

วารสารวิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562
Vol. 38 No. 1 January - June 2019

วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ISSN (Print) : 0125-2380
ISSN (Online) : 2672-958X

Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

www.nstru.ac.th

วารสารวิชชา ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

วารสาร
วิชชา
WICHCHA JOURNAL
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2562 Vol. 38 No. 1 January – June 2019

เจ้าของ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฆนัท ธาตุทอง อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
ผู้ช่วยบรรณาธิการ ดร.นฤมล มีบุญ และ ดร.ธัชชา สามพิมพ์

นโยบาย

1. วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตีพิมพ์ตั้งปี พ.ศ. 2524
2. วารสารวิชชาเป็นเอกสารวิชาการแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเผยแพร่ให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงแบบออนไลน์ได้แบบเสรีโดยผ่านกระบวนการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญโดยที่ผู้พิจารณาไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้พิจารณา (double-blind)

ขอบเขตงาน

วารสารวิชชาเป็นวารสารที่ครอบคลุมสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี ซึ่งผู้นำเสนอบทความเป็นบุคลากรของมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

วารสารวิชชา ตีพิมพ์บทความฉบับเต็มในรูปแบบบทความวิชาการและบทความวิจัยตามขอบเขตงาน

กระบวนการพิจารณาบทความ

วารสารที่มีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเนื้อหาบทความเพื่อลงตีพิมพ์จำนวน 2 ท่านต่อบทความ โดยที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบชื่อ (double-blind) และบทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารที่เป็นวรรณกรรมของผู้เขียน บรรณาธิการหรือมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

วารสารวิชชาไม่เก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์

เกี่ยวกับวารสาร

ชื่อวารสาร	: วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ISSN ฉบับตีพิมพ์	: 0125-2380
ISSN ฉบับอิเล็กทรอนิกส์	: 2672-958X
เว็บไซต์วารสาร	https://www.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/index

กำหนดเผยแพร่ เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม)

จัดพิมพ์โดย : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่างิ้ว อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

บรรณาธิการที่ปรึกษา ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้	ราชบัณฑิต สาขาชีววิทยา
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ กาญจนกิจ	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สังวรณ์ กิจทวี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.นภพร ทัศนัยนา	นักวิชาการอิสระ อดีตรองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ จริยานุกูล	นักวิชาการอิสระ อดีตผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

กองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา อังสุภานิช	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงศ์ เกิดทองมี	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิศิโรตม์ เกตุแก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเปญญา จิตตพันธ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจุแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงศ์ โอทอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรศักดิ์ สวัสดี	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองอ่อน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.ปิยรัษฎ์ ปริญญาพงษ์ เจริญทรัพย์	สำนักงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.)
ดร.พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณ์ (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า	คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิศิโรตม์ เกตุแก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภศิลป์ มณีรัตน์	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเปญญา จิตตพันธ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีร ศรีสวัสดิ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้อมจิตต์ แก้วไทย อันเดร	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญยุทธ สุดทองคง	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังคณา ใสเกื้อ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นเรศ ช่วนยุก	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.ไกรยศ แซ่ลิ้ม	คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว
ดร.ขวัญตา ตันติกำธน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ดร.ชันวานี จิใจ	คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
ดร.พจนารถ แก่นจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
ดร.ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.ชยานิษฐ์ บุญสนิท	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ตรวจทานภาษาต่างประเทศประจำฉบับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชไมพร พุทธรัตน์	ศูนย์ภาษา สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ฝ่ายจัดการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุจารี แก้วคง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ แก้วอ่อน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
นางณภัคจิรา ทิพยศุภลักษณ์
นางสาวรัชนี สุขศรีวรรณ

ปก หจก.ปริ้นสโตร์
พิมพ์ที่ หจก.ปริ้นสโตร์
129/607 หมู่บ้านเมืองทอง หมู่ 2 ถนนวันดีโฆษิตกุลพร ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80000
โทร. 092-4464940, 094-1928242, 081-9171839

สารบัญ

หน้า

บทความวิจัย

The Efficiency of *Bacillus* spp. to Remove Ammonia in Shrimp Aquaculture 1
Thossaporn Phatthongkleang Yutthapong Sangnoi Sompong O-Thong
Arnon Uppabullung and Teeyaporn Keawtawee

ผลของสูตรอาหารและการผ่าหน่อต่อการพัฒนาของปลายยอดกล้วยน้ำว้า
ในสภาพปลอดเชื้อ 16
ยุพาภรณ์ วิริยะนานนท์ เพชรพิกุล วางมูล และ สุภาวดี รามสูตร

การคัดแยกและคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* 28
วาสนา เนียมแสวง

Plastic Types and Usage by People in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University Area,
Nakhon Si Thammarat Province 42
Jureerat Sanorkan Fahmida Wazed Tina Suppapat Hemtanon
Maesa Maesutha Kanitta Keeratipattarakorn Anantanit Chumsri
and Veeravan Jongjit Sirijirakal

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการบริโภคพืชผักของประชาชนที่อาศัยรอบหนองเล็งทราย
อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา 53
สมคิด จูหว้า รุ่ง วงศ์วัฒน์ และ อนุกูล มะโนทน

ผลของตัวทำละลายและความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณและความคงตัวของสารสีที่สกัดได้จากพืช 65
ประกิต ไชยธาดา

การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *Escherichia coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก
บริเวณใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 79
สุดสายชล หอมทอง และ ณัฐวดี คงคะคิด

การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยการพาความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า :
จลนพลศาสตร์ คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงาน 91
สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล ณัฐภาส ทองมาก ภวินท์ ชลเกษม และ ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล

ผลผลิตและคุณสมบัติของแป้งสาคูระยะต่าง ๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช 106
ฉัตรชัย สังข์ผุด จีราภรณ์ สังข์ผุด และ อนุสรณ์ บรรลือพืช

การสำรวจความพึงพอใจจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม 120
อัษฎา วรรณกายนต์ นิคม ลนขุนทด เที่ยงธรรม สิทธิจันทเสน
สุรเชษฐ์ วงศ์ชัยประทุม และ สุชาติ ดุมนิล

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ 135
แบบเสนอขอส่งบทความตีพิมพ์ลงในวารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 144

The Efficiency of *Bacillus* spp. to Remove Ammonia in Shrimp Aquaculture

Thossaporn Phatthongkleang[1], Yutthapong Sangnoi[1*], Sompong O-Thong[2], Arnon Uppabullung[1] and Teeyaporn Keawtawee[1]

Abstract

Salt-tolerant *Bacillus* was used to eliminate ammonia in shrimp aquaculture wastewater. *Bacillus* strains were isolated from sediment and water collected from shrimp farms and domestic wastewater. Ammonium oxidizing ability was screened by Griess-Ilosvay method. Five isolates were identified as *Bacillus* spp. with salt requirement within the range of 0-40 g/L NaCl and an optimal pH of 7. *Bacillus* strains TS41, TW31, HS12, HW34 and ES33 exhibited preliminary ammonium removal efficiency on HNM medium for 84.21%-94.86%. Improved ability of synthesized shrimp wastewaters was determined by applying 1% and 5% cell suspension for 7 days. SF experiment with 1% cell suspension of ES33 showed highest ammonium removal of 66.38%, while the results of other treatments showed no significance ($p > 0.05$). SNF experiment, all five *Bacillus* strains showed ammonium removal of 78-96% at day 7. NSF experiment, ES33 provided the highest ammonium removal efficiency of 1% cell suspension at day 7 for 93.14%. The amounts of nitrite and nitrate were presented in all experiments and removed by *Bacillus* species. The results demonstrated the process of nitrification-denitrification reaction. Consequently, our *Bacillus* strains may propose as heterotrophic nitrification-aerobic denitrification species.

Keywords: Salt-tolerant *Bacillus*, Shrimp aquaculture wastewater, Ammonium removal efficiency, Cell suspension, Nitrification-denitrification

[1] Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University.

[2] Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University.

[*] Corresponding author e-mail: yutthapong.s@psu.ac.th

Received: 8 March 2019, Revised: 30 April 2019, Accepted: 15 May 2019

Introduction

Ammonia is a natural component of the nitrogen cycle in the ecosystem because of the substantial amounts of uneaten feedstuff and faeces generated in the process (Lin and Wu, 1996; Read and Fernandes, 2003), which causes rapid accumulation of ammonia in the water. Thus, ammonia induces a large variety of physiological disturbances and immunosuppression on aquatic animals. It is toxic to aquatic animals.

Nitrogen-containing compounds released into the environment can create serious problems, such as eutrophication in river and coastal areas (Fennesy and Cronk, 1997). Furthermore, nitrite accumulation was a critical issue inherent in the aquaculture industry, because coastal aquaculture such as marine shrimp and sea bass are important to the economy of Thailand (Paungfoo *et al*., 2007). However, a more serious risk is that the toxicity of ammonia could cause outbreak of shrimp diseases and ultimately result in huge economic losses (Cheng and Chen, 1999). Hence, treatment of culture water to decrease the rapid accumulation of ammonia for such an activity has become increasingly crucial.

There are three mechanisms to remove ammonia, nitrite, and nitrate in aquaculture, including physical, chemical and biological methods (Wang *et al*., 2008), but other physical and chemical methods are not able to remove nitrite completely. Typically, adding of chemical substances is totally accumulative in shrimp culture pond and environment (Charoendat *et al*., 2016). The best way to accomplish is through the natural biological mechanism which occurs without pollution and residues (Li *et al*., 2005). Usawakesmanee (2016) suggested that the treatment of wastewater by biological method helps to reduce treating cost.

The biological process that has the ability to transform ammonia to nitrite and further transform nitrite to nitrate is called the nitrification process which is performed by nitrifying bacteria. In the past, nitrifying bacteria was well known as autotrophic bacteria such as *Nitrobacter* and *Nitrosomonas* (Zhang *et al*., 2012; Chankaew *et al*., 2018). Despite nitrogen's transformative ability to nitrify bacteria, they have slow growth and less competition when compared with other heterotrophic bacteria (Sirianuntapiboon *et al*., 2015; Chankaew *et al*., 2018). Nitrogen content in wastewater has large decrease by activities of heterotrophic bacteria, nitrifying bacteria and denitrifying bacteria. These organisms have ability to transform nitrogen compounds as energy source and cell precursor (Sirianuntapiboon *et al*., 2015). Recently, heterotrophic bacteria capable of removing ammonia, nitrite and nitrate have been reported. Some of them can reduce nitrate

to free nitrogen under aerobic conditions via aerobic-denitrification process. Heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacteria such as *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. and *Alcaligenes faecalis* were isolated and their nitrogen removal efficiency determined by several research studies (Joo *et al*., 2005; Wan *et al*., 2011; Yang *et al*., 2011). One of the promising bacterium used for ammonium removal or wastewater treatment is *Bacillus*. *Bacillus* is widely used in the aquaculture industry to improve water quality, promote growth and prevent diseases of aquatic animals (Vaseeharan and Ramasamy, 2003; Chankaew *et al*., 2018). In case of nitrification-denitrification process, *Bacillus* could perform not only heterotrophic nitrification, but also aerobic denitrification. All *Bacilli* are aerobic heterotrophs, implying that they can simultaneously work on nitrification and denitrification (Gupta and Gupta, 2001). Moreover, *Bacillus* species are capable of using nitrate and nitrite as alternative electron acceptors when oxygen is absent (Seenivasagan *et al*., 2017). Other unique characteristics of *Bacillus* are rapid growth, good competition, variety of carbon and nitrogen utilization, salt tolerance, and endo-spore formation (Rosovitz *et al*., 1998; Suharti and Vries, 2004; Manzo *et al*., 2013; Meeboon and Saimmai, 2019). Isolation and understanding of characteristics of *Bacillus* in the nitrification-denitrification process is very important in order to develop and apply them for wastewater treatment. One desirable property for brackish and marine aquaculture treatment is salt-tolerant ability. The bacteria must able to survive and provide good performance in saline conditions. Therefore, the aims of this study are to isolate salt-tolerant *Bacillus* and to determine the efficiency of ammonium removal in wastewater from marine shrimp aquaculture.

Materials and Methods

1. Sample collection

Sediment and water samples were collected from marine shrimp farms and domestic wastewater in Pak Meng Beach ($7^{\circ}30'$ N and $99^{\circ}19'$ E), Trang Province, Thailand. Samples were kept in sterile polyethylene bags and stored at 4 $^{\circ}$C for further study.

2. Isolation and screening of *Bacillus*

Each 1 g or 1 ml of samples was enriched into 100 ml of nutrient broth supplemented with 2% NaCl and an enrichment medium (peptone 5 g, beef extract 3 g, sea salt 2 g, shrimp feed 1g and H_2O 1000 ml) at 35 $^{\circ}$C and shaken at 170 rpm for 24-48 hours. One milliliter of the suspended liquid was serially diluted from 10^{-1} to 10^{-8} in a tube containing 9 ml of distilled water. Suspension tubes were treated in

an 80 ℃ water bath for 10 min. Then 0.1 ml of diluted solution was taken from each tube and spread on nutrient agar supplemented with 2% NaCl (Zhao *et al*., 2017). Gram positive, rod shape and endo-spore forming colony was selected and transferred to fresh medium. Purified isolates of *Bacillus* were obtained by repeated streaking on fresh agar plates. Biochemical characteristics, catalase and oxidase test of *Bacillus* were examined.

3. Preliminary testing for ammonium oxidizing ability

One milliliter of *Bacillus* inoculum was transferred to the nutrient broth (NB) medium (peptone 5 g, beef extract 3 g, ammonium sulfate 15 g and H_2O 1000 ml) and incubated at 35 $^{\circ}$C for 14 days. Nitrite-oxidizing reaction was tested by Griess-Ilosvay method (Lu *et al*., 2012). Positively tested suspensions with red color were further isolated by spreading on nutrient agar medium.

4. Preliminary testing for heterotrophic nitrifying-denitrifying characteristic

Bacillus spp. were incubated in a 250 ml serum bottle containing 100 ml of heterotrophic nitrification medium (HNM) ($(NH_4)_2SO_4$ 0.66 g, sodium succinate 4.72 g, KH_2PO_4 0.50 g, Na_2HPO_4 0.50 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.20 g, NaCl 20.00 g and H_2O 1000 ml) (Zhang *et al*., 2012). The incubation was performed at 30 ℃ on a rotary shaker at 160 rpm for 7 days. The concentration of ammonium nitrogen (NH_4^+-N), nitrite (NO_2^--N) and nitrate (NO_3^--N) were determined on day 7.

5. Salt requirement and optimal pH on growth

One milliliter of cell suspension was cultured in a tube with 10 ml of NB medium. The pH of NB was varied at 3, 5, 7, 9 and 11. Salt requirement trial was set at 0, 10, 20, 30 and 40 g/L (ppt). Cultivation tubes were shaken at 170 rpm for 24 hrs. Growth profile of *Bacillus* was determined by optical density (OD) at 600 nm (Song *et al*., 2011; Seenivasagan *et al*., 2017).

6. Shrimp wastewater preparing

Four experiments of different shrimp wastewaters were designed. Experimental wastewaters were devised as sterilized and non-sterilized treatments. Each of them was exactly separated as fermented and non-fermented with shrimp feed. For fermented trials, shrimp wastewaters were synthesized by fermentation of 1% commercial shrimp feed for 3 days. The synthesized shrimp wastewaters are shown in Table 1.

7. Efficiency of ammonium removal

Bacillus strains grown in Heterotrophic nitrification medium and preliminary showed high efficiency of ammonium removal and were further studied for inorganic nitrogen removal of four synthesized shrimp wastewaters (Table 1). Cell

suspensions of *Bacillus* spp. were prepared in NB until 10^7 CFU/ml. In each experimental study, cell suspension used both of 1% (50 ml) and 5% (250 ml) in 5 L of prepared wastewaters. All designed experiments and control treatment (CTRL) were performed for 7 days in an aerated system. Each CTRL treatment was same prepared as that experiments but no added bacterial cell suspension. Every day 4 and day 7, wastewaters were sampled and examined for the concentration of ammonia, nitrite and nitrate followed by the standard colorimetric method (Strickland and Parsons, 1972).

Table 1 Synthesized shrimp wastewaters for ammonium removal study

Experiment	Sterilization (121 °C, 15 mins)	Fermentation (1% shrimp feed, 3 days)
1-SF	sterilized	fermented
2-SNF	sterilized	non-fermented
3-NSF	non-sterilized	fermented
4-NSNF	non-sterilized	non-fermented

8. Statistics analysis

Results were shown as the average of at least three independent experiments and were presented as means±SD (standard deviation of means). All statistical analyses were carried out by one-way ANOVA. That performed using the software package SPSS and minimum significant differences were calculated by the Duncan multiple range test ($p < 0.05$).

Results

1. Isolation and characterization of *Bacillus*

Thirty-three isolates were proposed as *Bacillus*. Then, 24 out of 33 isolates exhibited positive results with Griess-Ilosvay testing. All 24 isolates were preliminarily determined for nitrogen removal (NH_3, NO_2^- and NO_3^-) on HMN medium. Only 5 strains, including TS41, TW31, HS12, HW34 and ES33, showed high ammonium removal efficiency of more than 90% (94.86%, 93.94%, 93.17%, 90.65% and 84.21%, respectively) (Figure 1). These 5 strains were able to transform ammonia to nitrite, but only minimally continue to nitrate. Figure 2 shows ability of strains TS41, TW31, HS12, HW34 and ES33 on nitrite production of 11.55, 18.76, 6.43,

0.98 and 16.15 mg-N/L, respectively and nitrate production of 2.09, 2.11, 1.31, 1.73 and 1.65 mg-N/L, respectively.

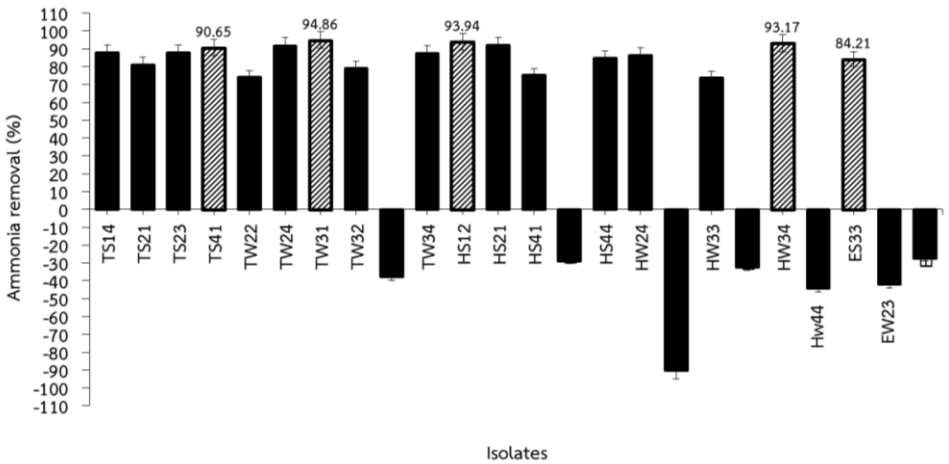


Figure 1 Ammonium oxidizing ability of *Bacillus* spp. on HNM medium. Values are means±SD (error bars) for three replicates.

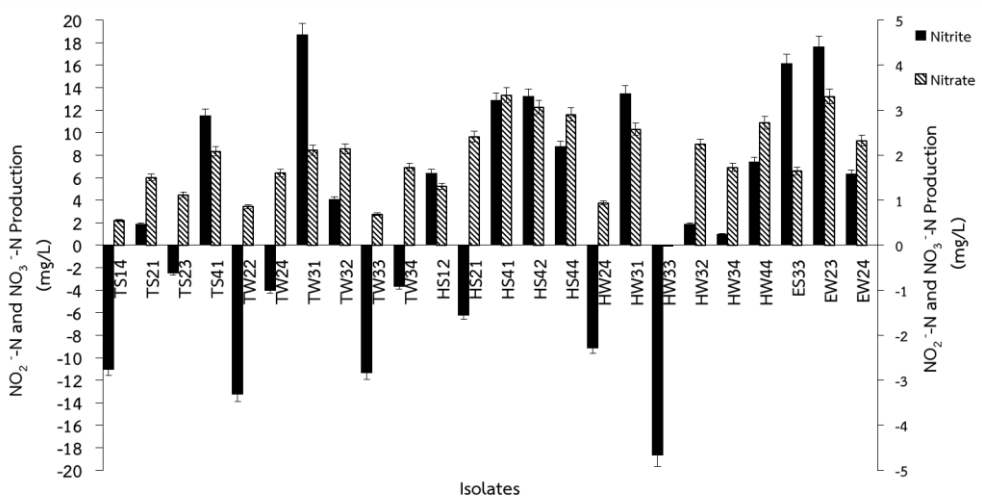


Figure 2 Nitrite and nitrate production abilities of *Bacillus* spp. on HNM medium. Values are means±SD (error bars) for three replicates.

2. Salt requirement and optimal pH on growth of *Bacillus*

The results showed that five isolated *Bacillus* strains have slight growth at pH 3-5. They have optimal growth at pH 7 and then growth slightly decreases to a pH of 9-11 (Figure 3). Our *Bacillus* isolates can grow in wide spectra

of salt concentration of 0-40 g/L NaCl. Whereas strain, HW34, had slight growth at 0-10 g/L NaCl, but it displayed maximum growth when the salt concentration rose to 20-40 g/L NaCl (Figure 3).

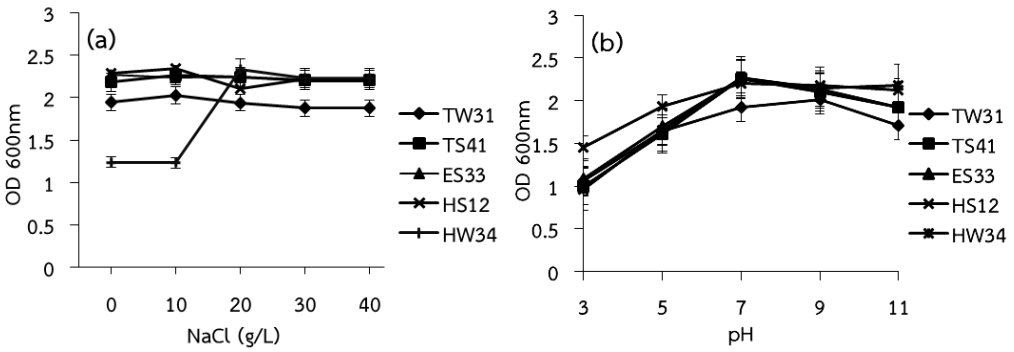


Figure 3 Growth profiles of *Bacillus* spp. under different salinity (a) and pH (b)
Values are means±SD (error bars) for three replicates.

3. Efficiency of *Bacillus* on ammonium removal of synthesized shrimp wastewater

3.1 Ammonium removal efficiency

Which all five *Bacillus* strains were studied for treatment in four different experiments of synthesized shrimp wastewaters as shown in Table 1. Each *Bacillus* cell suspension of 1% and 5% was applied to synthesized wastewaters and was aerated for 7 days. The result of experiment 1 (SF) showed that 1% and 5% cell suspension adding all five *Bacillus* provided slight ammonium removal at day 4 (initial ammonia was 3.61±0.04 mg-N/L). The amount of ammonium removed was about 53-66% until day 7, whereas removal showed no significance ($p > 0.05$) of all strains and control treatments (Figure 4a). Experiment 2 (SNF), 1% cell suspension of all five *Bacillus* strains showed ammonium removal ability of 78-96% at day 7 displaying significant ammonium removal ability 5% higher than cell suspension and control treatments. Ammonium removal capabilities of strains TW31, ES33 and HW34 (1% cell suspension) were fast and high after 4 days of operation (initial ammonia was 2.15±0.05 mg-N/L). In contrast, 5% cell suspension of strains TW31, ES33, HW34 and HS12 at day 4 exhibited an increasing amount of ammonium. High volume addition of these bacteria may firstly produce ammonia during cell adjustment into new conditions. Then cells will be harmonized to wastewater and ammonium removal capability (Figure 4b). Experiment 3 (NSF), 1% cell suspension of strains ES33, HW34 and TS41 exhibited rapid ammonium removal at day 4 (initial

ammonia was 1.18±0.01 mg-N/L). Strain ES33 provided the highest ammonium removal efficiency of 1% cell suspension at day 4 and 7 for 90.01% and 93.14%, respectively. Ammonium removal of strains TW31 and TS41 showed effectiveness at 5% cell suspension at day 4 for 81.04% and 87.22%, respectively (Figure 4c). Strains TS41 and HS12 with 5% cell suspension have provided ammonium removal ability of 83.67% and 85.27%, respectively. Non-sterilized and non-fermented shrimp wastewater treatments (NSNF; experiment 4) showed overall ammonium removal efficiency with a range of 60-96% (initial ammonia was 1.18±0.01 mg-N/L). However, the results have no significance ($p > 0.05$) between 1% and 5% of cell suspension as well as dates of treatments (Figure 4d).

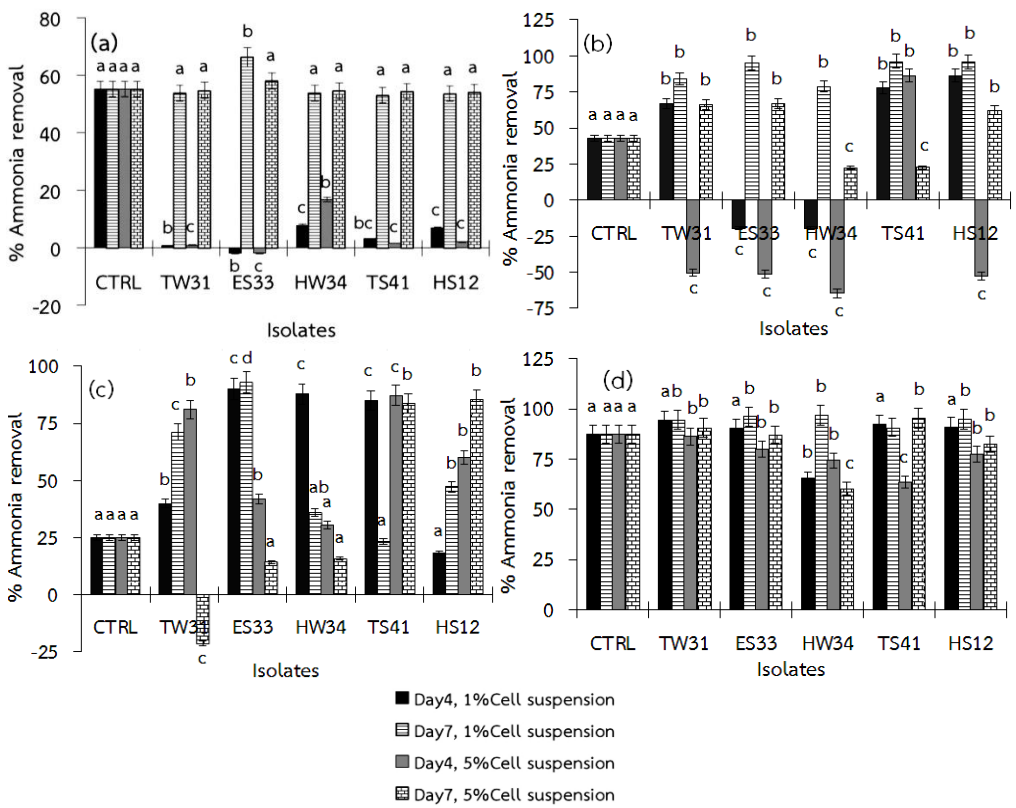


Figure 4 Ammonium removal efficiencies of *Bacillus* spp. (a), 1-SF; (b), 2–SNF; (c), 3-NSF; (d), 4-NSNF. Values represent the mean±SD (n=3). Values with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) among them.

3.2 Nitrite removal efficiency and nitrate production

The initial nitrite concentration of synthesized wastewater was maintained at the low level (<1 mg-N/L). However, NO_2^- volumes of experiments

were produced and eliminated in the incubation process. In the SNF experiment, *Bacillus* strain TW31 with 5% cell suspension had removed nitrite volume at day 4 and 7, about 94.69% and 95.30%, respectively and showed higher than 1% cell suspension. Moreover, strains ES33, HW34, TS41 and HS12 demonstrated highest nitrite removal with 1% cell suspension at day 4 for 96.66%, 88.18%, 86.51 and 91.06%, respectively (Figure 5a). The control trial of SNF, in contrast, showed very low nitrite production and removal due to death of microorganisms in raw wastewater by autoclaving. Hence, the control trial of NSF showed nitrite removal of approximately 29%. This confirmed our assumption that live microorganism cells in raw wastewater played a role in nitrogen removal proficiency. *Bacillus* strains TW31, ES33, HW34, TS41 and HS12 with 1% cell suspension exhibited remarkably high nitrite removal for 87.40%, 93.70%, 92.12%, 68.50 and 96.06%, respectively (Figure 5b). Nitrate removal in the SF experiment showed highest ability for nitrate removal with 98.80% at day 4 (5% cell suspension) by strain HS12. Followed by 95.11% removal at day 4 (5% cell suspension) for strain TS41. While, other 3 isolates showed no significance ($p > 0.05$) for nitrate removal, except strain TW31 with 5% cell suspension (day 7), but had no nitrite removal ability (Figure 5c). The NSF experiment of nitrate result displayed 1% cell suspension of strains TW31, ES33, HW34 and HS12 and provided high nitrate removal at day 4 of 45.54%, 84.81%, 89.49% and 86.62%, respectively (Figure 5d). Whereas, strain TS41 exhibited the highest nitrate removal ability with 5% cell suspension after incubating for 7 days.

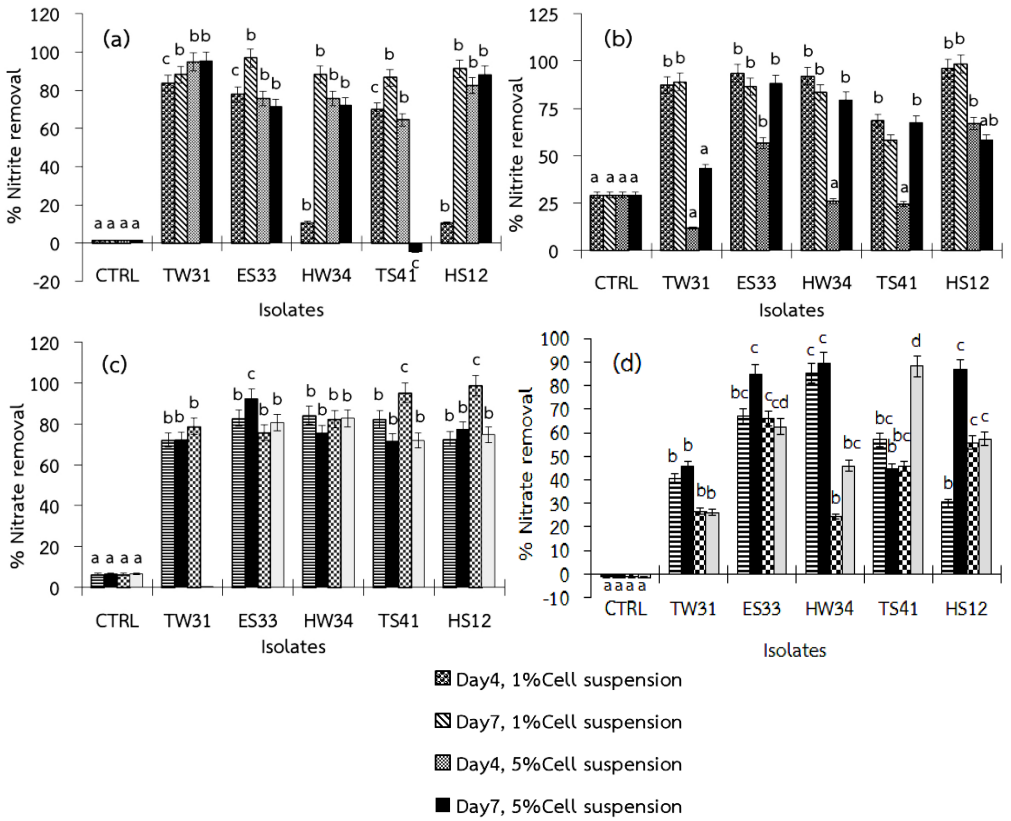


Figure 5 Nitrite (a-b) and nitrate (c-d) removal efficiencies of *Bacillus* spp. (a), SNF; (b), NSF; (c), SF; (d), NSF. Values represent the mean±SD (n=3). Values with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) among them.

Discussion

Zhang *et al.* (2012) reported a similar study of growth and nitrification efficiency of other *Bacillus* spp. which displayed high growth at an initial pH of 7-8. Consistent with those reported in this present study, acidic (pH 5-6) or alkaline (pH 9-10) conditions were hazardous to the growth of *Bacillus*. The slightly alkaline environment was conducive to heterotrophic nitrification (Mevel and Prieur, 2000). Mevel and Prieur (2000) reported that *Bacillus* MS 30 had an optimal growth salinity of 16 g/L NaCl, and it could not grow when the salinity was increased to 28.50 g/L NaCl. Therefore, our five *Bacillus* strains should be proposed as salt–tolerant species with a wide range of salinity of at least 0-40 g/L NaCl. That salinity range is for optimal growth of coastal species (Sutin, 2010). This characteristic expands their application scope, regardless of the coastal and mariculture wastewaters containing high salinity.

The ammonium removal result of experiment 3 (NSF) of all *Bacillus* strains provided higher efficiency than other experiments. NSF experiment was non-sterilized; hence, it still consisted of indigenous bacteria (Ongsara *et al*., 2012). Moreover, fermented shrimp feed released organic compounds as nutrients serving bacteria. A combination of microorganisms between our *Bacillus* isolates and indigenous microorganisms showed co-working and synergy on ammonium elimination ability. While sterilized wastewater in experiment 2 (SNF), displayed no contaminated microorganisms in the trial. The result of this treatment showed lower ammonium removal efficiency than NSF treatment. This suggested that the ability of only *Bacillus* strains for ammonium removal was less, in contrast with the cooperation of microorganisms. Shrimp feed consists mainly of protein and phosphorus (Hmadhloo *et al*., 2013). It will release nitrogen and phosphorus compounds to serve *Bacillus* spp. and other microorganisms (Mclntosh *et al*., 2001; Dechmahitkul *et al*., 2007). Non-sterilized shrimp wastewater decomposed organic and inorganic matters by wild microorganisms (O-Thong *et al*., 2003). *Bacillus* strains were heterotrophic nitrification bacteria. They have efficiency for ammonium removal and a less complex nitrification process than autotrophic bacteria (Gupta and Gupta, 2001). Therefore, heterotrophic *Bacillus* may have high potential to be applied in aquaculture wastewater treatment.

In this study, our *Bacillus* isolates were found to be leading to aerobic nitrification. Yang *et al*. (2011) described that NO_2^- is converted to NO_3^- by the nitrification process and nitrate can be further converted to free nitrogen in aerobic denitrification reactions by heterotrophic nitrification bacterium. In our investigation, five *Bacillus* strains showed ammonium removal characteristics as well as the ability to transform ammonium to nitrite. Furthermore, they can eliminate and transform nitrite to nitrate as well as remove nitrate. However, free nitrogen gas that is reduced from nitrate in the operation system should be further analyzed.

Conclusions

Five *Bacillus* strains, including TW31, HS12, HW34, TS41 and ES33, were isolated based on the characteristic high efficiency ammonium removal ability. These *Bacillus* strains have the property of salt tolerance. When treating the synthesized shrimp wastewaters with 5 isolated *Bacillus*, 1% and 5% of cell starters were not effectively significant for ammonium removal ability. Indeed, 1% cell starter was suggested for use in order to reduce costs. Nitrite amounts were presented in all experiments and further highly removed reaching 96% by *Bacillus* species. In addition, nitrate volumes were produced in all experiments and then

removed almost 100% by our *Bacillus* isolates. Consequently, our five *Bacillus* isolates can be proposed as heterotrophic nitrification–aerobic denitrification species. Moreover, these five *Bacillus* strains can be used for removal of ammonia, nitrite and nitrate in shrimp aquaculture with saline conditions.

Acknowledgments

This research project was supported by Government Budget Grant of Thailand (NAT620128S).

References

Chankaew, S., O-Thong, S. and Sangnoi, Y. (2018). Nitrogen removal efficiency of salt-tolerant heterotrophic nitrifying bacteria. *Chiang Mai Journal of Science*, 45(1), 11-20.

Charoendat, U., Chumchareon, M. and Phumee, P. (2016). Effects of Creat (*Andrographis paniculata* Wall. Ex Nees) Extract on Growth Performance and Bacterial Disease Resistance in Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *RMUTSV Research Journal*, 8(2), 190-202.

Cheng, S.Y. and Chen, J.C. (1999). Haemocyanin oxygen affinity and the fractionation of oxyhemocyanin and deoxyhemocyanin for *Penaeus monodom* exposed to elevated nitrite. *Aquatic Toxicology*, 45(1), 35-46.

