดยค่าที่ได้จะเรียกว่า “FRAP” มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง

6) ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Anti-TBARs โดยดัดแปลงจากวิธีของ McDonald และ Hultin (1987)

ปิเปตสารสกัดสมุย 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมอิมัลชันของกรดไขมันลิโนเลอิก (เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลาย TCA-TBA-HCl ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปต้มจนเดือด นาน 15 นาที แล้วแช่ลงอ่างน้ำเย็น แล้วจึงปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนติฟิวส์ที่ความเร็วรอบ 5,500 รอบต่อนาที นาน 5 นาที นำเอาส่วนใสไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาคำนวณหาค่า Anti-TBARs โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายบิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอีน โดยค่าที่ได้จะเรียกว่า “Anti-TBARs” มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม (สมมูลสารบีเอชที) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง

นำผลการวิเคราะห์ของสารสกัดสมุยที่พีเอชและอุณหภูมิต่างๆ ไปวิเคราะห์ทางสถิติตามหัวข้อ 3.2.3.1 โดยเปรียบเทียบกับสารสกัดสมุยควบคุม จากนั้นคัดเลือกตัวทำละลายของสารสกัดสมุยที่มีความคงตัวต่อพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนที่ดี มาประยุกต์ใช้ในไส้กรอกหมูสดในการทดลองต่อไป (ตามข้อ 3.2.2)

3.2.2 การศึกษาผลของสารสกัดสมุยในไส้กรอกหมูระหว่างการเก็บรักษา

การศึกษาผลของสารสกัดสมุยในตัวอย่างไส้กรอกหมูนี้ เป็นการวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) โดยกำหนดปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของผงสมุยในผลิตภัณฑ์ (3 ระดับ) ได้แก่ 0, 100 และ 500 พีพีเอ็ม นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน โดยสุ่มตัวอย่างทุกๆ 7 วัน มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ โดยใช้ไส้กรอกหมู และไส้กรอกหมูที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม เป็นตัวอย่างควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 การเตรียมไส้กรอกหมู

1) ส่วนประกอบ (คมแข และ รุจริน, 2562)

เนื้อหมูส่วนสะโพกบดหยาบ	700	กรัม
มันหมูแข็งบดหยาบ	300	กรัม
น้ำแข็ง	10	กรัม
ฟอสเฟต	2	กรัม
ไนไตรท์	80	มิลลิกรัม
น้ำตาล	13	กรัม
เครื่องเทศรวม	40	กรัม
เครื่องปรุงรส	15	กรัม
น้ำหนักรวม	1,160	กรัม

2) ขั้นตอนการทำไส้กรอกหมู

นำเนื้อหมูส่วนสะโพก ผสมกับมันหมูแข็งพอหยาบๆ ตามด้วยส่วนผสมทั้งหมด และขั้นตอนนี้จะเติมสารสกัดสมุย คลุมเคล้าให้เข้ากันในเครื่องสับผสมจนกระจายตัว เป็นเวลา 3-4 นาที จากนั้นนำส่วนผสมใส่เข้าเครื่องอัดไส้กรอก แล้วบรรจุส่วนผสมในไส้คลอลาเจนแล้วใช้เชือกมัดไส้กรอกทุกๆ ประมาณ 4 เซนติเมตร จากนั้นนำพวงไส้กรอกไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำออกมาพักให้เย็น จากนั้นแบ่งไส้กรอกประมาณ 100 กรัม (3 ซ้ำ) บรรจุลงในถุงพอลีเอทิลีนปิดผนึกปากถุงด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ

ภาพที่ 3.1 การผลิตและการเก็บรักษาไส้กรอกหมู

3) การเติมสารสกัดสมุยในไส้กรอกหมู

ชั่งผงสารสกัดสมุย 0.1 กรัม ละลายน้ำ 10 มิลลิลิตรที่ได้มีความเข้มข้นของสารสกัดสมุยที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็มที่ใช้ผสมลงในไส้กรอกหมู 1 กิโลกรัม ในขั้นตอนเดียวกับในข้อ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแบ่งตัวอย่างไส้กรอกหมูออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ ตัวอย่างที่ใส่สารสกัดสมุยที่ความเข้มข้น 0 (ตัวอย่างควบคุม), 100 และ 500 พีพีเอ็ม และตัวอย่างที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน โดยสุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน (รวม 5 ครั้ง)

สำหรับความเข้มเข้ม 500 พีพีเอ็ม โดยชั่งผงสารสกัดสมุย 1 กรัม ละลายน้ำ 10 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ลงในส่วนผสม จะได้ไส้กรอกที่มีความเข้มข้นของสารสกัดสมุยที่ความเข้มข้นตามที่กำหนด

3.2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่างไส้กรอกหมู

ตัวอย่างไส้กรอกหมูจะนำมาวิเคราะห์ ดังนี้

1) การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ก) การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab ของ Deda และคณะ (2007) โดยมี D65 เป็นแหล่งให้แสง ใช้โหมดวัด Reflectance Specular Excluded (RSEX) นำตัวอย่างไส้กรอกหมูจากนั้นวัดสีที่ผิวของไส้กรอก บริเวณตำแหน่งต่างๆ 4 ตำแหน่ง ตำแหน่งละอย่างน้อย 3 ซ้ำ โดยอ่านค่าสีในระบบ CIE L^* a^* b^* ทั้งนี้ค่า L^* แสดงถึงค่าความสว่าง ค่า a^* แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b^* แสดงถึงค่าสีเหลือง และคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเปรียบเทียบกับค่าสีเริ่มต้นก่อนการทดลอง ΔE ดังนี้

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ข) การวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA xt plus ตามวิธีของ Bourne (1978) โดยใช้หัววัดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร วัดในรูปแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ซึ่งเป็นการกด 2 ครั้งด้วยความเร็วคงที่ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นนำตัวอย่างไส้กรอกหมูมาทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวแล้วอ่านค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) และการยึดเกาะ (cohesiveness)

2) การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก) ปริมาณ Peroxide value (PV) ด้วยวิธีการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ตามวิธีการของ Bligh และ Dyer (1959)

- การเตรียมตัวอย่าง (การสกัดไขมัน)

นำตัวอย่างไส้กรอกหมูมาบดด้วยเครื่อง Stomacher ด้วยความเร็วปานกลาง นาน 1 นาที แล้วชั่งมา 3 กรัม เติมสารละลายผสมระหว่าง คลอโรฟอร์ม:เมธานอล:น้ำกลั่น (1.0:1.0:0.75 โดยปริมาตร) แล้วปั่นผสมด้วยโฮโมจีไนเซอร์ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 2 นาที จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกส่วนด้วยเครื่องเซ็นติฟิวส์แบบอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที เก็บส่วนใส นำไขมันที่สกัดบรรจุลงในขวดแก้วสีชาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์ วิธีการของ Low และ Ng (1987)

ชั่งตัวอย่างไขมันปริมาตร 0.2 กรัม เติมสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับกรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมแล้วตั้งไว้ในที่มืดนาน 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร และไตเตรทด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายเป็นสีเหลืองใส จึงเติมสารละลายสตาร์ชเข้มข้นร้อยละ 1.5 ลงไป 1 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทจนกระทั่งสารละลายใสไม่มีสี นำปริมาตรของโซเดียมไธโอซัลเฟตมาคำนวณหาปริมาณ Peroxide value ในหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไส้กรอกหมู ดังนี้

$$\text{Peroxide value} = (S-B) \times \frac{\text{ความเข้มข้นโซเดียมไธโอซัลเฟต}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (g)}}$$

เมื่อ S = Sample Titration (ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟต, มิลลิลิตร)

B = Blank Titration (ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟต, มิลลิลิตร)

โดยปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมันจากสัตว์ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม (Low และ Ng, 1987)

ข) ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Buege และ Aust (1978)

ชั่งไส้กรอกหมู 5 กรัม นำมาผสมน้ำบดด้วยเครื่อง Stomacher ด้วยความเร็วปานกลาง นาน 1 นาที และเติมสารละลาย TCA-TBA-HCl ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 1 นาที แล้วนำไปต้มจนเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที ทิ้ง แช่ในน้ำเย็น ก่อนไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที จากนั้นนำส่วนใสไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร

นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาคำนวณหาค่า TBARS โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde) ในหน่วยมิลลิกรัมมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมไส้กรอกหมู (mg MDA/ kg sample)

3) การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ใช้วิธี Pour plate method ของ AOAC (2000) โดยชั่งตัวอย่างไส้กรอกหมู 25 กรัม เติมสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ลงในถุงปราศจากเชื้อ จากนั้นตีป่นด้วยเครื่อง Stomacher ด้วยความเร็วปานกลาง นาน 1 นาที แล้วเจือจางตัวอย่างลงทีละ 10 เท่า ด้วยสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จนได้ระดับการเจือจางที่ต้องการ แล้วตรวจสอบปริมาณเชื้อในอาหาร Plate Count Agar (PCA) ที่บ่มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีในจานเพาะเชื้อที่อยู่ในช่วง 30-300 โคโลนีบนจาน แล้วคำนวณในรูปของ Colony -Forming Unit (CFU) ต่อกรัมของไส้กรอกหมู

3.2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.2.3.1 การศึกษาผลของการสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ ต่อชนิดและปริมาณสารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านออกซิเดชันการต้านออกซิเดชัน เป็นการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely randomized design (Factorial in CRD) โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดย Duncan's multiple-range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.3.2 การศึกษาผลของสารสกัดสมุยในไส้กรอกหมูสดระหว่างการเก็บรักษา เป็นการวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดย Duncan's multiple-range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์

4.1 การศึกษาความคงตัวของการสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน ต่อชนิดและปริมาณสารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

สารสกัดสมุยที่สกัดจากตัวทำละลายต่างชนิดกัน จำนวน 3 ชนิด เมื่อนำมาทดลองความคงตัวของสารสกัดสมุยที่พีเอชระหว่าง 5 -7 ในสภาวะการให้ความร้อน 3 สภาวะ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมีได้ผลดังนี้

4.1.1 สารประกอบฟีนอลิค

1) ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด (เริ่มต้น)

ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดของสารสกัดสมุยจากตัวทำละลาย 3 ชนิด (ตารางที่ 4.1) พบว่า สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ อะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ มีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดเท่ากับ 86.99, 87.64 และ 74.50 มิลลิกรัม (สมมูลแกลลิค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง ตามลำดับ โดยสารสกัดด้วยน้ำมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดต่ำกว่าเอธานอล และอะซิโตน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1: ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ

สารสกัดสมุย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (มิลลิกรัม (สมมูลแกลลิค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง)
สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล	86.99±0.50[a]
สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน	87.64±2.43[a]
สารสกัดสมุยด้วยน้ำ	74.50±1.01[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน และเอธานอลมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีค่าสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ ความสามารถในการสกัด หรือความสามารถในการละลายของสารสำคัญในตัวทำละลายนั้นขึ้นอยู่กับค่าความมีขั้วของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสำคัญและตัวทำละลาย ซึ่งหากมีค่าใกล้เคียงกัน สารสำคัญก็จะละลายออกมาได้ดี นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลิค และฟลาโวนอยด์ที่ถูกสกัดออกมาจากพืช สารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวทำละลายที่มีขั้ว และมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้ (Falleh และคณะ, 2013) ความมีขั้วของตัวทำละลายมีความสัมพันธ์กับสารที่สำคัญของกลุ่มฟีนอลิก เป็นสารที่มีหมู่ OH เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น กรดฟีนอลิค จนถึงโพลีเมอร์ขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น แทนนิน จึงมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วตั้งแต่สูงไปถึงความเป็นขั้วต่ำที่แตกต่างกัน ดังนั้นการใช้ตัวทำละลายต่างๆ จะทำให้ได้กลุ่มสารสำคัญแตกต่างกันตามความมีขั้วของสารสำคัญนั้นๆ (Jung และคณะ, 2006) นอกจากนี้ ความมีขั้วของตัวทำละลาย มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการละลายของสารประกอบฟีนอลิค (Naczk และ Shahidi, 2006)

จากผลการทดลองพบว่า ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ เอธานอล และอะซิโตน มีค่าความมีขั้วเท่ากับ 5.5 และ 7.14 ตามลำดับ และสารสกัดสมุยด้วยเอธานอล และอะซิโตนมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนสารสกัดด้วยน้ำมีค่าที่ต่ำกว่า ($p\leq0.05$) แสดงว่า ปริมาณฟีนอลิคที่อยู่ในใบสมุยเป็นสารที่มีขั้วอยู่ในช่วง 5.5-7.14 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Tangkanakul และคณะ (2005) ที่รายงานในสารสกัดสมุยเช่นกัน ว่า การสกัดด้วยเอธานอลมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำ และรายงานของ Sun และคณะ (2017) ที่ระบุว่าสารสกัดใบมันเทศด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์มีสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าการใช้ตัวทำละลายด้วยน้ำ อย่างไรก็ตาม Exarchou และคณะ (2002) ได้รายงานเกี่ยวกับการใช้ตัวทำละลายอะซิโตน และเอธานอล (95 เปอร์เซ็นต์) ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิคจากใบออริกาโน่ พบว่าอะซิโตนมีประสิทธิภาพดีกว่าเอธานอล อีกทั้ง Boeing และคณะ (2014) ที่รายงานประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิคจากใบเบอร์รี่ พบว่าสารสกัดด้วย อะซิโตน (70 เปอร์เซ็นต์) ให้ผลดีกว่าเอธานอล (50 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากสารผสมของอะซิโตน และน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีในการสกัดสารประกอบฟีนอลิค นอกจากนี้ Zlotek และคณะ (2016) รายการการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกันในสารสกัดจากใบเพรา พบว่า การสกัดด้วยอะซิโตน 70 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าการสกัดด้วยเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ และกรดอะซิติก และยังมีรายงานของ Michael และคณะ (2016) ที่สกัดใบชาดำด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ (น้ำ เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เอธานอล 50 เปอร์เซ็นต์ อะซิโตน 50 เปอร์เซ็นต์ และเอทิลอะซิเตต) พบว่า ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดของสารสกัดชาด้วยอะซิโตนมีค่าสูงกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ และการสกัดด้วยน้ำมีสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดต่ำสุด

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิคจำนวน 7 ชนิด ด้วยเทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC) ในสารสกัดสมุย (ตัวอย่างควบคุม) แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า สารสกัดสมุยประกอบด้วยกรดฟีนอลิคทุกชนิด ยกเว้นสารสกัดด้วยน้ำที่ตรวจไม่พบกรดคูมาริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกันมีปริมาณกรดฟีนอลิคที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สารสกัดด้วยอะซิโตนตรวจพบปริมาณกรดวานิลิก กรดไซริงจิค และกรดซินนามิคสูงกว่าสารสกัดอื่นๆ ส่วนสารสกัดด้วยเอธานอลมีกรดคลอโรจินิค และกรดเฟอร์รูริคสูงกว่าสารสกัดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สารสกัดด้วยน้ำและอะซิโตนมีปริมาณกรดแกลลิคเท่ากัน ($p > 0.05$) ดังนั้น จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิคในสารสกัดสมุยทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกัน โดยสารสกัดด้วยอะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสารประกอบฟีนอลิคทั้ง 7 ชนิด รวมเป็น 86.5 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง

ซึ่งมีค่ารวมสูงกว่า ปริมาณที่พบในสารสกัดด้วยเอธานอล (73.5 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง) และสารสกัดด้วยน้ำ (56.2 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2: ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ

สารประกอบฟีนอลิค (มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง)	**สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล**	**สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน**	**สารสกัดสมุยด้วยน้ำ**
กรดแกลลิค	3.28 ± 0.37^{b}	5.92 ± 0.02^{a}	5.85 ± 0.03^{a}
กรดคลอโรจินิค	54.00 ± 1.53^{a}	24.28 ± 5.50^{b}	29.62 ± 1.14^{b}
กรดวานิลิก	3.29 ± 0.23^{c}	32.90 ± 2.33^{a}	11.21 ± 0.22^{b}
กรดไซริงจิค	2.04 ± 0.07^{c}	7.51 ± 0.91^{a}	3.13 ± 0.04^{b}
กรดเฟอร์รูริค	9.53 ± 0.99^{a}	7.55 ± 2.29^{b}	3.05 ± 0.23^{c}
กรดคูมาริก	0.93 ± 0.05^{a}	0.89 ± 0.05^{b}	ND
กรดซินนามิค	0.45 ± 0.01^{c}	7.45 ± 0.34^{a}	3.33 ± 0.46^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

สอดคล้องกับศิวาพร และณัฏฐินี (2546) ที่ได้ทดลองสกัดสารประกอบฟีนอลิคจากเปลือกมันฝรั่งด้วยน้ำ เมทานอล เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และอะซีโตน พบว่าสารสกัดด้วยอะซีโตนและเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีสารประกอบฟีนอลิกที่พบมาก ได้แก่ กรดคลอโรจินิค กรดวานิลิก และกรดแกลลิค ตามลำดับ และมีรายงานของ Sun และคณะ (2015) ที่ตรวจพบกรดเฟอร์รูริค และกรดวานิลิกในสารสกัดเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารมากกว่าสารสกัดน้ำ ยังมีรายงานของ Kornkanok และคณะ (2019) ศึกษาการสกัดกะเม็ง (*Eclipta prostrata Linn*.) ด้วยตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

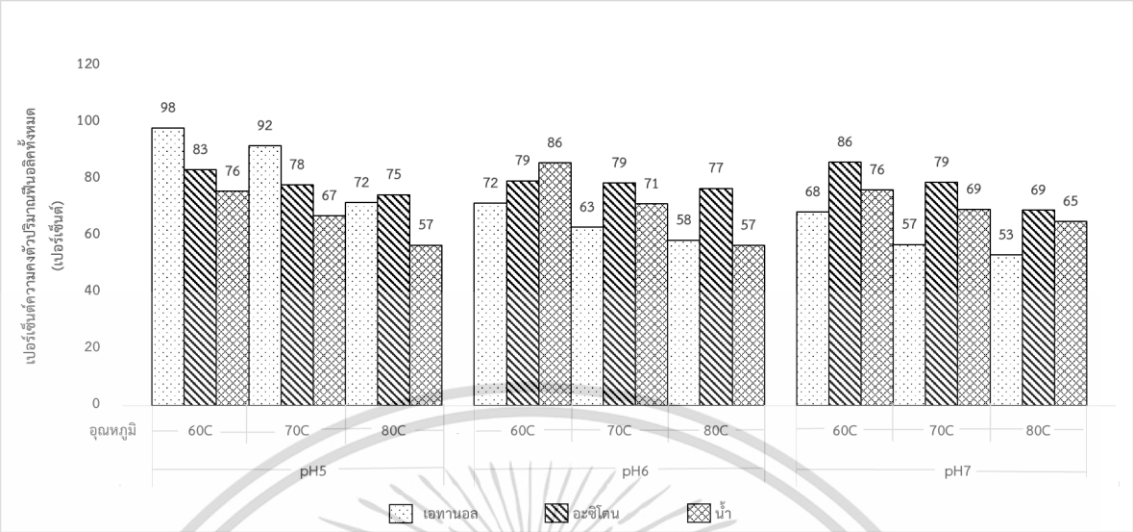
แตกต่างกัน (น้ำ เอทิลอะซิเตท, เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์, เอธานอล 70 เปอร์เซ็นต์ และเอธานอล 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสารสกัดด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดคลอโรจินิค กรดแกลลิคและกรดวานิลิก สูงกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ นอกจากนี้มีรายงานของ Zhenjiang และคณะ (2021) สารประกอบฟินอลิคในสารสกัดใบหม่อนด้วยตัวทำละลายต่างๆ (อะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ เอธานอล 80 เปอร์เซ็นต์ และเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์) พบว่า สารสกัดด้วยอะซิโตนมีกรดคลอโรจินิค กรดเฟอร์รูริค กรดไซริงจิค กรดวานิลิกและกรดแกลลิคสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารสกัดเอธานอล พบกรดวานิลิก กรดไซริงจิค กรดเฟอร์รูริค, กรดคลอโรจินิค และกรดแกลลิค ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดด้วยอะซิโตนมีปริมาณสารมากกว่าสารสกัดด้วยเอธานอล อีกทั้งการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของ Qiming และคณะ (2007) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิคด้วย HPLC ในสารสกัดใบ *Lonicera japonica Thunb* และ *Eucommia ulmoides Oliver* โดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิกกับสารประกอบอื่น ๆ ในสารสกัดสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำ และมีรายงานของวชิราพรรณและพรพิมล (2560) ได้ตรวจวิเคราะห์กรดคลอโรจีนิค กรดคาเฟอิก กรดเฟอร์รูริค และกรดคูมาริกในตัวอย่างน้ำสมุนไพรจากพืช 7 ชนิด ได้แก่ ฝาง ใบหม่อน หญ้าหวาน ปอกระบิด ตะไคร้ รากสามสิบ และกระเจี๊ยบ พบว่าประกอบด้วยกรดคลอโรจีนิค กรดคาเฟอิก และกรดคูมาริก แต่ไม่พบกรดเฟอร์รูลิค ดังนั้นคุณสมบัติการละลายของกลุ่มสารประกอบฟีนอลิคมีความสำคัญต่อชนิด และปริมาณที่ตัวทำละลายนั้นจะสกัดออกมาได้ โดยสารสำคัญดังกล่าวจะต้องสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่เฉพาะเจาะจง อีกทั้งปริมาณฟีนอลิคจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช และโครงสร้างของพืชด้วย

2) ความคงตัวของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด

การศึกษาความคงตัวเป็นการจำลองสภาวะของกระบวนการผลิตไส้กรอกหมูที่พีเอชระหว่าง 5 -7 ในอุณหภูมิและเวลาต่างๆ 3 สภาวะ โดยสภาวะที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที (Carlos และคณะ, 2009) สภาวะที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที (เยาวลักษณ์, 2532) และสภาวะที่ 3 ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 3 นาที (คมแข และรุจริน, 2562) เมื่อผ่านการใช้ความร้อนตามสภาวะที่กำหนดแล้วจะแช่ลงในอ่างน้ำเย็นทันที ตัวอย่างนี้จะเรียกว่า “สารสกัด สมุย”

ความคงตัวของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในสารสกัดสมุยที่พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ เป็นการจำลองสภาวะการผลิตไส้กรอกหมู ด้วยการเปรียบเทียบการลดลงของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดระหว่างก่อนและภายหลังการทดสอบ แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความคงตัว ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1 โดยพบว่า สารสกัดด้วยเอธานอล อะซิโตน และน้ำ มีความคงตัวอยู่ระหว่าง 40-94, 52-79, 37-91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายต่างๆ มีความคงตัวได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดจะลดลงเพียงเล็กน้อยหรือลดลงอย่างมากนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1: ผลของสภาวะความร้อน และพีเอช ต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัวปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดสมุย

ความคงตัวของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในสารสกัดสมุยที่พีเอช 5, 6 และ 7 อยู่ในช่วง 52–94, 51–77 และ 37-69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ภาคผนวกที่ ค3) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพีเอชส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่าสภาวะการให้ความร้อนก็มีผลเช่นกัน โดยการเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนจาก 60 (30 นาที), 70 (15 นาที) และ 80 (3 นาที) องศาเซลเซียส ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความคงตัวปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดอยู่ในช่วง 51-94, 44-89 และ 37-80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จึงแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการแปรรูปก็มีผลเช่นกันต่อการลดลงของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนไม่มีผลร่วมกันต่อการลดลงของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด ($p > 0.05$)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.1) พบว่าปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในสารสกัดที่พีเอช 5 ทุกๆ สภาวะ มีค่าสูงกว่าในสารสกัดที่พีเอชอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารสำคัญในสมุยจะมีความคงตัวในสภาวะที่เป็นกรดมากกว่าสภาวะอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของกรดฟีนอลิคบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลและวงแหวนเบนซินมีความคงตัวต่อพีเอชในแต่ละตัวทำละลายที่แตกต่างกัน (Medina และคณะ, 2007) นอกจากนี้ความคงตัวของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดแปรผกผันกับการเพิ่มของพีเอช เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิคมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิค (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ จึงมีความไวต่อพีเอชที่แตกต่างกัน (Lemanska และคณะ, 2001) สอดคล้องกับ Chen (2008) ที่ศึกษาความคงตัวของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดในสารสกัดมันแกวในสภาวะพีเอชที่แตกต่างกัน พบว่า สารสกัดมันแกวพีเอช 5 มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่พีเอชเพิ่มขึ้น ต่อมามีการศึกษาความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดใบมันเทศที่พีเอชต่างๆ พบว่าที่พีเอช 5 สารสกัดใบมันเทศ มีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดสูง แต่จะมีปริมาณลดลง เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น (Sun และคณะ, 2017)

ภายหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิในสภาวะต่างๆ ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด มีค่าสูงสุดในสารสกัด ที่ใช้อุณหภูมิต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิต่ำจะมีความคงตัวของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดมากกว่าการใช้สภาวะอื่นๆ สอดคล้องกับรายงานการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปที่มีการเติมสารสกัดพืชลงในผลิตภัณฑ์แล้วพบว่าอุณหภูมิมีส่วนทำให้ปริมาณสารสำคัญลดลง โดยทั่วไปในธรรมชาติพบสารประกอบฟีนอลิคหลายชนิดทั้งโมเลกุลเล็กจนถึงใหญ่ในสารสกัดพืชต่างๆ ทำให้การเสื่อมสลายของสาระสำคัญมีความแตกต่างกันตามโครงสร้างของสารปรกอบฟีนอลิค (Zhou และคณะ, 2014) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารประกอบฟีนอลิคลดลงจะเสื่อมสลายได้ด้วยความร้อน (ศรัณย์ และคณะ, 2555) การใช้ความร้อนในการแปรรูปมีส่วนทำให้ปริมาณฟีนอลิคลดลง โดยปริมาณฟีนอลิคจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชและโครงสร้างของพืช (พงศธร และคณะ, 2551) ซึ่งโดยทั่วไปการใช้ความร้อนที่สูงและใช้เวลานาน อาจสลายสารสำคัญในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิคได้ (Rice-Evans และคณะ, 1996) ดังนั้นในสภาวะความร้อนที่เพิ่มขึ้นจึงมีผลกระทบอย่างมากต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิค (Sun และคณะ, 2017) ในสารสกัดสมุยด้วยเช่นกัน

