วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.2) May – August 2022 บทความวิจัย

ผลของสารสกัดจากผักพื้นบ้านต่อการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในขนมลากรอบ

Effects of Local Vegetable Extracts on Inhibition of Oxidation Reactions in Crispy Kha Nom Lah Products

จันทิรา วงศ์วิเชียร*, วราศรี แสงกระจ่าง และ จันทิมา คงผอม

Chantira Wongeichian*, Warasri Sangkrajang and Janthima Kongpom

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Food Science and Nutrition Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

Received : 24 August 2021

Revised : 14 January 2022

Accepted : 7 March 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากผักพื้นบ้านต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในขนมลากรอบ โดยทำการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการกำจัด 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) จากผักพื้นบ้าน 5 ชนิด ได้แก่ ผักกูด (*Diplazium esculentum* (Retz.) Sw.) ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb) มันปู (*Glochidion wallichianum* Muell. Arg.) บัวบก (*Centella asiatica* (L.) Urb.) และใบเตยหอม (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) ทำการสกัดตัวอย่างผักพื้นบ้านด้วยน้ำในอัตราส่วนระหว่างผัก : น้ำ เท่ากับ 2 : 1 ผลจากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบมันปูมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือสารสกัดจาก ใบชะพลู ($p \leq 0.05$) แต่ค่า IC_{50} ของสารสกัดใบมันปูและสารสกัดใบชะพลูมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าใบเตย ใบบัวบก และใบผักกูด ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในสารสกัดใบมันปูและสารสกัดใบชะพลูมีคุณประโยชน์น้อยกว่าสารสกัดใบเตยหอม สารสกัดใบบัวบก และสารสกัดใบผักกูด เมื่อเติมสารสกัดจากใบเตยหอมและใบบัวบก (2.5% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) ลงในขนมลากรอบสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยเห็นได้ชัดจากค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value : PV) และค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid value : TBA) ที่ต่ำกว่าตัวอย่างชุดควบคุม เช่นเดียวกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมลากรอบที่เติมสารสกัดทั้งสองชนิด โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในคุณลักษณะด้านกลิ่นของตัวอย่างขนมลากรอบชุดควบคุมต่ำกว่าตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมสาร BHT และตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้งสองชนิด ผลการศึกษาพบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันจากใบเตยหอมและใบบัวบกสามารถลดการเกิดกลิ่นหืนในขนมลากรอบและรักษาคุณภาพของขนมลากรอบที่เก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิทได้นาน 75 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

คำสำคัญ : ใบบัวบก ; ใบเตย ; ขนมลา ; อายุการเก็บรักษา ; กลิ่นหืน

Abstract

This research was aimed to study the effectiveness of local vegetable extracts on inhibiting the oxidation reaction that causes rancidity in crispy Kha Nom Lah. The total phenolic content and the ability to scavenge 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) from 5 different local vegetables, namely Paco fern (*Diplazium esculentum* (Retz.) Sw.), Wildbetal leafbush (*Piper sarmentosum* Roxb), Mun Pu (*Glochidion wallichianum* Muell. Arg.), Asiatic pennywort (*Centella asiatica* (L.) Urb.), and Fragrant pandan (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) were studied. The selected local vegetables were extracted by water with 2 : 1 vegetables to water ratio. The results showed that Mun Pu leaves extract had the highest total phenolic content, followed by the extracts from wildbetal leafbush ($p \leq 0.05$). Whereas the IC_{50} value of Mun Pu leaves extract and wildbetal leafbush leaves extract were higher than that of fragrant pandan, asiatic pennywort, and paco fern ($p \leq 0.05$). However, total phenolic content found in Mun Pu leaves extract and wildbetal leafbush leaves extract had lower values than that of the fragrant pandan leaves extract, asiatic pennywort leaves extract, and paco fern leaves extract. When the extracts from fragrant pandan leaves and asiatic pennywort leaves (2.5% w/w) were added into Kha Nom Lah, they can retard the oxidation reaction as evidenced by lower peroxide value (Peroxide value: PV) and thiobarbituric acid value (Thiobarbituric acid value: TBA) than control. Also, organoleptic quality of crispy Kha Nom Lah with adding both extracts. Score of odor characteristic from the panelist showed lower value in control than crispy Kha Nom Lah added with BHT and water extract of local vegetables. The results of this study showed that the antioxidative phenolic compounds from fragrant pandan leaves and asiatic pennywort leaves can reduce rancidity in the crispy Kha Nom Lah and maintain the quality of Kha Nom Lah stored in sealed aluminum foil for 75 days at room temperature.

Keywords : asiatic pennywort ; fragrant pandan ; Kha Nom Lah ; shelf-Life ; rancidity

***Corresponding author. E-mail :** chantira_won@nstru.ac.th

บทนำ

การผลิตขนมลาของจังหวัดนครศรีธรรมราชนั้นมีชื่อเสียงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคขนมลาโดยทั่วไปทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ ขนมลาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประจำท้องถิ่นที่มีความน่าสนใจเนื่องจากมีประวัติที่เกี่ยวเนื่องกับประเพณีและวัฒนธรรมที่สำคัญของคนใต้จึงทำให้มีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเพื่อการจำหน่ายในประเทศและต่างประเทศ ในปัจจุบันขนมลามีการผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายตลอดทั้งปีไม่ได้ผลิตเพื่อขายแต่เฉพาะช่วงเทศกาลงานประเพณีบุญสารทเดือนสิบเท่านั้น และได้พัฒนารูปแบบของขนมลาให้มีความหลากหลายมากขึ้น นอกจากขนมลาแผ่นและขนมลากรอบแล้วยังมีขนมลาในรูปแบบอื่น ๆ ที่มีวางจำหน่ายทั่วไป ได้แก่ ขนมลา หยอดหน้าฝอยทอง ขนมลาหยอดหน้าช็อคโกแลต ขนมลาม้วนแท่ง ขนมลาน้ำผึ้ง และขนมลางู เป็นต้น โดยมีการปรับแต่งรูปแบบและสีสันแตกต่างกันออกไปเพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคซึ่งสามารถขายเป็นของขวัญของฝากให้กับนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวในจังหวัดนครศรีธรรมราช แต่อย่างไรก็ตามจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในด้านการผลิตและการจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากกลุ่มผู้ประกอบการขนมลาในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเมื่อสินค้ามีอายุครบ 25 วัน ต้องกำจัดทิ้งทันทีไม่สามารถวางจำหน่ายได้ เนื่องจากขนมลาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอดจึงมักประสบกับปัญหาผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืนซึ่งมีสาเหตุสำคัญจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมลามีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าอาหารแห้งชนิดอื่น ๆ โดยทั่วไปขนมลาชนิดแผ่นจะเก็บรักษาได้ไม่เกิน 1 เดือน เพราะเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่อการบริโภค ส่งผลกระทบต่อแผนการตลาดและผู้ผลิตต้องประสบกับปัญหาขาดทุนหากจำหน่ายสินค้าไม่หมดก่อนสินค้าจะเสื่อมคุณภาพ

ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่นิยมใช้สารกันหืนชนิดสังเคราะห์เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งอาจเกิดขึ้นในระหว่างการรอจำหน่าย ได้แก่ butylated hydroxyanisole (BHA) butylated hydroxytoluene (BHT) และ tertiary butylated hydroquinone (TBHQ) เป็นต้น โดยปริมาณการใช้สารกันหืนทั้ง 3 ชนิดนี้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจะต้องไม่เกิน 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามที่กฎหมายกำหนด (Ministry of Public Health, 2020) เนื่องจากสารกันหืนเหล่านี้สามารถควบคุมไม่ให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันในอาหารได้และมีความคงตัวต่อกระบวนการแปรรูปด้วยวิธีต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยมีรายงานการวิจัยพบว่าสารสังเคราะห์ บางชนิดทำลายตับมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในตับ (Martin & Gilbert, 1968) จึงมีการควบคุมการใช้เนื่องจากเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ (Branen, 1975; Ito *et al*., 1983; Chen *et al*., 1992) ด้วยเหตุนี้ ในปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะนำสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ (natural antioxidants) มาใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร มีงานวิจัยพบว่าเครื่องเทศและสมุนไพรชนิดต่าง ๆ เป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติและมีการนำมาใช้ไม่เพียงแค่เป็นตัวเพิ่มรสชาติเท่านั้นแต่ยังสามารถช่วยให้อาหารมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าผักพื้นบ้านไทยทั่วทุกภาคมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันอาทิเช่น ยอดมะม่วงหิมพานต์ ใบมันปู (Kongkachuichai *et al*., 2015) ยอดกระถิน (Tangkanakul *et al*., 2012) กระโดนบก สะเม็ก สะตัน สะคาม (Trakoontivakorn & Saksitpitak, 2000) และพืชผักบางชนิดมีศักยภาพในการป้องกันการเกิดการหืนของน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง (Tangkanakul *et al*., 2005; Nor *et al*., 2008; Maisuthisakul *et al*., 2006) สารสกัดจากใบกะเพรา และข่า สามารถยับยั้งการเกิดการหืนในเนื้อสัตว์ (Juntachote *et al*., 2007) สารสกัดจากผักปั่งก้านแดงและ

ยอดกระถินสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ (Tangkanakul *et al*., 2012) นอกจากนี้สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติสามารถพบได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น ฝรั่ง สับปะรด แอปเปิล มะนาว แตงโม (Suphim *et al*., 2020)

จากปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ขนมลาในปัจจุบัน และรายงานวิจัยที่เกี่ยวกับคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากสารสกัดจากผักพื้นบ้าน พบว่าการใช้สารสกัดจากผักพื้นบ้านที่มีสมบัติป้องกันหรือชะลอการเกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมาเป็นส่วนผสมในสูตรขนมลาในปริมาณที่เหมาะสมมีความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหาการเกิดกลิ่นหืนในขนมลากรอบ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากผักพื้นบ้านต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในขนมลากรอบในระหว่างการเก็บรักษา จากผลงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์กับผู้ผลิตขนมลากรอบในการเลือกใช้สารสกัดจากผักพื้นบ้านที่เหมาะสมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตขนมลากรอบเพื่อลดปัญหาการเกิดกลิ่นหืน ผู้ผลิตไม่ต้องประสบกับปัญหาขาดทุนหากจำหน่ายสินค้าไม่หมดก่อนที่สินค้าจะเสื่อมคุณภาพ ผู้บริโภคได้บริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้ยังสามารถนำไปสู่การต่อยอดโดยการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมลาในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงขนมหวานพื้นบ้านอื่น ๆ ที่มีปัญหาการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำสกัดจากผักพื้นบ้าน

นำตัวอย่างผักพื้นบ้าน ได้แก่ ใบผักกูด ใบมันปู ใบบัวบก ใบชะพลู และใบเตย จากตลาดสดในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช ในการทดลองครั้งนี้ใช้ใบผักกูด ใบมันปู ใบบัวบก ใบชะพลู และใบเตยในระยะใบเพสลาด (ใบกลาง) คือ ใบผักที่นับจากส่วนยอดใบที่ 14-22 4-6 5-8 4-6 และ 6-15 ตามลำดับ (ระยะใบอ่อนอาจมีปริมาณสารสำคัญในผักสะสมอยู่น้อยเกินไป ส่วนระยะใบแก่จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ขนมลากรอบ) นำผักพื้นบ้านทั้ง 5 ชนิด มาเตรียมเป็นน้ำผักสกัด โดยหั่นผักทั้ง 5 ชนิดออกเป็นท่อน ๆ นำไปสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วนระหว่างใบ : น้ำ เท่ากับ 2 : 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปั่นให้ละเอียด กรองเอาแต่ส่วนที่เป็นน้ำ (Tangkanakul *et al*., 2012) นำตัวอย่างน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 5 ชนิด ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl)

2. วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำสกัดจากผักพื้นบ้าน

ทำการวิเคราะห์ได้โดยจากนำสารสกัดจากใบผักกูด ใบมันปู ใบบัวบก ใบชะพลู และใบเตย โดยดัดแปลงจากวิธีของ Yieldirim *et al*. (2001) นำสารสกัดมาปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย mg galliac acid/ml sample

3. ศึกษาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำสกัดจากผักพื้นบ้าน

การศึกษาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยดัดแปลงวิธีของ Agbor *et al*. (2006) สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยปิเปตตัวอย่างสารสกัดปริมาตร 110 ไมโครกรัม และเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครกรัม ปั่นผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างเทียบกับสารละลายวิตามินซี ในหน่วย mg/ml

ทำการคัดเลือกสารสกัดจากผักพื้นบ้านโดยใช้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกผักพื้นบ้าน เพื่อเตรียมเป็นน้ำสกัดจากผักสำหรับการศึกษาในข้อที่ 4

4. ศึกษาการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากผักพื้นบ้านในขนมลากรอบในระหว่างการเก็บรักษา

