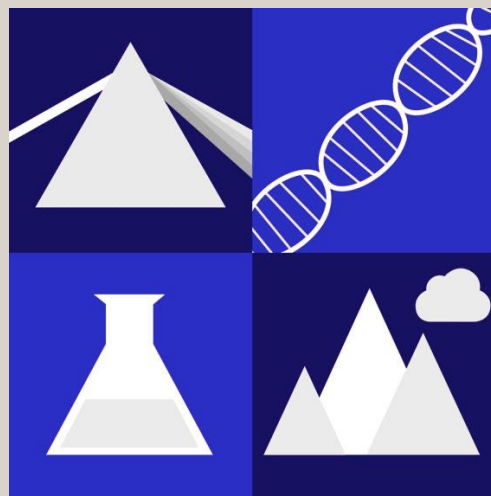
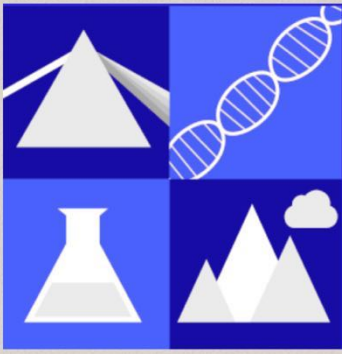




# Thailand Scholastic Journal of Science



**January – December, 2023**  
**Volume 4, Issue 1**

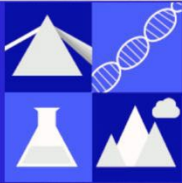


**TSJOS.org**  
Thailand Scholastic Journal of Science

The Thailand Scholastic Journal of Science (TSJOS) is a bilingual, entry-level, reviewed journal dedicated to publishing the original research of Thai secondary school science students.

TSJOS เป็นวารสารสองภาษาที่ได้  
จัดตั้งขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงาน  
วิจัยทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน  
ไทยระดับมัธยมศึกษา





## About

ในโลกนี้การสอนวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนระดับมัธยมนั้นไม่ควรเป็นเพียงแค่การสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ควรสอนให้เป็นนักวิทยาศาสตร์ นักเรียนควรได้ทดลองทุกด้านของการเป็นนักวิทยาศาสตร์ ควรได้ทั้งการเรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ในหนังสือเรียน และการเรียนรู้วิธีการสร้างความรู้ใหม่ผ่านการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นก็ต้องมีโอกาที่จะเผยแพร่ผลงาน ที่องค์กร [StudentScientists.org](http://StudentScientists.org) เรามีเป้าหมายในการพัฒนาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนทำการวิจัยและเผยแพร่ผลงาน เราเลยได้จัดตั้งวารสารวิทยาศาสตร์ Thailand Scholastic Journal of Science ไว้

บทความการวิจัยที่ส่งไปยัง TSJOS ได้รับการคัดเลือกจากบรรณาธิการ จากนั้นบรรณาธิการจัดส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewer) พิจารณา หลังจากการทบทวนและการยอมรับบรรณาธิการจะให้คำปรึกษากับผู้เขียนในการทบทวนบทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ เมื่อแก้ไขเสร็จแล้วบรรณาธิการจะส่งบทความไปยังผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อขออนุมัติขั้นสุดท้าย บทความจะถูกเผยแพร่ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ วารสารรับบทความเพื่อตีพิมพ์บทความตามเกณฑ์ที่กำหนดตลอดทั้งปี

วารสารวิทยาศาสตร์ Thailand Scholastic Journal of Science เป็นวารสารออนไลน์ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการเสนอบทความหรือค่าใช้จ่ายจากผู้เขียน บทความที่ตีพิมพ์ใน TSJOS มีลิขสิทธิ์ภายใต้การอนุญาต [Creative Commons](http://Creative Commons) ประเภท CC BY ผู้เขียนจะถือลิขสิทธิ์ของบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารไว้เป็นของตนเอง

In an ideal world, teaching science to secondary school students means not just teaching students the science content, but also teaching them *how to be scientists*. Students should experience all aspects of being a scientist. They should not only master current scientific knowledge found in text books, they should also learn how to *create new knowledge* through scientific research and then have the opportunity to *publish* their work. At [StudentScientists.org](http://StudentScientists.org), we work towards the development of science curricula that include opportunities for original student research and publishing. As a part of that effort, we have established the Thailand Scholastic Journal of Science.

The Thailand Scholastic Journal of Science is a bilingual, entry-level, peer-reviewed journal publishing papers in Thai and/or English. TSJOS is dedicated to publishing the original research of Thai secondary students in all areas of STEM. Papers submitted to the TSJOS undergo an editorial selection process and are then forwarded to a Reviewer. Following review and acceptance, the editor consults with the author to revise the paper according to the suggestions of the reviewer. Upon revision, the paper is sent to the reviewer for final approval. The TSJOS publishes papers on a rolling basis as they are received throughout the year.

The Thailand Scholastic Journal of Science is an online, Open-Access Journal with no author or submission fees. Papers in the TSJOS are copyrighted under [Creative Commons licensing](http://Creative Commons licensing), CC BY. Authors retain the copyright to their papers published in the Journal.

### Editorial Staff

**Editor-in-Chief:** Jonathan Eales, PhD

#### Editors

- Min Medhisuwakul, PhD
- Orawan Chaowalit, PhD

#### Editorial Board

- Arjaree Thirach
- Tanawan Leeboonngam
- Ian Jacobs, PhD





## Aims & Scope

TSJOS เป็นวารสารที่เปิดโอกาสให้นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้มีโอกาสดำเนินการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ หรือ สะเต็ม TSJOS ใช้กระบวนการคัดเลือกและแก้ไขอย่างเข้มงวดเพื่อให้แน่ใจว่าเอกสารที่ตีพิมพ์นั้นเป็นงานที่นักเรียนสร้างขึ้นเอง และส่งเสริมให้เกิดองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์แก่มวลมนุษยชาติ

วารสารนี้เผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับที่ไม่ยากมาก และเป็นงานวิจัยในระดับเริ่มต้นแต่มีความหมายในการเผยแพร่องค์ความรู้ด้านสะเต็ม งานวิจัยที่ทำร่วมกับสถาบันการศึกษาระดับสูงหรืองานที่ทำร่วมกับหน่วยงานวิจัยระดับอุตสาหกรรมอาจจะไม่เหมาะสมกับการตีพิมพ์ผลงาน ในวารสารนี้

งานวิจัยระดับเริ่มต้นนั้นไม่ได้คาดหวังว่าจะต้องเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานระดับโลก หากแต่เป็นงานวิจัยเล็ก ๆ ที่มีความหมาย และมีส่วนในการขยายองค์ความรู้ให้กว้างออกไป งานวิจัยที่ตีพิมพ์ใน TSJOS จะต้องแสดงให้เห็นถึงความใหม่ ความถูกต้อง และความมั่นใจในระดับสูงต่อการค้นพบในงานนั้น ๆ นอกจากนั้นจะต้องให้ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่อาจมีต่อเนื่องจากผลงานนั้น ๆ ได้

The Thailand Scholastic Journal of Science provides a venue for Thai secondary school students to publish original research conducted as part of their science and STEM studies. The TSJOS employs a rigorous selection, review and revision process to ensure that papers published constitute an original, valid contribution to human knowledge.

The Journal publishes entry-level research that has been conducted by Thai students in the secondary school laboratory. Papers are published in all areas of STEM and the natural sciences on any topic related to a typical secondary science curriculum. Special research conducted by secondary school science students outside their normal courses using university or industry laboratory facilities are not appropriate for publishing in the TSJOS.

Entry-level research is not expected to address cutting-edge topics. Entry-level papers represent a small but meaningful contribution to extending our knowledge of the world. Papers published in the TSJOS must demonstrate originality, validity, and high levels of confidence in the findings, and offer suggestions for continuing research.

## Contact

ถ้ามีคำถามหรือคำแนะนำติดต่อได้ที่

If you have any questions or comments regarding the Thailand Scholastic Journal of Science please contact the Editor:

Dr. Jonathan Eales  
[Editor.TSJOS@gmail.com](mailto:Editor.TSJOS@gmail.com)

The Thailand Scholastic Journal of Science is associated with

Student Scientists Organization  
254/153 Ramkhamhaeng 112, Sapan Soong  
Bangkok, Thailand 10240  
[www.StudentScientists.org](http://www.StudentScientists.org)



## Thailand Scholastic Journal of Science

Volume 4, Issue 1, January-December, 2023

[From the Editors](#)

### Papers

1 [Ecology of Mosquito Larvae in Varied Ecosystems near Ratchamongkol Beach, Trang](#)

*Piyapat Pethin, Surayut Dongjan and Kalyakon Tongsongsom*

[นิเวศวิทยาของลูกน้ำยุงในพื้นที่ที่แตกต่างกันบริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง](#)

*ปิยาพัชร เพชรหิน, สุรยุทธ คงจันทร์ และ กัลยกร ทองสง โสม*

2 [Suitability of Simulated Lunar Regolith \(TLS-01\) for Agriculture](#)

*Titawat Jirasirichot and Prachya Kiartphoomichaisiri*

[การปรับปรุงคุณภาพของดินดวงจันทร์จำลอง \(TLS-01\) เพื่อความมั่นคงด้านอาหารแห่งอนาคต](#)

*ฐิติวัฒน์ จิระศิริ โชติ และ ปราชญา เกียรติภุมชัยศิริ*

3 [Using Extracts of Coconut Palm Leaves and Shoots as Lure for Rhinoceros Beetles: A Preliminary Study](#)

*Fairus Jansanit and Wessarat Phakaew*

[การล่อตัวแรมด้วยสารสกัดจากส่วน ใบและยอดของต้นมะพร้าวการศึกษาเบื้องต้น](#)

*ฟัยรุษ จันทรสินิท และ เวสสาราช ผาแก้ว*

4 [The Effect of Water Quality and Phytoplankton Density on the Growth of White-throated Oysters](#)

*Kalkorn Chaikornrakdi and Yataweida Buadaeng*

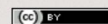
[คุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชและการเจริญเติบโตของหอยนางรมพันธุ์ตะไกรมกรามขาว](#)

*กัลยกร ชัยกรรักดี ญาตาวีดา บัวแดง*

5 [Development of UV-Protection Roofing Tile from N-GQDs for Rubber Drying Chambers](#)

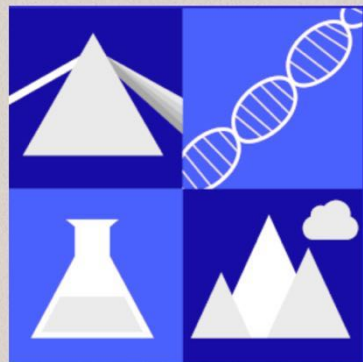
*Siriya Mektavepong and Wallapha Phatrabuddhikul*

ISSN \*\*\*\*-\*\*\*\*



[Download Issue \(PDF\)](#)





# TSJOS.org

Thailand Scholastic Journal of Science

## Thailand Scholastic Journal of Science

**Volume 4, Issue 1, January – December 2023**

### **From the Editor**

Dear Reader,

We, the Editorial staff of the Thailand Scholastic Journal of Science are proud to present the 2023 issue of our journal. After the disruption of COVID during our first two issues, we feel that we are becoming well established as a journal publishing the research findings of Thai secondary school students.

This year we publish five papers covering a range of fields: Mosquito Ecology, Lunar Agriculture, Oyster Culture, Agricultural Pest Control, and Rubber Latex Processing. All of the papers in this issue are authored by students from the Princess Chulabhorn Science High Schools group of schools. We hope to begin publishing the research of students from other secondary schools in Thailand in future issues.

We hope you find these papers useful for their findings and also in helping to inspire young Thai students to gain the confidence to conduct research of their own and submit their findings to TSJOS for publication. More information on publishing papers in TSJOS can be found at <https://www.tsjos.org>.

Respectfully,

Dr. Jonathan Eales  
Editor-in-Chief, TSJOS

## Ecology of Mosquito Larvae in Varied Ecosystems near Ratchamongkol Beach, Trang

Piyapat Pethin, Surayut Dongjan and Kalyakon Tongsongsom  
Chulabhorn Science High School, Trang  
196 Moo 4, Trang-Sikao Rd., Bangrak, Amphoe Muang, Trang, 92000  
Email: piyapatpet2295@gmail.com

### Abstract

The diversity and quantity of mosquito larvae in four distinct areas near Ratchamongkol Beach, Trang, Thailand as a function of environmental factors was studied. The four selected areas were beach forest, swamp forest, mangrove forest, and forest near the residential area. The study aimed to examine the relationship between water quality in the breeding sites and the types and quantities of mosquito larvae present. Ovitrap, designed to attract mosquitoes to lay eggs, were installed at each site, with 20 traps per site. Mosquito larvae and water quality data, including measurements of water surface temperature, water temperature, pH, and electrical conductivity, were collected on a weekly basis for seven weeks. The study identified two types of mosquito larvae, namely *Aedes albopictus* and *Culex sitiens*, with the highest quantity of *Aedes albopictus* larvae found in the residential forest area and the highest quantity of *Culex sitiens* larvae found in the mangrove forest area. Water quality analysis revealed no significant differences in average water temperature, surface temperature, pH, and electrical conductivity among the four areas and between ovitraps with and without mosquito larvae, except for the mangrove forest area, where there were differences in electrical conductivity between ovitraps with and without mosquito larvae.

**Keywords:** mosquito larvae, ovitrap, dengue fever, mosquito ecology

### I. INTRODUCTION

Thailand has been reporting dengue fever outbreaks for over 60 years, with the disease spreading throughout the country, including Trang Province, which experiences outbreaks every year. From 2015 to 2019, the number of dengue fever cases ranged from 1,860 to 9,961 cases per year. Sikao district in Trang consistently had a high number of cases and ranked among the top in the province every year. In 2019, it was the district with the highest number of dengue fever cases (Ministry of Public Health, 2019). Additionally, there are other diseases present, such as malaria, elephantiasis, and encephalitis, transmitted largely by *Aedes* mosquitoes, *Culex* mosquitoes, and *Anopheles* mosquitoes (Dumrongphan, 2017). A major factor in the spread of these diseases is Thailand being a tropical country, which contributes to the spread of diseases due to the abundance of mosquito populations.

Ratchamongkol Beach in Trang Province is a significant educational and tourist destination, attracting a large number of visitors each year. The beach area is characterized by diverse ecosystems, beautiful sandy beaches, and a connection to the local way of life. It is located in Mai Fat, Sikao District, which is at a high risk of dengue fever outbreaks (Ministry of Public Health, 2019). The

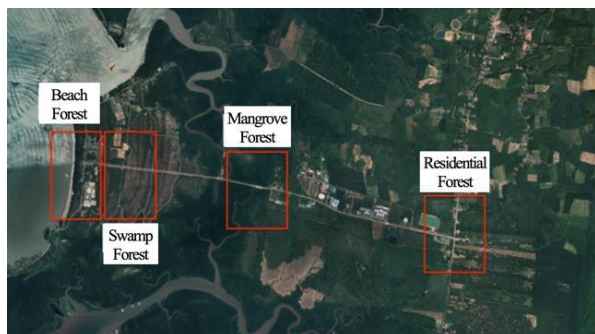
index of mosquito ovitrap positivity in the area exceeds 10%, which is higher than the standard set by the World Health Organization (WHO, 2009), indicating a high risk of dengue fever occurrence.

Some mosquito species tend to reside close to humans, while others prefer forested areas, swamps, or areas with tall grass (Centers for Disease Control and Prevention, 2016). Due to this, we aim to investigate whether there is a difference in dengue fever risk among different areas of Ratchamongkol Beach, including beach area, beachside forest, intertidal mangrove forest, and forest near the residential area. These areas are frequented by people, increasing their vulnerability to dengue fever. The study aims to explore the prevalence and diversity of mosquito species in these different areas.

### II. METHODS

#### Site Selection

This research was conducted at Ratchamongkol Beach, Mai Fat, Sikao District, Trang, located at coordinates 7.5282° N, 99.3079° E. The study area was divided into four study zones: beachside forest, swamp forest, mangrove forest, and the forest near the residential area, as shown in Figures 1 and 2.



**Figure 1.** Map of the study area at Ratchamongkol Beach, Sikao, Trang, showing the four study areas.

**Ovitrap Installation**

An ovitrap, shown in Figure 3, is a black plastic cup-shaped device capable of holding water with an open top to allow mosquitoes to fly in and lay eggs. Ovitrap were installed on prominent trees in each study area at a height of approximately 1 meter above the ground. The ovitraps were placed in shaded areas. Each study zone, measuring 500 square meters, was equipped with 20 ovitraps, spaced approximately 2-4 meters apart, for a total of 80 containers installed in the four study zones. Each ovitrap was filled with 300 milliliters of distilled water.

**Collection and Classification of Mosquito Larvae**

Data collection was carried out once a week for a period of 7 weeks at Ratchamongkol Beach. Mosquito larvae samples were collected from each ovitrap and the data recorded using the Mosquito Habitat Mapper. The mosquito larvae collected from each container were counted. The preserved mosquito larvae were classified into different mosquito species using the Mosquito Larvae Globe Protocol Identification (Globe, 2018).

Each week the water quality was assessed based on the following parameters: 1) pH value, 2) electrical conductivity, 3) water surface temperature measured using an infrared thermometer, and 4) water temperature measured using a multiparameter pen-like device for all containers.



**Figure 3.** The mosquito ovitraps used in the study.



**Figure 2.** Study areas at the beach forest, swamp forest, mangrove forest, and residential forest habitats.

**Statistical Analysis**

Statistical analysis was performed on the number of mosquito larvae in each study zone. The data were analyzed using a t-test to compare the number and species of mosquito larvae found in each study zone and the water quality parameters.

**III. RESULTS AND DISCUSSION**

**Mosquito larvae Species and Numbers**

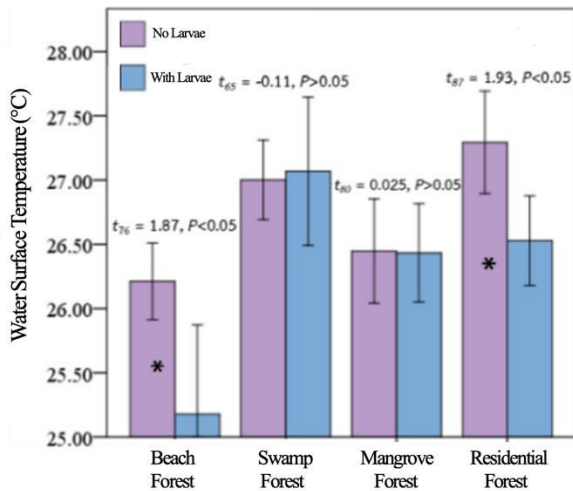
From the study, it was found that there are three types of mosquito larvae, namely, yellow-fever mosquito (*Aedes aegypti*), tiger mosquito (*Aedes albopictus*), and house mosquito (*Culex sitiens*) larvae. The *A. aegypti* and *A. albopictus* mosquito larvae were found in greatest proportions in the mangrove forest (89% *A. aegypti* larvae, 43% *A. albopictus* larvae), while the most *C. sitiens* larvae were found mostly in the residential forest area (60%), as shown in Figure 4.

Based on the research findings, the mangrove forest and the residential forest areas were identified as high-risk areas for mosquito-borne diseases, including *Aedes*, which transmits dengue fever, and *Culex*, which transmits encephalitis. Therefore, both diseases should be closely monitored in these areas.

Mosquito Larvae Species	Numbers and Percentages of Mosquito Larvae				Total
	Beach Forest	Swamp Forest	Mangrove Forest	Residential Forest	
<i>A. aedes</i>	0 (0%)	0 (0%)	8 (89%)	1 (11%)	9 (100%)
<i>A. albopictus</i>	185 (12%)	140 (9%)	673 (43%)	555 (36%)	1553 (100%)
<i>C. sitiens</i>	52 (18%)	29 (11%)	29 (11%)	165 (60%)	275 (100%)
Total	256 (13%)	192 (10%)	729 (38%)	767 (39%)	1944 (100%)

**Figure 4.** Types and quantities of mosquito larvae found in the mosquito larvae traps in each study area.

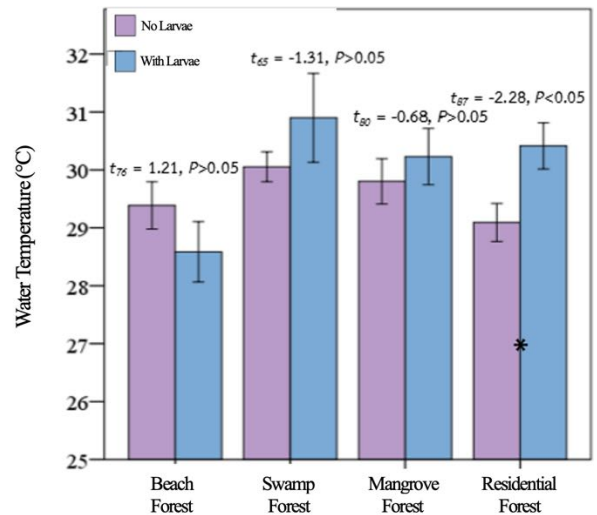




**Figure 5.** Water surface temperature values of the water in ovitraps with and without mosquito larvae.

**Water quality in the ovitraps in each of the study areas**

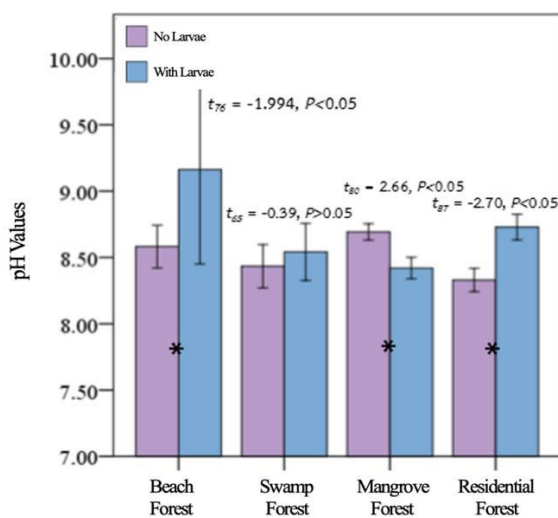
The water surface temperature in the ovitraps was lower in the beach forest area than the other areas, likely due to wind, as shown in Figure 5. However, there were no significant differences in values between temperature of the water itself in the four areas (Figure 6). The water surface temperature in ovitraps without larvae was higher than those with larvae for the beach forest area and the residential forest area. The temperature of the water itself also showed significant difference between ovitraps with and without larvae for both the residential forest and the beach forest. Interestingly, the ovitraps with larvae had higher water temperatures in the residential forest, but lower in the beach forest area. The temperature range in the containers with mosquito larvae was consistent with the research conducted by Dalpadado et al,



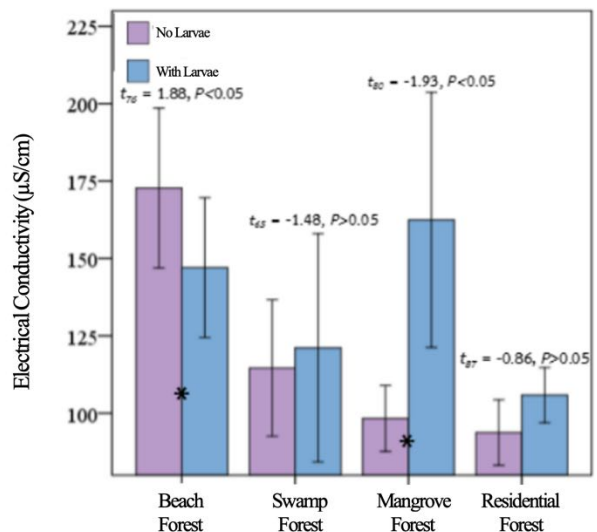
**Figure 6.** Water temperature values of the water in ovitraps with and without mosquito larvae.

which found that the suitable temperature for mosquito egg-laying ranged from 25.3 to 39.8 degrees Celsius (Dalpadado, 2565).

The analysis of the pH values showed that ovitraps with mosquito larvae had higher pH values compared to the traps without mosquito larvae for the beach forest and residential forest areas, as shown in Figure 7. In the mangrove forest area, the traps with mosquito larvae had lower pH values compared to the traps without mosquito larvae. However, there was no significant difference in pH values between ovitraps with and without larvae in the swamp forest area. The overall pH values of the ovitraps with larvae is consistent with the research findings of Prompram and Kaew, which found that the pH values of water with mosquito larvae ranged from 7.45 to 10.64 (Prompram, 2016).



