

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

Thaksin University Journal

ปีที่ 23 ฉบับที่ 2
Vol. 23 No. 2

พฤษภาคม - สิงหาคม 2563
May - August 2020

ISSN 0859-9807 (print)
ISSN 2651-0693 (online)



Thaksin University Journal

Name	Thaksin University Journal	
Owner	Thaksin University	
Advisory Board	Assoc. Prof. Dr. Wichai Chumni (President of Thaksin University)	
	Assoc. Prof. Dr. Nathapong Chitniratna (Vice President for Research and Academic Services)	
	Dr. Vallop Ditsuwan (Director of the Research and Development Institute Thaksin University)	
	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. Somjit Supannatas	(Mahidol 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. Hirihattaya Phetmung	(Thaksin University)
	Assoc. Prof. Dr. Sappasith Klomklao	(Thaksin University)
	Assoc. Prof. Dr. Punyapat Chaimay	(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 Phimnada 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 multidisciplinary of science and technology 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, 103 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. 074-609-600 ext. 7254 or 081-540-7304 Fax No. 074-609-654-5 E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com
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. +66-74-609-600 Ext. 7254 E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com
Print Place	Artwork & Media Tel. 089-925-8455, 085-440-5398

Editorial

The present Thaksin University Journal (TSUJ) Vol. 23 No. 2 (May - August 2020) is the second issue out of three issues that will be issued in the year 2020. This issue was also published with 10 interesting research articles which are the multidisciplinary of science and technology of research articles in applied geography (1), agriculture and technology (3), food and drug (1), applied chemistry (1), material physics (1), irrigation engineering (1), wind energy (1) and applied physics (1). All of published articles were evaluated and selected from The 30th Thaksin University Annual Conference: Thailand Driven Research and Innovation, on May 30, 2020, by editorial boards and then peer reviewed through the TSUJ standard procedure. Again, some of research articles in this issue might more or less affect to your research work. Consequently, we do expect that these articles will be referred and cited in the near future by our valuable TSUJ readers and customers.

I would like to inform our readers and customers that the next issue of TSUJ (Vol. 23 No. 2 (September-December 2020)) has been prepared and managed in the same way of this present issue. This means that another selected 10 research articles from the same conference as mentioned above will be considered and reviewed by some expert researchers using the publishing platform of TSUJ. In addition, TSUJ (Vol. 24 No. 1 (January-April 2021)) will be organized and managed for everyone again using the same TSUJ management system.

As we know that since 2019 our world population including Thailand have been struggled and faced with the new virus disease pandemic. The coronavirus disease (COVID-19) is an infectious disease caused by a newly discovered coronavirus. Most people infected with the COVID-19 virus will experience mild to moderate respiratory illness and recover without requiring special treatment. The best way to prevent and slow down transmission is to be well-informed about how the COVID-19 virus disease causes and spreads. Protect yourself and others from infection by washing your hands or using an alcohol-based rub frequently and not touching your face. At this time, there are no specific vaccines or treatments for COVID-19. However, there are many ongoing clinical trials evaluating potential treatments. For this reason, we would like to have some research articles about the coronavirus disease and its related information to be published and directly shared to the interdisciplinary science and technology community. At the same time, TSUJ would like to welcome all prospective research scholars to read and submit their good quality of original manuscripts for publishing research articles, academic articles, socially-engaged articles and letters to editor on multidisciplinary on science and technology which are not under review or under consideration for publishing in any other national or international academic journals. All articles published by TSUJ are made immediately available nationwide and worldwide on open access through Thai Journals Online (ThaiJo) system.

And last but not least, we would also like to inform that the committee of TSUJ quality improvement to the international level has been already formed and announced by the president of Thaksin University. We actually plan to accomplish this challenging issue in the year 2022. From now on, we have begun to work more seriously and try to reach the goal as fast as we can. Thank you very much for being in parts of TSUJ and see you again in the next issue.

Asst. Prof. Dr. Prasong Kessaratikoon
Journal Editor

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Articles)

1. การใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติเพื่อติดตามการกร่อนดินแบบริ้ว
The Use of 3D Terrestrial Laser Scanner for Monitoring Rill Erosion
จันทร์จิรา สารสำเริง Janjira Sansamret เอกกมล วรรณเมธี Ekkamol Vannamettee.....1
2. ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone ต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และโครงสร้างคลอโรพลาสต์ในมะเขือเทศพันธุ์ CH154 ภายใต้สภาวะแล้ง
Effect of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone on Photosynthesis, Chlorophyll Content and Chloroplast Structure in Tomato (*Solanum lycopersicum* cv. “CH154”) under Drought Stress
พชร มณีโชติ Pachara Maneechote สุขุมภรณ์ แสงงาม Sukhumaporn Saeng-ngam
ปรินทร์ ชัยวิสุทธิทางกูร Parin Chaivisuthangkura.....14
3. ลักษณะทนแล้ง ผลผลิตและสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทนแล้งกับผลผลิตของข้าวไร่พันธุ์แนะนำ
Drought Tolerant Traits, Yield and Correlation Between Drought Tolerant Traits and Yield of a Recommended Upland Rice Varieties
สุวัจน์ อิมวิชิต Suwat Imwichit ชีรวัดน์ ศรุตโยภาส Teerawat Sarutayophat.....24
4. ผลของการเสริมราแดง (*Monascus* spp.) ในอาหารต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด และความต้านทานเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ในปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* $\times$ *O. mossambicus*)
Effects of Dietary Red Yeast Rice (*Monascus* spp.) Supplementation on Growth Performance, Haematological Parameters, and Disease Resistance Against *Streptococcus agalactiae* in Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* $\times$ *O. mossambicus*)
กิริติ ธนากรรัฐ Keerati Tanakan นปภัทร พระคุณเลิศ Napaphat Prakunlerd
นัทธ์ นันทพงษ์ Nutt Nuntapong นเรศ ช้วนยุค Naraid Suanyuk ยุทธพงษ์ สังข์น้อย Yutthapong Sangnoi
วุฒิพร พรหมขุนทอง Wutiporn Phromkunthong.....34
5. พลุกเคมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งของสารสกัดเหี่ยวฝรั่ง
Phytochemicals, Antioxidant and Cytotoxicity of *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl Extracts
วีรยา คุ่มเมือง Weeraya Khummueng เซลลี อาร์วินดา รักหิมาน Selly Arvinda Rakhman
ชัยณัฐร์ ฤทัยพันธ์ Tanyarath Utaipan เจริญ ภคธีรเชิธร Charoen Pakhathirathien
ปิยะวรรณ บุญญาบุพงศ์ Piyawan Boonyanuphong วรางคณา ชึงลก Warangkana Chunglok.....45

6. พัฒนาคาร์บอนรองรับสองชนิดเพื่อเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันของเซลล์เชื้อเพลิงกลีเซอรอลชนิดเบส
Development of Binary Catalysts Support for the Electro-Oxidation Reaction Enhancement of Glycerol Alkaline Fuel Cells
 ปิยะวัตร มาศจด Piyawat Masjod กันทรกร สุวรรณรักษา Kantrakorn Suwanraksa
 จักรพงศ์ ไชยบุรี Chakkrapong Chaiburi.....55

7. การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาธู
Production of Biodegradable Plastics from Sago Fibers
 สุทธิยา ก้อนเรือง Sutthisa Konruang การะเกด แก้วใหญ่ Karakade Kaewyai
 ธวัชณัช เทพนวล Thawatchai Tepnual มารีสา เชษฐวรณศิริ Marisa Chatwannasit.....65

8. การวิเคราะห์ความแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI จากข้อมูลดาวเทียมระบบ MODIS
An Analysis of Drought in Phetchaburi River Basin using TVDI Derived from MODIS Data
 จิตศักดิ์ สุขเกษม Titisak Sukkasem เกศวรา สิทธิโชค Ketvara Sittichok
 ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ Chuphan Chompuchan74

9. การประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง ตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย
Assessment of Tidal Energy Resource Potential along the Coast of Andaman Sea in Thailand
 นฤทธิ กล่อมพงษ์ Narit Klompong จอมภพ แวศักดิ์ Jompob Waewsak ชนะ จันทร์จำ Chana Chancham
 สมพล ชีวมงคลกานต์ Somphol Cheewamongkolkarn.....84

10. สมบัติเชิงโครงสร้างและไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมด้วยเทคนิคอาร์เอฟสเปตเตอร์ริง
Structural and Electrical Properties of ZnO Thin Film Prepared by RF Sputtering Technique
 ธวัชชัย จันทร์ทอง Thawatchai Chanthong ธเนศ ณ วิเชียร Thanate Na Wichean
 วีรวัฒน์ อินทรทัต Weerawat Intaratat ศักดิ์ชาย เพชรช่วย Sakchai Phethchuai
 นัฏฐพงศ์ ถิธดำ Nattapong Thuedam.....95



การใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติ เพื่อติดตามการกร่อนดินแบบริ้ว

The Use of 3D Terrestrial Laser Scanner for Monitoring Rill Erosion

จันทร์จิรา สารสำเร้ง^{1*} และเอกกมล วรรณเมธี²

Janjira Sansamret^{1*} and Ekkamol Vannameteetee²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ในการศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของริ้ว และเพื่อประเมินปริมาณดินที่สูญเสียจากกระบวนการกร่อนดินแบบริ้ว การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยติดตามการเปลี่ยนแปลงของริ้วบนพื้นที่ลาดชันระหว่าง 30 - 60 % โดยอยู่ภายใต้สวนปาล์ม น้ำมัน และสวนยางพารา ในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร รวมทั้งสิ้น 6 ริ้ว ผู้วิจัยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเก็บข้อมูลลักษณะสัณฐานของริ้วแบบสามมิติ ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 2 x 5 ตารางเมตร เก็บข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวนทั้งสิ้น 8 ครั้ง และนำมาสร้างแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) ความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร ผลการวิจัยพบว่าริ้วในสวนยางพารามีการสูญเสียดินสุทธิมากกว่าริ้วในสวนปาล์ม น้ำมัน โดยริ้วในสวนยางพารามีปริมาณการสูญเสียดินสุทธิเท่ากับ 1,234 (Rubber A) 1,508 (Rubber B) และ 1,290 (Rubber C) ลบ.ซม. ในขณะที่ริ้ว 2 แห่งในสวนปาล์ม น้ำมันมีปริมาณการสูญเสียดินสุทธิเท่ากับ 1,244 (Palm A) และ 1,203 (Palm B) ลบ.ซม. และมี 1 แห่ง ที่มีปริมาณดินสุทธิเพิ่มขึ้น 0.63 (palm C) ลบ.ซม. ริ้วที่มีการสูญเสียหน้าดินสุทธิสูงสุดเป็นริ้วที่มีค่าดัชนีกำลังของการไหลของน้ำ (Stream Power Index: SPI) สูงที่สุดทั้งในสวนยางพาราและสวนปาล์ม น้ำมัน นอกจากนี้ยังพบว่า การสูญเสียหน้าดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนวันที่ฝนตก ($r = 0.69$) ยกเว้นริ้วที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในสวนปาล์ม น้ำมันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มฝนสูงสุด ($r = 0.98$)

คำสำคัญ: การกร่อนดินแบบริ้ว เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

Abstract

This research aimed at using 3D Terrestrial Laser Scanner to investigate and monitor the morphological changes of rills in and estimate the volume of soil losses from large rills. In this study, the

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

² อ., ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

¹ Master's Degree Student, Department of Geography, Faculty of Arts, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand

² Lecturer, Department of Geography, Faculty of Arts, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 02-2415063 E-mail address: janjira.sansamret@gmail.com

(Received: April 17, 2020; Revised: June 20, 2020; Accepted: June 23, 2020)

researchers selected six rills on hillslopes with slope gradient ranging between 30-60 % under oil palm and rubber plantations in Tha Sae District, Chumphon Province. Terrestrial Laser Scanner was used to collect 3D morphological characteristics of rills, covering the area of $2 \times 5 \text{ m}^2$ for each rill. Rills development was monitored between July - December 2018 of which eight data sets in total were obtained per rill. Digital elevation model (DEM) was generated for each observation with 1-cm resolution. Results showed that soil loss from rills under rubber plantation was greater than that under para-rubber plantation. The amounts of soil eroded from the rills under para-rubber plantation were 1,234 (Rubber A), 1,508 (Rubber B) and 1,290 (Rubber C) cm^3 over the study period. The amounts of soil loss of 1,244 (Palm A) and 1,203 (Palm B) cm^3 of soils were removed from two rills under oil palm plantation, in which one rill gained 0.63 (Palm C) cm^3 of removed soil. The rills with the highest Stream Power Index (SPI) under both plantations had the highest net soil loss. The net soil loss was positively correlated with raining day ($r = 0.69$) in all rills, except the largest rill under oil palm plantation, in which the net soil loss had a positive correlation with maximum rainfall intensity ($r = 0.98$).

Keywords: Rill Erosion, Terrestrial Laser Scanner, Digital Elevation Model

บทนำ

ประเทศไทยประสบปัญหาการเสื่อมคุณภาพของดินจากการกร่อนดิน (Soil Erosion) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ลาดชันซึ่งมักพบการกร่อนดินแบบริ้ว (Rill Erosion) และร่องธาร (Gully Erosion) จำนวนมาก การกร่อนดินในลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดร่องบนหน้าดินมีความลึกประมาณ 0.5 - 30 เมตร มีความกว้างและความยาวแตกต่างกันไปตามระดับความรุนแรงเป็นอุปสรรคต่อการทำการเกษตร ทำให้พืชผลทางการเกษตรเกิดความเสียหายและทำให้พื้นที่สูญเสียความสามารถในการเพาะปลูกได้ ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาและติดตามการกร่อนดิน อาทิเช่น การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดต่ำถึงปานกลางเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมิน การสูญเสียหน้าดินจากกระบวนการกร่อน [1] ตลอดจนทำแผนที่แสดงตำแหน่งของการกร่อนและความรุนแรงของการสูญเสีย หน้าดินในระดับลุ่มน้ำ [2] หากเป็นการศึกษาการกร่อนหน้าดินในพื้นที่ขนาดเล็กเช่นแปลงเพาะปลูกหรือพื้นที่ลาดเขา สามารถทำการรังวัดและเก็บข้อมูลพื้นผิวความสูงของภูมิประเทศรายละเอียดสูงด้วยเทคนิคการวัดด้วยคลื่นเลเซอร์ (Laser Scanner) และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานของการกร่อนทั้งแบบริ้วและแบบร่องธารบนพื้นผิวภูมิประเทศเพื่อประเมินการสูญเสียดินในแต่ละช่วงเวลาได้ เครื่องสแกนเลเซอร์สามารถติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศในลักษณะภาพถ่ายทางอากาศหรือติดตั้งบนพื้นดินในลักษณะของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner: TLS) ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ [3-4] จากการศึกษาของ Goodwin *et al.* [5] พบว่า Airborne Laser Scanner (ALS) จากอากาศยานไร้คนขับไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาของริ้วบนพื้นผิวภูมิประเทศได้อย่างชัดเจน หากการกร่อนเกิดขึ้นไม่มากนักจึงทำให้ไม่สามารถประเมินการสูญเสียดินจากกระบวนการกร่อนได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของร่องร้วได้ด้วย ความถูกต้องสูงกว่าเมื่อเกิดการกร่อนในปริมาณที่เท่ากัน [6] ดังนั้นการศึกษารังนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เพื่อศึกษาและติดตามการกร่อนดินแบบร้ว เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศได้ละเอียดแม่นยำและมีความถูกต้องสูง เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ขนาดเล็บบนพื้นที่ภายในช่วงระยะเวลาอันสั้นเช่นการกร่อนของดินแบบร้วได้เป็นอย่างดี [7]

วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของร้วจำนวน 6 แห่ง ในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร และประเมินการสูญเสียหน้าดินจากกระบวนการกร่อนด้วยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) [5] ที่สร้างจากการกราดตรวจด้วยคลื่นเลเซอร์ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่สูญเสีย กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่ออธิบายความรุนแรงของการกร่อนดินในพื้นที่ศึกษา ขั้นตอนการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

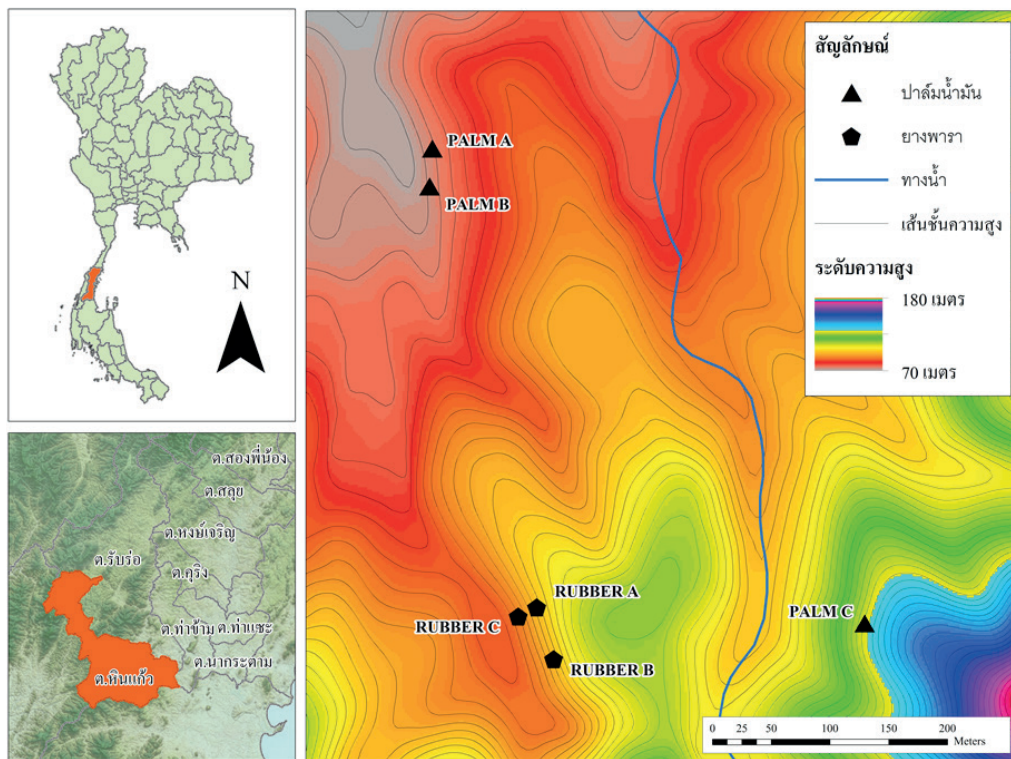
ผู้วิจัยเลือกริ้วในการศึกษาจำนวน 6 ริ้ว (ภาพที่ 3) ที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันได้แก่ ความลาดชันของริ้ว ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำของริ้ว สิ่งปกคลุมดินในบริเวณที่เกิดริ้ว (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2) และ Stream Power Index (SPI) (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 ริ้ว A ในสวนปาล์ม (Palm A)



ภาพที่ 2 ริ้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B)



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงตำแหน่งของไร่ที่ศึกษา

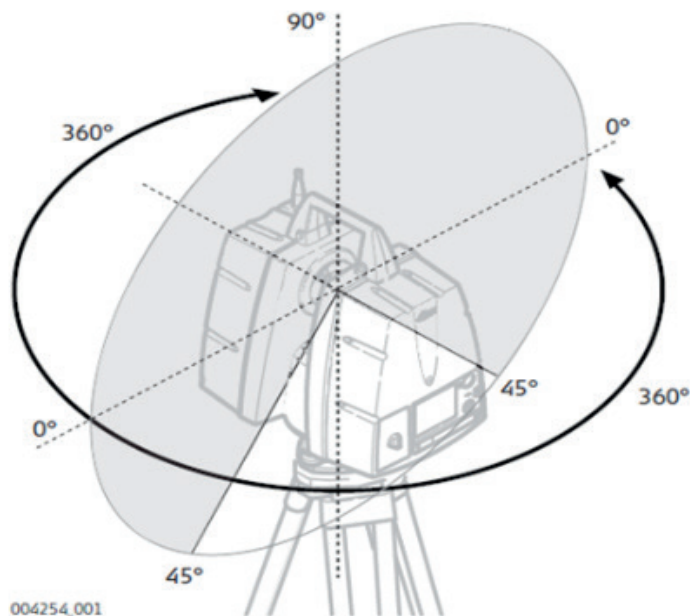
ตารางที่ 1 ลักษณะของไร่ที่ศึกษา

ไร่	พืชปลูก	ความลาดชัน ของไร่ (%)	พื้นที่รับน้ำ (ตร.ม.)	ความลาดชัน ของพื้นที่รับน้ำ (%)	Stream Power Index
Palm A	ปาล์มน้ำมัน	30.75	872	13.98	1.35
Palm B	ปาล์มน้ำมัน	38.12	568	13.33	1.24
Palm C	ปาล์มน้ำมัน	49.96	240	30.00	0.34
Rubber A	ยางพารา	30.96	344	28.57	1.30
Rubber B	ยางพารา	37.10	304	26.15	2.05
Rubber C	ยางพารา	60.51	388	27.17	1.66

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลลักษณะพื้นฐานของไร่โดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ยี่ห้อ Leica รุ่น P20 ซึ่งมีระยะการกวาดตรวจ (Scan) ได้ไกลสุดประมาณ 120 เมตร มุมสแกน 360 องศา ในแนวราบ และ 270 องศา ในแนวตั้ง (ภาพที่ 4) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดระยะการกวาดตรวจไม่เกิน 50 เมตร [8] เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในแนวราบและแนวตั้ง ไม่เกิน 3.1 มิลลิเมตร [9] และกำหนดให้การกวาดตรวจครอบคลุม

พื้นที่ขนาด 2x5 ตารางเมตร ผู้วิจัยเก็บข้อมูลของรั้ว ทั้ง 6 ร่อง ทุก 2-4 สัปดาห์ ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวนทั้งสิ้น 8 ครั้ง ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัย ได้ดำเนินการสร้างจุดควบคุม (Control Point) ในการตั้งเครื่องมือเพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งในการเก็บข้อมูลลักษณะพื้นฐานของรั้ว ในแต่ละครั้งซึ่งจะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้วิธีการโยยัดปักหลักทางอ้อมเพื่อให้ได้ข้อมูลมีความถูกต้องสูงในแนวราบ [10] และผู้วิจัยกำหนดให้มีจุดเชื่อมโยงข้อมูลของแต่ละภาพจากการกราดตรวจไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่ง (ภาพที่ 5)

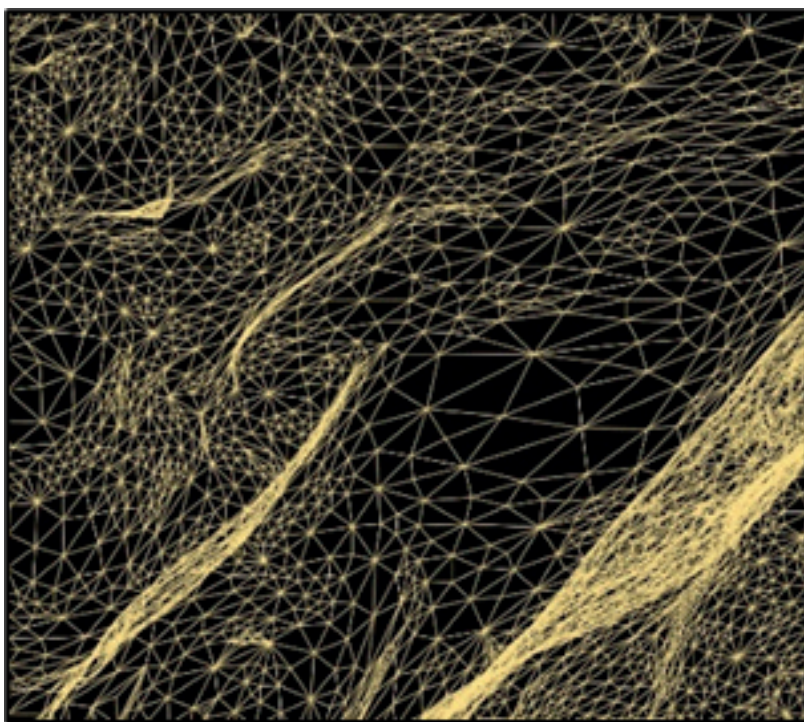
ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์อยู่ในรูปแบบของกลุ่มจุด (Point Clouds) ที่แสดงระดับความสูงของภูมิประเทศเมื่อนำไปประมวลผลด้วยกระบวนการทางโฟโตแกรมเมตรี [11] สามารถสร้างโครงข่ายสามเหลี่ยม (Mesh) (ภาพที่ 6) ซึ่งสามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (ภาพที่ 7) ที่มีความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร ความถูกต้องในแนวราบ (X, Y) ไม่เกิน 3.1 มิลลิเมตร และความถูกต้องในแนวดิ่ง (Z) ไม่เกิน 1 เซนติเมตร ผู้วิจัยจัดข้อมูลโครงสร้างหรือวัตถุที่ปกคลุมดินที่ไม่ต้องการออกไปทั้งหมด รวมถึงข้อมูลที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บด้วย เพื่อสร้างพื้นผิวที่มีค่าโดยประมาณของพื้นที่แท้จริงของภูมิประเทศ



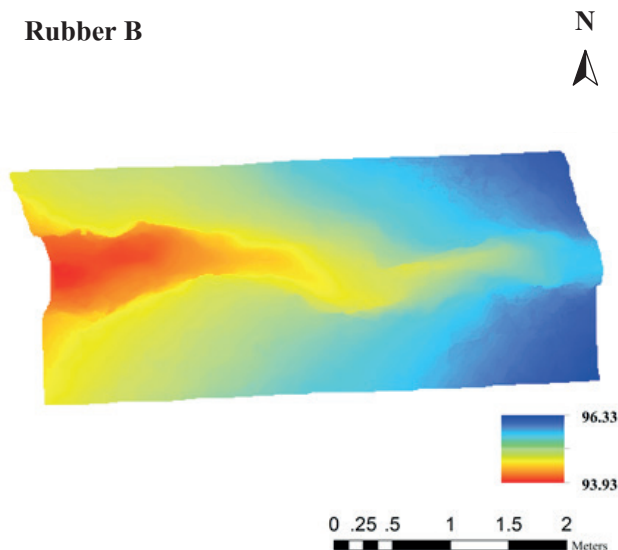
ภาพที่ 4 หลักการทำงานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน



ภาพที่ 5 การเก็บข้อมูลภูมิประเทศ



ภาพที่ 6 โครงข่ายสามเหลี่ยม (Mesh)



ภาพที่ 7 แบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลขของร้ว B ในสวนยางพารา ข้อมูลเมื่อวันที่ 1 ก.ค. 2561

ในการประเมินการสูญเสียหน้าดิน ผู้วิจัยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงภูมิประเทศ โดยนำ DEM ของร้วที่มีความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร มาวางซ้อนทับกัน (Overlay) และทำการวิเคราะห์แบบแรสเตอร์ (Raster Analysis) ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.6.1 เพื่อระบุพื้นที่ในร้วที่มีระดับความสูงเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดิน (ทับถม) และระดับความสูงที่ลดลงจากการกร่อนของหน้าดิน (กัดเซาะ) ตลอดจนคำนวณการเปลี่ยนแปลงสุทธิของปริมาณดินตามระดับความลาดชันภายในร้ว ผู้วิจัยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงร้วทั้งหมด 3 ช่วงเวลาจากการเก็บข้อมูล 8 ครั้งเนื่องจากบางช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงของร้วค่อนข้างน้อย ผู้วิจัยกำหนดช่วงเวลาการวิเคราะห์ตามปริมาณน้ำฝนสะสมในตำแหน่งที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 75 และ 100 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลของปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ความชื้นฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อวัน) และจำนวนวันที่ฝนตก (วัน) ในแต่ละช่วงเวลาในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง

สิ่งปกคลุมดิน	ป่าล้มน้ำมัน			ยางพารา		
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3
	(1 ก.ค.-13 ส.ค.)	(14 ส.ค.-13 ต.ค.)	(14 ต.ค.-22 ธ.ค.)	(1 ก.ค.-13 ส.ค.)	(14 ส.ค.-13 ต.ค.)	(14 ต.ค.-22 ธ.ค.)
ปริมาณน้ำฝน	484.46	139.64	182.40	609.03	264.21	306.97
ความชื้นฝนเฉลี่ย	21.33	14.80	20.32	21.51	14.98	20.50
จำนวนวันที่ฝนตก	32	23	20	32	23	20

ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่อธิบายการสูญเสียดินจากการกร่อนแบบริ้ว ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินสุทธิของแต่ละริ้วกับปริมาณฝน ผู้วิจัยพิจารณาปริมาณฝนรวม ความเข้มฝนสูงสุดรายวัน ความเข้มฝนเฉลี่ยรายวัน และจำนวนวันที่ฝนตก [12] ส่วนที่สอง เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินสุทธิของริ้วจากปัจจัยภูมิประเทศที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความลาดชัน ขนาดพื้นที่รับน้ำของริ้ว และ SPI ซึ่งเป็นค่าดัชนีแสดงกำลังของการไหลของน้ำในริ้วเมื่อเกิดฝน คำนวณได้จากพื้นที่รับน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำ และความลาดชันของพื้นที่ที่เข้าสู่ริ้วที่ศึกษา โดยทำการวิเคราะห์แยกตามชนิดพืชปกคลุมดิน

ผลการวิจัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของริ้ว 3 ช่วงเวลา พบว่าริ้วในสวนยางพารามีการเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวสุทธิและปริมาณดินสูญเสียมากกว่าริ้วในสวนปาล์มน้ำมัน โดยริ้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B) มีการสูญเสียดินมากที่สุดเท่ากับ 1,508 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามด้วยริ้ว A (Rubber A) มีการสูญเสียดินปริมาณ 1,234 ลูกบาศก์เซนติเมตร และริ้ว C (Rubber C) มีการสูญเสียดินปริมาณ 1,290 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่สวนปาล์มน้ำมัน ริ้ว A (Palm A) มีการสูญเสียดินมากที่สุดปริมาณ 1,244 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความสูงระหว่าง 1 – 3 เซนติเมตร ริ้ว B ในสวนปาล์มน้ำมัน (Palm B) มีการสูญเสียดินปริมาณ 1,203 ลูกบาศก์เซนติเมตร และริ้ว C ในสวนปาล์มน้ำมัน (Palm C) มีการทับถมมากกว่าการสูญเสียดินปริมาณ 0.63 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 8)

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความสูงพื้นผิวสุทธิของริ้ว A ในสวนปาล์มน้ำมัน (Palm A) (ม.)

ช่วง เวลา	ระดับ ความลาดชัน	ความสูงเพิ่มขึ้น (ทับถม)			ความสูงลดลง (กัดเซาะ)			เปลี่ยนแปลงสุทธิ กัดเซาะ - ทับถม
		MEAN	SD	CV	MEAN	SD	CV	
1	น้อยกว่า 30 %	0.0121	0.0051	0.4202	-0.0117	0.0040	0.3505	0.0004
	30 - 45 %	0.0114	0.0041	0.3592	-0.0121	0.0047	0.3823	-0.0007
	มากกว่า 45 %	0.0132	0.0059	0.4421	-0.0141	0.0065	0.4569	-0.0009
2	น้อยกว่า 30 %	0.0106	0.0024	0.2276	-0.0118	0.0042	0.3599	-0.0013
	30 - 45 %	0.0111	0.0035	0.3115	-0.0145	0.0067	0.4601	-0.0034
	มากกว่า 45 %	0.0152	0.0069	0.4546	-0.0120	0.0045	0.3803	0.0032
3	น้อยกว่า 30 %	0.0115	0.0037	0.3149	-0.0138	0.0054	0.3943	-0.0022
	30 - 45 %	0.0116	0.0044	0.3833	-0.0157	0.0064	0.4093	-0.0041
	มากกว่า 45 %	0.0143	0.0067	0.4710	-0.0192	0.0082	0.4298	-0.0050

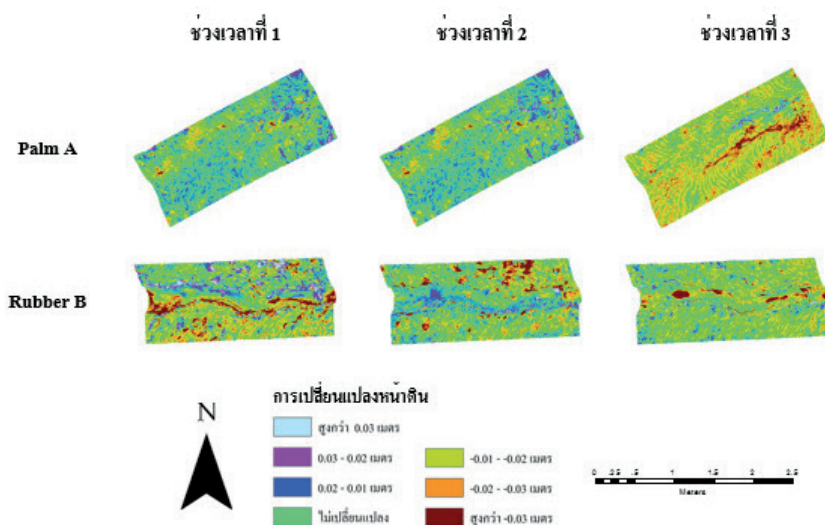
MEAN = ค่าเฉลี่ย, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, CV = สัมประสิทธิ์การแปรผัน

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความสูงพื้นผิวสุทธิของรื้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B) (ม.)

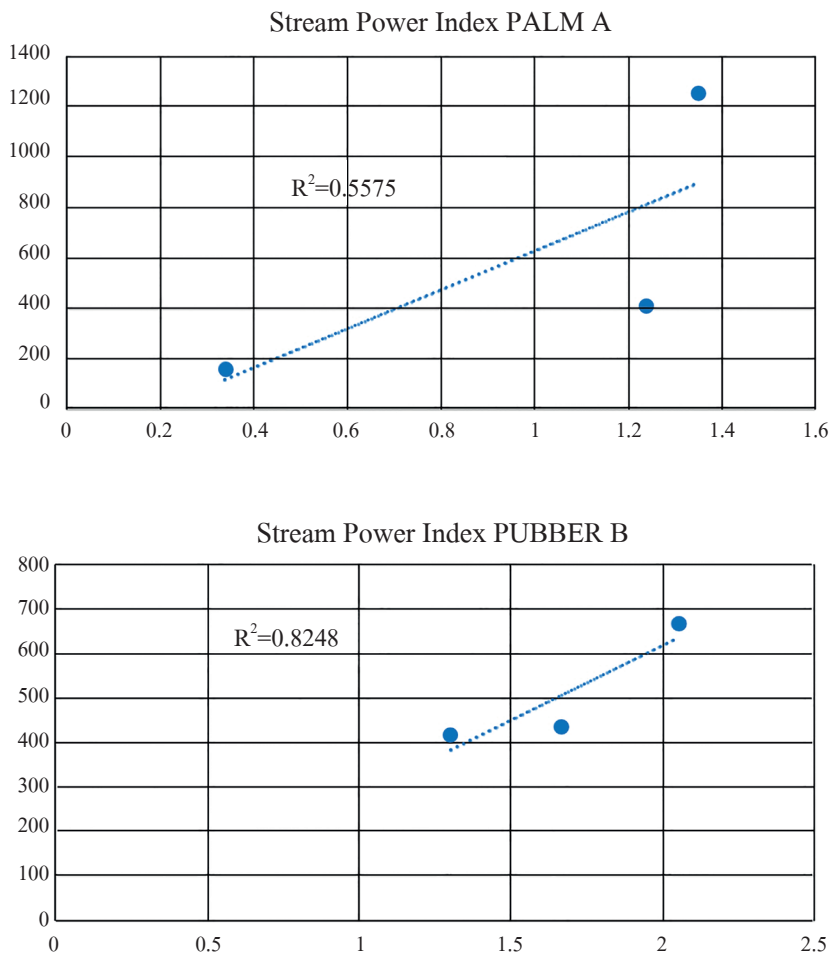
ช่วง เวลา	ระดับ ความลาดชัน	ทับถม			กัดเซาะ			เปลี่ยนแปลงสุทธิ กัดเซาะ-ทับถม
		MEAN	SD	CV	MEAN	SD	CV	
1	น้อยกว่า 30 %	0.0137	0.0060	0.4379	-0.0147	0.0066	0.4486	-0.0010
	30 - 45 %	0.0147	0.0068	0.4650	-0.0148	0.0065	0.4407	-0.0001
	มากกว่า 45 %	0.0157	0.0072	0.4567	-0.0174	0.0075	0.4335	-0.0018
2	น้อยกว่า 30 %	0.0108	0.0029	0.2715	-0.0138	0.0062	0.4427	-0.0031
	30 - 45 %	0.0113	0.0037	0.3279	-0.0141	0.0064	0.4485	-0.0027
	มากกว่า 45 %	0.0125	0.0051	0.4110	-0.0154	0.0071	0.4578	-0.0030
3	น้อยกว่า 30 %	0.0116	0.0042	0.3677	-0.0120	0.0047	0.3938	-0.0004
	30 - 45 %	0.0117	0.0041	0.3558	-0.0123	0.0047	0.3874	-0.0006
	มากกว่า 45 %	0.0132	0.0058	0.4398	-0.0143	0.0064	0.4444	-0.0011

MEAN = ค่าเฉลี่ย, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, CV = สัมประสิทธิ์การแปรผัน

จากข้อมูลในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่าบริเวณที่มีระดับความลาดชันสูงภายในรื้ว ค่าเฉลี่ยของปริมาณดินที่ถูกกร่อนมีค่าสูงและมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวสุทธิโดยเฉลี่ยค่อนข้างมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าการกร่อนของรื้วเป็นผลจากความลาดชันภายในรื้ว



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (เมตร) ระหว่าง 1 ก.ค.-13 ส.ค. (ช่วงเวลาที่ 1) 14 ส.ค.-13 ต.ค. (ช่วงเวลาที่ 2) และ 14 ต.ค.-22 ธ.ค. (ช่วงเวลาที่ 3) ของรื้ว A ในสวนปาล์มน้ำมัน (บน) และรื้ว B ในสวนยางพารา (ล่าง)



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินสุทธิ (ลบ.ชม.) กับดัชนีกำลังของการไหลในร้ว SPI ของร้ว A ในสวนปาล์ม (Palm A) (บน)และ ร้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B) (ล่าง)

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินสุทธิกับดัชนีกำลังของการไหลของน้ำในร้วที่มีการกร่อนมากที่สุดของสวนยางพารา (Rubber B) และสวนปาล์ม (Palm A) (ภาพที่ 9) พบว่าดัชนีกำลังการไหลของน้ำสามารถอธิบายการกร่อนดินของร้ว A ในสวนปาล์ม ($R^2 = 0.5575$) ได้้น้อยกว่า ของร้ว B ในสวนยางพารา ($R^2 = 0.8248$) เนื่องจาก ปาล์มน้ำมันมีระบบรากเป็นรากฝอย ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่บริเวณผิวดิน ลึกลงไปไม่เกิน 45 เซนติเมตร มีความหนาแน่นมากบริเวณโคนต้นในระยะ 1.5 – 2 เมตร [13] ซึ่งสามารถช่วยลดความรุนแรงของกระแสน้ำได้ทำให้การกร่อนของร้วเกิดขึ้นไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากระบบรากของยางพาราที่เป็นระบบรากแก้ว มีขนาดรากใหญ่และลึกลงใต้ผิวดิน เมื่อเกิดการไหลบ่าของน้ำหน้าดินจึงเกิดการสูญเสียดินมากกว่า

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของรื้อแต่ละแห่งกับลักษณะของฝน

ชนิด		ปริมาณฝนรวม	ความชื้นฝนสูงสุด	ความชื้นฝนเฉลี่ย	จำนวนวันที่ฝนตก
Palm A	กั๊ดเซาะ	-0.36	0.98	0.41	-0.66
	ทับถม	0.21	-1.00	-0.54	0.54
	สุทธี	-0.33	0.99	0.44	-0.64
Palm B	กั๊ดเซาะ	0.99	-0.02	0.80	0.87
	ทับถม	-0.81	-0.44	-0.99	-0.55
	สุทธี	0.97	0.06	0.85	0.83
Palm C	กั๊ดเซาะ	0.95	-0.48	0.44	1.00
	ทับถม	-0.99	0.29	-0.61	-0.97
	สุทธี	0.97	-0.40	0.52	0.99
Rubber A	กั๊ดเซาะ	0.68	-0.84	-0.04	0.90
	ทับถม	-0.20	1.00	0.55	-0.53
	สุทธี	0.66	-0.85	-0.07	0.88
Rubber B	กั๊ดเซาะ	0.90	0.28	0.95	0.69
	ทับถม	0.65	-0.86	-0.08	0.88
	สุทธี	0.34	0.87	0.91	-0.01
Rubber C	กั๊ดเซาะ	0.72	-0.81	0.01	0.92
	ทับถม	0.83	0.41	0.98	0.58
	สุทธี	0.69	-0.84	-0.03	0.90

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของรื้อกับลักษณะของฝน พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของรื้อส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับจำนวนวันที่ฝนตกมากที่สุดยกเว้นรื้อ A ในสวนปาล์ม (Palm A) ที่การเปลี่ยนแปลงของรื้อมีความสัมพันธ์กับความชื้นฝนสูงสุดมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าความรุนแรงของฝนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของรื้อในพื้นที่ศึกษา

สรุปผลการวิจัย

รื้อที่มีลักษณะทางกายภาพต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและปริมาณการกร่อนดินที่ต่างกัน โดยทั่วไปพบว่ารื้อในสวนยางพารามีปริมาณการสูญเสียหน้าดินสุทธีมากกว่ารื้อในสวนปาล์มน้ำมัน และความลาดชันมีผลต่อการสูญเสียดินของรื้อ เมื่อความลาดชันเพิ่มขึ้นปริมาณการสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นด้วย

การสูญเสียหน้าดินสุทธิสูงสุดเกิดขึ้นที่ริ้วที่มีค่าดัชนีกำลังของการไหลของน้ำสูงสุดทั้งในสวนยางพาราและสวนปาล์มน้ำมัน ปัจจัยของน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของริ้วมากที่สุดคือจำนวนวันที่ฝนตกจากผลการศึกษาจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของริ้วและศึกษาปริมาณการสูญเสียดินได้อย่างมีประสิทธิภาพเครื่องสแกนเลเซอร์มีรัศมีที่สามารถสแกนได้ไกลถึง 120 เมตร และมีความถูกต้องสูงในระยะรัศมี 50 เมตร ดังนั้นการศึกษาในอนาคตสามารถเลือกพื้นที่ศึกษาที่กว้างขึ้นจะทำให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของริ้วได้จากปัจจัยต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น ลำดับของการเกิดร่องน้ำ หรือศึกษาอิทธิพลพื้นที่รับน้ำและความแรงของกระแสน้ำที่ส่งผลต่อการพัฒนาริ้วและร่องธารตลอดจนปริมาณการสูญเสียดินในระดับที่ใหญ่ขึ้น

References

- [1] Vagen, T. G., & Winowiecki, L. A. (2019). Predicting the spatial distribution and severity of soil erosion in the global tropics using Satellite Remote Sensing. *Remote Sensing*, 11(15), 1800. DOI: org/10.3390/rs11151800.
- [2] Chen, T., Niu, R.Q., Li, P.X., Zhang, L.P., & Du, B. (2011). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China. *Environmental Earth Sciences*, 63(3), 533–541.
- [3] Rengers, F.K., & Tucker, G.E. (2015). The evolution of gully headcut morphology: a case study using terrestrial laser scanning and hydrological monitoring. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(10), 1304–1317.
- [4] Kou, P., Xu, Q., Yunus, A.P., Ju, Y., Guo, C., Wang, C., & Zhao, K. (2020). Multi-temporal UAV data for assessing rapid rill erosion in typical gully heads on the largest tableland of The Loess Plateau, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(4), 1861–1877.
- [5] Goodwin, N.R., Armston, J.D., Muir, J., & Stiller, I. (2017). Monitoring gully change: A comparison of airborne and terrestrial laser scanning using a case study from Aratula, Queensland. *Geomorphology*, 282, 195–208.
- [6] Gudino-Elizondo, N., Biggs, T.W., Castillo, C., Bingner, R.L., Langendoen, E.J., Taniguchi, K.T. Kretzschmar, T., Yuan Y., & Liden, D. (2018). Measuring ephemeral gully erosion rates and topographical thresholds in an urban watershed using unmanned aerial systems and structure from motion photogrammetric techniques. *Land Degradation & Development*, 29(6), 1896–1905.
- [7] Eltner, A., & Baumgart, P. (2015). Accuracy constraints of terrestrial Lidar data for soil erosion measurement: Application to a Mediterranean field plot. *Geomorphology*, 245, 243–254.
- [8] Karsidag, G., & Alkan, R.M. (2012). Analysis of the accuracy of terrestrial laser scanning measurements. in *The FIG Working Week* 2012. 1–16. May 6–10, 2012, Cavalieri Hotel. Rome: Italy.
- [9] Milan, D.J., Heritage, G.L., & Hetherington, D. (2007). Application of a 3D laser scanner in the assessment of erosion and deposition volumes and channel change in a proglacial river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(11), 1657–1674.