4.1) การเตรียมตัวอย่างขนมลากรอบ

สำหรับวิธีการผลิตขนมลาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้อ้างอิงวิธีการผลิตขนมลาจากผู้ผลิตและจำหน่ายขนมลากลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนมลา โดยเริ่มจากการผสมแป้งขนมลาตามส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1 และเติมสารสกัดจากผักพื้นบ้านในปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในการผลิตขนมลาร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (ปริมาณที่ใช้ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะเฉพาะของขนมลาในด้านสี และกลิ่นรส และหากใช้ในปริมาณมากกว่านี้เส้นขนมลาจะขาด ผู้ผลิตจะไม่สามารถโรยเส้นขนมลาลงในกระทะได้) เปรียบเทียบกับ BHT ร้อยละ 0.01 ตีผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการทอด โดยเช็ดกระทะด้วยน้ำมันพืช นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ไปใส่ในกระป๋องลา แล้วนำไปโรยในกระทะ รอให้แป้งสุกเป็นแผ่นขนมลามีสีเหลืองทอง ทำการม้วนขนมลาในกระทะโดยใช้ไม้ไผ่บาง ๆ ม้วนขึ้นรูป แล้วยกขึ้นจากกระทะ นำไปใส่ในภาชนะที่มีกระดาษซับมันรองไว้ วางขนมลาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนขนมลาเย็นตัวลง ทำการบรรจุแบบสภาวะบรรยากาศปกติในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ถุงละ 150 กรัม เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (30±3 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 90 วัน โดยเก็บตัวอย่างในวันที่ 0 15 30 45 60 75 และ 90 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมลากรอบในระหว่างการเก็บรักษา

4.2) การวิเคราะห์คุณภาพของขนมลากรอบในระหว่างการเก็บรักษา

วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value : PV) และ ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid value : TBA) โดยวิธี AOAC (2005) และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัส ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมลา (มผช. 712/2547) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน (เพศชาย 6 คน, เพศหญิง 6 คน) เป็นผู้ประเมินคุณลักษณะของขนมลากรอบและทำการฝึกฝนให้ผู้ทดสอบมีความคุ้นเคยกับตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างขนมลาที่เก็บรักษาในระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา ทดสอบความแม่นยำของผู้ทดสอบโดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนและการให้คะแนนที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน หลักเกณฑ์การให้คะแนนแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมในการผลิตขนมลาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนมลา

ส่วนผสมในการผลิตขนมลา	ปริมาณส่วนผสม (ร้อยละ)
แป้งข้าวเจ้า	68.0
น้ำตาลโตนด	30.0
น้ำมันพืช	2.0

ตารางที่ 2 หลักเกณฑ์การให้คะแนนผลิตภัณฑ์ขนมลา

ลักษณะที่ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	ระดับการตัดสิน (คะแนน)			
		ดี	ดีมาก	พอใช้	ต้องปรับปรุง
ลักษณะทั่วไป	ต้องมีรูปทรงที่สมบูรณ์ตามลักษณะของขนมลา อาจแตกหักได้บ้างเล็กน้อย	4	3	2	1
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้	4	3	2	1
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม	4	3	2	1
ลักษณะเนื้อสัมผัส	ต้องกรอบ ไม่แข็งกระด้าง	4	3	2	1

ที่มา : ดัดแปลงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมลา (มผช.712/2547)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

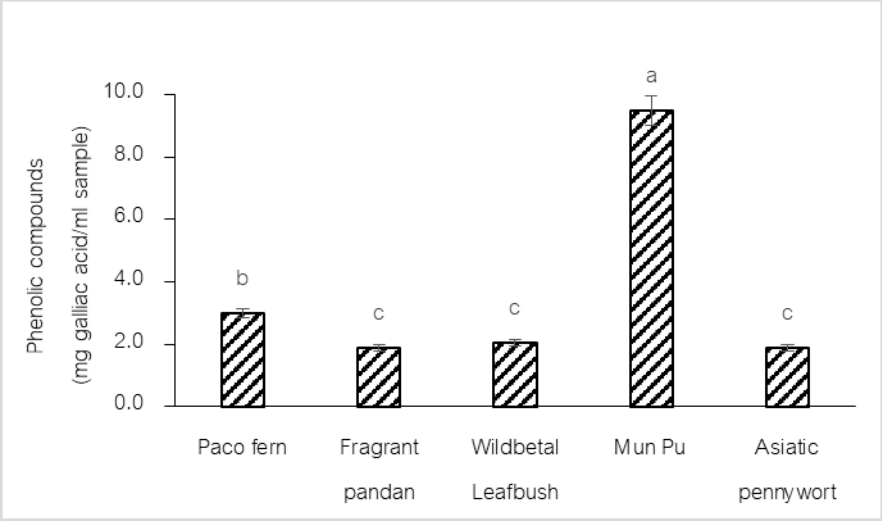
วางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (Steel & Torrie, 1980) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการวิจัย

จากการนำตัวอย่างผักพื้นบ้าน ได้แก่ ใบผักกูด ใบมันปู ใบบัวบก ใบชะพลู และ ใบเตย มาเตรียมเป็นน้ำผักสกัด โดยหั่นผักทั้ง 5 ชนิดออกเป็นท่อน ๆ นำไปสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วนใบ : น้ำ เท่ากับ 2 :1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปั่นให้ละเอียด กรองเอาแต่ส่วนที่เป็นน้ำ (Tangkanakul *et al*., 2012) ร้อยละผลผลิตของสารสกัดใบผักกูด ใบมันปู ใบบัวบก ใบชะพลู และใบเตย เท่ากับ 40 76 90 60 และ 70 ตามลำดับ นำตัวอย่างน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 5 ชนิดไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่อการต้านออกซิเดชันผลที่ได้แสดงในภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2 ผลการทดลองพบว่าน้ำสกัดจากใบมันปูมีปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดเท่ากับ 9.48±0.42 mg galliac acid/ml sample ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 1) รองลงมา ได้แก่ น้ำสกัดจากใบผักกูด (3.00±0.05 mg galliac acid/ml sample) และตัวอย่างน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านที่มีปริมาณปริมาณสารฟินอลิคทั้งหมดน้อยที่สุด ได้แก่ ใบชะพลู ใบบัวบก และใบเตย ซึ่งน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 3 ชนิด มีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) โดยพบปริมาณสารฟินอลิคทั้งหมดเท่ากับ 2.05±0.00, 1.88±0.01 และ 1.90±0.05 mg galliac acid/ml sample ตามลำดับ