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิคในสารสกัดสมุยภายหลังการปรับพีเอช และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกันแล้วมีปริมาณฟีนอลิคที่เหลือแสดงดังตารางที่ 4.3 โดยพบว่าเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 7 ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิคทั้ง 4 ชนิดในสารสกัดสมุยมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนี้ กรดคลอโรจีนิคลดลงจาก 12.59-44.81 เป็น 8.05-30.33, กรดซินนามิคลดลงจาก 0.85-3.47 เป็น 0.61-4.98, กรดไซริงจิคลดลงจาก 2.33-7.22 เป็น 1.39-5.84 และกรดเฟอร์รูริคลดลงจาก 2.60-22.59 เป็น 2.64-6.08 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในทางตรงกันข้าม ปริมาณกรดวานิลิกและกรดแกลลิคมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 5.87-13.82 เป็น 0.25-16.87 และจาก 0.51-7.97 เป็น 2.43-6.72 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง ตามลำดับ สำหรับสภาวะการเพิ่มอุณหภูมิจาก60 เป็น 80 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้ง 4 ชนิด (มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง) ได้แก่ กรดคลอโรจีนิค (8.95-44.81) กรดแกลลิค (2.43-7.47) กรดวานิลิก (0.30-16.87) และซินนามิค (0.74-4.98) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 8.05-17.62, 0.51-6.95, 0.25-14.86 และ 0.64-3.33 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้งตามลำดับ อย่างไรก็ตามกรดเฟอร์รูริคและกรดไซริงจิค กลับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 2.42-21.27 เป็น 2.33-21.77 และจาก 1.47-4.06 เป็น 1.90-7.22 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นว่าสภาวะพีเอชและการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ มีผลต่อความคงตัวของชนิดและปริมาณฟีนอลิคทั้ง 7 ชนิดที่แตกต่างกัน โดยพีเอช 5 ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบจำนวนชนิดและปริมาณฟีนอลิคสูงกว่าที่พบในพีเอช 7 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับรายงานของ Friedman และ Jurgens (2000) ศึกษาผลของพีเอช (3.5-11) ต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิคในพืช พบว่า กรดคลอโรจีนิคมีความคงตัวที่พีเอชต่ำ (3.5-4) และการให้ความร้อนได้ดีกว่ากรดฟีนอลิคอื่นๆ

การลดปริมาณของกรดฟีนอลิค อาจเกิดจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นและเร่งการออกซิไดซ์ของสารฟีนอลิคบางชนิด (Jung และคณะ, 2006) เช่นเดียวกับรายงานการทดลองของ Medina และคณะ (2007) ที่กล่าวว่าในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำมีปริมาณฟีนอลิคสูงกว่าสภาวะที่อุณหภูมิสูง และยังพบปริมาณกรดคลอโรจินิคและกรดวานิลลิกมากกว่ากรดตัวอื่นๆ ต่อมามีรายงานของ Zhao และ Moghadasian (2008) ที่ใช้กรดเฟอรูลิกในพืชศึกษาเป็นสารเติมแต่งอาหาร ด้านสมบัติการถนอมอาหารและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และรายงานของ Honda และคณะ (2019) ที่ศึกษาความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิค 20 ชนิดที่เป็นส่วนประกอบของพืชที่กินได้ ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 6.8-8.3 พบว่า carnosol, myricetin, quercetin และ carnosic acid มีความคงตัวสูง ส่วน nordihydro guaiaretic acid, baicalein, gallic acid และ hydroxytyrosol มีความคงตัวปานกลาง ส่วนสารฟีนอลิคอื่นๆ มีความคงตัวต่ำ สารฟีนอลิคเหล่านี้มีความสำคัญต่อสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดีหรืออาจแสดงสมบัติโปรออกซิแดนท์ของสารประกอบฟีนอลิค ทำให้เกิดความคงตัวของฟีนอลิคที่แตกต่างกัน

ดังนั้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การปรับสภาวะให้เป็นกรดร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำในกระบวนการแปรรูปทำให้สารฟีนอลิคมีความคงตัวและปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดคงเหลือมากกว่าการใช้สภาวะที่พีเอชเป็นกลางร่วมกับอุณหภูมิที่สูงกว่าในกระบวนการผลิต ทำให้ทราบว่าสารกลุ่มฟีนอลิคที่พบมากที่สุดอยู่ในสารสกัดด้วยอะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์ และพบชนิดของกรดฟีนอลิคที่มีความคงตัว ได้แก่ กรดคลอโรจีนิค กรดเฟอรูลิค และกรดวานิลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ ในพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ

สารสกัดสมุย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	สารประกอบฟีนอลิค (มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง)						
			กรดแกลลิค	กรดคลอโรจินิค	กรดวานิลิก	กรดไซริงจิค	กรดเฟอร์รูริค	กรดคูมาริก	กรดซินนามิค
สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล	5	60	3.48±0.15^{e,D} (106%)	20.82±0.90^{c,E} (38%)	7.01±0.18^{e,CD} (212%)	3.10±0.12^{c,BC} (94%)	21.27±4.41^{a,A} (223%)	1.33±0.09^{b,B} (146%)	1.45±0.02^{d,D} (319%)
		70		17.86±0.73^{d,C} (33%)	5.87±0.57^{f,C} (178%)	2.92±0.21^{c,C} (88%)	22.59±0.44^{a,A} (237%)	1.38±0.15^{b,A} (148%)	1.41±0.06^{d,D} (310%)
		80	0.51±0.56^{f,E} (15%)	16.95±3.15^{d,A} (31%)	4.85±0.59^{g,DE} (147%)	2.98±0.44^{c,C} (90%)	21.77±3.65^{a,A} (228%)	1.03±0.03^{c,A} (110%)	1.47±0.08^{d,D} (324%)
	6	60	2.55±0.17^{d,E} (77%)	17.08±2.40^{b,F} (31%)	3.74±0.29^{f,E} (113%)	2.38±0.15^{e,D} (72%)	13.98±0.53^{a,A} (146%)	0.70±0.02^{a,C} (74%)	0.79±0.10^{e,E} (174%)
		70	1.44±1.58^{e,F} (43%)	14.08±1.19^{c,D} (26%)	4.25±0.26^{ef,D} (129%)	1.54±0.27^{f,E} (46%)	13.14±1.57^{ab,B} (137%)	ND	0.67±0.04^{e,G} (147%)
		80	1.32±1.45^{e,D} (40%)	13.27±1.28^{cd,B} (24%)	3.92±0.61^{f,E} (119%)	1.53±0.16^{f,F} (46%)	12.13±2.00^{b,B} (63%)	ND	0.73±0.03^{e,G} (163%)
	7	60	2.43±0.22^{e,E} (74%)	16.58±0.66^{e,F} (30%)	0.30±0.74^{d,F} (9%)	1.47±0.26^{c,E} (44%)	6.08±0.15^{b,C} (63%)	ND	0.74±0.05^{f,E} (163%)
		70	2.62±0.28^{e,E} (79%)	14.67±0.36^{e,D} (27%)	1.22±1.90^{d,E} (37%)	1.51±0.09^{c,E} (45%)	5.26±0.17^{d,D} (55%)	ND	0.61±0.04^{f,G} (135%)
		80	2.61±0.17^{e,C} (79%)	13.81±0.37^{e,B} (25%)	0.25±0.60^{d,F} (7%)	1.39±0.12^{c,F} (42%)	4.64±0.39^{d,D} (48%)	ND	0.64±0.04^{f,G} (141%)

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

สารสกัดสมุย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	สารประกอบฟีนอลิค (มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง)						
			กรดแกลลิค	กรดคลอโรจินิค	กรดวานิลิก	กรดไซริงจิค	กรดเฟอร์รูริค	กรดคูมาริก	กรดซินนามิค
สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน	5	60	4.38±0.61^{d,C} (73%)	44.81±2.99^{a,A} (184%)	7.71±0.27^{d,C} (23%)	4.06±0.34^{b,A} (54%)	3.68±0.37^{c,D} (48%)	2.29±0.05^{a,A} (258%)	1.86±0.11^{c,C} (24%)
		70	7.97±0.19^{a,B} (134%)	13.42±1.01^{e,D} (55%)	13.82±0.99^{a,A} (42%)	6.94±0.54^{a,A} (92%)	10.51±0.60^{cC} (139%)	ND	3.47±0.28^{a,B} (46%)
		80	6.95±0.76^{b,A} (117%)	12.59±1.13^{e,B} (51%)	13.28±0.44^{a,B} (40%)	7.22±0.13^{a,A} (96%)	8.32±0.78^{c,C} (110%)	ND	3.04±0.15^{b,B} (40%)
	6	60	3.21±0.19^{d,D} (31%)54	35.51±0.77^{a,B} (146%)	15.91±0.22^{a,A} (48%)	3.97±0.08^{c,A} (52%)	4.27±0.37^{d,CD} (56%)	ND	1.32±0.02^{c,D} (17%)
		70	9.56±0.59^{a,A} (161%)	10.58±0.95^{f,E} (43%)	8.18±0.82^{b,B} (24%)	6.19±0.25^{a,B} (82%)	13.27±1.65^{ab,B} (175%)	ND	1.96±0.22^{a,C} (26%)
		80	5.78±0.50^{c,B} (97%)	6.20±0.06^{h,C} (25%)	5.55±0.01^{c,D} (16%)	4.28±0.30^{b,B} (57%)	7.65±0.29^{c,C} (101%)	ND	1.48±0.06^{b,D} (19%)
	7	60	6.23±0.34^{b,B} (105%)	30.35±2.16^{b,C} (124%)	16.87±2.97^{a,A} (51%)	2.12±0.08^{b,D} (28%)	5.88±0.79^{b,C} (77%)	ND	4.98±0.42^{a,A} (66%)
		70	5.13±0.23^{d,}D (86%)	23.12±0.55^{d,B} (95%)	7.49±1.08^{c,B} (22%)	5.84±0.85^{a,B} (77%)	4.22±0.36^{d,D} (55%)	ND	3.68±0.01^{b,A} (49%)
		80	5.55±0.10^{c,B} (93%)	17.62±2.01^{c,A} (72%)	14.86±2.38^{b,A} (45%)	1.90±0.06^{b,E} (25%)	3.77±1.01^{b,DE} (49%)	ND	3.33±0.02^{c,A} (44%)

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

สารสกัดสมุย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	สารประกอบฟีนอลิค (มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง)						
			กรดแกลลิค	กรดคลอโรจินิค	กรดวานิลิก	กรดไซริงจิค	กรดเฟอร์รูริค	กรดคูมาริก	กรดซินนามิค
สารสกัดด้วยน้ำ	5	60	4.07±0.07^{d,C} (69%)	26.08±2.31^{b,D} (88%)	12.24±0.68^{b,B} (109%)	2.85±0.53^{cd,C} (91%)	3.42±0.35^{c,D} (112%)	ND	0.94±0.16^{e,E} (28%)
		70	5.38±0.11^{c,D} (91%)	25.85±2.50^{b,A} (87%)	8.44±0.70^{c,B} (75%)	2.45±0.17^{de,D} (78%)	2.60±0.78^{b,E} (85%)	ND	0.85±0.07^{e,F} (25%)
		80	ND	17.37±1.83^{d,A} (58%)	6.65±0.25^{e,C} (59%)	2.33±0.52^{e,D} (74%)	2.65±0.38^{b,E} (87%)	ND	0.94±0.11^{e,F} (28%)
	6	60	7.47±0.31^{b,A} (127%)	12.25±0.57^{de,G} (41%)	5.21±0.42^{cd,DE} (46%)	3.38±0.31^{d,B} (108%)	2.42±0.03^{e,D} (79%)	ND	1.49±0.05^{b,D} (44%)
		70	ND	11.55±0.34^{ef,E} (39%)	4.87±0.88^{de,CD} (43%)	2.37±0.01^{e,D} (75%)	2.59±0.00^{e,E} (85%)	ND	1.21±0.13^{c,E} (25%)
		80	ND	8.10±0.67^{g,C} (27%)	4.81±0.29^{de,DE} (42%)	2.18±0.06^{e,DE} (69%)	2.32±0.23^{e,E} (76%)	ND	1.05±0.12^{d,E} (31%)
	7	60	6.57±0.78^{ab,B} (112%)	8.95±0.70^{ab,H} (30%)	ND	ND	2.79±0.02^{c,D} (91%)	ND	2.28±0.09^{d,B} (68%)
		70	6.72±0.12^{a,C} (115%)	8.15±0.31^{a,F} (27%)	ND	ND	2.91±0.35^{a,E} (95%)	ND	2.00±0.10^{e,C} (59%)
		80	5.74±0.43^{c,B} (98%)	8.05±0.48^{c,C} (27%)	ND	ND	2.64±0.20^{b,E} (86%)	ND	2.02±0.07^{e,C} (60%)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวเลขในวงเล็บ แสดง เปอร์เซ็นต์คงเหลือ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตั้งต้น

4.1.2 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity, DPPH)

1) DPPH

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ (ตารางที่ 4.4) พบว่าสารสกัดทั้ง 3 มีค่า DPPH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสารสกัดสมุยด้วยเอธานอลมีค่า DPPH สูงที่สุด (133.6 มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง) รองลงมาได้แก่ อะซิโตน และน้ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4: ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ

สารสกัดสมุย	ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH) (มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง)
สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล	133.6 ± 1.8^{a}
สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน	71.41 ± 0.67^{b}
สารสกัดสมุยด้วยน้ำ	59.31 ± 0.82^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ จัดเป็นการประเมินความสามารถในการต้านออกซิเดชันเบื้องต้นของสารสกัดจากพืช โดย อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ จะรับอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom) จากสารสำคัญในพืช หรือ สารพฤกษเคมีที่เรียกกันทั่วไปว่า “สารต้านออกซิเดชัน” ทำให้สีของ DPPH เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสารที่ไม่มีสี การที่สารสกัดพืชด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกันมีค่า DPPH ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณสารสำคัญที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมซึ่งจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการสกัด หรือความสามารถในการละลายของสาระสำคัญในตัวทำละลายนั้นๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 4.1.1 ทั้งนี้ Ruenroeng- kiln และคณะ (2008) ระบุว่าสารสำคัญที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้วจะมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในพืช รวมทั้งความสามารถในการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนของสารสำคัญนั้นๆ

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสารสกัดสมุยด้วยเอธานอลมีค่า DPPH สูงที่สุด รองมาด้วยสารสกัดด้วยฮะซิโตนและสารสกัดด้วยน้ำ ($p \leq 0.05$) หรือคิดเป็น 1.87 และ 2.25 เท่าตามลำดับ ซึ่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

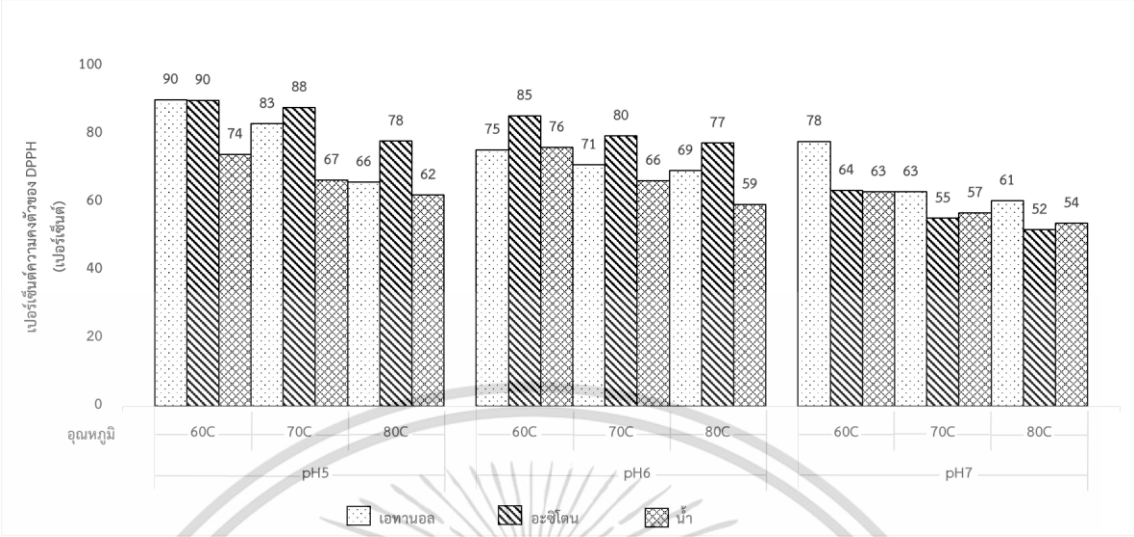
การทดลองนี้คล้ายคลึงกับ รายงานของ Tangkanakul และคณะ (2005) ในการศึกษาเปรียบเทียบสารสกัดผักพื้นบ้านไทยที่พบว่าสารสกัดสมุยด้วยเอธานอลมีความสามารถในการทำลายอนุมูล DPPH สูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำถึง 4 เท่า อย่างไรก็ตามความแตกต่างของผลการทดลองมีปัจจัยหลากประการ ทั้งความแปรปรวนของพืช สภาพการปลูกตลอดจนการเตรียมตัวอย่าง วิธีการและสารมาตรฐานในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ Exarchou และคณะ (2002) ได้รายงานว่าการสกัดเครื่องเทศ ได้แก่ ออริกาโน่ และซัมเมอร์ซาวารี่ด้วยเอธานอลมีค่า DPPH สูงกกว่าการสกัดด้วยอะซิโตน แต่สารสกัดเสจให้ผลในทางตรงกันข้าม ต่อมามีรายงานของ Edger (2014) ที่ศึกษาในสารสกัดใบบัวบก (*Centella asiatica* (L.)) ว่า สารสกัดด้วยเอธานอลมีค่า DPPH สูงกว่าสารสกัดน้ำถึงประมาณ 4 เท่า และสารสกัดเมธานอลเล็กน้อย

อย่างไรก็ตามผลการศึกษาปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดที่พบว่าสารสกัดสมุยด้วยเอธานอลและอะซิโตนมีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.1) แต่สารสกัดด้วยเอธานอลมีค่า DPPH สูงกว่าอะซิโตนเกือบ 2 เท่า ทั้งนี้อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ สามารถรับอะตอมไฮโครเจนจากสาระสำคัญหรือสารต้านออกซิเดชันอื่นๆ ที่ไม่ใช่กลุ่มฟีนอลิคได้เช่นกัน สารกลุ่มดังกล่าว ได้แก่ ไกลโคไซด์ (glycosides) อัลคาลอยด์ (alkaloids) ลิกนิน (lignins) และวิตามิน (Sakunpak และคณะ, 2013) การสกัดด้วยเอธานอลอาจได้สารประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่กลุ่มฟีนอลิคออกมามากกว่า ส่งผลให้มีค่า DPPH สูงกว่าในสารสกัดด้วยอะซิโตน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการทดลองของ Exarchou และคณะ (2002) ที่รายงานว่าสารสกัดออริกาโน่ และซัมเมอร์ซาวารี่ด้วยเอธานอล แม้ว่าจะมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดต่ำกว่าสารสกัดด้วยอะซิโตน 1.8 และ 3.4 เท่าแต่กลับมีค่า DPPH สูงกว่า 1.8 และ 2.9 เท่าตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลของตัวทำละลาย (ตารางที่ 4.4) ยังพบว่า สารสกัดด้วยน้ำมีค่า DPPH ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าสารสำคัญที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH นี้สามารถละลายในเอธานอลหรือสารอินทรีย์ได้ดีกว่าน้ำอีกทั้งปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการทำลายอนุมูล DPPH ที่ดี โดยเฉพาะการสกัดพืชด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลาง

2) ความคงตัวของ DPPH (เปอร์เซ็นต์)

ความคงตัวของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัดสมุยที่พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ เป็นการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของค่า DPPH ในรูปเปอร์เซ็นต์ความคงตัว โดยแสดงผลในภาพที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่า สารสกัดด้วยอะซิโตนมีแนวโน้มความคงตัวดีกว่าสารสกัดด้วยเอธานอลและน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีความคงตัว DPPH อยู่ระหว่าง 52-90, 61-90, 54-76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2: ผลของสภาวะความร้อน และพีเอช ต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว DPPH ของสารสกัดสมุย

ความคงตัวของ DPPH ในสารสกัดสมุยที่พีเอช 5, 6 และ 7 อยู่ในช่วง 62–90, 59–85 และ 52-78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ในภาคผนวกตารางที่ ค3) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพีเอช ส่งผลให้ค่า DPPH มีแนวโน้มลดลงและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะการให้ความร้อนก็มีผลเช่นกัน โดยการเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนจาก 60 (30 นาที), 70 (15 นาที) และ 80 (3 นาที) องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ความคงตัว DPPH อยู่ในช่วง 61-90, 52-90 และ 54-76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการแปรรูปก็มีผลต่อค่า DPPH เช่นกัน แต่จากตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์ทางสถิติกลับไม่พบผลร่วมของพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่อความคงตัวของค่า DPPH ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chen (2008) ที่ทดลองความคงตัวของสาร dioscorin จากมันแกวในพีเอช 4-10 พบว่ามีความคงตัวของ DPPH ในพีเอช 5 สูงที่สุด และเมื่อเพิ่มพีเอชหรือลดลง ค่า DPPH จะค่อยๆ ลดลง ในทางตรงกันข้ามการศึกษาความคงตัวของสารฟีนอลิคของสารสกัดใบมันเทศที่พีเอช 3-8 โดย Sun และคณะ (2017) กลับพบว่ามีค่าสูงสุดที่พีเอช 7 และมีค่าลดลงเมื่อปรับลดพีเอชลง ซึ่งจากผลการทดลองในภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่อพีเอชเพิ่มจาก 5 เป็น 7 ทำให้ค่า DPPH จะค่อยๆ ลดลง แสดงว่าพีเอชมีผลต่อชนิดและปริมาณสารสำคัญในสารสกัด

ภายหลังจากให้ความร้อนในสภาวะต่างๆ พบว่าในการใช้อุณหภูมิต่ำกว่ามีความคงตัว DPPH ในสารสกัดสมุยสูงกว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารสำคัญในพืชมีความไวต่ออุณหภูมิหรือไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานจึงเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ตลอดจนการสลายตัวของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารสำคัญ จะมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ที่ทดสอบได้ โดยSulaiman (2011) ระบุว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้การสลายตัวของสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของพีเอชและการให้ความร้อนในสารสกัดสมุย พบว่าการเพิ่มสภาวะในการให้ความร้อนมีผลกระทบต่อค่า DPPH สารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการเปลี่ยนแปลงพีเอช ดังนั้นพีเอช 5 ในสภาวะการให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีนั้น สารสกัดยังคงมีความคงตัวมากกว่าสารสกัดตัวทำละลายอื่นๆ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับผลของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าสารฟีนอลิคในสารสกัดสมุยเป็นสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการทำลายอนุมูล DPPH การลดลงของปริมาณฟีนอลิคจึงส่งผลให้ค่า DPPH ลดลงด้วย นอกจากนี้ความคงตัวของสารสำคัญในสารสกัดจากตัวทำละลายต่างๆ ก็มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ สารสกัดด้วยเอธานอลและสารสกัดด้วยอะซิโตนมีความคงตัวต่อค่า DPPH ดีกว่าสารสกัดน้ำ

4.1.3 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ($ABTS^+$ radical scavenging activity, ABTS)

1) $ABTS^+$

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด (ตารางที่ 4.5) พบว่าสารสกัดทั้ง 3 มีค่า $ABTS^+$ ที่แตกต่างกันในทุกๆ ตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสารสกัดสมุยด้วยเอธานอล มีค่า $ABTS^+$ เท่ากับ 28.5 มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง รองลงมาได้แก่ สารสกัดด้วยอะซิโตน และน้ำ ที่มีค่าเท่ากับ 26.74 และ 14.82 มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5: ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ

สารสกัดสมุย	ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ($ABTS^+$) (มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง)
สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล	28.55 ± 0.19^a
สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน	26.74 ± 0.51^b
สารสกัดสมุยด้วยน้ำ	24.58 ± 0.40^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ เป็นการประเมินความสามารถในการต้านออกซิเดชันเบื้องต้นของสารสกัดจากพืชเช่นเดียวกับการทดสอบในอนุมูล DPPH เนื่องจาก $ABTS^+$ เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร โดยอนุมูล $ABTS^+$ ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลก่อน แล้วจึงจะให้อิเล็กตรอนในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกซี จากตารางที่ 4.5 พบว่าสารสกัดจากตัวทำละลายที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารสำคัญในสารสกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความมีขั้วของตัวทำละลายที่ส่งผลต่อความสามารถในการสกัด ดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ เช่นเดียวกับรายงานของ Thanh และคณะ (2017) ในการสกัดใบ *Salacia chinensis L.* ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด (เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ อะซิโตน 50 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ) พบว่า การใช้ตัวทำละลายเอธานอลมีค่า $ABTS^+$ สูงกว่าน้ำและอะซิโตน

