



ASEAN Journal of Scientific
and Technological Reports

Vol. 24 No. 1

January - April 2021

ISSN 2773-8752 (online)



ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports

Name	ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports	
Owner	Thaksin University	
Advisory Board	Assoc. Prof. Dr. Wichai Chumni (President of Thaksin University)	
	Assoc. Prof. Kasem Asawatreratanakul (Vice President for Academic Affairs and International Affairs)	
	Assoc. Prof. Dr. Nathapong Chitniratna (Vice President for Research and Academic Services)	
	Assoc. Prof. Dr. Nathapong Chitniratna (Director of the Research and Development Institute)	
	Assoc. Prof. Dr. Nikom Choosiri	(Thaksin University)
	Asst. Prof. Dr. Prasong Kessaratikoon	(Thaksin University)
Editor	Prof. Dr. Charan Chantalakhana (Kasetsart University)	
Editorial Board	Prof. Dr. Visut Baimai (Mahidol University)	
	Prof. Dr. Suthat Yoksan (Srinakharinwirot University)	
	Prof. Dr. Apichart Suksamrarn (Ramkhamhaeng University)	
	Prof. Dr. Surin Setamanit (Chulalongkorn University)	
	Prof. Dr. Soottawat Benjakul (Prince of Songkla University)	
	Prof. Dr. Saowapa Angsupanich (Prince of Songkla University)	
	Assoc. Prof. Dr. Jatuporn Kaew-On (Thaksin University)	
	Assoc. Prof. Dr. Kanchit Malaivongs (Office of the Royal Society)	
	Assoc. Prof. Dr. Kanokphorn Sangkharak (Thaksin University)	
	Assoc. Prof. Dr. Sappasith Klomklao (Thaksin University)	
	Asst. Prof. Pattarawalai Talungchit (Mahidol University)	
	Asst. Prof. Dr. Kornvika Kongkul (Thaksin University)	
	Dr. Sirirat Sinprajakpol (Thaksin University)	
	Dr. Khwanchit Suwannoppharat (Thaksin University)	
	Miss Ornkamon Kraiwong (Thaksin University)	
	Miss Phimmada Maneewong (Thaksin University)	
	Miss Ranee Sunsang (Thaksin University)	
	Miss Kanyanat Liadrak (Thaksin University)	
Journal Management		

Objectives	1. To publicize research work and articles in the field of 1.1 Physics and Astronomy 1.2 Agricultural and Biological Sciences 1.3 Chemistry 1.4 Computer Science 1.5 Engineering of staff and researchers of Thaksin University and other organizations 2. To publicize information related to research 3. To exchange research knowledge and concepts
Publication Frequency	Published 3 times a year in January – April, May – August and September – December
Book format	B5 size (17.6x25 cm.) Art cover with 250 grams. four-color 80-gram paper, 1 color, 100 pages for main content
Publication	Online
Membership	The application for membership can be processed into ways: Journal Authors Researchers, academicians, or students who want to submit the article(s) must pay for reviewers' compensation, 2,000 Baht/ 70 US Dollars per article if the article is accepted. via Government Savings Bank account. Account Name: TSUJ Account Number: 0-2032824189-6 Papayom Branch After completing the payment, the membership applicant must attach the file of payment slip online at https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal or contact the journal coordinators at the following address: Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus 222 Moo. 2, Bann Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand, 93210 Tel. 0 7460 9600 ext. 7242 or 08 1540 7304 E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com Line: rdi.tsu, Twitter : @RDI_TSU, Facebook : ศวพ. น.ทักษิณ
Contact Us	Thaksin University Journal Office, Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus 222 Moo. 2, Baan Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand, 93210 Tel. 0 7460 9600 ext. 7242 or 08 1540 7304 E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or aseanjstr@tsu.ac.th Line: rdi.tsu, Twitter : @RDI_TSU, Facebook : ศวพ. น.ทักษิณ
Print Place	Artwork & Media Tel. 08 9925 8455

Editorial

The present volume Thaksin University Journal (TSUJ) Vol. 24 No. 1 (January–April 2021) is the first issue of three issues that is published in the year 2021. This issue is also published 10 research articles mostly selected from The 30th Thaksin University Annual Conference: Thailand Driven Research and Innovation, on May 30, 2020 as announced in the TSUJ Vol. 23 No. 2. All of these 10 interesting articles are the multidisciplinary of science and technology of research articles in aquatic science (1), applied nuclear physics (2), applied biology (1), applied physics (1), industrial management engineering (1), agroindustry (1), wind energy (1), environmental science (1), and chemistry (1). We strongly expect that all of these research articles will be helpful to our regular and loyalty TSUJ readers and customers.

In the year 2021, we have started to modify and upgrade the new platform and new name of TSUJ which is “ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports or AJSTR” as announced in the latest issue (TSUJ Vol. 23 No. 3). The new international platform of AJSTR will be organized and served to our valuable and energetic readers and customers with the rules that have changed some more or less. For example, all selected and accepted research articles will be only written and organized in English. Furthermore, the new international editorial board of AJSTR will set-up and start to administrate and manage all business of the journal soon. On this occasion, we sincerely and earnestly invite researchers who are diligent and committed to producing quality research and collecting data into articles written in well organized English and then sending to AJSTR for reviewing, publishing, and sharing to academic society at both national and international levels.

Unfortunately, as we have been facing and fight with the new wave of Corona Virus Disease (COVID-19) pandemic since the beginning of this year and then again in April 2021. Until at the present time, we have to live and adjust ourselves to some new normal lifestyles for some period of time. The right solution to COVID-19 pandemic problem is finding and distributing vaccines to people as soon as possible. At the same time, we have to save and prevent ourselves from risky situations to be infected with the disease as much as we can. For this reason, we should not panic, stay calm and lead normal life with a new normal way of living. Hence, we would like to request and invite interested researchers who try to contribute research affecting society and human life and then deliver to us for further publication and dissemination of national and international academic society. Furthermore, all research articles related and corresponded to multidisciplinary on science and technology issue are also welcome to be submitted, reviewed and published by TSUJ editorial management and platform by using the modern and efficient Thai Journals Online (ThaiJO) system. The domestic ThaiJO system is the database system which is developed on Online Journal System (OJS) by Public Knowledge Project (PKP).

Lastly, the new international platform of AJSTR will be organized and completed in the end of this year 2021 with the first complete volume (AJSTR Vol. 24 No. 3 (September – December 2021)). Therefore, the last volume of TSUJ that is the next volume (TSUJ Vol. 24 No. 2 (May – August 2021)) will be ready to serve soon and will be in memory forever. In the end, we have been expecting that we can improve and upgrade the AJSTR quality up to international level within two years as already announced. Thank you very much again for helping AJSTR (former TSUJ) improving and see you again in the next issue.

Asst. Prof. Dr. Prasong Kessaratikoon
Journal Editor

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Articles)

1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ จังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม
Spatial Analysis of Mangrove Forest Area Change in Prasae River Mouth of Rayong Province Using Satellite Imageries
ประสาร อินทเจริญ Prasarn Intacharoen สุนิตา มะลิวัลย์ Sunita Maliwan.....1
2. ประเมินนิวไคลด์กัมมันตรังสี (^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K) ในดินบริเวณเทือกเขาหินแกรนิตอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
Estimation of Radionuclide (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) in Soil Granite Rock Mountains Phangan District, Surat Thani Province
ปิยะ ผ่านศึก Piya Phansuke สุนารี บดีพงษ์ Sunaree Boodeepong
มูบารัค เล็กเกลี้ยง Mubarak Lakkiang14
3. การตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยเรดอนจากหมอนยางพาราที่สุ่มตัวอย่างจากตลาดออนไลน์ในประเทศไทย
Measurement of ^{222}Rn Exhalation Rate from Natural Rubber Latex Pillows Randomed from Online Market in Thailand
สันติ รักขาวงศ์ Santi Raksawong พิชิราวัฏ โสลา Phachirarat Sola ฤทธิรอน สำราญ Rittiron Samran
ปัทมา พิศภักดิ์ Pattama Pisapak.....23
4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสสที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ
Development of Yogurt from Cow and Soybean Milk Supplemented by Rice Bran Hydrolysate with Antioxidant Activity
ชมภูนุช ช้องลา Chompoonuch Khongla สุมาลี มุลิกา Sumalee Musika อารยา รานอก Araya Ranok
เสกสรร มังคลานันท์ Seksan Mangkalanan กิ่งนาง บุญเสริม Kungnang Bunsroem
ชนิดา กุประดิษฐ์ Chanida Kupradit.....32
5. การกำหนดดัชนีเก็บเกี่ยวลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) โดยใช้เทคนิค ไมโครเวฟเซ็นเซอร์
Determination of Longkong (*Lansium domesticum* Corr.) by Microwave Sensor Technique
นิโรชานา นิโษะ Nikrosana Niksoh ปิยะ ผ่านศึก Piya Phansuke
พวงทิพย์ แก้วทับทิม Pungtip Kaewtupim.....42

6. การศึกษาเปรียบเทียบผลของการลวกน้ำร้อนและการนึ่งต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ
Comparative Study of Effects of Hot Water and Steaming Blanching on Crisp Banana Qualities
 สุวิทย์ แพงกันยา Suwit Paengkanya สุรพิชญ์ ทับเที่ยง Surapit Tabtiang
 สมเกียรติ ปรัชญาวารากร Somkiat Prachayawarakorn สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ Somchart Soponronnarit.....49

7. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามด้วยความถี่เหนือเสียงและวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง
Optimized Extraction of Total Phenolic Compounds from 'Tubtim Siam' Pummelo Peel Using Ultrasonic Technique and Response Surface Methodolog
 ฌานิกา แซ่แง้ ชูกลิ้น Chanika Saenge Chooklin สุภายิต ชูกลิ้น Supasit Chooklin.....61

8. การประเมินศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยโดยอาศัยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล
Offshore Wind Resource Assessment of Thailand Using Remote Sensing Technique
 จอมภพ แวศักดิ์ Jompob Waewsak ลัทธวรรณ นิยมธรรม Latthawan Niyomtham |
 สมพล ชีวมงคลกานต์ Somphol Cheewamongkholkarn ชนะ จันทรีน้ำ Chana Chancham.....71

9. การผลิตกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม
The Production of Biodegradable Flowerpot from Sludge of Rubber Factory with Waste from Mushroom Culture and Palm Bunches
 จุฑามาศ แก้วมณี Jutamas Kaewmanee.....84

10. ปริมาณฟีนอลิกรวมฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดรากมะพูด
Total Phenolic Content, Antioxidant and Antityrosinase Activities of *Garcinia dulcis* Root Extract
 ปรีชาดิ เทพทอง Parichat Thepthong จูติยา ลูกแป้น Titiya Lookpan.....94



การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ จังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

Spatial Analysis of Mangrove Forest Area Change in Prasae River Mouth of Rayong Province Using Satellite Imageries

ประสาร อินทเจริญ^{1*} และสุนิตา มะลิวัลย์²

Prasarn Intacharoen^{1*} and Sunita Maliwan²

บทคัดย่อ

ผลของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่บริเวณแนวชายฝั่งทะเลส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของป่าชายเลนซึ่งความสมบูรณ์ของป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งของปากแม่น้ำประแสร์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งของปากแม่น้ำประแสร์ใน พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2562 ทำการศึกษาในเขตพื้นที่ 4 ตำบล ของอำเภอแกลง จังหวัดระยอง ได้แก่ ตำบลปากน้ำกระแสด ตำบลพังราด ตำบลเนินฆ้อ และตำบลคลองปูน โดยทำการประเมินค่าดัชนีพืชพรรณเพื่อบ่งบอกถึงมวลชีวภาพที่ปกคลุมดิน ผลการศึกษาพบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวมในแต่ละปีมีค่าร้อยละ 80.56 79.17 และ 82.64 ตามลำดับ ขนาดของพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าใน พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และพ.ศ. 2562 มีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 11,316.48 ไร่ 18,058.19 ไร่ และ 10,060.86 ไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ได้แสดงผลการทำนายพื้นที่ป่าชายเลนจากแบบจำลอง CA-Markov มีพื้นที่ป่าชายเลนรวมประมาณ 7,662.14 ไร่ ซึ่งลดลงประมาณร้อยละ 23 ใน พ.ศ. 2572

คำสำคัญ: ป่าชายเลน การสำรวจระยะไกล ดัชนีพืชพรรณ CA-Markov

Abstract

The effect of spatial change on the coastal area affected the status of mangrove forest. Richness of mangrove forest of Prasae estuary has been changed over time due to human activities. This research aimed to use remote sensing technology to investigate the richness of the mangrove forest in the coastal of Prasae estuary in years 2009, 2014, and 2019. Four sub-districts of Klang district, Rayong province were analyzed; namely Paknam Krasae, Pang Rad, Nern Koh, and Klong Pun. Normalized Difference Vegetation Index was evaluated for indicated of biomass that covers land area. The results showed that

¹อ.ดร., ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

²นิสิตระดับปริญญาตรี ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

¹Lecturer, Dr., Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131, Thailand

²Undergraduate Student, Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131, Thailand

*Corresponding author: E-mail address: prasarni@buu.ac.th

(Received: June 26, 2020; Revised: August 17, 2020; Accepted: September 1, 2020)

overall accuracy each year was 80.56, 79.17, and 82.64 %, respectively. The areas of mangrove forest in 2009, 2014, and 2019 were 11,316.48, 18,058.19, and 10,060.86, rai respectively. The prediction of the mangrove forest areas using CA-Markov model indicated that the mangrove area in 2029 would be 7,662.14 rai, which approximately decreases for 23 %

Keywords: Mangroves Forest, Remote Sensing, NDVI, CA-Markov

บทนำ

ชายฝั่งทะเลเป็นบริเวณที่มีคุณค่าทางธรรมชาติและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งมีพื้นที่เชื่อมต่อกันระหว่างแผ่นดินกับทะเล มีระบบนิเวศเฉพาะตัวที่มีความซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา [1] มีทรัพยากรที่หลากหลายและมีค่ามากมาย เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำ แร่ธาตุ อาหาร ชายหาด รวมทั้งป่าชายเลน และยังเป็นพื้นที่สำคัญของ โครงข่ายคมนาคมทางเศรษฐกิจ ดังนั้นพื้นที่ชายฝั่งทะเลจึงเป็นฐานเศรษฐกิจได้มากมาย ปัจจุบันพื้นที่ชายฝั่งทะเลถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและเกิดความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมชายฝั่ง การถูกทำลาย การใช้ประโยชน์จากที่ดินและการใช้ทรัพยากรมากเกินไป เช่น ป่าชายเลน ที่ดินชายหาด แนวปะการัง หญ้าทะเล เป็นต้น จากข้อมูลเชิงสถิติของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง [2] รายงานว่า ป่าชายเลนถูกทำลายอย่างรวดเร็วมากกว่าที่เคยเป็นมาในอดีตและมีพื้นที่ป่าชายเลนที่เปลี่ยนสภาพไปอย่างถาวร เช่น บริเวณที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น ซึ่งป่าชายเลนนอกจากเป็นแหล่งอาหาร แหล่งอนุบาลของสัตว์น้ำวัยอ่อนแล้ว ยังมีบทบาทในการรักษาสมดุลของธาตุอาหารและความสมบูรณ์ของชายฝั่งทะเล เป็นเขื่อนป้องกันคลื่นลมจากทะเล ขณะที่รากของต้นไม้ในป่าชายเลนยังทำหน้าที่ดักกรองสารพิษและสารมลพิษต่างๆ จากบนบกไม่ให้ลงสู่ทะเล เช่น โลหะหนัก ขยะ และคราบน้ำมัน เป็นต้น นอกจากนี้ป่าชายเลนยังเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงกว่าป่าประเภทอื่นและช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศ ดังนั้นป่าชายเลนจึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศที่มีความสำคัญมาก [3]

พื้นที่ชายฝั่งและบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ ในอำเภอแกลง จังหวัดระยอง เป็นพื้นที่หนึ่งที่ถูกบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าชายเลนลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุเกิดจากการใช้พื้นที่เพื่อพัฒนากิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เกษตรกรรม การทำเหมืองแร่ เป็นต้น ป่าชายเลนในพื้นที่ดังกล่าวถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก จากข้อมูลของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง [4] ได้ศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดระยองใน พ.ศ. 2557 พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากที่สุด ความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนจึงมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทั้งทางกายภาพและชีวภาพเป็นอย่างมาก

ดังนั้นเพื่อความรวดเร็วในการติดตามเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ทั้งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่เกิดขึ้นในอดีตและปัจจุบัน จึงนิยมใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเชิงเวลา [5] และสามารถทำนายโอกาสที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วยวิธี CA-Markov [6-8] ที่มักจะใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมในระยะยาว [9] โดยหลักคิดของแบบจำลองนี้จะใช้ตรรกะความเป็นไปได้ของโอกาสที่จะมีการเปลี่ยนแปลง (Transition Probability) ของสภาวะการณ์อย่างหนึ่งไปสู่สภาวะการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของจุดภาพต่อจุดภาพ

(Pixel by Pixel) ที่มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลา [10] ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำคุณสมบัติของค่าดัชนีของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) มาใช้จำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณ [11] บริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งของปากแม่น้ำประแสร์ เพื่อจำแนกและติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลน เพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการเชิงพื้นที่และเชิงอนุรักษ์ต่อไปในอนาคต โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลของปากแม่น้ำประแสร์ และศึกษาสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ อำเภอกะเลง จังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

การศึกษาวิจัยนี้ทำการศึกษากการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่บริเวณตำบลที่ติดกับชายฝั่งทะเลของบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ อำเภอกะเลง จังหวัดระยอง จำนวน 4 ตำบล ได้แก่ ตำบลเนินฆ้อ ปากน้ำกระแสด คลองปูน และพังราด แสดงดังภาพที่ 1 ทำการเปรียบเทียบข้อมูลใน 3 ช่วงเวลาระยะห่างกัน 5 ปี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5 TM พ.ศ. 2552 และ Landsat-8 OLI-TIRS ของ พ.ศ. 2557 และพ.ศ. 2562 ทั้งนี้ได้นำข้อมูลภาพจาก Google Earth ของทั้ง 3 ช่วงเวลามาใช้ในการอ้างอิงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการแปลตีความ นำข้อมูลมาเตรียมการก่อนการประมวลผล (Pre-processing) ได้แก่ การปรับค่าความสว่างหรือความชัดคมของภาพ (Image Enhancement) จากนั้นตัดเลือกพื้นที่ที่จะทำการศึกษา (Subset Study Area) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณต่อไป

การวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในแต่ละปีมาวิเคราะห์ตามสมการดังนี้ $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ เมื่อ NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรด RED คือ ช่วงคลื่นสีแดง ทำการจำแนกผลของข้อมูลที่ได้เป็น 3 กลุ่ม โดยการอ้างอิงค่าดัชนีพืชพรรณดังตารางที่ 1

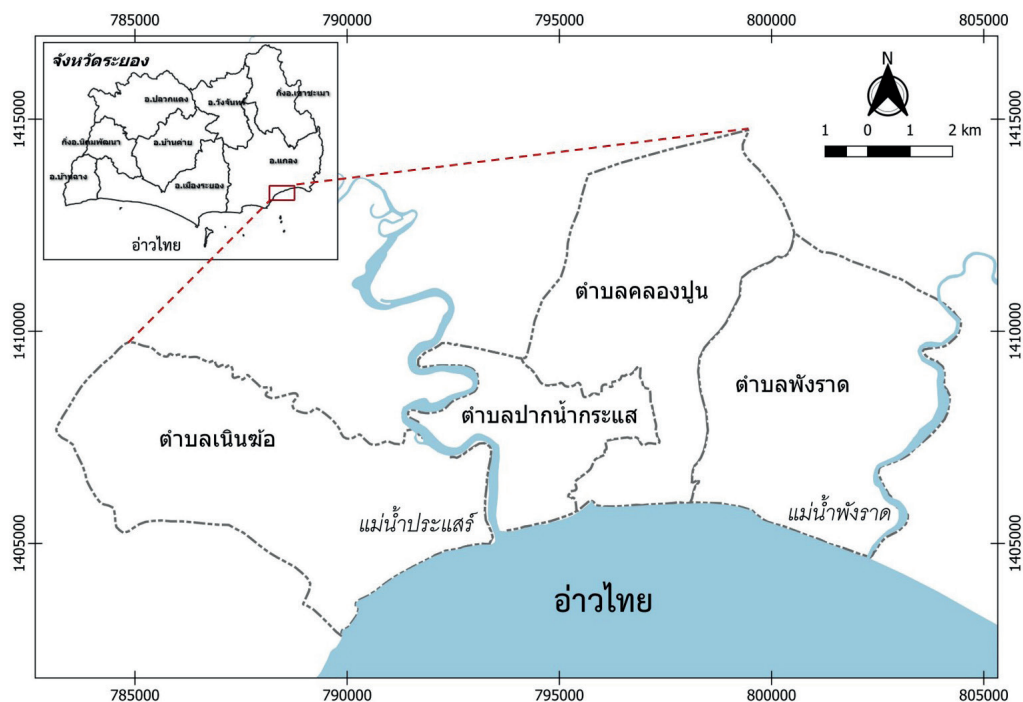
ตารางที่ 1 เกณฑ์การจำแนกประเภทข้อมูลจากค่าดัชนีพืชพรรณ [11]

ค่าดัชนีพืชพรรณ	กลุ่ม	ความหมาย
0.3 – 1.0	1	มีพื้นที่พืชพรรณหนาแน่น ได้แก่ กลุ่มป่าไม้ ป่าชายเลน พืชสวน
0.2 – 0.3	2	มีพื้นที่พืชพรรณหนาแน่นน้อย ได้แก่ พืชไร่ (อ้อย มันสำปะหลัง นาข้าว) ทุ่งหญ้า ไม้พุ่มเตี้ย
(-1.0) – 0.2	3	ไม่มีพืชพรรณปกคลุม ได้แก่ พื้นที่แหล่งน้ำ สิ่งก่อสร้าง ชุมชน ถนน พื้นดิน ที่โล่งแจ้ง

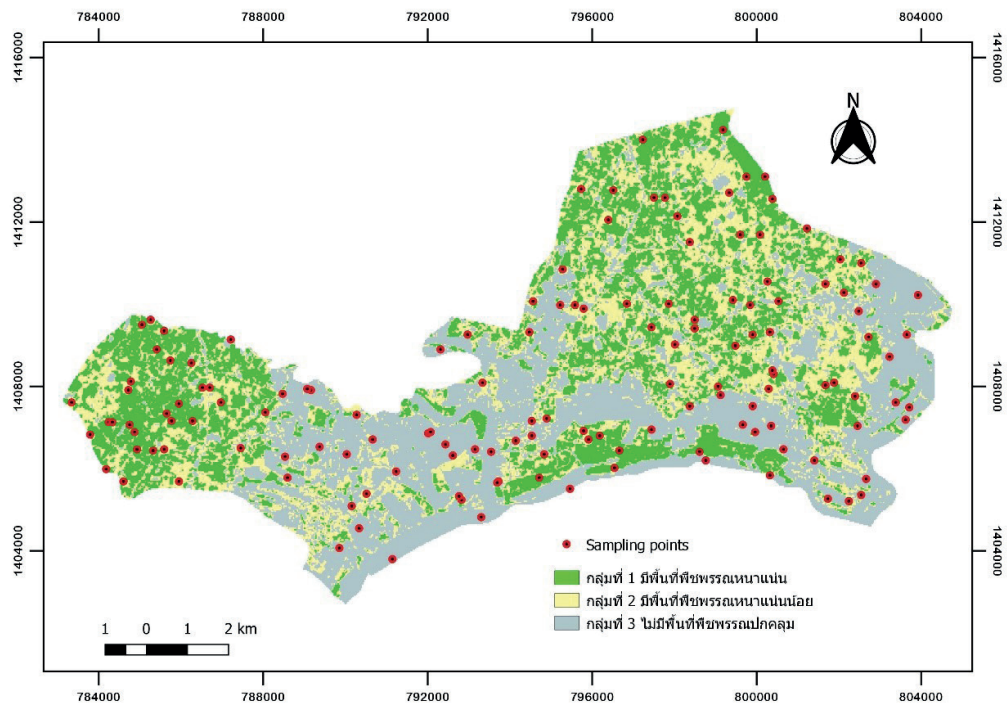
ตรวจสอบความถูกต้องผลของการจำแนกด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) โดยทำการสุ่มจากข้อมูลภาพที่ผ่านการจำแนกประเภทข้อมูลค่าดัชนีพืชพรรณ เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์เชิงสถิติทำการคำนวณจุดตัวอย่างในพื้นที่สำรวจโดยใช้สมการ $N = (Z^2pq)/E^2$ เมื่อ N คือ จำนวนของจุดภาพ E คือ ร้อยละของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ p คือ ความถูกต้องที่คาดหวังเป็นร้อยละ q คือ 100-p และ Z คือ ค่า Z จากตารางความเบี่ยงเบนมาตรฐานปกติ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด โดยการศึกษาในครั้งนี้ กำหนดความถูกต้องที่คาดหวังร้อยละ 90 และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ร้อยละ 5

เมื่อกำหนดจำนวนจุดสุ่มตัวอย่างดังสมควรข้างต้นเท่ากับ 144 จุดตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy Assessment) ทำการวิเคราะห์จำแนกว่าสอดคล้องกับประเภทข้อมูลทางภาคพื้นดิน (ที่มีอยู่จริง) โดยพิจารณาจากค่าความถูกต้องรวม (Overall Accuracy) ค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ไม่การจำแนกขาดหายไป (Omission Error) และค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ไม่การจำแนกเกินมา (Commission Error) นอกจากนี้จะพิจารณาค่าสถิติแคปป่า (Kappa Statistics) เป็นการแสดงความถูกต้องโดยรวมเช่นกัน แต่พิจารณาในรูปแบบความสอดคล้องของข้อมูลควบคู่ไปกับค่าความถูกต้องโดยรวม หากว่าค่าทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกันไปในทิศทางสูงถือว่าผลในการจำแนกข้อมูลนั้นดี

สำหรับการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนออกจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ ทั้ง 4 ตำบลในพื้นที่ศึกษาจะนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องของ 2 ปัจจัยมาพิจารณาได้แก่ระยะห่างจากแนวชายฝั่งทะเลโดยกำหนดเขต (Buffer Zone) ไว้ในระยะไม่เกิน 1,000 เมตร และขอบเขตจากเส้นทางน้ำในบริเวณพื้นที่บนบกในระยะห่างไม่เกิน 500 เมตร จากนั้นนำผลที่ได้ไปจัดทำเป็นแผนที่ของพื้นที่ที่มีสภาพเป็นป่าชายเลนใน พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2562 เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ อำเภอกแสลง จังหวัดระยอง และนำแบบจำลอง CA-Markov มาใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงในอีก 10 ปี ข้างหน้าคือ พ.ศ. 2572 โดยใช้ฐานข้อมูลของ พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2562



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา

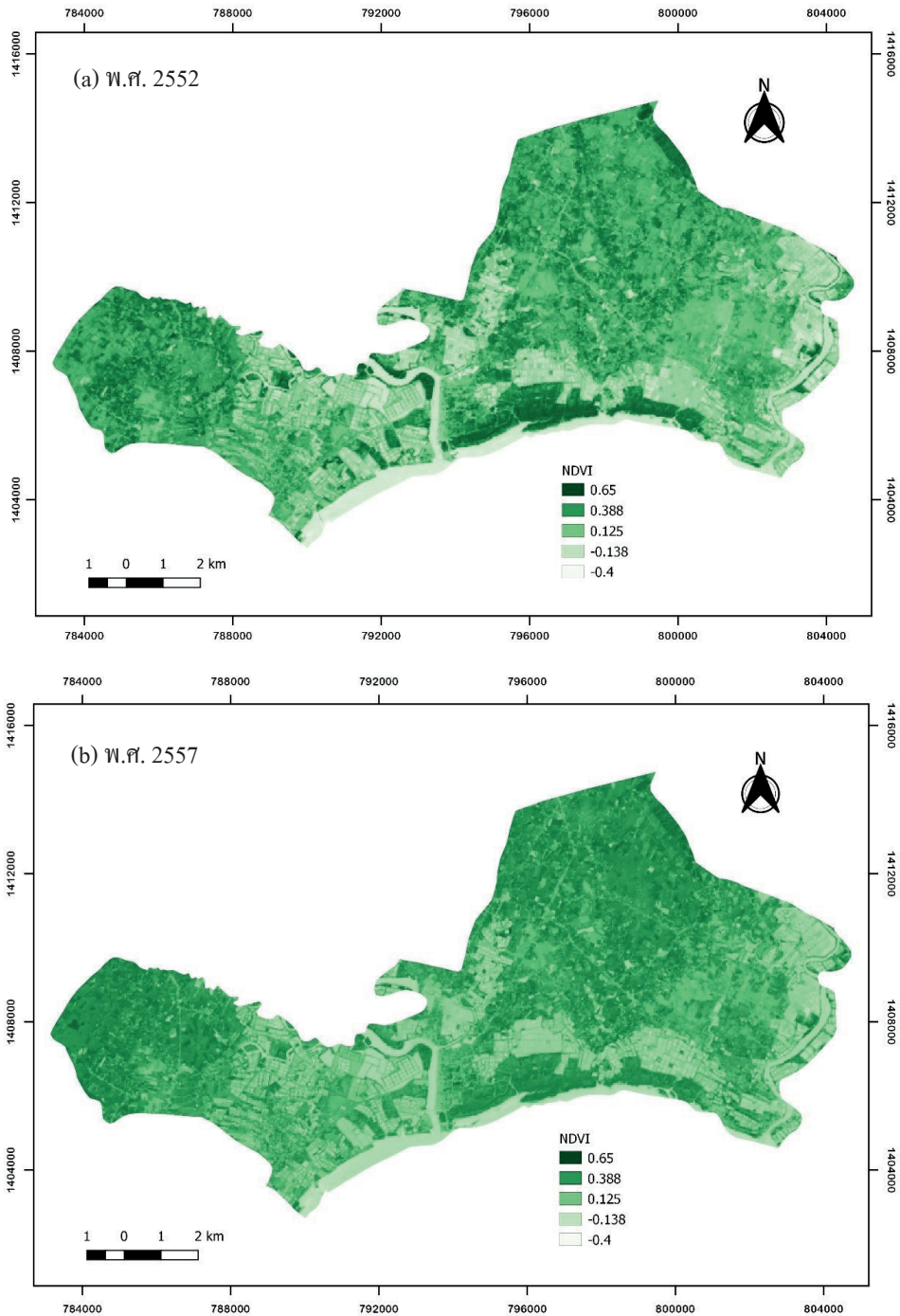


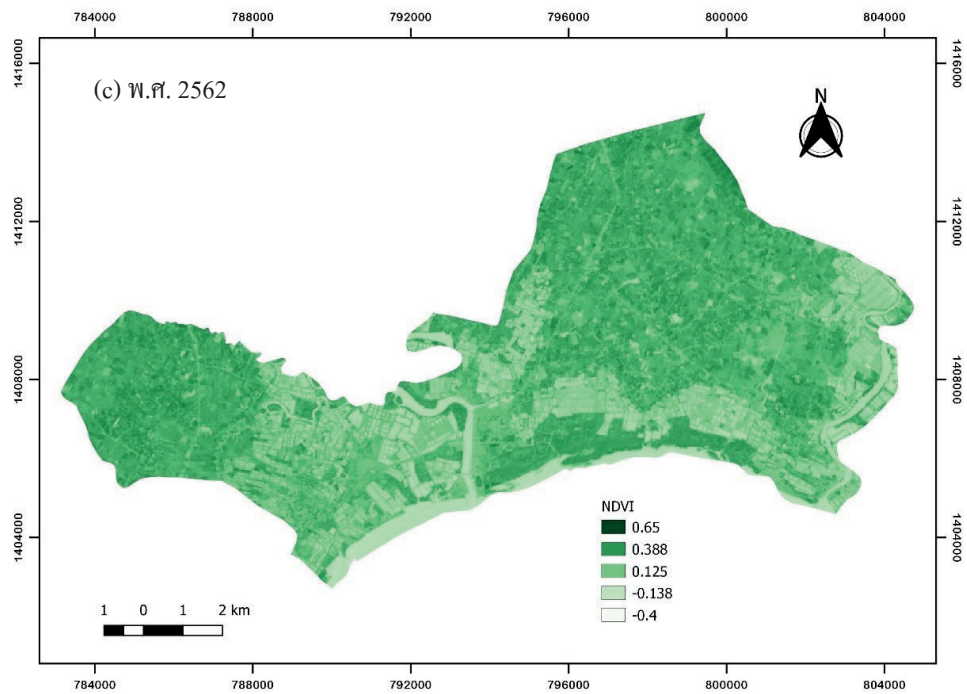
ภาพที่ 2 สถานีสุ่มตัวอย่างข้อมูลเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องจากภาคสนาม พ.ศ. 2562

ผลการวิจัย

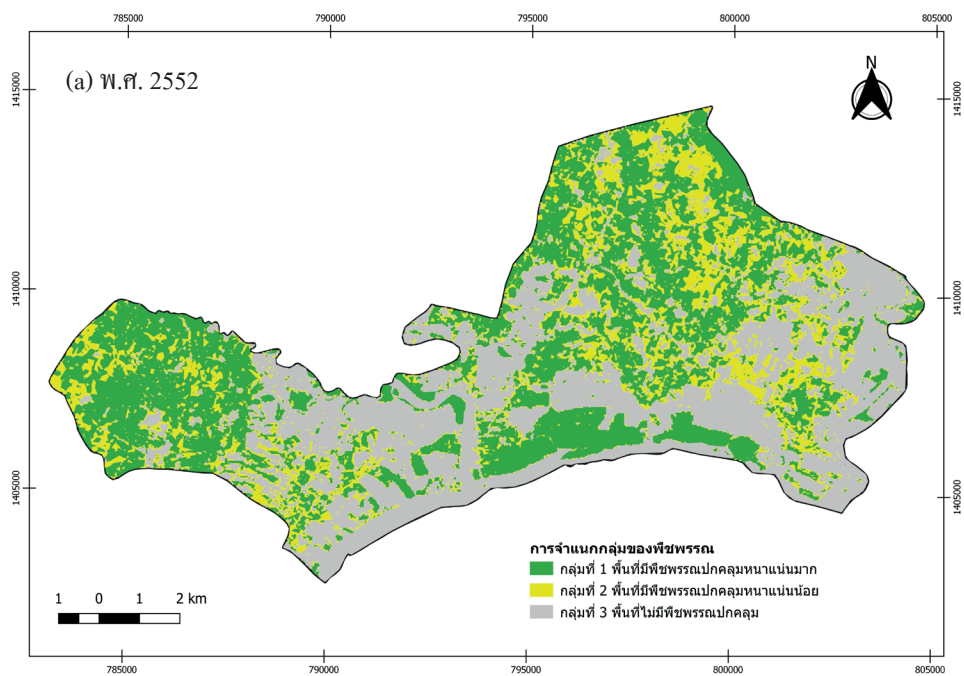
ผลจากการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5 และ Landsat-8 ของปี พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และพ.ศ. 2562 ที่นำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณด้วยวิธี NDVI เพื่อประเมินสถานภาพความสมบูรณ์ของพืชพรรณบริเวณพื้นที่ 4 ตำบล จำนวน 3 ปี พบว่ามีค่าดัชนีพืชพรรณอยู่ระหว่าง -0.4 ถึง 0.65 ซึ่งค่าสูงที่สุดพบใน พ.ศ. 2552 ดังแสดงผลภาพที่ 3 (a) - (c) และผลของการจำแนกกลุ่มของข้อมูลโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณตามค่าในตารางที่ 1 ที่ทำการจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 คือ มีพื้นที่พืชพรรณหนาแน่น (สีเขียว) กลุ่มที่ 2 คือ มีพื้นที่พืชพรรณหนาแน่นน้อย (สีเหลือง) และกลุ่มที่ 3 คือ ไม่มีพื้นที่พืชพรรณปกคลุม (สีเทา) ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์นั้นพื้นที่ป่าชายเลนที่ติดกับชายฝั่งทะเลบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ ถูกจัดจำแนกอยู่ในกลุ่มที่ 1 มากที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นถึงบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนมีพืชพรรณหนาแน่นปกคลุม และมีพื้นที่บางส่วนของป่าชายเลนที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 ส่วนกลุ่ม 3 แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่ไม่มีพืชพรรณปกคลุม เช่น พื้นที่แหล่งน้ำ สิ่งปลูกสร้าง พื้นดิน เป็นต้น เมื่อทำการจำแนกประเภทข้อมูลทำให้สามารถเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของสถานภาพความสมบูรณ์ของป่าชายเลนได้ดียิ่งขึ้น ดังภาพที่ 4 (a), 4 (b) และ 4 (c) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบสถานภาพความสมบูรณ์ของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และพ.ศ. 2562 (ภาพที่ 7) จะเห็นได้ว่าสถานภาพความสมบูรณ์ของป่าชายเลนในแต่ละรอบ 5 ปี มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ทั้งนี้อาจมีปัจจัยจากการกระทำของมนุษย์ และธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้อง การตรวจสอบความถูกต้อง นำข้อมูลภาพที่ผ่านการวิเคราะห์จำแนกประเภทข้อมูลตามค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ระดับดังกล่าวมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลภาพทั้ง 3 ปี โดยทำการสุ่มตัวอย่างจากชั้นข้อมูลทั้ง 3 กลุ่ม เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์เชิงสถิติให้กับข้อมูลภาพ จำนวนจุดสุ่มทั้งหมด 144 จุด ดังภาพที่ 2 ทั้งนี้ได้

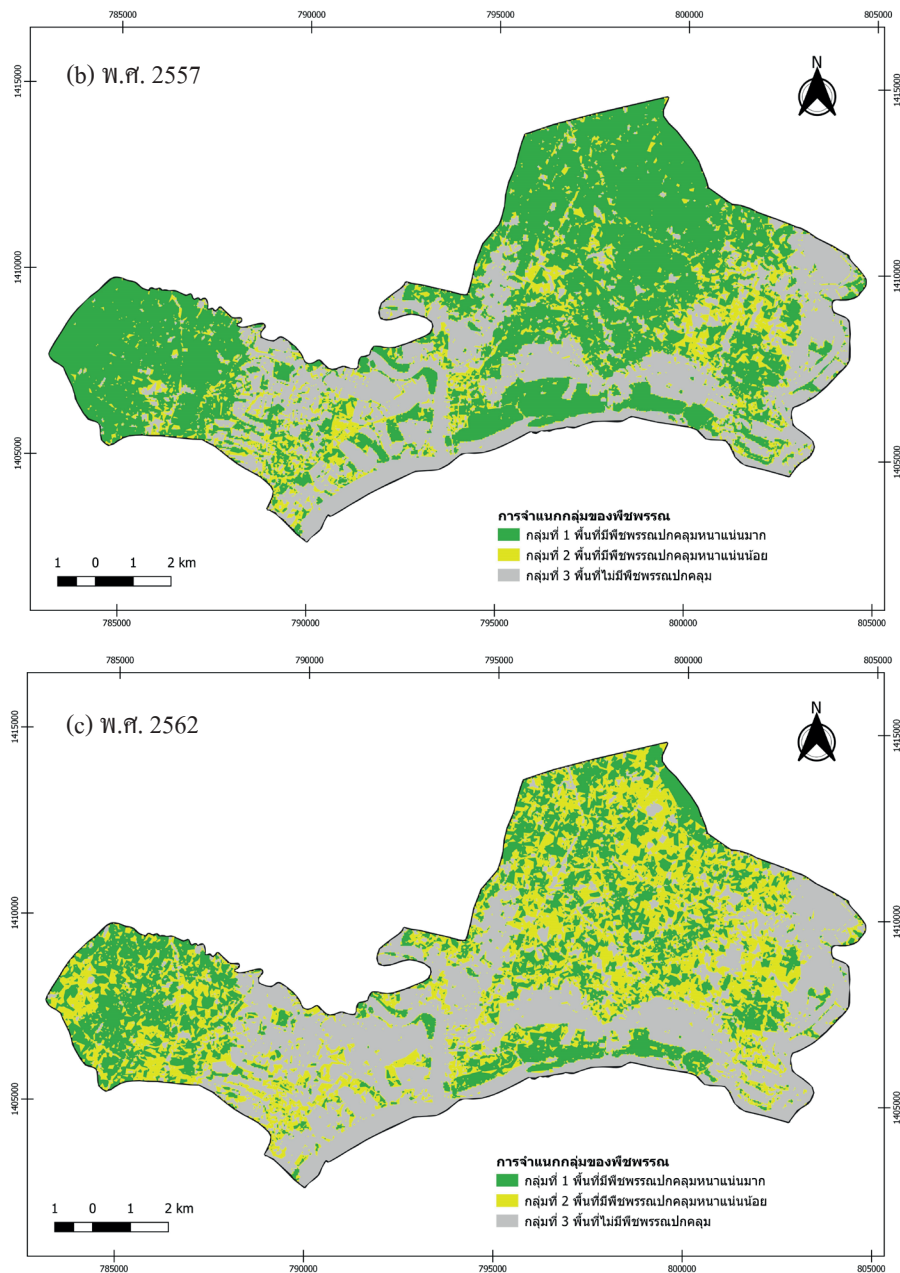
แสดงตัวอย่างผล การวิเคราะห์ของข้อมูล พ.ศ.2562 ดังตารางที่ 2 ผลของค่าความถูกต้องโดยรวมของข้อมูล พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2562 ในแต่ละปีมีค่าร้อยละ 80.56 79.17 และ 82.64 ตามลำดับ และผลของ สถิติเค็ปปาเท่ากับ 0.70 0.68 และ 0.74 ตามลำดับ ดังแสดงตัวอย่างข้อมูล พ.ศ. 2562 ในตารางที่ 2





ภาพที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณใน พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และพ.ศ. 2562





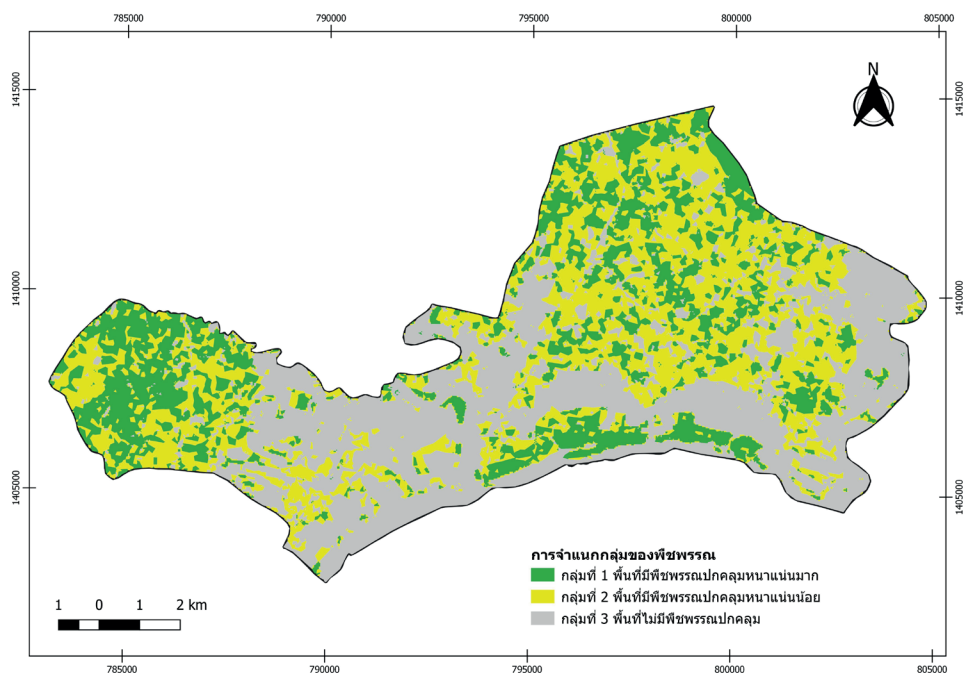
ภาพที่ 4 การจำแนกประเภทข้อมูลพืชพรรณตามระดับค่าดัชนีพืชพรรณ
(a) พ.ศ. 2552 (b) พ.ศ. 2557 (c) พ.ศ. 2562

ผลการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนใน 4 ตำบล บริเวณปากแม่น้ำประแสร์ จังหวัดระยอง การแยกประเภทพื้นที่ป่าชายเลนออกจากป่าประเภทอื่นๆ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัย เป็นเกณฑ์ในการจำแนกได้แก่ เส้นแนวชายฝั่งทะเลและเส้นทางน้ำ เนื่องจากบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนพืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ในบริเวณที่ระดับน้ำทะเลท่วมถึง ซึ่งจากการสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนที่ติดกับชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำประแสร์

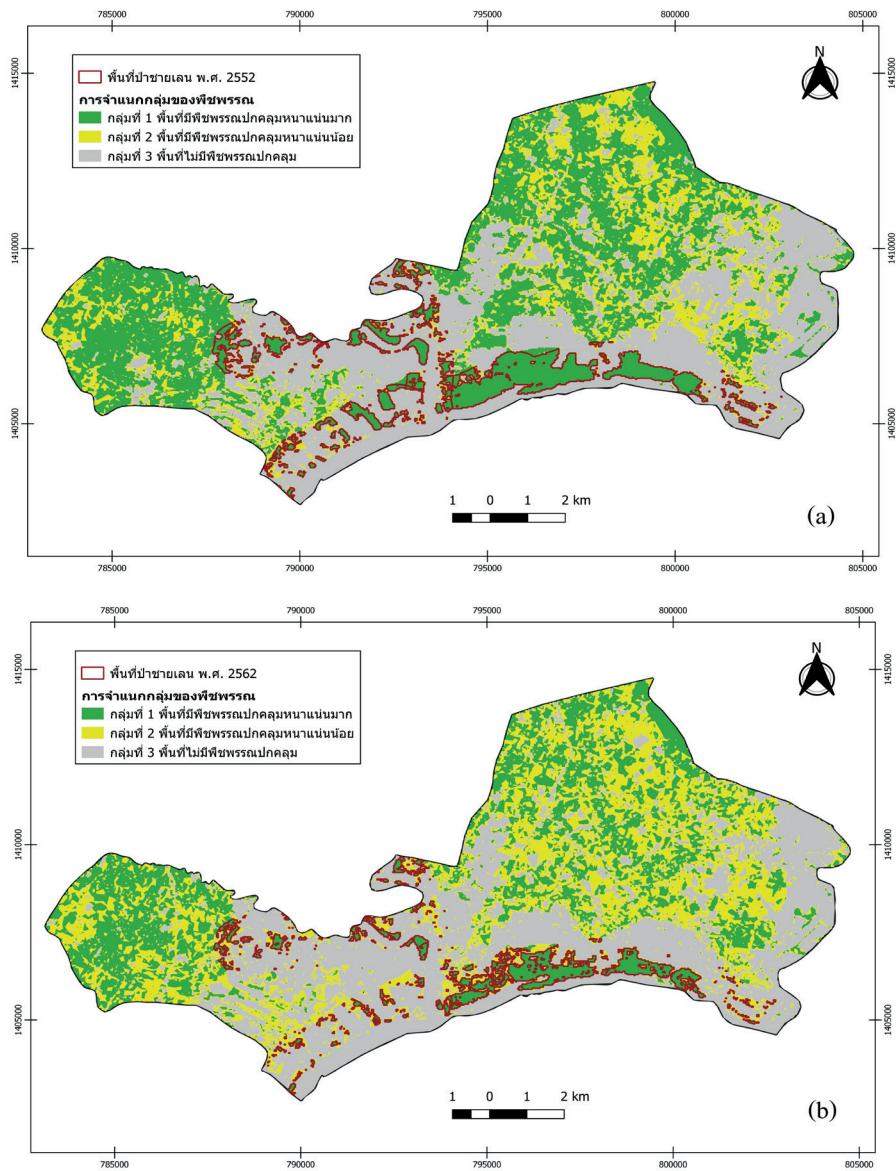
จากข้อมูลสถานการณ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งในจังหวัดระยอง [11] และการตรวจสอบจาก Google Earth พบว่า ป่าชายเลนจะสามารถเจริญเติบโตในพื้นที่แนวชายฝั่งทะเลไปประมาณ 1,000 เมตร และป่าชายเลนจะเจริญเติบโตได้ในพื้นที่บริเวณเส้นทางน้ำไม่เกิน 500 เมตร ซึ่งผลจากการวิเคราะห์หาพื้นที่ป่าชายเลนทั้ง 4 ตำบล ได้แก่ ตำบลปากน้ำกระแสะ ตำบลพังราด ตำบลเนินฆ้อ ตำบลคลองปูน อำเภอแกลงจังหวัดระยอง ดังภาพที่ 6 และ 7 ทั้งนี้ได้แสดงผลของพื้นที่ป่าชายเลนรายตำบลดังแสดงในตารางที่ 3 ใน พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 ซึ่งมีพื้นที่โดยรวมประมาณ 11,316.48 ไร่ 18,058.19 ไร่ และ 10,060.86 ไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ได้แสดงผลการทำนายพื้นที่ป่าชายเลนจากแบบจำลอง CA-Markov ใน พ.ศ. 2572 มีพื้นที่รวมประมาณ 7,662.14 ไร่

ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนของการจำแนกข้อมูล พ.ศ. 2562

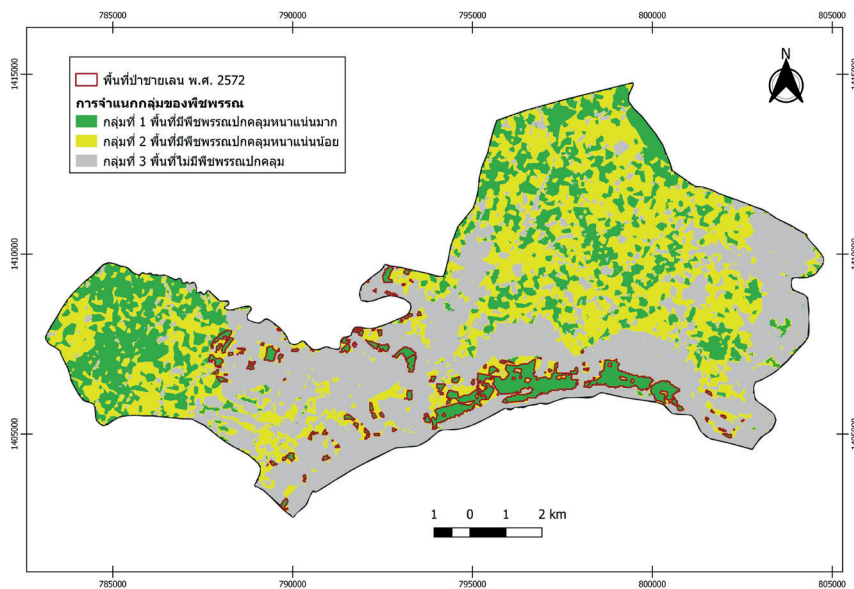
Reference Data					
Classified Data		Class 1	Class 2	Class 3	Total
	Class 1	40	6	3	49
	Class 2	14	25	2	41
	Class 3	0	0	54	54
	Total	54	31	59	119
	Producer's Accuracy	74.07 %	80.65 %	91.53 %	
Overall Accuracy = 82.64 %					
Overall Kappa Statistics = 0.74					



ภาพที่ 5 ผลที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ใน พ.ศ. 2572



ภาพที่ 6 การจำแนกประเภทข้อมูลพืชพรรณตามระดับค่าดัชนีพืชพรรณ (a) พ.ศ. 2552 (b) พ.ศ. 2562



ภาพที่ 7 ผลการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลน ที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ใน พ.ศ. 2572

ตารางที่ 3 พื้นที่ป่าชายเลน พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 พ.ศ. 2562 และการทำนายใน พ.ศ. 2572

ตำบล	พื้นที่ที่มีสภาพเป็นป่าชายเลน (ไร่)			
	พ.ศ.2552	พ.ศ.2557	พ.ศ.2562	พ.ศ.2572
เนินขี้	2,440.54	2,016.63	989.42	764.58
ปากน้ำกระแสด	5,111.77	9,025.81	4,340.42	3,041.37
คลองปูน	2,808.64	4,838.71	2,730.46	1,850.98
พังราด	955.53	2,177.04	2,000.56	2,005.21
รวม	11,316.48	18,058.19	10,060.86	7,662.14

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ค่าดัชนีพืชพรรณนอกจากจะใช้พิจารณาสถานภาพความสมบูรณ์ของพืชพรรณบริเวณแนวชายฝั่งได้แล้ว ยังสามารถนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนโดยใช้เกณฑ์ตามค่าที่ได้จำแนกไว้[11] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suppawit [5] ที่ได้รายงานค่าดัชนีของป่าชายเลนไว้ว่าควรมีค่ามากกว่า 0.49 และนำไปใช้ในวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชายเลนตลอดจนทำนายพื้นที่ป่าชายเลนในอนาคตโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov สำหรับผลของการตรวจสอบความถูกต้องโดยรวมของข้อมูลภาพใน พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2562 มีค่าความถูกต้องร้อยละ 80.56 79.17 และ 82.64 ตามลำดับ และมีค่าสถิติ kappa เท่ากับ 0.70 0.68 และ 0.74 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการศึกษาที่ดีเช่นเดียวกับการศึกษาของ Intacharoen, *et al.* [8] ทั้งนี้ผลของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งของปากแม่น้ำกระแสด จังหวัดระยองใน พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2557 พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มขึ้น

6,741.71 ไร่ และ ในพ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2562 มีพื้นที่ป่าชายเลนลดลง 7,997.33 ไร่ เมื่อพิจารณาถึงขนาดของพื้นที่ที่ได้มีการทำนายโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ตั้งแต่ พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2572 รวมระยะเวลา 20 ปี แล้วพบว่า จะยังคงมีพื้นที่ป่าชายเลนที่ลดลงประมาณ 3,654.34 ไร่ โดยผลการวิเคราะห์ใน พ.ศ. 2557 นั้นมีพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ป่าชายเลนที่ได้จากกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง [12] ที่มีพื้นที่รวมทั้ง 4 ตำบล ประมาณ 16,445 ไร่ ซึ่งค่าความต่างของพื้นที่นี้อาจจะเกิดจากค่าความผิดพลาดในการแปลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม และเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลที่สามารถนำมาอ้างอิงการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนได้ จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมของปัญหาการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ ทั้ง 4 ตำบล ได้แก่ ตำบลปากน้ำกระแสะ ตำบลพังราด ตำบลเนินฆ้อ ตำบลคลองปูน ในโอกาสต่อไปและผลจากแบบจำลองของ CA-Markov นั้นในอนาคตพื้นที่ป่าชายเลนจะมีแนวโน้มลดลงประมาณร้อยละ 23 ในพ.ศ. 2572 ดังนั้นจึงสามารถนำผลการวิเคราะห์ครั้งนี้ไปใช้เพื่อประกอบการวางแผนการตัดสินใจด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน ตลอดจนการศึกษาวิจัยเชิงนิเวศวิทยา [5] ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนของไม้ป่าชายเลน การติดตามหรือการศึกษาระบบนิเวศของป่าชายเลนต่อไป

สำหรับแนวทางการปรับปรุงงานวิจัยเกี่ยวกับป่าชายเลนในอนาคตจำเป็นต้องใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงกว่านี้จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ดียิ่งขึ้น เช่น IKONOS Quick Bird หรือ ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น การพิจารณาปัจจัยที่นำมาใช้ในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลน ได้แก่ ปัจจัยของเส้นแนวชายฝั่งทะเลและเส้นทางน้ำ สามารถนำมาเป็นปัจจัยใช้ในการวิเคราะห์หาพื้นที่ป่าชายเลนได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องการทำ Buffer Zone เนื่องจากที่ตั้งของป่าชายเลนในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ในการกำหนด Buffer Zone ของงานวิจัยนี้อาจจะไม่เหมาะสมในการศึกษาป่าชายเลนในพื้นที่อื่น

References

- [1] Satumanatpan, S. (2011). *Coastal management: Integration to sustainability*. Nakhon Pathom: Mahidol University, Inc.
- [2] Seejun, P. (2005). *Coast-land and coastal zone (1st Ed)*. Bangkok: Department of Marine and Coastal Resources.
- [3] Department of Marine and Coastal Resources. (2013). *Manual of mangrove knowledge (5th Ed)*. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment.
- [4] Department of Marine and Coastal Resources. (2015). *Geo-information of marine and coastal resources (2nd Ed)*. Chon Buri: Pattaya Graphic Print, Inc.
- [5] Suppawimut, W. (2019). Application of mangrove index for mangrove forest classification using landsat 8 imageries: A case study of Thung Kha-Sawi bay, Chumphon province. In *The 4th National Conference on Science and Technology of Southern Network 2019*, 468–475, February 7–8, 2019, Songkhla: Songkhla Rajabhat University.
- [6] Hua, A.K. (2017). Application of CA-Markov Model and land use/land cover changes in Malacca River Watershed, Malaysia. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4), 605–622.

- [7] Imsawas, K., & Pleerux, N. (2015). Monitoring oil palm cultivation areas in Chon Buri Province. *Journal of REMote Sensing and GIS Association of Thailand*, 16(1), 18–27.
- [8] Intacharoen, P., Thaipichitburapha, P., Buranapratheprat, A., & Na-u-dom, T. (2021). Geoinformatics applications to spatial relation assessment of land use and water quality in the Prasae watershed, Rayong province. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 13(1), 174–190.
- [9] Lee, T. M., & Yeh, H. C. (2009). Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui river estuary mangrove communities, Taiwan. *Ecological Engineering*, 35(4), 487–496.
- [10] Eastman, J. R. (2016). *TerrSet geospatial monitoring and modelling system manual*. Worcester, MA. USA: Clark Labs, Clark University.
- [11] Yasowong, P., & Jarussakulchai, C. (2013). Indexing remote sensing image retrieval using clustering and vegetation indices. *Journal of Information Science and Technology*, 4(2), 1–8.
- [12] Department of Marine and Coastal Resources. (2018). *Data base of marine and coastal resources of Rayong Province*. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment.

การประเมินนิวไคลด์กัมมันตรังสี (^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K)
ในดินบริเวณเทือกเขาหินแกรนิตอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
Estimation of Radionuclide (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K)
in Soil Granite Rock Mountains Phangan District, Surat Thani Province

ปิยะ ผ่านศึก^{1*}, สุณารี บดีพงษ์² และมูบารัค เล็กเกลี้ยง³

Piya Phansuke^{1*}, Sunaree Boodeepong² and Mubarak Lakkiang³

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K และคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) ในตัวอย่างดินจำนวน 20 ตัวอย่าง บริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ด้วยวิธีวิเคราะห์แกมมาสเปกโตรเมตรี หัววัดเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) พบว่าดินหลายตัวอย่างมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทยและค่าเฉลี่ยทั่วโลก นอกจากนี้ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) และค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดย UNSCEAR (2000) ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพของประชากรที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นได้

คำสำคัญ: นิวไคลด์กัมมันตรังสี อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี หัววัดเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง

Abstract

The objective of this study were to analyze the specific activity of the natural radioactive nuclide of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K and to calculate the Radium equivalent activity (Ra_{eq}), the Internal hazard index (H_{in}), the External hazard index (H_{ex}), the Gamma-absorbed dose rate (D) and the Annual external effective

¹ อ., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

² อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

¹ Lecturer, Physics Program, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

² Lecturer, Dr., Physics Program, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

³ Graduate Student, Applied Physics Program, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: piya.p@psu.ac.th

(Received: June 22, 2020; Revised: September 1, 2020; Accepted: September 9, 2020)

dose rate (E) in the 20 soil samples from Koh Phangan District, Surat Thani Province by using gamma-ray spectrometer with a high purity germanium detector (HPGe). The results show that the specific activity of radioactive nuclides in many samples were higher than Thailand and the global average values. In addition, the Radium equivalent activity (Ra_{eq}), the Internal hazard index (H_{in}), the external hazard index (H_{ex}) and the gamma-absorbed dose rate (D) were higher than the UNSCEAR criterion (2000). The present study found that the radioactivity may affect the health of people living in that area.

Keywords: Radionuclide, Phangan District, Surat Thani Province, High-Purity Germanium Detectors (HPGe)

บทนำ

นิวไคลด์กัมมันตรังสี (^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K) เป็นสารกัมมันตรังสีจากธรรมชาติ สามารถตรวจพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ในน้ำ ดิน หิน และในอากาศ ปริมาณของสารกัมมันตรังสีเหล่านี้จะมีค่าสูง บริเวณที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาที่เป็นเทือกเขาหินแกรนิต อย่างเช่นบริเวณอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี [1] สารกัมมันตรังสีมีอันตรายต่อมนุษย์ สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง เช่น การกิน การซึมผ่านผิวหนัง และทางบาดแผลเป็นต้น สำหรับความเป็นอันตรายของสารกัมมันตรังสีเกิดขึ้นได้หลายระดับขึ้นอยู่กับปริมาณ ชนิด และระยะเวลาที่ได้รับสารกัมมันตรังสีปริมาณสูงแบบเฉียบพลันอาจทำให้เกิดแก๊งค์ได้ หรือการรับสารกัมมันตรังสีปริมาณอวัยวะสืบพันธุ์จะทำให้เป็นหมันได้ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลให้ลูกหลานที่เกิดมาผิดปกติ ตัวชี้วัดระดับความเป็นอันตรายจากการได้รับสารกัมมันตรังสีจากธรรมชาติต่อการใช้ชีวิตประจำวัน สามารถทำได้โดยวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงการได้รับรังสีจากภายในร่าง (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงการได้รับรังสีจากภายนอกร่าง (H_{ex}) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างประจำปี (E) [2] อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นพื้นที่ที่มีหินแกรนิตแทรกซอนขึ้นมาทั่วทั้งเกาะจึงควรมีการตรวจวัดระดับความปลอดภัยจากสารกัมมันตรังสี

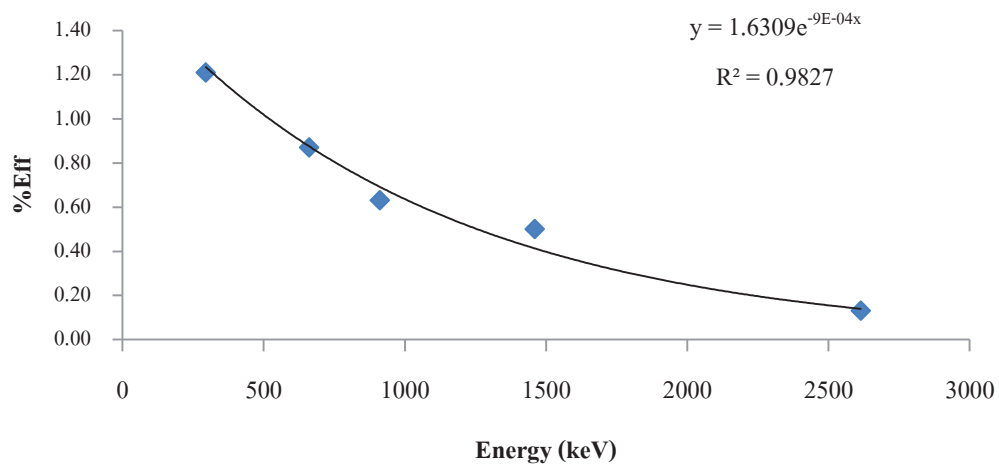
วิธีดำเนินการ

1. การเก็บ และเตรียมตัวอย่าง

ศึกษาภูมิประเทศของอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินจำนวน 20 จุด ทั่วเกาะพะงัน บันทึกจุดเก็บตัวอย่างที่แน่นอนด้วยเครื่องบอกพิกัดด้วยดาวเทียม (Global Positioning System, GPS) ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 นำตัวอย่างดินมาอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้เป็นผง จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรกร่อนขนาด $120\ \mu\text{m}$ และบรรจุในภาชนะพลาสติก วางทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือนเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลทางรังสี

2. การตรวจวัด และวิเคราะห์

นำสารมาตรฐานดิน IAEA-375 จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ มาวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) เป็นเวลา 10,800 s ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอบางกรวย จังหวัดนครนายก นำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัววัดรังสีดังกล่าวที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการนับวัดกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีกับระดับพลังงานรังสีแกมมาของสารมาตรฐาน IAEA-375

นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาวัดรังสีแกมมาเช่นเดียวกับสารมาตรฐานดิน เพื่อวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra ^{232}Th และ ^{40}K ที่พลังงาน 609.31 2614.53 และ 1460.75 keV ตามลำดับ [3] ดังสมการที่ (1)

$$C_r = \frac{A}{E_{ff} \times T \times P \times W} \quad (1)$$

- เมื่อ C_r คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างดิน (Bq/kg)
 A คือ อัตรานับสุทธิ (Peak Area/Counting Time)
 E_{ff} คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (cps/Bq)
 T คือ เวลาที่นับวัด (s)
 P คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี (%yield)
 W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวัดรังสี (kg)

จากนั้นวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี (E) [4-5] ดังสมการ (2) – (6)

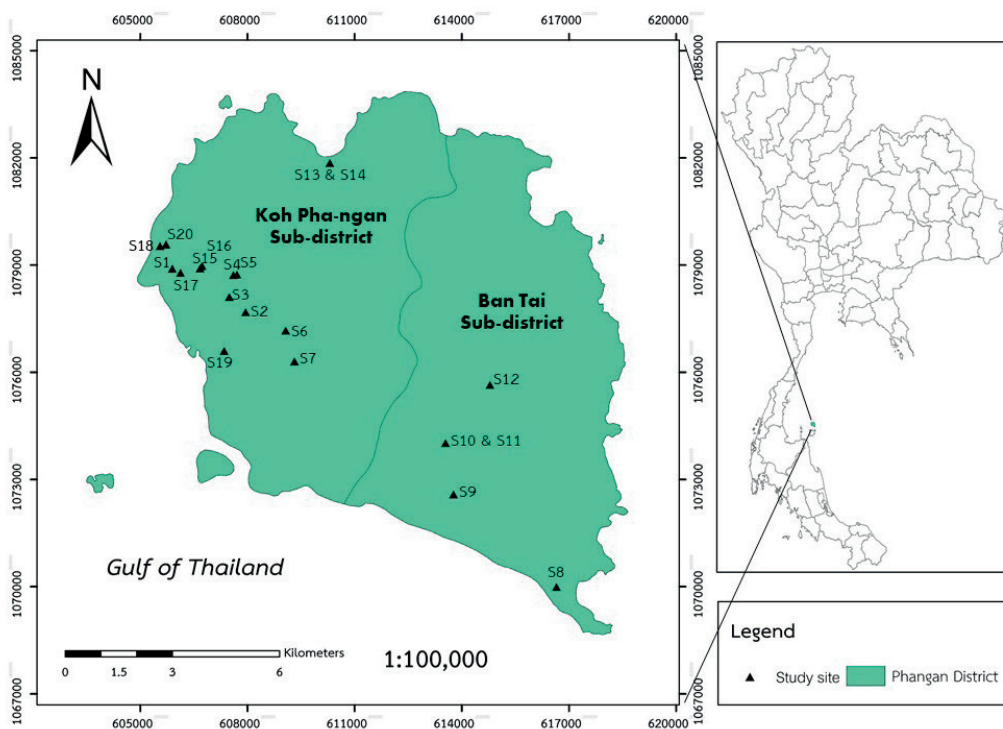
$$Ra_{eq} \text{ (Bq/kg)} = C_{^{226}\text{Ra}} + 1.43C_{^{232}\text{Th}} + 0.077C_{^{40}\text{K}} \quad (2)$$

$$H_{in} = \frac{C_{^{226}\text{Ra}}}{185} + \frac{C_{^{232}\text{Th}}}{259} + \frac{C_{^{40}\text{K}}}{4810} \quad (3)$$

$$H_{ex} = \frac{C_{^{226}\text{Ra}}}{370} + \frac{C_{^{232}\text{Th}}}{259} + \frac{C_{^{40}\text{K}}}{4810} \quad (4)$$

$$D \text{ (nGy/hr)} = 0.461C_{^{226}\text{Ra}} + 0.604C_{^{232}\text{Th}} + 0.0417C_{^{40}\text{K}} \quad (5)$$

$$E(\text{mSv/y}) = D(\text{nGy/hr}) \times 8760(\text{hr}) \times 0.2 \times 0.7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-6} \quad (6)$$



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดิน จำนวน 20 ตัวอย่าง บริเวณพื้นที่เกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินจาก อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Samples	Specific Activities (Bq/kg)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Soil 1	132.98 ± 0.84	58.02 ± 0.36	1220.94 ± 0.86
Soil 2	190.99 ± 1.01	133.96 ± 0.52	2078.99 ± 1.11
Soil 3	299.98 ± 1.26	177.50 ± 0.60	1711.58 ± 1.01
Soil 4	217.78 ± 1.08	127.64 ± 0.51	2504.62 ± 1.21
Soil 5	205.30 ± 1.04	123.62 ± 0.50	2555.65 ± 1.22^a
Soil 6	237.17 ± 1.12	97.54 ± 0.45	1533.16 ± 0.96

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินจากอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี(ต่อ)

Samples	Specific Activities (Bq/kg)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Soil 7	286.85 ± 1.23	155.56 ± 0.56	2043.84 ± 1.10
Soil 8	211.40 ± 1.06	272.63 ± 0.73	2176.52 ± 1.13
Soil 9	217.98 ± 1.08	130.28 ± 0.52	1986.39 ± 1.08
Soil 10	131.76 ± 0.84	72.84 ± 0.40	1977.31 ± 1.08
Soil 11	109.07 ± 0.77^b	16.89 ± 0.24^b	1953.50 ± 1.07
Soil 12	265.30 ± 1.19	381.43 ± 0.86	1554.33 ± 0.96
Soil 13	361.89 ± 1.38^a	377.40 ± 0.85	997.16 ± 0.78^b
Soil 14	334.94 ± 1.33	470.12 ± 0.95^a	1493.10 ± 0.95
Soil 15	273.64 ± 1.20	181.64 ± 0.60	2003.77 ± 1.09
Soil 16	353.07 ± 1.37	163.48 ± 0.57	2320.16 ± 1.17
Soil 17	274.00 ± 1.21	161.19 ± 0.57	2090.33 ± 1.11
Soil 18	189.61 ± 1.00	212.77 ± 0.65	1886.97 ± 1.06
Soil 19	338.19 ± 1.34	196.69 ± 0.62	1321.48 ± 0.89
Soil 20	228.35 ± 1.10	166.70 ± 0.58	2484.97 ± 1.21
Range	109.07 – 361.89	16.89 – 470.12	997.16 – 2555.65
Average	243.01 ± 1.12	183.89 ± 0.58	1894.74 ± 1.05
Chumporn Province [6]	57.32 ± 5.19	56.98 ± 4.68	2135.69 ± 168.87
Andaman Sea [7]	157.10 ± 8.06	137.16 ± 7.26	2859.63 ± 209.83
Southern Thailand Data [8]	171.55 ± 3.13	211.19 ± 1.98	511.04 ± 7.04
Thailand Data OAP [9]	48	40	400
Worldwide Mean [10]	35	30	400

หมายเหตุ : a หมายถึง ค่ามากที่สุด, b หมายถึง ค่าน้อยสุด

จากตารางที่ 1 แสดงค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K เฉลี่ยในตัวอย่างดินบริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 243.01 ± 1.12 , 183.89 ± 0.58 และ 1894.74 ± 1.05 Bq/kg ตามลำดับ โดยปริมาณของ ^{226}Ra มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าดินจากจังหวัดชุมพร ทะเลแถบอันดามันของภาคใต้ของไทยและของโลก สำหรับปริมาณของ ^{232}Th มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าดินจากจังหวัดชุมพร แถบทะเลอันดามันข้อมูลของประเทศไทยและของโลกแต่มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยดินของภาคใต้ ในขณะที่ปริมาณของ ^{40}K

มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของแถบทะเลอันดามัน ดินของจังหวัดชุมพร แต่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของภาคใต้ ค่าเฉลี่ยของประเทศไทยและค่าเฉลี่ยทั่วโลก โดยตัวอย่าง Soil 13 และ Soil 14 ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของเกาะพะงันมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (^{226}Ra และ ^{232}Th) สูงสุด ในขณะที่ปริมาณของ ^{40}K มีค่าสูงทางด้านตะวันตกในอำเภอเกาะพะงันโดยมีค่าสูงสุดในตัวอย่าง Soil 5

ตารางที่ 2 ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี (E) บริเวณอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และงานวิจัยอื่น

Sample	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{in}	H_{ex}	D (nGy/h)	E (mSv/y)
Soil 1	309.95 ± 1.43	0.84 ± 0.00	1.20 ± 0.01	147.26 ± 0.64	0.18 ± 0.00
Soil 2	542.63 ± 1.84	1.47 ± 0.00	1.98 ± 0.01	255.65 ± 0.83	0.31 ± 0.00
Soil 3	685.60 ± 2.19	1.85 ± 0.01	2.66 ± 0.01	316.87 ± 0.98	0.39 ± 0.00
Soil 4	593.16 ± 1.90	1.60 ± 0.01	2.19 ± 0.01	281.93 ± 0.86	0.35 ± 0.00
Soil 5	578.86 ± 1.86	1.56 ± 0.01	2.12 ± 0.01	275.88 ± 0.84	0.34 ± 0.00
Soil 6	494.70 ± 1.84	1.34 ± 0.00	1.98 ± 0.01	232.18 ± 0.83	0.29 ± 0.00
Soil 7	666.67 ± 2.12	1.80 ± 0.01	2.58 ± 0.01	311.42 ± 0.95	0.38 ± 0.00
Soil 8	768.84 ± 2.19	2.08 ± 0.01	2.65 ± 0.01	352.88 ± 0.98	0.43 ± 0.00
Soil 9	557.24 ± 1.90	1.51 ± 0.01	2.09 ± 0.01	262.01 ± 0.85	0.32 ± 0.00
Soil 10	388.17 ± 1.50	1.05 ± 0.00	1.40 ± 0.01	187.19 ± 0.67	0.23 ± 0.00
Soil 11	283.64 ± 1.19	0.77 ± 0.00	1.06 ± 0.01	141.94 ± 0.54	0.17 ± 0.00
Soil 12	930.42 ± 2.48	2.51 ± 0.01	3.23 ± 0.01	417.50 ± 1.10	0.51 ± 0.00
Soil 13	978.36 ± 2.66	2.64 ± 0.01	3.62 ± 0.01	436.37 ± 1.18	0.54 ± 0.00
Soil 14	1122.18 ± 2.76	3.03 ± 0.01	3.94 ± 0.01	500.62 ± 1.23	0.61 ± 0.00
Soil 15	687.67 ± 2.15	1.86 ± 0.01	2.60 ± 0.01	319.41 ± 0.96	0.39 ± 0.00
Soil 16	765.51 ± 2.28	2.07 ± 0.01	3.02 ± 0.01	358.26 ± 1.02	0.44 ± 0.00
Soil 17	665.45 ± 2.10	1.80 ± 0.01	2.54 ± 0.01	310.84 ± 0.95	0.38 ± 0.00
Soil 18	639.17 ± 2.01	1.73 ± 0.01	2.24 ± 0.01	294.61 ± 0.90	0.36 ± 0.00
Soil 19	721.21 ± 2.30	1.95 ± 0.01	2.86 ± 0.01	329.81 ± 1.03	0.41 ± 0.00
Soil 20	658.07 ± 2.02	1.78 ± 0.01	2.39 ± 0.01	309.58 ± 0.91	0.38 ± 0.00
Average value	651.88 ± 2.04	1.76 ± 0.01	2.42 ± 0.01	302.11 ± 0.91	0.37 ± 0.00

ตารางที่ 2 ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี (E) บริเวณอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และงานวิจัยอื่น (ต่อ)

Sample	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{in}	H_{ex}	D (nGy/h)	E (mSv/y)
Patong Beach (Phuket Province) [11]	348.93 ± 96.11	-	0.94 ± 0.26	180.56 ± 49.70	0.22 ± 0.06
Phang-Nga Province [7]	616.14 ± 37.13	-	1.66 ± 0.10	295.24 ± 18.16	0.36 ± 0.02
Phuket Province [7]	922.99 ± 47.37	-	2.49 ± 0.13	446.92 ± 23.19	0.55 ± 0.03
Songkhla Province [12]	455.25 ± 31.13	-	1.23 ± 0.08	229.03 ± 15.49	0.28 ± 0.02
Thailand Data OAP [9]	512.90 ± 6.50	-	1.39 ± 0.02	231.81 ± 2.97	0.28 ± 0.02
UNSCEAR (2000) [10]	370	1	1	55	0.48

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ระบุในงาน

และจากการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี (E) ดังที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) และค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) เกือบทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน UNSCEAR (2000) เช่นเดียวกับตัวอย่างดินบริเวณหาดป่าตองจังหวัดภูเก็ต [11] ตัวอย่างดินจากจังหวัดพังงา ดินจากจังหวัดภูเก็ต [7] ดินจากจังหวัดสงขลา [12] และดินจากข้อมูลในประเทศไทย [9] สำหรับค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี (E) บางตำแหน่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ความปลอดภัย UNSCEAR (2000) ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับดินจากจังหวัดภูเก็ต [11] ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) เกือบทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าระดับความปลอดภัย ซึ่งมีค่าเป็น 1 UNSCEAR (2000) เช่นเดียวกับค่าความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) ของตัวอย่างดินจากจังหวัดพังงา ดินจากจังหวัดภูเก็ต [7] ดินจากจังหวัดสงขลา [12] และดินจากข้อมูลในประเทศไทย [9] ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีในตัวอย่างบริเวณอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี จะเห็นว่าปริมาณจะอยู่ในระดับสูง เนื่องจากดินบริเวณดังกล่าวเกิดจากการผุพังของหินแกรนิต และบางส่วนเป็นดินทรายบริเวณชายหาดจึงทำให้ปริมาณรังสีบริเวณดังกล่าวอยู่ในระดับที่สูง ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดิน 20 ตัวอย่าง ที่เก็บจากพื้นที่เกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่ามีค่าเฉลี่ยเป็น 243.01 ± 1.12 , 183.89 ± 0.58 และ 1894.74 ± 1.05 Bq/kg ตามลำดับ มีค่าอยู่ในช่วง $109.07 - 361.89$ $16.89 - 470.12$ และ $997.16 - 2555.65$ Bq/kg ตามลำดับ และผลการประเมินค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี (E) มีค่าเฉลี่ย

อยู่ที่ 0.37 ± 0.00 mSv/y ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ UNSCEAR (2000) กำหนด ส่วนค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย (H_{ex}) และค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 651.88 ± 2.04 Bq/kg, 1.76 ± 0.01 , 2.42 ± 0.01 และ 302.11 ± 0.91 nGy/h ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน UNSCEAR (2000) กำหนดไว้สามารถสรุปได้ว่าหลายบริเวณของพื้นที่อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณรังสีอยู่ในระดับที่สูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการกองทุนวิจัยวิทยาเขตปัตตานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนวิจัย ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับตรวจวัดวิเคราะห์ ขอขอบคุณแผนกวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิจัย ขอขอบคุณ Angel Hut Resort อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่เอื้อเฟื้อที่พักตลอดการไปเก็บตัวอย่าง

References

- [1] Department of Mineral Resources (DMR). (2007). *Department of Mineral Resources, Surat Thani Province, Thailand*. Bangkok: Environmental Geology Bureau, Department of Mineral Resources (DMR).
- [2] Nualchavee, R. (2002). *Nuclear Science*. Bangkok: Kasetsart University Press.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). (1989). *Measurement of radionuclides in food and the environment, Technical Report Series No. 295*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- [4] Nasim-Akhtar, Tufail, M., Hussain, M. Y., & Akram, M. (2011). Short communication: primordial radionuclides contamination level in fertilized farms soils of Faisalabad-Pakistan. *Soil and Environment*, 30(1), 88–94.
- [5] Song, G., Chen, D., Tang, Z., Zhang, Z., & Xie, W. (2012). Natural radioactivity levels in topsoil from the Pearl River Delta Zone Guangdong, China. *Journal of Environmental Radioactivity*, 103(1), 48–53. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2011.06.014.
- [6] Chuaymanee, S., Jhelee, M., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., & Benjakul, S. (2012). Assessment of natural radioactivity in surface soil in Chumphon Province, Thailand. In *The 9th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference*. 1900-1908, December, 6–7 2012, Nakhon Prathom: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus.
- [7] Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., & Udomsomporn, S. (2015). Specific activity of natural and anthropogenic radionuclides and radiological hazard assessment in surface soil samples collected along the Andaman sea coast in southern region of Thailand. *Journal of Physics: Conference Series*, 611(2015), 012021. DOI:10.1088/1742-6596/611/1/ 012021.

- [8] Office of Atoms for Peace (OAP). (1994 – 2002). *Annual Report in Southern Region of Thailand*. Bangkok: Ministry of Science and Technology.
- [9] Office of Atoms for Peace (OAP). (1994 – 2002). *Annual Report in Thailand*. Bangkok: Ministry of Science and Technology.
- [10] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). *Sources, effects and risk of ionizing radiation*. New York: UNSCEAR, United Nations.
- [11] Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Choosiri, N., Daoh, M., & Udomsomporn, S. (2017). Specific activities and radiological hazard assessment in beach sand samples in Songkhla province, Thailand after Fukushima Dai-Ichi nuclear power plant accident in Japan. *Journal of Physics: Conference Series*, 860(2017), 012007. DOI: 10.1088/1742-6596/860/1/012007.
- [12] Kessaratikoon, P., Jewawongsakul, J., Boonkrongcheep, R., & Pholthum, S. (2019). Radiological hazard assessment and excess lifetime cancer risk evaluation in surface soil samples collected from Ban Chang and Nikhom Phatthana districts in Rayong province, Thailand. *Journal of Physics: Conference Series*, 1380(2019), 012104. DOI:10.1088/1742-6596/1380/ 1/012104.

การตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยเรดอนจากหมอนยางพารา ที่สุ่มตัวอย่างจากตลาดออนไลน์ในประเทศไทย

Measurement of ^{222}Rn Exhalation Rate from Natural Rubber Latex Pillows Randomed from Online Market in Thailand

สันติ รักยาวงศ์^{1*}, พชรารัฐ โสลา², ฤทธิรอน สำราญ² และปัทมา พิศภักดิ์³

Santi Raksawong^{1*}, Phachirarat Sola², Rittiron Samran² and Pattama Pisapak³

บทคัดย่อ

เรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติและเป็นที่น่าสนใจทั่วโลกเพราะมีผลกระทบต่อสุขภาพและเพิ่มโอกาสการป่วยเป็นโรคมะเร็งปอดหลังจากได้รับในปริมาณความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน การศึกษาครั้งนี้เพื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ปริมาณอัตราการปลดปล่อยและประเมินปริมาณรังสียังผลรายปีที่ได้รับอันเนื่องจากปริมาณก๊าซเรดอนเพื่อนำไปสู่การกำหนดค่ามาตรฐานควบคุมการปนเปื้อนก๊าซเรดอนในผลิตภัณฑ์จากยางพาราในประเทศไทย ตัวอย่างหมอนยางพาราที่สุ่มซื้อจากตลาดออนไลน์ในประเทศไทยถูกเก็บในถังวัดแบบปิดสนิทที่ต่อเข้ากับเครื่อง ATMOS 12 DPX ผลการตรวจวัดพบว่าปริมาณความเข้มข้นสมมูลของก๊าซเรดอนมีค่าระหว่าง 11 ± 2 และ $43 \pm 5 \text{ Bq m}^{-3}$ และมีค่าเฉลี่ย $17 \pm 9 \text{ Bq m}^{-3}$ ซึ่งค่าที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่สามารถปนเปื้อนได้ในอากาศที่ 148 และ 300 Bq m^{-3} ตามมาตรฐาน USEPA และ ICRP ตามลำดับ อัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากหมอนยางพารามีค่าระหว่าง 12 ± 3 และ $60 \pm 7 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ย $25.7 \pm 14.4 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ นอกจากนี้การประเมินปริมาณรังสียังผลรายปีที่ได้รับ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.12 ± 0.03 และ $0.43 \pm 0.05 \text{ mSv y}^{-1}$ ซึ่งยังต่ำกว่าค่าขีดจำกัดของการรับรังสียังผลรายปี สำหรับประชาชนทั่วไป (1.0 mSv y^{-1}) ตามมาตรฐานของ ICRP

คำสำคัญ: ก๊าซเรดอน หมอนยางพารา ผลกระทบด้านสุขภาพจากก๊าซเรดอน การปลดปล่อยก๊าซเรดอน

¹ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ราชบุรี 70150

² นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นครนายก 26120

³ อ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

¹ Lecture, Dr., Physics Program, Faculty of Science and Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, Ratchaburi, 70150, Thailand

² Nuclear Scientist, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Nakhon Nayok, 26120, Thailand

³ Lecture, Dr., General Science Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, 95000, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: santirak@mcruc.ac.th

(Received: June 4, 2020; Revised: August 10, 2020; Accepted: August 19, 2020)

Abstract

Radon is a natural radioactive gas, and it is increasingly interesting worldwide because it affects the human healthy and increases lung cancer risk when people receive high concentrations over extended periods of time by inhalation. The study was to measure the radon concentration, determine the radon exhalation rate, and estimate annual effective dose level in order to set up a policy on controlling the contamination of radon in the natural rubber latex products in Thailand, and the radon concentrations were measured from natural rubber latex pillows randomized from online market in Thailand by closed chamber system technique with ATMOS 12 DPX. The results showed that the equilibrium radon concentrations were ranged between 11 ± 2 and $43 \pm 5 \text{ Bqm}^{-3}$ with an average value of $17 \pm 9 \text{ Bqm}^{-3}$. All measured radon concentrations were well below the allowed maximum contamination level of radon concentration in collected samples of 148 and 300 Bqm^{-3} , recommended by the USEPA and the ICRP, respectively. The exhalation rates from natural rubber latex pillows were ranged 12 ± 3 and $60 \pm 7 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ with an average value of $25.7 \pm 14.4 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. The annual effective doses calculated for inhalation were between 0.12 ± 0.03 and $0.43 \pm 0.05 \text{ mSv y}^{-1}$, and also well lower than the annual effective dose for general public (1.0 mSv y^{-1}) recommended by the ICRP.

Keywords: Radon Gas, Natural Rubber Latex Pillow, Health Risks from Radon, Radon Exhalation

Introduction

Radon-222 (^{222}Rn ; $T_{1/2} = 3.824$ days) is a naturally occurring radioactive gas generated from radium-226 (^{226}Ra) in the uranium-238 (^{238}U) decay series. It is one of the potential dangerous radioactive elements, known to be the second cause of lung cancer in the general population after smoking [1]. It emits ionizing radiation and decays its short-lived progeny which are heavy metals such as polonium-218, lead-214, bismuth-214, polonium-214, lead-210, bismuth-210, polonium-210, and stable lead-206 [1–7]. When radon gas and its progeny attracted to particulates in air are inhaled by human beings, they are exhaled and remain in the lungs. The radon and its daughter remaining in the lungs sequentially decay and release high energy alpha and beta particles to damage the lung tissue that is considered as important step in the carcinogenesis process [4, 7].