- [10] Kruptawanich, N. (2015). *A study of scanning geometry factors affecting the accuracy of Terrestrial Laser Scanner*. Master's Degree Thesis. Chulalongkorn University.
- [11] Perroy, R.L., Bookhagen, B., Asner, G.P., & Chadwick, O.A. (2010). Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. *Geomorphology*, 118(3–4), 288–300.
- [12] Southern Region Irrigation Hydrology Center. (2018). *Rainfall data* (Online). Retrieved 10 April 2562, from <http://hydro-8.com>.
- [13] Jourdan, C., Michaux-Ferriere, N., & Perbal, G. (2000). Root system architecture and gravitropism in the oil palm. *Annals of Botany*, 85(6), 861–868.

ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone ต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และโครงสร้างคลอโรพลาสต์ในมะเขือเทศพันธุ์ CH154 ภายใต้สภาวะแล้ง

Effect of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone on Photosynthesis, Chlorophyll Content and Chloroplast Structure in Tomato (*Solanum lycopersicum* cv. “CH154”) under Drought Stress

พชร มณีโชติ^{1,4} สุขุมารณ์ แสงงาม^{2,4*} และปรินทร์ ชัยวิสุทธิทางกูร^{3,4}

Pachara Maneechote^{1,4} Sukhumaporn Saeng-ngam^{2,4*} and Parin Chaivisuthangkura^{3,4}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสาร 7,8-Dihydro-8 α -20-Hydroxyecdysone (DHECD) ต่อความสามารถในการทนแล้งของต้นมะเขือเทศ การสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์และโครงสร้างคลอโรพลาสต์ โดยการจำลองสภาวะแล้งด้วยสาร Polyethylene Glycol 6000 (PEG) แบ่งเป็นการทดลองที่ 1 ศึกษาความสามารถในการทนต่อระดับความแล้งของพืชโดยศึกษาความยาวต้นและราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative Water Content, RWC) ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ด้วยการจำลองสภาวะแล้ง จำนวน 4 ทริตเมนต์ คือ 0 % 0.25 % 0.5 และ 1 % (w/v) PEG การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อสัดส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบี Performance Index (PI) คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (F_v/F_m) ค่าความเขียวของใบ (SPAD Value) และ โครงสร้างคลอโรพลาสต์ภายใต้สภาวะแล้ง แบ่งออกเป็น 3 ทริตเมนต์ คือ 1) พืชในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร 0 μ M DHECD 2) พืชในสภาวะแล้งที่ระดับ 0.5 % (w/v) PEG ที่พ่นด้วยสาร 0 μ M DHECD และ 3) พืชในสภาวะแล้งที่ระดับ 0.5 % (w/v) PEG ที่พ่นด้วยสาร 50 μ M DHECD ผลการทดลองพบว่า การทดลองที่ 1 พืชทนต่อระดับความแล้งสูงสุดที่ 0.5 % (w/v) PEG โดยมีความยาวต้นและ

¹ นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

² ศศ.ดร., ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

³ ศศ.ดร., ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

⁴ ศูนย์เพื่อความเป็นเลิศทางวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพสัตว์ พืช และปรีสิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

¹ Master Degree Student, Program in Master of Science (Biotechnology), Department of Biology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110 Thailand

² Asst. Prof. Dr., Department of Biology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110, Thailand

³ Assoc. Prof. Dr., Department of Biology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110, Thailand

⁴ Center of Excellence in Animal, Plant and Parasite Biotechnology, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: Sukhumaporns@g.swu.ac.th

(Received: April 21, 2020; Revised: June 9, 2020; Accepted: June 16, 2020)

ราก RWC ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี ในใบลดลงเท่ากับ 33.93 % 60.57 % 34.22 % 12.47 % และ 35.68 % เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น 47.20 % เมื่อเทียบกับชุดควบคุม การทดลองที่ 2 พบว่าหลังจากได้รับสภาวะแล้ง 12 วัน สาร DHECD ช่วยรักษาโครงสร้างคลอโรพลาสต์ในใบ เพิ่มสัดส่วนคลอโรฟิลล์ เอต่อบี ค่า PI F_v/F_m และ SPAD เท่ากับ 6.51 % 21.22 % 0.72 % และ 25.43 % ตามลำดับเมื่อเทียบกับพืชที่ได้รับสภาวะแล้งที่ไม่ได้พ่นด้วยสาร DHECD แสดงให้เห็นว่าสาร DHECD ส่งเสริมประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยรักษาสภาพของโครงสร้างคลอโรพลาสต์และปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นมะเขือเทศภายใต้สภาวะแล้งได้

คำสำคัญ: มะเขือเทศ ความแล้ง บราสสิโนสเตียรอยด์ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ คลอโรฟิลล์ คลอโรพลาสต์

Abstract

This research aimed to investigate the role of 7,8-Dihydro-8 α -20-Hydroxyecdysone (DHECD) on drought tolerant ability, photosynthesis, chlorophyll content and chloroplast structure under drought by using Polyethylene Glycol 6000 (PEG) in tomato. The experiment 1 studied drought tolerant ability in tomato and measured shoot length, root length, Relative Water Content (RWC), chlorophyll and carotenoids contents. There were 4 treatments: 0 %, 0.25 %, 0.5 %, and 1 % (w/v) PEG whereas the experiment 2 determined the effect of DHECD on chlorophyll *a/b* ratio, performance index (PI), chlorophyll fluorescence (F_v/F_m), SPAD values and chloroplast ultrastructure in tomato under drought. There were 3 treatments: 1) control plants (0 % (w/v) PEG) and sprayed with 0 μ M DHECD, 2) drought treated plants (0.5 % (w/v) PEG) and sprayed with 0 μ M DHECD, and 3) drought treated plants (0.5 % (w/v) PEG) and sprayed with 50 μ M DHECD. Experiment 1 results showed that shoot and root lengths, RWC, chlorophyll *a*, and chlorophyll *b* contents of drought treated plants (0.5 % (w/v) PEG) were decreased by 33.93 %, 60.57 %, 34.22 %, 12.47 % and 35.68 %, respectively when compared with control while carotenoids content increased by 47.20 % when compared with control. Experiment 2 results showed that after 12 days of drought treatment, DHECD maintained chloroplast structure in leaves and increased chlorophyll *a/b* ratio, PI, F_v/F_m and SPAD values by 6.51 %, 21.22 %, 0.72 % and 25.43 %, respectively when compared with drought. These results indicated that DHECD application improves photosynthetic efficiency and maintains chlorophyll content and chloroplast structure in tomato under drought.

Keywords: Tomato, Drought, Brassinosteroids, Chlorophyll Fluorescence, Chlorophyll, Chloroplast

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum*) is important economic crops of Thailand. Moreover, it contains many antioxidants such as carotenoids, ascorbic acid, vitamin E and phenolic compounds. Nowadays, drought is environmental stress that declines Relative Leaf Growth Rate (RGR) and increases lipid peroxidation and hydrogen peroxide (H_2O_2) level in plants. Plant growth regulators (PGR) application is one of the solutions for this problem. Brassinosteroids (BRs) are steroidal PGR that can promote seed germination,

induce cell elongation and increase yield of plants, such as 24-epibrassinolide (EBR). The previous study reported that EBR application reduced malondialdehyde (MDA) and H₂O₂ by enhancing antioxidant enzymes, such as superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPOD) and catalase (CAT) in leaves of tomato under heat stress [1]. However, the commercial use of BRs is expensive. Therefore, in this study the researchers interested to study the effect of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD), which similar structure to BRs on some physiological responses in tomato under drought. Previous study reported that DHECD alleviated heat stress by increasing net photosynthetic rate and decreasing lipid peroxidation and induced thermotolerance by improving antioxidant enzymes, such as SOD, APX, CAT and peroxidase (POD) for H₂O₂ scavenging in rice [2]. Accordingly, this research purposed to study DHECD on some physiological changes, such as chlorophyll *a/b* ratio, SPAD value and chlorophyll fluorescence parameters in order to improving the drought tolerance in tomato cv. "CH154".

Materials and Methodology

1. Plant material and growth conditions

Seeds of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. "CH154") were sown in plastic pots containing Hoagland's nutrient solution. The plants were grown in greenhouse at Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok. Sixty-five-day-old of tomatoes were used for the experiments. An experimental design was completely randomized design (CRD) using four replications per treatment.

Experiment I: To investigate of drought tolerance capacity in tomato under different levels of drought. Simulation of drought stress by polyethylene glycol (PEG) induces drought on the plants. PEG treatments were divided into four levels consisting of 0 %, 0.25 %, 0.5 % and 1 % (w/v). The leaf samples were harvested every 6 days for 24 days. Shoot and root lengths, relative water content (RWC), chlorophyll and carotenoids contents were measured.

Experiment II: To investigate the role of DHECD on chlorophyll content, chloroplast structure and efficiency of photosynthesis in tomato under drought. The plants were divided into three treatments and sprayed one time with DHECD at the beginning (day 0) as follows: 1) control plants and sprayed with 0 μ M DHECD, 2) drought treated plants (0.5 % PEG) and sprayed with 0 μ M DHECD and 3) drought treated plants (0.5 % PEG) and sprayed with 50 μ M DHECD. The third and fourth tomato compound leaves (numbered basipetally) were harvested every 3 days for 12 days after drought treatment.

2. Determination of pigment contents

One hundred milligrams of leaf fresh weight in test tubes were added with 7 mL of dimethyl sulfoxide (DMSO) solution. After overnight incubation, extract liquid was boiled at 65 °C until leaf greenness and made up to 10 mL of total volume with DMSO. The extract was measured by using spectrophotometer (UNICO S1200, U.S.) at 480, 649 and 665 nm. Pigment contents contained chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and carotenoids, which calculated with equations [3].

$$\begin{aligned}\text{Chlorophyll } a \text{ content (Chlo } a) &= 12.19 (A_{665}) - 3.45 (A_{649}) \\ \text{Chlorophyll } b \text{ content (Chlo } b) &= 21.99 (A_{649}) - 5.32 (A_{665}) \\ \text{Chlorophyll } a/b \text{ ratio} &= \text{Chlo } a / \text{Chlo } b \\ \text{Carotenoids content} &= [1000(A_{480}) - 2.14(\text{Chlo } a) - 70.16(\text{Chlo } b)] / 220\end{aligned}$$

3. Determination of relative water content (RWC)

Leaf discs of 6 mm diameters were excised from tomato leaves with cork borer. After recording fresh weight (FW), the discs were incubated in distilled water for 24 hours and then measured turgid weight (WT). Finally, the leaves were dried at 60 °C for 5 days and dry weight (DW) was recorded. Relative water content (RWC) was calculated by using standard equation as follows: $RWC (\%) = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$.

4. Measurement of SPAD value

The third and fourth tomato compound leaves (numbered basipetally) were selected. Each fully expanded mature leaf was recorded 3 times with a chlorophyll meter (SPAD-502, Konica Minolta, Japan). Each average SPAD value was calculated.

5. Measurement of chlorophyll fluorescence parameters

The third and fourth tomato compound leaves (numbered basipetally) were selected. Chlorophyll fluorescence parameters contained the maximum quantum efficiency of PSII (F_v/F_m) and performance index (PI) and were recorded by using a Pocket PEA chlorophyll fluorimeter (Hansatech, UK). Tomato leaves were pinched with leafclips for 30 min of dark adaptation. Minimal (F_0) and maximal (F_m) fluorescent emissions in dark-adapted state were determined for calculating F_v/F_m value $[(F_m - F_0) / F_m]$.

6. Chloroplast ultrastructure observation

Terminal leaflets of third compound leaf (numbered basipetally) were selected. Tomato leaves were sliced into 1 mm² sections. The sections were immersed in mixture of 2.5 % glutaraldehyde and formaldehyde in phosphate buffer (pH 7.5) for 24 hours (primary fixation). Leaf sections were washed with 0.1 % buffer and fixed in 0.1 % osmic acid for 2 hours (secondary fixation). After dehydration in ethanol and embedding, ultra-thin sections were cut by using ultramicrotome (Leica EM UC7, Austria), stained with uranium acetate and lead citrate in series and examined under an electron microscope (Hitachi HT7700, Japan) at 80 kV.

7. Statistical analysis

The data were analyzed with One-way ANOVA of SPSS program (version 25). Mean differences of data were compared with method of Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at $p < 0.05$ level of significance.

Results

In the experiment I, drought stress level at 0.5 % (w/v) PEG significantly decreased ($p < 0.05$) shoot and root lengths, chlorophyll *a*, chlorophyll *b* contents and RWC in tomato plants by 59.91, 76.72, 39.21, 70.79 and 12.31 %, respectively when compared with control while carotenoids content increased by 55.89 % after 24 days of drought when compared with control. The chlorophyll and carotenoids contents showed no significant difference between unstressed plants and 0.25 % (w/v) PEG-treated plants at day 18. The decline of length, chlorophyll content and RWC were higher in 0.5 % (w/v) PEG than 0.25 % (w/v) PEG. Nonetheless, shoot and root lengths were the lowest in 1 % (w/v) PEG. Moreover, pigment contents and RWC could not measure from day 18 to day 24 under 1 % (w/v) PEG because of leafless for sampling (Figure 1).

Chlorophyll *a/b* ratio, SPAD value, PI and F_v/F_m parameters of stressed plants with 0 μ M DHECD decreased by 12.98, 22.48, 23.83 and 1.08 %, respectively at day 9 compared with control plants. The chlorophyll *a/b* ratio and SPAD value was higher in unstressed plants than stressed plants that sprayed with 0 μ M DHECD whereas PI and F_v/F_m showed no significant difference at day 12. However, these parameters increased significantly ($p < 0.05$) in DHECD-treated plants from day 6 to day 12 by 6.51, 25.43, 21.22 and 0.72 %, respectively after 12 days of drought stress compared with stressed plants without sprayed with DHECD (Figure 2).

After 12 days of drought, the structure of chloroplast in stressed plant that sprayed with 0 μ M DHECD showed small size, shrink shape, disappearing starch and thin grana lamellae (Figure 3b) while unstressed plant represented mature size, regular shape, generating starch and thick grana lamellae (Figure 3a). Nevertheless, chloroplast structure of stressed plant that sprayed with 50 μ M DHECD was similar to unstressed plant (Figure 3c).

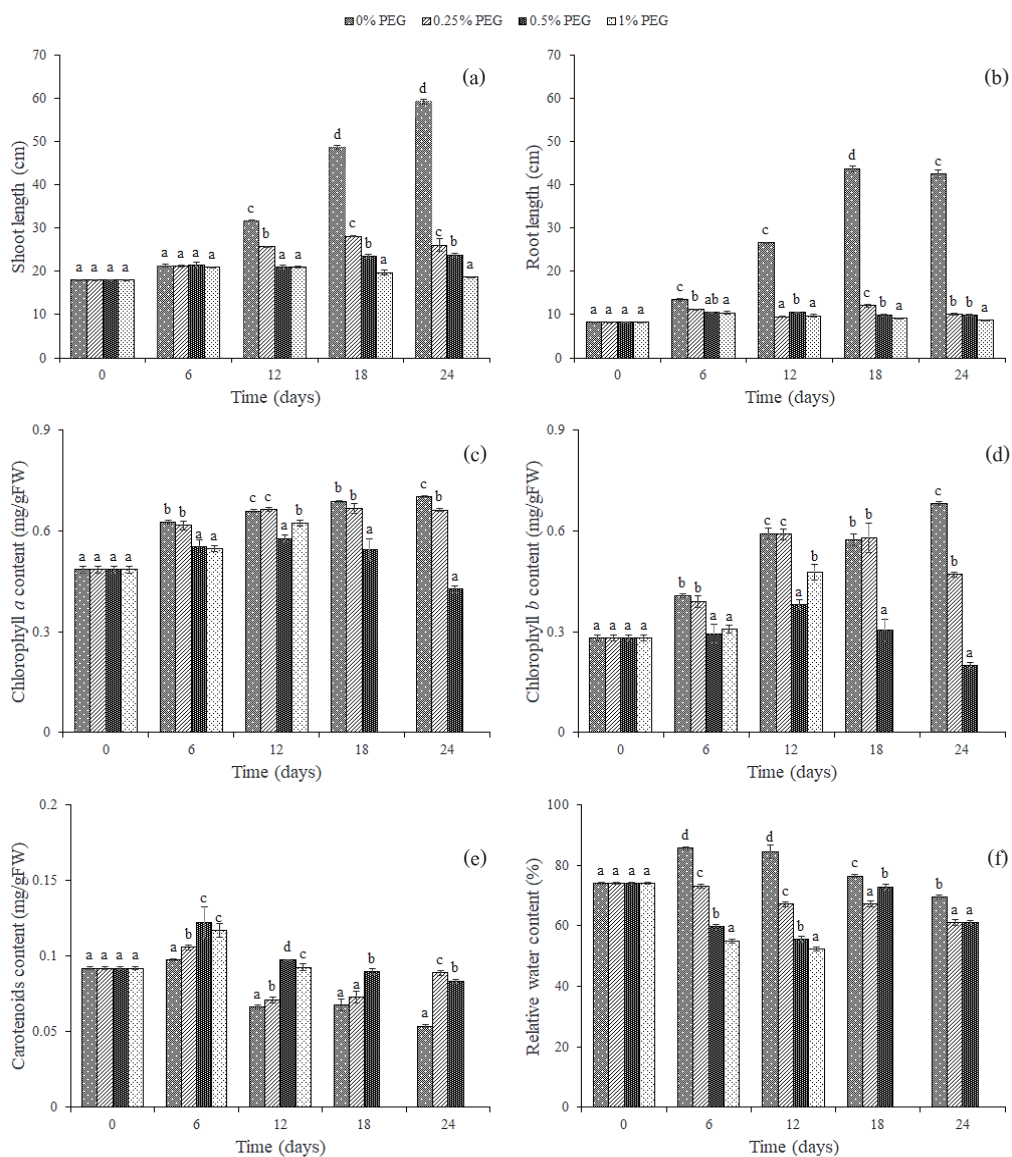


Figure 1 Effect of drought stress on shoot length (a), root length (b), chlorophyll *a* (c), chlorophyll *b* (d), carotenoids (e) and relative water contents (f) of tomato. Each histogram shows a mean $\pm$ standard error (SE) of four replications. The different letters within same time represent significant difference between treatments ($p < 0.05$).

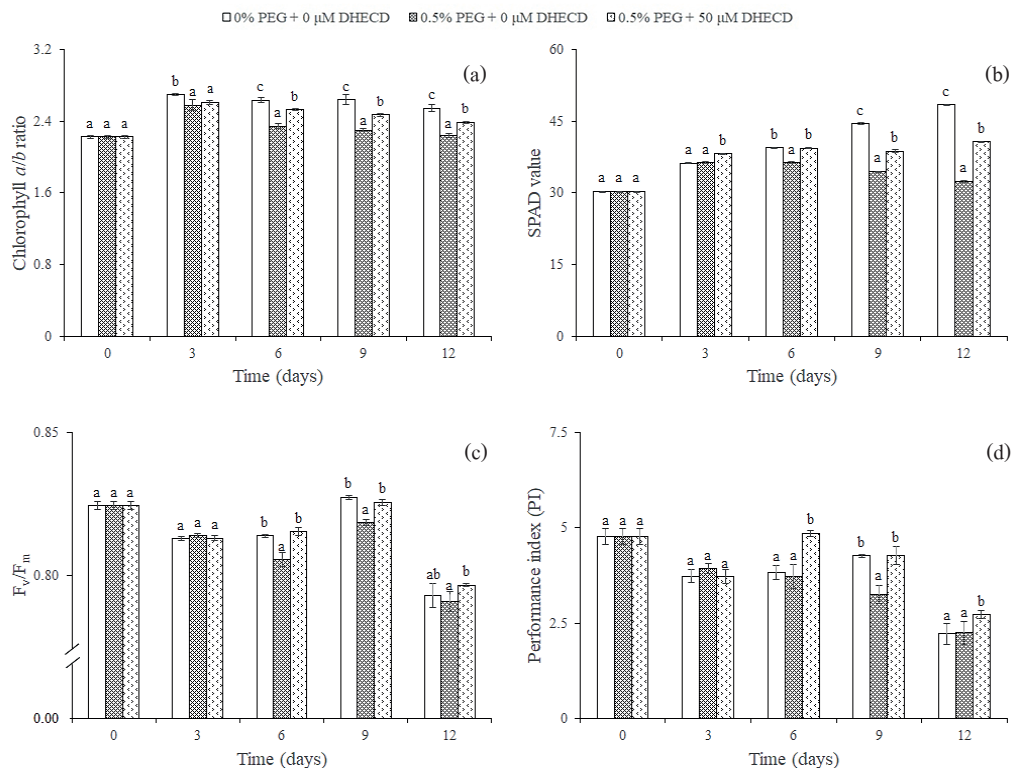


Figure 2 Effect of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) on chlorophyll *a/b* ratio (a), SPAD value (b), the maximum quantum efficiency of PSII; F_v/F_m (c) and performance index; PI (d). Each histogram shows a mean $\pm$ standard error (SE) of four replications. The different letters within same time represent significant difference between treatments ($p < 0.05$).

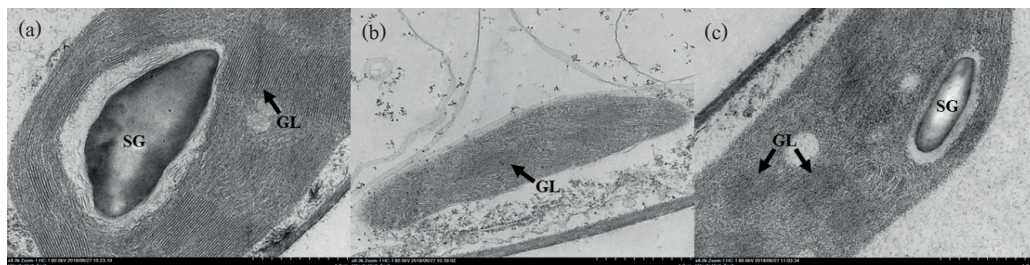


Figure 3 Effect of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) on the ultrastructure of chloroplast in tomato leaves. Control (0 % PEG) spray with 0 μ M DHECD (a), drought (0.5 % PEG) spray with 0 μ M DHECD (b) and drought (0.5 % PEG) spray with 50 μ M DHECD (c). The third (numbered basipetally) fully expanded mature leaves were selected for transmission electron microscopy after 12 days of drought stress (grana lamellae; GL and starch grain; SG and scale bar for chloroplast ultrastructure are 1.0 μ m.)

Discussion

Plants manifest multiple defense mechanisms involving various morphological and physiological alterations in response to drought stress. In this study, the shoot length, root length, relative water content (RWC), chlorophyll of tomato were declined under drought (Figure 1) because PEG interfered water absorption of root. It affected decreasing water within plant cells and incomplete mitosis, which led to inhibit cell elongation and cell division. Furthermore, drought stress decreased chlorophyll contents by enhancing transcription of chlorophyll degradation enzymes, such as chlorophyllase and pheophorbide *a* oxygenase. In contrast, carotenoids content increased because they protect photosynthetic apparatus against reactive oxygen species (ROSs), which produced from plants grown under abiotic stresses. The results showed that 0.5 % (w/v) PEG was the highest drought tolerant level of this tomato whereas 1 % (w/v) PEG was severe drought level that the plant could not tolerate to stress because this PEG concentration affected leafless tomato from day 18 to day 21. These results are consistent with those of other studies that have reported that high concentrations of PEG reduce the plant growth such as the germination percentages of lentil [4]. Therefore, the concentration of PEG at 0.5 % (w/v) was selected for experiment II.

Leaf greenness value (SPAD value), which positively correlated with chlorophyll contents is a parameter for estimating plant response to drought. The results showed that chlorophyll *a/b* ratio and SPAD value were decreased by drought stress. However, in this study found that exogenous DHECD maintained chlorophyll level and SPAD value in tomato plants under drought (Figure 2b).

Evaluation of the response of the photosynthetic apparatus to different abiotic stress condition has generally been performed by analyzing parameters describing the maximum quantum efficiency of photosystem II (PSII) photochemistry (F_v/F_m), electron transport rate (ETR), photochemical quenching (qP) and non-photochemical quenching (qN). F_v/F_m implied that plant exhibited different photosynthetic strategies to utilize the absorbed irradiance under drought stress [5]. Moreover, there are many studies suggest that performance index (PI) parameter, which quantifies the overall functionality of the electron flow through PSII, might be a sensitive parameter of plant homeostasis and it is also interesting to evaluate specific energy fluxes per reaction centre (RC) in plant. The result showed that unstressed plants can efficiently keep homeostasis of photosynthetic apparatus and the stressed plants that sprayed with DHECD had similar F_v/F_m after exposure to drought stress. While stressed plants were not sprayed with DHECD were lower F_v/F_m than the other (Figure 2c). This indicated a perturbation in PSII functional properties in drought. The result found that stressed plants were sprayed with 50 μ M DHECD had higher PI than stressed plants that sprayed with 0 μ M DHECD in drought stress (Figure 2d). Therefore, DHECD enhance the efficiency of photosynthesis in tomato plants under drought. These results were consistent with previous research, which reported that DHECD increased chlorophyll contents, SPAD value and F_v/F_m of rice (*Oryza sativa* L. cv. "Pathum Thani 1") under heat stress [6].

Moreover, the changing in morphological traits such as chloroplast structure indicated plant displayed defects in osmotic stress. The result also showed that exogenous DHECD had maintained chloroplast structure of tomato plant under drought (Figure 3). Although, drought induced the generation of ROSs (e.g. hydrogen peroxide (H₂O₂) and hydroxyl radical) in chloroplast and ROSs ruined DNA, polyunsaturated fatty acid in lipids and amino acids in proteins. Therefore, DHECD alleviated drought stress by reduced lipid peroxidation, H₂O₂ content, and maintained structure of chloroplast in tomato leaves [7].

Conclusion

The study demonstrated that drought stress reduced shoot and root growth, chlorophyll content and water content in tomato leaves. The highest drought tolerant level of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. "CH154") was 0.5 % (w/v) PEG. However, DHECD relieved drought stress in tomato by sustaining chloroplast structure and improving photosynthetic efficiency and chlorophyll accumulation in leaves. This study indicated that DHECD enhanced drought tolerance and it was a good candidate for the improvement of the photosynthetic efficiency in tomato plants under drought stress.

References

- [1] Ogwen, J. O., Song, X. S., Shi, K., Hu, W. H., Mao, W. H., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., & Nogués, S. (2008). Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27(1), 49–57.
- [2] Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-arree, W., Klinsakorn, S., Suksamrarn, A., & Jutamanee, K. (2016). Exogenous 7,8-dihydro-8 α -hydroxyecdysone application improves antioxidative enzyme system, photosynthesis, and yield in rice under high-temperature condition. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(8), 1–11. DOI: <https://doi.org/10.007/s11738-016-2205-8>.
- [3] Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal Plant Physiology*, 144(3), 307–313.
- [4] Siahars, B. A., Ganjali, S., & Allahdoo, M. (2010). Evaluation of drought tolerance indices and their relationship with grain yield of lentil lines in drought-stressed and irrigated environments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(9), 4336–4346.
- [5] Ceusters, N., Valcke, R., Frans, M., Claes, J. E., den Ende, W. V., & Ceusters, J. (2019). Performance index and PSII connectivity under drought and contrasting light regimes in the CAM orchid *Phalaenopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1–15. www.frontiersin.org.
- [6] Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Kaveeta, L., Chai-arree, W., Pankean, P., Homvisasevongsa, S., & Suksamrarn, A. (2015). Comparative effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on improving photosynthesis, lipid peroxidation, and rice seed set under heat stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(2), 320–331.

- [7] Maneechote, P., Ke, X., Thongsomnuek, P., Keawlaong, S., Hngokchai, C., Suksamrarn, A., Chaivisuthangkura, P., & Saeng-ngam, S. (2018). Effect of brassinosteroid mimic on chlorophyll content and lipid peroxidation of tomato (*Solanum lycopersicum*) grown under drought stress. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(Supplement 1), 322–327.

ลักษณะทนแล้ง ผลผลิตและสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทนแล้ง กับผลผลิตของข้าวไร่พันธุ์แนะนำ

Drought Tolerant Traits, Yield and Correlation Between Drought Tolerant Traits and Yield of a Recommended Upland Rice Varieties

สุวัฒน์ อิมวิชิต¹ และธีรวัฒน์ สรรตโยภาส^{2*}

Suwat Imwichit¹ and Teerawat Sarutayophat^{2*}

บทคัดย่อ

ข้าวไร่มักจะให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากปริมาณน้ำฝนไม่สม่ำเสมอตลอดฤดูปลูก ลักษณะสรีรวิทยาบางประการอาจสัมพันธ์กับความสามารถในการทนแล้งและการให้ผลผลิตของข้าวที่ปลูกในสภาพไร่ จึงได้ทำ 2 การทดลองเพื่อศึกษาลักษณะสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทนแล้ง ผลผลิตและสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทนแล้งกับผลผลิตของข้าวไร่ 5 พันธุ์ ประกอบด้วย เหนียวคำลิมพัว ชิวแม่จัน นุสรรา ขุนวางและพญาลิมแกง โดยมี 3 พันธุ์ ได้แก่ IR1552 บาเกียวและข้าวนาสวนพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ การศึกษาลักษณะสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทนแล้ง 4 ลักษณะ คือ ความยาวรากสูงสุด น้ำหนักรากแห้ง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักดินแห้งและค่าการสูญเสียไอน้ำผ่านปากใบ (Stomatal Conductant) ที่อายุ 40 วันหลังปลูกในกระถาง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 3 ซ้ำ สุ่มบันทึกลักษณะ 10 กอ/หน่วยทดลอง ส่วนการทดลองเปรียบเทียบผลผลิตในสภาพไร่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก 3 ซ้ำ ทดลองในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2560 (ส.ค.-ธ.ค.) สุ่มบันทึกข้อมูลผลการทดลอง 10 กอ/หน่วยทดลอง ผลการทดลองพบว่า ข้าวไร่ทั้ง 5 พันธุ์มีลักษณะที่สัมพันธ์กับการทนแล้งทั้ง 4 ลักษณะ คือว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 กล่าวคือ มีความยาวรากสูงสุด น้ำหนักรากแห้ง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง สูงกว่าพันธุ์ปทุมธานี 1 และมีที่ค่าการสูญเสียไอน้ำผ่านปากใบต่ำกว่าพันธุ์ปทุมธานี 1 นอกจากนี้พบว่า ความยาวรากสูงสุดและสัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักดินแห้งมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) กับผลผลิตเป็นบวกอย่างมีนัยสำคัญ โดย r เท่ากับ 0.733** และ 0.565** ตามลำดับ

คำสำคัญ: ลักษณะสัมพันธ์กับการทนแล้ง ผลผลิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ข้าวไร่

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² ผศ.ดร., ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Graduate Student, Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Chaokuntaharn Ladkrabang, Bangkok, 10520

² Asst. Prof. Dr., Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Chaokuntaharn Ladkrabang, Bangkok, 10520

* Corresponding author: Tel.:0869567064 E-mail address: teerawat.sa@kmitl.ac.th

(Received: April 21, 2020; Revised: May 21, 2020; Accepted: May 26, 2020)

Abstract

Upland rice usually produces relative low yield due to an erratic rainfall throughout growing season. Some physiological traits may associate with drought tolerant capacity and yield productivity in upland condition. Two experiments were conducted to study the physiological traits that associate to drought tolerant, yield, and correlation between drought tolerant traits and yield of 5 upland rice varieties as follow: Niew Dum Luem Phua, Sew Mae Jan, Noot Sara, Khun Wang, and Pa-yah Leum Gaeng with 3 check varieties; IR1552, Baguio, and Pathum Thani 1. Four drought tolerant associated traits; longest root, root dry weight, root/shoot dry weight ratio and stomatal conductant at 40-days after sowing were studied in plastic pots. A completely randomized design with 3 replications was used; data were sampling recorded for 10 hills/experimental unit. While yield trial on unbound upland environment was carried out in rainy season, 2017 (August - December), a randomized complete block design (RCBD) with 3 replications was used, and data were sampling recorded for 10 hills/unit. Four drought tolerant related physiological traits of all 5 upland rice varieties were better than Pathum Thani 1, with higher longest root, root dry weight, root/shoot dry weight ratio than Pathum Thani 1 meanwhile the stomatal conductivity was lower than Pathum Thani 1. Correlation Coefficient (r) between longest root and root/shoot dry weight ratio to grain yield were significantly positive at which (r) were 0.733** and 0.565**, respectively.