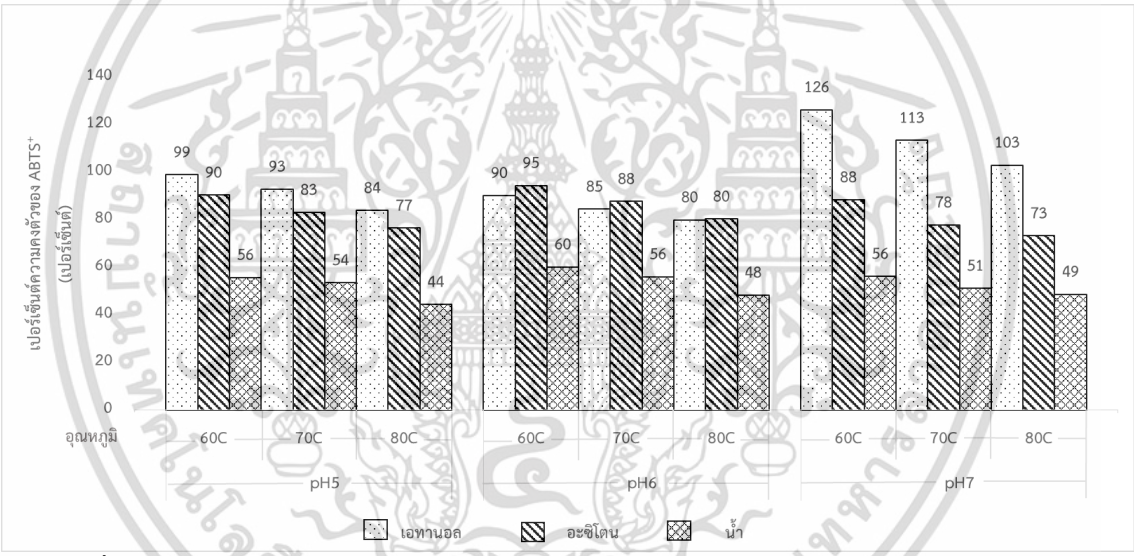
ผลการทดลองนี้คล้ายคลึงกับค่า DPPH ที่พบว่าสารสกัดด้วยเอธานอลมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ แต่ค่า $ABTS^+$ สารสกัดเอธานอลมีค่าสูงกว่าสารสกัดด้วยอะซิโตนเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่า DPPH มีค่าสูงกว่าถึง 87 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าสารสำคัญในการยับยั้งอนุมูลทั้ง 2 อาจมีความแตกต่างกัน เนื่องจาก DPPH และ $ABTS^+$ เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร โดย DPPH เป็นอนุมูลไนโตรเจนสีม่วงเข้มสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับสารสกัดพืชและเปลี่ยนเป็นรูปออกซิไดซ์ (DPPH) ในทางตรงกันข้าม $ABTS^+$ เป็นอนุมูลที่มีประจุเป็นบวก ซึ่งต้องรับอิเล็คตรอนสารสกัดพืช ซึ่งอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ละลายได้ทั้งในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ อย่างไรก็ตามวิธี $ABTS^+$ ช่วยประเมินกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสารทั้งน้ำและสารประกอบลิโพฟิลิก (lipophilic commpounds) ที่ไม่มีขั้วในกระบวนการของการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอน (Aliakbarlu และคณะ, 2018) ทำให้ค่าที่วัดได้มีความแตกต่างกันตามวิธีการวิเคราะห์

2) ความคงตัวของ ABTS (เปอร์เซ็นต์)

เปอร์เซ็นต์ความคงตัวของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ในสารสกัดสมุยที่พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่าแนวโน้มการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความคงตัว ABTS ในสารสกัดสมุยนั้นคล้ายคลึงกับผลการทดลองของ DPPH โดยการเพิ่มขึ้นของพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนมีผลต่อต่อการลดลงของปริมาณ ABTS อย่างไรก็ตามที่พีเอช 7 สารสกัดด้วยเอธานอลกลับมีปริมาณ $ABTS^+$ สูงกว่าค่าเริ่มต้น ทำให้คำนวณค่าความคงตัวของ ABTS ได้มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น ทำให้สภาวะในการสกัดมีไฮโดรเจนอะตอมเพิ่มขึ้น โดยสารฟีนอลิคหรือสารอนุมูลกลุ่มอื่นๆ เป็นสารที่มีขั้วละลายได้ดีในตัวทำละลายจำพวกเอธานอลได้ดี ส่งผลให้ความคงตัวของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ในภาคผนวกตารางที่ ค3) พบว่าความคงตัวของ ABTS ในสารสกัดสมุยด้วยเอธานอลและอะซิโตนที่พีเอช 5-6 ในแต่ละสภาวะการให้ความร้อนมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม สารสกัดด้วยน้ำมีความคงตัวของ ABTS ต่ำกว่าสารสกัดด้วยเอธานอลและอะซิโตนในทุกๆ สภาวะที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้สารสกัดสมุยที่สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ประกอบด้วยสารฟีนอลิคที่สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระที่สภาวะพีเอช 7 ได้สูงกว่าสภาวะอื่นๆ (Juntachote และคณะ 2006) นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ค่าความคงตัวของ ABTS ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากความร้อนจะการยับยั้งกระบวนการให้ไฮโดรเจน หรืออิเล็กตรอน และอาจทำให้สารสำคัญเหล่านั้นสลายตัวด้วยความร้อน (Sulaiman, 2011) จึงทำให้ปริมาณ ABTS ลดลงจากการเสื่อมสลาย เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงเกินไป



ภาพที่ 4.3: ผลของสภาวะความร้อน และพีเอช ต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว $ABTS^+$ ของสารสกัดสมุย

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของพีเอชในสารสกัดสมุยต่อความคงตัว ABTS กับผลการวิเคราะห์ค่าอื่นๆ ข้างต้นพบว่าให้ผลที่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นสารสกัดด้วยเอธานอลที่พีเอช 7 ที่มีเปอร์เซ็นต์ความคงตัว ABTS มากกว่า 100 อย่างไรก็ตามแนวโน้มของผลของสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ก็พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้ความแตกต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารสำคัญในปฏิกิริยาการทำลายอนุมูลอิสระทั้ง 2 อาจเป็นสารชนิดเดียวกันหรืออาจเป็นสารต่างชนิดกัน ทำให้การปรับเปลี่ยนพีเอชมีผลที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม สภาวะการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีผลต่อความคงตัวของสารสำคัญในทั้ง 2 วิธี นอกจากนี้ ความคงตัวของสาระสำคัญในสารสกัดจากตัวทำละลายต่างๆ ก็มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสารสกัดด้วยเอธานอลและอะซิโตนมีความคงตัวในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง DPPH$^{\bullet}$ และ ABTS$^{\bullet+}$ ได้ดีกว่าสารสกัดน้ำ

4.1.4 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing/ antioxidant power, FRAP)

1) FRAP

ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.6 จากผลการวิเคราะห์พบว่าสารสกัดทั้ง 3 มีค่า FRAP ที่แตกต่างกันในทุกๆ ตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้สารสกัดสมุยด้วยน้ำมีค่า FRAP เท่ากับ 299.5 มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง รองลงมาได้แก่ อะซิโตนและเอธานอล โดยมีค่าเท่ากับ 274.4 และ 256.9 มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6: ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ

สารสกัดสมุย	ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) (มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง)
สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล	256.9±0.4^{c}
สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน	274.4±1.6^{b}
สารสกัดสมุยด้วยน้ำ	299.5±0.6^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

การทดลองความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดจากพืช อาศัยปฏิกิริยารีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+}-TPTZ จะถูกรีดิวซ์โดยสารสกัดจากพืชที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{2+}-TPTZ จากตารางที่ 4.6 พบว่าสารสกัดจากตัวทำละลายที่แตกต่างกันมีผลต่อ FRAP ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารสำคัญในสารสกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความมีขั้วของตัวทำละลายที่ส่งผลต่อความสามารถในการสกัด ดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ ซึ่งสารสำคัญที่มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกมักเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูง เพราะสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วสูงอย่างน้ำ ทำให้สารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายน้ำ มีค่า FRAP สูง สอดคล้องกับงานวิจัยของปริยานุช (2551) ที่ศึกษากิจกรรมการต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

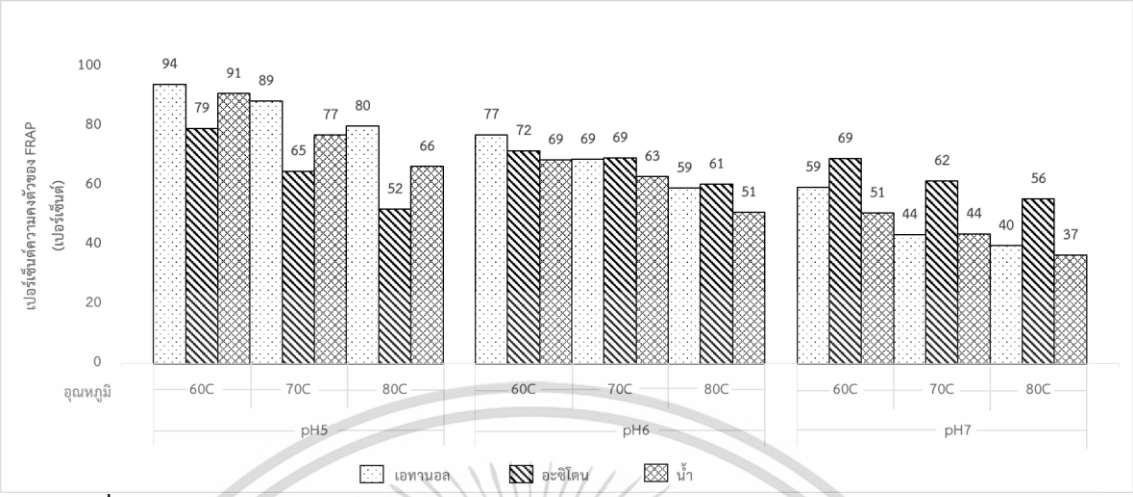
อนุมูลอิสระในต้นเร่วหอม (*Amomum xanthioides*) พบว่า การใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดทำให้การรีดิวซ์เฟอร์ริก โดยวิธี Reducing power มีค่าสูงกว่าการใช้เฮกเซน และมีรายงานการวิจัยของสุริยาและจิตรา (2560) ที่ศึกษาความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก FRAP ในแก่นตะวันที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด พบว่าสารสกัดแก่นตะวันด้วยน้ำมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงที่สุด เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสามารถแตกตัวได้ดี ทำให้สกัดได้สารที่มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกมากกว่าตัวทำละลายอินทรีย์ จากผลการทดสอบตัวทำละลายด้วยน้ำมี FRAP สูงกว่าตัวทำละลายอื่นๆ ในสารสกัดสมุย

ผลการทดลองนี้ตรงกันข้ามกับค่า DPPH และ $ABTS^{+}$ ที่พบว่าสารสกัดด้วยเอธานอลมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ แต่การวิเคราะห์ค่า FRAP กลับพบว่าสารสกัดน้ำมีค่าสูงกว่าสารสกัดด้วยอะซิโตน และเอทานอลถึง 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่า DPPH มีค่าสูงกว่าถึง 87 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าสารสำคัญในการยับยั้งอนุมูลทั้ง 3 อาจมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารละลาย FRAP ประกอบด้วยเฟอริค (Fe^{3+}) และ 2,4,6-tri (2-pyridyl)-1,3,5-triazine (TPTZ) หรือรีเอเจนท์ (FRAP reagent) ดังนั้นในสภาวะที่เป็นกรดเฟอร์ริค โดยจะรับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานหรือในสารสกัดจากพืชแล้วเปลี่ยนเป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) จากนั้นเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ TPTZ ทั้งนี้ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องกลไกปฏิกิริยาและการตอยสนองของความสามารถในการให้หรือรับอิเล็คตรอนและ ให้หรือรับโปรตอนของสารสำคัญที่แตกต่างกัน ทำให้มีผลการทดลองของสารสกัดสมุยแต่ละวิธีที่แตกต่างกัน

2) ความคงตัวของ FRAP (เปอร์เซ็นต์)

เปอร์เซ็นต์ความคงตัวของ FRAP ในสารสกัดสมุยที่พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ แสดงผลในภาพที่ 4.4 จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดด้วยเอธานอลมีแนวโน้มความคงตัว FRAP ดีกว่าสารสกัดด้วยอะซิโตนและน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีความคงตัวอยู่ระหว่าง 40-94, 52-91, 37-91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4: ผลของสภาวะความร้อน และพีเอช ต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว FRAP ของสารสกัดสมุย

ความคงตัวของ FRAP ในสารสกัดสมุยที่พีเอช 5, 6 และ 7 อยู่ในช่วง 52–94, 51–77 และ 37-69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ในภาคผนวกตารางที่ ค3) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพีเอช ส่งผลให้ค่า FRAP มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่าสภาวะการให้ความร้อนก็มีผลเช่นกัน โดยการเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนจาก 60 (30 นาที), 70 (15 นาที) และ 80 (3 นาที) องศาเซลเซียส สารสกัดมีความคงตัว FRAP อยู่ในช่วง 40-94, 56-79 และ 37-91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการแปรรูปก็มีผลต่อค่า FRAP เช่นกัน จากผลการทดลองนี้ยังพบว่าพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนนั้นไม่มีผลร่วมกันต่อการลดลงของความคงตัวของค่า FRAP ($p>0.05$) ดังนั้น สภาวะพีเอช และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ส่งผลต่อความคงตัวของความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของพีเอชและการให้ความร้อนในสารสกัดสมุย พบว่าการเพิ่มสภาวะในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า FRAP มากกว่าการเปลี่ยนแปลงพีเอช อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับผลของปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดและ DPPH พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าสารฟีนอลิคและ DPPH ในสารสกัดสมุยเป็นสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกมีปริมาณฟีนอลิคลดลง จึงส่งผลให้ DPPH และ FRAP ลดลงด้วย นอกจากนี้ความคงตัวของสารสำคัญในสารสกัดจากตัวทำละลายต่างๆ ก็มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้สารสกัดด้วยเอธานอลและอะซิโตนมีความคงตัวต่อค่า FRAP ดีกว่าสารสกัดน้ำและสารสกัดสมุยที่พีเอช 5 ในสภาวะการให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีนั้น มีความคงตัวมากกว่าสภาวะอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Anti-TBARs)

1) Anti-TBARs

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน Anti-TBARs ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ (ตารางที่ 4.7) ผลการทดลองพบว่าสารสกัดสมุยด้วยเอธานอล มีค่า Anti-TBARs เท่ากับ 1,128 มิลลิกรัม (สมมูลสารบีเอชที) ต่อกรัมสารสกัดแห้งและสูงกว่าสารสกัดอีก 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า Anti-TBARs ของสารสกัดสมุยด้วยน้ำและอะซิโตนมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1,008 และ 1,002 มิลลิกรัม (สมมูลสารบีเอชที) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7: Anti-TBARs ของสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ

สารสกัดสมุย	Anti-TBARs (มิลลิกรัม (สมมูลสารบีเอชที) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง)
สารสกัดสมุยด้วยเอธานอล	1128±1[a]
สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน	1002±1[b]
สารสกัดสมุยด้วยน้ำ	1008±0[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

การทดสอบสมบัติการต้านการออกซิเดชัน anti-TBARs เป็นการประเมินสมบัติของสารสกัดจากพืชในการต้านการออกซิเดชันของไขมัน โดยสารต้านออกซิเดชันในพืชจะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลเปอร์ออกซิลหรืออนุมูลอัลคอกซิล ซึ่งจะลดการเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชันของไขมันในขั้นตอนที่ 2 และยับยั้งการเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์อีกด้วย (Moon และ Shibamoto, 2009) จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดสมุยด้วยเอธานอลมีค่า Anti-TBARs สูงกว่าอะซิโตนและน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและความสามารถของสารสำคัญในการให้ไฮโดรเจนอะตอมเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ เนื่องจากสารสำคัญของพืชที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วแตกต่างกัน ทำให้สารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายเอธานอลและอะซิโตนมีค่า Anti-TBARs สูงกว่าตัวทำละลายอื่นๆ และตัวทำละลายใดที่ให้ค่า Anti-TBARs สูง แสดงถึงความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี ดังนั้นจากผลการทดสอบนี้จะเห็นได้ว่าสารสกัดสมุยด้วยเอธานอล มี

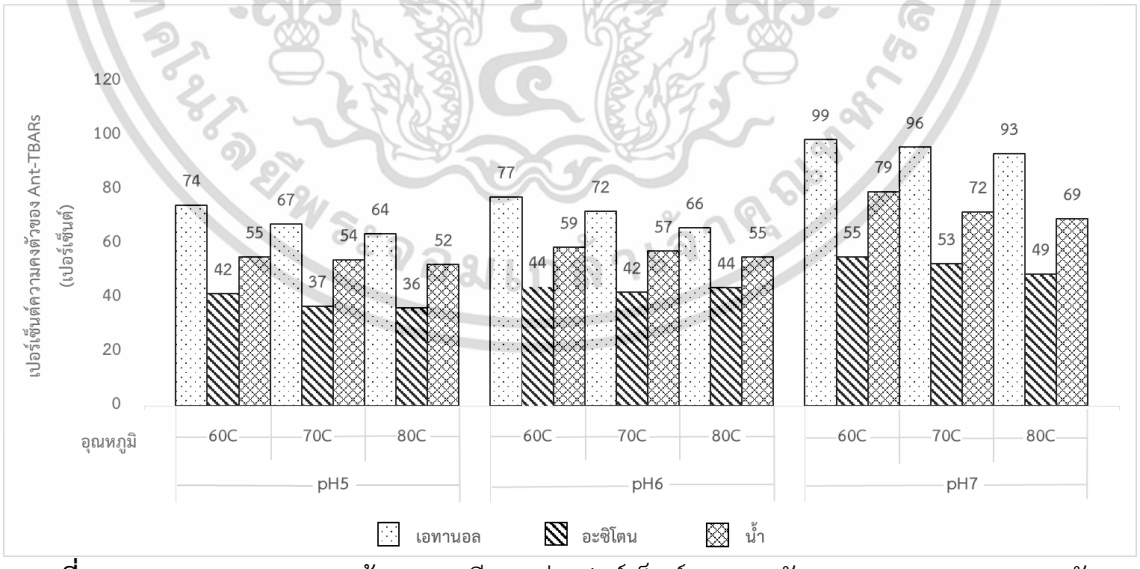
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anti-TBARs สูงกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ ทั้งนี้รายงานวิจัยที่ใช้สนับสนุนความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในสารสกัดพืชอื่นๆ เช่น สารสกัดติ้วขาว สารสกัดก่อข้าว และสารสกัดทะโล้ด้วยเอธานอล (80 เปอร์เซ็นต์) มีค่า Anti-TBARs เท่ากับ 19.3, 9.95 และ 5.37 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (วาณี, 2554)

ผลการทดลองนี้คล้ายคลึงกับค่า DPPH และ $ABTS^{+}$ ที่พบว่า สารสกัดด้วยเอธานอลมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ ซึ่งสารสำคัญในการยับยั้งอนุมูลทั้ง 2 อาจมีความแตกต่างกัน เนื่องจากวิธีการ Anti-TBARs เป็นการวิเคราะห์ผลของการชะลอการเกิดเมตาบอไลท์ในขั้นตอนการเกิดออกซิเดชันของไขมัน จึงเกี่ยวข้องกับการทำลายอนุมูลอิสระในขั้นตอนที่ 2 ของการเกิดอนุมูลเปอร์ออกซี ในขณะที่วิธีการอื่นเป็นการทำลายอนุมูลอิสระ หรือการให้อิเลคตอน ดังนั้นกลไกการยับยั้งที่แตกต่างกันนี้ จึงส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆ มีความแตกต่างกัน

2) ความคงตัว Anti-TBARs

เปอร์เซ็นต์ความคงตัวของความสามารถในการต้านออกซิเดชัน Anti-TBARs ในสารสกัดสมุยที่พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ แสดงผลในภาพที่ 4.5 และภาคผนวกตารางที่ ค3 จากผลการทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสารสกัดสมุยด้วยเอธานอล อะซิโตน และน้ำมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยการเพิ่มพีเอชและอุณหภูมิในการให้ความร้อนทำให้ความคงตัวของ Anti-TBARs เพิ่มขึ้น แต่ในสารสกัดเอธานอลมีค่า Anti-TBARs สูงกว่าตัวทำละลายอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.5: ผลของสภาวะความร้อน และพีเอช ต่อเปอร์เซ็นต์ความคงตัว Anti-TBARs ของสารสกัดสมุย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคงตัวของ Anti-TBARs ในสารสกัดสมุยที่พีเอช 5, 6 และ อยู่ในช่วง 36–74, 42–77 และ 49–99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ในภาคผนวกตารางที่ ค1) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพีเอชนั้นมีผลให้ค่า ant-TBARs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนจาก 60 (30 นาที), 70 (15 นาที) และ 80 (3 นาที) องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์ความคงตัว Anti-TBARs อยู่ในช่วง 74-93, 42-49 และ 55-69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการแปรรูปก็มีผลต่อค่าการลดลงของ Anti-TBARs แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากผลการทดลองนี้ (ในภาคผนวกตารางที่ ค3) ยังพบอีกว่าพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนไม่มีผลร่วมกันต่อความคงตัวของ Anti-TBARs ($p>0.05$) ทั้งนี้ Anti-TBARs ที่พีเอช 7 มีความคงตัวสูงกว่าสภาวะอื่นๆ อาจเกิดจากกลไกที่แตกต่างกันในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก

จากผลการทดลองการให้ความร้อนในการจำลองสภาวะการผลิตไส้กรอกหมู พบว่าชนิดตัวทำละลาย พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนมีผลต่อความคงตัวของสารสกัดสมุยทั้งชนิดและปริมาณฟีนอลิค ส่งผลให้ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านออกซิเดชันมีความแตกต่างกันในแต่ละการวิเคราะห์ โดยสรุปการเพิ่มพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนทำให้ความสามารถดังกล่าวลดลง และจากผลการทดลองนี้ สารสกัดสมุยด้วยอะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์ในพีเอช 5 และสภาวะการให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที นั้นยังคงมีความคงตัวมากกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายอื่นๆ และยังมีกรดคลอโรจินิคและกรดวานิลิกคงเหลือมากที่สุด จึงนำสภาวะดังกล่าวไปใช้ในการผลิตไส้กรอกหมูการทดลองขั้นต่อไป

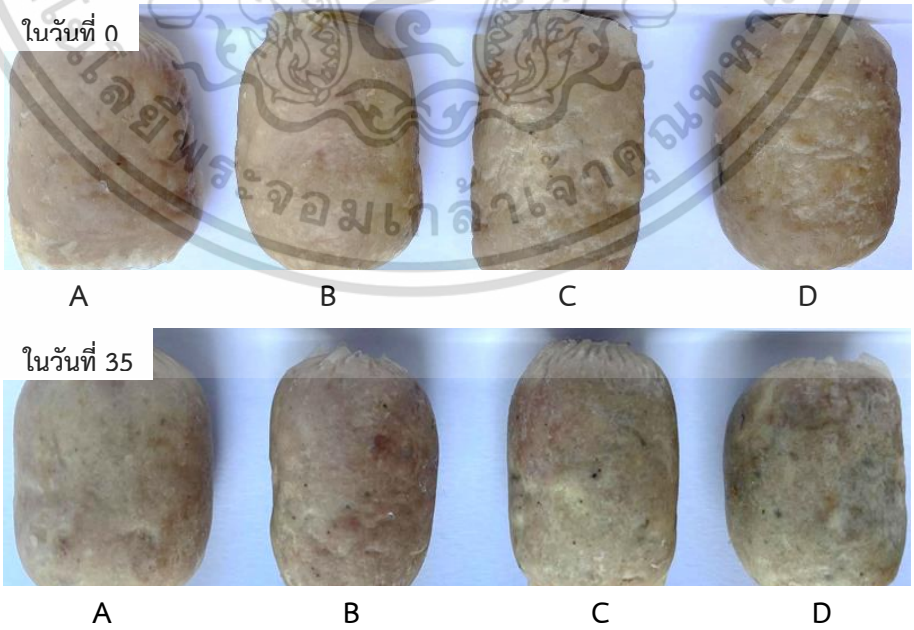
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 35 วัน

นำผงสารสกัดสมุยด้วยอะซิโตนที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 4.1 ใส่ในตัวอย่างไส้กรอกหมูที่ความเข้มข้น 0 (ตัวอย่างควบคุม), 100 และ 500 มิลลิกรัม (สารสกัดสมุยผง) ต่อกิโลกรัม (พีพีเอ็ม) โดยการปรับพีเอชและให้ความร้อนโดยการแช่ในน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน โดยสุ่มตัวอย่างทุกๆ 7 วัน มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับไส้กรอกหมูที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี

ไส้กรอกหมูที่ไม่ได้เติมสารสกัดสมุย (ตัวอย่างควบคุม) ใช้เนื้อหมูบดละเอียดผสมกับเกลือและเครื่องเทศ บรรจุลงไส้ มัดด้วยเชือกเป็นปล้องสั้นๆ เมื่อผ่านการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตได้เป็นไส้กรอกหมูสดที่มีลักษณะ เนื้อนุ่มแน่น ไม่ร่วน และมีสีน้ำตาลอ่อน (ภาพที่ 4.6) โดยไส้กรอกมีค่าสีในวันที่ 0 หรือ วันเริ่มต้นดังนี้ ความสว่าง (L^*), a^* และ b^* เท่ากับ 61.55, 3.20 และ 17.44 ตามลำดับ ทั้งนี้ตัวอย่างควบคุมมีค่าสีใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยและบีเอชทีและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.7- 4.9) อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาลักษณะปรากฏของไส้กรอกที่เติมสารสกัดสมุย พบว่าเนื้อไส้กรอกจะมีสีคล้ำกว่าเล็กน้อยและออกสีเขียวเล็กน้อยจากสารสกัดสมุย นอกจากนี้ยังมีกลิ่นอ่อนๆ ของสมุยอีกด้วย ทั้งนี้ ผงสมุยที่มีสีเขียวน้ำตาลอมเหลือง เมื่อเติมลงในไส้กรอกจะละลายและกระจายตัวในไส้กรอก ส่วนไส้กรอกที่เติมบีเอชทีจะมีสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