**Figure 7.** pH values of the water in ovitraps with and without mosquito larvae.



**Figure 8.** Conductivity values of the water in ovitraps with and without mosquito larvae.

Mosquitos Larvae Species		Mangrove Forest				Residential Forest			
		Water Surface Temp.	Water Temperature	pH value	Electrical Conductivity	Water Surface Temp.	Water Temperature	pH value	Electrical Conductivity
		(°C)	(°C)		(µs/cm)	(°C)	(°C)		(µs/cm)
<i>A. aegypti</i>	Correlation Coefficient	0.115	0.045	-0.131	0.110	0.145	-0.017	-0.114	-0.027
	Sig. (2-tailed)	0.303	0.691	0.239	0.324	0.174	0.877	0.287	0.802
	N	82	82	82	82	89	89	89	89
<i>A. albopictus</i>	Correlation Coefficient	0.077	0.048	-0.301**	0.193	-0.214*	0.272*	0.243*	0.303**
	Sig. (2-tailed)	0.492	0.669	0.006	0.082	0.045	0.010	0.022	0.004
	N	82	82	82	82	89	89	89	89
<i>C. sitiens</i>	Correlation Coefficient	-0.055	0.314	0.172	0.180	-0.026	0.179	0.218*	0.167
	Sig. (2-tailed)	0.625	0.048	0.123	0.105	0.812	0.093	0.041	0.117
	N	82	82	82	82	89	89	89	89

\*P<0.05, \*\*P<0.005 \*\*Numbers of larvae in the beach and swamp forests showed no significant correlations with water quality.

**Figure 9.** Relationship between the quantity of mosquito larvae of each species and water quality parameters.

Water conductivity, Figure 8, showed significant differences between ovitraps with and without larvae only in the beach forest and mangrove forest area. The traps without mosquito larvae had higher conductivity values in in beach forest, but lower values in the mangrove forest. In the swamp forest and residential forest areas there was no significant difference. This relationship is likely related to differences in the number of mosquito larvae and the dissolved organic matter in water, such as leaves, in the different areas. Another possible factor is that the beach forest and mangrove forest areas are closer to saltwater sources compared to the other two study areas.

Analyzing correlations between the mosquito larvae types and water quality, shown in Figure 9, it was found that the number of *A. albopictus* larvae in the mangrove forest had a significant negative correlation with pH values, while in the residential forest it had a negative correlation with water surface temperature and a positive correlation with pH values, conductivity, and electrical conductivity. As for the *C. sitiens* larvae in the

residential forest area, it had a positive correlation with pH values.

Regarding the proportion of mosquito larvae in ovitraps, shown in Figure 10, the highest proportion of *A. albopictus* larvae was found in the mangrove forest, accounting for 95% of the population, while the highest proportion of *C. sitiens* larvae was found in the swamp forest area, accounting for 32% of the population. The index values of ovitraps were higher than the standard criteria, exceeding 10%, in all areas. This indicates that all study areas are at risk of dengue fever transmission (WHO, 2009), with the highest risk observed in the mangrove forest, accounting for 86%. These findings provide preliminary data for monitoring and developing dengue fever surveillance systems in alignment with breeding sites, mosquito behavior, and community lifestyles. It is recommended to regularly establish and implement dengue fever surveillance, prevention, and control plans in relevant organizations.

Study Area	Total Ovitrap	Total Ovitrap w/ larvae	Ovitrap w/ <i>A. aegypti</i>	Ovitrap w/ <i>A. albopictus</i>	Ovitrap w/ <i>C. sitiens</i>	Ovitrap w/ <i>A. aegypti</i> & <i>A. albopictus</i>	Ovitrap w/ <i>A. aegypti</i> & <i>C. sitiens</i>	Ovitrap w/ <i>A. albopictus</i> & <i>C. sitiens</i>	Ovitrap w/ all species	Ovitrap Index	% w/ <i>A. aegypti</i>	% w/ <i>A. albopictus</i>	% w/ <i>C. sitiens</i>
Beach Forest	140	29	0	18	1	0	0	6	0	62.06	0.00	0.83	0.24
Swamp Forest	140	22	0	13	4	0	0	3	0	29.09	0.00	0.73	0.32
Mangrove Forest	140	42	0	35	1	1	0	4	0	85.71	0.02	0.95	0.12
Residential Forest	140	56	0	39	4	1	0	8	0	71.42	0.02	0.82	0.21

**Figure 10.** Ovitrap index values in mosquito larvae traps in the four study areas.



#### IV. CONCLUSION

It was found that *A. albopictus* larvae were found in largest numbers in ovitraps in the mangrove and residential forest areas. *A. albopictus* and *C. sitiens* larvae were found in all four study areas, with *A. albopictus* larvae being the most abundant, followed by *C. sitiens* and only small numbers of *A. aegypti* larvae found. It was also shown that all four areas had ovitrap index values higher than the standard threshold (> 10%) (WHO, 2009), indicating a higher risk of dengue fever in these areas.

#### V. REFERENCES

- Centers for Disease Control and Prevention. (2023). Where Mosquitoes Live. [www.cdc.gov/mosquitoes/about/where-mosquitoes-live.html](http://www.cdc.gov/mosquitoes/about/where-mosquitoes-live.html)
- Dalpadado, R., Amarasinghe, D., & Gunathilaka, N. (2022). Water quality characteristics of breeding habitats in relation to the density of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in domestic settings in Gampaha district of Sri Lanka. *Acta Tropica*, 229, 106339. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106339>
- Damrongpanthawong, T. (2017). *Important Medical Mosquitoes of Thailand* (2nd Edition). Naresuan University Publishing House.
- Globe/worldwide Education. Mosquito Larvae Globe Protocol Identification. [www.globe.gov/documents/11865/0dcf909a-b4b3-4793-969a-5f88c48fbf26](http://www.globe.gov/documents/11865/0dcf909a-b4b3-4793-969a-5f88c48fbf26)
- Ministry of Public Health. (2019). Situation of Dengue Fever in Trang Province. Retrieved from <http://www.rh12.moph.go.th/wpcontent/uploads/2019/Ovitrap>.
- Ministry of Public Health. (2019). Dengue Fever Incidence Rate per Hundred Thousand Population, Health District 12, Trang Province, 2019. Retrieved from <https://trg.hdc.moph.go.th>
- Supawan, P. P., & Churi, J. (2016). Ecological Study of Mosquitoes in Kuen Kreg Forest Area, Keng Subdistrict, Chauat District, Nakhon Si Thammarat Province. Retrieved from <http://dspace.nstru.ac.th:8080/dspace/bitstream/123456789/2197/3/Fulltext.pdf>
- World Health Organization. (2009). *Dengue: Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention and Control*. World Health Organization, pp. 1-160.

#### Acknowledgements

We would like to express our gratitude to Dr. Anantani Chumsri from Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, for providing support and guidance throughout the research process. We also extend our thanks to the management and teachers of Chulabhorn Science High School, Trang, for their support in conducting this research. We are thankful to the Science and Technology Promotion Institute (STPI) for supporting environmental research activities. Last but not least, we would like to thank the community health workers and local residents for their excellent cooperation and valuable contributions in data collection for this study.

# นิเวศวิทยาของลูกน้ำยุงในพื้นที่ที่แตกต่างกัน บริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง

นางสาวปิยาพัชร เพชรหิน นายสุรยุทธ คงจันทร์ นางสาวกัลยกร ทองส่งโสม  
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารัตนราชวิทยาลัย ตรัง  
196 หมู่ที่ 4 ถนน ตรัง-สีเกา ตำบลบางรัก อำเภอเมืองตรัง จังหวัดตรัง 92000  
อีเมล: piyapatpet2295@gmail.com

## บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของชนิดและปริมาณของลูกน้ำยุงในแหล่งพื้นที่บริเวณหาดราชมงคล 4 พื้นที่ ได้แก่ บริเวณชายหาด บริเวณป่าเสม็ด บริเวณป่าโกงกางและบริเวณที่อยู่อาศัย และศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำในแหล่งเพาะพันธุ์กับชนิดและจำนวนลูกน้ำยุง โดยใช้อุปกรณ์กับดักไข่ยุง (Ovitrap) ล่อยุงให้มาวางไข่ ติดตั้งพื้นที่ละ 1 ชุดชุดละ 20 อัน หลังจากนั้นก็ทำการเก็บข้อมูลลูกน้ำยุง และเก็บข้อมูลคุณภาพและปริมาณน้ำ โดยเก็บข้อมูลทุกๆสัปดาห์ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ และจากการศึกษาพบลูกน้ำยุง 2 ชนิด คือยุงลายสวนและยุงรำคาญ โดยพบจำนวนลูกน้ำยุงลายสวนในบริเวณที่อยู่อาศัยมากที่สุด ส่วนจำนวนลูกน้ำยุงรำคาญ พบในบริเวณที่อยู่อาศัยมากที่สุด ผลการศึกษาคุณภาพน้ำพบว่า ในทั้ง 4 พื้นที่ ทั้งกับดักไข่ยุงที่พบและไม่พบลูกน้ำยุง มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิผิวน้ำ ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นบริเวณป่าโกงกาง ค่าการนำไฟฟ้าในกับดักไข่ยุงที่พบและไม่พบลูกน้ำยุงมีความแตกต่างกัน

**คำสำคัญ** ลูกน้ำยุง กับดักไข่ยุง ไข่เลือดออก นิเวศวิทยาของลูกน้ำยุง

## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีรายงานการระบาดของโรคไข้เลือดออกกว่า 60 ปี โดยมีการระบาดกระจายไปทั่วประเทศ รวมไปถึงในจังหวัดตรังที่มีการระบาดในทุกๆปี จากสถิติข้อมูลย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ปี 2558–2562 พบจำนวนผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องอยู่ในช่วง 1,860–9,961 ราย/ปี และอำเภอสีเกา จ.ตรัง มีจำนวนผู้ป่วยสูงในอันดับต้นๆ ของจังหวัดตรังทุกปี ซึ่งในปี 2562 จำนวนผู้ป่วยสูงเป็นอันดับ 1 และจำนวนผู้ป่วยที่พบมากที่สุด ในอำเภอสีเกา คือ ตำบลไม้ฝาด(กระทรวงสาธารณสุข, 2562) นอกจากนี้ยังมีโรคอื่นๆ เช่น โรคมาลาเรีย โรคเท้าช้าง โรคไข้สมองอักเสบ เป็นต้น โดยมียุงเป็นพาหะนำโรค ที่สำคัญ ได้แก่ ยุงลาย (Aedes) ยุงรำคาญ (Culex) และยุงก้นปล่อง (Anopheles) (ตำราพันธุ, 2560) ซึ่งสาเหตุของการแพร่ระบาดส่วนหนึ่งมาจากประเทศไทยจัดอยู่ในเขตประเทศเขตร้อน จึงทำให้มียุงชุกชุม จึงทำให้การแพร่ระบาดของโรครามีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน

หาดราชมงคล จังหวัดตรัง เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ที่สำคัญของจังหวัดตรังและเป็นแหล่ง

ท่องเที่ยวที่คนมาใช้บริการเป็นจำนวนมากในแต่ละปี เนื่องจากหาดราชมงคลเป็นบริเวณที่มีระบบนิเวศที่หลากหลาย มีชายหาดที่สวยงาม และยังเป็นพื้นที่ที่ยังมีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนในพื้นที่บริเวณชายฝั่ง โดยมีแหล่งที่ตั้งอยู่ในตำบลไม้ฝาด อ.สีเกา ซึ่งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงของการระบาดของไข้เลือดออกสูง ฝาด (กระทรวงสาธารณสุข, 2562) โดยมีค่าดัชนีกับดักไข่ยุงมากกว่า 10 % ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO, 2552) ได้กำหนดไว้ แสดงว่า พื้นที่ดังกล่าวมีความเสี่ยงของการเกิดโรคไข้เลือดออก

ยุงบางส่วนชอบอาศัยใกล้ผู้คนในขณะที่บางส่วนชอบอาศัยอยู่ในป่า ในบึง หรือบริเวณที่มีหญ้าสูง (Centers for Disease Control and Prevention, 2565) ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงต้องการที่จะศึกษาว่าในพื้นที่ที่แตกต่างกันของหาดราชมงคล ได้แก่ บริเวณชายหาด บริเวณป่าเสม็ด บริเวณป่าโกงกาง และบริเวณที่อยู่อาศัย ซึ่งเป็นแหล่งที่ผู้คนเข้ามาใช้บริการมีความเสี่ยงต่อการเป็นไข้เลือดออกหรือไม่ จึงได้ทำการศึกษาความชุกชุมและความหลากหลายของชนิดสายพันธุ์ของยุงดังกล่าว



**2. วิธีการทดลอง**

**การกำหนดจุดศึกษา**

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาระบบนิเวศของมณฑล ตำบลไม้ผาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ตั้งอยู่ บนพิกัด ละติจูด 7.5282 ลองจิจูด 99.3079

คณะผู้วิจัยจัดทำกรเก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงและคุณภาพน้ำบริเวณหาดราชมณฑล โดยแบ่งเขตพื้นที่ การศึกษาออกเป็น 4 พื้นที่การศึกษาคือ บริเวณชายหาด บริเวณป่าเสม็ด บริเวณป่าโกงกาง และบริเวณที่อยู่อาศัย ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2

**การติดตั้งอุปกรณ์**

นำอุปกรณ์กับดักไข่ยุง (Ovitrap) (ภาพที่ 3) ซึ่งมี ลักษณะถ้วยพลาสติกสีดำที่สามารถรองรับน้ำได้ บริเวณด้านบน เปิดโล่งให้ยุงสามารถบินมาวางไข่ได้ ติดตั้งกับต้นไม้เด่นในแต่ละพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความ สูงเหนือจากพื้นดินประมาณ 1 เมตร ติดตั้งภาชนะให้ อยู่ในบริเวณร่มเงา ไม่โดนแสงแดดโดยตรง

กำหนดพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 บริเวณ บริเวณละ 500 ตารางเมตร ติดตั้งอุปกรณ์กับดักไข่ยุงพื้นที่ละ 20 อัน โดยติดตั้งในลักษณะกระจายตัวให้ห่างกัน ประมาณ 2-4 เมตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร ลงในอุปกรณ์กับดักไข่ยุงทุกอัน



ภาพที่ 1. แผนที่บริเวณหาดราชมณฑล อ.สิเกา จ.ตรัง แสดง 4 พื้นที่การศึกษา



ภาพ 2. พื้นที่ศึกษาระบบนิเวศชายหาด ป่าเสม็ด ป่าโกงกาง และป่าบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัย

**การเก็บและการจำแนกลูกน้ำยุง**

จากการลงพื้นที่บริเวณหาดราชมณฑล เก็บ ข้อมูลสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ ติดต่อกัน โดยแต่ละครั้ง เก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงโดยใช้ Mosquito Habitat Mapper ในแต่ละภาชนะที่ทำการติดตั้งไว้ในแต่ละพื้นที่การศึกษาทั้ง 4 บริเวณ จำนวน 80 ภาชนะ วัดคุณภาพของน้ำ ได้แก่ 1) ค่าความเป็นกรด - เบส 2) ค่าการนำไฟฟ้า 3) ค่า อุณหภูมิผิวน้ำ ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Infrared Thermometer และ 4) ค่าอุณหภูมิน้ำ โดยใช้ เครื่องวัด Multiparameter แบบปากกา ของทุก ภาชนะ

ทำการเก็บและนับจำนวนลูกน้ำยุงทุกภาชนะ ของแต่ละพื้นที่ศึกษา นำลูกน้ำยุงที่ทำการคงสภาพ ไว้ในแอลกอฮอล์ 70% มาจำแนกชนิดของยุง โดยใช้ Mosquito Larvae Globe Protocol Identification (Globe, 2561)

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของจำนวนลูกน้ำยุงแต่ละพื้นที่ โดยใช้ร้อยละ และ เปรียบเทียบจำนวนลูกน้ำยุงในกับดักไข่ยุงที่พบและ ไม่พบลูกน้ำยุงในแต่ละบริเวณ ด้วยสถิติทดสอบ t-test

**3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง**

**ชนิดและจำนวนลูกน้ำยุงที่พบในกับดักในแต่ละพื้นที่**

จากผลการศึกษาพบว่าได้พบชนิดของลูกน้ำ ยุง 3 ชนิด ได้แก่ ลูกน้ำยุงลายบ้าน ลูกน้ำยุงลายสวน และ ลูกน้ำยุงรำคาญ จำนวนลูกน้ำยุงลายบ้าน และ ลูกน้ำยุงลาย สวน พบเป็นจำนวนมากที่สุดในบริเวณ พื้นที่ป่าโกงกาง (ยุงลายบ้าน 89% ยุงลายสวน 43%) และจำนวนลูกน้ำยุงรำคาญพบเป็นจำนวนมากที่สุดใน ป่าบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัย (ยุงรำคาญ 60%) ดังภาพ ที่ 4



ภาพที่ 3. อุปกรณ์กับดักลูกน้ำยุง

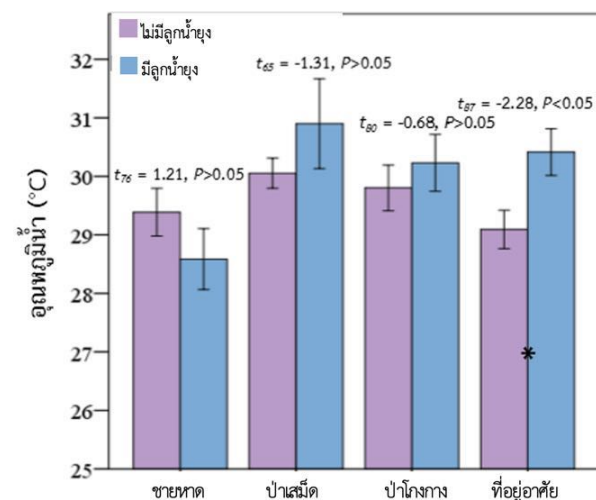
ประเภทลูกน้ำ	จำนวนของลูกน้ำยุง				รวม
	ชายหาด	ป่าเสม็ด	ป่าโกงกาง	ป่าแหล่งที่อยู่อาศัย	
ยุงลายบ้าน	0 (0%)	0 (0%)	8 (89%)	1 (11%)	9 (100%)
ยุงลายสวน	185 (12%)	140 (9%)	673 (43%)	555 (36%)	1553 (100%)
ยุงรำคาญ	52 (18%)	29 (11%)	29 (11%)	165 (60%)	275 (100%)
รวม	256 (13%)	192 (10%)	729 (38%)	767 (39%)	1944 (100%)

ภาพที่ 4. ชนิดและจำนวนลูกน้ำยุงที่พบในกับดักลูกน้ำยุงในแต่ละพื้นที่ศึกษา

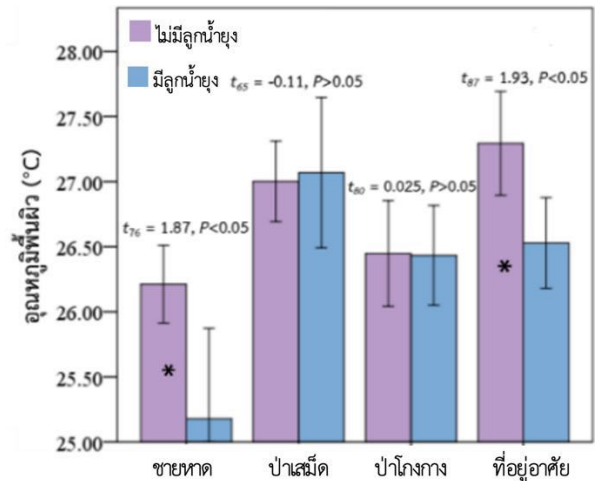
จากผลการศึกษาระยะพื้นที่ป่าโกงกางและป่าบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยมีความเสี่ยงสูงจากการสำรวจระยะลูกน้ำ ได้แก่ Aedes ที่เป็นพาหะนำโรคไข้เลือดออกและ Culex ที่เป็นพาหะนำโรคใช้สมองอักเสบ จึงควรเฝ้าระวังทั้งสองโรคในพื้นที่ต่อไป

**คุณภาพน้ำในกับดักในแต่ละพื้นที่**

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวน้ำในกับดักไขยุงพบว่ามีความแตกต่างกันในบริเวณป่าชายหาด และบริเวณที่อยู่อาศัยโดยกับดักไขยุงที่มีลูกน้ำยุงมีค่าสูงกว่ากับดักไขยุงที่ไม่มีลูกน้ำยุง เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีปัจจัยรบกวน เช่น ลม กิจกรรมของมนุษย์ ดังภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิผิวน้ำ พบว่ามีค่าแตกต่างกันในบริเวณที่อยู่อาศัย โดยกับดักไขยุงที่มีลูกน้ำยุงมีค่าสูงกว่ากับดักไขยุงที่ไม่มีลูกน้ำยุง ส่วนบริเวณป่าชายหาด



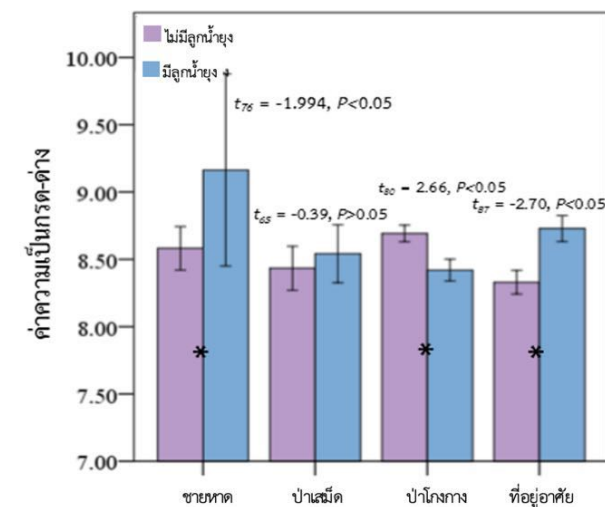
ภาพที่ 6. ค่าอุณหภูมิผิวน้ำ ของน้ำในภาชนะกับดักลูกน้ำยุงที่พบและไม่พบลูกน้ำยุง



ภาพที่ 5. ค่าอุณหภูมิผิวน้ำ ของน้ำในภาชนะกับดักลูกน้ำยุงที่พบและไม่พบลูกน้ำยุง

ช่วงอุณหภูมิในภาชนะที่พบลูกน้ำยุงมีความสอดคล้องกับ ผลงานวิจัยของ Rasika Dalpadado และคณะ ที่พบว่าอุณหภูมิในการวางไข่ของยุงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25.3 – 39.8 องศาเซลเซียส (Dalpadado, 2565)

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่ามีความแตกต่างกันในบริเวณป่าชายหาดและบริเวณที่อยู่อาศัย โดยกับดักไขยุงที่มีลูกน้ำยุงมีค่าสูงกว่าในกับดักไขยุงที่ไม่มีลูกน้ำยุง ส่วนบริเวณป่าโกงกางกับดักไขยุงที่มีลูกน้ำยุงมีค่าน้อยกว่ากับดักไขยุงที่ไม่มีลูกน้ำยุง ส่วนป่าเสม็ดมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในทุกภาชนะมีค่าเป็นด่างทั้งหมด ซึ่งมีความสอดคล้องเช่นเดียวกับ ผลงานวิจัยของ ศุภวรรณ พรหมเพรา และ จุริย์ ไก่แก้ว ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในภาชนะที่พบลูกน้ำยุงมีค่าพิสัยในช่วง 7.45 – 10.64 ซึ่งภาชนะกักเก็บน้ำทั้งหมดมีค่าเป็นด่าง (ศุภวรรณ, 2559)



ภาพที่ 7. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำในภาชนะกับดักลูกน้ำยุงที่พบและไม่พบลูกน้ำยุง



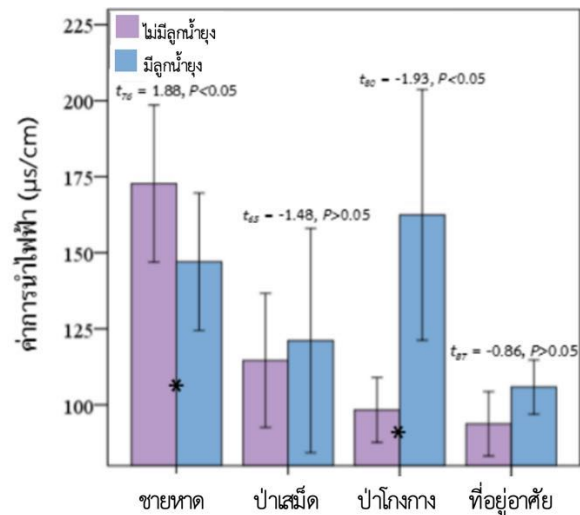
ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า ดังภาพที่ 8 พบว่ามีค่าแตกต่างกันในบริเวณป่าชายหาดโดยกับดักไขยุงที่ไม่มีลูกน้ำยุงมีค่าสูงกว่าในกับดักไขยุงที่มีลูกน้ำยุง บริเวณป่าโกงกางกับดักไขยุงที่มีลูกน้ำยุงมีค่าสูงกว่ากับดักไขยุงที่ไม่มีลูกน้ำยุง ส่วนบริเวณป่าเสม็ด และป่าบริเวณที่อยู่อาศัยมีค่าไม่แตกต่างกัน มีความสัมพันธ์กับจำนวนลูกน้ำเนื่องจากวัสดุอินทรีย์ที่ละลายน้ำ อาทิ เช่น ใบไม้ รวมไปถึงพื้นที่ป่าชายหาดและป่าโกงกางนั้นมีพื้นที่ใกล้เคียงแหล่งน้ำเค็มมากกว่าอีกสองแหล่งพื้นที่ศึกษา