Keywords: Drought Tolerant Relate Traits, Yield, Correlation Coefficient, Upland Rice

บทนำ

ข้าว (*Oryza Sativa* L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในแต่ละปีประเทศไทยผลิตข้าวได้ประมาณ 19.5-20.0 ล้านตันข้าวสาร [1] และมากกว่าครึ่งของปริมาณผลผลิตที่ได้ส่งออกจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2560-2561 ประเทศไทยส่งข้าวสารออกไปขายต่างประเทศประมาณ 11 ล้านตัน/ปี มูลค่า 175,160.8-182,082.0 ล้านบาท/ปี [2] แต่ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่งในตลาดค้าข้าว กล่าวคือ ชาวนาปลูกข้าวได้ผลผลิตเฉลี่ยเพียง 472 กก./ไร่ [1] ขณะที่ข้าวไร่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 210-400 กก./ไร่ [3] สาเหตุที่ข้าวไร่มีผลผลิตต่ำและปริมาณผลผลิตมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากการกระทบแล้งในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งระหว่างการเจริญเติบโตในสภาพไร่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตเป็นประจำทุกปี ในบางปีเกษตรกรอาจไม่ได้ผลผลิตหากประสบภาวะฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน Pharwong, J., et al. [4] รายงานว่าสถานะแล้งมีโอกาสดังขึ้นทุกช่วงระยะการเจริญเติบโต และในช่วงที่ข้าวกำลังพัฒนาช่อรวง-ระยะสร้างน้ำหนักรวมเมล็ดจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตมาก โดยเฉพาะในระยะการผสมเกสร Srividhya, A., et al. [5] รายงานว่า ผลกระทบแล้งอาจทำให้ผลผลิตข้าวเสียหาย 15-50 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการขาดน้ำและระยะการเจริญเติบโต ขณะที่ข้าวขาดน้ำ MacMillan, K., et al. [6] รายงานว่าการเจริญเติบโตและพัฒนาการของรากเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการปรับตัวของพืชต่อสถานะแห้งแล้งเนื่องจากรากเป็นอวัยวะที่พืชทุกชนิดใช้สำหรับการดูดน้ำและธาตุอาหารเพื่อเลี้ยงส่วนต่างๆ ของลำต้น ขณะที่ Kanbar, A., et al. [7] รายงานว่า ความยาวรากยาวสุด และน้ำหนักรากแห้ง มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทนแล้งของข้าวไร่ ทั้งนี้ข้าวไร่ส่วนใหญ่จะมีระบบรากลึก ยาวและมีขนาดใหญ่มาก

จึงทนแล้งได้ดีกว่าข้าวนาสวนที่มีระบบรากตื้น Phonwong, K., et al. [8] ศึกษาลักษณะรากเปรียบเทียบกับระหว่างข้าวไร่กับข้าวนาสวน รายงานว่า ข้าวไร่พันธุ์พญาลิ้มแถมมีจำนวนรากลึก (45.0 ราก/กอ) สูงกว่าข้าวนาสวนพันธุ์ กข 49 (19.0 ราก/กอ) Pushpam, R., et al. [9] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากกับความสามารถทนแล้งและผลผลิตของข้าวไร่ รายงานว่าความหนาและความลึกของรากมีความสัมพันธ์สูงมากกับความสามารถทนแล้งของข้าวไร่ การลดความเสียหายจากภาวะการขาดน้ำหรือกระทบแล้ง วิธีหนึ่งที่จัดการได้ง่ายและต้นทุนต่ำคือ การใช้ข้าวพันธุ์ทนแล้ง

คณะผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อประเมินความสามารถในการทนแล้ง ศักยภาพการให้ผลผลิตและสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่สัมพันธ์กับการทนแล้งกับผลผลิตของข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์แนะนำเพื่อประกอบการแนะนำพันธุ์ข้าวไร่ในเขตอาศัยน้ำฝน และเพื่อประเมินลักษณะที่อาจใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก-ปรับปรุงพันธุ์ข้าวไร่ให้ทนต่อสภาพการขาดน้ำหรือทนแล้งเพิ่มขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. วัสดุอุปกรณ์

ข้าวไร่พันธุ์ที่กรมการข้าวแนะนำและพันธุ์พื้นเมืองดีเด่นจำนวน 5 พันธุ์ดังนี้ เหนียวดำลิ้มผัว ชิวแม่จัน นุสรา ขุนวาง และพญาลิ้มแถม พันธุ์เปรียบเทียบได้แก่ IR1552 และบาเกียว เป็นพันธุ์ทนแล้งมาตรฐาน และพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวนาสวน-ไม่ทนแล้ง [10]

2. วิธีการทดลอง

ทำการทดลอง 2 การทดลองแยกกัน มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การศึกษาลักษณะที่สัมพันธ์กับความสามารถในการทนแล้งของข้าวไร่เปรียบเทียบกับพันธุ์ทนแล้งมาตรฐาน ทำการทดลองต้นฤดูฝนปี พ.ศ. 2560 อาศัยน้ำฝน (ส.ค.-ก.ย.) ที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกทดลองด้วยเมล็ดข้าวออกในกระถางเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 นิ้ว ที่ใส่ดินผสมระหว่างดินร่วนเหนียว: ดินทราย: ดินใบก้ามปู (*Samenca sp.*) อัตราส่วน 1:1:1 จำนวน 20 กก./กระถาง ปลูกเมล็ดงอก 3 เมล็ด/หลุม 3 หลุม/กระถาง จำนวน 5 กระถาง/หน่วยทดลอง หลังต้นกล้าอายุ 14 วัน ถอนให้เหลือ 1 ต้น/หลุม ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ (3.125 กก./กระถาง) หลังปลูก 15 วัน และสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ (1.25 กก./กระถาง) หลังปลูก 30 วัน และเมื่อข้าวมีอายุ 40 วัน หลังปลูก สุ่มบันทึกค่าการไหลของน้ำผ่านปากใบ (Stomatal Conductant) จากใบที่ 2 นับจากใบยอดที่แผ่ขยายเต็มที่ของลำต้นหลัก ตรวจวัดในช่วงเวลา 10:00–12:00 ด้วยเครื่อง Steady State Porometer รุ่น LI-1600 จากนั้นใช้น้ำฉีดล้างรากและบันทึกความยาวราก น้ำหนักราก-ต้นสด และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบันทึกน้ำหนักราก-ต้นรากแห้งจำนวน 10 กอ/หน่วยทดลอง

2.2 ทดสอบผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในสภาพไร่ ปลูกทดสอบผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในสภาพไร่ ที่แปลงทดลองของคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี ลักษณะดินร่วนทราย ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก (Randomized Completely Block Design; RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกด้วยเมล็ดข้าวแห้ง 8-10 เมล็ด/หลุม ระยะปลูก 25 x 25 ซม. จำนวน 12 หลุม/แถว 5 แถว/หน่วยทดลอง หลังข้าวงอก 2 สัปดาห์ถอนแยกให้เหลือ 5 ต้น/หลุม ใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง 1) สูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ หลังข้าวงอก 18-21 วัน 2) สูตร 16-16-8

อัตรา 20 กก./ไร่ หลังใส่ปุ๋ยครั้งแรก 28-30 วัน และ 3) สูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ หลังใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ประมาณ 25-30 วัน ใช้จอบตากกำจัดวัชพืชพร้อมกับการใส่ปุ๋ยรวม 3 ครั้ง ทำการทดลองในฤดูฝนปี พ.ศ. 2560 (2 ส.ค.-20 ธ.ค.) อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติและให้น้ำเสริมเฉพาะกรณีฝนทิ้งช่วงต่อเนื่องเกิน 10 วัน คือในวันที่ 11 จะทำการให้น้ำเสริม สุ่มบันทึกการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต จาก 3 แถวกลาง จำนวน 10 กอ/หน่วยทดลอง

3. การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองด้วยโปรแกรม R และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ลักษณะรากและการไหลของน้ำผ่านปากใบ

ลักษณะรากและการคายระเหยน้ำผ่านทางปากใบที่สัมพันธ์กับการทนแล้ง 4 ลักษณะ ประกอบด้วย ความยาวรากมากที่สุด น้ำหนักรากแห้ง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง และค่าการไหลของน้ำผ่านปากใบของข้าวไร่ 5 พันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์บาเกียว IR1552 และข้าวนาสวนพันธุ์ปทุมธานี 1 ผลการทดลองพบว่า ความยาวรากสูงสุด น้ำหนักรากแห้ง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง และค่าการไหลของน้ำผ่านปากใบที่อายุ 40 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยบาเกียว รากยาวมากที่สุด 50.00 ซม. แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับพันธุ์อื่น ๆ และในกลุ่มข้าวไร่ 5 พันธุ์ พบว่าขุนวาง มีรากยาวมากที่สุด 43.23 ซม. ยาวกว่าข้าวไร่พันธุ์อื่นๆ ที่มีความยาวรากมากที่สุดระหว่าง 23.63-43.23 ซม. ขณะที่ข้าวนาสวนพันธุ์ปทุมธานี 1 มีรากยาวมากที่สุด 28.93 ซม. (ตารางที่ 1)

การเจริญเติบโตของรากวัดในรูปน้ำหนักรากแห้งพบว่า ข้าวไร่नुสรา เหนียวคำลิ้มผัว และขุนวาง มีน้ำหนักรากแห้ง 24.59-25.48 กรัม/กอ มีแนวโน้มสูงกว่า 3 พันธุ์เปรียบเทียบ ที่มีน้ำหนักรากแห้งระหว่าง 19.30-21.41 กรัม/กอ โดยชีวแม่จัน มีน้ำหนักรากแห้งต่ำที่สุด 15.14 กรัม/กอ (ตารางที่ 1) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ ทั้งนี้ Narenut, K., *et al.* [11] รายงานว่าน้ำหนักแห้งของรากสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินและคัดเลือกพันธุ์ข้าวไร่ทนแล้ง

สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง เป็นลักษณะสรีระวิทยาสำคัญอีกลักษณะที่สัมพันธ์กับความสามารถทนแล้งของพันธุ์ข้าว โดยข้าวพันธุ์ที่มีสัดส่วนน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งสูง มีแนวโน้มทนแล้งได้ดีกว่าพันธุ์ที่มีสัดส่วนน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งต่ำ [9] ผลการทดลองพบว่า บาเกียมีสัดส่วนน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งที่สูงที่สุด 0.61 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติจาก IR1552 ขุนวาง และ เหนียวคำลิ้มผัวที่มีสัดส่วนน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งรองลงมา 0.54 0.51 และ 0.49 ตามลำดับ พญาลิ้มแอง มีสัดส่วนน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งน้อยที่สุด 0.38 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ จากปทุมธานี 1 ที่มีสัดส่วนน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง 0.42 (ตารางที่ 1)

ค่าการไหลของน้ำผ่านปากใบเป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียโดยการคายระเหยผ่านทางปากใบ ด้วยเหตุนี้พันธุ์พืชชนิดใดก็ตามที่มีการสูญเสียน้ำผ่านออกทางปากใบต่ำ จัดเป็นพันธุ์ที่ปรับตัวต่อสภาวะขาดน้ำได้ดีหรือทนแล้งได้ดีกว่าพันธุ์ที่มีค่าการสูญเสียน้ำทางปากใบสูง [12] ผลการทดลองพบว่า บาเกียว IR1552 และขุนวาง มีการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างทางสถิติ (1.39, 1.41 และ 1.43 ตามลำดับ) แต่น้อยกว่า

($p < 0.01$) การสูญเสียของข้าวพันธุ์อื่นๆ ที่มีการสูญเสียน้ำทางปากใบ 1.52-1.78 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ตารางที่ 1) ลักษณะรากและการไหลของน้ำผ่านปากใบที่สัมพันธ์กับการทนแล้ง 4 ลักษณะในแต่ละพันธุ์ให้ผลสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นว่าบาเกีย IR1552 และขุนวาง เป็นพันธุ์ข้าวที่ทนแล้งได้ดีกว่าหรือปรับตัวต่อสภาวะน้ำน้อยได้ดีกว่าพันธุ์อื่นๆ และพบว่าข้าวไร่ทั้ง 5 พันธุ์ แสดงลักษณะที่สัมพันธ์กับการทนแล้งดีกว่าข้าวนาสวนพันธุ์ปทุมธานี 1

ตารางที่ 1 ลักษณะรากและค่าการสูญเสียน้ำผ่านปากใบของข้าวไร่ 5 พันธุ์ เปรียบเทียบกับ IR1552, บาเกีย และปทุมธานี 1

พันธุ์ข้าวไร่	ความยาวราก สูงสุด (เซนติเมตร)	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม/กอ)	สัดส่วนระหว่างน้ำ หนักรากแห้ง/ต้นแห้ง	ค่าการสูญเสียน้ำ ผ่านทางปากใบ มิลลิโมล/ตารางเมตร/ วินาที
IR1552	44.13 ^b	20.48 ^{ab}	0.54 ^{ab}	1.41 ^c
บาเกีย	50.00 ^a	21.41 ^{ab}	0.61 ^a	1.39 ^c
เหนียวคำลิ้มผัว	23.63 ^f	25.06 ^a	0.49 ^{abc}	1.78 ^a
ชีวมะจัน	34.03 ^{cd}	15.14 ^b	0.44 ^{bc}	1.52 ^d
นุสร	29.50 ^{de}	25.48 ^a	0.45 ^{bc}	1.61 ^c
ขุนวาง	43.23 ^b	24.59 ^a	0.51 ^{abc}	1.43 ^c
พญาลิ้มแกง	35.00 ^c	18.80 ^{ab}	0.38 ^c	1.71 ^b
ปทุมธานี 1	28.93 ^e	19.30 ^{ab}	0.42 ^{bc}	1.73 ^b
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	8.02	21.07	18.02	1.24

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในสมมติเดียวกันต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

2. การเจริญเติบโตของข้าวในสภาพไร่

ผลการทดลอง พบว่า ข้าว 8 พันธุ์ที่ร่วมทดสอบมีความสูงลำต้นและน้ำหนักฟางแห้งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) ซึ่งความสูงลำต้นส่วนหนึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์ IR1552 เป็นพันธุ์ต้นเตี้ย มีความสูง 59.10 ซม. ส่วนข้าวไร่ทั้ง 5 พันธุ์ ลำต้นสูงปานกลาง 87.30 -102.66 ซม. ซึ่งลักษณะต้นเตี้ย-สูงปานกลางเป็นลักษณะดี มีความทนทานต่อการหักล้มได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ต้นสูง กลุ่มข้าวไร่พบว่า พญาลิ้มแกง ต้นเตี้ย (87.30 ซม.) กว่าพันธุ์อื่นๆ โดยมีลำต้นสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติจากปทุมธานี 1 ที่สูง 83.23 ซม. อย่างไรก็ตาม Rice Department [3] รายงานว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีลำต้นสูง 104-133 ซม. แสดงว่าสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น โดยเฉพาะข้าวนาสวนพันธุ์ปทุมธานี 1 เมื่อปลูกใน

สภาพไร่พบว่ามีการเจริญเติบโตลดลง ส่วนน้ำหนักฟางแห้ง พบว่าบาเกียว มีน้ำหนักฟางแห้งสูงที่สุด (65.72 กรัม/กอ) รองลงมาคือ ชิวแม่จัน นุสรา ขุนวาง และพญาลิ้มแกง มีน้ำหนักฟางแห้งไม่แตกต่างทางสถิติจากบาเกียว 56.24 55.63 48.12 และ 46.98 กรัม/กอ ตามลำดับ โดยปทุมธานี 1 มีน้ำหนักฟางแห้งน้อยที่สุด 28.85 กรัม/กอ ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักฟางแห้งแปรปรวนตามความสูงลำต้นและการแตกกอซึ่งวัดจากจำนวนรวง/กอ (ตารางที่ 2)

3. องค์ประกอบผลผลิต

การทดสอบผลผลิตในสภาพไร่ ดินร่วนทราย ไม่มีคันดินเพื่อการกักเก็บน้ำผลการทดสอบพบว่าพันธุ์ข้าวที่ร่วมทดสอบมีจำนวนรวง/กอ ความยาวรวง (ตารางที่ 2) จำนวนเมล็ด/รวง จำนวนเมล็ดดี/รวง เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและน้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด (ตารางที่ 3) แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยพันธุ์ปทุมธานี 1 มีจำนวนรวง/กอ น้อยที่สุด (5.86 รวง/กอ) ขณะที่บาเกียวและIR1552 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนแล้งแตกกอดีมีจำนวนรวง 31.06 และ 21.20 รวง/กอ ตามลำดับ ในกลุ่มข้าวไร่ 5 พันธุ์ เหนียวคำลิ้มผัวแตกกอดีที่สุด 15.80 รวง/กอ รองลงมาคือ พญาลิ้มแกง (13.60 รวง/กอ) ส่วนชิวแม่จัน นุสราและขุนวางแตกกอ 8.80-9.66 รวง/กอ

ความยาวรวงของข้าวไร่ 5 พันธุ์ใกล้เคียงกัน 24.93-29.70 ซม. จำนวนดอกแปรปรวนระหว่าง 103.36-196.23 ดอก/รวง และจำนวนเมล็ดข้าวเต็มเมล็ด 75.69-164.74 เมล็ด/รวง โดยชิวแม่จัน จำนวนดอก 196.23 ดอก/รวง และจำนวนเมล็ด 164.74 เมล็ด/รวง สูงสุดและสูงกว่าทุกพันธุ์ ขณะที่ปทุมธานี 1 มีความยาวรวง 23.13 ซม. และ IR1552 ความยาวรวงสั้นที่สุด 20.63 ซม. และการที่รวงสั้นทำให้ IR1552 มีจำนวนดอก/ช่อ ดอก น้อยที่สุดเพียง 94.31 ดอก/รวง และจำนวนเมล็ดข้าวเต็มเมล็ด 68.84 เมล็ด/รวง ส่วนปทุมธานี 1 ความยาวรวงค่อนข้างสั้น (23.13 ซม.) แต่จำนวนดอกมาก 119.65 ดอก/รวง และข้าวมีเมล็ดข้าวเต็มเมล็ด 93.74 เมล็ด/รวง ส่วนเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดพบว่า แปรปรวนระหว่าง 68.74-92.06 % โดยขุนวางมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสูงสุด 92.06 % รองลงมาคือ บาเกียว (84.23 %) และชิวแม่จัน (83.95 %) ซึ่งพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสูงมากกว่า 80 % แสดงว่าได้รับผลกระทบจากภาวะแล้งหลังการผสมเกสรน้อย และพบว่าเหนียวคำลิ้มผัวเป็นข้าวไร่ที่มีน้ำหนักเมล็ดมากหรือเมล็ดมีขนาดใหญ่ น้ำหนัก 35.96 กรัม/1,000 เมล็ด สูงกว่าพันธุ์อื่นๆ แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

4. ผลผลิต

ผลการทดลองพบว่า พันธุ์ข้าวที่ร่วมทดสอบให้ผลผลิตแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยบาเกียวให้ผลผลิตสูงสุด 139.12 กรัม/กอ สูงกว่าพันธุ์อื่นทุกพันธุ์ รองลงมาคือ พญาลิ้มแกง และIR1552 ผลผลิต 78.67 และ 72.52 กรัม/กอตตามลำดับและปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตต่ำสุด 35.86 กรัม/กอ แสดงว่าผลผลิตแปรปรวนตามจำนวนรวง/กอ และจำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวง ทำให้พันธุ์บาเกียวที่แตกกอดี มีหน่อออกรวงได้มาก 31.06 รวง/กอ จำนวนข้าวเต็มเมล็ด 105.44 เมล็ด/รวง ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ พญาลิ้มแกง ซึ่งให้ผลผลิตรองลงมา จำนวนรวง 13.60 รวง/กอ จำนวนข้าวเต็มเมล็ด 113.02 เมล็ด/รวงส่วน IR1552 ให้ผลผลิตสูงเป็นอันดับ 3 (72.52 กรัม/กอ) แม้ว่าจำนวนข้าวเต็มเมล็ด/รวงจะน้อย (68.84 เมล็ด/รวง) แต่ IR1552 แตกกอดีมาก สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Junsawang, N. [13] ที่รายงานว่าจำนวนหน่อ/กอและจำนวนเมล็ด/รวงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตของประชากรข้าวไร่ผสมกลับครั้งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ข้าวไร่ที่ให้ผลผลิตรองลงมาจากพญาลิ้มแกง คือเหนียวคำลิ้มผัว ชิวแม่จัน ขุนวาง และนุสรา ผลผลิต 55.76 54.75 49.20 และ 42.13 กรัม/กอ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปทุมธานี 1 ที่ให้ผลผลิต 35.86 กรัม/กอ

ตารางที่ 2 ความสูงต้น, น้ำหนักฟางแห้ง, จำนวนรวง/กอ และความยาวรวง ของข้าวไร่ 5 พันธุ์ เปรียบเทียบกับ IR1552, บาเกียว และปทุมธานี 1 ฤดูฝน (สิงหาคม-ธันวาคม), 2560.

พันธุ์ข้าวไร่	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักฟางแห้ง (กรัม/กอ)	จำนวนรวง/กอ	ความยาวรวง (เซนติเมตร)
IR1552	59.10 ^d	40.51 ^{bc}	21.20 ^b	20.63 ^d
บาเกียว	97.06 ^b	65.72 ^a	31.06 ^a	24.09 ^{bc}
เหนียวคำลิ้มผัว	97.46 ^b	41.16 ^{bc}	15.80 ^{bc}	25.65 ^b
ชีวมแม่จัน	97.83 ^{ab}	56.24 ^{ab}	8.80 ^{de}	25.82 ^b
นุสรรา	98.80 ^{ab}	55.63 ^{ab}	9.66 ^{cde}	29.70 ^a
ขุนวาง	102.66 ^a	48.12 ^{abc}	9.06 ^{dc}	24.93 ^{bc}
พญาลิมาแกง	87.30 ^c	46.98 ^{abc}	13.60 ^{cd}	25.09 ^{bc}
ปทุมธานี 1	83.23 ^c	28.85 ^c	5.86 ^e	23.13 ^c
F-test	**	*	**	**
C.V. (%)	3.22	18.23	25.95	5.21

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในสดมภ์เดียวกันต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% * = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไร่ 5 พันธุ์ เปรียบเทียบกับ IR1552, บาเกียว และปทุมธานี 1 ฤดูฝน (สิงหาคม-ธันวาคม), 2560.

พันธุ์ข้าวไร่	จำนวน เมล็ด/รวง	จำนวน เมล็ดดี/รวง	เปอร์เซ็นต์ข้าว เต็มเมล็ด (%)	น้ำหนัก1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กรัม/กอ)
IR1552	94.31 ^c	68.84 ^c	72.99 ^d	23.23 ^{cd}	72.52 ^b
บาเกียว	125.18 ^{bc}	105.44 ^{bc}	84.23 ^{ab}	27.36 ^{bc}	139.12 ^a
เหนียวคำลิ้มผัว	138.09 ^{bc}	107.52 ^{bc}	77.86 ^{bcd}	35.96 ^a	55.76 ^c
ชีวมแม่จัน	196.23 ^a	164.74 ^a	83.95 ^{abc}	22.76 ^{cd}	54.75 ^c
นุสรรา	103.36 ^{bc}	75.69 ^{bc}	73.22 ^{cd}	21.33 ^d	42.13 ^d
ขุนวาง	124.00 ^{bc}	114.16 ^b	92.06 ^a	30.60 ^b	49.20 ^{cd}
พญาลิมาแกง	143.53 ^b	113.02 ^b	78.74 ^d	27.36 ^{bc}	78.67 ^b
ปทุมธานี 1	119.65 ^{bc}	93.74 ^{bc}	78.35 ^{bcd}	24.46 ^{cd}	35.86 ^e

ตารางที่ 3 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไร่ 5 พันธุ์ เปรียบเทียบกับ IR1552, นาเกียว และปทุมธานี 1 ฤดูฝน (สิงหาคม-ธันวาคม), 2560. (ต่อ)

พันธุ์ข้าวไร่	จำนวน เมล็ด/รวง	จำนวน เมล็ดดี/รวง	เปอร์เซ็นต์ข้าว เต็มเมล็ด (%)	น้ำหนัก1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กรัม/กอ)
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	20.82	24.91	8.07	7.86	15.93

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กในสดมภ์เดียวกันต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

5. สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการทนแล้งกับผลผลิต

ความยาวรากสูงสุด การเจริญเติบโตของรากวัดในรูปน้ำหนักรากแห้ง และสัดส่วนการเจริญเติบโตระหว่างราก/ลำต้นวัดในรูปสัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง เป็นลักษณะสรีระวิทยาที่สัมพันธ์กับการทนแล้ง [14-15] การสูญเสียน้ำผ่านทางปากใบโดยการคายระเหยเป็นดัชนีชี้วัดการทนแล้งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง [12] โดยพันธุ์ที่มีการคายระเหยน้อยเป็นพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงและทนต่อความแห้งแล้งหรือทนต่อการขาดน้ำได้ดีกว่าพันธุ์ที่คายระเหยน้ำที่มากกว่าในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่า ความยาวรากสูงสุด มีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตมากที่สุด คือ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.733** สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้งมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตรองลงมา ($r = 0.565^*$) และการสูญเสียน้ำผ่านทางปากใบมีความสัมพันธ์ทางลบกับผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($r = -0.487^*$) ขณะที่น้ำหนักรากแห้งมีความสัมพันธ์ทางลบกับผลผลิตเล็กน้อย ($r = -0.285$) (ตารางที่4) ผลการทดลองแสดงว่าสามารถใช้ความยาวรากสูงสุด สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง และค่าการสูญเสียน้ำทางปากใบเป็นเกณฑ์ในการประเมินความสามารถทนแล้งและผลผลิตของข้าวไร่ที่ปลูกในสภาพไร่ได้

ตารางที่ 4 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทนแล้งกับผลผลิตของข้าวไร่ 5 พันธุ์

Characters	LGR	RW	RS	ST
GY	0.733**	-0.285	0.565	-0.487
LGR		-0.285	0.655	-0.204
RW			0.565**	0.265
RS				-0.487*
ST				

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% * = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ผลผลิต (GY), ความยาวรากสูงสุด (LGR), น้ำหนักรากแห้ง (RW), สัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักต้นแห้ง (RS), และการสูญเสียน้ำผ่านทางปากใบ (ST)

สรุปผลการทดลอง

1. ข้าวไร่พันธุ์ขุนวางมีลักษณะทนแล้งดีกว่าข้าวไร่พันธุ์อื่น ๆ เนื่องจากมีรากยาวที่สุด สดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักดินแห้งสูงกว่า และมีการสูญเสียน้ำผ่านทางปากใบน้อยกว่าข้าวไร่พันธุ์อื่น ๆ
2. ความยาวรากสูงสุดและสัดส่วนระหว่างน้ำหนักรากแห้ง/น้ำหนักดินแห้งมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการให้ผลผลิตของข้าวไร่ที่ปลูกในสภาพไร่อย่างมีนัยสำคัญ และการสูญเสียน้ำผ่านทางปากใบมีความสัมพันธ์ทางลบกับการให้ผลผลิตของข้าวไร่อย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและได้รับความอนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่ทดลองจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ น.ส.นัฏฐวรรณ บุญบานวยริยวัฒน์ วิทยารมภ์ น.ส.สุดาวรรณ วงศ์ยาไชย น.ส.สุมาลี จันทร์ผล น.ส.สุวิดา เกิดเล็ก น.ส.ชนนิกานต์ ราชวัตร น.ส.จุฑามาศ วงษ์สวัสดิ์ น.ส.จรัญญา แยกสวัสดิ์ ที่มีส่วนช่วยอย่างมากสำหรับการเก็บบันทึกข้อมูลผลการทดลอง

References

- [1] Office of Agricultural Economics. (2019). *Rice production 2017/18* (Online). Retrieved 10 January 2019, from <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/majorrice/3-60.pdf>.
- [2] Thai Rice Exporters Association. (2019). *Guidelines for FTA treatments 2018-2019* (Online). Retrieved 9 December 2019, from <http://www.thairiceexporters.or.th/export%20by%20country%202019.html>.
- [3] Rice Department. (2019). *Rice varieties* (Online). Retrieved 26 February 2019, from <http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php.html>.
- [4] Pharwong, J., Jongdee, B., Panwan, G., & Laohasiriwong, S. (2012). Validation for drought tolerance genotypes in SURIN1 backcross introgression lines. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40, 229–236.
- [5] Srividhya, A., Vemireddy, L.R., Sridhar, S., Jayaprada, M., Ramanarao, P.V., Hariprasad, A.S., Reddy, H.K., Anuradha, G., & Siddiq, E. (2011). Molecular mapping of QTLs for yield and its components under two water supply conditions in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 14(1), 45–56.
- [6] MacMillan, K., Emrich, K., Piepho, H.P., Mullins, C.E., & Price, A.H. (2006). Assessing the importance of genotype x environment interaction for root traits in rice using a mapping population II: conventional QTL analysis. *Theoretical and Applied Genetics Technology*, 113(5), 953–964.
- [7] Kanbar, A., Toorchi, M., & Shashidhar, H.E. (2009). Relationship between root and yield morphological characters in rainfed low land rice (*Oryza sativa* L.). *Cereal Research Communications*, 37(2), 261–268.

- [8] Phonwong, K., Sreewongchai, T., & Sripichitt, P. (2018). Phenotypic evaluation of root traits in F_2 progenies from cross between lowland and upland rice. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(5), 471–480.
- [9] Pushpam, R., Manonmani, S., Varthini, V.N., & Robin, S. (2018). Studies on yield, root characters related to drought tolerance and their association in upland rice genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 9(3), 856–862.
- [10] Rice Department. (2019). *Rice varieties: Pathum Thani 1* (Online). Retrieved 15 March 2019, from <http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=67.html>.
- [11] Narenut, K., Songsri, P., Pattanagul, W., & Sanitchon, J. (2013). Early drought tolerance evaluation of indigenous upland rice germplasm. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 41(1), 663–647.
- [12] Sakuntong, Y., Thopurin, D., Madee, P., Theerakulpisut, P., Sanitchon, J., & Lontom, W. (2014). Leaf gas exchange, water status and electrolyte leakage of Luempua cultivar (*Oryza sativa* L.) under water deficit at seedling stage. In *The 3rd National Rice Conference*. 158–161. September 11-12, 2014, The Miracle Grand Convention Hotel. Bangkok: Thailand.
- [13] Junsawang, N., Sawatsri, N., Phengkaew, K., & Soonsuwon, W. (2019). Correlation and path analysis in $BC_2 F_2$ population of upland rice (*Oryza sativa* L.). *Songklanakarin Journal of Plant Science*, 6(1), 2–6.
- [14] Haider, Z., Khan, A.S., & Zia, S. (2012). Correlation and path coefficient analysis of yield components in rice (*Oryza sativa* L.) under simulated drought stress condition. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 12(1), 100–104.
- [15] Mohankumar, M.V., Sheshshayee, M.S., Rajanna, M.P., & Udayakumar, M. (2011). Correlation and path analysis of drought tolerance traits on grain yield in rice germplasm accessions. *ARP Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(7), 70–75.

ผลของการเสริมราแดง (*Monascus* spp.) ในอาหารต่อการเจริญเติบโต
องค์ประกอบเลือด และความต้านทานเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ใน
ปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*)
Effects of Dietary Red Yeast Rice (*Monascus* spp.) Supplementation
on Growth Performance, Haematological Parameters, and Disease
Resistance Against *Streptococcus agalactiae* in Red Tilapia
(*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*)

กิริติ ธนากรรัฐ¹ นปภัทร พระคุณเลิศ¹ นัทธ์ นันทพงษ์^{2*} นเรศ ช้วนยุค³

ยุทธพงษ์ สังข์น้อย³ และวุฒิพร พรหมขุนทอง⁴

Keerati Tanakan¹, Napaphat Prakunlerd¹, Nutt Nuntapong^{2*}, Naraid Suanyuk³,

Yutthapong Sangnoi³ and Wutiporn Phromkunthong⁴

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการเสริมราแดง (*Monascus* spp.) ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด และ
ความต้านทานเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ในปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*)
อาหารทดลองมี 4 สูตร กำหนดให้แต่ละสูตรมีโปรตีน (ร้อยละ 30) และไขมัน (ร้อยละ 7) ใกล้เคียงกัน
เสริมราแดงลงในอาหารร้อยละ 0 0.5 1 และ 2 ใช้ปลานิลแดงน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 0.795 ± 0.003 กรัมต่อตัว
จำนวน 20 ตัวต่อตู้ทดลองในตู้กระจกปริมาตรน้ำ 75 ลิตร ให้อาหารทดลองวันละ 2 ครั้งโดยให้ปลากินจนอิ่ม
เป็นเวลา 50 วัน จากการทดลองพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยน
อาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p > 0.05$)

¹ นักศึกษาระดับปริญญาตรี, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
สงขลา 90112

² อ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

³ ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

⁴ รศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Undergraduate student, Aquatic Science and Innovative Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

² Lecturer, Dr., Aquatic Science and Innovative Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

³ Asst. Prof. Dr., Aquatic Science and Innovative Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

⁴ Assoc. Prof. Dr., Aquatic Science and Innovative Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 0814782429. E-mail address: nutt.n@psu.ac.th, nut_aqua@hotmail.com

(Received: April 17, 2020; Revised: June 20, 2020; Accepted: June 23, 2020)

แต่ปริมาณอาหารที่กินมีค่าลดลง ($p < 0.05$) เมื่อปลาได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 1 และ 2 ด้านองค์ประกอบเลือดพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ไลโซไซม์และซีรั่มโปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 0.5 มีค่าสูงสุด ($p < 0.05$) ไม่พบความแตกต่างของอัตราการตายระหว่างชุดการทดลองภายหลังได้รับเชื้อ *S. agalactiae* ($p > 0.05$) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถเสริมราแดงในอาหารปลานิลแดงร้อยละ 0.5 โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และองค์ประกอบเลือด อย่างไรก็ตามการเสริมราแดงไม่มีผลต่อการป้องกันเชื้อ *S. agalactiae*

คำสำคัญ: ราแดง ปลานิลแดง การเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด *Streptococcus agalactiae*

Abstract

This study investigated the effects of the dietary supplementation of red yeast rice (*Monascus* spp.) on growth performance, haematological parameters, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). Four isonitrogenous (30 % crude protein) and isolipidic (7 % crude lipid) experimental diets were formulated to contain graded levels (0, 0.5, 1, and 2 %) of red yeast rice. The fish with initial body weight 0.795 ± 0.003 g were randomly distributed at 20 fish per each 75 L glass aquarium and fed twice daily to apparent satiation for 50 days. The results indicated that there were no significantly differences ($p > 0.05$) in the mean body weight, specific growth rate, feed conversion ratio and protein efficiency ratio among dietary treatments. However, feed intake was significantly decreased by dietary supplementation of 1 and 2 % red yeast rice ($p < 0.05$). For the blood parameters, highest serum lysozyme activity and serum protein were reported in fish fed 0.5 % red yeast rice ($p < 0.05$). No significantly differences in survival rate were demonstrated among the dietary treatments after challenge with *S. agalactiae*. The results indicated that red yeast rice at 0.5 % can be supplemented in red tilapia diets without negative effects on growth, nutrient utilization and blood parameters. However, the supplementation of red yeast rice was not effective in protecting red tilapia against *S. agalactiae* infection.

Keywords: Red Yeast Rice (*Monascus* spp.), Red Tilapia, Growth Performance, Haematological Parameters, *Streptococcus agalactiae*

บทนำ

สัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจัดเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก จุดเด่นของแหล่งโปรตีนที่ได้จากสัตว์น้ำคือ เป็นโปรตีนคุณภาพสูง ย่อยง่าย และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับโปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ [1] ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) จัดเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว ผลิทดูกพันธุ์ได้ปริมาณมาก กินอาหารได้หลากหลาย และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี นอกจากนี้ยังมีรสชาติดีและมีราคาถูกซึ่งคนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ จึงมีผู้นิยมเลี้ยงอย่างแพร่หลาย ทำให้อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลานิลมีการแข่งขันสูง ผู้เลี้ยงจึงต้องมีการจัดการเพื่อให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีและมีอัตราการรอดสูง สารเสริม (Feed Additive) จึงเข้ามามีบทบาท

สำคัญเพื่อใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโต สุขภาพ และพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันมีสารเสริมหลายชนิดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลานิลเช่น สมุนไพร สารสกัดจากธรรมชาติ จุลินทรีย์ และสารสี เป็นต้น การศึกษาสารเสริมที่มีศักยภาพชนิดใหม่เพื่อนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลานิลจึงเป็นหัวข้อศึกษาที่มีการวิจัยอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ราแดง (*Monascus* spp.) จัดอยู่ในวงศ์ (Family) Monascaceae กลุ่ม (Class) Ascomycetes เป็นราที่พบในธัญพืชและผลผลิตทางการเกษตร มนุษย์ใช้ประโยชน์จากราแดงมาอย่างยาวนาน โดยใช้เป็นยาพื้นบ้าน สารให้กลิ่นรส และสารสี (Colorant) ในอุตสาหกรรมอาหาร [2] ราแดงสามารถผลิตสารเมตาบอไลต์ที่มีประโยชน์ได้หลายชนิดเช่น เมวิลอนิน (Mevilonin) โมนาสคอลินเค (Monascolin K) ซึ่งถูกนำมาใช้ทางการแพทย์เพื่อลดระดับคอเลสเตอรอลและไขมันที่ความหนาแน่นต่ำ (Low Density Lipoprotein, LDL) ในเลือด [3] นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ในแง่ของสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านจุลชีพ สารต้านการอักเสบและเนื้องอก [4] มีรายงานวิจัยพบว่า ราแดงช่วยลดความเสียหายของเซลล์ตับที่เกิดจากพิษของแอลกอฮอล์ในหนูทดลอง [5] และช่วยเพิ่มปริมาณไข่ที่ผลิตได้ในนกกระทาญี่ปุ่น (Japanese Quail, *Coturnix japonica*) [6] อย่างไรก็ตามการนำราแดงมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีข้อมูลค่อนข้างจำกัด โดยพบรายงานการเสริมราแดงในอาหารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงสีของปลาแฟนซีคาร์พและกุ้งขาวได้ [7] จากคุณประโยชน์ของสารเมตาบอไลต์ที่ราแดงผลิตขึ้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมราแดงในอาหารปลานิลแดง ซึ่งเป็นปลาลูกผสมที่เกิดจากการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ระหว่างปลานิล (*O. niloticus*) กับปลาหมอเทศ (*O. mossambicus*) ทำให้ได้ลักษณะเด่นคือ เจริญเติบโตเร็ว เนื้อมีรสชาติดี และให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ [8-9] และด้วยลักษณะเด่นของปลาชนิดนี้ที่มีลำตัวสีชมพูแดง จึงอาจเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของตัวปลาดังที่เคยพบรายงานในปลาแฟนซีคาร์พ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลที่มีต่อความต้านทานเชื้อ *S. agalactiae* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อแบคทีเรียที่สร้างความเสียหายต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงปลานิลทั่วโลก [10-11] ผลการวิจัยที่ได้ในครั้งนี้จะเป็นข้อมูลในการใช้ราแดงเพื่อเป็นสารเสริมทางเลือกใหม่ในอาหารปลานิลแดงต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง (Completely Randomized Design : CRD) แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ใช้ปลานิลแดงน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 0.795 ± 0.003 กรัมต่อตัว จำนวน 20 ตัวต่อตู้ทำการทดลองในตู้กระจกขนาด $40 \times 60 \times 50$ เซนติเมตร โดยเติมน้ำประปาที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนให้ได้ปริมาตร 75 ลิตร ให้อาหารวันละ 2 ครั้งเวลา 9.00 น. และ 16.00 น. โดยให้ปลากินจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้ตลอดการทดลอง ก่อนให้อาหารช่วงเย็นจะทำความสะอาดตู้ทดลองและเติมน้ำใหม่ให้มีปริมาตรเท่าเดิมทุกครั้ง เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมตลอดการทดลอง ระยะเวลาทดลอง 50 วัน

ราแดง (*Monascus* spp.)

ราแดง (*Monascus* spp.) ที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ผลิตขึ้นจากการหมักข้าว *Oryza sativa* สายพันธุ์ Indica โดยราแดงจะเจริญเติบโตอยู่บนเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้ง ก่อนนำมาใช้จะนำไปบดให้ละเอียด

ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 เมช (Mesh) และเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำมาใช้ ทั้งนี้เนื่องจาก ราแดงมีการผลิตสารพิษซิทรินิน (Citrinin) ซึ่งมีรายงานวิจัยในสัตว์ทดลองว่าเป็นอันตรายต่อดับและได้ ก่อนนำมาใช้จะนำผงราแดงไปพรมน้ำสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 75 เปอร์เซ็นต์ (w/v) และอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อลดปริมาณสารพิษ

การเตรียมอาหารทดลอง

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของราแดงและวัตถุดิบอาหารตามวิธีมาตรฐานของ AOAC [12] เพื่อใช้ในการสร้างสูตรอาหาร กำหนดให้แต่ละสูตรมีโปรตีนร้อยละ 30 และไขมันร้อยละ 7 (ตารางที่ 1) อาหารทดลองเป็นแบบเม็ดจมที่จัดเตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่อง Hobart Legacy® mixer (Ohio, USA) ในขั้นตอนการทำอาหารจะนำวัตถุดิบไปผสมให้เข้ากัน นำไปอัดเม็ดผ่านหน้าแวนขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 10 จากนั้น บรรจุใส่ถุงพลาสติกเก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละสูตร ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีมาตรฐานของ AOAC [12] ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

การเตรียมปลาทดลอง

นำปลานิลแดงน้ำหนักเฉลี่ย 0.5 - 1 กรัมจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์ประมงน้ำจืด เขต 12 (สงขลา) มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสความจุ้น้ำ 300 ลิตร ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปวันละ 2 ครั้ง เวลา 09.00 น. และ 16.00 น. เปลี่ยนถ่ายน้ำร้อยละ 60 ของปริมาตรเดิมทุกวัน ก่อนเริ่มทดลองจะสุ่มปลาที่อนุบาล มาตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียและปรสิตภายนอก เมื่อพบว่าปลามีสุขภาพแข็งแรง จึงคัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียง กันสำหรับใช้ในการทดลอง โดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของปลาทุกตัวในแต่ละตู้ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (งดให้อาหาร 1 มื้อก่อนชั่งน้ำหนัก)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การตรวจสอบการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการรอด เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสลับปลาโดยใช้น้ำมันกานพลูความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน จากนั้นชั่งน้ำหนักรวมของปลาทุกตัว ในแต่ละตู้ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (งดให้อาหาร 1 มื้อก่อนชั่งน้ำหนัก) นำข้อมูลน้ำหนักปลาและ น้ำหนักอาหารที่ปลากินตลอดการทดลองไปคำนวณอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate, SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR) ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการตาย (Survival Rate)

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ของปลา

สุ่มตัวอย่างปลาก่อนเริ่มการทดลองจำนวน 9 ตัว และเมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มการทดลองละ 9 ตัว (3 ตัวต่อตู้) นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเฝ้าตามวิธีการ ของ AOAC [12] นำค่าที่ได้ไปคำนวณประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein Efficiency Ratio, PER) และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (Apparent Net Protein Utilization, ANPU) ตามวิธีการของ Hardy & Barrows [13]

การวิเคราะห์องค์ประกอบเลือด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มปลาชุดการทดลองละ 9 ตัว (3 ตัวต่อตู้) สลับด้วยน้ำมันกานพลู เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางด้วยเข็มขนาด 25G×1 ใส่ในหลอด Microcentrifuge Tube นำไปวิเคราะห์

ปริมาณเมล็ดเลือดแดงอัดแน่นทันทีตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Blaxhall & Daisley [14] เลือดส่วนที่เหลือวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีเพื่อให้เกิดการแข็งตัว จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที นำส่วนใส (ซีรัม) ไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลโซไซม์ตามวิธีการของ Demers & Bayne [15] และซีรัมโปรตีนตามวิธีการของ Bradford [16]

ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae*

ใช้ Stock เชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* จากศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำกักการ ศุภมาตย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และนวัตกรรมการจัดการ นำเชื้อโคโลนีเดี่ยวที่เจริญบนอาหารแข็งไปเลี้ยงในอาหารเหลว (Tryptic Soy Broth) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 18 ชั่วโมง นำไปแยกเซลล์โดยการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 15,000 รอบ/นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ล้างตะกอนเซลล์แบคทีเรียและเจือจางด้วย Phosphate Buffer Saline (PBS) pH 7.4 นำ Stock เชื้อแบคทีเรียไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตรให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.8-0.9 เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของเชื้อประมาณ 1×10^9 โคโลนี/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณเชื้อที่ทำให้ปลาตายครึ่งหนึ่ง (LD_{50}) ที่ 14 วันจากการทดสอบก่อนการทดลองจริง สุ่มปลาทดลองจำนวน 30 ตัวต่อชุดการทดลอง (ชุดละ 10 ตัว) แบ่งเป็น 3 ซ้ำ ฉีดเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรเข้าช่องท้อง เก็บตัวอย่างปลาที่ตายมาเพาะเชื้อเพื่อยืนยันสาเหตุการตายว่ามาจากเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* บันทึกข้อมูลอัตราการรอดตายเป็นเวลา 14 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลจากการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Version 11.5)

ตารางที่ 1 สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ (กรัม/อาหาร 100 กรัม)	ชุดการทดลอง			
	ชุดควบคุม (ไม่เสริมแร่แดง)	แร่แดง ร้อยละ 0.5	แร่แดง ร้อยละ 1	แร่แดง ร้อยละ 2
ปลาป่น	18	18	18	18
กากถั่วเหลือง	30	30	30	30
รำข้าว	10	10	10	10
ปลายข้าว	9.2	8.7	8.2	7.2
แป้งสาลี	25	25	25	25
น้ำมันปลา	1.75	1.75	1.75	1.75
น้ำมันถั่วเหลือง	1.75	1.75	1.75	1.75
วิตามินและแร่ธาตุผสม ¹	0.15	0.15	0.15	0.15
ไคคลอซีมฟอสเฟต	2	2	2	2

ตารางที่ 1 สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

วัตถุดิบ (กรัม/อาหาร 100 กรัม)	ชุดการทดลอง			
	ชุดควบคุม (ไม่เสริมราแดง)	ราแดง ร้อยละ 0.5	ราแดง ร้อยละ 1	ราแดง ร้อยละ 2
โคลีนคลอไรด์	0.1	0.1	0.1	0.1
อินโนซิทอล	0.05	0.05	0.05	0.05
Carboxymethyl Cellulose (CMC)	2	2	2	2
ราแดง	0	0.5	1	2
องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)				
ความชื้น (ร้อยละ, as fed basis)	8.83 $\pm$ 0.93	7.83 $\pm$ 0.02	7.57 $\pm$ 0.12	7.90 $\pm$ 0.10
โปรตีน (ร้อยละ, as fed basis)	30.33 $\pm$ 0.039	29.82 $\pm$ 1.09	30.63 $\pm$ 0.61	31.32 $\pm$ 0.15
ไขมัน (ร้อยละ, as fed basis)	7.56 $\pm$ 0.35	7.07 $\pm$ 0.12	7.50 $\pm$ 0.21	7.17 $\pm$ 0.13
เถ้า (ร้อยละ, as fed basis)	8.06 $\pm$ 0.15	7.83 $\pm$ 0.02	7.80 $\pm$ 0.01	7.90 $\pm$ 0.10
GE (เมกะจูล/กก. อาหาร, as fed basis) ²	18.20	18.20	18.20	18.19

¹วิตามินและแร่ธาตุผสม (ในหน่วยต่อกิโลกรัมอาหาร) ประกอบด้วย: Retinal (A) 8,000 IU; Cholecalciferol (D3) 1,500 IU; Tocopherol (E) 100 mg; Menadione Sodium Bisulfite (K3) 5 mg; Thiamine (B1) 10 mg; Riboflavin (B2) 15 mg; Pyridoxine (B6) 15 mg; Cobalamin (B12) 0.02 mg; Niacin 80 mg; Calcium Pantothenate 40 mg; Ascorbic Acid (C) 150 mg; Biotin 0.5 mg; Folic Acid 4 mg; Cu 5 mg; Fe 30 mg; Zn 40 mg; Mn 25 mg; Co 0.05 mg; I 1 mg; Se 0.25 mg.