Dechmahitkul, W., Youkong, C., Poomputra, K., Akeprathumchai, S. and Mekvijitsaeng, P. (2007). Study on media formulation and production process of *Bacillus subtilis* spores for animal probiotics. *KMUTT Research and Development Journal*, 30(2), 251-259.

Fennesy, M.S. and Cronk, J.K. (1997). The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate. *Environmental Science and Technology*, 27(4), 285-317.

Gupta, A.B. and Gupta, S.K. (2001). Simultaneous carbon and nitrogen removal from high strength domestic wastewater in an aerobic RBC biofilm. *Water Research*, 35(7), 1714-1722.

Hmadhloo, S., Tanyaros, S. and Phumee, P. (2013). Effect of C : N ratio in integrated culture of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) using biofloc technology. *RMUTSV Research Journal*, 5(1), 96-106.

Joo, H.S., Hirai, M. and Shoda, M. (2005). Characteristics of ammonium removal by heterotrophic nitrification–aerobic denitrification by *Alcaligenes faecalis* No. 4. *Bioscience and Bioengineering*, 100(2), 184-191.

Li, P., Zhang, S. and Liu, D.L. (2005). Study progress of bacterial aerobic denitrification. *Microbiology*, 25(1), 60-64.

Lin, S.H. and Wu, C.L. (1996). Electrochemical removal nitrite and ammonia for aquaculture. *Water Research*, 30(3), 715-721.

Lu, Y., Wang, X., Liu, B., Liu, Y. and Yang, X. (2012). Isolation and characterization of heterotrophic nitrifying strain W1. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(5), 995-1002.

Manzo, N., Luccia, D.B., Isticato, R., Apuzzo, D.E., Felice, D.M. and Ric, E. (2013). Pigmentation and sporulation are alternative cell fates in *B. pumilus* SF214. *PLOS ONE*, 8(4), 1-12.

Mclntosh, D., Samocha, T.M., Jones, E.R., Lawrence, A.L., Horowitz, S. and Horowitz, A. (2001). Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 3%) on water and sediment quality on the production *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. *Aquaculture Engineering*, 25(2), 69-82.

Meeboon, N. and Saimmai, A. (2019). Characterization of biosurfactant produced by *Bacillus subtilis* AS6 isolated from mangrove sediment in Phuket province. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 11(1), 67-83.

Mevel, G. and Prieur, D. (2000). Heterotrophic nitrification by a thermophilic *Bacillus* species as influenced by different culture conditions. *Canadian Journal of Microbiology*, 46(5), 465-473.

Ongsara, N., Sungpud, J. and Liamtong, S. (2012). Microbiological quality of drinking water at Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 31(2), 11-21.

O-Thong, S., Jiapakdee, R. and Intrasungkha, N. (2003). Wastewater generated from marine shrimp feed and its treatment potential by internal filter system. *Thaksin University Journal*, 6(1), 41-53.

Paungfoo, C., Prasertsan, P., Burrell, P.C., Intrasungkha, N. and Blackall, L.L. (2007). Nitrifying bacterial communities in an aquaculture wastewater treatment system using fluorescence in situ hybridization (FISH), 16S rRNA gene cloning, and phylogenetic analysis. *Biotechnology and Bioengineering*, 97(4), 985-990.

Read, P. and Fernandes, T. (2003). Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 226(1-4), 139-163.

Rosovitz, M.J., Voskuil, M.I. and Chambliss, G.H. (1998). *Bacillus*. *Microbiology and Microbial Infections Systematic Bacteriology*, 2, 709-729.

Seenivasagan, R., Kasimani, R., Babalola, O.O., Karthika, A., Rajakumar, S. and Ayasamy, P.M. (2017). Effect of various carbon source, temperature and pH on nitrate reduction efficiency in mineral salt medium enriched with *Bacillus weinstephnisis* (DS45). *Groundwater for Sustainable Development*, 5, 21-27.

Sirianuntapiboon, S., Chaochon, A. and Chairoung, N. (2015). Efficiency of sequencing batch reactor (SBR) system for treatment of textile wastewater. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 34(1), 1-25.

Song, Z.F., An, J., Fu, G.H. and Yang, X.L. (2011). Isolation and characterization of an aerobic denitrifying *Bacillus* sp. YX-6 from shrimp culture ponds. *Aquaculture*, 319, 188-193.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Canada: Fishery Research Board.

Suharti, H.A. and Vries, S. (2004). NO reductase from *Bacillus azotoformans* is a bifunctional enzyme accepting electrons from menaquinoland a specific endo genous membrane-bound cytochrome C 551. *Biochemistry*, 43, 13487-13495.

Sutin, S. (2010). Water quality of mullet (*Liza oligolepis*, Bleeker, 1985) at Nakhon Si Thammarat bay, Nakhon Si Thammarat province. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 29(2), 58-63.

Usawakesmanee, N. (2016). The Use of dried water hyacinth as a feed supplement for rearing Silver barb (*Puntius gonionotus*). *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 35(1), 70-78.

Vaseeharan, B. and Ramasamy, P. (2003). Control of pathogenic *Vibrio* spp. By *Bacillus subtilis* BT23, a possible probiotic treatment for black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Letters in Applied Microbiology*, 36(2), 83-87.

Wan, C., Yang, X., Lee, D.J., Du, M., Wan, F. and Chen, C. (2011). Aerobic denitrification by novel isolated strain using as nitrogen source. *Bioresource Technology*, 102(15), 7244-7248.

Wang, Y.B., Li, J.R. and Lin, J.D. (2008). Probiotics in aquaculture: challenges and outlook. *Aquaculture*, 281, 1-4.

Yang, X.P., Wang, S.M., Zhang, D.W. and Zhou, L.X. (2011). Isolation and nitrogen removal characteristics of an aerobic heterotrophic nitrifying-denitrifying bacterium, *Bacillus subtilis* A1. *Bioresource Technology*, 102(2), 854-862.

Zhang, Q.L., Liu, Y., Ai, G.M., Miao, L.L., Zheng, H.Y. and Liu, Z.P. (2012). The characteristics of a novel heterotrophic nitrification–aerobic denitrification bacterium, *Bacillus methylotrophicus* strain L7. *Bioresource Technology*, 108, 35-44.

Zhao, C., Yan, X., Yang, S. and Chen, F. (2017). Screening of *Bacillus* strains from Luzhou-flavor liquor making for high-yield ethyl hexanoate and low-yield propanol. *Food Science and Technology*, 77, 60-66.

ผลของสูตรอาหารและการผ่าหน่อต่อการพัฒนาของปลายยอดกล้วยน้ำว้าในสภาพปลอดเชื้อ

Effect of Culture Media and Bud Splitting on Development of Banana (*Musa* sp. cv. Namwa (ABB)) from *In Vitro* Shoot Bud Culture

ยุพาภรณ์ วิริยะนานนท์[1*] เพชรพิกุล วางมูล[2] และ สุภาวดี รามสูตร[3]
Yupaporn Wiriyananont[1*], Petchpikul Vangmul[2] and Supawadee Ramasoot[3]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสูตรอาหารและการผ่าแบ่งหน่อต่อการเพิ่มปริมาณยอดรวมของกล้วยน้ำว้าในสภาพปลอดเชื้อ โดยใช้ชิ้นส่วนปลายยอดมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนำยอดรวม พบว่าอาหารสูตร Murashige และ Skoog (MS) เติม N^6-benzyladenine (BA) เข้มข้น 1 หรือ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครสร้อยละ 3.00 ผงวุ้นร้อยละ 0.75 และผงถ่านร้อยละ 0.10 ให้จำนวนยอดรวมเฉลี่ยไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาถึงการผ่าแบ่งชิ้นส่วนพืช พบว่า การตัดยอดและผ่าครึ่งตามยาวออกเป็น 2 ส่วน ให้การสร้างยอดรวมร้อยละ 100 จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด 2.30 ยอดต่อต้น ประกอบด้วยจำนวนใบเฉลี่ย 2.30 ใบต่อต้น และความสูงต้นเฉลี่ย 3.22 เซนติเมตร เมื่อตัดยอดไปชักนำราก พบว่า อาหารสูตร ½ MS เติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 3.00 ผงวุ้นร้อยละ 0.75 และผงถ่านร้อยละ 0.10 ให้สร้างราก สูงสุดร้อยละ 96.00 ให้จำนวนราก 5 รากต่อชิ้นส่วน ซึ่งต้นกล้วยน้ำว้าที่ได้ มีลักษณะลำต้นปกติ ยืดยาว ใบมีสีเขียวเข้ม รากเป็นรากแขนง เกิดขึ้นบริเวณโคนลำต้น จากการศึกษานี้การตัดยอดแล้วผ่าตามยาวออกเป็น 2 ส่วน แล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนำยอดรวม เป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์กล้วยน้ำว้าในสภาพปลอดเชื้อต่อไป

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ การผ่าหน่อ สูตรอาหาร

[1] หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
[2] หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
[3] หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
[*] Corresponding author e-mail: sirisomy@gmail.com

Received: 21 July 2018, Revised: 17 January 2019, Accepted: 26 April 2019

Abstract

The aim of this study was to determine the effect of explant preparations on shoot proliferation of banana (*Musa* sp. cv. Namwa) *in vitro*. Multiple shoots formation was not significant difference after culturing on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with 1 and 3 mg/l N^6-benzyladenine (BA) and 0.10% activated charcoal. Cutting pseudostem and median longitudinal section the shoot gave the highest percentage of multiple shoot induction at 100 and average number of shoots at 2.30 shoots/explant. The new shoot consisted of 2.30 leaves/shoot with 3.22 cm of plant height. In case of root induction, ½ MS with 3.00% sucrose, 0.75% agar and 0.10% activated charcoal gave the highest result in root induction at 96 (5 roots/explants). *In vitro* normal shoots with dark green leaves and white lateral root around stem were obtained from this study. Therefore, cutting pseudostem and in median longitudinal section of shoot was suitable for mass propagation and breeding of banana.

Keywords: *Musa* sp. cv. Namwa, Micropropagation, Bud splitting, Culture media

บทนำ

กล้วยน้ำว้า *Musa* sp. cv. Namwa (ABB) เป็นไม้ผลที่มีคุณประโยชน์มากมาย สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ โดยทั่วไป กล้วยน้ำว้าขยายพันธุ์โดยใช้หน่อ จากหน่อพันธุ์หนึ่งหน่อเมื่อนำไปเพาะก็จะสามารถผลิตต้นกล้วยได้หนึ่งต้น อีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์ได้จำนวนมาก ปลอดโรค และมีความสม่ำเสมอของต้น คือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ปัจจุบันพบว่าหลายประเทศ เช่น ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน ออสเตรเลีย และคอสตาริก้า ได้นำเอาวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาใช้ในการขยายพันธุ์กล้วยในเชิงการค้ามากขึ้น (กัลยาณี และคณะ, 2558) นอกจากนี้เกษตรกรรวมทั้งนักวิจัย ได้พยายามพัฒนาเทคนิค เพื่อเพิ่มจำนวนต้นพันธุ์กล้วยให้ได้จำนวนมากขึ้น ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความนิยมคือการผ่าหน่อ เพราะในการผ่าหน่อกล้วยนั้นทำให้ได้ต้นพันธุ์กล้วยมากกว่าหนึ่งต้นจากหนึ่งหน่อ และประหยัดค่าใช้จ่าย แต่อย่างไรก็ตาม การขยายพันธุ์กล้วยในสภาพธรรมชาตินั้น เกษตรกรมักประสบปัญหาเรื่องโรคและแมลงรบกวน เนื่องจากหน่อพันธุ์ที่นำมานั้นอาจมีโรคหรือแมลงติดมาด้วย หากนำมาปลูกแล้วเกิดการแพร่ระบาดก็จะยิ่งสร้างความเสียหายเพิ่มมากขึ้น จากปัญหาดังกล่าว การผลิตต้นพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ ผลสำเร็จของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งทางกายภาพ เช่น แสง อุณหภูมิ รวมทั้งการเตรียมชิ้นส่วนพืช และปัจจัยทางเคมี เช่น สารควบคุมการเจริญเติบโตโดยเฉพาะสารในกลุ่มไซโตไคนิน ที่นิยมใช้คือ N^6-benzyladenine (BA) หรือ 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) (Deepika *et al.*, 2018) มีรายงานความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง (นิพิจ และพีระศักดิ์, 2551) กล้วยหิน (อรุณี, 2557) กล้วยช้าง (พัชนันท์ และพจมาลย์, 2557) กล้วยหอม (Hussein, 2012) เป็นต้น และยังมีรายงานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยร่วมกับการใช้เทคนิค

การผ่าหน่อหรือลำต้นในสภาพปลอดเชื้อ เช่น การผ่าแบ่งหน่อกล้วยพันธุ์ Yangambi ออกเป็น 4 ส่วน มาเพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อสามารถชักนำยอดรวมได้ถึง 8.37 ยอดต่อชิ้นส่วน (Ngomuo *et al*., 2014) การตัดยอดและผ่าครึ่งตามยาวชิ้นส่วนยอดกล้วยหอมเขียว สามารถชักนำยอดรวมได้เฉลี่ย 3 ยอดต่อชิ้นส่วน (วราภรณ์ และสมปอง, 2560) เป็นต้น ในพืชอื่น ๆ เช่น จากรายงานของศรันยา และคณะ (2558) พบว่า การผ่าจุกสับปะรดพันธุ์ “MD2” ออกเป็น 4 ส่วน สามารถเพิ่มจำนวนหน่อพันธุ์ได้เฉลี่ยถึง 8.50 หน่อต่อชิ้นส่วน Josephine and Julian (2011) รายงานว่าการผ่าหน่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียออกเป็น 4 ส่วน สามารถเพิ่มจำนวนหน่อใหม่ได้ถึง 543 หน่อ หลังจากการปลูกเป็นเวลา 6 เดือน และการผ่าแบ่งชิ้นส่วนลำต้นสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีออกเป็น 4 ส่วน สามารถเพิ่มปริมาณยอดรวมได้เฉลี่ย 5.78 ยอดต่อชิ้นส่วน หลังจากวางเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ยุพาภรณ์ และเพชรพิกุล, 2560)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะคัดเลือกต้นพันธุ์กล้วยน้ำว้าที่ปลอดโรค มาทำการขยายพันธุ์โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ร่วมกับการใช้เทคนิคการผ่าหน่อในสภาพปลอดเชื้อ ซึ่งวิธีการนี้ นอกจากจะเป็นการเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนพืชจากชิ้นส่วนเดิมแล้ว ยังสามารถชักนำให้ชิ้นส่วนพืชพัฒนาเป็นยอดรวมได้มากขึ้น ต้นกล้วยที่ได้มีความสม่ำเสมอ อีกทั้ง ยังเป็นการเก็บรักษาเชื้อพันธุกรรมกล้วยไว้ในสภาพปลอดเชื้อ เพื่อประโยชน์ในการขยายพันธุ์ หรือปรับปรุงพันธุ์กล้วยต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชิ้นส่วนพืช

เก็บตัวอย่างหน่อจากต้นพันธุ์กล้วยน้ำว้าที่ปลอดโรค มาผ่านกระบวนการฟอกฆ่าเชื้อบริเวณผิวของชิ้นส่วนพืช โดยล้างหน่อกล้วยให้สะอาดขัดด้วยแปรงขนนุ่มเบา ๆ ผ่านน้ำไหลแล้วผึ่งให้แห้ง ตัดชิ้นส่วนหน่อ แล้วลอกกาบตาออกโดยผ่านน้ำไหล นำหน่อที่ได้ใส่ในขวดน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ แล้วใส่น้ำยาทีโพล 2-3 หยด เขย่าเป็นเวลา 5 นาที แล้วล้างผ่านน้ำไหลอีกเป็นเวลา 15 นาที ต่อมานำชิ้นส่วนพืชที่ได้มาแช่ในสารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70.00 เป็นเวลา 30 วินาที นำมาฟอกต่อด้วยสารละลายคลอร็อกซ์เข้มข้นร้อยละ 20.00 ร่วมกับทวีน 20 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เป็นเวลา 20 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้งภายในตู้ปลอดเชื้อ ซับชิ้นส่วนพืชด้วยกระดาษทิชชูที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อให้แห้ง ตัดบริเวณชิ้นส่วนพืชที่ช้ำและดำออก ให้เหลือขนาดชิ้นส่วนพืชประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนำยอดเริ่มต้น (Murashige and Skoog, 1962 (MS) เติม BA เข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ผงวุ้น 7.50 กรัมต่อลิตร (ดัดแปลงสูตรอาหารจากวิธีการของ วราภรณ์ และสมปอง, 2560) เพื่อใช้เป็นชิ้นส่วนพืชเริ่มต้นสำหรับการศึกษาถัดไป

2. ศึกษาผลของผงถ่านต่อการชักนำยอดรวม

นำปลายยอดกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อจากการเตรียมชิ้นส่วนพืช มาเพาะเลี้ยงลงบนอาหารสูตรชักนำยอดเริ่มต้น ร่วมกับการไม่เติมผงถ่าน (AC) หรือเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (ดัดแปลงจากวิธีการของ อรุณี, 2557) ภายหลังการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ บันทึกร้อยละและจำนวนยอดรวมที่เกิดขึ้น

3. ศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ต่อการชักนำยอดรวม

นำปลายยอดกล้วยน้ำว้าที่ชักนำได้จากการศึกษาที่ 2 มาเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร MS เติม BA เข้มข้น 0 1 2 3 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดัดแปลงจากการศึกษาของ อรุณี, 2557) อาหารทุกสูตร

เติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 3.00 ผงวุ้นร้อยละ 0.75 และผงถ่านร้อยละ 0.10 ทำการย้ายเลี้ยงบนอาหารสูตรเดิมทุก 4 สัปดาห์ หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกร้อยละและจำนวนยอดรวมที่เกิดขึ้น

4. ศึกษาผลของการผ่าหน่อ (bud splitting) ต่อการเกิดยอดรวม

นำยอดกล้วยน้ำว้าที่ได้ในสภาพปลอดเชื้อมาเพาะเลี้ยงทั้งส่วนยอด หรือ ตัดยอด หรือตัดยอดแล้วผ่าตามยาวเป็น 2 ส่วน แล้วย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรที่ดีที่สุดจากการศึกษาที่ 3 จากนั้นย้ายเลี้ยงชิ้นส่วนพืชบนอาหารสูตรเดิมทุก 4 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกร้อยละและจำนวนยอดรวมที่เกิดขึ้น

5. ศึกษาผลของสูตรอาหารต่อการชักนำราก

นำยอดกล้วยน้ำว้าที่ชักนำได้จากการศึกษาที่ 4 มาเพาะเลี้ยงบนอาหาร 3 สูตร ได้แก่ อาหารสูตร ¼ MS ½ MS และ MS อาหารทุกสูตร เติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 3.00 ผงวุ้นร้อยละ 0.75 และผงถ่านร้อยละ 0.10 ย้ายเลี้ยงทุก 4 สัปดาห์ หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกร้อยละและจำนวนรากที่เกิดขึ้น

6. สภาวะการเพาะเลี้ยง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

เพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ภายใต้การให้แสง 14 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความเข้มแสง 2,000-3,000 ลักซ์ ย้ายเลี้ยงทุก 4 สัปดาห์ โดยวางแผนการทดลองแบบ completely ramdomized design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's mutiple range test (DMRT)

ผลการวิจัย

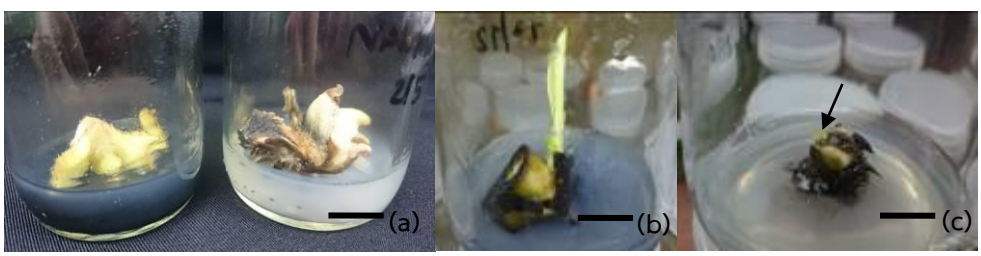
1. ผลของผงถ่านต่อการชักนำยอดรวม

จากการนำชิ้นส่วนหน่อกล้วยน้ำว้าที่ได้จากการชักนำยอดรวมบนอาหารแข็งสูตร MS เติม BA เข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการไม่เติมหรือเติมผงถ่านเข้มข้นร้อยละ 0.10 หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ชิ้นส่วนพืชที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรที่เติมผงถ่าน ให้การพัฒนาของยอดร้อยละ 100 จำนวนยอดรวมเฉลี่ย 1.67±0.51 ยอดต่อชิ้นส่วน ในขณะที่อาหารสูตรที่ไม่เติมผงถ่าน ให้การพัฒนาของยอดรวมร้อยละ 100 และให้จำนวนยอดรวมเฉลี่ย 1.42±0.49 ยอดต่อชิ้นส่วน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของชิ้นส่วนพืชบนอาหารทั้งสองสูตร พบว่า ชิ้นส่วนของหน่อกล้วยน้ำว้าที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติมผงถ่าน ค่อนข้างมีสีน้ำตาลถึงดำ บางส่วนขาวซีด แต่ยังสามารถให้การพัฒนาของยอดรวมได้ (ภาพที่ 1a) ส่วนชิ้นส่วนหน่อกล้วยน้ำว้าที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรที่เติมผงถ่าน ยังคงมีสีเขียว บริเวณปลายยอดมีการบวมพอง และพัฒนาให้ยอดใหม่ได้ (ภาพที่ 1b) ส่วนยอดรวมที่พัฒนาจากชิ้นส่วนพืชในสูตรอาหารที่ไม่เติมผงถ่าน มีการเจริญเติบโตช้า ยอดมีขนาดเล็ก (ภาพที่ 1c)

ตารางที่ 1 ผลของผงถ่านต่อการสร้างยอดรวมของกล้วยน้ำว้า หลังจากเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS เติม BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซูโครสร้อยละ 3.00 และ ผงวุ้นร้อยละ 0.75 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ผงถ่าน (ร้อยละ)	การสร้างยอด (ร้อยละ)	จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน
0	100	1.42±0.49
0.10	100	1.67±0.51
F–test	ns	ns
C.V. (%)	-	25.38

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 1 ชิ้นส่วนปลายยอดกล้วยน้ำว้าหลังจากเพาะเลี้ยงในอาหารชักนำยอดรวม (MS + BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + ซูโครสร้อยละ 3.00 + ผงวุ้นร้อยละ 0.75) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ (a) ลักษณะยอดบนอาหารร่วมกับการเติมผงถ่าน (b) และ ปราศจากการเติมผงถ่าน (c) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาที่ได้ พบว่า ร้อยละยอดรวมและจำนวนยอดรวมต่อชิ้นส่วนบนอาหารทั้งสองสูตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ลักษณะของยอดรวมที่ได้บนอาหารสูตรที่เติมผงถ่านค่อนข้างสมบูรณ์ ยืดยาว มีสีเขียวเข้ม แต่ยอดที่พัฒนาบนสูตรอาหารที่ไม่เติมผงถ่านมีขนาดเล็กและเจริญเติบโตค่อนข้างช้า และชิ้นส่วนพืชมีการปลดปล่อยสารสีน้ำตาลหรืออาจจะเป็นสารประกอบฟีโนลิกออกมาค่อนข้างมาก ซึ่งสารดังกล่าวอาจส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น สำหรับการเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนยอดรวมเพื่อให้ได้จำนวนมากพอสำหรับการศึกษาต่อไป จึงเลือกใช้สูตรอาหารที่มีการเติมผงถ่านเข้มข้นร้อยละ 0.10

2. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ต่อการชักนำยอดรวม

จากการศึกษานี้หลังวางเลี้ยงหน่อกล้วยน้ำว้าจากต้นที่ปลอดโรคเป็นเวลา 8 สัปดาห์ บนอาหารเติม BA ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ทุกความเข้มข้นของ BA ให้การสร้างยอดรวมร้อยละ 100 โดยที่ความเข้มข้นของ BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้การสร้างยอดรวมเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 2.40 ยอดต่อชิ้นส่วน และ 2.60 ยอดต่อชิ้นส่วน ตามลำดับ ส่วนสูตรอาหารที่ไม่เติม BA ให้จำนวนยอดน้อยที่สุด 1 ยอดต่อชิ้นส่วน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การสร้างยอดรวมของกล้วยน้ำว้าหลังจากเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS เติม BA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับซูโครสร้อยละ 3.00 และผงวุ้นร้อยละ 0.75 เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ความเข้มข้นของ BA (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การสร้างยอด (ร้อยละ)	จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน
0	100	1.00±0.52[b]
1	100	2.40±0.73[a]
2	100	1.40±0.73[b]
3	100	2.60±0.50[a]
4	100	1.70±0.83[b]
5	100	1.40±0.73[b]
F-test	ns	*
C.V. (%)	-	24.45

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. ผลของการผ่าหน่อต่อการเกิดยอดรวม

จากการศึกษาผลของการผ่าหน่อต่อการเกิดยอดรวมของกล้วยน้ำว้า พบว่า ทุกการทดลองให้การเพิ่มปริมาณยอดรวมร้อยละ 100 แต่การตัดยอดและผ่าครึ่งตามยาวออกเป็น 2 ส่วน ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด 2.30 ยอดต่อยอดที่เพาะเลี้ยง (จำนวนใบเฉลี่ย 2.30 ใบต่อต้น ความยาวยอด 3.22 เซนติเมตร) รองลงมาคือ การตัดยอดอย่างเดียวให้จำนวนยอดเฉลี่ย 1.60 ยอดต่อยอดที่เพาะเลี้ยง (จำนวนใบเฉลี่ย 2.20 ใบต่อต้น ความยาวยอด 4.23 เซนติเมตร) ส่วนการวางเลี้ยงทั้งยอดให้จำนวนยอดน้อยที่สุด 1 ยอดต่อยอดที่เพาะเลี้ยง (จำนวนใบเฉลี่ย 2.10 ใบต่อต้น ความยาวยอด 5.71 เซนติเมตร) (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตาม ในส่วนของจำนวนยอดและจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนความยาวยอด มีความแตกต่างทางสถิติในระหว่างชุดทดลอง ยอดรวมที่ได้จากการผ่าแบ่งชิ้นส่วนก่อนการเพาะเลี้ยง มีลักษณะปกติ ลำต้นตรง ใบสีเขียว (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 3 ผลของการผ่าหน่อต่อการสร้างยอดรวม จำนวนใบ และความยาวยอด หลังจากเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับซูโครสร้อยละ 3.00 ผงถ่านร้อยละ 0.10 และผงวุ้นร้อยละ 0.75 เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดทดลอง	การสร้างยอด (ร้อยละ)	จำนวนยอดเฉลี่ย (ยอดต่อชิ้นส่วน)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบต่อชิ้นส่วน)	ความยาวยอด (เซนติเมตร)
ยอดสมบูรณ์	100	1.00±0.47	2.10±0.32	5.71±0.42[a]
ตัดปลายยอด	100	1.60±0.52	2.20±0.42	4.23±0.36[b]
ตัดปลายยอดและผ่าครึ่งตามยาว	100	2.30±0.48	2.30±0.48	3.22±0.49[c]
F-test	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	-	24.07	17.03	17.95

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. ผลของสูตรอาหารต่อการพัฒนาของราก

เมื่อพิจารณาถึงการสร้างรากบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า อาหารสูตร ½ MS ให้การสร้างรากสูงสุดร้อยละ 96.00 ให้จำนวนราก 5 รากต่อชิ้นส่วน ในขณะที่อาหารสูตร ¼ MS ให้การสร้างรากต่ำสุดร้อยละ 83.00 จำนวนรากเฉลี่ย 3.33 รากต่อชิ้นส่วน (ตารางที่ 4) ซึ่งต้นที่ได้จากการศึกษานี้ มีลักษณะลำต้นปกติ ยืดยาว ใบมีสีเขียว รากเป็นรากแขนง มีสีขาว เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก บริเวณโคนลำต้น (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 4 ผลของสูตรอาหารต่อการชักนำราก หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์

สูตรอาหาร	การสร้างราก (ร้อยละ)	จำนวนรากต่อชิ้นส่วน
¼ MS	83.00	3.33±0.71
½ MS	96.00	5.00±0.50
MS	86.67	3.44±0.53
F–test	ns	ns
C.V. (%)	26.71	34.26

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 2 ลักษณะการพัฒนาของยอดกล้วยน้ำว้า หลังจากการตัดและผ่าแบ่งชิ้นส่วนยอดเริ่มต้น แล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับซูโครสร้อยละ 3.00 ผงถ่านร้อยละ 0.10 และผงวุ้นร้อยละ 0.75 หลังการย้ายเลี้ยง เป็นเวลา 8 สัปดาห์



ภาพที่ 3 ต้นกล้วยน้ำว้าที่สมบูรณ์บนอาหารสูตร ½ MS เติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 3.00 ผงวุ้นร้อยละ 0.75 และผงถ่านร้อยละ 0.10 หลังการย้ายเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษานี้ การเติมหรือไม่เติมผงถ่านลงในอาหารที่เพาะเลี้ยงไม่ส่งผลต่อการพัฒนาของยอดรวม มีผลเพียงควบคุมสารสีน้ำตาลที่ชิ้นส่วนพืชปลดปล่อยออกมา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Gubbuk and Pekmezci (2007) ที่พบว่า การเติมผงถ่านลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยหอมแคระไม่ส่งผลต่อจำนวนยอดรวมแต่ส่งผลต่อการเกิดรากและช่วยยับยั้งสารสีน้ำตาลที่พืชปลดปล่อยออกมาเท่านั้น ในขณะที่พืชบางชนิด การเติมผงถ่านมีส่วนช่วยในการเจริญพัฒนาของต้นพืช เช่น การเติมผงถ่านลงในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงถั่วปากอ้า (*Vicia faba)* ส่งผลให้จำนวนยอดรวม และความยาวยอดต่อชิ้นส่วนนั้นเพิ่มขึ้นด้วย (Abdelwahd *et al*., 2008) หรือการเติมผงถ่านลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้เอื้องกุหลาบกระเป๋าปิด ส่งเสริมให้ต้นพืชมีความยาวใบ จำนวนใบ และความยาวรากเพิ่มขึ้น (ธนวดี และคณะ, 2559) อย่างไรก็ตาม การเกิดสารสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อกล้วยจำเป็นต้องมีการกำจัดหรือลดปริมาณสารเหล่านี้ลง เพื่อเพิ่มผลสำเร็จของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย โดยมุ่งเน้นหาสารและปริมาณที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ซึ่งการใช้ผงถ่านถือได้ว่าเป็นสารที่มีประสิทธิภาพชนิดหนึ่ง ที่ราคาไม่แพง และยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับพืชอีกหลายชนิด (Ngomuo *et al*., 2014)

เมื่อพิจารณาผลของ BA ต่อจำนวนยอดรวม พบว่า ความเข้มข้นของ BA ที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีจำนวนยอดรวมสูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ วราภรณ์ และสมปอง (2560) ที่พบว่า BA ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำยอดรวมได้สูงสุด เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Rahman *et al.* (2013) ที่ได้รายงานไว้ว่า BA ในระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มปริมาณยอดกล้วยสายพันธุ์ Agnishwar ได้ดีกว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดอื่น ๆ ในขณะที่ อรุณี (2557) พบว่า การเติม BA เข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยหิน สามารถชักนำยอดรวมได้สูงสุด และ Hussein (2012) พบว่า การใช้ BA ที่ความเข้มข้น 7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำยอดรวมในกล้วย (ไม่ระบุสายพันธุ์) ได้ดีที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นไปได้ว่าชนิดหรือพันธุ์ของกล้วยที่แตกต่างกันส่งผลต่อการตอบสนองต่อ BA ที่แตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตาม BA เป็นฮอร์โมนพืชในกลุ่มไซโตไคนินสังเคราะห์ ที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออย่างแพร่หลาย เพื่อเพิ่มจำนวนยอดหรือกระตุ้นการแตกยอดในพืชหลาย ๆ ชนิด ซึ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตถือเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย โดยเฉพาะสารในกลุ่ม ออกซิน และไซโตไคนิน ซึ่งส่วนใหญ่ในเนื้อเยื่อกล้วย นิยมใช้ BA หรือ kinetin ซึ่งอยู่ในกลุ่มไซโตไคนิน เติมลงในอาหารสูตรมาตรฐาน MS เพื่อชักนำให้เกิดยอดรวมเป็นจำนวนมาก และยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในตัวของพืชเองด้วย (Danot, 2007) สารควบคุมการเจริญเติบโต BA มีบทบาทสำคัญในการลดการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด และจะส่งเสริมให้เนื้อเยื่อพืชมีการเจริญทางด้านข้าง (Khalid, 2011) การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้น ขึ้นอยู่กับระยะการพัฒนาของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยปกติแล้วสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มไซโตไคนิน มักส่งเสริมการสร้างตายอด (Ngomuo *et al*., 2014) นอกจากในกล้วยแล้ว ยังใช้ได้ดีในพืชหลายชนิด เช่น ม่วงเทพรัตน์ (ยุพาภรณ์ และคณะ, 2558) ต้นพรมมิ (สกุลรัตน์ และคณะ, 2559) และ สับปะรด (ยุพาภรณ์ และเพชรพิกุล, 2560) เป็นต้น

สำหรับผลของเทคนิคการผ่าหน่อ ต่อการเพิ่มและพัฒนาของยอดรวม พบว่า การตัดยอดและผ่าครึ่งตามยาวออกเป็น 2 ส่วน ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด 2.30 ยอดต่อชิ้นส่วน ในขณะที่ชิ้นส่วนที่ไม่ได้ผ่าแบ่ง ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเพียง 1 ยอด สอดคล้องกับการรายงานของ วราภรณ์ และสมปอง (2560) ที่รายงานไว้ว่า การตัดยอดและผ่าแบ่งชิ้นส่วนกล้วยหอมทองออกเป็น 2 ส่วนตามแนวยาว สามารถชักนำยอดรวมในสภาพปลอดเชื้อได้เฉลี่ยสูงสุด 4.40 ยอดต่อยอดที่เพาะเลี้ยงซึ่งมากกว่าการวางเลี้ยงทั้งชิ้นส่วนพืชเริ่มต้น เช่นเดียวกันกับ Ngomuo *et al*. (2014) ที่พบว่า การผ่าแบ่งหน่อกล้วยพันธุ์ Yangambi ออกเป็น 2 หรือ 4 ชิ้นส่วน แล้วนำไปเพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ สามารถส่งเสริมให้เกิดยอดรวมใหม่ได้เฉลี่ยถึง 8.37 ยอดต่อชิ้นส่วน ส่วนในพืชชนิดอื่น เช่น การผ่าแบ่งชิ้นส่วนหน่อหรือลำต้นสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีก่อนการเพาะเลี้ยงให้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันคือ สามารถเพิ่มปริมาณยอดรวมได้มากกว่าชิ้นส่วนพืชที่ไม่ได้ผ่าแบ่ง (ยุพาภรณ์ และเพชรพิกุล, 2560) การประยุกต์ใช้เทคนิคการผ่าหน่อ หรือลำต้น ออกตามยาว เป็นการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนพืชเริ่มต้น ซึ่งจะส่งเสริมให้พืชแตกตาทางด้านข้างเพิ่มขึ้น โดยปกติการพัฒนาของตาข้างพืชจะถูกควบคุมโดยตายอดและฮอร์โมนออกซินที่อยู่บริเวณปลายยอดซึ่งมีหน้าที่กระตุ้น Acetylene (C_2H_2) ในลำต้น ซึ่งการพัฒนาของเนื้อเยื่อด้านข้างถูกยับยั้งโดยเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด โดยที่เนื้อเยื่อเจริญทางด้านข้างเหล่านี้จะพัฒนาได้เมื่อเนื้อเยื่อเจริญทางยอดถูกยับยั้งหรือเกิดความเสียหาย อิทธิพลการข่มโดยตายอดถูกควบคุมโดยสารประกอบบางชนิดที่ถูกปลดปล่อยโดยตาข้าง ซึ่งจะยับยั้งการเจริญของตาข้าง อีกทั้งยังถูกควบคุม

โดยสารควบคุมการเจริญเติบโต (Hussein, 2012) การผ่าแบ่งชิ้นส่วนพืช นอกจากลดอิทธิพลการข่มตาข้างของออกซินแล้วยังทำให้ชิ้นส่วนมีขนาดเล็กลง ปริมาณอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาเป็นหน่อใหม่ที่มีเหลือในชิ้นส่วนจึงน้อยลงด้วยเช่นกัน ตาที่มีความแข็งแรงที่สุดจึงจะสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ อีกทั้งการผ่าให้ชิ้นมีขนาดเล็กลงยังทำให้ชิ้นส่วนมีความอ่อนแอลงด้วยเช่นกัน (ศรันยา และคณะ, 2558)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษานี้ กระบวนการเพาะเลี้ยงปลายยอดกล้วยที่เหมาะสมคือ การนำชิ้นส่วนพืชมาตัดยอดแล้วผ่าแบ่งออกเป็นสองส่วนตามแนวยาว จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรสำหรับการชักนำยอดรวม คือ อาหารสูตร MS เติม BA เข้มข้น 1-3 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครสร้อยละ 3.00 ผงวุ้นร้อยละ 0.75 และ ผงถ่านร้อยละ 0.10 เพาะเลี้ยงภายใต้ที่มีแสง 14 ชั่วโมงต่อวัน ที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถชักนำยอดรวมได้เฉลี่ย 2-3 ยอดต่อชิ้นส่วน ซึ่งต้นกล้วยที่ได้ ปลอดโรค มีความสม่ำเสมอของต้นพันธุ์ สามารถขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวน แล้วนำไปทดลองปลูกเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตต่อไปได้ อีกทั้งวิธีการนี้ ยังเป็นการเก็บรักษาเชื้อพันธุ์กล้วยที่ปลอดโรคไว้ในสภาพปลอดเชื้อ เพื่อใช้ในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์กล้วยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัย และสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชที่ได้เอื้อเฟื้อให้คำแนะนำ และวัสดุบางส่วนสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กัลยาณี สุวิทวัส ภาสันต์ ศารทลูทัต พินิจ กรินท์ธัญญกิจ พิมพ์นิภา เพ็งช่าง เรืองศักดิ์ กมขุนทด และขวัญหทัย ทนงจิตร. (2558). อัตราการเจริญเติบโตของกล้วยน้ำว้า 8 พันธุ์จากต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 46(3)(ฉบับพิเศษ), 213-216.