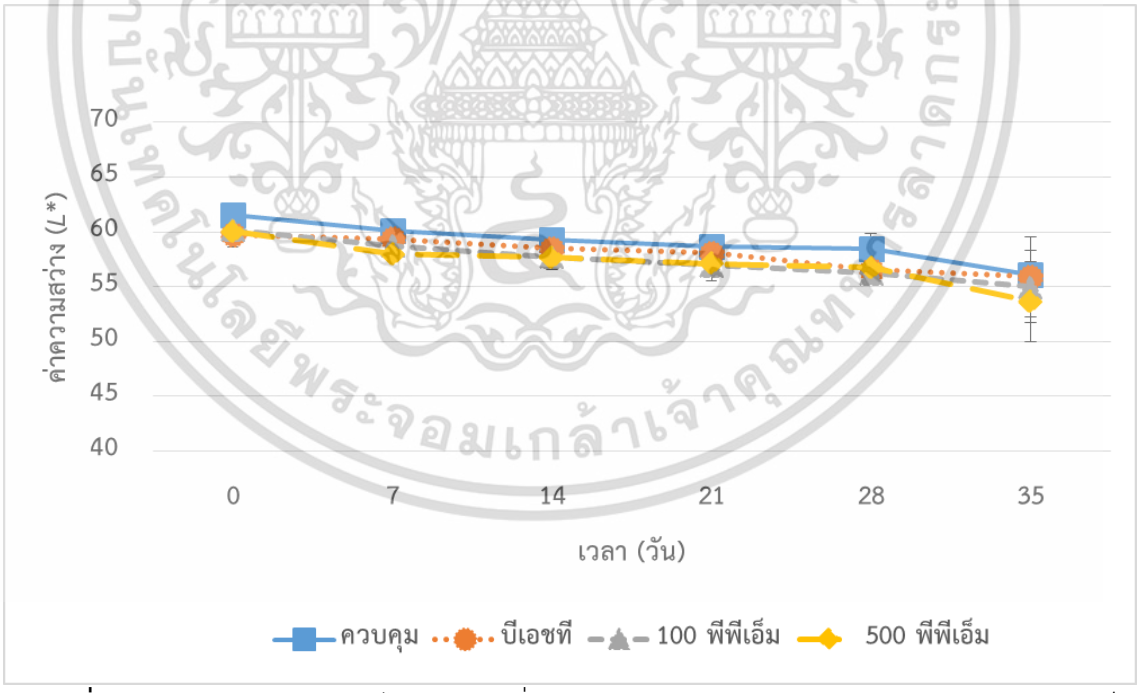


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.6: ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไส้กรอกหมูระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 35 วัน **หมายเหตุ** ไส้กรอกควบคุม (A), บีเอชที 100 พีพีเอ็ม (B), สารสกัดสมุย 100 พีพีเอ็ม (C) และ 500 พีพีเอ็ม (D)

เมื่อเก็บรักษาไส้กรอกหมูที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนาน 35 วัน พบการเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L*, a*, b*) ดังนี้

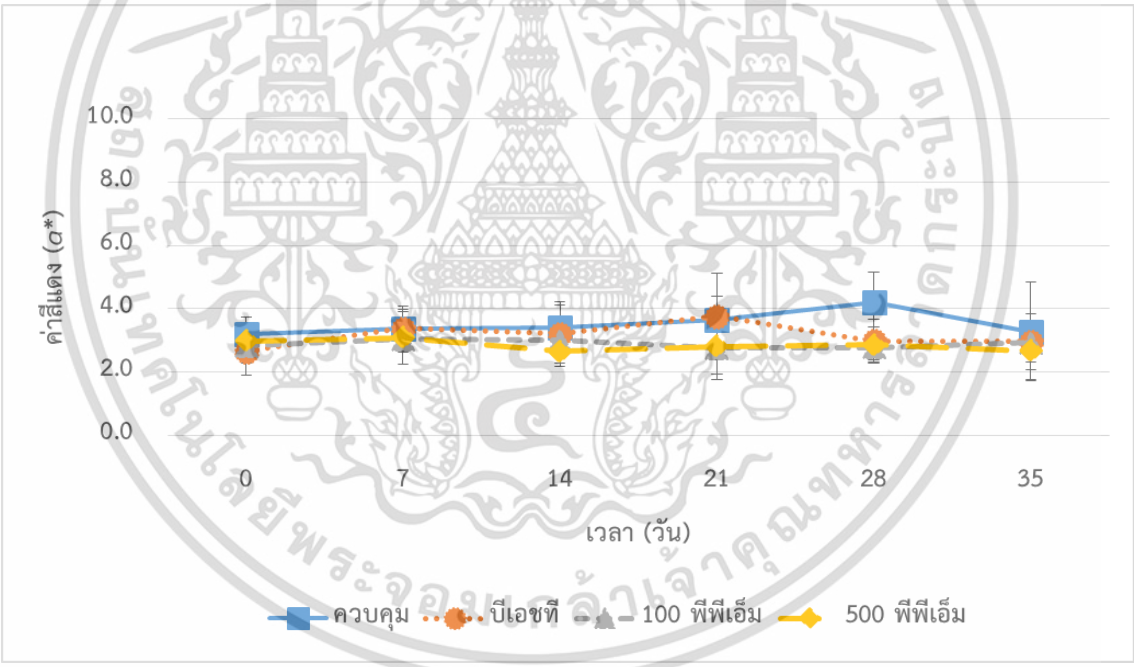
ความสว่าง (*L**) เป็นค่าที่แสดงถึงดำจนถึงขาว มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 พบว่าความสว่างของไส้กรอกหมูทุกๆ ตัวอย่างมีแนวโน้มค่าค่อยๆ ลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4.7) โดยมีความสว่างอยู่ระหว่าง 53.65-56.10 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละวันของการเก็บรักษา พบว่าไม่มีความแตกต่างกันสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาที่พบว่าไส้กรอกจะมีสีคล้ำลงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามไส้กรอกที่เติมสารสกัดสมุยมีสีคล้ำลงมากกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมสารสกัดและตัวอย่างที่เติมบีเอชที ทั้งนี้วาณี (2554) รายงานการเติมสารสกัดพืชและการเติมผงพืชในแพตตี้หมูทำให้ค่าความสว่างลดลง และยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของผงและสารสกัดติ้วขาว ทำให้ค่าความสว่างในแพตตี้หมูลดลงอีกด้วย



ภาพที่ 4.7: ความสว่าง (*L**) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า *a** แสดงถึงแกนสีเขียว (-*a**) ถึงความเป็นสีแดง (+*a**) ทั้งนี้ค่า *a** ของตัวอย่างไส้กรอกหมูนี้อยู่ระหว่าง 2.64–3.21 (วันเริ่มต้น) ถึง 2.66–3.27 (วันสุดท้าย) ซึ่งไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.8) ค่าดังกล่าวเป็นค่า *a** ที่ต่ำมากและเข้าใกล้ศูนย์ แสดงให้เห็นว่าไมโอโกลบิน (myoglobin) ที่พบในเนื้อหมูนั้น ได้ถูกทำลายด้วยความร้อนจนไม่สามารถจับออกซิเจนที่ทำให้เกิดออกซีไมโอโกลบินที่เป็นรงควัตถุสีแดงดังที่พบในไส้กรอกดิบ การที่ไส้กรอกยังคงมีสีแดงบ้างเล็กน้อย อาจเนื่องจากตัวอย่างไส้กรอกหมูนี้เติมเกลือไนไทรต์ (nitrite) ซึ่งจะแตกตัวให้ไนทริกออกไซด์ (nitric oxide) แล้วรวมตัวกับไมโอโกลบินหรือเมตไมโอโกลบิน (metmyoglobin) เกิดเป็นไนทริกออกไซด์ไมโอโกลบิน (nitric oxide myoglobin) ที่มีสีแดงและเมื่อได้รับความร้อนในกระบวนการผลิตทำให้โปรตีนในไมโอโกลบินเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) เกิดเป็นสารประกอบไนโตรโซฮีโมโครม (nitrosyl hemochrome) ซึ่งเป็นสารที่เสถียรและมีสีชมพูแดง (Moure และคณะ, 2001; Shah และคณะ, 2014)



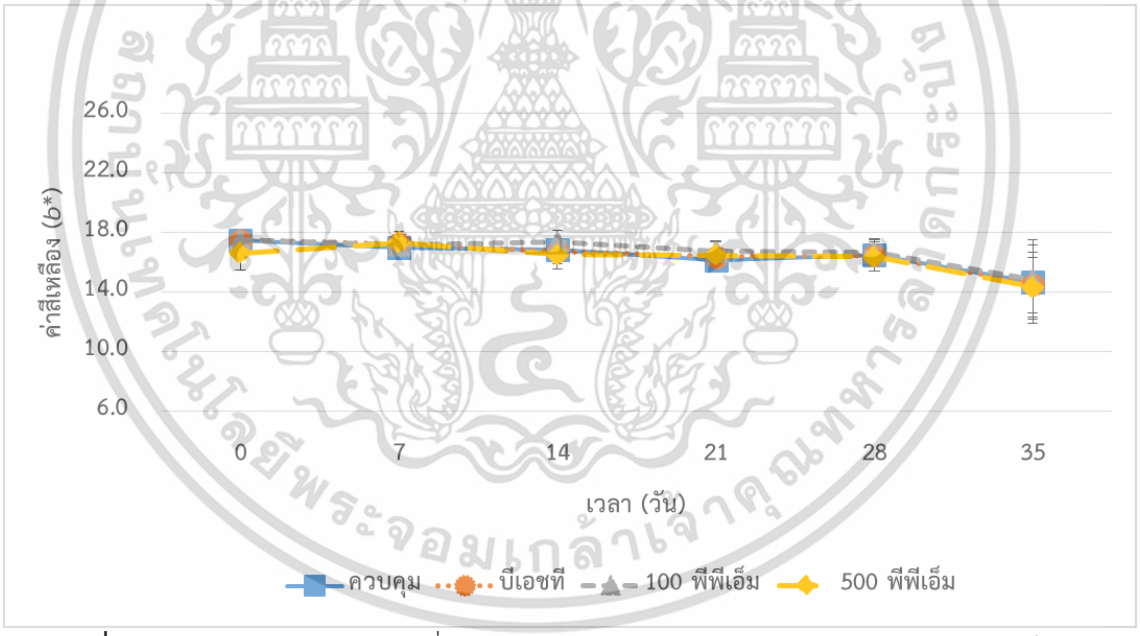
ภาพที่ 4.8: ค่า *a** ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยที่ความเข้มข้นต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่า *a** ต่ำกว่าไส้กรอกหมูควบคุม และไส้กรอกหมูที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) มีค่า *a** เท่ากับ 2.76–3.03, 3.21–4.21 และ 2.64–3.76 ตามลำดับในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นแสดงว่าการเติมสารสกัดสมุยในไส้กรอกหมูสามารถทำให้ค่า *a** คงที่ในระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าไส้กรอกหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมและไส้กรอกหมูที่เติมบีเอชที สอดคล้องกับวาณี (2554) ที่รายงานในแพตตี้หมูที่เติมผงพืชและสารสกัดที่มีค่า *a** ในระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างบีเอชที อย่างไรก็ตาม McCarthy และคณะ (2001) รายงานการเติมสารสกัดพืช 9 ชนิด (500 และ 1,000 พีพีเอ็ม) ในแพตตี้หมูว่ามีค่า *a** สูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 6 วัน ต่อมา Jo และคณะ (2003) ก็รายงานเช่นกันว่าค่า *a** ของแพตตี้หมูที่เติมสารสกัดใบชาเขียว (100 พีพีเอ็ม) มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเช่นเดียวกับที่รายงานในการเติมสารสกัดแก่นฝางลงในไส้กรอกเวียนนาของธนกร และวิรัลพัชร (2562)

ค่า *b** แสดงถึงแกนสีน้ำเงิน (-*b**) ถึงความเป็นสีเหลือง (+*b**) โดยพบว่าค่า *b** ของตัวอย่างไส้กรอกหมูมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4.9) ค่า *b** ลดลงจาก 16.62-17.44 ในวันเริ่มต้นเป็น 14.32–14.81 ในวันสุดท้าย แต่เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละวันของการเก็บรักษา พบว่าค่า *b** ของตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.9: ค่า *b** ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุม ในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของไส้กรอกหมูในแต่ละตัวอย่างเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น (ตารางที่ 4.8) โดย ΔE เป็นค่าที่คำนวณได้จากความแตกต่างของค่าความสว่าง *a** และ *b** ซึ่งหากค่า ΔE มีค่าสูง แสดงว่าตัวอย่างไส้กรอกมีสีที่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากขึ้น จากตารางดังกล่าวพบว่าค่า ΔE ของทุกๆ ตัวอย่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่ 0.83-1.90 ในช่วงวันที่ 7 ถึงวันที่ 28 และไม่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยเข้มข้น 100 และ 500 พีพีเอ็ม ในวันที่ 7 นั้นมีค่า ΔE เท่ากับ 2.02 และ 3.63 ตามลำดับ จากนั้นกลับมีค่า ΔE ลดลงและคงที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 35 หรือวันสิ้นสุดการเก็บรักษาพบว่า ตัวอย่างไส้กรอกหมูทุกๆ ตัวอย่างมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นจาก 0.86-1.73 เป็น 5.55–6.27 ทั้งนี้เกิดจากค่าความสว่างและค่า b^* ลดลงในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษา ส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยสายตาเปล่าที่พบว่าทุกๆ ตัวอย่างมีสีเข้มกว่าเดิม

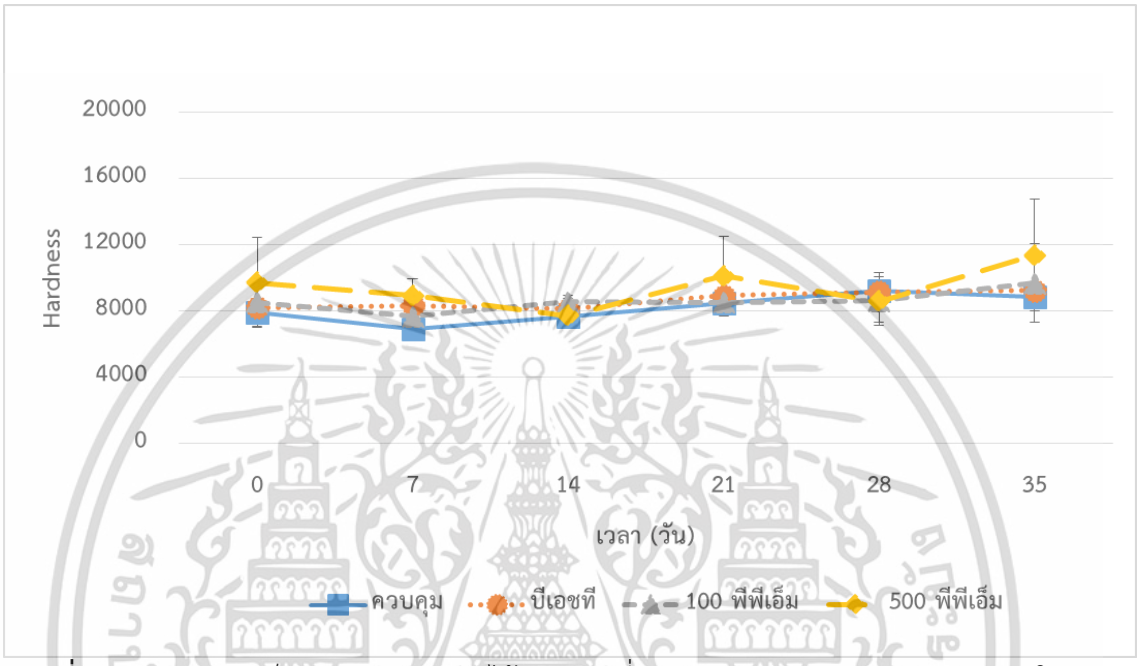
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูในระหว่างการเก็บรักษาได้ผลการทดลองดังนี้

ความแข็ง (Hardness) เป็นการวัดแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูป ทั้งนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างของความแข็งในผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.10) โดยตัวอย่างไส้กรอกมีค่าความแข็งเริ่มต้นเท่ากับ 7,890–9,706 นิวตัน และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการเก็บรักษามีค่าความแข็งเท่ากับ 8,858–11,354 นิวตัน ทั้งนี้การที่ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการซึมผ่านความชื้นของตัวอย่างไส้กรอกออกจากบรรจุภัณฑ์ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวอย่างไส้กรอกบรรจุลงในถุงพอลีเอทิลีนแบบสุญญากาศ (Polyethylene, PE) ในระหว่างการเก็บรักษาและไอน้ำจากบรรยากาศก็ซึมผ่านเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ได้เพียงเล็กน้อย ถุง PE นี้จึงสามารถป้องกันความชื้นได้ดี แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ ซึ่งถุงชนิดมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ 1.30 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2554) การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งยังอาจเกิดขึ้นจากการแยกตัวของน้ำและไขมันออกจากโครงสร้างร่างแหของโปรตีน หรือการเสียสภาพของโปรตีนที่ทำให้สมบัติการอุ้มน้ำลดลงจนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งขึ้น (Fernandez และคณะ, 2005) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการเติมสารสกัดพืชในผลิตภัณฑ์อาจช่วยป้องกันโปรตีนจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน จึงช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันเนื้อสัตว์และไขมันได้ดีและลดการเปลี่ยนความแข็งของไส้กรอกได้ (Abdalla และ Roozen, 1999; Estevez และคณะ, 2005; Estevez และคณะ, 2006; Nenadis และคณะ, 2003) จากผลการทดลองนี้พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Hayes และคณะ (2011) ที่ศึกษาอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกหมูดิบและปรุงสุกที่เติมสารสกัดจากใบมะกอก พบว่ามีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา 12 วันในตู้เย็น เมื่อเทียบกับไส้กรอกหมูควบคุม และรายงานของพรพิมล และธีรพล (2561) ที่ระบุว่าการเติมสารสกัดใบกะเพรา (*Ocimum Basilicum L.*) ทำให้ค่าความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hardness) ของหมูยอเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาในตู้เย็น เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยรายงานว่าอาจมีสาเหตุจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากสารสกัดกระเพราในหมูยอจึงทำให้มีความแข็งมากกว่าตัวอย่างควบคุม



ภาพที่ 4.10: ค่าความแข็ง (Hardness) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

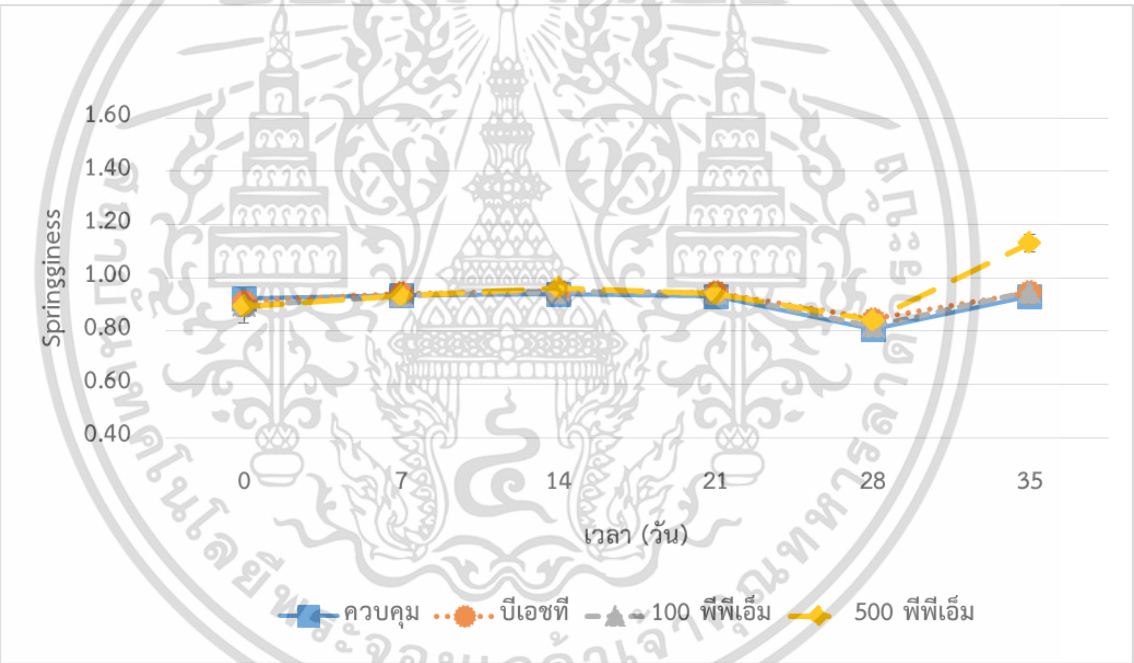
ตารางที่ 4.8: ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	ค่าสี วันที่ 0			ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
	*L**	*a**	*b**	7	14	21	28	35
ควบคุม	61.55±0.37^{a,A}	3.20±0.51^{a,A}	17.44±0.33^{a,A}	1.40±0.67^{b,B}	1.41±0.29^{a,B}	0.67±0.40^{b,C}	1.58±0.25^{a,B}	6.27±1.27^{a,A}
บีเอชที	59.79±0.08^{b,B}	2.64±0.36^{a,A}	17.50±0.72^{a,A}	1.01±0.43^{b,C}	1.05±0.78^{a,C}	0.54±0.23^{b,C}	1.73±0.47^{a,B}	6.23±0.20^{a,A}
100 พีพีเอ็ม	60.21±0.75^{b,A}	2.82±0.91^{a,A}	17.52±0.05^{a,A}	2.02±1.19^{ab,B}	0.79±0.09^{a,C}	1.90±0.19^{a,B}	1.06±0.09^{a,C}	5.65±0.95^{a,A}
500 พีพีเอ็ม	60.03±1.43^{b,A}	2.97±0.57^{a,A}	16.62±1.16^{a,A}	3.63±0.54^{a,B}	1.22±0.01^{a,C}	0.83±0.16^{b,C}	0.86±0.47^{a,C}	5.55±1.60^{a,A}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนตั้งกัน และตัวอักษร A, B และ C ที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) เป็นการวัดอัตราของการคืนรูปของตัวอย่างหลังจากการถูกกด จากผลการทดลองในภาพที่ 4.11 พบว่าค่าการยืดหยุ่นของไส้กรอกหมูมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นวันที่ 28 ที่ทุกๆ ตัวอย่างมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกสัปดาห์ถัดไป อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่นนี้ไม่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าความยืดหยุ่นของตัวอย่างไส้กรอกเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 0.89-0.91 และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.93-1.13 อย่างไรก็ตามไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสุมยเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นกว่าตัวอย่างอื่นๆ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมสารสกัดสมุยที่ความเข้มข้นสูงนี้ทำให้ไส้กรอกคืนตัวได้ดี ไม่แตกง่าย เนื่องจากสารสกัดพืชหรือสารฟีนอลิคในผลิตภัณฑ์อาจช่วยป้องกันโปรตีนจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ จึงสามารถทำให้ค่าการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและที่เติมบีเอช

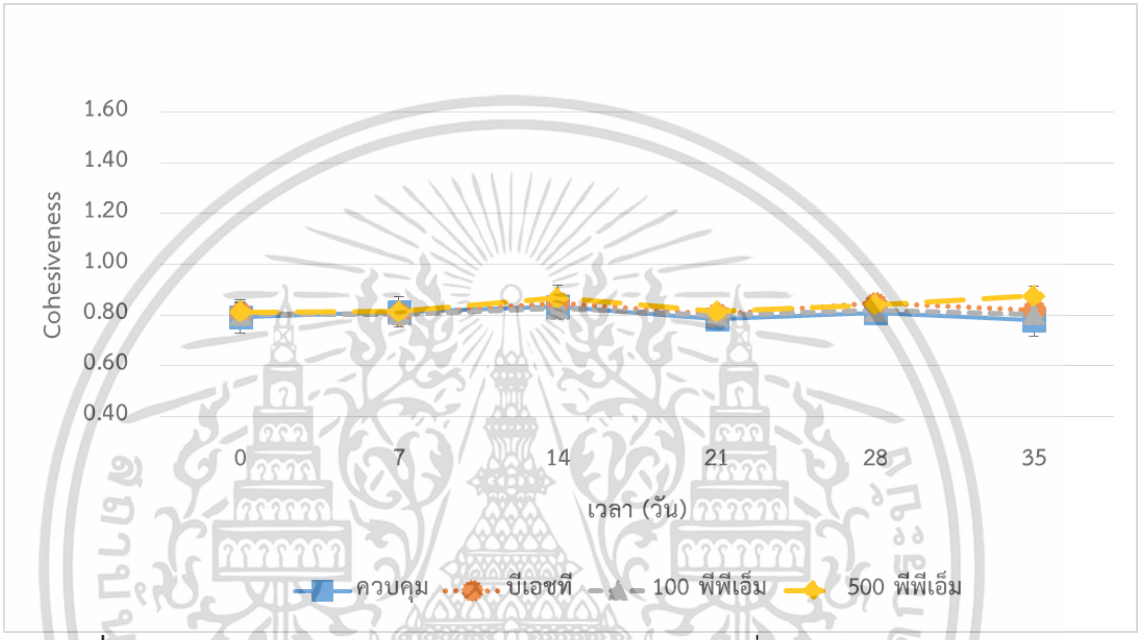


ภาพที่ 4.11: ค่าการยืดหยุ่น (Springiness) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

ค่าการยืดเกาะ (Cohesiveness) เป็นการวัดขอบเขตของตัวอย่างที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหักของตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.12 โดยพบว่าค่าการยืดเกาะของไส้กรอกหมูมีการเปลี่ยนแปลงแต่มีแนวโน้มคงที่ตลอดการเก็บรักษา ($p>0.05$) โดยไส้กรอกหมูเริ่มต้นมีค่าการยืดเกาะระหว่าง 0.79-0.81 เพิ่มขึ้นเป็น 0.78-0.87 ทั้งนี้การยืดเกาะหรือความเหนียวเป็นตัวชี้วัดระดับความยากในการทำลายโครงสร้างภายใน ซึ่งหากมีค่าการยืดเกาะลดลงแสดงว่าโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติหรืออาจบ่งถึงการสูญเสียความชื้นของไส้กรอก ส่งผลให้การยืดเกาะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในลดลงด้วย (Hayes และคณะ, 2011) หรือการลดการเปลี่ยนแปลงของไขมัน (Estevez และคณะ, 2005) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อสัมผัสของไส้กรอกหมู อย่างไรก็ตามไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยเข้มข้น 500 พีพีเอ็มมีค่าการยึดเกาะเพิ่มขึ้น ($p>0.05$) จากตัวอย่างอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าการเติมสารสกัดสมุยที่ความเข้มข้นสูงนี้ ทำให้โครงสร้างภายในไส้กรอกทนต่อแรงบีบอัดได้ดี



ภาพที่ 4.12: : ค่าการยึดเกาะ (Cohesiveness) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