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนลูกน้ำยุงแต่ละชนิดกับคุณภาพน้ำ พบว่าจำนวนลูกน้ำยุงลายสวนในบริเวณป่าโกงกางมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วนยุงลายสวนในป่าบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าอุณหภูมิผิวน้ำและมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าอุณหภูมิ น้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า ส่วนจำนวนลูกน้ำ

ยุงรำคาญในป่า บริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังภาพที่ 9

**สัดส่วนการครอบครองของลูกน้ำยุงในขณะกับดัก**

จากการศึกษา (ภาพที่ 10) พบว่าสัดส่วนของลูกน้ำยุงลายสวนพบมากที่สุดที่บริเวณป่าโกงกาง คิดเป็นสัดส่วน 0.95 และสัดส่วนของลูกน้ำยุงรำคาญพบมากที่สุดที่บริเวณป่าเสม็ด คิดเป็นสัดส่วน 0.32



ภาพที่ 8. ค่าการนำไฟฟ้า ของน้ำในขณะกับดักลูกน้ำยุงที่พบและไม่พบลูกน้ำยุง

และจากการหาค่าดัชนีกับดักไขยุงพบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานหรือมีค่ามากกว่า 10% ในทุกบริเวณ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทุกบริเวณที่ศึกษามีความเสี่ยงต่อการเกิดของโรคไข้เลือดออก (WHO, 2552) โดยมีความเสี่ยงสูงสุดในบริเวณป่าโกงกางคิดเป็นร้อยละ 86 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงและเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเฝ้าระวังและพัฒนาระบบการเฝ้าระวังพาหะโรคไข้เลือดออก ให้สอดคล้องกับแหล่งที่เอื้อต่อการเพาะพันธุ์ ชีวนิสัยของยุง และวิถีชีวิตของประชาชน ควรมีการจัดทำ ชักซ้อม แผนงานการเฝ้าระวัง ป้องกัน ควบคุมโรคไข้เลือดออกให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างสม่ำเสมอ

ชนิดลูกน้ำยุง		บริเวณป่าโกงกาง				ป่าบริเวณที่อยู่อาศัย			
		อุณหภูมิผิวน้ำ (°C)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (μs/cm)	อุณหภูมิผิวน้ำ (°C)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (μs/cm)
ยุงลายบ้าน	Correlation Coefficient	0.115	0.045	-0.131	0.110	0.145	-0.017	-0.114	-0.027
	Sig. (2-tailed)	0.303	0.691	0.239	0.324	0.174	0.877	0.287	0.802
	N	82	82	82	82	89	89	89	89
ยุงลายสวน	Correlation Coefficient	0.077	0.048	-0.301**	0.193	-0.214*	0.272*	0.243*	0.303**
	Sig. (2-tailed)	0.492	0.669	0.006	0.082	0.045	0.010	0.022	0.004
	N	82	82	82	82	89	89	89	89
ยุงรำคาญ	Correlation Coefficient	-0.055	0.314	0.172	0.180	-0.026	0.179	0.218*	0.167
	Sig. (2-tailed)	0.625	0.048	0.123	0.105	0.812	0.093	0.041	0.117
	N	82	82	82	82	89	89	89	89

\*P<0.05, \*\*P<0.005 \*\*จำนวนลูกน้ำยุงทุกชนิดที่พบบริเวณป่าชายหาดและป่าเสม็ดไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำ

ภาพที่ 9. ความสัมพันธ์ของจำนวนลูกน้ำยุงแต่ละชนิดกับคุณภาพน้ำ

พื้นที่ศึกษา	ภาษาถิ่นกับ ดักไข่ยุง ทั้งหมด	ภาษาถิ่นที่ พบลูกน้ำ ยุง	ยุงลาย บ้านเก่า นั้น	ยุงลาย สวน เท่านั้น	ยุงรำคาญ เท่านั้น	ยุงลาย บ้านและ ลายสวน	ยุงลาย บ้านและ ยุงรำคาญ	ยุงลาย สวนและ ยุงรำคาญ	ยุงลายบ้าน ยุงลายสวน และรำคาญ	ดัชนีกับ ดักไข่ยุง	สัดส่วนที่ พบยุง ลายบ้าน	สัดส่วนที่ พบยุง ลายสวน	สัดส่วนที่ พบยุง รำคาญ
ป่าชายหาด	140	29	0	18	1	0	0	6	0	62.06	0.00	0.83	0.24
ป่าเสม็ด	140	22	0	13	4	0	0	3	0	29.09	0.00	0.73	0.32
ป่าโกงกาง	140	42	0	35	1	1	0	4	0	85.71	0.02	0.95	0.12
ป่าแหล่งที่ อยู่อาศัย	140	56	0	39	4	1	0	8	0	71.42	0.02	0.86	0.21

ภาพที่ 10. ค่าดัชนีกับดักไข่ยุงในพื้นที่ศึกษา

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบลูกน้ำยุงลายบ้านในบริเวณป่าโกงกางและป่าบริเวณที่อยู่อาศัย ส่วนยุงลายสวน และยุงรำคาญพบทั้ง 4 บริเวณที่ทำการศึกษา โดยพบลูกน้ำยุงลายสวนมากที่สุด รองลงมาเป็นลูกน้ำยุงรำคาญและลูกน้ำยุงลายบ้าน

บริเวณป่าชายหาด ป่าเสม็ด ป่าโกงกาง และบริเวณป่าที่อยู่อาศัย มีค่าดัชนีกับดักไข่ยุงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานในทุกพื้นที่ (> 10 %) (WHO, 2552) แสดงว่า พื้นที่ดังกล่าวมีความเสี่ยงของการเกิดโรคไข้เลือดออก

#### 5. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2562). สถานการณ์โรคไข้เลือดออก จังหวัดตรัง. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.rh12.moph.go.th/wpcontent/uploads/2019/Ovitrap>. (ม.ป.ป.). [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OvitrapTicino.jpg>

กระทรวงสาธารณสุข. (2562). อัตราป่วยด้วยโรคไข้เลือดออกต่อประชากรแสนคน เขตสุขภาพที่ 12 จังหวัด ตรัง ปี 2562. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <https://trg.hdc.moph.go.th>

ดำรงพันธุ์ ทองวัฒน์. (2560). ยุงที่สำคัญทางการแพทย์ของประเทศไทย (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

ศุภวรรณ พรหมเพรา และ จุริย์ ไก่แก้ว. (2559). นิเวศวิทยาของยุงลายในพื้นที่ป่าพรุควนเคร็ง ตำบลเคร็ง อำเภอชะอวด จังหวัด นครศรีธรรมราช. <http://dspace.nstru.ac.th:8080/dspace/bitstream/123456789/2197/3/Fulltext.pdf>

Centers for Disease Control and Prevention. (2565). Where Mosquitoes Live. [www.cdc.gov/mosquitoes/about/where-mosquitoes-live.html](http://www.cdc.gov/mosquitoes/about/where-mosquitoes-live.html)

Globe/worldwide Education. Mosquito Larvae Globe Protocol Identification. [www.globe.gov/documents/11865/0dcf909a-b4b3-4793-969a-5f88c48fbf26](http://www.globe.gov/documents/11865/0dcf909a-b4b3-4793-969a-5f88c48fbf26)

Dalpadado, R., Amarasinghe, D., & Gunathilaka, N. (2022). Water quality characteristics of breeding habitats in relation to the density of Aedes aegypti and Aedes albopictus in domestic settings in Gampaha district of Sri Lanka. Acta Tropica, 229, 106339. doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106339

WHO. (2552). Dengue: Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention and Control. World Health Organization, pp. 1-160.

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.อนันตนิจ ชุมศรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัยวิทยา เขตตรัง ที่ให้การสนับสนุนส่งเสริมเกี่ยวกับกระบวนการวิจัย ขอขอบคุณผู้บริหาร และ คณะครูโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัยตรัง ทุกๆ ท่าน ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่สนับสนุนกิจกรรมการวิจัยสิ่งแวดล้อมมาตลอด ตลอดจนสาธารณสุขชุมชนที่ให้ข้อมูล และชาวบ้านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

## Suitability of Simulated Lunar Regolith (TLS-01) for Agriculture

Titiwat Jirasirichot and Prachya Kiartphoomichaisiri  
Chulabhorn Science High School, Pathumthani  
51 Moo 6, Bo Ngoen, Lat Lum Kaeo, Pathumthani, 12140  
Email : thitiwat.jir@pccp.ac.th, prachya.kia@pccp.ac.th

### Abstract

With the advancement of space exploration, scientists have been considering the use of lunar soil as a starting material for agriculture in future moon colonies to ensure food security. Here, Thailand artificial lunar regolith simulant (TLS-01), developed by Space Zab Co., Ltd., was tested for agricultural suitability using sunflower (*Helianthus annuus* L.) as a test plant. It was found that TLS-01 soil can support plant growth, although it has characteristics that are not suitable. The physical and chemical properties of the TLS-01 were improved by incorporating humic acid microcapsules and coconut coir. The optimal ratio of TLS-01 soil to coconut coir of 1:1 with the addition of double the recommended rate of humic acid was found to result in germination percentage and growth index of sunflower seedlings of 85.00% and 6.62, respectively, which was comparable to results for agricultural soil. Moreover, the release of humic acid from microcapsules using whey protein isolate (WPI) and gum arabic (GA) as encapsulation materials showed conformity to the Fickian diffusion model. The efficiency of WPI and GA as encapsulation materials was found to be 90.37% and 88.36%, respectively.

**Keywords:** *Simulated Lunar Soil (TLS-01), Sunflower Seedlings, Microcapsule, Coconut Coir, Humic Substances*

### I. INTRODUCTION

Over the past years, there have been numerous studies conducted on plant cultivation in space stations. De Pascale et al. (2021) explored the challenges and opportunities of plant production in space environments and found that "microgreen" plants from the Brassicaceae family and sunflowers, which grow rapidly and develop leaves within 1-2 weeks, are suitable for space agriculture. Considering the high costs of transporting resources to space, using lunar soil has been considered as a starting material for astroculture (agriculture on celestial bodies). Chang & Ann (2019) investigated the chemical composition of lunar soil samples collected from the Apollo missions and found the potential for using lunar soil in plant cultivation. Recognizing the significance of this idea, international space organizations have developed their own lunar regolith simulants for studying plant cultivation on the Moon. For example, Japan has developed the JSC-1A lunar regolith simulant, while Thailand has developed the TLS-01 lunar regolith simulant, produced by Space Zab Co., Ltd.

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is a popular fresh vegetable that contains a range of valuable nutrients.

The researchers conducted experiments using TLS-01 soil to cultivate sunflower seedlings. It was found that the plants could grow, but their quality was incomplete due to the physical characteristics of the soil. The TLS-01 soil had a cement-like powdery texture that compacted tightly when mixed with water, resulting in poor water drainage. Additionally, the soil had a relatively low quantity of essential nutrients for plant growth. To address these issues, various methods were considered to improve the TLS-01. For example, Wamelink et al. (2014) added gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) to lunar regolith simulant to cultivate tomatoes, while Kasiviswanathan et al. (2022) incorporated the cyanobacterium *Synechococcus* sp. strain PCC 7002 into lunar regolith simulant to grow lettuce, radishes, and alfalfa sprouts. The researchers considered the convenience of transportation in the space industry and application possibilities, leading them to develop humic acid microcapsules using encapsulation techniques and to use coconut coir as an additive. Coconut coir is an agricultural



byproduct that is lightweight and can be used as a substitute for imported planting materials, reducing production costs. This serves as the basis for improving the quality of lunar regolith simulants both physically and chemically, making them suitable for cultivating sunflower seedlings to provide a fresh food source for astronauts.

## II. METHODS

### Characterizing the Properties of TLS-01

Samples of Thailand Artificial Regolith Simulant (TLS-01) were coated with metal powder using a Hitachi E102 Ion Sputter apparatus. Subsequently, the coated samples were analyzed for morphology and particle size comparison using a scanning electron microscope (SEM). The TLS-01 soil samples were analyzed for quantity and distribution of chemical components and properties relevant to plant growth using an Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX).

### Improving the Properties of TLS-01

The experiment was conducted as a 6 x 3 Factorial Experiment in a Completely Randomized Design (CRD) comprising two factors. Factor 1 consisted of five types of planting materials: 1) TLS-01 soil, 2) coconut coir, 3) sandy soil, 4) agricultural soil, 5) a mixture of TLS-01 soil and coconut coir in a 1:1 ratio, and 6) a mixture of TLS-01 soil and sand in a 1:1 ratio. Factor 2 consisted of three levels of humic acid concentration: 1) recommended concentration (1 ml humic acid per 1 liter of water), 2) concentration of twice the recommended rate, and 3) concentration of three times the recommended rate. The seedling trays were covered and each seed watered daily with 20 ml of the humic acid solutions. The experimental design details are presented in Table 1.

The following growth parameters were assessed: 1) stem length, 2) root length, 3) leaf area, and 4) fresh weight of the produce. Subsequently, the growth parameter index was calculated using the formula:  $\text{Growth parameter} = (\text{stem length} + \text{root length} + \text{leaf area} + \text{fresh weight of the plant}) / 4$ . (Chuaboon et al., 2008)

### Comparing TLS-01 to Agricultural Soil

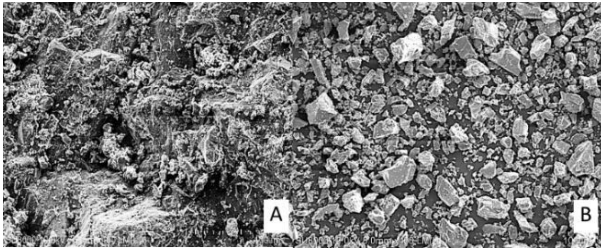
The average stem length, average leaf length, and average root length of the sunflower seedlings were

measured using ImageJ Fiji software. The number of germinated seeds in each planting box for each day was recorded to calculate the percentage of germination for the first count at 5 days old and the final count at 10 days old. The fresh weight of the sunflower seedlings was measured using a mass balance. Dry weight was measured by oven-drying the seedlings to remove all moisture, and then weighing them.

The sunflower seedling samples were ground to a consistent texture, then weighed samples were placed in conical tubes for analysis of nutrient content using Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The samples were digested by adding HNO<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, then the solution was transferred to the MAXI-44 microwave digestion vessel rotor for sample digestion using a microwave digestion system. The resulting sample solutions were diluted and the concentrations of Fe

Code	Treatment details <sup>1/</sup>
T1	TLS-01 + Humic Acid at recommended concentration
T2	TLS-01 + Humic Acid at 2X rec. conc.
T3	TLS-01 + Humic Acid at 3X rec. conc.
T4	Coir + Humic Acid at rec. conc.
T5	Coir + Humic Acid at 2X rec. conc.
T6	Coir + Humic Acid at 3X rec. conc.
T7	Sand + Humic Acid at rec. conc.
T8	Sand + Humic Acid at 2X rec. conc.
T9	Sand + Humic Acid at 3X rec. conc.
T10	Agric. Soil + Humic Acid at rec. conc.
T11	Agric. Soil + Humic Acid at 2X rec. conc.
T12	Agric. Soil + Humic Acid at 3X rec. conc.
T13	TLS-01:Coir (1:1) + Humic Acid at rec. conc.
T14	TLS-01:Coir (1:1) + Humic Acid at 2X rec. conc.
T15	TLS-01:Coir (1:1) + Humic Acid at 3X rec. conc.
T16	TLS-01:Sand (1:1) + Humic Acid at rec. conc.
T17	TLS-01:Sand (1:1) + Humic Acid at 2X rec. conc.
T18	TLS-01:Sand (1:1) + Humic Acid at 3X rec. conc.

**Table 1.** Experimental conditions. <sup>1/</sup> Liquid humic acid, Golden Seal brand) recommended concentration (1 ml of humic acid per 1 liter of water)



**Figure 1.** SEM image at magnification X400 of TLS-01 before (A) and after (B) grinding.

and P were measured using MP-AES, while the concentrations of Na, Mg, Al, K, Ca, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag, Cd, and Pb were measured using ICP-MS.

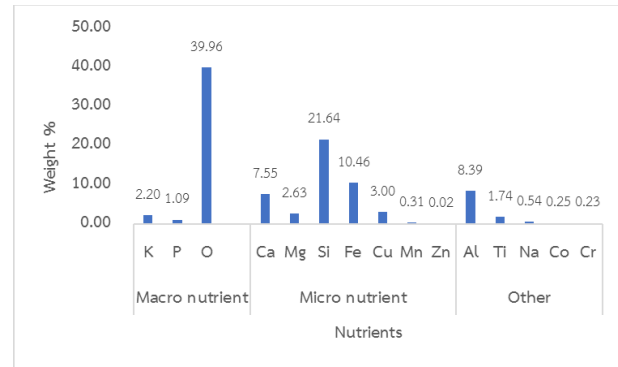
### Humic Acid Microcapsules and the Effect of Concentration on Seedling Growth

The microcapsules were prepared through encapsulation using three types of polymers: polyvinyl alcohol (PVA), gum arabic (GA), and whey protein isolate (WPI). Each polymer was dissolved in DI water and left overnight. Tween 80 was added to the solution as a surfactant. Humic acid was mixed with DI water and left for 30 minutes. The polymer solution and humic acid were then mixed in a ratio of 1:2 (v/w) and dried using a freeze dryer at  $-20^{\circ}\text{C}$ .

The physical characteristics of the microcapsules, such as color, odor, texture, and visible external features, were examined with the naked eye and a microscope at 40X magnification. The microcapsules' morphological properties were analyzed using a JEOL JCM-6000 scanning electron microscope (SEM) at 200X magnification (Pakthongchai, 2020).

Humic acid was placed in cellophane bags with a solution of Tween 80 at a concentration of 0.1 M. The solution was agitated for different time intervals, and the absorbance at a wavelength of 254 nm was measured to determine the release of humic substances using the Ritger-Peppas equation (Pakthongchai, 2020).

The humic acid was extracted from the microcapsules by filtering through #1 filter paper. The filtered substance was then dried using a rotary evaporator. The total amount of extracted humic acid and the encapsulation efficiency was calculated by mixing the extracted humic acid with



**Figure 2.** Chemical analysis of TLS-01 from Energy Dispersive X-ray Spectrometer.

dichloromethane and methanol, according to Pakthongchai's method (2020).

A completely randomized design (CRD) experiment plan was implemented, consisting of two factors: 1) the type of growth substrate, composed of TLS-01 soil: coconut coir (1:1), and 2) the quantity of humic acid, including 1) the recommended concentration, 2) concentration two times higher than the recommended rate, and 3) concentration three times higher than the recommended rate. The experiment includes 7 treatments, each repeated 6 times with 50 seeds each (Table 6). Growth parameters were measured and analyzed to evaluate the growth of sunflower seedlings under the different conditions.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### Characterizing the Properties of TLS-01

The analysis of the shape and particle size distribution of TLS-01 using SEM showed that the particles were uniformly dispersed and not clustered (Figure 1), similar to the particle size of simulated lunar soil JSC-1A and lunar soil samples from the Apollo and Luna projects (Neves et al., 2020; Goulas et al., 2019). The particle size of TLS-01 used for cultivating sunflower seedlings in this study was similar to previous research findings. The particle size is related to the soil density, and it was found that the soil density before grinding and after grinding is  $1.72$  and  $2.30$   $\text{g}/\text{cm}^3$ , respectively. Huang et al. (2013) found that particle size significantly affects the growth of sunflower seedlings and can have a significant impact on both mineral elements and physical properties of the soil. Additionally, it did not exhibit as high a water-holding capacity as agricultural soil. These physical characteristics

indicate that the physical properties of TLS-01 soil are not suitable for plant growth. The analysis of the shape and particle size distribution revealed that TLS-01 soil has similar physical characteristics to other lunar soils but is not suitable for plant growth. Chemical analysis of TLS-01 soil revealed that it consists of 15 elements, including essential macronutrients and 2 micronutrients for plant growth (Figure 2). Additionally, chemical properties related to plant growth were analyzed, as shown in Table 2. The results of the analysis indicated that TLS-01 soil contains sufficient quantities of essential nutrients for plant growth, particularly a high exchangeable potassium content. These values serve as indicators of soil fertility for cultivation. The pH value of the soil, which is desirable for sunflower seedlings, should be within the range of 5.5 to 6.5. The measured pH value indicates that TLS-01 soil is

Soil Properties	Analysis Value	Interpretation*
1. pH level	5.6	Moderately acidic
2. Electrical Conductivity	0.09 dS/m	Non-saline, non-hazardous to plants
3. Organic Matter Content	2.25%	Moderate
4. Total Nitrogen Content	1.17%	Moderate
5. Beneficial Phosphorus Content	18.8 mg/kg	Moderate
6. Exchangeable Potassium Content	207 mg/kg	Very high
7. Exchangeable Calcium Content	388 mg/kg	Moderate

**Table 2.** Results of chemical analysis related to plant growth. (Department of Land Development, (2010); Faculty of the Department of Soil Science, (1998))

Soil Type	Ave. Leaf Mass (g)	Ave. Stem Mass (g)	Ave. Total Mass (g)
TLS-01	0.230	0.222	0.452
Mixed	0.216	0.193	0.409
Agricult. Soil	0.363	0.345	0.707

**Table 3.** The fresh average mass of leaves, stems, and total of sunflower seedlings cultivated in different soil types.

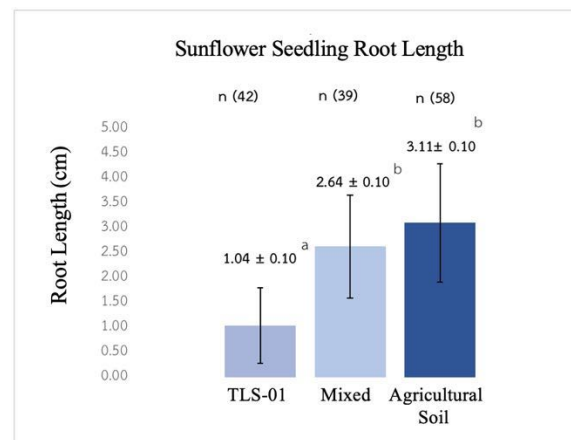
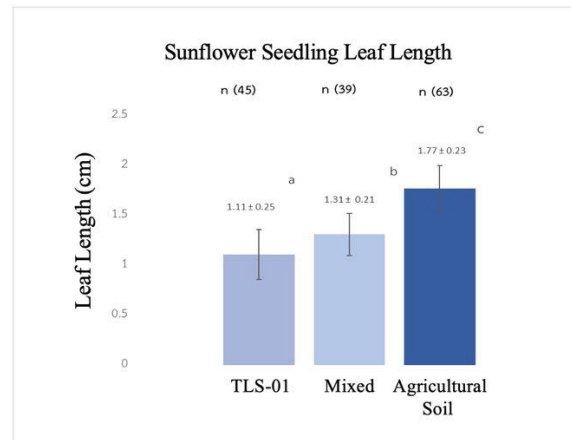
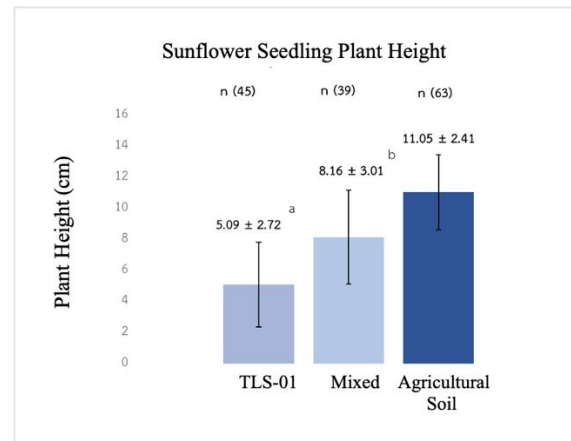
Soil Type	Ave. Leaf Mass (g)	Ave. Stem Mass (g)	Ave. Total Mass (g)
TLS-01	0.036	0.015	0.051
Mixed	0.025	0.019	0.044
Agricult. Soil	0.038	0.037	0.075

**Table 4.** The dried average mass of leaves, stems, and total of sunflower seedlings cultivated in different soil types.

suitable for cultivating sunflower seedlings (Chinsaen et al., 2018; Siri-Ngam, 2014)

**Comparing TLS-01 to Agricultural Soil**

Sunflower seedlings cultivated in agricultural soil have the highest percentage of germination, average plant height, average leaf length, average root length,



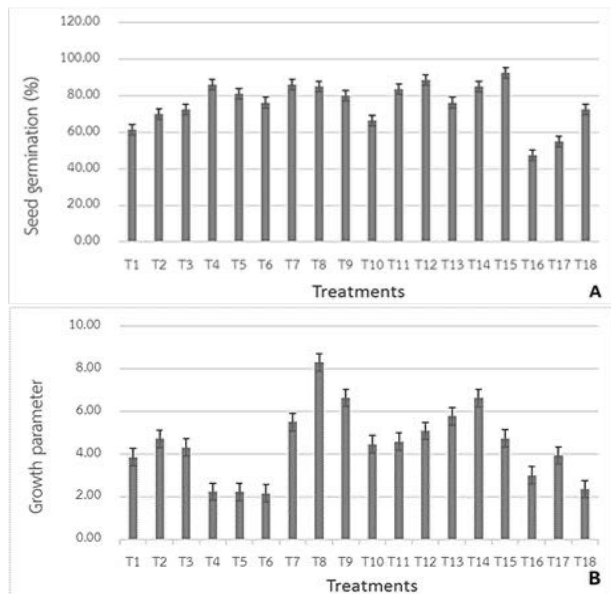
**Figure 3.** Average plant height, leaf length, and root length of sunflower seedlings for the soil types tested.



and weight (Figure 3, Tables 3 and 4). The subsequent ranking includes sunflower seedlings cultivated in mixed soil and TLS-01. Nanoparticles of SiO<sub>2</sub> in TLS-01 contribute to an increased germination rate and may affect the growth and higher yield of sunflower plants (Sabaghnia et al., 2018; Sabaghnia & Janmohammadi, 2017). However, the effectiveness depends on the concentration of SiO<sub>2</sub> nanoparticles in the cultivating soil (Jurga et al., 2013) and their ability to enhance root and stem elongation. Additionally, the presence of iron (Fe) particles reduces the germination rate of seeds (Verma et al., 2020). In a similar research study by Ilay et al. (2013), sunflower seedlings cultivated in clayey loam soil, which has properties similar to agricultural soil, showed a trend of improved growth over an extended period. Therefore, when sunflower seedlings are cultivated in agricultural soil for a longer duration, they tend to exhibit better growth.