ธนวดี พรหมจันทร์ สุภาวดี รามสูตร และปรีดา บุญเวศน์. (2559). ผลของผงถานและวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโต และอัตรารอดชีวิตของตนกลวยไม้เอื้องกุหลาบกระเป๋าปิด. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 35(2), 53-61.

นิพิจ พินิจผล และพีระศักดิ์ ฉายประสาท. (2551). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 39(3)(ฉบับพิเศษ), 116-119.

พัชนันท์ เย็นใส และพจมาลย์ สุรนิลพงศ์. (2557). ผลของ benzyladenine และ thidiazuron ต่อการชักนำยอดรวมของกล้วยช้างในสภาพปลอดเชื้อ. *แก่นเกษตร*, 42(3)(ฉบับพิเศษ), 157-161.

ยุพาภรณ์ จิโรภาสภาณุวงศ์ สุภาวดี รามสูตร เกศศิรินทร์ มหรรณพ และธิดารัตน์ นิลกระวัตร์. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมวงเทพรัตนในสภาพปลอดเชื้อโดยใช้พาโคลบิวทราโซล. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 34(1), 53-60.

ยุพาภรณ์ วิริยะนานนท์ และเพชรพิกุล วางมูล. (2560). ผลของเทคนิคการผ่าหน่อต่อการเพิ่มจำนวนต้นสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี (Queen Group) ในสภาพปลอดเชื้อ. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 4(4), 10-15.

วราภรณ์ หีดฉิม และสมปอง เตชะโต. (2560). ผลของการเตรียมชิ้นส่วนและความเข้มข้นของ BA ต่อการสร้างยอดรวมของกล้วยหอมเขียวในหลอดทดลอง. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 4(2), 6-12.

ศรันยา คุ้มปลี ธีร์ หะวานนท์ และภาสันต์ ศารทลูทัต. (2558). การเพิ่มจำนวนหน่อพันธุ์สับปะรด 'MD2' โดยวิธีการผ่าจุก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 46(3)(ฉบับพิเศษ), 121-124.

สกุลรัตน์ แสนปุตะวงษ์ ทิวา รักนิ่ม และสมปอง เตชะโต. (2559). ผลของสูตรอาหารต่อการสร้างแคลลัสและการพัฒนา เป็นพืชต้นใหม่ของ *Bacopa monnieri* L. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,* 8(1), 22-30.

อรุณี ม่วงแก้วงาม. (2557). การขยายพันธุ์กล้วยหิน (*Musa sapientum* Lin.) ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อปลายยอด. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 1(3), 24-27.

Abdelwahd, R., Hakam, N., Labhilili, M. and Udupa, S.M. (2008). Use of an absorbant and antioxidant to reduce the effect of leached phenolics in *in vitro* plantlet regeneration of faba bean. *African Journal of Biotechnology*, 7(8), 997-1002.

Danot, M.U. (2007). Morpho-Physiological aspects of micro-propagating banana under different hormonal condition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(3), 496-501.

Deepika, C., Basanti, B., Singh, J.D., Subhash, K. and Anil, P. (2018). An insight into *in vitro* micropropagation studies for banana-review. *Internation Journal of Agriculture Sciences*, 10(5), 5346-5349.

Gubbuk, H. and Pekmezci, M. (2007). *In vitro* propagation of banana (*Musa* spp.) sing thidiazuron and activated charcoal. *Acta Agriculture Scandinavica*, *Section B-Soil & Plant Science*, 56(1), 65-69.

Hussein, N. (2012). Effects of nutrient media constituents on growth and development of banana (*Musa* spp.) shoot tips cultured *in vitro*. *African Journal of Biotechnology*, 11(37), 9001-9006.

Josephine, U.A. and Julian, O. (2011). Split crown technique for mass propagation of smooth Cayenne pine apple in South-South Nigeria. *African Journal of Plant Science*, 5(10), 591-598.

Khalid, N. (2011). Effect of Benzylaminopurine (BAP) pulsing on *in vitro* shoot multiplication of *Musa acuminate* (banana) cv. Berangan. *African Journal of Biotechnology*, 10(13), 2446-2450.

Murashige, T. and Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497.

Ngomuo, M., Mneney, E. and Ndakidemi, P.A. (2014). The *in vitro* propagation techniques for producing banana using shoot tip cultures. *American Journal of Plant Sciences*, 5(11), 1614-1622.

Rahman, S., Biswas, N., Hassan, M.M., Ahmed, M.G., Mamun, A., Islam, M.R., Moniruzzaman, M. and Haque, M.E. (2013). Micropropagation of banana (*Musa* sp.) cv. Agnishwar by *In vitro* shoot tip culture. *International Research Journal of Biotechnology*, 4(4), 83-88.

การคัดแยกและคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus*

Isolation and Screening of Bacterial Antagonistic for Controlling *Aspergillus flavus*

วาสนา เนียมแสวง[1*]
Wasana Naiumsawang[1*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้แยกเชื้อแบคทีเรียจากดินด้วยวิธี spread plate บนอาหาร NA คัดแยกแบคทีเรียได้ทั้งหมด 48 ไอโซเลท จากนั้นทดสอบความสามารถในการสร้างสารยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus flavus* ด้วย dual culture technique พบว่า มีเพียง 5 ไอโซเลท ได้แก่ IKPS 4 27 36 42 และ 46 ที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้ โดยไอโซเลท IKPS 4 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงสุดเท่ากับ 56.67±8.819 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไอโซเลท IKPS 4 มาจัดจำแนก พบว่า เป็นจีนัส *Bacillus* sp. จากนั้นนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้ง พบว่า ที่ค่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 7.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 96 ชั่วโมง เป็นสภาวะเหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้ง *A. flavus* ได้ดีที่สุด เมื่อนำ culture supernatant มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้ง *A. flavus* ด้วย poisoned food method พบว่าที่ culture supernatant 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับ 65.01±15.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า เส้นใยมีขนาดเล็กและสั้นกว่าเส้นใยปกติ จากนั้นนำ culture supernatant มาควบคุมการเจริญของ *A. flavus* บนเมล็ดถั่วลิสง ด้วยวิธีจุ่มเคลือบเมล็ด บ่มอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ที่การใช้ culture supernatant 100 และ 50.00 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมการเจริญของเส้นใยราได้ดีที่สุดในระยะเวลา 3 วัน

คำสำคัญ: แบคทีเรียปฏิปักษ์ *Aspergillus flavus* เทคนิค dual culture

[1] สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[*] Corresponding author e-mail: wasana@webmail.npru.ac.th

Receive: 3 December 2018, Revised: 27 March 2019, Accepted: 11 April 2019

Abstract

Antagonist bacteria were isolated from soil for determination of antifungal potential. Antagonistic activities of 48 isolates on *Aspergillus flavus* were evaluated by dual culture technique. The results indicated that 5 isolates, IKPS 4, IKPS 27, IKPS 36, IKPS 42 and IKPS 46 exhibited the highest antifungal activities, which was isolate IKPS 4 gave the highest activity at 56.67±8.819%. Isolate IKPS 4 was identified as *Bacillus* sp. The best condition of antifungal substance production was optimized for 96 hrs at pH 7.0, 30 $^{\circ}$C. The poisoned food method was conducted to evaluate antifungal activity of the bacterial culture supernatant. At the concentration of 100% supernatant, the highest antifungal activity (65.01±15.28%) was observed. Morphology of *A. flavus* under light microscope indicated that the effected mycelium was smaller and shorter than unaffected mycelium. Growth inhibition of fungal on seeds were conducted by dip coating method. The seeds coated with the culture supernatant at 100 and 50.00% concentrations had the highest fungal growth inhibition at 3 days.

Keywords: Antagonistic bacteria, *Aspergillus flavus*, Dual culture technique

บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมเหมาะสมและเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา จึงทำให้อาหารและผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงวัตถุดิบที่นำมาเป็นอาหารของคนและสัตว์ เช่น เมล็ดธัญพืช ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ปลายข้าว กากถั่วเหลือง ถั่วลิสง เนื้อมะพร้าว เฮเซลนัต ถั่วพิสตาชิโอ และอัลมอนด์ เกิดการปนเปื้อนเชื้อราบางชนิดสามารถสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อชีวิต ทั้งยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของอาหารรวมถึงวัตถุดิบ การปนเปื้อนของเชื้อและสารพิษจากเชื้อราพบได้ทั่วไปในถั่วลิสง ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่กระบวนการปลูก การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการขนส่ง (อาภากร, 2554) พบได้ทั้งในถั่วลิสงป่น และถั่วลิสงแห้ง (ชาคริยา และสุนันทา, 2555) เชื้อราที่ปนเปื้อนในถั่วลิสงมักเป็นเชื้อราในสกุล *Aspergillus* spp. เช่น *A. flavus* *A. niger* และ *A. clavatus* (Shukla *et al*., 2009) เชื้อรา *A. flavus* จะสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน (aflatoxins) ชนิด บี 1 บี 2 จี 1 และจี 2 โดยส่วนใหญ่แล้วจะพบอะฟลาทอกซินบี 1 มากที่สุด เป็นชนิดที่มีความเป็นพิษและเป็นสารก่อมะเร็งรุนแรงที่สุด (นพดล และเพชรรัตน์, 2552) ก่อให้เกิดโรคในคนและสัตว์ สารพิษชนิดนี้จะสะสมอยู่ภายในตับทำให้เกิดโรคมะเร็งตับ และยังพบว่ามีส่วนในการทำลายระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้เกิดโรคแทรกซ้อน เช่น ไวรัสตับอักเสบชนิดบี (Ding *et al*., 2012) การแก้ปัญหาในพืชผลทางการเกษตรทำได้โดยการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา (fungicides) ซึ่งเป็นวิธีการที่รวดเร็วได้ผลดี มักจะได้ผลในระยะแรก เนื่องจากเชื้อสามารถปรับตัวเกิดการดื้อยาได้อย่างรวดเร็ว การนำจุลินทรีย์ปฏิปักษ์มาควบคุมเชื้อราชนิดนี้ จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าสามารถนำมาใช้ในการ

ป้องกันเชื้อราได้ และสามารถพัฒนาเพื่อจำหน่ายทางการค้าได้ (บุษราคัม และคณะ, 2555) มีรายงานการใช้แบคทีเรียบางสายพันธุ์ เช่น *Actinomyces* sp. *Pseudomonas* sp. *Bacillus* sp. และ *Serratia* sp. เป็นต้น เพื่อใช้ผลิตสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา เช่น β-1, 3-glucanase cellulase protease chitinase และ pafugin เป็นต้น (Kaur *et al*., 2006; Wang *et al*., 2009) เมื่อพิจารณาแบคทีเรียที่สามารถผลิตสารยับยั้งเหล่านี้ พบว่ามีศักยภาพในการนำไปใช้ผลิตสารยับยั้งเชื้อราและใช้เป็นเชื้อควบคุมเชื้อราก่อโรคพืชได้ และที่สำคัญคือ ไม่เกิดสารพิษตกค้างในสภาพแวดล้อม ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกและคัดเลือกแบคทีเรียปฏิปักษ์จากดินที่สามารถผลิตสารยับยั้งเชื้อราก่อโรค *A. flavus* รวมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารยับยั้งเชื้อรา และเพื่อเป็นแนวทางในการนำสารยับยั้งเชื้อราไปประยุกต์ใช้ทางการค้าในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างดินที่นำมาคัดแยกเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์

ตัวอย่างดินจำนวน 5 แหล่ง ได้แก่ ดินนาข้าวหมู่บ้านตะแบกงาม หมู่บ้านหนองโพธิ์ และหมู่บ้านหนองโสน ดินปุ๋ยหมักหมู่บ้านหนองโสน และดินมูลไส้เดือนฝอยหมู่บ้านหนองโสน ในพื้นที่ตำบลห้วยหมอนทอง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุดต่อ 1 แหล่งพื้นที่ โดยการเก็บตัวอย่างดินบริเวณผิวหน้าดินที่มีความลึกประมาณ 1-2 เซนติเมตร นำมารวมกันแล้วบดดินให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยโกร่งที่สะอาด ใส่ดินในภาชนะที่มีฝาปิด นำไปทดสอบทันที หรือเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ศึกษาต่อไป

2. เชื้อก่อโรค

เชื้อรา *Aspergillus flavus* ได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เตรียมโดยนำเชื้อรา *A. flavus* ที่เก็บบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) slant ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มา sub culture บนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 วัน

3. การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินจาก 5 แหล่ง ๆ ละ 10 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นทำ serial dilation เลือกระดับความเจือจางที่ 10^{-2} ถึง 10^{-4} ทำการ spread plate บนอาหาร nutrient agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกัน นำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี cross streak plate บนอาหาร NA

4. การคัดเลือกแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* ด้วยวิธี dual culture (ดัดแปลงจากวิธีของ ปวีณา และคณะ, 2555)

เพาะเชื้อรา *A. flavus* บนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน และเพาะแบคทีเรียในอาหาร NA เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้ cork borer เจาะเชื้อราไปวางบนอาหาร PDA ห่างจากขอบจานอาหารเพาะเลี้ยง 2.5 เซนติเมตร พร้อมทั้งขีดเชื้อแบคทีเรียบนจานอาหารเพาะเลี้ยงในแนวตรงข้ามเชื้อรา และห่างจากขอบจานอาหาร 2.5 เซนติเมตร โดยในแต่ละไอโซเลททำ 3 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 วัน ตรวจผลโดยวัดความยาวรัศมีของเชื้อรา

เปรียบเทียบกับจานอาหารที่ไม่ปลูกเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (control) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง และคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *A. flavus* เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

5. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ

เพาะเลี้ยงแบคทีเรียบนอาหาร NA โดยการเขี่ยเชื้อที่มีอายุ 24 ชั่วโมง จำนวน 1 ลูป ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอาหาร nutrient broth (NB) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิเหมาะสม นาน 16-18 ชั่วโมง ปรับความขุ่นเซลล์ OD 600 นาโนเมตร เท่ากับ 0.5 เติม หัวเชื้อ 1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร NB ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ปรับค่า pH ระดับ 4.0 5.0 6.0 7.0 และ 8.0 ตามลำดับ นำไปบ่มแบบเขย่าที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง (บัวสาย และคณะ, 2555) ปั่นแยกเซลล์ที่ 7826 xg อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำ culture supernatant มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเส้นใยของเชื้อรา *A. flavus* ด้วยวิธี dual culture โดยคัดเลือกอุณหภูมิและ pH ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งมากที่สุดเพื่อนำไปศึกษาทดสอบประสิทธิภาพของสารต่อไป

6. การผลิตและทดสอบสารยับยั้งเชื้อรา

6.1 การเตรียมสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ

ทำตามวิธีข้อ 5 เก็บส่วนใสที่ได้มากรองด้วย filter membrane ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ไมโครเมตร ทดสอบประสิทธิภาพของสารใน culture supernatant ด้วยวิธี dual culture

6.2 การเตรียมเชื้อราทดสอบ

นำเชื้อราที่เพาะไว้มาตัดด้วย cork borer โดยตัดเส้นใยที่บริเวณขอบโคโลนีเชื้อรา พร้อมทั้งวุ้นอาหารออกเป็นชิ้นกลม นำไปปลูกตรงจุดกึ่งกลางของจานอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 4 วัน

6.3 การทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus*

6.3.1 การทดสอบการยับยั้งด้วยวิธี dual culture โดยใช้ cork borer ตัดเส้นใยที่บริเวณขอบโคโลนีเชื้อราออกเป็นชิ้นกลม นำไปปลูกในจานอาหาร PDA โดยมีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางจานอาหาร 2.5 เซนติเมตร พร้อมทั้งขีดสารยับยั้งเชื้อรา (culture supernatant) ที่ทดสอบบนจานอาหารเพาะเลี้ยงในแนวตรงข้ามเชื้อรา และห่างจากขอบจานอาหาร 2.5 เซนติเมตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับจานอาหารที่ไม่ปลูกเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (control)

6.3.2 การทดสอบการยับยั้งเชื้อราด้วยวิธี poisoned food นำสารยับยั้งเชื้อรา (culture supernatant) ที่ทดสอบจากข้อ 6.3.1 มาทำการเจือจาง 5 ระดับ ได้แก่ 6.25 12.50 25.00 50.00 และ 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นผสมลงในอาหาร PDA อัตราส่วนสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ 5 มิลลิลิตร ต่ออาหาร 15 มิลลิลิตรต่อจาน ด้วยวิธี pour plate หมุนวนจานเพาะเลี้ยงเชื้อไปมา ทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว นำชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อรา *A. flavus* ซึ่งเจาะตัดจากโคโลนี อายุ 5 วัน วางตรงกลางจานเพาะเลี้ยงเชื้อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ใช้อาหาร PDA ที่ไม่ได้ผสมสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3-4 วัน ตรวจสอบสังเกตลักษณะโครงสร้างของเชื้อราด้วยวิธี direct microscopic ซึ่งทำได้โดยเขี่ยเชื้อราที่ขึ้นบนจานเพาะเชื้อมาทำ wet mount บนสไลด์ และวัดการเจริญของเส้นใย โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางแล้วคำนวณหา

ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใย (percent inhibition of radial growth : PIRG) (หฤทัย และพรอนันต์, 2557) ดังนี้

$$PIRG = \frac{(R1-R2) \times 100}{R1}$$

R1 คือ รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารชุดควบคุม
R2 คือ รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารชุดทดสอบ
โดยประเมินประสิทธิภาพในการยับยั้งจากค่า PIRG ดังนี้
> 80.00 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูงมาก
> 61.00-79.00 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูง
> 51.00-60.00 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับปานกลาง
< 50.00 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับต่ำ

7. ศึกษาแนวทางในการประยุกต์ใช้สารยับยั้งเชื้อราทดสอบในการควบคุมการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* บนเมล็ดถั่วลิสง

7.1 การเตรียมเมล็ดถั่วลิสงดิบ

นำเมล็ดถั่วลิสงดิบใส่ลงในบีกเกอรปราศจากเชื้อประมาณ 20 เมล็ดต่อบีกเกอร์ นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ แล้วนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อน จากนั้นนำเมล็ดถั่วลิสงออกมาพักให้เย็น

7.2 การเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา

นำเชื้อรา *A. flavus* มาเลี้ยงในอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน เพื่อใช้ส่วนของสปอร์มาทำเป็นเซลล์แขวนลอย โดยล้างด้วย tween 80 ความเข้มข้น 0.10 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อให้ท่วมพื้นที่ของเชื้อรา จากนั้นใช้ loop ที่เผาฆ่าเชื้อแล้วขูดผิวหน้าของอาหารให้สปอร์แขวนลอยในน้ำ กรองสปอร์ด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเพื่อให้สปอร์ของเชื้อราแขวนลอยในน้ำ นำสารแขวนลอยที่ได้ไปตรวจนับด้วยเครื่อง hemacytometer แล้วเจือจางเพื่อให้ได้สปอร์เริ่มต้นที่ 6.5×10^{6} สปอร์ต่อมิลลิลิตร ดัดแปลงจากวิธีของ เดชาวุฒิ และคณะ (2558)

7.3 การควบคุมการเจริญของ *A. flavus* บนเมล็ดถั่วลิสง

นำเมล็ดถั่วลิสงจากข้อ 7.1 มาจุ่มลงในสารยับยั้งเชื้อราทดสอบที่ระดับความเข้มข้น 100 50.00 25.00 12.50 และ 6.25 เปอร์เซ็นต์ ให้ท่วมทุกเมล็ดเป็นเวลา 1 นาที ทดสอบ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมผลลบ โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ และชุดควบคุมผลบวก โดยใช้ยาปฏิชีวนะคีโตนาโซลความเข้มข้น 40 พีพีเอ็ม จากบริษัท biolab ประเทศไทย จากนั้นเติมสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราที่ 6.5×10^{6} สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร คลุกด้วยปากคีบให้ทั่วทุกเมล็ด บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน บันทึกผลทุกวันโดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

8. การจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์

นำเชื้อ unknown ที่ได้มาย้อมสีแบบแกรม และตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (กำลังขยาย 1000 เท่า) ศึกษารูปร่าง ลักษณะ และคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรีย จากนั้นทดสอบด้วยวิธีการทางชีวเคมี ได้แก่ การทดสอบการสร้างเอนไซม์ catalase coagulase oxidase และการทดสอบการสร้าง indole เป็นต้น (ชมพูนุท, 2558)

9. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป R (http://cran.r-project.org/bin/window/base/) SPSS version 3.5.0 (Venables *et al*., 2009) ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) พร้อมทั้งคำนวณค่าความถี่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (อทิพันธ์, 2561)

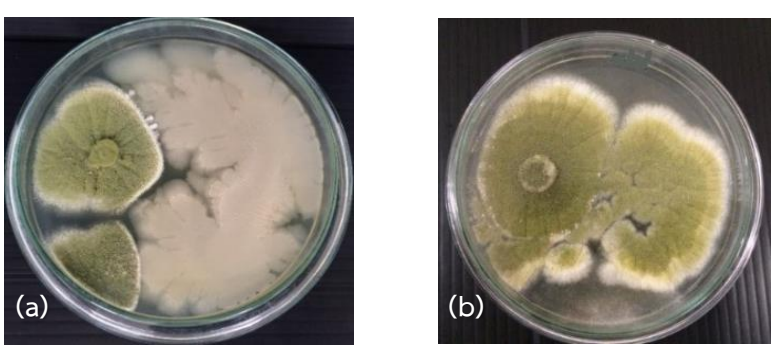
ผลการวิจัย

1. การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากดิน

จากตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 5 แหล่ง ในเขตตำบลห้วยหมอนทอง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันได้ทั้งหมด 48 ไอโซเลท

2. การคัดเลือกแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* ด้วยวิธี dual culture

จากการคัดแยกแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา พบว่า มีเพียง 5 ไอโซเลท ที่สามารถยับยังเชื้อรา *A. flavus* ได้ ซึ่งได้แก่ ไอโซเลท IKPS 4 IKPS 27 IKPS 36 IKPS 42 และ IKPS 46 โดยไอโซเลท IKPS 4 สามารถยับยั้งเชื้อราได้ดีที่สุดเท่ากับ 56.67±8.819 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ IKPS 36 IKPS 46 IKPS 27 และ IKPS 42 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* เท่ากับ 38.33±1.667 23.33±12.019 20.00±11.547 และ 13.33±8.819 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ดังภาพที่ 1 และตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* บนอาหาร PDA เป็นเวลา 5 วัน ด้วยวิธี dual culture (a) ชุดทดสอบ (b) ชุดควบคุม

ตารางที่ 1 จำนวนไอโซเลทของแบคทีเรีย และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* บนอาหาร PDA ด้วยวิธี dual culture

ตัวอย่างดิน	จำนวนไอโซเลท	จำนวนไอโซเลทที่ยับยั้ง *A. flavus*	รหัสไอโซเลท	เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง *A. flavus* (%)
นาข้าว	11	1	IKPS 4	56.67±8.819[b]
นาข้าว	11	0	-	-
นาข้าว	14	2	IKPS 27	20.00±1.547[a]
			IKPS 36	38.33±1.667[ab]
ปุ๋ยหมัก	8	1	IKPS 42	13.33±8.819[a]
มูลไส้เดือนฝอย	4	1	IKPS 46	23.33±12.019[a]
control				100±0.00[c]

หมายเหตุ: control คือ เชื้อราทดสอบ

ตัวอักษรในคอลัมน์ที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ค่า pH ระดับ 4.0 5.0 6.0 7.0 และ 8.0 บ่มนาน 96 ชั่วโมง พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และค่า pH 7.0 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบโดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราสูงสุด เท่ากับ 56.00±2.309 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ค่า pH 8.0 6.0 5.0 และ 4.0 มีเปอร์เซ็นต์การยับยังเชื้อราเท่ากับ 52.00±0.000 48.67±4.667 46.47±8.819 และ 44.67±12.347 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

4. การทดสอบประสิทธิภาพของสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบด้วยวิธี Poisoned Food

จากการทดสอบสารยับยั้งเชื้อราไอโซเลท IKPS 4 ในอาหาร PDA ที่ 5 ระดับความเข้มข้น พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูงสุดเท่ากับ 65.01±15.28 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ 50.00 25.00 12.50 และ 6.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 และ ภาพที่ 2 เมื่อตรวจสอบลักษณะของเส้นใยเชื้อรา *A. flavus* เทียบกับชุดควบคุม พบว่าเส้นใยที่เจริญบนอาหารที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ มีลักษณะผิดรูปไป มีขนาดความกว้างและความยาวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่เจริญในอาหารที่ไม่ผสมสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ ดังภาพที่ 3 เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบแต่ละระดับความเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. การศึกษาแนวทางในการประยุกต์ใช้สารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบในการควบคุมการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* บนเมล็ดถั่วลิสง

ภายหลังจากใส่สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราเริ่มต้นที่ 6.5×10^{6} สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 50.00 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราได้ในระยะเวลา 3 วัน หลังจากนั้น ตั้งแต่วันที่ 4 เริ่มจะมีเชื้อราเจริญขึ้นบนเมล็ดถั่วลิสงบางเมล็ด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นที่ 25.00 และ 12.50 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราได้เพียงระยะเวลา 2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมผลลบ (น้ำกลั่น) จะมีเชื้อราเจริญบนเมล็ดถั่วลิสงตั้งแต่วันที่ 2 ของการทดลอง

ตารางที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบของไอโซเลท IKPS 4 ในอาหาร NB ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าที่ 160 รอบต่อนาที เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	ค่า pH	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* (%)
25	4.0	22.45±10.333[ab]
	5.0	26.40±9.820[a]
	6.0	34.54±7.442[a]
	7.0	39.54±5.312[ab]
	8.0	36.89±3.897[a]
30	4.0	44.67±12.347[a]
	5.0	46.67±8.819[a]
	6.0	48.67±4.667[a]
	7.0	56.00±2.309[a]
	8.0	52.00±0.00[a]
35	4.0	24.63±13.214[ab]
	5.0	30.65±10.325[a]
	6.0	37.86±8.602[a]
	7.0	43.76±5.211[a]
	8.0	41.65±2.541[a]

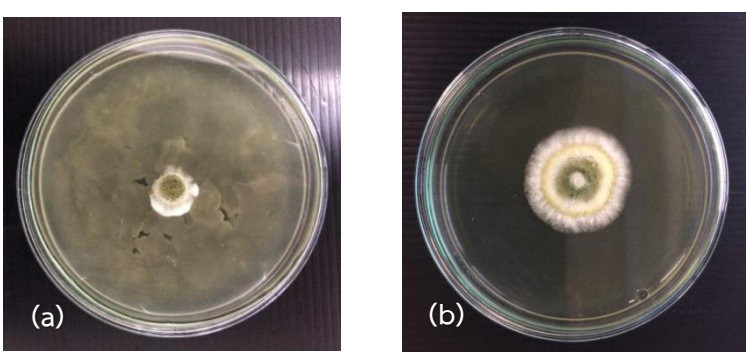
หมายเหตุ: ตัวอักษรในคอลัมน์ที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบ ในอาหาร PDA ที่ 5 ระดับความเข้มข้น ด้วยวิธี poison food technique บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 วัน

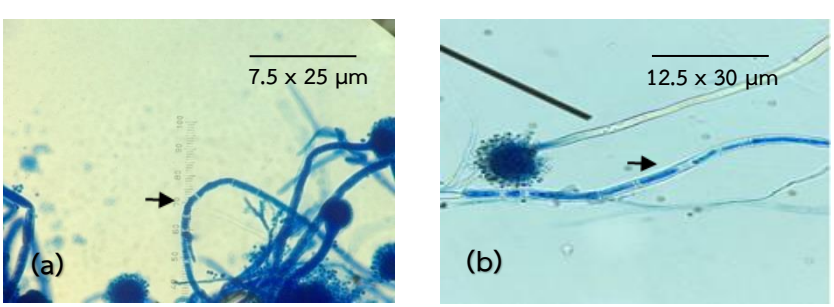
ระดับความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใย
	ค่าเฉลี่ย PIRG (%)
control	100.00±8.82[d]
100	65.01±15.28[c]
50.00	45.51±11.67[c]
25.00	31.88±20.00[b]
12.50	16.09±23.33[b]
6.25	16.40±3.33[a]

หมายเหตุ: control คือ ยาปฏิชีวนะคีโตนาโซล

ตัวอักษรในคอลัมน์ที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2 การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราบนอาหาร PDA ด้วยวิธี poison food technique เป็นเวลา 3 วัน (a) อาหารที่ผสมสารยับยั้งเชื้อรา (b) อาหารที่ไม่ผสมสารยับยั้งเชื้อรา



ภาพที่ 3 ลักษณะเส้นใยเชื้อรา *A. flavus* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 400 เท่า (a) เส้นใยที่ทดสอบด้วยสารยับยั้งเชื้อรา (b) เส้นใยปกติ

6. การจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์

ลักษณะสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียปฏิปักษ์ไอโซเลท IKPS 4 พบว่า โคโลนีมีสีขาวใส รูปร่างนูน เยิ้ม ยืด ขอบหยัก ผิวหน้าด้าน เมื่อย้อมสีแบบแกรม พบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างแท่ง มีการสร้างเอนโดสปอร์ การทดสอบทางชีวเคมี พบว่า nitrate of citrate catalase test ให้ผลเป็นบวก การทดสอบการใช้น้ำตาล พบว่า สามารถเจริญได้ในอาหารทดสอบน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และมอลโทส ดังตารางที่ 4 จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถระบุว่าเป็นแบคทีเรียในจีนัส *Bacillus* sp.

ตารางที่ 4 การจำแนกและพิสูจน์ชนิดของแบคทีเรีย

ลักษณะชีวเคมี	ผลการทดสอบ
Motile	-
TSI	-
Indole	-
MR-VP	-
Citrate	+
OF	+
Nitrate	+
Catalase test	+
Glucose	+
Galactose	-
Fructose	-
Maltose	+
Mannitol	-
Mannose	-
Sucrose	+

หมายเหตุ: + คือ Positive, - คือ Negative

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้คัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินได้ทั้งหมด 48 ไอโซเลท เนื่องจากดินเป็นแหล่งที่เหมาะสมในการคัดแยกเชื้อแบคทีเรีย โดยเฉพาะความลึกของดินเกี่ยวข้องกับปริมาณอินทรียวัตถุ ความชื้น ปริมาณออกซิเจนในดิน ซึ่งตามปกติแบคทีเรียจะมีประชากรหนาแน่นที่สุดในดินชั้นบน 0-25 เซนติเมตร (พฤกษา, 2561) การทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* ด้วยวิธี dual culture พบว่า มีเพียง 5 ไอโซเลท ที่สามารถยับยั้งเชื้อราก่อโรคได้ คือ ไอโซเลท IKPS 4 IKPS 27 IKPS 36 IKPS 42 และ IKPS 46 โดยไอโซเลท IKPS 4 สามารถยับยั้งเชื้อราก่อโรคได้ดีที่สุดเท่ากับ 56.67±8.819 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของบัวสาย และคณะ (2555) ที่ได้ทำการศึกษาการคัดแยกและคัดเลือกแบคทีเรียจากดินที่มีคุณสมบัติในการสร้างสารยับยั้งเชื้อราก่อโรคในพืช โดย

คัดแยกแบคทีเรียได้ 50 ไอโซเลท จากดิน 10 ตัวอย่าง เบื้องต้นทำการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคในพืช 12 สายพันธุ์ พบว่ามีเพียง 6 ไอโซเลท สามารถผลิตสารยับยั้งเชื้อราก่อโรคในพืชได้อย่างน้อย 1 สายพันธุ์ ทั้งนี้เนื่องจากในดินมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้แบคทีเรียสามารถเจริญได้ สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบคือที่ค่า pH 7.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 96 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 65.01±15.28 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลทำให้เส้นใยเชื้อราเล็ก ลีบ ผิดรูปไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ajay *et al*. (2008), Vaishali *et al*. (2004) และ Vijayakshmi *et al*. (2011) ที่ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อในกลุ่ม *Bacillus* spp. ในการผลิตสารยับยั้ง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และค่า pH ที่ระดับ 5.0-8.0 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิไลวรรณ (2560) ที่ได้ศึกษาการคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากดินและสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและการละลายฟอสเฟต พบว่า อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการปรับค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 7 อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเจริญของแบคทีเรียและประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตสูงที่สุด และปริมาณความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 50.00 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมการเจริญของเส้นใยเชื้อราบนเมล็ดถั่วลิสงได้นาน 3 วัน และเมื่อนำแบคทีเรียปฏิปักษ์มาจำแนกลักษณะชีวเคมี พบว่า เป็นเชื้อในจีนัส *Bacillus* sp. ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชวเลิศ และคณะ (2559) ที่ได้ศึกษาจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการควบคุมโรคและสารพิษจากเชื้อรา พบว่า แบคทีเรียปฏิปักษ์ *B. subtilis* หรือ *B. amyloliquefaciens* ที่สามารถควบคุมโรคผลเน่าของเงาะและผลิตเป็นชีวภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคผลเน่าของเงาะหลังการเก็บเกี่ยวได้ แบคทีเรีย *B. tequilensis* และ *B. subtilis* subsp. *inaquosorum* ควบคุมเชื้อรา *A. flavus* และยับยั้งการสร้างสารอะฟลาท็อกซินในผลิตผลเกษตร โดยกลไกการยับยั้งของสารเกิดจากการย่อยสลาย β -1,3-glucan และ chitin ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เชื้อรา (Li *et al*., 2008)

สรุปผลการวิจัย

จากการคัดแยกแบคทีเรียได้ทั้งหมด 48 ไอโซเลท นำมาทดสอบการยับยั้งเชื้อราด้วย dual culture technique พบว่า มีเพียง 5 ไอโซเลท ได้แก่ IKPS 4 IKPS 27 IKPS 36 IKPS 42 และ IKPS 46 ที่สามารถยับยั้งเชื้อราก่อโรคได้ โดยไอโซเลท IKPS 4 ยับยั้งเชื้อราได้ดีที่สุดเท่ากับ 56.67±8.819 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำมาจัดจำแนกลักษณะชีวเคมี พบว่า เป็นจีนัส *Bacillus* สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งเชื้อราก่อโรค พบว่า ค่า pH 7.0 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะเหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งได้ดีที่สุด นำมาปรับระดับความเข้มข้น 5 ระดับ พบว่าที่ 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับ 65.01±15.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า เส้นใยมีขนาดเล็กและสั้นกว่าเส้นใยปกติ จากนั้นนำสารยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบมาควบคุมการเจริญของเชื้อราก่อโรคบนเมล็ดถั่วลิสง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 50.00 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมการเจริญของเส้นใยราได้ดีที่สุดในระยะเวลา 3 วัน การวิจัยนี้เป็นการใช้ culture supernatant ในการทดสอบการยับยั้งการเจริญของ *A. flavus* ซึ่งจะต้องมีการทำบริสุทธิ์และศึกษาโครงสร้างและสมบัติของสารที่เชื้อผลิตขึ้นต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทำบริสุทธิ์และศึกษาโครงสร้างและสมบัติของสารที่เชื้อผลิตขึ้นต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เชื้อราทดสอบ *A. flavus* จากห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

เอกสารอ้างอิง

ชมพูนุท ภักดีเจริญ. (2558). Bacterial Indentification. *วารสารเพื่อการวิจัยและพัฒนาองค์การเภสัชกรรม*, 22(2), 15-18.