²ค่า GE (Gross Energy) (เมกะจูล/กก.อาหาร) คำนวณจากค่าคงที่ของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 5.64 9.44 และ 4.11 กิโลแคลอรี/ก. ตามลำดับ (NRC, 1993) โดยที่ 1 กิโลแคลอรี = 0.0041868 เมกะจูล (MJ)

ผลการทดลอง

การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตาย

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตราการรอดไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง (ตารางที่ 2) แต่ปริมาณอาหารที่กินมีค่าลดลง ($p < 0.05$) เมื่อปลาได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 1 และ 2 การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิมีค่าลดลง ($p < 0.05$) เมื่อปลาได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 2 (ตารางที่ 2) ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างของสีลำตัวปลาจากการสังเกตด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตายของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 50 วัน

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ชุดการทดลอง			
	สูตรควบคุม	ราแดง ร้อยละ 0.5	ราแดง ร้อยละ 1	ราแดง ร้อยละ 2
น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	0.796 ± 0.001 ^a	0.795 ± 0.001 ^a	0.796 ± 0.001 ^a	0.795 ± 0.003 ^a
น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม/ตัว)	9.70 ± 1.37 ^a	10.73 ± 1.86 ^a	8.73 ± 0.68 ^a	9.72 ± 1.42 ^a
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ร้อยละ/วัน)	4.99 ± 0.28 ^a	5.18 ± 0.37 ^a	4.78 ± 0.16 ^a	4.99 ± 0.3 ^a
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)	11.41 ± 1.16 ^b	10.64 ± 0.73 ^b	8.97 ± 0.66 ^a	10.33 ± 0.66 ^a
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.29 ± 0.16 ^a	1.09 ± 0.14 ^a	1.13 ± 0.11 ^a	1.18 ± 0.22 ^a
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	2.58 ± 0.33 ^a	3.11 ± 0.39 ^a	2.83 ± 0.29 ^a	2.83 ± 0.48 ^a
การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (ร้อยละ)	37.58 ± 4.23 ^a	47.22 ± 3.70 ^b	58.47 ± 4.81 ^b	40.88 ± 7.88 ^a
อัตราการอด (ร้อยละ)	68.33 ± 10.41 ^a	81.67 ± 7.64 ^a	81.67 ± 7.64 ^a	80.00 ± 8.66 ^a

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษร (a, b) เหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา

ปริมาณความชื้น ไขมัน และโปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3) แต่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 1 มีโปรตีนในตัวร้อยละ 58.39 ± 1.86 ซึ่งสูงกว่า ($p < 0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและอาหารเสริมราแดงร้อยละ 0.5 ซึ่งมีค่าโปรตีนในตัวร้อยละ 55.44 ± 1.45 และ 54.09 ± 0.63 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีในตัวปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 50 วัน

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ชุดการทดลอง			
	สูตรควบคุม	ราแดง ร้อยละ 0.5	ราแดง ร้อยละ 1	ราแดง ร้อยละ 2
ความชื้น (ร้อยละบนฐานน้ำหนักสด)	76.67 ± 1.03 ^a	76.59 ± 0.52 ^a	73.89 ± 5.48 ^a	71.08 ± 1.39 ^a
โปรตีน (ร้อยละบนฐานน้ำหนักแห้ง)	55.44 ± 1.45 ^{ab}	54.09 ± 0.63 ^a	58.39 ± 1.86 ^c	57.35 ± 0.81 ^{bc}
ไขมัน (ร้อยละบนฐานน้ำหนักแห้ง)	10.47 ± 1.53 ^a	10.59 ± 0.72 ^a	10.89 ± 1.28 ^a	10.08 ± 0.31 ^a
เถ้า (ร้อยละบนฐานน้ำหนักแห้ง)	11.65 ± 1.02 ^a	12.69 ± 0.90 ^a	12.47 ± 1.32 ^a	11.83 ± 1.18 ^a

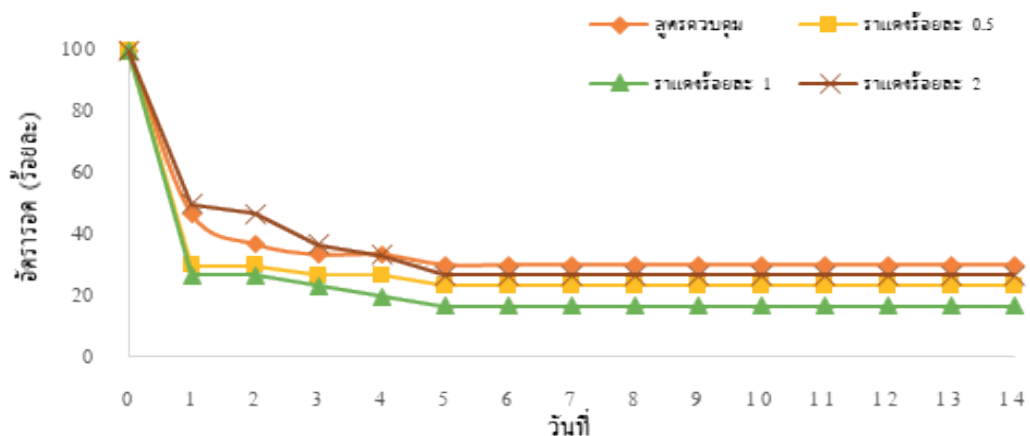
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษร (a, b, c, ab, bc) เหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

องค์ประกอบเลือด

ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นระหว่างชุดการทดลอง ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4) ปลาที่ได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 0.5 มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลโซไซม์สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสูตรที่เสริมราแดงร้อยละ 1 และ 2 (ตารางที่ 4) ปลาที่ได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 0.5 มีซีรั่มโปรตีนสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมและอาหารเสริมราแดงร้อยละ 2 ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับสูตรที่เสริมราแดงร้อยละ 1 (ตารางที่ 4)

ความต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae*

อัตราการตายของปลาจากการทดสอบความต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* เป็นเวลา 14 วัน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p > 0.05$) โดยปลาได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 0.5 1 และ 2 มีอัตราการตายร้อยละ 23.33 ± 15.28 16.67 ± 11.55 และ 26.67 ± 25.17 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งมีอัตราการตายร้อยละ 30.00 ± 10.00 (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 อัตรารอดของปลานิลแดงจากการทดสอบความต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4 องค์ประกอบเลือดของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรเป็นเวลา 50 วัน

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ชุดการทดลอง			
	สูตรควบคุม	ราแดง ร้อยละ 0.5	ราแดง ร้อยละ 1	ราแดง ร้อยละ 2
ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (ร้อยละ)	37.39 ± 5.23^a	37.77 ± 4.76^a	36.15 ± 3.39^a	39.37 ± 3.61^a
กิจกรรมของเอนไซม์ไลโซไซม์ (ยูนิต/มิลลิลิตร)	458.67 ± 29.52^a	511.33 ± 32.61^b	481.00 ± 28.16^{ab}	475.00 ± 29.00^{ab}
ซีรั่มโปรตีน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	22.85 ± 0.79^a	24.67 ± 0.27^b	24.32 ± 0.98^b	22.84 ± 0.74^a

ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n=9$ ตัว/ชุดการทดลอง) ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษร (a, b, ab) เหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การเสริมราแดงตั้งแต่ร้อยละ 0.5-2 ในอาหารปลานิลแดงไม่ส่งผลกระทบต่อในเชิงลบต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลา จากรายงานของ Kumari *et al.* [17] ระบุว่าไม่พบความผิดปกติในหนูขาว (Albino Rats) ที่ได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 2-12 นอกจากนี้ Kosolwach [7] พบว่าปลาแฟนซีคาร์พที่ได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 0.25-2 มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ไม่เสริมราแดง สามารถผลิตสารเมตาบอไลต์เช่น Monascin และ Monacolin K ซึ่งเกี่ยวข้องกับการนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ [7, 18] แต่ราแดงก็ผลิตสารเมตาบอไลต์ที่ให้โทษบางชนิดเช่น จิตรีนินซึ่งไปรบกวนกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรีย ส่งผลให้เกิดความผิดปกติในอวัยวะต่าง ๆ [19] ดังรายงานที่พบว่าการเสริมราแดงร้อยละ 8 ทำให้น้ำหนักตัวและผลผลิตไข่ของไก่พันธุ์เล็กฮอร์นขาวหงอนจักรลดลง [20] นอกจากนี้ Thongprajukaew *et al.* [21] รายงานว่า การเจริญเติบโตและการกินอาหารของปลากัดไทย (*Betta splendens*) ลดลงเมื่อเสริมราแดงในอาหารในระดับที่สูงเกินกว่าร้อยละ 0.5 ดังนั้นปริมาณจิตรีนินที่ตกค้างอยู่ อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้การให้ราแดงเป็นสารเสริมในอาหารได้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน

จากการทดลองครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงสปีริเวนค่าตัวของปลานิลแดง โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นในสัตว์เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสะสมของรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ [22] อย่างไรก็ตาม Lin *et al.* [23] รายงานว่า ราแดงสกุล *Monascus* sp. มีรงควัตถุหลัก 6 ชนิด ได้แก่ Rubropunctamine, Monascorubramine, Rubropunctatin, Monascorubrin, Monascin และ Ankaflavin ซึ่งไม่จัดอยู่ในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดในสัตว์ทดลองที่ได้รับราแดงอาจมีปัจจัยอื่น มาเกี่ยวข้อง โดย Wang & Pan [20] อธิบายว่า สีของไข่แดงที่เข้มขึ้นในไก่ที่ได้รับอาหารเสริมราแดง อาจเกิดจากสุขภาพของไก่ที่ดีขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของสารเมตาบอไลต์ที่ออกฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากราแดง

เอนไซม์ไลโซไซม์เป็นระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะที่มีกลไกในการเข้าไปทำลายพันธะไกลโคซิดิกในชั้น peptidoglycan ของผนังเซลล์แบคทีเรียราแดงมีโครงสร้างของเส้นใยที่ประกอบด้วยไลโปโพลีแซคคาไรด์และเบต้ากลูแคนซึ่งมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันได้ [24] ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลโซไซม์ในปลานิลแดงที่ได้รับอาหารเสริมราแดงร้อยละ 0.5 มีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ในส่วนของผลที่มีต่อปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น พบรายงานการศึกษาในผู้ป่วยที่ติดเชื้อไข้เลือดออกของ Adnan *et al.* [25] ว่าราแดงช่วยกระตุ้นการสร้างอินเทอร์ลิวคิน ส่งผลให้ผู้ป่วยมีปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นสูงขึ้น จากการวิเคราะห์ค่าซีรั่มโปรตีนพบว่า เมื่อเสริมราแดงในระดับร้อยละ 2 ในอาหาร ค่าซีรั่มโปรตีนจะลดลง เนื่องมาจากสารพิษเมตาบอไลต์ที่ราแดงผลิตขึ้นส่งผลต่อเซลล์ตับซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญในการกำจัดสารพิษและการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ ทำให้ค่าซีรั่มโปรตีนลดลง

เชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* เป็นสาเหตุสำคัญของโรคสเตรปโตคอคโคซิส (Streptococcosis) ที่สร้างความเสียหายอย่างมากต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลานิลทั่วโลก [10] ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการเสริมราแดงในระดับไม่เกินร้อยละ 1 แม้จะช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันบางประการแต่ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. agalactiae* สอดคล้องกับรายงานของ Kim *et al.* [26] ที่พบว่า สารออกฤทธิ์ที่ได้จากราแดง (*Monascus* sp.) มีการตอบสนองค่อนข้างต่ำต่อเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ

การทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมราแดงร้อยละ 0.5 ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพ แต่ไม่มีผลต่อการป้องกันเชื้อ *S. agalactiae* ในปลานิลแดง ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 และควรศึกษาผลที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาเช่น กรดไขมันชนิดต่างๆ หรือคลอเลสเตอรอล และควรทำลายพิษที่มีอยู่ในราแดงก่อนนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

References

- [1] Pradeepkiran, J.A. (2019). Aquaculture role in global food security with nutritional value: a review. *Translational Animal Science*, 3(2), 903–910.
- [2] Pinthong, R., Rujanakraikarn, L., & Pattanagul, P. (2000). Production of pork sausages by adding Ang-kak to increase coloring. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 28, 89–96.
- [3] Baigent, C., Blackwell, L., Emberson, J., Holland, L.E., Reith, C., Bhala, N., Peto, R., Barnes, E.H., Keech, A., Simes, J., & Collins, R. (2010). Efficacy and safety of more intensive lowering of LDL cholesterol: a meta-analysis of data from 170,000 participants in 26 randomised trials. *The Lancet*, 376(9753), 1670–1681.
- [4] Hsu, L.C., Liang, Y.H., Hsu, Y.W., Kuo, Y.H., & Pan, T.M. (2013). Anti-inflammatory properties of yellow and orange pigments from *Monascus purpureus* NTU 568. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11), 2796–2802.
- [5] Cheng, C.F., & Pan, T.M. (2011). Protective effect of *Monascus*-fermented red mold rice against alcoholic liver disease by attenuating oxidative stress and inflammatory response. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(18), 9950–9957.
- [6] Kongbuntad, W., & Saenphet, S. (2016). Effects of red mold rice produced from *Monascus purpureus* CMU002U on growth performances and antioxidant activity of Japanese quail. *International Journal of Poultry Science*, 15(1), 8–14.
- [7] Kosolwach, S. (2014). *Effects of pigment from Monascus sp. on color intensity and growth of fancy carp (Cyprinus carpio Linn) and Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei Boone)*. Master's thesis. Kasetsart University.
- [8] Pongthana, N., Nguyen, N.H., & Ponzoni, R.W. (2010). Comparative performance of four red tilapia strains and their crosses in fresh- and saline water environments. *Aquaculture*, 308(Supplement 1), 109–114.
- [9] Kohinoor, A.H.M., Modak, P.C., & Hussain, M.G. (1999). Growth and production performance of red tilapia and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Lin.) under low-input culture system. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, 3(1), 11–17.
- [10] Suanyuk, N., Kong, F., Ko, D., Gilbert, G.L., & Supamattaya, K. (2008). Occurrence of rare genotypes of *Streptococcus agalactiae* in cultured red tilapia *Oreochromis* sp. and Nile tilapia *O. niloticus* in Thailand-Relationship to human isolates? *Aquaculture*, 284(1–4), 35–40.
- [11] Liu, G., Zhu, J., Chen, K., Gao, T., Yao, H., Liu, Y., Zhang, W., & Lu, C. (2016). Development of *Streptococcus agalactiae* vaccines for tilapia. *Diseases of Aquatic Organisms*, 122(2), 163–170. DOI: 10.3354/dao03084.

- [12] Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th Edition. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- [13] Hardy, R.W., & Barrows, F.T. (2002). Diet formulation and manufacture. In: J.E. Halver & R.W. Hardy (eds.) *Fish Nutrition*. 505–600. San Diego, CA: Academic Press.
- [14] Blaxhall, P.C., & Daisley, K.W. (1973). Routine haematological methods for use with fish blood. *Journal of Fish Biology*, 5(6), 771–781.
- [15] Demers, N.E., & Bayne, C.J. (1997). The immediate effects of stress on hormones and plasma lysozyme in rainbow trout. *Developmental and Comparative Immunology*, 21(4), 363–373.
- [16] Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein using the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254.
- [17] Kumari, H.P.M., Naidu, K.A., Vishwanatha, S., Narasimhamurthy, K., & Vijayalakshmi, G. (2009). Safety evaluation of *Monascus purpureus* red mould rice in albino rats. *Food and Chemical Toxicology*, 47(8), 1739–1746.
- [18] Agboyibor, C., Kong, W.B., Zhang, A.M., & Niu, S.Q. (2019). Nutrition regulation for the production of *Monascus* red and yellow pigment with submerged fermentation by *Monascus purpureus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101276. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101276>.
- [19] Ribeiro, S.M.R., Chagas, G.M., Campello, A.P., & Kluppel, M.L.W. (1997). Mechanism of citrinin-induced dysfunction of mitochondria. V. Effect on the homeostasis of the reactive oxygen species. *Cell Biochemistry and Function*, 15(3), 203–209.
- [20] Wang, J.J., & Pan, T.M. (2003). Effect of red mold rice supplements on serum and egg yolk cholesterol levels of laying hens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4824–4829.
- [21] Thongprajukaew, K., Kovitvadhi, U., Somsueb, P., & Kovitvadhi, S. (2013). Effects of red monascus rice supplementation on growth, digestive function and oocyte maturation in Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910). *African Journal of Biotechnology*, 12(45), 6400–6410.
- [22] Yuangsoi, B., Jintasataporn, O., Areechon, N., & Tabthipwon, P. (2008). Validated TLC-densitometric analysis for determination of carotenoids in fancy carp (*Cyprinus carpio*) serum and the application for pharmacokinetic parameter assessment. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 30(6), 693–700.
- [23] Lin, Y.L., Wang, T.H., Lee, M.H., & Su, N.W. (2008). Biologically active components and nutraceuticals in the *Monascus*-fermented rice: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 77(5), 965–973.
- [24] Alexopoulos, C.J., Mims, C.W., & Blackwell, M. (1996). *Introductory mycology*. New York: John Wiley & Sons.
- [25] Adnan, A.R., Suharto, & Triyono, E.A. (2012). Red yeast rice (*Monascus purpureus*) extract increases interleukin-2 level in dengue infection patients. *Folia Medica Indonesiana*, 48(2), 58–66.
- [26] Kim, C., Jung, H., Kim, Y.O., & Shin, C.S. (2006). Antimicrobial activities of amino acid derivatives of *Monascus* pigments. *FEMS Microbiology Letters*, 264(1), 117–124.

พฤษเคมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง ของสารสกัดหญาพันงูเขียว

Phytochemicals, Antioxidant and Cytotoxicity of *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl Extracts

วีรยา คุ่มเมือง^{1*}, เซลลี อาร์วินดา รักษมาน¹, ทัณญรัศม์ อุทัยพันธุ์², เจริญ ภคธีรเชียร¹

ปิยะวรรณ บุญญานุพงษ์³ และวารงคณา จุ่งลก⁴

Weeraya Khummueng^{1*}, Selly Arvinda Rakhman¹, Tanyarath Utaipan², Charoen Pakhathirathien¹,

Piyawan Boonyanuphong³ and Warangkana Chunglok⁴

บทคัดย่อ

หญาพันงูเขียว (*Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl) เป็นไม้ล้มลุกที่พบในเขตร้อนทั่วไปรวมถึงประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้นำส่วนเหนือดินของหญาพันงูเขียวมาสกัดด้วยตัวทำละลายได้แก่ เฮกเซน ไคลลอร์มีเทน เมทานอล ตามลำดับและแยกสกัดด้วยน้ำ จากนั้นนำสารสกัดหยาบมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ABTS^{•+} และ FRAP พบว่าสารสกัดหยาบเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แบบ DPPH ABTS^{•+} และ FRAP สูงที่สุด และพบว่าสารสกัดหยาบไคลลอร์มีเทนมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดคือ 61.93 mg CE/g ของสารสกัด จึงนำสารสกัดไคลลอร์มีเทนมาทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งช่องปากที่เป็นเซลล์มะเร็งไม่ดื้อยาและเซลล์มะเร็งดื้อยา (CLS-354/WT และ CLS-354/DX) ด้วยวิธี MTT พบว่าสารสกัดหยาบไคลลอร์มีเทนมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งทั้งสองสายพันธุ์ โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 197.7 ± 38.6 และ 143.4 ± 21.2 µg/mL ในเซลล์มะเร็งไม่ดื้อยาและเซลล์มะเร็งดื้อยาตามลำดับ งานวิจัยชี้ให้เห็นถึงฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบในหญาพันงูเขียวซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาและพัฒนาสารต้านมะเร็งช่องปากต่อไป

คำสำคัญ: หญาพันงูเขียว สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เซลล์มะเร็งช่องปาก

¹ อ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

² อ.ดร., ภาควิชาพรีคลินิก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

³ อ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

⁴ รศ.ดร., สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

¹ Lecturer, Dr., Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

² Lecturer, Dr., Department of Pre-clinic, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

³ Lecturer, Dr., Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

⁴ Assoc. Prof. Dr., School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhonsithammarat 80161, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: weeraya.k@psu.ac.th

(Received: April 21, 2020; Revised: June 2, 2020; Accepted: June 2, 2020)

Abstract

Stachytarpheta jamaicensis (L.) Vahl is a traditional herb found across tropical regions, including Thailand. The aerial part of this plant was extracted with solvents : hexane, dichloromethane, methanol, and water, respectively. Then, crude extracts were tested antioxidant activities using DPPH, ABTS⁺⁺, and FRAP assay. The research results showed that methanol crude extract had the highest antioxidant activities whereas, dichloromethane crude extract had the highest total flavonoid content (61.93 mg CE/g extract). Therefore, it was further used for cytotoxicity test against human oral squamous carcinoma cell lines (CLS-354/WT and CLS-354/DX) and cell viability using MTT assay. It also found that CH₂Cl₂ crude extract exhibited a potent cytotoxicity against both cancer cell lines, and the IC₅₀ concentrations of CH₂Cl₂ crude extract in the CLS-354/WT and CLS-354/DX were 197.7 ± 38.6 and 143.4 ± 21.2 µg/mL. This research results confirmed that the biological activity of phytochemicals from *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl will probably be useful for the research and development of anti-oral cancer agents in the future.

Keywords: *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl, Phenolic, Flavonoid, Antioxidant Activities, Oral Cancer cells

Introduction

Stachytarpheta jamaicensis (L.) Vahl (*S. jamaicensis*) is a well-branched plant belonging to the family of Verbenaceae, which also called as Brazillian tea, rooster comb, or blue snakeweed. This plant species is a medicinal herb found across tropical regions; Latin-America, Africa, Southeast Asia including Thailand [1-2]. Ethnobotanically, *S. jamaicensis* has been used in folk medicine for treating several ailments such as allergic diseases, cold, and digestive problems [3-4]. It also has been possesses anti-microbial, anti-diarrheal, anti-diabetic, and wound-healing activities [5-6]. The major groups of bioactive compounds found in the *S. jamaicensis* extracts are alkaloids, glycosides, quinones, tannins, terpenoids and steroids [1, 5-7]. Studies have suggested that phenolics, terpenoids and alkaloids are linked to antioxidant properties [8-9]. However, there is little knowledge about their anti-oral cancer effect. Therefore, this study assessed antioxidant activities and anti-oral cancer effects of the crude extracts of *S. jamaicensis*. The content of phenolics and flavonoids were determined. The cytotoxicity against oral cancer cells was carried out. Hence, the findings could provide information of antioxidant potential and the evident of anti-oral cancer property of *S. jamaicensis*, which might be useful for anti-oral cancer agent development.

Research methodology

Chemicals and Plant Materials

All solvents and chemicals e.g. hexane, dichloromethane, dimethyl sulfoxide, ABTS⁺⁺, DPPH were purchased from Sigma-Aldrich Corp. (St. Louis, MO). Aerial parts of *S. jamaicensis* was collected from Nakornsawan province, Thailand, plants identity and voucher specimens were carried out at the Division of Biology, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University. Then, the plant material was washed, air-dried and blended.

Plant extraction

3.5 L of hexane was macerated with the powder sample (485 g). The sample was soaked undisturbed at room temperature for 48 hours and then filtered. Extraction was repeated using 3.5 L of the same organic solvent for another 48 hours. Then the residue was further extracted using dichloromethane and methanol, then evaporated to dryness. For water extraction, 25.0 g of powder sample was extracted with 2.4 mL of water at 100 °C. The percentage extract yield is calculated. Crude extracts (0.01 g) were re-dissolved with 10 mL of dimethyl sulfoxide (DMSO). The extract solution was diluted at concentration ranging from 15.625 – 5,000 mg/L for further analysis.

Determination of total phenolic content (TPC) and total flavonoid content (TFC)

The amounts of TPC were determined using the Folin-Ciocalteu colorimetric method [8]. The absorbance was measured at 765 nm. Gallic acid was used as a standard. TPC was expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of crude extract (mg GAE/g extract). TFC present in *S. jamaicensis* was analyzed following colorimetric method [9] which described by Egharevba *et al.*, (2019). The absorbance was measured at 510 nm. The standard used was catechin. TFC was expressed as milligrams of catechin equivalents per gram of crude extract (mg CE/g extract).

Antioxidant activities test

Crude extract solution (100 µL) was mixed with 900 µL of 0.2 mM DPPH solution for DPPH radical scavenging assay test. The absorbance (A) was measured at 515 nm, after incubating in dark for 30 min. Trolox was used as a standard. The percentage of scavenging activity (%) was calculated as the following:

$$\% \text{ scavenging activity} = [1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{blank}})] \times 100 \quad (1)$$

where A_{blank} is the absorbance of the control and A_{sample} is the absorbance of the tested sample.

The half maximal effective concentration (EC_{50}) was calculated from the equation obtained from a linear regression curve of the crude extract at various concentrations levels. The $ABTS^{++}$ radical scavenging activity [10] was determined according to the method described by Hidayati *et al.* (2017) with slightly modified. The solution of $ABTS^{++}$ radical cation was prepared by mixing 7 mM $ABTS^{++}$ solution with 4.9 mM potassium persulfate aqueous. The mixture was incubated in the dark at 4°C for 12–16 hours before used. The absorbance was measured at 734 nm. Trolox was used as a standard. Percentage of $ABTS^{++}$ radical cation scavenging was calculated. The ferric reducing antioxidant power (FRAP) method was conducted according to Sherikar *et al.* (2015) [11]. Freshly prepared FRAP reagent was incubated at 37°C for 10 min. The absorbance was measured at 593 nm and $FeSO_4$ was used as a standard.

Cell culture and Cytotoxicity test

The human oral squamous carcinoma cell line CLS-354 (CLS Cell Lines Service GmbH, Eppelheim, Germany) at 45 – 55 passages were cultured in Roswell Park Memorial Institute (RPMI)-1640 medium supplemented with 10 % fetal bovine serum, 1 % penicillin/streptomycin and 2 mM stable L-glutamine.

The cells were maintained in an atmosphere of 95 % humidity and 5 % CO₂ at a temperature of 37 °C. All reagents for cell culture were obtained from Gibco, Life Technologies, Carlsbad, CA, USA. CLS-354 cells were plated in a 96-well plate at a density of 4.68×10^4 cells/cm² and allowed to grow for 24 h in an incubator. Cells were treated with each crude extract (1-256 mg/L) which was diluted in culture RPMI-1640 for 24 hours in the CO₂ incubator. After the 24 hours treatment, the culture medium was removed. 200 µL of 0.5 mg/mL 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT; Gibco, Life Technologies, Carlsbad, CA, USA.) was added to each well and incubated for 4 hours. The MTT solution then removed. 200 µL of dimethyl sulphoxide was added to each well in order to dissolve the formazan crystals metabolized from the viable cells. The absorbance of the violet solution (A_{sample}) was read at 560 nm using a microplate reader and the absorbance at 670 nm as background (A_{control}) subtracted. Cell viability was calculated as the following:

$$\text{Cell viability (\%)} = (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}) \times 100 \quad (2)$$

Statistical analysis

All experiments were analyzed from three individual samples (n = 3), which were run in duplicate. Values obtained were expressed as mean ± S.D. The difference between the mean of the sample was analyzed by one-way ANOVA following by all-pairwise multiple comparisons using GraphPad Prism 5 software. Significant differences were considered at $p < 0.05$.

Results and Discussion

Plant extraction and phytochemicals

In this study, different solvents were used as the extractant for *S. jamaicensis* extraction, including hexane (Hex), dichloromethane (CH₂Cl₂), methanol (MeOH) and water (H₂O). The results showed that Hex yielded the lowest mass of *S. jamaicensis* extraction, while the highest mass was obtained from MeOH extraction. The percentage yield ranged from 0.99 to 4.0 % w/w. The result of the extracted mass obtained is described as follows; the MeOH extract had the highest yield (4.01%), followed by CH₂Cl₂ (1.35 %) and Hex (0.99 %). Since, phenolics and flavonoids are the major groups of bioactive compounds with a variety of biological effects [12]. Thus, TPC and TFC of all crude extracts, including the water extract were also evaluated in this study. As shown in Figure 1, the phenolic and flavonoid contents of MeOH and CH₂Cl₂ extracts were significantly higher than those of H₂O and Hex extract, respectively ($p > 0.05$). The TPC of water, MeOH, CH₂Cl₂, and Hex extracts were 8.3 ± 0.30 , 87.9 ± 5.8 , 78.3 ± 18.1 , and 16.07 ± 8.1 mg GAE/g extract, respectively. The TFC of water, MeOH, CH₂Cl₂, and Hex extracts were 19.9 ± 3.4 , 63.6 ± 6.7 , 79.8 ± 6.2 , and 27.6 ± 8.9 mg CE/g extract, respectively. The content of flavonoid accompanied the content of phenolic, except in the MeOH extract, which had low flavonoid level than phenolic content ($p < 0.05$). The result indicated that all fractions were rich in flavonoids, while the MeOH extract might contains the non-flavonoid compound. Many secondary metabolites have been discovered in this plant

species, e.g. leaves of *S. jamaicensis* contain saponins, tannins and terpenoids [13-14] which may be non-flavonoid compounds in the MeOH extract.

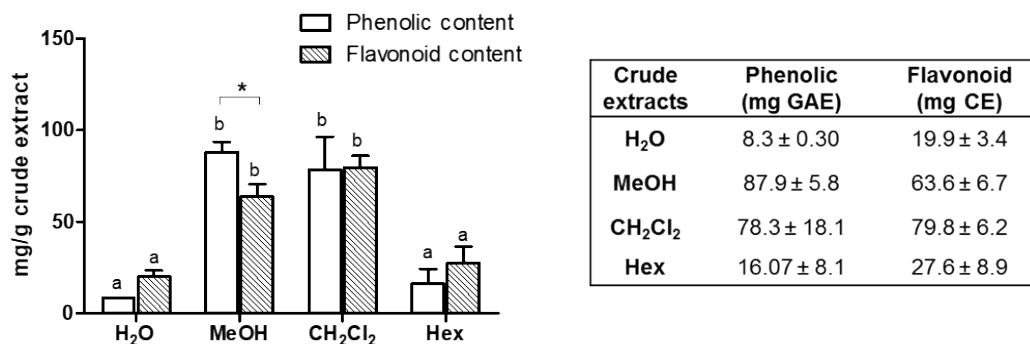


Figure 1 Total phenolic content (TPC) and Total flavonoid content (TFC) of each crude extract of *S. jamaicensis*. The displayed values are mean ± SD (n = 3). The different lowercase letters indicate significant differences among crude extracts; * indicate a significant difference between TPC and TFC in the same concentration (p < 0.05).

Antioxidant activities

ABTS⁺⁺ and DPPH assays were used for assessing total antioxidant activity. Among four crude extracts, the total antioxidant activity of the MeOH extract was 39.07 ± 0.7 and 58.23 ± 4.8 mg of Trolox Equivalent Antioxidant Capacity per gram of crude extract (mg TEAC/g extract) using ABTS⁺⁺ and DPPH assay, respectively, while was greater than that of others, in which CH₂Cl₂ > Hex > water (Figure 2A). The half maximal effective concentration (EC₅₀) was calculated to compare the scavenging efficacy. The EC₅₀ values against ABTS⁺⁺ and DPPH of the MeOH extract were 286.7 ± 21.1 and 184.4 ± 29.3 mg/L, respectively, which were significantly lower than those of water and Hex (p < 0.05). The CH₂Cl₂ exerted similar EC₅₀ against ABTS⁺⁺ to the MeOH crude extract, while the EC₅₀ against DPPH was weaker than the MeOH extract (Figure 2B), which may be due to ABTS⁺⁺ being more reactive than DPPH. The estimated EC₅₀ was in the same trend with the total antioxidant activity. In order to investigate the reducing power, the extracts were further subjected to FRAP assay. The extracts from *S. jamaicensis* had a reducing power, on average, between 0.14 - 0.98 mg Fe²⁺ equivalents per gram of crude extract (mg Fe²⁺/g extract) and the strongest reducing power was found in MeOH extract (Figure 3A) with the EC₅₀ value of 569.00 ± 18.66 mg/L (Figure 3B).

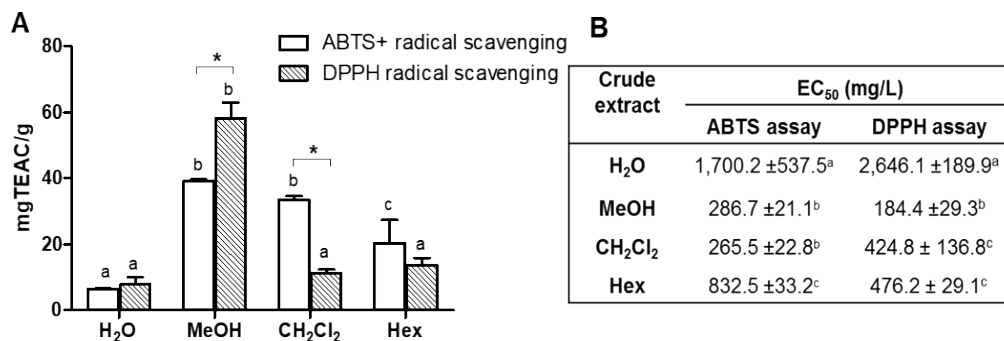


Figure 2 Total antioxidant activities of each crude extracts of *S. jamaicensis*. (A) Scavenging activities against ABTS^{•+} and DPPH radicals. (B) EC₅₀ at which of 50 % ABTS^{•+} and DPPH.

The displayed values are mean ± SD (n = 3). The different lowercase letters indicate significant differences between ABTS^{•+} and DPPH in the same concentration (p < 0.05).

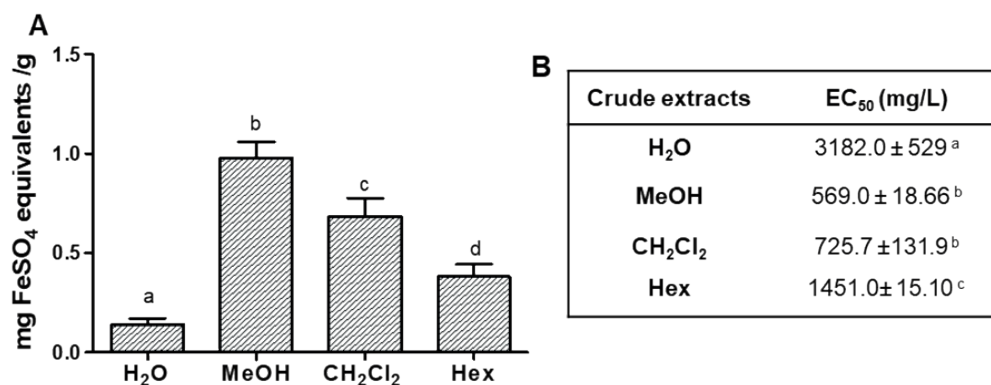


Figure 3 FRAP results of crude extracts of *S. jamaicensis*. (A) The antioxidant potential was determined using a ferrous iron standard curve and expressed as mg Fe²⁺/g extract. (B) EC₅₀ of FRAP of crude extract (mg/L).

The different lowercase letters indicate significant differences among crude extracts (p < 0.05).

Hence, the MeOH extract was the best in free-radical scavenging. It was suggested that the antioxidant ability of *S. jamaicensis* extract was from flavonoid and non-flavonoid compounds, which often originate from phenolic compounds. Most of them exist in MeOH extract, which was consistent with a previous report [15]. The main mechanisms of action of flavonoids including the polyphenols were as a chelate, stopping the chain reaction in the removal of free radicals by providing hydrogen to those radicals. The hydroxyl group of flavonoids not only scavenge radicals by oxidation reaction but also directly react with the other reactive compounds of the radicals, such as superoxide and peroxyxynitrite, which help to increase the stabilization of the reactive compounds [16].

Cytotoxicity against oral cancer cells

The MeOH, CH₂Cl₂ and Hex extracts were used to investigate cytotoxicity in an *in vitro* human cell line model of human mouth squamous cell carcinoma. The cell lines were CLS-354/WT and CLS-354/DX. The CLS-354/WT cell line is a less aggressive phenotype, while CLS-354/DX cell line is more aggressive by which the cells are multidrug resistant and invasive [17]. Upon treating the cells with *S. jamaicensis* crude extracts, the MeOH and CH₂Cl₂ exhibited a dose-dependent inhibitory effect on the growth of both cell lines, whereas the Hex extract had no inhibitory effect (Figure 4A, B). The half-maximal inhibitory concentration (IC₅₀) of the MeOH and CH₂Cl₂ were calculated and shown in Figure 4C. The IC₅₀ concentrations of the MeOH in the CLS-354/WT and CLS-354/DX were 530.1 ± 77.5 and 402.7 ± 61.2 µg/mL, respectively. Interestingly, the IC₅₀ concentrations of the CH₂Cl₂ in the CLS-354/WT and CLS-354/DX were 197.7 ± 38.6 and 143.4 ± 21.2 µg/mL, respectively, which were remarkably lower than that of the MeOH (*p* < 0.05). This result indicated a potential specificity for the CH₂Cl₂ crude extract in cytotoxicity against the cancer cells. However, the cytotoxic potentials of CLS-354/WT and CLS-354/DX were not significantly different. The observations suggest that the cytotoxic evident in the CH₂Cl₂ extracted-treated cell is not dependent, in part, on the antioxidant activity. As shown, the CH₂Cl₂ extract also contains a moderate level of phenolic content, flavonoid content and free-radical scavenging activities in comparison to the MeOH crude extract. Several studies have reported the cytotoxic effect of the CH₂Cl₂ crude extract of medicinal plants. For example, CH₂Cl₂ crude extract from *Murraya koenigii* leaves exerted stronger cytotoxicity against CLS-354 cells than that of MeOH crude extract, and carbazole alkaloids were the major active compounds responsible for anticancer activity [18]. CH₂Cl₂ crude extract from *Calea pinnatifida* is more potent than the EtOH extract in cytotoxicity against various cancer cell lines [19]. It is suggested that CH₂Cl₂ crude extract retains compounds with lyobipolar properties such as steroidal and terpenoid glycosides or aglycones. These compounds can interact with the lipid bilayer of cell membranes, whereas some compounds (e.g., saponin) are also able to reduce the surface tension of an aqueous solution, which contributes to antioxidant and anticancer properties. Although the substances involved in the anticancer effect of *S. jamaicensis* are unknown, some isolated pure compounds such as lanostane triterpenoid and steroidal glycosides [20] could explain this result. Meanwhile, either MeOH or EtOH crude extract retains a high number of phenolic compounds, which are soluble in water and other polar solution. So, they can form complexes with proteins and carbohydrates, which preferentially contribute to antioxidant and antibacterial activity [21].

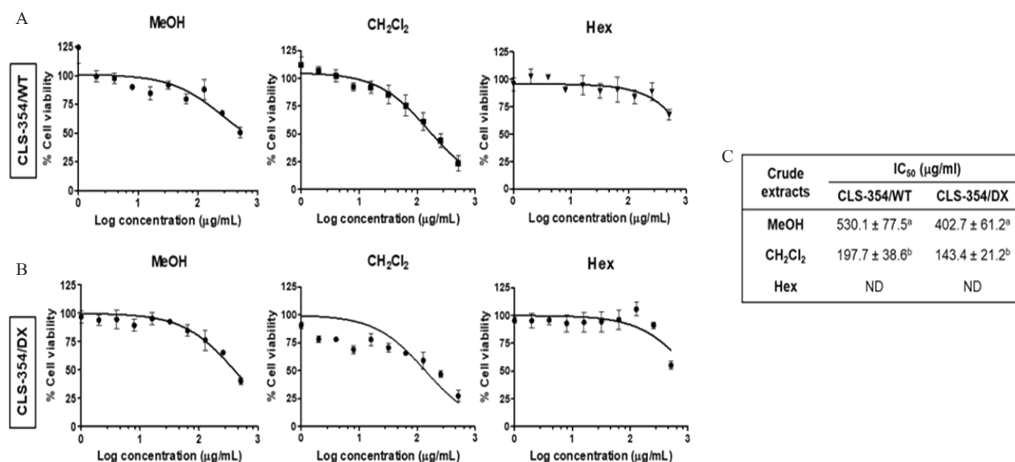


Figure 4 Cytotoxicity of each crude extract with increasing concentration (1 – 512 μg/mL) of *S. jamaicensis* on the two human oral squamous cell carcinoma cell lines, (A) CLS-354/WT and (B) CLS-354/DX. (C) IC₅₀ against the human oral squamous cell carcinoma cells were analyzed. The different lowercase letters indicate significant differences among crude extracts ($p < 0.05$).

Conclusion

The MeOH extract of *S. jamaicensis* significantly exhibited high antioxidant substances as well as antioxidant activity. Meanwhile, the CH₂Cl₂ crude extract interestingly inhibited cell proliferation of low and high aggressive human oral squamous cell carcinoma cells. This study provides evidence of the anti-oral cancer potential of *S. jamaicensis*. The observation in the present study should activates future research to identify the active substances involved in anti-oral cancer activity along with the understanding mechanism.

Acknowledgments

This study was supported by Scholarship Awards for Master and Ph.D. Studies Thailand's Education Hub for Southern Region of ASEAN Countries (TEH-AC), Prince of Songkla University, Pattani Campus, Contract no. SAT610461S. Also, special thanks to Ms. Chanika Janta and Ms. Sasiprapa Damthongsen for their scientific experiment's distribution.