The radon is a major contributor to the annual effective dose from natural ionizing radiation [2, 5–6]. Because radon results from the natural decay of uranium, the main sources of which are in soils, rocks, plants, water, air, building materials, home accessories etc. It has been increasingly conducted worldwide to measure concentration in natural materials and to determine the exhalation rate and effective dose for government set up a policy on management. In Thailand, there is a little information on radon concentration in building materials and home accessories. For example, Srisuwan *et al.* [8] has been reported the radon concentration, exhalation rate in concrete and phosphogypsum (PG)-containing (50 % w/w)

concrete samples. The obtained result showed that the radon concentrations were 119 ± 13 and $631 \pm 25 \text{ Bq m}^{-3}$ for concrete and PG-containing (50% w/w) concrete, respectively. and exhalation rates were 0.31 and $10.45 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for concrete and PG-containing concrete, respectively. Sola *et al.* [9] has also conducted and reported the radon concentration from building materials using in the Bangkok. The radon concentrations were between 12 ± 10 and $492 \pm 12 \text{ Bq m}^{-3}$, the radon exhalation rates were range 0.060 ± 0.004 to $11.90 \pm 0.31 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and high values were from the group of granite tile samples. In the southern Thailand, Kaewtubtim *et al.* [10] has been found the radon concentration, exhalation rate and effective dose in rock samples used for construction at the Yala province. The results showed that the radon concentrations were between 7.01 ± 7.01 and $547.21 \pm 44.90 \text{ Bq m}^{-3}$, the radon exhalation rates were between 3.12 ± 0.94 and $165.46 \pm 13.58 \text{ mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, and the annual effective doses were between 0.18 ± 0.18 and $13.79 \pm 1.13 \text{ mSv y}^{-1}$. The previous studies have shown high values in some building material types indicated that indoor radon concentrations are high.

Now, the natural rubber latex pillows and mattresses have increasingly been used. Because, organic latex stands out from the rest as it is durable, biodegradable, and environmentally friendly. In China and Korea, people believe that the negative ion can prohibit the growth of mildew, mold, and bacteria making the pillows hypoallergenic and antimicrobial in nature and enhance the quality of their sleep, so the monazite powder is added in the natural latex pillows and mattresses [11]. It is an ore containing radioactive thorium to generate the anion production, and it can raise levels of radon emitted [11–12]. When people receive high concentrations over extended periods of time by inhalation, it probably makes an increased lung cancer risk. Thus, radon concentration of the natural rubber latex pillows selected from online market was measured to calculate radon exhalation rate and annual effective dose. The estimation of annual effective dose was compared with the safe limit of health risks recommended by international agencies, which might lead to set up a policy on controlling the contamination of radon in the natural rubber latex products in Thailand.

Methodology

A total of 12 natural rubber latex pillows were collected from online market in Thailand and sent to the Radon Research Laboratory of Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization) which the excellent and high accuracy measurement method. The radon concentration is carried out using the ATMOS 12 DPX detector calibrated by the Swedish Radiation Protection Authority (SSI), with the counting deviation of $\pm 10\%$ (1 S.D.). Each natural latex pillow sample was placed in a closed chamber with the volume of 0.11 m^{-3} , and the chamber was connected through two vents to the inlet and outlet of ATMOS 12 DPX as shown in Figure 1. To ensure the chamber did not leak, the closed chamber was performed by evacuating air from the container to -10 bars then leave for 6 h with which the vacuum gauge should remain the same. After leak test, the protection of radon-free air into the chamber, it was

filled by allowing the air flow through the activated charcoal canister until the pressure in the chamber is equal outside. The closed chamber was kept for more than 21 days for radon-free air in chamber decayed to low intrinsic background [7], and the radioactive equilibrium between radon and radium was reached. The measurement of emitted radon inside the chamber was for 3 h during equilibrium period.

Radon Exhalation Rate

Because radon exhalation rate is controlled by two main parameters: radon generation (containing radium in the sample) and transport through the solid matrix its porosity, grain size, material sample geometry, etc., one of the possible ways to measure the rate of exhalation from the material sample is by the measuring of the radon concentration in a closed chamber or container [5, 13–14]. The radon exhalation rate, E , which expresses per unit surface area ($\text{Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$) of a natural material and radon concentration, C (Bq m^{-3}) measured in a closed-chamber system are described by several authors [4, 15–16], according to Eq. (1).

$$C(t) = C_0 e^{-\lambda t} + C_{\text{eq}}(1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

where $C(t)$, is the radon concentration at time t , C_0 is the initial radon concentration and C_{eq} is equilibrium concentration. After measuring the radon concentration at a given time $C(t)$ and calculating the radon exhalation rate E can be determined by formula:

$$E = \frac{C_{\text{eq}} \lambda V}{S} \quad (2)$$

where C_{eq} is equilibrium concentration, λ is radon decay constant; $2.1 \times 10^6 \text{ (s}^{-1}\text{)}$, V is volume of the chamber minus volume of the specimen (m^3), S is external surface area of the source (m^2), and E is radon exhalation rate of the source per unit surface area or mass ($\text{Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ or $\text{Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) [13].

Annual Effective Dose

The annual effective dose from inhalation of radon (AED_{inh}) releasing from the natural rubber latex pillow is calculated using by Eq. (3) recommended by the United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation [17]:

$$\text{AED}_{\text{inh}} = C \times F \times T \times D_f \quad (3)$$

where C is the radon activity concentration (Bq m^{-3}), F is the equilibrium factor between radon and its progenies as 0.4, T is the normal sleeping time as 8 hours per night; $2,920 \text{ hr y}^{-1}$ and D_f is the inhalation dose conversion factor for radon as $9.0 \mu\text{Sv hr}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3$ [17]. The estimation of the AED_{inh} from collected samples was compared with the general public annual effective dose limit, 1.0 mSv y^{-1} recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP).



Figure 1 The equipment set up to measure radon concentration and radon exhalation rate, which the natural rubber latex pillows were placed inside the closed-chamber with connected to the pulse counting ionization chamber (ATMOS 12 DPX).

Results and Discussions

The measured radon concentration $C(t)$, calculated equilibrium radon concentration C_{eq} , exhalation rate and annual effective dose from natural rubber latex pillows which were sampled from Thai's online market are shown in Table 1. The measured and equilibrium radon concentrations are quite same which indicate that the measuring time is close to equilibrium time of radon and the background in the chamber decayed insurmountable to zero. The measured radon concentrations ranged between 11 ± 3 and $41 \pm 5 \text{ Bq m}^{-3}$ with an average value (mean $\pm$ S.D) of $17 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$, and the equilibrium radon concentrations calculated from Eq. (2) ranged between 11 ± 2 and $43 \pm 5 \text{ Bq m}^{-3}$ with an average value (mean $\pm$ S.D) of $17 \pm 9 \text{ Bq m}^{-3}$. All of the results, there is one sample of natural rubber latex pillows in No.3 shown that the radon concentration is slightly higher than the worldwide average of indoor radon concentration as 39 Bq m^{-3} , [17–18]. Normally, the radon should have low in natural rubber latex, but it is probably high from adding some fillers contaminated the radionuclide radium-226 and thorium-232 in the natural rubber latex foam before make the pillows and some materials such as monazite powder [11-12] for protecting the bacteria or dust mites in the pillow.

All measured radon concentrations from the collected pillows were well below the allowed maximum contamination level (MCL) of indoor radon concentration in collected samples of 148 recommended by the USEPA [1] and 300 Bq m^{-3} also recommended by the ICRP [19] and WHO [1].

Table 1 Radon concentration, equilibrium radon concentration, radon exhalation rate and annual effective doses from studied samples of natural rubber latex pillows that were available from online market in Thailand.

Sample No.	Measured Radon Concentration, (Bq m^{-3})	Equilibrium Radon Concentration (Bq m^{-3})	Exhalation Rate ($\text{mBq m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	Annual Effective Dose (mSv y^{-1})
1	18 ± 3	19 ± 3	21 ± 4	0.19 ± 0.03
2	18 ± 3	19 ± 3	22 ± 4	0.19 ± 0.03
3	41 ± 5	43 ± 5	60 ± 7	0.43 ± 0.05
4	22 ± 4	23 ± 4	37 ± 7	0.23 ± 0.04
5	13 ± 3	13 ± 3	19 ± 4	0.14 ± 0.03
6	13 ± 2	14 ± 2	22 ± 3	0.14 ± 0.02
7	11 ± 3	12 ± 3	18 ± 5	0.12 ± 0.03
8	11 ± 2	12 ± 2	13 ± 2	0.12 ± 0.02
9	11 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	0.12 ± 0.03
10	11 ± 2	11 ± 2	18 ± 3	0.12 ± 0.02
11	15 ± 3	16 ± 3	45 ± 9	0.16 ± 0.03
12	16 ± 3	17 ± 3	21 ± 4	0.17 ± 0.03
Min	11	11	12	0.12
Max	41	43	60	0.43
Mean	17	17	25.7	0.18
S.D.	8	9	14.4	0.09

The exhalation rates of natural rubber latex pillows calculated from Eq. (3) are shown in the Table 1. The boxplots and frequency distributions of equilibrium radon concentration and exhalation rate are shown as Figure 2. The obtained results of exhalation rates ranged 11 ± 3 and $60 \pm 7 \text{ mBq m}^{-2} \text{h}^{-1}$ with an average value (mean $\pm$ S.D) of $25.7 \pm 14.4 \text{ mBq m}^{-2} \text{h}^{-1}$. From frequency distribution of exhalation rate, two samples are higher than others, because the emission of radon from the materials depends upon radium concentration in material, emanation factor, porosity and density of the material [20].

The annual effective doses were found between 0.12 ± 0.03 and $0.43 \pm 0.05 \text{ mSv y}^{-1}$, which well lower than the worldwide average annual effective dose from radon inhalation (1.2 mSv y^{-1}) reported by UNCEAR, and limitation of public exposure (1.0 mSv y^{-1}) and the largely radon exposure based on optimization with a reference level (10.0 mSv y^{-1}) recommended by the ICRP [18] and ICRP [21], respectively. Although, annual effective doses are lower than public exposure, but indoor radon concentration in the

bedroom are concerned because radon are released from building materials. It can summarize with radon released from the pillow to high radon concentration which has to cause the health effect.

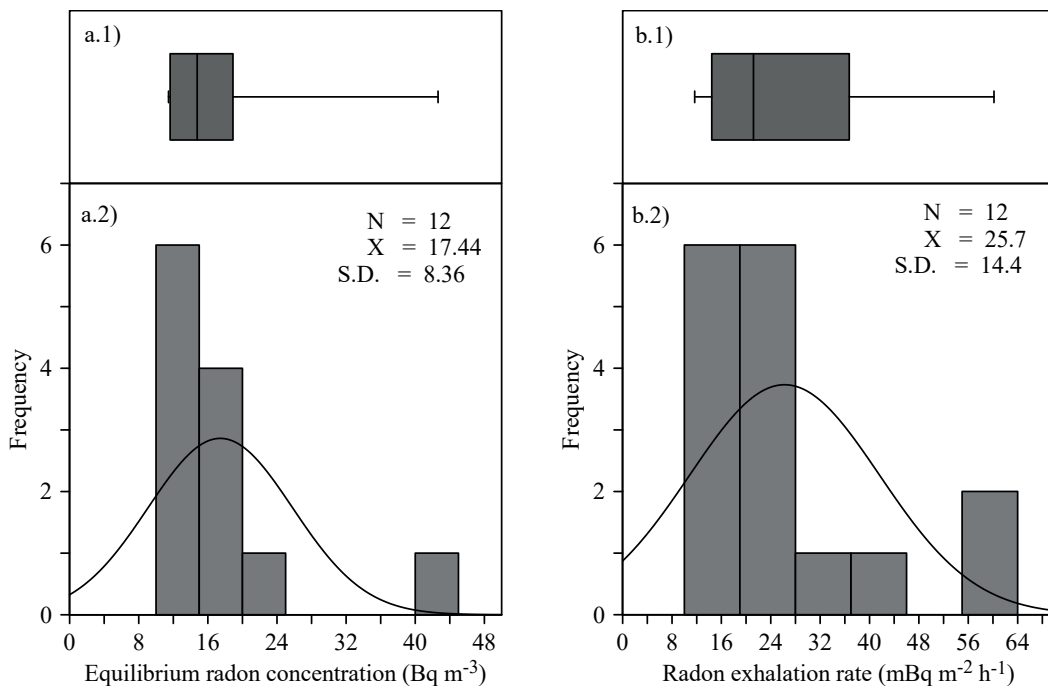


Figure 2 a.1) and b.1) boxplot of equilibrium radon concentration and radon exhalation rate, respectively and a.2) and b.2) frequency distribution of equilibrium radon concentration and radon exhalation rate, respectively

Conclusion

This study shows the equilibrium radon concentrations ranged between 11 ± 2 and 43 ± 5 Bq m⁻³ with an average value of 17 ± 9 Bq m⁻³. All measured radon concentrations were well below the allowed maximum contamination level of radon concentration in collected samples of 148 and 300 Bq m⁻³, recommended by the USEPA and the ICRP, respectively. The exhalation rates from natural rubber latex pillows ranged 12 ± 3 and 60 ± 7 mBq m⁻² h⁻¹ with an average value of 25.7 ± 14.4 mBq m⁻² h⁻¹. The annual effective doses calculated for inhalation were between 0.12 ± 0.03 and 0.43 ± 0.05 mSv y⁻¹, and also well lower than the worldwide average annual effective dose from radon inhalation (1.2 mSv y⁻¹), limitation of public exposure (1.0 mSv y⁻¹) and the largely radon exposure based on optimization with a reference level (10.0 mSv y⁻¹). The measured radon concentrations from natural rubber latex pillows will pose none significantly serious health risks. However, these data must be regarded as preliminary and in the further extensive studies should be done on large scale.

Acknowledgements

All of facilities of this research were supported by Faculty of Science and Technology, Muban Chombueng Rajabhat University and Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization). We also thank those anonymous reviewers for their insightful suggestion and critical reviews of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest and this research did not receive any specific grant from any funding agency in the public, commercial or not-for profit sector.

References

- [1] World Health Organization (WHO). (2009). *Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*. Geneva: WHO Press.
- [2] International Commission on Radiological Protection (ICRP). (1993). *Protection Against Radon-222 at Home and at Work*. ICRP Publication 65. Annuals of the ICRP 23(2). Oxford: Pergamon Press.
- [3] Fior, L., Corrêa, J. N., Paschuk, S. A., Denyak, V. V., Schelin, H. R., Soreanu Pecequilo, B. R., & Kappke, J. (2012). Activity measurements of radon from construction materials. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(7), 1407–1410. DOI:10.1016/j.apradiso.2011. 11.036.
- [4] Maged, A. F., Ismail, L. Z., & Moussa, N. L. A. (2012). Environmental risk assessment of radon from ceramic tiles. *Radioprotection*, 47(3), 403–411. DOI:10.1051/radiopro/ 2012011.
- [5] Perna, A. F. N., Paschuk, S. A., Corrêa, J. N., Narloch, D. C., Barreto, R. C., Claro, F. D., & Denyak, V. (2018). Exhalation rate of radon-222 from concrete and cement mortar. *Nukleonika*, 63(3), 65–72. DOI:10.2478/nuka-2018-0008.
- [6] Sarrou, I., & Pashalidis, I. (2017). Radon exhalation from granite countertops and expected indoor radon levels. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 311(1), 913–916. DOI: 10.1007/s10967-016-5108-7.
- [7] Stajic, J. M., & Nikezic, D. (2015). Measurement of radon exhalation rates from some building materials used in Serbian construction. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303(3), 1943–1947. DOI:10.1007/s10967-014-3726-5.
- [8] Srisuwan, T., Wanabonges, P., & Tantasavasdi, C. (2012). The influence of finishing materials on radon exhalation from concrete with phosphogypsum additives. *The Journal of Architectural /Planning Research and Studies*, 9(2), 105–112.
- [9] Sola, P., Srinuttrakul, W., Laoharajanaphand, S., & Suwankot, N. (2014). Estimation of indoor radon and the annual effective dose from building materials by ionization chamber measurement. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 302(3), 1531–1535. DOI: 10.1007/s10967-014-3716-7.

- [10] Kaewtubtim, P., Sola, P., & Kongpakdee, T. (2019). Radon concentration and radon exhalation rate from rock samples used for construction at northern part of Yala province. *Rajamangala University of Technology Krungthep Research Journal*, 13(2), 187–197.
- [11] The Korea Times. (2018). *Tourists exposed to harmful latex in Thailand* (Online). Retrieved 20 March 2020, from http://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2018/06/356_250111.html.
- [12] The Korea Bizwire. (2018). *Radon Detected in 80% of Latex Products* (Online). Retrieved 20 March 2020, from <http://koreabizwire.com/radon-detected-in-80-of-latex-products/121374>.
- [13] Kovler, K. (2007). Measurements of radon exhalation rate for monitoring cement hydration. *Materials and Structures*, 40(4), 419–430. DOI:10.1617/s11527-006-9149-1.
- [14] Hassan, N. M., Hosoda, M., Ishikawa, T., Sorimachi, A., Sahoo, S. K., Tokonami, S., & Fukushima, M. (2009). Radon migration process and its influence factors: review. *Japanese Journal of Health Physics*, 44(2), 218–231. DOI:10.5453/jhps.44.218.
- [15] Krisiuk, E. M. (1980). Airborne radioactivity in buildings. *Health Physics*, 38(2), 199–202.
- [16] Kovler, K., Perevalov, A., Steiner, V., & Metzger, L.A. (2005). Radon exhalation of cementitious materials made with coal fly ash: Part 1 – scientific background and testing of the cement and fly ash emanation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 82(3), 321–334. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2005.02.004.
- [17] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Annex B. I*. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly. New York: United Nations Publication.
- [18] International Commission on Radiological Protection (ICRP). (1991). *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60. Annual of the ICRP 21 (1-3). Oxford: Pergamon Press.
- [19] International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. Annual of the ICRP 37 (2–4). Oxford: Elsevier Ltd.
- [20] Bala, P., Kumar, V., & Mehra, R. (2017). Measurement of radon exhalation rate in various building materials and soil samples. *Journal of Earth System Science*, 126(2), 31. DOI: 10.1007/s12040-017-0797-z.
- [21] International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2014). *Radiological Protection against Radon Exposure*. ICRP Publication 126. Annual of the ICRP 43(3). London: Sage Publications Ltd.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสท ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

Development of Yogurt from Cow and Soybean Milk Supplemented by Rice Bran Hydrolysate with Antioxidant Activity

ชมพูนุช ฆ้องลา^{1*} สุมาลี มุสิกกา¹ อารยา รานอก¹ เสกสรร มังคลานันท์¹

กึ่งนาง บุญเสริม² และชนิดา กุประดิษฐ์³

Chompoonuch Khongla^{1*}, Sumalee Musika¹, Araya Ranok¹, Seksan Mangkalanant¹,

Kungnang Bunsroem² and Chanida Kupradit³

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยเติมรำข้าวไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0.0-1.0 %) วิเคราะห์คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต ผลการทดลองพบว่า คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ 2, 2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกของโยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของรำข้าวไฮโดรไลเสท ยกเว้นคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของโยเกิร์ตถั่วเหลืองซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและคงที่ที่ความเข้มข้นของรำข้าวไฮโดรไลเสท 0.75 % การเติมรำข้าวไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.25-1.0 % ไม่มีผลต่อความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตนมโคแต่มีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมในโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองลดลง ความเข้มข้นรำข้าวไฮโดรไลเสทที่เหมาะสมที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงในโยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลือง คือ 1.0 % และ 0.75 % ตามลำดับ งานวิจัยนี้บ่งชี้ได้ว่ารำข้าวไฮโดรไลเสทมีศักยภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเสริมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเพื่อพัฒนาเป็นอาหารเชิงหน้าที่

คำสำคัญ: โยเกิร์ต รำข้าวไฮโดรไลเสท สารต้านอนุมูลอิสระ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

¹ อ.ดร., สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา 30000

² อ., สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา 30000

³ ผศ.ดร., สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา 30000

¹ Lecturer, Dr., Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

² Lecturer, Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

³ Asst. Prof. Dr., Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

* Corresponding Author: E-mail address: chompoonuch.2840@gmail.com

(Received: June 9, 2020; Revised: July 26, 2020; Accepted: August 19, 2020)

Abstract

The objectives of this study were to develop the cow and soybean milk yogurt product supplemented by rice bran hydrolysate with antioxidant activity using the addition of 0.0-1.0 % w/w rice bran hydrolysate, analyze antioxidant activity, and examine sensory characteristics of the yogurt. The study found that 2, 2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging activity and ferric reducing antioxidant power of cow and soybean milk yogurt trend to be increased based on the increase of rice bran hydrolysate concentration, except for ABTS radical scavenging activity of soybean milk yogurt, which was slightly increased and then constant at 0.75 % of rice bran hydrolysate. Addition of rice bran hydrolysate at concentration of 0.25-1.0 % had no effect on overall acceptability of cow milk yogurt but decreased overall acceptability score of soybean yogurt. Optimum concentration of rice bran hydrolysate with high antioxidant activity in cow and soybean milk yogurt was 1.0 and 0.75 %, respectively. This research indicated that rice bran hydrolysate has a potential use as antioxidant agent supplemented in yogurt for development as functional food.

Keywords: Yogurt, Rice Bran Hydrolysate, Antioxidant Activity, Sensory Characteristics

บทนำ

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ร่างกายสามารถย่อย และดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุจากน้ำนม โดยเฉพาะแคลเซียม การหมักน้ำนมด้วยจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนน้ำตาลแล็กโทสเป็นกรดแล็กติก เช่น *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophiles* [1] ทำให้โปรตีนตกตะกอนเป็นเคิร์ด มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งกึ่งเหลว ส่วนใหญ่โยเกิร์ตมีส่วนผสมหลักจากน้ำนมโค และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำนม เช่น ครีม หางนม เวียโปรตีน และนมผง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีผู้บริโภคที่มีปัญหาแพ้โปรตีนในนมโค ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากพืชอาจเป็นการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคอีกทางหนึ่ง

ถั่วเหลืองเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ไม่มีคอเลสเตอรอล ไร้กัวคาอูมไปด้วยโปรตีนและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เลซิธิน ไอโซฟลาโวน แร่ธาตุ กรดอะมิโนอิสระ และพอลิเพปไทด์ [2] โยเกิร์ตถั่วเหลืองคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักนมถั่วเหลืองด้วยแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก ดังนั้น การบริโภคโยเกิร์ตจากถั่วเหลืองจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่แพ้นมโคและยังเหมาะสำหรับคนที่รับประทานอาหารเจหรือมังสวิรัตอีกด้วย

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจอาหารสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาโยเกิร์ตสูตรที่เสริมสารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional Ingredients) เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งอาหารเชิงหน้าที่ (Functional Food) คืออาหารที่มีสารอื่นที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกเหนือจากมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น ช่วยป้องกันโรค รักษาโรคได้ และสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เป็นต้น ซึ่งกลุ่มอาหารเชิงหน้าที่ที่ได้รับการความสนใจมากที่สุดคือกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุทำให้เซลล์ร่างกายเสียหาย และทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ

โรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น [3-4] หากร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากอาหารอาจป้องกันโรคได้ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจในการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งธรรมชาติ

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว ประกอบด้วยโปรตีนที่มีคุณภาพสูง และยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง ประเทศไทยผลิตรำข้าวประมาณ 2 ล้านตันต่อปี ซึ่งรำข้าว 40 % ใช้ในการผลิตน้ำมันรำข้าว และรำข้าวส่วนที่เหลือใช้ในการเป็นอาหารสัตว์ซึ่งมีมูลค่าต่ำ [5] มีรายงานว่าโปรตีนไฮโดรไลเสทจากรำข้าวหอมมะลิประกอบด้วยโปรตีน 30-40 % ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนมีมากเทียบเคียงกับโปรตีนจากพืชอื่น ๆ โดยเฉพาะกรดอะมิโนจำเป็น มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 4.11-14.70 mg GAE/g และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยโปรตีนรำข้าวเป็นโปรตีนที่ไม่ทำให้เกิดการแพ้และยังย่อยง่าย จึงเหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ [6] การนำรำข้าวไฮโดรไลเสทมาเสริมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลือง นอกจากจะเป็นอาหารฟังก์ชันแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวอีกด้วย

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมรำข้าวไฮโดรไลเสทผง (Rice Bran Hydrolysate, RBH)

ผลิตรำข้าวไฮโดรไลเสทผงโดยนำรำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้วมาบดด้วยเอนไซม์ Alcalase เข้มข้น 2 % (เอนไซม์ Alcalase ผลิตได้จากแบคทีเรีย *Bacillus licheniformis* บริษัท Novozymes, Bagsvaerd, Denmark) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (pH 10.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการย่อย 2 ชั่วโมง) จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4500 rpm เป็นเวลา 10 นาที เก็บตัวอย่างส่วนใสผสมมอลโทเดกซ์ทรินในอัตราส่วน 5 % w/v และนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิเข้า เท่ากับ 130 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิออก เท่า 90 องศาเซลเซียส โปรตีนรำข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ได้มีค่าความชื้น เถ้า และโปรตีนเท่ากับ 3.52 ± 0.38 %, 6.01 ± 0.08 % และ 14.07 ± 0.68 % ตามลำดับ และมีปริมาณแอลฟาอะมิโน 48.47 ± 1.27 mg Leucine eq./g RBH สารฟีนอลิกทั้งหมด 1.35 ± 0.03 mg Gallic Acid eq./g RBH คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก เท่ากับ 47.17 ± 0.25 และ 19.02 ± 0.80 mg Trolox eq./g RBH ตามลำดับ

การเตรียมโยเกิร์ตนมโคและโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสท

การเตรียมโยเกิร์ตนมโค

ชั่งนมโค 500 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมน้ำตาล 25 กรัม และนมผง 15 กรัม เติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงความเข้มข้น 0.0-1.0 % คนส่วนผสมให้ละลายเข้ากัน และพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส และเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตทางการค้า 64 กรัม จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส จนกระทั่ง pH อยู่ในช่วง 4.4-4.8 ประมาณ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างโยเกิร์ตที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 วัน ไปวิเคราะห์คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก และทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

การเตรียมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

นำถั่วเหลืองแช่น้ำอัตราส่วน 1:6 นาน 16-18 ชั่วโมงหรือข้ามคืน จากนั้นนำถั่วเหลืองที่แช่น้ำมาปั่นกับน้ำสะอาดอัตราส่วน 1:5 จนส่วนผสมเนียนละเอียด แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที แล้วนำไปกรองด้วยผ้าขาวบางบีบเอาเฉพาะน้ำ จะได้นมถั่วเหลืองเข้มข้น และพักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เตรียมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง โดยนำนมถั่วเหลือง 500 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมน้ำตาล 25 กรัม แป้งข้าวโพด 1.0 % เติมน้ำข้าวไฮโดรไลเสทผงความเข้มข้น 0.0-1.0 % นำไปพาสเจอร์ไรส์ และหมักโยเกิร์ต และวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เช่นเดียวกับโยเกิร์ตนมโค การวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก

ซึ่งตัวอย่างโยเกิร์ต 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกตามวิธีของ Wiriayaphan *et al.* [7] คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ แสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของ Trolox ต่อกรัมตัวอย่าง (mg Trolox eq./g Sample)

การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

นำโยเกิร์ตนมโค และนมถั่วเหลืองเสริมข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 20 คน ซึ่งเป็นกลุ่มนักศึกษาปริญญาตรีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยทดสอบทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้การทดสอบโดยวิธี 9-point Hedonic Scale ที่ระดับคะแนน 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด)

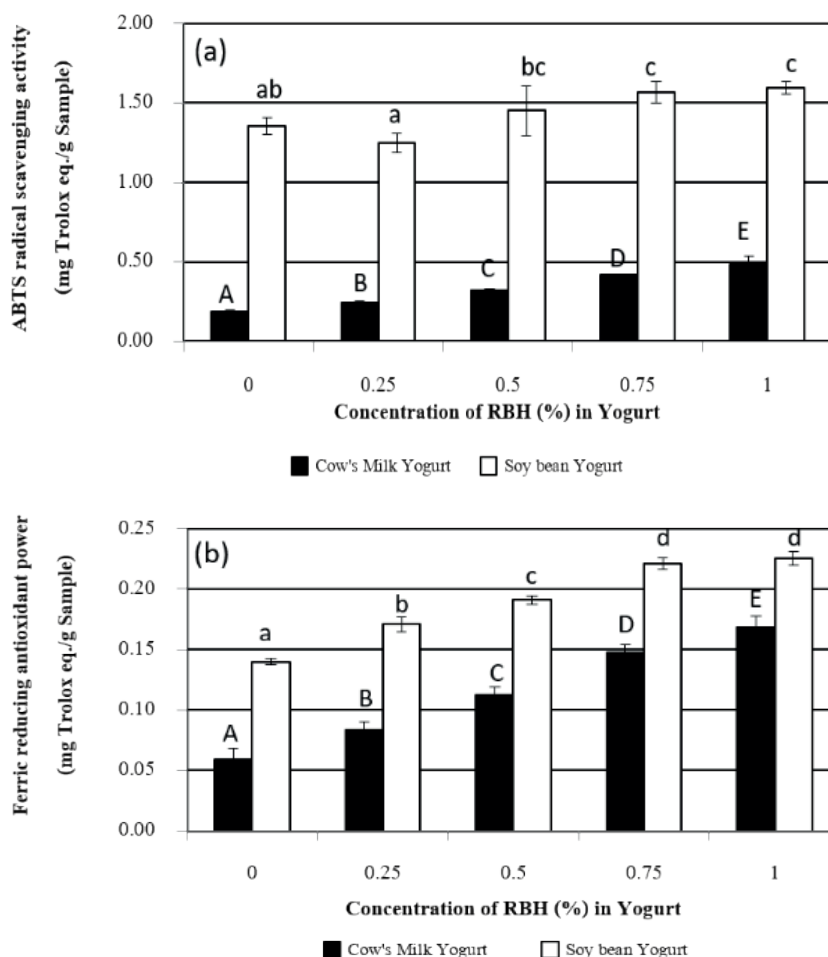
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองแสดงในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรม PASW Statistics 18 Release 18.0.0 Software

ผลการทดลอง

คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของโยเกิร์ตนมโคและถั่วเหลืองเสริมข้าวไฮโดรไลเสทผง

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองเสริมข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.0-1.0 % พบว่า คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของข้าวไฮโดรไลเสทผง (ภาพที่ 1a และ b, $p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติมน้ำข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 1.0 % มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกสูงสุดเท่ากับ 0.48 และ 0.17 mg Trolox eq./g Sample ตามลำดับ



ภาพที่ 1 (a) คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และ (b) คุณสมบัติรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทผง ที่ความเข้มข้น 0.0-1.0 %

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของรำข้าวไฮโดรไลเสทของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลือง ตามลำดับ

ในขณะที่โยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS เริ่มต้นค่อนข้างสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.36 mg Trolox eq./g Sample การเติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.75 และ 1.0 % ส่งผลให้คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่เติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงเล็กน้อย มีค่าเท่ากับ 1.57 และ 1.60 mg Trolox eq./g Sample ตามลำดับ (ภาพที่ 1a) ส่วนคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของรำข้าวไฮโดรไลเสทผงจนถึง 0.75 % (ภาพที่ 1b, $p < 0.05$) และเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 1.0 % ซึ่งมีความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกเท่ากับ 0.23 mg Trolox eq./g Sample

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทพหุที่ความเข้มข้น 0.0-1.0 % มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการวัดสีเหลืองฟลูออเรสเซนต์ สูงกว่าโยเกิร์ตจากนมโค (ภาพที่ 1a และ b, $p < 0.05$)

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทพหุ

การเติมรำข้าวไฮโดรไลเสทพหุที่ความเข้มข้น 0.75-1.0 % มีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความเป็นเนื้อเดียวกันของโยเกิร์ตนมโคมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ตารางที่ 1) คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความเป็นเนื้อเดียวกันของโยเกิร์ตนมโคสูตรที่เติมรำข้าวไฮโดรไลเสท 0.50 % มากกว่าสูตรอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (ตารางที่ 1)

การเติมรำข้าวไฮโดรไลเสทพหุในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลืองมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส และความเป็นเนื้อเดียวกัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทพหุ 0.0-1.0 %

RBH (%)	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความชอบโดยรวม ^{ns}
0.00	6.95 ± 1.79 ^c	6.20 ± 1.32 ^{ab}	5.55 ± 2.19	6.35 ± 1.76 ^{ab}	6.75 ± 1.62 ^{ab}	6.45 ± 1.39
0.25	6.60 ± 1.23 ^{bc}	6.55 ± 1.05 ^{ab}	5.75 ± 1.80	5.75 ± 1.80 ^a	6.75 ± 1.37 ^{ab}	6.45 ± 1.32
0.50	6.85 ± 1.34 ^{bc}	7.05 ± 1.28 ^b	6.45 ± 1.57	6.95 ± 1.57 ^c	7.20 ± 1.44 ^c	6.60 ± 1.76
0.75	6.15 ± 1.69 ^{ab}	5.80 ± 2.04 ^a	5.90 ± 1.731	5.95 ± 1.73 ^a	6.15 ± 1.57 ^a	6.05 ± 1.47
1.00	5.85 ± 1.95 ^a	5.75 ± 1.86 ^a	5.60 ± 2.00	5.65 ± 2.00 ^a	6.15 ± 1.76 ^a	5.85 ± 2.13

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$); ตัวอักษร ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทพหุ 0.0-1.0 %

RBH (%)	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความเป็นเนื้อเดียวกัน ^{ns}	ความชอบโดยรวม
0.00	5.15 ± 2.13	5.51 ± 2.03 ^b	5.75 ± 2.55 ^b	5.65 ± 2.21	5.80 ± 2.07	5.80 ± 2.12 ^b
0.25	4.95 ± 2.21	4.80 ± 2.44 ^{ab}	4.95 ± 2.80 ^{ab}	5.20 ± 2.46	5.30 ± 2.52	5.15 ± 2.48 ^{ab}
0.50	4.95 ± 2.11	4.40 ± 1.93 ^{ab}	4.60 ± 2.46 ^a	4.75 ± 2.47	4.80 ± 2.63	4.45 ± 1.93 ^a
0.75	4.85 ± 1.95	4.20 ± 2.17 ^a	4.80 ± 2.40 ^{ab}	4.90 ± 2.22	5.15 ± 2.18	4.95 ± 2.01 ^{ab}
1.00	4.95 ± 2.06	4.65 ± 1.93 ^{ab}	5.15 ± 1.87 ^{ab}	5.30 ± 2.00	4.90 ± 2.45	5.05 ± 1.90 ^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$); ตัวอักษร ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากในกระบวนการหมักแบคทีเรียจะย่อยสลายโปรตีนนมได้เปปไทด์และกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ [8] จากภาพที่ 1a และ b คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกของโยเกิร์ตนมโคเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของรำข้าวไฮโดรไลเสท และมีความมากกว่าสูตรที่ไม่เติมรำข้าวไฮโดรไลเสท เนื่องจากรำข้าวไฮโดรไลเสทผงซึ่งมีส่วนผสมของเปปไทด์ (แอลฟาอะมิโน) และสารประกอบฟีนอลิก จึงส่งผลให้คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น Thamnarathip *et al.* [9] รายงานว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดบ่งชี้ถึงสารประกอบฟีนอลิกและกรดอะมิโนที่อยู่ภายในสายเปปไทด์ที่มีหมู่ฟีนอลิกเป็นส่วนประกอบ และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และพบว่าเปปไทด์จากรำข้าวแสดงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ Phongthai *et al.* [10] รายงานว่ารำข้าวไฮโดรไลเสทมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และกรดอะมิโนไทโรซีนและฟีนิลอะลานีนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก

โยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผง (สูตรควบคุม) มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS เริ่มต้นค่อนข้างสูง (ภาพที่ 1a) ถั่วเหลืองมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากถั่วเหลืองมีสารประกอบไอโซฟลาโวน และสารประกอบฟีนอลิก [11-12] จึงทำให้โยเกิร์ตถั่วเหลืองสูตรควบคุมมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูง ดังนั้น การเติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.75-1.0% จึงมีผลในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การที่คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงความเข้มข้น 0.5-1.0% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 1a) อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านการละลายของรำข้าวไฮโดรไลเสทผง Charoen *et al.* [13] รายงานว่าที่สภาวะความเป็นกรด (pH 4.0) ความสามารถในการละลายของรำข้าวไฮโดรไลเสทผงลดลงมีค่าเท่ากับ $27.60 \pm 0.56\%$ เนื่องจากค่า pH ดังกล่าวใกล้เคียงกับจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric Point) ของโปรตีนรำข้าวซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.5 [14] ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลืองมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.4-4.88 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับจุดไอโซอิเล็กทริกอาจทำให้ความสามารถในการละลายของรำข้าวไฮโดรไลเสทลดลง จึงส่งผลให้คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS ไม่แตกต่างทางสถิติที่ความเข้มข้นรำข้าวไฮโดรไลเสทผง 0.5-1.0% (ภาพที่ 1a) ส่วนคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกของโยเกิร์ตถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของรำข้าวไฮโดรไลเสทผงจนถึงความเข้มข้น 0.75% และมีความคงที่หลังจากนั้น (ภาพที่ 1b) อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านการละลายของรำข้าวไฮโดรไลเสทผง

โยเกิร์ตจากถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.0-1.0% มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก สูงกว่าโยเกิร์ตจากนมโค (ภาพที่ 1a และ b) เนื่องจากถั่วเหลืองมีสารไอโซฟลาโวนและสารประกอบฟีนอลิกสูง ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับ Shori [8] ซึ่งรายงานว่า การเติมสารสกัดจากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคส่งผลให้คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของโยเกิร์ตนมโคผสมนมถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่าโยเกิร์ตนมโคที่ไม่ได้ผสมนมถั่วเหลือง

การเติมรำข้าวไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.75-1.0% มีผลทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่น และความเป็นเนื้อเดียวกันของโยเกิร์ตนมโคมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ตารางที่ 1) เนื่องจากรำข้าวไฮโดรไลเสทมีสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นของรำข้าวค่อนข้างแรง ทำให้ผู้ทดสอบชิมไม่ชอบและ

การเติมรำข้าวไฮโดรไลสความเข้มข้น 0.75-1.0 % อาจไปขัดขวางการเกิดเจลของโปรตีนในโยเกิร์ต ทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านความเป็นเนื้อเดียวกันลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การเติมรำข้าวไฮโดรไลสความเข้มข้น 0.75-1.0 % ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตนมโค Demirci *et al.* [15] รายงานว่าการเติมรำข้าวความเข้มข้น 12 และ 3 % มีผลในการเพิ่มคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ แต่มีผลทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโยเกิร์ตนมโคสูตรที่ไม่ได้เติมรำข้าว

การเติมรำข้าวไฮโดรไลสผงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลืองมีผลทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ตารางที่ 2) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสี และเนื้อสัมผัส เนื่องจากโยเกิร์ตถั่วเหลืองมีสีน้ำตาล ดังนั้นการเติมรำข้าวไฮโดรไลสผงซึ่งมีสีน้ำตาลเหมือนกันจึงไม่มีผลต่อความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์ การเติมรำข้าวไฮโดรไลสผงที่ความเข้มข้น 0.25-1.0 % มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความเป็นเนื้อเดียวกัน และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2, $p > 0.05$) เนื่องจากโยเกิร์ตถั่วเหลืองมีกลิ่นเหม็นเขียวหรือกลิ่นถั่วค่อนข้างแรง ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของรำข้าวไฮโดรไลสผงอาจจะไม่มีผลต่อความชอบด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลืองสูตรควบคุมและสูตรที่เติมรำข้าวไฮโดรไลสผงความเข้มข้น 0.25-1.0 % อยู่ในระดับเฉย ๆ ซึ่งผลคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสต่อโยเกิร์ตถั่วเหลืองค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ของถั่วเหลือง [16]

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการเติมรำข้าวไฮโดรไลสผงที่ความเข้มข้น 0.25-1.0 % มีผลในการเพิ่มคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และคุณสมบัติในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลือง ความเข้มข้นรำข้าวไฮโดรไลสผงที่เหมาะสมที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลือง คือ 1.0 % และ 0.75 % ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม การเติมรำข้าวไฮโดรไลสผงมีผลทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลดลง งานวิจัยนี้บ่งชี้ว่าการเติมรำข้าวไฮโดรไลสผงมีศักยภาพในการเสริมคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองสำหรับพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์นม (ต่อเนื่อง) คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (นายธนพงษ์ นิลกลาง นายฤทธิชัย พงษ์ราษฎร์ และนายวันชัย วิเชียรรัมย์) ที่ช่วยทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่สนับสนุนสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

References

- [1] Trachoo, N. (2002). Yogurt: The fermented milk. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 24(4), 727–737.
- [2] Smith, K. J., & Huyser, W. (1987). World distribution and significance of soybean. In J.R. Wilcox (ed.). *Soybeans: Improvement, production and uses*, 2nd Ed. 1-22. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- [3] Moskovitz, J., Yim, M. B., & Chock, P. B. (2002). Free radicals and disease. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 397(2), 354–359. DOI: 10.1006/abbi.2001.2692.
- [4] Qian, Z. J., Jung, W. K., & Kim, S. K. (2008). Free radical scavenging activity of a novel antioxidative peptide purified from hydrolysate of bullfrog skin, *Rana catesbeiana* Shaw. *Bioresource Technology*, 99(6), 1690–1698. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.04.005.
- [5] Wattanasiritham, L., Theerakulkait, C., Wickramasekara, S., Maier, C. S., & Stevens, J. F. (2016). Isolation and identification of antioxidant peptides from enzymatically hydrolyzed rice bran protein. *Food Chemistry*, 192, 156–162. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.057.
- [6] Tadakottisarn, S. (2015). *Protein products and hydrolyzed protein from jasmine rice bran* (Online). Retrieved June 7, 2020, from <http://https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=20578>.
- [7] Wiriyaphan, C., Chitsomboon, B., & Yongsawadigul, J. (2012). Antioxidant activity of protein hydrolysates derived from threadfin bream surimi byproducts. *Food Chemistry*, 132(1), 104–111. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.040.
- [8] Shori, A.B. (2013). Antioxidant activity and viability of lactic acid bacteria in soybean-yogurt made from cow and camel milk. *Journal of Taibah University for Science*, 7(4), 202–208. DOI:10.1016/j.jtusci.2013.06.003.
- [9] Thamnarathip, P., Jangchud, K., Nitisinprasert, S., & Vardhanabhuti, B. (2016). Identification of peptide molecular weight from rice bran protein hydrolysate with high antioxidant activity. *Journal of Cereal Science*, 69, 329–335. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.04.011.
- [10] Phongthai, S., Lim, S. T., & Rawdkuen, S. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties. *Journal of Cereal Science*, 70, 146–154. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.06.001.
- [11] Kim, J. A., Jung, W. S., Chun, S. C., Yu, C. Y., Ma, K. H., Gwag, J. G., & Chung, I. M. (2006). A correlation between the level of phenolic compounds and the antioxidant capacity in cooked-with-rice and vegetable soybean (*Glycine max* L.) varieties. *European Food Research and Technology*, 224(2), 259–270. DOI:10.1007/s00217-006-0377-y.
- [12] Slavin, M., Cheng, Z., Luther, M., Kenworthy, W., & Yu, L. (2009). Antioxidant properties and phenolic, isoflavone, tocopherol and carotenoid composition of Maryland-grown soybean lines with altered fatty acid profiles. *Food Chemistry*, 114(1), 20–27. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.09.007.

- [13] Charoen, R., Tipkanon, S., & Savedboworn, W. (2017). Production of rice bran protein hydrolysates from traditional Thai rice bran (Plai-Ngahm-Prachinburi). *International Food Research Journal*, 24(6), 2304–2311.
- [14] Chandi, G. K., & Sogi, D. S. (2007). Functional properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 592–597. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.02.018.
- [15] Demirci, T., Aktaş, K., Sözeri, D., Öztürk, H.I., & Akin, N. (2017). Rice bran improve probiotic viability in yoghurt and provide added antioxidative benefits. *Journal of Functional Foods*, 36(1), 396–403. DOI:10.1016/j.jff.2017.07.019.
- [16] Wu, Y. F., Molaison, E. F., Pope, J. F., & Reagan, S. (2005). Attitudes and acceptability of soy-based yogurt by college students. *Nutrition & Food Science*, 35(3–4), 253–257. DOI: 10.1108/00346650510605649.