ชวเลิศ ตรีกรุณาสวัสดิ์ เนตรา สมบูรณ์แก้ว ศุภรา อัคคะสาระกุล สุพี วนศิรากุล ชุติมา วิธูรจิตต์ อัจฉราพร ศรีจุดานุ อารีรัตน์ การุณสถิตชัย และวีรภรณ์ เดชนำบัญชาชัย. (2559). *การควบคุมการปนเปื้อนจุลินทรีย์และสารพิษจากเชื้อราในกระบวนการผลิตผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว*. รายงานโครงการวิจัย คลังผลงานวิจัย กรมวิชาการเกษตร.

ชาคริยา ฉลาด และสุนันทา ข้องสาย. (2555). จุลินทรีย์และสารพิษอะฟลาทอกซินในอาหารที่จำหน่ายในจังหวัดตรัง. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,* 4(2), 56-69.

เดชาวุฒิ วานิชสรรพ์ นิทัศน์ นิลฉวี ทวีศักดิ์ รัตนคม และพรรณนิการ์ กงจักร. (2558). ขั้นตอนวิธีนับจำนวนเชื้อบนแผ่นฮิโมซิโตมิเตอร์ด้วยเทคนิคประมวลผลภาพและดีบีสแกน. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ*, 11(2), 56-61.

นพดล มีมาก และเพชรรัตน์ ศักดินันท์. (2552). อะฟลาทอกซินในอาหารโคนมจากภาคตะวันตกของประเทศไทย. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,* 1(1), 20-26.

บุษราคัม อุดมศักดิ์ สุรีย์พร บัวอาจ ณัฏฐิมา โฆษิตเจริญกุล และอมรรัตน์ ภูไพบูลย์. (2556). การคัดเลือกและทดสอบสายพันธุ์ *Bacillus* ที่มีศักยภาพในการควบคุมเชื้อรา *Phytophthora parasitica*. ใน กลุ่มวิจัยโรคพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. *รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2555*, หน้า 855-898. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

บัวสาย เพชรสุริยวงศ์ นงพงา คุณจักร และอาภรณ์ วงษ์วิจารณ์. (2555). การแยกและการจัดจำแนกแบคทีเรียจากดินที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อรา. ใน *การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 50 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม* (หน้า 124-131). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปวีณา สังข์แก้ว เสมอใจ ชื่นจิตต์ และวสันณ์ เพชรรัตน์. (2555). การคัดเลือกและเตรียมสูตรสำเร็จเชื้อ *Streptomyces griseus* subsp. *formicus* เพื่อควบคุมเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สาเหตุโรครากขาวของยางพารา. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(2)(ฉบับพิเศษ), 21-24.

พฤกษา หล้าวงษา. (2561). *จุลินทรีย์ในดิน : แบคทีเรีย*. สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2561, จาก: https://ag.kku.ac.th/land/File cours/1503593761005601.pdf.

วิไลวรรณ ไชยศร. (2560). การคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากดินและสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและการละลายฟอสเฟต. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,* 36(2), 11-24.

หฤทัย ไทยสุชาติ และพรอนันต์ บุญก่อน. (2557). การควบคุมเชื้อราปนเปื้อนในกระเทียมด้วยสารสกัดจากพืชและจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในสภาพห้องทดลอง. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 42(4), 771-780.

อทิพันธ์ เสียมไหม ฌานิกา แซ่แง่ ชูกลิ่น ปวีณา ดิกิจ และนฤมล มีบุญ. (2561). การประยุกต์ใช้เปลือกกล้วยเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากแบคทีเรียที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,* 37(ฉบับพิเศษ), 39-53.

อาภากร ศิลป์ประเสริฐ. (2554). *ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรในการควบคุมเชื้อรา Aspergillus flavus.* วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

Ajay, K., Pragati, S. and Shrivastava. (2009). Production of peptide antifungal antibiotic and biocontrol activity of *Bacillus subtilis*. *Journal of Experimental Biology*, 47(1), 57-62.

Ding, X., Li, P., Bai, Y. and Zhou, H. (2012). Aflatoxin B-1 in post-harvest peanuts and dietary risk in China. *Food Control*, 23(1), 143-148.

Kaur, J., Chadha, B.S., Kumar, B.A., kaur, G.S. and Saini, H.S. (2007). Purification and characterization of ß-glucosidase from *Melanocarpus* sp. MTCC 3922. *Electronic Journal of Biotechnology*, 12(2), 1-8.

Li, L.B., Zhang, C.Y., Li, S.N., Li, J., Guo, X.J. and Zhu, B.C. (2008). Isolation and identification of the antagonistic bacterial strain 8-59 against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Agriculture University of Hebei*, 31(3), 64–68.

Shukla S., Saluja, A.K. and Pandya, S.S. (2009). Antioxidant activity and free radical scavenging potential of *Gmelina arborea* Linn. *Pharmacologyonline,* 1, 1035-1043.

Vaishalij, P., Sachin, R.T. and Bharat, B.C. (2004). Bioprocess development for the production of an antifungal molecule by *Bacillus licheniformis* BC98. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 98(4), 231-235.

Venables, W.N., Smith, D.M. and The R Core Team. (2009). *A introduction to R, Notes on R: A programmimg environment for data analysis and graphics version 3.5.0.* Retrieved 23 April 2018, from: https://cran.r-project.org.

Vijayakshmi, K., Premalatha, A. and Suseela, R.G. (2011). Antimicrobial protein production by *Bacillus amyloliq*uefaciens MBL27: Optimization of culture conditions using Taguchi's experimental design. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(8), 931-937.

Wang, S., Xin, F., Liu, X., Wang, Y., An, Z., Qi, Q. and Wang, P.G. (2009). N-terminal deletion of peptide: N-glycanase results in enhanced deglycosylation activity. *PLOS One*, 4(12), 1-16.

Plastic Types and Usage by People in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University Area, Nakhon Si Thammarat Province

Jureerat Sanorkan[1], Fahmida Wazed Tina[1*], Suppapat Hemtanon[1], Maesa Maesutha[1], Kanitta Keeratipattarakorn[1], Anantanit Chumsri[2] and Veeravan Jongjit Sirijirakal[1]

Abstract

Plastic accumulation or pollution is increasing day by day. Plastics can absorb and transport chemical pollutants and thus create chemical pollution. Plastic pollution is a threat to creatures on lands and in oceans. It is important to investigate and be knowledgeable about plastic usage before plastic pollution management in a particular area. This study investigates (1) the types of discarded plastic products inside the dustbins to know the plastic accumulation in the environment, and (2) plastic usage by people in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University area, Nakhon Si Thammarat Province, southern Thailand. People were categorized based on their sex (males and females), age-groups (young and old), and occupations (students, office employees, cleaners, Songtaew drivers, housewives, and sellers). The results showed that dustbins contained eight types of plastic products (plastic bags, boxes, spoons, glasses, bottles, straws, food packages, and styrofoams) and the number of plastic bags was the highest ($p < 0.05$). Between males and females, males used significantly more plastic boxes, spoons, glasses and straws than females ($p < 0.05$). Between young and old people, old people used significantly more styroforms, boxes, glasses and plastic bags than young people ($p < 0.05$). Among people from different occupations, office employees used significantly more styrofoams, glasses, and straws; students, cleaners and drivers consumed significantly more packaged foods; cleaners and housewives used significantly more plastic bags; and cleaners used significantly more boxes and spoons, compared to other occupational groups ($p < 0.05$). This study shows that people from different sexes, age-groups, and

[1] Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University.

[2] Center of Excellence for Ecoinformatics, School of Science, Walailak University.

[*] Corresponding author e-mail: fahmidatina14@gmail.com

Received: 27 December 2018, Revised: 5 March 2019, Accepted: 10 June 2019

occupations use plastics differently in their everyday life, and their daily consumption behaviors might shape their plastic usage. The findings of this study are very new as nobody has yet addressed how people from different ages, sexes and occupations use plastics in their everyday life in southern Thailand.

Keywords: Dustbins, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Plastic pollution, Plastic products, southern Thailand

Introduction

Nowadays, large quantities of plastic materials are used everyday worldwide because they are lightweight, inexpensive, durable, and have a long lifespan. Plastics include polystyrene, polypropylene, polyethylene, styrofoam, and polyvinyl chloride (Azzarello and Vleet, 1987). Usually the lifespan of plastics is estimated to be hundreds to thousands of years (Wang *et al*., 2016). These characteristics make plastics a convenient material in everyday life, and because of this reason plastic production is increasing day by day. In 1950, the global plastic production was 1.7 million tons, but now the production is more than 300 million tons (Gourmelon, 2015; Napper *et al*., 2015). The numbers of plastic industries are increasing day by day. China is the largest producer of plastics (25%) followed by Europe (20%) and the US (19.5%) (PlasticsEurope (PEMRG)/Consultic/ECEBD, 2014).

Plastic accumulation in the natural environment is a big global problem now, as it makes plastic pollution. Plastic pollution can change to carbon-dioxide cycle and increase toxic emissions. Another concern is that plastics can absorb and transport chemical pollutants and for this reason they can create chemical pollution in the environment (Rockström *et al*., 2009). Plastic pollution is harmful not only for the land, but also for the water, especially for the marine life because most of the plastics on the land find their final way to the ocean (Jambeck *et al*., 2015). Plastic pollution is an escalating threat to the marine lives, especially to the marine birds as they consume plastics. The animals that ingest different kinds of planktons are more likely to confuse plastic pellets with different kinds of planktons and ingest plastic pellets (Azzarello and Vleet, 1987). Plastic consumption has several physiological effects such as blockage of gastric enzyme secretion, lowers steroid hormone levels, delays ovulation, reproductive failure, and death. Moreover, fish, shellfish and filter-feeders ingest microplastics that can stay inside their tissues, and when we ingest them those microplastics enter in our food chain (Besseling *et al*., 2015; Chang, 2015).

In Thailand, according to Pollution Control Department (PCD), the amount of solid waste was about 38,000 ton/day in 2000, and plastic waste accounted for about 14% of this solid waste. It is very important to recycle the plastic waste for the environment, but unfortunately, the recovery rate of plastic is very less. For example, the recovery rate of plastic waste was only 23% in 2000 (Wongthatsanekorn, 2009). In 2008, the recycling rate of plastic waste was only 22% (Pollution Control Department, 2008). In Nakhon Si Thammarat province, the amount of total garbage is 284,580.88 ton/year. Fifteen percent of this garbage is plastic products, and the recycling rate is only 16% (Matichon online, 2017). It indicates that plastic waste accumulation in nature in Nakhon Si Thammarat province is enormous and it affects the natural environment. For this reason, it is important to know how much plastics are used by people everyday before controlling plastic pollution in Nakhon Si Thammarat area. Usually, there are two main ways to control or manage plastic accumulation and pollution (1) recycle or reuse of plastic materials, or (2) produce plastics those will degrade within short time (Sriroth and Sangseethong, 2005). According to us, increase awareness of people about plastic pollution or influence them to reduce their everyday plastic usage could be another way to control plastic pollution, but before increasing their awareness it is important to know their everyday plastic usage.

The aims of this study are to know (1) the types of discarded plastic products (e.g., glass, straw, box, spoon, bag, bottle, etc.) in the environment, and (2) the plastic usage by people in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University area, Nakhon Si Thammarat Province. This study is the first one to show how people from different sex, different age, and different occupation use different types of plastic products based on their daily requirements in southern Thailand.

Materials and methods

1. Study area

This study was conducted in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University (NSTRU) area, Tha Ngio, Nakhon Si Thammarat province. Data were collected in November, 2018.

2. Data collection

Different types of discarded plastic products were collected from 12 large-sized (height 108 cm, width 58 cm, and depth 73 cm) dustbins. Simple random sampling method was used to select the dustbins. In this study, only blue-colored dustbins were selected as they contain recyclable materials. After selecting a dustbin, all the

plastic materials were separated and counted based on their types. Eight types of plastics were observed in the dustbins-glass, straw, box, spoon, bag, bottle, food package, and styrofoam (*polystyrene plastic)*.

For investigating the plastic usage by people in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University area, 120 people were selected randomly. The people were categorized based on their sexes (males 50, females 70), age groups (young 44 (20-35 years old), old 76 (>35 years old)), and occupation (students 20, official employees 20, cleaners 20, sellers 20, songtaew drivers 20, and housewives 20). Official employees were defined as people who work in offices, cleaners were defined as people who clean roads, dustbins, or offices/hotels/apartments, sellers were defined as people who sell in department stores or in local markets. These people were asked regarding their everyday plastic usage (what types and how many plastic products they use everyday), especially about the plastics those were observed in the dustbins. Their answers were recorded for further analysis.

3. Data analyses

Before analysis, normality of all data was checked and parametric statistics were used when normality or other assumptions of parametric tests were met. T-tests were performed to test the differences in the numbers of different types of plastics between (1) males and females, and (2) young and old people. One-way ANOVA with post-hoc Tukey was used (1) to test the differences in the numbers of plastics among different types of plastic products collected from the dustbins, and (2) to test the differences in the numbers of plastic products used by people from different occupations. The data were reported as mean±standard error (SE), and all tests were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results

1. Plastic types inside dustbins

The numbers of different types of plastics were significantly different ($F_{7,88} = 25.82$, $p < 0.001$). Plastic bags were higher in numbers than the numbers of other plastics. The numbers of plastic packages, bottles, or straws were significantly higher compared to the numbers of spoons, styrofoams, or boxes ($p < 0.05$) (Figure 1).

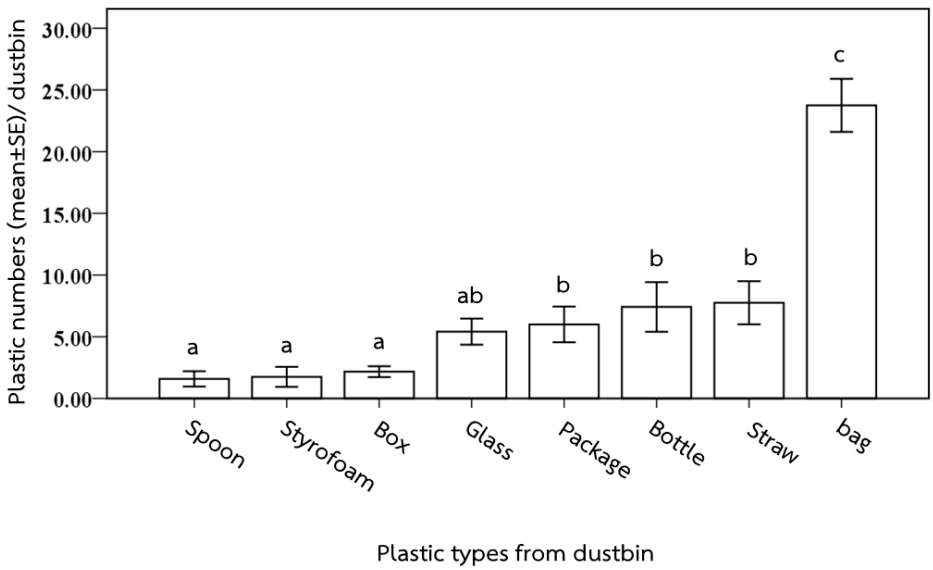


Figure 1 The numbers of different types of plastic products. Different lowercase letters represent the mean differences in plastic numbers ($p < 0.05$) among different plastic types.

2. Plastic usage by males and females everyday

Males used higher numbers of plastic boxes, spoons, glasses and straws than females, whereas the numbers of styrofoams, packages, bottles, and plastic bags were not different (Table 1).

Table 1 Differences in everyday plastic usage between males and females

Plastic types	Females	Males	Statistical analyses
Box	1.93 ± 0.31^{a}	3.53 ± 0.38^{b}	$t_{118} = -3.21$, $p < 0.005$
Spoon	1.15 ± 0.15^{a}	1.84 ± 0.20^{b}	$t_{118} = -3.45$, $p < 0.005$
Glass	1.24 ± 0.14^{a}	1.72 ± 0.16^{b}	$t_{118} = -2.18$, $p < 0.05$
Straw	1.23 ± 0.12^{a}	1.93 ± 0.16^{b}	$t_{118} = -3.33$, $p < 0.005$
Styrofoam	2.28 ± 0.30^{a}	2.52 ± 0.33^{a}	$t_{118} = -0.56$, $p > 0.05$
Package	1.83 ± 0.13^{a}	2.14 ± 0.20^{a}	$t_{118} = -1.01$, $p > 0.05$
Bottle	1.82 ± 0.11^{a}	1.72 ± 0.16^{a}	$t_{118} = 0.51$, $p > 0.05$
Plastic bags	4.65 ± 0.46^{a}	4.04 ± 0.41^{a}	$t_{118} = 0.94$, $p > 0.05$

Note: Different lowercase letters represent the mean differences in plastic usage ($p < 0.05$) between males and females.

3. Plastic usage by young and old generations everyday

Old people used more styroforms, boxes, glasses and plastic bags compared to young people (Table 2), but the numbers of spoons, packages, bottles, and straws were not different between young and old people (Table 2).

Table 2 Differences in everyday plastic usage between young and old people

Plastic types	Young people	Old people	Statistical analyses
Styrofoam	1.61 ± 0.35^{a}	3.26 ± 0.36^{b}	$t_{118} = -3.01$, $p < 0.005$
Box	1.68 ± 0.24^{a}	3.34 ± 0.37^{b}	$t_{118} = -3.22$, $p < 0.001$
Glass	1.13 ± 0.14^{a}	1.61 ± 0.13^{b}	$t_{118} = -2.15$, $p < 0.05$
Bag	3.06 ± 0.41^{a}	5.17 ± 0.42^{b}	$t_{118} = -3.27$, $p < 0.005$
Spoon	1.14 ± 0.13^{a}	1.62 ± 0.18^{a}	$t_{118} = -1.82$, $p > 0.05$
Package	1.61 ± 0.23^{a}	2.15 ± 0.19^{a}	$t_{118} = -1.72$, $p > 0.05$
Bottle	1.60 ± 0.24^{a}	1.88 ± 0.14^{a}	$t_{118} = -1.23$, $p > 0.05$
Straw	1.47 ± 0.90^{a}	1.64 ± 0.15^{a}	$t_{118} = -0.73$, $p > 0.05$

Note: Different lowercase letters represent the mean differences in plastic usage ($p < 0.05$) between young and old people.

4. Plastic usage by people from different occupations everyday

In the case of plastic spoons, cleaners used higher number of spoons compared to other occupational groups, whereas, sellers and housewives used lower number of spoons compared to other occupational groups ($p < 0.05$) (Table 3).

In the case of styrofoams, office employees used higher number of styrofoams compared to other occupational groups, whereas, students and sellers used lower number of styrofoams compared to other occupational groups ($p < 0.05$) (Table 3).

In the case of using of plastic boxes, cleaners and drivers used higher number of boxes compared to other occupational groups, whereas, sellers used lower number of boxes compared to other occupational groups ($p < 0.05$) (Table 3).

In the case of glasses, office employees used higher numbers of glasses compared to other occupational groups, whereas, sellers used lower number of glasses compared to other occupational groups ($p < 0.05$) (Table 3). In the case of plastic packages, office employees and sellers used lower number of packages compared to other occupational groups ($p < 0.05$), whereas, package numbers were not different among students, cleaners, housewives and drivers (Table 3).

In the case of plastic bottles, cleaners and sellers used lower number of bottles compared to other occupational groups ($p < 0.05$) (Table 3).

In the case of straws, office employees used higher number of straws compared to other occupational groups, whereas, housewives used lower number of straws compared to other groups ($p < 0.05$) (Table 3).

In the case of plastic bags, cleaners used higher number of plastic bags compared to other occupational groups, whereas, sellers used lower number of plastic bags compared to other occupational groups ($p < 0.05$) (Table 3).

Table 3 Differences in everyday plastic usage among people from different occupations

Plastic types	Students	Official employees	Cleaners	Sellers	House-wives	Drivers	Statistical analyses
Spoon	1.35 ± 0.16^{ab}	1.15 ± 0.24^{ab}	2.85 ± 0.41^{c}	0.85 ± 0.23^{a}	0.65 ± 0.19^{a}	1.80 ± 0.32^{b}	$F_{5,114} = 8.43$, $p < 0.001$
Styro-foam	0.85 ± 0.53^{a}	6.55 ± 0.79^{d}	3.90 ± 0.68^{c}	0.30 ± 0.10^{a}	2.50 ± 0.35^{b}	1.85 ± 0.39^{b}	$F_{5,114} = 21.91$, $p < 0.001$
Box	2.25 ± 0.24^{b}	1.30 ± 0.42^{b}	6.30 ± 0.51^{c}	0.35 ± 0.13^{a}	1.20 ± 0.34^{b}	5.00 ± 0.61^{c}	$F_{5,114} = 32.95$, $p < 0.001$
Glass	1.65 ± 0.15^{b}	2.35 ± 0.27^{c}	1.60 ± 0.31^{b}	0.30 ± 0.11^{a}	1.25 ± 0.28^{b}	1.50 ± 0.21^{b}	$F_{5,114} = 8.04$, $p < 0.001$
Pack-age	2.75 ± 0.32^{c}	1.50 ± 0.25^{b}	2.65 ± 0.29^{c}	0.25 ± 0.16^{a}	1.95 ± 0.50^{b}	2.65 ± 0.31^{c}	$F_{5,114} = 8.93$, $p < 0.001$
Bottle	1.95 ± 0.08^{b}	2.10 ± 0.32^{b}	1.35 ± 0.13^{a}	1.15 ± 0.29^{a}	2.25 ± 0.30^{b}	1.90 ± 0.23^{b}	$F_{5,114} = 3.10$, $p < 0.05$
Straw	1.70 ± 0.16^{b}	2.80 ± 0.26^{c}	1.50 ± 0.30^{b}	1.50 ± 0.25^{b}	0.80 ± 0.11^{a}	1.20 ± 0.20^{b}	$F_{5,114} = 8.22$, $p < 0.001$
Bag	3.00 ± 0.36^{b}	3.50 ± 0.54^{b}	8.30 ± 0.79^{d}	2.20 ± 0.44^{a}	6.00 ± 1.01^{c}	3.40 ± 0.44^{b}	$F_{5,114} = 12.67$, $p < 0.001$

Note: Different lowercase letters represent the mean differences in plastic usage ($p < 0.05$) among people from different occupations.

Discussion

In the dustbins, the number of plastic bags was the highest. It indicates that people in NSTRU area use higher numbers of plastic bags compared to other plastic products and discard them in the environment. Leallaphan and Launglaor (2015) also shows that people in Bangkok use higher number of plastic bags. In Thailand, usually when people buy something, they are provided plastic bags everywhere without any cost. During investigating the plastic bag usage by males and females, we observed that both males and females used on average 4-5 plastic bags everyday, and their plastic bag usage was not different. On the other hand, old people used more plastic bags than young people. The reason behind this could be that 50% of

the young people are students (20 out of 40 young people) who usually eat breakfast and lunch in the university canteen, and therefore, it is not needed for them to buy foods from outside and carry those foods inside plastic bags. However, during dinner time, they buy foods or drinks from outside and carry those foods inside plastic bags. Among the different occupational groups, cleaners and housewives used more plastic bags than other groups. In the case of cleaners, usually they come in their working place in early morning and work for the whole day. Therefore they need to buy foods and drinks from outside and carry those foods inside plastic bags. In the case of housewives, usually they cook in homes, and for this reason they go for shopping and buy various types of raw foods (e.g., vegetables, meat, fish etc.) and carry those foods inside plastic bags. Accumulation of plastic bags in environment is harmful. They get into the soil and release toxic chemicals slowly. Moreover, in marine environment, some marine animals confuse plastic bags with their real food and consume plastic bags (Azzarello and Vleet, 1987). As plastic bags cannot be digested by an animal, they stay in the gut and prevent food digestion. It causes slow and painful death of animals.

In the case of sexual differences in using plastic products (except plastic bags), males used more plastic boxes, spoons, glasses and straws compared to females. The reason behind this could be that males probably prefer to eat outside more than females and that is why they buy more boxes containing foods, and glasses containing drinks. In Thailand, usually, spoons and straws are provided free with foods and drinks. Few previous studies (Lee, 2009; Lynn *et al*., 2016) also reported differences in plastic usage between males and females.

In the case of age differences in using plastic products, it was observed that old people used more styrofoams, boxes, and glasses compared to young people. In the case of young people, half of them are students in this study, and they usually do not buy foods from outside during breakfast or lunch. They prefer to eat in the canteen because canteen is near to their classrooms or dormitory, and foods are comparatively cheaper. Whereas, most of the old people are belong to earning group (e.g., official employees) who prefer to buy foods from outside. Usually they buy breakfast (foods inside boxes or styrofoams) from outside and carry those foods in their working places. Similarly, during going back to home after finishing work, they buy foods and carry those foods inside boxes or styrofoams. Another reason behind using less plastics in young people could be that young generation is more ready than old generation to accept new ideas (use less plastics, or use green products)

for protecting environment (Ottman *et al*., 2006). Martinsons *et al*. (1997) observed that most of the supporters of environmental protection tend to be young in age.

In the case of plastic usage by people from different occupations, we observed that students, cleaners, and drivers used more food packages (on average 3 packages/day) than other occupational groups. Usually, students like to buy several types of dry foods (cookies, chocolates, cakes, nuts, pickles etc.) from department stores frequently. On the other hand, cleaners and drivers probably prefer to buy some cheaper foods (e.g., breads, cakes, cookies) when they work outside and get hungry. Cleaners also used more plastic boxes, spoons, and bags compared to other occupational groups. The reason behind this could be that they work outside/move from one place to another for cleaning purposes and that is why they buy and carry foods along with spoons inside boxes or plastic bags. Official employees used more styrofoams, glasses and straws compared to other groups, because they might prefer to buy and carry foods and drinks from outside during coming to their working places, and during going back to their homes.

Seller groups used significantly less numbers of plastic products compared to other groups. The reason behind this could be that they sell their products most of the time and do not go outside for buying foods or drinks. When they eat, they eat inside their shop and use their own plates or glasses for eating and drinking.

Conclusion

This study shows that (1) among various types of plastic products, plastic bags are discarded more in the environment and (2) usage of some plastic products differs between males and females, between young and old people, and among several occupational groups in Thailand. These findings are very new as no research has focused on plastic usage of people from different sexes, ages and occupations in Thailand before. In this study, possible explanations are offered based on our observations, as sufficient review articles are not found on this topic (only one is found on sexual differences in plastic usage). This study will help to target user groups of specific plastic products to educate them about how to reduce the consumption of that plastic product. For example, a training program might increase the awareness of housewives and cleaners regarding plastic pollution, as well as teach them how to reduce plastic bag consumption as they use a higher number of plastic bags everyday. They might use one plastic bag several times or might buy environment friendly (green) reusable bags for shopping. Similarly, official employees may carry their own box and glass/bottle everyday and whenever they

buy foods/drinks they may ask the sellers to give foods and drinks in their own containers. Further research could be conducted to see the differences in plastic usage among different provinces and people with different cultures.

Acknowledgements

The authors are thankful to the Faculty of Science of Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, for the help and support.

References

Azzarello, M.Y. and Vleet, E.S.V. (1987). Marine birds and plastic pollution. *Marine Ecology Progress Series*, 37, 295-303.

Besseling, E., Foekema, E.M., Franeker, J.A.V., Leopold, M.F., Kühn, S., Rebolledo, E.L.B, Heße, E., Mielke, L., IJzer, J., Kamminga, P. and Koelmans, A.A. (2015). Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale Megaptera novaeangliae. *Marine Pollution Bulletin*, 95(1), 248-252.

Chang, M. (2015). Reducing microplastics from facial exfoliating cleansers in wastewater through treatment versus consumer product decisions. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1), 330-333.

Gourmelon, G. (2015). *Global plastic production rises, recycling lags*. *New Worldwatch Institute analysis explores trends in global plastic consumption and recycling.* Retrieved 10 December 2017, from: http://www. worldwatch. org.

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. and Law, K.L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.

Leallaphan, A. and Launglaor, W. (2015). Attitudes and behavior of Bangkok Residents regarding reducing the use of plastic bags. *University of the Thai Chamber of Commerce Journal*, 34 (1), 70-87.

Lee, K. (2009). Gender differences in Hong Kong adolescent consumers' green purchasing behavior. *Journal of Consumer Marketing*, 26(2), 87-96.

Lynn, H., Rech, S. and Samwel, M. (2016). *Plastics, gender and the environment. Life cycle of plastics and its impacts on women and men from production to (marine) litter.* Netherlands: Women Engage for a Common Future International.

Martinsons, M.G., So, S.K., Tin, C. and Wong, D. (1997). Hong Kong and China: emerging markets for environmental products and technologies. *Long Range Planning*, 30(2), 277-156.

Matichon online. (2017). *Nakhon Si Thammarat - waste water overflowing the city stinking smell after another heavy flood, the public complained of dreaded epidemics*. Retrieved 26 February 2017, from: https://www. matichon.co.th/local/news_439040.

Napper, I.E., Bakir, A., Rowland, S.J. and Thompson, R.C. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), 178-185.

Ottman, J.A., Stafford, E.R. and Hartman, C.L. (2006). Avoiding green marketing myopia: ways to improve consumer appeal for environmentally preferable products. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 48(5), 22-36.

PlasticsEurope (PEMRG)/Consultic/ECEBD. (2014). *Plastics-the Facts 2014/2015 An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Retrieved 16 December 2018, from: www.plasticseurope.org/application/files/application/files/5515/1689/9220/2014plastics_the_facts_PubFeb2015.pdf.

Pollution Control Department. (2008). *Guide to reducing waste sorting and utilization*. Retrieved 26 February 2019, from: http://www.mt.mahidol.ac.th/MT_Green/images/knowledge/Guide to reducing waste sorting and utilization.pdf.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J. and Nykvist, B. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472.

Sriroth, K. and Sangseethong, K. (2005). Biodegradable plastics from cassava starch. In *II International Symposium on Sweetpotato and Cassava: Innovative Technologies for Commercialization* (pp. 145-152). Kuala Lumpur, Malaysia: International Society for Horticultural Science.

Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q. and Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7-17.

Wongthatsanekorn, W. (2009). A goal programming approach for plastic recycling system in Thailand. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 3(1), 23-28.

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการบริโภคพืชผักของประชาชนที่อาศัยรอบหนองเล็งทราย อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา

Health Risk Assessment on Vegetable Consumption for People Living around Nong Leng Sai, Mae-Jai District, Phayao Province.

สมคิด จูหว้า[1*] รุ่ง วงศ์วัฒน์[2] และ อนุกูล มะโนทน[1]

Somkid Juwa[1*], Rung Wongwat[2] and Anukool Manoton[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการบริโภคอาหาร พฤติกรรมการบริโภคอาหาร และประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนที่บริโภคพืชผักในหนองเล็งทราย ประเมินปริมาณอาหารที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยเทียบกับค่า Acceptable Daily Intake (ADI) การตรวจวิเคราะห์ในพืชผัก ทั้ง 5 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักตบ ผักกระเฉด บัวสาย และผักปอด พบว่า ไม่พบการปนเปื้อนสารแคดเมี่ยม และพบว่ามีผัก จำนวน 3 ชนิดที่มีการปนเปื้อนสารตะกั่ว ได้แก่ ผักบุ้ง ผักตบ และผักกระเฉด ในปริมาณ 0.0325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการบริโภคพืชผักที่ปนเปื้อนสารตะกั่ว พบว่าผู้บริโภคพืชผักจะได้รับสารตะกั่วเฉลี่ย เท่ากับ 5.72 ไมโครกรัมต่อวัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า TDI ถึง 34 เท่า (ค่า Tolerable Daily Intake (TDI) มีค่าเท่ากับ 3.6 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน สรุปได้ว่าประชาชนสามารถบริโภคอาหารได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ: ความเสี่ยงทางสุขภาพ ตะกั่ว แคดเมี่ยม หนองเล็งทราย

[1] สาขาวิชาการส่งเสริมสุขภาพ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

[2] สาขาวิชาอนามัยชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

[*] Corresponding author e-mail: sjuwa@hotmail.com

Received: 12 March 2019, Revised: 8 May 2019, Accepted: 15 June 2019

Abstract

The purposes of this research were to study food consumption pattern, food consumption behavior and health risk assessment on vegetable consumption in Nong Leng Sai, Mae-Jai District, Phayao Province, compared with the Acceptable Daily Intake (ADI). Analysis of cadmium (Cd) and Lead (Pb) content in 5 vegetables (*Ipomoea aquatica* Forsk*, Monochoria hastata* (L.) Solms*, Neptunia oleracea, Nymphaea lotus and Sphenoclea zeylanica* Gaertn) found that cadmium was not detected in all vegetable samples. Lead concentrations (0.0325 mg/kg) were found in 3 vegetable samples including *I. aquatica* Forsk*, M. hastate* (L.) Solms *and Neptunia oleracea*. Human health risk assessment found that average lead intake from vegetable was about 5.72 μg/day, lower than the Tolerable Daily Intake (TDI) about 34 fold (TDI of 3.6 μg/day body weight/day). In conclusion of this study, adverse health effects may not occur.