References

- [1] Liew, P.M., & Yong, Y.K. (2016). *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl: from traditional usage to pharmacological evidence. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016, 1–7.
- [2] Amaechina, C.F., & Enitome E B., E.E. (2016). *In vitro* inhibitory effect of methanol leaf extract of *Stachytarpheta jamaicensis* (Verbenaceae) on nonpregnant rat uterus. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 15(12), 2557–2562.

- [3] Thiagarajan, S. K., Mahadi, I. H., Jamaluddin, N., Yong Y. K., Liew, P. M., Mat Taib, C. N., Hussain, M. K., Perumal, K. V., & Bahari, H. (2018). The protective effects of *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl on LPS-induced hepatic and renal injury in ICR mice. *Malaysian Journal of Microscopy*, 14(1), 55–64.
- [4] Idu, M., Erhabor, J.O., & Odia, E.A. (2009). Morphological and anatomical studies of the leaf and stem of some medicinal plants: *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl. and *S. cayennensis* (L.C. Rich) Schau. *Ethnobotanical Leaflets*, 13(11), 1417–1425.
- [5] Thangiah, S.A. (2019). Phytochemical screening and antimicrobial evaluation of ethanolic-aqua extract of *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl leaves against some selected human pathogenic bacteria. *Rasayan Journal of Chemistry*, 12(1), 300–307.
- [6] Suneetha P., Poornima S., Sumana K., Nidhi Hegde, & Puttaraju, H. P. (2013). Comparative studies on antimicrobial and antifungal efficacy from *Bixa orellana* L., *Lantana camara* L., *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl., *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. with triclosan. *CIBTech Journal of Microbiology*, 2(2), 15–23.
- [7] Sahoo, R.S., Dash, R.R., & Bhatnagar, S. (2014). Phytochemical screening and bioevaluation of medicinal plant *Stachytarpheta indica* (L.) Vahl. *Pharmacology & Toxicology Research*, 1(2), 1–5.
- [8] Ololade, Z.S., Ogunmola, O.O., Kuyooro, S.E., & Abiona, O.O. (2017). *Stachytarpheta jamaicensis* leaf extract: Chemical composition, antioxidant, anti-arthritis, anti-inflammatory and bactericidal potentials. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 6(4), 119–125.
- [9] Egharevba, E., Chukwuemeke-Nwani, P., Eboh, U., Okoye, E., Bolanle, O.I., Oseghale, I.O., Imieje, O.V., Erharuyi, O., & Falodun, A. (2019). Evaluation of the antioxidant and hypoglycaemic potentials of the leaf Extracts of *Stachytarphyta jamaicensis* (Verbenaceae). *Tropical Journal of Natural Product Research*, 3(5), 170–174.
- [10] Hidayati, M.D., Ersam, T., Shimizu, K., & Fatmawati, S. (2017). Antioxidant activity of *Syzygium polynthum* extracts. *Indonesian Journal of Chemistry*, 17(1), 49–53.
- [11] Sherikar, A.S., & Mahanthesh, M.C. (2015). Evaluation of aqueous and methanolic extract of leaves of *Epipremnum aureum* for radical scavenging activity by DPPH Method, total phenolic content, reducing capacity assay and FRAP assay. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 4(4), 36–40.
- [12] Kumar, S., & Pandey, A.K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–16.
- [13] Meena, R., & Pitchai, R. (2011). Evaluation of antimicrobial activity and preliminary phytochemical studies on whole plant of *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl. *International Research Journal of Pharmacy*, 2(3), 234–239.

- [14] Ruma, O.C., & Zipagang, T.B. (2015). Determination of secondary metabolites and antibacterial property of extract from the leaves of *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 3(4), 79–81.
- [15] Sivaranjani, R., Ramakrishnan, K., & Bhuvaneswari, G. (2014). Evaluation of *in vitro* antioxidant activity and estimation of total phenol and flavonoids content of various extracts of *Stachytarpheta jamaicensis* (L) Vahl. Leaves. *International Journal of Innovative Drug Discovery*, 4(1), 31–37.
- [16] Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118–126. DOI:10.4103/0973-7847.70902.
- [17] Utaipan, T., Athipornchai, A., Suksamrarn, A., Chunsriviro, S., & Chunglok, W. (2018). Isomahanine induces endoplasmic reticulum stress and simultaneously triggers p38 MAPK-mediated apoptosis and autophagy in multidrug-resistant human oral squamous cell carcinoma cells. *Oncology Reports*, 37(2), 1243–1252.
- [18] Utaipan, T., Sattayakhom, A., Prachongsai, I., Charong, N., & Chunglok, W. (2018). Reduction of intracellular-reactive oxygen species and diminished mitogen-activated protein kinases (mapks) activation are associated with oral squamous cell carcinoma cell aggressiveness. *Walailak Journal of Science and Technology*, 15(2), 131–141.
- [19] Marchetti, G.M., Silva, K.A., Santos, A.N., Sousa, I.M., Tinti, S.V., Figueira, G.M., Foglio, M.A., & Carvalho, J.E. (2012). The anticancer activity of dichloromethane crude extract obtained from *Calea pinnatifida*. *Journal of Experimental Pharmacology*, 2012(4), 157–162.
- [20] Okwu, D.E., & Ohenhen, O.N. (2010). Isolation and characterization of steroidal glycosides from the leaves of *Stachytarpheta jamaicensis* Linn Vahl. *Der Chemica Sinica*, 1(2), 6–14.
- [21] Yildirim, I., & Kutlu, T. (2015). Anticancer agents: saponin and tannin. *International Journal of Biological Chemistry*, 9(6), 332–340. DOI:10.3923/ijbc.2015.332.340.

พัฒนาตัวรองรับสองชนิดเพื่อเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของเซลล์เชื้อเพลิงกลีเซอรอลชนิดเบส

Development of Binary Catalysts Support for the Electro-Oxidation Reaction Enhancement of Glycerol Alkaline Fuel Cell

ปิยะวัตร มาสจอด^{1*} กันทรากกร สุวรรณรักษา² และจักรพงษ์ ไชยบุรี³

Piyawat Masjod^{1*} Kantrakorn Suwanraksa² and Chakkramong Chaiburi³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ตัวรองรับที่แตกต่างกันสองชนิดสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลีเซอรอลในเซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์ ซึ่งจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวและการกระจายตัวของโลหะผสมพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด แพลเลเดียมบนคาร์บอน (Pd/C) และแพลเลเดียมบนเหล็กออกไซด์คาร์บอน (Pd/Fe_xO_y-C) มีลักษณะพื้นผิวและการกระจายตัวของโลหะบนตัวรองรับที่สม่ำเสมอ ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Fe_xO_y-C มีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของกลีเซอรอลได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C ทั้งนี้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Fe_xO_y-C ให้ค่าความหนาแน่นของกระแสสูงสุดเท่ากับ 1.01 mA·cm⁻² ที่ค่าความต่างศักย์ -0.100 V ซึ่งมากกว่าค่าความหนาแน่นกระแสสูงสุดของตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C ที่มีค่าความหนาแน่นของกระแสเท่ากับ 0.71 mA·cm⁻² ที่ค่าความต่างศักย์เดียวกัน

คำสำคัญ: เซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์ กลีเซอรอล อิเล็กโทรออกซิเดชัน แอโนด ไบโอดีเซล

Abstract

The aim of this research is to analyze the efficiency of binary catalysts support for the electro-oxidation of glycerol in alkaline fuel cell. The results were found that Pd/C and Pd/Fe_xO_y-C catalysts exhibited smooth surface morphology and well distribution of metal on the supporter. The Pd/Fe_xO_y-C catalyst showed a higher electro-oxidation reaction of glycerol more than Pd/C catalyst. Herein, Pd/Fe_xO_y-C catalyst presented the maximum current density as 1.01 mA·cm⁻² at -0.100 V, which is higher than that of the Pd/C catalyst 0.71 mA·cm⁻² at the same condition.

Keywords: Alkaline Fuel Cell, Glycerol, Electro-oxidation, Anode, Biodiesel

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ ผศ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Graduate Student, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

² Undergraduate Student, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

³ Asst. Prof. Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

* Corresponding author: Tel: 091-3186692. E-mail address: MPiyawat.63@gmail.com

(Received: April 30, 2020; Revised: June 9, 2020; Accepted: June 16, 2020)

บทนำ

ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์ [1] ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นพลังงานทางเลือกอีกรูปแบบหนึ่งแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล และพัฒนาระบบได้ง่ายเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์ที่ใช้แอลกอฮอล์โดยตรง (Direct Alcohol Fuel Cell : DAFCs) มีการทำงานที่ใช้ต้นทุนและอุณหภูมิต่ำ อีกทั้งยังมีอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ในงานวิจัยต่างๆ ได้รับการยอมรับแล้วว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ (DAFCs) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทางเลือกที่สามารถตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีความต้องการพลังงานสูงขึ้นเรื่อยๆ และยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม [2-4] นักวิทยาศาสตร์มีความพยายามพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์โดยตรง (DAFCs) ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้เมทานอลและเอทานอล [5] ประสบปัญหาในด้านต่างๆ เช่น คุณสมบัติความเป็นพิษของเมทานอลและเอทานอล [6] ซึ่งสำนักงานวิจัยมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer; IARC) องค์กรอนามัยโลกจัดแอลกอฮอล์ในกลุ่มเมทานอลและเอทานอลอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งระดับสูงสุด มีความผันผวนและยังมีจุดวาบไฟต่ำ [7-9] ดังนั้นกลีเซอรอลเป็นแอลกอฮอล์โมเลกุลใหญ่ที่มีจุดเดือดสูง และมีความผันผวนน้อยกว่า นอกจากนี้มีความหนาแน่นพลังงานทางทฤษฎีสูงกว่าเมทานอลและเอทานอล [10] โดยกลีเซอรอลยังสามารถผลิตได้ง่ายซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [11-15] ซึ่งการประยุกต์ใช้กลีเซอรอลจึงได้รับการให้ความสนใจมากขึ้น นอกจากนี้ปัญหาของตัวรองรับสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาคือ มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้น้อยกว่าโลหะซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวรองรับชนิดอื่นที่มีสมบัติการนำไฟฟ้าได้ดีจะมีราคาแพง เช่น ทองนาโนคาร์บอน และกราฟีน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวรองรับที่แตกต่างกัน ซึ่งการปรับปรุงตัวรองรับคาร์บอนด้วยการใช้โลหะผสม Fe_xO_y เพื่อช่วยในการส่งเสริมประสิทธิภาพของตัวรองรับ [16-17] ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลีเซอรอลของตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วแอโนด และวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาพร้อมกับทดสอบประสิทธิภาพทางเคมีไฟฟ้าของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลีเซอรอลเพื่อที่จะนำไปพัฒนาใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงกลีเซอรอลโดยตรง [4]

วิธีการดำเนินการทดลอง

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาของขั้วแอโนด (Anode) [18]

ทำการเตรียม 20 wt. % Pd/C โดยชั่ง $PdCl_2$ (Aldrich, $\geq 99.9\%$) 0.33 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน (DI) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปอัลตราโซนิก 15 นาที (1) จากนั้นเตรียมตัวรองรับโดยชั่งคาร์บอนแบล็ค vulcan xc-72 (CABOT) 0.8 กรัม ปรับสภาพด้วยการเติมสารละลาย 2-Propanol 54 มิลลิลิตร และเติม DI 6 มิลลิลิตร (2) นำส่วนที่ (1) และ (2) ผสมเข้าด้วยกันด้วยวิธีอัลตราโซนิก 15 นาที เติม $NaBH_4$ (Sigma-Aldrich, $\geq 96\%$) เล็กน้อยเพื่อรีดิวซ์สารประกอบและเติมน้ำ DI 6 มิลลิลิตร คนสารละลายที่อุณหภูมิ $60^\circ C$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ $80^\circ C$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งการเตรียม 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C มีขั้นตอนการดำเนินการเช่นเดียวกันโดยเปลี่ยนตัวรองรับเป็นสารประกอบ Fe_xO_y-C

2. การเตรียมตัวรองรับสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วแอโนด (Anode) [17]

ทำการเตรียม Fe_xO_y-C ปริมาณ 5 กรัม โดยชั่ง $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ (Aldrich, $\geq 99.9\%$) ปริมาณ 36.25 กรัม ละลายในน้ำ DI ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และนำไปอัลตราโซนิก 15 นาที (1) จากนั้นเตรียมตัวรองรับโดยชั่ง

คาร์บอนแบล็ค vulcan xc-72 (CABOT) $\geq 99.9\%$ ปริมาณ 4 กรัม ปรับสภาพด้วยการเค็มสารละลาย 2-Propanol 54 มิลลิลิตร และเติมน้ำ DI 6 มิลลิลิตร (2) จากนั้นนำส่วนที่ (1) และ (2) ผสมเข้าด้วยกัน และนำไปอัลตราโซนิกอีก 15 นาที เติม NaBH_4 (Sigma-Aldrich, $\geq 96\%$) เล็กน้อยเพื่อรีดิวซ์สารประกอบ จากนั้นเติมน้ำ DI 6 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Ink)

เตรียมการทดสอบโดยชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 28 มิลลิกรัม และละลายด้วยสารละลายผสม Isopropanol และน้ำ DI อัตราส่วน 7:3 และนำส่วนผสมที่เตรียมไปอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้สารละลายเข้ากัน

4. วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM FT-SE ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 450 FEG) และการวิเคราะห์ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิควิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDS ยี่ห้อ Oxford Instruments X-Max)

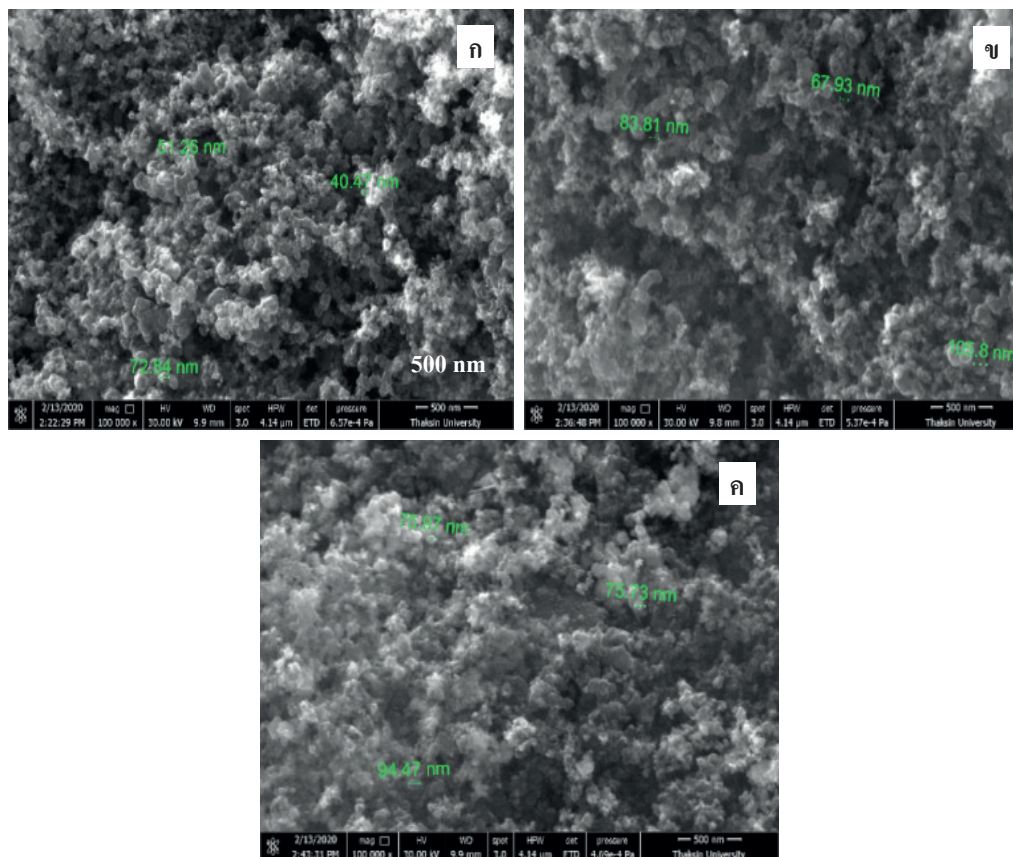
5. การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีทางเคมีไฟฟ้า

ทดสอบโดยนำตัวเร่งปฏิกิริยาหดยกลงบนขั้ว Glassy Carbon ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ปริมาตร 5 ไมโครลิตร นำไปทดสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารละลายอัลคาไลน์ (KOH, Kemaus) 0.1 โมลาร์ ในบรรยากาศ N_2 และนำไปทดสอบประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารละลายอัลคาไลน์ (KOH, Kemaus) 0.1 โมลาร์ ที่ผสมกับเชื้อเพลิงกลีเซอรอล (Glycerol) ความเข้มข้นที่เหมาะสม 0.3 โมลาร์ ภายใต้บรรยากาศ N_2 ด้วยเทคนิค Cyclic Voltammetry (CV) และทดสอบความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยเทคนิค Chronoamperometry (CA)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

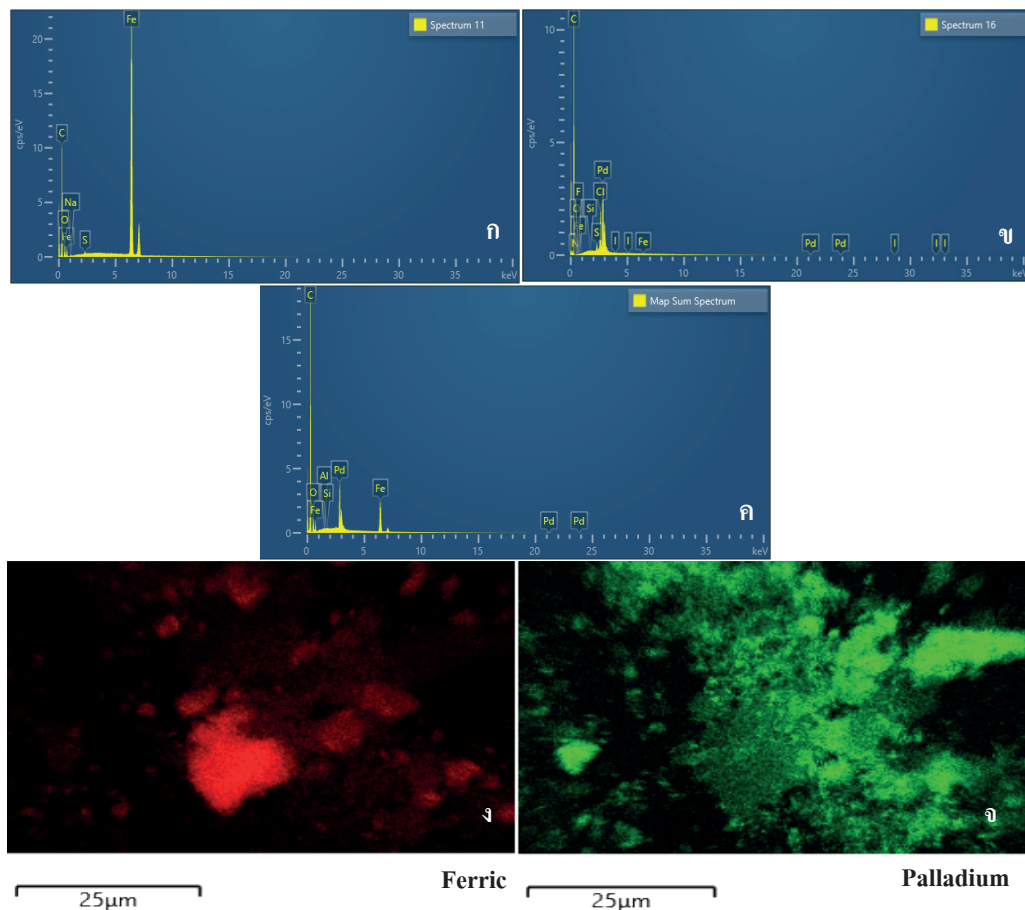
1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ปริมาณรูพรุนและปริมาณพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วแอโนดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการวิเคราะห์ที่กำลังขยายเดียวกัน ดังภาพที่ 1 (ก ข และ ค) พบว่าลักษณะอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็กกระจายตัวทั่วพื้นที่ ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาสูงและมีปริมาณรูพรุนสูงเช่นเดียวกัน จากการพิจารณาพบว่าลักษณะของพื้นที่ผิวและขนาดของอนุภาคดังกล่าวส่งผลต่อความเหมาะสมกับการนำมาใช้สำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง



ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C (ข) ลักษณะพื้นผิวของตัวรองรับ Fe_xO_y/C และ(ค) ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C

การวิเคราะห์ค่าร้อยละ โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาข้าวแอนด์ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงพลังงาน จากตารางที่ 1 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C และ 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C มีค่าร้อยละโดยน้ำหนักของ Pd บนตัวรองรับอยู่ที่ 11.58 % และ 8 % ตามลำดับ ดังภาพที่ 2



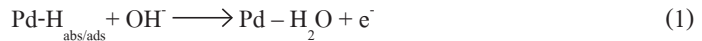
ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของ (ก) ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C (ข) การวิเคราะห์เชิงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C (ค) การวิเคราะห์เชิงปริมาณของตัวรองรับ Fe_xO_y-C (ง) อัตราการกระจายตัวของเหล็ก (Ferric) และ (จ) อัตราการกระจายตัวของแพลเลเดียม (Palladium)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์

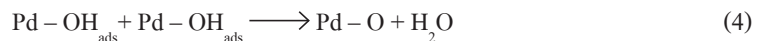
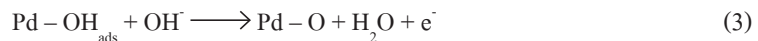
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวรองรับ	ร้อยละโดยน้ำหนัก (wt.%) (Pd : FeO : C)	ร้อยละโดยอะตอม (Atomic %) (Pd : FeO : C)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (nm)
20 wt.% Pd/C	-	11.58 : 0.00 : 83.55	1.50 : 0.00 : 95.65	54.85
20 wt.% Pd/Fe _x O _y -C	-	8 : 6.46 : 64.08	1.1 : 1.69 : 77.72	82.05
-	20 wt.% Fe _x O _y -C	0.00 : 36.31 : 56.78	0.00 : 11.21 : 81.51	85.84

2. การศึกษาสมบัติการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Process) ของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

2.1 ศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาภายในเซลล์ [19] ที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของตัวเร่งปฏิกิริยา Pd ที่ขั้วแอโนดในสภาวะต่าง ดังกรณีที่ทำการสแกนไปข้างหน้า ในช่วงความต่างศักย์ -0.9 ถึง -0.7 V vs Ag/AgCl มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแสดงการดูดซับและดูดซับของไฮโดรเจนบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาดังสมการที่ (1)



ในช่วงความต่างศักย์ -0.75 ถึง -0.25 V vs Ag/AgCl จะเกิดปรากฏการณ์การดูดซับของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Pd) ดังสมการที่ (2) ซึ่งเริ่มต้นในช่วงความต่างศักย์ติดลบมากขึ้นนอกจากนี้ยังมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Pd ดังสมการที่ (3) และ (4) โดยอาจมีบางส่วนที่เกิดขึ้นซ้อนทับกับช่วงของการคายไฮโดรเจนที่อยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา



ที่ความต่างศักย์มากกว่า -0.25V vs. Ag/AgCl เกิดการสร้างชั้น Pd (II) Oxide บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นขั้นแรกของการเกิดออกไซด์บนพื้นผิวโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา และที่ค่าความต่างศักย์เพิ่มสูงขึ้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเป็นโลหะออกไซด์เพิ่มมากขึ้นในสภาวะการสแกนย้อนกลับในช่วงความต่างศักย์มีค่า -0.3 V vs Ag/AgCl ปฏิกิริยาการรีดักชันของ Pd (II) Oxide จึงเกิดขึ้นดังสมการที่ (5)



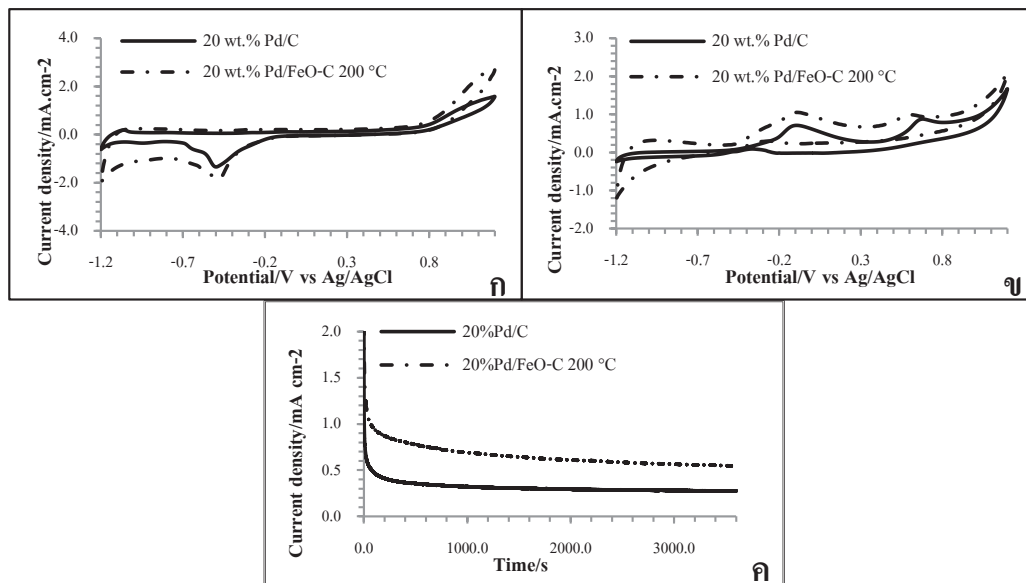
2.2 ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยาของขั้วแอโนด

จากการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยจะมีตำแหน่งเกิด Peak ขึ้นในช่วงความต่างศักย์ที่ตำแหน่งระหว่าง -0.5 และ -0.10 V ซึ่งในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 % Pd/C ในสารละลายต่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่าเกิด Peak ในตำแหน่งการสแกนย้อนกลับ ขึ้นในช่วงความต่างศักย์ -0.06 ถึง -0.770 V vs. Ag/AgCl ซึ่งเป็นตำแหน่งของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันในช่วงตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน โดยเป็นผลของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ Pd (II) Oxide ที่ดูดซับและดูดซับบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 3 (ก) และสำหรับการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยา Pd ในสารละลายผสมระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และกลีเซอรอลเข้มข้น 0.3 โมลาร์ พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลีเซอรอลมีค่าสูงสุดที่ความต่างศักย์ -0.100 V ในการสแกนไปข้างหน้า

จากการศึกษาโดยการเปรียบเทียบระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C กับ 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์กับการเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C และ 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C ในสารละลายผสมระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ และกลีเซอรอลเข้มข้น 0.3 โมลาร์ พบว่ามีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันแต่ในสภาวะการเติมกลีเซอรอลเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สูงกว่าถึง 0.3 mA cm⁻² แสดงให้เห็นว่าการเตรียมตัวรองรับคาร์บอนที่มีส่วนผสมของ Fe_xO_y สามารถส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพที่ 3 (ข) ทั้งนี้จากผลการศึกษาร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/Fe_xO_y-C มีร้อยละโดยน้ำหนักของอนุภาคแพลเลเดียมเท่ากับ 8 ซึ่งให้ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C ที่มีค่าร้อยละโดยมวลของอนุภาคแพลเลเดียมเท่ากับ 11.58

จากการทดสอบความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C และ 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C ด้วยเทคนิคแอมเพอโรเมทรีที่ความต่างศักย์ -0.12 V ดังภาพที่ 3 (ค) พบว่าค่าความหนาแน่นของกระแสในช่วงเริ่มต้นจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นพิษของสารมัธยันตร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของกลีเซอรอล [20] หลังจากนั้นค่าความหนาแน่นกระแสจะลดลงและเข้าสู่สภาวะคงตัวเทียม (Pseudo Steady State) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นกระแสสุดท้าย (Final Current Density) และอัตราการเสื่อม (Decay Rate) พบว่า 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C มีความเสถียรมากกว่าโดยมีความหนาแน่นสุดท้ายเท่ากับ 0.039 mA·cm⁻² ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรี (CV) (ก) การวิเคราะห์ด้วยไซคลิกโวลแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C และ 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.1 โมลาร์ อัตราการสแกน 10 mV·s⁻¹ (ข) การวิเคราะห์ด้วยไซคลิกโวลแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C และ 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C ในสารละลายผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.1 โมลาร์กับกลีเซอรอล 0.3 โมลาร์ อัตราการสแกน 10 mV·s⁻¹ (ค) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครโนแอมเพอโรเมทรี (CA) ของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นกระแสสุดท้ายและอัตราการเสื่อม

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความหนาแน่นกระแสสุดท้าย (mA·cm ²)	อัตราการเสื่อม (10 ⁻⁴ %·s ⁻¹)
20 wt.% Pd/C	0.27	1.62
20 wt.% Pd/Fe _x O _y -C	0.54	6.3

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาข้าวเอนโดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์ พบว่าการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd บนตัวรองรับ Fe_xO_y-C มีขนาดอนุภาคนาโนเฉลี่ย 54.85 และ 82.05 นาโนตามลำดับ และมีความร้อยละโดยน้ำหนักของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับที่ขอมรับได้ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C ได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาข้าวเอนโดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C และ 20 wt.% Pd/C ภายใต้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำแต่มีการเกิดปฏิกิริยารีดักชันสูงที่ตำแหน่งความหนาแน่นของกระแสสูงสุด -0.132 mA·cm⁻² และการศึกษาเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของเชื้อเพลิงกลีเซอรอล พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สารละลายผสมระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ กับกลีเซอรอลเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/C ที่ตำแหน่ง -0.100 V ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของกระแสสูงสุดเท่ากับ 1.01 mA และในส่วนของการทดสอบความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเทคนิคโครโนแอมเพโรเมตรี พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C มีความเสถียรมากกว่าโดยมีความหนาแน่นสุดท้ายเท่ากับ 0.039 mA/cm² สรุปได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt.% Pd/Fe_xO_y-C มีความเหมาะสมสำหรับการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาข้าวเอนโดและการเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันในเซลล์เชื้อเพลิงกลีเซอรอล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยแผนบูรณาการพัฒนาศักยภาพ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีวิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2562

References

- [1] Muneeb, O., Do, E., Boyd, D., Perez, J., & Haan, J. L. (2019). PdCu/C anode catalysts for the alkaline ascorbate fuel cell. *Applied Energy*, 235, 473–479.
- [2] Zhang, Z., Xin, L., Qi, J., Chadderton, D. J., & Li, W. (2013). Supported Pt, Pd and Au nanoparticle anode catalysts for anion-exchange membrane fuel cells with glycerol and crude glycerol fuels. *Applied Catalysis B: Environmental*, 136–137, 29–39.

- [3] Bianchini, C., Bambagioni, V., Filippi, J., Marchionni, A., Vizza, F., Bert, P., & Tampucci, A. (2009). Selective oxidation of ethanol to acetic acid in highly efficient polymer electrolyte membrane-direct ethanol fuel cells. *Electrochemistry Communications*, 11(5), 1077–1080.
- [4] Gerald, A. N., da Silva, D. F., e Silva, L. G. d. A., Spinacé, E. V., Neto, A. O., & dos Santos, M. C. (2015). Binary and ternary palladium based electrocatalysts for alkaline direct glycerol fuel cell. *Journal of Power Sources*, 293, 823–830.
- [5] Rostami, H., Omrani, A., & Rostami, A. A. (2015). On the role of electrodeposited nanostructured Pd–Co alloy on Au for the electrocatalytic oxidation of glycerol in alkaline media. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(30), 9444–9451.
- [6] Yahya, N., Kamarudin, S. K., Karim, N. A., Masdar, M. S., Loh, K. S., & Lim, K. L. (2019). Durability and performance of direct glycerol fuel cell with palladium-aurum/vapor grown carbon nanofiber support. *Energy Conversion and Management*, 188, 120–130.
- [7] An, L., & Zhao, T. S. (2011). Performance of an alkaline-acid direct ethanol fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(16), 9994–9999.
- [8] Shen, S. Y., Zhao, T. S., Xu, J. B., & Li, Y. S. (2010). Synthesis of PdNi catalysts for the oxidation of ethanol in alkaline direct-ethanol-fuel-cells. *Journal of Power Sources*, 195(4), 1001–1006.
- [9] Yin, J., Shan, S., Ng, M. S., Yang, L., Mott, D., Fang, W., Kang, N., Luo, J., & Zhong, C.-J. (2013). Catalytic and electrocatalytic oxidation of ethanol over palladium-based nanoalloy catalysts. *Langmuir*, 29(29), 9249–9258.
- [10] Yang, F., Hanna, M.A. & Sun, R. (2012). Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production. *Biotechnol Biofuels*, 5:13, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-13>.
- [11] Li, N., Xia, W.-Y., Xu, C.-W., & Chen, S. (2017). Pt/C and Pd/C catalysts promoted by Au for glycerol and CO electrooxidation in alkaline medium. *Journal of the Energy Institute*, 90(5), 725–733.
- [12] Inoue, H., Kimura, S., Teraoka, Y., Chiku, M., Higuchi, E., & Lam, B. T. X. (2018). Mechanism of glycerol oxidation reaction on silver-modified palladium electrode in alkaline medium. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(40), 18664–18671.
- [13] Yongprapat, S., Therdthianwong, A., & Therdthianwong, S. (2018). Improvement of catalytic performance of AuAg/C catalysts prepared by galvanic displacement technique for glycerol electrooxidation in alkaline medium. *Journal of Applied Electrochemistry*, 48(3), 317–328.
- [14] Yongprapat, S., Therdthianwong, A., & Therdthianwong, S. (2019). The enhanced activity of AuAg/C nanonetwork catalysts for glycerol electrooxidation by small amounts of Pd. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 847, 113225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.113225>.
- [15] Chinchilla, L. E., Olmos, C. M., Villa, A., Carlsson, A., Prati, L., Chen, X., Blanco, G., Calvino, J.J., & Hungria, A. B. (2015). Ru-modified Au catalysts supported on ceria–zirconia for the selective oxidation of glycerol. *Catalysis Today*, 253, 178–189.

- [16] Wang, H., Ma, Y., Lv, W., Ji, S., Key, J., & Wang, R. (2015). Platinum-Tin nanowires anchored on a nitrogen-doped nanotube composite embedded with Iron/Iron Carbide particles as an ethanol oxidation electrocatalyst. *Journal of The Electrochemical Society*, 162(1), H79–H85.
- [17] Pan, Z. F., Chen, R., An, L., & Li, Y. S. (2017). Alkaline anion exchange membrane fuel cells for cogeneration of electricity and valuable chemicals. *Journal of Power Sources*, 365, 430-445.
- [18] Gong, Q., Gong, S., Zhang, T., Cheng, X., & li, H. (2019). Achieving high activity and stability of carbon supported Pd-Cu alloyed catalysts for fuel cell applications. *Journal of the Electrochemical Society*, 166(13), F906–F913.
- [19] Laiwan, P., Therdthianwong A., & Therdthianwong, S. (2016). Influence of carbon support type and metal adsorption time on performance of Pd/C catalyst for ethanol electro-oxidation in alkaline. In *The 54th Kasetsart University Annual Conference*. 463–470. February 2-5, 2016, Bangkok: Kasetsart University.
- [20] Yongprapat, S., Therdthianwong, A., & Therdthianwong, S. (2012). Au/C catalyst prepared by polyvinyl alcohol protection method for direct alcohol alkaline exchange membrane fuel cell application. *Journal of Applied Electrochemistry*, 42(7), 483–490.

การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาकु

Production of Biodegradable Plastics from Sago Fibers

สุทธิสรา ก้อนเรือง^{1*}, การะเกด แก้วใหญ่¹, ธวัชชัย เทพนวล² และมาริสา เชษฐวรรณสิทธิ์³
 Sutthisa Konruang^{1*}, Karakade Kaewyai¹, Thawatchai Tepnual² and Marisa Chatwannasit³

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการใช้วัสดุพอลิเมอร์อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา ความแข็งแรงสูงและทนต่อสารเคมี อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์เหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเพราะส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตและสมบัติของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาकु โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ตัวอย่างถูกเตรียมโดยวิธีการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 500 psi ใช้เวลาในการอัด 15 นาที อัตราส่วนของเส้นใยต้นสาकुต่อตัวประสาน 1:1 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 1:0 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นความหนาแน่นและความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างลดลง ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำแป้งมันสำปะหลังเป็น 1:1 ความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงสุดคือ 4.24 ± 0.92 MPa ในทางตรงกันข้ามการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างในตัวอย่าง ขณะที่ความแข็งมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบดินเป็นเวลา 28 วัน พบว่าตัวอย่างที่เตรียมจากอัตราส่วนของเส้นใยต่อตัวประสานเป็น 1:0 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการย่อยสลายสูงสุด จากการศึกษาสรุปได้ว่าเส้นใยสาकुสามารถนำมาใช้เตรียมพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับการประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

คำสำคัญ: พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ วิธีการอัดขึ้นรูป เส้นใยสาकु แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

Nowadays, polymeric materials have been widely used due to their advantage properties such as lightweight, high strength, and chemical resistance. However, the polymers cause environmental pollution problem because most of them are non-biodegradable. Therefore, this research purposed to investigate the production and properties of biodegradable plastic produced from sago fibers using the commercial cassava starch as a binder. The biodegradable plastic was produced by hot compression process at

¹ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² ผศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

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

² Asst. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

³ Undergraduate Student, Program in Bachelor of Science (Physics), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 074-609607 ext. 2547. E-mail address: sutthisa@tsu.ac.th

(Received: April 21, 2020; Revised: June 9, 2020; Accepted: June 16, 2020)

temperature of 150 °C with 500 psi pressure and holding for 15 min. The ratios between sago fibers and the binder were 1:1, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, and 1:0 by weight. The mechanical and physical properties of all samples were characterized. The results indicated that the fiber content increase, density and tensile strength decreased. The sago fibers to binder at the ratio of 1:1 by weight showed the optimum tensile strength of 4.24 ± 0.92 MPa. In contrast, water absorption of the fibers increased due to the fiber created the voids in the samples, while the hardness of all samples were similar. In addition, the samples were in landfills for 28 days in order to biodegradability test. The sample prepared from sago fibers to binder ratio of 1:0 by weight exhibited the highest degradability. From the study, it can be concluded that sago fibers can be prepared as biodegradable plastic for the future application.