**Figure 4.** The growth characteristics of sunflower seedlings planted with TLS-01 soil before soil quality improvement (A) compared to agricultural soil (B).



**Figure 5.** Seed Germination Percentage (A) and Growth Parameter (B) results for the 18 treatment conditions described in Table 1.

### Improving the Properties of TLS-01

Sunflower seedlings grown in TLS-01 soil mixed with coconut coir at a ratio of 1:1 and supplemented with a 2-fold concentration of recommended humic acid (recommended rate: 1 ml/1 liter of water) promoted germination percentage and growth index to 85.00% and 6.62, respectively, while agricultural soil had a growth parameter of 8.29 (Figure 5). All conditions were controlled under the same factors, such as light, temperature, water quantity, and the number of seeds sown. After improving the physical and chemical properties of TLS-01, it demonstrated improved characteristics, effectively promoting the growth of sunflower seedlings comparable to agricultural soil ( $p \leq 0.05$ ). Cultivating sunflower seedlings in TLS-01 mixed with coconut coir (1:1) helped reduce the physical limitations of TLS-01 only, such as low water holding capacity and reduced clumping, resulting in increased air-filled porosity of the planting medium. This led to better dissolution and availability of nutrients for plants. Furthermore, the addition of various concentrations of humic acid to the different planting media showed similar effectiveness in promoting the growth of sunflower seedlings, regardless of soil type. The chemical

Soil Type (A)	Concentration of humic substance (B)			Average <sup>2/</sup>
	B1	B2	B3	
1) TLS-01	5.31	6.36	5.88	5.85b
2) Coconut Coir	4.26	3.96	3.94	4.05c
3) Sand	6.82	9.81	7.74	8.12a
4) Agricult. Soil	5.86	6.08	6.01	5.98b
5) TLS-01:Coir (1:1)	7.45	8.54	6.10	7.36a
6) TLS-01:Sand (1:1)	4.33	5.59	3.20	4.37c
Average	5.67	6.73	5.48	
F-Test				
A				*
B				ns
AXB				ns

**Table 5.** Statistical analysis was performed to determine the correlation between the planting material (A) and the quantity of humic substances. (B)<sup>1/</sup> ns=Not significant, \*= Significant at 95% confidence level.

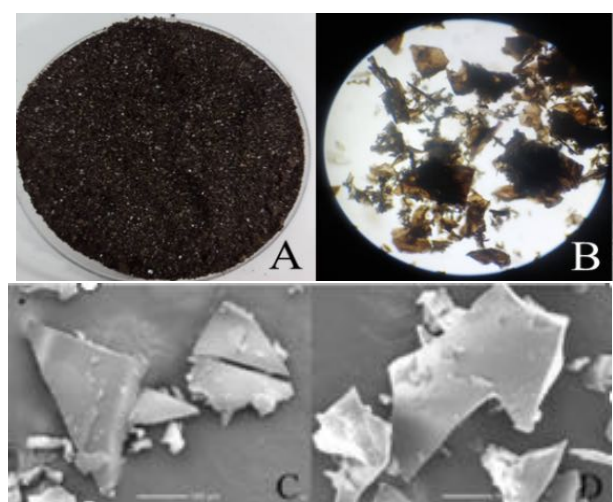
<sup>1/</sup> B1= Recommended Concentration, B2= 2X Recommended Concentration, and B3= 3X Recommended Concentration

<sup>2/</sup> The average values followed by the same letter are not significantly different at  $p \leq 0.05$  based on the Duncan's Multiple Range Test (DMRT) when comparing the differences among the types of planting materials.

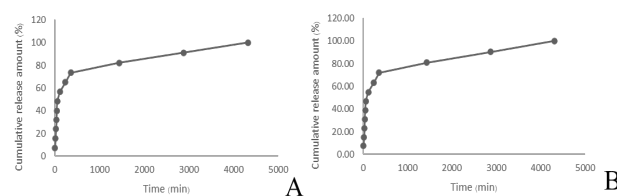
properties of TLS-01 soil exhibited relatively good essential nutrient components for plant growth, although they were not readily available due to unfavorable physical properties. The supplementation of humic acid facilitated greater nutrient uptake by plants. As a result, plant growth was significantly better compared to pre-improvement TLS-01 soil conditions (Figure 4). Additionally, humic acid enhanced water absorption and soil porosity, while also contributing to the improvement of soil's biological properties as a source of beneficial nutrients for plants and microorganisms (Table 5).

### Humic Acid Microcapsules and the Effect of Concentration on Seedling Growth

The physical appearance of microcapsules coated with Gum Arabic (GA) appears as dark brown powder, while microcapsules coated with Whey Protein Isolate (WPI) appear as brown granules



**Figure 6.** Microcapsules encapsulating humic acid under 4X magnification (A), Microcapsules encapsulating humic acid under a Benchtop SEM at 200x magnification (B), WPI-coated capsules (C) and GA-coated capsules (D).



**Figure 7.** Release of humic acid over time for WPI-coated microcapsules (A) and GA-coated microcapsules (B).

(Figure 6). On the other hand, microcapsules coated with PVA have a brown foam-like appearance, which cannot be observed under an electron microscope due to poor molding properties. When examined under a microscope at 4x magnification, it is found that microcapsules coated with WPI and GA have dark brown to black color, resembling separated layers. At 10x magnification, they appear as multi-layered sheets with abnormal shapes. When studied using a scanning electron microscope, microcapsules coated with WPI and GA exhibit physical characteristics of flat sheets with a smooth surface.

Microcapsules coated with WPI have an R-squared value of 0.6033 and a diffusion exponent value of 0.0027, indicating Fickian diffusion, which is the diffusion from high to low concentration. Within the first 360 minutes, they release 73.50% of the encapsulated humic acid. After that, the release occurs slowly, as shown in Figure 7. As for microcapsules coated with GA, they have an R-squared value of 0.5846 and a diffusion exponent value of 0.0214, also indicating Fickian diffusion. Within the first 360 minutes, they release 72.00% of the encapsulated humic acid, after which the release occurs slowly.

Code	Treatment details <sup>1/</sup>	Germination index <sup>2/</sup>
T1	TLS-01:Coir (1:1) + Humic Acid at 2X rec. conc.	9.49a
T2	TLS-01:Coir (1:1) + WPI Encapsulated Humic Acid at rec. conc.	8.07b
T3	TLS-01:Coir (1:1) + WPI Encapsulated Humic Acid at 2X rec. conc.	8.71ab
T4	TLS-01:Coir (1:1) + WPI Encapsulated Humic Acid at 3X rec. conc.	7.67b
T5	TLS-01:Coir (1:1) + GA Encapsulated Humic Acid at rec. conc.	7.73b
T6	TLS-01:Coir (1:1) + GA Encapsulated Humic Acid at 2X rec. conc.	8.59ab
T7	TLS-01:Coir (1:1) + GA Encapsulated Humic Acid at 3X rec. conc.	8.15b

**Table 6.** Statistical analysis of germination index using different forms of humic acid microcapsules.

<sup>1/</sup> WPI: Whey Protein Isolate-coated microcapsules. GA: Gum Arabic-coated microcapsules.

<sup>2/</sup> The average values followed by the same letter are not significantly different at  $p \leq 0.05$  by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) when comparing differences between types of planting materials.

Based on the efficiency testing of microcapsules coated with WPI and GA, it was found that the encapsulation efficiency was 90.40% and 88.30% respectively. This is consistent with the research conducted by Zang, B. et al. (2022) on the encapsulation of capsaicin in whey protein, which stated that GA has the ability to form stable and encapsulated emulsions. Furthermore, it can create a protective layer around the central core, resulting in higher encapsulation efficiency with increasing GA concentration in the coating material. This finding is also in line with the research by Zang et al. (2022) on the fabrication and characterization of whey protein.

In the case of using only WPI as the coating material (comparable to the experimental set of WPI:OS = 10:0 in Zang), the study found that the encapsulation efficiency of microcapsules containing capsaicin from chili using WPI as the coating material ranged from 49.90% to 94.60%. This indicates that the samples in Zang, which had mixtures of WP and OS at weight ratios of 10:0, 9:1, and 7:3, showed significant differences in encapsulation efficiency. Therefore, it indicates that the material has the ability to form excellent coating layers, and WP and OS at weight ratios of 10:0, 9:1, and 7:3 exhibit good interaction.

When improving the cultivation of sunflower seedlings, it was found that using a double concentration of humic acid in the simulated moon soil with coconut fiber at a 1:1 ratio resulted in a maximum germination index of 9.49. The next highest index was achieved using microcapsules coated with WPI with a germination index of 8.71, followed by microcapsules coated with GA with a germination index of 8.59. This shows that the soil quality improvement method mentioned above can alleviate the limitations of TLS-01 soil in terms of physical and chemical properties. By using humic acid microcapsules coated with WPI and GA at double concentration, it promotes the growth of sunflower seedlings, achieving growth rates similar to those obtained using liquid humic acid at double concentration.

#### IV. CONCLUSION

It was found that sunflower seedlings grown in agricultural soil had the highest germination

percentage at  $68.00 \pm 3.70\%$ , while sunflower seedlings grown in TLS-01 soil had the highest content of organic matter and the highest percentage by weight/volume of Na, Mg, Mn, and Cu elements. Overall, it can be concluded that improving the quality of TLS-01 soil is possible through a relatively simple process. Therefore, enhancing the physical properties and nutrient content of TLS-01 soil for cultivating sunflower seedlings using a combination of coconut coir and humic substances was investigated. It was found that when TLS-01 soil was mixed with coconut coir at a ratio of 1:1 and supplemented with humic substances at 2 times the recommended rate, it promoted germination percentage and growth index comparable to agricultural soil. It also reduced the physical drawbacks of TLS-01 soil, such as low water-holding capacity and clumping.

The study also showed that humic acid in microcapsules, which improves convenience for transportation and ease of use in space, is effective for sunflower cultivation. The results showed that microencapsulated humic acid, with whey protein isolate (WPI) as the encapsulating material at 2 times the recommended concentration, enhanced the germination index of sunflower seedlings close to that of the aqueous humic acid used previously, with 73.50% of the encapsulated humic acid released. It is possible to apply this approach to modify the properties of lunar soil to make it suitable for cultivation in the future. This could provide fresh food sources for astronauts and contribute to ensuring food security during future space missions or human settlements on the Moon or other planets when the lifespan of our Earth comes to an end.

#### V. REFERENCES

- Chang, B. C., & Ann, K. Y. (2019). Development of assessment methods of lunar soil simulants with respect to chemical composition. *Advances in Space Research*, 63(8), 2584–2597. doi.org/10.1016/j.asr.2019.01.015
- Chinsaen, T., K. Khamkula, N. Vejkama & K. Sangmanee (2018). Seed germination promotion yam with the way Hydropriming. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(1).
- Chuaboon, W., S. Kasem & Pratuangwong, S. (2007). Efficacy of beneficial bacteria in combination with natural biological substances



- in promoting growth and stimulating disease resistance of cauliflower production in field conditions. *Agriculture Housing* 30(5): 264-265.
- De Pascale, S., Arena, C., Aronne, G., De Micco, V., Pannico, A., Paradiso, R., & Roupael, Y. (2021). Biology and crop production in Space environments: Challenges and opportunities. *Life Sciences in Space Research*, 29(February), 30–37. doi.org/10.1016/j.lssr.2021.02.005
- Department of Land Development. (2010). Soil Chemical Analysis Process. Retrieved April 1, 2022, from <https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>.
- Faculty of the Department of Soil Science (1998). Introduction to Soil Science. Print the 8th time, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University.
- Huang, L., Dong, B. C., Xue, W., Peng, Y. K., Zhang, M. X., & Yu, F. H. (2013). Soil Particle Heterogeneity Affects the Growth of a Rhizomatous Wetland Plant. *PLoS ONE*, 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069836>
- Ilay, R., Kavdir, Y., & Sümer, A. (2013). The effect of olive oil solid waste application on soil properties and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Int'l Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.07.008>
- Pakthongchai, J. (2020). Cellulose film mixed with micropencapsulation of essential oil to prolong the storability longkong (*Aglaia dookoo* Griff.), Master of science (Organic Farming Management), Thammasat University, Thailand.
- Jurga, M., Martin, K., Piret, L., Svetlana, M., Ingrida, P. L., Darius, S., & Asta, U. (2013). *Botanica lithuanica*. 19(1), 3–7.
- Kasiviswanathan, P., Swanner, ED., Halverson, L.J., Vijayapalani, P. (2022). Farming on Mars: Treatment of basaltic regolith soil and briny water simulants sustains plant growth. *PLoS ONE* 17(8): e0272209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.e0272209>
- Kong-ek Siri-Ngam (2014). Effect of potassium on the physiological response of lettuce grown in soilless system. *Phranakhon Rajabhat Research Journal* 9 (1) January-June 2014.
- Neves, J. M., Ramanathan, S., Suraneni, P., Grugel, R., & Radlinska, A. (2020). Characterization, mechanical properties, and microstructural development of lunar regolith simulants-portland cement blended mixtures. *Construction and Building Materials*, 258(2020), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120315>
- Verma, D. K., Patel, S., & Kushwah, K. S. (2020). Effects of Nanoparticles on Seed Germination, Growth, Phytotoxicity and Crop Improvement. *Agricultural Reviews*. doi.org/10.18805/ag.r-1964
- Wamelink GWW, Frissel JY, Krijnen WHJ, Verwoert MR, Goedhart PW (2014) Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. *PLoS ONE* 9(8): e103138. doi:10.1371/journal.pone.0103138
- Zang, B. et al. (2022). Encapsulation of Capsaicin in Whey Protein and OSA-Modified Starch Using Spray-Drying: Physicochemical Properties and Its Stability. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods11040612>
- Zang, B. et al. (2022). Fabrication and Characterization of Whey Protein—Citrate Mung Bean Starch—Capsaicin Microcapsules by Spray Drying with Improved Stability and Solubility. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods11071049>

### Acknowledgements

Thank you to Miss Tichakorn Satcharoen, the project advisor, Miss Pradap Mesawat, Miss Jiraporn Pakthongchai, Dr. Tadphong Tulayanont, and Associate Professor Dr. Vilawan Cheuboon for their consultation and assistance in conducting the research.

Special thanks to Dr. Weraset Jancharoen and Space Zab Co., Ltd. for providing the simulated lunar soil sample, TLS-01, for the study in this project.

We would also like to express our gratitude to the "Young Scientist Competition 2022" for providing funding and supporting the experimentation.

# การปรับปรุงคุณภาพของดินดวงจันทร์จำลอง (TLS-01) เพื่อความมั่นคงด้านอาหารแห่งอนาคต

ฐิติวัฒน์ จิระศิริโชติ และ ปราชญา เกียรติภูมิชัยศิริ  
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย ปทุมธานี  
51 หมู่ 6 ตำบลบ่อเงิน อ.ลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140  
อีเมลล์ : thitiwat.jir@pccp.ac.th, prachya.kia@pccp.ac.th

## บทคัดย่อ

ด้วยความก้าวหน้าของการศึกษาทางด้านอวกาศ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์มีแนวคิดใช้ดินจากดวงจันทร์เป็นสารตั้งต้นในการเกษตรกรรมยังต่างดาว เพื่อเป็นแนวทางสร้างความมั่นคงด้านอาหารแห่งอนาคตให้กับมนุษยชาติ เมื่อต้องเปลี่ยนที่อยู่อาศัย จึงนำดินดวงจันทร์จำลอง Thailand artificial lunar regolith Simulant (TLS-01) ผลิตโดยบริษัทสเปซ แชน จำกัด โดยใช้ทานตะวัน (*Helianthus annuus L.*) เป็นพืชทดสอบ พบว่า ดิน TLS-01 สามารถปลูกพืชได้ แต่มีลักษณะทางกายภาพไม่เหมาะสม จึงปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยไมโครแคปซูลชีวมิติและขุยมะพร้าว เพื่อให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช พบว่าสัดส่วน ดิน TLS-01:ขุยมะพร้าว (1:1) ร่วมกับการเติมสารชีวมิติ 2 เท่าของอัตราแนะนำสามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวันมีเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการเจริญเติบโต เท่ากับ 85% และ 6.62 ซึ่งส่งเสริมการเจริญเติบโตได้เทียบเท่าดินทางการเกษตร ทั้งนี้ การปลดปล่อยสารชีวมิติจากไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้ม Whey Protein Isolate (WPI) และ Gum Arabic (GA) พบว่า สอดคล้องกับการแพร่แบบฟิกเกียน และ จากการทดสอบประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูลชีวมิติที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI และ GA พบว่าประสิทธิภาพในการห่อหุ้มคิดเป็น 90 และ 88 % ตามลำดับ

**คำสำคัญ** ดินดวงจันทร์จำลอง (TLS-01), ต้นอ่อนทานตะวัน, ไมโครแคปซูล, ขุยมะพร้าว, สารชีวมิติ

## 1. บทนำ

ตลอดหลายปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์มีการศึกษาการทดลองปลูกพืชในสถานีอวกาศจำนวนมาก เช่น งานวิจัยโดย De Pascale et al., (2021) ที่ศึกษาเรื่องความท้าทายและโอกาสผลิตพืชในสภาพแวดล้อมอวกาศ พบว่า พืชที่ควรปลูกในอวกาศ คือ พืช “microgreen” ที่เจริญเติบโตเร็วและแตกใบภายใน 1-2 สัปดาห์หลังปลูก เช่น พืชในวงศ์พลับพลึง บานไม่รู้โรย รวมถึงพืชในวงศ์ทานตะวัน อีกทั้งกิจการด้านอวกาศมีต้นทุนการขนส่งมหาศาล จึงมีแนวคิดที่จะใช้ดินจากดวงจันทร์เป็นสารตั้งต้นในการเกษตรกรรมยังต่างดาว (astroculture) นอกจากนี้ Chang & Ann, (2019) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างดินดวงจันทร์ที่เก็บรวบรวมจากโครงการอะพอลโล พบว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาแนวทางนำดินจากดวงจันทร์มาใช้ในการปลูกพืช ทำให้องค์การอวกาศนานาชาติประเทศเล็งเห็นถึงความสำคัญจึงพัฒนาดิน

ดวงจันทร์จำลองของชาติตนเองขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาการเพาะปลูกพืชบนดวงจันทร์ เช่น ดินดวงจันทร์จำลอง JSC-1A ของประเทศญี่ปุ่น รวมถึงประเทศไทยก็ได้พัฒนาดินดวงจันทร์จำลอง TLS-01 โดยบริษัทสเปซ แชน จำกัด

ทานตะวัน (*Helianthus annuus L.*) เป็นหนึ่งในผักรับประทานสดที่ได้รับความนิยม มีสารที่มีคุณค่าทางอาหารหลายชนิด จากเหตุผลข้างต้น ทางคณะผู้จัดทำโครงการค้นคว้า จึงนำดิน TLS-01 มาทดสอบปลูกต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า พืชสามารถเจริญเติบโตได้แต่คุณภาพของพืชไม่สมบูรณ์ตามลักษณะทางสรีรวิทยา เนื่องจากดินดังกล่าวมีลักษณะเป็นผงคล้ายซีเมนต์ และเมื่อผสมน้ำจะยึดเกาะตัวกันแน่น ทำให้ระบายน้ำไม่ดี รวมทั้งมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ ในปัจจุบันมีวิธีการปรับปรุงดิน ดวงจันทร์จำลองหลากหลายรูปแบบ เช่น การเติมยิปซัม ( $\text{CaSO}_4$ ) ในดินดวงจันทร์จำลองเพื่อการปลูกมะเขือ

เทศราชินี (Wamelink et al., 2014) การเติมไฮยาโนแบคทีเรีย *Synechococcus* Sp. สายพันธุ์ PCC 7002 ในดินดวงจันทร์จำลองเพื่อการปลูกหัวผักกาดแรดิช ผักกาดหอม และ อัลฟัลฟา (Kasiviswanathan et al., 2022) เป็นต้น ทางคณะผู้จัดทำคำนึงถึงความสะดวกต่อการขนส่งในอุตสาหกรรมอวกาศ และการประยุกต์ใช้ จึงพัฒนาสารชีวโมลเป็นไมโครแคปซูลด้วยกระบวนการเอนแคปซูลชัน และนำขุยมะพร้าวมาปรับปรุง

เนื่องจาก เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีน้ำหนักเบา และสามารถนำมาทดแทนวัสดุปลูกที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อลดต้นทุนในการผลิตได้ จึงเป็นที่มาของแนวทางการปรับปรุงคุณภาพทั้งด้านกายภาพและเคมีด้วยไมโครแคปซูลชีวโมลและขุยมะพร้าว เพื่อให้เหมาะสมต่อการปลูกต้นอ่อนทานตะวันเพื่อสร้างแหล่งอาหาร (พืชสด) ให้กับนักบินอวกาศ

## 2. วิธีการทดลอง

### การศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการของดิน TLS-01

นำตัวอย่างดินเข้าเครื่องเคลือบตัวอย่างด้วยผงโลหะ ด้วยเครื่อง HITACHI E102 Ion Sputter จากนั้นนำตัวอย่างที่เคลือบเสร็จมาวิเคราะห์รูปร่างและเปรียบเทียบขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำตัวอย่างดิน TLS-01 มาวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายตัวขององค์ประกอบทางเคมีด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืช

### ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน TLS-01 เพื่อการเพาะต้นอ่อนทานตะวัน

วางแผนการทดลองแบบ 6X3 Factorial in CRD ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 ชนิดวัสดุปลูก ประกอบด้วย 1) ดิน TLS-01 2) ขุยมะพร้าว 3) ดินทราย 4) ดินทางการเกษตร 5) ดิน TLS-01 ผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 และ 6) ดิน TLS-01 ผสมทราย อัตราส่วน 1:1 และปัจจัยที่ 2 ปริมาณสารชีวโมล ประกอบด้วย 1) ความเข้มข้นอัตราแนะนำ (อัตราแนะนำ ฮิวมิก 1 มล./น้ำ 1 ลิตร) 2) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า และ 3) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า เติมสารฮิวมิกในปริมาณ

ที่แตกต่างกันหลุมละ 20 มิลลิลิตร ปิดฝาภาชนะรดน้ำทุกวัน ประเมินประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ดังนี้ 1) ความยาวลำต้น 2) ความยาวราก 3) พื้นที่ใบ และ 4) น้ำหนักสดของผลผลิต หลังทดสอบ 3 วัน จากนั้นคำนวณดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโต (Growth parameter) ของต้นอ่อนทานตะวันด้วยสมการดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโต (Growth parameter) ของต้นอ่อนทานตะวันด้วยสมการดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโต (Growth parameter) = (ความยาวลำต้น + ความยาวราก + พื้นที่ใบ + น้ำหนักสดของผลผลิต) / 4 (Chuaboon et al., 2008) โดยมีรายละเอียดชุดทดลอง ดังตารางที่ 1

### ทดสอบประสิทธิภาพการเพาะต้นอ่อนทานตะวันของดิน TLS 01 เทียบกับดินทางการเกษตร

นำต้นอ่อนทานตะวันไปวัดความยาวลำต้นเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ย และความยาวรากเฉลี่ย ด้วยโปรแกรม ImageJ Fiji บันทึกจำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละกล่องปลูกของแต่ละวัน เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นอ่อนทานตะวันครั้งแรก (first count) เมื่ออายุ 5 วัน และครั้งสุดท้าย (final count) เมื่ออายุ 10 วัน