การกำหนดดัชนีเก็บเกี่ยวลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.)
โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟเซนเซอร์

Determination of Longkong (*Lansium domesticum* Corr.)
by Microwave Sensor Technique

นิโรชานา นิโซ๊ะ¹ ปิยะ ผ่านศึก² และพวงทิพย์ แก้วทับทิม^{3*}

Nikrosana Niksoh¹, Piya Phansuke² and Pungtip Kaewtupim^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวลองกองเพื่อนำส่งตลาดต่างประเทศหรือตลาดไกลสวน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านผลลองกองด้วยเครื่องมือ Microwave Optics แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่อปริมาณกรด (TSS: TA) ของผลลองกองที่อายุ 85-120 วันหลังดอกบาน พบว่า ค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟ ในช่วง 0.75-0.58 mA ซึ่งผลลองกองมีช่วงอายุ 91-103 วันหลังดอกบาน และมีค่า TSS: TA อยู่ระหว่าง 6.13-9.86 ซึ่งผลลองกองมีผิวเหลือง ผลติดช่อแน่น มีรสชาติหวาน เหมาะสำหรับส่งไปขายตลาดไกลหรือต่างประเทศ สำหรับค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA ค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 9.86-13.55 ซึ่งผลลองกองมีอายุอยู่ในช่วง 103-115 วันหลังดอกบาน ช่วงนี้ผลลองกองมีรสชาติหวานมาก ผิวผลลองกองเหลืองเข้ม นำรับประทานเหมาะสำหรับขายตลาดใกล้ ๆ สวน

คำสำคัญ: ลองกอง ดัชนีการเก็บเกี่ยว ไมโครเวฟเซนเซอร์

Abstract

The purpose of this research is to determine the suitable harvest index for harvesting Longkong bunches for export to overseas or distant markets. The technique for analyzing concentration of microwave through Longkong fruit with microwave optics was used. The results from the microwave concentration

¹ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

² อ., สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

³ ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

¹ Graduate Student, Master's Degree in Applied Physics at Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus 94000, Thailand

² Lecturer, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, 94000, Thailand

³ Asst. Prof. Dr., Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, 94000, Thailand

* Corresponding author Tel:0819594215 E-mail address: pungtip.k@psu.ac.th

(Received: July 7, 2020; Revised: December 3, 2020; Accepted: December 21, 2020)

analysis were compared with the ratio of total soluble solids to acid content (TSS: TA) of Longkong fruit ages of 85-120 days after anthesis. The results showed that the concentration of microwave was in the range of 0.75-0.58 mA, which the Longkong fruit have the ages of 91-103 days after anthesis and TSS: TA was between 6.13-9.86. The Longkong fruit has yellow skin, firmly attached to Longkong bunch, and a sweet taste, suitable for export to distant markets or overseas. For the concentration of microwave in the range of 0.58-0.41 mA, the TSS: TA was in the range of 9.86-13.55, in which the Longkong fruit was 103-115 days after anthesis, the Longkong fruits are very sweet, and the skin is dark yellow, tasty. It was suitable for selling near the orchard.

Keywords: Longkong, Harvesting Index, Microwave Sensor

บทนำ

ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลองกองที่เหมาะสมส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลองกอง ซึ่งผลองกองที่ช่อสวยลูกติดแน่น ผิวเปลือกสีเหลือง รสชาติหวาน มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวนาน สามารถขนส่งไปขายระยะไกลได้เช่น ตลาดต่างประเทศเพื่อให้ได้ราคาของผลผลิตของสูง ด้วยผลองกองเป็นผลไม้ชนิด Non-climacteric Fruit เป็นผลไม้ที่ไม่สามารถบ่มเพาะได้จะไม่สุกเพิ่มหลังการเก็บเกี่ยว หากเก็บเกี่ยวผลองกองระยะที่สุกมากมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น เนื่องจากการหลุดร่วงของผลออกจากช่อผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเพียง 4-5 วัน [1] เท่านั้น ทำให้ช่วงเวลาของการวางจำหน่ายผลองกองไม่นาน ตลาดของการจำหน่ายผลองกองจึงอยู่ระยะใกล้สวน และประกอบกับผลผลิตของในแต่ละสวนออกสู่ตลาดพร้อม ๆ กัน จึงทำให้เกษตรกรประสบปัญหาราคาผลผลิตของถูก โดยปกติดัชนีการเก็บเกี่ยวขององกอง เกษตรกรใช้การนับอายุของผลองกอง นับจากดอกเริ่มบานจนผลสุกและเก็บเกี่ยวขององกองที่สุกร้อยละ 80-90 เพื่อเป็นการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว ไม่เก็บในช่วงผลสุกร้อยละ 100 เพราะผลร่วงจากช่อเร็วมาก [1] อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนี้เกษตรกรยังใช้วิธีดูสีผิวผลองกองด้วยตาเปล่าเพื่อเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว แต่วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนสูงในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวขององกองโดยใช้ไมโครเวฟเซนเซอร์ผ่านผลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวขององกองที่เหมาะสม ซึ่งเป็นวิธีไม่ทำลายผลผลิต ไม่ยุ่งยาก และมีความแม่นยำสูง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนความหวานต่อกรด (TSS: TA) และอายุของผลองกอง ซึ่งงานวิจัยการจำแนกระยะสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ค่า TSS: TA สามารถเป็นตัวแปรที่สามารถจำแนกระยะสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีถึง 91.7 % [2] เหมาะต่อการเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้ ซึ่งในการเกษตรได้ใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งผลผลิตมาแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาช่วยแก้ปัญหาผลผลิตเกษตรกรล้นตลาดได้ [3] และการใช้สเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ที่เปลือกเป็นวิธีการที่เคยใช้สำหรับแยกอายุอ่อนแก่ของทุเรียน [4] และใช้ตรวจสอบความชื้นในผัก และผลไม้ [5]

วิธีการดำเนินการ

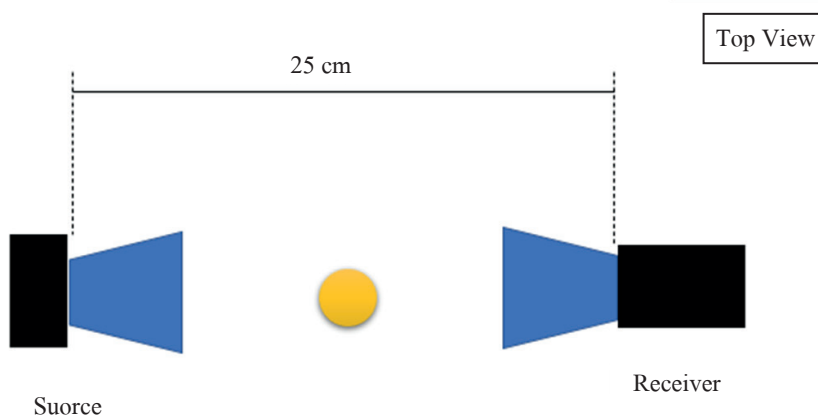
ในการศึกษาใช้วัตถุดิบหลักคือ ผลองกองจากสวนในจังหวัดยะลา ซึ่งเป็นผลไม้พันธุ์องกองคันธุลี

1. ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวขององกองด้วยไมโครเวฟเซนเซอร์ คลื่นไมโครเวฟ (Microwave, MW) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงชนิดหนึ่งที่สายตามนุษย์มองไม่เห็นแต่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือ

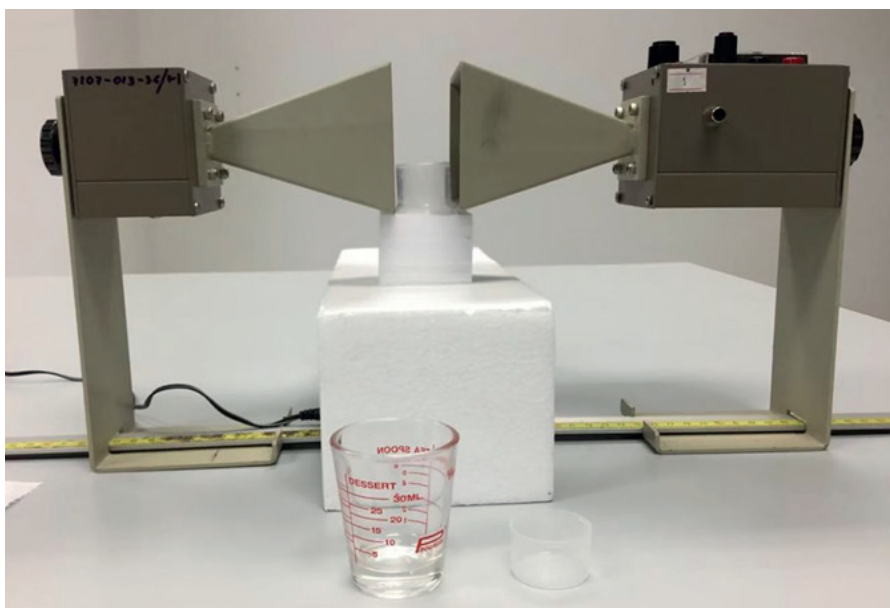
เฉพาะเท่านั้น ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1mm-1 m และความถี่ 300 MHz ถึง 300 GHz ในการวัดความสูงของผลลองกองด้วย MW โดยอาศัยคุณสมบัติของการส่งผ่าน (Transmission) ของ MW นั่นคือเมื่อ MW วิ่งกระทบพลาสติก คลื่นสามารถทะลุผ่านได้ ดังนั้น พลาสติกจึงสามารถใช้เป็นภาชนะสำหรับใส่ผลลองกองในการวัด MW สำหรับผลลองกองที่อายุต่างกันมีปริมาณน้ำในผลแตกต่างกัน ทำให้การดูดซับ (Absorption) ของ MW ต่างกัน (ถ้าปริมาณน้ำในผลลองกองสูงทำให้มีการดูดซับของ MW มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณน้ำในผลลองกองต่ำทำให้การดูดซับ MW น้อย) ทั้งนี้ MW หลังถูกดูดซับสลายตัวทันทีจึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค [4] ในงานวิจัยนี้วัด MW ผ่านผลลองกองโดยไม่ปอกเปลือก ด้วยเครื่องมือ Microwave Optics ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ Microwave Optics เป็นเครื่องมือการศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นในย่านความถี่ไมโครเวฟเพื่อตรวจสอบการส่งผ่านของคลื่นผ่านผลลองกอง หลักการทำงานของเครื่องมือ Microwave Optics มีแหล่งกำเนิดของคลื่นในย่านไมโครเวฟและมีตัวรับคลื่น กำหนดช่วงความห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งที่ 25 cm บันทึกค่าความเข้มข้นของ MW ขณะไม่มีตัวอย่างซึ่งเป็นค่าพื้นหลัง แล้วนำผลลองกองจำนวน 1 ผลใส่ภาชนะพลาสติก จากนั้นนำวางกึ่งกลางระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ บันทึกค่าความเข้มข้นของ MW หลังหักลบค่าพื้นหลัง โดยแต่ละผลทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยจัดวางอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 1-4



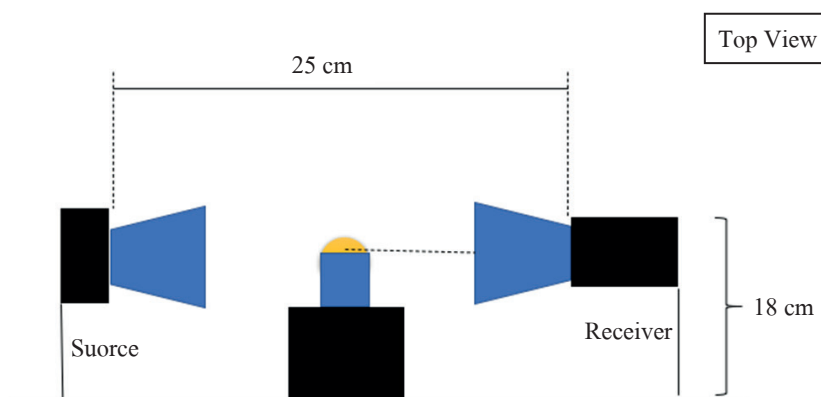
ภาพที่ 1 มุมบนของเครื่องมือ Microwave Optics



ภาพที่ 2 Top View Microwave Optics



ภาพที่ 3 มุมหน้าของเครื่องมือ Microwave Optics



ภาพที่ 4 Side View Microwave Optics

2. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของลองกอง

2.1 นำผลลองกองจากข้อ 1 มาปั่นแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางให้ได้ปริมาณ 2.5 ml นำไปทดสอบความหวานของผลลองกอง โดยวัดปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid: TSS) ด้วยเครื่องมือ Hand Refractometer ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (°Bx) หรือ %TSS

2.2 วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable Acidity: TA) โดยแบ่งน้ำลองกองจากข้อ 2.1 จำนวน 2.4 ml มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide Solution) โดยใช้ Phenolphthalein เข้มข้น 0.0938 N เป็น Indicator แล้วคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (Citric Acid) [2] ดังสมการ

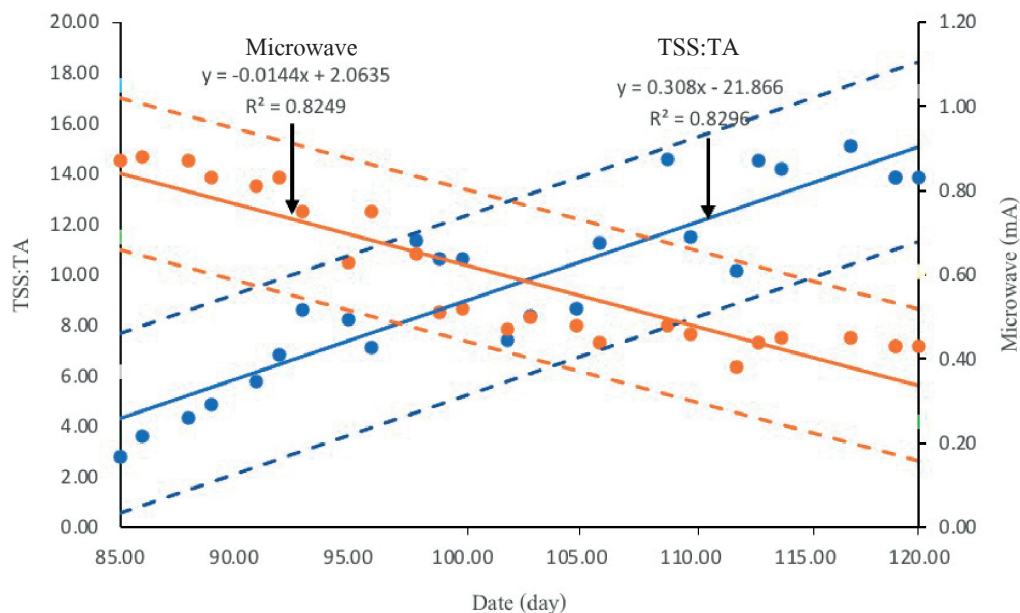
$$\% \text{citric} = \frac{\text{N base} \times \text{ml base} \times \text{meq. Wt. of citric acid} \times 100}{\text{ml of sample}} \quad (1)$$

โดย N base	คือ Normality ของสารละลาย
ml base	คือ ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต
ml of sample	คือ ปริมาตรของน้ำส้ม
meq. Wt of citric acid	คือ 0.06404

2.3 คำนวณอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่อกรด (TSS: TA) นำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาไมโครเวฟเซนเซอร์ เพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ซึ่งค่า TSS: TA เป็นตัวแปรที่สามารถจำแนกระยะสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้มากถึง 91.7 % [2]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของกองด้วยการใช้ค่า MW เปรียบเทียบกับค่า TSS: TA และอายุของกองกองแสดงดังภาพ



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์ผลจากการนับวันดอกบาน กับ ค่า TSS: TA และ ค่า Microwave

การศึกษาหาดัชนีเก็บเกี่ยวของผลไม้ที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ MW เปรียบเทียบกับค่า TSS: TA และอายุของผลองกอง พบว่า ค่า MW มีค่าลดลงเมื่ออายุของผลองกองมากขึ้น ส่วนค่า TSS: TA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของผลองกองมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถกำหนดช่วงเก็บเกี่ยวผลองกองที่เหมาะสมสำหรับส่งไปขายตลาดไกล และตลาดต่างประเทศเมื่อค่า MW อยู่ในช่วง 0.75-0.58 mA ซึ่งมีค่า TSS:TA อยู่ในช่วง 6.13-9.86 โดยผลองกองมีอายุระหว่าง 91-103 วัน นับจากดอกบาน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kaewtubtim, P. *et al.* and Taesakul, P. *et al.* [6-7] โดยผลองกองในช่วงนี้มีผิวผลองกองเหลือง รสหวาน

ผลดีข้อสวสามารถนำไปขายไกลได้และหากมีการโครงสร้างให้ผลดองกึ่งจะเพิ่มอายุหลังการเก็บเกี่ยวสามารถไปขายต่างประเทศได้ สำหรับดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตดองกึ่งเพื่อไปขายตลาดใกล้เคียง ส่วน ค่า MW มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA โดยมีค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 9.86-13.55 ซึ่งดองกึ่งมีอายุอยู่ในช่วง 103-115 วัน นับวันจากดอกบาน [8] ซึ่งผลดองกึ่งมีรสชาติดหวานมาก ผิวผลดองกึ่งเหลืองเข้ม น้ารับประทาน อย่างไรก็ตามข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้สมควรเก็บข้อมูลจากผู้ทดสอบชิมเพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของผลดองกึ่งสำหรับผู้บริโภคมาเปรียบเทียบกับข้อมูลไมโครเวฟ อายุ และ TSS: TA

สรุปผลการวิจัย

ดัชนีการเก็บเกี่ยวดองกึ่งที่เหมาะสมสำหรับนำไปขายตลาดใกล้เคียงมีค่า MW ในช่วง 0.75-0.58 mA ซึ่งมีค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 6.13-9.86 โดยดองกึ่งมีอายุระหว่าง 91-103 วัน นับจากดอกบาน ในช่วงนี้มีผลดองกึ่งที่แน่นและสว มีรสชาติดหวานอมเปรี้ยว สำหรับการนำผลผลิตดองกึ่งไปขายตลาดใกล้เคียงส่วนเมื่อใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยว MW มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA โดยมีค่า TSS:TA อยู่ในช่วง 9.86-13.55 ซึ่งดองกึ่งมีอายุอยู่ในช่วง 103-115 วัน นับวันจากดอกบาน ในช่วงนี้มีสีผิวเหลือง ดองกึ่งมีรสหวาน หอม อร่อย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณกฤษณ์ เศียรสุวรรณ ขอขอบคุณทุนการศึกษาผลการเรียนดีเด่นเข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอขอบคุณทุนวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และขอขอบคุณแผนกฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับสถานที่ทำการทดลองทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- [1] Lichanporn, I., Nanthachai, N., Tanganurat, P., Singkhum, A., & Techavuthiporn, C. (2016). Use of oxalic acid to inhibit browning on longkong fruit after harvesting. *Huachiew Chalermprakiet Science and Technol Journal*, 2(1), 36-44.
- [2] Sombatpraiwan, S., Tipwimol, T., & Treeaumnak, K. (2012). Postharvest changes in quality characteristics of Nam Dokmai mango (*Mangifera indica* L.). In *The 13th TSAE National Conference*. 521. April 4-5, 2012, Imperial Mae Ping Hotel. Chiang Mai: Thai Society of Agricultural Engineering.
- [3] Assavarachan, R. (2011). Drying agricltral products by microwave. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 1(2), 31-42.
- [4] Timkhun, P., & Terdwongworakul, A. (2013). Non-destructive classification of durian maturity of 'Mongthong' cultivar by visible spectroscopy of the husk. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 19(1), 1-6.
- [5] Orsat, V., & Vijaya Raghavan, G.S. (2007). Microwave in postharvest applications with fresh fruits and vegetable. *Fresh Produce*, 1(1), 16-22.

- [6] Kaewtubtim, P., Chittrakarn, T., Bhongsuwan, T., Aiyarak, P., & Kongsang, S. (2007). Spectral reflectance analysis of longkong (*Lansium domesticum* Corr.) bunches as an indicator for optimal harvesting. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 29(5), 1427–1438.
- [7] Taesakul, P., Imsabai, W., & Siriphanich, J. (2018). Fruit drop at the junction between the and fruit of longkong (*Lansium domesticum* Corr.) dose not depend on ethylene or ethylene or the induction of cell wall degrading enzymes. *Postharvest Biology and Technology*, 144, 77–85. DOI:10.1016/j.postharvbio.2018.05.015.
- [8] Venkatachalam, K., & Meenune, M. (2012). Changes in physiochemical quality and browning related enzyme activity of longkong fruit during for different weeks of on-tree maturation. *Food Chemistry*, 131(4), 1437–1442. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.022.

การศึกษาเปรียบเทียบผลของการลวกน้ำร้อน
และการนึ่งต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ
Comparative Study of Effects of Hot Water
and Steaming Blanching on Crisp Banana Qualities

สุวิทย์ แพงกันยา¹, สุรพิชญ์ ทับเที่ยง^{2*}, สมเกียรติ ประชยวารากร³ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์⁴
Suwit Paengkanya¹, Surapit Tabtiang^{2*}, Somkiat Prachayawarakorn³ and Somchart Soponronnarit⁴

บทคัดย่อ

กล้วยกรอบที่แปรรูปด้วยการอบแห้งร่วมกับการทำให้พองมีการหดตัวน้อยและมีเนื้อสัมผัสกรอบ แต่ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลคล้ำมาก การเตรียมตัวอย่างโดยการลวกน้ำร้อนและการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเปรียบเทียบผลของการลวกและการนึ่งต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบผลของการลวกน้ำร้อนและการนึ่งต่อคุณภาพกล้วยกรอบ การทดลองนำกล้วยน้ำว้าสดมาหั่นให้มีขนาดหนา 2.5 mm จากนั้นนำกล้วยแผ่นมาลวกด้วยน้ำร้อนหรือนึ่งด้วยไอน้ำร้อน แล้วนำกล้วยแผ่นมาแปรรูปด้วยการอบแห้งร่วมกับการทำให้พองด้วยลมร้อน ผลการทดลองพบว่า การลวกและการนึ่งช่วยลดความแน่นเนื้อของโครงสร้างกล้วยสด จึงส่งผลให้กล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีปริมาตรมากกว่าและมีความแข็งน้อยกว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยกรอบเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีคุณภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มระดับอุณหภูมิของการทำให้พองช่วยให้เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบที่มีความแข็งลดลง แต่กล้วยกรอบมีสีน้ำตาลคล้ำมากขึ้น ดังนั้นก่อนแปรรูปกล้วยควรเตรียมตัวอย่างด้วยการลวกด้วยน้ำร้อนหรือนึ่งและใช้อุณหภูมิการพองไม่เกิน 170 °C

คำสำคัญ: การลวกน้ำร้อน การนึ่ง การทำให้พอง สี เนื้อสัมผัส

¹ อ.ดร., คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

² ผศ.ดร., วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

³ รศ.ดร., คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

⁴ ศ.ดร., คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

¹ Lecturer, Dr., Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800, Thailand

² Asst. Prof. Dr., College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand

³ Assoc. Prof. Dr., Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400, Thailand

⁴ Prof., Dr., Faculty of Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

Abstract

Crisp banana processed by hot air drying combined puffing provides low volumetric shrinkage and high crisp texture, but crisp product has more brown colour. The hot water blanching and steaming pretreatments could reduce brown colour of puffed product. From previous reports, the comparative study of effects of hot water blanching and steaming pretreatments on crisp banana qualities were limited. Therefore, this work was interested in a comparative study of the effects of hot water blanching and steaming pretreatments on crisp banana. The fresh bananas were cross sectional sliced to 2.5 mm and then they were pretreated by hot water or steaming. After that, it was dried by hot air and puffed by hot air. The experimental results showed that both pretreatments by hot water and steaming could reduce the firmness of raw material structure, resulting in the larger volumetric and lower hardness of pretreatment product than that of the non-pretreatment banana product. In addition, the both pretreatment also retarded browning reaction of crisp banana product as compared to non-pretreatment product. However, it was not observed the difference in qualities of both pretreatment crisp banana methods. Increasing puffing temperature provided lower hardness of product, however, the color of puffed banana was more browning. Therefore, the banana should be pretreated by hot water blanching or steaming before processing and using of puffing temperature not exceeding 170 °C.

Keywords: Hot Water Blanching, Steaming, Puffing, Colour, Texture

บทนำ

ผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปที่วางขายตามท้องตลาดมีหลายรูปแบบ เช่น กล้วยทอดกรอบ กล้วยทอดกรอบกล้วยตากแห้ง กล้วยทอดกรอบเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ได้รับความนิยมบริโภค ซึ่งสามารถแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (70-90 °C) อย่างไรก็ตามกล้วยทอดกรอบที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำมีระดับการหดตัวสูงจึงทำให้เนื้อสัมผัสที่แข็ง เทคนิคการทำให้พองด้วยอุณหภูมิสูง (150-220 °C) เป็นระยะเวลาสั้น ร่วมกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (70-90 °C) ช่วยให้มีการขยายตัวของปริมาตรกล้วยระหว่างการแปรรูป จึงส่งผลให้กล้วยทอดกรอบมีการหดตัวน้อยกว่ากล้วยทอดกรอบที่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่ำ [1-2] ปริมาตรที่มากขึ้นของผลิตภัณฑ์ทำให้โครงสร้างภายในมีความพรุนสูงส่งผลให้เนื้อสัมผัสกรอบมากขึ้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิการทำให้พองที่สูงก่อให้เกิดสีน้ำตาลเข้มบนผิวผลิตภัณฑ์ทอด [2-3] ซึ่งสีที่ไม่พึงประสงค์นำไปสู่การลดมูลค่าของผลิตภัณฑ์

การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งช่วยปรับปรุงคุณภาพสีของอาหารทอด วิธีการเตรียมตัวอย่างที่นิยมใช้มีหลายวิธี เช่น การลวกด้วยน้ำร้อน การนึ่งด้วยไอน้ำร้อน การลวกด้วยไมโครเวฟ การเตรียมตัวอย่างอาหารด้วยความร้อนช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการอบแห้งเนื่องจากความร้อนช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล [4] การเตรียมตัวอย่างไม่เพียงส่งผลต่อสีของอาหารแต่ยังได้รับผลกระทบต่อการหดตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารอบแห้ง Varnalis *et al.* [5] รายงานว่าการลวกมันฝรั่งด้วยน้ำร้อนก่อนแปรรูปด้วยการอบแห้งช่วยให้มันฝรั่งมีการพองขยายตัวได้ดีขึ้นในขั้นตอน

การทำให้พองเมื่อเปรียบเทียบกับมันฝรั่งที่ไม่ได้ลวกน้ำร้อน ผลของการขยายตัวที่มากขึ้นช่วยให้มันฝรั่งอบแห้งมีความสามารถในการดูดซับน้ำกลับมากขึ้น Tabtiang *et al.* [2] รายงานว่าการลวกกล้วยน้ำว้าด้วยน้ำร้อนก่อนแปรรูปด้วยการอบแห้งช่วยให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบมีการหดตัวลดลง อย่างไรก็ตาม Prachayawarakorn *et al.* [3] รายงานว่าการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนส่งผลให้กล้วยหอมกรอบที่มีความสุกระดับ 16-17 °Brix มีการหดตัวสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ไม่ผ่านการนึ่ง การหดตัวที่สูงของกล้วยกรอบทำให้กล้วยมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้นและมีความกรอบลดลง

จากรายงานที่กล่าวมาพบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนส่งผลต่อคุณภาพของอาหารอบแห้งแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามรายงานวิจัยที่กล่าวถึงการเปรียบเทียบผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์กรอบมีอย่างจำกัด ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยการลวกน้ำร้อนและการนึ่งด้วยไอน้ำรวมทั้งระดับอุณหภูมิการทำให้พองต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากรอบในเทอมของสี อัตราส่วนปริมาตรและเนื้อสัมผัสและโครงสร้างระดับจุลภาค

วัสดุและวิธีดำเนินการ

1. การเตรียมตัวอย่างกล้วยแผ่น

นำกล้วยน้ำว้าสด (*Musasapientum* Linn. (ABB group)) ที่สีเปลือกเป็นสีเหลืองอมเขียวเล็กน้อยและมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในช่วง 21-22 °Brix การหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ทำโดยนำเนื้อกล้วยมาสับให้ละเอียด แล้ววางบนผ้าขาวบาง จากนั้นบีบเอาของเหลวมาวัดค่าด้วยเครื่อง Hand-held Refractometer (ATAGO, Tokyo, Japan) การเตรียมกล้วยแผ่นสดให้นำกล้วยมาปอกเปลือกและหั่นโดยใช้เครื่องหั่น (Savioli, 250S, Bangkok, Thailand) ให้ได้ความหนา 2.5 mm แล้วแบ่งกล้วยแผ่นออกเป็นสามกลุ่ม กลุ่มแรกกล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กลุ่มที่สองนำกล้วยแผ่น 100 g มานึ่งด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิไอน้ำ 95 °C ที่ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 2 min กลุ่มที่สามนำกล้วยแผ่น 100 g มาลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 s นำกล้วยแผ่นวางพักบนตะแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำประมาณ 5 min แล้วใช้กระดาษชำระซับน้ำที่เกาะบริเวณผิวของกล้วยออก การเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีใช้กล้วยในสัดส่วน 100 g ต่อน้ำ 2.5 L จากนั้นนำกล้วยแผ่นมาหาความชื้นเริ่มต้นโดยอบในตู้อบลมร้อนที่ 103 °C เป็นเวลา 3 hours [2-3]

2. การอบแห้ง

การอบแห้งกล้วยแผ่นใช้กระบวนการอบแห้งแบบหลายขั้นตอน ขั้นตอนแรกนำกล้วยแผ่นมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน โดยเครื่องอบแห้งนี้ประกอบด้วย ห้องอบแห้ง ขนาด 52 x 52 x 52 cm³ พัดลม ขนาด 2.2 kW โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วลม และฮีตเตอร์ ขนาด 3,000 kW ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ A Proportional–integral–derivative Controller (HITACHI, Model J100, Tokyo, Japan) อบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 90 °C ความเร็วลม 2 ms⁻¹ อบแห้งจนกระทั่งกล้วยแผ่นมีความชื้นเหลือ 35 % d.b. นำกล้วยแผ่นมาทำให้พองด้วยเครื่องอบแห้งเดิม โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ 150 170 และ 190 °C เป็นเวลา 2 min ขั้นตอนสุดท้ายนำกล้วยมาอบแห้งอีกครั้งโดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับขั้นตอนแรก จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 4 % d.b. จากนั้นนำกล้วยอบแห้งมาบรรจุถุงสุญญากาศแล้วปิดผนึกด้วยเครื่องซีลสุญญากาศ

แบบตั้งโต๊ะ (Master Chef, Model DZ260, Bangkok, Thailand) แล้วเก็บในตู้ดูดความชื้น (WEIFO, DRY-100T, Taiwan) เพื่อรอการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

3. การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

นำตัวอย่างเนื้อกล้วยสดที่มีขนาด $2 \times 3 \times 1$ mm ซึ่งได้มาจากคั้นในระยะเวลาห่างจากผิวกล้วยสดประมาณ 2-3 mm ตัวอย่างเนื้อเยื่อของกล้วยถูกแช่ด้วย 2.5 % (v/v) Glutaraldehyde ในสารละลาย Phosphate เข้มข้น 0.1 M (pH 7.2) ที่ถังคั่นที่อุณหภูมิ 4°C แล้วจึงแช่ตัวอย่างในสารละลาย 2 % (w/v) Osmium Tetroxide เป็นเวลา 2 hours ที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างถูกล้างด้วยน้ำกลั่นและกำจัดความชื้นด้วย Acetone ที่ความเข้มข้น 30-100 % (v/v) จากนั้นเนื้อเยื่อกล้วยจะถูกทำ Polymerize ใน Spurr's Resin เป็นเวลา 7 hours ที่อุณหภูมิ 80°C ตัวอย่างถูกตัดเป็นชิ้นโดยใช้เครื่อง Ultramicrotome (Leica Ultracut UC7, Vienna, Austria) ที่ความหนา $1\text{ }\mu\text{m}$ และย้อมด้วย 1 % (w/v) Toluidine Blue และ 1 % (w/v) Basic Fuchsin แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Axio Star Plus, Zeiss, Göttingen, Germany)

4. การวิเคราะห์อัตราส่วนปริมาตร

การหาปริมาตรของกล้วยแผ่นในแต่ละสภาวะใช้กล้วยแผ่นจำนวน 20 ชิ้น การวัดอัตราส่วนของปริมาตรของกล้วยน้ำว้ากรอบใช้วิธีการแทนที่ด้วยของแข็ง การหาปริมาตรเริ่มจากเท Glass Beads ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และสูง 4 cm ประมาณครึ่งหนึ่งของกระป๋อง จากนั้นวางกล้วยแผ่นจำนวน 3 ชิ้น ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม แล้วจึงเท Glass Beads ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมอีกครั้งจนเต็มกระป๋อง แล้วชั่งน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมบันทึกผล โดยปริมาตรของกล้วยแผ่นสามารถหาได้จากสมการการหาปริมาตรซึ่งรายงานโดย Tabtiang *et al.* [2] จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาอัตราส่วนปริมาตรจากสมการการหาอัตราส่วนปริมาตรซึ่งรายงานโดย Prachayawarakorn *et al.* [3]

5. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบอบแห้งพิจารณาในทอมค่าความแข็งและค่าจำนวนยอดเนื้อสัมผัสของตัวอย่างกล้วยอบแห้งทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System, TA.XT. Plus, Surrey, UK) การทดสอบคุณภาพเริ่มจากนำกล้วยอบแห้งวางลงบนฐานวางตัวอย่างโดยใช้หัวกดทดสอบแบบหัวตัด (HDP-BSK) ใช้ความเร็วขณะกดขึ้นตัวอย่างที่ 2 mm s^{-1} ซึ่งเป็นไปตามวิธีการทดสอบกล้วยกรอบของ Raikham *et al.* [6] การทดสอบเลือกใช้หัวทดสอบ HDP/BSK เพราะการกดเพื่อตัดชิ้นอาหารมีลักษณะคล้ายกับการกัดชิ้นอาหารของมนุษย์ ค่าความแข็งและค่าจำนวนยอดของกล้วยอบแห้งวิเคราะห์จาก Force-deformation Curve ซึ่งการพิจารณาพารามิเตอร์ทั้ง 2 สามารถพิจารณาจาก Tabtiang *et al.* [2] การทดสอบใช้ตัวอย่างกล้วยแผ่นจำนวน 20 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดลอง และทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

6. การวิเคราะห์สี

นำกล้วยกรอบจำนวน 20 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการอบแห้งมาวัดค่าสี การวัดสีใช้เครื่อง Colorimeter (HunterLab Reston, ColorFlex, VA, USA) ที่แหล่งของแสง D65 และมุมมอง 10° การวัดสีของแผ่นกล้วยแสดงอยู่ในค่าของ L (ความสว่าง/ความมืด), a (+แดง/-เขียว) และ b (สีเหลือง/สีน้ำเงิน) ก่อนการวัดสีของกล้วยอบแห้งต้องปรับเทียบเครื่องวัดสีด้วยแผ่นสีขาวและแผ่นสีดำมาตรฐานก่อนเสมอ นำค่าสีที่วัดได้มา

คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี (ΔE) และค่าโทนสี (Hue Angle) ของกล้วยอบแห้งแต่ละสภาวะจากสมการการซึ่งรายงานโดย Tabtiang *et al.* [7] และ Tabtiang *et al.* [15]

7. การวิเคราะห์ Enzyme Activity

การหา Enzyme Activity ของกล้วยประกอบด้วย Polyphenol Oxidase (PPO) และ Polyphenol Peroxidase (POD) ดำเนินการตามงานวิจัยของ Kuljarachanan *et al.* [8] นำเนื้อกล้วยที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างบดให้ละเอียดจำนวน 25 g เติม Phosphate Buffer ความเข้มข้น 0.05 M (pH 6.2) และ 0.1 M Sodium Chloride ปริมาตร 10 L จากนั้นบดเนื้อกล้วยผสมกับสารละลาย 1 min และปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 10 mL แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 min จะได้สารละลายเอนไซม์และนำไปวัดค่า PPO สำหรับการหา POD Activity นำส่วนผสมที่ได้จากการสกัดเอนไซม์ 250 μ L ซึ่งประกอบด้วย 2.5 mL Guaiacol 0.4 % (v/v) และ H_2O_2 in Phosphate Buffer 0.05 M (pH 6.2) จากนั้นใช้ Phosphate Buffer 250 μ L เป็นส่วนผสมอ้างอิงแทนการสกัดจากเอนไซม์ โดยค่า POD Activity หาได้จากความชันของกราฟระหว่างการดูดซับและเวลาของปฏิกิริยา

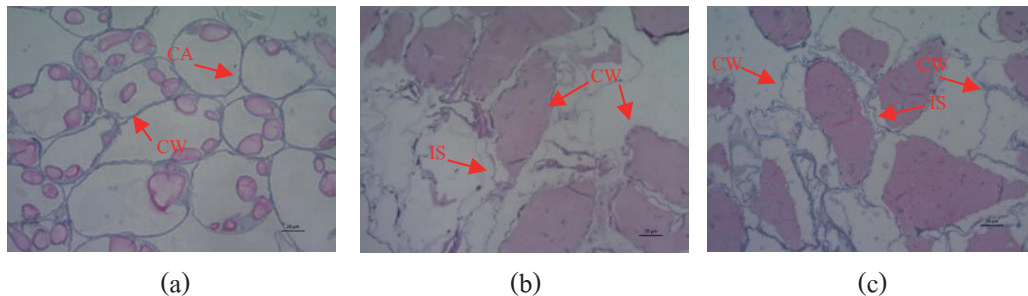
8. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางด้านสี อัตราส่วนปริมาตร ค่าความแข็ง และจำนวนยอดน้ำ มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบด้วย Tukey's Multi Range Tests โดยใช้โปรแกรม SPSS (SPSS, Version 13, Inc., Chicago, IL) โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดลองนำมาพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. โครงสร้างระดับจุลภาคของกล้วยก่อนอบแห้ง

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างระดับจุลภาคของกล้วยน้ำว้าที่สภาวะต่างๆ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกล้วยน้ำว้าแผ่นที่ไม่ผ่านการลวกพบว่าเซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม (Round Shape) เนื่องจากผนังเซลล์ยังมีความสมบูรณ์ ดังนั้นผนังเซลล์จึงยึดติดดีและปรากฏชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 1 (a) นอกจากนี้ภายในโครงสร้างกล้วยสดยังมีการยึดติดกันระหว่างเซลล์ได้ดี เนื่องจากชั้น Middle Lamellar ยังมีความสมบูรณ์จึงเป็นตัวประสานให้เซลล์ยึดติดกัน [9] อย่างไรก็ตามเมื่อนำกล้วยแผ่นมาลวกด้วยน้ำร้อนหรือนึ่งด้วยไอน้ำร้อนส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ของกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง เซลล์ของกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular Shape) นอกจากนี้ผนังเซลล์ยังปรากฏไม่ชัดเจนและมีลักษณะไม่เรียบ ลักษณะปรากฏเช่นนี้เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทั้งสองวิธีทำให้องค์ประกอบทางเคมีภายในผนังเซลล์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน เกิดการเสื่อมสลายและมีขนาดโมเลกุลเล็กลง [10] การเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทั้งสองวิธีนอกจากจะส่งผลต่อโครงสร้างเซลล์แล้วยังส่งผลต่อการยึดติดกันระหว่างเซลล์ โดยเซลล์ที่ผ่านการลวกทั้งสองวิธีเกิดการสูญเสียการเชื่อมยึดติดกันระหว่างเซลล์เนื่องจากการสลายตัวของเพคตินในชั้น Middle Lamellar จากความร้อนในการเตรียมตัวอย่าง ส่งผลให้ชั้น Middle Lamellar สูญเสียความสามารถในการเชื่อมยึดเซลล์ [11-13] มีงานวิจัยผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งรายงานโดย Llano *et al.* [12] และ Latorre *et al.* [14]



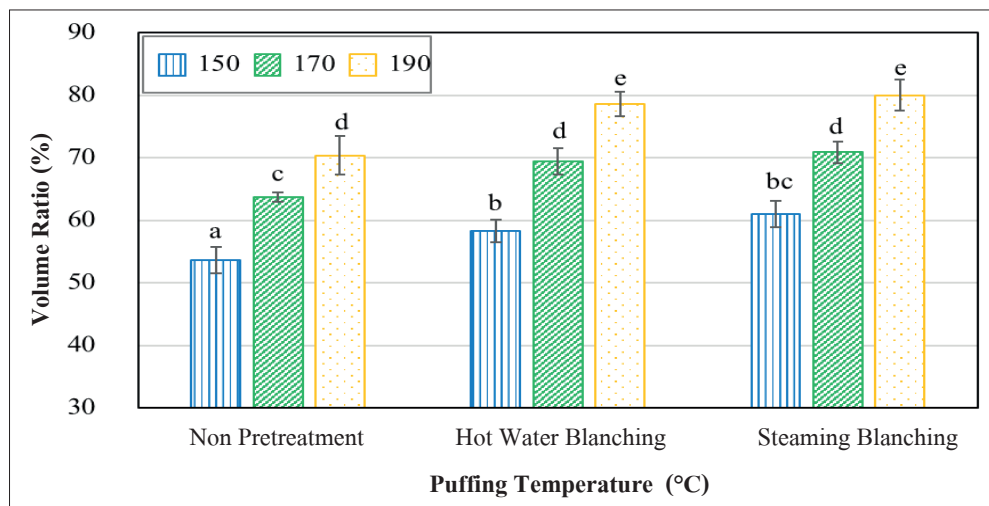
ภาพที่ 1 ภาพถ่ายระดับจุลภาคของกล้วยน้ำว้าที่สภาวะต่างๆ (40x): (a) ไม่ผ่านการลวก; (b) ลวกน้ำร้อน; (c) นึ่งไอน้ำร้อน [CW คือ พผนังเซลล์; CA คือ บริเวณผนังเซลล์ที่ติดกัน; IS คือ ช่องว่างระหว่างเซลล์]

2. อัตราส่วนปริมาตร

การวิเคราะห์การหดตัวของกล้วยกรอบพิจารณาในเทอมของอัตราส่วนปริมาตร (Volume Ratio) กล้วยกรอบที่มีการหดตัวต่ำจะมีอัตราส่วนปริมาตรสูง [7] ภาพที่ 2 แสดงผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการพองต่ออัตราส่วนปริมาตร กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกมีอัตราส่วนปริมาตรอยู่ระหว่าง 53.6-69.4 % โดยกล้วยกรอบที่ผ่านการทำให้พองด้วยอุณหภูมิ 150 °C มีอัตราส่วนปริมาตรต่ำที่สุด ส่วนกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีอัตราส่วนปริมาตร 58.5-60.2 % ที่อุณหภูมิการพอง 150 °C การเตรียมตัวอย่างกล้วยด้วยความร้อนทั้งสองวิธีช่วยลดการหดตัวของกล้วยกรอบเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างในระดับอุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทำให้โครงสร้างของเซลล์สูญเสียความแข็งแรง และทำให้ Middle Lamellar ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมยึดเซลล์เข้าด้วยกันเสื่อมสภาพ ดังนั้นเซลล์จึงเคลื่อนตัวออกจากกัน ดังแสดงในภาพที่ 1 (b) - (c) ด้วยสาเหตุนี้ทำให้โครงสร้างภายในของกล้วยมีความแน่นเนื้อลดลง ดังนั้นเมื่อนำกล้วยแผ่นมาทำให้พองด้วยอุณหภูมิสูงจึงเกิดการพองตัวได้ดียิ่งขึ้น มีงานวิจัยที่ให้ผลการทดลองสอดคล้องกันซึ่งรายงานโดย Varnalis *et al.* [5] อย่างไรก็ตาม Prachayawarakorn *et al.* [3] พบว่ากล้วยหอมกรอบที่เตรียมจากกล้วยสดที่มีความสุกระดับ 16-17 °Brix มีการหดตัวสูงเมื่อผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนก่อนอบแห้ง ผลการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนต่ออัตราส่วนปริมาตรที่แตกต่างกันระหว่างกล้วยหอมกรอบและกล้วยน้ำว้ากรอบอาจเนื่องจากกล้วยทั้งสองสายพันธุ์มีโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกันหลังการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อน ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้กล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาตรแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิการพองต่ออัตราส่วนปริมาตร พบว่าเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิช่วยให้กล้วยกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากกล้วยกรอบมีการหดตัวลดลง การหดตัวที่ลดลงเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิช่วยให้อุณหภูมิภายในกล้วยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความชื้นในกล้วยมีอัตราการระเหยสูงขึ้นและก่อให้เกิดแรงดันไอน้ำมากขึ้น ซึ่งจะดันโครงสร้างภายในกล้วยให้เกิดการขยายตัวมากขึ้น [1, 6] เมื่อเปรียบเทียบผลของการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีต่อปริมาตรกล้วยกรอบพบว่ากล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียม