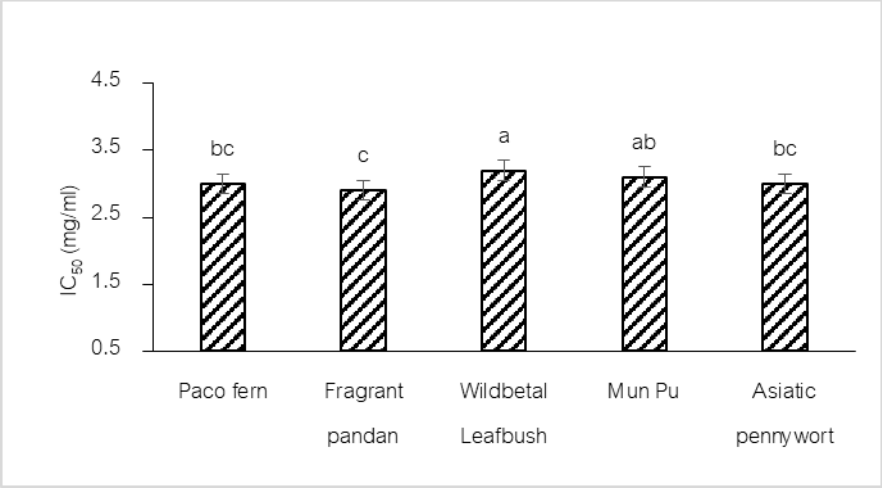
การศึกษาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นวิธีที่ง่าย นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร โดยอนุมูล DPPH เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัวอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้วไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูล การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระนิยมรายงานผลเป็น ค่า 50% Inhibitory Concentration (IC_{50}) ซึ่งหมายถึงความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้ง (antagonist) ได้ 50% ในที่นี้หมายความว่าค่าความเข้มข้นของสารสกัดจากผักพื้นบ้านที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลงครึ่งหนึ่ง DPPH จัดเป็นสารอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา โดยค่า IC_{50} ที่น้อย แสดงถึงประสิทธิภาพในการต้านการเกิด



ภาพที่ 1 ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดของน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านชนิดต่าง ๆ

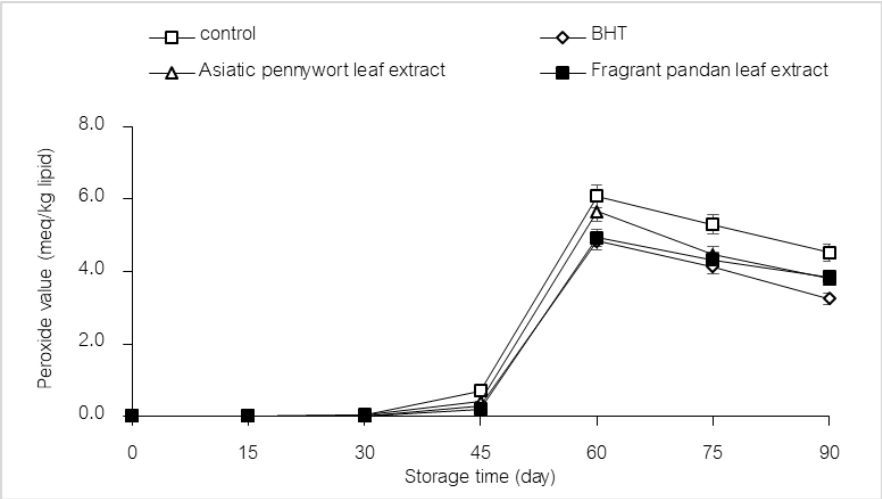
ปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ใช้ ascorbic acid เป็นสารต้านออกซิเดชันมาตรฐาน ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 6.32 mg/ml ผลการทดลองพบว่าน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 5 ชนิดมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ โดยมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 2.91±0.05 ถึง 3.20±0.00 mg/ml โดยน้ำสกัดจากใบเตยมีค่า IC_{50} น้อยที่สุด 2.91±0.05 mg/ml แสดงว่ามีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำสกัดจากใบผักกูด และใบบัวบก ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 3.00±0.06 และ 3.01±0.10 mg/ml ($p \geq 0.05$) ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ใบมันปู และใบชะพลู โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 3.10±0.06 และ 3.20±0.00 mg/ml ตามลำดับ ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระได้น้อยกว่าน้ำสกัด

จากใบเตยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 2) แสดงว่าสารฟินอลิคทั้งหมดที่พบในน้ำสกัดจากใบมันปูและน้ำสกัดจากใบชะพลูให้ฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระได้ต่ำกว่าสารฟินอลิคทั้งหมดที่พบในน้ำสกัดจากใบเตย



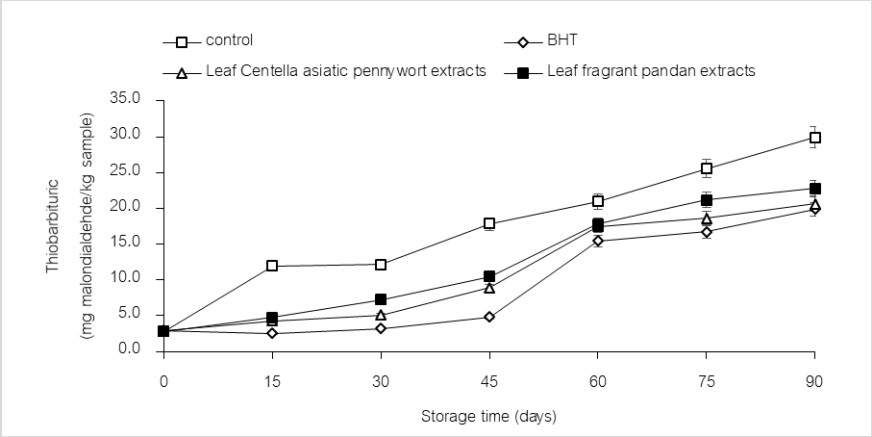
ภาพที่ 2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ค่า IC_{50} ของสารสกัดจากผักพื้นบ้านชนิดต่าง ๆ