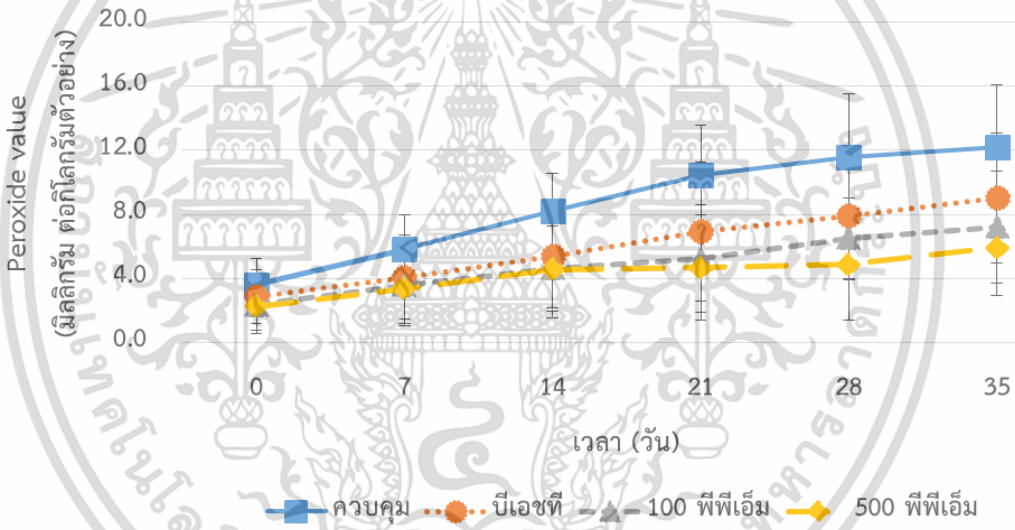
จากผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสจากเครื่อง Texture analyzer พบว่าค่าความแข็ง การยืดหยุ่น และการยึดเกาะ ระหว่างการเก็บรักษานั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตุพบว่าไส้กรอกหมูสดที่เติมสารสกัดสุมยมีเนื้อสัมผัสหนึบ ยืดหยุ่น ยังคงมีความนุ่ม และมีความฉ่ำน้ำมากกว่าไส้กรอกหมูควบคุมและไส้กรอกหมที่เติมบีเอชที

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเปอร์ออกไซด์ (peroxide value; PV)

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัด Degree of lipid oxidation โดยวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันในสภาวะที่สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเติมโมเลกุลของออกซิเจนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Pomeranz, 1994) ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างไส้กรอกหมูระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 4.13 พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.60 เป็น 12.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าเกิดการออกซิเดชันในไขมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์ และเป็นตัวบ่งชี้ความหืนของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการตรวจสอบค่าเปอร์ออกไซด์ในไส้กรอกหมูนี้ จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สามารถใช้ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการวัดสีหรือเนื้อสัมผัส เนื่องจากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมบีเอชที 100 พีพีเอ็มในไส้กรอกหมูสามารถชะลอการเกิดเปอร์ออกไซด์ได้ โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม รวมทั้งค่าเปอร์ออกไซด์ในแต่ละวันของการสุ่มตัวอย่างวิเคราะห์นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าบีเอชทีสามารถลดการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ได้ โดยบีเอชทีทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวกว่า ซึ่งช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Shahidi และคณะ, 1992)



ภาพที่ 4.13: ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อเติมสารสกัดสมุยเข้มข้น 100 และ 500 พีพีเอ็มลงในไส้กรอกหมูสด พบว่าตัวอย่างมีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น เท่ากับ 2.33 และ 2.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา ตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 7.20 และ 5.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ แต่การเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ในไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยมีอัตราที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมสารสกัดสมุยสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันในไส้กรอกหมูได้ และการเติมสารสกัดสมุย 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีพีเอ็มมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าการเติมบีเอชทีที่ความเข้มข้นเดียวกัน ซึ่งความสามารถในการชะลอการหืนนี้ อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดสมุยที่ทำหน้าที่ดักจับอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นแรกและป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของการออกซิเดชันไขมัน ทั้งนี้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระนี้ขึ้นกับชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิคและสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดพืชนั้นๆ (Pereira และคณะ, 2012)

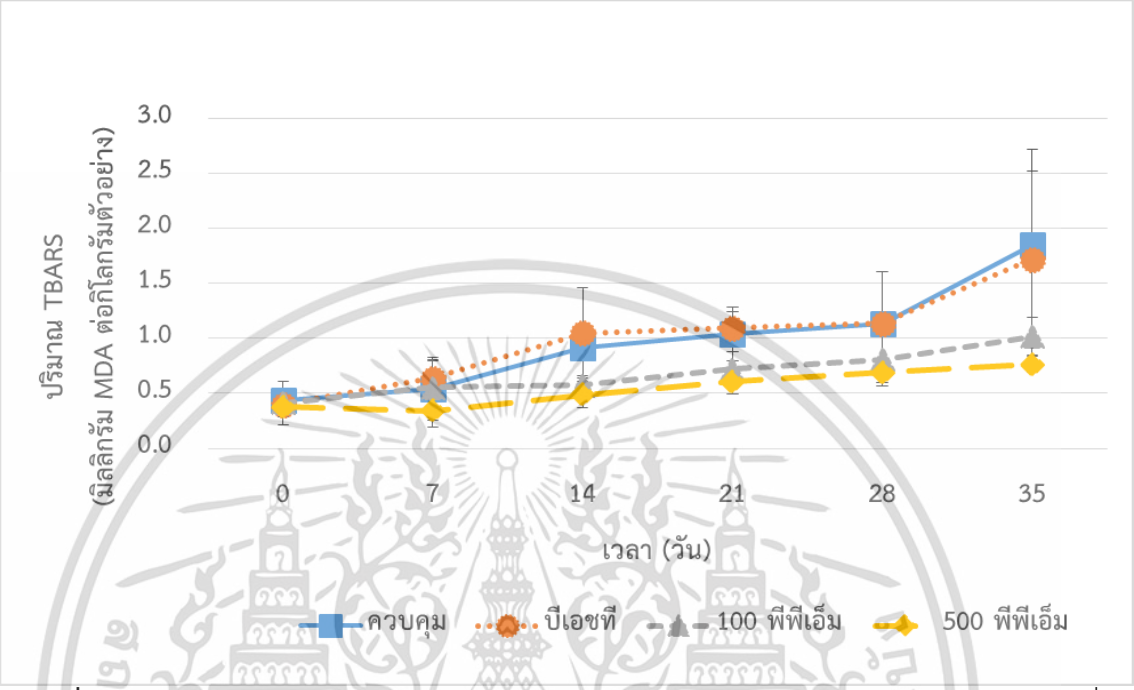
ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยการประยุกต์ใช้สารสกัดพืชชนิดต่างๆ ที่พบว่าสารสกัดพืชสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้และมีความแตกต่างกัน เช่น Wagh และคณะ (2015) ศึกษาศักยภาพของสารสกัดจากพืช 5 ชนิดในการชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันในไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์หมูที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 วัน พบว่า ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์หมูที่เติมสารสกัดซีบัตธอร์น (Sea buckthorn) เข้มข้น 300 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพดีกว่าการเติมสารสกัดสีเสียด (Acacia catechu 100 พีพีเอ็ม) เมล็ดองุ่น (Grape seed 100 พีพีเอ็ม) ชาเขียว (Green tea 30 พีพีเอ็ม) และเมล็ดฟีนูกรีก (Fenugreek seed 120 พีพีเอ็ม) ตามลำดับ และไส้กรอกแฟรงค์ที่เติมสารสกัดซีบัตธอร์นนี้ยังมีค่า PV ต่ำกว่าไส้กรอกควบคุม ต่อมามีรายงานผลของสารสกัดจากเทียนดำ (*Nigella sativa* หรือ *Black cumin*) ต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันและโปรตีนในหมูบดดิบระหว่างการเก็บรักษาในตู้เย็น พบว่าหมูบดดิบที่เติมสารสกัดเทียนดำเข้มข้น 1500 พีพีเอ็มมีค่า PV ต่ำกว่าหมูบดดิบควบคุมตลอดการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 9 วัน (Chauhan, 2018a) นอกจากนี้ Chauhan (2018b) ได้เติมสารสกัดด้วยน้ำของเทียนดำเข้มข้น 150 พีพีเอ็ม และผล Arjuna 100 พีพีเอ็มลงในนักเกตหมู จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 วัน พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษานักเกตหมูที่เติมสารสกัด โดยมีค่า PV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและบีเอชที ต่อมามีการประเมินอายุการเก็บรักษานักเกตเนื้อแกะที่เติมสารสกัดจาก *Carica papaya L.* (500 พีพีเอ็ม) และ *Origanum vulgare L.* (1,000 พีพีเอ็ม) พบว่านักเกตเนื้อแกะที่เติมสารสกัดพืชมีค่า PV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และที่เติมบีเอชทีตลอดการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส 20 วัน (Jagtap, 2020)

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

ปริมาณ TBARs เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ คาร์บอนิล และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งการเพิ่มปริมาณของสารประกอบกลุ่มดังกล่าว แสดงถึงการเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ วิธีการนี้จะหาปริมาณสารประกอบไทโอบาร์บิทูริกที่เกิดขึ้นจากมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde, MDA) ทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric Acid, TBA) เมื่อผ่านการให้ความร้อนในสภาพกรดได้ จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชมพูแดง วิธีนี้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้บ่งชี้การเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน (Fernandez และคณะ, 1997) ผลการวิเคราะห์ TBARs แสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14: ปริมาณ Thio barbituric acid reactive substances (TBARs) ของไส้กรอกหมูสดที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณ TBARs ในตัวอย่างควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.44 เป็น 1.85 มิลลิกรัม (มาลอนไดอัลดีไฮด์) ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกับค่าเปอร์ออกไซด์ ดังนั้นจึงใช้เป็นดัชนีในการศึกษาอายุการเก็บรักษาไส้กรอกหมูได้ อย่างไรก็ตามปริมาณ TBARs ของตัวอย่างที่เติมบีเอชที พบการเพิ่มขึ้นของ TBARs ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าการเติมบีเอชที ในไส้กรอกหมูไม่มีผลต่อการชะลอการเกิดมาลอนไดอัลดีไฮด์ แม้ว่าจะสามารถชะลอการเกิดเปอร์ออกไซด์ได้ ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าบีเอชทีมีกลไกในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในขั้นที่ 1 ของการออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในขั้นที่ 2

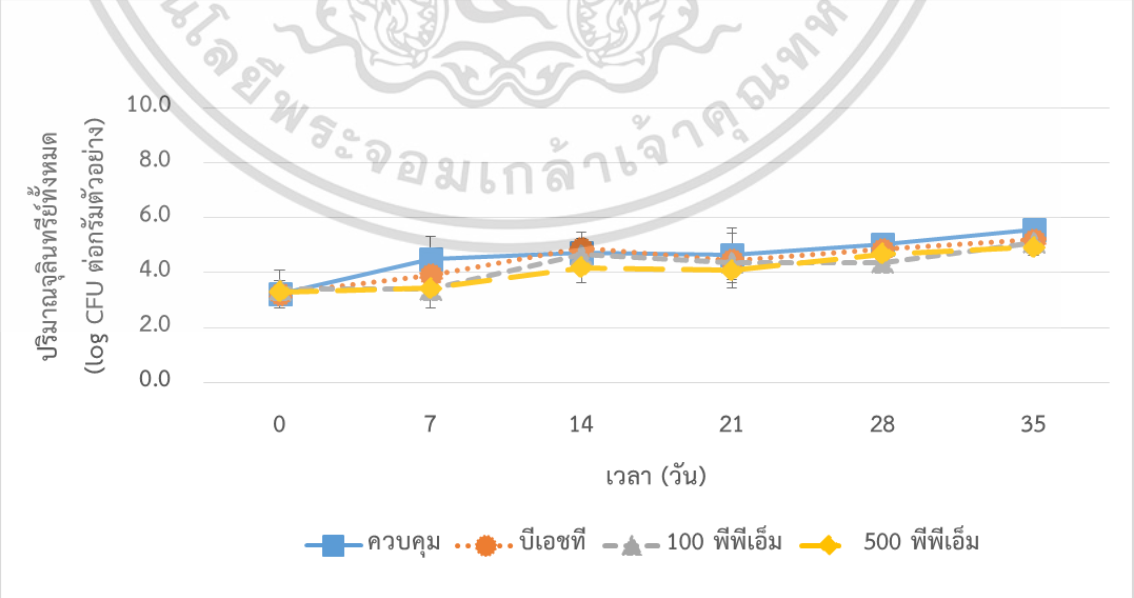
ส่วนไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยเข้มข้น 100 และ 500 พีพีเอ็มมีค่า TBARS เริ่มต้น 0.41 และ 0.38 เปลี่ยนเป็น 1.02 และ 0.76 มิลลิกรัม (มาลอนไดอัลดีไฮด์) ต่อกิโลกรัมตัวอย่างตามลำดับ และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดสมุยสามารถชะลอการเกิดสารประกอบอัลดีไฮด์ คาร์บอนิล และไฮโดรคาร์บอน ที่เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ในปฏิกิริยาลำดับที่ 2 ของการเกิดออกซิเดชันไขมันได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารสกัดสมุยที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็มจะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นที่ต่ำกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยการประยุกต์ใช้สารสกัดพืชที่พบว่าสารสกัดพืชสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ เช่น Wijeratne และคณะ (2006) ศึกษาสารสกัดเมล็ดอัลมอนด์ และสารสกัดเปลือกอัลมอนด์เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม พบว่า สามารถชะลอการเกิด TBARs ในเนื้อหมูบดปรุงสุกที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วันได้ นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2010 Choe และคณะได้รายงานการเติมผงใบบัวและผงใบบาร์เลย์ในหมูบดปรุงสุกที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วันได้ โดยเมื่อติดตามค่าของ TBARS พบว่าหมูบดปรุงสุกที่เติมผงใบบัว 100 และ 500 พีพีเอ็มมีค่า TBARS ต่ำที่สุด แต่การเติมผงใบบาร์เลย์ที่ความเข้มข้นเท่ากันมีค่า TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมและที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม นอกจากนี้ Thomas และคณะ (2016) ได้เติมสารสกัดด้วยน้ำจากผลมะเฟือง (*Averrhoa carambola*) (40,000 พีพีเอ็ม) และหน่อไผ่หอม (*Bambusa polymorpha*) (60,000 พีพีเอ็ม) เข้มข้นลงในนักเกตหมูและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษานักเกตจาก 21 วันเป็น 35 วัน โดยมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม สอดคล้องกับธนกร และวิรัลพัชร (2562) ที่รายงานการศึกษาความคงตัวในระหว่างการเก็บของไส้กรอกเวียนนาลดไนไตรท์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากแก่นฝาง พบว่า ไส้กรอกสูตรลดไนไตรท์ที่เติมผงสารสกัดจากแก่นฝาง (30,000 พีพีเอ็ม) มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเกือบตลอดช่วงการเก็บรักษา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.2.5 ลักษณะทางจุลินทรีย์ทั้งหมดในไส้กรอกหมูสด

คุณภาพด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) เป็นดัชนีสำคัญในการบ่งชี้การเสื่อมเสียจากจุลินทรียในไส้กรอกหมู โดยผลการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 4.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.15: ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count, TPC) ของไส้กรอกหมูสดที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อเริ่มต้น ตัวอย่างไส้กรอกหมูมีจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่าง 3.21-3.40 และเพิ่มขึ้นเป็น 4.92-5.6 log cfu/g โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ทุกๆ ตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันตลอดอายุการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ยกเว้นในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่ตัวอย่างควบคุมมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.6 log cfu/g จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมสารสกัดสมุยไม่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในไส้กรอกหมูได้หรืออาจชะลอได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตามอาจเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Psychrophilic bacteria) ได้แก่ *Achromobacter, Flavobacterium, Pseudomonas* และ *Micrococcus* ซึ่งเชื้อกลุ่มนี้เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น ผลการทดลองนี้แตกต่างจากรายงานของ Alirezalu และคณะ (2018) ที่รายงานว่าสารสกัดจากใบมะกอก ชาเขียว และ *Urtica dioica L*. เข้มข้น 500 พีพีเอ็มในไส้กรอกหมูแฟรงเฟอร์เตอร์ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ให้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมตลอดอายุการเก็บรักษาได้ ส่วน Muzolf-panek และคณะ (2019) ที่พบว่าสารสกัดจากเครื่องเทศ (อบเชย ใบกระวาน ยี่หร่า กานพลู ลูกจันทน์เทศ เมื่อเติมลงในเนื้อหมูบดดิบที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็มสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดให้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเช่นกัน นอกจากนี้ การใช้สารสกัดพืชที่ความเข้มข้นสูงๆ ก็สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน ดังรายงานของ Thomas และคณะ (2016) ที่พบว่าสารสกัดด้วยน้ำจากผลมะเฟือง (*Averrhoa carambola*) เข้มข้น 40,000 พีพีเอ็ม และสารสกัดหน่อไผ่หอม (*Bambusa polymorpha*) เข้มข้น 60,000 พีพีเอ็มในนักเกตหมูสามารถยืดอายุการเก็บรักษานักเกตจาก 21 วันเป็น 35 วัน โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการสกัดสมุยในตัวทำละลายต่างๆ พบว่า ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อชนิด ปริมาณและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสำคัญในใบสมุย โดยการใช้อะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์และเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิคได้ดีกว่าน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสารสกัดด้วยเอธานอลมีปริมาณ DPPH และ $ABTS^+$ สูงกว่าสารสกัดอื่น แต่สารสกัดด้วยน้ำมีค่า FRAP สูงกว่าสารสกัดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำไปปรับพีเอชและให้ความร้อนในสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไส้กรอกหมู พบว่าการเพิ่มพีเอชจาก 5 เป็น 7 ทำให้ปริมาณและความสามารถของสารสำคัญในสารสกัดสมุยส่วนใหญ่ลดลง สำหรับการให้ความร้อนในสภาวะต่างๆ พบว่าความคงตัวของสารสำคัญในสภาวะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 30 นาทีให้ผลดีกว่าการใช้อุณหภูมิสูงกว่าแม้ว่าจะใช้เวลาสั้นกว่า ยกเว้นการใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 3 นาทีของสารสกัดด้วยตัวทำละลายทุกๆ ชนิดที่พีเอช 5 มีค่า Anti-TBARs สูงกว่าสภาวะอื่น อย่างไรก็ตามการใช้พีเอช 5 และ 6 ในสภาวะการให้ความร้อนทุกๆ สภาวะของสารสกัดด้วยเอธานอล พบว่าปริมาณสารประกอบเฟอร์รูลิคและซินนามิคมีค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าการสารสกัดด้วยเอธานอลที่พีเอช 7 มีปริมาณ $ABTS^+$ สูงกว่าปริมาณเริ่มต้นในทุกๆ สภาวะการให้ความร้อนเช่นกัน ดังนั้นชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารสำคัญ พีเอชและสภาวะการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตมีผลต่อความคงตัวของชนิดและปริมาณสารฟีนอลิคและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดสมุย จากผลการทดลองนี้ ได้คัดเลือกสารสกัดสมุยด้วยอะซิโตนในการทดลองขั้นต่อไป

ผลการเติมสารสกัดสมุยด้วยอะซิโตนที่ความเข้มข้น 100 และ 500 พีพีเอ็มในตัวอย่างไส้กรอกหมูต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 35 วัน พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง ค่า a^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างกันในทุกๆ ตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที ($p > 0.05$) ที่เวลาในการเก็บเท่ากัน แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าค่าความสว่างและ b^* มีแนวโน้มลดลงช้าๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) สำหรับพารามิเตอร์เนื้อสัมผัสทั้งความแข็ง ความยืดหยุ่น และการยึดเกาะ ไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนและมีค่าค่อนข้างคงที่ สำหรับผลกาวิเคราะห์ความหืนของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาในทุกๆ ตัวอย่าง อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดสมุยทั้ง 100 และ 500 พีพีเอ็มในไส้กรอกหมูสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติม BHT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็มมีประสิทธิภาพดีกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่เติมสารสกัด 100 พีพีเอ็ม สำหรับการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นการเติมสารสกัดสมุยสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันและการเจริญของจุลินทรีย์ในไส้กรอกหมูได้ ทั้งนี้สมุยเป็นพืชพื้นบ้านประกอบด้วยสารพฤกษเคมีหลายชนิด การใช้สารสกัดจากธรรมชาติที่ได้จากพืชท้องถิ่น อาจเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ดูแลรักษาสุขภาพในการใช้สารกันหืนจากธรรมชาติทดแทนในการยืดอายุการเก็บรักษา ส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าจากพืชพื้นบ้านที่มีอยู่ในท้องถิ่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการสกัดด้วยวิธีการสกัดอื่นๆ เช่น การสกัดสารด้วยของไหลที่เหนือสภาวะจุดวิกฤต (Supercritical fluid extraction) และการสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อให้ได้ชนิดและปริมาณสารสำคัญที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ควรศึกษาวิธีในการทำให้บริสุทธิ์หรือสาระสำคัญที่เฉพาะเจาะจง เช่น การแยกด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟฟีต่างๆ เช่น คอลัมน์โครมาโตกราฟฟี (Column chromatography)

5.2.2 การทดลองนี้มุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าจะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว แต่เป็นการทดลองจุลินทรีย์ทั้งหมด ดังนั้นจึงควรทดสอบจุลินทรีย์ที่ก่อโรคตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์นั้นๆ และอาจศึกษาการยอมรับของผลิตภัณฑ์ในด้านประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ในผลิตภัณฑ์ รวมถึงการศึกษาทางด้านความปลอดภัยหรือพิษวิทยา เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้สารสกัดพืชพื้นบ้านในอาหารแทนสารสังเคราะห์ได้อย่างแท้จริง

5.2.3 การเติมสารสกัดพืชพื้นบ้านในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อื่นๆ ที่มีส่วนของไขมัน เช่น ไส้กรอกอีสาน ไส้อั่ว ไส้ขนมจีบ ไส้ซาลาเปา ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2299-2549. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไส้กรอกแฟรงก์เฟอร์เตอร์. 2550ก. เล่ม 124 ตอนพิเศษ 26ง.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2300-2549. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไส้กรอกเวียนนา. 2550ข. เล่ม 124 ตอนพิเศษ 26ง.

คมแข พิลาสมบัติ และรุจริน ลิ้มศุภวานิช. 2562. ผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่ สู่ธุรกิจครัวเรือน” และ “ผลิตภัณฑ์ไก่แปรรูป จากไก่อินทรีย์. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

โชษณ ศรีเกตุ, สาโรจน์ รอดคืน และธนิษฐ์นันท์ บุญศรีชนะ. 2560. ผลของกากงาขี้ม้อนผงต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมูยอระหว่างการเก็บรักษา. วารสารเกษตรพระวรุณ. 14(2):270-284.

ดลรวี ลีลารุ่งระยับ, สายนที ปรารถนาผล และอุดมศักดิ เห่วซึ่งเจริญ. 2552. โครงการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสมุนไพรหญ้าดอกขาว. รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธนกร โรจนกร และวิรัลพัชร โอฬารวณิช. 2562. ความคงตัวในระหว่างการเก็บของไส้กรอกเวียนนาลดไนไตรท์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากแก่นฝางซึ่งเก็บถนอมโดยใช้เฮอร์เดิลเทคโนโลยี. หน้า 559-567. ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นราพร พรหมไกรวร. 2552. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันและสารสำคัญที่พบในสารสกัดจากพืชป่าบางชนิด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนา เจนวิถีสุข. 2545. แอนติออกซิแดนท์ : สารต้านมะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย. เชียงใหม่:นพบุรีการพิมพ์.

นันทวัน บุณยะประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร, 2543. สมุนไพร : ไม้พื้นบ้าน. สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ประชาชน. กรุงเทพฯ. หน้า 508.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ประดิษฐ์ คำหนองไผ่ สุภาพร ร่มโพธิ์ไทร และจิระเดช มณีรัตน์. 2555. แนวทางใหม่ในการลดปริมาณมันหมูแข็งในไส้กรอกเปรี้ยว. รายงานผลงานวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยราชมงคลธัญบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริยานุช อินทร์รอด. 2551. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิค และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนสกัดจากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง. โครงงานวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต: มหาวิทยาลัยบูรพา.

เปรมยุดา ขุนทอง และวริพัสย์ อารีกุล. 2556. ศักยภาพในการกันหืนของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้ในน้ำมันเมล็ดทานตะวัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. (น. 463 หน้า). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

พงศธร ล้อสุวรรณ จิตศิริ ราชตนะพันธุ์ และศศิธร จันทนวรางกูร. (2551). เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้. (น. 677 หน้า). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

พรพิมล ศรีเกษ และธีรพล เสนพันธุ์. 2561. ผลของผงใบโหระพา (Ocimum basilicum L.) ต่อคุณภาพของไส้กรอกอิมัลชันหมู (หมูยอ). วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 12:77-91.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2554. บรรจุภัณฑ์อาหาร ตอนที่ 5 (บรรจุภัณฑ์พลาสติก). เรียกใช้เมื่อ 6 มิถุนายน 2559 จากศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร Food networksolution:http://www.http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0101/บรรจุภัณฑ์อาหาร-ตอนที่-5-บรรจุภัณฑ์พลาสติก.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2539. กรดแอสคอร์บิค และกรดอิริทรอบิกหรือแอนติอ็อกซิแดนท์. อาหาร. 26(1):7-13.

มานพ เจริญไชยตระกูล. 2553. เทคโนโลยีของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตกับอุตสาหกรรมยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ยุพา แก้วดานา และวริพัสย์ อารีกุล. 2555. ศักยภาพในการกันหืนของพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้ในน้ำมันปาล์ม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. (น.191-198). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2532. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เค.ยู บุ๊คเซ็นเตอร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รัตนา อินทรานุปกรณ. 2547. การตรวจสอบและการสกัดสาสำคัญจากสมุนไพร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลักขณา รุจนะไกรกานต์. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อสัตว์. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วงศ์สถิตย์ ฉั่วกุล วิชิต เปานิล รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และพร้อมจิต ศรลัมพ์.. 2539. สมุนไพรพื้นบ้านล้านนา. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอน พับลิชชิ่ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วชิราพรรณ บวรชาติ และพรพิมล ม่วงไทย. 2560. การประเมินปริมาณกรดคลอโรจีนิค กรดคาเฟอิก กรดเฟอร์รูลิก และกรดพาราคูมาริก ในเครื่องดื่มน้ำสมุนไพร. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 9(17). 1686-9311

วริพัสย์ อารีกุล และนราพร พรหมไกรวร. 2554. ผลของสารสกัดพืชต่อการต้านการหืนในอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วาณี ใจวิเสน. 2554. การประเมินการต้านการหืนของพืชพื้นบ้านที่บริโภคได้ในแพตตี้หมู. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาสุขาภิบาลอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศรัณย์ ลาภนิธิพร, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. 2555. องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมะม่วงหิมพานต์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2) (พิเศษ): 409-412.