Code	Treatment details <sup>1,2</sup>
T1	ดิน TLS-01+ ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T2	ดิน TLS-01+ ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T3	ดิน TLS-01+ ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T4	ขุยมะพร้าว + ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T5	ขุยมะพร้าว + ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T6	ขุยมะพร้าว + ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T7	ดินทราย + ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T8	ดินทราย + ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T9	ดินทราย + ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T10	ดินทางการเกษตร + ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T11	ดินทางการเกษตร + ฮิวมิกความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T12	ดินทางการเกษตร + ฮิวมิกความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T13	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T14	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ฮิวมิกเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T15	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ฮิวมิกเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T16	ดิน TLS-01 : ทราย (1:1) + ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T17	ดิน TLS-01 : ทราย (1:1) + ฮิวมิกเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T18	ดิน TLS-01 : ทราย (1:1) + ฮิวมิกเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า

ตารางที่ 1 รายละเอียดชุดทดลอง. <sup>1,2</sup> Humic substance (ฮิวมิกน้ำ ตราทองกวาว) อัตราแนะนำ (ฮิวมิก 1 มล./น้ำ 1 ลิตร)



น้ำหนักสดซึ่งโดยนำต้นอ่อนทานตะวันไปซังบนเครื่องซัง ส่วนน้ำหนักแห้งซึ่งโดยนำต้นอ่อนทานตะวันมาอบให้น้ำระเหยไปจนหมดด้วยตู้อบเพื่อให้เหลือแต่น้ำหนักแห้งที่แท้จริง และซังบนเครื่องซัง

บดตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซังน้ำหนักและนำตัวอย่างที่ได้บรรจุไว้ในหลอด conical tube แยกประเภทตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชด้วยเครื่อง Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES) และเครื่อง Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)

ย่อยตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันโดยการเติม  $\text{HNO}_3$  และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  แล้วนำสารไปใส่ใน microwave digestion vessel rotor MAXI-44 ของเครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ (microwave digestion) นำสารละลายที่ได้ไปเจือจางแล้ววัดปริมาณแร่ธาตุ Fe และ P ด้วยเครื่อง MP-AES และนำสารไปวัดปริมาณแร่ธาตุ Na, Mg, Al, K, Ca, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag, Cd และ Pb ด้วยเครื่อง ICP-MS

### ลักษณะไมโครแคปซูลชีวมิติและการเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยการใช้ชีวมิติในรูปแบบต่างๆ

เตรียมไมโครแคปซูลชีวมิติผ่านกระบวนการเอนแคปซูลเลชันจากพอลิเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ polyvinyl alcohol (PVA), gum arabic (GA) และ whey protein isolate (WPI) ละลายสารห่อหุ้มแต่ละชนิดในน้ำ DI ทิ้งไว้ 1 คืน เติม Tween 80 ลงในสารละลายสารห่อหุ้ม นำชีวมิติเติมน้ำ DI ทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายสารห่อหุ้มผสมกับชีวมิติในอัตราส่วน 1:2 (v/w) และทำให้แห้งด้วยเครื่อง Freeze dried ที่  $-20^\circ\text{C}$

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูล เช่น สี กลิ่น เนื้อสัมผัส ลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเครื่อง Benchtop scanning electron microscope (Benchtop SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JCM-6000 ที่กำลังขยาย 200X (Pakthongchai, 2020)

นำชีวมิติห่อด้วยถุงเซลโลเฟนที่มีสารละลาย Tween 80 ความเข้มข้น 0.1 M เขย่าเมื่อเวลาต่างๆ นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว

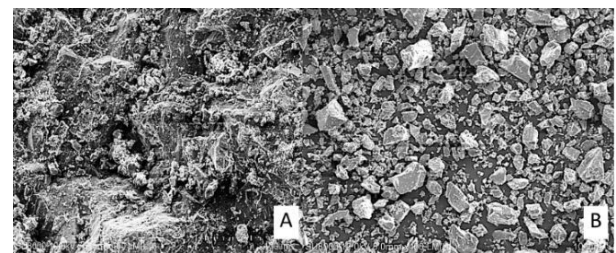
คลื่น 254 nm-คำนวณค่าการปลดปล่อยสารที่ได้ด้วยสมการของ Ritger-Peppas (Pakthongchai, 2020)

สกัดชีวมิติที่ผิวไมโครแคปซูล กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารที่กรองได้ระเหยด้วยเครื่อง Rotary evaporation สกัดสารชีวมิติทั้งหมดของไมโครแคปซูล โดยนำไมโครแคปซูลผสมกับไดคลอโรมีเทน และเมทานอล และคำนวณประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูล สกัดสารชีวมิติทั้งหมดของไมโครแคปซูล โดยผสมกับไดคลอโรมีเทน เมทานอลและคำนวณประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูล ตามวิธีการของ Jiraporn Pakthongchai, (2020)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1 ชนิดวัสดุปลูก ประกอบด้วย ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) และ ปัจจัยที่ 2 ปริมาณสารชีวมิติ ประกอบด้วย 1) ความเข้มข้นอัตราแนะนำ 2) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า และ 3) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 6 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด (ตารางที่ 6) และคำนวณดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโตเหมือนเดิมทุกประการ

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายการทดลอง การศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการของดิน TLS-01

จากการวิเคราะห์รูปร่างและเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของดิน TLS-01 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งอนุภาคมีการกระจายตัวสม่ำเสมอไม่เกาะกลุ่ม (ภาพที่ 1) เช่นเดียวกับขนาดอนุภาคของดินดวงจันทร์จำลอง JSC-1A และดินดวงจันทร์จากโครงการอะพอลโลและโครงการลูนา (Neves et al., 2020 ; Goulas et al., 2019) ดังนั้น ดิน TLS-01 ที่นำมาเพาะต้นอ่อน



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของอนุภาคของดิน TLS-01 กำลังขยาย 400x แบบไม่บด (A) และบด (B)

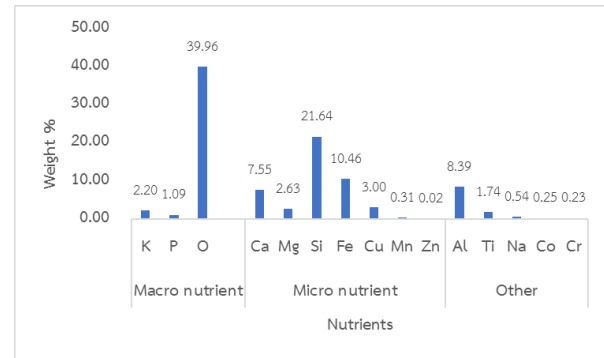
สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์	การแปลผล*
1. ความเป็นกรด-ด่าง	5.6	กรดปานกลาง
2. ค่าการนำไฟฟ้า	0.09 dS/m	ไม่เค็ม ไม่เป็นอันตรายต่อพืช
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	2.25 %	ปานกลาง
4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	1.17 %	ปานกลาง
5. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	18.8 mg/kg	ปานกลาง
6. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	207 mg/kg	สูงมาก
7. ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	388 mg/kg	ปานกลาง

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืช (Department of Land Development, (2010); Faculty of the Department of Soil Science, (1998))

ทานตะวันในการศึกษานี้ จึงมีขนาดอนุภาคเม็ดดินใกล้เคียงกับผลการศึกษานี้ ทั้งนี้ขนาดของอนุภาคขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของดินโดยพบว่าดินดวงจันทร์จำลอง TLS-01 มีความหนาแน่นของดินก่อนบด และหลังบด เท่ากับ 1.72 และ 2.30 g/cm<sup>3</sup> ตามลำดับ และไม่มีสมรรถนะการอุ้มน้ำสูงสุดของดิน คุณสมบัติข้างต้นแสดงให้เห็นว่าลักษณะทางกายภาพของดิน TLS-01 มีลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดิน TLS-01 พบว่าประกอบด้วยธาตุ 15 ชนิดแบ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และธาตุอาหารรอง 2 ธาตุ (ภาพที่ 2) นอกจากนี้ พบว่าผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชได้ผลดังตารางที่ 2 ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่า ดิน TLS-01 เป็นที่มีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืช โดยเฉพาะมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ปริมาณสูงมาก ค่าต่างๆเหล่านี้ เป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินที่นำมาเพาะ ซึ่งค่า pH ของดินที่ต้นอ่อนต้องการ ต้องเป็นกลาง 5.5 - 6.5 โดยค่า pH ที่วัดได้แสดงถึงว่าดิน TLS-01สามารถนำมาเพาะต้นอ่อนทานตะวันได้ (Chinsaen, et al., (2018); Siri-Ngam (2014))

**ประสิทธิภาพการเพาะต้นอ่อนทานตะวันของดิน TLS 01 เทียบกับดินทางการเกษตร**

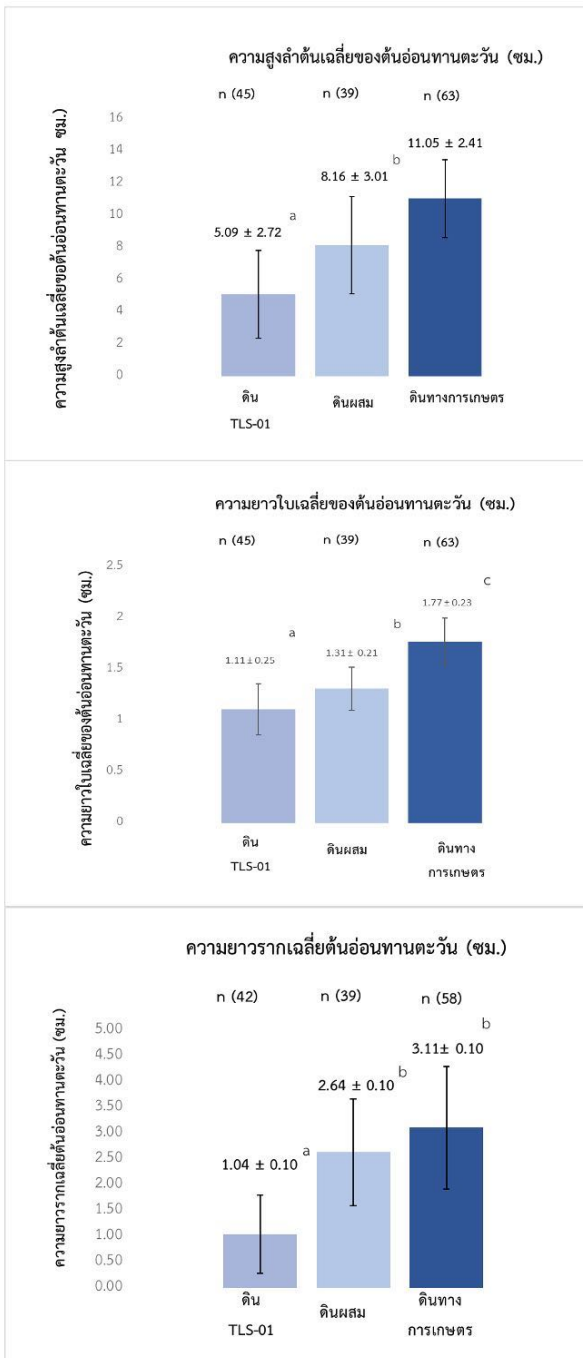


ภาพที่ 2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดิน TLS-01 โดย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX)

ต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดินทางการเกษตร มีเปอร์เซ็นต์การงอกในแต่ละวัน ความสูงลำต้นเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ย ความยาวราก และ น้ำหนัก เฉลี่ยมากที่สุด (ภาพที่ 3, ตาราง 3 และ 4) รองลงมา คือ ต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดินผสม และ ดิน TLS-01 ในทางกลับกัน อนุภาคนาโน SiO<sub>2</sub> ในดิน TLS-01 มีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการงอก และอาจส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตและผลผลิตที่มากขึ้นของต้นทานตะวัน (Sabaghnia et al., 2018; Sabaghnia & Janmohammadi, 2017) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO<sub>2</sub> ในดินที่เพาะ (Jurga et al, 2013) รวมถึงเพิ่มความยาวรากและลำต้น นอกจากนี้ อนุภาคของธาตุ Fe ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดลดลง (Verma et al., 2020) ซึ่งงานวิจัยของ Ilay et al., (2013) พบว่า เมื่อเพาะต้นทานตะวันด้วยดินร่วนเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินทางการเกษตรในงานวิจัยนี้ มีแนวโน้มว่า เมื่อคณะผู้จัดทำเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยดินทางการเกษตรในระยะเวลาที่นานขึ้น ต้นอ่อนทานตะวัน จะมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น

**ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน TLS-01 เพื่อการเพาะต้นอ่อนทานตะวัน**

วัสดุปลูกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความเข้มข้นของสารฮิวมิคไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดิน TLS-01 ผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 และเติมสารฮิวมิคความเข้มข้น 2 เท่า ของอัตราแนะนำ (อัตราแนะนำ ฮิวมิค 1 มล./น้ำ 1 ลิตร) สามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวัน มีเปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีการเจริญเติบโต เท่ากับ 85% และ 6.62 หลังปรับปรุงคุณสมบัติทั้งด้านกายภาพ



**ภาพที่ 3** ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงลำต้น ความยาวรากเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ยของต้นอ่อนทานตะวัน (ซม.) ต่อประเภทดินที่ใช้เพาะต้นอ่อนทานตะวัน

และเคมีของดินส่งผลให้การเพาะด้วยดิน TLS-01 มีคุณลักษณะที่ดีขึ้นโดยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันได้ดีเทียบเท่าดินทางการเกษตร ( $p \leq 0.05$ ) โดยดินทางการเกษตรมี Growth parameter เท่ากับ 8.29 (ภาพที่ 5) การเพาะด้วยดิน TLS-01 : ชุมมะพร้าว (1:1) สามารถลดข้อต่อยทางกายภาพของดิน TLS-01 ที่มีสมรรถนะ

ประเภทดินที่ใช้เพาะต้นอ่อนทานตะวัน	น้ำหนักใบเฉลี่ย (g)	น้ำหนักลำต้นเฉลี่ย (g)	น้ำหนักรวมเฉลี่ย (g)
ดิน TLS-01	0.230	0.222	0.452
ดินผสม	0.216	0.193	0.409
ดินทางการเกษตร	0.363	0.345	0.707

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักสดของใบ ลำต้นเฉลี่ย และน้ำหนักเฉลี่ยรวมของต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะในดินแต่ละประเภท

ประเภทดินที่ใช้เพาะต้นอ่อนทานตะวัน	น้ำหนักใบเฉลี่ย (g)	น้ำหนักลำต้นเฉลี่ย (g)	น้ำหนักรวมเฉลี่ย (g)
ดิน TLS-01	0.036	0.015	0.051
ดินผสม	0.025	0.019	0.044
ดินทางการเกษตร	0.038	0.037	0.075

**ตารางที่ 4** แสดงน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้นเฉลี่ย และน้ำหนักเฉลี่ยรวมของต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะในดินแต่ละประเภท

การอุ้มน้ำต่ำ และลดการจับตัวเป็นก้อนทำให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนช่องบรรจุอากาศ (air-filled porosity) ของวัสดุปลูกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ธาตุอาหารในเม็ดดินละลายตัวและเป็นประโยชน์กับพืชได้สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเติม ฮิวมิคความเข้มข้นต่าง ๆ ในวัสดุปลูกทุกชนิดพบว่าให้ประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญของต้นทานตะวันอ่อนได้ดีไม่แตกต่างกัน จากคุณสมบัติทางเคมีของดิน TLS-01 มีองค์ประกอบธาตุสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชค่อนข้างดี แต่ไม่สามารถปลดปล่อยออกมาได้เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่เหมาะสม และการเติมฮิวมิคช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารได้มากขึ้น พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับ TLS-01 ก่อนปรับปรุง (ภาพที่ 4A) โดยทั้งสองสภาวะนี้ถูกควบคุมอยู่ในสภาวะเดียวกันทุกประการ เช่น แสง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำจำนวนเมล็ดที่เพาะที่เหมือนกัน อีกทั้งสารฮิวมิคเพิ่มความสามารถในการซึมซับน้ำและความพรุนของดินได้ ตลอดจนมีส่วนช่วยปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน โดยเป็นแหล่งของธาตุอาหาร และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชและจุลินทรีย์ (ตารางที่ 5)

วัสดุปลูก (A)	Concentration of humic substance (B)			Average <sup>2/</sup>
	B1	B2	B3	
1) ดิน TLS-01	5.31	6.36	5.88	5.85b
2) ขุยมะพร้าว	4.26	3.96	3.94	4.05c
3) ดินทราย	6.82	9.81	7.74	8.12a
4) ดินทางการเกษตร	5.86	6.08	6.01	5.98b
5) ดิน TLS-01: ขุยมะพร้าว (1:1)	7.45	8.54	6.10	7.36a
6) ดิน TLS-01: ทราย (1:1)	4.33	5.59	3.20	4.37c
Average	5.67	6.73	5.48	
F-Test				
A			*	
B			ns	
AXB			ns	

**ตารางที่ 5** การวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูก(A) และปริมาณสารฮิวมิก (B) <sup>1/</sup> ns=Not significant, \*= Significant at 95% confidence level.

1/ B1= ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ, B2= ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า, และ B3= ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า

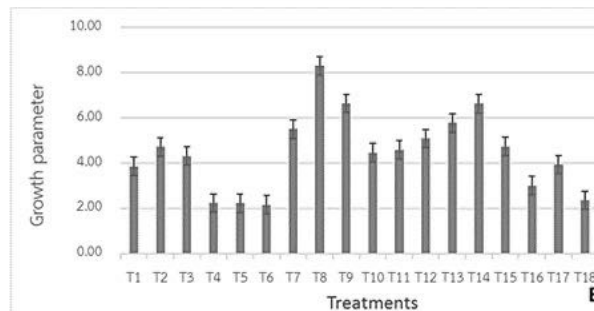
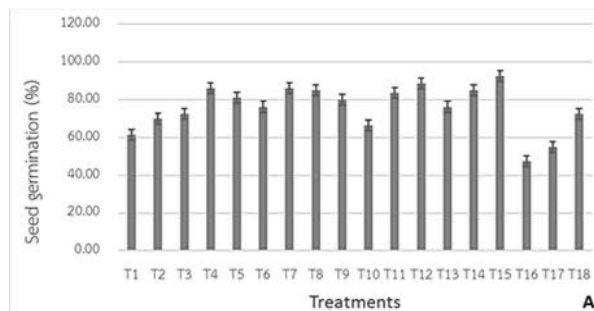
2/ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกัน คือ ไม่มีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$  โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทวัสดุปลูก

**ลักษณะไมโครแคปซูลฮิวมิกและการเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยการใช้ฮิวมิกในรูปแบบต่างๆ**

ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม Gum Arabic (GA) มีสีผงสีน้ำตาลเข้ม ขณะที่ไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม Whey protein isolate (WPI) เป็นเกล็ดสีน้ำตาล ขณะเดียวกันไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม PVA มีลักษณะเป็นโพลีสีน้ำตาลซึ่งไม่สามารถมองเห็นลักษณะได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เนื่องจากคุณสมบัติในการขึ้นรูปไม่ได้ เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 4 เท่า พบว่า ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วย WPI และ GA มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำเหมือนแผ่นแยกชิ้นส่วนออกจากกัน ส่วนกำลังขยาย 10 เท่า มีลักษณะคล้ายเหมือนแผ่นหลายชั้นที่มีรูปร่างผิดปกติ ส่วนการศึกษาลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า



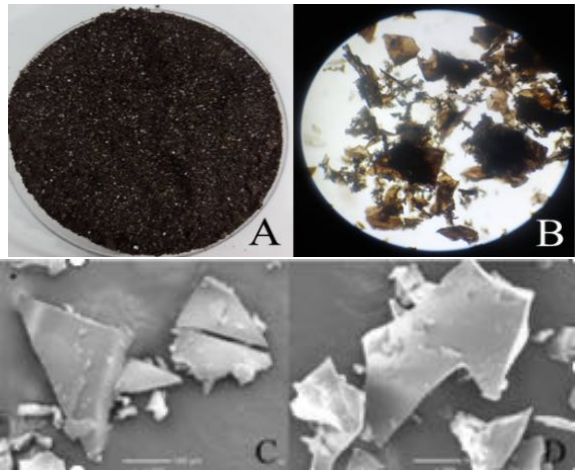
**ภาพที่ 4** ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยดิน TLS-01 (A) เปรียบเทียบกับดินทางการเกษตร (B) ก่อนการปรับปรุงคุณภาพดิน



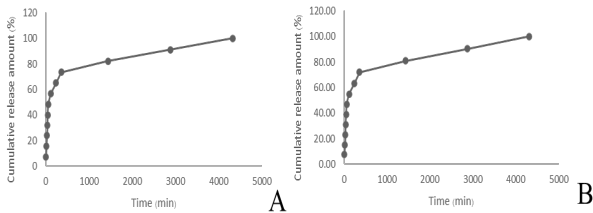
**ภาพที่ 5** ประสิทธิภาพของดิน TLS-01 หลังการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพและธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูก A) เปอร์เซ็นต์การงอก และ B) ดัชนีการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน

ไมโครแคปซูลฮิวมิกแบบห่อหุ้ม WPI และ GA (ภาพที่ 6) มีลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลแบบแผ่นที่มีพื้นผิวเรียบ ไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.6033 และมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (diffusion exponent) เท่ากับ 0.0027 ตรงกับการแพร่แบบฟิกเกียน ซึ่งเป็นการแพร่จากความเข้มข้นมากไปความเข้มข้นน้อย โดยที่ระยะเวลาก่อน 360 นาที มีการปลดปล่อยสารฮิวมิกออกมา 73.50 % และหลังจากนั้นมีการปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ส่วนไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม GA มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.5846 และมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (diffusion exponent) เท่ากับ 0.0214 ตรงกับการแพร่แบบฟิกเกียน ซึ่งเป็นการแพร่จากความเข้มข้นมากไปความเข้มข้น





ภาพที่ 6 สารชีวโมเลกุลห่อหุ้มแคปซูล A) ภาพไมโครแคปซูลห่อหุ้มชีวโมเลกุลภายใต้ 4X B) และภายใต้กล้อง Benchtop SEM ที่กำลังขยาย 200x C) สารห่อหุ้ม WPI และ D) สารห่อหุ้ม GA



ภาพที่ 7 จลนศาสตร์การปลดปล่อยของชีวโมเลกุลจากไมโครแคปซูลสารห่อหุ้ม WPI (A) และ GA (B)

น้อย โดยที่ระยะเวลาก่อน 360 นาที มีการปลดปล่อยสารชีวโมเลกุลออกมา 72 % และหลังจากนั้นมีการปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ (ภาพที่ 7)

จากการทดสอบประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI และ GA พบว่าประสิทธิภาพในการห่อหุ้มคิดเป็น 90 และ 88 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zang, B. et al. (2022) เรื่อง Encapsulation of Capsaicin in Whey Protein ที่ว่า Gum Arabic มีความสามารถในการทำให้เป็นอิมัลชันและคงตัวในขั้นตอนการห่อหุ้ม นอกจากนี้ยังสามารถสร้างชั้นห่อหุ้มรอบ ๆ สารแกนกลางซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของกัมอาร์บิกที่เพิ่มขึ้นในวัสดุเคลือบ และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zang, B. et al. (2022) เรื่อง Fabrication and Characterization of Whey Protein. ในส่วนของการเลือกใช้สารห่อหุ้ม WPI เพียงอย่างเดียว ( เทียบเท่ากับชุดการทดลอง WPI:OS = 10:0 ในงานวิจัยข้างต้น) ซึ่งจากการศึกษาของ พบว่าประสิทธิภาพ

Code	Treatment details <sup>1/</sup>	Germination index <sup>2/</sup>
T1	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ชีวโมเลกุลความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 1 เท่า	9.49a
T2	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI ความเข้มข้นอัตราแนะนำ	8.07b
T3	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 1 เท่า	8.71ab
T4	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 2 เท่า	7.67b
T5	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม GA ความเข้มข้นอัตราแนะนำ	7.73b
T6	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม GA ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 1 เท่า	8.59ab
T7	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม GA ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 2 เท่า	8.15b

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของดัชนีการงอกในแต่ละชุดการทดลองหลังจากใช้ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลรูปแบบต่างๆ

<sup>1/</sup>WPI is whey protein isolate, GA is gum arabic.