ภาพที่ 3 แสดงประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิดในขนมลากรอบ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเติมน้ำสกัดจากใบบัวบก และใบเตยลงในส่วนผสมของแป้งขนมลาที่ระดับร้อยละ 2.5 ส่งผลให้ขนมลากรอบมีค่า PV เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าการใช้น้ำสกัดจากใบบัวบกและใบเตย มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขนมลากรอบได้ โดยค่า PV ของขนมลาทุกตัวอย่างในช่วง 15 วันแรกของการเก็บรักษามีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) หลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ในวันที่ 60 ของการเก็บรักษา ค่า PV ของขนมลาทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างชัดเจน โดยพบว่าตัวอย่างควบคุมมีค่า PV สูงที่สุดเท่ากับ 6.08±0.10 meq/kg lipid ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างขนมลาที่เติมน้ำสกัดจากใบเตยมีค่า PV เท่ากับ 5.66±0.15 ตัวอย่างขนมลาที่เติมน้ำสกัดจากใบบัวบกมีค่า PV ไม่แตกต่างกับตัวอย่างขนมลาที่เติมสาร BHT โดยมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 4.93±0.19 และ 4.85±0.20 meq/kg lipid ($p \geq 0.05$) ตามลำดับ หลังจากนั้นค่า PV ของขนมลากรอบทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงจนถึงการเก็บรักษาวันสุดท้ายที่ 90 วัน โดยขนมลากรอบทุกตัวอย่างมีค่า PV แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างควบคุมมีค่า PV สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 4.52±0.19 meq/kg lipid รองลงมาคือ ตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากใบบัวบก และใบเตยซึ่งมีค่า PV ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.85±0.02 และ 3.81±0.08 meq/kg lipid ตามลำดับ



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า PV ของตัวอย่างขนมลากรอบในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน

ค่า TBA ของขนมลาในทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในช่วงแรกของการเก็บรักษาค่า TBA ของตัวอย่างขนมลากรอบค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ยกเว้นในตัวอย่างควบคุมที่มีค่า TBA เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าตัวอย่างอื่นอย่างชัดเจนตั้งแต่ช่วงแรกของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4) ภายหลังจากวันที่ 45 ของการเก็บรักษาตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิด และตัวอย่างขนมลาที่เติมสาร BHT ค่า TBA ของทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยตัวอย่างขนมลาที่เติมสาร BHT มีการเพิ่มขึ้นของค่า TBA ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.91±0.05 mg maloaldehye/kg sample เป็น 19.87±0.71 mg maloaldehye/kg sample รองลงมาคือ ส่วนตัวอย่างขนมลาที่เติมน้ำสกัดจากใบบัวบก และใบเตย มีค่า TBA เพิ่มขึ้นจาก 2.94±0.01 mg maloaldehye/kg sample เป็น 20.66±0.35 mg maloaldehye/kg sample และ 2.83±0.13 mg maloaldehye/kg sample เป็น 22.78±0.22 mg maloaldehye/kg sample ตามลำดับ การติดตามการเปลี่ยนแปลงการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ผลการวิเคราะห์ค่า PV และ TBA จากการศึกษาในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบคุณลักษณะด้านกลิ่นที่ใช้เกณฑ์ในการประเมินจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมลา (มผช.712/2547) พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในด้านกลิ่นลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างขนมลากรอบชุดควบคุมมีคะแนนด้านกลิ่นต่ำสุด ตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมสาร BHT ได้รับคะแนนด้านกลิ่นสูง ($p \leq 0.05$) ไม่แตกต่างกับตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักทั้ง 2 ชนิด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 90 ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามในวันที่ 75 ของการเก็บรักษาตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักทั้ง 2 ชนิดมีคะแนนด้านกลิ่น 2.0 จาก 4.0 คะแนน ซึ่งมีคะแนนไม่แตกต่างกับตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมสาร BHT (2.17) จากผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าการใช้น้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