ศิวาพร ศิวเวช และณัฏฐินี ใจสะอาด. 2546. สกัดสารประกอบฟีนอลิคจากเปลือกมันฝรั่ง. งานวิจัย.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

ศิวาพร ศิวเวช. 2535. วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2543. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2562. ประกาศสานักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง รายชื่อพืชที่ใช้ได้ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร.

สุธรรม อารีกุล. 2552. องค์ความรู้เรื่องพืชป่าใช้ประโยชน์ทางภาคเหนือของไทย. เล่ม 2. เชียงใหม่: มูลนิธิโครงการหลวง.

สุริยา ทุดปอ และจิตรา สิงห์ทอง. 2560. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแก่นตะวันที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิยาลัยอุบลราชธานี. 3(19): 45-57.

อุดมเดชา พลเยี่ยม, อัญชนา ขัตติยะวงศ์ และนิภาพร ปัญญา. 2557. การพัฒนาศักยภาพของมะเดื่อในการใช้เป็นสมุนไพรพื้นบ้านและการป้องกันมะเร็ง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนเทคโนโลยี มหาวิยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

โอภา วัชระคุปต์, บรรณาธิการ. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. นนทบุรี: พี.เอส.พริ้นท์.

Abdalla, A.E., and Roozen, J.P. 1999. Effect of Plant Extracts on The Oxidative Stability of Sunflower Oil and Emulsion. Food Chemistry, 64, 323-329. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00112-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aliakbarlu, J., Ghiasi, S. and Bazargani-Gilani, B. 2018. Effect of Extraction Conditions on Antioxidant activity of Barberry (*Berberis vulgaris L.*) Fruit Extracts. Veterinary Research Forum : an International Quarterly Journal, 9(4), 361–365. https://doi.org/10.30466/vrf.2018.33090

Alirezalu K., Hesari J., Nemati Z. and Farmani B. 2018. Effects of Selected Plant-Derived Nutraceuticals on The Quality and Shelf-life Stability of Frankfurter Type Sausages During Storage. International Journal of Biological, Life and Agricultural Sciences. 12(9). ISSN: 2415-6612.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of Aoac International. 17th ed., Maryland, USA.

Apak, R., Gorinstein, S., Bohm, V., Schaich, K., Ozyurek, M. and Guclu, K. 2013. Methods of Measurement and Evaluation of Natural Antioxidant Capacity/activity (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, 85(5), 957-998. https://doi.org/10.1351 /PAC-REP-12-07-15

Benzie, I. F. and Strain, J. J. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": the FRAP Assay. Analytical biochemistry, 239(1), 70–76. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

Bligh, E.G., and Dyer, W.J. 1959. A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 37(8), 911–917. https://doi.org/10.1139/o59-099

Boeing, J.S., Barizao, E.O., E Silva, B.C., Montanher, P.F., de Cinque Almeida, V. and Visentainer, J.V. 2014. Evaluation of Solvent Effect on the Extraction of Phenolic Compounds and Antioxidant Capacities from the Berries: Application of Principal Component Analysis. Chemistry Central Journal, 8(1), 48. https://doi.org /10.1186/s13065-014-0048-1

Bourne, M.C. 1978. Texture Profile Analysis. Food Technology, 32, 62-66, 72.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C.L.W.T. 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. LWT-Food Science and Technology, 28, 25-30. http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Budavari and Susan. 1996. The Merck Index: an Encyclopedia of Chemicals. Drugs, and Biologicals, Merck, ISBN: 0911910123.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Buege, J.D. and Aust, S. 1978. Microsomal Lipid Peroxidation. Methods in Enzymology. 30: 303-310.

Cakir, A., Mavi, A., Kazaz, C., Yildirim, A., and Irfan Kuerevioglu O. 2006. Antioxidant Activities of the Extracts and Components of *Teucrium orientale L. var. orientale.* Turkish. Journal of Chemistry. 30(4): 483 – 494.

Carlos C., Mendes R. and Maria L. Nunes 2009. Instrumental Texture and Sensory Characteristics of Cod Frankfurter Sausages. International Journal of Food Properties, 12(3): 625-643, https://doi.org/10.1080/10942910801992959

Chauhan P., Das A.K., Bhattacharya D. and Nanda P.K. 2018a Effect of Black Cumin and Arjuna Fruit Extract on Lipid Oxidation in Pork Nuggets During Refrigerated Storage. Journal of Meat Science. 13(1): 73-80, https://doi.org/10.5958/2581-6616.2018. 00011.7

Chauhan P., Das A.K., Nanda P.K, Kumbhar V, and Yadav J.P. 2018b. Effects of Nigella Sativa Seed Extract on Lipid and Protein Oxidation in Raw Ground Pork During Refrigerated Storage. Nutrition and Food Science, 13(1): 173-180, https://doi.org/10.11 08/NFS-02-2017-0031.

Chen Y.T., Kao W.T., and Lin K.W. 2008. Effects of pH on the Total Phenolic Compound, Antioxidative Ability and the Stability of Dioscorin of Various Yam Cultivars. Food Chemistry. 107: 250–257.

Cherkupally, R., Kota, S.R., Amballa H. and Reddy B.N. 2017. In vitro Antifungal Potential of Plant Extracts Against *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina*. Annals of Plant Sciences. 6(9): 1676-1680.

Choe, J.H., Jang, A., Choi, J.H., Choi, Y.S., Han, D.J., Kim, H.Y., Lee, M.A., Shim, S.Y. and Kim, C.J. 2010. Oxidative and Color Stability of Cooked Ground Pork Containing Lotus Leaf (*Nelumbo nucifera*) and barley leaf (*Hordeum vulgare*) Powder During Refrigerated Storage. Meat science. 87(1): 12-18, https://doi.org/ 10.1016/j.meatsci.2010.08.011

Claisen, L.. 1890. Zur Darstellung Der Zimmtsaure und Ihrer Homologen (on the Preparation of Cinnamic Acid and Its Homologues), Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. 23: 976–978.

Clifford, M.N.. 2003. The Analysis and Characterization of Chlorogenic Acids and other Cinnamates. In Santos-Buelga, C.; Williamson, G. (eds.). Methods in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polyphenol Analysis. Cambridge: Royal Society of Chemistry. 14: 314–337. ISBN: 978-0-85404-580-8.

Dainty, R.H., and Mackey, B.M. 1992. The Relationship Between the Phenotypic Properties of Bacteria from Chill-Stored Meat and Spoilage Processes. Society for Applied Bacteriology symposium series, 21, 103–114. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1992.tb03630.x

Dave, D. and Ghaly, A. 2011. Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques. A Critical Review. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 6: 486-510.

Deda, M.S., Bloukas, J.G. and Fista, G.A. 2007. Effect of Tomato Paste and Nitrite Level on Processing and Quality Characteristics of Frankfurters. Meat Science 76(3): 501-508.

Estevez, M., Ventanas, S., and Cava, R. 2005. Protein Oxidation in Frankfurters with Increasing Levels of Added Rosemary Essential Oil: Effect on Colour and Texture Deterioration. Journal of Food Science. 70: c427-c432.

Estevez, M., Ventanas, S., and Cava, R. 2006. Effect of Natural and Synthetic Antioxidants on Protein Oxidation and Colour and Texture Changes in Refrigerated Stored Porcine Liver Pate. Meat Science, 74, 396-403.

Exarchou, V., Nenadis, N., Tsimidou, M., Gerothanassis, I.P., Troganis, A. and Boskou, D. 2002. Antioxidant Activities and Phenolic Composition of Extracts from Greek oregano, Greek sage and Summer Savory. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50(19), 5294–5299. https://doi.org/10.1021/jf020408a

Falleh H., Msilini N., Oueslati S., Ksouri R., Magne C., Lachaal M. and Karray-Bouraoui N. 2013. Diplotaxis Harra and Diplotaxis Simplex Organs: Assessment of Phenolics and Biological Activities Before and after Fractionation. Industrial Crops and Products. 40: 141– 147.

Falowo, A.B., Fayemi P.O. and Muchenje V. 2014. Natural Antioxidants Against Lipid-Protein Oxidative Deterioration in Meat and Meat Products. A review. Food Research International. 64: 171-181. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fernandez, J., Perej-Alvarez, J.A. and Fernandez–Lopez, J.A. 1997. Thiobarbituric Acid Test for Monitoring Lipid Oxidation in Meat. Food Chemistry. 59: 345–353.

Fernandez-Gines J.M., Fernandez-Lopez J. Sayas-Barbera E., Sendra E. and Perez-Alvarez J.A. 2005. Lemon Albedo as a New Source of Dietary Fiber: Application to Bologna Sausages. Meat Science. 67:7-13. https://doi.org/10.1016/j.meat sci. 2003.08.017

Formanek, Z., Kerry, J.P., Higgins, F.M., Buckley, D.J., Morrissey, P.A., and Farkas, J. 2001. Addition of Synthetic and Natural Antioxidants to α-Tocopheryl Acetate Supplemented Beef Patties: Effects of Antioxidants and Packaging on Lipid Oxidation. Meat Science. 58(4): 337-341. https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00149-2

Friedman, M.; and Jurgens, H.S. 2000. Effect of pH on the Stability of Plant Phenolic Compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 2101–2110. https://doi.org/10.1021/jf990489j

Galvez MC, Barroso CG, and Perez-Bustamante JA. 1994. Analysis of Polyphenolic Compounds of Different Vinegar Samples. Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und Forschung volume. 199: 29–31. https://doi.org/10.1007/BF 01192948.

Ghosh, S., Ashish, S. and Adinpunya, M. 2006. Formation of Vanillicacidfrom Ferulicacidby Paecilomyces Variotii MTCC 6581. Current Science. 90(6): 825-9.

Haak, L., Raes, K., Smet, K., Claeys, E., Paelinck, H., and Smet, S.D. 2006. Effect of Dietary Antioxidant and Fatty Acid Supply on the Oxidative Stability of Fresh and Cooked Pork. Meat Science. 74(3): 476-86.

Hajek, J., Machovic, V., Krízova, O., Sedlackova, V., and Novotna, M. 1998. Vyuziti Infracervene Spektrofotometrie Pro Sledovani Zmen Pri Oxidaci Repkoveho Oleje. Chemical Listy. 92: 434-440.

Hayes J.E., Stepanyan V., Allen P., O'Grady M.N. and Kerry J.P. 2011. Evaluation of the Effects of Selected Plant-Derived Nutraceuticals on the Quality and Shelf-Life Stability of Raw and Cooked Pork Sausages. LWT-Food Science and Technology 44: 164-172.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Houser, T.A., Sebranek, J.G., Sewalt, V.J.H. and Robbins, K.L. 2005. Comparison of a Natural Rosemary Extract and BHA/BHT for Relative Antioxidant Effectiveness in Pork Sausage. Meat Science. 69: 289–296.

Huyut, Z., Beydemir, F., and Gulcin, I. 2017. Antioxidant and Antiradical Properties of Selected Flavonoids and Phenolic Compounds. Biochemistry Research International. 10. Article ID 7616791,https://doi.org/10.11 5 5/2017/7616791.

Jagtap Niraj S., Wagh Rajesh V., Chatli Manish K., Malav Om P., Kumar P. and Mehta N. 2020. Functional Goat Meat Nuggets Fortified with Novel Bioactive *Carica papaya L.* and *Origanum vulgare* Extracts and Storage Stability. Nutrition and Food Science. 50(2): 402-414.

Jo, C., Kang, H.J., Lee, M., Lee, N.Y. and Byun, M.W. 2004. The Antioxidative Potential of Lyophilized Citrus Peel Extract in Different Meat Model Systems during Storage at 20 °C. Journal of Muscle Foods. 15: 95-107.

Jo, C., Son, J.H., Son, C.B. and Byun, M.W. 2003. Functional Properties of Raw and Cooked Pork Patties with Add Irradiated, Freeze-Dried Green Tea Leaf Extract Powder During Storage at 4 °C. Meat Science. 64: 13-17.

Jung B.K., Jong B.K., Kang J.C., Gabriele M.K. and Anthony D.W. 2006. Antioxidant Activity of Trihydroxy Benzaldehyde Isolated from *Geum japonicum*. Journal of Food and Drug Analysis. 190-193.

Juntachote, T., Berghofer, E., Siebenhandl, S. and Bauer, F. 2006. The Antioxidative Properties of Holy Basil and Galangal in Cooked Ground Pork. Meat Science. 72: 446-456.

Kitts, D.D. and Liang, N. 2015. Role of Chlorogenic Acids in Controlling Oxidative and Inflammatory Stress Conditions. Nutriens. 8(1):16. https://doi.org/10.3390/nu80 10016

Kornkanok A., Niramol S. and Somchit D. 2019. Antioxidant Activity and Bioactive Compounds of Kameng (*Eclipta prostrate Linn.*) Extracts. Thai Journal of Science and Technology. 1(9):45-57.

Larguerre, M., Lecomte, J. and Villeneuve, P. 2007. Evaluation of the Ability of Antioxidants to Counteract Lipid Oxidation: Existing Methods, New Trends and Challenges. Progress in Lipid Research. 46(5): 244-282. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lee, S.H., Kim, A.D., Kang, M.C., Lee, J.B. and Jeon, Y.J. 2009. Potential Antioxidant Activities of Enzymatic Digests from Fresh Water Microalgae, Pediastrum Duplex and Dactylococcopsis Fascicularis. Algae. 24: 169-177.

Lemanska, K., Szymusial, H., Tyrakowska, B., Zielinski, R., Soffers, A.E. M.F., and Rietjens, I.M.C.M. 2001. The Influence of pH on Antioxidant Properties and the Mechanism of Antioxidant Action of Hydroxyflavones. Free Radic. Biol. Med.. 31(7): 869–881. https://doi.org/10.1016/s0891-5849(01)00638-4

Low, L.K. and Ng, C.S. 1987. Determination of peroxide value, In H. Hasegawa, ed. Laboratory Manual on Analytical Method and Procedures for Fish and Fish Products. Marine fisheries research department southeast Asian fisheries development center, Singapore. C7.1-C7.3.

Mahfuzur R., Kawsar H., Arihiro I., Kiyotake S., and Kato-Noguchi, H. 2020. Phytotoxic Activity and Identification of Phytotoxic Substances from *Schumannianthus dichotomus*. Plants. 9(1): 102. https://doi.org/10.3390/plants9010 102. ISSN 2223-7747.

Maisuthisakul, P., Suttajit, M. and Pongsawatmanit, R.. 2007. Characterization of the Phytochemicals and Antioxidant Properties of Extracts from Teaw (*Cratoxylum formosum Dyer*). Food Chemistry. 100: 1620-1629.

Mariem, S., Hanen, F., Ines, J., Mejdi, S. and Riadh, K.. 2014. Phenolic Profile, Biological Activities and Fraction Analysis of the Medicinal Halophyte Retama Raetam. South African Journal of Botany. 94: 114–121.

McCarthy, T.L., Kerry, J.P., Kerry, J.F., Lynch, P.B. and Buckley, D.J.. 2001. Assessment of the Antioxidant Potential of Natural Food and Plant Extracts in Fresh and Previously Frozen Pork Patties. Meat Science. 57: 177-184.

McDonald, R. E., and Hultin, H. O.. 1987. Some Characteristics of the Enzymic Lipid Oeroxidation System in the Microsomal Fraction of Flounder Skeletal Muscle. Journal of Food Science. 52: 15-21.

Medina, I., Gallardo, J.M., and Gonzalez, M.J. 2007. Effect of Molecular Structure of Phenolic Families as Hydroxycinnamic Acids and Catechins on Their Antioxidant Effectiveness in Minced Fish Muscle. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55(10): 3889–3895.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Michael B., Thanise N. F., Batsirai C. and Maud M.. 2016. Effect of Solvent Type on Total Phenolic Content and Free Radical Scavenging Activity of Black Tea and Herbal Infusions. Food Analytical Methods. 9, pp.1060–1067. https://doi.org/10.1007/s12161-015-0270-z

Montes, I., Lai, C., and Sanabria, D. 2003. Like dissolves like: A Guided Inquiry Experiment for Organic Chemistry. Journal of Chemical Education. 80(4), 447. https://doi.org/10.10 21/ed080p447

Moon, J.K. and Shibamoto, T.. 2009. Antioxidant Assays for Plant and Food Components. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57: 1655-1666.

Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D., Dominguez, J.M., Sineiro, J., Domingguez, H., Nunez, M.J. and Parajo, J.C. 2001. Natural Antioxidants from Residual Sources. Food Chemistry. 72: 145-171.

Moussi, K., Nayak, B., Perkins, L. B., Dahmoune, F., Madani, K. and Chibane, M.. 2015. HPLC-DAD Profile of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Leaves Extract of *Rhamnus alaternus L*. Industrial Crops and Products. 74: 858–866.

Murakami, M., Shukla, Y.N., Jain, S.P. and Kumar, S.. 2004. Effect of Thermal Treatment on Radical-Scavenging Activity of Single and Mixed Polyphenolic Compounds. Journal of Food Science. 69.

Muzolf-Panek M., Kaczmarek A., Tomaszewska-Gras J., Cegielska-Radziejewska R. and Majcher M.. 2019. Oxidative and Microbiological Stability of Raw Ground Pork during Chilled Storage as Affected by Plant Extracts. International Journal of Food Properties. 22(1): 111-129, DOI: 10.1080/10942912.2019.1579834

Naczk M, and Shahidi F .2006. Phenolics in Cereals, Fruits and Vegetables: Occurrence, Extraction and Analysis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 41:1523–1542.

Nenadis, N., Zafiropoulou, I., and Tsimidou, M. 2003. Commonly used Food Antioxidants: a Comparative Study in Dispersed Systems. Food Chemistry. 82. 403-407.

Pakit Kumboonma and Sudarat Sombatsri. 2019. Antioxidant Activities and Total Phenolic Contents From Thai Wild Fruits. KKU Science Journal. 47(1): 034-042.

Pereira de Abreu, D.A., Rodriguez, K.V., and Cruz, J.M.. 2012. Extraction, Purification and Characterization of an Antioxidant Extract from Barley Husks and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of an Antioxidant Active Film for Food Package. Innovative Food Science and Emerging Technologies 13: 134–141.

Pietta, P. G.. 2000. Flavonoids as Antioxidant. Journal of Natural Products 63: 1035-1042.

Pomeranz, Y. 1994. Food Analysis: Theory and Practice. Chapman and Hall Inc. New York. 717.

Qiming Jimmy Yu Yuru Chen and Xuemei Li.. 2007. Extraction and HPLC Characterization of Chlorogenic Acid from Tobacco Residuals. Science and Technology. 42(15): 3481-3492. DOI:10.1080/01496390701626677

Rice-Evans, C.A., Miller N.J. and Paganga G.. 1996. Structure-Antioxidant Activity Relationships of Flavonoids and Phenolic Acids. Free Radical Biology and Medicine. 21(7): 933–956. https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9

Rice-Evans, C. and Miller NJ. 1994. Total Antioxidant Status in Plasma and Body Fluids. Methods in Enzymology. 234: 279-293. https://doi.org/10.1016/0076-6879(94)34095-1

Rosello-Soto, E., Marti-Quijal, F.J., Cilla, A., Munekata, P., Lorenzo, J.M., Remize, F., and Barba, F.J. 2019. Influence of Temperature, Solvent and pH on the Selective Extraction of Phenolic Compounds from Tiger Nuts By-Products: Triple-TOF-LC-MS-MS Characterization. Molecules (Basel, Switzerland), 24(4), 797. https://doi.org/10.3 390 /molecules24040797

Ruenroeng-klin, N., Zhong, J., Duan, X., Yang, B., Li, J., and Jiang, Y. 2008. Effects of Various Temperatures and pH Values on the Extraction Yield of Phenolics from Litchi Fruit Pericarp Tissue and the Antioxidant Activity of the Extracted Anthocyanins. International Journal of Molecular Sciences. 9: 1333-1341. DOI:10.3390/ijms 9071333

Sabeena Farvin, K.H. and Jacobsen, C. 2013. Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Selected Species of Seaweeds from Danish Coast. Food Chemistry. 138(2-3): 1670-1681. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.078

Sakunpak, A., Matsunami, K., Otsuka, H., and Panichayupakaranant, P. 2013. Isolation of New Monoterpene Coumarins from *Micromelum minutum* Leaves and their Cytotoxic Activity against Leishmania Major and Cancer Cells. Food Chemistry. 139(1-4): 458-463. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sangkaeo, W. 2010. Effect of Kadon Bok Leaves Extract on Physical, Sensory Characteristic and Oxidation in Frankfurter Sausage. Journal of Agricultural Science. 41: 153-156.

Santos-Fandila, A., Camino-Sánchez, F.J., and Zafra-Gomez, A. 2014. Degradation Markers in Nutritional Products. A Review. Austin. Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analysis. 1: 1-7.

Honda S., IsHIda R., HIdaka K. and Masuda T. 2019. Stability of Polyphenols under Alkaline Conditions and the Formation of a Xanthine Oxidase Inhibitor from Gallic Acid in a Solution at pH 7.4. Food Science and Technology Research. 25 (1): 123-129.

Shaghaghi, M., Manzoor, J.L., and Jouyban, A. 2008. Determination of Total Phenols in Tea Infusions, Tomato and Apple Juice by Terbium Sensitized Fluorescence Method as an Alternative Approach to the Folin-Ciocalteu Spectrophotometric Method. Food Chemistry. 108: 695-701.

Shah, M.A., Bosco, S.J.D.and Mir, S.A. 2014. Plant Extracts as Natural Antioxidants in Meat and Meat Products. Meat Science. 98: 21-33.

Shahidi, F., Janita, P.K. and Wanasundara, P.D. 1992. Phenolic Antioxidants. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 32: 67-103.

Singleton, Vernon L., Orthofer, Rudolf, Lamuela-Raventos and Rosa M. 1999. Analysis of Total Phenols and other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. Methods in Enzymology. 299: 152-178.

Sulaiman, S.F., N.A.M. Yusoff, I.M. Eldeen, E.M. Seow, A.A.B. Sajak, and Ooi, S.K.L. 2011. Correlation between Total Phenolic and Mineral Contents with Antioxidant Activity of Eight Malaysian bananas (*Musa sp.*). Journal of Food Composition and Analysis. 24:1–10.

Sun, C., Wu, Z., Wang, Z., and Zhang, H. 2015. Effect of Ethanol/Water Solvents on Phenolic Profiles and Antioxidant Properties of Beijing Propolis Extracts. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 1-9. https://doi.org /10.1155/2015 /59 5393

Sun, H.N, Mu, T.M., Xi, and L.S. 2017. Effect of pH, Heat, and Light Treatments on the Antioxidant Activity of Sweet Potato Leaf Polyphenols. International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Journal of Food Properties. Volume 20(2): 318-332. https://doi.org/10.1080/10 942912.20 16.1160410

Suzanna A/P Edgar. 2014. Analysis of Phenolics from Centella Asiatica and Vernonia Amygdalina and their Role as Antibacterial and Antioxidant Compounds. Institute of Biological Sciences Faculty of Science University of Malaya Kuala Lumpur.

Tang, S., Kerry, J.P., Sheehan, D. and Buckley, D.J.. 2001. A Comparative Study of Tea Catechins and **α**-Tocopherol as Antioxidants in Cooked Beef and Chicken Meat. European Food Research and Technology. 213: 286-289.

Tangkanakul P., Trakoontivakorn G. and Jariyavattanavijit C.. 2005. Extracts of Thai Indigenous Vegetables as Rancid Inhibitor in a Model System. Journal Kasetsart. (Natural Science.). 39: 274–283.

Thanh Van Ngo, Christopher James Scarlett, Michael Christian Bowyer, Phuong Duc Ngo, and Quan Van Vuong.. 2017. Impact of Different Extraction Solvents on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of *Salacia chinensis L.* Journal of Food Quality. Article ID 9305047, https://doi.org/10.1155/2017/9305047.

Thomas, R., Jebin, N., Saha, R. and Sarma, D.K.. 2016. Antioxidant and Antimicrobial Effects of Kordoi (*Averrhoa carambola*) Fruit Juice and Bamboo (*Bambusa polymorpha*) Shoot Extract in Pork Nuggets. Food Chemistry. 190: 41-49.

Tinrat, S. 2016. Antioxidant Activities and Total Phenolic Content of Multi-Colored Fruits and Vegetables in Thailand. KKU Research Journal. 21(1): 1-11.

Tyihak, E. Mincsovics, E. and Kalasz, H. 1979. New Planar Liquid Chromatographic Technique: Overpressured Thin-Layer Chromatography. Journal of Chromatography A. 174: 75-81.

Van Der Woude H., Gliszczynska-Swiglo, A., Struijs, K., Smeets, A., Alink, G.M. and Rietjens, I.M.C.M. 2003. Biphasic Modulation of Cell Proliferation by Quercetin at Concentrations Physiologically Relevant in Humans. Cancer Lett. 200: 41-47.

Van Ness, J.H. 1983. Vanillin. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, New York: John Wiley and Sons. (3)23: 704–717. ISBN 9780471020769.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Van Valkenbur, J.L.C.H and Bunyaprapatsara, N. 2001. Plant Resources of South-East Asia. Medicinal and Poisonous Plant 2. Backhuys publishers Leiden the Netherlands. 12: 711.

Velisek, J. and Hajslova, J. 2009. Chemie Potravin 1. 3rd Ed. Tábor: OSSIS, 602. (In Czech)

Vuorela, S., Salminen, H., Makela, M., Kivikari, R., Karonen, M. and Heinonen, M. 2005. Effect of Plant Phenolics on Protein and Lipid Oxidation in Cooked Pork Meat Patties. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53: 8492–8497.

Wagh Rajesh V., Chatli Manish K., Marita R., Puolanne E., and Ertbjerg P. 2015. Effect of Various Phyto-extracts on Physico-chemical, Colour, and Oxidative Stability of Pork Frankfurters. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 28: pp.1178-1186.

Wang, Y.J., Pan, M.H., Cheng, A.L., Lin, L.I., Ho, Y.S., Hsieh, C.Y. and Lin, J.K. 1997. Stabilityofcurcumin in Buffer Solutions and Characterization of IIts Degradation Products. Pharm. Biomed. Analytic. 15: 1867-76.