Keywords: Health risk assessment, Lead, Cadmium, Nong Leng Sai

บทนำ

หนองเล็งทรายเป็นหนองน้ำขนาดใหญ่ในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ที่ไหลลงมาสมทบกับกว๊านพะเยา หนองเล็งทรายเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีสภาพตื้นเขิน มีน้ำขังลึกประมาณ 30 เซนติเมตรในฤดูฝนและแห้งขอดในฤดูแล้ง มีลำห้วยเล็ก ๆ หลายสายไหลเข้าสู่หนองน้ำ เช่น ห้วยหลวงใน ห้วยแม่กระทบ ห้วยเกี๋ยว ห้วยสะแล่ง เป็นต้น ปัจจุบันทางน้ำตื้นเขินเป็นส่วนใหญ่ บริเวณตอนใต้ของหนองมีฝายน้ำล้น น้ำที่ล้นไหลลงแม่น้ำอิงสู่กว๊านพะเยา พื้นที่อยู่ในบริเวณที่เป็นตะพักลุ่มน้ำที่เกิดจากตะกอนค่อนข้างใหม่ บริเวณโดยรอบเป็นนาข้าว ปัจจุบันหนองเล็งทรายมีสภาพตื้นเขินเป็นส่วนมาก พื้นที่ส่วนใหญ่น้ำท่วมในฤดูฝนและบางส่วนน้ำท่วมตลอดปี มีพันธุ์พืชน้ำขึ้นปกคลุมหนองอย่างหนาแน่น พบพืช 29 ชนิด มีป่าพรุกระจายอยู่กลางหนองน้ำ มีรูปแบบการจัดการน้ำ 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้ความรู้แบบดั้งเดิมของชาวบ้านโดยปรับเปลี่ยนความรู้ให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ และ 2) การนำความรู้จากภายนอกมาผสมผสานกับความรู้เดิมของชาวบ้าน คล้ายกับการจัดการน้ำของป่าพรุในภาคใต้ (นฤมล และปิยวรรณ, 2555) ในพรุมีไคร้ (*Glochidion eriocarpum*) เป็นพืชหลัก นอกจากนี้มีกระโดน (*Careya sphaerica*) และกระทุ่มนา (*Mitragyna javanica*) พืชชายน้ำที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ หญ้าปล้อง (*Hymenachne pseudointerrupta*) และไมยราบยักษ์ (*Minosa pigra*) พืชโผล่เหนือน้ำพบกกสามเหลี่ยม (*Scripus grossus*) มากที่สุดในบริเวณตื้นเขิน พบพืชลอยน้ำบริเวณที่น้ำท่วม ได้แก่ ผักตบไทย (*M. hastate* (L.) Solms) และแหน (*Lemna perpusilla*) ผักบุ้ง (*I. Aquatic* Forks) แพงพวยน้ำ (*Jussiaea repens*) เป็นต้น คุณค่าและการใช้ประโยชน์ เป็นแหล่งน้ำสำหรับอุปโภคบริโภค การเกษตร ใช้เลี้ยงสัตว์ ทำการประมง ปลูกพืช และนำน้ำมาใช้เป็นน้ำประปา หนองเล็งทรายเป็นหนองน้ำที่มีตำนานและประวัติศาสตร์ที่บอกถึงอารยธรรมเก่าแก่ เป็นสถานที่พักผ่อนของประชาชนอำเภอแม่ใจ และจากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในหนองเล็งทราย โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเมื่อเดือนกุมภาพันธ์-สิงหาคม 2553 พบว่ามีค่าความสกปรกของคุณภาพน้ำอยู่ในขั้นวิกฤต (ค่า BOD มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแอมโมเนียรวม มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบสาหร่าย สีเขียวแกมน้ำเงินขึ้นในหนองเล็งทราย ซึ่งในรายงานทางวิชาการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดสาหร่าย สีเขียวแกมน้ำเงิน คือ 1) ปุ๋ยและสารเคมีจากภาคการเกษตร 2) น้ำเสีย และ 3) มูลสัตว์ ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงเป็นสาเหตุให้ปลาในหนองเล็งทรายตายเป็นจำนวนมาก (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2561)

หนองเล็งทราย นับว่าเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญของประชาชนที่อาศัยในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา โดยเฉพาะประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบหนองเล็งทราย มีอาชีพในการทำประมงพื้นบ้าน การจับสัตว์น้ำมาเพื่อบริโภค การเก็บพืชผักที่อยู่ในหนองเล็งทรายมาบริโภค แต่เนื่องจากหนองเล็งทรายเป็นแหล่งรวมของน้ำที่ไหลมากจากสถานที่ต่าง ๆ ทั้งที่มาจากการชะล้างพื้นที่การเกษตร และจากน้ำเสียจากชุมชน ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่สำคัญ ได้แก่ สารแคดเมี่ยม และตะกั่ว เป็นต้น อันมีผลทำให้โลหะหนักนั้นมีการปนเปื้อนและสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร โดยเฉพาะสัตว์น้ำจืด และพืชผักที่อยู่ในหนองเล็งทราย เมื่อประชาชนนำวัตถุดิบจากหนองเล็งทรายมาบริโภค อาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 1992) ได้กำหนดค่าสูงสุดในการรับแคดเมี่ยมเข้าสู่ร่ายกายจากการบริโภคอาหาร ไม่เกิน 7 ไมโครกรัมแคดเมี่ยมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ หรือประมาณ 60 ไมโครกรัมต่อคนต่อวัน สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 60

กิโลกรัม (joint FAO/WHO expert committee on food additives; JECFA, 2000) ส่วนสารตะกั่วมีรายงานผลจากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าตะกั่วเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดเป็นมะเร็งในหนูทดลอง แต่ในมนุษย์ยังไม่มีหลักฐานที่เพียงพอที่สนับสนุนการเกิดเป็นมะเร็งในมนุษย์ Environmental Protection Agency (EPA) ไม่ได้กำหนดปริมาณของตะกั่วที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยตลอดชีวิตของมนุษย์ (oral reference dose; RfD) เนื่องจากการศึกษาหลายการศึกษาพบว่าตะกั่วไม่สามารถบอกระดับของค่าความทน (threshold) ที่ชัดเจนได้ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007) ดังนั้นผู้วิจัยทำการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับตะกั่วโดยใช้ค่ามาตรฐานของ joint FAO/WHO expert committee on food additives; JECFA (2000)

ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาแบบแผนและพฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชาชนในพื้นที่รอบหนองเล็งทราย และเพื่อประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสารแคดเมี่ยมและตะกั่ว จากการบริโภคพืชผักที่นำมาจากกว๊านพะเยา และประเมินปริมาณอาหารที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยเทียบกับค่า Acceptable Daily Intake (ADI)

หนองเล็งทราย เป็นแหล่งน้ำที่สำคัญในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา เนื่องจากหนองเล็งทรายเป็นแหล่งรวมของน้ำที่ไหลมากจากสถานที่ต่าง ๆ ทั้งที่มาจากกการชะล้างพื้นที่การเกษตร และจากการปล่อยน้ำเสียจากชุมชนรอบหนองเล็งทราย ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่สำคัญได้แก่ สารแคดเมี่ยม และตะกั่ว เป็นต้น มีผลทำให้เกิดการปนเปื้อนและสะสมของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหารโดยเฉพาะสัตว์น้ำจืดและพืชผักที่อยู่ในหนองเล็งทราย เมื่อประชาชนนำสัตว์น้ำและพืชผักมาบริโภคอาจทำให้ได้รับการสะสมของโลหะหนักและเป็นอันตรายต่อสุขภาพในระยะยาว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างพืชผักในหนองเล็งทรายส่งวิเคราะห์ตรวจเพื่อหาระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก ทำการศึกษาแบบแผนและพฤติกรรมการบริโภคอาหาร และทำการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนจากการบริโภคพืชผักที่นำมาจากหนองเล็งทราย โดยประยุกต์การประเมินความน่าจะเป็นของผลเสียต่อสุขภาพ จากมลพิษสิ่งแวดล้อมโดยประเมินความเป็นพิษของสารปนเปื้อนในพืชผัก สัมพันธ์กับปริมาณ และพฤติกรรมการบริโภค (United States Environmental Protection Agency, 2000) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนได้แก่ 1) hazard identification 2) dose-response assessment 3) exposure assessment และ 4) risk characterization และแนะนำปริมาณอาหารที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยเทียบกับค่า ADI ให้กับประชาชนที่อาศัยอยู่รอบหนองเล็งทราย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (applied research) ศึกษาในพื้นที่รอบหนองเล็งทรายที่ประชาชนใช้ประโยชน์จากหนองเล็งทรายในการเกษตร การบริโภคพืชผัก โดยศึกษาในพื้นที่ตำบลป่าแฝก ตำบลเจริญราษฎร์ ตำบลศรีถ้อย ตำบลบ้านเหล่า และตำบลแม่ใจ จำนวน 5 ตำบล

1. ประชากรและตัวอย่างที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างพืชผักรอบหนองเล็งทราย ที่ประชาชนนิยมนำมาบริโภค โดยทำการเก็บจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ผักปอด บัวสาย ผักกระเฉด ผักตบ และผักบุ้ง ทำการศึกษาพฤติกรรมและแบบแผนการบริโภคอาหาร ประชากรที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและแบบแผนการบริโภคอาหาร ได้แก่ ประชาชนที่อาศัยอยู่รอบหนองเล็งทราย จำนวน 27,883 คน (กลุ่มงานยุทธศาสตร์, 2560) สุ่มตัวอย่างจากประชากรโดยใช้สูตรของ Yamane (1973)

$$n = \frac{N}{(1+Ne^2)}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร (27,883 คน)

e = ความคาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง กำหนด = 0.05

แทนค่า ได้ n เท่ากับ 394 คน (ปรับเพิ่มเป็น 395 คน)

ผู้วิจัยจะเข้าไปสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรม และแบบแผนการบริโภคพืชผักของประชาชนในพื้นศึกษา ศึกษาแบบแผนการบริโภคอาหารใน 1 สัปดาห์ ปริมาณและชนิดพืชผักที่ประชาชนนิยมบริโภคมากที่สุดเรียงตามลำดับ เพื่อใช้ในการคำนวณและประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสสารแคดเมี่ยมและตะกั่วจากการบริโภคพืชผัก

2. เครื่องมือการศึกษา

2.1 วิธีการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ข้อมูล ในพืชผัก

อุปกรณ์ประกอบด้วย ซองซิปล๊อค บรรจุตัวอย่างพืชผัก ป้ายเขียนชื่อตัวอย่าง ปากกาเคมี และถุงมือยาง การเก็บตัวอย่างพืชผัก จะเก็บเฉพาะพืชผักที่ประชาชนนิยมบริโภคและเป็นพืชผักที่ปลูกในพื้นที่รอบหนองเล็งทราย โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บดตัวอย่างและคลุกเคล้า เก็บรักษาตัวอย่างในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

2.1.2 วิเคราะห์โลหะในพืชผักด้วย Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลด้านพฤติกรรมการบริโภคอาหาร ได้ประยุกต์ใช้แบบสอบถามความถี่อาหารบริโภคกึ่งปริมาณ (Semi-Quantitative Food Frequency Questionnaire: SFFQ) ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนได้แก่

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ เพศ อายุ น้ำหนักร่างกาย สถานภาพการสมรส ระดับการศึกษา รายได้เฉลี่ยของครอบครัว ภูมิลำเนา ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในชุมชน อาชีพหลัก และพฤติกรรมการบริโภคอาหารทั่วไป

ส่วนที่ 2 ใช้แบบสอบถามความถี่อาหารบริโภคกึ่งปริมาณ (SFFQ) หาชนิดและปริมาณที่รับประทานอาหารประเภทพืชผักในพื้นที่ศึกษา โดยประยุกต์แบบ Food Frequency Questionnaire และ Food Record บันทึกตามแบบสอบถามใน 1 สัปดาห์ ประกอบด้วย

1) ความถี่ของการบริโภคพืชผักต่อสัปดาห์

2) ชนิดของพืชผักที่บริโภค

3) ประมาณน้ำหนักพืชผักที่บริโภคต่อมื้อ ให้กลุ่มตัวอย่างระบุขนาดอาหารเทียบเคียงกับ model ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เช่น เท่ากับกักไม้ขีด จำนวนกี่ชิ้น เพื่อประมาณค่าน้ำหนักมื้ออาหาร

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนที่บริโภคอาหารในพื้นที่รอบหนองเล็งทราย ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารแคดเมี่ยมและตะกั่วที่ปนเปื้อนและการตกค้างของสารแคดเมี่ยมและตะกั่วในพืชผัก

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาพฤติกรรมและแบบแผนการบริโภคอาหารของประชาชนที่อาศัยอยู่รอบหนองเล็งทราย โดยการใช้แบบสัมภาษณ์ SFFQ ซึ่งจะทำการสำรวจก่อนการเก็บตัวอย่างพืชผักเพื่อทราบถึงชนิด และปริมาณของการบริโภคพืชผักต่อมื้อ (กรัม) ที่นิยมในการบริโภคของประชาชนสำหรับใช้เป็นค่ามาตรฐานในพื้นที่ศึกษา ในการนำไปคำนวณความเป็นพิษและผลต่อสุขภาพ

ขั้นตอน 3 ประเมินความเสี่ยงและผลต่อสุขภาพจากการได้รับสารแคดเมี่ยม และตะกั่วจากการบริโภคพืชผักของประชาชนในพื้นที่ และประเมินปริมาณพืชผักที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยเทียบกับค่า ADI เป็นการประเมินความน่าจะเป็นของผลเสียต่อสุขภาพ จากมลพิษสิ่งแวดล้อม โดยประเมินความเป็นพิษของสารปนเปื้อนในพืชผักสัมพันธ์กับปริมาณและพฤติกรรมการบริโภค (United States Environmental Protection Agency, 2000) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนได้แก่

1) การประเมินสิ่งคุกคาม (hazard identification) เป็นขั้นตอนที่ระบุ และค้นหาว่าสารเคมีอันตรายใดบ้างในสิ่งแวดล้อมนั้น ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและจำเป็นต้องแก้ไข ในการศึกษานี้คือสารแคดเมี่ยมและตะกั่ว (Page, 1994)

2) การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (dose-response assessment) เป็นขั้นตอนของการตรวจสอบความเป็นพิษของสารเคมี โดยดูจากความสัมพันธ์ของปริมาณการรับเข้าสู่ร่างกายกับผลเสียที่เกิดต่อสุขภาพ โดยครอบคลุม non-carcinogenic risks และ carcinogenic risks ซึ่ง non-carcinogenic risks มี dose-response relationship curve เป็นแบบ threshold ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ reference dose (RfD) และ health advisory (HA) ส่วน carcinogenic risks มี dose-response relationship curve เป็นแบบ stochastic ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ cancer slope factor (CSF)

3) การประเมินการสัมผัส (exposure assessment) เป็นขั้นตอนของการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมี โดยทางเข้าสู่ร่างกาย เช่น ทางเดินอาหาร ผิวหนัง ทางเดินหายใจ โดยประมาณการจาก reasonable maximum exposure assumption ในการศึกษานี้หมายถึงการประเมินปริมาณสารแคดเมี่ยมและตะกั่วที่ได้จากการบริโภคพืชผักในพื้นที่ศึกษา สูตรที่ใช้คือ

$$CDI = \frac{C \times CF \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365d/y}$$

CDI = chronic daily intake of a specific chemical ปริมาณสารเคมีที่ผู้บริโภคได้รับจากการบริโภคพืชผัก (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน)

C = chemical concentration หรือปริมาณสารเคมี ในพืชผัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

CF = conversion factor (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

IR = ingestion rate หรือ ปริมาณพืชผักที่บริโภคโดยเฉลี่ย (กรัมต่อวัน)

EF = exposure frequency หรือ ความถี่ในการสัมผัส (วันต่อปี)

ED = exposure duration หรือ ระยะเวลาในการสัมผัส (ปี)

BW = body weight หรือ น้ำหนักตัวของผู้บริโภคโดยเฉลี่ยตามกลุ่มอายุและเพศ (กิโลกรัม)

AT = averaging time หรือ ระยะเวลาเฉลี่ยในการสัมผัส (วัน)

4) การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (risk characterization) เป็นการประมาณการผลเสียต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหาร ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารแคดเมี่ยมและตะกั่ว โดยการคำนวณค่า สัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient; HQ) โดย มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{สัดส่วนความเสี่ยง (HQ)} = \frac{\text{ค่าปริมาณการรับสัมผัสต่อวัน (CDI)}}{\text{ค่ามาตรฐานกำหนด (RfD)}}$$

ถ้าค่าของ HQ $\leq$ 1 หมายถึง ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ถ้าค่าของ HQ $>$ 1 หมายถึง อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแคดเมี่ยมและตะกั่วที่สะสมในพืชผัก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแคดเมี่ยมและตะกั่วที่สะสมในพืชผัก โดยเก็บตัวอย่างพืชผักที่ประชาชนในพื้นที่นิยมบริโภค ทั้งหมด 5 ชนิด คือ ผักปอด บัวสาย ผักกระเฉด ผักตบ และผักบุ้ง ผลการตรวจวิเคราะห์ พบว่าพืชผักทุกชนิดไม่มีการปนเปื้อนสารแคดเมี่ยม ส่วนการปนเปื้อนสารตะกั่วพบว่าผักบุ้ง ผักตบ และผักกระเฉด มีค่าการปนเปื้อนสารตะกั่วเท่ากันอยู่ที่ 0.0325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานในอาหารของประเทศไทยซึ่งต้องมีการปนเปื้อนของสารแคดเมี่ยมไม่เกิน 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารตะกั่วไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Codex Alimentarius Commission, 2006) พบว่าพืชผักทุกตัวอย่างมีค่าการปนเปื้อนไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนบัวสาย และผักปอดไม่พบการปนเปื้อน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแคดเมี่ยมและตะกั่วที่สะสมในพืชผักในหนองเล็งทราย

ลำดับ	ชนิดพืชผัก	ผลการวิเคราะห์	
		แคดเมี่ยม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1	ผักบุ้ง	ไม่พบ	0.0325
2	ผักตบ	ไม่พบ	0.0325
3	ผักกระเฉด	ไม่พบ	0.0325
4	บัวสาย	ไม่พบ	ไม่พบ
5	ผักปอด	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ LOD = 0.0008 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. แบบแผนและพฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชาชนในพื้นที่รอบหนองเล็งทราย

พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 77.72 อายุอยู่ในช่วง 31-45 ปี ร้อยละ 37.72 รองลงมามีอายุอยู่ในช่วง 46-60 ปี ร้อยละ 32.41 มีน้ำหนักส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 36-55 กิโลกรัม ร้อยละ 51.65 กลุ่มตัวอย่างมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 54.50 กิโลกรัม โดยที่เพศชายมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 61.40 กิโลกรัม เพศหญิงมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 47.60 กิโลกรัม ใช้น้ำในการเกษตร ร้อยละ 98.23 รองลงมา ส่วนใหญ่ปรุงอาหารรับประทานที่บ้านคิดเป็นร้อยละ 92.66 จะรับประทานอาหารกับครอบครัวที่บ้านคิดเป็นร้อยละ 92.15 รองลงมากลุ่มตัวอย่างจะไปรับประทานอาหารนอกบ้านประมาณสัปดาห์ละครั้ง คิดเป็นร้อยละ 5.32 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่นิยมบริโภคผักบุ้ง คิดเป็นร้อยละ 74.43 รองลงมาได้แก่ ผักกระเฉด ผักปอด บัวสาย และผักตบ คิดเป็นร้อยละ 70.13 68.10 49.11 และ 29.62 ตามลำดับ แหล่งที่มาของพืชผักที่นำมาบริโภคส่วนใหญ่มาจากการซื้อหรือเก็บจากหนองเล็งทราย คิดเป็นร้อยละ 53.42 รองลงมา กลุ่มตัวอย่างปลูกผักรับประทานเอง คิดเป็นร้อยละ 31.39 และกลุ่มตัวอย่างไม่ทราบแหล่งที่มาของพืชผัก คิดเป็นร้อยละ 15.19 มีความถี่ในการบริโภคพืชผักอยู่ในช่วง 6-10 มื้อต่อสัปดาห์ คิดเป็น ร้อยละ 70.38 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการบริโภคต่อมื้อเท่ากับ 147 กรัม โดยในภาพรวมค่าเฉลี่ยการบริโภคอยู่ที่ 8.40 มื้อต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยการบริโภคพืชผักที่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 90 เท่ากับ 12 มื้อต่อสัปดาห์ การบริโภคพืชผักที่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 90 พบว่า ผักกระเฉด มีปริมาณการบริโภคสูงสุด เท่ากับ 300 กรัมต่อวัน รองลงมาได้แก่ ผักบุ้ง เท่ากับ 285 กรัมต่อวัน

3. การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการบริโภคพืชผัก

การตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารแคดเมี่ยมในพืชผักจากหนองเล็งทรายที่ประชาชนนิยมนำมาบริโภค ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง ผักตบ ผักกระเฉด บัวสาย และผักปอด ไม่พบมีการปนเปื้อนของสารแคดเมี่ยม ดังนั้นประชาชนสามารถนำพืชผักทั้ง 5 ชนิดมาบริโภคได้อย่างปลอดภัย โดยที่จะไม่ได้รับผลกระทบจากสารแคดเมี่ยม

การตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารตะกั่วในพืชผัก พบว่ามีผัก จำนวน 3 ชนิด ที่ปนเปื้อนสารตะกั่ว ได้แก่ ผักบุ้ง ผักตบ และผักกระเฉด ปนเปื้อนจำนวนที่เท่ากัน คือ 0.0325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากสารตะกั่วเป็นสารก่อมะเร็ง โดยที่ EPA ไม่ได้กำหนดปริมาณของตะกั่ว

ที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยตลอดชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากการศึกษาหลายการศึกษาพบว่าตะกั่วไม่สามารถบอกระดับของค่าความทนที่ชัดเจนได้ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007) ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนจึงใช้วิธีการประเมินโดยใช้ค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย JECFA ได้แก่ 1) ค่า Tolerable Daily Intake (TDI) มีค่าเท่ากับ 3.60 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน หรือ เท่ากับ 196 ไมโครกรัมต่อวัน (น้ำหนักเฉลี่ย 54.50 กิโลกรัม) และ 2) ค่า Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) เท่ากับ 25 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน หรือ เท่ากับ 1,362.50 ไมโครกรัมต่อสัปดาห์ (Food Standards Agency, 2008) ในภาพรวมค่าเฉลี่ยการบริโภคพืชของกลุ่มตัวอย่างต่อมื้อเท่ากับ 147 กรัม ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.40 มื้อต่อสัปดาห์หรือเท่ากับ 176 กรัมต่อวัน หรือ 0.176 กิโลกรัมต่อวัน พืชผักมีค่าการปนเปื้อนสารตะกั่วอยู่ที่ 32.50 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นประชาชนผู้บริโภคพืชผักจะได้รับสารตะกั่วเฉลี่ยใน 1 วัน เท่ากับ 5.72 ไมโครกรัมต่อวัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า TDI ถึง 34 เท่า กลุ่มตัวอย่างสามารถบริโภคพืชผักได้อย่างปลอดภัย

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแคดเมี่ยมและตะกั่วที่สะสมในพืชผัก โดยเก็บตัวอย่างพืชผักที่ประชาชนในพื้นที่นิยมบริโภค ทั้งหมด 5 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักตบ ผักกระเฉด บัวสาย และผักปอด ผลการตรวจวิเคราะห์ พบว่าพืชผักทุกชนิดไม่มีการปนเปื้อนสารแคดเมี่ยม ส่วนการปนเปื้อนสารตะกั่วพบในผักบุ้ง ผักตบ และผักกระเฉด มีค่าการปนเปื้อนสารตะกั่วเท่ากันอยู่ที่ 0.0325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานในอาหารของประเทศไทยซึ่งต้องมีการปนเปื้อนของสารแคดเมี่ยมไม่เกิน 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารตะกั่วไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Codex Alimentarius Commission, 2006) พบว่าพืชผักทุกตัวอย่างมีค่าการปนเปื้อนไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนบัวสาย และผักปอดไม่พบการปนเปื้อน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสามารถในการดูดซึมสารแคดเมี่ยมและตะกั่วของพืชผักแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน (Horticulture Australia, 2003) และปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมี่ยมและตะกั่วในตะกอนดิน และในน้ำมีจำนวนน้อยทำให้ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารทั้งสอง

1. การศึกษาพฤติกรรมการบริโภค

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 77.72 อายุอยู่ในช่วง 31-45 ปี ร้อยละ 37.72 กลุ่มตัวอย่างมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 54.50 กิโลกรัม เพศชายมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 61.40 กิโลกรัม เพศหญิงมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 47.60 กิโลกรัม อาชีพหลักของกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 36.71 ประกอบอาชีพทำนา ร้อยละ 97.22 อาศัยอยู่ในพื้นที่ตั้งแต่เกิด มีเพียงร้อยละ 2.78 ที่ย้ายมาจากพื้นที่อื่น ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ส่วนใหญ่ ร้อยละ 76.96 อาศัยอยู่ในพื้นที่มากกว่า 30 ปี ทำให้กลุ่มตัวอย่างมีโอกาสเสี่ยงต่อผลกระทบทางสุขภาพจากการได้รับสารแคดเมี่ยมและตะกั่วผ่านทางห่วงโซ่อาหารมาเป็นระยะเวลานาน โดยปกติอาการแสดงที่เด่นชัดต่อสุขภาพของผู้สัมผัสสารแคดเมี่ยมและตะกั่วจะเริ่มมีอาการชัดเจนเมื่อได้รับสารแคดเมี่ยมประมาณ 30 ปี (United States Environmental Protection Agency, 2000) การบริโภคพืชผัก พบว่า มีค่าเฉลี่ยของปริมาณการบริโภคเท่ากับ 147 กรัม โดยในภาพรวมค่าเฉลี่ยการบริโภคของกลุ่มตัวอย่างอยู่ที่ 8.40 มื้อต่อสัปดาห์ และมีค่าเฉลี่ยการบริโภคพืชผักที่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 90 เท่ากับ 12 มื้อต่อสัปดาห์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการได้รับ

สารพิษเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการบริโภคอาหาร ควรแนะนำให้ประชาชนบริโภคอาหารที่มีความหลากหลาย และไม่ควรรับประทานอาหารชนิดเดียวบ่อยครั้งเกินไป

2. การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ

การตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารตะกั่วในพืชผักจากหนองเล็งทรายที่ประชาชนนิยมนำมาบริโภค ทั้ง 5 ชนิด พบว่ามีพืชผัก 3 ชนิด ปนเปื้อนของสารตะกั่ว ได้แก่ ผักบุ้ง ผักตบ และผักกระเฉด จำนวนที่เท่ากัน คือ 0.0325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากสารตะกั่วเป็นสารก่อมะเร็ง โดยที่ EPA ไม่ได้กำหนดปริมาณของตะกั่วที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยตลอดชีวิตของมนุษย์ RfD การศึกษาหลายการศึกษาพบว่าตะกั่วไม่สามารถบอกระดับของค่าความทนที่ชัดเจนได้ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007) ถึงแม้ว่าปริมาณการปนเปื้อนสารตะกั่วไม่เกินค่า TDI หากหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนสารตะกั่วได้ควรหลีกเลี่ยง หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ต้องลดขนาดและความถี่ในการบริโภค

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า โลหะหนักมีโอกาสปนเปื้อนในแหล่งน้ำ และสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร เนื่องมาจากการชะล้างของพื้นที่การเกษตรตามธรรมชาติ และการปนเปื้อนในน้ำเสียจากชุมชน ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนที่ได้นำอาหารจากแหล่งน้ำมาบริโภค ความเสี่ยงทางสุขภาพจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารเคมี (รัตนาภรณ์ และคณะ, 2560) เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงต่อการได้รับสารเคมีผ่านทางการบริโภค ประชาชนไม่ควรบริโภคอาหารชนิดเดียวบ่อยครั้ง ควรสลับการบริโภคอาหารที่หลากหลาย ลดขนาด ลดปริมาณ และลดความถี่ในการบริโภคอาหารลง เพื่อป้องกันไม่ให้สารเคมีเข้ามาสะสมอยู่ในร่างกาย และอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการบริโภคอาหารให้ปลอดภัยให้กับประชาชน

1. สำรวจชนิด ปริมาณและความถี่ อาหารที่ประชาชนในพื้นที่นิยมรับประทานอย่างละเอียด

2. วิเคราะห์การปนเปื้อนของสารแคดเมี่ยมและตะกั่วในอาหารที่ประชาชนนิยมบริโภค และทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

3. ถ้าพบปริมาณการปนเปื้อนในอาหารชนิดใดที่มีปริมาณสูง และอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ต้องมีการประกาศเตือนเป็นลายลักษณ์อักษร

4. แนะนำการบริโภคอาหารอย่างปลอดภัยให้กับประชาชนในพื้น โดยไม่ควรบริโภคอาหารชนิดเดียวบ่อยครั้ง ให้สลับการบริโภคอาหาร ลดขนาดอาหารบริโภค

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการบริโภคพืชผักในหนองเล็งทรายของประชาชนที่อาศัยรอบหนองเล็งทราย อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปี 2556 การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากศาสตราจารย์พิเศษ ดร.นายแพทย์วิชัย เทียนถาวร ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล และท้ายสุดขอขอบคุณประชาชนทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ในการเก็บรวบรวบข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มงานยุทธศาสตร์. (2560). *สรุปผลการดำเนินงานประจำปี 2560.* พะเยา: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพะเยา.

นฤมล สุขพันธ์ และปิยวรรณ เนื่องมัจฉา. (2555). การจัดการน้ำของชุมชนในพื้นที่ป่าพรุ : ศึกษาชุมชนบ้านเนินธัมมัง ตำบลแม่เจ้าอยู่หัว อำเภอเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,* 31(1), 29-38.

รัตนาภรณ์ อาษา อภิเชษฐ์ จำเนียรสุข และพิชสุดา เดชบุญ. (2560). ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสุขภาพของประชาชนในเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,* 36(1), 61-71.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2561). *พื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติ.* สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2561, จาก: http://wetland.onep.go.th/NongLengsai.html.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2007). *Toxicological profile for lead*. Retrieved 20 January 2017, from: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf.

Codex Alimentarius Commission. (2006). *Joint FAO/WHO Food standands programme*. *29th session international conference centre*. Retrieved 20 January 2017, from: www.fao.org/input/download/report/657/al2912e.pdf.

Food Standards Agency. (2008). *Front of pack nutritional signpost labelling technical guide issue*. Retrieved 20 January 2017, from: http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/frontofpackguidance2.pdf.

Horticulture Australia. (2003). *Managing cadmium in vegetables*. Retrieved 25 January 2017, from: http://www.horticulture.com.au.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) (2000). *Safety evaluation of certain food additives and contaminants.* Retrieved 20 January 2017, from: http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v46je01.htm.

Page, NP. (1994). *Human health risk assessment*. Florida: CRC Press, Boca Raton.

United States Environmental Protection Agency (2000). *Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories.* Retrieved 25 January 2017, from: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/volume2.pdf.

World Health Organization (1992). *IPCS environmental health criteria 134*: *Cadmium*. Retrieved 25 January 2017, from: http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm.

Yamane, Taro. (1973). *Statistics: An introductory analysis.* (3th ed). New York: Haper and Row.

ผลของตัวทำละลายและความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณและความคงตัวของสารสีที่สกัดได้จากพืช

Effects of Extraction Solvents and pH on the Amount and Stability of Crude Color Extracted from Plants

ประกิต ไชยธาดา[1*]
Prakit Chaithada[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารที่สกัดได้จากธรรมชาติ และศึกษาความคงตัวของสีย้อมจากธรรมชาติที่ความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ โดยใช้พืชตัวอย่างทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ ใบสาบเสือ เปลือกสนทะเล ใบเพกา แก่นขนุน และเปลือกผลมังคุด ผลการวิจัย พบว่า ตัวทำละลายแต่ละชนิดสามารถสกัดสีย้อมจากธรรมชาติได้ในปริมาณที่แตกต่างกันโดยตัวทำละลายที่มีขั้ว ได้แก่ เมทานอล และน้ำกลั่น สามารถสกัดสารจากพืช เช่น ใบสาบเสือ และเปลือกผลมังคุดออกมาได้ดีที่สุด ขณะที่ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน สามารถสกัดสารจากแก่นขนุนได้ดีกว่า และจากการศึกษาความคงตัวของสีย้อมจากธรรมชาติที่ความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer เทียบเฉดสีกับ Munsel color chart และวัดค่าสีด้วยระบบ L*a*b ด้วยเครื่องวัดสี พบว่า สีย้อมแต่ละชนิดมีเฉดสีและความเข้มของสีย้อมแตกต่างกันในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ สารสกัดใบสาบเสือจากทุกตัวทำละลายมีแนวโน้มของเฉดสีที่เข้มขึ้นในสภาวะที่เป็นเบส สารสกัดอะซิโตนและเมทานอลจากเปลือกสนทะเล จะให้สีที่เข้มที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 สารสกัดไดคลอโรมีเทน อะซิโตน และเมทานอลจากใบเพกา จะให้สีเหลือง และจะมีสีเข้มสุดในสารสกัดเมทานอลที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 เช่นเดียวกับสารสกัดสีย้อมจากเปลือกมังคุดของทุกตัวทำละลายจะให้สีเข้มสุดที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 ขณะที่สารสกัดสีย้อมจากแก่นขนุนในตัวทำละลายอะซิโตน เมทานอล และน้ำ ให้สีน้ำตาล-แดงที่ค่อนข้างเข้ม แต่จะไม่ค่อยแตกต่างกันในแต่ละช่วงความเป็นกรด-ด่าง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายและความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อปริมาณและความเข้มของสีที่สกัดได้จากธรรมชาติ

คำสำคัญ: สีย้อมจากธรรมชาติ ผลของตัวทำละลาย ความคงตัว การวัดค่าสี เฉดสี

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[*] Corresponding author e-mail: prakitch0106@gmail.com

Received: 12 October 2018, Revised: 17 June 2019, Accepted: 21 June 2019

Abstract

This research aimed to study the effects of solvents on the yields of substances extracted from natural dyes and study the stability of natural dyes at various pHs using 5 species of plants, namely, Siam weed's leaves, Ironwood's bark, Broken bones tree's leaves, Jackfruit's core, and Mangosteen's peels. The results showed that polar solvents such as methanol and distilled water were found to be the best to extract plant-based substances such as Siam weed's leaves and Mangosteen's peels while non-polar solvents such as hexane were better off extracting substances from Jackfruit's core. Besides, the study of the stability of natural dyes at various pHs by measuring the maximum absorbance with the UV-Visible spectrophotometer, having their shades compared to Munsel color chart and measuring color values with L*a*b system with the colorimeter found that each dye had different shades and intensity of dyes in various pH ranges. The Siam weed's leaves dye extracts from all solvents had a tendency to darken the shade in the base condition. Dye extracts from Ironwood's bark using acetone and methanol solvents were dark colored at pH equal to 12. Dye extracts from broken bones tree's leaves using dichloromethane, acetone, and methanol as solvents appeared yellow and showed the darkest shade in methanol solvents at pH equal to 12. Similarly, dye extracts from the Mangosteen's peels in all solvents gave the darkest shade at pH equal to 12. Dye extracts from Jackfruit's core using acetone, methanol and distilled water as its solvents appeared dark-brown color but were not differ in each pH ranges. This research showed that solvents and pH affected the amount and intensity of natural extracts.