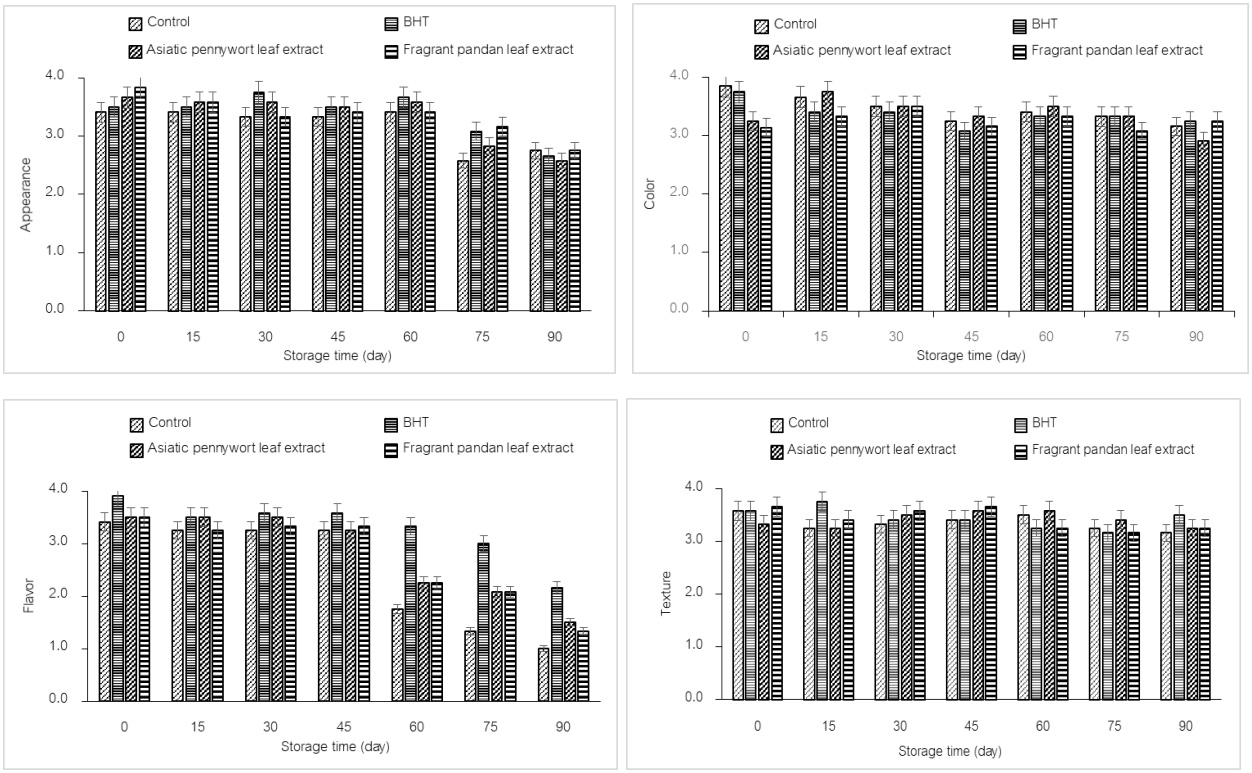


ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของตัวอย่างขนมลากรอบในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมลา (มผช. 712/2547) ในคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) กลิ่นรส (Flavor) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) (ภาพที่ 5) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของตัวอย่างขนมลากรอบทั้ง 4 ตัวอย่างในทุก ๆ 15 วันจนครบ 90 วันของการเก็บรักษา พบว่าการใช้น้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านกลิ่นตั้งแต่วันที่ 60 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในคุณลักษณะด้านกลิ่นของตัวอย่างขนมลากรอบชุดควบคุมต่ำกว่าตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมสาร BHT และตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิด ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า PV และ TBA (ภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4) อาจเป็นเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวผู้ทดสอบชิม เริ่มรับรู้ได้ถึงการเกิดกลิ่นหืนจากสารประกอบให้กลิ่นที่ระเหยได้ ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก ไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Rattanapanone, 2010)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างขนมลากรอบจากชุดการทดลองเดียวกันกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในคุณลักษณะด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างขนมลากรอบทุกตัวอย่างตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 90 ของการเก็บรักษาไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่พบความแตกต่างของระดับคะแนนในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ และกลิ่นรส โดยพบว่าคุณลักษณะปรากฏของตัวอย่างขนมลากรอบชุดควบคุม ตัวอย่างขนมลากรอบเติม BHT และตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากใบบัวบก และใบเตยมีระดับคะแนนแตกต่างจากวันแรกเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 90 75 และ 75 วัน ($p \leq 0.05$) สำหรับคุณลักษณะด้านกลิ่นรสพบว่าตัวอย่างขนมลากรอบชุดควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุด โดยมีระดับคะแนนแตกต่างจากวันแรกเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 45 วัน รองลงมาคือ ตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมสาร BHT และตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักทั้ง 2 ชนิด ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านกลิ่น

แตกต่างจากวันแรกของการเก็บรักษาเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน ($p \leq 0.05$) แต่มีระดับคะแนนการทดสอบคุณลักษณะด้านกลิ่นรส ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องไม่เกิน 75 วัน



ภาพที่ 5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมลากรอบในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน

วิจารณ์ผลการวิจัย

สารประกอบฟีนอลเป็นสารกลุ่มสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ จึงส่งผลให้พืชที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงมักมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระที่ดีด้วย (Barreira *et al*., 2008; Butsat & Siriamornpun, 2010; Kubola & Siriamornpun, 2011) อย่างไรก็ตาม สารประกอบฟีนอลในพืชที่พบในธรรมชาติมีหลากหลายชนิดบางชนิดมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระได้ดี บางชนิดมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระได้น้อย หรือบางชนิดไม่มีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระแต่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ (Rice-Evans *et al*., 1997; Huang *et al*., 2010) Koodkaew และ Limpichotikul (2017) ได้ทำการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ พบว่าฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เป็นผลมาจากปริมาณสารประกอบฟีนอล ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Souri *et al*. (2008) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่มีสหสัมพันธ์กับมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ เมื่อทำการทดสอบในสมุนไพรจำนวน 24 ชนิด ในกรณีที่พืชมีปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำ แต่มีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระสูง เช่น น้ำสกัดจากใบบัวบก และใบเตย

(ภาพที่ 1) อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลในธรรมชาติที่พบในผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิดนั้นมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระที่ดี หรือเป็นฤทธิ์มาจากฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระในกลุ่มอื่น ซึ่งที่ผ่านมามีรายงานว่า ใบบัวบก (Koodkaew & Limpichotikul, 2017 ; Saenthaweesuk *et al*., 2012) และใบเตย (Jimtaisong & Krisdaphong, 2013) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สูง และมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระที่สูง ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าตัวอย่างน้ำสกัดจากใบบัวบกและใบเตย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดค่อนข้างน้อย แต่มีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระที่สูง ผลการศึกษาที่แตกต่างกันอาจเนื่องจากอิทธิพลของหลายปัจจัย เช่น แหล่งเพาะปลูก และฤดูกาล ส่งผลให้พืชมีการสร้างสารพฤกษเคมีที่แตกต่างกัน (Butsat & Siriamornpun, 2010) มีรายงานวิจัยพบว่าใบบัวบกมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบได้มากและแสดงสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารกลุ่มไตรเทอปินอยด์ (triterpenoid) สารประกอบฟีนอลิก เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งฟลาโวนอยด์ที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ ฟลาโวนอล(flavonol) ฟลาโวน (flavone) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) แคทีชิน (catechin) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) (Tomas-Barberan & Espin, 2001) สำหรับสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในใบเตย ได้แก่ เบต้าแคโรทีน (beta Carotene) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) (Linda *et al*., 2004) และยังพบสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แทนนิน (tannin) และ ซาโปนิน (saponin) อีกด้วย (Resmi & Ana, 2016) นอกจากนี้ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารจากตัวอย่างพืชมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ (Jimtaisong & Krisdaphong, 2013) สำหรับในกรณีที่พืชมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูง แต่มีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระต่ำ เช่น น้ำสกัดจากใบมันปู (ภาพที่ 1) อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำสกัดจากใบมันปู ส่วนใหญ่ไม่ได้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำการคัดเลือกน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านมาเป็นส่วนผสมในขนมลากรอบเพื่อช่วยลดการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน สารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถพบได้ในน้ำสกัดจากใบบัวบก คือ สารประกอบฟีนอลิก เช่น ฟลาโวนอยด์ ส่วนน้ำสกัดจากใบเตยสามารถพบคลอโรฟิลล์ ฟลาโวนอยด์ และซาโปนิน เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ สำหรับการทดลองนี้พิจารณาจากฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก พบว่าสารสกัดจากผักพื้นบ้านที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันและไม่ส่งผลต่อการยอมรับ ขนมลากรอบ ได้แก่ ใบบัวบก และใบเตย แต่สำหรับน้ำสกัดจากใบผักกูดถึงแม้ว่าจะมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ไม่แตกต่างกับใบบัวบก และใบเตย แต่จากการทดลองพบว่าในระหว่างการเตรียมน้ำสกัดจากใบผักกูดเพื่อเติมลงในแป้งขนมลา น้ำผักที่สกัดได้จะมีลักษณะข้นคล้ายเจลซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดของการใช้สารสกัดจากผักชนิดนี้ เนื่องจากการกระจายตัวของสารสกัดไม่สม่ำเสมอในผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการทำหน้าที่ในการต้านการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ ส่วนน้ำสกัดจากใบมันปูนั้นให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ต่ำกว่าน้ำสกัดจากใบบัวบกและใบเตย

การติดตามประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยการวิเคราะห์ค่า PV ซึ่งเป็นการวัดการเกิดผลผลิตเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งสารเพอร์ออกไซด์ได้จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนบริเวณตำแหน่งพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน (Nawar, 1985) จากผลการทดลองพบว่าค่า PV ของตัวอย่างขนมลากรอบทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาจนถึง 60 วัน หลังจากนั้นค่า PV ของตัวอย่าง

ขนมลากรอบทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่ 90 วัน ค่า PV ลดลงอาจจะเกิดจากการที่สารเพอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมันในขั้นต้น (Primary oxidized product) ซึ่งไม่มีความเสถียร สามารถแตกตัวเป็นสารอื่น ๆ ได้ เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน เป็นต้น จึงทำให้เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานถึง 90 วัน ทำให้วิเคราะห์ค่า PV ได้ในระดับต่ำ ตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากใบบัวบก และใบเตย สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ ซึ่งจากการติดตามประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิด พบว่าตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านมีค่า PV ต่ำกว่าตัวอย่างขนมลากรอบสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากน้ำสกัดจากผักทั้ง 2 ชนิดมีสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารได้ดีเช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ Tanghiranrat *et al*. (2021) พบว่าสารประกอบ ฟีนอลที่สกัดได้จากข้าวเหนียวดำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์มายองเนส ได้ดี นอกจากนี้ Jumnaksan (2019) รายงานว่าเมื่อเติมสารสกัดจากใบฝรั่งจะส่งผลให้ค่า PV ของกุนเชียงหมูในระหว่างการเก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างกุนเชียงหมูที่ไม่เติมสารสกัดใบฝรั่ง โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำมันหรือมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบต้องมีค่า PV ไม่เกิน 50 meq/kg (Noiduang *et al*., 2015)

ค่า TBA เป็นดัชนีการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยวัดการเกิดผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิขั้นสุดท้าย (secondary oxidized product) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน คือ มาโลนาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นแปลกปลอม (off-flavor) ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Rossell, 1994) การวิเคราะห์ค่า TBA ในรูปมาโลนาลดีไฮด์ในอาหารสามารถนำไปใช้ในการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ และใช้เป็นดัชนีชี้วัดการเกิดกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ผลจากการศึกษาพบว่าตัวอย่างขนมลากรอบทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่า TBA ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 90 วัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส เนื่องจากผู้ทดสอบชิมรับรู้การเกิดกลิ่นหืนได้จากสารประกอบให้กลิ่นที่ระเหยได้ คือ แอลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน กรดคาร์บอกซิลิก และแอลกอฮอล์ (Rattanapanone, 2010) ดังนั้นสาเหตุที่ส่งผลให้ตัวอย่างขนมลากรอบมีกลิ่นที่ผิดปกติอาจเป็นเพราะเกิดจากกรดไขมันอิสระที่เป็นกรดไขมันที่มีสายสั้น (Short chain fatty acid) เป็นสารที่ให้กลิ่นและเมื่อหลุดออกมาเป็นโมเลกุลอิสระทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในอาหาร และกรดไขมันอิสระชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ทำให้กลิ่นหืนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว (Reische *et al*., 1998) การใช้สารสกัดจากใบบัวบก และใบเตยซึ่งเป็นผักพื้นบ้านที่มีสารประกอบฟีนอลที่มีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระได้ดี (ภาพที่ 2) สามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารได้ ส่งผลให้ตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมสารสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิดเกิดกลิ่นหืนได้ช้ากว่าตัวอย่างขนมลากรอบชุดควบคุม Jumnaksan (2019) รายงานว่าการเติมสารสกัดจากใบฝรั่งในกุนเชียงร้อยละ 0.05 – 0.25 ทำให้ค่า TBA ต่ำกว่ากุนเชียงสูตรควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา กุนเชียงที่เติมสารสกัดใบฝรั่งสามารถเก็บรักษาได้ 21 วัน ในขณะที่สูตรควบคุมสามารถเก็บได้ 14 วัน เช่นเดียวกับรายงานของ Tangkanakul *et al.* (2012) พบว่าตัวอย่างข้าวเกรียบทอดที่ผสมน้ำสกัดผักปั่งก้านแดง และน้ำสกัดยอดกระถินมีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบทอดสูตรควบคุม และยังมีผลงานวิจัย

อีกมากที่แสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิคที่พบในพืชชนิดต่าง ๆ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร (Frankel, 1991; Pokomy, 1991)

การใช้น้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิดในตัวอย่างขนมลากรอบไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ สี และลักษณะเนื้อสัมผัส แต่มีผลต่อการชะลอเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านกลิ่นของตัวอย่างขนมลากรอบเมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม โดยหลังจากวันที่ 60 ของการเก็บรักษา ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในคุณลักษณะด้านกลิ่นของตัวอย่างขนมลากรอบชุดควบคุมต่ำกว่าตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมสาร BHT และตัวอย่างขนมลากรอบที่เติมน้ำสกัดจากผักพื้นบ้านทั้ง 2 ชนิด ($p \geq 0.05$) อาจเป็นเพราะสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในใบบัวบก และใบเตยมีฤทธิ์การต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน มีรายงานว่าผักพื้นบ้านไทยทั่วทุกภาคมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน เช่น ยอดมะม่วงหิมพานต์ ใบมันปู (Kongkachuichai *et al*., 2015) ยอดกระถิน (Tangkanakul *et al*., 2012) กระโดนบก สะเม็ก สะตัน สะคาม (Trakoontivakorn & Saksitpitak, 2000)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากผักพื้นบ้าน โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่า PV ค่า TBA และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน พบว่าการใช้สารสกัดจากใบบัวบก และใบเตยเติมลงในส่วนผสมของขนมลากรอบจะมีผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และมีระดับคะแนนการทดสอบคุณลักษณะด้านกลิ่นรส ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องไม่เกิน 75 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิจัย วิทยาศาสตร์ และนวัตกรรม (ววน.) และหน่วยบริหารและจัดการทุนวิจัยและนวัตกรรมด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. (18th edn). Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.

Agbor, G.A., Vinson, J.A., Oben, J.E., & Ngogang, J.Y. (2006). Comparative analysis of the vitro antioxidant activity of white and black pepper. *Nutrition Research*, *26*(12), 659-663.

Barreira, C.M.J., Ferreira, C.F.R.I., Beatriz, M., Oliveira, P.P.J., & Pereira, A. (2008). Antioxidant activities of the extracts from chestnut flower, leaf, skins and fruit. *Food Chemistry*, *107*, 1106-1113.