Wasowicz, E., Gramza, A., Hes, M., Jelen, H.H., Korczak, J., Małecka, M., Mildner-Szkudlarz, S., Rudzinska, M., Samotyja, U. and Zawirska-Wojtasiak, R. 2004. Oxidation of lipids in food. Polish Journal of Food Nutrition Sciences. 13: 87-100.

Weurman, C., and Swain, T. 1955. Changes in the Enzymatic Browning of Barley's Seeding Applied during their Development. Journal of the Science of Food and Agriculture. 6:186–190.

Wijeratne, S.S.K., Amarowicz, R. and Shahidi, F.. 2006. Antioxidant Activity of Almonds and their By-products in Food Model Systems. Journal of the American Oil Chemists' Society. 83: 223-230.

Chen Y.T., Kao W.T., and Lin K.W. 2008. Effects of pH on the Total Phenolic Compound, Antioxidative Ability and the Stability of Dioscorin of Various Yam Cultivars. Food Chemistry. 107: 250–257.

Yuliana, P., Laconi, E.B., Wina, E. and Jayanegara, A. 2014. Extraction of Tannins and Saponins from Plant Sources and their Effects on in Vitro Methanogenesis and Rumen Fermentation. Faculty of Animal Science, Bogor Agricultural University. 39(2): 91-97.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhao, Z., and Moghadasian, M.H. (2008). Chemistry, Natural Sources, Dietary Intake and Pharmacokinetic Properties of Ferulic Acid: A Review. Food Chemistry. 109: pp.691–702.

Zhenjiang W., Cuiming T., Fanwei D., Gengsheng X. and Guoqing L.. 2021. HPLC Determination of Phenolic Compounds in Different Solvent Extracts of Mulberry Leaves and Antioxidant Capacity of Extracts. International Journal of Food Properties, 24:1, 544-552, DOI:10.1080/10942912.2021.1904980.

Zhou, K., and Yu, L.. 2004. Antioxidant Properties of Bran Extracts from Trego Wheat Grown at Different Location. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52: 1112-1117.

Zhou, Y., Lips, A., Nanavaty, F. S. and Bartolone, J. B. 2003. Stabilization of Ferulic Acid in Cosmetic Formulations. United States Patent. 6: 632,444.

Zhou, Z. Xiaoshan, C. Zhang, M. and Blanchard, C.. 2014. Phenolics, Flavonoids, Proanthocyanidin and Antioxidant Activity of Brown Rice with Different Pericarp Colors Following Storage. Journal of Stored Products Research. 59: 120-125.

Zlotek, U., Mikulska, S., Nagajek, M. and Swieca, M.. 2016. The Effect of Different Solvents and Number of Extraction Steps on the Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of Basil Leaves (*Ocimum basilicum L.*) Extracts. Saudi Journal of Biological Sciences. 23(5): 628-633.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารละลายมาตรฐานและรีเอเจนต์ทดสอบ

1. สารสะลายมาตรฐานกรดแกลลิก

ชั่งกรดแกลลิก 5 มิลลิกรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water 5 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้น 1000 ไมโครลิตร

เช่นเดียวกับการเตรียมสารมาตรฐานกรดวานิลิก กรดเฟอร์รูริค และกรดซินนามิค แต่กรดคลอโรจินิค กรดไซริงจิค และกรดคูมาริก จะต้องละลายด้วยเอธานอล 1 มิลลิลิตรก่อนปรับด้วยน้ำ Distilled water จนครบ 5 มิลลิลิตร

2. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 10 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

3. สารละลายมาตรฐาน 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox)

ชั่ง Trolox 2 มิลลิกรัม ละลายด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Distilled water เป็น 5 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน Trolox ที่มีความเข้มข้น 400 ไมโครลิตร

4. สารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrydrazyl radical (DPPH)

ชั่ง DPPH 4.3375 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน DPPH ที่มีความเข้มข้น 0.22 มิลลิโมลาร์

5. สารละลาย 2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ($ABTS^+$)

ชั่ง $ABTS^+$ 0.1920 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร นำสารละลาย $ABTS^+$ ที่ได้มาเติมแมงกานีสไดออกไซด์ 0.0332 กรัม คนผสมให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 30 นาที ในที่มืด ทิ้งไว้ 16 ชั่วโมง

ก่อนทำการวิเคราะห์ให้เจือจางสารละลาย $ABTS^+$ ด้วยน้ำ Distilled water ให้มีค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร อยู่ในช่วง 0.700±0.020 ที่การดูดกลืนแสงที่ และเตรียมสารละลาย $ABTS^+$ ใหม่ ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์

6. สารละลาย Ferric reducing/antioxidant power (FRAP)

1) เตรียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ (pH= 3.6)

ชั่งโซเดียมอะซิเตต 3.1 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water เติมกรดอะซิติกเข้มข้น (glacial acetic acid) 16 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ Distilled water เป็น 1 ลิตร

2) เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3.31 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำ Distilled water จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3) เตรียมสารละลาย FRAP

ชั่งสารเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.1082 กรัม ละลายในน้ำ Distilled water 20 มิลลิลิตร จากนั้นชั่ง 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) 0.0624 กรัม ละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ 20 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งสองมาผสมกับอะซิเตตบัฟเฟอร์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย FRAP ปริมาตร 240 มิลลิลิตร เตรียมสารละลาย FRAP ใหม่ทุกครั้งที่วิเคราะห์

7. กรดไขมันลิโนเลอิก 1 เปอร์เซ็นต์

ชั่งกรดไขมันลิโนเลอิก 0.5 กรัม เติม Tween 40 จำนวน 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water ให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

8. สารละลาย TCA-TBA-HCl

ชั่งกรดไตรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic acid, TCA) 15 กรัม และกรดไทโอบาร์บิทูริก (triobarbituric acid, TBA) 0.3750 กรัม ละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ จากนั้นผสมสารละลายทั้งสองให้เข้ากัน ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 1 คืน นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จะได้สารละลาย TCA-TBA-HCl

9. สารละลายมาตรฐาน Butylated hydroxytoluene (BHT)

ชั่ง BHT 2 มิลลิกรัม ละลายด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Distilled water เป็น 5 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน Trolox ที่มีความเข้มข้น 400 ไมโครลิตร

10. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

ชั่ง $Na_2S_2O_3.H_2O$ มา 2.4817 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้ 0.1 นอร์มอล $Na_2S_2O_3$ เพื่อใช้ในการไตเตรต

11. 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำแป้ง

ชั่ง starch soluble มา 1 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water 100 มิลลิลิตร จากนั้นจึงนำต้มจนใส แล้วจึงใส่ขวดเก็บไว้ในตู้เย็น (เตรียมแล้วใช้ได้ประมาณ 1 เดือนหรือจนกว่าจะเสียสภาพ

12. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว (KI)

นำผง KI มาละลายในน้ำ Distilled water จนกว่าจะไม่ละลาย

13. สารละลาย 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (MDA)

การผสม 1,1,3,3-Tetraethoxypropane 24.47 ไมโครลิตร ใน Distilled water 950 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก 5-6 หยด แล้วปรับปริมาตรด้วย Distilled water ให้ครบ 1000 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

14. สารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่งสารละลายเปปโตน 0.1 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

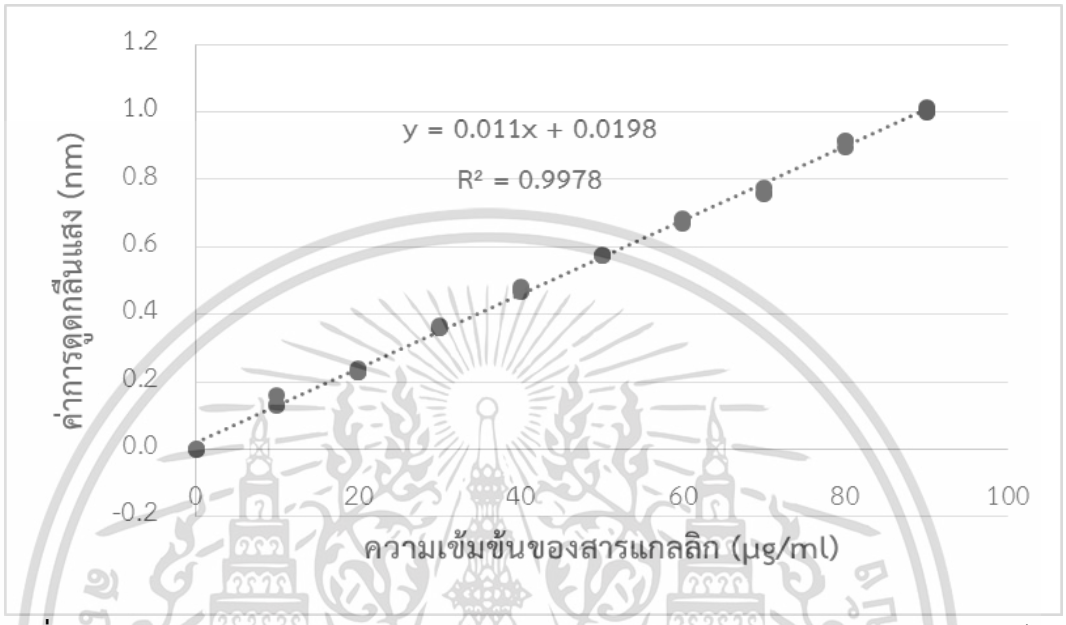
15. อาหาร Plate Count Agar (PCA)

ชั่ง PCA มา 23.5 กรัม ละลายด้วยน้ำ Distilled water 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

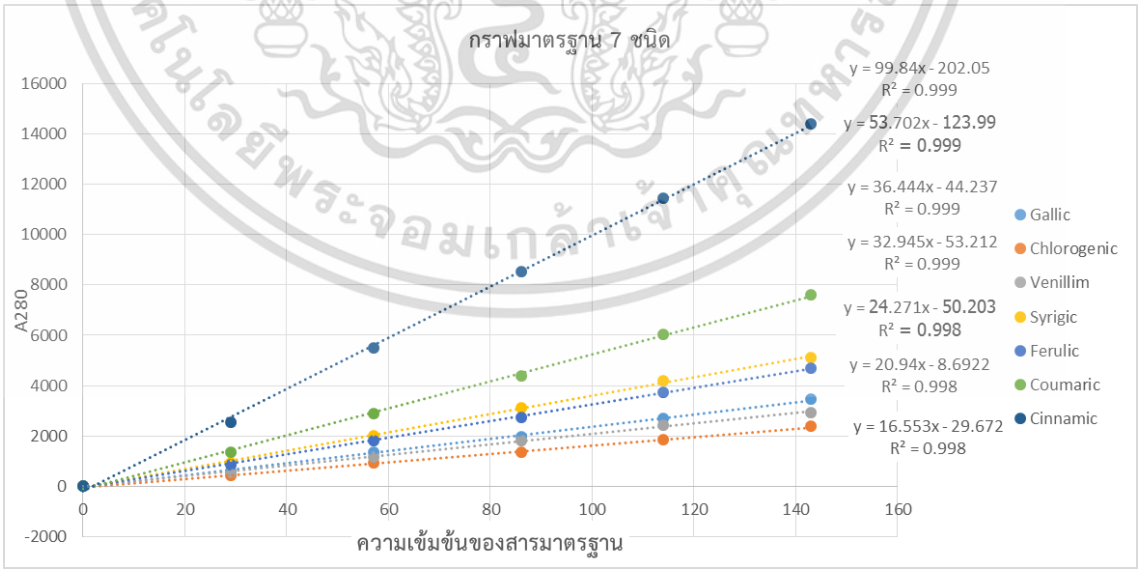
ภาคผนวก ข
กราฟมาตรฐาน

1. ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (TPC)



ภาพที่ ข1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของสารแกลลิก (µg/ml) ได้สมการตรง y = 0.2496x

2. ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (TPC) ด้วย HPLC

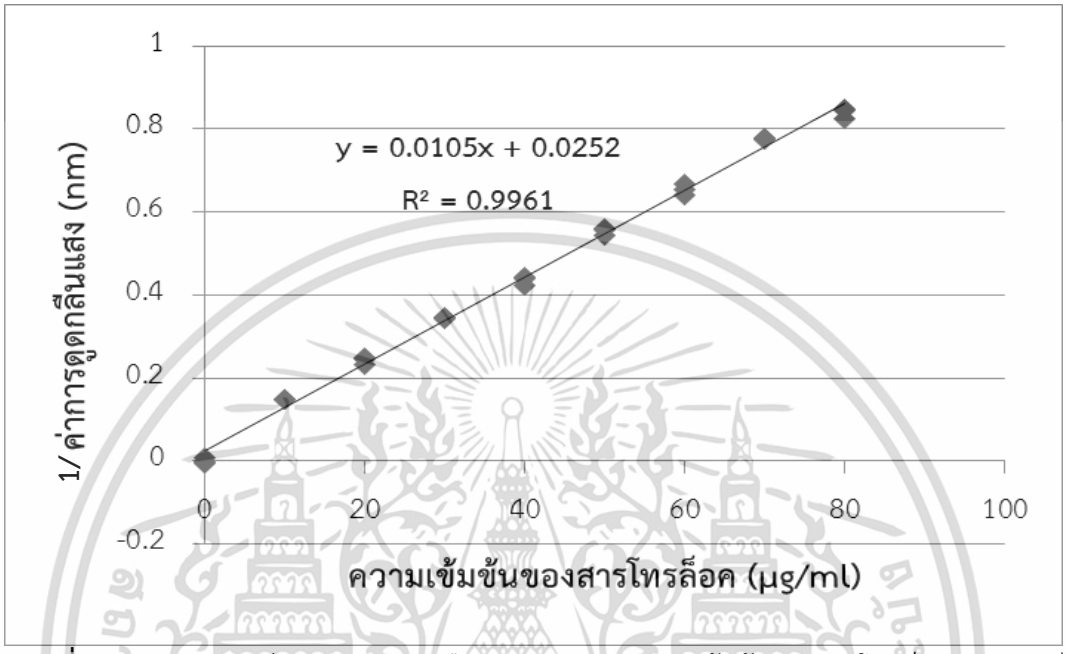


ภาพที่ ข2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 7 ชนิด (µg/ml) ได้สมการตรง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

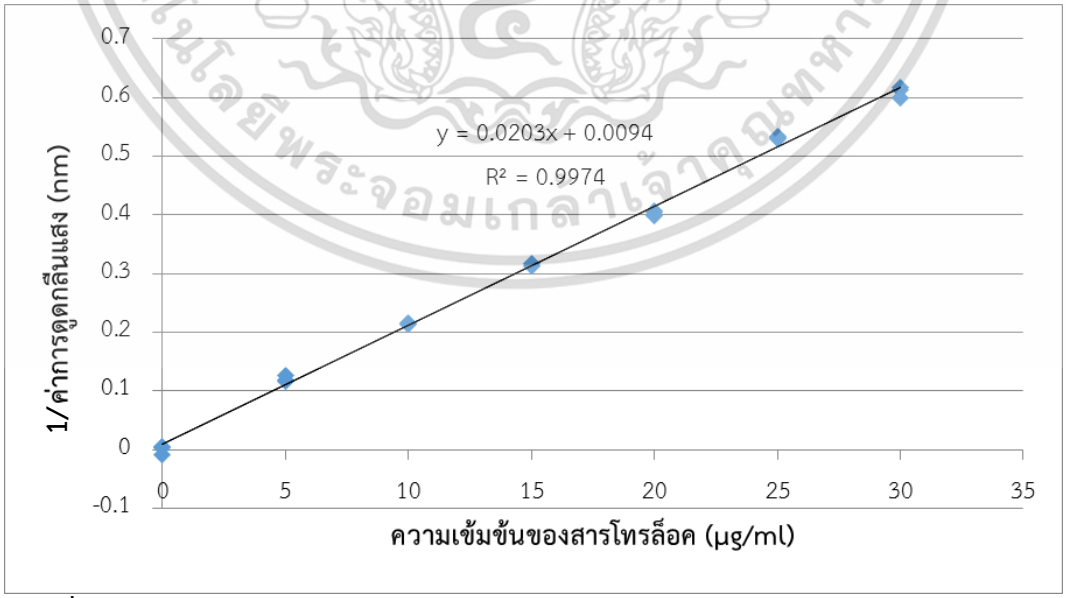
กรดแกลลิค สมการตรง y = 23.801x, กรดคลอโรจินิค สมการตรง y = 16.276x, กรดวานิลิก สมการตรง y = 20.865x, กรดไซริงจิค สมการตรง y = 36.036x, กรดเฟอร์รูริค สมการตรง y = 32.449, กรดคูมาริก สมการตรง y = 52.539x และกรดซินนามิค สมการตรง y = 99.84x

3. ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH



ภาพที่ ข3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของสารโทรล็อค (µg/ml) ได้สมการตรง y = 0.0105x

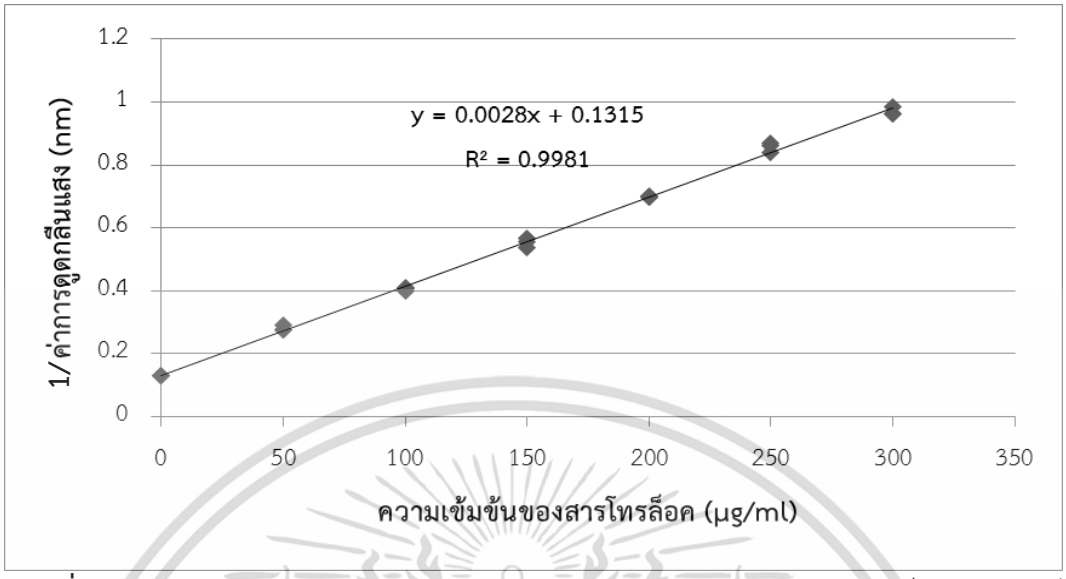
4. ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ ABTS $^{+}$



ภาพที่ ข4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของสารโทรล็อค (µg/ml) ได้สมการตรง y = 0.0203x

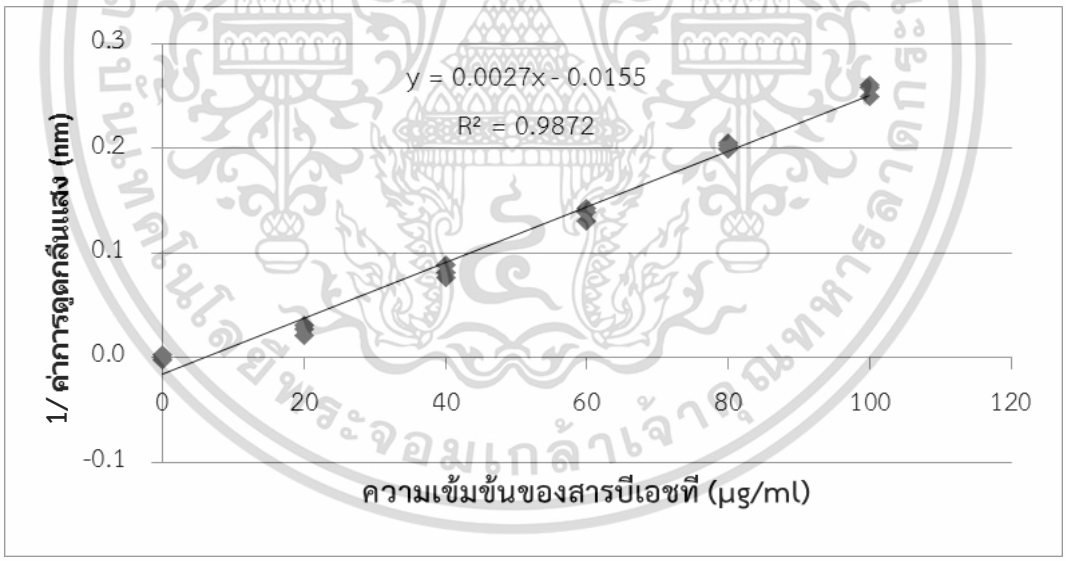
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP)



ภาพที่ ข5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของสารโทรล็อค (µg/ml) ได้สมการตรง y = 0.0028x

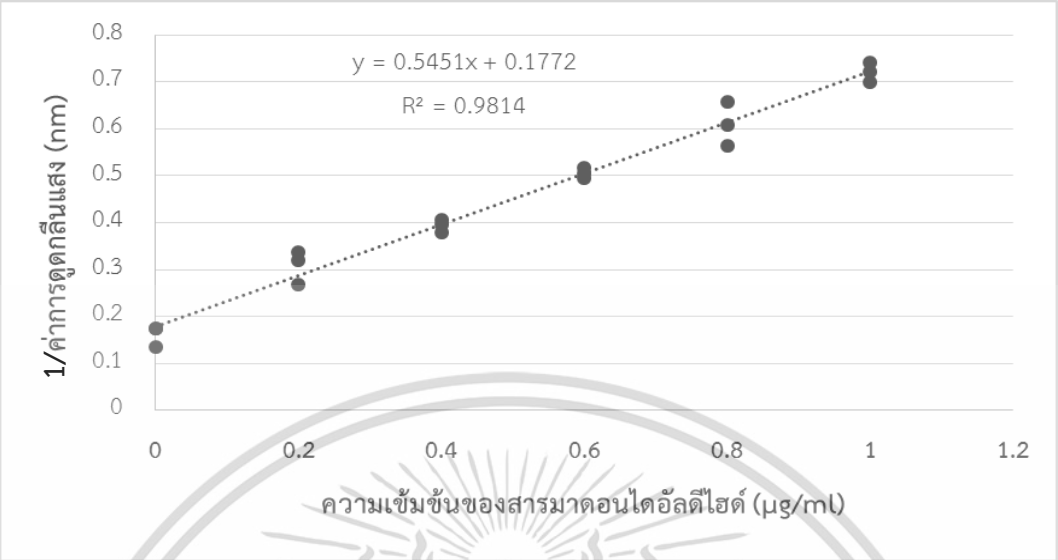
6. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ant-TBARs



ภาพที่ ข6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของสารบีเอชที (µg/ml) ได้สมการตรง y = 0.0027x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)



ภาพที่ ข7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (µg/ml) ได้สมการตรง y = 0.5451x

การคำนวณ ปริมาณสารที่พบในตัวอย่าง โดยใช้กราฟมาตรฐาน สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณสารสำคัญ (µg/g wet basis)} = \frac{\text{Total dilution factor} \times A}{m \times \text{น้ำหนักพืชตัวอย่าง}}$$

หมายเหตุ m คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การศึกษาความคงตัวของการสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน ต่อชนิดและปริมาณสารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ตารางที่ ค1 ผลของพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่อความคงตัวของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุยในสภาวะต่างๆ

ตัวทำละลาย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	TPC	DPPH	ABTS	FRAP	Ant-TBARs
เอทานอล	5	60	85.37±1.15^{a,A}	120.53±1.42^{a,A}	28.44±0.80^{a,B}	241.88±0.83^{b,B}	838.91±1.55^{a,B}
		70	79.84±1.27^{a,A}	111.01±1.33^{a,A}	26.54±0.12^{b,B}	227.42±2.30^{c,A}	759.62±0.44^{ab,B}
		80	62.36±2.82^{cd,AB}	88.16±0.93^{b,AB}	23.97±1.24^{c,B}	205.66±1.51^{e,A}	719.31±1.99^{b,B}
	6	60	62.21±0.98^{b,DE}	100.79±1.44^{a,B}	25.78±0.09^{a,BC}	198.28±1.51^{ab,CD}	873.02±1.55^{a,B}
		70	54.82±1.22^{c,C}	94.86±1.18^{a,B}	24.14±0.09^{bc,BC}	179.98±1.28^{c,BC}	812.97±1.17^{ab,B}
		80	50.86±0.30^{d,C}	92.59±0.49^{a,A}	22.86±0.90^{cd,B}	152.07±1.00^{d,BC}	744.29±1.33^{b,B}
	7	60	59.55±0.80^{c,EF}	104.13±1.02^{a,B}	36.08±0.36^{a,A}	152.78±0.83^{bc,E}	1111.78±2.34^{a,A}
		70	49.55±0.61^{ef,D}	84.30±0.99^{b,C}	32.39±1.05^{ab,A}	111.77±1.05^{d,E}	1080.25±0.82^{a,A}
		80	46.30±2.43^{g,CD}	80.83±0.32^{b,B}	29.43±0.23^{b,A}	102.22±1.00^{d,D}	1054.08±2.63^{a,A}

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ตัวทำละลาย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	TPC	DPPH	ABTS	FRAP	Ant-TBARs
อะซิโตน	5	60	73.03±0.29^{b,BC}	64.30±0.25^{c,C}	24.19±0.31^{c,C}	217.69±0.62^{d,C}	469.10±1.11^{cd,E}
		70	68.36±0.29^{bc,B}	62.80±0.47^{c,D}	22.24±0.12^{d,CD}	178.25±1.82^{f,BC}	417.79±1.69^{d,E}
		80	65.31±0.17^{c,AB}	55.69±0.27^{c,C}	20.46±0.31^{e,CD}	142.97±1.46^{g,C}	409.42±0.87^{d,D}
	6	60	69.64±1.67^{a,C}	61.04±0.11^{b,C}	25.27±0.76^{ab,C}	196.88±1.53^{ab,CD}	497.86±1.35^{cd,DE}
		70	68.92±0.29^{a,B}	56.82±0.06^{b,E}	23.47±0.41^{c,CD}	190.38±0.23^{b,B}	474.46±1.59^{d,DE}
		80	67.30±0.13^{a,A}	55.29±0.17^{b,C}	21.50±0.18^{d,BCD}	166.12±1.23^{c,B}	494.45±0.87^{cd,CD}
	7	60	75.41±2.30^{a,B}	45.36±0.23^{c,D}	23.65±1.16^{c,C}	189.82±0.62^{a,D}	623.22±0.64^{cde,C}
		70	69.14±0.27^{b,B}	39.49±0.19^{d,F}	20.82±1.43^{c,D}	196.19±0.84^{ab,C}	594.40±2.79^{de,C}
		80	60.50±0.43^{c,B}	37.10±0.11^{de,D}	19.60±0.29^{c,D}	152.49±0.62^{bc,BC}	551.60±0.73^{e,C}