ตัวอย่างทั้งสองวิธีมีอัตราส่วนปริมาตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทั้งสองวิธีช่วยให้กล้วยแผ่นมีการขยายตัวได้ดีขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจากระดับต่ำที่สุดไปถึงอุณหภูมิที่ 190 °C พบว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวก กล้วยที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน และนึ่งด้วยไอน้ำร้อนมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 29.3 36.3 และ 34.0 % ตามลำดับ



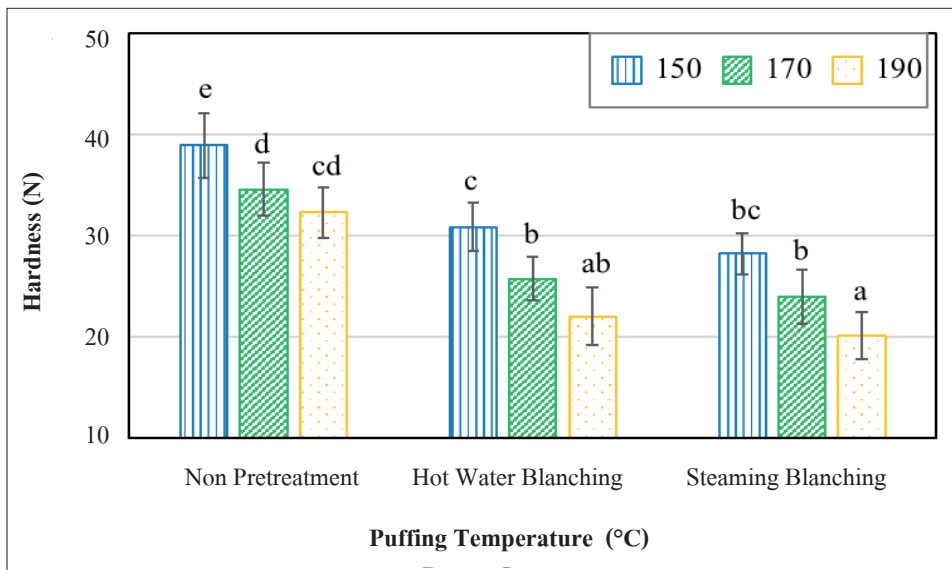
ภาพที่ 2 ผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการทำให้พองต่ออัตราส่วนปริมาตร

3. เนื้อสัมผัส

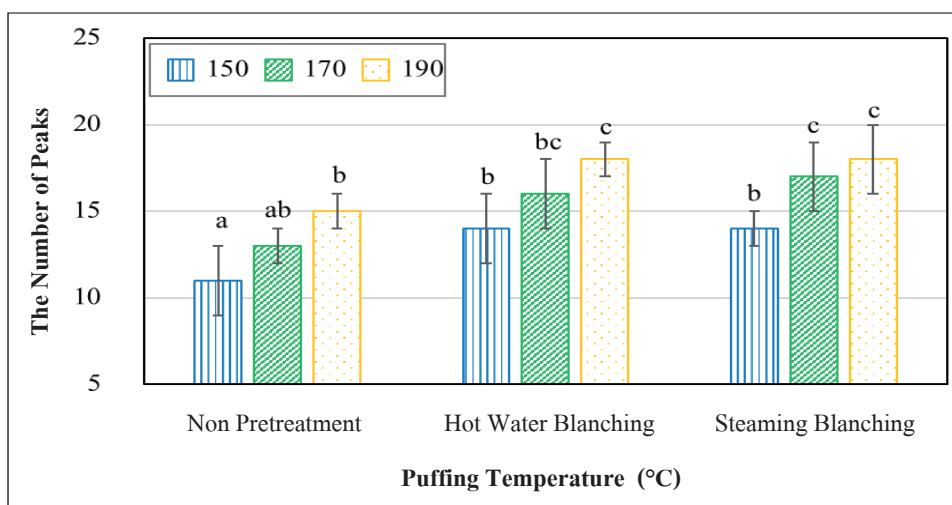
เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบแสดงในเทอมของความแข็ง (Hardness) และจำนวนยอด (Number of Peaks) กล้วยกรอบจะมีความกรอบมากขึ้นเมื่อเนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลงและจำนวนยอดสูงขึ้น [2, 15] ภาพที่ 3 a) และ ภาพที่ 3 b) แสดงผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการพองต่อความแข็งและจำนวนยอดของกล้วยกรอบ ตามลำดับ กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกมีความแข็งของเนื้อสัมผัสระหว่าง 32.3–38.9 N และจำนวนยอดระหว่าง 11-15 ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิการพอง เมื่อนำกล้วยแผ่นมาลวกหรือนึ่งสามารถช่วยลดความแข็งและเพิ่มจำนวนยอดของกล้วยกรอบได้อย่างมีนัยสำคัญ ค่าความแข็งที่ลดลงของกล้วยกรอบที่ผ่านการลวกเนื่องจากกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีอัตราส่วนปริมาตรมากกว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง การหดตัวที่ลดลงทำให้โครงสร้างภายในของกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีความพรุนตัวสูงขึ้นสอดคล้องกับรายงานของ Raikham *et al.* [6] พบว่ากล้วยกรอบที่มีอัตราส่วนปริมาตรสูงจะมีความพรุนตัวของโครงสร้างภายในกล้วยสูง เมื่อเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบพบว่าค่าความแข็งและจำนวนยอดของกล้วยกรอบทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสมีค่าไม่แตกต่างกันเนื่องจากกล้วยกรอบทั้งสองกลุ่มมีอัตราส่วนปริมาตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งกล้วยทั้งสองกลุ่มมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายหลังการเตรียมตัวอย่างที่คล้ายคลึงกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อความแข็งและจำนวนยอดของกล้วยกรอบ พบว่ากล้วยกรอบทุกกลุ่มมีความแข็งสูงสุดและจำนวนยอดต่ำสุดเมื่อที่อุณหภูมิ 150 °C เมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิเป็น 190 °C ทำให้กล้วยกรอบมีความแข็งที่ลดลงและจำนวนยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจาก

กล้วยกรอบที่ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีการหดตัวลดลงและมีความพรุนตัวสูงขึ้น เป็นที่สังเกตว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิการทำให้พองตัวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เนื้อสัมผัสของกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมากกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กล้วยที่ผ่านการลวก และการนึ่งมีความแข็งลดลง 17.0 28.7 และ 28.9 % ตามลำดับ ส่วนจำนวนยอดพบว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการลวก กล้วยที่ผ่านการลวกและการนึ่งมีจำนวนยอดเพิ่มขึ้น 36.3 42.8 และ 42.8 % ตามลำดับ

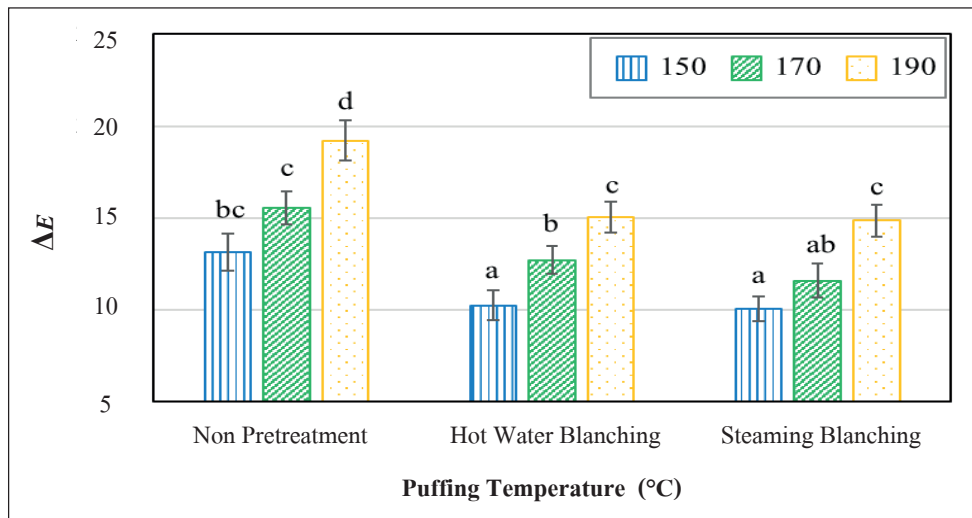


(a)

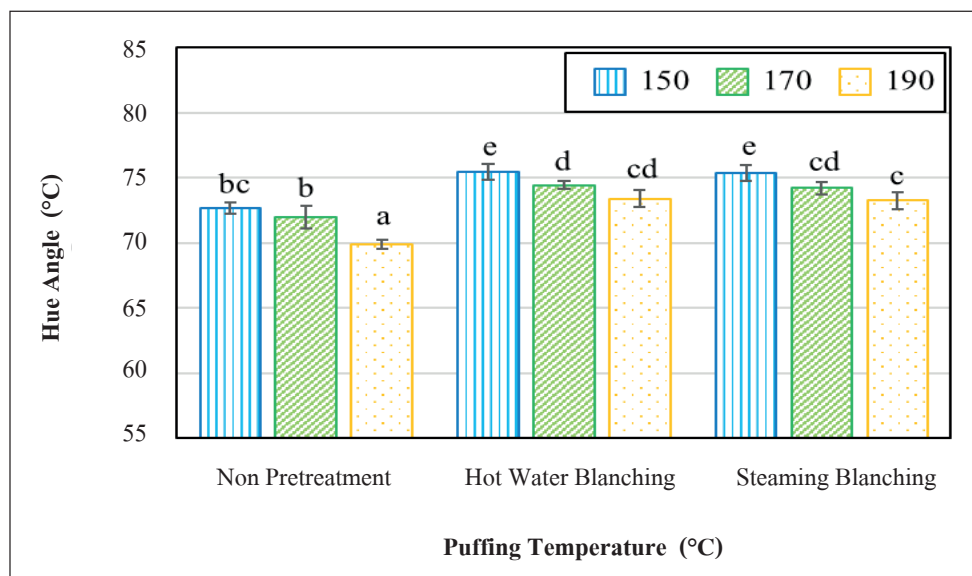


(b)

ภาพที่ 3 ผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการทำให้พองต่อ (a) ความแข็ง และ (b) จำนวนยอด



(a)



(b)

ภาพที่ 4 ผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการทำให้พองต่อ (a) ค่า ΔE และ (b) ค่า Hue angle

4. สี่

สีของกล้วยน้ำว้ากรอบพิจารณาในเทอมของการเปลี่ยนแปลงของค่าสี (ΔE) และ Hue Angle ถ้าผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบมีค่า ΔE สูง และ Hue Angle ต่ำ บ่งบอกว่ากล้วยกรอบอบแห้งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมาก [3, 15] ภาพที่ 4 (a) และ ภาพที่ 4 (b) แสดงผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิต่อค่า ΔE และค่า Hue Angle ตามลำดับ กล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีสีเหลืองครีมอมสีแดง การลวกด้วยน้ำร้อนและนึ่งด้วยไอน้ำร้อนช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยกรอบ กล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธี

มีสีเหลืองทองเหมือนกันทั้งสองกลุ่มเมื่อใช้อุณหภูมิการพองที่ 150 °C ลักษณะสีของกล้วยที่เกิดขึ้นส่งผลให้กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีค่า ΔE และ Hue Angle เท่ากับ 13.2 และ 72.7 ตามลำดับ ส่วนกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีค่า ΔE และ Hue Angle เท่ากับ 10.0-10.4 และ 75.3-75.7 ตามลำดับ การเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนสามารถลดค่า Enzyme Activity ของกล้วยสดก่อนแปรรูปดังแสดงในตารางที่ 1 การลวกกล้วยแผ่นด้วยน้ำร้อนและนึ่งด้วยไอน้ำร้อนสามารถลด PPO Activity ลงได้ 91.2 และ 92.0 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง ส่วนค่า POD Activity พบว่าการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีลดค่า POD Activity ได้ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง Liu *et al.* [4] ศึกษาผลของการลวกด้วยน้ำร้อนและนึ่งด้วยไอน้ำร้อนต่อค่า POD Activity ของมันฝรั่งอบแห้งพบว่าให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ เมื่อใช้ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กล้วยกรอบทุกกลุ่มเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น โดยกล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีสีเหลืองครีมอมน้ำตาลเข้ม ส่วนกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีสีเหลืองทองอมแดงเมื่อใช้อุณหภูมิการพองที่ 190 °C ลักษณะของสีกล้วยกรอบที่ได้อาจส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบได้ การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นส่งผลให้กล้วยทุกกลุ่มมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นและมีค่า Hue Angle ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกล้วยที่เตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีพบว่ากล้วยกรอบมีค่า ΔE และค่า Hue Angle ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน กล้วยทั้งสองกลุ่มมีคุณภาพสีไม่แตกต่างกันเนื่องจากค่า Enzyme Activity ของกล้วยทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 ค่า Enzyme Activity ของกล้วยสดก่อนการแปรรูปที่สภาวะการเตรียมตัวอย่างต่างๆ

Pretreatment Conditions	Polyphenol Oxidase (PPO) Activity	Peroxidase (POD) Activity
	(unit/g)	(unit/g)
None Pretreatment	0.374	0.015
Hot Water Blanching	0.033	0.000
Steaming Blanching	0.030	0.000

สรุปผลการวิจัย

การลวกด้วยน้ำร้อนและการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนช่วยลดความแข็งของเนื้อสัมผัสของกล้วยสดก่อนการอบแห้ง ดังนั้นกล้วยจึงมีการขยายปริมาตรได้ดีขึ้นในขั้นตอนการทำให้พอง กล้วยกรอบที่ได้จึงมีการหดตัวลดลงและมีความกรอบมากขึ้น การเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีช่วยปรับปรุงคุณภาพสีของกล้วยกรอบได้เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีสามารถลดค่า Enzyme Activity ของกล้วยสด ส่งผลให้กล้วยกรอบหลังการอบแห้งเกิดสีน้ำตาลลดลง อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของคุณภาพกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธี การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยลดการหดตัวและลดความแข็งของกล้วยกรอบ แต่กล้วยกรอบเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น ดังนั้นก่อนการแปรรูป จึงควรพริทกล้วยน้ำว้าสดก่อนแปรรูปด้วยความร้อนจากการลวกหรือการนึ่งไอน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพกล้วยกรอบให้ดีขึ้นและใช้อุณหภูมิการพองไม่เกิน 170 °C

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุนตามสัญญาหมายเลข “KMUTNB-60-GOV-041” โครงการศาสตราจารย์วิจัยดีเด่น ศ.ดร. สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (Grant No. DPG 5980004) โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ทดลองบางส่วนในงานวิจัยนี้

References

- [1] Hofsetz, K., Lopez, C. C., Hubinger, M.D., Mayor, L., & Sereno, A. M. (2007). Change in the physical properties of bananas on applying HTST pulse during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 83(4), 531–540. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2007.04.003.
- [2] Tabtiang, S., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2012). Effects of osmotic treatment and superheated steam puffing temperature on drying characteristics and texture properties of banana slices. *Drying Technology*, 30(1), 20–28. DOI:10.1080/07373937.2011.613554.
- [3] Prachayawarakorn, S., Raikham, C., & Soponronnarit, S., (2016). Effects of ripening stage and steaming time on quality attributes of fat free banana snack obtained from drying process including fluidized bed puffing. *Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 946–955. DOI: 10.1007/s13197-015-2051-5.
- [4] Liu, P., Mujumdar, A. S., Zhang, M., & Jiang, H. (2015). Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted spouted bed drying of purple flesh sweet potato. *Drying Technology*, 33(1), 66–71. DOI:10.1080/07373937. 2014.936558.
- [5] Varnalis, A. I., Brennan, J. G., & MacDougall, D. B. (2001). A proposed mechanism of high- temperature puffing of potato. Part I. The influence of blanching and drying conditions on the volume of puffed cubes. *Journal of Food Engineering*, 48(4), 361–367. DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00197-7.
- [6] Raikham, C., Prachayawarakorn, S., Nathakarakakule, A., & Soponronnarit, S. (2015). Influences of pretreatments and drying process including fluidized bed puffing on quality attributes and microstructural changes of banana slices. *Drying Technology*, 33(8), 915–925. DOI: 10.1080/07373937.2014.999370.
- [7] Tabtiang, S., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2017). Optimum condition of producing crisp osmotic banana using superheated steam puffing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1244–1251. DOI: 10.1002/jsfa.7857.
- [8] Kuljarachanan, T., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2019). Profiles of major glucosinolates in different parts of white cabbage and their evolutions during processing into vegetable powder by various methods. *International Food Research Journal*, 26(6), 1763–1772.

- [9] Prasanna, V., Prabha, T. N. & Tharanathan, R. N., (2007). Fruit ripening phenomena—An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 1–19. DOI:10.1080/10408390600976841.
- [10] Nieto, A. Castro, M. A., & Alzamora, S. M. (2001). Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 50(3), 175–185. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00026-7.
- [11] Ghaouth, A. E., Arul, J., Ponnampalam, R., & Boulet, M. (1991). Use of chitosan coating to reduce water loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 15(5), 359–369. DOI: 10.1111/j.1745-4549.1991.tb00178.x.
- [12] Llano, K. M., Haedo, A. S., Gerschenson, L. N., & Rojas, A. M. (2003). Mechanical and biochemical response of kiwifruit tissue to steam blanching. *Food Research International*, 36(8), 767–775. DOI:10.1016/S0963-9969(03)00071-1.
- [13] Roy, S. S., Taylor, T. A., & Kramer, H. L. (2001). Textural and ultrastructural changes in carrot tissue as affected by blanching and freezing. *Journal of Food Science*, 66(1), 176–180. DOI:10.1111/j.1365-2621.2001.tb15602.x.
- [14] Latorre, E. M., de Escalada Plá, M. F., Rojas, A. M., & Gerschenson, L. N. (2013). Blanching of red beet (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) root. Effect of hot water or microwave radiation on cell wall characteristics. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 193–203. DOI; 10.1016 /j.lwt.2012.06.004.
- [15] Tabtiang, S., & Prachayawarakorn, S. (2017). Effects of banana ripeness and puffing temperature on puffed banana qualities and drying time. *International Journal of Agricultural Technology*, 13(2), 281–292.
- [16] Purlis, E. (2010). Browning development in bakery product—A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239–249. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008.

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกส้มโอพันธุ์
ทับทิมสยามด้วยความถี่เหนือเสียงและวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

Optimized Extraction of Total Phenolic Compounds
from 'Tubtim Siam' Pummelo Peel Using Ultrasonic Technique
and Response Surface Methodology

ฉานิกา แซ่แง ชุกลิน^{1*} และสุภาวิช ชุกลิน²

Chanika Saenge Chooklin^{1*} and Supasit Chooklin²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกส้มโอทับทิมสยามโดยใช้เทคนิคสกัดด้วยอัลตราซาวด์และศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้ ปัจจัยที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของเอทานอล (10 30 และ 50 %v/v) ระยะเวลาในการสกัด (15 30 และ 45 นาที) และสัดส่วนเปลือกส้มโอแห้งต่อสารละลายเอทานอล (1:1 1:2 1:3) โดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง ออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ ส่วนการวิเคราะห์ทางสถิติบ่งชี้ว่าข้อมูลจากการทดลองเหมาะสมกับสมการพหุนามกำลังสองเนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูงมีค่าเท่ากับ 0.9294 ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของเอทานอล 35 %v/v ระยะเวลาในการสกัด 30 นาที และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล ภายใต้สภาวะการสกัดสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่ได้นี้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากการทดลองสูงสุดเท่ากับ 13.67 ± 0.52 mgGAE/gDW และจากการคำนวณเท่ากับ 13.66 mgGAE/gDW และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวัดเป็นค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ %DPPH เท่ากับ 32.58 %

คำสำคัญ: สารประกอบฟีนอลิกรวม เปลือกส้มโอ อัลตราซาวด์

¹ ผศ.ดร., คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตรีัง 92150

² ผศ.ดร., คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

¹ Asst. Prof. Dr., Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang, 92150, Thailand.

² Asst. Prof. Dr., Faculty of Agroindustry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakon Si Thammarat, 80240, Thailand.

* Corresponding author: E-mail address: chanika.sae@gmail.com

(Received: May 17, 2020; Revised: November 14, 2020; Accepted: November 26, 2020)

Abstract

The objectives of this research are to optimize extraction condition for total phenolic compounds from 'Tubtim Siam' pummelo peel using ultrasonic assisted extraction and to determine antioxidant activities of the crude extracts. Variables used to study the optimal extraction conditions of total phenolic compounds include concentration of ethanol (10-50 %v/v), extraction time (15-45 min), and ratio of dried pummelo peel: ethanol solution (1:1, 1:2, 1:3). Furthermore, the optimal were determined using a response surface methodology (RSM) by Box Behnken design. The results showed that these three factors affected the yield of extracted total phenolic. Moreover, the statistical analysis provided indications that the data obtained from the experiment should be fitted to polynomial equation because of its high coefficient of determination with R-square = 0.9294. The highest yields of total phenolic compounds were obtained when the samples were dissolved in ethanol at 35%v/v, the extraction time was set at 30 min and the ratio of solid/ethanol was 1:2. Under these optimal conditions, the highest total phenolic compounds yield were 13.67 ± 0.52 mgGAE/gDW from experimental values and 13.66 mgGAE/gDW from predicted values and the scavenging activity of percentage of inhibition by DPPH assay was 32.58 %.

Keywords: Total Phenolic Compound, Pomelo Peel, Ultrasound

บทนำ

ส้มโอทับทิมสยามเป็นพืชเศรษฐกิจ และเป็นผลไม้ที่มีชื่อเสียงของจังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนใหญ่เปลือกที่ปอกแล้วถูกทิ้งให้เน่าเปื่อยสร้างมลภาวะเป็นพิษให้กับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อลดปัญหานี้จึงมีแนวคิดในการนำเปลือกส้มโอมาใช้ประโยชน์ มีงานวิจัยจำนวนมากพบว่าในเปลือกผลไม้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ เช่น สารประกอบโพลีฟีนอลและสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ [1] ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการต้านแบคทีเรียต้านไวรัสต้านการอักเสบ [2] ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของส้มโอ พบว่า เปลือกส้มโอมีปริมาณการต้านออกซิเดชันสูงกว่าส่วนเนื้อส้มโอ ส่วนการศึกษาของ Pichaiyongvongdee *et al.* [3] ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันในส้มโอสายพันธุ์ต่างๆ พบว่า ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุดในเมล็ดทุกสายพันธุ์ ส่วนอื่นๆ จะลดลงมา คือ อัลเบลโดฟลาวาเวโดและส่วนเมมเบรน ตามลำดับ ยังมีข้อมูลการวิจัยจำนวนน้อยที่ทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเปลือกส้มโอ โดยเฉพาะเปลือกส้มโอทับทิมสยามจากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเปลือกส้มโอทับทิมสยามเหลือทิ้ง สำหรับการสกัดสารประกอบฟีนอลิกสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent Extraction) [4] ซึ่งมีข้อเสีย คือ ใช้ระยะเวลาในการสกัดนาน และสิ้นเปลืองตัวทำละลาย การสกัดด้วยของไหลเหนือจุดวิกฤต (Supercritical Fluid Extraction) พบว่าสารสกัดที่ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง ประหยัดตัวทำละลาย และเหมาะสำหรับการสกัดสารที่ละลายง่ายเมื่อโดนความร้อน [5] อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวมีข้อด้อยคือ ค่าอุปกรณ์เครื่องมือและค่าดำเนินการมีราคาสูง สำหรับการสกัดสารชีวภาพด้วยรังสีอัลตราซาวด์ (Ultrasound Irradiation) เป็นเทคนิคการสกัดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งข้อดีคือ ระยะเวลาการสกัดสั้น ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน [6] อัลตราซาวด์เป็นผลทางกลที่ทำให้การแพร่ของตัวทำละลาย

เข้าไปในตัวอย่าง ซึ่งการสกัดด้วยอัลตราซาวด์จะไม่มีตัวทำละลายไม่ใช้สารเคมีเข้ามาเกี่ยวข้อง [7] Hung *et al.* [8] ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกิจกรรมทางชีวภาพของสารสกัดจากเปลือกส้มโอด้วยเอนไซม์และการสกัดด้วยอัลตราซาวด์เสริม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยเอนไซม์ คือ ความเข้มข้นเอนไซม์ 2 % สัดส่วนน้ำต่อของแข็งเท่ากับ 40 mg/L อุณหภูมิการบ่ม 50°C และเวลาในการสกัด 60 min ส่วนการสกัดด้วยอัลตราซาวด์เสริม คือ สัดส่วนน้ำต่อของแข็งเท่ากับ 40 mg/L ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการสกัด 60 min และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด นารินกินและเฮสเพอริดินของสารสกัดเพิ่มขึ้นตามเทคนิคการสกัดผิวดอกสอง (ซึ่งวิธีพื้นที่ Respond Surface Methodology, RSM) เป็นวิธีที่ใช้ในการออกแบบการทดลองและศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง นอกจากนี้ยังให้ความแม่นยำของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอทับทิมสยามโดยใช้เทคนิคสกัดด้วยอัลตราซาวด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้โดยศึกษาปัจจัยในการสกัด คือ ความเข้มข้น ของเอทานอลระยะเวลาในการสกัด และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ เพื่อพัฒนากระบวนการสกัดสารสำคัญจากเปลือกส้มโออย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างส้มโอที่ใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ทับทิมสยามจากอำเภอ ปากพั่น จังหวัดนครศรีธรรมราช (ดังภาพที่ 1) การเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการนำเอาเปลือกส้มโอมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า นำเปลือกเขียว (Flaveldo) มาหั่นให้เป็นชิ้นขนาดเท่าๆ กัน ($1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$) นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ความชื้นประมาณ 10%) จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (ขนาด 50 mesh) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสกัดในขั้นตอนต่อไป ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะส้มโอทับทิมสยาม

การสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอทับทิมสยามโดยใช้เทคนิคสกัดด้วยอัลตราซาวด์

ซึ่งผงเปลือกส้มโอ 1 กรัม เติมน้ำเอทานอล (ความเข้มข้น 10 30 และ 50 %v/v) จำนวน 50 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อผสมให้เข้ากัน นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (120 วัตต์ 45 กิโลเฮิร์ต) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส [9] ที่เวลาต่าง ๆ (15 30 และ 45 นาที) นำสารสกัดตัวอย่างที่ได้เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แยกสารสกัดส่วนใสออกจากหลอดทดลอง และนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่อไป

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Reagent (ดัดแปลงวิธีจาก Namjooyan *et al.* [10])

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Radical Scavenging Capacity (DPPH Assay) ทำตามวิธีของ Srimun and Tajai [11]

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากแบบจำลอง

การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอทับทิมสยามโดยใช้เทคนิคสกัดด้วยอัลตราซาวด์ในวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) ศึกษาปัจจัยในการสกัด 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเอทานอล (X_1) ระยะเวลาในการสกัด (X_2) และสัดส่วนของเปลือกส้มโอต่อเอทานอล (X_3) ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองซึ่งมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) ดังแสดงในตารางที่ 1 และในการทดลองสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอทับทิมสยามด้วยอัลตราซาวด์ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ STATISTICA (Version12, Dell, USA)

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ตัวแปร	ระดับ		
		-1	0	1
ความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)	X_1	10	30	50
ระยะเวลาในการสกัด (นาที)	X_2	15	30	45
สัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล	X_3	1:3	1:2	1:1

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

เมื่อทำการทดลองสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอทับทิมสยามโดยใช้เทคนิคสกัดด้วยอัลตราซาวด์ทั้ง 17 การทดลองแล้ว นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อนำมาสร้างสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้ โดยนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการดังสมการที่ 1

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 \quad (1)$$

เมื่อ Y คือ ผลการตอบสนอง X_1, X_2, X_3 คือ ตัวแปรอิสระ หรือปัจจัยที่ศึกษา β_0 คือ ค่าคงที่สมการ $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ คือ สัมประสิทธิ์สมการเส้นตรง $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ คือ สัมประสิทธิ์สมการปฏิสัมพันธ์ และ $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ คือ สัมประสิทธิ์สมการกำลังสอง

ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกส้มโอทับทิมสยาม

สภาวะการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ดีที่สุด ภายใต้การทดลองจริงนี้ คือ ความเข้มข้นของเอทานอล 30 %v/v สัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล 1:2 และระยะเวลาในการสกัด 30 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุดเท่ากับ 136.58 ± 0.018 mgGAE/gDW

การสร้างสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอทับทิมสยาม

จากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square; R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9294 หมายถึงตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ 92.94 % และจากค่า Lack of Fit ของแบบจำลองเท่ากับ 0.1020 ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในตารางที่ 3 พบว่าค่า p-value ในเทอมของ X_1^2, X_2^2 และ X_3^2 มีค่าเท่ากับ 0.002 0.0007 และ 0.0084 ตามลำดับ เมื่อนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการทำนายหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอทับทิมสยามโดยใช้เทคนิคสกัดด้วยอัลตราซาวด์ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Y)} = 136.33 + 6.58X_1 - 0.696X_2 - 1.40X_3 - 7.02X_1X_2 - 2.31X_1X_3 + 2.94X_2X_3 - 15.15X_1^2 - 18.27X_2^2 - 11.47X_3^2 \quad (2)$$

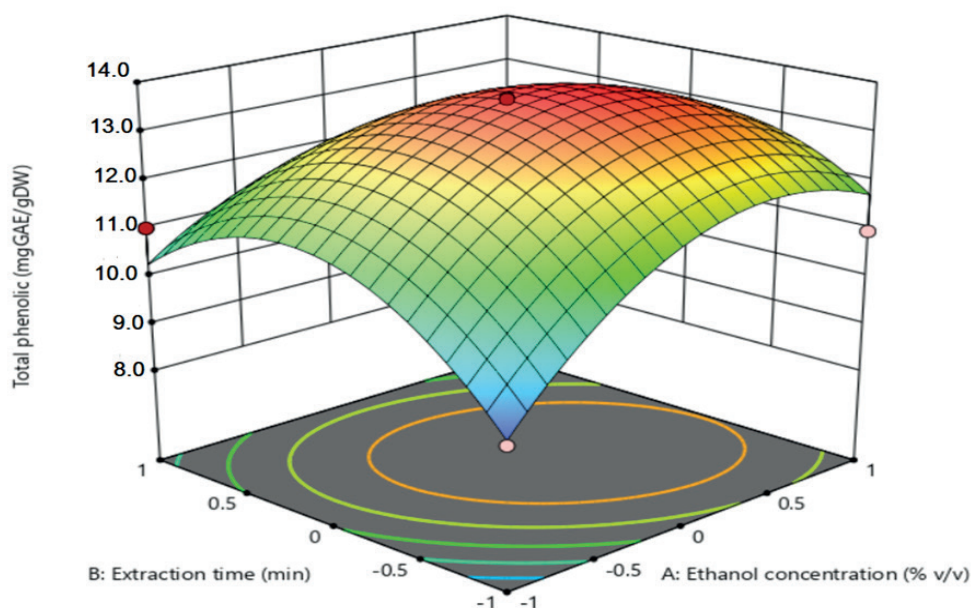
การสร้างพื้นที่ผิวตอบสนองของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอ

จากภาพที่ 2 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลและระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีปริมาณสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลงมา สำหรับความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเอทานอลและระยะเวลาในการสกัดที่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรงโดยที่เส้นโค้งจุดกลางแสดงถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้สูงสุดมีค่ามากกว่า 13.5 mgGAE/gDW สำหรับภาพที่ 3 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลและสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอลเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้มีปริมาณสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลง และในภาพที่ 4 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนของเปลือกส้มโอต่อเอทานอลเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้มีปริมาณสูงขึ้นแล้วจึงลดลง

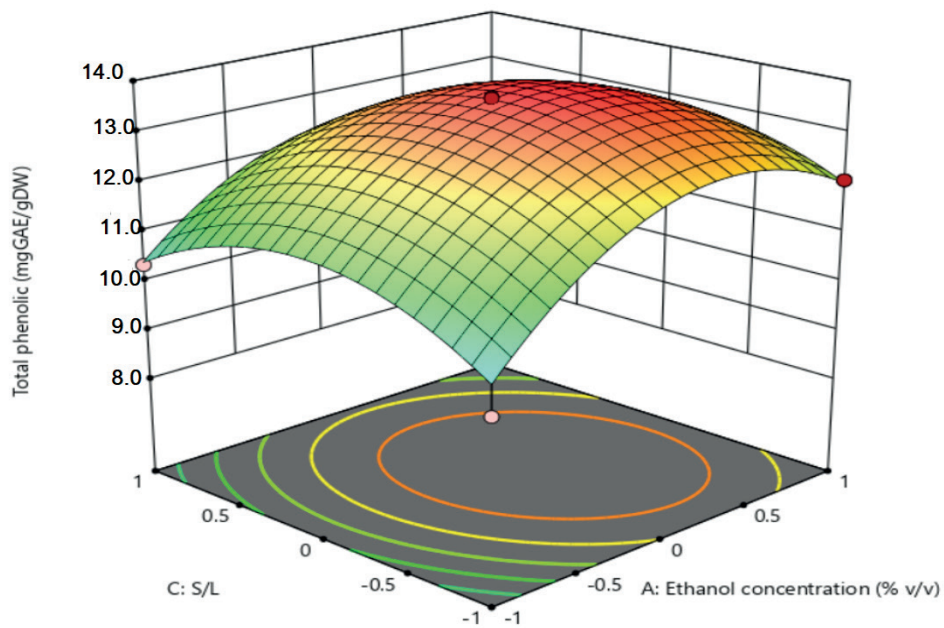
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอทับทิมสยาม

Factor	Sum of Squares (SS)	df	Mean Square (MS)	F value	p-value Prob > F
Model	3870.95	9	430.11	10.24	0.0029
X_1^2	965.93	1	965.93	23.00	0.0020
X_2^2	1404.87	1	1404.87	33.45	0.0007
X_3^2	553.82	1	553.82	13.19	0.0084
Residual	293.95	7	41.99		
Lack of Fit	298.83	3	97.61	349.49	0.102

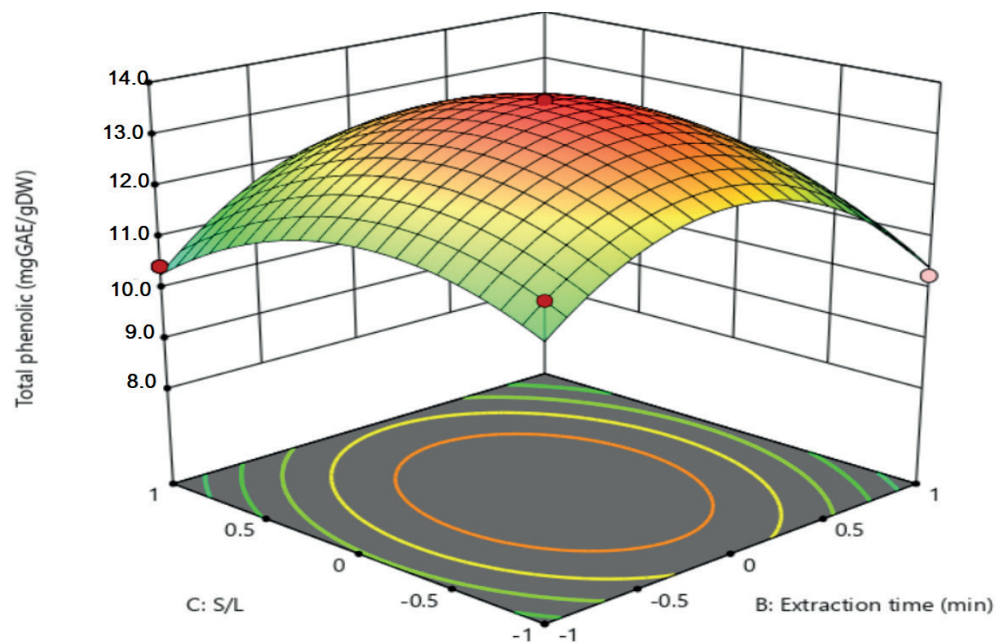
Std. Dev. = 6.48, Mean = 115.21, R-Squared (R^2) = 0.9294, Adj R-Squared (Adj R^2) = 0.8387



ภาพที่ 2 กราฟสามมิติพื้นที่ผิวตอบสนอง แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเอทานอล และระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม



ภาพที่ 3 กราฟสามมิติพื้นที่ผิวตอบสนอง แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเอทานอล และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม



ภาพที่ 4 กราฟสามมิติพื้นที่ผิวตอบสนอง แสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการสกัดและ สัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการทำนายสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุดทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้น พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากแบบจำลอง คือ ความเข้มข้นของเอทานอล 35.12%v/v ระยะเวลาในการสกัดที่ 30 นาที และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล 1:2 ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 13.69 mgGAE/gDW ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะที่เหมาะสมจากการคำนวณและค่าจากการทดลองจริง (ความเข้มข้นของเอทานอล 35%v/v ระยะเวลาในการสกัดที่ 30 นาที และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล 1:2 มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ใกล้เคียงกัน คือ 13.66 และ 13.67 mgGAE/gDW ตามลำดับ และ ภายใต้สภาวะการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุดที่ได้จากสภาวะการทดลองจริงนี้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ มีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ %DPPH เท่ากับ $31.05 \pm 0.25\%$ ในการประยุกต์ใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) พบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการสกัด คือ ความเข้มข้นของเอทานอล (X_1) ระยะเวลา ในการสกัด (X_2) และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล (X_3) มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้ มีผลสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงว่าข้อมูลที่ได้นี้ทำให้ได้แบบจำลองที่มีความเหมาะสม เนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9294 ซึ่งสมการที่มี ค่า R^2 ยิ่งสูงจะมีความแม่นยำในการทำนายผลลัพธ์จะสูงมากยิ่งขึ้น [8] และจากแบบจำลอง Full Quadratic มีค่า p-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นของเอทานอล ระยะเวลาในการสกัด และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ได้จากการทดลอง และจากสมการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของแบบจำลอง

สภาวะ	ความเข้มข้น ของเอทานอล (% v/v) (X_1)	ระยะเวลาใน การสกัด (นาที) (X_2)	สัดส่วนของ เปลือกส้มโอ ต่อ เอทานอล(X_3)	ปริมาณ สารประกอบ ฟีนอลิกรวม (mgGAE/gDW)
สภาวะจากแบบจำลอง	35.12	30	1:2	13.69
สภาวะจากการคำนวณ	30	30	1:2	13.66
สภาวะจากการทดลองจริง	35	30	1:2	13.67 ± 0.52

หมายเหตุ 1. ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ในการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลการทดลองจากสภาวะการทดลองจริง โดยทำการเจือจางสารสกัดมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ $31.05 \pm 0.25\%$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ R^2 -adj มีค่าเป็น 83.87 % นั่นคือหากมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ จะส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เมื่อพิจารณาการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit) ในตารางที่ 2 พบว่า ค่า p-value ของ Lack of Fit มีค่าเท่ากับ 0.102 ซึ่งหมายถึงแบบจำลองนี้มีความเหมาะสมสมรูปแบบกับข้อมูลของตัวแปรในสมการ จากกราฟสามมิติ พื้นที่ผิวตอบสนองและกราฟโครงร่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอ ที่ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระจากปัจจัยที่ใช้ในการสกัดทั้งสามปัจจัย พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่

สกัดสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอทานอล ระยะเวลาในการสกัด และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการใช้หลักการของคลื่นเสียงในการสกัด ทำให้ผนังเซลล์ของเปลือกส้มโอเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้สารประกอบฟีนอลิกรวมสกัดออกมาได้มาก เมื่อความเข้มข้นของเอทานอล สูงกว่า 30%v/v ระยะเวลาในการสกัดนานกว่า 30 นาที และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล 1: 2 มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้ลดลง ซึ่งเกิดจากเวลาในการสกัดด้วยอัตราความถี่ที่สูงขึ้นซึ่ง ระยะเวลาในการสกัดที่นานเกินความเหมาะสมอาจทำให้พันธะเอสเทอร์ของสารประกอบฟีนอลิกเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารชนิดอื่น [9]

สรุปผล

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอโดยใช้เทคนิคสกัดด้วย อัลตราซาวด์ที่ให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด คือ ความเข้มข้นของเอทานอล 35%v/v ระยะเวลาในการสกัด 30 นาที และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ได้ จากการทดลองสูงสุดสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจากเปลือกส้มโอโดยใช้เทคนิค สกัดด้วยอัลตราซาวด์ที่ให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด คือ ความเข้มข้นของเอทานอล 35 %v/v ระยะเวลาในการสกัด 30 นาที และสัดส่วนเปลือกส้มโอต่อเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ ได้จากการทดลองสูงสุด เท่ากับ 13.67 ± 0.52 mgGAE/gDW ซึ่งภายใต้สภาวะการสกัดสารประกอบฟีนอลิก รวมสูงสุดที่ได้นี้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวัดเป็นค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ %DPPH เท่ากับ 31.05 % นอกจากนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ยังมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปพัฒนากระบวนการสกัดเพื่อให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรังที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

References

- [1] Lee, H. E., Yeom, J. H., Ha, M. S., & Bae, H. D. (2010). Development of banana peel jelly and its antioxidant and textural properties. *Food Science and Biotechnology*, 19(2), 449-455. DOI: 10.1007/s10068-010-0063-5.
- [2] Toh, J. J., Khoo, H. E., & Azrina, A. (2013). Comparison of antioxidant properties of pomelo (*Citrus Grandis* (L) Osbeck) varieties. *Food Research Journal*, 20(4), 1661-1668.
- [3] Pichaiyongvongdee, S., Rattanapun, B. & Haruenkit, R. (2014). Total polyphenol content and antioxidant properties in different tissues of seven pomelo (*Citrus Grandis* (L.) Osbeck) cultivars. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 48(6), 989-996.

- [4] Rajha, H. N., El Darra, N., Hobaika, Z., Boussetta, N., Vorobiev, E., Maroun, R. G., & Louka, N. (2014). Extraction of total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and tannins from grape byproducts by response surface methodology. Influence of solid-liquid ratio, particle size, time, temperature and solvent mixtures on the optimization process. *Food and Nutrition Sciences*, 5(4), 397–409. DOI: 10.4236/fns.2014.54048.
- [5] Junior, M. R. M., Leite, A. V., & Dragano, N. R. V. (2010). Supercritical fluid extraction and stabilization of phenolic compounds from natural sources—review (supercritical extraction and stabilization of phenolic compounds). *The Open Chemical Engineering Journal* 4, 51–60.
- [6] Chemat, F., Tomao, V., & Viot, M. (2008). Ultrasound-assisted extraction in food analysis. In S. Otets (Ed.). *Handbook of food analysis instruments*. 85–103. Boca Raton, USA: CRC press.
- [7] Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology*, 17(6), 300–312.
- [8] Hung, P. V., Nhi, N. H. Y., Ting, L. Y., & Phi, N. T. L. (2020). Chemical composition and biological activities of extracts from pomelo peel by products under enzyme and ultrasound assisted extractions. *Journal of Chemistry*, 2020, 1043251. DOI:10.1155/2020/1043251.
- [9] Chooklin, S. (2013). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from brown rice and their antioxidant activities. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 47(6), 864–873.
- [10] Namjooyan, F., Azemi, M. E., & Rahmanian, V. R. (2010). Investigation of antioxidant activity and total phenolic content of various fractions of aerial parts of *Pimpinella barbata* (DC.) Boiss. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 5(1), 1–5.
- [11] Srimun, R., & Tachai, S. (2014). Total phenolic compounds and free radicals scavenging content in processing fruit juice in Chanthaburi province. *Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal*, 7(1), 24–30.
- [12] Lungmann, P., Choorit, W., & Prasertsan, P. (2007). Application of statistical experimental methods to optimize medium for exopolymer production by newly isolated *Halobacterium* sp. SM5. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(1), 1–11. DOI:10.2225/vol10-issue5-fulltext-14.
- [13] Dahmoune, F., Nayak, B., Moussi, K., Remini, H., & Madani, K. (2015). Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Myrtus communis* L. leaves. *Food Chemistry*, 166(1), 585–595. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.06.066.

การประเมินศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทย โดยอาศัยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล

Offshore Wind Resource Assessment of Thailand Using Remote Sensing Technique

จอมภพ แว่วศักดิ์¹, ลัทธวรรณ นิยมธรรม^{2*}, สมพล ชีวามงคลกานต์³ และชนะ จันทร์น้า³

Jompob Waewsak¹, Latthawan Niyomtham^{2*}, Somphol Cheewamongkholkarn³ and Chana Chancham³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยทั้งทะเลอ่าวไทยและทะเลอันดามัน โดยใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกล อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 10 m เหนือระดับน้ำทะเลที่ถูกตรวจวัดโดย SeaWinds Scatterometer ที่ติดตั้งบนดาวเทียม QuickSCAT (ค.ศ. 1999-2009) ที่ความแยกชัด 1°x1° ถูกนำมาแปลผลและตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำโดยอาศัยข้อมูลลมตรวจวัดจากเรือเดินสมุทร ทึ่นลอยและแบบจำลองการพยากรณ์สภาพอากาศ และทำการประมาณค่าในช่วงเพื่อเพิ่มความแยกชัดเท่ากับ 1 km พร้อมกับประมาณค่านอกช่วงไปที่ระดับความสูง 50 m โดยได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยทั้งรายเดือนและเฉลี่ยรายปีเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของศักยภาพพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ผลพบว่าภาพถ่ายดาวเทียม QuickSCAT มีความถูกต้องแม่นยำสำหรับการแปลผลอัตราเร็วในช่วง 3-18 m/s และมีความเอนเอียงสูงในอัตราเร็วลมที่สูงกว่า 20 m/s โดยอัตราเร็วลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m มีค่าอยู่ในช่วง 3.0-6.0 m/s บริเวณพื้นที่ที่มีศักยภาพของพลังงานลมสูงได้แก่พื้นที่นอกชายฝั่งทะเลตอนกลางของประเทศไทยซึ่งมีอัตราเร็วลมอยู่ในช่วง 5.0-6.0 m/s และเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนสิงหาคมจะมีอัตราเร็วลมอยู่ในช่วง 7.0-10.0 m/s เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

คำสำคัญ: พลังงานลม เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล ภาพถ่ายดาวเทียม ระบบภูมิสารสนเทศ

¹ รศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นักศึกษาปริญญาเอก สาขาการพัฒนายั่งยืน วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ นักวิจัย ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Assoc. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

² Ph.D. Candidate, Division of Sustainable Development, International College, Thaksin University, Songkhla 90000, Thailand

³ Researcher, Solar-Wind Energy Laboratory, Research Center in Energy and Environment, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: lattawan.n@gmail.com

(Received: November 26, 2019; Revised: April 2, 2020; Accepted: April 21, 2020)

Abstract

This paper presents the evaluation of the offshore wind resource of Thailand (the Gulf of Thailand and the Andaman Sea) using remote sensing technique. The wind speed at height of 10 m above mean sea level (A.M.S.L.) was measured using SeaWinds Scatterometer on QuickSCAT by NASA. The QuickSCAT satellite images in 1999-2009 with resolution of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ was interpreted and validated using the measured wind speed provided by the ship observation, buoy data and numerical weather prediction models. The wind speed was interpolated for 1 km resolution enhancement and extrapolated to the height of 50 m A.M.S.L.. The monthly and annual mean wind speed maps were presented in order to show the spatial and temporal variation of offshore wind energy potential. Results showed that QuickSCAT satellite images interpretation gave lower bias in the range of wind speed of 3-18 m/s, however, the bias was high for wind speed more than 20 m/s. It found that offshore mean wind speed at height of 50 m A.M.S.L. was in the range of 3.0-6.0 m/s where the middle part of Thai offshore had the highest potential with the wind speed in the range of 7.0-10.0 m/s. The offshore wind speed had high potential during June until August due to the influence of southwest monsoon.

Keywords: Wind Energy, Remote Sensing, Satellite Images, Geo-Informatics

บทนำ

พลังงานลมมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและกำลังก้าวขึ้นมาเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกโดยเฉพาะแหล่งพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเล จากรายงานของ World Energy Outlook 2019 กล่าวว่า ศักยภาพทางเทคนิคของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลทั่วโลกมีมากกว่า 120,000 กิกะวัตต์ สามารถผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 420,000 เทราวัตต์ชั่วโมงต่อปี ซึ่งมากกว่าความต้องการพลังงานของประชากรโลกในปี 2583 ถึง 11 เท่า [1] สำหรับประเทศไทย ณ ปัจจุบัน ยังไม่มีการติดตั้งฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล เพียงแต่อยู่ในระหว่างการศึกษาศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลเพื่อระบุพื้นที่ที่สามารถพัฒนาเป็นฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลเท่านั้นและยังไม่แพร่หลายมากนัก โดยในปี 2554 ได้มีการคำนวณอัตราเร็วลมนอกชายฝั่งทะเล โดยใช้แบบจำลองบรรยากาศ KAMM (Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model) ที่ความละเอียดแนวนอน 3 กิโลเมตรที่ความสูง 90 เมตร พบว่าพื้นที่นอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยมีอัตราเร็วลมสูงกว่าฝั่งทะเลอันดามัน [2] ต่อมาในปี 2558 มีการศึกษาศักยภาพพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยของประเทศไทยด้วยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง-สเกลจุลภาคร่วมกัน (MC2-MSMicro) พบว่า บริเวณดังกล่าวมีอัตราเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เมตรต่อวินาที โดยบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานลมดีที่สุดคือ บริเวณอ่าวกรุงเทพ (Bay of Bangkok) ซึ่งมีอัตราเร็วลมอยู่ในช่วง 6.0-6.5 เมตรต่อวินาที สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 6 เทราวัตต์ชั่วโมงต่อปี และในปี 2560 ได้มีการศึกษาศักยภาพพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยอีกครั้งโดยอาศัยแบบจำลองที่แตกต่างกัน (อาศัย WRF Atmospheric Model) ซึ่งผลที่ได้มีความใกล้เคียงและสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน [3-4] นอกจากนี้ยังการประเมินศักยภาพพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชสำหรับเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม โดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจากเสาวัดลมในพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม WAsP 9.0 [5]

ในปัจจุบันข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายจากดาวเทียมอาศัยเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) ในการรับและจัดเก็บข้อมูลซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้การแผ่รังสีพลังงานแม่เหล็กแม่ไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) ในการบันทึกคุณลักษณะของวัตถุ (Objects) ปรากฏการณ์ (Phenomena) ต่างๆ จากลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนหรือแผ่รังสีของวัตถุแต่ละชนิดและแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (Spectral) รูปทรงพื้นฐานของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) โดยข้อมูลที่ได้อาจถูกนำมาจัดการและวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลผลิตตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาเป็นหนึ่งในข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียมสำรวจด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกลเช่นกัน เพื่อสำรวจการเปลี่ยนแปลงของสภาพชั้นบรรยากาศโลก อีกทั้งยังสามารถใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียมและเทคนิคการรับรู้ระยะไกลนี้ในการศึกษาสภาพของพลังงานลมในพื้นที่เป้าหมายได้อีกด้วย โดยในอดีต การตรวจสอบสถานะการไหลของลมและอัตราเร็วจะอาศัยเครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) ที่ติดตั้งบนเสาสูงเพื่อนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปประเมินศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่เป็นอันดับต่อไป ซึ่งการติดตั้งเสาวัดลมที่ส่วนใหญ่มีความสูงของเสาที่ 50 เมตรนั้น มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง และจำเป็นต้องมีการประเมินและเสาะหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง ในขณะที่กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีความสูงของเสา (Hub Height) มากกว่า 150 เมตร และมีขนาดใบพัดที่ใหญ่มากขึ้น เพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้นกว่าเดิม การใช้ข้อมูลจากเสาวัดลมที่ความสูง 50 เมตร มาประมาณค่าอัตราเร็วลมที่ความสูงเท่ากับความสูงกังหันลมจะส่งผลให้ผลการประเมินมีความคลาดเคลื่อนและไม่แน่นอนสูง ด้วยเหตุนี้จึงมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกลและภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการพยากรณ์อากาศในการเก็บข้อมูลสถานะการไหลและอัตราเร็วของลมซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ถูกลงและสามารถเก็บข้อมูลได้ที่มีความสูงมากกว่า 200 เมตร นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้มียังความต่อเนื่องและครบถ้วนมากกว่าข้อมูลจากเสาวัดลมที่ต้องมีการหยุดใช้งานจากการซ่อมบำรุงหรือเมื่อมีพายุ

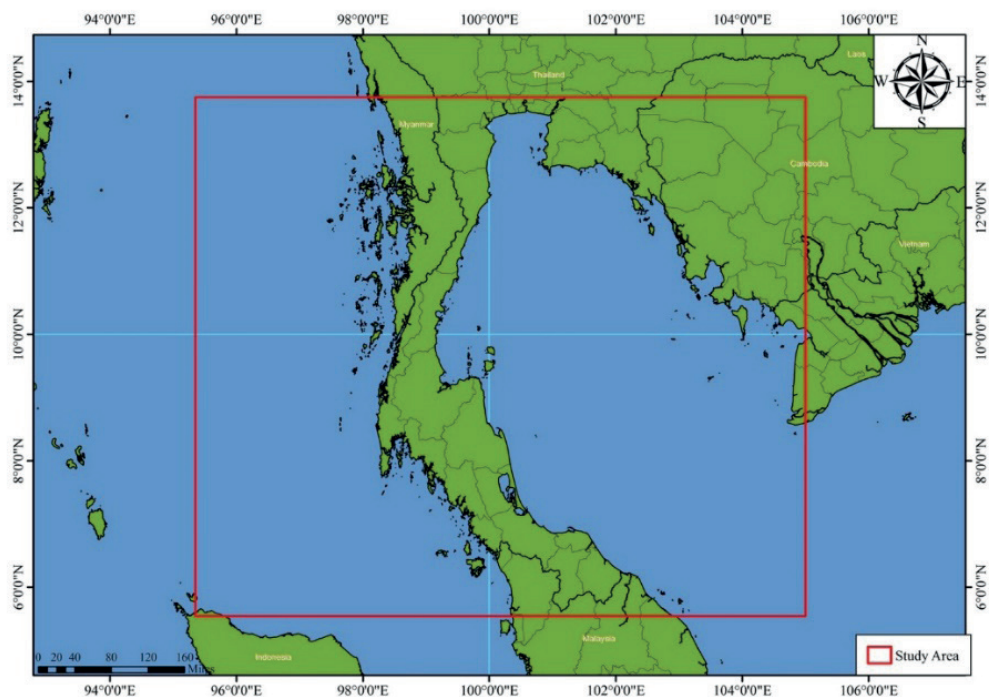
ทั้งนี้ ที่ผ่านมามาประเทศไทยประเมินศักยภาพของพลังงานลมทั้งในและนอกชายฝั่งโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และข้อมูลเชิงสถิติเป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับการศึกษานี้ได้นำเทคนิคการรับรู้ระยะไกลมาประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามันของประเทศไทยที่ความละเอียดแยกซัด 1 กิโลเมตร โดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศลมจากดาวเทียมสำรวจ QuickSCAT ร่วมกับกราฟวิเคราะห์ผลทางเทคโนโลยีสารสนเทศในการประมาณค่าอัตราเร็วลมซึ่งแสดงในรูปแบบของแผนที่ความเร็วลม

ระเบียบวิธีวิจัย

พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ครอบคลุมพื้นที่นอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยทั้งทะเลอ่าวไทยและทะเลอันดามัน โดยเป็นพื้นที่ครอบคลุมพิกัดละติจูดระหว่าง 5.50°N-13.00°N และลองจิจูดระหว่าง 95.50°E-104.50°E ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำทะเลทั้งหมดเท่ากับ 875,283 km² แสดงดังภาพที่ 1

ดาวเทียม QuickSCAT ของ NASA (Quick Scatterometer) เป็นดาวเทียมสำรวจโลกที่ดำเนินการตรวจวัดอัตราเร็วและทิศทางของลมในทะเลในกรณีที่ไม่มีย่านแจ้งปกคลุมในทุกสภาพดินฟ้าอากาศและมีเมฆปกคลุมโดยอาศัยเครื่องมือวัด SeaWinds Scatterometer ซึ่งถูกปล่อยขึ้นสำรวจโลกเวลา 07:15 p.m.

วันเสาร์ที่ 19 เดือนมิถุนายน 1999 มีวงโคจรวิถีโค้งตัดกับเส้นศูนย์สูตรที่เวลา 06:00 a.m. ที่ระดับความสูง 803 กิโลเมตร มีคาบการโคจรมายังตำแหน่งเดิมเท่ากับ 4 วัน (57 รอบ) และมีคาบการโคจรต่อ 1 รอบเท่ากับ 101 นาที (14.25 รอบต่อวัน) และเหตุการณ์ตรวจวัดในเดือนพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 [6] อุปกรณ์ SeaWinds บน QuickSCAT เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นไมโครเวฟที่ถูกออกแบบให้ทำการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการกระเจิงกลับ (Backscatter) จากพื้นผิวมหาสมุทรที่มีความขรุขระเนื่องจากลม อุปกรณ์ SeaWinds อาศัยการหมุนของจานรับสัญญาณดาวเทียมด้วยแนวลาดินสอแบบกรวย 2 แนวเพื่อให้เกิดการตรวจวัดแบบหลายครั้งจากการกระเจิงกลับภายใต้มุมมองที่มีรูปทรงเรขาคณิตที่แตกต่างกัน จานรับสัญญาณจะปลดปล่อยคลื่นไมโครเวฟแบบพัลส์ที่มีความถี่ 13.4 GHz (KU-Band) และจะถูกกระเจิงกลับด้วยคลื่นแคปิลารีซึ่งจะสมนัยกับลมและสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของลมพื้นผิวอย่างรวดเร็ว [7]



ภาพที่ 1 แผนที่ศึกษานอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทย

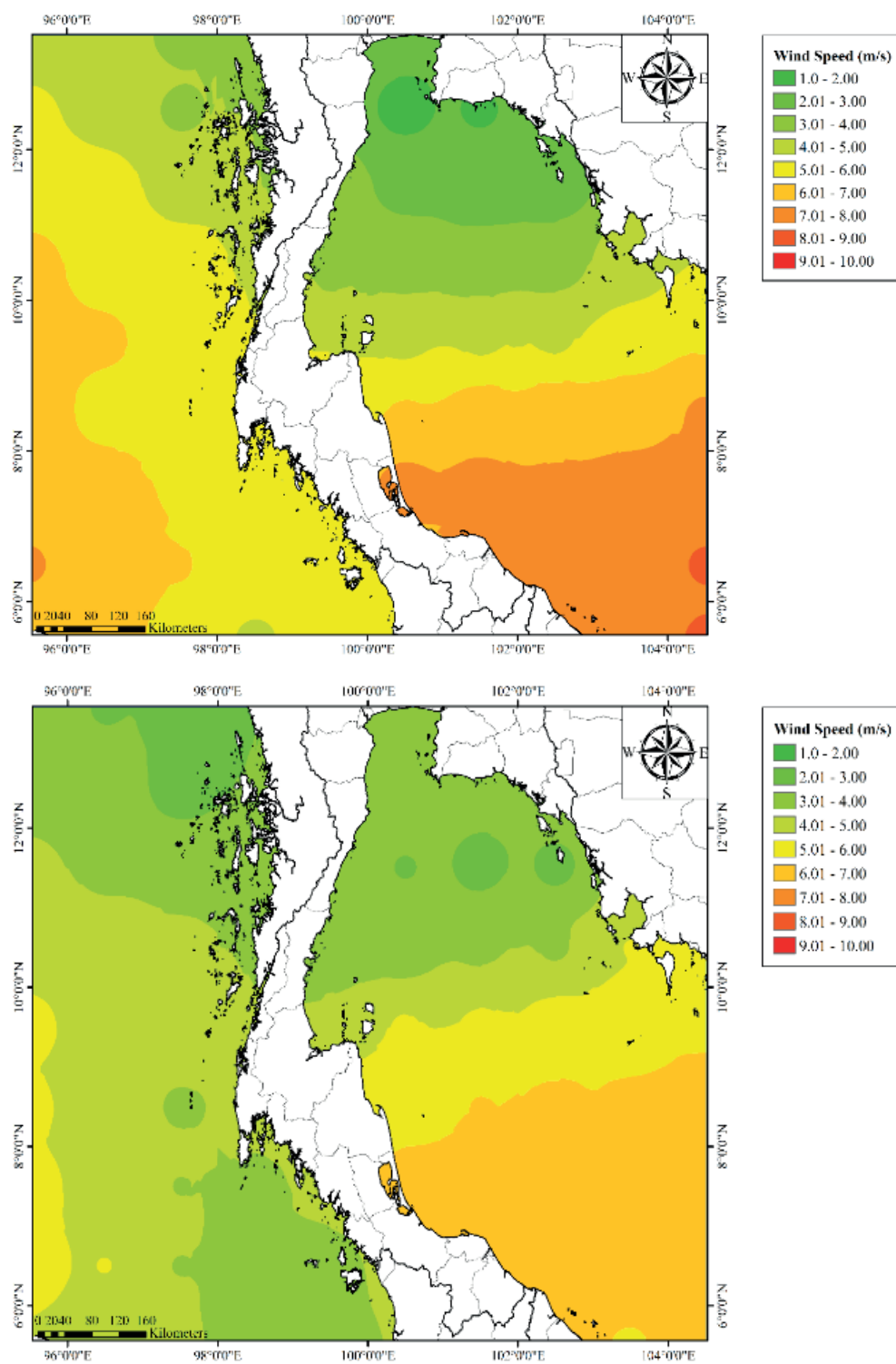
ลมนิวโทรลสมมูลย์ (Equivalent Neutral Winds) จะเป็นลมพื้นผิวที่ระดับความสูง 10 m ซึ่งถูกตรวจวัดภายใต้เงื่อนไขเสถียร (Stability) หรือบรรยากาศที่แยกเป็นชั้นๆ (Atmospheric Stratification) (อุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่บริเวณผิวน้ำระหว่างน้ำทะเลและอากาศ) ถึงแม้ว่าลมนิวโทรลสมมูลย์จะสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับลมที่ระดับความสูง 10 m แต่ก็ยังมีความไม่แน่นอนเนื่องจากมีค่าความเอนเอียง (Bias) ของการตรวจวัดทั้ง 2 เท่ากับ 0.2 เมตรต่อวินาที โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ไม่ได้นำค่าความเอนเอียงมารวมในการวิเคราะห์และแสดงผลที่ระดับความสูง 10 เมตร ด้วย [8] ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์ข้อมูลลมจาก Scatterometer ในระดับ 2B ที่ความแยกชัด 25 กิโลเมตร โดยผ่านกระบวนการจากฟังก์ชันแบบจำลองทางกายภาพ QSCAT-1 ซึ่งพัฒนาโดยโครงการ NASA QuickSCAT

และกระจายข้อมูล โดย JPL's Physical Oceanography DAAC [9] สมรรถนะของ QuickSCAT ได้รับการตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์กับข้อมูลลมตรวจวัดจากทุ่นลอยและจากแบบจำลอง การพยากรณ์สภาพอากาศเชิงตัวเลข (NWP) โดยพบว่าอัตราเร็วลมไม่มีไบแอสในช่วง 3-18 เมตรต่อวินาที แต่จะมีความไม่แน่นอนเมื่ออัตราเร็วลมมีค่ามากกว่า 20 เมตรต่อวินาที [10]

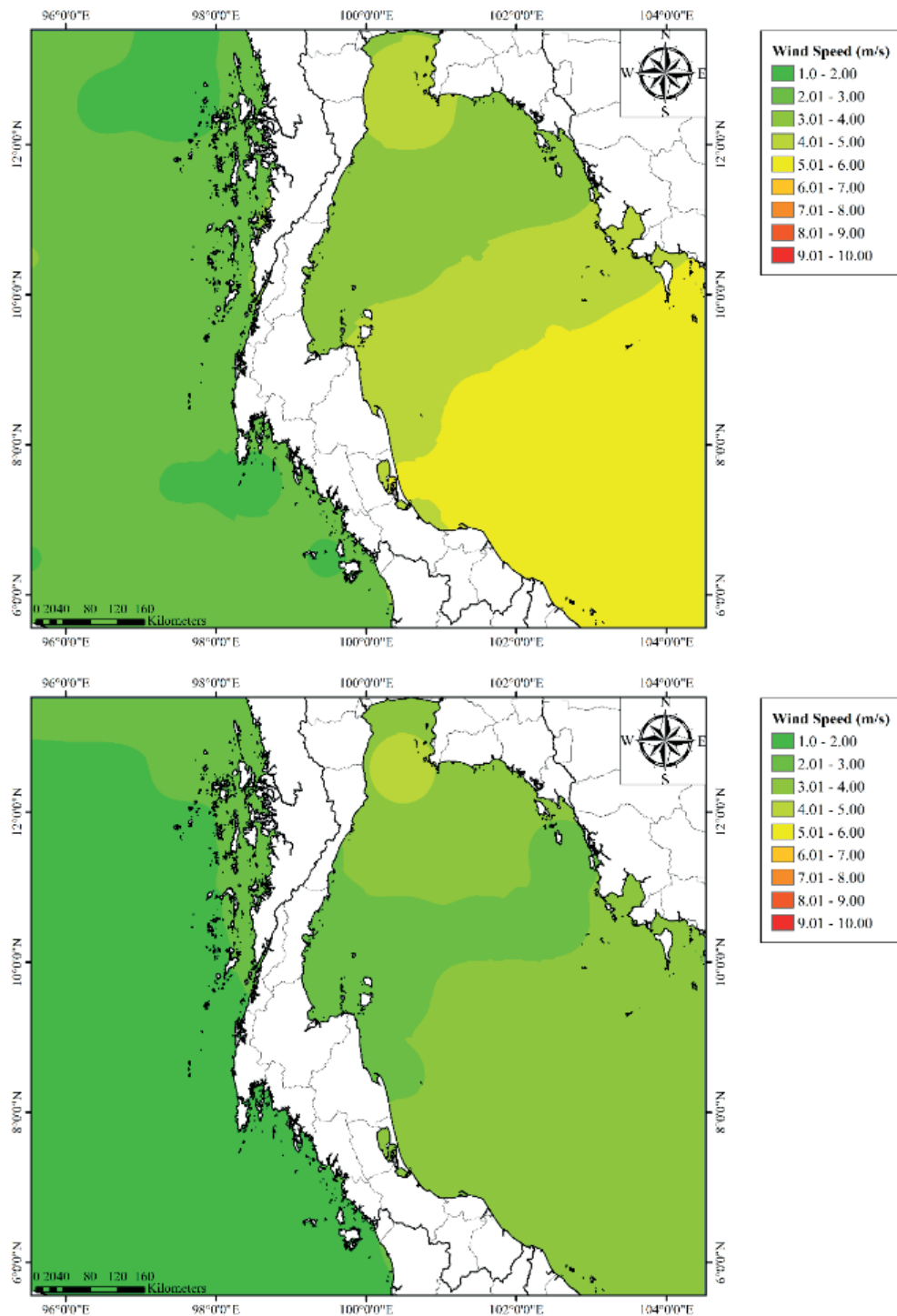
งานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลลมพื้นผิวระดับน้ำทะเลที่มีความสูง 10 เมตร จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม QuickSCAT โดย PODAAC ซึ่งเป็นฐานข้อมูลลมนอกชายฝั่งทะเลในช่วงปี ค.ศ. 1999-2009 แล้วทำการประมาณค่าในช่วงของข้อมูลลมนอกชายฝั่งทะเลเชิงพื้นที่โดยอาศัยเครื่องมือในโปรแกรม ArcGIS 10.2 เพื่อให้มีความแม่นยำของข้อมูลเชิงพื้นที่มากขึ้นในระดับ 1 km หลังจากนั้นทำการประมาณค่านอกช่วงไปที่ระดับความสูง 50 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ยโดยอาศัยกฎ Power Law ที่ค่า Exponent เท่ากับ 1/7 และจัดทำแผนที่ลมนอกชายฝั่งทะเลในพื้นที่ศึกษารายเดือนและเฉลี่ยรายปีเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วลมนอกชายฝั่งทะเลทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

ผลและอภิปรายผล

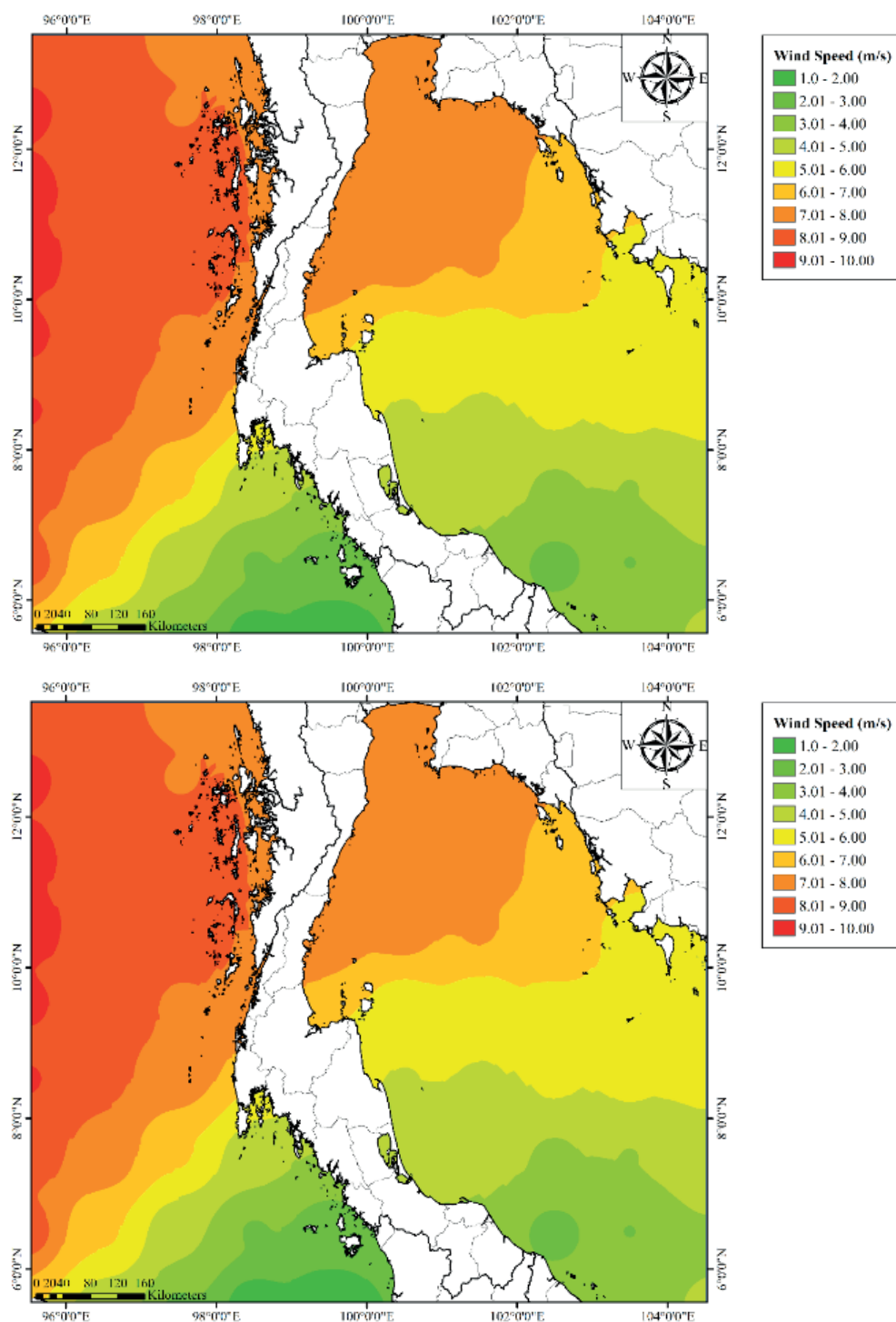
การประเมินศักยภาพพลังงานนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามันอาศัยเทคนิคการรับรู้ระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม QuickSCAT โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี 1999 – 2009 (10 ปี) ทำการประมาณค่านอกช่วงที่ระดับความสูง 50 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลเนื่องจากเป็นความสูงของข้อมูลตรวจวัดจากเรือเดินสมุทร ทุ่นลอยและแบบจำลองการพยากรณ์สภาพอากาศเพื่อให้การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอยู่ในระดับความสูงเดียวกัน จากการตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม QuickSCAT ความแม่นยำ $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ พบว่า มีความถูกต้องแม่นยำสำหรับการแปลผลอัตราเร็วในช่วง 3-18 เมตรต่อวินาที และมีความเอนเอียงสูงในอัตราเร็วลมที่สูงกว่า 20 เมตรต่อวินาที ผลการวิเคราะห์อัตราเร็วลมที่ความสูง 50 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ถูกจัดแสดงในรูปของแผนที่ความเร็วลม ซึ่งแผนที่ความเร็วมรายเดือนนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ความละเอียดแยกชัด 1 กิโลเมตร ที่ความสูง 50 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล แสดงดังภาพที่ 2-7 แสดงให้เห็นว่า บริเวณพื้นที่ที่มีศักยภาพของพลังงานลมสูงได้แก่พื้นที่นอกชายฝั่งทะเลตอนกลางของประเทศไทยซึ่งมีอัตราเร็วลมอยู่ในช่วง 5.0-6.0 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะพบในฝั่งทะเลอ่าวไทยมากกว่าฝั่งทะเลอันดามัน แม้ว่าในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 2 ขวา) อิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทยเริ่มอ่อนกำลังลง แต่อัตราเร็วลมทางฝั่งทะเลอ่าวไทยยังคงมีค่าสูงกว่าฝั่งทะเลอันดามัน สำหรับระหว่างเดือนเมษายน (ภาพที่ 3 ขวา) อัตราเร็วลมนอกชายฝั่งทะเลทั้งสองฝั่งจะมีค่าลดลง และเริ่มมีกำลังลมเพิ่มขึ้นในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม (ภาพที่ 4 ซ้าย) เนื่องจากเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของประเทศไทย โดยเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนสิงหาคม (ภาพที่ 4 ขวา – ภาพที่ 5 ขวา) จะมีอัตราเร็วลมอยู่ในช่วง 7.0-10.0 เมตรต่อวินาที ซึ่งสูงกว่าช่วงอื่นๆ ของปีเนื่องได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อัตราเร็วลมที่สูงนี้จะขยายตัวจากชายฝั่งเป็นบริเวณกว้างมากขึ้น นอกจากนี้ แผนที่ความเร็วมเฉลี่ยรายปีนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทย แสดงดังภาพที่ 8 พบว่า อัตราเร็วลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยทั้งฝั่งทะเลอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามันที่ระดับความสูง 50 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 3.0-6.0 เมตรต่อวินาที โดยฝั่งทะเลอ่าวไทยมีอัตราเร็วลมสูงกว่าฝั่งทะเลอันดามัน



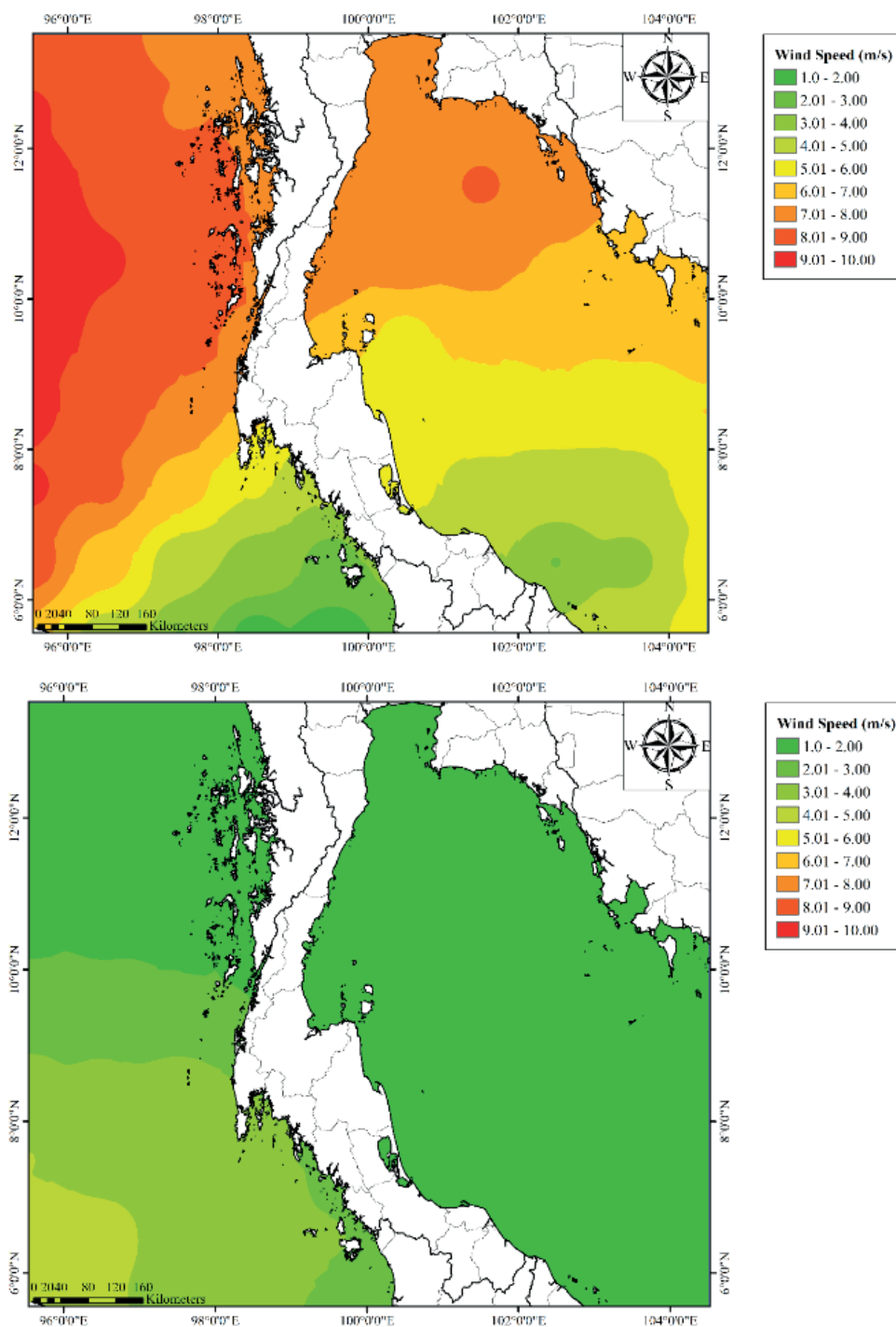
ภาพที่ 2 แผนที่ลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m เหนือระดับน้ำทะเล ความแยกชัด 1 km เดือนมกราคม (บน) และเดือนกุมภาพันธ์ (ล่าง)



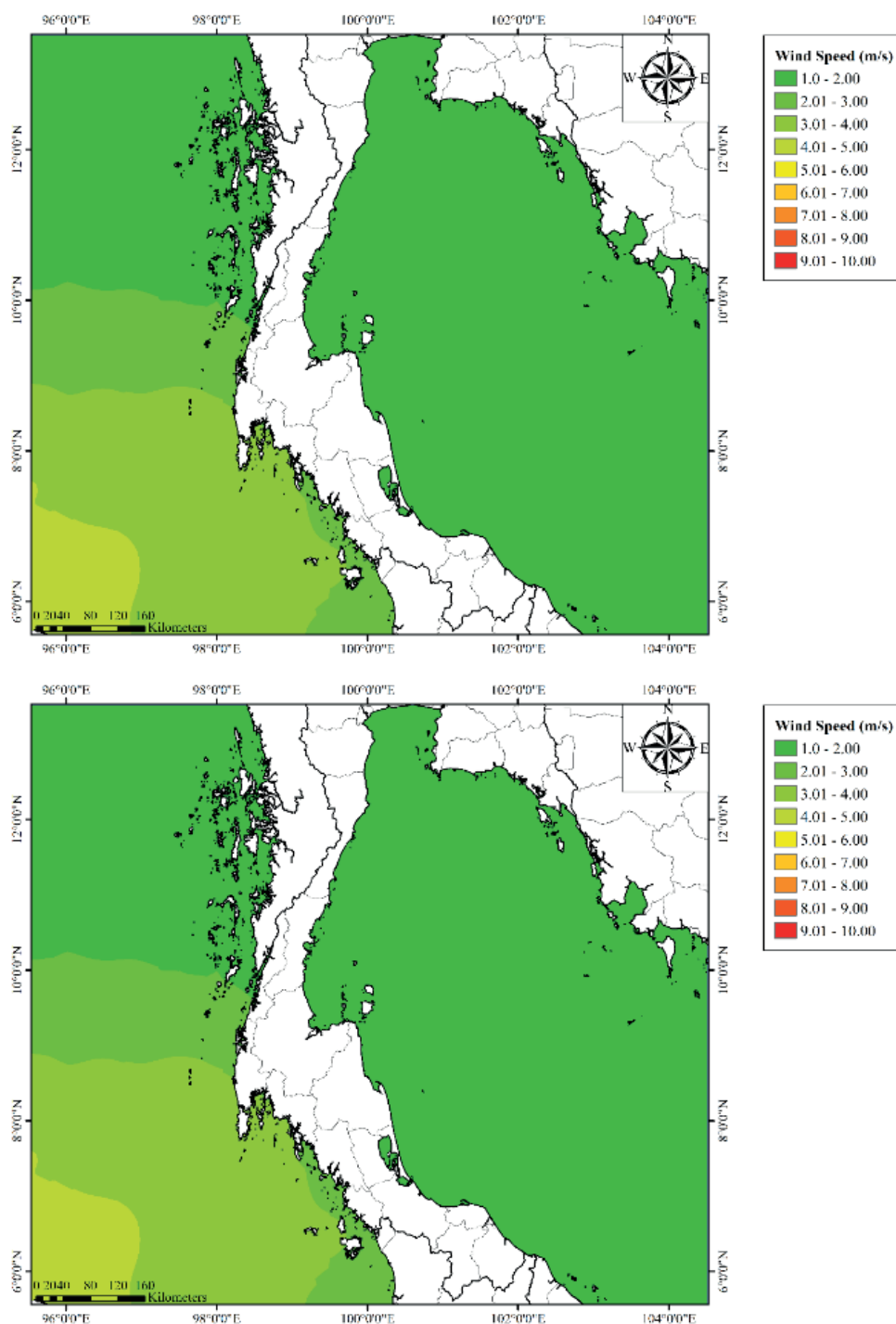
ภาพที่ 3 แผนที่ลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m เหนือระดับน้ำทะเล ความแยกชัด 1 km เดือนมีนาคม (บน) และเดือนเมษายน (ล่าง)



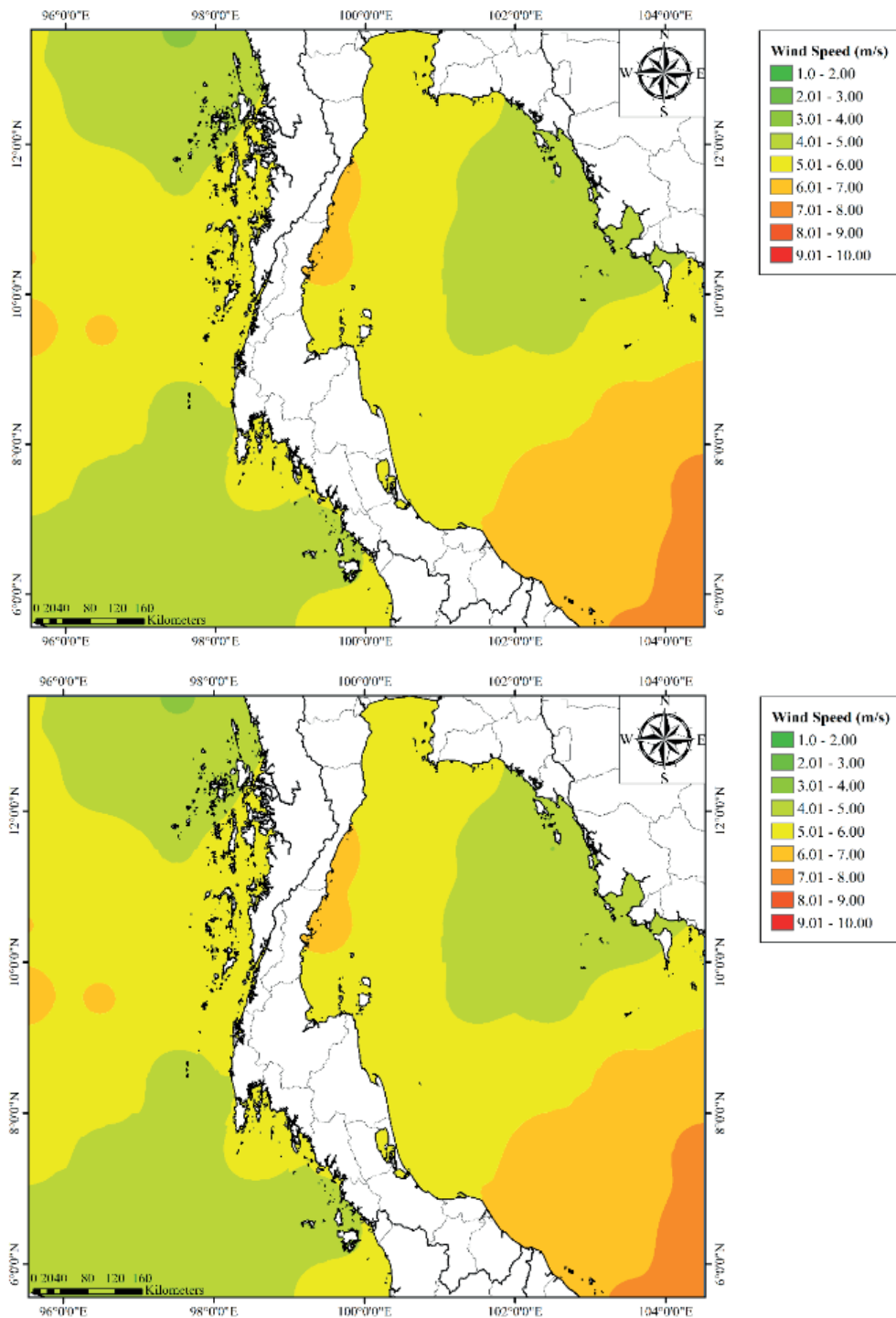
ภาพที่ 4 แผนที่ลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m เหนือระดับน้ำทะเล ความแยกชัด 1 km เดือนพฤษภาคม (บน) และเดือนมิถุนายน (ล่าง)



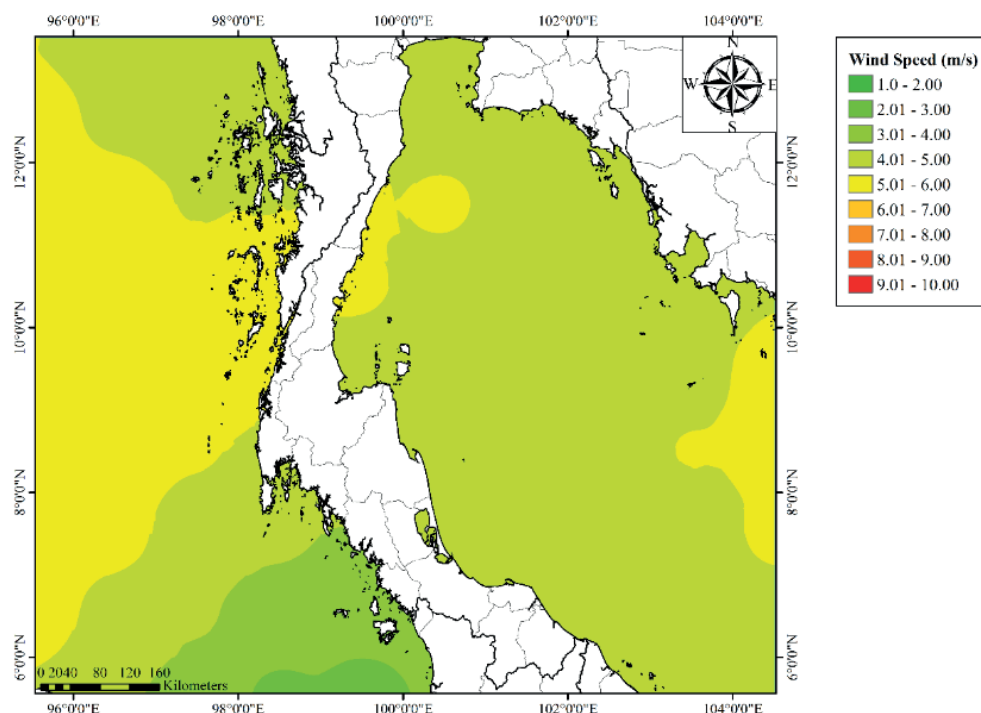
ภาพที่ 5 แผนที่ลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m เหนือระดับน้ำทะเล ความแยกชัด 1 km เดือนกรกฎาคม (บน) และเดือนสิงหาคม (ล่าง)



ภาพที่ 6 แผนที่ลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m เหนือระดับน้ำทะเล ความแยกชัด 1 km เดือนกันยายน (bn) และเดือนตุลาคม (la)



ภาพที่ 7 แผนที่ลมนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m เหนือระดับน้ำทะเล ความแยกชัด 1 km เดือนพฤศจิกายน (บน) และเดือนธันวาคม (ล่าง)



ภาพที่ 8 แผนที่ลมเฉลี่ยรายปีนอกชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 m
เหนือระดับน้ำทะเล ความแยกชัด 1 km

สรุปและข้อเสนอแนะ

พื้นที่นอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามันของประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมดีในบริเวณชายฝั่งทะเลตอนกลาง โดยมีความเร็วลมเฉลี่ยรายปีที่ระดับความสูง 50 m อยู่ในช่วง 3.0-6.0 m/s ซึ่งเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนสิงหาคมจะมีอัตราเร็วลมอยู่ในช่วง 7.00-10.0 m/s ซึ่งสูงกว่าช่วงอื่นๆ ของปี เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม QuickSCAT มีความถูกต้องแม่นยำสำหรับการแปลผลอัตราเร็วในช่วง 3-18 m/s และมีความเอนเอียงสูงในอัตราเร็วลมที่สูงกว่า 20 m/s

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิจัยของงานวิจัยนี้

References

- [1] International Energy Agency (IEA). (2019). *Offshore wind outlook 2019* (Online). Retrieved November 1, 2019, from https://webstore.iea.org/download/direct/2886?fileName=Offshore_Wind_Outlook_2019.pdf.

- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2011). *Final report: The preliminary assessment of feasibility and environment impact on offshore wind farm development* (Online). Retrieved March 30, 2020, from <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/Bib14378.pdf>.
- [3] Waewsak, J., Landry, M., & Gagnon, Y. (2015). Offshore wind power potential of the Gulf of Thailand. *Renewable Energy*, 81, 609–626. DOI: 10.1016/j.renene.2015.03.069.
- [4] Chancham, C., Waewsak, J., & Gagnon, Y. (2017). Offshore wind resource assessment and wind power plant optimization in the Gulf of Thailand. *Energy*, 139, 706–731. DOI: 10.1016/j.energy.2017.08.026.
- [5] Chancham, C., Klompong, N., & Waewsak, J. (2013). Technical analysis of the Thai Gulf offshore wind farm power plant at Pak Phanang district in Nakhon Si Thammarat province. *Thaksin University Journal*, 16(1), 1–8.
- [6] Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. (2019). *Winds: measuring ocean winds from space (Missions: QuikSCAT)* (Online). Retrieved November 15, 2019, from <https://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat>.
- [7] Spencer, M. W., Wu, C., & Long, D. G. (2000). Improved resolution backscatter measurements with the *SeaWinds* pencil-beam scatterometer. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(1), 89–104.
- [8] Portabella, M., & Stoffelen, A. (2009). On scatterometer ocean stress. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(2), 368–382. DOI: 10.1175/2008JTECHO578.1.
- [9] Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. (2019). *QuikSCAT science data product user's manual* (Online). Retrieved November 15, 2019, from ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/quikscat/L2B/docs/QSUG_v3.pdf.
- [10] Bourassa, M. A., Legler, D. M., O'Brien, J. J., & Smith S. R. (2003). SeaWinds validation with research vessels. *Journal of Geophysical Research*, 108(C2), 1–16. DOI: 10.1029/2001JC001028.

การผลิตกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา
ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม
The Production of Biodegradable Flowerpot from Sludge of Rubber
Factory with Waste from Mushroom Culture and Palm Bunches

จุฑามาศ แก้วมณี^{1*}
Jutamas Kaewmanee^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดนำกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม มาผลิตกระถางต้นไม้ทดแทนผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณของเสียและสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัสดุเหลือทิ้ง โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ 2) เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม และ 3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม โดยศึกษาทั้งหมด 6 ชุดการทดลองที่อัตราส่วนผสมกากตะกอนโรงงานยาง : วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ได้แก่ 0 : 100 20 : 80 40 : 60 60 : 40 80 : 20 และ 100 : 0 โดยใช้กาบแปงเปียกเป็นตัวประสานและทะลายปาล์มเป็นตัวช่วยประสาน และนำไปขึ้นรูปกระถาง พบว่า 1) วัตถุดิบมีความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชื้นเหมาะต่อการปลูกพืช 2) ชุดที่ 1 มีน้ำหนักค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 246.67 กรัม กระถางสามารถขึ้นรูปได้ดี มีความแข็งแรง และมีผิวเรียบเนียน และ 3) ชุดที่ 1 มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้จริง มีค่าการดูดซับน้ำ 99.18 เปอร์เซ็นต์ ค่าการพองตัว 81.93 เปอร์เซ็นต์ และการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้เกิดได้ช้าที่สุด

คำสำคัญ: กระถางต้นไม้ย่อยสลายได้ กากตะกอนโรงงาน วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ทะลายปาล์ม

Abstract

The concept for this research is that plants pots are produced from rubber plant sludge and waste material from the mushroom lump and palm bunch are use to replace products that are made from plastic, which is an alternative to reduce the amount of waste and add value to the waste material. The aims for this work are 1) to study the chemical characteristics of raw materials 2) to study the physical characteristics, and 3) to study properties of plant pots produced from rubber plant sludge, waste material from the mushroom

¹ อ., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

¹ Lecture, Department of Environmental Science, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, 95000, Thailand

* Corresponding author : E-mail address : jutamas.k@yru.ac.th Tel. : 082-2670177

lump and palm bunch. The conditions of experiment are 6 ratios between rubber plant sludge to waste material from the mushroom lump including 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 and 100 : 0. using wet glue and palm bunch as binder and subsidiary binder, respectively. The results revealed that 1) raw material has acid-base, conductivity, and moisture value suitable for growing plants, 2) the first ratio had the highest average weight of 246.67 grams and plant pot could be molded well, strong and have smooth skin, and 3) the first ratio has qualifications suitable for actual application; the water absorption was 99.18 percentages, an inflation value was 81.93 percentages and the slowest deterioration of the plant pot.

Keyword: Biodegradable Flowerpot, Sludge of Rubber Factory, Waste from Mushroom Culture, Palm Bunches

บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่กำลังประสบปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกมีการนำพลาสติกมาใช้เป็นวัสดุภัณฑ์ทดแทนบรรจุภัณฑ์จำพวกกระดาษ ไม้ โลหะ ขาง และแก้วมากขึ้น ด้วยสมบัติพลาสติกที่มีความแข็งแรงคงทนต่อสารเคมี ความยืดหยุ่นสูง และอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่ย่อยสลายยาก [1] เมื่อนำไปกำจัดโดยฝังดินจะใช้เวลาดั้งแต่ 20 ปี ไปจนถึง 1,000 ปี กว่าจะเริ่มมีการย่อยสลายขึ้นเองตามธรรมชาติ และทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ [2] หรือถ้านำไปเผาทำลายจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น เกิดเขม่าควัน มีกลิ่นเหม็น หรืออาจมีสารก่อมะเร็งปนเปื้อนในอากาศ และการเผาทำลายพลาสติกที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ซึ่งส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ตามมา [3] ดังนั้น การพัฒนาการผลิตพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายตัวโดยวิธีทางธรรมชาติ (Biodegradable Plastic) จึงเป็นนวัตกรรมที่สามารถสร้างมูลค่าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การนำวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เกิดจากความตื่นตัวเกี่ยวกับเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นำไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรม การลดการใช้พลาสติกได้

จากการพิจารณาวัสดุเหลือทิ้งในท้องถิ่นในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ พบว่า วัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่นำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ได้แก่ กากตะกอนโรงงานยางพารา ซึ่งเป็นกากอินทรีย์ที่ได้หลังจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางพารา ทะลายปาล์มที่ถูกทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และก้อนเชื้อเห็ดเก่าวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดที่มีในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อพื้นที่ใกล้เคียง ชุมชน ผู้ปฏิบัติงาน และเกิดผลเสียต่อระบบนิเวศ โดยวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมีความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นนวัตกรรมในการผลิตกระถางต้นไม้ที่ย่อยสลายได้ เนื่องจากมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชื้น และค่าอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Piyang, *et al.* [4] ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ช่วยปรับโครงสร้างของดิน ทำให้ดินร่วนซุย ช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน เพิ่มการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหาร และลดการชะล้างพังทลายของดิน สำหรับก้อนเชื้อเห็ดเก่าวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด เกษตรกรมักนำก้อนเชื้อเห็ดเก่าทิ้งหรือใส่ใต้โคนต้นไม้ในสวน เนื่องจากก้อนเชื้อเห็ดที่ทำจากขี้เลื่อยและมีอาหารเสริมประเภทรำละเอียด ปูนขาว ยิปซัม น้ำตาล แป้ง รากมอส และกระถินป่น ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เป็นพิษต่อต้นไม้และไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [5]

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำวัสดุที่เหลือทิ้งและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น จึงมีความสนใจผลิตกระถางย่อยสลายได้มาทดแทนวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก ซึ่งถือเป็นอีกทางหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณขยะ ลดของเสีย ลดปัญหาภาวะโลกร้อน และยังเป็นการสร้างนวัตกรรมจากวัสดุเหลือใช้ที่ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยได้นำมาใช้ประโยชน์ โดยมุ่งเน้นไปที่กากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อ 1) ศึกษาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ 2) ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของกระถางต้นไม้ออกจากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดเก่า และทะลายปาล์ม และ 3) ศึกษาคุณสมบัติของกระถางต้นไม้ออกจากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดเก่า และทะลายปาล์ม โดยผู้วิจัยมุ่งหวังว่ากระถางต้นไม้อย่อยสลายได้นั้นนอกจากช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้กับดินหลังการย่อยสลายไปตามธรรมชาติและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

1.1 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนโรงงานยางพารา เป็นกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนสุดท้าย โดยนำมาตากแดดให้แห้งจากนั้นนำกากตะกอนยางพารามาดให้ละเอียด ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.50 มิลลิเมตร และร่อนผ่านตะแกรง แล้วนำไปเก็บรักษาในถุงซิปล็อก เพื่อนำไปวิเคราะห์และเตรียมขึ้นรูปกระถาง ดังภาพที่ 1

1.2 การเตรียมตัวอย่างเชื้อวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด โดยนำก้อนเชื้อเห็ดเก่า ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด และทำการแยกถุงพลาสติกที่ห่อหุ้มออกมาจากก้อนเห็ดเหลือทิ้งออก และตากแดดให้แห้ง ทำการบดให้ละเอียด โดยใช้เครื่องบดบดจนเป็นผงละเอียด หลังจากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงโดยมีลักษณะคล้ายผงแป้ง เพื่อเตรียมไว้สำหรับการขึ้นรูปกระถาง ดังภาพที่ 1



(ก)



(ข)

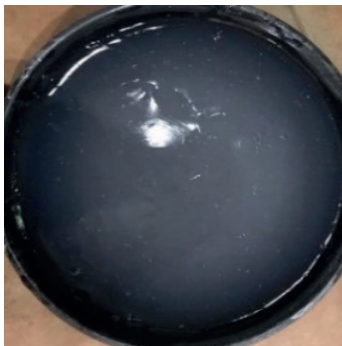
ภาพที่ 1 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

(ก) กากตะกอนบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางพารา (ข) วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด

2. การเตรียมตัวประสาน

2.1 การเตรียมกาวแป้งเปียก โดยการนำแป้งมันสำปะหลังจำนวน 1 กิโลกรัม 1000 มิลลิลิตร มาละลายในหม้อที่เตรียมไว้ไฟอ่อนกวนไปเรื่อย ๆ จนน้ำเดือด แป้งเปียกจะลักษณะ เหนียวและมีสีใส หลังจากนั้นยกออกจากเตาแล้ววางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำเป็นส่วนผสมในการผลิตกระถางต้นไม้

2.2 ทะลายปาล์มเป็นตัวช่วยประสาน โดยการเตรียมทะลายปาล์ม ซึ่งเป็นเศษของเปลือกผลปาล์มหรือสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในน้ำมันปาล์ม สิ่งเจือปนเหล่านี้จะถูกแยกออกในขั้นตอนสุดท้ายของการสกัดน้ำมันรวบรวมได้จากโรงงานปาล์มพัฒนาชายแดนใต้ นำมาตากแดดให้แห้งจากนั้นนำทะลายปาล์มมาตัดให้มีขนาดเล็กความยาว 0.50 – 1 เซนติเมตร และเตรียมขึ้นรูปกระถางเพื่อเป็นตัวประสาน ดังแสดงในภาพที่ 2



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 การเตรียมตัวประสาน (ก) กาวแป้งเปียก (ข) ทะลายปาล์ม

3. การออกแบบอัตราส่วนการผลิตกระถางต้นไม้

การผลิตกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด โดยใช้ตัวประสานเป็นกาวเปียก 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเหมาะสมในการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ และทะลายปาล์ม 25 กรัมต่อชุดการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยออกแบบการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง ที่อัตราส่วนผสมกากตะกอนโรงงานยางพารา : วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ได้แก่ 0 : 100 20 : 80 40 : 60 60 : 40 80 : 20 และ 100 : 0

4. การศึกษาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม

การศึกษาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบก่อนขึ้นรูปกระถางต้นไม้คือ กากตะกอนยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม โดยทำการศึกษาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ ดังนี้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) [6] การนำไฟฟ้า [7] ความชื้นและอินทรีย์วัตถุ [8] ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด

5. การขึ้นรูปกระถาง

การผลิตกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราและวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด โดยการนำส่วนผสมตัวประสาน คือ แป้งมันสำปะหลังและทะลายปาล์มตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้คลุกเคล้าให้

เนื้อเข้ากันเป็นหนึ่งเดียวนำไปอัดขึ้นรูปด้วยบล็อกที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเอง และใช้แรงอัดและดันตัวกระถางต้นไม้
ออกจากบล็อกแล้วนำกระถางออกจากบล็อกไปตากแดดให้แห้ง

6. การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้ง จากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม

โดยศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของกระถางต้นไม้ที่แห้ง เช่น รูปร่าง สี จากการสังเกต และน้ำหนักของ
กระถางต้นไม้ โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก

7. การศึกษาคุณสมบัติของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อน เชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม

7.1 การดูดซับน้ำของกระถางต้นไม้ โดยตัดชิ้นส่วนตัวอย่างทดสอบขนาด 5×5 เซนติเมตร
ตัดจากขอบบนของกระถางต้นไม้ ชุดการทดลองละ 3 ตัวอย่าง โดยทำทุกชุดการทดลองทั้งหมด 18 ตัวอย่าง
จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ จากนั้นวางขึ้นทดสอบในระดับเดียวกับระดับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำ
ขึ้นทดสอบ แต่ละชิ้นควรวางจากผนังของภาชนะพอสมควร และทดสอบครบ 1 ชั่วโมง นำชิ้นตัวอย่าง
ขึ้นมาจากน้ำ โดยไม่มีกรรน้ำทำเช่นนี้ทุกชิ้น จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน คัดแปลงมาจาก
Sanguansuk [9] แล้วนำมาค่าเฉลี่ย โดยใช้สูตร ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของกระถางต้นไม้

$$= \frac{\text{มวลของกระถางต้นไม้หลังแช่น้ำ} - \text{มวลของกระถางต้นไม้ก่อนแช่น้ำ}}{\text{มวลของกระถางต้นไม้ก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

7.2 การพองตัวของกระถางต้นไม้ โดยตัดชิ้นตัวอย่าง ทดสอบขนาด 5×5 เซนติเมตร ตัดจาก
ด้านบนของกระถางต้นไม้ชุดละ 3 ตัวอย่าง โดยทุกชุดทดลองทั้งหมด 18 ตัวอย่าง จากนั้นทำเครื่องหมาย
ตำแหน่งที่วัดความหนาและวัดความหนาของชิ้นตัวอย่างเป็นความหนาก่อนแช่น้ำและแช่ชิ้นส่วนตัวอย่าง
ในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส เมื่อแช่ชิ้นส่วนตัวอย่าง 1 ชั่วโมงแล้วรับนำตัวอย่างมาชั่งน้ำ
ที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุ
ที่ไม่ดูดซึมน้ำปล่อยขึ้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมง นำชิ้นตัวอย่างขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม เป็นความ
หนาลงแช่น้ำแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนัก คัดแปลงมาจาก Piyang., *et al.* [4] แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้สูตร ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การพองตัวของกระถางต้นไม้

$$= \frac{\text{ความหนาของกระถางต้นไม้หลังแช่น้ำ} - \text{ความหนาของกระถางต้นไม้ก่อนแช่น้ำ}}{\text{ความหนาของกระถางต้นไม้ก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

7.3 การเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ ทำการทดลองปลูกต้นพริกลงในกระถางต้นไม้จาก
กากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม โดยสังเกตลักษณะ
การเปลี่ยนแปลงของการเสื่อมทางชีวภาพกระถาง ซึ่งทำการรดน้ำปริมาณ 500 มิลลิลิตร ต่อใบ วันละ 1 ครั้ง
ในช่วงเช้า โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อศึกษาการเสื่อมทางชีวภาพของกระถางต้นไม้

8. การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาค้นคว้าวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของวัตถุดิบ และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาในรูปแบบค่าร้อยละ

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

กระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา ก้อนเชื้อเห็ดเก่า และทะลายปาล์ม ผู้วิจัยทำการทดลอง 6 ชุดการทดลองในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน ที่อัตราส่วนผสมกากตะกอนโรงงานยางพารา : วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ได้แก่ 0 : 100 20 : 80 40 : 60 60 : 40 80 : 20 และ 100 : 0 โดยใช้ตัวประสานเป็นกาวเปียกและทะลายปาล์มเป็นตัวช่วยประสาน ปรากฏผลการทดลอง ดังนี้

1. ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม

ผลการศึกษาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ พบว่า กากตะกอนโรงงานยางพารา มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.27 ± 0.07 ค่าการนำไฟฟ้า 3.35 ± 0.84 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ค่าความชื้น 15.4 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ ก้อนเชื้อเห็ดเก่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.39 ± 0.05 ค่าการนำไฟฟ้า 2.86 ± 0.77 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าความชื้น 10.20 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ และทะลายปาล์ม มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.23 ± 0.05 ค่าการนำไฟฟ้า 4.55 ± 0.98 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ค่าความชื้น 5.40 ± 0.46 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่ากากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชื้นเหมาะสำหรับการปลูกพืชได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Piyang., *et al.* [4] ที่พบว่า ขี้เถ้าที่ผ่านการเพาะเห็ด มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเหมาะสม ในการใช้เป็นวัสดุปลูกไม่แตกต่างจากวัสดุปลูกผสมมากนัก โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 8.89 และมีการนำไฟฟ้า 9.40 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร

ตารางที่ 1 ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม

วัตถุดิบ	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคุณสมบัติของวัตถุดิบ		
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร)	ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
กากตะกอนโรงงานยางพารา	7.27 ± 0.07	3.35 ± 0.84	15.40 ± 0.23
วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด	6.39 ± 0.05	2.86 ± 0.77	10.20 ± 0.23
ทะลายปาล์ม	7.23 ± 0.05	4.55 ± 0.98	5.40 ± 0.46

จากการศึกษาค่าอินทรีย์วัตถุของวัตถุดิบ พบว่ากากตะกอนโรงงานยางพารา มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.96 ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.41 และโพแทสเซียมทั้งหมด 0.12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.58 ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.22 และโพแทสเซียมทั้งหมด

0.39 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ และทะเลสาบปาล์มมีไนโตรเจนทั้งหมด 1.63 ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.11 และโพแทสเซียมทั้งหมด 1.58 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนของ Sangsuan [9] ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนโรงงานยางพารา ปริมาณความชื้น ไนโตรเจนที่ร้อยละ 1 พบว่า กากตะกอนโรงงานยางพารามีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชที่เหมาะสม หมายความว่า กากตะกอนโรงงานยางพาราวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาบปาล์มมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระถางต้นไม้ที่ย่อยสลายได้

ตารางที่ 2 ค่าอินทรีย์วัตถุของวัตถุดิบกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาบปาล์ม

วัตถุดิบ	ค่าอินทรีย์วัตถุของวัตถุดิบ		
	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	โพแทสเซียมทั้งหมด
	(เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร)	(เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร)	(เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร)
กากตะกอนโรงงานยางพารา	0.96	0.41	0.12
วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด	0.58	0.22	0.39
ทะเลสาบปาล์ม	1.63	0.11	1.58

2. คุณลักษณะทางกายภาพของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาบปาล์ม

ผลการศึกษาคูณลักษณะทางกายภาพของกระถางต้นไม้พบว่า กระถางต้นไม้ที่ผลิตจากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาบปาล์ม ชุดการทดลองที่ 1 มีน้ำหนักค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 246.67 กรัม รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 มีน้ำหนักค่าเฉลี่ยเท่ากับ 243.33 226.67 186.67 183.33 และ 176.67 กรัม ตามลำดับ และกระถางสามารถขึ้นรูปได้ทุกชุดการทดลอง โดยกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราและวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราส่วนผสมของวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดเพียงอย่างเดียว กระถางสามารถขึ้นรูปได้ดี กระถางแข็งแรง และมีผิวเรียบเนียน เนื่องจากก้อนเชื้อเห็ดเก่ามีลักษณะเป็นผงละเอียดกว่ากากตะกอนโรงงานยาง เมื่อนำมาผสมกับกาบแป้งเปียก ซึ่งเป็นตัวประสาน และทะเลสาบปาล์มตัวช่วยประสาน ทำให้ยึดเกาะกันแน่น เมื่อนำไปอัดขึ้นรูปทำให้ได้กระถางมีความแข็งแรง ทนทาน และมีน้ำหนักมากที่สุด รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ

3. คุณสมบัติของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาบปาล์ม

การศึกษาคูณลักษณะของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาบปาล์ม โดยการศึกษาคูณลักษณะ 3 ประเด็น ได้แก่

3.1 การดูดซับน้ำของกระถางต้นไม้ ผลการศึกษาค่าการดูดซับน้ำของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราและวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าการดูดซับน้ำมาก

ที่สุด 99.18 เปอร์เซ็นต์ มากที่สุด รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ มีค่า 96.96 91.19 86.50 82.21 และ 80.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาการดูดซับน้ำของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม สามารถกล่าวได้ว่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณอัตราส่วนผสมของก้อนเชื้อเห็ดเก่า โดยชุดการทดลองที่ 1 ที่ใช้อัตราส่วนผสมของก้อนเชื้อเห็ดเก่าเพียงอย่างเดียว และมีทะลายปาล์มที่เป็นตัวช่วยประสาน กาวแบ่งเปือกที่เป็นตัวประสานทำให้ยึดเกาะกันแน่น จึงทำให้กระถางต้นไม้มีการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Department of Land Development [8] และ Sanguansuk [9] ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 6 มีอัตราส่วนผสมกากตะกอนโรงงานยางพาราเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ลักษณะโครงสร้างของกระถางมีผิวที่ขรุขระ เกิดรอยแตก ทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยลง แต่หากมีการผสมวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดในการผลิตกระถางจะทำให้กระถางมีค่าการดูดซับน้ำของกระถางในปริมาณที่มากย่อมมีผลต่อการกักเก็บน้ำทำให้ประหยัดน้ำที่ใช้ในการรดน้ำของกระถางต้นไม้อีกด้วย

3.2 การพองตัวของกระถางต้นไม้ ผลการศึกษาค่าการพองตัวของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราและวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าการพองตัวมากที่สุด รองลงมา คือ การทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 81.93 73.49 69.11 65.88 54.69 และ 53.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการพองตัวของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม มีการพองตัวเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ซึ่งชุดการทดลองที่ 1 มีค่าการพองตัวที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ เนื่องจากมีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดมากจึงส่งผลต่อการพองตัวของกระถางต้นไม้จนทำให้เกิดช่องว่างให้น้ำแทรกเข้าไปอยู่ในชั้นส่วนของกระถางได้มากจนเกิดการดันตัวของวัสดุบีบออกมาทำให้เกิดการพองตัวมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Sanguansuk [9] และ Kaewchuea & Kiatnukul [10] ที่พบว่า เมื่อนำกระถางต้นไม้จากขี้เลื่อยมาทดสอบจะมีปริมาณของช่องว่างวัสดุมากจนทำให้น้ำแทรกเข้าไปในวัสดุที่อยู่ในเนื้อชั้นส่วนวัสดุได้มากทำให้น้ำเกิดการดันตัวของชั้นส่วนออกมาทำให้เกิดการพองตัวได้มากขึ้น

3.3 การเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม ผลการศึกษากการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม โดยได้ทำการปลูกต้นพริกแล้วรดน้ำในแต่ละวันในปริมาณ 500 มิลลิลิตรต่อต้น พบว่า การเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ จากการเก็บข้อมูลระยะเวลา 90 วัน กระถางต้นไม้ทุกชุดการทดลอง มีแนวโน้มการเสื่อมสภาพตามระยะเวลาเมื่อศึกษาลักษณะการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ พบว่า มีการพองตัวและแตกเป็นชิ้น และเมื่อระยะเวลา 15 วัน กระถางต้นไม้จากการปลูกต้นพริก มีแนวโน้มการแตกตัวมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sanguansuk [9] ที่พบว่า กระถางจากกากตะกอนโรงงานยางพาราและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้มีการเสื่อมสภาพกระถางเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการย่อยสลายนานขึ้น

สรุป

การผลิตกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม โดยทำการศึกษาทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ซึ่งใช้แก้วแบ่งเปียกเป็นตัวประสานและใช้ทะลายปาล์มเป็นตัวช่วยประสานในอัตราส่วนผสมกากตะกอนโรงงานยางพารา : วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ได้แก่ 0 : 100 20 : 80 40 : 60 60 : 40 80 : 20 และ 100 : 0 และนำไปขึ้นรูปกระถาง ปรากฏผลการศึกษาดังนี้ 1) ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชื้นเหมาะสำหรับการปลูกพืชและมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 2) คุณลักษณะทางกายภาพของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม พบว่า กระถางชุดการทดลองที่ 1 (0 : 100) ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดเพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 246.67 กรัม รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 มีน้ำหนักค่าเฉลี่ยเท่ากับ 243.33 226.67 186.67 183.33 และ 176.67 กรัม ตามลำดับ และกระถางสามารถขึ้นรูปได้ทุกชุดการทดลอง โดยกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราและวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด ชุดการทดลองที่ 1 กระถางสามารถขึ้นรูปได้ดี กระถางแข็งแรงทนทานและมีผิวเรียบเนียน 3) คุณสมบัติของกระถางต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์ม พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้จริง มีค่าการดูดซับน้ำ 99.18 เปอร์เซ็นต์ ค่าการพองตัว 81.93 เปอร์เซ็นต์ และการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้เกิดได้ช้าที่สุด ส่วนกระถางต้นไม้ชุดการทดลองที่ 6 มีการเสื่อมสภาพได้เร็วที่สุดเนื่องจากมีส่วนผสมของกากตะกอนโรงงานยางพาราในปริมาณมากโดยมีลักษณะของกากตะกอนที่หยาบกว่าวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด

References

- [1] Onman, P. (2018). Bioplastic innovation. *Journal of Department of Science Service*, 66(208), 10–11.
- [2] Vejchaprasit, T. (2013). Microbes and plastics. *The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology Magazine (IPST Magazine)*, 41(182), 10–12.
- [3] Duangsri, C., & Raksajit, W. (2016). Polyhydroxyalkanoates: an alternative biomaterial for renewable plastic. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 7(2), 414–423.
- [4] Piyang, T., Chaichan, W., & Sagulsawasdiapan, K. (2018). Environment-friendly plant pot production from palm oil sludge and mushroom cultured waste. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 10(3), 497–511.
- [5] Department of Agriculture. (2012). Bags of old mushroom spores are useful or harmful. *Udon Thani agricultural news* (Online). Retrieved January 22, 2020, from <http://www.wangsammo. Udonthani.doae.go.th/km%2001%2055.pdf>.
- [6] The Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis*. (17th Ed). AOAC International. Gaithersburg, MD, Maryland, USA.

- [7] Thai Industrial Standards Institute (TISI). (2005). *Thai industrial standards for fertilizer, TIS. 75-2548 B.E., Industrial Notification No. 3327* (Online). Retrieved December 20, 2019, from http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS75-2548.pdf.
- [8] Department of Land Development. (2010). *Soil chemical inspection analysis process* (Online). Retrieved December 22, 2019, from <http://www.ddd.go.th/pnpa/2553/manualosd-03.pdf>.
- [9] Sanguansuk, P. (2009). *Development of molded-pulp pot packaging from palm oil sludge and activated sludge cake for plant seedlings*. Master's Thesis. Kasetsart University.
- [10] Kaewchuea, P., & Kiatnukul, W. (2011). *Project for the development of plant pots from sawdust*, In *The 8th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference*, December 8-9, 2011, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Prathom: Kasetsart University.

ปริมาณฟีนอลิกรวมฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ของสารสกัดรากมะปูด

Total Phenolic Content, Antioxidant and Antityrosinase Activities of *Garcinia dulcis* Root Extract

ปริชาติ เทพทอง^{1*} และฐิติยา ลูกแป้น²

Parichat Thepthong^{1*} and Titiya Lookpan²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อย (A-J) รากมะปูด ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบเอทานอล รากมะปูดมีปริมาณฟีนอลิกรวม 338.42 ± 6.08 mg GAE/g Extract แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (IC_{50} 71.07 ± 0.02 μ g/ml) ABTS (IC_{50} 28.08 ± 0.01 μ g/ml) และสามารถรีดิวซ์เหล็กเฟอริก (235.40 ± 3.44 mg AAE/g Extract) ได้ในระดับดี และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ (IC_{50} 354.15 ± 0.13 μ g/ml) โดยส่วนสกัดย่อย E และ I แสดงฤทธิ์ได้ดีที่สุดและดีกว่าสารสกัดหยาบ ซึ่งสารหลักที่แยกได้จากส่วนสกัดย่อย E คือ 12b-hydroxy-des-D-garcigerin A และ Globuxanthone สารหลักที่แยกได้จากส่วนสกัดย่อย I คือ Symphoxanthone ผลการศึกษายังชี้ว่าส่วนสกัดย่อยรากมะปูดเป็นแหล่งของสารที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางได้

คำสำคัญ: ฟีนอลิก สารต้านออกซิเดชัน ฤทธิ์ต้านเอนไซม์ไทโรซิเนส มะปูด

Abstract

The objective of this study is to investigate total phenolic content, antioxidant and antityrosinase activities of *G. dulcis* root extract and fractions (A-J). It found that the total phenolic content of the crude extract was 338.42 ± 6.08 mg GAE/g extract. The extract showed good activity against DPPH (IC_{50} 71.07 ± 0.02 μ g/ml), ABTS (IC_{50} 28.08 ± 0.01 μ g/ml) and good ferric reducing antioxidant power (235.40 ± 3.44 mg AAE/g extract). It also showed inhibitory activity toward tyrosinase enzyme (IC_{50} 354.15 ± 0.13 μ g/ml). Fractions E and I showed better activity than the extract and other fractions in all tested. 12b-hydroxy-des-D-garcigerin A and globuxanthone are major components from fraction E and symphoxanthone was obtained from fraction

¹ อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาตรี หลักสูตร วท.บ. (เคมี), สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210, Thailand

² Undergraduate Student, B.Sc. in Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 08-6686-4300. E-mail address: tsu_parichat@hotmail.com

I. The result indicated that fraction from *G. dulcis* root extract is a natural antioxidant and antityrosinase source with potential for use as active ingredients in cosmetics.

Keywords: Phenolic, Antioxidant, Antityrosinase, *Garcinia dulcis*

บทนำ

อนุมูลอิสระที่มีมากเกินไปในร่างกาย ก่อให้เกิดภาวะที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ผิวหมองคล้ำ ริ้วรอย จุดด่างดำ และอาจสร้างความเสียหายต่อส่วนประกอบของเซลล์ ดีเอ็นเอ โปรตีน และเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เกิดโรคได้หลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง ต้อกระจก จอประสาทตาเสื่อม เป็นต้น อนุมูลอิสระที่มากเกินไปนี้เป็นผลมาจากการดำรงชีวิตท่ามกลางมลพิษ แสงแดด และความเครียด เป็นช่วงเวลานาน มีงานวิจัยระบุว่า การได้รับแสงแดดที่แรงเป็นเวลานานยังส่งผลกระทบต่อการทำงานของไซโตไคน์ ซึ่งสารชนิดนี้มีส่วนช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีส่วนทำให้เกิดการสังเคราะห์เม็ดสีเมลานิน ถ้าผิวหนังมีปริมาณเมลานินมากเกินไป จะส่งผลให้เกิดผิวหมองคล้ำ จุดด่างดำ กระ และฝ้า [1] การป้องกันการเกิดผิวหมองคล้ำทำได้โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ช่วยป้องกันแสงแดดและทำให้ผิวดูกระจ่างใส ซึ่งปัจจุบันมีเครื่องสำอางหลายชนิดที่สามารถป้องกันแสงแดด ชะลอการเกิดริ้วรอย และทำให้ผิวกระจ่างใส โดยนำสารสกัดจากธรรมชาติที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระและสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

มะพลูด (*Garcinia dulcis* Kurz.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางในวงศ์ Clusiaceae มีลักษณะต้นคล้าย มังคุด อาจรู้จักในชื่อท้องถิ่นอื่น ๆ เช่น ตะพลูด จำปูด ปะพลูด พะวาใบใหญ่ เป็นต้น พบมากในป่าดิบชื้นและพื้นที่ริมน้ำในป่าเบญจพรรณทางภาคตะวันออก ผลมะพลูดมีสรรพคุณแก้อาการไอ เจ็บคอ ขับเสมหะ เป็นยาระบายอ่อนๆ ขับถ่ายโลหิตเสียแก้อาการช้ำใน ส่วนรากเป็นยาแก้ไข้แก้ร้อนใน ช่วยถอนพิษ [2] การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในส่วน ดอก ใบ กิ่ง ผล เมล็ด เปลือกต้น และรากของมะพลูด พบสารประเภทฟีนอลิก กลุ่มแซนโทน (Xanthones) เป็นสารหลักและรองลงมาก็คือสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) โดยในส่วนรากยังมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีค่อนข้างน้อย และสารที่พบในส่วนรากมีรายงานเพียงสารกลุ่มแซนโทน เท่านั้น [3,4] ซึ่งสารกลุ่มนี้ แสดงฤทธิ์ทางชีวภาพได้อย่างหลากหลาย เช่น ฤทธิ์ต้านมะเร็ง ด้านการอักเสบ ด้านจุลชีพ ด้านออกซิเดชัน ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และต้านเชื้อ HIV [5] เป็นต้น สารสกัดหลายชนิดที่มีสารประเภทฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบมีฤทธิ์ด้านออกซิเดชันที่ดีและยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้อีกด้วย เช่น การรายงานฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดกิ่งและรากของมัลเบอร์รี่ [6] และเมล็ดลิ้นจี่ [7]

ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของส่วนดอก ผล และเมล็ดมะพลูด [8-10] แต่ยังไม่มียาการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพในส่วนราก ประกอบกับข้อมูลของสารองค์ประกอบที่พบในส่วนรากนั้น เป็นสารฟีนอลิกกลุ่มแซนโทน [3-4] ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านออกซิเดชัน และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดรากมะพลูดที่พบในภาคใต้ของประเทศไทย เพื่อประเมินศักยภาพของสารสกัดรากมะพลูดในการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านเครื่องสำอางต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีและวัสดุ

เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน อะซิโตน และ เอทานอล (เกรดอุตสาหกรรม โดยนำมากลั่นก่อนใช้) Silica Gel C60 จากบริษัท Silicycle; Silica Gel 100, TLC Aluminum Plate, Folin-Ciocalteu Reagent, Abs. Ethanol, Potassium Peroxodisulfate และ Ascorbic Acid จากบริษัท Merck; 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ), ABTS-(NH₄)₂, Tyrosinase f. Mushroom Lyophilized Powder, L-DOPA และ Gallic Acid จากบริษัท Sigma-Aldrich

การเตรียมตัวอย่างพืช

ตัวอย่างรากมะพูด (*Garcinia dulcis* Kurz) จาก อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช ซึ่งเก็บมาจากต้นที่ผ่านการขึ้นย่นชนิดพืชโดยผู้เชี่ยวชาญด้านพืชจากภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์แล้ว (หมายเลขตัวอย่าง 0012652 เก็บในพิพิธภัณฑ์พืช ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) นำมาล้างและสับเป็นชิ้นขนาดเล็ก ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม นำไปบดให้เป็นชิ้นขนาดเล็กลงและวางในที่ร่มจนมีน้ำหนักคงที่

การเตรียมสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อย

นำรากมะพูดบดแห้ง น้ำหนัก 682.59 กรัม มาสกัดด้วยเอทานอลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน กรองสารละลายและระเหตั่วที่ละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดัน แบ่งสารสกัดหยาบน้ำหนัก 25.05 กรัม มาแยกเป็นส่วนย่อยด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว โดยใช้ซิลิกาเจล C60 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 0-50 % เอทานอลในไดคลอโรมีเทนเป็นตัวเคลื่อนที่ วิเคราะห์ส่วนย่อยที่ได้ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแผ่นบาง และนำส่วนย่อยที่มีลักษณะโครมาโทแกรมเหมือนกันรวมเข้าด้วยกันได้เป็นส่วนสกัดย่อยจำนวน 10 ส่วน (A-J)

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม

ดัดแปลงวิธีจาก Singleton และคณะ [11] โดยการสร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 100 80 60 40 20 10 5 และ 2.5 mg/ml และเตรียมสารตัวอย่างความเข้มข้น 10 mg/ml ในเอทานอล วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวมทำโดยนำสารตัวอย่าง ปริมาตร 0.5 ml มาเติม 10 % Folin - Ciocalteu Reagent ปริมาตร 2.5 ml ผสมให้เข้ากัน และวางทิ้งไว้ 8 นาที จากนั้นเติม 20 % Sodium Carbonate ปริมาตร 2 ml ผสมให้เข้ากัน และวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที (ชุดควบคุมเตรียมโดยการเติมเอทานอลแทนสารตัวอย่าง) นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ทำซ้ำ 3 ชุดการทดลอง และคำนวณปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัด 1 กรัม (mg GAE/g Extract) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH Assay

ดัดแปลงตามวิธีของ Manok และ Limcharoen (2015) [12] โดยเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 M และ สารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 1.0-0.1 mg/ml (Stock Solution) การทดสอบทำโดยการนำสารละลาย DPPH ปริมาตร 3 ml ผสมกับสารตัวอย่าง ปริมาตร 100 μ l และวางในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที (ชุดควบคุมเตรียมโดยการเติมเอทานอลแทนสารตัวอย่าง) นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm (A_{sample}) ทำซ้ำ 3 ชุดการทดลอง ใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐาน และคำนวณ

หาร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากสูตร

$$\% \text{ การต้านอนุมูลอิสระ DPPH} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}})/A_{\text{control}}] \times 100$$

นำค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระมาเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้นในหลอดทดลอง โดยแกน X เป็นความเข้มข้นในหลอดทดลอง แกน Y เป็นค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ และใช้สมการเส้นตรงคำนวณค่า IC_{50}

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS Assay

ดัดแปลงตามวิธีของ Re และคณะ [13] โดยเตรียมสารละลาย ABTS⁺ (นำสารละลาย 7 mM ABTS และ 2.45 mM K₂S₂O₈ ผสมในอัตราส่วน 2:1 และวางไว้ในที่มืด 15 ชั่วโมง และทำการเจือจางสารละลาย ABTS⁺ ด้วยเอทานอล ให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm ในช่วง 0.7 ± 0.03) เตรียมสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 1.0-0.1 mg/ml (Stock Solution) การทดสอบทำโดยนำสารละลาย ABTS⁺ ปริมาตร 0.9 ml มาผสมกับสารตัวอย่างปริมาตร 0.1 ml วางทิ้งไว้ 6 นาที (ชุดควบคุมเตรียมโดยการเติมเอทานอลแทนสารตัวอย่าง) นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm (A_{sample}) ทำซ้ำ 3 ชุดการทดลอง ใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐาน และคำนวณหาร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ ABTS จากสูตร

$$\% \text{ การต้านอนุมูลอิสระ ABTS} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}})/A_{\text{control}}] \times 100$$

นำค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระมาเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้นในหลอดทดลอง โดยแกน X เป็นความเข้มข้นในหลอดทดลอง แกน Y เป็นค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ และใช้สมการเส้นตรงคำนวณค่า IC_{50}

การทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริกโดยวิธี FRAP Assay

ดัดแปลงตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996) [14] โดยการสร้างกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 100, 80, 60, 40 และ 20 mg/ml นำสารละลาย FRAP Reagent 290 μ l (เตรียมโดยนำ Acetate Buffer pH 3.6 มาผสมกับสารละลาย Ferric Chloride และ สารละลาย 2,4,6-tri-2-pyridyl-2-triazine (TPTZ) อัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ) ผสมกับสารตัวอย่างความเข้มข้น 1.0-0.1 mg/ml (Stock Solution) ปริมาตร 10 μ l ในถาดหลุม 96-well วางไว้ 5 นาที และนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm (ชุดควบคุมเตรียมโดยใช้เอทานอลแทนสารตัวอย่าง) ทำซ้ำ 3 ชุดการทดลอง โดยมี BHT เป็นสารมาตรฐาน และคำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริก (FRAP Value) โดยเปรียบเทียบค่ากับกราฟมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิกและรายงานค่า FRAP Value ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักสารสกัด 1 กรัม (mg AAE/g Extract)