Branen, A.L. (1975). Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene. *Journal of the American Oil Chemists Society*, *52*, 59-63.

Butsat, S., & Siriamornpun, S. (2010). Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice. *Food Chemistry*, *119*, 606-613.

Chen, C. H., Pearson, A. M., & Gray, J. I. (1992). Effects of synthetic antioxidants (BHA, BHT and PG) on the mutagenicity of IQ-like compounds. *Food Chemistry*, *45*, 77-81.

Frankel, E. N. (1991). Recent advances in lipid oxidation. A review. *Journal of the science of Food and Agriculture*, *54*, 495-511.

Huang, W.Y., Cai, Y.Z., & Zhang, Y. (2010). Natural phenolic compounds from medicinal herbs and dietary plants: potential use for cancer prevention. *Nutrition and Cancer*, *62*, 1-20.

Ito, N., Fukushima, S., Hasegawa, A., Shibata, M., & Ogiso, T. (1983). Carcinogenicity of butylated hydroxyl anisole in F344 rats. *Journal of the National Cancer Institute*, *70*, 343-347.

Jimtaisong, A., & Krisdaphong, P. (2013). Antioxidant activity of *pandanus amaryllifolius* leaf and root extract and its application in topical emulsion. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, *12*, 425-431.

Jumnaksan, S. (2019). Chemical composition of guava leaf extract and lipid oxidation inhibition in Chinese sausage during storage. *Journal of Food Technology, Siam University*, *14*(1), 12-25.

Juntachote, T., Berghofer, E., Siebenhandl, S., & Bauer, F. (2007). The effect of dried galangal power and its ethanolic extracts on oxidative stability in cooked ground pork. *LWT-Food Science and Technology*, *40*, 324-330.

Kongkachuichai, R., Charoensiri, R. Yakoh, K. Kringkasemsee, A., & Insung, P. (2015). Nutrients value and antioxidant content of indigenous vegetables from Southern Thailand. *Food Chemistry*, *173*, 838-846.

Koodkaew, I., & Limpichotikul, P. (2017). Study of antioxidant activity and correlation of antioxidant compounds in eight species of garden herbs. *SDU Research Journal Sciences and Technology*, *10*(1), 137-152. (in Thai)

Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai Gac (*Momordica cochinchinensis Spreng*). *Food Chemistry*, *127*, 1138-1145.

Linda, S. M. O., Samuel, S. M., & Vincent, E. C. O. (2004). Purification and characterization of a new antiviral protein from the leaves of Pandanus amaryllifolius (*Pandanaceae*). *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 36*(8), 1440-1446.

Maisuthisakul, P., Pongsawatmanit, R., & Gordon, M. H. (2006). Antioxidant properties of teaw (*Cratoxylum formosum Dyer*) extract in soybean oil and emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(7), 2719-2725.

Martin, A.D., & Gilbert, D. (1968). Enzyme changes accompanying liver enlargement in rats treated with 3 tert. Butyl 4-hydroxyanisole. *Biochemical Journal*, *106*, 22-27.

Ministry of Public Health. (2020). *Re: prescribing the principle, conditions, methods and proportion of food additives (No.2).* Retrieved Jan 18, 2022, from http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P418.pdf. (in Thai).

Nawar, W. W. (1985). Lipids. In O.R. Fennema (Eds.), *Food Chemistry.* (pp.180). New York: Marcel Dekker.

Noiduang, P., Tapaothong, N., & Masileerungsri, K. (2015). Use of dried aril of gac fruit powder as an antioxidant in mayonnaise product. *Journal of Food Technology Siam University*, *10*(1), 9-18. (in Thai)

Nor, F.M., Mohamed, S., Idris, N.A., & Ismail, R. (2008). Antioxidant properties of Curcuma longa leaf extract in accelerated oxidation and deep frying studies. *Journal of the American Oil Chemists Society*, *86*, 141-147.

Pokomy, J. (1991). Natural antioxidants for food use. *Trends in Food Science and Technology*, *9*, 223-227.

Rattanapanone, N. (2014). *Food chemistry*. Bangkok: Odeon Store Publisher. (in Thai)

Reische, D.W., Lillard, D.A., & Eitenmiller, R.R. (1998). *Food Lipids*. New York: Marcel Dekker.

Resmi, A., & Ana, M. (2016). Pandan leaves extract (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) as a food preservative. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia*, *7*(4), 166-173.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, *2*, 152-159.

Rossell, J.B. (1994). Measurement of rancidity. In J.C. Allen, & R.J. Hamilton. (Eds.), *Rancidity in Foods.* (pp. 22-53). London: Blackie Academic & Professional.

Saenthaweesuk, S., Jongtamklang, D., Somchan, T. & Thobunluepop, P. (2012). Total phenolics content, antioxidant and antimicrobial activities of some herbs. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *40*(2), 480-483.

Souri, E., Amin, G., Farsam, H., & Barazandeh T.M. (2008). Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, *16*(2), 83-87.

Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). *Principle and procedure of statistics: A biometrical approach*. New York: MacGraw-Hill.

Suphim, B., Chaitokkia, S., Pheerakamol, J., & Pruksa, S. (2020). Total phenolic compounds and antioxidant activity of vegetable herb and fruit juices in Na-o sub-district municipality, Meuang District, Loei Province. *Burapha Science Journal*, *25*(3), 968-982. (in Thai)

Tanghiranrat, J., Itsarasook, K., Prompamorn, P., Imsathian, N., Sriburin, N., Bangsiri, N., & Chantree, K. (2021). Antioxidant efficiency of black glutinous rice (*Oryza sativa* L. (indica)) extracts: Application in Lipid-Based Food Products. *Burapha Science Journal*, *26*(2), 1345-1363. (in Thai)

Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., & Jariyavattanavijit, C. (2005). Extracts of Thai indigenous vegetables as rancid inhibitor in a model system. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, *39(2)*, 274-283. (in Thai)

Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., Jariyavattanavijit, C., & Sikkhamondhol, C. (2012). The effect of swamp cabbage and leadtree (Yod-kratin) extracts on oxidative rancidity in crisped-cracker. *Naresuan University Journal*, *20*(3), 29-37. (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute. (2004). *Thai community product standards: Kha Nom Lah*. Retrieved March 15, 2020, from http://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps712_47.pdf. (in Thai)

Tomas-Barberan, F. A., & Espin, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *81*(9), 853-876.

Trakoontivakorn, G., & Saksitpitak, J. (2000). Antioxidative potential of Thai indigenous vegetable extracts. *Food Journal*, *30*(3), 164-176. (in Thai)

Yieldimin, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activity of *Rumex crispus* L. Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(8), 4083-4089.