Keywords: Biodegradable Plastic, Compression Process, Sago Fibers, Cassava Starch

บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกสังเคราะห์ซึ่งมาจากการบวนการผลิตน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันของมนุษย์ การใช้งานพลาสติกเหล่านี้ทำให้เกิดขยะพลาสติกจำนวนมากเนื่องจากพลาสติกใช้เวลาในการย่อยสลายนานและกระบวนการกำจัดยังก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม [1] ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics) มาใช้ทดแทนวัตถุดิบสำหรับผลิตพลาสติกดังกล่าวได้จากธรรมชาติ เช่น แป้งและเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจัดเป็นวัสดุหมุนเวียนและมีราคาถูก [2] อย่างไรก็ตาม แป้งมีข้อเสียคือการดูดซับความชื้นสูงและสมบัติเชิงกลต่ำซึ่งปรับปรุงได้ด้วยการผสมแป้งเข้ากับวัสดุอื่น เช่น เส้นใย วัสดุอินทรีย์ และพอลิเมอร์ เป็นต้น [3] โดยเส้นใยส่วนใหญ่ได้มาจากพืช เช่น สับปะรด พวงข้าว ปอ นุ่น กล้วย อ้อย และมะพร้าว เป็นต้น [1-7] งานวิจัยของ Prachayawarakorn *et al.*, (2013) [2] ได้ศึกษาสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic Cassava Starch, TPCS) ผสมกับเส้นใยปอกระเจาและเส้นใยนุ่นโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าค่ามอดูลัสของยังของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Guimarães *et al.*, (2010) [7] ที่ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากแป้งข้าวโพดกับเส้นใยจากก้านกล้วยและเส้นใยชานอ้อยร่วมกับกลีเซอรินและกลีเซอรอล พบว่าค่ามอดูลัสของยังของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

ภาคใต้ของประเทศไทยมีพื้นที่ป่าลุ่มสาธูปประมาณ 3,000 เฮกตาร์ [8] ซึ่งจัดเป็นพืชท้องถิ่นที่นำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น หน่ออ่อนใช้รับประทานสด และใบใช้เป็นวัสดุหลังคาโรงเรือน เป็นต้น นอกจากนี้ต้นสาธูปที่มีอายุ 9 ปีขึ้นไปจะมีแป้งสะสมในลำต้นปริมาณมากสามารถนำมาผลิตแป้งสาธูปได้ [9] อย่างไรก็ตามมีสิ่งที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต คือ เส้นใยจากลำต้น ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเส้นใยจากลำต้นสาธูปซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการเตรียมพลาสติกชีวภาพและการวิจัยนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเนื่องจากราคาถูก หาได้ง่าย และสมบัติการเป็นตัวประสานที่ดี โดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายและนิยมใช้ในการผลิตภาชนะในเชิงพาณิชย์ [3] ผลการวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพต่อไป

วิธีดำเนินการ

1. วัสดุ

เส้นใยต้นสาอูซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้มาจากตำบลทะเลน้อย อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแป้งสาอู และแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native Cassava Starch) ยี่ห้อปลาไทย 5 ดาว ใช้เป็นตัวประสาน

2. การเตรียมเส้นใยต้นสาอู

เส้นใยต้นสาอูถูกมาล้างแล้วอบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำเส้นใยไปบดละเอียดให้มีขนาด 0.5 mm ด้วยเครื่องบดตัวอย่าง รุ่น SK300 ยี่ห้อ Retsch ผลิตโดยบริษัทไซแอนติฟิก โปรโมชันจำกัด แล้วอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นนำไปเก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อค เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการผสมและอัดขึ้นรูป

3. การเตรียมพลาสติกชีวภาพด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป

การหาปริมาณที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปใช้แป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำที่ผ่านการกรองด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) อัตราส่วน 1:4 แล้วผสมเส้นใยต้นสาอูกับตัวประสาน (น้ำแป้งมันสำปะหลัง) ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:0 ด้วยเครื่องผสมอาหารเป็นเวลา 15 นาที นำส่วนผสมปริมาณต่างกัน คือ 140 150 160 และ 170 g ใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 20 cm × 20 cm × 3 mm แล้วนำไปอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 500 psi เป็นเวลา 10 นาที เมื่อทราบปริมาณที่เหมาะสมได้แล้วทำการเตรียมพลาสติกชีวภาพเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นใยสาอูกับน้ำแป้งมันสำปะหลังเป็น 1:1 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 1:0 โดยน้ำหนัก

4. การศึกษาสมบัติของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ความหนาแน่นของตัวอย่างวัดโดยเครื่องวัดความหนาแน่น รุ่น BSA Series ยี่ห้อ Sartorius ผลิตโดยบริษัทเพอร์เคมีจกััด ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคือ 2.5 × 2.5 cm² ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 3 ตัวอย่าง

ความแข็งของตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น GX-02 ยี่ห้อ TECLOCK ผลิตโดยบริษัทเพอร์เคมีจกััด ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคือ 2.5 × 2.5 cm² ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 3 ตัวอย่าง

การต้านทานแรงดึงถูกวัดด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ผลิตโดยบริษัทเพอร์เคมีจกััด ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคือ 12.5 × 25.4 cm² ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 5 ตัวอย่าง

การทดสอบการซึมน้ำของตัวอย่างทำโดยตัดตัวอย่างให้ได้ขนาด 2.5 cm × 2.5 cm เงื่อนไขละ 5 ตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนทดสอบ (W₀) จากนั้นนำตัวอย่างแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (W₁) และคำนวณหาการร้อยละการซึมน้ำจาก (1) [10]

$$\text{Water absorption (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

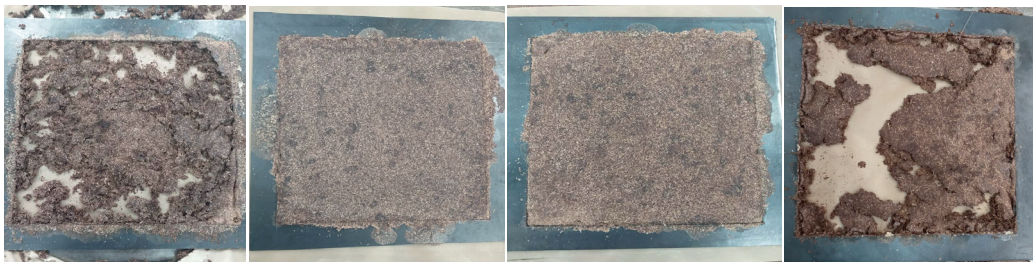
การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพทำโดยการตัดตัวอย่างขนาด 3.5 cm × 3.5 cm เงื่อนไขละ 3 ตัวอย่าง นำไปบดที่อุณหภูมิ 55 °C จากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (A₀) แล้วฝังในกระถางที่ระดับความลึก 10 cm กลบด้วยดินสำเริงรูปสำหรับปลูกไม้ดอกไม้ประดับเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นนำมาทำความสะอาดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก (A₁) คำนวณหาการย่อยสลายดังสมการ (2) [11]

$$\text{Biodegradation (\%)} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพ

ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต้นสาकुต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1:1 สามารถอัดขึ้นรูปได้ดีที่ปริมาณ 150 และ 160 g แต่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ที่ปริมาณ 140 และ 170 g เนื่องจากส่วนผสมปริมาณ 140 g น้อยเกินไปไม่สามารถกระจายตัวได้เต็มปริมาตรของแม่พิมพ์ ขณะที่ปริมาณส่วนผสม 170 g มากเกินไปขณะอัดที่อุณหภูมิสูงเกิดการระเหยของไอน้ำอย่างรวดเร็ว เมื่อทำการปิดแม่พิมพ์ไอน้ำภายในเนื้อวัสดุจะดันตัวออกมามากทำให้ตัวอย่างเสียหาย [12] ดังแสดงภาพในที่ 1 ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนสาकुต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1:0 สามารถอัดขึ้นรูปได้ทุกปริมาณเนื่องจากเส้นใยสาकुตัวอย่างมีความหนาแน่นต่ำเมื่อชั่งน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับกับอัตราส่วน 1:1 จะได้ปริมาณมากกว่าและเพียงพอต่อการอัดในแม่พิมพ์ ดังนั้นปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการทดลองคือ 150 g เพราะเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถอัดขึ้นรูปได้

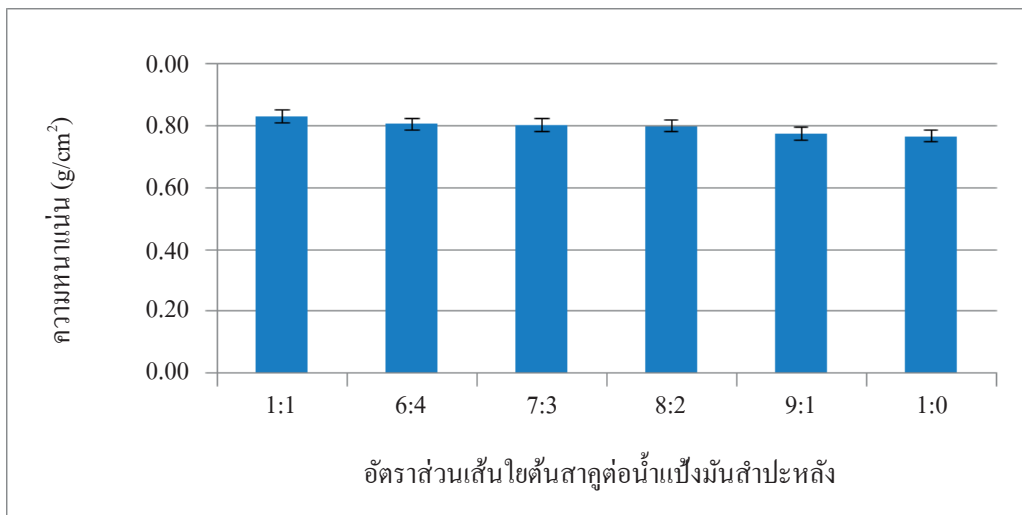


(a) (b) (c) (d)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต้นสาकुต่อน้ำแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก โดยใช้ปริมาณต่างกัน (a) 140 g (b) 150 g (c) 160 g และ (d) 170 g

2. ผลการศึกษาความหนาแน่น

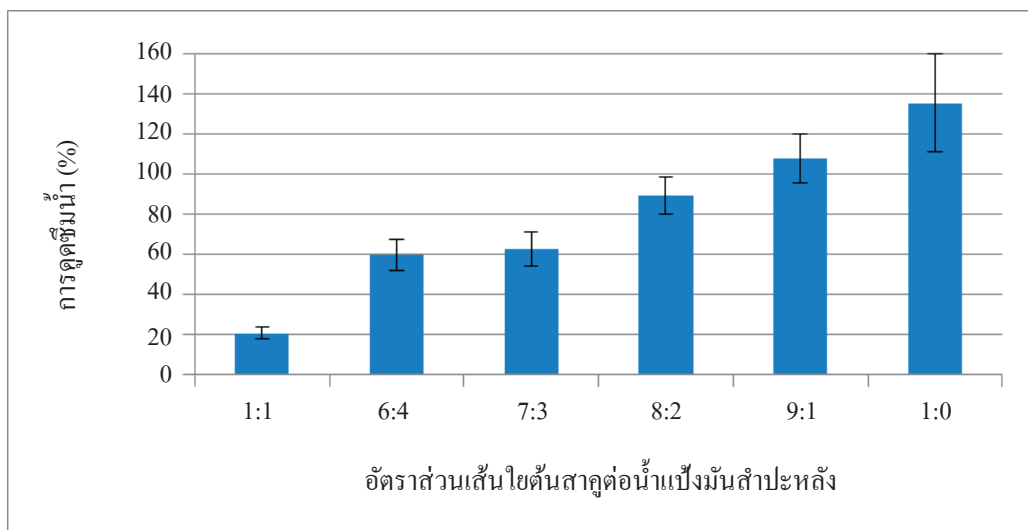
จากการทดลองหาความหนาแน่นของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาकुและน้ำแป้งมันสำปะหลัง พบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณของเส้นใยมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยความหนาแน่นมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วน 1:1 คือ 0.83 g/cm^3 และมีค่าน้อยที่สุดที่อัตราส่วน 1:0 คือ 0.76 g/cm^3 เนื่องจากตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใยมากจะเกิดช่องว่างภายในตัวอย่างสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schmidt *et al.*, (2010) [13]



ภาพที่ 2 ความหนาแน่นของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาเกและน้ำแปรงล้างจานในอัตราส่วนต่าง ๆ

3. สมบัติการดูดซึมน้ำ

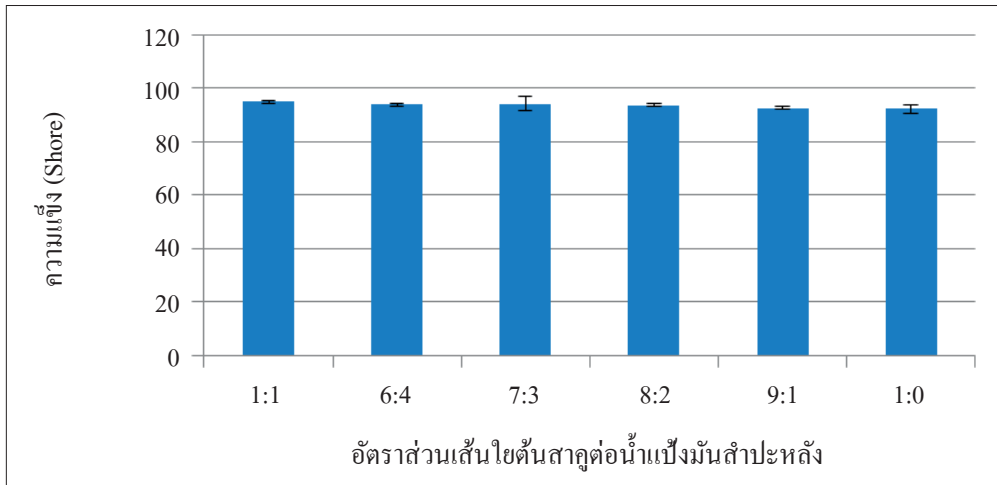
สมบัติการดูดซึมน้ำเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากการศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ พบว่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยในตัวอย่างเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยดูดซึมได้มากที่สุดที่อัตราส่วน 1:0 คือ 135.5 % และน้อยที่สุดที่อัตราส่วน 1:1 คือ 20.7 % เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดช่องว่างภายในตัวอย่างมากขึ้น น้ำแทรกซึมผ่านเข้าไปสู่ตัวอย่างได้มาก [2] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาความหนาแน่นของตัวอย่าง



ภาพที่ 3 การดูดซึมน้ำของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาเกและน้ำแปรงล้างจานในอัตราส่วนต่าง ๆ

4. การทดสอบความแข็ง

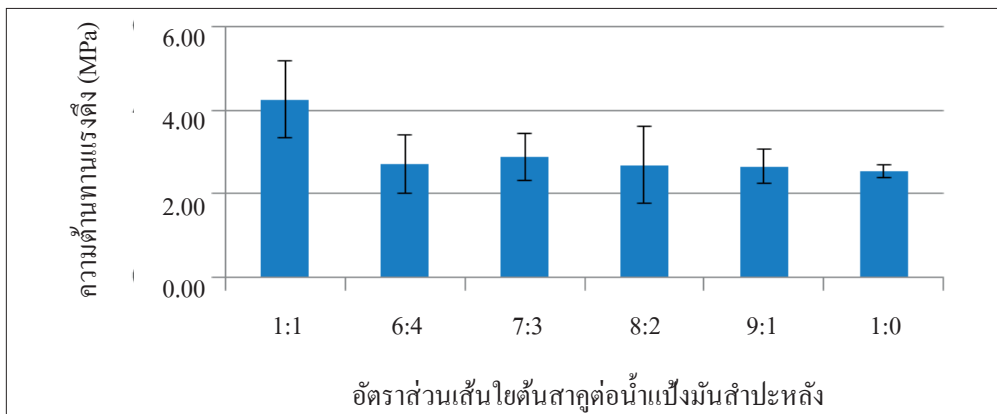
จากการทดสอบความแข็งของตัวอย่างพบว่าปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของตัวอย่าง ตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน คือ 92-94 ShoreA ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความแข็งของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาธูและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

5. การทดสอบการต้านทานแรงดึง

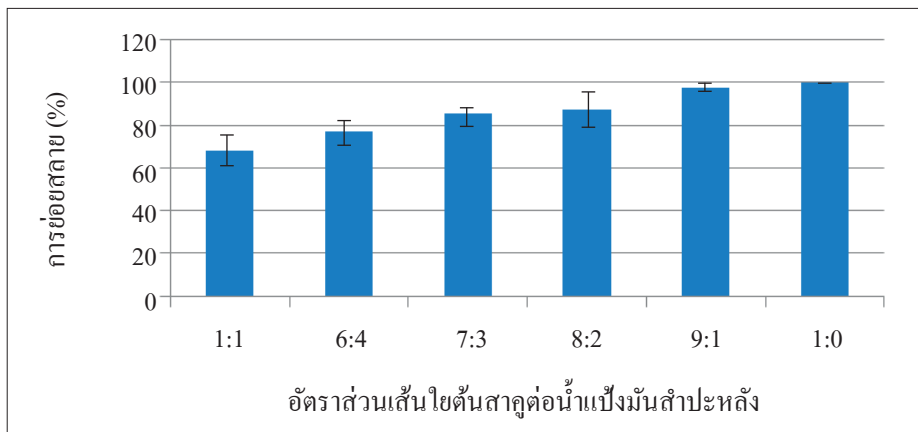
ความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแสดงในภาพที่ 5 ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยต้นสาธูเพิ่มขึ้น โดยความต้านทานแรงดึงสูงสุดและต่ำสุดได้จากตัวอย่างที่เตรียมจากอัตราส่วน 1:1 และ 1:0 คือ 4.24 ± 0.92 MPa และ 2.53 ± 0.16 MPa ตามลำดับ การลดลงของความต้านทานแรงดึงนี้เนื่องมาจากการเกิดช่องว่างภายในตัวอย่างเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย



ภาพที่ 5 ค่าการต้านทานแรงดึงของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาธูและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ

6. การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

ทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบดิน พบว่าร้อยละการย่อยสลายของตัวอย่างสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างภายในมีความพรุนสูง สามารถดูดซับน้ำจากดินได้มาก [11, 14] ส่งผลให้ตัวอย่างมีการบวมน้ำมากขึ้น นำไปสู่การสูญเสียมวลในระหว่างการสลายตัวของพอลิเมอร์ [15] ในตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต้นสาเกต่อน้ำแป้งมันสำปะหลังเป็น 1:0 ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ 100 % ในเวลา 28 วัน แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาเกและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาเกซึ่งใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมในการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 500 Psi ในแม่พิมพ์ขนาด 20 cm × 20 cm × 3 mm คือ 150 g ซึ่งเป็นปริมาณน้อยที่สุดที่ขึ้นรูปได้จากการศึกษาสมบัติของตัวอย่าง พบว่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำและความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ขณะที่การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างในตัวอย่าง อย่างไรก็ตามความแข็งแรงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบดิน พบว่าตัวอย่างย่อยสลายได้มากขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่อัตราส่วน 1:0 สามารถย่อยสลายได้หมด จากการศึกษารูปได้ว่าเส้นใยสาเกเป็นวัสดุทางเลือกที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการวิจัยเงินรายได้ มหาวิทยาลัยทักษิณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนวิจัยพื้นฐาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณสำหรับความอนุเคราะห์ให้เครื่องมือการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่าง

References

- [1] Silva-Guzmán, J. A., Anda, R. R., Fuentes-Talavera, F. J., Manríquez-González, R., & Lomelí-Ramírez, M. G. (2018). Properties of thermoplastic corn starch based green composites reinforced with barley (*Hordeum vulgare* L.) straw particles obtained by thermal compression. *Fibers and Polymers*, 19(9), 1970–1979.
- [2] Prachayawarakorn, J., Chaiwatyothin, S., Mueangta, S., & Hanchana, A. (2013). Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites. *Materials and Design*, 47, 309–315.
- [3] Corradini, E., de Carvalho, A. J. F., da Silva Curvelo, A. A., Agnelli, J. A. M., Mattoso, L. H. C. (2007). Preparation and characterization of thermoplastic starch/zein blends. *Materials Research*, 10(3), 227–231.
- [4] Jaafar, J., Siregar, J. P., Oumer, A. N., Hamdan, M. H. M., Tezara, C., & Salit, M. S. (2018). Experimental investigation on performance of short pineapple leaf fiber reinforced tapioca biopolymer composites. *BioResources*, 13(3), 6341–6355.
- [5] Lu, D. R., Xiao, C. M., & Xu, S. J. (2009). Starch-based completely biodegradable polymer materials. *eXPRESS Polymer Letters*, 3(6), 366–375. DOI:10.3144/expresspolymlett.2009. 46.
- [6] Kaushik, A., Singh, M., & Verma, G. (2010). Green nanocomposites based on thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat straw. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 337–345.
- [7] Guimarães, J.L., Wypych, F., Saul, C.K., Ramos, L.P., & Satyanarayana, K.G. (2010). Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fibers from Brazil. *Carbohydrate Polymers*, 80(1), 130–138.
- [8] Flach, M. (1997). *Sago Palm: (Metroxylon Sagu Rottb.)*. Rome: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- [9] Markphan, W., Chankaew, S., & Tiprug, U. (2016). An economic evaluation of the direct use of Sago Palm in Phatthalung province and Trang province. *Thaksin University Journal*, 19(2), 99–108.
- [10] Lui, F., Chiou, B. -S., Avena-Butsillos, R. J., Zhang, Y., Li, Y., McHugh, T. H., & Zhong, F. (2017). Study of combined effects of glycerol and transglutaminase on properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 65, 1–9.
- [11] Riyajan, S.A. (2015). Robust and biodegradable polymer of cassava starch and modified natural rubber. *Carbohydrate Polymers*, 134, 267–277.
- [12] Lomeli-Ramírez, M. G., Kestur, S. G., Manriquez-González, R., Iwakiri, S., de Muniz, G. B. d., & Flores-Sahagun, T. S. (2014). Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II-structure and properties. *Carbohydrate Polymers*, 102, 576–583.

- [13] Schmidt, V. C. R., & Laurindo, J. B. (2010). Characterization of foams obtained from cassava starch, cellulose fibres and dolomitic limestone by a thermopressing process, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(1), 185–192.
- [14] Sanhawong, W., Banhalee, P., Boonsang, S., & Kaewpirom, S. (2017). Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam. *Industrial Crops and Products*, 108, 756–766.
- [15] Riyajan, S., & Patisat, S. (2018). A novel packaging film from cassava starch and natural rubber. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(7), 2845–2854.

การวิเคราะห์ความแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยดัชนีความแห้งแล้ง แบบ TVDI จากข้อมูลดาวเทียมระบบ MODIS

An Analysis of Drought in Phetchaburi River Basin using TVDI Derived from MODIS Data

จิตติศักดิ์ สุขเกษม¹ เกศวรา สิทธิโชค² และชูพันธุ์ ชมภูจันทร์^{2*}

Titisak Sukkasem¹, Ketvara Sittichok² and Chuphan Chompuchan^{2*}

บทคัดย่อ

ลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นพื้นที่เกิดภาวะฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานานอยู่บ่อยครั้ง ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้ง โดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทาน ทั้งนี้ความชื้นในดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สัมพันธ์กับความรุนแรงของภัยแล้ง วิธีการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินความชื้นดินในพื้นที่ห่างไกลได้เป็นบริเวณกว้างและติดตามสถานการณ์ความแห้งแล้งเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง ใ้งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความแห้งแล้งด้วยค่าดัชนีความแห้งแล้งจากอุณหภูมิ-พืชพรรณ (Temperature Vegetation Dryness Index: TVDI) โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ MOD09A1 และ MOD11A2 ซึ่งเป็นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ โมดิส (MODIS) แบบภาพผสมราย 8 วัน ช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 นำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างแบบนอร์มัลไลซ์ และอุณหภูมิพื้นผิวดิน (T_s) จากนั้นจึงสร้างปฏิสัมพันธ์ NDVI- T_s สำหรับวิเคราะห์หาค่า TVDI เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความชื้นในดินโดยน้ำหนักของดินแห้งที่ตรวจวัดจากภาคสนาม ผลการวิจัยพบว่าดัชนี TVDI มีค่าตั้งแต่ 0.19-0.91 และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความชื้นในดินโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ -0.82 โดยในพื้นที่ที่มีความชื้นในดินสูงเป็นพื้นที่นาข้าวในเขตชลประทานมีค่า TVDI เฉลี่ย 0.23 ส่วนในพื้นที่ที่มีความชื้นในดินต่ำเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยนอกเขตชลประทานมีค่า TVDI เฉลี่ย 0.88 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าดัชนี TVDI สามารถนำมาประเมินความชื้นในดินและติดตามสภาพความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างไร้ก็ตามดัชนี TVDI มีข้อจำกัดในช่วงฤดูฝนเนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม MODIS ไม่สามารถประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวดินได้

คำสำคัญ: ดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI ความชื้นในดิน ลุ่มน้ำเพชรบุรี

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

² อ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

¹ Master's Student, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

² Lecturer Dr., Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 081-7652503 E-mail address: Chuphan.c@ku.ac.th

(Received: April 21, 2020; Revised: June 9, 2020; Accepted: June 16, 2020)

Abstract

Phetchaburi River Basin frequently faces dry spell periods resulting in water scarcity especially in a rainfed area. Soil moisture is one of main key factors related to drought severity. Satellite remote sensing could be used to estimate soil moisture in the remote areas with large coverage and also monitor drought situation for long period. The objective of this study is to investigate drought situation in the basin using Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI). MODIS 8-day composite products of MOD09A1 and MOD11A2 during January 1st 2019 to February 2nd 2020 were used to calculate Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and land surface temperature (T_s). The NDVI- T_s feature space was then applied to obtain TVDI data. Finally, the TVDI data was compared to gravimetric soil moisture measured in the study area. The research results revealed that TVDI of 0.19 - 0.91 was found with inverse correlation to soil moisture conducted in the field (R of -0.82). High soil moisture was presented for irrigated paddy fields while rainfed sugarcane areas showed low soil moisture with average TVDI of 0.23 and 0.88, respectively. These results indicated that TVDI is an efficient technique used to estimate soil moisture and monitor agricultural drought throughout the large-scale areas. However, using TVDI during a rainy season is limited due to MODIS satellite imagery data that are not capable to process land surface temperature.

Keywords: Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI), Soil Moisture, Phetchaburi River Basin

บทนำ

ความชื้นในดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สัมพันธ์กับความรุนแรงของภัยแล้ง บ่งบอกถึงศักยภาพทางการเกษตรและการเก็บกักน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และบ่งชี้โดยตรงถึงภาวะภัยแล้งทางการเกษตร [1] รวมทั้งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง การจัดการด้านการเกษตร การคาดการณ์ด้านอุทกภัย โดยทั่วไปการตรวจวัดความชื้นในดินจากภาคสนามเป็นวิธีที่มีความถูกต้องสูงแต่มีข้อจำกัดคือสามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะจุดและในขอบเขตพื้นที่ที่จำกัด ทั้งนี้วิธีการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินความชื้นดินในพื้นที่ห่างไกลได้เป็นบริเวณกว้างและติดตามสถานการณ์ความแห้งแล้งเป็นระยะเวลาต่อเนื่องได้ ปัจจุบันดัชนีชี้วัดความแห้งแล้งด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมมีหลายดัชนี อาทิ Anomaly Vegetation Index (AVI) [2] Vegetation Condition Index (VCI) [3] Apparent Thermal Inertia (ATI) [4] Crop Water Stress Index (CWSI) [5] และ Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) [6] จากดัชนีดังกล่าว TVDI เป็นดัชนีความแห้งแล้งทางการเกษตรที่สามารถตรวจวัดได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม [7] ซึ่งเป็นดัชนีที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสูงเนื่องจากมีความเรียบง่ายและแม่นยำในการตรวจวัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความแห้งแล้งโดยใช้ดัชนี TVDI โดยเลือกลุ่มน้ำเพชรบุรีเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเป็นพื้นที่เกิดภาวะฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานานอยู่บ่อยครั้ง ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และเกิดความแห้งแล้งโดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทาน

วิธีการวิจัย

ข้อมูลและวิธีการ

งานวิจัยนี้เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ข้อมูลภาพผสมราย 8 วัน MOD09A1 และ MOD11A2 จากภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ MODIS/Terra จาก USGS EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) ช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 นำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) และอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land Surface Temperature, T_s) โดยค่า NDVI คำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

เมื่อ ρ_{NIR} คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared) จากภาพแบนด์ 2
 ρ_{RED} คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Visible Red) จากภาพแบนด์ 1

โดยค่า NDVI อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 เมื่อ NDVI มีค่าเป็นบวกแสดงถึงพืชพรรณปกคลุมดิน เมื่อมีค่าเข้าใกล้ 1 จะหมายถึงพืชพรรณหนาแน่น เมื่อมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงมีพืชพรรณปกคลุมดินน้อยหรือเป็นพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีพืชปกคลุมดิน ในขณะที่ค่า NDVI ติดลบจะหมายถึงพื้นที่ผิวน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแปลความหมายลักษณะการปกคลุมดินตามค่า NDVI

ลักษณะสิ่งปกคลุมดิน	ค่า NDVI
พืชใบเขียวปกคลุมหนาแน่น (Dense Green Leafy Vegetation)	> 0.600
พืชใบเขียวปกคลุมปานกลาง (Medium Green Leafy Vegetation)	0.150 – 0.600
พืชใบเขียวปกคลุมน้อย (Light Green Leafy Vegetation)	0.100 – 0.150
พื้นที่ดินว่างเปล่า (Bare Soil)	0.025 – 0.100
พื้นที่แหล่งน้ำ (Water Bodies)	< 0.025

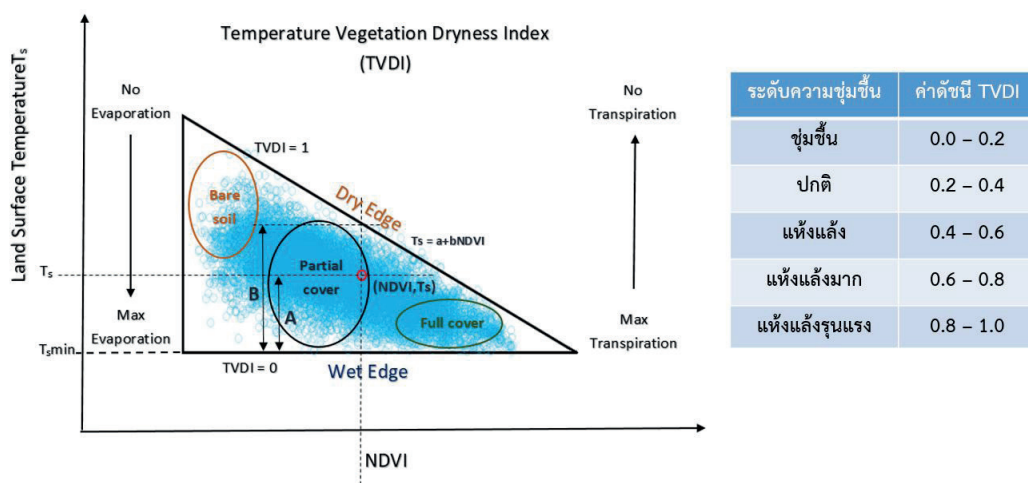
สำหรับค่า T_s เลือกใช้ค่า Daytime Land Surface Temperature (หน่วย: เคลวิน) จากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ซึ่งค่าอุณหภูมิพื้นผิวนั้นมีความสำคัญในการประเมินการคายระเหย ความชื้นของดิน และความเฉื่อยความร้อน [8]

จากนั้น นำค่า NDVI และ T_s มาสร้าง NDVI- T_s Feature Space ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยกำหนดขอบเขตการคำนวณใน Feature Space เป็นพื้นที่รูปสามเหลี่ยมและคำนวณค่า Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) ของแต่ละจุดภาพ (Pixel) ตามวิธีของ Sandholt และคณะ [6] ได้จากสัดส่วนระหว่างระยะ A กับ B และสามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$TVDI = \frac{A}{B} = \frac{T_s - T_{smin}}{a + bNDVI - T_{smin}} \quad (2)$$

- โดย T_s คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ตำแหน่งใดๆ ใน NDVI- T_s Feature Space
 T_{smin} คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้านล่างสุดในพื้นที่สามเหลี่ยมใน NDVI- T_s Feature Space
 NDVI คือ ค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างแบบนอร์มัลไลซ์
 a, b คือ พารามิเตอร์สำหรับนิยามค่า Dry Edge ที่ได้จากการประมาณค่าสมการถดถอยเชิงเส้น
 ในรูป $T_{smax} = a + bNDVI$ โดย T_{smax} คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุด

โดยค่า TVDI มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ในพื้นที่คือค่าที่อยู่ตามแนวเส้นขอบแห้ง (Dry Edge) ใน Feature Space ซึ่งหมายถึงไม่มีการคายระเหยน้ำหรือมีความชื้นในดินอย่างจำกัด ส่วนค่า TVDI ต่ำสุดเท่ากับ 0 ในพื้นที่คือค่าที่อยู่ตามแนวเส้นขอบเปียก (Wet Edge) ใน Feature Space ซึ่งหมายถึงมีการคายระเหยน้ำสูงสุดหรือมีความชื้นในดินอย่างไม่มีจำกัด [9] ทั้งนี้ พารามิเตอร์ a และ b ควรประมาณค่าจากพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนจุดภาพมากเพียงพอและครอบคลุมพื้นที่ตัวแทนตั้งแต่พื้นที่ที่แห้งแล้งที่สุดและพื้นที่ที่ชุ่มชื้นที่สุด รวมทั้งเป็นลักษณะพื้นที่ดินว่างเปล่าไปจนถึงพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมดินเต็มที่



ภาพที่ 1 การแปลความหมายของค่าดัชนี TVDI จาก NDVI- T_s Feature Space
(ดัดแปลงจาก Sandholt และคณะ (2002) [6])

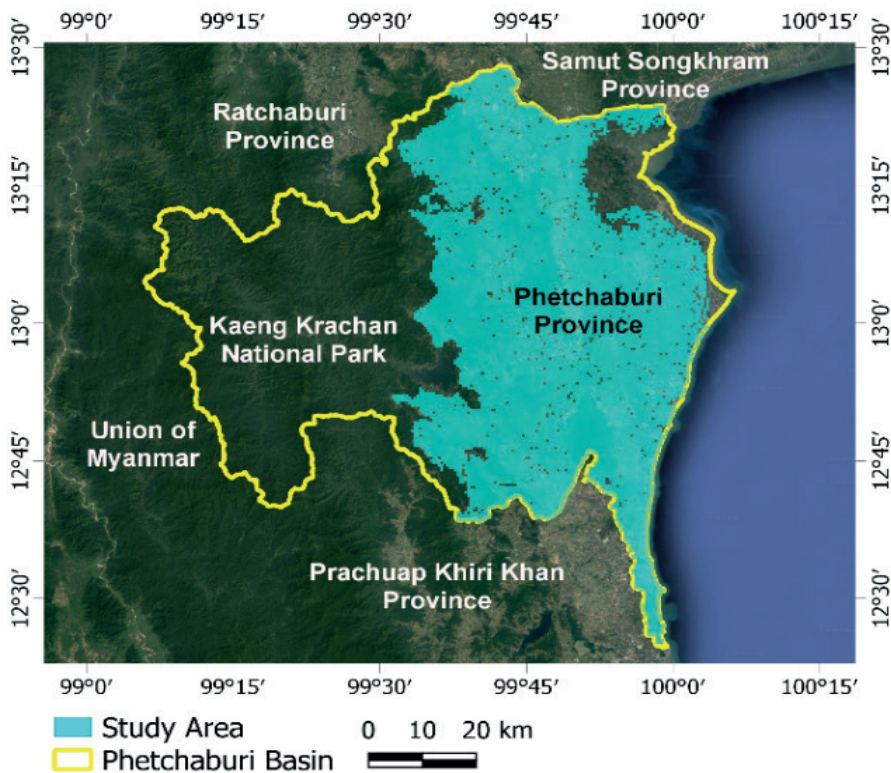
งานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างดินจากภาคสนามเพื่อหาค่าความชื้นในดินเปรียบเทียบกับค่า TVDI โดยเลือกตำแหน่งครอบคลุมพื้นที่ที่มีค่า TVDI ตามความชุ่มชื้นในดินที่ระดับต่างๆ จำนวน 19 ตัวอย่าง นำตัวอย่างดินไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จนดินแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วทำการหาค่าความชื้นในดินโดยน้ำหนักดินแห้ง จากสมการที่ 3

$$\%SM = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ W_w คือ น้ำหนักน้ำในดินตัวอย่าง (กรัม)
 W_s คือ น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกพื้นที่บางส่วนในกลุ่มน้ำเพชรบุรี ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยไม่พิจารณาพื้นที่ป่า ได้แก่ อุทยานแห่งชาติแก่งกระจานและพื้นที่ป่าชายเลน รวมทั้งพื้นที่ผิวน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ นาเกลือ พื้นที่ประมงเพาะเลี้ยงชายฝั่ง เป็นต้น เนื่องจาก พื้นที่ดังกล่าวเมื่อทำ NDVI-T_s Feature Space จุดภาพจะปรากฏในตำแหน่งที่มีความผิดปกติ กล่าวคือ พื้นที่ผิวน้ำมีค่า NDVI ต่ำกว่า 0 และพื้นที่ป่าไม่มีค่า NDVI เข้าใกล้ 1 แต่มีอุณหภูมิพื้นผิวน้ำค่อนข้างต่ำกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้การประเมินค่า TVDI มีความผิดปกติได้

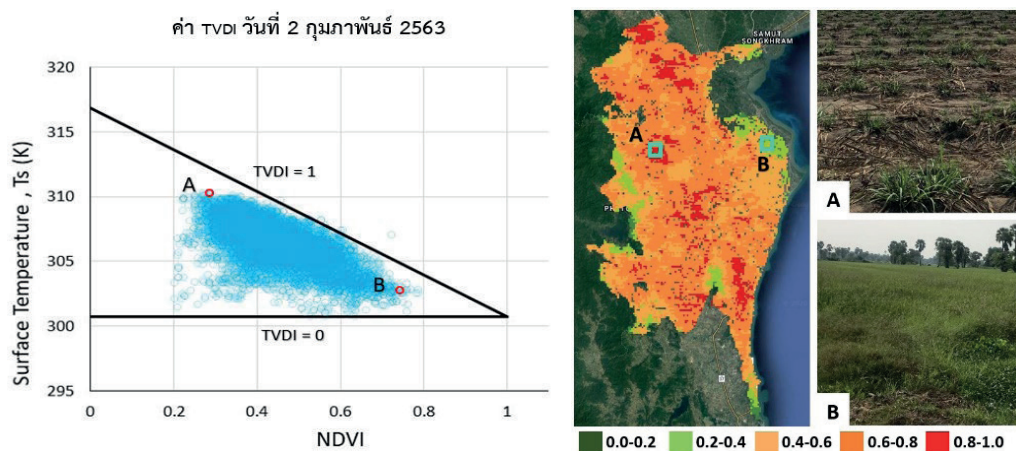


ภาพที่ 2 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษา

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อทำการสร้าง NDVI-T_s Feature Space และกำหนดเส้นขอบเปียกและขอบแห้งดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 3 จากนั้นจึงคำนวณค่า TVDI ของแต่ละจุดภาพและแสดงผลในแผนที่พื้นที่ศึกษาพบว่าภาพ TVDI ตัวอย่างวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2563 ส่วนมากมีค่าประมาณ 0.2-0.8 โดยพื้นที่ที่มีระดับความแห้งแล้งสูง

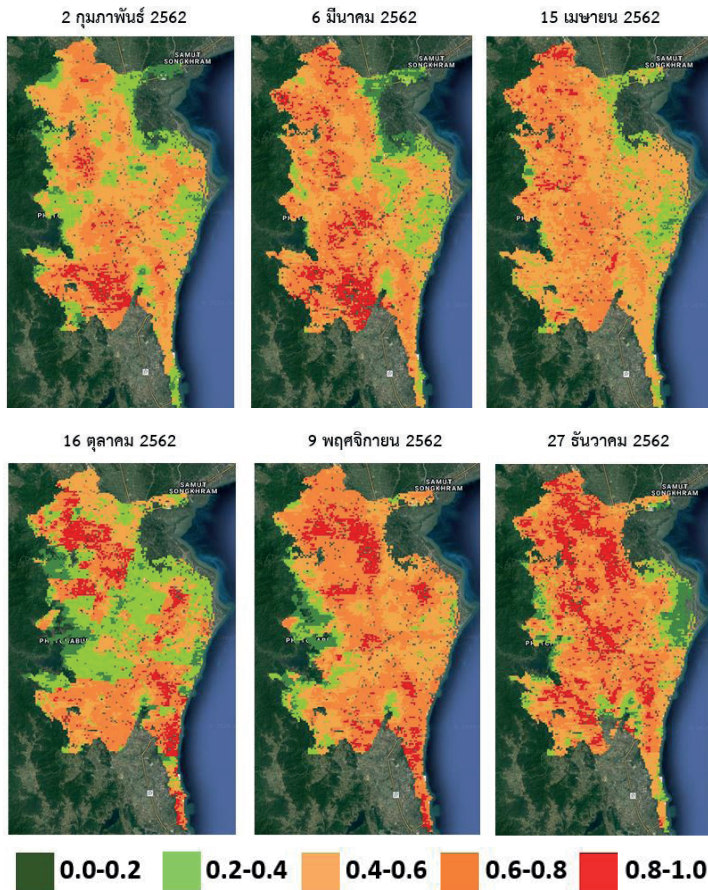
(ค่า TVDI มากกว่า 0.8) ส่วนมากเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขาและพื้นที่ราบบริเวณนอกเขตชลประทาน ผลการสำรวจภาคสนามในวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2563 ตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง A พบว่าเป็นไร่อ้อย สภาพการเพาะปลูกคือเป็นอ้อยต่อหลังการเก็บเกี่ยว มีการเจริญเติบโตปกคลุมดินไม่มากนัก สอดคล้องกับค่า NDVI ประมาณ 0.27 ซึ่งแสดงถึงระดับความเป็นพืชพรรณปกคลุมดินค่อนข้างต่ำ ในขณะที่พื้นที่ที่มีระดับความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์ปกติ (ค่า TVDI ประมาณ 0.3) อยู่ในพื้นที่บริเวณรอยต่อของเขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน และพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทาน ผลจากการสำรวจภาคสนามจากตัวอย่างพิกัดตำแหน่ง B พบว่าเป็นนาข้าวอยู่ในระยะแตกกอ (Tillering Stage) มีสภาพใบปกคลุมดินหนาแน่น สอดคล้องกับค่า NDVI ประมาณ 0.76 ซึ่งแสดงระดับความเป็นพืชพรรณปกคลุมดินสูง ประกอบกับในนาข้าวมีการขังน้ำไว้ในแปลงนา จึงอยู่ในเกณฑ์ระดับความแห้งแล้งค่อนข้างต่ำกว่าพื้นที่อื่น



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณค่า TVDI จากภาพถ่ายจากดาวเทียม
วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2563 และภาพการสำรวจภาคสนาม วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2563

จากผลการประเมินค่า TVDI ในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังในภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์-มีนาคม ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษามีความแห้งแล้งในระดับรุนแรง เนื่องจากพื้นที่บริเวณนั้นอยู่นอกเขตชลประทาน มีปริมาณน้ำสำหรับการเกษตรไม่เพียงพอ จึงมีการเพาะปลูกพืชทนแล้ง เช่น อ้อย สับปะรด มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น โดยทั่วไปปฏิทินการเพาะปลูกอ้อยเริ่มเก็บเกี่ยวในเดือนมกราคมและทำการปลูกต่อเนื่องจึงทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพพืชพรรณปกคลุมดินไม่มากนัก ในขณะที่พื้นที่ทางด้านตะวันออกซึ่งอยู่ติดกับอำเภอไทยและเป็นพื้นที่ในเขตโครงการชลประทานเพชรบุรี มีน้ำเพียงพอต่อการทำการเกษตรจึงทำให้ระดับความแห้งแล้งโดยทั่วไปอยู่ในระดับปกติ สำหรับเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนพบว่าบริเวณทิศเหนือและทิศใต้ของพื้นที่อยู่ในระดับที่แห้งแล้งรุนแรงเนื่องจากทางทิศเหนือของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นนาข้าวอยู่ในจังหวัดราชบุรี โดยทั่วไปปฏิทินการเพาะปลูกจะเริ่มปลูกข้าวในช่วงเดือนพฤษภาคมและเก็บเกี่ยวในเดือนตุลาคม ทำให้ในเดือนตุลาคมพื้นที่นาข้าวมีพืชพรรณปกคลุมดินค่อนข้างต่ำและมีความแห้งแล้งสูงมาก ส่วนทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ดินรกร้าง สภาพดินเป็นดินร่วนปนทรายซึ่งมีค่าความจุความชื้นต่ำและการระบายน้ำดี ประกอบกับในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน เป็นช่วงรอยต่อระหว่างลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