Keyword: Natural dyes, Effect of solvents, Stability, Color measurement, Shade

บทนำ

สีย้อมผ้าที่พบในชีวิตประจำวันมีทั้งสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์ สีที่ได้จากการสังเคราะห์มีหลากหลายเฉดสี ข้อดีของสีสังเคราะห์คือ สามารถใช้ได้อย่างความสะดวก รวดเร็ว มีสีให้เลือกได้ตามต้องการ สีมีความติดทน แต่มีข้อเสียคือ สีสังเคราะห์มักจะมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ สลายตัวยาก เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นสารก่อมะเร็ง สีที่พบจากธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด เช่น สีเขียวจากใบเตย สีน้ำเงินจากดอกอัญชัน สีเหลืองจากดอกคำฝอย ซึ่งสามารถนำมาเป็นส่วนผสมของอาหาร หรือนำมาตกแต่งเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย และได้มีการพัฒนาการย้อมเส้นไหมจากสีธรรมชาติ มีการวิจัยในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช ในสมเด็จ

พระเทพรัตนราชสุดา สยามบรมราชกุมารี พบว่า มีพืชมากกว่า 50 ชนิดที่อยู่ในการดูแลของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่สามารถให้สีได้ (ปิยะธิดา และอนุสรณ์, 2556)

การใช้สีจากธรรมชาติจะมีความปลอดภัย ไม่มีส่วนประกอบของโลหะหนัก สามารถย่อยสลายง่าย (ระมัด, 2556) แต่พบว่าสีย้อมจากธรรมชาติยังไม่มีเฉดสีที่หลากหลายมากนัก ทำให้ยังไม่เป็นที่ถูกใจแก่ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์การย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากใบกระท้อน พบว่า สารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ มีความเข้มของสีใกล้เคียงกัน แต่มีเฉดสีที่แตกต่างกัน และพบว่าสารสกัดสีจากใบสักอ่อน (สด) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เมื่อนำไปทำการย้อมสี พบว่าการใช้สารมอร์แดนท์ต่างชนิดกันทำให้ได้เฉดสีที่ต่างกัน คือ คอปเปอร์ ซัลเฟตให้สีเหลือง-เขียว เฟอรัสซัลเฟตให้สีน้ำตาลอมเหลืองถึงน้ำตาลเทา สารส้มและไคโตซานให้สีแดงอมม่วง (ดารณี และวิรัน, 2556) การพัฒนาการยึดติดของสีกับผ้า โดยการเกิดสารเชิงซ้อนของสีสกัดจากแก่นฝางกับไอออนโลหะต่าง ๆ พบว่าเกิดสารเชิงซ้อนที่เสถียรกับอะลูมิเนียมไอออนและเมื่อนำไปย้อมเส้นไหมจะมีแรงดึงดูดมากขึ้น ทำให้สีติดแน่นและคงทนมากกว่าเดิม (เสาวนีย์ และคณะ, 2550) การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากฝ้ายย้อมสีจากมะขามหวาน พบว่า เปลือกฝักมะขามให้สีน้ำตาลอมเหลือง เมล็ดมะขามให้สีน้ำตาลอมแดง สามารถนำมาย้อมสีฝ้ายได้ และเมื่อนำมาเคลือบด้วยสารช่วยติดสี จะทำให้สีไม่ตก (อนงค์พรรณ และสุวภางค์, 2555) สีย้อมจากธรรมชาติยังสามารถนำไปพัฒนาชุดสำเร็จรูปสำหรับการย้อมสีกระบวนการแบ่งเซลล์ทางชีววิทยา (วีรนุช และคณะ, 2558) ความเข้มของสีและการคงตัวยังขึ้นอยู่กับตัวทำละลายที่ใช้สกัด โดยการสกัดสีจากธรรมชาติ 10 ชนิด คือ ข้าวเหนียวดำ ครั่ง กระเจี๊ยบแดง จันทร์แดง ผลผักปลัง ขมิ้น ลูกหม่อน อัญชัน แก่นขนุน และคำแสด จากตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ น้ำ แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 และกรดอะซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 45 พบว่ามีสีสกัดจากธรรมชาติ 3 ชนิด สามารถย้อมติดเซลล์ และสามารถเห็นกระบวนการแบ่งเซลล์ของรากพลับพลึงได้ใช้กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 45 เป็นตัวสกัด และลูกหม่อนที่ใช้แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นตัวสกัด

ส่วนต่าง ๆ ของพืชในท้องถิ่นที่นิยมนำมาสกัดสี ได้แก่ แก่น ลำต้น เปลือก กิ่ง ใบ ผล และดอก พืชแต่ละชนิดให้สีที่ต่างกัน ตัวอย่างพืชที่ให้โทนสีแดง ได้แก่ ครั่ง เมล็ดคำแสด แก่นฝาง เปลือกสมอ โทนสีเหลือง ได้แก่ ขมิ้นชัน แก่นไม้พุด ผลดิบมะตูม ดอกผกากรอง ใบขี้เหล็ก และแก่นขนุน โทนสีน้ำตาล ได้แก่ แก่นคูณ เปลือกผลทับทิม เปลือกไม้โกงกาง และเปลือกนนทรี โทนสีดำ ได้แก่ ผลมะเกลือ ใบกระเม็ง ผลมะกอกเลื่อม เปลือกรกฟ้า ผลตับเต่า และบัวสาย (นันทิพย์ และฉัตรดาว, 2559) ตัวทำละลายที่สามารถนำมาใช้ในการสกัดสีย้อมมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำ สารละลายเบส สารละลายกรด ตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อสารสีถูกสกัดออกมาจะได้จะได้สีที่มีองค์ประกอบทางเคมีหลายอย่างปะปนมาตามความสามารถในการละลายของตัวทำละลายแต่ละชนิด เช่น การเตรียมผงสีจากเปลือกมังคุดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำ เมทานอล สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ได้สารละลายที่มีสีต่างกัน สารสกัดจากน้ำได้สีแดงอมชมพูถึงสีแดงเข้ม สารสกัดเมทานอลได้สีชมพูอ่อน ขณะที่การใช้สารละลายกรดอะซิติก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้สีน้ำตาลถึงสีเทา (พรพิมล และคณะ, 2553) สารสกัดของพืชในท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช ได้แก่ เค็ง ผักเสี้ยน ยอ มะรุม

มะขาม มะหาด ชะพลู และราชพฤกษ์ สามารถใช้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการปรับปรุงการย้อมสีผ้าฝ้าย (สุดกมล และรุ่งนภา, 2559)

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาสีย้อมจากธรรมชาติ ซึ่งจากการลงพื้นที่ศึกษาบริเวณบ้านคีรีวง อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าชาวบ้านมีการรวมกลุ่มจัดตั้งกลุ่มมัดย้อมสีธรรมชาติ โดยใช้ภูมิปัญญาชาวบ้าน เพื่อทำการผลิตผ้าโดยใช้สีย้อมจากธรรมชาติ เป็นการเสริมสร้างอาชีพให้กับหมู่บ้าน เป็นรายได้เสริมให้กับครอบครัว โดยใช้สีย้อมธรรมชาติจากต้นไม้ที่มีอยู่ในพื้นที่ เช่น เปลือกมังคุด ใบหูกวาง เป็นต้น ผ้ามัดย้อมสีธรรมชาติในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่มีชื่อเสียงมาก คือผ้ามัดย้อมบ้านคีรีวง ซึ่งมีการนำวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาสกัดเป็นสีย้อมผ้า วัสดุทำสี ได้แก่ ใบไม้และเปลือกไม้ เช่น ใบมังคุดให้สีส้มกับสีชมพู ใบหูกวางให้สีเหลืองอมเขียว ฝักสะตอให้สีเทา เปลือกลูกเนียงให้สีน้ำตาลเข้ม พืชที่พบทั่วไปในท้องถิ่นของจังหวัดนครศรีธรรมราชมีแหล่งของสีย้อมจำนวนมาก เพื่อเป็นทางเลือกให้กับกลุ่มชาวบ้านต่าง ๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ผู้วิจัยเลือกเก็บตัวอย่างพืช 5 ชนิด ได้แก่ ใบสาบเสือ เปลือกสนทะเล ใบเพกา แก่นขนุน และเปลือกผลมังคุด จากอำเภอลานสกา และอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช เพิ่มแหล่งของพืชที่จะนำมาใช้สกัดเป็นสีย้อม ศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด และความคงตัวของสีย้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสีย้อมที่สกัดได้จากธรรมชาติ และศึกษาความคงตัวของสีย้อมจากธรรมชาติที่ความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการสกัดสี

พืชตัวอย่าง 5 ชนิด ได้แก่ ใบสาบเสือ เปลือกสนทะเล ใบเพกา แก่นขนุน และผลมังคุด

1.1 สาบเสือ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Chromolaena odorata* (L.) มีถิ่นกำเนิดในแถบอเมริกากลาง โดยมีเขตแพร่กระจายตั้งแต่ทางตอนใต้ของรัฐฟลอริดาไปจนถึงทางตอนเหนือของประเทศอาร์เจนตินา และระบาดทั่วไปในเขตร้อนทั่วทุกทวีป ใบสาบเสือสามารถนำมาสกัดสีย้อมโดยให้โทนสีเขียวอ่อน

1.2 สนทะเล ชื่อวิทยาศาสตร์ *Casuarina equisetifalia* เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ความสูงเฉลี่ยประมาณ 10-25 เมตร จัดเป็นไม้โตเร็วอเนกประสงค์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกชนิด และให้ประโยชน์ได้หลายอย่างด้วยกัน มีองค์ประกอบทางเคมีของสารจำพวกสารประกอบโพลิฟีนอล เช่น คาเทชิน (catechin) กรดแอลลาจิก (ellagic acid) และกรดแกลลิค (gallic acid) รวมทั้งสารประกอบฟลาโวนอยด์ ได้แก่ เคอร์เซติน (quercetin) (Aher, *et.al*., 2009) เปลือกและใบจากสนทะเลสามารถนำมาใช้เป็นสีย้อมผ้าได้

1.3 เพกา ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oroxylum indicum* (L.) จัดเป็นไม้ยืนต้นและเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีถิ่นกำเนิดในอินเดียแลเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศไทยด้วย โดยพบได้ตามป่าเบญจพรรณและป่าชื้นทั่วไป ใบและเปลือกต้นเพกาสามารถสกัดสีย้อมในโทนสีเหลืองหรือสีน้ำตาลเขียว

1.4 ขนุน ชื่อวิทยาศาสตร์ *Artocarpus heterophyllus* Lam. เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ สูง 8-15 เมตร เมื่อเกิดบาดแผลที่ลำต้นและกิ่งจะมีน้ำยางสีขาวคล้ายน้ำนมไหลออกมา แก่นขนุนมักนำมาสกัดสีย้อมสำหรับทำผ้าจีวร เนื่องจากให้โทนสีเหลืองถึงสีน้ำตาล

1.5 มังคุด ชื่อวิทยาศาสตร์ *Garcinia mangostana* L. เป็นไม้ยืนต้น สูง 10-12 เมตร ทุกส่วนมียางสีเหลือง เปลือกมังคุดนี้มีสารแทนนิน (Tannin) และสารแซนโทน (Xanthone) ใบและเปลือกมังคุดมักนำมาสกัดทำเป็นสีย้อมผ้าในงานหัตถกรรมสิ่งทอพื้นบ้าน

2. วิธีการวิจัย

2.1 การสกัดสีย้อมจากพืชตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างพืชทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ใบสาบเสือ (ใบแก่บนต้น) เปลือกสนทะเล (เลาะเปลือกของลำต้น) ใบเพกา (ใบแก่บนต้น) แก่นขนุน (ตัดขวางลำต้นและเฉาะแก่นด้านใน) และผลมังคุด (เปลือก) จากอำเภอลานสกา และอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ตากแห้งเพื่อให้ได้น้ำหนักแห้งที่แน่นอนก่อนการสกัด แล้วนำไปบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบด แล้วนำตัวอย่างพืชแต่ละชนิดมาชั่งให้ได้น้ำหนักแห้งประมาณ 25 กรัม ห่อด้วยผ้าขาวบาง นำไปแช่ไว้ในตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ น้ำ เมทานอล (AR grade) อะซิโตน (AR grade) ไดคลอโรมีเทน (AR grade) และเฮกเซน (AR grade) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน และทุกตัวทำละลายสกัดซ้ำ 3 ครั้ง นำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยตัวทำละลายแบบลดความดัน (Rotary evaporator) แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละของการสกัด (% yield) หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{ร้อยละของการสกัด} = \frac{\text{น้ำหนักของสารสกัด}}{\text{น้ำหนักแห้งของพืชก่อนสกัด}} \times 100$$

2.2 การเตรียมสารละลายของสารสกัดที่ได้

ชั่งสารสกัดจากตัวอย่าง 0.0010 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติมไดเมธิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (ความเข้มข้น $1x10^{-2}$ M-$1x10^{-6}$ M) เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 2-6 หรือเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น $1x10^{-2}$ M-$1x10^{-6}$ M) เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 8-12 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ผสมสารละลายให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสาร (Vortex mixture) ตรวจสอบความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอีกครั้งโดยใช้กระดาษ universal indicator strips (MColorpHast™, Merck)

2.3 การนำสารละลายของสารสกัดที่ได้ไปวัดค่าสี

2.3.1 นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ไปสแกนความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุด (λ_{max}) โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร

2.3.2 นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดเฉดสี โดยใช้ Munsel color chart (Kollmorgen Instruments Corporation, New York) และเครื่องวัดสี (ColorFlex®, HunterLab) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) การวัดค่าสีจากตัวอย่างที่เป็นของเหลว โดยนำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 มาเทียบสีกับ Munsel color chart บันทึกผล และนำสารละลายตัวอย่าง มาวัดค่าสี L*a*b โดยใช้เครื่องวัดค่าสี

2) การวัดค่าการติดสี โดยตัดกระดาษกรองเบอร์ 1 ให้มีขนาด 1x1 ตารางเซนติเมตร จุ่มลงในสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาเทียบสีกับ Munsel color chart บันทึกผล และนำกระดาษกรองที่แห้งแล้ว มาวัดค่าสี L*a*b โดยใช้เครื่องวัดค่าสี

ผลการวิจัย

เมื่อนำพืชตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ใบสาบเสือ เปลือกสนทะเล ใบเพกา แก่นขนุน และเปลือกผลมังคุด มาทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละของสารสกัดสีย้อมจากพืชทั้ง 5 ชนิดโดยใช้ตัวทำละลายต่าง ๆ

พืชตัวอย่าง	ตัวทำละลาย	% yield
ใบสาบเสือ	เฮกเซน	0.08±0.03
	ไดคลอโรมีเทน	0.60±0.05
	อะซิโตน	7.60±0.50
	เมทานอล	11.70±1.29
	น้ำกลั่น	39.60±2.84
เปลือกสนทะเล	เฮกเซน	0.04±0.01
	ไดคลอโรมีเทน	0.08±0.02
	อะซิโตน	4.64±0.37
	เมทานอล	5.63±0.40
	น้ำกลั่น	2.96±0.89
ใบเพกา	เฮกเซน	0.16±0.04
	ไดคลอโรมีเทน	0.28±0.09
	อะซิโตน	0.60±0.06
	เมทานอล	1.52±0.12
	น้ำกลั่น	41.80±3.12
แก่นขนุน	เฮกเซน	4.64±0.25
	ไดคลอโรมีเทน	2.36±0.09
	อะซิโตน	4.40±0.25
	เมทานอล	1.32±0.09
	น้ำกลั่น	1.64±0.21

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พืชตัวอย่าง	ตัวทำละลาย	% yield
เปลือกผลมังคุด	เฮกเซน	4.24±0.54
	ไดคลอโรมีเทน	2.44±0.21
	อะซิโตน	4.28±0.49
	เมทานอล	24.60±1.90
	น้ำกลั่น	38.12±1.68

จากตารางพบว่าตัวทำละลายแต่ละชนิดสามารถสกัดสารสีจากพืชชนิดต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน สารสีจากใบสาบเสือสามารถสกัดได้โดยใช้น้ำกลั่นมากที่สุด มีร้อยละของการสกัดเท่ากับ 39.60±2.84 รองลงมาคือ เมทานอล อะซิโตน ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า สารสีที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของใบสาบเสือส่วนใหญ่เป็นสารที่มีขั้ว จึงสามารถสกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วได้ดี เช่นเดียวกับใบเพกาและเปลือกผลมังคุด เปลือกสนทะเล สามารถสกัดสารสีได้มากที่สุดโดยใช้ตัวทำละลายเมทานอล องค์ประกอบส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้ว ขณะที่แก่นขนุนสามารถสกัดสารสีได้มากที่สุดในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว คือ เฮกเซน มีร้อยละการสกัดเท่ากับ 4.64±0.25 โดยตัวทำละลายที่มีขั้วอย่างเมทานอลและน้ำกลั่นสามารถสกัดสารสีจากแก่นขนุนได้ค่อนข้างน้อย

จากร้อยละของสีย้อมที่สกัดได้ ผู้วิจัยเลือกสารสกัดจากตัวทำละลายที่สามารถสกัดสีย้อมได้สูง 2 อันดับแรกของพืชแต่ละชนิดไปศึกษาการวัดค่าสี ได้แก่ สารสกัดใบสาบเสือจากเมทานอลและน้ำกลั่น สารสกัดเปลือกสนทะเลจากอะซิโตนและเมทานอล สารสกัดใบเพกาจากเมทานอลและน้ำกลั่น สารสกัดแก่นขนุนจากเฮกเซนและอะซิโตน และสารสกัดเปลือกผลมังคุดจากเมทานอลและน้ำกลั่น โดยนำสารสกัดที่ได้ไปปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วง 2-12 แล้วนำไปวัดค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) และนำไปเทียบสีโดยใช้ Munsel color chart จากนั้นนำไปวัดค่าสี L*a*b ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าสีด้วยวิธีต่าง ๆ ของพืชทั้ง 5 ชนิด

สารสกัดจากพืช	ความเป็นกรดด่าง	λ_{max} (นาโนเมตร)	รหัสสีจากการเทียบ Munsel color chart	การวัดค่าสี		
				L*	a*	b*
สารสกัดเมทานอลจากใบสาบเสือ	2	301.2	2.5Y8/6	2.53	-1.30	-0.07
	4	298.8	2.5Y8/8	1.53	-0.84	1.16
	6	300.0	2.5Y8/8	1.22	-0.48	0.98
	7	302.5	2.5Y8/6	1.29	-0.33	1.01
	8	302.5	2.5Y8/8	1.03	-0.22	0.33
	10	301.2	2.5Y8/8	1.21	-0.59	0.66
	12	298.8	2.5Y7/10	1.16	-0.42	0.93

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สารสกัดจากพืช	ความเป็นกรดด่าง	λ_{max} (นาโนเมตร)	รหัสสีจากการเทียบ Munsel color chart	การวัดค่าสี		
				L*	a*	b*
สารสกัดน้ำกลั่นจากใบสาบเสือ	2	301.2	2.5Y7/6	2.34	-1.42	1.25
	4	297.5	2.5Y6/6	2.93	-0.24	0.88
	6	300.0	2.5Y6/6	3.40	-1.02	0.96
	7	300.0	2.5Y5/6	3.41	-1.44	2.47
	8	298.8	2.5Y6/6	3.64	-1.27	1.76
	10	298.8	2.5Y6/6	3.50	-0.70	1.70
	12	301.2	2.5Y5/6	4.51	-1.52	2.04
สารสกัดอะซิโตนจากเปลือกสนทะเล	2	301.2	2.5Y8/4	11.63	-2.25	0.49
	4	298.8	7.5YR7/8	10.52	-1.43	6.35
	6	300.0	7.5YR7/10	9.47	-1.87	6.03
	7	300.0	7.5YR7/8	6.50	-1.04	2.44
	8	298.8	2.5Y7/4	5.04	-0.98	0.34
	10	298.0	7.5YR7/10	6.72	-1.46	2.35
	12	337.0	7.5YR5/8	1.05	0.92	-0.07
สารสกัดเมทานอลจากเปลือกสนทะเล	2	300.0	7.5YR7/10	2.64	-0.58	1.39
	4	300.0	7.5YR5/8	2.26	0.06	1.79
	6	304.9	7.5YR5/6	2.00	0.72	1.67
	7	309.9	5YR4/8	2.92	0.75	3.63
	8	311.1	7.5YR5/8	3.06	0.98	2.51
	10	311.1	7.5YR5/8	3.19	1.25	1.92
	12	317.3	5YR3/4	0.97	0.70	0.59
สารสกัดเมทานอลจากใบเพกา	2	296.3	5Y8/6	6.24	-1.98	0.08
	4	298.8	5Y8/8	2.92	-1.22	1.34
	6	323.5, 671.6	5Y8/8	2.44	-0.55	0.21
	7	293.8	5Y8/8	2.88	-0.79	-0.17
	8	301.2	5Y8/8	2.45	-0.83	0.47
	10	321.0	5Y7/8	2.91	-1.18	1.04
	12	298.8, 395.1	5Y8/12	2.06	0.36	1.95

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สารสกัดจากพืช	ความเป็นกรดด่าง	λ_{max} (นาโนเมตร)	รหัสสีจากการเทียบ Munsel color chart	การวัดค่าสี		
				L*	a*	b*
สารสกัดน้ำกลั่นจากใบเพกา	2	297.5	5Y8/2	2.65	0.02	-0.45
	4	296.3	5Y8/2	2.50	-0.89	0.62
	6	296.3	5Y8/2	3.13	-0.65	-0.56
	7	295.1	5Y8/2	2.84	-0.34	-0.07
	8	298.8	5Y8/2	2.98	-0.41	-0.25
	10	296.3	5Y8/2	3.63	-0.46	-0.35
	12	297.5, 377.8	5Y8/2	2.61	-0.71	0.44
สารสกัดเฮกเซนจากแก่นขนุน	2	296.3	2.5Y8/2	4.32	-1.50	-0.92
	4	295.1	2.5Y8/2	2.23	-0.79	0.59
	6	295.1	2.5Y8/4	2.39	-0.82	0.65
	7	295.1	2.5Y8/4	2.19	-1.28	1.45
	8	295.1	2.5Y8/2	2.35	-0.33	0.76
	10	292.6, 392.6	2.5Y8/8	2.28	-0.74	0.14
	12	295.1, 380.2	5YR5/10	2.20	-0.30	0.60
สารสกัดอะซิโตนจากแก่นขนุน	2	300.0	2.5Y8/6	4.14	-1.51	-0.36
	4	300.0	2.5Y8/6	2.47	-0.88	1.06
	6	300.0	2.5Y8/8	2.02	-0.76	0.60
	7	298.8	2.5Y8/8	2.48	-1.29	0.95
	8	300.0	2.5Y8/8	2.35	-1.09	1.36
	10	301.2	2.5Y8/8	2.60	-1.81	1.44
	12	295.1, 376.5	5YR5/10	2.13	0.46	2.96
สารสกัดเมทานอลจากเปลือกผลมังคุด	2	323.5	2.5Y7/6	37.47	-4.95	16.29
	4	325.9	2.5Y7/8	43.48	-3.59	26.45
	6	323.5	2.5Y7/8	37.34	-6.25	21.21
	7	324.7, 358.0	2.5Y6/6	42.36	-5.33	30.23
	8	321.0	2.5Y8/8	43.43	-1.14	30.04
	10	322.2	2.5Y8/8	44.84	-3.18	28.07
	12	325.9	7.5YR5/6	3.65	-2.81	4.20

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สารสกัดจากพืช	ความเป็นกรดด่าง	λ_{max} (นาโนเมตร)	รหัสสีจากการเทียบ Munsel color chart	การวัดค่าสี		
				L*	a*	b*
สารสกัดน้ำกลั่นจากเปลือกผลมังคุด	2	300.0	7.5YR7/8	1.19	-0.01	0.57
	4	296.3	7.5YR7/8	1.18	0.57	1.04
	6	295.1	7.5YR7/8	1.15	0.60	0.35
	7	318.5	7.5YR7/8	1.13	0.48	0.66
	8	295.1, 300.0	7.5YR7/8	0.97	0.53	0.23
	10	301.2	7.5YR7/8	0.97	0.20	1.32
	12	300.0	5YR4/8	1.29	0.64	1.82

หมายเหตุ: - คือ สารละลายใสไม่มีสี ไม่สามารถเทียบรหัสสีจาก Munsel color chart

สารสกัดสีย้อมจากใบสาบเสือด้วยตัวทำละลายเมทานอลให้สีเหลือง และสารสกัดจากน้ำให้สีน้ำตาลอ่อน มีความยาวคลื่นสูงสุดในช่วง 298-303 นาโนเมตร โดยจะให้สีเข้มขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 และ 12 แต่พบว่าเมื่อนำไปทดสอบการติดสีกับกระดาษกรอง สารสกัดเมทานอลจากใบสาบเสือทุกค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีความเข้มพอที่จะสามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนของกระดาษกรองได้ จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นสีย้อม

เมื่อนำสารสกัดเปลือกสนทะเลจากตัวทำละลายอะซิโตน และเมทานอลมาศึกษาการวัดค่าสี พบว่า สารสกัดทั้งสองให้สีน้ำตาลแดง จากการนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี พบว่า สารสกัดส่วนใหญ่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วง 298-300 นาโนเมตร โดยสารสกัดอะซิโตนและเมทานอลที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 จะให้สีที่เข้มที่สุด โดยค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดจะเกิด bathochromic shift มีค่าเท่ากับ 337 และ 317 นาโนเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำไปย้อมสีด้วยกระดาษกรอง พบว่ามีเพียงสารสกัดสีย้อมจากอะซิโตนที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8 และสารสกัดเมทานอลที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 ที่สามารถย้อมติดสีกระดาษกรองได้ แสดงว่าสามารถแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของรูพรุนได้ดี มีโอกาสที่จะติดเส้นใยได้ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสีย้อมผ้าชนิดต่าง ๆ

เมื่อนำใบเพกามาสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลและน้ำมาศึกษาการวัดค่าสี พบว่า สารสกัดเมทานอลให้สีเหลือง และจะมีสีเข้มสุดในสารสกัดเมทานอลที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 แต่เมื่อนำไปย้อมติดสีกระดาษกรองพบว่า สารสกัดทุกตัวทำละลายไม่สามารถย้อมติดสีกระดาษกรองได้ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสีย้อมผ้าชนิดต่าง ๆ

เมื่อนำสารสกัดแก่นขนุนจากตัวทำละลายเฮกเซนและอะซิโตนมาศึกษาค่าสี พบว่า สีย้อมที่ได้ให้สีน้ำตาล-แดงที่ค่อนข้างเข้ม เมื่อนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงยูวี พบว่า สารสกัดทั้งสองมีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดค่าเดียวประมาณ 300 นาโนเมตร ยกเว้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเพิ่มขึ้นที่ความยาวคลื่นประมาณ 380 นาโนเมตร และเมื่อนำไปทดสอบการติดสีของกระดาษกรอง พบว่า สารสกัดจากตัวทำละลายอะซิโตนสามารถติดสีได้ในทุกค่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อนำสารสกัดเปลือกผลมังคุดจากเมทานอลและน้ำกลั่นมาศึกษาค่าสี พบว่า ตัวทำละลายทั้งสองให้สารสกัดที่มีแนวโน้มของสีเข้มขึ้นค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 และเมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่า สารสกัดส่วนใหญ่มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 320-323 นาโนเมตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 จะเกิด bathochromic shift ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเลื่อนมาอยู่ในช่วง 360-370 นาโนเมตร และเมื่อนำไปทดสอบการติดสี พบว่า สารสกัดจากเมทานอลสามารถย้อมติดสีกระดาษกรองได้ดีที่สุด

การอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อนำพืชตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ใบสาบเสือ เปลือกสนทะเล ใบเพกา แก่นขนุน และเปลือกผลมังคุด มาสกัดเพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารที่สกัดได้จากสีย้อมจากธรรมชาติ พบว่า ตัวทำละลายแต่ละชนิดสามารถสกัดสารสีจากพืชชนิดต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน โดยสารสกัดสีย้อมจากใบสาบเสือให้โทนสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาล สารสกัดสีย้อมจากเปลือกสนทะเลให้สีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลแดง สารสกัดสีย้อมจากใบเพกาให้โทนสีเหลือง สารสกัดสีย้อมจากแก่นขนุนให้โทนสีน้ำตาล และสารสกัดสีย้อมจากเปลือกมังคุดให้โทนสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลแดง ซึ่งมีโทนสีที่สอดคล้องหรือใกล้เคียงกับงานวิจัยของนันทิพย์ และฉัตรดาว (2559) ทำการสกัดสีย้อมจากเปลือกสนทะเลให้สีน้ำตาล งานวิจัยของวีรนุช และคณะ (2558) ที่ทำการสกัดสีย้อมจากแก่นขนุนให้โทนสีเหลือง พรพิมล และคณะ (2553) ซึ่งพบว่าตัวทำละลายที่ต่างกันสามารถสกัดสารสีจากเปลือกมังคุดได้แตกต่างกัน คือ สารสกัดจากน้ำได้สีแดงอมชมพูถึงสีแดงเข้ม สารสกัดเมทานอลได้สีชมพูอ่อน ขณะที่การใช้สารละลายกรดอะซิติก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้สีน้ำตาลถึงสีเทา พืชแต่ละชนิดมีร้อยละของการสกัดด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิดที่แตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของพืชแต่ละชนิด สารสกัดใบสาบเสือจากเมทานอลและน้ำกลั่นให้ร้อยละของการสกัดที่สูงซึ่งตัวทำละลายทั้งสองเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสอดคล้องกับงานวิจัยของ Agaba และ Fawole (2016) ที่พบปริมาณสารฟีนอลิก แทนนิน และซาโปนิน ซึ่งเป็นสารที่มีขั้วในปริมาณที่สูง สารสกัดเปลือกสนทะเลให้ร้อยละของการสกัดที่สูงจากตัวทำละลายอะซิโตนและเมทานอล สอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Snafi (2015) ที่ทำการสกัดเปลือกสนทะเลโดยใช้ตัวทำละลายเมทานอลเพื่อนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ สารสกัดเมทานอลและน้ำกลั่นจากใบเพกาให้ร้อยละของการสกัดที่สูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buranrat *et al*. (2018) ที่พบปริมาณฟีนอลิกรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงในสารสกัดจากตัวทำละลายร้อยละ 80 เมทานอล และสารสกัดเปลือกผลมังคุดจากเมทานอลและน้ำกลั่น สอดคล้องกับงานวิจัยของพรพิมล และคณะ (2553) ที่สกัดสีย้อมจากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น เอทานอล และน้ำกลั่น ขณะที่แก่นขนุนสามารถสกัดได้ปริมาณสูงโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนและอะซิโตน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ สุมนต์ทิพย์ (2553) ที่สามารถสกัดสีย้อมจากแก่นขนุนโดยใช้เอทานอลและน้ำ และงานวิจัยของวีรนุช (2558) ที่สกัดสีย้อมจากแก่นขนุนโดยใช้เอทานอล น้ำ และกรดอะซิติก

การศึกษาความคงตัวของสีย้อมจากธรรมชาติที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ พบว่า การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่งผลต่อความคงตัวของสีย้อม กล่าวคือ สารสกัดสีย้อมจากใบสาบเสือด้วยตัว

ทำละลายเฮกเซนให้สีที่เข้มที่สุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 ขณะที่สารสกัดจากไดคลอโรมีเทนให้สีน้ำตาล สารสกัดจากอะซิโตนให้สีน้ำตาลแดง สารสกัดจากเมทานอลให้สีเหลือง และสารสกัดจากน้ำให้สีน้ำตาลอ่อน โดยจะให้สีเข้มขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 และ 12 สารสกัดอะซิโตนและเมทานอลจากเปลือกสนทะเลที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 จะให้สีที่เข้มที่สุด สารสกัดไดคลอโรมีเทน อะซิโตน และเมทานอลจากใบเพกา จะให้สีเหลือง และจะมีสีเข้มสุดในสารสกัดเมทานอลที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 เช่นเดียวกับสารสกัดสีย้อมจากเปลือกมังคุดของทุกตัวทำละลายจะให้สีเข้มสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 ขณะที่สารสกัดสีย้อมจากแก่นขนุนในตัวทำละลายอะซิโตน เมทานอล และน้ำ ให้สีน้ำตาล-แดงที่ค่อนข้างเข้ม แต่จะไม่ค่อยแตกต่างกันในแต่ละช่วงความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเป็นกรด-ด่างของสีย้อมจากธรรมชาติและสารช่วยติดสีมีผลต่อเฉดสี ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ จุฑามาศ และอังคณา (2559) ได้ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ช่วง 3-6 ของสารช่วยติดสีธรรมชาติ พบว่าเส้นไหมที่ย้อมโดยการสกัดสีครั่งด้วยน้ำและเอทานอลโดยใช้สารช่วยติดสีจากใบมะขาม ใบ พลองเหมือด และใบชงโค เส้นไหมจะดูดซับสีครั่งได้ดี ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3 ทั้งในน้ำและเอทานอล ให้เฉดสีที่ต่างกัน คือ ใบมะขามจะให้เฉดสีแดง ใบพลองเหมือด จะให้เฉดสีแดงชมพู และใบชงโคจะให้เฉดสีน้ำตาล และให้เฉดสีที่สดใสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3-4 การศึกษาความคงตัวของสีย้อมจากธรรมชาติมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อให้มีสีสันสวยงาม เพิ่มมูลค่าของสินค้า สามารถนำสีย้อมจากธรรมชาติมาก่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของอรนุช และคณะ (2560) ความคงตัวของสีย้อมยังขึ้นอยู่กับสารช่วยติดสี อย่างเช่น เปลือกสีเสียดแห้ง เปลือกผลทับทิมแห้ง ใบยูคาลิปตัสแห้ง (นุชนาถ และคณะ, 2559)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสีย้อมที่สกัดได้จากธรรมชาติ และศึกษาความคงตัวของสีย้อมจากธรรมชาติที่ความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ พบว่า ตัวทำละลายแต่ละชนิดมีความสามารถในการสกัดสีย้อมจากธรรมชาติได้แตกต่างกัน และความคงตัวของสีย้อมจากธรรมชาติขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่าง สารสกัดจากน้ำให้สีน้ำตาลอ่อน โดยจะให้สีเข้มขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 และ 12 ขณะที่สารสกัดสีย้อมจากใบสาบเสือด้วยตัวทำละลายเฮกเซน สารสกัดอะซิโตนและเมทานอลจากเปลือกสนทะเล สารสกัดเมทานอลจากใบเพกา และสารสกัดจากเปลือกมังคุดทุกตัวทำละลายให้สีที่เข้มที่สุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 แต่ความเป็นกรด-ด่างจะไม่มีความแตกต่างสำหรับสารสกัดสีย้อมจากแก่นขนุน

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ค้นพบว่าตัวทำละลายแต่ละชนิดสามารถสกัดสารสีจากพืชชนิดต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน สีย้อมแต่ละชนิดมีความคงตัวและความเข้มของสีย้อมที่แตกต่างกันในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ และมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1. ควรศึกษาการใช้สารที่มีฤทธิ์เป็นกรด-ด่างจากธรรมชาติเพิ่มเติม และการเก็บรักษาสีย้อมเพื่อสะดวกและง่ายต่อการใช้งานของชาวบ้านในชุมชน

2. ควรศึกษาผลของสารช่วยติดสีที่มีผลต่อเฉดสีจากสีย้อมจากธรรมชาติในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ทุนวิจัยจากทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ และอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่

เอกสารอ้างอิง

จุฑามาศ ชูสกุล และอังคณา ชาติก้อน. (2559). การศึกษาผลของกรด-ด่างของสารช่วยติดสีธรรมชาติต่อคุณภาพและเฉดสีของไหมที่ย้อมสีจากครั่ง. ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ.2559* (หน้า 277-282). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ดารณี ขันเพ็ชร และวิรัน วิสุทธิธาดา. (2556). อิทธิพลของสารมอร์แดนท์ต่อสมบัติการย้อมเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีธรรมชาติที่สกัดจากใบสัก. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, (ฉบับพิเศษ), 357-363.

นันทิพย์ หาสิน และฉัตรดาว ไชยหล่อ. (2559). การศึกษากระบวนการสกัดสีธรรมชาติจากพืช เพื่องานมัดย้อม. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ นอร์ทเทิร์นวิจัย ครั้งที่ 3* (หน้า 513-516). ตาก: วิทยาลัยนอร์ทเทิร์น.

นุชนาถ มีพันธ์ ศศิประภา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต และศรันยา คุณะดิลก (2559). การย้อมผ้าไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติจากเหง้ากระชายดำ. *วารสารคหเศรษฐศาสตร์*, 59(2), 26-35.

ปิยะธิดา สีหะวัฒนกุล และอนุสรณ์ ใจทน. (2556). *การศึกษากระบวนการย้อมสีใบตองแห้งด้วยสีธรรมชาติและสีวิทยาศาสตร์เพื่องานศิลปะประดิษฐ์*. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

พรพิมล ม่วงไทย สุจิตรา ศรีสังข์ นงนุช พรมรงศ์ และชุติมาพร วรรณวงษ์. (2553). การเตรียมผงสีย้อมจากเปลือกมังคุดบนสารดูดซับ. *การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7* (หน้า 1975-1984). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ระมัด โชชัย. (2556). การย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากใบและเปลือกต้นมะม่วงสำหรับอุตสาหกรรมครอบครัว. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่*, 5(4), 116-127.

วีรนุช วอนเก่าน้อย พันธิวา แก้วมาตย์ อลงกลด แทนออมทอง และพรณรงค์ สิริปิยะสิงห์ (2558). การคัดเลือกสารสีสกัดจากธรรมชาติในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นสีย้อมโครโมโซม. *วารสารวิจัยเพื่อพัฒนาสังคมและชุมชน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 2(1), 42-52.

สุดกมล ลาโสภา และรุ่งนภา พิมเสน. (2559). การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีเคมีสีเขียวสำหรับปรุงปรุงการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติ. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 35(2), 83-93.

สุมนต์ทิพย์ คงตัน จันทร์ฟัก. (2553). การพัฒนาสีย้อมผมจากพืชสมุนไพรไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 41(3), 425-428.

เสาวณีย์ รัตนพานี วิจิตร รัตนพานี และมาลี ตั้งสถิตย์กุลชัย . (2550). *รายงานวิจัยการสกัดและการเกิดสารเชิงซ้อนของสีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝาง*. นครราชสีมา: คลังปัญญา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อนงค์พรรณ หัตถมาศ และสุวภางค์ ศรีเทพ. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากฝ้ายย้อมสีจากมะขามหวาน. *ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร*, 14(2), 113-119.

อรนุช นาคชาติ ธีระพงษ์ แกมแก้ว รัตนา แสนแสง นวรัตน์ พัวพันธ์ และศิริกุล อัมพะวะสิริ (2560) การย้อมสีไหมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามเพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, 5(2), 59-70.

Agaba, T.A. and Fawole, B. (2016). Phytochemical constituents of siam weed (*Chromolaena odorata*) and african custard apple (*Annona senegalensis*). *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences*, 6(1), 35-42.

Aher, A.N., Pal, S.C., Yadav, S.K., Patil, U.K. and Bhattacharya, S. (2009). Antioxidant activity of isolated phytoconstituents from *Casuarina equisetifolia* Frost (Casuarinaceae). *Journal of Plant Sciences*, 4(1), 15-20.

Al-Snafi, A.E. (2015). The Pharmacological importance of *Casuarina Equisetifolia* -An Overview. *International Journal of Pharmacological Screening Methods*, 5(1), 4-9.

Buranrat, B., Noiwetch, S., Suksar, T., Ta-Ut, A. and Boontha, S. (2018). Cytotoxic and antimigration effects of different parts of *Oroxylum Indicum* extract on human breast cancer MCF-7 cells. *Science & Technology Asia*, 23(4), 42-52.

การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *Escherichia coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก บริเวณใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

Detection of Coliform Bacteria and *Escherichia coli* in Beal juice, Butterfly Pea Juice and Asiatic Pennywort Water nearby Burapha University, Chonburi Province

สุดสายชล หอมทอง[1*] และ ณัฐวดี คงคะคิด[1]

Sudsaichon Homthong[1*] and Nutvadee Kongkakid[1]

บทคัดย่อ

การตรวจหาการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *Escherichia coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก ที่เก็บจากตลาดสดบริเวณใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2560 รวมทั้งหมด 24 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมะตูม 8 ตัวอย่าง น้ำดอกอัญชัน 8 ตัวอย่าง และน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง และนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Most probable number ผลการทดลองพบว่ามีเครื่องดื่มไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด 13 ตัวอย่าง โดยมีการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (54.17 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นน้ำดอกอัญชัน 2 ตัวอย่าง น้ำมะตูม 3 ตัวอย่าง และเป็นน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้ระบุไว้และพบว่ามีการปนเปื้อนของ *E. coli* จำนวน 9 ตัวอย่าง (37.50 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นน้ำมะตูม 1 ตัวอย่างน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง จากผลการทดลองพบการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* ในน้ำใบบัวบกมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าน้ำใบบัวบกมีความเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหารได้ ดังนั้นจึงควรมีขั้นตอนการปฏิบัติที่ดีในด้านสุขอนามัย เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคในตัวอย่าง

คำสำคัญ: โคลิฟอร์มแบคทีเรีย *Escherichia coli* น้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน น้ำใบบัวบก

[1] ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[*] Corresponding author e-mail: sudsaichon072@gmail.com

Received: 11 December 2018, Revised: 16 May 2019, Accepted: 14 June 2019

Abstract

Detection of coliform bacteria and *Escherichia coli* in beal juice, butterfly pea juice and asiatic pennywort water colleted from the fresh market nearby Burapha University, Chonburi province, was conducted from April to May, 2017. A total of 24 samples (8 Beal juice, 8 Butterfly pea juice and 8 Asiatic pennywort water) were analyzed by the Most probable number (MPN) method. The results showed that 13 samples (54.17%, 2 butterfly pea juice, 3 bael juice and 8 asiatic pennywort water) were higher than the standard recommended by thai community product. Notable, *E. coli* count in 9 samples (37.50%, 1 bael juice, 8 asiatic pennywort water) were higher than the standard. The results demonstrate that maximum contamination of coliform bacteria and *E. coli* in asiatic pennywort water suggest that the risk of food illness from asiatic pennywort water is high. There is a need to enforce good practices to avoid contamination of pathogen in sample.