<sup>2/</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกัน คือ ไม่มีนัยสำคัญที่ p≤0.05 โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทวัสดุปลูก

การห่อหุ้มของไมโครแคปซูลสารแคปไซซินจากพริกที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI มีค่าอยู่ระหว่าง 50% ถึง 94 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างในงานวิจัยข้างต้นที่มีการผสมระหว่าง WP และ OS ที่อัตราส่วนน้ำหนักร้อยละ 10:0, 9:1 และ 7:3 ให้ผลที่มีความแตกต่างที่เห็นได้อย่างชัดเจน ดังนั้น จึงบ่งบอกถึงวัสดุที่มีความสามารถในการขึ้นของชั้นห่อหุ้มที่ดีเยี่ยม และ WP และ OS ด้วยอัตราส่วน 10:0, 9:1, และ 7:3 นำเสนอปฏิสัมพันธ์ที่ดี

เมื่อปรับปรุงการปลูกต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า การใช้สารชีวมิคความเข้มข้น 2 เท่าของอัตราที่แนะนำ เพิ่มในการทดลองดินดวงจันทร์จำลองด้วยใยมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 ให้ดัชนีความงอกสูงสุดที่ 9.49 รองลงมาคือการใช้ไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI มีดัชนีการงอก 8.71 และ ไมโครแคปซูลที่ใช้ชีวมิคโดยใช้สารห่อหุ้ม GA มีดัชนีการงอก 8.59 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยวิธีการที่กล่าวมาสามารถลดข้อจำกัดของดิน TLS-01 ได้ทั้งด้านกายภาพและเคมี โดยการใช้ไมโครแคปซูลชีวมิคที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI และ GA ความเข้มข้น 2 เท่าสามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวันมีการเจริญเติบโตได้ดีใกล้เคียงกับการใช้ชีวมิคนี้ ความเข้มข้น 2 เท่า

#### 4.สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยดิน TLS-01 สำหรับการเกษตรอวกาศ โดยต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดินทางการเกษตร มีเปอร์เซ็นต์การงอกในแต่ละวันมากที่สุด อยู่ที่  $68.00 \pm 3.70\%$  ในทางตรงกันข้าม ต้นอ่อนทานตะวันทั้งต้นที่เพาะด้วยดิน TLS-01 มีปริมาณรงควัตถุ และ มีร้อยละความเข้มข้นของธาตุ Na, Mg, Mn และ Cu โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) มากที่สุด การงอกจนถึงขนาดต้นอ่อนทานตะวันโดยรวม สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพดิน TLS-01 มีความเป็นไปได้ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน จึงปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและธาตุอาหารของดิน TLS-01 เพื่อการเพาะต้นอ่อนทานตะวันโดยใช้ขุยมะพร้าวร่วมกับสารชีวมิค พบว่า เมื่อเพาะด้วยดิน TLS-01 ผสมขุยมะพร้าวอัตราส่วน 1:1 และเติมสารชีวมิคความเข้มข้น 2 เท่าของอัตราแนะนำ สามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวัน มีเปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีการเจริญเติบโตได้ดีเทียบเท่าดินทางการเกษตร ลดข้อด้อยทางกายภาพของดิน TLS-01 ที่มีสมรรถนะการอุ้มน้ำต่ำ และลดการจับตัวเป็นก้อนได้

ต่อมาได้พัฒนาสารชีวมิคเป็นไมโครแคปซูลชีวมิค เนื่องจาก คำนึงถึงความสะดวกต่อการขนส่งในอวกาศและเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ผลการทดลอง พบว่า การใช้ไมโครแคปซูลชีวมิคที่มีการห่อหุ้ม WPI ผนวกความเข้มข้นชีวมิค 2 เท่าของอัตราที่แนะนำ สามารถส่งเสริมดัชนีการงอกของต้นอ่อนทานตะวันที่ใกล้เคียงกับชีวมิคนี้ที่ใช้ข้างต้น

พบว่า 73 % ของสารชีวมิคที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลถูกปล่อย

ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถนำแนวทางนี้ไปปรับคุณสมบัติของดินดวงจันทร์จริงให้มีความเหมาะสมกับการเพาะปลูกได้ในอนาคต เพื่อสร้างแหล่งอาหาร (พืชสด) ให้กับนักบินอวกาศ และเป็นแนวทางสร้างความมั่นคงด้านอาหารแห่งอนาคตให้กับมนุษยชาติเมื่อต้องเปลี่ยนที่อยู่อาศัยไปยังดวงจันทร์หรือดาวดวงอื่น หากโลกของเราถึงคราวสิ้นอายุขัย

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- Chang, B. C., & Ann, K. Y. (2019). Development of assessment methods of lunar soil simulants with respect to chemical composition. *Advances in Space Research*, 63(8), 2584–2597. doi.org/10.1016/j.asr.2019.01.015
- Chinsaen, T., K. Khamkula, N. Vejkama & K. Sangmanee (2018). Seed germination promotion yam with the way Hydropriming. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(1).
- Chuaboon, W., S. Kasem & Pratuangwong, S. (2007). Efficacy of beneficial bacteria in combination with natural biological substances in promoting growth and stimulating disease resistance of cauliflower production in field conditions. *Agriculture Housing* 30(5): 264-265.
- De Pascale, S., Arena, C., Aronne, G., De Micco, V., Pannico, A., Paradiso, R., & Roupheal, Y. (2021). Biology and crop production in Space environments: Challenges and opportunities. *Life Sciences in Space Research*, 29(February), 30–37. doi.org/10.1016/j.lssr.2021.02.005
- Department of Land Development. (2010). Soil Chemical Analysis Process. Retrieved April 1, 2022, from <https://www.ddd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>.
- Faculty of the Department of Soil Science (1998). *Introduction to Soil Science*. Print the 8th time, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University.

- Huang, L., Dong, B. C., Xue, W., Peng, Y. K., Zhang, M. X., & Yu, F. H. (2013). Soil Particle Heterogeneity Affects the Growth of a Rhizomatous Wetland Plant. *PLoS ONE*, 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069836>
- Ilay, R., Kavdir, Y., & Sümer, A. (2013). The effect of olive oil solid waste application on soil properties and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Int'l Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.07.008>
- Jiraporn Pakthongchai (2020). Cellulose film mixed with micropencapsulation of essential oil to prolong the storability longkong (*Aglaia dookoo* Griff.), Master of science (Organic Farming Management), Thammasat University, Thailand.
- Jurga, M., Martin, K., Piret, L., Svetlana, M., Ingrida, P. L., Darius, S., & Asta, U. (2013). *Botanica lithuanica*. 19(1), 3–7.
- Kasiviswanathan, P., Swanner, ED., Halverson, L.J., Vijayapalani, P. (2022). Farming on Mars: Treatment of basaltic regolith soil and briny water simulants sustains plant growth. *PLoS ONE* 17(8): e0272209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.e0272209>
- Kong-ek Siri-Ngam (2014). Effect of potassium on the physiological response of lettuce grown in soilless system. *Phranakhon Rajabhat Research Journal* 9 (1) January-June 2014.
- Neves, J. M., Ramanathan, S., Suraneni, P., Grugel, R., & Radlinska, A. (2020). Characterization, mechanical properties, and microstructural development of lunar regolith simulant-portland cement blended mixtures. *Construction and Building Materials*, 258(2020), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120315>
- Verma, D. K., Patel, S., & Kushwah, K. S. (2020). Effects of Nanoparticles on Seed Germination, Growth, Phytotoxicity and Crop Improvement. *Agricultural Reviews*. [doi.org/10.18805/ag.r-1964](https://doi.org/10.18805/ag.r-1964)
- Wamelink GWW, Frissel JY, Krijnen WHJ, Verwoert MR, Goedhart PW (2014) Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. *PLoS ONE* 9(8): e103138. [doi:10.1371/journal.pone.0103138](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103138)
- Zang, B. et al. (2022). Encapsulation of Capsaicin in Whey Protein and OSA-Modified Starch Using Spray-Drying: Physicochemical Properties and Its Stability. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods11040612>
- Zang, B. et al. (2022). Fabrication and Characterization of Whey Protein–Citrate Mung Bean Starch–Capsaicin Microcapsules by Spray Drying with Improved Stability and Solubility. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods11071049>

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นางสาวทิวากร สัตย์จริง ครูที่ปรึกษาโครงการ นางสาวประดับ มีสวัสดิ์ นางสาวจิราภรณ์ ปักธงไชย ดร. ทัญพงษ์ ตูยานนท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวรรณ เชื้อบุญ สำหรับการให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.วเรศ จันทร์เจริญ และบริษัทสเปซ แชนบ จำกัด ที่มอบตัวอย่างดินดวงจันทร์จำลอง TLS-01 เพื่อใช้ศึกษาในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณ “การประกวดโครงการของนักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์ ครั้งที่ 24” (Young Scientist Competition 2022) ที่มอบทุนและสนับสนุนการทดลอง

## Using Extracts of Coconut Palm Leaves and Shoots as Lure for Rhinoceros Beetles: A Preliminary Study

Fairus Jansanit and Wessarat Phakaew  
Chulabhorn Science High School, Satun  
Chalung, Mueang Satun, Satun Province, 91140  
Email : Fairus052547@gmail.com

### Abstract

Coconut palm pest infestation is a major problem for farmers. The rhinoceros beetle is a common pest. Severe infestations of rhinoceros beetles can even result in coconut trees dying. Synthetic rhinoceros beetle pheromones, used to lure rhinoceros beetles into traps, are commercially available but are expensive. Here the possibility of deriving extracts from parts of the coconut palm to use as lures to replace the commercially available lure was studied. Extracts were derived from the leaves and the young shoot of the coconut palm and tested for their ability to lure rhinoceros beetles, with the commercially available lure used as a control in the tests. It was found that extracts from coconut shoot were effective in attracting rhinoceros beetles at a level similar to synthetic rhinoceros beetle pheromones. The use of extracts from coconut shoot in place of commercially available synthetic rhinoceros beetle pheromones is therefore recommended as a low-cost and environmentally friendly alternative for coconut farmers.

**Keywords:** rhinoceros beetle, lure, coconut shoot extract, synthetic pheromones

### 1. INTRODUCTION

Coconuts are an important cash crop in Thailand, and have always been important in the life and culture of the Thai people. Coconuts are an important factor in Thai cuisine. Uncontrolled coconut pest outbreaks have resulted in the land area under coconut cultivation being reduced and converted to other crops such as sugar cane and rubber. The longevity of coconut palms makes controlling pest populations more difficult, and results in the area of pest infestations increasing. The resulting damage to coconut plantations has resulted in a decline in coconut yields to a point where coconut production is insufficient to meet demand. (Thai PBS, 2012).

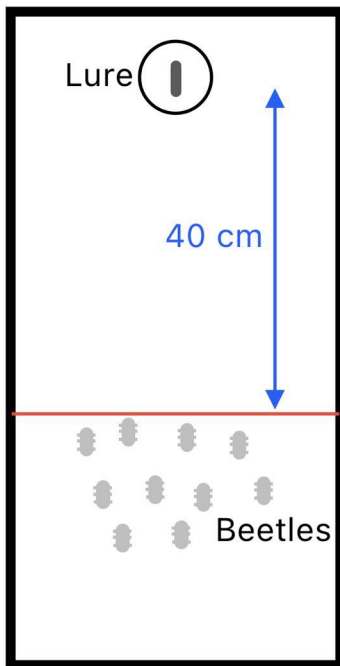
Rhinoceros beetle (*Oryctes rhinoceros*) infestation is a common problem for coconut farmers. Rhinoceros beetles damage coconut trees by boring into the heart of the crown, causing the coconut tree to eventually die. Research has shown that male rhinoceros beetles produce a mix of pheromones (aggregated pheromones) which attract both male and female beetles. The Pheromone ethyl 4-methyloctanoate (E4MO) can be used as a control

agent for rhinoceros beetles using mass trapping to control beetle populations, with the ratio of attracted male to female beetles being 1 to 3. (Purba, 2000)

Synthetic E4MO is a volatile liquid substance. It is typically sold in a bulb that can be slowly evaporated and released. The E4MO bulb will typically last approximately 12 weeks after the installation of the trap, depending on the temperature of the area. A study of trapping in Malaysia showed that 56 - 70 % of the rhinoceros beetles trapped are female, and that trapping can reduce the population of female rhinoceros beetles, especially when pregnant female rhinoceros beetles are trapped. ( Phiphat, 2007 )

Commercially available synthetic rhinoceros beetle pheromone is quite expensive, and is a significant cost for farmers when trying to prevent rhinoceros beetle infestations through trapping. The potential for using extracts from the coconut palm to replace the synthetic pheromone in trapping was therefore investigated, as a way of reducing farmer costs while still allowing them to control rhinoceros beetle infestations in coconut plantations.





**Figure 1.** Initial setup of the testing fields, with the lure at one end and the 10 beetles placed at least 40 cm away.



**Figure 2.** The beetles after 15 minutes, with 5 beetles within 40 cm of the shoot extract lure (trial 1).

**2. METHODS**

**Preparation of the extract from leaves and young coconut shoots**

Coconut leaves and young coconut shoot (heart of coconut) were kept at 40 °C for 24 hours to dry, and then thoroughly ground into a powder. A sample of 100 g of the coconut leaf powder was stirred into 500 ml of hexane, then covered and left for 24 hours. The same was done with the coconut shoot powder. After 24 hours, the mixture was filtered with a cloth, and then evaporated in a vacuum evaporator until only a viscous extract remained. The resulting extracts of coconut leaf and coconut shoot was stored at 4 °C.

**Testing Extract Luring Effectiveness**

Three experimental fields, 40 x 80 cm, were made using plastic sheets. Leaf extract, shoot extract, and synthetic pheromone were placed in a small dish approximately 10 cm from one end of each of the fields, and 10 rhinoceros beetles were placed a minimum of 40 cm from the dish, as shown in Figure 1. Fifteen minutes after the beetles were placed, the number of beetles that had moved to less than 40 cm from the lure were counted. The test was repeated three times.

**3. RESULTS AND DISCUSSION**

As can be seen in Figure 2, five beetles moved closer to the shoot extract in trial 1 (left) while only three beetles moved closer to the leaf extract in trial 2 (right). The results of the rhinoceros beetle lure test data, shown as percentages, are shown in Table 1. The mean values of rhinoceros beetles lured with synthetic pheromones was 66.7 with leaf extract being 23.3. Statistical analysis showed that the correlation between the rhinoceros beetle lure rate for synthetic pheromone and leaf extract has a p-value of 0.04, from which it can be concluded that coconut leaf extract was significantly (at the p=0.05 level) less effective at luring rhinoceros beetles than

Trial	Percentage of the Beetles Approaching the Lures (%)		
	Coconut Leaf Extract	Coconut Shoot Extract	Synthetic Pheromone
1	20	50	60
2	30	70	60
3	20	70	80
<b>Mean</b>	<b>23.3</b>	<b>63.3</b>	<b>66.7</b>

**Table 1.** The results of the lure tests

synthetic pheromones. Comparing the shoot extract to synthetic pheromone, it was found that the p-value is 0.67, indicating that shoot extract was equally effective (at the  $p=0.05$  level) at attracting rhinoceros beetles. Finally, it is clear that the shoot extract is more effective than leaf extract in its ability to attract rhinoceros beetles.

We acknowledge that the few trials done here reduce the level of confidence in the results. More extended testing must be conducted before it can be recommended with confidence that farmers may use coconut shoot extract instead of purchased synthetic pheromone for controlling rhinoceros beetle infestations, as a way of reducing cost and environmental impacts. More testing is needed to determine the efficacy and durability of coconut shoot extract in lure of rhinoceros beetles of both genders. Extensive field tests in coconut plantations using traps must also be done. Further testing on the effectiveness of extracts from other parts of the coconut palm, such as coconut meat or shells, might also be useful.

#### 4. CONCLUSION

It was shown that coconut shoot extract is likely effective as a substitute for commercially available synthetic pheromone for use as rhinoceros beetle bait for coconut tree pest protection, as it was as effective as the pheromone in luring beetles. The extract from coconut leaf was shown to be ineffective as a lure for the beetles, with lure rates

much lower than for either shoot extract or synthetic pheromone.

#### 5. REFERENCES

- Phiphat Xiang Liu. (2007). Prevention of rhinoceros beetles and coconut weevils using pheromone traps (Research Report). Surat Thani : Department of Agriculture
- Purba R., Desmier De Chenon R., Prawirosukarto S., Morin JP, Rochat D. (2000). Effect of *Oryctes rhinoceros* pheromone (ethyl 4-methyloctanoate) diffusion rate on the size of pest catches. In: Gazzoni DL (ed.). *XXI International congress of entomology*. Londrina: EMBRAPA, p. 181-181.
- Thai PBS. (2012). Farmers race to control Black-headed coconut worms and other pest insects: fear for coconut production increases food prices. From <https://www.thaipbs.or.th/news/content/74820>

#### Acknowledgments

The authors would like to thank our teachers, Ms. Sulya Saman, Ms. Phatthanant ToPlad, and Ms. Suwaibah Madmanang along with all the other Science and Technology teachers at Chulabhorn Science High School, Satun for consulting and facilitating this research.

# การล่อด้วงแรดด้วยสารสกัดจากส่วนใบและยอดของต้นมะพร้าว การศึกษาเบื้องต้น

พียรุช จันทรสนธิ และ เวสสาราช ผาแก้ว  
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย สตุล  
ตำบลฉลุง อำเภอเมืองสตุล จังหวัดสตุล 91140  
อีเมล: Fairus052547@gmail.com

## บทคัดย่อ

การระบาดของศัตรูพืชมะพร้าวจัดเป็นปัญหาใหญ่สำหรับเกษตรกร โดยเฉพาะด้วงแรดเป็นศัตรูพืชที่พบได้บ่อย และเป็นต้นเหตุทำให้ต้นมะพร้าวยืนต้นตาย คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาค้นคว้าองค์ประกอบต่างๆ ของต้นมะพร้าว และนำมาสกัดเป็นสารที่สามารถทดแทนฟีโรโมนของด้วงแรด เพื่อใช้ในการล่อด้วงแรด โดยทำการทดลอง 2 ชุดการทดลองเป็นสารสกัดจากใบและยอดของต้นมะพร้าว และนำสารสกัดทั้งสองชุดมาทดสอบกับด้วงแรด โดยมีสารฟีโรโมนด้วงแรดสังเคราะห์เป็นตัวควบคุม ซึ่งพบว่าสารสกัดจากยอดมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการล่อด้วงแรดใกล้เคียงกับสารฟีโรโมนด้วงแรดสังเคราะห์ ทางคณะผู้จัดทำจึงแนะนำให้ใช้สารสกัดจากยอดมะพร้าวทดแทนสารฟีโรโมนด้วงแรดสังเคราะห์ เพื่อล่อด้วงแรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ** ด้วงแรด, สารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าว, ฟีโรโมนสังเคราะห์

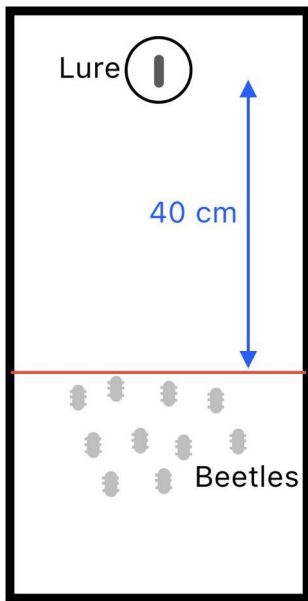
## 1. บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับโดยตรงต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของคนไทย เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในการประกอบอาหาร เพื่อบริโภคได้หลากหลายชนิด การระบาดของศัตรูพืชมะพร้าวทำให้พื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจาก การปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นทดแทนมะพร้าว เช่น อ้อย ยางพารา นอกจากนี้พื้นที่ปลูกมะพร้าวส่วนใหญ่ประสบปัญหา มะพร้าว ที่มีอายุยาวทำให้มีศัตรูพืชทำลาย จนทำให้พื้นที่การระบาดขยายวงกว้าง สร้างความเสียหายต่อพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวทำให้ผลผลิตมะพร้าวลดลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ (Thai PBS, 2012)

การระบาดของศัตรูพืชมะพร้าว จัดเป็นปัญหาใหญ่สำหรับเกษตรกร โดยเฉพาะด้วงแรดเป็นศัตรูพืชที่พบได้บ่อย ซึ่งด้วงแรดจะกัดกิน และทำลายต้นมะพร้าว ทำให้ต้นมะพร้าวตายได้ในที่สุด จากการค้นคว้าพบว่าด้วงแรด (*Oryctes rhinoceros*) เพศผู้สามารถผลิตฟีโรโมน (ฟีโรโมน รวมกลุ่ม aggregated pheromone) เพื่อใช้ในการดึงดูดด้วงทั้งเพศผู้และเพศเมีย ซึ่งฟีโรโมนสามารถดึงดูดด้วงแรดได้อัตราเพศผู้:เพศเมีย 1:3 โดยประมาณ ฟีโรโมน ethyl 4-

methyloctanoate (E4MO) สามารถนำมาใช้เป็นสารควบคุมการระบาดของด้วงแรด โดยใช้วิธีแบบวางกับดักหุ้ม (mass trapping) เพื่อควบคุมปริมาณประชากรของด้วงแรด (Purba, 2000) โดยเป็นฟีโรโมนสังเคราะห์ ethyl 4-methyloctanoate เป็นสารระเหย มีลักษณะเหลว บรรจุอยู่ในกะเปาะ หรือกระเปาะ ที่สามารถระเหยปลดปล่อยออกมาช้า ๆ ได้ อายุการใช้งานประมาณ 12 อาทิตย์ หลังจากการติดตั้งกับดัก ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของบริเวณที่ใช้ และมีรายงานว่า ในประเทศมาเลเซีย ด้วงแรดที่ดักได้เป็นตัวเมีย ร้อยละ 56-70 และสามารถลดประชากรของด้วงแรดตัวเมีย โดยเฉพาะด้วงแรดตัวเมียที่ตั้งท้อง ในรุ่นถัดไป (พิพัฒน์, 2550)

จาก การศึกษา พบว่า ฟีโรโมน ด้วงแรดสังเคราะห์ มีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ชาวเกษตรกรขาดทุนในการจัดหาซื้อ เพื่อป้องกันด้วงแรด เหตุผลดังกล่าว คณะผู้จัดทำ จึงมีแนวคิดศึกษาค้นคว้าองค์ประกอบต่างๆ ของต้นมะพร้าว และนำมาสกัดเพื่อใช้ในการล่อด้วงแรด อีกทั้งยังประหยัดงบประมาณ และสามารถควบคุมปริมาณด้วงแรดให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ต้นมะพร้าว เป็นสารที่สามารถทดแทนฟีโรโมนด้วงแรดสังเคราะห์



รูปที่ 1. การเริ่มทดลอง ดั่งวงเรดบริเวณส่วนต้นของสนาม



รูปที่ 2. หลังจากจับเวลาไป 15 นาทีทาง สารสกัดยอด (ครั้งที่ 1)

**2. วิธีการทดลอง**

**การเตรียมสารสกัดจากใบและยอดอ่อนมะพร้าว**

เตรียมใบและยอดอ่อนมะพร้าว อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาบดให้ละเอียดด้วย เครื่องบดไฟฟ้า ซึ่งใบและยอดอ่อนมะพร้าว อย่างละ 100 กรัม โดยแบ่งเป็น 2 บีกเกอร์

จากนั้นเติมตัวทำละลายเฮกเซน 500 มิลลิลิตร ลงในบีก เภอร์ คนให้เข้ากันแล้วปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แช่ สารทั้งสองทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำสารที่แช่ไว้มากรองผ่านผ้าขาวบาง นำส่วนที่เป็นสารละลายมาระเหยตัวทำละลายออก ด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนกระทั่งตัวทำละลายหมดจะได้สารสกัดหยาบมา 2 ชนิด นำสารสกัดหยาบที่ได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

**การทดสอบสารสกัดในการล่อด้วงเรด**

ประกอบพื้นที่การทดลอง โดยนำแผ่นพลาสติก 4 แผ่น ขนาดกว้าง 40 cm ยาว 80 cm มาประกอบเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 3 พื้นที่ นำด้วงเรดสังเคราะห์ มาวางไว้ส่วนต้นของพื้นที่ทดลองเพื่อใช้ในการล่อด้วงเรด และทำการปล่อยด้วงเรดจำนวน 10 ตัว ลงในพื้นที่การทดลองห่างจากสารสกัดอย่างน้อย 40 cm ตามภาพที่ 1 จับเวลา 15 นาที และสังเกตผลจากจำนวนด้วงเรดที่สามารถล่อเข้าใกล้กว่า 40 cm จากสารสกัดต่าง ๆ ตามภาพที่ 2 สารสกัดที่ได้ทั้ง 2 แบบ และตัวควบคุมคือสารพีโรโมน

**3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง**

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ของข้อมูลการทดสอบล่อด้วงเรด (ภาพที่ 2) ในตารางที่ 1 โดยค่าเฉลี่ย ของการล่อด้วงเรดด้วย สารพีโรโมนสังเคราะห์สังเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 66.7 และ สารสกัดจากใบมะพร้าว ค่าเฉลี่ยการล่อด้วงเรดมีค่าเท่ากับ 2.33 ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์อัตราการล่อด้วงเรด พบว่าค่า p – value มีค่าเท่ากับ 0.04 จึงสรุปได้ว่าอัตราการล่อด้วงเรด ด้วยสารพีโรโมนสังเคราะห์ และสารสกัดจากใบมะพร้าว มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วน การเปรียบเทียบสารพีโรโมนและสารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าว พบว่าค่า p – value มีค่าเท่ากับ 0.67 จึงสรุปได้ว่าอัตราการล่อด้วงเรดด้วยสารพีโรโมนสังเคราะห์ และสารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากยอดอ่อน

ครั้งที่	ร้อยละด้วงเรดที่เข้าใกล้สารที่ใช้ในการล่อด้วงเรด ต่อด้วงเรด 10 ตัว (%)		
	สารสกัดจากใบมะพร้าว	สารสกัดจากยอดอ่อน	พีโรโมนด้วงเรดสังเคราะห์
1	20	50	60
2	30	70	60
3	20	70	80
Ave.	23.3	63.3	66.7

ตารางที่ 1. บันทึกผลการทดลอง



มะพร้าวสามารถล่อด้วงแรดได้ดีกว่า สารสกัดจากใบมะพร้าวและที่สำคัญคือ สารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าว มีผลต่อการล่อด้วงแรดเทียบเท่ากับสารฟีโรโมนด้วงแรดสังเคราะห์ที่ดี จากผลนี้มีแนวโน้มว่าเกษตรกรสามารถใช้สารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าวทดแทนสารฟีโรโมนด้วงแรดสังเคราะห์ในการล่อด้วงแรดได้เพื่อลดต้นทุนในการกำจัดศัตรูพืช และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ควรทำการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อหาประสิทธิภาพของการใช้สารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าว ในการล่อด้วงแรด โดยควรทำการทดลองในสนามจริง โดยเฉพาะสวนมะพร้าว นอกจากนี้ต้องทดลองสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นมะพร้าวที่นอกจากใบและยอดอ่อนมะพร้าว เช่น เนื้อมะพร้าว เปลือกมะพร้าว เป็นต้น

#### 4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองได้พบว่าสารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าวสามารถทดแทนสารฟีโรโมนด้วงแรดสังเคราะห์เพื่อใช้ในการล่อด้วงแรดสำหรับป้องกันศัตรูพืชจากต้นมะพร้าวได้ซึ่งแตกต่างจากสารสกัดจากใบมะพร้าว อัตราการล่อด้วงแรดน้อยกว่าสารสกัดจากยอดอ่อนมะพร้าว

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- Thai PBS. (2012). เกษตรกรเร่งคุม "หนอน-แมลงหัวดำมะพร้าว" หนูนกระทอบอตุฯ ทำอาหารแพงซ้ำอีก . จาก <https://www.thaipbs.or.th/news/content/74820>
- พิพัฒน์ เชียงหลิว. (2550). การป้องกันกำจัดด้วงแรดและด้วงวงมะพร้าวโดยใช้กับดักฟีโรโมน(รายงานผลการวิจัย). สุราษฎร์ธานี: กรมวิชาการเกษตร
- Purba R., Desmier De Chenon R., Prawirosukarto S., Morin J.P., Rochat D. (2000). Effect of *Oryctes rhinoceros* pheromone (ethyl 4-methyloctanoate) diffusion rate on the size of pest catches. In: Gazzoni D.L. (ed.). XXI International congress of entomology. Londrina: EMBRAPA, p. 181-181.