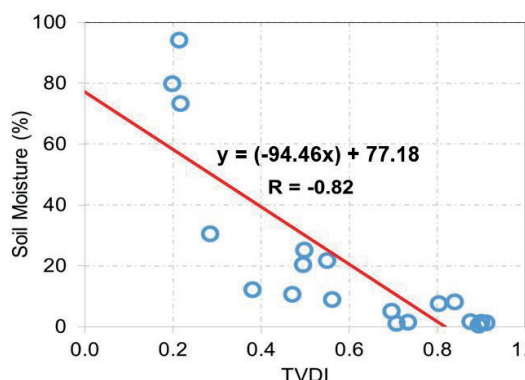
เฉียงเหนือทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีฝนตกน้อย จึงทำให้มีความแห้งแล้งสูงในช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนในเดือน ธันวาคมพื้นที่ส่วนใหญ่ทางด้านทิศเหนืออยู่ในระดับที่แห้งแล้งรุนแรงในขณะที่พื้นที่ทางทิศตะวันออกติด อ่าวไทยมีสภาพความชุ่มชื้นเนื่องจากเป็นพื้นที่นาข้าวในเขตชลประทานซึ่งโดยทั่วไปจะเริ่มเพาะปลูกข้าว นาปรังในเดือนตุลาคมและข้าวจะโตเต็มที่ในช่วงเดือนธันวาคม ดังนั้นจึงทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีพืช พรรณปกคลุมเต็มพื้นที่และมีความชุ่มชื้นสูง



ภาพที่ 4 แผนที่แสดงค่าดัชนี TVDI

จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เพื่อหาค่าความชื้นในดินพบว่ามีความชื้นระหว่าง 0.50-95.00 % ซึ่งขึ้นอยู่กับบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยพื้นที่เขตชลประทานที่มีการเพาะปลูกข้าว มีความชื้นในดิน เฉลี่ย 69.56% และพื้นที่นอกเขตชลประทานที่มีการเพาะปลูกอ้อย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สับปะรด มันสำปะหลัง มีความชื้นในดินเฉลี่ย 2.10 % เมื่อนำค่า TVDI ในตำแหน่งจุดภาพที่ตรงกับตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินมา หาค่าความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดิน พบว่า TVDI มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความชื้นในดิน โดยมี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ -0.82 (ภาพที่ 5) แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความชื้นในดินสูงขึ้นจะมีค่า TVDI ต่ำลง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Patel และคณะ [10] Han และคณะ [11] และ Bai และ คณะ [7] ซึ่งได้หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง TVDI และความชื้นในดินโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบ

อยู่ในช่วงระหว่าง -0.57 ถึง -0.87 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของค่า TVDI ในการตรวจวัดค่าความชื้นในดินซึ่งสัมพันธ์กับความแห้งแล้งทางการเกษตรได้ เนื่องจากเมื่อความชื้นในดินสูงจะมีน้ำในดินเพียงพอต่อความต้องการของพืช ทำให้มีการคายระเหยน้ำได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้อุณหภูมิผิวดินบริเวณที่พืชปกคลุมนั้นมีค่าต่ำ จึงทำให้ค่า TVDI มีค่าต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่บริเวณนั้นเป็นพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมดินน้อยหรือมีความชื้นในดินต่ำ ทำให้มีการคายระเหยน้ำน้อย ส่งผลให้อุณหภูมิผิวดินสูง ค่า TVDI ก็จะสูงขึ้น [12] อย่างไรก็ตามการแปลผลค่าดัชนี TVDI เป็นค่าความชื้นดังในภาพที่ 5 นี้ มีข้อจำกัดคือค่า TVDI ที่มีค่าน้อยกว่า 0.2 มีแนวโน้มจะเป็นดินชื้นในระดับอิ่มตัว (Saturated Soil) ส่วนค่า TVDI ที่มีค่าสูงกว่า 0.8 มีแนวโน้มจะเป็นดินแห้งที่มีความชื้นต่ำมาก นอกจากนี้ค่าดัชนี TVDI อาจมีความคลาดเคลื่อนสูงในพื้นที่นาข้าวเขตชลประทาน โดยเฉพาะช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว สรีรวิทยาของข้าวจะคล้ายกับพืชพรรณที่มีความแห้งแล้งโดยอาจส่งผลให้ค่า TVDI สูงขึ้นซึ่งไม่สอดคล้องกับความชื้นในแปลงนาที่ยังมีค่าค่อนข้างสูง [13]



ค่าดัชนี TVDI	ความชื้นในดิน (% Soil Moisture)
0.2	58.29
0.3	48.84
0.4	39.40
0.5	29.95
0.6	20.50
0.7	11.06
0.8	1.61

ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี TVDI กับ ความชื้นในดิน

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าดัชนีความแห้งแล้ง TVDI สามารถนำมาประเมินความชื้นในดินและติดตามสภาพความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้ ค่าดัชนี TVDI แสดงให้เห็นว่าในฤดูร้อนพื้นที่ทางทิศตะวันตกมีสภาพความแห้งแล้งค่อนข้างปานกลาง และในฤดูหนาวพื้นที่ทางทิศเหนือมีสภาพความแห้งแล้งค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงปลายฤดูหนาว อย่างไรก็ตามค่าดัชนี TVDI มีข้อจำกัดในช่วงฤดูฝนเนื่องจากมีเมฆปกคลุมหนาแน่น ส่งผลให้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม MODIS ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ไม่สามารถตรวจวัดค่าอุณหภูมิผิวดินได้ ทั้งนี้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ภาพผสมราย 8 วัน ซึ่งการตรวจวัดอุณหภูมิผิวดินมีความแปรปรวนสูงในช่วงเวลาดังกล่าวอาจส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่าง TVDI กับค่าความชื้นในดินที่เก็บจากภาคสนาม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย “การวิเคราะห์ภาวะการขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี” ภายใต้แผนงานวิจัย: การเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง (PRP6305030930) สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

Reference

- [1] Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167–1180.
- [2] Chen, W.Y., Xiao, Q.G., & Shen, Y.W. (1994). Application of the anomaly vegetation index to monitoring heavy drought in 1992. *Journal of Remote Sensing*, 9(2), 106–112. (in Chinese).
- [3] Kogan, F.N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91–100.
- [4] Price, J. C. (1985). On the analysis of thermal infrared imagery: The limited utility of apparent thermal inertia. *Remote Sensing of Environment*, 18(1), 59–73.
- [5] Jackson, R. D., & Pinter, P. J. (1981). Detection of water stress in wheat by measurement of reflected solar and emitted thermal IR radiation. In *The International Colloquium Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*. 399–406. September 8-11, 1981, Avignon (France): Institute National de la Recherche Agronomique.
- [6] Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2-3), 213-224.
- [7] Bai, J. -J., Yu, Y., & Di, L. (2017). Comparison between TVDI and CWSI for drought monitoring in the Guanzhong Plain, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(2), 389–397.
- [8] Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G.G., Panov, N., & Goldberg, A. (2010). Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. *Journal of Climate*, 23(3), 618–633.
- [9] Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Minh, V. Q. (2012). Monitoring agricultural drought in the lower Mekong basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 417–427.
- [10] Patel, N. R., Anapashsha, R., Kumar, S., Saha, S. K., & Dadhwal, V. K. (2009). Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), 23–29.
- [11] Han, Y., Wang, Y., & Zhao, Y. (2010). Estimating soil moisture conditions of the greater Changbai mountains by land surface temperature and NDVI. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(6), 2509–2515.

- [12] Garcia, M., Fernandez, N., Villagarcia, L., Domingo, F., Puigdefabregas, J., & Sandholt, I. (2014). Accuracy of the temperature-vegetation dryness index using MODIS under water-limited vs. energy-limited evapotranspiration conditions. *Remote Sensing of Environment*, 149, 100–117.
- [13] Chen, C. -F., Son, N. -T., Chang, L. -Y., & Chen, C. C. (2011). Monitoring of soil moisture variability in relation to rice cropping systems in the Vietnamese Mekong Delta using MODIS data. *Applied Geography*, 31(2), 463–475.

การประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง ตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย

Assessment of Tidal Energy Resource Potential along the Coast of Andaman Sea in Thailand

ณฤทธิ์ กล่อมพงษ์^{1*}, จอมภพ แววศักดิ์², ชนะ จันทร์น้ำ³ และสมพล ชีวมงคลกานต์³
Narit Klompong^{1*}, Jompob Waewsak², Chana Chancham³ and Somphol Cheewamongkolkarn³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย โดยอาศัยแบบจำลองมหาสมุทรพริ้นซ์ตัน (POM) ระบบจำลองมหาสมุทรระดับภูมิภาค (ROMS) และ ระบบจำลองพื้นผิวน้ำ (SMS) ซึ่งพัฒนาจากการจำลองแบบทางอุทกพลศาสตร์แบบจำลอง POM และ ROMS อาศัยข้อมูลความลึกจากฐานข้อมูลดาวเทียม และใช้ฐานข้อมูลความเค็มและอุณหภูมิในการกำหนดเงื่อนไขของการจำลองแบบที่ความแยกชัด 3 กิโลเมตร ส่วนแบบจำลอง SMS มีความแยกชัดในระดับจุลภาค 25 เมตร การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองแบบอาศัยการวิเคราะห์อัตราการคาดคะเน (M/P) และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดภาคสนามจำนวน 4 แห่ง พร้อมจัดทำแผนที่ศักยภาพแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง โดยจำแนกพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพแหล่งพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง 3 ระดับ ได้แก่ ศักยภาพสูง กลาง และต่ำ ผลจากการจำลองแบบพบว่าอัตราเร็วของกระแสน้ำขึ้น-น้ำลงมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.5 เมตรต่อวินาที ประเมินศักยภาพพลังงานจลน์น้ำขึ้น-น้ำลงในรูปแบบการไหลของกระแสน้ำขึ้น-น้ำลงมีความหนาแน่นกำลัง 150-160 วัตต์ต่อตารางเมตร บริเวณที่มีศักยภาพสูงได้แก่ ช่องแคบปากพระ จ.ภูเก็ต-จ.พังงา และปากน้ำกระบุรี จ.ระนอง โดยมีความผิดพลาดของแผนที่อยู่ในช่วงร้อยละ 8-30 ดังนั้นแหล่งพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานจลน์เพียงพอเพื่อนำไปพัฒนาทางด้านการผลิตไฟฟ้าต่อไป

คำสำคัญ: พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง ความหนาแน่นกำลัง ทะเลอันดามัน

¹นิสิตปริญญาเอก หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

²รศ.ดร., ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³นักวิจัย ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹Ph.D. Candidate, Program in Doctoral of Philosophy (Energy Engineering), Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

²Assoc. Prof. Dr., Research Center in Energy and Environment, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

³Researcher, Research Center in Energy and Environment, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: 612998007@tsu.ac.th

(Received: April 21, 2020; Revised: June 9, 2020; Accepted: June 16, 2020)

Abstract

This research focuses on an assessment of tidal energy resource potential along the coast of the Andaman sea in Thailand by using POM, ROMS and SMS models that were developed under hydrodynamic hypothesis. In POM and ROMS modelling, the bathymetric information from satellite data and database of salinity and temperature were used for defining the condition of models at a 3 km resolution. The SMS model resolution was 25 m. The M/P and RMSE were used to validate the models by comparing with 4 observed datasets. Furthermore, the potential tidal resources map was prepared by classifying the area into three classes, i.e., high, middle and low potential. The simulation showed that the tidal current speed was in the range of 0.3-0.5 m/s. The power density of the kinetic energy was in the range of 150-160 W/m². The highest potential areas are the Pak Phra Strait in Phuket-Phang Nga Province and Kra Buri estuary in Ranong Province. The mean error of the map was in the range of 8-30%. Therefore, tidal energy resources along the coast of the Andaman sea in Thailand was sufficient for further development of the power generation using the underwater current.

Keywords: Tidal Energy, Power Density, Andaman Sea

บทนำ

ทุกวันนี้มนุษย์เราอาศัยแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในการดำเนินกิจกรรมทางด้านพลังงานเป็นหลักสำคัญ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังเป็นสาเหตุสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ตลอดจนก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลก ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ของโลก การเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลต่อสภาพอากาศที่มีความรุนแรงและความถี่เพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติที่รุนแรงขึ้น ดังเช่นลักษณะการเกิดไฟป่าในพื้นที่ฝั่งตะวันตกของสหรัฐอเมริกา อะลาสกา และออสเตรเลีย มีความรุนแรงเพราะสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นและแห้งแล้งมากขึ้น [1] ด้วยเหตุนี้ มนุษย์จึงพยายามประดิษฐ์คิดค้นเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆ มาเพื่อขจัดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศโลก ทางเลือกที่มนุษย์หันไปพึ่งพาคือแหล่งพลังงานหมุนเวียนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยได้ศึกษาศักยภาพแหล่งพลังงานหมุนเวียนหลายชนิดเพื่อนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า มีการส่งเสริมและสนับสนุนแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงอย่างเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความหนาแน่นรังสีอาทิตย์สูงสุด ในช่วง 1.2-1.4 MWhr/year [2] พลังงานลมที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 30 GWh/year บริเวณพื้นที่ตอนกลางประเทศไทย [3] รวมทั้งพลังงานชีวมวลในรูปแบบต่างๆ

พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ได้รับความสนใจจากหลายประเทศที่มีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล มีการประเมินศักยภาพเพื่อนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ประเทศเม็กซิโกได้คำนวณความหนาแน่นกำลังของพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงในทางทฤษฎีมีค่าอยู่ในช่วง 3-6 kW/m² ในพื้นที่ที่มีอัตราเร็วกระแสน้ำสูงสุด [4] ประเทศอูรุกวัยประมาณความหนาแน่นกำลังได้ 0.06 kW/m² [5] พื้นที่ปากน้ำเปร็รอล ประเทศสเปนมีความหนาแน่นกำลังสูงสุด 0.45 kW/m² [6] ประเทศไทยก็มีอาณาเขตติดต่อกับทะเลซึ่งเหมาะแก่การศึกษา

พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง ในอดีตมีการวิจัยเกี่ยวกับพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงอาศัยข้อมูลการตรวจวัดจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือและกรมอุตุณิมวิทยา ซึ่งมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดระดับน้ำขึ้น-น้ำลง จำนวน 14 แห่ง ตามแนวชายฝั่ง ทะเลอันดามัน เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์สำหรับกิจการของกองทัพเรือและกรมอุตุณิมวิทยา การประเมิน ศักยภาพแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงจำเป็นต้องทราบค่ากระแสน้ำ รวมทั้งการเก็บข้อมูลต้องมีความละเอียดเชิงเวลา ข้อมูลระดับน้ำขึ้น-น้ำลงทั้ง 14 สถานี มีความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุดมีค่าไม่เกิน 4 m ซึ่งเป็น ค่าที่ต่ำสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของพลังงานศักย์ ดังนั้นพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงในรูปแบบพลังงานศักย์ ของประเทศไทยจึงศักยภาพน้อย [7]

ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาวิจัยประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงในประเทศไทย เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจัง โดยในแผนพัฒนาพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan; AEDP) ได้มีการตั้งเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานในทะเล 2 MW ภายใน ปี พ.ศ. 2564 ไม่ว่าจะเป็นพลังงานจากคลื่น (Wave Power) หรือจากน้ำขึ้น-น้ำลง (Tidal Power) [8] แต่ยังขาด ฐานข้อมูลระดับประเทศที่มีความน่าเชื่อถือเพื่อใช้ในการระบุพื้นที่เป้าหมายที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นโครงการวิจัยนี้เป็นการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเล อันดามันของประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางอุทกศาสตร์ทางทะเลที่มีความเหมาะสม ในการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง พร้อมทั้งจัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่หรือแผนที่ แสดงศักยภาพพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นสิ่งแรกของการดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อกำหนดทิศทางผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงของประเทศไทยต่อไป โดยใช้ระเบียบวิธีสมัยใหม่ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อจัดทำฐานข้อมูลมาก่อน การประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงาน จากน้ำขึ้น-น้ำลงอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างจากการจำลองแบบทางอุทกพลศาสตร์ทำนายค่า ความเร็วของกระแสน้ำ เพื่อประมาณค่าพลังงานที่ได้จากกระแสน้ำขึ้น-น้ำลง

วิธีดำเนินการ

พื้นที่ศึกษา (Area Study)

ประเทศไทยมีอาณาเขตติดต่อกับทะเลอันดามัน และอ่าวไทย ทะเลจีนใต้ การศึกษาในอดีตได้บ่งชี้ว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันมีศักยภาพสูงกว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย [9] เนื่องจากลักษณะทางกายภาพ ระดับท้องทะเลและเป็นทะเลเปิด ผลการประเมินศักยภาพของพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงระดับมหภาคพบว่าตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยมีศักยภาพแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงสูงกว่าฝั่งทะเลอ่าวไทย [10] งานวิจัยนี้จึงได้ประเมินพื้นที่แนวชายฝั่งตะวันตกของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ละติจูดที่ 5-11.5 °N และ ลองจิจูด 97-100.15 °E



ภาพที่ 1 แนวชายฝั่งทะเลอันดามันตั้งอยู่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกของประเทศไทย

แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Model)

การประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงอาศัยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ 3 มิติกับคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ได้แก่ แบบจำลอง Regional Ocean Modelling System (ROMS) พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย Rutgers และ University of California Los Angeles แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM) พัฒนาโดย Princeton University และแบบจำลอง SMS พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย University of North Carolina at Chapel Hill ร่วมกับ University of Notre Dame ร่วมกับ University of Oklahoma at Norman และ University of Texas at Austin แบบจำลอง ROMS และ POM เป็นการจำลองแบบระดับมหภาคซึ่งมีความแยกชัด 3-5 km และแบบจำลอง Surface-water Modeling System (SMS) เป็นการจำลองแบบระดับจุลภาคซึ่งมีความแยกชัด 25 m สำหรับแบบจำลอง ROMS และ POM เป็นการจำลองในระดับมหภาค และแบบจำลอง SMS เป็นการจำลองแบบในระดับจุลภาค

แบบจำลอง ROMS อาศัยข้อมูลความลึก Etopo2 จากฐานข้อมูล NOAA สำหรับพื้นที่ที่ศึกษากำหนดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ ละติจูด ที่ 5-11.5 °N และ ลองจิจูด 97-100.15 °E มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 3 km การประมวลผลแบบจำลอง ROMS อาศัยการจำลองความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเลเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นในการประเมินผลแบบจำลอง โดยตัวแปรทั้งสองมีการแบ่งชั้นตามความลึก 40 ระดับ สำหรับรายละเอียดการตั้งค่าเพื่อประมวลผลแบบจำลองยังจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากแบบจำลองอากาศในการสร้างอิทธิพลให้เกิดกระแสภายในของแบบจำลอง โดยอาศัยแบบจำลองสภาพอากาศ Weather Research and Forecasting (WRF)

ซึ่งมีความแยกชัด 27 km อาศัยข้อมูลนำเข้าจากข้อมูลวิเคราะห์ร่วมฐานข้อมูล FNL ในช่วง ปี ค.ศ. 2012-2016 สำหรับรายการตั้งค่าเพื่อประมวลผลแบบจำลอง แบบจำลอง POM อาศัยข้อมูลความลึกจากฐานข้อมูล NOAA และแผนที่ความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเลเป็นข้อมูลนำเข้าในการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นในการประเมินผลแบบจำลอง โดยทั้งสองตัวแปรถูกเตรียมให้มีการแบ่งชั้นตามความลึก 40 ระดับ การจำลองแบบจำลอง SMS เป็นการประมวลผลแบบจำลองโดยอาศัยหลักการไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อศึกษาพลศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าแบบจำลองข้างต้น โดยเลือกแบบจำลองให้เป็นแบบพลศาสตร์และกำหนดค่าตัวแปรสำคัญของการจำลองแบบ ได้แก่ ความหนาแน่นและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทะเลเป็น $1,026 \text{ kg/m}^3$ และ 30°C ตามลำดับ โดยตั้งค่าขั้นเวลาที่ 30 นาที

การตรวจสอบแบบจำลอง (Model Validation)

การตรวจวัดกระแสน้ำขึ้น-น้ำลงโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสน้ำและระดับน้ำขึ้น-น้ำลง โดยใช้ Current Meter ValePort Model 106 เพื่อตรวจวัดกระแสน้ำในบริเวณพื้นที่จำนวน 4 แห่ง ได้แก่ ปากน้ำระนองและลำน้ำกระบุรี จ.ระนอง ช่องปากพระ จ.ภูเก็ต ปากน้ำกระบี่และแม่น้ำกระบี่ จ.กระบี่ และปากน้ำตรัง แม่น้ำตรัง อำเภอกันตัง จ.ตรัง เพื่อนำข้อมูลตรวจวัดมาทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้ง 3 เพื่อลดความไม่แน่นอนของผลจากการจำลองแบบและข้อมูลนำเข้าทั้งข้อมูลสภาพอากาศและข้อมูลอุทกศาสตร์ โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ในการทำนายกระแสน้ำขึ้น-น้ำลงเชิงพื้นที่ที่ครอบคลุมทะเลอันดามันของประเทศไทยต่อไป มีการวิเคราะห์อัตราการคาดคะเน (M/P) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) ซึ่งเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของแผนที่แสดงศักยภาพของพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงในเชิงพื้นที่อีกด้วย โดยการวิเคราะห์พารามิเตอร์และความผิดพลาด M/P ซึ่งแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างค่าตรวจวัด (M) และค่าทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (P) RMSE เป็นการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดโดยอาศัยค่าจากการตรวจวัดกระแส (m) และค่าทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (p) ทั้ง 3 ได้แก่ ROMS POM และ SMS มาคำนวณ ดังสมการที่ 1

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i - p_i}{n} \right)^2} \quad (1)$$

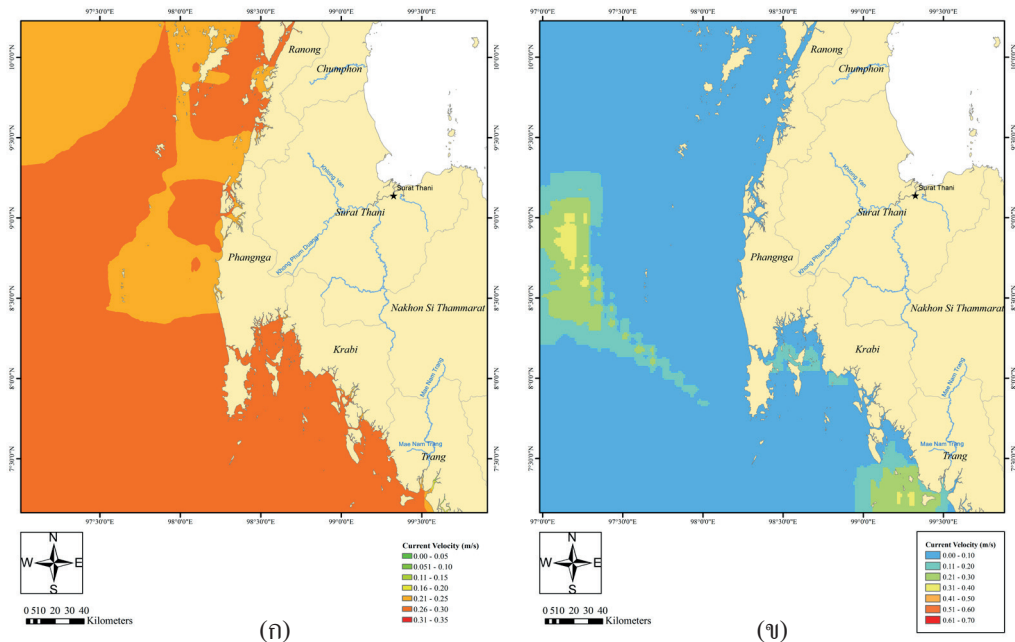
พลังงานงานน้ำขึ้น-น้ำลง (Tidal Energy)

แหล่งพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงสามารถนำเอาพลังงานจลน์ (E_k) มาใช้ประโยชน์ได้จากความเร็วการไหลของกระแสน้ำ สามารถคำนวณหาพลังงานจลน์ได้จากค่าสัมประสิทธิ์กำลังของก้นน้ำขึ้น-น้ำลง (C_p) พื้นที่กวาดของใบกังหันน้ำขึ้น-น้ำลง (A_g) และความเร็วของกระแสน้ำขึ้น-น้ำลง (V) ดังสมการที่ 2

$$E_k = 0.5 C_p \rho A V^3 \quad (2)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานจากการไหลของกระแสน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามัน โดยอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุทกพลศาสตร์ระดับมหภาคและระดับจุลภาคทำนายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของการไหล



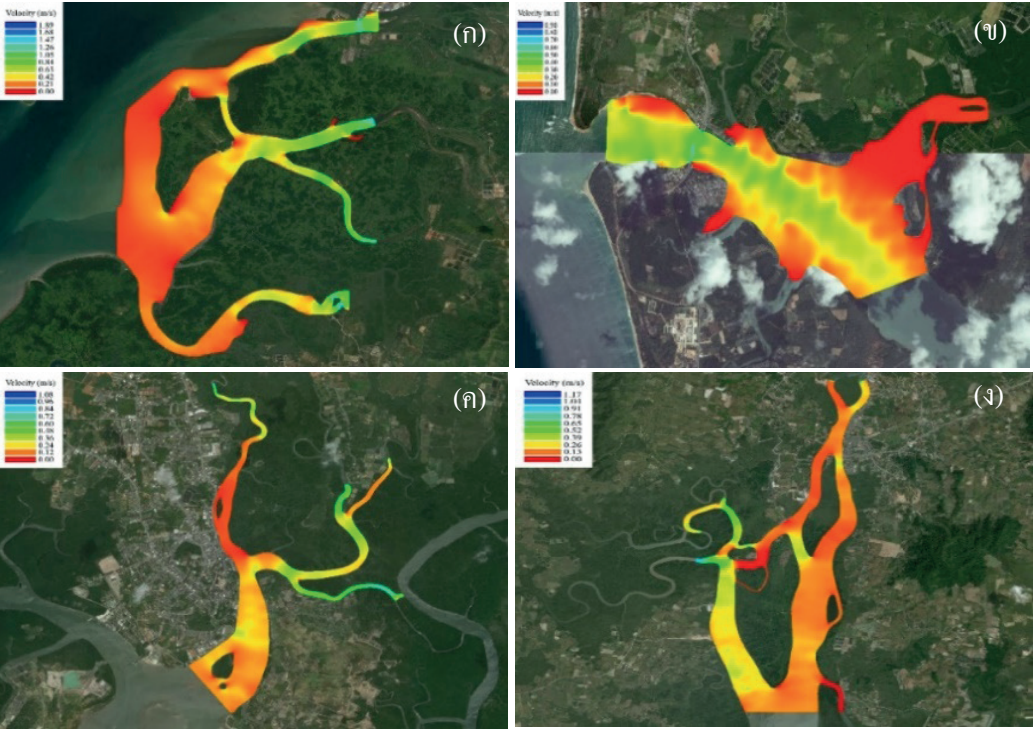
ภาพที่ 2 การกระจายอัตราเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยรายปีบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันที่ระดับความแยกชัด 3 km
(ก) แบบจำลอง ROMS โดยนำเข้าข้อมูลรวมแบบจำลองภูมิอากาศ WRF ปี ค.ศ. 2010 (ข) แบบจำลอง POM

การจำลองแบบ

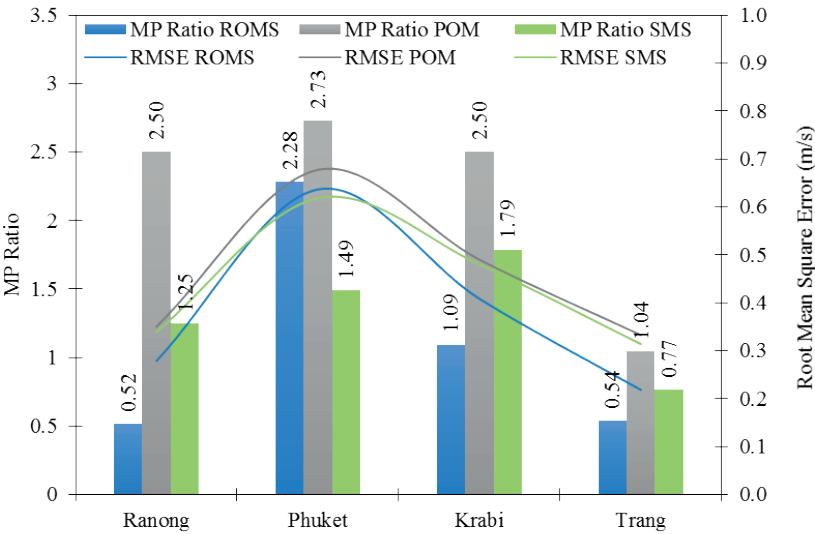
ผลการจำลองแบบโดยแบบจำลองระดับมหภาคของแบบจำลอง ROMS และ POM อาศัยฐานข้อมูลนำเข้าจาก NOAA ซึ่งเป็นฐานข้อมูลแหล่งเดียวกัน การจำลองแบบโดยใช้แบบจำลอง ROMS ร่วมกับฐานข้อมูลนำเข้าความละเอียดสูง สามารถทำนายระยะน้ำขึ้นสูงสุดและระยะน้ำลงต่ำสุดในรอบปีได้ เมื่อนำข้อมูลเชิงพื้นที่มาวิเคราะห์ด้วย Arc GIS V.10.2 เพื่อวิเคราะห์อัตราเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยรายปีแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 2 (ก) พบว่าพื้นที่เขต จ.ภูเก็ต เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงกว่าพื้นที่ศึกษาอื่นๆ และมีอัตราเร็วกระแสน้ำสูงสุด 0.35 m/s การจำลองแบบ POM พบว่าประเมินอัตราเร็วน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันมีการกระจายอัตราเร็วกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0.3 m/s เมื่อพิจารณาเชิงพื้นที่พบว่าบริเวณชายฝั่ง จ.ตรัง จ.พังงา และ จ.ภูเก็ต เป็นพื้นที่ที่มีกระแสน้ำไหลแรง โดยเฉพาะพื้นที่นอกชายฝั่งด้านทิศตะวันตกของ จ.ภูเก็ต ซึ่งเป็นอิทธิพลจากระดับความลึกของพื้นผิวทะเลบริเวณดังกล่าว หากพิจารณาบริเวณใกล้ชายฝั่งของพื้นที่ จ.ภูเก็ต จ.พังงา จ.กระบี่ เป็นผลจากระดับความชันของชายฝั่ง ส่งผลให้อัตราเร็วกระแสน้ำสูงในบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยรายปีของอัตราเร็วกระแสน้ำทะเลแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 2 (ข) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองระดับมหภาคของ แบบจำลอง ROMS และ POM ทั้งผลการจำลองรายเดือนและรายปี เนื่องจากการนำเข้าข้อมูลของแบบจำลอง ROMS เป็นขั้นตอนที่มีการอัปเดตข้อมูลต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวพบว่าแบบจำลอง ROMS นำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานได้ละเอียดกว่าแบบจำลอง POM

ผลการจำลองแบบโดยใช้แบบจำลองระดับจุลภาค SMS และการแสดงผลร่วมกับ Arc GIS V.10.2 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอัตราเร็วกระแสน้ำ ผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง SMS และ Arc GIS แสดงดังภาพที่ 3 โดยแผนที่อัตราเร็วกระแสน้ำระบุพื้นที่อัตราเร็วที่แตกต่างกันขึ้นกับลักษณะของลำน้ำ

และวลักรกของทอ้งน้ำซึ่มีผลต่อการประเมินศักยภาพพลังงาน เมื่อพิจารณาศักรกภาพซึ่งพื้นที่พบว่พื้นที่ศึกรกในเขต จ.ภูเก็ต-พังงาเป็นพื้นที่ที่มีศักรกภาพสูงกว่พื้นที่ศึกรกอื่นๆ โดยมีอัตราเร็วกระแสน้ำ 0.6 m/s ถัดมาเป็นพื้นที่ จ.กระบี่ มีอัตราเร็วกระแสน้ำ 0.5 m/s เท่ากับ จ.ตรัง



ภาพที่ 3 แผนทีอัตราเร็วกระแสน้ำ ทีระดับความแยกซัด 25 m (ก) ร.ระนอง (ข) จ.ภูเก็ต (ค) จ.กระบี่ (ง) จ.ตรัง



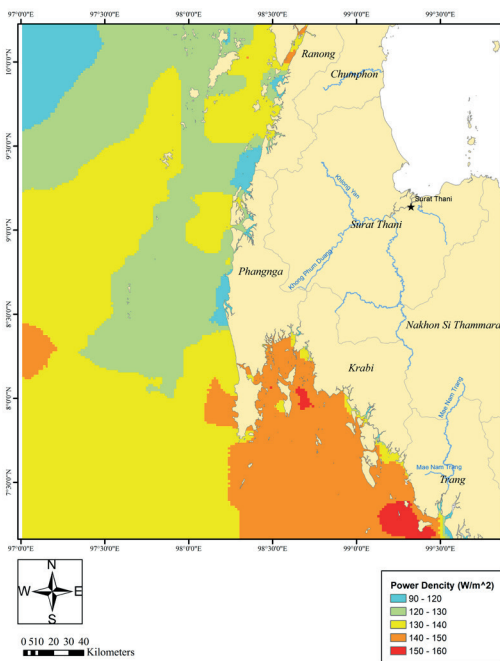
ภาพที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ROMS POM และ SMS

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

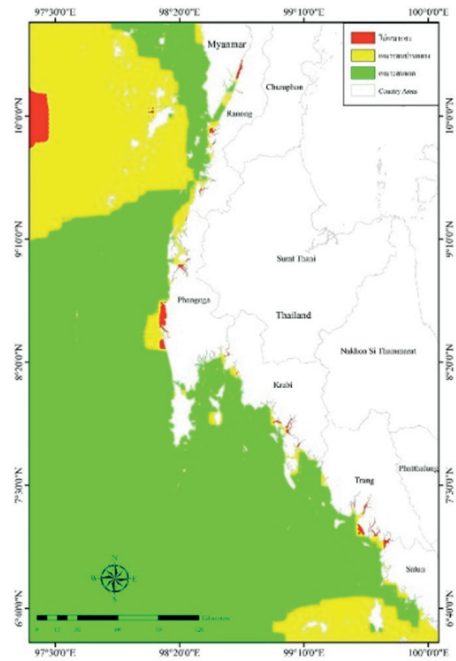
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อยืนยันได้ว่าผลที่ได้จากการจำลองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลพบว่า M/P มีค่าในช่วง 0.52-2.73 และ RMSE มีค่าระหว่าง 0.21-0.67 m/s ดังภาพที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองพบว่า M/P ของแบบจำลอง ROMS เข้าใกล้ 1 ที่สุด กล่าวคือ แบบจำลอง ROMS ทำนายผลได้แม่นยำ โดยค่า M/P ในช่วง 0.52-2.28 ซึ่งเมื่อพิจารณาเชิงพื้นที่พบว่าการทำนายผลในพื้นที่ จ.ตรัง ให้ผลแม่นยำที่สุด สำหรับการวิเคราะห์ค่า RMSE มีแนวโน้มเดียวกับค่า M/P ทั้งในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองและเชิงพื้นที่ โดยภาพรวม RMSE มีค่าในช่วง 0.2-0.7 m/s

การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายที่มีศักยภาพพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง

การประเมินความหนาแน่นกำลังของพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง ในพื้นที่ศึกษา พบว่ามีค่าในช่วง 90-150 W/m² โดยพื้นที่ที่มีความหนาแน่นกำลังสูงสุดในบริเวณชายฝั่ง จ.ตรัง แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 5 (ก) การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) พบว่ามีแหล่งพลังงานกระแสน้ำขึ้น น้ำลงที่เหมาะสมสูงมากกระจายตัวอยู่ตลอดแนวชายฝั่งอันดามันนับตั้งแต่บริเวณชายฝั่ง จ.พังงา จนถึง จ.ตรัง และพื้นที่เหมาะสมบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ซึ่งอยู่ในระยะห่างจากชายฝั่ง จ.ระนอง ประมาณ 15 km แผนที่แสดงความเหมาะสมเชิงศักยภาพแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 5 (ข)



(ก)



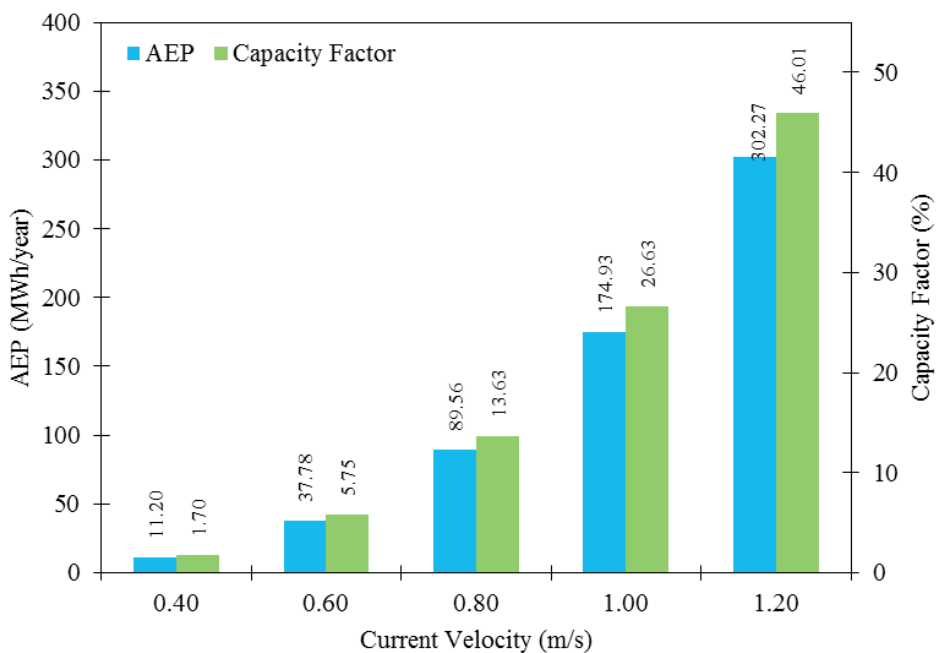
(ข)

ภาพที่ 5 พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน

(ก) ความหนาแน่นพลังงาน (ข) ความเหมาะสมเชิงศักยภาพ

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีและคาปาซิตีแฟกเตอร์ (Annual Energy Production and Capacity Factor)

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ-ขึ้นน้ำลง ได้อาศัยแบบจำลองกักหน้ำผลิตไฟฟ้าแบบแกนตั้งจำนวน 10 ตัว ติดตั้งในพื้นที่ที่มีความเหมาะสม โดยอัตราเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยจากการประเมินแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.48 m/s และทำการประเมินในกรณีความไม่แน่นอนจากการแปรปรวนของสภาพอากาศ ซึ่งอาศัยแบบจำลองกักหน้ำเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เมตร [12] ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งที่ 75 kW ประสิทธิภาพของกักหน้ำ 41 % ประเมินให้ดำเนินการผลิต 365 วันต่อปี ซึ่งความหนาแน่นของน้ำทะเลจากแบบจำลองซึ่งอาศัยข้อมูลขอบเขตจากฐานข้อมูล NOAA มีค่าเท่ากับ 1,025 kg/m³ เมื่อทำการประเมินหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (AEP) และคาปาซิตีแฟกเตอร์ของโรงไฟฟ้าขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 0.75 MW พบว่า ไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี 11.20-302.27 MWhr/year และ คาปาซิตีแฟกเตอร์มีค่าในช่วง 1.70 – 46.01 % แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 6 การเพิ่มขึ้นของอัตราเร็วกระแสน้ำที่จะส่งผลให้พลังงานที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นถึงสามเท่า จากลักษณะจำเพาะข้างต้น มีความเป็นไปได้เป็นอย่างยิ่งหากมีการขยายการศึกษาประเมินศักยภาพในมิติของการเพิ่มข้อมูลนำ้เข้าระยะยาวจะส่งผลให้ค้นพบพื้นที่มีศักยภาพและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต



ภาพที่ 6 หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีและคาปาซิตีแฟกเตอร์ของโรงไฟฟ้าขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 0.75MW

สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย โดยอาศัยการจำลองแบบระดับมหภาค POM และ ROMS และแบบจำลองระดับจุลภาค SMS ร่วมกับการตรวจวัดภาคสนามจำนวนสถานีตัวแทน 4 แห่ง ได้แก่ ปากแม่น้ำกุยบุรี จระนอง

ช่องปากพระ จ.ภูเก็ต-พังงา ปากแม่น้ำกระบี่ จ.กระบี่ และปากแม่น้ำตรัง จ.ตรัง ดำเนินการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย โดยดำเนินการจำแนกพื้นที่แหล่งพลังงานน้ำขึ้น-น้ำลงออกเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูง กลาง และต่ำ ตามลำดับ ผลการประเมินศักยภาพพลังงานจลน์จากอิทธิพลน้ำขึ้น-น้ำลง พิจารณาโรงไฟฟ้าพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 0.75 MW พบว่าพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ผลิตไฟฟ้าภายใต้เทคโนโลยีที่อยู่ในปัจจุบัน ผลจากการจำลองแบบโดยแบบจำลองมหภาค POM และ ROMS พบว่าอัตราเร็วของกระแสได้น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.5 m/s มีค่าความหนาแน่นกำลัง 150-160 W/m² บริเวณที่มีศักยภาพสูงได้แก่ช่องปากพระ จ.ภูเก็ต และ ปากน้ำกระบี่ จ.ระนอง โดยมีความความผิดพลาดของแผนที่จากแบบจำลองมหภาคอยู่ในช่วง 8-30 % ผลจากการจำลองแบบโรงไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 0.75 MW สามารถผลิตไฟฟ้ารายปีเท่ากับ 2.35 GWh/year บริเวณช่องปากพระ จ.ภูเก็ต-พังงา มีค่าประสิทธิภาพดีแฟกเตอร์เท่ากับ 17.88 %

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน สำหรับทุนอุดหนุนโครงการวิจัย

References

- [1] Mungmeedee, S. (2020). *World economy* (Online). Retrieved February 13, 2020, from <https://www.businesstoday.co/world/08/01/2020/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9B%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B8%A2/>.
- [2] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2017). *Renewable Energy Outlook:Thailand*. Abu Dhabi: IRENA.
- [3] Niyontham, L., Waewsak, J., & Chuncham, C. (2020). Assessment of wind energy using global wind atlas methodology: a case study of central region of Thailand. *Thaksin University Journal*, 23(1), 39–48.
- [4] Mejia-Olivares, C.J., Haigh, I.D., Wells, N.C., Coles, D.S., Lewis, M.J., & Neill, S.P. (2018). Tidal-stream energy resource characterization for the Gulf of California, México. *Energy*, 156, 481–491.
- [5] Alonso, R., Jackson, M., Santoro, P., Fossati, M., Solari, S., & Teixeira, L. (2017). Wave and tidal energy resource assessment in Uruguayan shelf seas. *Renewable Energy*, 114(PartA), 18–31.
- [6] Mestres, M., Cerralbo, P., Grifoll, M., Sierra, J.P., & Espino, M. (2019). Modelling assessment of the tidal stream resource in the Ria of Ferrol (NWSpain) using a year-long simulation. *Renewable Energy*, 131, 811–817.
- [7] Rourke, F.O., Boyle, F., & Reynolds, A. (2010). Tida. *Applied Energy*, 87(2), 398–409.
- [8] Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency. (2015). *Alternative energy development plan: AEDP 2015*(Online). Retrieved September 8, 2018, from <http://www.eppo.go.th/images/POLICY/ENG/AEDP2015ENG.pdf>.