Keywords: Coliform bacteria, *Escherichia coli*, Beal juice, Butterfly pea juice, Asiatic pennywort water

บทนำ

ปัจจุบันเครื่องดื่มสมุนไพรที่นำในส่วนของผล ดอก ลำต้นส่วนเหนือราก และ ใบจากพืชหรือผักเป็นที่นิยมกันอย่างมาก เช่น มะตูม ใบเตย อัญชัน ใบบัวบก กระเจี๊ยบ เก็กฮวย เป็นต้น เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารให้วิตามิน เกลือแร่ พลังงาน รวมทั้งยังมีสรรพคุณทางยาอีกด้วย ด้วยเหตุนี้กลุ่มผู้ผลิตอาหารชุมชนได้นำวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาแปรรูปเป็นเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามภูมิปัญญาท้องถิ่น วางจำหน่ายอย่างแพร่หลาย เพราะกรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยากและลงทุนต่ำ โดยเครื่องดื่มเหล่านี้ยังมีสารอาหารที่เหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น น้ำตาล วิตามิน (ธนิดา และคณะ, 2558) นอกจากนั้นยังเป็นเครื่องดื่มที่มีราคาไม่แพงหาซื้อได้ง่าย และเนื่องจากในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มอาจไม่มีการใช้ความร้อน หรือใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์เครื่องดื่มเหล่านี้จึงมักถูกปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานโดยเกณฑ์มาตรฐานทางจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มผลิตภัณฑ์ชุมชนของเครื่องดื่มสมุนไพรส่วนใหญ่จะกำหนดไว้ว่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ต้องพบ <2.2 MPN/100 มิลลิลิตร ส่วน *E. coli* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) โดยถ้ามีการตรวจพบเชื้อดังกล่าวในเครื่องดื่มสมุนไพรแสดงให้เห็นว่าเครื่องดื่มดังกล่าวมีการผลิตที่มีสุขอนามัยไม่ดีและอาจมีการปนเปื้อนอุจจาระมาซึ่งทำให้อาจมีโอกาศพบแบคทีเรียก่อโรคลำไส้ชนิดอื่นเช่น *Salmonella* และ *Shigella* ได้

สำหรับจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในเครื่องดื่ม อาจบ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของการปนเปื้อนซึ่งหมายถึงความสะอาดของภาชนะบริเวณที่ตั้งและพฤติกรรมของผู้จัดบริการ (ดาริวรรณ และเนตรนภา, 2555) อีกทั้งการผลิตเครื่องดื่มที่ไม่ถูกสุขลักษณะ กรรมวิธีการผลิตและการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้เครื่องดื่มจึงมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ หากบริโภคเครื่องดื่มที่มีการปนเปื้อนเชื้อโรคอาหารเป็นพิษ อาจทำให้เจ็บป่วยได้

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาในเครื่องดื่มสมุนไพร ณ สถานที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานครโดยเก็บตัวอย่างเครื่องดื่มที่จำหน่ายในท้องตลาดและทำการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่ามีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์สูง 69.45 เปอร์เซ็นต์ (316/455 ตัวอย่าง) โดยชนิดเครื่องดื่มที่มีการปนเปื้อนสูงที่สุดคือน้ำใบบัวบกพบการปนเปื้อน 94.97 เปอร์เซ็นต์ (63/67 ตัวอย่าง) สำหรับผลการ swab มือผู้จำหน่ายพบว่ามีการปนเปื้อนจุลินทรีย์กลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 65.22 เปอร์เซ็นต์ (15/23 ตัวอย่าง) และสุขลักษณะของอุปกรณ์ที่สัมผัสเครื่องดื่มพบการปนเปื้อน 31.25 เปอร์เซ็นต์ (5/16 ตัวอย่าง) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2551) ซึ่งการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ยังคงเป็นปัญหาใหญ่ต่อความปลอดภัยของอาหาร แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่สำคัญและใช้เป็นดัชนีในการตรวจวัดคุณภาพของอาหารและเครื่องดื่ม คือ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ประกอบด้วย แบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือฟีคัลโคลิฟอร์ม (fecal coliform) และนันฟีคัลโคลิฟอร์ม (non-fecal coliform) โดยฟีคัลโคลิฟอร์มพบได้เฉพาะในระบบทางเดินอาหาร และสิ่งขับถ่าย อุจจาระของสัตว์เลือดอุ่น ได้แก่ *E. coli* ขณะที่แบคทีเรียนันฟีคัลโคลิฟอร์มพบในดินและพืช ได้แก่ แบคทีเรียสกุล *Enterobacter* และ *Citrobacter* (เทพวิทูรย์ และคณะ, 2557) ซึ่งการตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* ในอาหารและเครื่องดื่มจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าอาหารและเครื่องดื่มมีการปนเปื้อนอุจจาระทางตรง หรือทางอ้อม นอกจากนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้ของเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร (enteric pathogen) (Froder *et al*., 2007; Kornacki and Johnson, 2001) ดังนั้นเพื่อเป็นข้อมูลด้านความปลอดภัยและประโยชน์ในการเลือกรับประทานเครื่องดื่มแก่ผู้บริโภคการศึกษานี้จึงได้ทำการสำรวจและตรวจหาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* ที่ปนเปื้อนในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่จำหน่ายบริเวณใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี เพื่อบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพต่อผู้บริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างเครื่องดื่ม 3 ชนิดได้แก่น้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบกซึ่งจะเก็บจากร้านค้า และตามตลาดสดบริเวณรอบมหาวิทยาลัยบูรพา จำนวน 4 ร้าน ได้แก่ตลาดนัดหลังมหาวิทยาลัยบูรพาจำนวน 2 ร้าน ตลาดนัดวัดบางเป้งจำนวน 1 ร้าน และจากตลาดถนนคนเดินบางแสนจำนวน 1 ร้าน โดยจะทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละร้านในช่วงเดือนเมษายน 1 ครั้ง และในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 อีก 1 ครั้ง รวมทั้งหมด 24 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างใส่ลงในถุงพลาสติกแล้วนำลงถุงพลาสติกลงไปแช่ในกล่องโฟมอาหารที่กักเก็บความเย็นซึ่งมีน้ำแข็งบรรจุอยู่ จากนั้นนำตัวอย่างมายังห้องปฏิบัติการภายในเวลา 30-60 นาที (Olaoye and Onolude, 2009)

2. การสุ่มตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างน้ำจากข้อ 1 มาตัวอย่างละ 2 ขวดเขย่าตัวอย่างในแต่ละภาชนะบรรจุให้เข้ากัน เทตัวอย่างจากแต่ละภาชนะปริมาตรเท่า ๆ กันใส่ในขวดดูแรนที่ปราศจากเชื้อให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. ขั้นตอนการตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* โดยวิธี Most Probable Number (Feng *et al*., 2002)

3.1 การทดสอบขั้นแรก (Presumptive test)

ปิเปตตัวอย่างจำนวน 10 มิลลิลิตร จากข้อ 2 ลงในอาหารสูตร Lauryl sulfate tryptose broth (LST) ความเข้มข้น 2 เท่า (2X) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 10 หลอด หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24±2 ชั่วโมง ตรวจผลในหลอด LST ที่ให้ผลบวก (อาหารเลี้ยงเชื้อขุ่นและเกิดก๊าซขึ้นในหลอดดักก๊าซ) หากหลอดที่เกิดผลลบนำไปบ่มต่ออีก 24 ชั่วโมง จึงนำมาตรวจผล

3.2 การทดสอบขั้นยืนยัน (Confirmed test)

ถ่ายเชื้อจากหลอดอาหาร LST ในข้อ 3.1 ที่ให้ผลบวก ลงในหลอดอาหาร Brilliant green lactose bile broth (BGLB broth) สำหรับตรวจหาโคลิฟอร์มและหลอดอาหาร Escherichia coli broth (EC broth) สำหรับตรวจหา *E. coli* อย่างละ 1 ลูป โดยนำหลอดอาหาร BGLB broth บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48±2 ชั่วโมง สำหรับตรวจหาโคลิฟอร์มและหลอดอาหาร EC broth บ่มที่อุณหภูมิ 44.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24±2 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ สำหรับตรวจหาเชื้อโคลิฟอร์มทำการตรวจผลในหลอดอาหาร BGLB broth โดยนับจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซ และนำไปเทียบกับตาราง Most probable number (MPN) ก็จะได้ MPN/100 มิลลิลิตร ของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และทำการตรวจผลในหลอดอาหาร EC broth ที่มีผลบวก (อาหารเลี้ยงเชื้อขุ่น และเกิดก๊าซขึ้นในหลอดดักก๊าซ) นำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

3.3 การทดสอบขั้นสมบูรณ์ (Complete test)

นำหลอดอาหาร EC broth ในข้อ 3.2 ที่มีก๊าซเกิดขึ้น มาขีดลงบนอาหาร L-EMB หลอดละ 1 จาน บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24±2 ชั่วโมง ลักษณะโคโลนีของ *E. coli* จะมีลักษณะสีม่วงเข้มหรือดำ อาจมีหรือไม่มีลักษณะมันวาวคล้ายโลหะ (metallic sheen) นำโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าว มาขีดลงบนอาหาร NA slant บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี Indole production test, Methyl red test (MR test), Voges-proskauer test (VP test) และ Citrate utilization test (IMViC test) ขั้นตอนต่อไป โดยคุณสมบัติทางชีวเคมีของ *E. coli* โดยวิธี IMViC test จะให้ผลคือ + + - - หรือ - + - - ตามลำดับ และนำผลบวกที่ได้ไปเทียบกับตาราง Most probable number (MPN)

ผลการวิจัย

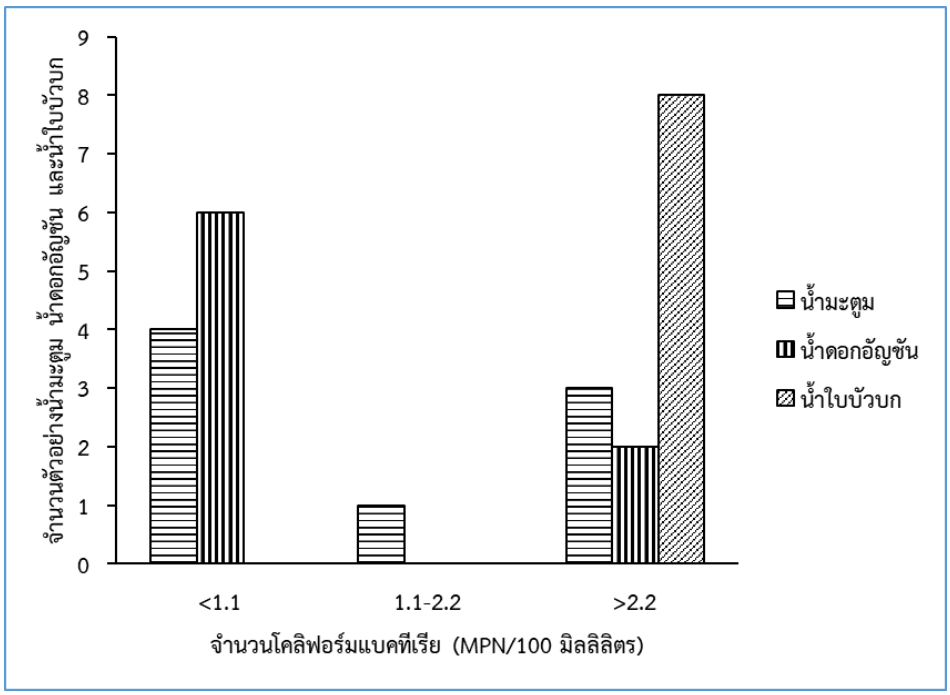
1. การปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก

จากการเก็บตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรเพื่อสุขภาพจำนวน 3 ชนิด คือ น้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก รวมทั้งหมด 24 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างจากร้านจำนวน 4 ร้านซึ่งเป็นน้ำมะตูม 8 ตัวอย่างน้ำดอกอัญชัน 8 ตัวอย่างและน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* โดยวิธี MPN และนำไปเทียบตามตารางมาตรฐาน MPN 10 tube พบว่าเครื่องดื่มทั้ง 24 ตัวอย่างมีการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียโดยมีปริมาณอยู่ในช่วง <1.1->23 MPN/100 มิลลิลิตร และมีปริมาณมากกว่า 2.2 MPN/100 มิลลิลิตร (54.17 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นน้ำดอกอัญชัน 2 ตัวอย่าง (8.33 เปอร์เซ็นต์) น้ำมะตูม 3 ตัวอย่าง (12.50 เปอร์เซ็นต์) และเป็นน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง (33.33 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ แสดงได้ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1 และพบว่ามีตัวอย่างจำนวน 9 ตัวอย่าง (37.50 เปอร์เซ็นต์) มีการปนเปื้อนของ *E. coli* โดยมีปริมาณเชื้อที่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 1.1-23 MPN/100 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นน้ำมะตูม 1 ตัวอย่าง (4.17 เปอร์เซ็นต์) เป็นน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง (33.33 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่พบการปนเปื้อนของ *E. coli* ในน้ำดอกอัญชัน แสดงได้ดังตารางที่ 1 และ ภาพที่ 2

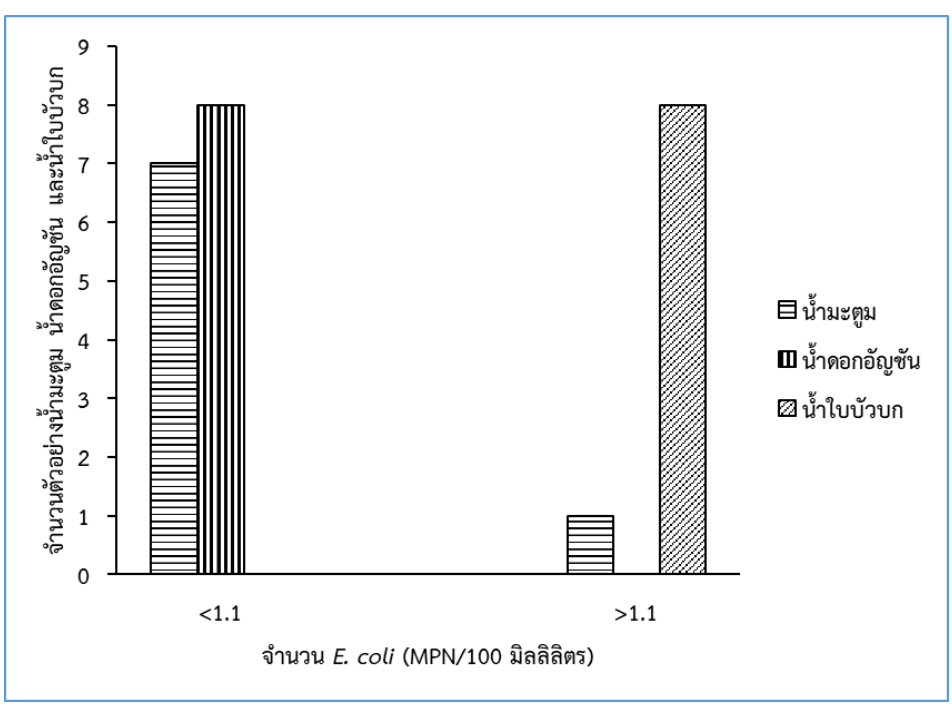
ตารางที่ 1 ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E.coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก

ร้านที่	ชนิดของน้ำ	เดือน	โคลิฟอร์ม (MPN/100 มิลลิลิตร)	*E. coli* (MPN/100 มิลลิลิตร)	*มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
1	น้ำมะตูม	เมษายน	<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	1.1	ไม่ผ่าน
	น้ำมะตูม	พฤษภาคม	<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	1.1	ไม่ผ่าน
2	น้ำมะตูม	เมษายน	<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		>23	<1.1	ไม่ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	5.1	ไม่ผ่าน
	น้ำมะตูม	พฤษภาคม	1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	2.2	ไม่ผ่าน
3	น้ำมะตูม	เมษายน	>23	<1.1	ไม่ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		5.1	<1.1	ไม่ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	3.6	ไม่ผ่าน
	น้ำมะตูม	พฤษภาคม	<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	9.2	ไม่ผ่าน
4	น้ำมะตูม	เมษายน	>23	<1.1	ไม่ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	>23	ไม่ผ่าน
	น้ำมะตูม	พฤษภาคม	>23	1.1	ไม่ผ่าน
	น้ำดอกอัญชัน		<1.1	<1.1	ผ่าน
	น้ำใบบัวบก		>23	2.2	ไม่ผ่าน

หมายเหตุ: เกณฑ์มาตรฐานโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบกคือ ต้องพบ <2.2 MPN/100 มิลลิลิตร สำหรับเกณฑ์มาตรฐานของ *E. coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบกคือ ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร



ภาพที่ 1 ระดับการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่พบในตัวอย่างน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก



ภาพที่ 2 ระดับการปนเปื้อนของ *E. coli* ที่พบในตัวอย่างน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก

2. การตัดสินคุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก จากร้านค้าภายในอำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

จากผลการทดลองในครั้งนี้การตัดสินคุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก เมื่อนำผลการตรวจหาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* มาเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานทางจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มผลิตภัณฑ์ชุมชนซึ่งระบุต้องพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และ *E. coli* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่าง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของการพบโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* ทั้งหมด 11 ตัวอย่าง และพบว่ามีตัวอย่างเครื่องดื่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ทั้งหมด 13 ตัวอย่าง โดยพบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง น้ำมะตูม 3 ตัวอย่าง และน้ำดอกอัญชัน 2 ตัวอย่างนอกจากนี้ ยังตรวจพบ *E. coli* ในตัวอย่างเครื่องดื่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำใบบัวบก จำนวน 8 ตัวอย่าง น้ำมะตูม 1 ตัวอย่าง แสดงได้ดังตารางที่ 1

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* ในน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบกเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานทางจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำมะตูมจะใช้ มผช.123/2554 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) น้ำดอกอัญชันจะใช้ มผช.533/2554 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554) และน้ำใบบัวบกจะใช้ มผช.163/2552 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) ซึ่งพบว่าน้ำทั้ง 3 ชนิดจะมีเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* ที่เหมือนกันซึ่งระบุให้พบโคลิฟอร์มแบคทีเรียต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และ *E. coli* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ผลการศึกษาพบว่าจาก 24 ตัวอย่างที่ทำการศึกษาพบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียมากกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร จำนวน 13 ตัวอย่าง คิดเป็น 54.17 เปอร์เซ็นต์ โดยพบในน้ำใบบัวบกทุกตัวอย่าง น้ำมะตูม 3 ตัวอย่าง และน้ำดอกอัญชัน 2 ตัวอย่างโดยในน้ำใบบัวบกทั้ง 8 ตัวอย่างที่ตรวจจะพบการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ซึ่งมากกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่าน้ำใบบัวบกมีการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2551) ที่ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในเครื่องดื่มสมุนไพร ที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพฯ โดยเก็บตัวอย่างเครื่องดื่มที่จำหน่ายในท้องตลาดและทำการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาจากการดำเนินงานพบว่ามีการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 69.45 เปอร์เซ็นต์ โดยชนิดเครื่องดื่มที่มีการปนเปื้อนสูงที่สุดคือน้ำใบบัวบกพบการปนเปื้อนจุลินทรีย์กลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 94.97 เปอร์เซ็นต์ และยังสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของเจตภาส (2551) ที่ได้ทำการวิเคราะห์การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในเครื่องดื่มที่บรรจุภาชนะปิดสนิท และพร้อมบริโภคที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพฯ 50 เขต จำนวน 455 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำใบบัวบก น้ำสำรอง น้ำเฉาก๊วย น้ำบีทรูท น้ำกระเจี๊ยบ น้ำเสาวรส น้ำเก๊กฮวย และน้ำจับเลี้ยง จากผลการตรวจวิเคราะห์พบการปนเปื้อนสูงมากถึง 316 ตัวอย่าง หรือ 69.45 เปอร์เซ็นต์ โดยพบปนเปื้อน โคลิฟอร์มแบคทีเรียมากที่สุดในน้ำใบบัวบกที่พบการปนเปื้อนสูง

ถึง 97.83 เปอร์เซ็นต์ รองมา คือ น้ำจับเลี้ยง 90 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสาวรส 87.88 เปอร์เซ็นต์ น้ำบีทรูท 84.61 เปอร์เซ็นต์ น้ำเฉาก๊วย 67.35 เปอร์เซ็นต์ น้ำสำรอง 62.50 เปอร์เซ็นต์ น้ำกระเจี๊ยบ 55.36 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเก๊กฮวย 54.69 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำใบบัวบกมากกว่าน้ำชนิดอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากใบบัวบกไม่ได้ผ่านกระบวนการต้ม เนื่องจากมีฤทธิ์เย็น ผู้บริโภคจึงนิยมบริโภคแบบสด และด้วยเป็นผักสดที่มาจากตามธรรมชาติอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างสูงและนอกจากน้ำใบบัวบกที่พบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงที่สุดแล้ว ยังพบว่าน้ำอื่น ๆ ก็อาจพบการปนเปื้อนได้เช่นกันหากขาดความรู้ความเข้าใจในการผลิต ยกตัวอย่างเช่น ผลการศึกษาของดาริวรรณ และเนตรนภา (2555) ที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลการให้บริการน้ำดื่มและเครื่องดื่มในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจังหวัดมหาสารคามจากอำเภอที่มีการผลิตเครื่องดื่ม พบการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 100 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำมะตูม ซึ่งมากกว่าในผลการทดลองนี้ เครื่องดื่มที่ตรวจพบเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย แสดงว่าเครื่องดื่มนั้นไม่สะอาด อาจมีสิ่งปนเปื้อนเช่น อุจจาระลงไปปะปน (บุษกร, 2555) นอกจากนี้น้ำที่นำมาผลิตเครื่องดื่มอาจมีความสะอาดไม่เพียงพอ ดังรายงานของ สุธีรา และภารดี (2559) ที่ได้ศึกษาถึงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำบริโภคจากตู้น้ำดื่มกดหยอดเหรียญซึ่งพบว่ามีการตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำดื่ม รวมทั้งการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นอาจมาได้จากหลายทาง เช่น น้ำที่ใช้ล้างไม่สะอาดพอ หรือไม่มีการล้างดิน การสัมผัสโดยคน หรือภาชนะ เป็นต้น ดังนั้นแม้ผักสดพร้อมรับประทานที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วก็ตาม ถ้าผู้ที่ประกอบอาหารหรือผู้ที่สัมผัสกับอาหารไม่ล้างมือหรือล้างอุปกรณ์เช่น มีด เขียง ถาด ในการประกอบอาหารให้สะอาด และใช้ซ้ำกันหลายครั้ง แบคทีเรียที่อยู่ตามพื้นผิวของภาชนะเมื่อสัมผัสอาหารจะมีความเสี่ยงมากในการปนเปื้อนข้ามหรือปนเปื้อนโดยตรงจากมือของผู้ประกอบอาหารก็เป็นได้ (สุดสายชล และคณะ 2560, Brackett and Splittstoesser, 2001; Jackson *et al*., 2009)

สำหรับการตรวจหา *E. coli* ในตัวอย่างน้ำใบบัวบก น้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน ทั้งหมด 24 ตัวอย่างพบ *E. coli* จำนวน 9 ตัวอย่าง คิดเป็น 37.50 เปอร์เซ็นต์ โดยพบในน้ำใบบัวบกทุกตัวอย่าง และในน้ำมะตูม 1 ตัวอย่าง ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ คือต้องไม่พบ *E. coli* ในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ส่วนในน้ำดอกอัญชันตรวจไม่พบ *E. coli* ในทุกตัวอย่าง จากผลการพบ *E. coli* ในเครื่องดื่มภาชนะบรรจุปิดสนิทจะให้ผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของ อภิชัย (2559) ที่ได้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท ที่สำนักกรรมการอาหารและยา ที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพฯ และพื้นที่ในเขตนนทบุรี และสระบุรี ทั้งหมด 27 ตัวอย่าง นำมาทำการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา พบว่ามีตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง มีจำนวน *E. coli* เกินเกณฑ์มาตรฐาน และเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tambekar *et al.* (2009) ได้ศึกษาคุณภาพด้านจุลินทรีย์และความปลอดภัยของน้ำผลไม้ที่จำหน่ายตามถนนในเมืองอมราวดีประเทศอินเดียจากตัวอย่างจำนวน 52 ตัวอย่างพบว่าในน้ำผลไม้มีการปนเปื้อนของ *E. coli* โดยตัวอย่างน้ำผลไม้ที่มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียมากที่สุดได้แก่ น้ำมะนาว 35.00 เปอร์เซ็นต์ สับปะรด 29.00 เปอร์เซ็นต์ และน้ำทับทิม น้ำแอปเปิ้ล น้ำส้ม 12.00 เปอร์เซ็นต์ การตรวจพบ *E. coli* ในอาหารหรือเครื่องดื่มอาจระบุได้ว่าอาหารหรือเครื่องดื่มนั้นมีการผลิตที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เนื่องจาก *E. coli* อาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่นถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระ (วีรานุช, 2555) ด้วยเหตุนี้ทำให้ *E. coli* มีความสำคัญในการตรวจหาเชื้อเพื่อควบคุมคุณภาพของอาหาร และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ที่บ่งบอกว่า

ผลิตภัณฑ์มีการปนเปื้อนสิ่งปฏิกูลหรือไม่ (Froder *et al*., 2007; Kornacki and Johnson, 2001) จากการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำมะตูม น้ำอัญชัน และน้ำใบบัวบกที่จำหน่ายบริเวณใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพาพบว่าน้ำใบบัวบกมีการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* สูงที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำมะตูม และน้ำดอกอัญชัน ดังนั้นในการเลือกบริโภคน้ำใบบัวบกจึงควรพิจารณาให้รอบคอบกว่าน้ำชนิดอื่น ๆ เนื่องจากพบปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* เกินมาตรฐานทุกตัวอย่าง จึงทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคท้องร่วงได้ ดังนั้นการเลือกที่จะบริโภคเครื่องดื่มสมุนไพร ควรสังเกตภาชนะที่บรรจุปิดสนิท สะอาด และควรเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อไม่ให้จุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนสามารถเพิ่มจำนวนได้

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรเพื่อสุขภาพจำนวน 3 ชนิด คือน้ำมะตูม น้ำดอกอัญชัน และน้ำใบบัวบก รวมทั้งหมด 24 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียมากกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร จำนวน 13 ตัวอย่าง โดยเป็นน้ำใบบัวบก 8 ตัวอย่าง น้ำมะตูม 3 ตัวอย่าง และน้ำดอกอัญชัน 2 ตัวอย่าง ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ และพบการปนเปื้อน *E. coli* จำนวน 9 ตัวอย่าง โดยพบในน้ำใบบัวบกทุกตัวอย่าง และในน้ำมะตูม 1 ตัวอย่าง ซึ่งถือว่าเกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้ระบุไว้ จะเห็นได้ว่าการพบการปนเปื้อนจากโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E. coli* จากทุกตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชนนั้น เนื่องจากตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียเกินมาตรฐานและพบ *E. coli* ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงสุขลักษณะที่ไม่ดีของกระบวนการการผลิตวัตถุดิบที่มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียดังกล่าวตลอดจนสุขอนามัยของผู้ผลิตที่ไม่ดีดังนั้นผู้บริโภคควรตระหนักถึงการเลือกซื้อเครื่องดื่มที่ถูกสุขอนามัยและควรใส่ใจในเรื่องความสะอาดของเครื่องดื่ม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และงบประมาณในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

เจตภาส ไชยะกุล. (2551). *น้ำผักผลไม้-น้ำสมุนไพร มีจุลินทรีย์ปนเปื้อน.* สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2560, จาก: https://goo.gl/CkEoiB.

ดาริวรรณ เศรษฐีธรรม และเนตรนภา เจียระแม. (2555). สถานการณ์การปนเปื้อนจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม เครื่องดื่ม และภาชนะที่ให้บริการในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น,* 5(3), 87-96.

เทพวิทูรย์ ทองศรี สุรัตน์ เพชรเกษม และกัญญา ม่วงแก้ว. (2557). การประเมินปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มในแหล่งน้ำผิวดิน เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. *Bulletin of Applied Sciences*, 3(3), 59-67.

ธนิดา ไมตรีประดับศรี มลวดี ศรีหะทัย จันทร์ทิพย์ อนันตกูล และศรัณพร กิจไชยา. (2558). *ความปลอดภัยของเครื่องดื่ม OTOP ประเภทน้ำผลไม้และน้ำสมุนไพรในเขตสุขภาพที่ 6*. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2560, จาก: https://goo.gl/EKLy7c.

บุษกร อุตรภิชาติ. (2555). *จุลชีววิทยาอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). พัทลุง: ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยทักษิณ.

วีรานุช หลาง. (2555). *คู่มือตรวจวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาทางอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2551). *โครงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในเครื่องดื่มสมุนไพร ณ สถานที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551*. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2560, จาก: http://elib.fda.moph.go.th/fulltext2/ word/16309/1.pdf.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2552). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำใบบัวบก มผช. 163/2552*. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2561, จาก: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps163_52.pdf.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2554). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำมะตูม มผช. 123/2554*. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2560, จาก: file:///C:/Users/PC/Downloads%E0%B8%A1%E0%B8%(1).pdf.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2554). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำดอกอัญชัน มผช.533/2554*. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2560, จาก: file:///C:/Users/PC/Downloads%E0%B8%A1%E0%B8%(1).pdf.

สุดสายชล หอมทอง ธนัชพร แดงศรี และณัฐธยาน์ ภาสอนเจริญชัย. (2560). การศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งหมด และ *Staphylococcus aureus* ในสลัดโรล เมี่ยงก๋วยเตี๋ยว และก๋วยเตี๋ยวลุยสวน บริเวณใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,* 36(2), 70-79.

สุธีรา ศรีสุข และภารดี พละไชย. (2559). คุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำบริโภคจากตู้น้ำดื่มกดหยอดเหรียญอัตโนมัติในเขตเทศบาลนครยะลา. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 8(2), 277-288.

อภิชัย มงคล. (2559). *ผลตรวจน้ำส้มคั้นปนเปื้อนจุลินทรีย์เพียบ เลือกซื้ออย่างไรให้ปลอดภัย*. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2560, จาก: https://www.matichon.co.th/news/172200.

Brackett, R.E. and Splittstoesser, D.F. (2001). Fruits and Vegetables. In Downes, F.P. and Ito, K. (Eds.). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*. (4th ed)., pp. 515-520. Washington DC: American Public Health Association.

Feng, P., Stephen, D. and Michael, A. (2002). *Enumeration of Escherichia coli and the coliform bacteria*. Retrieved 20 December 2013, from: https://www.fda.gov/food/foodscienceresearchlaboratorymethods/ucm064948.htm.

Froder, H., Martins, C.G., Souza, K.L.O., Landgraf, M., Franco, B.D.G.M. and Destro, M.T. (2007). Minimally processed vegetable salads: microbial quality evaluation. *Food Protection*, 70(5), 1277-1280.

Jackson, G.J., Madden, J.M., Hill, W.E. and Kloritz, K.C. (2009). *Investigation of food implicated in illness. bacteriological analytical manual*. Retrieved 20 December 2013, from: http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-25html.

Kornacki, J.L. and Johnson, J.L. (2001). Enterobacteriaceae, coliform, and *Escherichia coli* as quality and safety indicators. In Downes, F.P. and Ito, K. (Eds.). *Compendium of methods for the microbiological examination of Foods,* pp. 69-82. Washington DC: American Public Health Association.

Olaoye, O.A. and Onolude, A.A. (2009). Assessment of microbiological quality of sachet-packaged drinking water in Westem Nigeria and its public health significance. *Journal of Public Health*, 123(11), 729-734.

Tambekar, D.H., Jaiswal, V.J., Dhanorkar, D.V., Gulhane, P.B. and Dudhane, M.N. (2009). Microbial quality and safety of street vended fruit juice : A case study of Amravati city. *Internet Journal of Food Safety*, 10, 72-76.

การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยการพาความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงาน

Convective Hot Air Drying of *Musa nana* Linn. by LPG and Electrical Heating : Drying Kinetics, Quality and Energy Consumption

สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล[1] ณัฐภาส ทองมาก[1] ภวินท์ ชลเกษม[1] และ ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล[2*]

Supawan Tirawanichakul[1], Nuttapas Thongmark[1], Pawin Chongkasaem[1] and Yutthana Tirawanichakul[2*]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซหุงต้ม (LPG) และพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า โดยทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางในช่วงอุณหภูมิ 55-70 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ระหว่างร้อยละ 250-300 dry-basis และอบแห้งจนความชื้นสุดท้ายของกล้วยเล็บมือนางอยู่ในช่วงร้อยละ 20-25 dry-basis จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้ง การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งต่ำกว่ากรณีอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ สำหรับการทดสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ได้แก่ สี ร้อยละการหดตัว และการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกกรณีของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนทั้งสองชนิด กรณีการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม จะมีร้อยละการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้าเล็กน้อย และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับกล้วยตากแห้งอ้างอิง นอกจากนี้ ผลการทดสอบโดยการชิมพบว่ามีแนวโน้มระดับความยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ : การอบแห้งด้วยก๊าซแอลพีจี กล้วยอบแห้ง การทดสอบโดยประสาทสัมผัส การหดตัว ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[*] Corresponding author e-mail: yutthana.t@psu.ac.th

Received: 19 April 2019, Revised: 10 June 2019, Accepted: 15 June 2019

Abstract

The main objective of this work is to investigate suitable strategy for *Musa nana* Linn. banana (Leb muea nang) drying with liquified petroleum gas (LPG) and electric hot air (HA) heating. The *Musa nana* Linn. banana drying experiments were carried on under the conditions of drying temperature ranging of 55-70 °C. Initial moisture content and average desired final moisture content of banana was in range of 250-300% and 20-25% dry-basis, respectively. The experimental results showed that the drying rate of banana sample depended on drying temperature. The specific energy consumption of the banana drying at high temperature was relatively low compared to those drying with low drying temperature. According to the physical qualities analysis in terms of colorness, percentage of shrinkage and sensory evaluation, the results showed that dried *Musa nana* Linn. banana with LPG has no significance in colorness measurement compared to the dried banana sample by electric heating. In contrast, percentage of shrinkage of the dried banana using LPG was slightly higher than the dried banana using electric heating. For sensory evaluation, the results showed that an overall acceptability of dried banana with LPG and Electric heating were insignificantly different from the reference dried banana by conventional heating ($p < 0.05$). In addition, the overall acceptability of dried banana was in moderate scale.