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

ทดสอบด้วยวิธี Dopachrome โดยใช้ L-DOPA เป็นสารตั้งต้น ดัดแปลงตามวิธีของ Alam และคณะ [15] โดยนำสารละลาย Phosphate Buffer (pH 6.8) ปริมาตร 80 μ l มาผสมกับสารละลายเอนไซม์ไทโรซิเนส ความเข้มข้น 100 unit/ml ปริมาตร 40 μ l และสารละลายตัวอย่าง (ความเข้มข้น 7.5-0.5 mg/ml ละลายใน 20% EtOH) ปริมาตร 40 μ l ในถาดหลุม 96-well นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 3 mM L-DOPA ปริมาตร 40 μ l ผสมให้เข้ากัน แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C 20 นาที นำสารละลาย

ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 nm ด้วยเครื่อง Microplate Reader ทำซ้ำ 3 ชุดการทดลอง โดยมีกรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐาน นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาคำนวณค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส จากสูตร

$$\% \text{ การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส} = [(A-B)-(C-D)] / (A-B) \times 100$$

- เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง (ใส่แทนด้วยตัวทำละลาย) และมีเอนไซม์
B คือ ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง และไม่มีเอนไซม์ (ใส่แทนด้วยตัวทำละลาย)
C คือ ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารทดสอบ และมีเอนไซม์
D คือ ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารทดสอบ และไม่มีเอนไซม์ (ใส่แทนด้วยตัวทำละลาย)

นำค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสมาเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้นของสารตัวอย่างในถาดหลุม โดยแกน X เป็นความเข้มข้นในถาดหลุม แกน Y เป็นค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และใช้สมการเส้นตรงคำนวณหาค่า IC_{50}

การแยกสารบริสุทธิ์ของส่วนสกัดย่อย

นำส่วนสกัดย่อย E และ I ซึ่งแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ในระดับดี มาแยกให้เป็นสารบริสุทธิ์ โดยส่วนสกัดย่อย E (1.19 g) นำมาแยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ (CC) โดยใช้ซิลิกาเจล 100 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 20 % อะซิโตนในเฮกเซนเป็นตัวเคลื่อนที่ สามารถแยกเป็นส่วนย่อยได้จำนวน 6 ส่วน (E1-E6) โดยส่วนย่อย E4 (0.29 g) ซึ่งเป็นส่วนที่มีสารองค์ประกอบหลัก (Major compound) นำมาแยกให้ได้สารหลักที่บริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค CC โดยใช้ซิลิกาเจล 100 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 15 % อะซิโตนในเฮกเซนเป็นตัวเคลื่อนที่ ได้ผลิตภัณฑ์เหลืองส้มซึ่งเป็นสารบริสุทธิ์ 1 (16 mg) ส่วนย่อย E6 (0.22 g) นำมาแยกด้วยเทคนิค CC โดยใช้ซิลิกาเจล 100 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 20 % อะซิโตนในเฮกเซนเป็นตัวเคลื่อนที่ ได้ส่วนย่อย 3 ส่วน (E6.1-E6.3) นำส่วนย่อย E6.2 (0.10 g) มาแยกด้วยเทคนิค CC อีกครั้ง โดยใช้ซิลิกาเจล 100 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 15 % อะซิโตนในเฮกเซนเป็นตัวเคลื่อนที่ ได้สารบริสุทธิ์ 2 (9 mg) ซึ่งเป็นของแข็งสีเหลือง

นำส่วนสกัดย่อย I (1.95 g) มาแยกด้วยเทคนิค CC โดยใช้ซิลิกาเจล 100 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 35 % อะซิโตนในเฮกเซนเป็นตัวเคลื่อนที่ สามารถแยกเป็นส่วนย่อยได้จำนวน 5 ส่วน (I1-I5) โดยส่วนย่อย I3 (0.38 g) มีสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก จึงนำมาแยกต่อด้วยเทคนิค CC โดยใช้ซิลิกาเจล 100 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 30 % อะซิโตนในเฮกเซนเป็นตัวเคลื่อนที่ ได้ของแข็งสีเหลืองซึ่งเป็นสารบริสุทธิ์ 3 (12 mg) ในขณะที่ส่วนสกัดย่อย J (2.35 g) ซึ่งแสดงฤทธิ์ในระดับดี ไม่ได้นำมาแยกหาสารบริสุทธิ์ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC ไม่ปรากฏสารหลักที่ชัดเจน

ผลการทดลอง

رقامะพุดแห้งน้ำหนัก 682.59 กรัม นำไปสกัดด้วยเอทานอล ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน หลังจากระเหยตัวทำละลายออก ได้สารสกัดหยาบที่มีลักษณะเป็นของหนืดสีน้ำตาลดำ น้ำหนัก 64.30 กรัม คิดเป็นร้อยละ 9.42 เมื่อแบ่งสารสกัดหยาบน้ำหนัก 25.05 กรัม มาแยกให้เป็นส่วนย่อยด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว โดยใช้ซิลิกาเจล ชนิด C60 เป็นตัวอยู่กับที่ และใช้ 0-50 % เอทานอลในไดคลอโรมีเทนเป็นตัวเคลื่อนที่ ได้ส่วนสกัดย่อยจำนวน 10 ส่วน (A-J)

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อยรากมะพูดโดยใช้ Folin-Ciocalteu Assay สามารถคำนวณเทียบปริมาณฟีนอลิกได้จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก $y = 0.002x + 0.2867$ ($R^2 = 0.9979$) ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบรากมะพูดเท่ากับ 338.42 ± 6.08 mg GAE/g Extract และของส่วนสกัดย่อยในช่วง 24.65-892.09 mg GAE/g Extract ดังแสดงในตารางที่ 1

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อยโดยวิธี DPPH และ ABTS Assay ดังตารางที่ 1 พบว่า สารสกัดหยาบแสดงฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 71.07 ± 0.02 μ g/ml และ $28.080.01$ μ g/ml ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (IC_{50} : DPPH 11.44 ± 0.02 μ g/ml, ABTS $2.700.02$ μ g/ml) อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การทดสอบฤทธิ์ของส่วนสกัดย่อย A-J ที่ความเข้มข้น 1.0-0.1 mg/ml (Stock Solution) พบว่าส่วนสกัดย่อย E แสดงฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ได้ดีที่สุดด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 29.7 ± 0.05 μ g/ml และ 7.90 ± 0.02 μ g/ml ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริก (FRAP Value) ของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อย ที่ความเข้มข้น 1.0-0.1 mg/ml (Stock Solution) สามารถคำนวณค่า FRAP Value ได้จากการเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก $y = 0.5518x + 0.218$ ($R^2 = 0.9988$) ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่า FRAP Value ของสารสกัดหยาบ เท่ากับ 235.40 ± 3.44 mg AAE/g Extract ในขณะที่ส่วนสกัดย่อยมีค่า FRAP Value ในช่วง 47.35-686.96 mg AAE/g Extract โดยส่วนสกัดย่อย E แสดงความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริกได้ดีที่สุด (686.96 ± 9.24 mg AAE/g Extract) และดีกว่าสารสกัดหยาบ 3 เท่า แต่ฤทธิ์ยังดีกว่า BHT ($1,045.00 \pm 10.63$ mg AAE/g Extract) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดรากมะพูด

สารตัวอย่าง	Phenolic Content (mg GAE/g Extract)	DPPH Assay IC_{50} (μ g/ml)	ABTS Assay IC_{50} (μ g/ml)	FRAP Assay (mg AAE/g Extract)	Anti-tyrosinase Activity IC_{50} (μ g/ml)
สารสกัดหยาบ	338.42 ± 6.08	71.07 ± 0.02	28.08 ± 0.01	235.403.44	354.15 ± 0.13
ส่วนย่อย A	24.65 ± 2.11	ND	ND	47.35 ± 2.61	ND
ส่วนย่อย B	147.73 ± 7.38	ND	42.09 ± 0.01	178.44 ± 3.22	ND
ส่วนย่อย C	246.21 ± 5.62	70.18 ± 0.02	35.43 ± 0.06	189.80 ± 4.96	ND
ส่วนย่อย D	398.15 ± 12.04	54.46 ± 0.02	26.47 ± 0.03	292.52 ± 5.32	692.72 ± 1.23
ส่วนย่อย E	892.09 ± 18.96	29.79 ± 0.05	7.90 ± 0.02	686.96 ± 9.24	324.56 ± 0.29
ส่วนย่อย F	389.27 ± 9.18	60.38 ± 0.08	15.47 ± 0.01	272.60 ± 1.28	444.23 ± 0.64
ส่วนย่อย G	369.08 ± 10.03	74.24 ± 0.01	23.00 ± 0.01	255.92 ± 4.91	394.04 ± 0.42
ส่วนย่อย H	387.15 ± 12.14	63.30 ± 0.05	19.61 ± 0.02	269.76 ± 3.74	330.56 ± 0.19
ส่วนย่อย I	467.43 ± 14.63	47.98 ± 0.04	11.70 ± 0.01	321.68 ± 4.88	32.20 ± 0.30
ส่วนย่อย J	455.46 ± 13.56	49.66 ± 0.02	12.53 ± 0.02	317.56 ± 3.69	50.00 ± 0.49

ตารางที่ 1 ปริมาณฟีนอลิกฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดรากมะพูด (ต่อ)

สารตัวอย่าง	Phenolic Content (mg GAE/g Extract)	DPPH Assay IC ₅₀ (μg/ml)	ABTS Assay IC ₅₀ (μg/ml)	FRAP Assay (mg AAE/g Extract)	Anti-tyrosinase Activity IC ₅₀ (μg/ml)
กรดแอสคอร์บิก	-	11.44 ± 0.02	2.70 ± 0.02	-	33.82 ± 0.23
BHT	-	-	-	1,045.00 ± 10.63	-

ND คือ ไม่สามารถหาค่า IC₅₀ ได้ที่ความเข้มข้นที่ทดสอบ - คือ ไม่ได้ทำการทดสอบ

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดรากมะพูดที่ความเข้มข้น 7.5-0.5 mg/ml (Stock solution) พบว่าสารสกัดหยาบแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ด้วยค่า IC₅₀ เท่ากับ 354.15 ± 0.13 μg/ml โดยส่วนสกัดย่อย I มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงสุด ด้วยค่า IC₅₀ เท่ากับ 32.20 ± 0.30 μg/ml ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าสารสกัดหยาบ และมีศักยภาพใกล้เคียงกับกรดแอสคอร์บิก (IC₅₀ 33.82 ± 0.23 μg/ml)

การนำส่วนสกัดย่อย E และ I ซึ่งแสดงฤทธิ์ได้ดีและมีสารหลักที่มองเห็นบนแผ่น TLC อย่างชัดเจน มาแยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี ได้สารบริสุทธิ์จำนวน 3 สาร (สาร 1-3) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลทางสเปกโทรสโกปีดังนี้

สาร 1 เป็นผลึกสีเหลืองส้ม (m.p. 200-201°C) ข้อมูล UV (EtOH) λ_{max} (nm) (logE) : 238 (2.09), 255 (1.42), 317 (0.86) ข้อมูล FT-IR (Neat) ν (cm⁻¹) : 3541 (O-H ยืด), 1685 (C=O ยืด) ข้อมูล ¹H NMR (Acetone-d₆, 300 MHz) : δ 12.75 (OH-1, s); 7.28 (H-3, s); 7.22 (H-6, dd, 7.8, 2.1 Hz); 7.15 (H-7, t, 7.8 Hz); 7.56 (H-8, dd, 7.8, 2.1 Hz); 6.18 (H-2', dd, 17.4, 10.5 Hz); 4.87 (H-3' cis, dd, 10.5, 1.2 Hz), 4.90 (H-3' trans, dd, 17.4, 1.2 Hz); 1.40 (CH₃-1', s)

สาร 2 เป็นของแข็งสีเหลือง (m.p. 222-223°C) ข้อมูล UV (EtOH) λ_{max} (nm) (logE) : 248 (0.99), 313 (0.53), 367 (0.28) ข้อมูล FT-IR (Neat) ν (cm⁻¹) : 3502 (O-H ยืด), 1730 (C=O ยืด) ข้อมูล ¹H NMR (Acetone-d₆, 300 MHz) : δ 12.57 (OH-1, s); 7.36 (H-3, s); 7.24 (H-6, dd, 7.8, 1.5 Hz); 7.18 (H-7, t, 7.8 Hz); 7.68 (H-8, dd, 7.8, 1.5 Hz), 6.31 (H-2', dd, 17.4, 10.5 Hz); 5.12 (H-3' cis, dd, 10.5, 1.2 Hz), 5.26 (H-3' trans, dd, 17.4, 1.2 Hz); 1.45 (CH₃-1', s)

สาร 3 เป็นของแข็งสีเหลือง (m.p. 210-211°C) ข้อมูล UV (EtOH) λ_{max} (nm) (logE) : 250 (2.70), 322 (0.84) ข้อมูล FT-IR (Neat) ν (cm⁻¹) : 3304 (O-H ยืด), 1598 (C=O ยืด) ข้อมูล ¹H NMR (Acetone-d₆, 300 MHz) : δ 12.77 (OH-1, s); 7.3 (H-3, s); 6.97 (H-7, d, 9.0 Hz); 7.73 (H-8, d, 9.0 Hz); δ 6.41 (H-2', dd, 17.4, 10.5 Hz); 5.18 (H-3' cis, dd, 10.5, 1.2 Hz); 5.34 (H-3' trans, dd, 17.4, 1.2 Hz); 1.58 (CH₃-1', s)

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

การประเมินประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบเอทานอลรากมะพูดและส่วนสกัดย่อยในการต้านการออกซิเดชันและยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อย ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มสารที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดดเด่นกว่าสารจากธรรมชาติใน

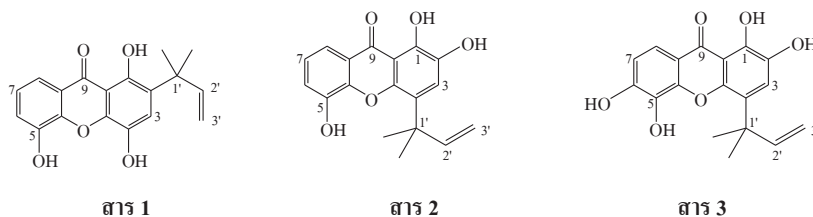
กลุ่มอื่นๆ นั่นคือความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจะขึ้นกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดนั้น จากการศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อยรากมะพลูดมีสมบัติที่ดีในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยสารสกัดหยาบมีปริมาณฟีนอลิกรวมเท่ากับ 338.42 ± 6.08 mg GAE/g Extract ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณฟีนอลิกรวมในผลมะขามป้อม (260.20 mg GAE/g dw) [16] และปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัด 80 % เมทานอลเปลือกผลมะพลูด (56.52 mg GAE/g Extract) [17] โดยค่าตัวเลขมีความแตกต่างกับสารสกัดเปลือกผลมะพลูดค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากวิธีการทดลอง อายุของพืชตัวอย่าง และส่วนของพืชที่นำมาศึกษามีความแตกต่างกัน ในขณะที่ส่วนสกัดย่อย D-J ซึ่งเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์ด้วยตัวเคลื่อนที่มีสภาพขี้ในช่วง 2-50 % เอทานอลในโครมโทโรมีเทน มีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าสารสกัดหยาบ โดยส่วนสกัดย่อย E มีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด (892.09 ± 18.96 mg GAE/g Extract)

ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อย A-J ด้วยวิธี DPPH ABTS และ FRAP Assay (ตารางที่ 1) พบว่า สารสกัดหยาบแสดงประสิทธิภาพในการให้ไฮโดรเจนเรดิคัล ($H^{\cdot}$) หรือเข้าร่วมตัวกับอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ได้ในระดับดี ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 71.07 ± 0.02 μ g/ml และ 28.08 ± 0.01 μ g/ml ตามลำดับ บ่งชี้ว่าสารสกัดหยาบเอทานอลรากมะพลูดน่าจะมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเมื่อทดสอบกับส่วนสกัดย่อยพบว่าส่วนสกัดย่อย E ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด มีสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ลดลงร้อยละ 50 ปริมาณมากที่สุด ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 29.79 ± 0.05 μ g/ml และ 7.90 ± 0.02 μ g/ml ตามลำดับ ซึ่งแสดงฤทธิ์ได้ดีกว่าสารสกัดหยาบประมาณ 2.5 เท่า และ 3.5 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ส่วนสกัดย่อย E ยังคงมีประสิทธิภาพด้อยกว่าสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (IC_{50} เท่ากับ 11.44 ± 0.02 μ g/ml และ 2.70 ± 0.02 μ g/ml ตามลำดับ) นั่นคือน่าจะมีสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีเป็นองค์ประกอบอยู่ในส่วนสกัดย่อย E ซึ่งประสิทธิภาพในการให้ไฮโดรเจนเรดิคัลของสารฟีนอลิกในส่วนสกัดย่อย E ยังให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริก ด้วยวิธี FRAP Assay ซึ่งส่วนสกัดย่อย E มีความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริกได้ดีที่สุด โดยวิเคราะห์จากการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ Fe^{3+} -TPTZ ไปเป็น Fe^{2+} -TPTZ ถ้าสารที่ทดสอบสามารถให้อิเล็กตรอนได้ดี ก็จะทำให้เหล็กเฟอริกเกิดการรีดักชันได้มาก ค่า FRAP Value ก็สูง โดยส่วนสกัดย่อย E มีค่า FRAP Value เท่ากับ 686.96 ± 9.24 mg AAE/g Extract ซึ่งสูงกว่าค่า FRAP Value ของสารสกัดหยาบ (235.40 ± 3.44 mg AAE/g Extract) และจากตัวเลขค่า FRAP Value ของส่วนสกัดย่อย E ที่ค่อนข้างสูง แสดงให้ทราบว่าส่วนสกัดย่อย E มีสารองค์ประกอบที่มีศักยภาพที่ดีมากในการต้านออกซิเดชันหรือเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี (ผลสอดคล้องกับการทดสอบโดยวิธี DPPH และ ABTS Assay) ซึ่งส่วนสกัดย่อย E แสดงฤทธิ์ด้อยกว่าสารมาตรฐาน BHT ($1,045.00 \pm 10.63$ mg AAE/g Extract) เพียง 1.5 เท่า เท่านั้น

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อยรากมะพลูด ด้วยวิธี DOPACHrome โดยใช้ L-DOPA เป็นสารตั้งต้น ซึ่งเอนไซม์ไทโรซิเนสจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเปลี่ยน L-DOPA เป็น DOPAquinone และ DOPAquinone จะถูกเปลี่ยนเป็น DOPACHrome ด้วยกระบวนการ Auto-oxidation [18] ถ้าสารสกัดสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ ก็จะส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์ DOPACHrome ในปริมาณน้อย จากผลการศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ค่อนข้างน้อย ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 354.15 ± 0.13 μ g/ml โดยส่วนสกัดย่อย I มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงสุด ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 32.20 ± 0.30 μ g/ml ซึ่งแสดงฤทธิ์

ได้ดีกว่าสารสกัดหยาบมากกว่า 10 เท่า และยังแสดงฤทธิ์ได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิก (IC_{50} 33.82 ± 0.23 $\mu\text{g/ml}$) อีกด้วย และจากผลการศึกษาทำให้ทราบว่า การนำสารสกัดรากมะพูดไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดควรที่จะทำการแยกเป็นส่วนสกัดย่อยก่อนการนำไปใช้เพื่อเป็นการกำจัดสารที่มีขั้วต่ำที่อาจไม่ใช่สารประเภทฟีนอลิกออกไป

ผลการทดสอบฤทธิ์พบว่า ส่วนสกัดย่อยที่แสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วย นั่นคือส่วนสกัดย่อย E มีศักยภาพสูงที่สุดในการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และยังแสดงฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ในระดับที่น่าพอใจ ในขณะที่ส่วนสกัดย่อย I และ J ก็มีศักยภาพสูงในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส และยังแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้ในระดับที่น่าพอใจอีกด้วย จึงได้นำสารสกัดหยาบ E และ I มาแยกเพื่อเอาสารหลักที่เป็นองค์ประกอบออกมาด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี (ส่วนสกัดย่อย J ไม่ปรากฏสารหลักที่ชัดเจน จึงไม่ได้ทำการแยก) ได้สารที่เป็นของแข็งสีเหลืองจำนวน 3 สาร เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปี (UV IR และ ^1H NMR) และเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัมและจุดหลอมเหลวกับสารที่เคยมีการรายงาน สรุปลงได้ว่า สาร 1 คือ 12b-hydroxy-des-D-garcigerin A สาร 2 คือ Globuxanthone และ สาร 3 คือ Symphoxanthone [5] ซึ่งสารทั้ง 3 เป็นสารฟีนอลิกประเภทแซนโทนที่เคยมีรายงานในส่วนเปลือกต้นมะพูด [2] ดังแสดงโครงสร้างในภาพที่ 1 โดยสารทั้งสามชนิดนี้ มีรายงานว่าแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้ดี แต่ยังไม่มียางานเกี่ยวกับฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส



ภาพที่ 1 โครงสร้างของสารบริสุทธิ์ 1 2 และ 3

การที่ส่วนสกัดย่อย E แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด อาจเนื่องจากมีสาร 1 และ 2 เป็นสารองค์ประกอบหลักซึ่งเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของสารจะเห็นว่าเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในตำแหน่ง 1,2- และ 1,4- (ตำแหน่ง *Ortho* และ *Para*) ซึ่งไฮโดรเจนแรดิคัลบนหมู่ไฮดรอกซิลที่สองตำแหน่งนี้จะหลุดออกได้ง่าย และเมื่อหลุดออกไปแล้วจะเกิดเป็นสารประกอบ *Ortho-quinone* และ *Para-quinone* ที่มีเสถียรภาพ จึงมีความเป็นไปได้ที่สารหลักเหล่านี้จะเป็นสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน ในขณะที่ส่วนสกัดย่อย I ซึ่งมีสาร 3 เป็นสารองค์ประกอบหลักแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีกว่า แต่เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการทำให้ยังไม่ได้นำสารหลักเหล่านี้ไปทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ

การศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวม การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อยรากมะพูด พบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสมีความสอดคล้องกับปริมาณสารฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบ โดยสารสกัดย่อย E, I และ J ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกมากแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้ดี และมีศักยภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีกว่าสารสกัดหยาบและส่วนสกัดย่อยอื่นๆ ซึ่งปริมาณส่วนสกัดย่อยดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 4.75 7.78 และ 9.38

ตามลำดับ ของสารสกัดหยาบ นั้นคือส่วนสกัดย่อยจากมะพุดมีศักยภาพที่ดีหรือมีความเหมาะสมในการนำ
ประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านสุขภาพและเครื่องสำอางต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2561
มหาวิทยาลัยทักษิณ

References

- [1] El-Abaseri, T. B., Hammiller, B., Repertinger, S. K., & Hansen, L. A. (2013). The epidermal growth factor receptor increases cytokine production and cutaneous inflammation in response to ultraviolet irradiation. *ISRN Dermatology*, 2013, 848705. DOI: 10.1155/2013/ 848705.
- [2] Thepthong, P., Phongpaichit, S., Carroll, A. R., Voravuthikunchai, S. P., & Mahabusarakam, W. (2017). Prenylated xanthenes from the stem bark of *Garcinia dulcis*. *Phytochemistry Letters*, 21, 32–37. DOI:10.1016/j.phytol.2017.05.014.
- [3] Iinuma, M., Tosa, H., Ito, T., Tanaka, T., & Riswan, S. (1996). Three new benzophenone-xanthone dimers from the root of *Garcinia dulcis*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 44(9), 1744–1747. DOI:10.1248/cpb.44.1744.
- [4] Iinuma, M., Ito, T., Tosa, H., Tanaka, T., & Riswan, S. (1996). Five new xanthenes from *Garcinia dulcis*. *Journal of Natural Products*, 59(5), 472–475. DOI:10.1021/np960340r.
- [5] Thepthong, P. (2017). *Xanthenes and other phenolics from the stem bark of Garcinia dulcis with antioxidative and antibacterial activities*. Doctoral Dissertation, Prince of Songkla University.
- [6] Chang, L. W., Juang, L. J., Wang, B. S., Wang, M. Y., Tai, H. M., Hung, W. J., Chen, Y. J., & Huang, M. H. (2011). Antioxidant and antityrosinase activity of mulberry (*Morus alba* L.) twigs and root bark. *Food and Chemical Toxicology*, 49(4), 785–790. DOI: 10.1016/ j.fct.2010.11.045.
- [7] Nagendra Prasad, K., Yang, B., Yang, S., Chen, Y., Zhao, M., Ashraf, M., & Jiang, Y. (2009). Identification of phenolic compounds and appraisal of antioxidant and antityrosinase activities from litchi (*Litchi sinensis* Sonn.) seeds. *Food Chemistry*, 116(1), 1–7. DOI: 10.1016/j. foodchem.2009.01.079.
- [8] Deachathai, S., Mahabusarakam, W., Phongpaichit, S., & Taylor, W. C. (2005). Phenolic compounds from the fruit of *Garcinia dulcis*. *Phytochemistry*, 66(19), 2368–2375. DOI:10.1016/j. phytochem.2005.06.025.
- [9] Deachathai, S., Mahabusarakam, W., Phongpaichit, S., Taylor, W. C., Zhang, Y. J., & Yang, C. R. (2006). Phenolic compounds from the flowers of *Garcinia dulcis*. *Phytochemistry*, 67(5), 464–469. DOI: 10.1016/j.phytochem.2005.10.016.

- [10] Deachathai, S., Phongpaichit, S., & Mahabusarakam, W. (2008). Phenolic compounds from the seeds of *Garcinia dulcis*. *Natural Product Research*, 22(15), 1327–1332. DOI: 10.1080/14786410601130406.
- [11] Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. DOI:10.1016/S0076-6879(99)99017-1.
- [12] Manok, S., & Lincharoen, P. (2015). Investigating antioxidant activity by DPPH, ABTS and FRAP assay and total phenolic compounds of herbal extracts in Ya-Hom Thepphachit. *Advanced Science*, 15(1), 106–117.
- [13] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(9-10), 1231–1237. DOI: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3.
- [14] Benzie, I. F., & 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. DOI:10. 1006/abio.1996.0292.
- [15] Alam, N., Yoon, K. N., & Lee, T. S. (2011). Evaluation of the antioxidant and antityrosinase activities of three extracts from *Pleurotus nebrodensis* fruiting bodies. *African Journal of Biotechnology*, 10(11), 2978–2986. DOI: 10.5897/AJB10.2660.
- [16] Pancoke, J., Kerdchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2012). Antioxidant capacity and total phenolics of 3 plant extracts. *Agricultural Science Journal*, 43(2)(suppl.), 381–384.
- [17] Gogoi, N., Gogoi, A., Neog, B., Baruah, D., & Singh, K. D. (2017). Evaluation of antioxidant and hepatoprotective activity of fruit rind extract of *Garcinia dulcis* (Roxburgh) Kurz. *Pharmacognosy Research*, 9(3), 266–272. DOI: 10.4103/0974-8490.210330.
- [18] Ito, S., & Wakamatsu, K. (2008). Chemistry of mixed melanogenesis-pivotal roles of dopaquinone. *Photochemistry and Photobiology*, 84(3), 582–592. DOI: 10.1111/j.1751-1097.2007.00238.x.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

กึ่งนาง บุญเสริม	Kungnang Bunsroem	32
จอมภพ แวศักดิ์	Jompob Waewsak	71
จุฑามาศ แก้วมณี	Jutamas Kaewmanee	84
ชนะ จันทรน้ำ	Chana Chancham	71
ชนิดา กุประดิษฐ์	Chanida Kupradit	32
ชมภูนุช ฮ่องลา	Chompoonuch Khongla	32
ฉานิกา แซ่เง่ ชุกกลิ่น	Chanika Saenge Chooklin	61
ฐิตียา ลูกแป้น	Titiya Lookpan	94
นิโรชานา นิไช้	Nikrosana Niksoh	42
ประสาร อินทเจริญ	Prasarn Intacharoen	1
ปริชาติ เทพทอง	Parichat Thepthong	94
ปัทมา พิศภักดิ์	Pattama Pisapak	23
ปิยะ ผ่านศึก	Piya Phansuke	14, 42
พจิรารัฐ โสลา	Phachirarat Sola	23
พวงทิพย์ แก้วทับทิม	Pungtip Kaewtuptim	42
มูบารัค เล็กเกลี้ยง	Mubarak Lakkiang	14
ฤทธิรอน สำราญ	Rittiron Samran	23
ลัทธวรรณ นิยมธรรม	Latthawan Niyomtham	71
สมเกียรติ ปรัชญาวารากร	Somkiat Prachayawarakorn	49
สมชาติ โสภณรณฤทธิ์	Somchart Soponronnarit	49
สมพล ชีวมงคลกานต์	Somphol Cheewamongkholkarn	71
สันติ รักยาวงศ์	Santi Raksawong	23
สุนารี บดีพงษ์	Sunaree Boodeepong	14
สุนิดา มะลิวัลย์	Sunita Maliwan	1
สุภายิต ชุกกลิ่น	Supasit Chooklin	61
สุมาลี มุสิกกา	Sumalee Musika	32
สุรพิชญ์ ทับเที่ยง	Surapit Tabtiang	49
สุวิทย์ แพงกันยา	Suwit Paengkanya	49
เสกสรร มังคลานันท์	Seksan Mangkalanan	32
อารยา รานอก	Araya Ranok	32

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
กระถางต้นไม้ย่อยสลายได้	84
กากตะกอนโรงงาน	84
ก๊าซเรดอน	23
การทำให้พอง	49
การนึ่ง	49
การปลดปล่อยก๊าซเรดอน	23
การลวกน้ำร้อน	49
การสำรวจระยะไกล	1
คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	32
จังหวัดสุราษฎร์ธานี	14
ดัชนีการเก็บเกี่ยว	42
ดัชนีพืชพรรณ	1
ทะเลสาบปาล์ม	84
เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล	71
นิวเคลดัมมันตรังสี	14
เนื้อสัมผัส	49
ป่าชายเลน	1
เปลือกส้มโอ	61
ผลกระทบด้านสุขภาพจากก๊าซเรดอน	23
พลังงานลม	71
ฟินอลิก	94
ภาพถ่ายดาวเทียม	72
มะพูด	94
ไมโครเวฟเซนเซอร์	42
โยเกิร์ต	32
ระบบภูมิสารสนเทศ	71
รำข้าวไฮโดรไลเสท	32
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	94
ลองกอง	42
วัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด	84
สารต้านอนุมูลอิสระ	32
สารต้านออกซิเดชัน	94
สารประกอบฟินอลิกรวม	61
สี	49
หมอนยางพารา	23
ห้วัดเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง	14
อัลตราซาวด์	61
อำเภอเกาะพะงัน	14

Keywords Index	Page
Antioxidant Activity	33
Antioxidant	95
Antityrosinase	95
Biodegradable Flowerpot	85
CA-Markov	2
Colour	50
Compound	62
<i>Garcinia dulcis</i>	95
Geo-Informatics	72
Harvesting Index	43
Health Risks from Radon	24
High-Purity Germanium Detectors (HPGe)	15
Hot Water Blanching	50
Longkong	43
Mangroves Forest	2
Microwave Sensor	43
Natural Rubber Latex Pillow	24
NDVI	2
Palm Bunches	85
Phangan District	15
Phenolic	95
Pomelo Peel	62
Puffing	50
Radionuclide	15
Radon Exhalation	24
Radon Gas	24
Remote Sensing	2,72
Rice Bran Hydrolysate	33
Satellite Images	72
Sensory Characteristics	33
Sludge of Rubber Factory	85
Steaming	50
Surat Thani Province	15
Texture	50
Total Phenolic	62
Ultrasound	62
Waste from Mushroom Culture	85
Wind Energy	72
Yogurt	33

Lists of Reviewers

Manuscripts of research articles and academic articles of Thaksin University Journal, Volume 24, No. 1 (January – April 2021) were reviewed by the reviewers as follows:

- | | |
|---|---|
| 1. Prof. Dr. Danai Boonyakiat | Faculty of Agriculture, Chiang Mai University |
| 2. Prof. Dr. Somchai Wongwises | Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi |
| 3. Prof. Dr. Thananchai Leephakpreeda | Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University |
| 4. Assoc. Prof. Dr. Chalermchai Wongs-Aree | School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi |
| 5. Assoc. Prof. Dr. Kiadtisak Saenboonruang | Faculty of Science, Kasetsart University |
| 6. Assoc. Prof. Dr. Lerpong Jarupan | Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University |
| 7. Assoc. Prof. Dr. Manat Chaijan | School of Agricultural Technology and Food Industry, Walailak University |
| 8. Assoc. Prof. Dr. Nantawan Therdthai | Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University |
| 9. Assoc. Prof. Dr. Pramot Sojisuporn | Marine Science Department, Chulalongkorn University |
| 10. Assoc. Prof. Dr. Samak Kaewsuksaeng | Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University |
| 11. Assoc. Prof. Dr. Sanguansri Charoenrein | Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University |
| 12. Assoc. Prof. Dr. Thanyalak Chaisuwan | The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University |
| 13. Assoc. Prof. Dr. Wara Taparhudee | Faculty of Fisheries, Kasetsart University |
| 14. Assoc. Prof. Nares Chankow | Faculty of Science, Chulalongkorn University |
| 15. Assoc. Prof. Raewat Laopaiboon | Faculty of Science, Ubon Ratchathani University |
| 16. Asst. Prof. Dr. Intira Koodkaew | Faculty of Liberal Arts & Science, Kasetsart University |
| 17. Asst. Prof. Dr. Kiattisak Duangmal | School of Agriculture Resources, Chulalongkorn University |
| 18. Asst. Prof. Dr. Manee Vittayanont | Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University |
| 19. Asst. Prof. Dr. Punnanee Sumpavapol | Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University |

General Information of Thaksin University

About the Journal

Thaksin University Journal is a peer-reviewed journal publishing research articles, academic articles, in the field of

- Physics and Astronomy
- Agricultural and Biological Sciences
- Chemistry
- Computer Science
- Engineering

of researchers, educators, and staff of Thaksin University and other institutions.

Publication Conditions

1. The work described has not been published previously.
2. The author must be a member of Thaksin University Journal except for special articles that the Editor gives an exception.
3. The manuscript must be typed in Thai or English with both Thai and English abstracts.
4. Content and ideas published in this journal must be the author's only; the Editor does not necessarily agree with it.
5. The reviewers must review the manuscript.

Types of Published Articles

1. Research articles
2. Academic articles
3. Socially-Engaged articles
4. Letter to editor (to propose supportive or argumentative ideas of researchers, including presenting interesting knowledge and experience)

Journal Conditions

1. Manuscript must be typed on white A4-size paper, single side, with page number and Angsana New Font size 14 with not more than 8 pages length, including figures and tables.

2. Margins

- | | |
|-----------------|----|
| · Top margin | 1" |
| · Bottom margin | 1" |
| · Left margin | 1" |
| · Right margin | 1" |

3. Manuscript Online Submission

The corresponding author must submit the manuscript online via Thai Journals Online (ThaiJo2) at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>.

4. The application for membership can be processed into ways:

Journal Authors

Researchers, academicians, or students who want to submit the article(s) must pay for reviewers' compensation, **2,000 Baht/ 70 US Dollars per article** if the article is accepted. via Government Savings Bank account.

Account Name: TSUJ

Account Number: 0-2032824189-6

Papayom Branch

After completing the payment, the membership applicant must attach the file of payment slip online at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> or contact the journal coordinators at the following

address:

Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus
222 Moo. 2, Bann Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand, 93210

Tel. 0 7460 9600 ext. 7242 or 08 1540 7304

E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or aseanjstr@tsu.ac.th

Line: rdi.tsu, Twitter : @RDI_TSU, Facebook : ศวพ. ม.ทักษิณ

5. Article cancellation or dismissal has conditions as follows:

Article cancellation is done before article publication.

Article dismissal is done during or after article publication.

The cancellation or dismissal can be proceeded by downloading the form at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>; however, **if the article has already been sent to the reviewers, the corresponding author must be responsible for the reviewing fees.**

Manuscript Guidelines

The article must consist of:

1. Title

Title must be in Thai and English, **center** of the page. **The first alphabets** of all words of the title must be **capitalized with bold 20 font size**, prepositions and articles.

2. Authors

Identify all authors with **14 font size**, **center** of the page with **logarithm**. Position, academic title, and affiliation in the footnote on the first page: Department, Faculty and University stated in the same page, both Thai and English.

3. Abstract

Abstract must be in Thai and English, **not more than 250 words**, with **14 font size**.

4. Keywords

Keywords both in Thai and English related to the article, not more than 5 words, below the abstract.

It must be typed with 14 font size, left-margin. Proper nouns (the first alphabet of each word) must be capitalized.

5. Main Body consists of:

- 1) Introduction: Significance or background of the study, research objectives, and/or review of related literature
- 2) Research methodology
- 3) Results
- 4) Discussion
- 5) Conclusion
- * 4) and 5) can probably be merged
- 6) Acknowledgement (if any)
- 7) References must be **APA 6th Edition** and in **English only**

6. Attachment

This is attached with the manuscript to certify that the experiment is biological safe, ethical (using animal samples) or moral (doing experiment in human).

7. Abbreviation and Signs

Abbreviation comes up with its full version in the first time, and only abbreviation later. Please avoid using abbreviation in the title and abstract. It is not recommended to use the abbreviation that is used less than four times in the article. The author(s) must provide definition or description of any signs used in the article when appearing in the first time.

8. Figure

Figure is at the center of the page, following by description below the figure in 14 font size. It must be clear monochrome (black and white color). If necessary, it can be colored. The word “figure” is bold, and the description is normal and set in the center of the page. Lined figure must be in clear black.

Example

kilogram /rai

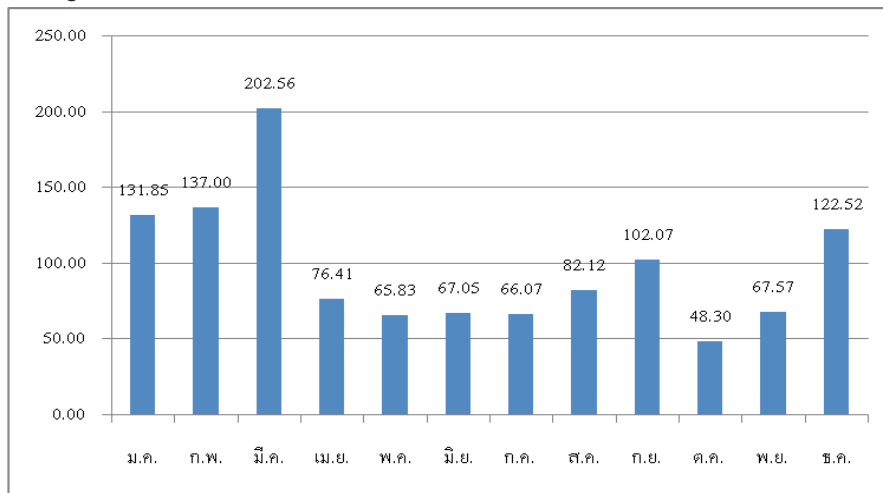


Figure 1 Fall of Monthly Leaves

9. Table

“Table” must be bold and at the left side of the column, and the description is above the table, with 14 font size.

Example

Table 1 Percentage of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium intensity in remains of decayed leaves in each period of time

Week	Nitrogen (percent)	Phosphorus (percent)	Potassium (percent)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

References

The reference lists must be APA 6th Edition referencing in English only and In-text Citation.

Intext Citations: Identify number in the bracket “[]” at the end of message in sequences.

1. Put the number in the bracket [] at the end of message or author’s name such as [1].
2. Put the continuous number started from 1. Any repeated list uses the same numbers.
3. All in-text citation must be in the reference lists based on the identified number in the bracket [].
4. Multi-citations for the same message:
 - 4.1 In case of not more than 2 lists, put the numbers of reference lists in numerical order using comma such as [1, 5].
 - 4.2 In case of more than 2 lists and those are continuous lists, use hyphen (-) such as [1-3], [1-5].
 - 4.3 In case of more than 2 lists and those are continuous and discontinuous lists, put comma (,) and hyphen (-) such as [1, 4-5].

In-text Citation

Identify number in the bracket “[]” at the end of message in sequences.

Example

1. Use of some chemical fertilizers or single fertilizers in too long length, which affect the lack of plant nutrition [1]...
2. Scherer [2] reported that...
3. and it also causes imbalance of plant nutrition in the soil [3-4]...

Referencing

Start the list with surname of the author, abbreviation of middle name (if any), and first name respectively, for example, Kessaratikoon, P., Choosiri, N., & Boonkrongcheep, R.

1) Books

Name of author/(year).//*Book Title*.//publication place:/press.

Example

- [1] Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. New Jersey: Pearson Education, Inc.,

Name of author/(year).// *Book Title* (edition).//publication place:/press.

Example

- [2] Satirajinda, M. (2000). *Iron & steel heat treatment engineering* (7th Ed). Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King’s Patronage.

2) Research Articles

Author's name/(year).// Title of Article./Journal, // volume/(issue),/page number.

Example

- [3] Keereekoch, T., Srisuwan, T., Patimin, S., Khunphan, R., Yayaman, A., Dinteb, H., & Subhadhirasakul, S. (2016). Effects of steam sterilization and potassium permanganate soak on microbial load and quality of ginger oowder. *Thaksin University Journal*, 19(2), 9-21.

3) Proceeding Articles

Author's name/(year).//Title of Article./In/Conference's Name./page//date/month/year,/ Conference venue//place/:/press.

Example

- [4] Boonkrongcheep, R., Maeha, A., & Kessaratikoon, P. (2016). Measurement and analysis of specific activities of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Thai Rice Bag Samples. In *The 24th Thaksin University National Academic Conference*. 18.May21-24,2016, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla: Thaksin University.

4) Book Chapter

Author's name// (year).//Title of Chapter./In/Editors (if any).//Name of Book./page number//publication place/:/press.

Example

- [5] Lawrence, J. A., & Dodds, A. E. (2003). Goal-directed activities and life-span development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.). *Handbook of Developmental Psychology*. 517-533. London, England: Sage Publications.

5) Articles in the Newspaper

Author's name/(year,date).//Title of Article./Name of Newspaper./page number.

Example

- [6] Schultz, S. (2005, December 28). Calls made to strengthen state energy policies. *The Country Today*. 1A, 2A.

6) Thesis

Researcher's name/(year).//Thesis Title./level of study/degree//publication place/:/institution.

Example

- [7] Paungfoo, C. (2003). *Use of molecular biology techniques in studying the nitrifying bacteria community from shrimp farming system*. Doctoral Dissertation. Prince of Songkla University.

7) Information from the Internet

Use the general form of citation following by website; for example, the author borrows the ideas from a book on the website, so the reference list consists of the name of author, year of publication, book title, and publication place. Another information should be added: searching date and URL – Retrieved + date + from URL

Author's name/(year).//Title (Online).//publication place:/press.//Retrieve ...from
http:// www.....

Example

- [8] Department of Foreign Trade. (2012). *The situation of sawn rubber wood Thailand* (Online). Retrieved August 3, 2016, from <http://www.dft.go.th/en-us/Information-Service/PR-Materials/ctl/DetailUserContent/mid/660/conternted/4252>.

8) List of Interviewees

Name of interviewee/position,/interviewing place,/interviewing date/interview.

Example

- [9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.

9) Patent

Name of patent register/(year)./Name of Invention. country. patent number.

Example

- [10] Jansun, E. *et. al.* (2015). *Kit for gold nanoparticles synthesis from gold-leaf*. Thailand. No. 1303000492.

10) Articles with Digital Object Identifier (DOI) or Database's Unique Identifier (If it is presented on the first page of article.)

Surname. Name.//year).// Title of Article. *Journal*,/Volume/(Issue),/page. DOI.

Example

- [11] Noojeensang, K., & Waewsak, J. (2016). Assessment of sea wave power potential in the Gulf of Thailand using simulating wave nearshore (SWAN). *Thaksin University Journal*, 19(1), 12-20. DOI: 10.14456/tsuj.2016.2.





สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ
222 หมู่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210
โทรศัพท์ 074-609-600 ต่อ 7242 โทรศัพท์ 074-609-655
E-mail Address: tsujournal@tsu.ac.th, aseanjstr@tsu.ac.th