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณครูศุภลยา สามัญ คุณครูพัชรัตน์ โต๊ะปลัดคุณครูชวีย์บะฮ์หมัดมานังและครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชมนตรีวิทยาลัย สตูล สำหรับการให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยการศึกษา

# The Effect of Water Quality and Phytoplankton Density on the Growth of White-throated Oysters

*Kalkorn Chaiakornrakdi and Yataweida Buadaeng*  
*Chulabhorn Science School Trang*  
 196 Moo 4, Trang-Sikao Road, Thap Thiang, Mueang District, Trang 92000  
 Email: ppat1994@gmail.com

## Abstract

Water quality: salinity, temperature, pH, dissolved oxygen (DO), phytoplankton density, and levels of ammonia and nitrites were monitored over four months at three oyster growing sites on the coast of Trang, Thailand. When the results were compared to measured average growth rates it was found that a combination of low salinity, low phytoplankton density and higher than recommended levels of ammonia and nitrites, were associated with a reduced rate of growth of the tropical oyster *Crassostrea belcheri*.

**Keywords:** White-throated oyster, *Crassostrea belcheri*, water quality, phytoplankton

## I. INTRODUCTION

The tropical oyster *Crassostrea belcheri* is a large bivalve that is extensively farmed in the coastal waters of the Gulf of Thailand. They are in high demand on the local market. Almost all the oysters currently available are cultivated naturally, with the mollusks feeding on small aquatic plants suspended in saltwater (Siriphan, 2019).

Oyster farming in the coastal waters of Trang takes place at three locations, Ban Laem Makhham, Ban Laem Sai and Ban Laem. Water quality at each of these locations is influenced by different geographical features. Ban Laem Makhham sits between the Trang Sea and the outlet of Khlong Kalase, a freshwater canal, which may reduce salinity. Ban Laem Sai is located between the Trang and Krabi seas, and is less influenced by freshwater runoff from the land. Ban Laem lies between the Trang Sea and the outlet of Khlong Palian, which has a large discharge of fresh water resulting in reduced salinity and a reduced density of phytoplankton. These factors may affect the growth and survival rates of oysters.

Waewta Thongraa et al (1995), conducted a study of water quality in oyster farms in Ang Sila, Chonburi Province. They found that water pH, DO, temperature, salinity, and ammonia and nitrite values were within the standards set by the Pollution Control Department (2006), but to date there have been no studies published on the effect of phytoplankton density and water quality on the growth rate of oysters.

This study compares plankton densities and water quality data with measured growth rates at the

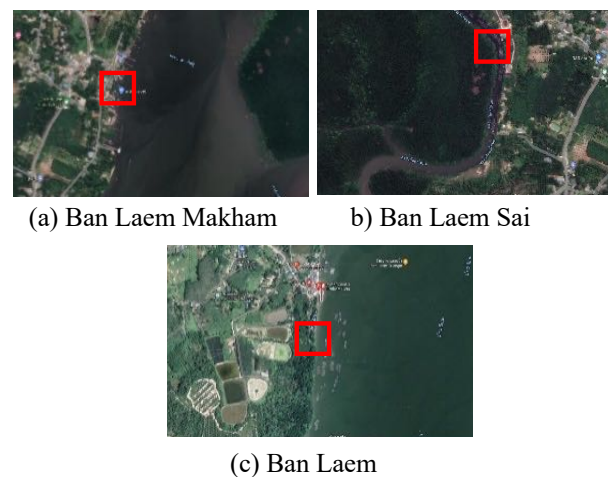
three sites in Trang province. It is hoped that the findings will improve area selection for the future development of oyster farming in the region.

## II. METHODS

### Study Areas and Experimental procedures

Figure 1 shows the three selected areas for study in Trang Province: (a) Ban Laem Makhham, Sikao District, which is close to a large fresh water Khlong outlet, (b) Ban Laem Sai, Sikao District, which is less influenced by fresh water runoff, and (c) Ban Laem, Kantang District, which is an estuary area, allowing fresh water to flow through during the wet season.

Two hundred and seventy oysters, four months old and of similar size and shape were selected. Three cages, each 3 x 3 m were prepared along with nine baskets used for raising the shellfish, each



**Figure 1.** The selected study locations in Trang province.

measuring 33 x 22 cm. Thirty shells were put in each basket and three baskets were placed in each cage. A random selection was made of ten shells in each basket that were marked and inspected each month for size and weight.

**Data collection**

Water quality was determined following the GLOBE method (GLOBE THAILAND, 2021). Water samples were collected for measuring temperature, pH, DO, salinity, and ammonia and nitrite levels each month for a period of four months. Temperature was found at the time of sampling with a thermometer. pH was found with a pH meter, dissolved oxygen with a DO meter and salinity with a salinity meter. Each measurement was made three times and the results averaged. Ammonia and nitrite levels were found following the method used by the Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives in the Department of Agriculture (2019).

To determine plankton density, three 20-litre surface-water samples were collected in each location and filtered through a phytoplankton filter bag with a pore size of 20 µm. Neutral formalin drops were added to each sample until the concentration reached 0.5% before the sample was taken to the laboratory where the plankton density was measured.

**III. RESULTS AND DISCUSSION**

**Growth and survival rates**

No deaths were recorded, as the water quality in all three locations was within or near recommended levels. As seen in the figures below some of water quality factors and phytoplankton density varied in different locations but the effects were limited to growth rates.

The largest growth rate was in Ban Laem Sai with an average increase in oyster size and weight of

109%. This was followed by an increase in size and weight at Ban Laem Makham of 94%. The smallest increase, in Ban Laem, was just 48%.

The water quality in all respects at Ban Laem Sai and Ban Laem Makham was within the pollution control standards, but in Ban Laem there were some factors that did not meet the standard. The growth rate in Ban Laem was low, probably as a consequence.

**Water quality**

The mean temperatures in each neighborhood were within the recommended range of 19-28°C (Figure 3). The pH values in each location were within the recommended range (7-8), and DO values in each case were above the recommended minimum of 4 mg/L. The salinity at Ban Laem Sai and Ban Laem Makham was within the recommended range (25-33 ppt) but at Ban Laem the salinity was lower. Ban Laem Sai, with the highest salinity, had the highest growth rate and Ban Laem had the lowest.

At Ban Laem Sai and Ban Laem Makham the levels of nitrite were low (less than 0.02 mg-N/L) but the mean values at Ban Laem were higher than recommended (Figure 4) which makes the water toxic to oysters. The ammonia levels were also higher in Ban Laem. High ammonia content indicates high sediment levels that affects mollusk respiration. Both factors may have contributed to the low growth rate at Ban Laem.

**Phytoplankton**

Because oysters are filter feeders, low phytoplankton density in the seawater may slow oyster growth due to insufficient food. It was found that average phytoplankton densities at Ban Laem Sai and Ban Laem Makham were similar. Growth rates were also similar at these two locations. At Ban Laem phytoplankton density is lowest (figure 5) and the growth rate was also low.

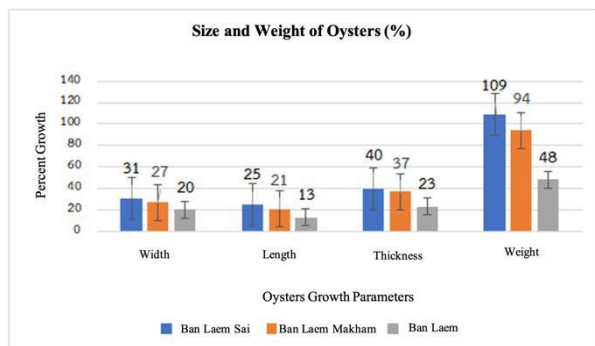


Figure 2. Growth rates in each location.

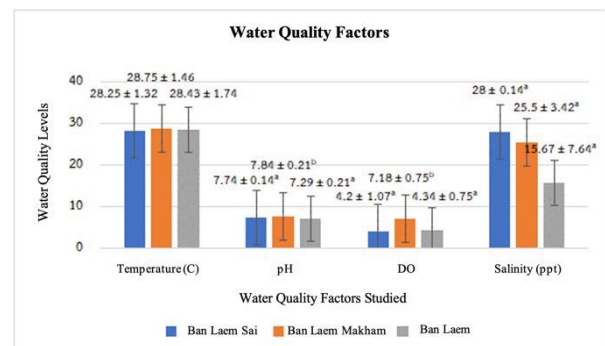
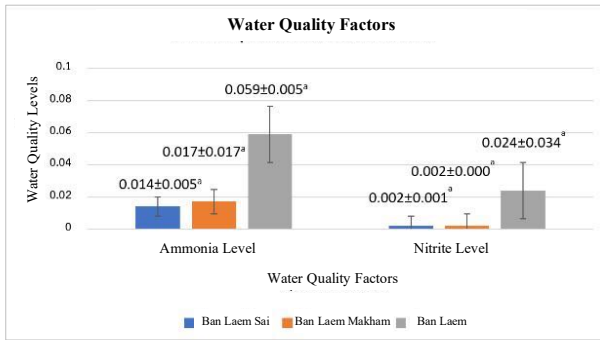


Figure 3. Average temperature, pH, DO and salinity.



**Figure 4.** Mean levels of nitrite and ammonia in each location.

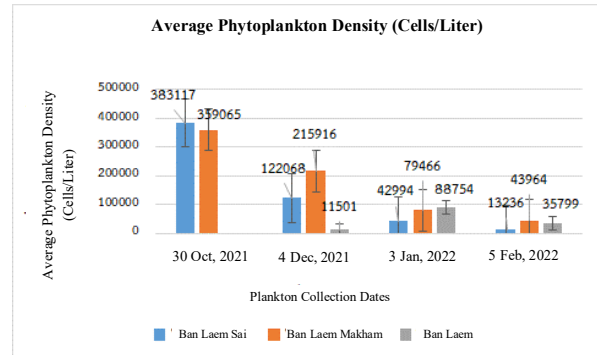
**4. CONCLUSION**

Temperature, pH, and DO values in all three locations were similar and well within recommended levels, but there was a significant difference in salinity. Ban Laem Sai, the location with the highest oyster growth rate had the highest salinity of 28 ppt. The lowest salinity, just 15 ppt, which is significantly less than recommended occurred at Ban Laem, which also had a lower growth rate. Ammonia and nitrite values exceeded the standard in Ban Laem and phytoplankton levels were low. These three factors likely contributed to the low growth rate at Ban Laem but their relative importance cannot be determined from the data.

**5. REFERENCES**

Department of Fisheries. (2019). Handbook of water analysis for Aquaculture and Standard Certification. Farm Division of Fisheries Product Standard Certification and Evidence for Research Department of Fisheries.

Siriphan, N., (2000). Handbook of Commercial Oyster Farming. Bangkok: Research Office of the Fisheries Department



**Figure 5.** Average total density of phytoplankton in each location.

Pollution Control Department. (2006). Sea water quality standards. Water sources, Bureau of Water Quality Management, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and environment.

Thongraa, W., Chaluay Musika and Phatthana Phun Piam (1995). “Water quality in oyster farms around Ang Sila, Chonburi Province”. Institute of Marine Science, Burapha University.

GLOBE THAILAND. Water (Hydrosphere). (2021). Retrieved October 26, 2022, from <https://globefamily.ipst.ac.th/globe-protocols/hydrosphere>.

**Acknowledgments**

Special thanks are due to our advisers, Assoc. Prof. Dr. Mallika Charoen Suthasinee from Walailak University and Dr. Supatcha Choosiangjae from Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus. Thankyou also to Ms. Patchara Pongmanawut and Ms Nuengruethai Chaimanee for assistance and we thank the owners of the oyster farms for supplying the mollusks used in this study.



# คุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชและการเจริญเติบโตของ หอยนางรมพันธุ์ตะโกรมกรามขาว

กัลยกร ชัยกรรক্তি ญาตาวิดา บัวแดง  
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง  
196 หมู่ 4 ถนนตรัง-สิเกา ตำบลทับเที่ยง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง 92000  
อีเมล: ppatt1994@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนต่ออัตราการรอดและอัตราการเจริญเติบโตของหอยนางรมพันธุ์ตะโกรมกรามขาว (*Crassostrea belcheri*) ที่เลี้ยงในพื้นที่ที่แตกต่างกัน 3 พื้นที่ ทำการวัดขนาด ชั่งน้ำหนักหอยทุกๆ 1 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน จากการศึกษาคุณภาพน้ำ ได้แก่ pH DO และอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (pH 7-8, DO ไม่น้อยกว่า 4 mg/L, อุณหภูมิ 19-28 องศาเซลเซียส) ส่วนค่าความเค็มมีความแตกต่างกัน โดยบริเวณที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดมีความเค็มเพียง 15 ppt ซึ่งมีค่าความเค็มต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (25-33 ppt) ค่าแอมโมเนียและค่าไนโตรเจนในบริเวณที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (<0.002 N-mg/L) ทำให้น้ำเป็นพิษต่อหอยนางรม และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด มีความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชต่ำที่สุด จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของหอยนางรมมากคือค่าความเค็ม ค่าแอมโมเนีย ค่าไนโตรเจนและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช และบริเวณที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดและเหมาะต่อการเลี้ยงหอยคือน้ำที่มีค่าคุณภาพน้ำอยู่ที่ ค่า pH 7 ค่า DO 4 mg/L อุณหภูมิ 28 °C ความเค็ม 28 ppt ค่าแอมโมเนีย 0.014 N-mg/L และมีค่าไนโตรเจน 0.002 N-mg/L ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

**คำสำคัญ** หอยนางรมพันธุ์ตะโกรมกรามขาว *Crassostrea belcheri* คุณภาพน้ำ แพลงก์ตอนพืช

## 1. บทนำ

หอยนางรมพันธุ์ตะโกรมกรามขาว (*Crassostrea belcheri*) เป็นหอยสองฝาที่มีขนาดใหญ่ จัดเป็นสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นที่รู้จักและนิยมเลี้ยงกันมากที่สุดสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันความต้องการของตลาดหอยนางรมเพิ่มมากขึ้น หอยนางรมที่นำมาบริโภคเกือบทั้งหมดได้จากการเพาะเลี้ยงโดยธรรมชาติ โดยหอยจะ กรองกินพีชน้ำขนาดเล็กที่แขวนลอยในแหล่งน้ำเค็มเป็นอาหารหลัก(นิพนธ์ ศิริพันธ์,2562)

พื้นที่เลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดตรังพบว่ามีการเลี้ยงบริเวณบ้านแหลมไทร บ้านแหลมมะขาม และบ้านแหลม ซึ่งทั้ง 3 พื้นที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันโดยบริเวณบ้านแหลมไทรเป็นกระชังที่ตั้งอยู่ระหว่างทะเลตื้นและทะเลกระชังที่เป็นน้ำเค็มทั้งสองฝั่งส่งผลให้ไม่ได้รับอิทธิพลจาก

น้ำจืด บ้านแหลมมะขามเป็นกระชังที่อยู่ระหว่างทะเลตื้นและยอดคลองกะลาเสซึ่งเป็นคลองน้ำจืดทำให้ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลมา ส่วนบริเวณบ้านแหลมเป็นกระชังที่อยู่ระหว่างทะเลตื้นและยอดคลองปะเหลียนซึ่งมีปริมาณน้ำจืดมากส่งผลให้ได้รับอิทธิพลจากมวลน้ำจืด จึงทำให้ค่าคุณภาพน้ำและปริมาณของแพลงก์ตอนแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของหอยนางรม แวตตา ทองระอา และคณะ (2538) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในแหล่งเลี้ยงหอยนางรมบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี พบว่าค่า pH DO อุณหภูมิ ความเค็ม แอมโมเนีย และค่าไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กรมควบคุมมลพิษ (2549) ได้กำหนดไว้ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชที่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของหอยนางรม

คณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาค่าคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชที่ส่งผลให้หอยนางรมมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด โดยศึกษาจากบริเวณที่มีการเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดตรัง 3 แห่ง เพื่อใช้ผลการศึกษาที่ได้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกพื้นที่สำหรับเลี้ยงหอยนางรมของเกษตรกรต่อไป

**2. วิธีการทดลอง**

**พื้นที่ศึกษาและขั้นตอนการทดลอง**

ศึกษาในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรัง 3 แห่ง ได้แก่ แห่งที่ 1 กระจังบ้านแหลมมะขาม อำเภอสิเกา (ก) เป็นบริเวณที่ติดกับคลองใหญ่ แห่งที่ 2 กระจังบ้านแหลมไทร อำเภอสิเกา (ข) มีลักษณะเป็นคลองย่อย และแห่งที่ 3 กระจังบ้านแหลม อำเภอกันตัง (ค) เป็นบริเวณปากแม่น้ำทำให้มีน้ำจืดไหลผ่านในฤดูน้ำหลาก

เตรียมหอยนางรมพันธุ์ตะไกรมกรามขาว อายุ 4 เดือน รูปร่างและขนาดใกล้เคียงกัน จำนวน 280 ตัวและเตรียมกระจังเลี้ยงหอย ขนาด 3 X 3 เมตร จำนวน 3 กระจัง ตะกร้าสำหรับเลี้ยงหอย ขนาด 33 x 22 เซนติเมตร จำนวน 9 ตะกร้า กระจังละ 3 ตะกร้า

นำหอยใส่ตะกร้าละ 30 ตัว กระจังละ 3 ตะกร้า สุ่มหอยตะกร้าละ 10 ตัว นำมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก โดยทำหมายเลขกำกับไว้ เพื่อใช้ในการทำการศึกษาดทดลอง สังเกตและบันทึกข้อมูลอัตราการรอดและการเจริญเติบโตของหอย โดยวัดขนาดของหอย



รูปที่ 1. บริเวณพื้นที่ใช้ในการศึกษา

**การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืช**

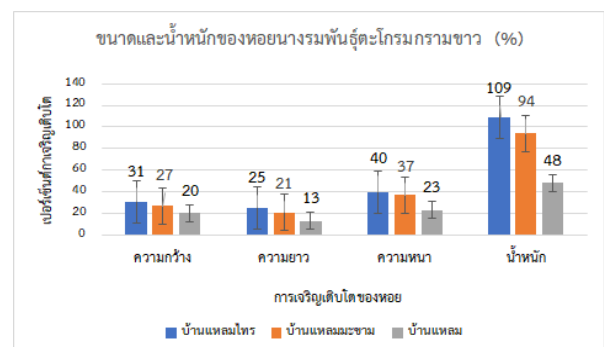
ศึกษาคุณภาพน้ำตามหลักวิธีการของ GLOBE (GLOBE THAILAND, 2564) โดยวัดอุณหภูมิ ค่า pH ค่า DO ค่าความเค็มและเก็บตัวอย่างน้ำไปตรวจสอบค่าแอมโมเนียและค่าไนโตรเจน วัดคุณภาพน้ำทุกๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ วัดค่า pH ด้วย pH Meter วัดค่า DO ด้วย DO Meter เก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้ง และวัดค่าความเค็มโดยใช้เครื่องวัดความเค็ม ตรวจสอบ ค่าไนโตรเจน ค่าแอมโมเนีย ตามวิธีการของกรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กรมประมง, 2562)

เก็บข้อมูลแพลงก์ตอน โดยตักน้ำทะเลที่ผิวหน้าน้ำปริมาตร 20 ลิตร กรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดช่องตา 20 ไมโครเมตร เก็บตัวอย่างบริเวณละ 3 ซ้ำ ทำการรักษาตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชโดยหยดฟอร์มาลินที่เป็นกลางจนได้ความเข้มข้นสุดท้าย 0.5% ก่อนนำไปวิเคราะห์ความหนาแน่น

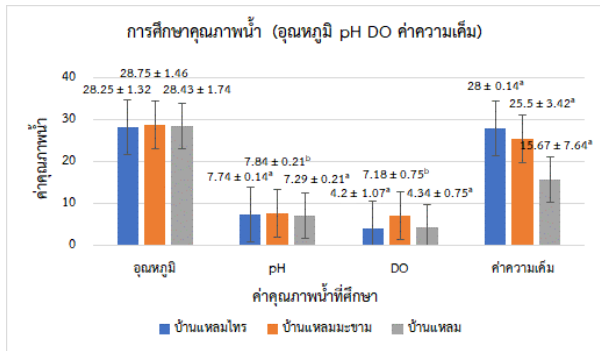
**3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง**

**อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของหอย**

ในทั้ง 3 พื้นที่ที่มีอัตราการรอด 100% เนื่องจากคุณภาพน้ำในบริเวณบ้านแหลมไทรและบ้านแหลมมะขามอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่บริเวณบ้านแหลมมีบางปัจจัยที่มีค่าคุณภาพน้ำไม่ตรงกับเกณฑ์มาตรฐานแต่ผลกระทบอาจส่งผลให้หอยมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำ แต่ไม่ส่งผลให้หอยตาย ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตบริเวณบ้านแหลมไทรมีขนาดและน้ำหนักของหอยนางรมเพิ่มขึ้นมากที่สุด (109%) (รูปที่ 2) รองลงมาคือบ้านแหลมมะขามมีขนาดและ



รูปที่ 2. อัตราการเจริญเติบโตของหอยนางรมที่เพิ่มขึ้นแต่ละบริเวณ



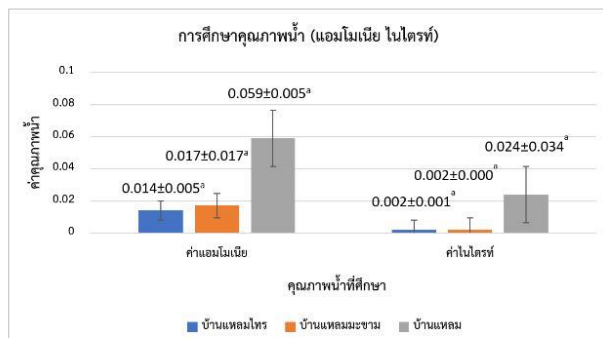
รูปที่ 3. ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ pH DO และค่าความเค็ม ในแต่ละบริเวณ

น้ำหนักของหอยนางรมเพิ่มขึ้น (94%) ส่วนบ้านแหลมมีขนาดและน้ำหนักของหอยนางรมเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (48%)