- [9] Onsri, N., & Sojisuporn, P. (2010). Application of numerical model for water circulation around Had Khanom-MuKo Thale Tai. *Burapha Science Journal*, 15(1), 23–30.
- [10] WordPress Theme by Kadence Themes. (2020). *Radar altimetry tutorial and toolbox* (Online). Retrieved February 13, 2020, from <http://www.altimetry.info/thematic-use-cases/ocean-applications/tides/>.
- [11] Stifter, G. (2006). *Princeton ocean model seminar* (Online). Retrieved September 8, 2018, from http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2006_2007/semeng.pdf.
- [12] O'Doherty, T., Mason-Jones, A., O'Doherty, D.M., Evans, P.S., Wooldridge, C.F., & Fryett, I. (2010). Considerations of a horizontal axis tidal turbine. *Proceedings of Institution of Civil Engineers-Energy*, 163(3), 119–130.
- [13] Lim, H.-S., Kim, C.S., Park, K.-S., Shim, J.S., & Chun, I. (2013). Down-scaled regional ocean modeling system (ROMS) for high-resolution coastal hydrodynamics in Korea. *Acta Oceanologica Sinica*, 32(9), 50–61.

สมบัติเชิงโครงสร้างและไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ ที่เตรียมด้วยเทคนิคอาร์เอฟสเปตเตอร์ริง

Structural and Electrical Properties of ZnO Thin Film Prepared by RF Sputtering Technique

ธวัชชัย จันทร์ทอง¹, ธนศ ณ วิเชียร², วีรวรรณ อินทรทัต^{1*}

ศักดิ์ชาย เพชรช่วย³ และณัฐพงษ์ ถือคำ⁴

Thawatchai Chanthong¹, Thanate Na Wichean², Weerawat Intaratat^{1*},

Sakchai Phethchuai³ and Nattapong Thuedam⁴

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ (ZnO) สามารถเตรียมได้หลากหลายเทคนิคซึ่งเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจมากคือเทคนิคอาร์เอฟสเปตเตอร์ริง (RF Sputtering) โดยผู้วิจัยได้มุ่งสนใจศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้างและทางไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เวลาในการเคลือบแตกต่างกัน (15 30 45 และ 60 นาที) บนวัสดุฐานรองแก้วด้วยเทคนิคอาร์เอฟสเปตเตอร์ริง ในบรรยากาศก๊าซอาร์กอน การศึกษาโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ทุกตัวอย่างที่เวลาในการเคลือบต่างกันมีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล เวอร์ตไซต์ (Hexagonal Wurtzite) ในระนาบ (002) ที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 34.4° ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (002) เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์มีขนาดเกรนเพิ่มขึ้นตามเวลาในการเคลือบ และที่เวลาในการเคลือบ 60 นาที มีขนาดเกรนใหญ่ที่สุด และมีการกระจายของเกรนอย่างสม่ำเสมอและมีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด ($2.68 \Omega \cdot \text{m}$) ซึ่งวัดด้วยเทคนิคแวนเดอร์เพาว์ (Van der Pauw) แบบ 4 จุด ผลการศึกษายืนยันได้ว่าโครงสร้างผลึก ขนาดเกรน และการนำไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอาร์เอฟสเปตเตอร์ริงสามารถใช้ระยะเวลาในการเคลือบฟิล์มเพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ให้เหมาะสมได้

คำสำคัญ: ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ อาร์เอฟสเปตเตอร์ริง สภาพต้านทานไฟฟ้า

¹ อ., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 83000

² นักวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

³ ผศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 83000

⁴ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 83000

¹ Lecturer, Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket, 83000, Thailand

² Researcher, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, 10900, Thailand

³ Asst. Prof. Dr., Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket, 83000, Thailand

⁴ Lecturer, Dr., Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket, 83000, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: weerawat.i@pkru.ac.th

(Received: April 12, 2020; Revised: June 20, 2020; Accepted: June 24, 2020)

Abstract

Zinc oxide (ZnO) thin film can be prepared by many techniques. One of the most popular techniques is the RF sputtering technique. The researchers were interested to study the structural and electrical properties of zinc oxide thin film with different coating times (15, 30, 45 and 60 minutes) on the glass substrate by using RF sputtering technique in argon gas atmosphere. This study used X-ray diffraction (XRD) technique; the results found that every zinc oxide thin film with different coating times had hexagonal wurtzite crystal structure, with the presence of the plane (002) at the 2θ angle of 34.4° . The X-rays in the plane (002) intensity increased as the coating time increased. The analysis of the scanning electron microscopy (SEM) showed that the ZnO grain size increased with coating time. The ZnO sample with 60 minutes coating time showed the largest grain size, evenly distributed grain and presented the lowest electrical resistivity ($2.68 \Omega.m$), which was measured by the four - point Van der Pauw technique. The results confirmed that the crystal structure, grain size and electrical conductivity of the zinc oxide thin film synthesized by RF sputtering technique can be enhanced by optimizing time to coat the film.

Keywords: ZnO Thin Films, RF-sputtering, Electrical Resistivity

บทนำ

เทคโนโลยีทางด้านวัสดุศาสตร์ได้สังเคราะห์วัสดุใหม่ขึ้นมากมายและมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ปัจจุบันวัสดุนาโนได้รับความนิยมอย่างสูงในเชิงอุตสาหกรรม และเชิงวิชาการ โดยเฉพาะสารประกอบซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารประกอบที่ได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากมีสมบัติที่มีค่าแถบพลังงานกว้างประมาณ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ [1-2] มีพลังงานยึดเหนี่ยวสูง (60 meV) ที่อุณหภูมิห้อง [3-5] และโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลที่เรียกว่า เวิร์ตไซต์ มีคุณสมบัติทางกายภาพ ทางแสง ทางไฟฟ้า และทางเคมีที่ดีมากฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ถูกนำไปใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น ฟิล์มนำไฟฟ้าที่โปร่งใสและวัสดุในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากการส่งผ่านแสงสูงในช่วงแสงที่มองเห็น [6] และมีการประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่หลากหลาย เช่น ระบบเซนเซอร์ ไดโอดชนิดเปล่งแสง นาโนเจนอเรเตอร์ ทรานซิสเตอร์ เพียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ เป็นต้น [7]

การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ให้มีโครงสร้างระดับนาโนสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย และหลากหลายวิธี เช่น การตกเคลือบด้วยไอเคมี (Chemical Vapor Deposition: CVD) [3] การตกเคลือบด้วยไอเคมีโดยใช้สารตั้งต้นเมทัล-ออร์แกนิก (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD) การเคลือบด้วยเลเซอร์พัลส์ (Pulsed Laser Deposition: PLD) [8] การเคลือบด้วยลำแสงโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy: MBE), การระเหยด้วยลำอิเล็กตรอน (Reaction E-Beam Evaporation) ดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering) [9-10] และโซล-เจล (Sol-Gel) [11-12] ซึ่งการสังเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นสามารถปรับโครงสร้างแถบพลังงานฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ตามสมบัติที่ต้องการได้

อีกเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในการเคลือบฟิล์มบางคือ เทคนิคอาร์เอฟสปัตเตอริง [6, 13] ซึ่งฟิล์มบาง ZnO ที่ผลิตได้จากเทคนิคนี้มีข้อดีบางประการ เช่น ความบริสุทธิ์สูง เป็นเนื้อเดียวกัน ความขรุขระน้อยและฟิล์มบาง

มีโครงสร้างระดับนาโน โดยปกติเทคนิคดังกล่าวสามารถทำได้ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการใช้แคลโทด ZnO สำเร็จรูป และกระบวนการออกซิเดชันของ Zn ที่ต้องใช้การผสมก๊าซในการทำงาน เช่น ผสม Ar และ O_2 ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคอาร์เอฟสเปดเตอริง กระบวนการใช้แคลโทด ZnO สำเร็จรูปในการผลิตฟิล์มบาง ZnO ที่เวลาในการเคลือบแตกต่างกันบนวัสดุฐานรองแก้ว เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

วิธีดำเนินการ

1. การเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

เครื่องสเปดเตอริง UNIVEX รุ่น 300 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายความต่างศักย์แบบ RF-Generator ความถี่ 13.5 MHz ภายในภาชนะสุญญากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.3 เซนติเมตร และสูง 31.5 เซนติเมตร เป้าซิงค์ออกไซด์บริสุทธิ์ 98 % มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร ความหนา 0.635 เซนติเมตร และวัสดุฐานรองแก้วสไลด์ขนาดความกว้าง 2.54 เซนติเมตร ความยาว 7.62 เซนติเมตร ก่อนทำการเคลือบฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์จะทำความสะอาดวัสดุฐานรองให้ปราศจากฝุ่นละอองด้วยน้ำ DI ในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที แล้วเป่าด้วยลมร้อนให้แห้ง นำวัสดุฐานรองเข้าไปในภาชนะสุญญากาศที่มีความสูงระหว่างเป้าและวัสดุฐานรอง 3.8 เซนติเมตร แล้วเตรียมระบบสุญญากาศให้มีความดันอากาศ 4.3×10^{-5} มิลลิบาร์ และความดันก๊าซอาร์กอน 1.11×10^{-2} มิลลิบาร์ โดยให้อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 51.2 ลูกบาศก์เซนติเมตรมาตรฐานต่อนาที (Standard Cubic Centimeters Per Minute) และกำลังไฟฟ้า คงที่ 200 วัตต์ ก่อนเคลือบฟิล์ม จะทำความสะอาดผิวหน้าของวัสดุฐานรองให้เหมาะสมอีกครั้งโดยการยิงด้วยลำไอออนของก๊าซเฉื่อยในการสเปดเตอริงเป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ทำให้อะตอมของซิงค์ออกไซด์มีการยึดติดกับฐานรองได้ดี และเพื่อให้ระบบสุญญากาศปราศจากสิ่งปนเปื้อนจะส่งผลต่อคุณสมบัติที่ดีของฟิล์ม หลังจากนั้นเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ระยะเวลาในการเคลือบที่แตกต่างกัน คือ 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ

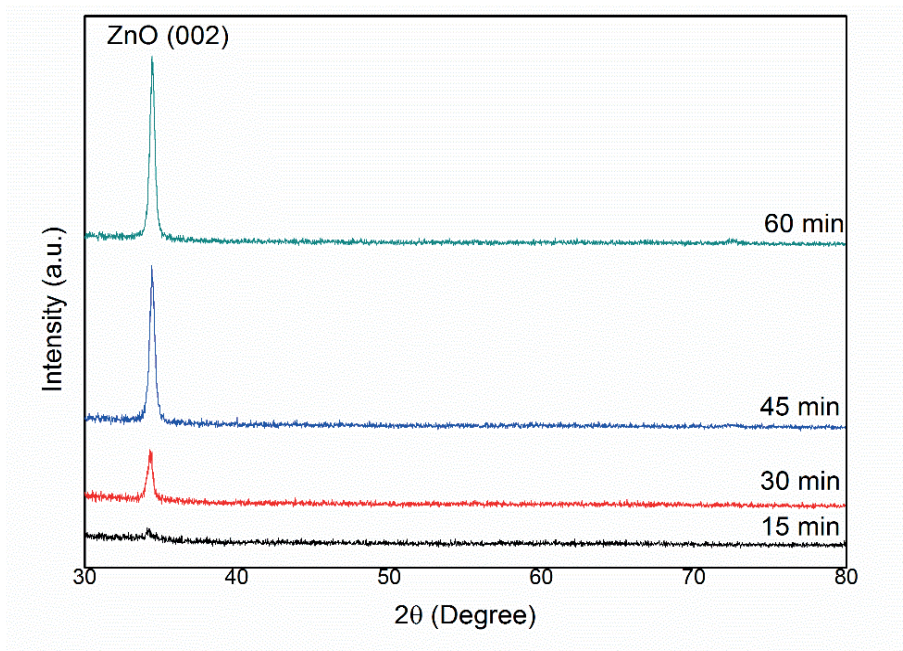
2. การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

การศึกษาคูณสมบัติเชิงโครงสร้างและพื้นผิวของตัวอย่างใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ยี่ห้อ Philips รุ่น X'pert Pro MPD (40kV, 35 mA) ด้วยเป้าทองแดงความยาวคลื่น 0.154065 nm และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Apreo ส่วนการศึกษาคูณสมบัติทางไฟฟ้าใช้เทคนิคแวนเดอร์เพาว์ (Van der Pauw) แบบ 4 จุด โดยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ยี่ห้อ LakeShore 120 จ่ายกระแสในย่าน $1 \mu A - 10 mA$ พร้อมวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลยี่ห้อ KYORITSU รุ่น 1009

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง ZnO บนวัสดุฐานรองแก้วที่ระยะเวลาเคลือบ 15 30 45 และ 60 นาที ด้วยเทคนิค XRD แสดงดังภาพที่ 1

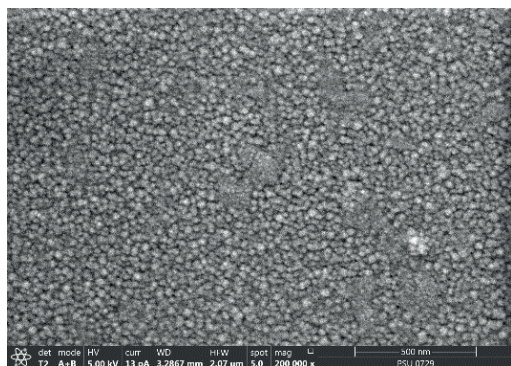


ภาพที่ 1 ผลการทดสอบด้วย XRD ของฟิล์มบาง ZnO ที่ระยะเวลาในการเคลือบต่าง ๆ

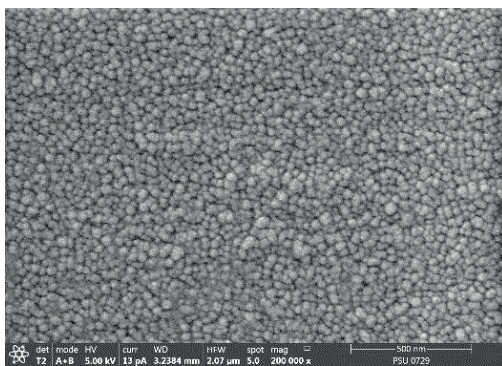
จากผลการทดสอบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง ZnO ที่ระยะเวลาในการเคลือบต่าง ๆ ดังภาพที่ 1 พบว่าฟิล์มบาง ZnO ทุกตัวอย่างมีลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่งมุม 2θ ประมาณ 34.4 องศา [3, 14] และความเป็นผลึกของ ZnO จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเคลือบ โดยฟิล์มบาง ZnO ที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมีโครงสร้างเฟสของผลึกแบบเฮกซะโกนอล เวอร์ตซ์ (002) ตามแกน c (c-axis) มีค่าคงที่ของแลตทิซ $a = 0.3004 \text{ nm}$ และ $c = 0.5203 \text{ nm}$ โดยค่าคงที่ของแลตทิซโครงสร้างเวอร์ตซ์คำนวณได้จากความสัมพันธ์ $c = \frac{\lambda}{\sin \theta}$, $a = \sqrt{\frac{1}{3}} \frac{\lambda}{\sin \theta}$ เมื่อ λ คือความยาวคลื่นการแผ่รังสีของ Cu-K α , θ คือมุมการเลี้ยวเบนของ Bragg [7] และในสเปกตรัมของ XRD ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของเฟสอื่น [7, 15] ซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะผลึกเดี่ยวของ ZnO และที่ระนาบ (002) ของฟิล์มบาง ZnO มีความเข้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเคลือบ และไม่พบสเปกตรัมอื่นเพิ่มเติมแสดงให้เห็นว่าผลึกของ ZnO มีการเติบโตขึ้นตามระยะเวลาในการเคลือบที่เพิ่มขึ้น

2. สมบัติเชิงพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

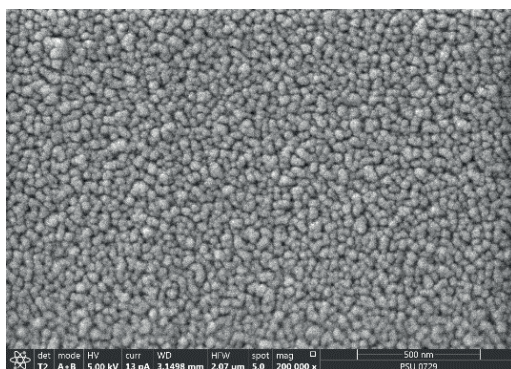
ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงพื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO บนวัสดุฐานรองแก้วที่ระยะเวลาในการเคลือบ 15 30 45 และ 60 นาที ด้วยเทคนิค SEM แสดงดังภาพที่ 2



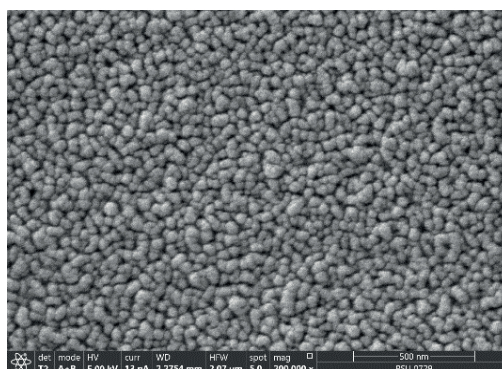
ก) 15 นาที



ข) 30 นาที



ค) 45 นาที



ง) 60 นาที

ภาพที่ 2 ภาพจาก SEM ของฟิล์มบาง ZnO ที่ระยะเวลาในการเคลือบต่าง ๆ กัน

ก) 15 นาที ข) 30 นาที ค) 45 นาที และ (ง) 60 นาที

จากผล SEM พบว่าขนาดของเกรนจะโตขึ้นตามระยะเวลาในการเคลือบฟิล์ม เมื่อเวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้นอะตอมของ ZnO จะมีการก่อตัวสะสมของอะตอมเพิ่มขึ้น และทำให้ก่อตัวเป็นผลึกของ ZnO สมบูรณ์ขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของ XRD ขณะเดียวกันก็ทำให้ขนาดของเกรนใหญ่ขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการเคลือบ 15 นาที ดังภาพที่ 2(ก) พบว่าเกรนจะมีขนาดเล็กที่สุด ขนาดของเกรนไม่สม่ำเสมอ และมีช่องว่างระหว่างเกรนมาก ผลึกบางส่วนมีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนที่เวลาในการเคลือบ 60 นาที ภาพที่ 2(ง) ขนาดของเกรนจะใหญ่ที่สุด และมีการกระจายสม่ำเสมอ ในขณะที่เวลาในการเคลือบ 30 และ 45 นาที ดังภาพที่ 2(ข) และ (ค) ตามลำดับ ขนาดของเกรนจะใกล้เคียงกันโดยที่เวลาเคลือบ 45 นาที เกรนมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยขนาด และการกระจายของเกรนค่อนข้างสม่ำเสมอ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการก่อตัวเป็นโครงสร้างลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมได้โดยการเปลี่ยนระยะเวลาในการเคลือบเนื่องจากกระบวนการเคลือบในช่วงเริ่มต้นอะตอมของ ZnO ก่อตัวเป็นเกรนขนาดเล็กมีช่องว่างระหว่างเกรนมาก และบางส่วนจะเป็นกลุ่มก้อน เมื่อเวลาเคลือบเพิ่มขึ้นอะตอมของ ZnO จะสะสมเพิ่มขึ้น ทำให้เกรนใหญ่ขึ้น และมีช่องว่างลดลงทำให้พื้นผิวสม่ำเสมอมากขึ้น ถ้าเวลาเคลือบเพิ่มขึ้นอีกอะตอมของ ZnO จะต่อกัน และขยายออกมีโครงสร้างเป็นคอลัมน์สังเกตุได้จากเวลาเคลือบ 60 นาที ในภาพที่ 2(ง)

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาเคลือบกับขนาดเกรนของฟิล์มบาง ZnO ที่คำนวณจาก เทคนิค XRD

เวลาในการเคลือบฟิล์ม ZnO (นาทื)	FWHM (°)	Grain Size (nm)
15	-	-
30	0.55182	15.07
45	0.46416	17.92
60	0.43760	19.01

ตารางที่ 1 แสดงค่า FWHM ของสเปกตรัม XRD และขนาดเกรนของฟิล์มบาง ZnO ที่เวลาในการเคลือบฟิล์มต่างกัน โดยใช้สูตรของScherrer ดังสมการ (1) [12, 14, 16]

$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \Theta} \quad (1)$$

โดยที่ λ คือความยาวคลื่นของการแผ่รังสี Cu-K α , Θ คือมุมการเลี้ยวเบนของ Bragg และ β คือความกว้างที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของพีกสูงสุด (FWHM) ของ ZnO ที่ระนาบ (002)

จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเวลาในการเคลือบฟิล์มเพิ่มขึ้นค่า FWHM ที่ระนาบ (002) มีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้ขนาดเกรนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลของ SEM

3. สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางซึ่งค่ออกไซด์

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO ศึกษาด้วยเทคนิคแวน เดอร์ เพาว์ แบบ 4 จุด และคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง ZnO โดยใช้สมการ (2) [14]

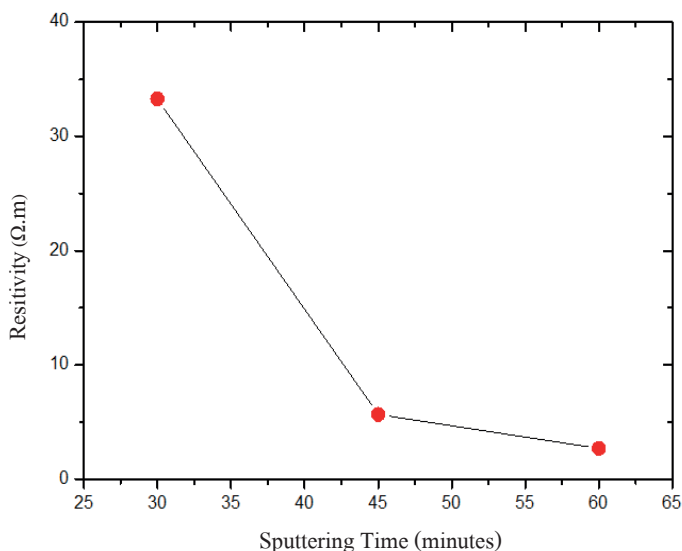
$$\rho = 2\pi s \left(\frac{V}{I} \right) \quad (2)$$

โดย s คือ ระยะห่างระหว่างโพรบ (เมตร)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 2 โพรบด้านใน (โวลต์)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน 2 โพรบด้านนอก (แอมแปร์)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO ที่เวลาเคลือบต่างๆ กัน ด้วยเทคนิคแวน เดอร์ เพาว์ แบบ 4 จุด แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO ที่เวลาเคลือบต่างกัน

จากภาพที่ 3 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO ที่เวลาในการเคลือบต่างกัน สังเกตพบว่า สภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO ลดลง เมื่อเวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มบาง ZnO ที่เวลาในการเคลือบ 30 นาที มีค่าสภาพต้านไฟฟ้าสูงที่สุด (33.28 Ω.m) รองลงมาที่เวลาในการเคลือบ 45 นาที (5.67 Ω.m) และ 60 นาที (2.68 Ω.m) และยังพบว่าในช่วงเวลาเคลือบ 30 - 45 นาที ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว และหลังจากเวลาในการเคลือบ 45 นาที ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะลดลงอย่างช้าๆ จากข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO ซึ่งสอดคล้องกับผลของ SEM และ XRD โดยเมื่อเวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้นจะทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเกิดผลึกที่สมบูรณ์ขึ้น ดังนั้นเมื่อผลึกของ ZnO สมบูรณ์ขึ้นทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ดีมีผลให้ฟิล์มบาง ZnO นำไฟฟ้าได้ดี ขณะที่เวลาในการเคลือบ 15 นาที พบว่าฟิล์มบาง ZnO เกรนมีขนาดเล็ก ระยะห่างระหว่างเกรนมาก และความสมบูรณ์ของผลึกน้อยจึงมีผลทำให้ฟิล์มบาง ZnO ไม่นำไฟฟ้าซึ่งสันนิษฐานว่ามีสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงมาก เมื่อเวลาในการเคลือบฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 30 45 และ 60 นาที ทำให้ฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น เกรนใหญ่ขึ้น ระยะห่างระหว่างเกรนลดลง และความเป็นผลึกสมบูรณ์ขึ้นจึงทำให้ฟิล์มบาง ZnO นำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ฟิล์มบาง ZnO ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอาร์เอฟสปีดเตอริง ที่เวลาเคลือบต่างกัน (15 30 45 และ 60 นาที) ฟิล์มบาง ZnO ที่ได้มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล เวอร์ตซ์ไฮต์ ในระนาบ (002) โดยผลึกของ ZnO มีการเติบโตขึ้นตามแกน c (c-axis) โดยขนาดเกรน ความสมบูรณ์ของผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเคลือบเพิ่มขึ้น ในขณะที่สภาพต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงลดลงตามระยะเวลาเคลือบ แสดงให้เห็นว่าขนาดเกรนและความสมบูรณ์ของผลึกมีผลต่อการนำไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO เมื่อเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น และผลึกที่สมบูรณ์ขึ้นทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ดีมีผลให้ฟิล์มบาง ZnO นำไฟฟ้าได้ดี

ผลการศึกษาชิ้นนี้พบว่าโครงสร้างผลึก ขนาดเกรน และการนำไฟฟ้าของฟิล์มบาง ZnO ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอาร์เอฟสเป็คเตอริงสามารถปรับปรุงให้เหมาะสมได้โดยการเปลี่ยนระยะเวลาในการเคลือบ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนวิจัย จากสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต และสถานที่สำหรับการทำวิจัยจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

References

- [1] Lim, J. -H., Kang, C. -K., Kim, K. -K., Park, I, -K., Hwang, D. -K., & Park, S. -J. (2006). UV electroluminescence emission from ZnO light-emitting diodes grown by high-temperature radiofrequency sputtering. *Advandce Material*, 18(20), 2720–2724.
- [2] Son, N. T., Noh, J.-S., & Park, S. (2016). Role of ZnO thin film in the vertical aligned growth of ZnO nanorods by chemical bath deposition. *Applied Surface Science*, 379, 440–445.
- [3] Alhadi, A., Zhi, Z., Gao, Y., Gao, S., Jiao, S., Wang, D., & Wang, J. (2018). Influence of different substrates on ZnO nanorod arrays properties. *Solid State Sciences*, 85, 21–25.
- [4] Pradhan, B., Batabyal, S. K., & Pal, A. J. (2007). Vertically aligned ZnO nanowire arrays in Rose Bengal-based dye-sensitized solar cells. *Solar Energy & Solar cell*, 91(9), 769–773.
- [5] Strano, V., Urso, R. G., Scuderi, M., Iwu, K. O., Simone, F., Ciliberto, E., Spinella, C., & Mirabella, S. (2014). Double role of HMTA in ZnO nanorods grown by chemical bath deposition. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(48), 28189–28195.
- [6] Ekem, N., Korkmaz, S., Pat, S., Balbag, M. Z., Cetin, E. N., & Ozumcu, M. (2009). Some physical properties of ZnO thin films prepared by RF sputtering technique. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(12), 5218–5222.
- [7] Ammaih, Y., Lfakir, A., Hartiti, B., Ridah, A., Thevenin, P., & Siadat, M. (2014). Structural, optical and electrical properties of ZnO:Al thin films for optoelectronic applications. *Optical and Quantum Electronics*, 46(1), 229–234.
- [8] Dai, L.P., Deng, H., Mao, F. Y., & Zang, J. D. (2008). The recent advances of research on p-type ZnO thin film. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 19(8-9), 727–734.
- [9] Malik, G., Mourya, S., Jaiswal, J., & Chandra, R. (2019). Effect of annealing parameters on optoelectronic properties of highly ordered ZnO thin films. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 100, 200–213.
- [10] Gerbreder, V., Sarajevs, P., Mihailova, I., & a Tamanis, E. (2015). The kinetic study of hydrothermal growth of ZnO nanorod array films. *Latvian Journal of Physics and Technical Science*, 52(5), 20–27.

- [11] Baradaran, M., Ghodsi, F. E., Bittencourt, C., & Llobet, E. (2019). The role of Al concentration on improving the photocatalytic performance of nanostructured ZnO/ZnO:Al/ZnO multilayer thin films. *Journal of Alloys and Compounds*, 788, 289–301.
- [12] Hjiri, M., Aida, M. S., Lemine, O. M., & El Mir, L. (2019). Study of defects in Li-doped ZnO thin films. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 89, 149–153.
- [13] Khomchenko, V., Sopinsky, M., Mazin, M., Danko, V., Lytvyn, O., & Piryatinskii, Y. (2019). The violet luminescence band in ZnO & ZnO-Ag thin films. *Journal of Luminescence*, 213, 519–524.
- [14] Islam, M. R., Rahman, M., Farhad, S. F. U., & Podder, J. (2019). Structural, optical and photocatalysis properties of sol-gel deposition Al-doped ZnO thin films. *Surface and Interfaces*, 16, 120–126.
- [15] Zheng, Z., Lin, J., Song, X., & Lin, Z. (2018). Optical properties of ZnO nanorod films prepared by CBD method. *Chemical Physics Letters*, 712, 155–159.
- [16] Ghayour, H., Rezaie, H. R., Mirdamadi, Sh., & Nourbakhsh, A. A. (2011). The effect of seed layer thickness on alignment and morphology of ZnO nanorods. *Vacuum*, 86(1), 101–105.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

		หน้า
กันทรการ สุวรรณรักษา	Kantrakorn Suwanraksa	55
การะเกด แก้วใหญ่	Karakade Kaewyai	65
กิริติ ธนากรรัฐ	Keerati Tanakan	34
เกษวรา สิทธิโชค	Ketvara Sittichok	74
จอมภพ แวศักดิ์	Jompob Waewsak	84
จักรพงษ์ ไชยบุรี	Chakkrapong Chaiburi	55
จันทร์จิรา สารสำเริง	Janjira Sansamret	1
เจริญ ภคธีรเชียร	Charoen Pakhathirathien	45
ชนะ จันทร์น้า	Chana Chancham	84
ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์	Chuphan Chompuchan	74
เชลลี อาร์วินดา รักษ์มาน	Selly Arvinda Rakhman	45
ฐิติศักดิ์ สุขเกษม	Titisak Sukkasem	74
ณัฐพงษ์ ถือดำ	Nattapong Thuedam	95
ธเนศ ณ วิเชียร	Thanate Na Wichean	95
ธวัชชัย จันทร์ทอง	Thawatchai Chanthong	95
ธวัฒน์ชัย เทพนวล	Thawatchai Tepnual	65
ธัญญ์ศรี อุตัยพันธ์	Tanyarath Utaipan	45
ธีรวัฒน์ ศรีตโยภาส	Teerawat Sarutayophat	24
นปภัทร พระคุณเลิศ	Napaphat Prakunlerd	34
นเรศ ช้วนยุค	Naraid Suanyuk	34
นฤทธิ กล่อมพงษ์	Narit Klompong	84
นัทธ์ นันทพงศ์	Nutt Nuntapong	34
ปรินทร์ ชัยวิสุทธิทางกูร	Parin Chaivisuthangkura	14
ปิยะวรรณ บุญญานุพงษ์	Piawan Boonyanuphong	45
ปิยะวัตร มาสจาด	Piyawat Masjod	55
พชร มณีโชติ	Pachara Maneechote	14
มาริสตา เชนฐวรรณสิทธิ์	Marisa Chatwannasit	65
ยุทธพงษ์ สังข์น้อย	Yutthapong Sangnoi	34
วารangkana จังลก	Warangkana Chunglok	45
วีรยา คุ่มเมือง	Weeraya Khummueng	45
วีรวัฒน์ อินทรทัต	Weerawat Intaratat	95
วุฒิพร พรหมขุนทอง	Wutiporn Phromkunthong	34
ศักดิ์ชาย เพชรช่วย	Sakchai Phethchuai	95
สมพล ชีวมงคลกานต์	Somphol Cheewamongkolkarn	84
สุกุมารณ์ แสงงาม	Sukhumaporn Saeng-ngam	14
สุทธิษา ก้อนเรือง	Sutthisa Konruang	65
สุวัจน์ อิมวิชิต	Suwat Imwichit	24
เอกกมล วรรณเมธี	Ekkamol Vannamettee	1

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
กลีเซอรอล	55
การกร่อนดินแบบเร็ว	1
การเจริญเติบโต	35
ข้าวไร่	24
คลอโรพลาสต์	15
คลอโรฟิลล์	15
คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์	15
ความชื้นในดิน	74
ความแล้ง	15
ความหนาแน่นกำลัง	84
เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน	1
เซลล์เชื้อเพลิงอัลคาไลน์	55
เซลล์มะเร็งช่องปาก	45
ดัชนีความแห้งแล้งแบบ TVDI	74
ทะเลอันดามัน	84
บราสซิโนสเตียรอยด์	15
แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ	1
ไบโอดีเซล	55
ปลานิลแดง	35
แป้งมันสำปะหลัง	65
ผลผลิต	24
พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง	84
พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	65
ฟลาโวนอยด์	45
ฟิล์มบางเชิงค็อคอ์ไฮค์	95
มะเขือเทศ	15
ราแดง	35
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	45
ลักษณะสัมพันธ์กับการทนแล้ง	24
ลุ่มน้ำเพชรบุรี	74
วิธีการอัดขึ้นรูป	65
สภาพต้านทานไฟฟ้า	95
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	24
สารประกอบฟีนอลิก	45
เส้นใยสาเก	65
หญ้าพันธุ์เขียว	45
องค์ประกอบเลือด	35
อาร์เอฟสปีเตอร์ริง	95
อิเล็กโทรออกซิเดชัน	55
แอโนด	55

Keywords Index	Page
Alkaline Fuel Cell	55
Andaman Sea	85
Anode	55
Antioxidant Activities	45
Biodegradable Plastic	66
Biodiesel	55
Brassinosteroids	15
Cassava Starch	66
Chlorophyll Fluorescence	15
Chlorophyll	15
Chloroplast	15
Compression Process	66
Correlation Coefficient	25
Digital Elevation Model	2
Drought Tolerant Relate Traits	25
Drought	15
Electrical Resistivity	96
Electro-oxidation	55
Flavonoid	45
Glycerol	55
Growth Performance	35
Haematological Parameters	35
Oral Cancer cells	45
Phenolic	45
Phetchaburi River Basin	75
Power Density	85
Red Tilapia	35
Red Yeast Rice (<i>Monascus</i> spp.)	35
RF-sputtering	96
Rill Erosion	2
Sago Fibers	66
Soil Moisture	75
<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.)	45
<i>Streptococcus agalactiae</i>	35
Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI)	75
Terrestrial Laser Scanner	2
Tidal Energy	85
Tomato	15
Upland Rice	25
Vahl	45
Yield	25
ZnO Thin Films	96

Lists of Reviewers

Manuscripts of research articles and academic articles of Thaksin University Journal, Volume 23, No. 2 (May – August 2020) were reviewed by the reviewers as follows:

- | | |
|--|---|
| 1. Prof. Dr. Poltip Wongkhaw | Faculty of Agriculture, Khon Kaen University |
| 2. Prof. Dr. Supayang Voravuthikunchai | Faculty of Science, Prince of Songkla University |
| 3. Assoc. Prof. Dr. Jompob Waewsak | Faculty of Science, Thaksin University |
| 4. Assoc. Prof. Dr. Kaewta Kaewtatip | Faculty of Science, Prince of Songkla University |
| 5. Assoc. Prof. Dr. Krisana Krisanapook | Faculty of Agriculture, Kasetsart University |
| 6. Assoc. Prof. Dr. Kumut Sangkhasila | Faculty of Agriculture, Kasetsart University |
| 7. Assoc. Prof. Dr. Pimpa Hormnirun | Faculty of Science, Kasetsart University |
| 8. Assoc. Prof. Dr. Pongsaton Amornpitoksuk | Faculty of Science, Prince of Songkla University |
| 9. Assoc. Prof. Dr. Pramot Sojisuporn | Faculty of Science, Chulalongkorn University |
| 10. Assoc. Prof. Dr. Sakda Jongkaewwattana | Faculty of Agriculture, Chiang Mai University |
| 11. Assoc. Prof. Dr. Sakuntam Sanorpim | Faculty of Science, Chulalongkorn University |
| 12. Assoc. Prof. Dr. Tuantan Kitpaisalsaku | Faculty of Engineering, Chulalongkorn University |
| 13. Assoc. Prof. Dr. Verapong Vuthiphandchai | Faculty of Science, Burapha University |
| 14. Assoc. Prof. Dr. Vuttiapon Tarateeraseth | Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University |
| 15. Assoc. Prof. Dr. Watcharin Soonsuwon | Faculty of Natural Resources,
Prince of Songkla University |
| 16. Assoc. Prof. Dr. Yutthana Tirawanichakul | Faculty of Science, Prince of Songkla University |
| 17. Asst. Prof. Dr. Sataporn Direkbusarakom | School of Agricultural Technology,
Walailak University |
| 18. Asst. Prof. Dr. Somchai Anusontpornperm | Faculty of Agriculture, Kasetsart University |
| 19. Asst. Prof. Dr. Sutida Marthosa | Faculty of Science and Industrial Technology,
Prince of Songkla University |
| 20. Asst. Prof. Vacharaporn Prapasanobol | Faculty of Science and Technology,
Phetchaburi Rajabhat University |

General Information of Thaksin University

About the Journal

Thaksin University Journal is a peer-reviewed journal publishing research articles, academic articles, socially-engaged articles in Multidisciplinary of sciences and technology 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. 074-609-600 ext. 7254 or 081-540-7304 Fax No. 074-609-654-5

E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com

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

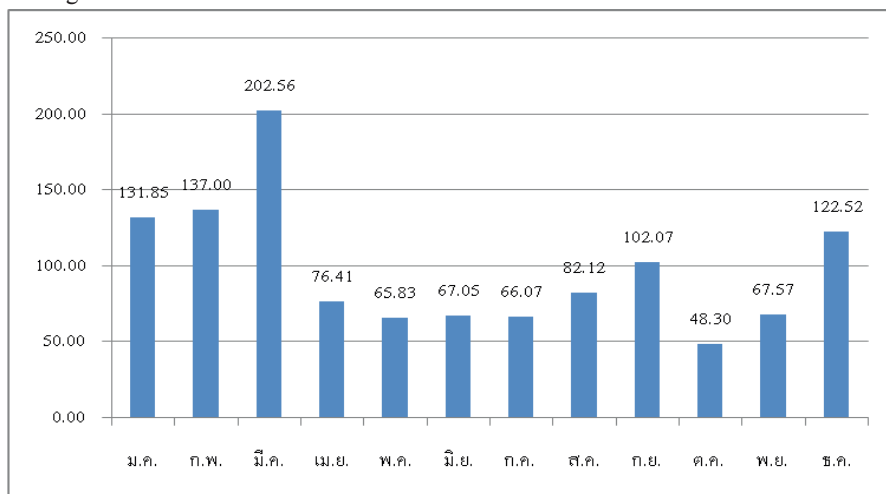


Figure 1 Fall of Monthly Leaves

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 forma 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

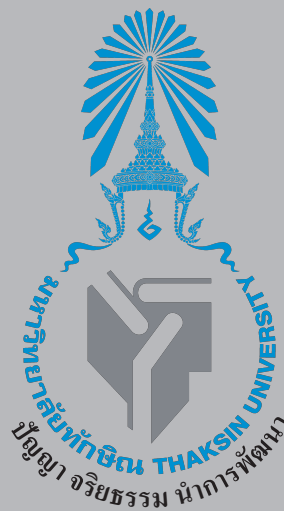
[10] Jansun, E. *et. al.* (2015). *Kit for gold nanoparticles synthesis from gold-leaf*. Thailand.
No. 1303000492.

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 7254 โทรศัพท์ 074-609-655

E-mail Address : tsujournal@tsu.ac.th, research.tsu@gmail.com