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

ตัวทำละลาย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	TPC	DPPH	ABTS	FRAP	Ant-TBARs
น้ำ	5	60	56.39±0.78^{de,F}	43.94±0.16^{d,D}	13.73±1.09^{f,D}	272.58±1.02^{a,A}	556.54±0.64^{c,CDE}
		70	49.97±0.42^{e,D}	39.47±0.45^{d,F}	13.18±0.73^{f,E}	230.76±1.02^{c,A}	546.19±1.06^{c,CD}
		80	42.27±0.34^{f,D}	36.87±2.36^{d,D}	10.93±1.51^{g,D}	199.13±1.30^{e,A}	528.23±0.87^{c,C}
	6	60	63.89±0.51^{b,D}	45.17±9.06^{c,D}	14.82±1.17^{e,D}	205.80±1.02^{a,CD}	592.01±1.06^{c,CD}
		70	53.09±0.58^{d,CD}	39.38±0.39^{cd,F}	13.81±0.60^{e,E}	188.94±1.24^{bc,B}	577.95±0.73^{c,C}
		80	42.21±0.13^{e,D}	35.47±0.19^{d,D}	11.90±0.08^{f,D}	152.78±0.81^{d,BC}	555.85±1.75^{cd,C}
	7	60	56.76±1.19^{d,F}	37.42±0.19^{de,D}	13.84±0.47^{d,D}	152.20±0.62^{bc,E}	800.80±1.06^{b,B}
		70	51.69±0.71^{e,CD}	33.72±0.00^{ef,G}	12.61±0.38^{d,E}	131.03±0.62^{cd,D}	724.43±1.21^{bc,B}
		80	48.49±1.01^{fg,C}	31.93±0.11^{f,D}	11.99±0.29^{d,D}	109.60±0.40^{d,D}	698.92±0.84^{bcd,B}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

หน่วย: TPC คือ มิลลิกรัม (สมมูลแกลลิค) ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง, DPPH ABTS FRAP คือ มิลลิกรัม (สมมูลโทรล็อค) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง) และ Ant-TBARs คือ มิลลิกรัม (สมมูลบีเอชที) ต่อกรัมสารสกัดแห้ง)

ตารางที่ ค2 สารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดสมุยด้วยตัวทำละลายต่างๆ ในพีเอชและสภาวะการให้ความร้อนต่างๆ

ตัวทำละลาย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	Gallic acid	Chlorogenic acid	Venilin acid	Syrigic acid	Ferulic acid	Coumaric acid	Cinnamic acid
เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์	5	60	3.48±0.15^{e,D}	20.82±0.90^{c,E}	7.01±0.18^{e,CD}	3.10±0.12^{c,BC}	21.27±4.41^{a,A}	1.33±0.09^{b,B}	1.45±0.02^{d,D}
		70	ND	17.86±0.73^{d,C}	5.87±0.57^{f,C}	2.92±0.21^{c,C}	22.59±0.44^{a,A}	1.38±0.15^{b,A}	1.41±0.06^{d,D}
		80	0.51±0.56^{f,E}	16.95±3.15^{d,A}	4.85±0.59^{g,DE}	2.98±0.44^{c,C}	21.77±3.65^{a,A}	1.03±0.03^{c,A}	1.47±0.08^{d,D}
	6	60	2.55±0.17^{d,E}	17.08±2.40^{b,F}	3.74±0.29^{f,E}	2.38±0.15^{e,D}	13.98±0.53^{a,A}	0.70±0.02^{a,C}	0.79±0.10^{e,E}
		70	1.44±1.58^{e,F}	14.08±1.19^{c,D}	4.25±0.26^{ef,D}	1.54±0.27^{f,E}	13.14±1.57^{ab,B}	ND	0.67±0.04^{e,G}
		80	1.32±1.45^{e,D}	13.27±1.28^{cd,B}	3.92±0.61^{f,E}	1.53±0.16^{f,F}	12.13±2.00^{b,B}	ND	0.73±0.03^{e,G}
	7	60	2.43±0.22^{e,E}	16.58±0.66^{e,F}	0.30±0.74^{d,F}	1.47±0.26^{c,E}	6.08±0.15^{b,C}	ND	0.74±0.05^{f,E}
		70	2.62±0.28^{e,E}	14.67±0.36^{e,D}	1.22±1.90^{d,E}	1.51±0.09^{c,E}	5.26±0.17^{d,D}	ND	0.61±0.04^{f,G}
		80	2.61±0.17^{e,C}	13.81±0.37^{e,B}	0.25±0.60^{d,F}	1.39±0.12^{c,F}	4.64±0.39^{d,D}	ND	0.64±0.04^{f,G}

ตารางที่ ค2 (ต่อ)

ตัวทำละลาย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	Gallic acid	Chlorogenic acid	Venilin acid	Syrigic acid	Ferulic acid	Coumaric acid	Cinnamic acid
อะซิโตน 60 เปอร์เซ็นต์	5	60	4.38±0.61^{d,C}	44.81±2.99^{a,A}	7.71±0.27^{d,C}	4.06±0.34^{b,A}	3.68±0.37^{c,D}	2.29±0.05^{a,A}	1.86±0.11^{c,C}
		70	7.97±0.19^{a,B}	13.42±1.01^{e,D}	13.82±0.99^{a,A}	6.94±0.54^{a,A}	10.51±0.60^{c,C}	ND	3.47±0.28^{a,B}
		80	6.95±0.76^{b,A}	12.59±1.13^{e,B}	13.28±0.44^{a,B}	7.22±0.13^{a,A}	8.32±0.78^{c,C}	ND	3.04±0.15^{b,B}
	6	60	3.21±0.19^{d,D}	35.51±0.77^{a,B}	15.91±0.22^{a,A}	3.97±0.08^{c,A}	4.27±0.37^{d,CD}	ND	1.32±0.02^{c,D}
		70	9.56±0.59^{a,A}	10.58±0.95^{f,E}	8.18±0.82^{b,B}	6.19±0.25^{a,B}	13.27±1.65^{ab,B}	ND	1.96±0.22^{a,C}
		80	5.78±0.50^{c,B}	6.20±0.06^{h,C}	5.55±0.01^{c,D}	4.28±0.30^{b,B}	7.65±0.29^{c,C}	ND	1.48±0.06^{b,D}
	7	60	6.23±0.34^{b,B}	30.35±2.16^{b,C}	16.87±2.97^{a,A}	2.12±0.08^{b,D}	5.88±0.79^{b,C}	ND	4.98±0.42^{a,A}
		70	5.13±0.23^{d,}D	23.12±0.55^{d,B}	7.49±1.08^{c,B}	5.84±0.85^{a,B}	4.22±0.36^{d,D}	ND	3.68±0.01^{b,A}
		80	5.55±0.10^{c,B}	17.62±2.01^{c,A}	14.86±2.38^{b,A}	1.90±0.06^{b,E}	3.77±1.01^{b,DE}	ND	3.33±0.02^{c,A}

ตารางที่ ค2 (ต่อ)

ตัวทำละลาย	พีเอช	อุณหภูมิ (C°)	Gallic acid	Chlorogenic acid	Venilin acid	Syrigic acid	Ferulic acid	Coumaric acid	Cinnamic acid
น้ำ	5	60	4.07±0.07^{d,C}	26.08±2.31^{b,D}	12.24±0.68^{b,B}	2.85±0.53^{cd,C}	3.42±0.35^{c,D}	ND	0.94±0.16^{e,E}
		70	5.38±0.11^{c,D}	25.85±2.50^{b,A}	8.44±0.70^{c,B}	2.45±0.17^{de,D}	2.60±0.78^{b,E}	ND	0.85±0.07^{e,F}
		80	ND	17.37±1.83^{d,A}	6.65±0.25^{e,C}	2.33±0.52^{e,D}	2.65±0.38^{b,E}	ND	0.94±0.11^{e,F}
	6	60	7.47±0.31^{b,A}	12.25±0.57^{de,G}	5.21±0.42^{cd,DE}	3.38±0.31^{d,B}	2.42±0.03^{e,D}	ND	1.49±0.05^{b,D}
		70	ND	11.55±0.34^{ef,E}	4.87±0.88^{de,CD}	2.37±0.01^{e,D}	2.59±0.00^{e,E}	ND	1.21±0.13^{c,E}
		80	ND	8.10±0.67^{g,C}	4.81±0.29^{de,DE}	2.18±0.06^{e,DE}	2.32±0.23^{e,E}	ND	1.05±0.12^{d,E}
	7	60	6.57±0.78^{ab,B}	8.95±0.70^{ab,H}	ND	ND	2.79±0.02^{c,D}	ND	2.28±0.09^{d,B}
		70	6.72±0.12^{a,C}	8.15±0.31^{a,F}	ND	ND	2.91±0.35^{a,E}	ND	2.00±0.10^{e,C}
		80	5.74±0.43^{c,B}	8.05±0.48^{c,C}	ND	ND	2.64±0.20^{b,E}	ND	2.02±0.07^{e,C}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค3 ANOVA ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Sovent	TPC	7830.792	2	3915.396	263.078	0.000
	DPPH	102856.144	2	51428.072	1061.364	0.000
	ABTS	6026.148	2	3013.074	540.088	0.000
	FRAP	1815.659	2	907.830	3.734	0.026
	TBARs	4201870.923	2	2100935.46	286.753	0.000
	Gallic	476.072	2	238.036	819.938	0.000
	Chlorogenic	1616.887	2	808.443	363.182	0.000
	Venillin	2024.414	2	1012.207	1074.163	0.000
	Syrigic	289.735	2	144.867	1606.396	0.000
	Ferulic	3164.382	2	1582.191	881.885	0.000
	Coumarin	6.549	2	3.275	2694.104	0.000
	Cinnamic	99.074	2	49.537	2840.766	0.000
pH	TPC	1562.313	2	781.156	52.486	0.000
	DPPH	5730.512	2	2865.256	59.133	0.000
	ABTS	125.458	2	62.729	11.244	0.000
	FRAP	139312.975	2	69656.488	286.523	0.000
	TBARs	1496350.429	2	748175.214	102.117	0.000
	Gallic	60.101	2	30.050	103.511	0.000
	Chlorogenic	1723.863	2	861.932	387.211	0.000
	Venillin	512.127	2	256.063	271.737	0.000
	Syrigic	145.415	2	72.708	806.235	0.000
	Ferulic	1151.079	2	575.539	320.795	0.000
	Coumarin	14.496	2	7.248	5963.166	0.000
	Cinnamic	30.733	2	15.367	881.219	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค3 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temp	TPC	4535.239	2	2267.619	152.363	0.000
	DPPH	3978.318	2	1989.159	41.052	0.000
	ABTS	366.930	2	183.465	32.886	0.000
	FRAP	65974.043	2	32987.022	135.688	0.000
	TBARs	125135.194	2	62567.597	8.540	0.000
	Gallic	55.914	2	27.957	96.300	0.000
	Chlorogenic	3457.999	2	1729.000	776.729	0.000
	Venillin	97.496	2	48.748	51.732	0.000
	Syrigic	17.201	2	8.601	95.370	0.000
	Ferulic	68.625	2	34.313	19.125	0.000
	Coumarin	4.330	2	2.165	1781.397	0.000
	Cinnamic	0.599	2	0.299	17.175	0.000
pH * Temp	TPC	113.247	4	28.312	1.902	0.114
	DPPH	550.679	4	137.670	2.841	0.027
	ABTS	8.975	4	2.244	0.402	0.807
	FRAP	2934.794	4	733.699	3.018	0.020
	TBARs	2411.803	4	602.951	0.082	0.988
	Gallic	21.989	4	5.497	18.936	0.000
	Chlorogenic	505.097	4	126.274	56.727	0.000
	Venillin	110.351	4	27.588	29.276	0.000
	Syrigic	15.813	4	3.953	43.837	0.000
	Ferulic	78.893	4	19.723	10.993	0.000
	Coumarin	4.191	4	1.048	862.049	0.000
	Cinnamic	6.953	4	1.738	99.683	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค3 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Sovent * pH	TPC	843.800	8	105.475	7.087	0.000
* Temp	DPPH	883.979	8	110.497	2.280	0.025
	ABTS	19.877	8	2.485	0.445	0.892
	FRAP	3920.576	8	490.072	2.016	0.049
	TBARs	29974.252	8	3746.781	0.511	0.846
	Gallic	259.279	8	32.410	111.639	0.000
	Chlorogenic	706.183	8	88.273	39.655	0.000
	Venillin	616.104	8	77.013	81.727	0.000
	Syrigic	21.615	8	2.702	29.961	0.000
	Ferulic	141.776	8	17.722	9.878	0.000
	Coumarin	11.140	8	1.393	1145.711	0.000
	Cinnamic	10.460	8	1.307	74.980	0.000
Sovent * pH	TPC	4515.541	4	1128.885	75.850	0.000
	DPPH	1525.306	4	381.326	7.870	0.000
	ABTS	605.666	4	151.416	27.141	0.000
	FRAP	53415.428	4	13353.857	54.929	0.000
	TBARs	165824.630	4	41456.157	5.658	0.000
	Gallic	112.641	4	28.160	97.001	0.000
	Chlorogenic	1217.352	4	304.338	136.720	0.000
	Venillin	591.971	4	147.993	157.051	0.000
	Syrigic	28.033	4	7.008	77.714	0.000
	Ferulic	1459.387	4	364.847	203.359	0.000
	Coumarin	8.295	4	2.074	1706.138	0.000
	Cinnamic	41.918	4	10.479	600.960	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค3 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Sovent *	TPC	297.373	4	74.343	4.995	0.001
Temp	DPPH	1144.024	4	286.006	5.903	0.000
	ABTS	23.524	4	5.881	1.054	0.382
	FRAP	896.949	4	224.237	0.922	0.453
	TBARs	16918.548	4	4229.637	0.577	0.680
	Gallic	199.047	4	49.762	171.409	0.000
	Chlorogenic	3313.148	4	828.287	372.096	0.000
	Venillin	69.304	4	17.326	18.386	0.000
	Syrigic	67.161	4	16.790	186.182	0.000
	Ferulic	144.452	4	36.113	20.129	0.000
	Coumarin	3.674	4	0.918	755.607	0.000
	Cinnamic	1.845	4	0.461	26.445	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 35 วัน

ตารางที่ ค4 ความสว่าง (*L**) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	*L**					
	0^{ns}	7	14	21	28	35^{ns}
ควบคุม	61.55±0.37^{a,A}	60.15±0.80^{a,B}	59.29±0.50^{a,BC}	58.71±1.03^{a,C}	58.46±1.42^{a,C}	56.10±0.97^{a,D}
บีเอชที	59.79±0.08^{b,A}	59.38±0.32^{ab,A}	58.48±0.55^{ab,AB}	58.09±0.28^{ab,ABC}	56.54±0.38^{b,BC}	55.94±3.65^{a,C}
สารสมุย 100 พีพีเอ็ม	60.21±0.75^{b,A}	58.75±0.81^{bc,AB}	57.72±1.19^{b,AB}	56.93±1.38^{b,BC}	56.21±0.62^{b,BC}	54.97±3.29^{a,C}
สารสมุย 500 พีพีเอ็ม	60.03±1.43^{b,A}	58.00±0.41^{c,AB}	57.68±0.60^{b,AB}	57.13±0.54^{b,B}	56.73±0.45^{b,B}	53.65±3.64^{a,C}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค5 ค่า *a** ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	*a**					
	0^{ns}	7^{ns}	14^{ns}	21^{ns}	28^{ns}	35^{ns}
ควบคุม	3.21±0.51^{a,A}	3.35±0.74^{a,A}	3.40±0.82^{a,A}	3.66±0.72^{a,A}	4.21±0.96^{a,A}	3.27±1.55^{a,A}
บีเอชที	2.64±0.36^{a,A}	3.38±0.61^{a,A}	3.20±0.93^{a,A}	3.76±1.37^{a,A}	2.98±0.67^{b,A}	2.96±0.89^{a,A}
สารสมุย 100 พีพีเอ็ม	2.82±0.91^{a,A}	3.03±0.36^{a,A}	2.99±0.28^{a,A}	2.76±0.82^{a,A}	2.76±0.37^{b,A}	2.93±0.60^{a,A}
สารสมุย 500 พีพีเอ็ม	2.97±0.57^{a,A}	3.08±0.84^{a,A}	2.65±0.49^{a,A}	2.81±1.05^{a,A}	2.85±0.58^{b,A}	2.66±0.89^{a,A}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค6 ค่า *b** ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยและตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	*b**					
	0^{ns}	7^{ns}	14^{ns}	21^{ns}	28^{ns}	35^{ns}
ควบคุม	17.44±0.33^{a,A}	16.99±0.71^{a,A}	16.82±0.30^{a,A}	16.16±0.58^{a,AB}	16.47±1.06^{a,A}	14.65±2.03^{a,B}
บีเอชที	17.50±0.72^{a,A}	17.25±0.80^{a,A}	16.76±0.84^{a,A}	16.35±1.02^{a,AB}	16.48±1.09^{a,AB}	14.54±2.65^{a,B}
สารสมุยผง 100 พีพีเอ็ม	17.52±0.05^{a,A}	17.15±0.67^{a,A}	17.36±0.80^{a,A}	16.72±0.65^{a,AB}	16.65±0.72^{a,AB}	14.81±2.68^{a,B}
สารสมุยผง 500 พีพีเอ็ม	16.62±1.16^{a,A}	17.30±0.58^{a,A}	16.51±0.93^{a,A}	16.46±0.95^{a,A}	16.37±0.33^{a,A}	14.32±2.01^{a,B}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ภาพที่ ค1: ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไส้กรอกหมูระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 35 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A B C D

A B C D

ภาพที่ ค1: (ต่อ)

หมายเหตุ: A คือ ไส้กรอกควบคุม, B คือ ไส้กรอกหมูที่เติมบีเอชที 100 พีพีเอ็ม, C คือ ไส้กรอกหมูที่สารสกัดสมุย 100 พีพีเอ็ม และ D คือ ไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค7 ค่าความแข็ง (Hardness) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	Hardness (นิวตัน)					
	0	7	14	21^{ns}	28^{ns}	35^{ns}
ควบคุม	7890±570.76^{a,B}	6888±437.15^{c,C}	7676±380.47^{a,AB}	8463±791.65^{a,AB}	9210±577.08^{a,A}	8858±608.68^{a,A}
บีเอชที	8207±552.84^{a,A}	8346±877.22^{ab,A}	8112±841.13^{a,A}	8933±966.00^{a,A}	9159±1184.50^{a,A}	9236±464.21^{a,A}
สารสมุย100 พีพีเอ็ม	8535±1462.63^{a,A}	7668±300.80^{bc,A}	8561±224.29^{a,A}	8509±525.27^{a,A}	8614±1285.92^{a,A}	9669±2372.42^{a,A}
สารสมุย 500 พีพีเอ็ม	9706±2721.74^{a,AB}	8928±1030.58^{a,AB}	7711±568.25^{a,B}	10125±2385.30^{ab,A}	8581±1470.68^{a,AB}	11354±3376^{a,A}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค8 ค่าการยืดหยุ่น (Springiness) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 35 วัน

ไส้กรอกหมู	Springiness					
	0	7^{ns}	14	21^{ns}	28	35^{ns}
ควบคุม	0.92±0.03^{a,A}	0.94±0.02^{a,A}	0.94±0.01^{c,A}	0.93±0.02^{a,A}	0.81±0.03^{a,B}	0.93±0.03^{a,A}
บีเอชที	0.91±0.04^{a,A}	0.94±0.01^{a,A}	0.95±0.00^{b,A}	0.95±0.01^{a,A}	0.85±0.03^{a,B}	0.95±0.01^{a,A}
สารสมุย 100 พีพีเอ็ม	0.90±0.07^{a,B}	0.94±0.00^{a,AB}	0.95±0.01^{bc,A}	0.94±0.00^{a,AB}	0.82±0.02^{a,C}	0.95±0.01^{a,A}
สารสมุย 500 พีพีเอ็ม	0.89±0.08^{a,AB}	0.93±0.00^{a,AB}	0.96±0.01^{a,AB}	0.94±0.01^{a,AB}	0.84±0.01^{a,B}	1.13±0.40^{a,A}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค9 ค่าการยึดเกาะ (Cohesiveness) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	Cohesiveness					
	0^{ns}	7^{ns}	14^{ns}	21^{ns}	28^{ns}	35^{ns}
ควบคุม	$0.79\pm0.06^{a,A}$	$0.82\pm0.06^{a,A}$	$0.83\pm0.04^{a,A}$	$0.78\pm0.03^{a,A}$	$0.81\pm0.03^{a,A}$	$0.78\pm0.06^{a,A}$
บีเอชที	$0.81\pm0.04^{a,A}$	$0.81\pm0.04^{a,A}$	$0.85\pm0.02^{a,A}$	$0.81\pm0.03^{a,A}$	$0.85\pm0.03^{a,A}$	$0.82\pm0.03^{a,A}$
สารสมุย 100 พีพีเอ็ม	$0.80\pm0.04^{a,A}$	$0.81\pm0.01^{a,A}$	$0.83\pm0.01^{a,A}$	$0.80\pm0.02^{a,A}$	$0.82\pm0.02^{a,A}$	0.81 ± 0.03^{aA}
สารสมุย 500 พีพีเอ็ม	$0.81\pm0.05^{a,A}$	$0.82\pm0.02^{a,A}$	0.87 ± 0.05^{aA}	$0.81\pm0.01^{a,A}$	$0.84\pm0.01^{a,A}$	$0.87\pm0.15^{a,A}$

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค10 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	0	7	14^{ns}	21^{ns}	28	35
ควบคุม	$3.60\pm1.65^{a,C}$	$5.82\pm2.15^{a,BC}$	$8.19\pm2.34^{a,AB}$	$10.44\pm3.16^{a,AB}$	$11.55\pm4.00^{a,A}$	$12.23\pm3.83^{a,A}$
บีเอชที	$2.87\pm1.69^{a,BC}$	$4.06\pm2.64^{a,AB}$	$5.39\pm3.21^{a,AB}$	$6.94\pm4.34^{a,AB}$	$7.91\pm4.01^{ab,AB}$	$9.03\pm4.07^{a,AB}$
สารสมุย 100 พีพีเอ็ม	$2.33\pm1.56^{a,B}$	$3.58\pm2.43^{a,AB}$	$4.62\pm2.66^{a,AB}$	$5.23\pm3.39^{a,AB}$	$6.51\pm2.51^{ab,AB}$	$7.20\pm3.49^{ab,A}$
สารสมุย 500 พีพีเอ็ม	$2.23\pm1.66^{a,A}$	$3.36\pm2.29^{a,A}$	$4.55\pm3.02^{a,A}$	$4.66\pm3.28^{a,A}$	$4.87\pm3.45^{b,a}$	$5.93\pm2.98^{b,A}$

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค11 ปริมาณ Thio barbituric acid reactive substances (TBARs) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	ปริมาณ TBARS (มิลลิกรัม (มาลอนไดอัลดีไฮด์) ต่อกิโลกรัม)					
	0	7	14	21	28	35
ควบคุม	0.44±0.10^{a,C}	0.54±0.29^{a,BC}	0.92±0.09^{ab,BC}	1.04±0.24^{a,BC}	1.13±0.11^{a,B}	1.85±0.87^{a,A}
บีเอชที	0.40±0.10^{a,C}	0.64±0.17^{a,BC}	1.05±0.40^{a,ABC}	1.10±0.15^{a,AB}	1.14±0.46^{a,AB}	1.72±0.80^{ab,A}
สารสกัดสมุย 100 พีพีเอ็ม	0.41±0.20^{a,C}	0.56±0.24^{a,BC}	0.58±0.09^{bc,BC}	0.72±0.17^{b,B}	0.81±0.21^{ab,AB}	1.02±0.17^{ab,A}
สารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม	0.38±0.09^{a,C}	0.34±0.15^{a,C}	0.49±0.12^{c,BC}	0.61±0.11^{b,AB}	0.69±0.12^{b,A}	0.76±0.07^{b,A}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค12 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count, TPC) ของไส้กรอกหมูที่เติมสารสกัดสมุยในระหว่างการเก็บรักษา

ไส้กรอกหมู	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)					
	0	7	14	21	28	35
ควบคุม	3.21±0.28^{a,C}	4.50±0.82^{a,B}	4.74±0.36^{a,AB}	4.64±1.00^{a,BC}	5.03±0.32^{a,AB}	5.56±0.18^{a,A}
บีเอชที	3.24±0.46^{a,C}	3.94±0.45^{ab,BC}	4.89±0.58^{a,A}	4.44±1.00^{a,AB}	4.84±0.37^{ab,A}	5.19±0.36^{ab,A}
สารสกัดสมุย 100 พีพีเอ็ม	3.40±0.68^{a,B}	3.39±0.66^{b,B}	4.65±0.59^{a,A}	4.38±0.49^{a,A}	4.36±0.16^{b,A}	5.10±0.41^{ab,A}
สารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม	3.31±0.39^{a,C}	3.42±0.25^{b,C}	4.19±0.56^{a,B}	4.08±0.31^{a,B}	4.68±0.49^{ab,AB}	4.92±0.28^{b,A}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c เปรียบเทียบแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C เปรียบเทียบแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาววรรณรดา กรึงไกร
วัน เดือน ปี เกิด	5 ตุลาคม 2536
ที่อยู่	54/1 หมู่ที่ 2 ตำบลธารเกษม อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี 18120
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
การนำเสนอผลงาน	Effect of heating condition and pH on stability of total phenolic content and antioxidant activities of samui (*Micromelum minutum*) extract. In Proceedings of the 16th ASEAN Food Conference 2019 " outlook and opportunities of food technology and culinary for tourism industry" (ASEAN 2019), Organized by the Association of Indonesian Food Technology Professionals (PATPI) in conjunction with the ASEAN Network. October 15-18, 2019, Grand Bali Beach Hotel, Sanur Bali, Indonesia.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้