**คุณภาพน้ำ**

จากรูปที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในแต่ละบริเวณใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (อุณหภูมิ 19-28°C) ค่า pH ในแต่ละบริเวณใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ค่า pH 7-8) ค่า DO ในแต่ละบริเวณกระชั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (มากกว่า 4 mg/L) ค่าความเค็มที่บ้านแหลมไทรและบ้านแหลมมะขามอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ค่าความเค็ม 25-33 ppt) กระชั้นบ้านแหลมมีค่าความเค็มต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด และบริเวณบ้านแหลมไทรที่มีค่าความเค็มสูงที่สุดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด

จากรูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยของค่าไนโตรเจนบริเวณกระชั้นบ้านแหลมสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้น้ำเป็นพิษต่อหอยนางรม ส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ส่วนบริเวณบ้านแหลมไทรและบ้านแหลมมะขามอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ค่าเฉลี่ยของ



รูปที่ 4. ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียและไนโตรเจนในแต่ละบริเวณ แอมโมเนียในบริเวณกระชั้นบ้านแหลมสูงกว่า

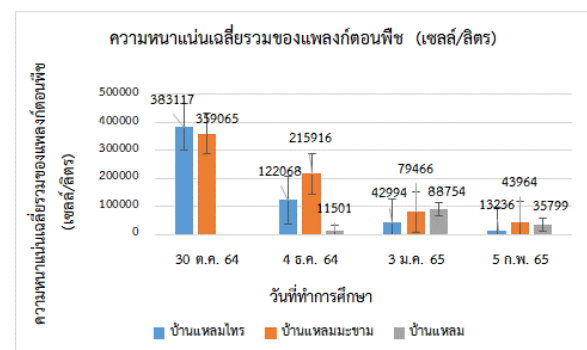
เกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งปริมาณแอมโมเนียที่สูงจะแสดงให้เห็นว่ามีตะกอนดินในปริมาณที่มากและส่งผลต่อการหายใจของหอยและมีแพลงก์ตอนพืชปริมาณน้อยอาจทำให้หอยนางรมมีอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญโต ส่วนบริเวณบ้าน

**การศึกษาแพลงก์ตอนพืช**

จากรูปที่ 5 พบว่า ความหนาแน่นเฉลี่ยรวมของแพลงก์ตอนพืชบริเวณบ้านแหลมไทรกับบ้านแหลมมะขามที่มีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน จะมีความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่ใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกับบริเวณบ้านแหลมที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดและมีความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชต่ำที่สุด

**4. สรุปผลการศึกษา**

จากการศึกษาพบว่าค่า pH DO และอุณหภูมิทั้ง 3 บริเวณ มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด ในส่วนของค่าความเค็มมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยบริเวณที่หอยนางรมมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเป็นบริเวณที่มีค่าความเค็มมากที่สุดจาก 3 บริเวณซึ่งมาค่าความเค็มอยู่ที่ 28 ppt ส่วนบริเวณที่มีอัตราการเจริญเติบโตได้น้อยที่สุดเป็นบริเวณที่มีค่าความเค็มต่ำที่สุด อยู่ที่ 15 ppt ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าแอมโมเนียและค่าไนโตรเจนพบว่าบริเวณที่มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดมีค่าแอมโมเนียและค่าไนโตรเจนเกินเกณฑ์มาตรฐาน และในเรื่องของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารของหอยพบว่าบริเวณที่หอยนางรมมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยที่สุดมีค่าความ



รูปที่ 5. ความหนาแน่นเฉลี่ยรวมของแพลงก์ตอนพืช แหลมไทรและบ้านแหลมมะขาม อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของแอมโมเนียและไนโตรเจน น้อยกว่า 0.02 mg-N/L)

หนาแน่นของแพลงก์ตอนพีชน้อยที่สุด ดังนั้นจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหอยมากที่สุดคือ ค่าความเค็ม ค่าแอมโมเนีย ค่าไนโตรเจน และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพีช

## 5. เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2549. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. ส่วนแหล่งน้ำสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมประมง. 2562. คู่มือการวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการตรวจรับรองมาตรฐานฟาร์ม. กองพัฒนาระบบการรับรองมาตรฐานสินค้าประมงและหลักฐานเพื่อการสืบค้นกรมประมง.
- นิพนธ์ ศิริพันธ์. (2543). คู่มือการเลี้ยงหอยทะเลเศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ: กรมประมง สำนักวิชาการ

- แนวตา ทองระอา, ฉลวย มุสิก และ พัฒนา ภูตเปี่ยม. 2538. “คุณภาพน้ำในแหล่งเลี้ยงหอยนางรมบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี”. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.
- GLOBE THAILAND. น้ำ (Hydrosphere). 2564. สืบค้น 26 ตุลาคม 2565, จาก <https://globefamily.ipst.ac.th/globe-protocols/hydrosphere>

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ที่ปรึกษาพิเศษ รศ.ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสินี จากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และ ดร.สุพัสชา ชูเสียงแจ้ว จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ขอขอบคุณคุณครูพัชราพงศ์มานะวุฒิ และคุณครู หนึ่งฤทัย ชัยมณี ครูที่ปรึกษางานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าของ กระชังเลี้ยงหอยที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับใช้เป็นแหล่งพื้นที่การศึกษาในการทำวิจัยในครั้งนี้

# Development of UV-Protection Roofing Tile from N-GQDs for Rubber Drying Chambers

Siriya Mektavepong and Wallapha Phatrabuddhikul

*Princess Chulabhorn Science High School Pathumthani,  
51 Moo 6, Bo Ngoen, Lat Lum Kaeo, Pathum Thani, 12140  
Email: siriya911@gmail.com*

## Abstract

Improved methods of processing latex into rubber sheets will improve the incomes of small rubber producers. There are two ways in which latex can be processed into rubber sheets: fumigation and solar incubation. The fumigation method is expensive and produces pollution, but solar incubation can cause dark, sticky rubber sheets due to UV radiation, which reduces their value. (Aguete, 2015) A low-cost and environmentally-friendly solution to this problem was investigated here. A UV-protective roofing panel made using Nitrogen-doped Graphene Quantum Dots (N-GQDs) was developed and tested. N-GQDs were made using the hydrothermal process for 2 and 4 hours (T2 and T4) and the solvothermal process for 4, 6, and 8 hours (TS4, TS6, and TS8). It was found that all types of N-GQDs absorbed light in the UV range, with T4 showing the greatest absorption. T4 had the greatest Fluorescent Intensity (FL) value, emitting blue light, while for the solvothermal method TS6 had the highest FL value, emitting red light. T4 and TS6 were chosen for further testing, and were applied to a clear roofing tile. After installing the roof on the chamber, the temperature inside was higher than outside. The UV protection efficiency of the roof was measured at 93.27%. The average temperature was 45°C, which is the temperature needed for drying rubber sheets. Due to the roof's capability to absorb UV radiation and heat the chamber, our N-GQDs roof has a great ability to produce higher-quality rubber sheets.

**Keywords:** rubber sheet, drying chamber, N-GQDs roof, UV-protection

## I. INTRODUCTION

Thailand is a major rubber producer. Thai rubber plantation farmers still prefer to convert fresh latex to raw rubber sheets because most Thai rubber plantations are small plantations with low productivity. Most of the rubber is processed into raw rubber sheets by the individual farmers to be sold to merchants or fumigation factories. (Kampan, 2017)

The processing of raw rubber latex into rubber sheets can be done in two ways: by fumigating raw rubber sheets or by drying raw rubber sheets. For the fumigation of raw rubber sheets, the cost of firewood is high, and heat loss is typically high. The second method, drying by solar incubation, can be considered a clean energy alternative that is not toxic to the environment and has unlimited renewable power. (Aguete et al., 2015) However, existing incubators often encounter problems with the formation of sticky and dark rubber sheets due to exposure to UV radiation, which reduces the value. One solution to

the problem of UV damage is to use polycarbonate roofing tiles, but polycarbonate degrades, leading to long-term plastic waste issues. (Bacon et al., 2013)

Graphene quantum dots (GQDs) are particles having low biotoxicity and also have fluorescence properties. GQD particles absorb most radiation in the UVB range, and emit light covering the entire visible light spectrum, including the red part of the spectrum (Sk et al., 2014). The efficiency of GQDs can be improved by coating them with nitrogen, called Nitrogen-doped Graphene Quantum Dots (N-GQDs), which was found to increase the fluorescence quantum yield, or fluorescence efficiency, by up to 94% (Qu et al., 2014). The efficiency of GQD particles as a fluorescent agent capable of absorbing UV radiation makes them effective as a particle for UV protection. (Purcell-Milton & Gun'ko, 2012)

Two low-cost methods for synthesizing N-GQDs are hydrothermal and solvothermal which use different solvents. The hydrothermal method uses water as a



solvent and the solvothermal method uses acid as a solvent. (Gu et al., 2016)

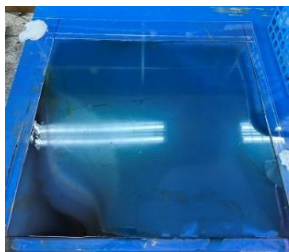
Here, we develop and test the effectiveness of N-GQD-coated UV-protective roofing for rubber sheet drying plants to produce high-quality rubber sheets according to ASTM D882 standards, which is the standard for testing physical properties of the polymer. The N-GQDs roofing dryer also uses clean energy that is not toxic to the environment and is a renewable energy. This allows farmers to reduce their energy costs while producing higher quality rubber. For this reason, UV-protective N-GQD-coated roofing tiles may help to increase the country's potential in rubber sheet exports as well as the income of rubber farmers.

## II. METHODS

### Synthesis and spectroscopy of the N-GQDs

Hydrothermal N-GQDs were synthesized by adding 2.1 g of citric acid and 1.8 g of urea to 50 ml of deionized water and stirring until the solution fully dissolved, then heating at 160 °C for 2 and 4 hours. (T2 and T4, respectively). A UV/VIS spectrophotometer was then used to observe the wavelengths absorbed by T2 and T4. Finally, the spectrum emitted by a Fluorescence Intensity (FL) spectrophotometer using excitation wavelengths ranging from 250 to 375 nm was observed.

Solvothermal N-GQDs were synthesized by adding 2.1 g of citric acid and 1.8 g of urea in 50 ml of 7.4 M sulfuric acid and stirring until the solution fully dissolved, then heating at 210 °C for 4, 6, and 8 hours. (TS4, TS6, and TS8, respectively). The UV/VIS spectrophotometer was then used again, and the FL spectrophotometer was used for wavelengths ranging from 250 to 425 nm.



**Figure 1.** The roofing tile in the acrylic mold



**Figure 2.** The drying chamber

### Making and testing of N-GQDs roofing tiles

T4, which absorbs light at the widest spectrum and has the highest FL, and TS6, which emits the highest wavelength and has the greatest FL, were chosen for further testing. 125 ml of each solution was mixed with 10 g of polyvinyl alcohol (PVA), then heated at 60 °C with constant stirring for 2 hours. The solution was then poured into 10 x 10 cm and 50 x 50 cm acrylic molds (Figure 1) and allowed to cool until it formed a solid sheet. The sheet formed from PVA containing T4 is called P-UV and TS6 is called P-IR. The 10 x 10 cm sheets were cut into 5 pieces of 2 x 10 cm and tested with an ASTM D882 standard Tensile Tester.

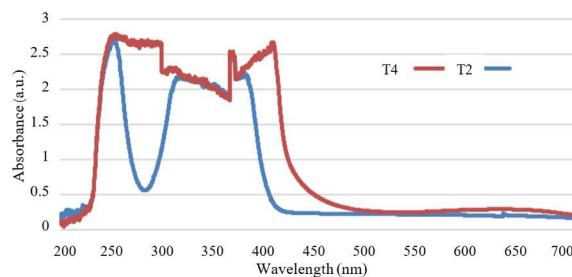
### UV-protection and heating efficiency of N-GQDs roofing tiles

One sheet each of 50 x 50 cm P-UV (on top) and 50 x 50 cm P-IR were layered to form a roof structure which was placed in direct sunlight. A UV meter was used to measure UV intensity at 12:00 pm directly above and below the roof at 5 points on the roof for 7 days. A drying chamber with dimensions 0.5 x 0.5 x 0.5 m was built with the same 2-layer P-UV/P-IR roof design, and placed outside, as shown in Figure 2. Temperature measurements inside and outside the chamber were made for 7 days at 8:00, 12:00, and 16:00.

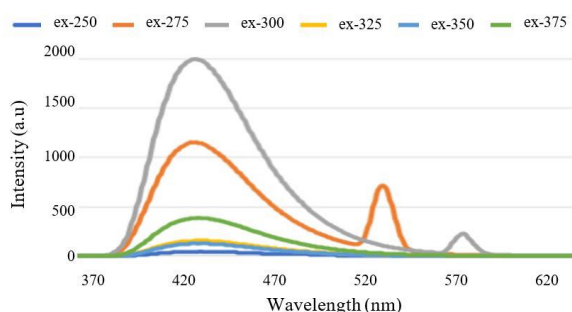
## III. RESULTS AND DISCUSSION

### The spectroscopy of N-GQDs for different hydrothermal synthesis periods

Figure 3 shows that T2 and T4 both absorbed light in the UV range, but T4 had the wider absorbance range which is an important consideration for rubber production. Because the bandgap size, or energy band, of N-GQDs, is approximately 4 eV (Chuang, 2000), the particles do not absorb light with lower energies than the energy band. The energy of UV light



**Figure 3.** The absorbance spectrum of T2 and T4 solutions



**Figure 4.** The emission spectrum of T4 solution

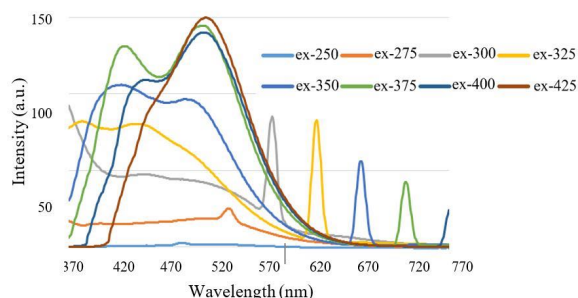
is 3–124 eV, allowing the N-GQD particles to absorb light in the UV range (Gu et al., 2016). However, the reason behind why is T4 can absorb light at wider range unclear.

Figure 4 shows that when T4 was stimulated at a 300 nm wavelength, it had the highest FL value, with a peak wavelength of 438 nm showing that the roofing tile containing T4 best protects against UVB light. The synthesis time of N-GQDs directly affects the particle size (Papaioannou et al., 2019). In other words, a longer synthesis time will result in a decrease in the size of the particle. If the particles are too large, the properties of N-GQDs such as fluorescence are also reduced. (Gu et al., 2016)

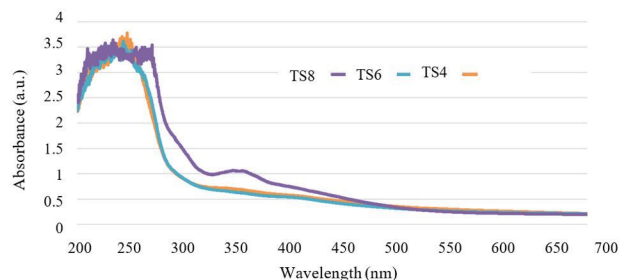
**The spectroscopy of N-GQDs for different solvothermal synthesis periods**

Figure 5 shows that all three solutions had the greatest absorbance in the UV range. Solvothermal synthesis uses sulfuric acid as the solvent. This gives a sulfur coating to the N-GQD particles, which increases the energy band gap (Shi et al., 2022) and decreases the wavelength that the particles absorb.

Figure 6 shows that TS6 had a peak FL value at a wavelength of 525 nm and continuing to the red-light range for longer excitation wavelengths tested. Comparing the TS6 emission spectrum results to the results for the TS4 and TS8 (not included) showed



**Figure 6.** shows the emission spectrum of TS6 solutions



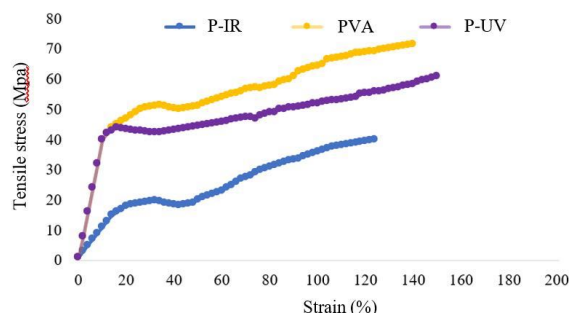
**Figure 5.** Absorbance spectrum of TS4, TS6, and TS8 solutions

that the synthesis time of 6 hours was the condition for which the FL was the highest, which means that this is the most appropriate condition to use for developing rubber-drying roofing tiles. In addition, TS6 emitted light at higher wavelengths than the hydrothermal synthesis. This is because the presence of sulfur coating causes the nanoparticle size increase which causes the light emission wavelength spectrum of solvothermal synthesized particles to be higher than that of hydrothermally synthesized particles. (Liu et al., 2013)

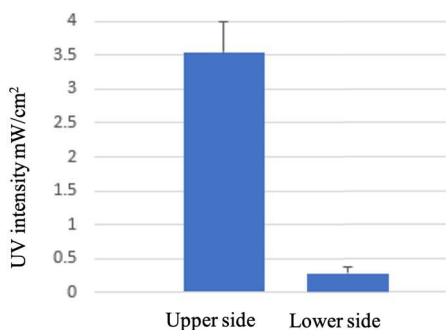
**The Properties of N-GQDs roofing tile**

As shown in figure 7, P-IR had the lowest strength and elongation at break, while PVA had the highest. P-UV can be stretched the most at 141% and the least is P-IR at 124%. The tensile strength of P-IR, P-UV, and PVA were 40, 61, and 71.5, respectively.

P-IR roofing sheets contain a mixture of sulfuric acid-based N-GQD. In 2000, it was reported that acetic acid content affects the structure of the PVA sheet, resulting in a decrease in the thickness of the PVA sheet and an increase in porosity due to the H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> concentration. As a result, the sulfuric acid-containing P-IR is less resilient than the P-UV roof due to the concentration of H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ions, resulting in the sheet being more porous. (Chuang, 2000) Similarly, P-UV still shows a stress-strain curve comparable to PVA (control sample) but slightly lower. While the



**Figure 7.** Stress-strain curves for P-IR, P-UV, and PVA



**Figure 8.** The average intensity of UV light above and below the P-UV/P-IR roofing assembly.

addition of T4 and TS6 did reduce the strength of the sheets, they are still usable for the intended application.

#### UV-protection and heating efficiency of N-GQDs roofing tiles

Figure 8 shows the average UV levels measured above and below the P-IR/P-UV roof assembly at noon. As can be seen, the average UV measured at the upper and lower side of N-GQDs is 3.54 mW/cm<sup>2</sup> and 0.25 mW/cm<sup>2</sup>, respectively, giving an average UV protection effectiveness of 93% over the 7 days of testing.

Figure 9 shows that the temperature inside the chamber which use both P-UV and P-IR was higher than the temperature outside the chamber. The day with the highest indoor temperature was December 5th at 12:00, when it was 50.8 °C. The average temperature difference between the inside and outside of the chamber at 8:00 was 5.2°C, at 12:00 was 9.1°C, and at 16:00 was 7.1°C.

#### IV. CONCLUSION

From our study, we found that after synthesis, T4 had the highest absorbance in the UVA, UVB, and UVC ranges. In addition, TS6 had the highest FL in the range of red light. When the polymer was molded, we found that the P-UV roof from T4 retained more strength than the P-IR roof from TS6. After studying heat storage efficiency, we found that the temperature inside the solar drying chamber was higher than the temperature outside. The average UV protection efficiency of N-GQDs roof was 93.3%. Lastly, the average temperature inside the solar drying chamber was 43°C, which is the most suitable temperature for

Date	8:00		12:00		16:00	
	Temperature inside (°C)	Temperature outside (°C)	Temperature inside (°C)	Temperature outside (°C)	Temperature inside (°C)	Temperature outside (°C)
1 <sup>st</sup> Day	39.3	33.9	47.3	38.5	42.5	36.3
2 <sup>nd</sup> Day	39.8	34.6	47.9	39.1	43.1	36.4
3 <sup>rd</sup> Day	40.2	35.0	48.2	38.8	43.8	36.9
4 <sup>th</sup> Day	38.3	34.0	50.8	39.1	42.6	36.5
5 <sup>th</sup> Day	38.9	34.6	47.0	38.0	44.8	37.0
6 <sup>th</sup> Day	38.6	32.1	45.7	37.5	45.1	37.4
7 <sup>th</sup> Day	39.7	34.5	48.0	39.7	44.8	36.5
Average	39.3	34.1	47.8	38.7	43.8	36.7

**Figure 9.** shows the indoor and outdoor temperatures recorded in 3 time periods for 7 days

drying rubber sheets. Finally, we can conclude that our innovation, N-GQDs roofs can defend against UV rays while increasing the temperature in the chamber. The P-IR/P-UV roof tile on a rubber drying chamber can significantly enhance the efficiency of the drying process. The improved efficiency results in a higher yield of high-quality rubber sheets, which translates to higher income for rubber farmers and improved economic conditions in Thailand's rubber industry. While the findings suggest that N-GQDs roofing material is effective in reducing UV radiation and increasing temperature in a drying chamber, the study did not directly test the effect of the roofing material on the drying of rubber sheets. Further research is needed to investigate the efficacy of N-GQDs roofing material in actual rubber sheet drying. Furthermore, it is important to note that the present study only focused on comparing the efficiency of the N-GQDs roof with a PVA roof. Further research can be conducted to evaluate the efficiency of the N-GQDs roof compared to other roofing materials, such as plastic. Overall, the present study provides a promising avenue for enhancing the efficiency and economic viability of the rubber industry in Thailand.

#### V. REFERENCES

1. Aguele, F., Idiaghe, J., & Apugo-Nwosu, T. (2015). A Study of Quality Improvement of Natural Rubber Products by Drying Methods. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 03(11), 7-12. <https://doi.org/10.4236/msce.2015.311002>
2. Bacon, M., Bradley, S., & Nann, T. (2013). Graphene Quantum Dots. *Particle & Particle Systems Characterization*, 31(4), 415-428. <https://doi.org/10.1002/ppsc.201300252>

3. Chuang, W. (2000). The effect of acetic acid on the structure and filtration properties of poly(vinyl alcohol) membranes. *Journal of Membrane Science*, 172(1-2), 241-251. [https://doi.org/10.1016/s0376-7388\(00\)00336-7](https://doi.org/10.1016/s0376-7388(00)00336-7)
4. Gu, J., Zhang, X., Pang, A., & Yang, J. (2016). Facile synthesis and photoluminescence characteristics of blue-emitting nitrogen-doped graphene quantum dots. *Nanotechnology*, 27(16), 165704. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/27/16/165704>
5. Kampan, P. (2017). Sustainability and Competitiveness of Thailand's Natural Rubber Industry in Times of Global Economic Flux. *Asian Social Science*, 14(1), 169. <https://doi.org/10.5539/ass.v14n1p169>
6. Liu, F., Jang, M., Ha, H., Kim, J., Cho, Y., & Seo, T. (2013). Graphene Quantum Dots: Facile Synthetic Method for Pristine Graphene Quantum Dots and Graphene Oxide Quantum Dots: Origin of Blue and Green Luminescence (*Adv. Mater.* 27/2013). *Advanced Materials*, 25(27), 3748-3748. <https://doi.org/10.1002/adma.201370175>
7. Papaioannou, N., Titirici, M., & Sapelkin, A. (2019). Investigating the Effect of Reaction Time on Carbon Dot Formation, Structure, and Optical Properties. *ACS Omega*, 4(26), 21658-21665. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01798>
8. Purcell-Milton, F., & Gun'ko, Y. (2012). Quantum dots for Luminescent Solar Concentrators. *Journal Of Materials Chemistry*, 22(33), 16687. <https://doi.org/10.1039/c2jm32366d>
9. Qu, D., Zheng, M., Zhang, L., Zhao, H., Xie, Z., & Jing, X. et al. (2014). Formation mechanism and optimization of highly luminescent N-doped graphene quantum dots. *Scientific Reports*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/srep05294>
10. Shi, H., Zhao, Q., Zhou, C., & Jia, N. (2022). Nitrogen and sulfur co-doped carbon quantum dots as fluorescence sensor for detection of lead ion. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 50(2), 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.cjac.2021.09.010>
11. Shi, R., Bi, J., Zhang, Z., Zhu, A., Chen, D., & Zhou, X. et al. (2008). The effect of citric acid on the structural properties and cytotoxicity of the polyvinyl alcohol/starch films when molding at high temperature. *Carbohydrate Polymers*, 74(4), 763-770. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.045>
12. Sk, M., Ananthanarayanan, A., Huang, L., Lim, K., & Chen, P. (2014). Revealing the tunable photoluminescence properties of graphene quantum dots. *J. Mater. Chem. C*, 2(34), 6954-6960. <https://doi.org/10.1039/c4tc01191k>

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our deep and sincere gratitude to our supervisor, Mr. Khunthong Klaythong, and our special supervisor, Asst. Prof. Voranuch Thongpool, for guiding and encouraging us in this research. Thank you to Dr. Samorn Pato, school principal of Princess Chulabhorn Science High School, for giving us permission to conduct this research as well as allowing us to use the school's facilities.