Keywords: Drying by LPG, Dried banana, Sensory evaluation, Shrinkage, Specific energy consumption

บทนำ

กล้วยเล็บมือนางปลูกมากในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย เช่น จังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง เป็นต้น มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Musa nana* Linn. (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) บางท้องถิ่นเรียกว่า กล้วยข้าว กล้วยเล็บมือกล้วยทองดอกหมาก ลำต้นมีความสูงไม่เกิน 2.5 เมตร ผลเรียวเล็กรูปโค้งงอ และสีของผลกล้วยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองเมื่อสุก มีกลิ่นหอมคล้ายกล้วยหอม และรสชาติหวานคล้ายกล้วยไข่ มีขนาดเล็กจึงบริโภคได้ง่าย กล้วยชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปริมาณสารอาหารในกล้วยเล็บมือนาง โดยคิดเป็นกรัมต่อ 100 กรัมของกล้วยเล็บมือนาง ประกอบด้วยปริมาณน้ำ 79.2 กรัม ไขมัน 0.2 กรัม คาร์โบไฮเดรต 18.0 กรัม เส้นใย 0.2 กรัม โปรตีน 1.8 กรัม แคลเซียม 10 มิลลิกรัม ธาตุเหล็ก 1.2 มิลลิกรัม วิตามินเอ 133 I.U วิตามินบี 0.03 I.U. วิตามินซี 8 มิลลิกรัม และธาตุอื่น ๆ เช่น ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโพแทสเซียม ธาตุแมกนีเซียม เป็นต้น ที่สำคัญจะให้พลังงาน 72 กรัมแคลอรี เนื่องจากมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และฟรุคโทส (พรพรรณ, 2530) สำหรับกล้วยเล็บมือนางนั้น นิยมบริโภคในรูปสองรูปแบบคือ บริโภคในรูปผลสุกสด และบริโภคในรูป

กล้วยตากแห้ง โดยกรณีหลังนี้พบว่าสีของกล้วยเล็บมือนางตากแห้งจะเป็นสีน้ำตาล และเมื่อเก็บไว้ยาวนานจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อย ๆ

กล้วยเล็บมือนางปลูกมากในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ที่จังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดนครศรีธรรมราช สายพันธุ์อาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ใช้ระยะเวลาในการปลูกประมาณ 8 เดือนจึงสามารถเก็บผลผลิตครั้งแรกได้ จากนั้นสามารถเก็บผลผลิตต่อเนื่องได้ทุกเดือนในช่วงระยะเวลา 3 ปี ในช่วงที่มีผลผลิตออกมาจำนวนมาก สามารถใช้กระบวนการแปรรูปเพื่อเป็นกล้วยอบแห้งหรือกล้วยตากแห้งได้ ซึ่งเป็นกระบวนการถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าผลผลิตได้เป็นอย่างดี ดังที่ทราบกันดีว่ากล้วยเล็บมือนางตากแห้งของจังหวัดชุมพร มีคุณภาพสูงและเป็นที่นิยมของตลาดสินค้าผลไม้แปรรูป สำหรับขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง จะต้องลดความชื้นให้ต่ำเพียงพอที่จะเก็บรักษาไว้ได้ยาวนาน (สมชาติ, 2540) โดยทั่วไปใช้การตากแดดกลางแจ้ง การอบแห้งในโรงเรือนโดยการคลุมโรงเรือนด้วยพลาสติกหรือแผ่นโปร่งแสงโพลีคาร์บอเนต และการใช้ตู้อบแห้งแบบถาด ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสองวิธีการแรกนั้น ขึ้นกับปัจจัยของสภาวะอากาศแวดล้อมและปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์เป็นสำคัญ ทั้งนี้เพราะปริมาณแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอตลอดวัน รวมทั้งผลผลิตอาจสัมผัสฝุ่นละอองระหว่างการตากแห้ง และอาจมีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์เชื้อราในระหว่างกระบวนการทำแห้งโดยเฉพาะในการตากแห้งกล้วยเล็บมือนางกลางแจ้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยเล็บมือนางตากแห้งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และไม่สามารถเก็บรักษาในระยะเวลายาว (Tirawanichakul *et al*., 2008) ซึ่งจะส่งผลต่อการจำหน่ายสินค้าที่ไม่ได้ราคา

แม้ว่างานวิจัยที่ผ่านทั้งในและต่างประเทศ จะมีการศึกษาการอบแห้งกล้วย แต่มักจะเป็นการศึกษาและวิจัยในกล้วยสายพันธุ์อื่นมากกว่างานวิจัยด้านการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมา อาจจะยกตัวอย่างรายงานบางงานได้ เช่น การศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่ายและคุณภาพของกล้วยหอมทองแผ่นบาง ที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70-100 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลการวิจัย พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของกล้วยหอมแผ่นบางแปรตามอุณหภูมิอบแห้ง และการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูง ทำให้กล้วยหอมแผ่นบางมีความกรอบมากขึ้น ขณะที่ความแข็งน้อยกว่าการอบแห้งกล้วยหอมแผ่นบางโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ (จารุวรรณ, 2550) นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการแพร่ความชื้น และคุณภาพของกล้วยแผ่นบาง (กล้วยหอมทอง) รวมทั้งศึกษาโครงสร้างจุลภาค อุณหภูมิอบแห้ง 70-100 องศาเซลเซียส พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีการสูญเสียของสารระเหยในตัวอย่างแห้ง และโครงสร้างของกล้วยอบแห้งมีความเป็นรูพรุนมาก ผลให้ค่าความแข็งต่ำกว่าค่าที่ได้จากกล้วยอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของอีกกลุ่มหนึ่งที่ดำเนินการตามมาภายหลัง (Thuwapanichayanan *et al*., 2011) และในปี ค.ศ.2014 นักวิจัยต่างประเทศก็ได้ทำการศึกษาการอบแห้งชั้นบางของกล้วยหอมด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 40-70 องศาเซลเซียส โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยหอม สรุปได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page และ Silva *et al*. สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งของกล้วยหอมได้ดี (Wilton *et al*., 2014) หรืองานวิจัยการพัฒนากรรมวิธีการผลิตกล้วยน้ำว้าอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับคลื่นไมโครเวฟระบบสุญญากาศ พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการ

อบแห้งด้วยลมร้อนเพิ่มขึ้น ค่าวอเตอร์เอกติวิตี้และปริมาณความชื้นของกล้วยน้ำว้าอบแห้งมีค่าลดลง ส่วนค่าความแข็งของกล้วยอบแห้งมีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่อบแห้ง (สุริยา และคณะ, 2551)

จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของกล้วยอบแห้งหรือกล้วยตากแห้ง คือ ค่าความชื้นสุดท้ายหลังการทำแห้ง และกระบวนการเก็บรักษากล้วยเพื่อรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญหลักที่ต้องพิจารณา และเนื่องจากวัสดุอาหาร ผัก ผลไม้แต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์ก็มีลักษณะเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาและหาข้อมูลทางด้านต่าง ๆ ไว้เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ ในอนาคต นอกจากนี้เรื่องที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในกรณีการอบแห้งเมล็ดพืชหรือผลผลิตทางการเกษตรก็จำเป็นจะต้องพิจารณาเรื่องความสิ้นเปลืองพลังงานหรือการเลือกใช้พลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยเช่นกัน (อนุรักษ์ และคณะ, 2559) อย่างไรก็ดีพบว่า ปัจจัยของค่าความชื้นและกระบวนการทำแห้งของกล้วยเล็บมือนาง ยังขาดข้อมูลพื้นฐานและกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ชัดเจนและเหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงถูกดำเนินการขึ้นมาเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานจึงควรทำการศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ให้ได้กระบวนการผลิตที่สะอาดและลดระยะเวลาในการอบแห้งลงแต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ (สมชาติ, 2540) ที่สำคัญต้นทุนการผลิตไม่สูงจนเกินไป กระบวนการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซหุงต้ม มีข้อดี คือ ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผลผลิตกล้วยเล็บมือนางที่ได้มีความสะอาดและแห้งสม่ำเสมอกว่าการอบแห้งแบบตากลานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีข้อดีของการอบแห้งด้วยเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม คือ เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มสามารถหาซื้อได้ง่าย (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551) และมีใช้กันภายในครัวเรือน ราคาไม่แพง เป็นการอบแห้งวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องคำนึงถึงฤดูกาล สามารถอบแห้งกล้วยเล็บมือนางได้ตลอดทั้งปี

ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของโครงงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า โดยจะศึกษาถึงสภาวะอบแห้งต่อคุณภาพทางกายภาพของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกกระบวนการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ระหว่างใช้การใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม และการใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า และเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าสินค้าและการจำหน่ายกล้วยเล็บมือนางอบแห้งต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

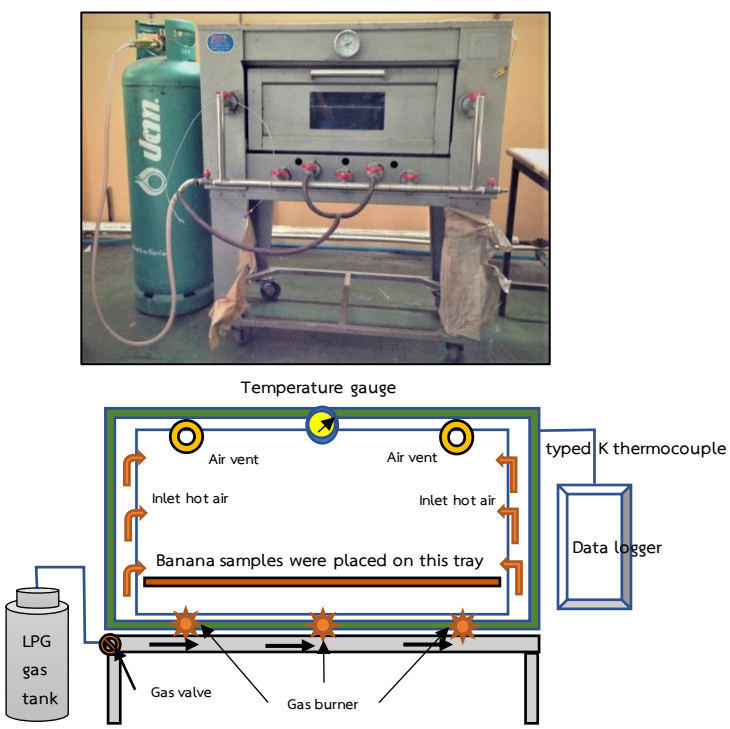
1. วัสดุ

กล้วยเล็บมือนางสุกจะจัดซื้อมาครั้งละหลาย ๆ หวี จากตลาดทวีทรัพย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จากนั้นนำมาปอกเปลือกและทำความสะอาด และสุ่มตัวอย่างกล้วยเล็บมือนางไปหาค่าความชื้นเริ่มต้นก่อนทำการทดลองการอบแห้ง โดยเลือกวิธีการหาปริมาณความชื้นในเนื้อวัสดุตามวิธีตามมาตรฐาน AOAC (AOAC, 2000) คือ ทำการอบแห้งตัวอย่างที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

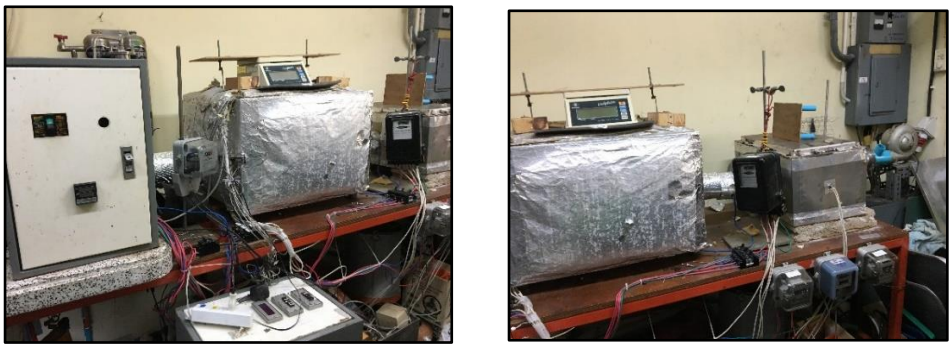
ห้องอบแห้งขนาดกว้าง × ยาว × สูง (0.4 × 0.6 × 0.3 ลูกบาศก์เมตร) รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแสดงดังรูปที่ 1 ในการทดลองทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศแวดล้อม โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ซึ่งมีค่าความละเอียด ±1 องศาเซลเซียส สำหรับการชั่งหามวลของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอบแห้ง จะถูกนำออกมาชั่งโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก (ยี่ห้อ A&D รุ่น GF-3000) ค่าความละเอียด ±0.01 กรัม

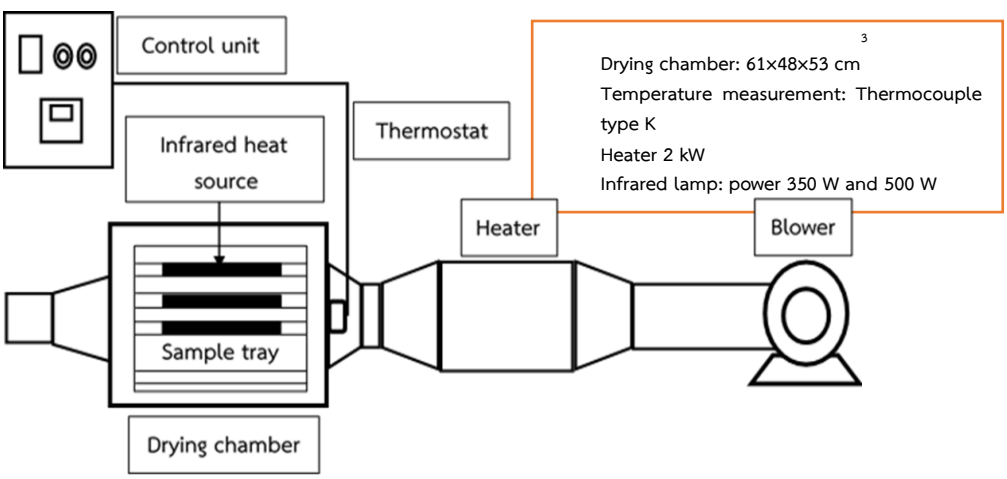


รูปที่ 1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม LPG

2.2 เครื่องอบแห้งใช้ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า

เป็นเครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วย เครื่องให้ความร้อน (heater) พัดลม และมิเตอร์ไฟฟ้า (watt hour meter) และเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ยี่ห้อโยโกกาวา ซึ่งมีค่าความละเอียด ±0.5 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิอบแห้งจะใช้ proportional-integral-derivative (PID) controller ที่ติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุม (control unit) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิตัดต่อขดลวดความร้อนไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งขาเข้าได้ตามที่ตั้งค่าในการทดลองไว้ รายละเอียดแสดงตามรูปที่ 2





รูปที่ 2 รายละเอียดเครื่องอบแห้งแบบถาดพลังงานความร้อนร่วม
(สามารถเลือกใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้าและรังสีอินฟราเรด)

3. วิธีการทดลอง

3.1 ขั้นตอนและสภาวะในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง

1) เตรียมกล้วยเล็บมือนาง: ทำการปอกเปลือกกล้วยออกโดยหากมีเส้นใยจากเปลือกกล้วย ต้องนำออกจากผลกล้วยให้หมด มิเช่นนั้นจะเกิดเส้นรอยดำหลังการอบแห้ง

2) เรียงกล้วยเล็บมือนางลงใส่ถาดอบแห้ง 3 ถาด โดยแต่ละถาดมีขนาด 30 × 45 เซนติเมตร

3) สุ่มตัวอย่างถาดละ 5 ลูก วัดความยาว ความหนาของกล้วยก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีความละเอียด ±0.02 มิลลิเมตร บันทึกข้อมูลนำไปคำนวณหาร้อยละการหดตัวของกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

4) นำกล้วยเข้าตู้อบและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักกล้วยเล็บมือนางระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้อบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิของกล้วย อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิทางออกของห้องอบแห้งและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง-เปียก จนสิ้นสุดการทดลอง

3.2 การคำนวณอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้น (moisture ratio, MR)

การคำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$MR = \text{moisture ratio} = \frac{M_t}{M_i} \quad (1)$$

โดยที่ MR คืออัตราส่วนความชื้น, M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (% dry-basis), M_t คือความชื้นที่เวลาใด ๆ ของวัสดุ (% dry-basis) และ M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (% dry-basis)

3.3 การคำนวณอัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

การคำนวณหาอัตราการอบแห้ง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง จะสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) และ (3) ตามลำดับ ดังนี้

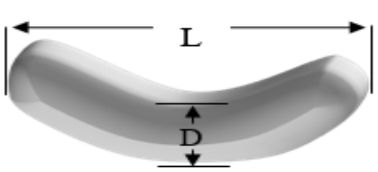
$$\text{drying rate} = \frac{[(M_i - M_f)W_d]}{[\text{drying time}]} \quad (2)$$

$$\text{specific energy consumption (SEC)} = \frac{[E]}{[(M_i - M_f)W_d]} \quad (3)$$

โดยที่ E คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kJ), SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (kJ/kg of water evaporated) และ W_d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ (kg)

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการอบแห้ง

ก) การทดสอบการหดตัว: วัดการหดตัวของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ โดยทำการวัดขนาดด้านกว้าง (D) และความยาว (L) สุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 ชิ้นในแต่ละงวด ดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงตำแหน่งที่ทำการวัดขนาดด้านกว้างและยาวบนกล้วยเล็บมือนาง



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดด้านกว้างและความยาวของกล้วยเล็บมือนาง

ทำการวัดมิติ L และ D ตามรูปที่ 3 ก่อนและหลังการทดลอง และคำนวณหาค่าร้อยละการหดตัว ตามสมการที่ (4)

$$\% \text{ shrinkage} = \frac{\text{intial length (width)} - \text{final length (width)}}{\text{intial length (width)}} \quad (4)$$

ข) การทดสอบคุณภาพด้านสี

วัดสีด้วยเครื่องวัดสีอาหารรุ่น color flex ค่าสีที่วัดได้ใช้หน่วยระบบสี CIE (*L**, *a** และ *b**) จากนั้นนำค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลือง มาคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวม ตามสมการที่ (5)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*) + (a^* - a_0^*) + (b^* - b_0^*)} \qquad (5)$$

เมื่อ ΔE^* คือ ค่าความแตกต่างสีโดยรวม

L_0^*, a_0^*, b_0^* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยอ้างอิงตามลำดับ

L, a, b คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยอบแห้งตามลำดับ

ค) ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

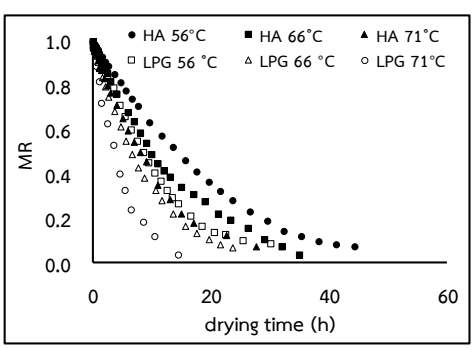
สำหรับการทดสอบคุณภาพของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งนี้ จะใช้การประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสโดยการชิมกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นใน จะดำเนินการทดสอบโดยเลือกผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 25-30 คน ทำการชิมตัวอย่างและให้คะแนนความชอบแบบ hedonic scale (คะแนน 1-9) (Tirawanichakul *et al*., 2008) โดยชอบมากที่สุดคือ 9 และชอบน้อยที่สุด คือ 1 โดยทำการทดสอบสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหวานและความชอบโดยรวมของตัวอย่างกล้วยอบแห้งที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ จากนั้นนำมาหาข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one way analysis of variance ANOVA) โดยมีความเชื่อมั่นของค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการวิจัย

1. จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

จากกราฟรูปที่ 4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนางกับระยะเวลาในการอบแห้ง ที่ช่วงอุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยจริงอยู่ในช่วง 56-71 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองในกราฟนี้ พบว่า ที่ทุก ๆ ค่าอุณหภูมิการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มและการใช้พลังงานความร้อนไฟฟ้า ซึ่งในช่วงแรกของการอบแห้ง จะสังเกตได้ว่า ค่าอัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนางจะลดลงอย่างรวดเร็ว กล่าวคือเป็นลักษณะกระบวนการอบแห้งแบบลดลง (falling drying rate) (สมชาติ, 2540) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในตอนเริ่มต้นการอบแห้งนั้น ค่าความชื้นของกล้วยเล็บมือนางยังมีปริมาณสูง ดังนั้นการพาความร้อนจากลมร้อนที่ไหลผ่านถาดอบแห้งที่บรรจุกล้วยเล็บมือนาง ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในเนื้อกล้วยเล็บมือนางถูกพาหะลมร้อนนำออกไปจากกล้วยได้อย่างรวดเร็ว โดยถ้าผลต่างอุณหภูมิที่ระหว่างกล้วยและอากาศร้อนในห้องอบแห้งมีค่ามาก ก็จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพามีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับสมการการถ่ายเทความร้อนแบบการพา (heat convection) ในเอกสารอ้างอิง (สมชาติ, 2540)

และจากกราฟรูปที่ 4 นี้ ยังพบว่า ผลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG) นั้น ในช่วงแรกของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยก๊าซหุงต้มและขดลวดความร้อนไฟฟ้า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยต่อหน่วยเวลามีค่าค่อนข้างสูงมาก โดยสังเกตได้จากค่าความชันของกราฟนี้ เนื่องจากว่า กราฟผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลาจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-10 ชั่วโมงแรก ซึ่งปริมาณความชื้นในเนื้อกล้วยเล็บมือนางได้ถูกพาหะความร้อน (คือ ลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง) เป็นพาหะพาความร้อนมายังเนื้อกล้วยเล็บมือนาง และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในเนื้อกล้วยและระเหยออกไป และเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้น ปริมาณความชื้นของกล้วยเล็บมือนางมีค่าน้อยกว่าในช่วงแรกของการอบแห้ง ทำให้การถ่ายเทมวลน้ำจากภายในเนื้อกล้วยเล็บมือนางไปที่ผิวกล้วยมีค่าน้อยลง อัตราส่วนความชื้นต่อหน่วยเวลาในช่วงหลังจึงลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นในกล้วยเล็บมือนางช่วงนี้ จะเปลี่ยนแปลงลดลงไปอย่างช้า โดยเฉพาะการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิต่ำ (56 องศาเซลเซียส) จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนานเมื่อเทียบกับการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิสูง (66 และ 71 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของกล้วยกับระยะเวลาอบแห้ง ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

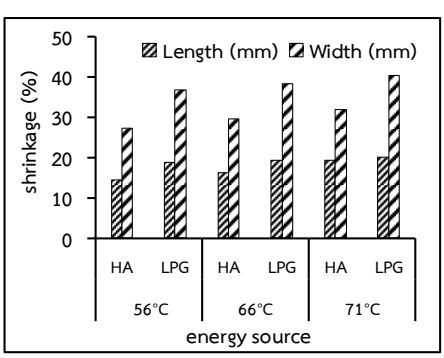
หมายเหตุ: HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า และพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

สำหรับการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งสูง (66 และ 71 องศาเซลเซียส) จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นมากกว่าการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ (56 องศาเซลเซียส) และจะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่ค่าหนึ่ง ๆ การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เร็วกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มนั้น จะสามารถรักษาอุณหภูมิอบแห้งในห้อง

อบแห้งให้คงที่ได้ดีกว่าการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้า เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิในระหว่างช่วงการปิดเปิดวงจรจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนไฟฟ้าด้วย PID controller ต่างกันหลายองศาเซลเซียส

2. การหดตัวของกล้วยอบแห้ง

ร้อยละการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และด้านความยาว (L) ของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ร้อยละการหดตัวกล้วยอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และที่ใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งสองกรณี และเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มจะมีค่าการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า เนื่องจากในการอบแห้งด้วยพลังงานพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม ในระหว่างการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งตลอดการทดลองค่อนข้างจะสม่ำเสมอและคงที่มากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.1 เนื่องจากอุณหภูมิในห้องอบแห้งค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอ การถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนไปยังกล้วยเล็บมือนางจึงเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้การดึงน้ำออกจากกล้วยได้มากกว่าการอบแห้งกล้วยด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้ารวดเร็วกว่า ซึ่งส่งผลให้การหดตัวมีแนวโน้มจะสูงกว่ากรณีหลัง สอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยอื่น ๆ ในเมล็ดพืช ดังนั้นหากพิจารณาถึงร้อยละการหดตัว อาจส่งผลต่อผลการทดสอบโดยประสาทสัมผัส (รายละเอียดการอภิปรายอยู่ในหัวข้อย่อย 4.4 ต่อไป) จึงควรระมัดระวังในการใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง ๆ ในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง เนื่องจากอาจทำให้สีของกล้วยอบแห้งเปลี่ยนไปจากปฏิกริยาคาราเมไลเซชันที่เกิดขึ้นกับวัสดุอาหาร เมล็ดพืช หรือผลไม้ที่มีน้ำตาล ดังที่มีกล่าวไว้ในงานวิจัยที่ผ่านมา (สมชาติ, 2540, จารุวรรณ และคณะ, 2550, สุริยา และคณะ, 2551; Tirawanichakul *et al*., 2008; Thuwapanichayanan *et al*., 2011)

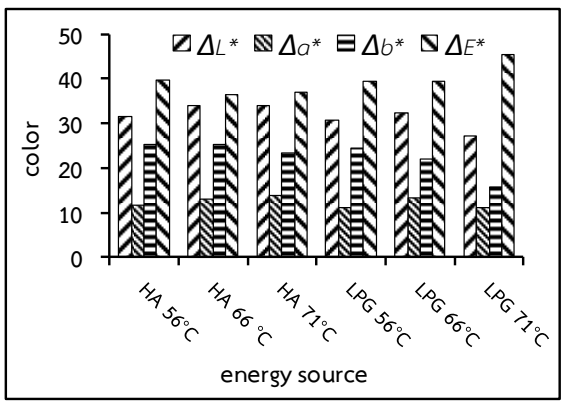


รูปที่ 5 ร้อยละการหดตัวของกล้วย ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

หมายเหตุ: energy source หมายถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง
HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

3. การทดสอบสีของกล้วยอบแห้ง

ค่าความแตกต่างของสีของกล้วยอบที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกล้วยอ้างอิงที่ซื้อมาจากตลาดทวีทรัพย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

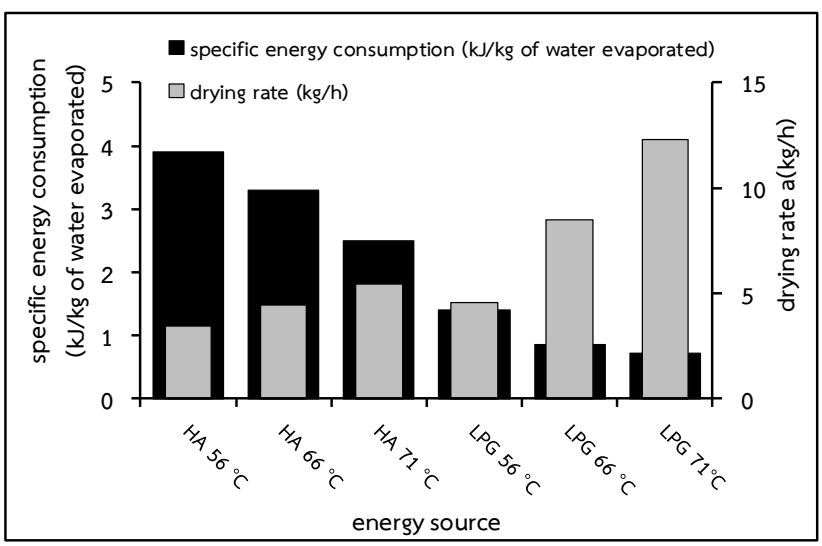
หมายเหตุ: energy source หมายถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง
HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า และพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นทั้งกรณีการอบแห้งด้วยโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG) โดยจะมีความสว่าง (ΔL^*) ความเป็นสีแดง (Δa^*) ความเป็นสีเหลือง (Δb^*) มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และกรณีโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 71 องศาเซลเซียส จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^* ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 5) มีค่าสูงที่สุด มีความหมายทางกายภาพว่า กล้วยอบแห้งมีสีน้ำตาลเข้มกว่าการอบแห้งกล้วยด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำกว่า โดยมีสาเหตุของความเข้มสีที่สูง มาจากการเปลี่ยนแปลงจากน้ำตาลในผลกล้วยที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยระหว่างกระบวนการอบแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Tasara, 2011; สมชาติ, 2540)

4. ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง

จากรูปที่ 7 แสดงผลของค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG) กราฟรูปที่ 7 แกนตั้งซ้ายมือแสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ขณะที่แกนตั้งทางขวามือแสดงอัตราการอบแห้งของแต่ละการทดลอง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในแต่ละการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า จะแทนด้วยกราฟแท่งสีดำเข้ม ส่วนผลของการคำนวณค่าอัตราการอบแห้งของกล้วยเล็บมือนางทั้งสองแหล่งพลังงาน จะแทนด้วยกราฟ

แท่งสีเทา จากผลการศึกษาแสดงตามกราฟรูปที่ 7 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่มีค่าสูงเพิ่มขึ้นทั้งการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยแหล่งพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า และแหล่งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม จะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งต่ำลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ (ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง มีหน่วยเป็นพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อการระเหยน้ำออกจากกล้วยเล็บมือนางมวล 1 กิโลกรัม (kg) ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) ของน้ำที่ระเหย หรือค่าแสดงในกราฟ คือ kJ/kg of water evaporated) และส่งผลให้อัตราการอบแห้ง (drying rate) กล้วยเล็บมือนางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง ดังแสดงผลในกราฟแท่งสีเทา ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/h)



รูปที่ 7 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง
โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)
หมายเหตุ: energy source หมายถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง
HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า
และพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

5. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการชิม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม และการรับรู้รสโดยประสาทสัมผัสถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาลักษณะของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ และได้ให้ผู้ทดสอบการชิมให้คะแนนตามประสาทสัมผัสรับรู้รส กลิ่น สี และความชอบโดยรวม เลือกใช้คะแนน 1-9 ตาม hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คนแสดงผลการประเมินการรับรู้โดยประสาทสัมผัส ดังตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบเมื่อเทียบกับกล้วยอ้างอิงที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ตลาดทวีทรัพย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่า กล้วยเล็บมือนางที่ได้

จากการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG) มีค่าระดับคะแนนในช่วงที่มากกว่า 5 สูงสุด คือ เท่ากับ 7.03 คะแนน โดยมีระดับความชอบอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบปานกลาง เมื่อเทียบกับกล้วยเล็บมือนางอบแห้งอ้างอิงที่ซื้อจากตลาด ค่าระดับคะแนนในช่วงที่มากกว่า 6.6 สูงสุดคือเท่ากับ 7.23 คะแนน อย่างไรก็ตาม พบว่า ความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางที่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG) ทุกอุณหภูมิอบแห้งนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไปเมื่อเทียบกับกล้วยอบแห้งอ้างอิง ซึ่งเป็นกล้วยอบแห้งเล็บมือนางที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง (องศาเซลเซียส)	สี (color)	กลิ่นรส (aroma)	ความนุ่ม (softness)	ความเหนียว (toughness)	ความหวาน (sweetness)	ความยอมรับโดยรวม (overall acceptability)
ผลการทดสอบประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า						
56	6.13^{b}	6.53^{ab}	5.90^{b}	6.27^{b}	6.83^{a}	7.00^{a}
66	6.57^{ab}	6.67^{ab}	6.17^{b}	6.67^{ab}	6.93^{a}	7.00^{a}
71	6.17^{b}	6.67^{ab}	6.17^{b}	6.23^{b}	6.80^{a}	6.73^{a}
ผลการทดสอบประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม						
56	6.23^{b}	6.5^{ab}	6.17^{b}	6.43^{ab}	7.13^{a}	7.00^{a}
66	5.83^{b}	6.43^{b}	5.47^{bc}	6.07^{b}	6.53^{ab}	6.47^{ab}
71	5.37^{c}	6.30^{b}	6.20^{b}	6.30^{b}	7.03^{a}	6.77^{a}
Ref	7.07^{a}	7.07^{a}	6.60^{ab}	6.70^{a}	7.07^{a}	7.23^{a}

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรห้อยที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน (column) หมายถึง ค่าข้อมูลนั้น ๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)
2. ระดับคะแนน 1=ไม่ชอบมากที่สุด 3=ไม่ชอบปานกลาง 5=เฉยๆ 7=ชอบปานกลาง 9=ชอบมากที่สุด และ Ref. หมายถึง กล้วยเล็บมือนางอบแห้งอ้างอิง ซึ่งเป็นกล้วยอบแห้งเล็บมือนางที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งแหล่งพลังงานความร้อนกล้วยเล็บมือนางนั้น สามารถเลือกใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้าหรือแหล่งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มได้ทั้งสองแหล่งพลังงาน โดยการใช้ก๊าซหุงต้มจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่ากรณีอบแห้งด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้าทุก ๆ ค่าอุณหภูมิอบแห้งในช่วง 55-70 องศาเซลเซียส และปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งโดยตรง กล่าวคือ อัตราการระเหยน้ำออกจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งสูงจะมีค่าสูงกว่าอัตราการการระเหยน้ำของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ส่งผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และเมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของกล้วยอบแห้งในช่วงอุณหภูมิอบแห้งไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ในเทอมของค่าร้อยละการหดตัวของกล้วยเล็บมือนาง พบว่า ร้อยละของการหดตัวจะเกิดขึ้นกับกล้วยเล็บมือนางอบแห้งทุกค่าอุณหภูมิอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยกรณีการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มจะมีค่าการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้าเล็กน้อยเนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้คงที่มากกว่า ทำให้การดึงน้ำออกจากกล้วยเล็บมือนางเร็วกว่า สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับกล้วยเล็บมือนางอบแห้งอ้างอิงซึ่งมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ โดยมีแนวโน้มระดับความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า อยู่ในระดับปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำการวัดสี และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และงบประมาณในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *กล้วยเล็บมือนาง*. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2562, จาก: http://www.most.go.th/main/index.php/summarytechnology/food-processing-technology/1312-2010-02-03-05-25-39.html.

จารุวรรณ กุลวิศว สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2550). ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*., 30(4)(ฉบับพิเศษ), 611-621.

พรพรรณ รพี. (2530). *ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยของกองโภชนาการ กรมอนามัย*. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2562, จาก: http://www.booktime.co.th/new/articledetail.php?t_id=1403000022#.VGIuYvmsXoE.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2551). *ก๊าซ LPG พลังงานสำหรับการหุงต้ม*. สืบค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2562, จาก: http://www.eppo.go.th/encon./Publication/word_files/AW_LPG_Update.pdf.

สุริยา อติวิทยาภรณ์ กมลวรรณ แจ้งชัด และอนุวัตร แจ้งชัด. (2551). การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยตากแบบลมร้อนร่วมกับการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟระบบสูญญากาศ. ใน *การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46* (หน้า 612-620). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุรักษ์ ตรีเพ็ชร ปริญญา หม่อมพิบูลย์ เฉลิมขวัญ สมใจ มนตรี เรืองประดับ เปมิกา แซ่เตียว และณปภัช จันทรเมือง. (2559). เชื้อเพลิงแก๊สซิฟิเคชันจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตไฟฟ้า: อีกทางเลือกของพลังงานทดแทนของภาคใต้. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 35(1), 13-25.

AOAC. (2000). *Official method of analysis*. (16th ed). Washington D.C.: Association of Official Agricultural Chemists.

Tasara, J. (2011). *Optimum drying of standard Thai rubber (STR)*. Ph.D. Thesis in Chemical Engineering. Prince of Songkla University, Songkhla.

Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J. and Soponronnarit, S. (2011). Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1502-1510.

Tirawanichakul, S., Na Phatthalung, W. and Tirawanichakul, Y. (2008). Drying strategy of shrimp using hot air convection and hybrid infrared radiation and hot air convection. *Walailak Journal of Science and Technology*, 5(1), 77-100.

Wilton, P., Cleide, M., Fernando, J. and Josivanda, P. (2014). Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(1), 67-74.

ผลผลิตและคุณสมบัติของแป้งสาคูระยะต่าง ๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช
Yields and Properties of Sago Flour (*Metroxylon sagu* Rottb.) on the Different Stages of Sago Palm Tree in Nakhon Si Thammarat Province

ฉัตรชัย สังข์ผุด[1*] จีราภรณ์ สังข์ผุด[1] และ อนุสรณ์ บรรลือพืช[1]
Chatchai Sungpud[1*], Jeeraporn Sungpud[1] and Anusorn Banluepuech[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากส่วนต่าง ๆ ของต้นสาคู ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ภาคใต้ของประเทศไทย โดยศึกษาในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต มีการวัดขนาดน้ำหนักของต้นสาคู ผลผลิตแป้ง คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และฤทธิ์ทางชีวภาพของแป้งสาคูที่เจริญต่างกัน 3 ระยะคือ ระยะ 1 (อายุ 6-7 ปี) ระยะ 2 (ก่อนออกดอกอายุ 8-9 ปี) และระยะ 3 (ออกดอกเขากวางอายุมากกว่า 9 ปี) ผลการวิจัยพบว่าต้นสาคูระยะ 1 2 และ 3 มีน้ำหนักทั้งต้น 654.45±72.81 780.70±92.53 และ 922.00±152.62 กิโลกรัมต่อต้น คำนวณเป็นน้ำหนักเนื้อ 525.46±55.49 628.40±34.50 และ 714.61±40.53 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อนำมาสกัดแป้งพบว่า ผลผลิตแป้งสาคูระยะ 3 มีค่าสูงสุดร้อยละ 19.77±0.68 ของน้ำหนักเนื้อ ผลการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของแป้งสาคูพบว่าแป้งสาคูระยะ 2 มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุด 133.57±22.89 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม มีฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ (% DPPH radical scavenging activity) ที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เท่ากับร้อยละ 62.60±11.21 ค่าสี (CIE L*, a*, b*) มีค่าความสว่าง (L*) ในช่วง 89.12-90.17 ค่า a* ในช่วง 1.49-4.30 และค่า b* ในช่วง 6.35-7.36 แป้งสาคูระยะ 1 และ 2 มีลักษณะสีขาวนวล ส่วนแป้งสาคูระยะ 3 มีสีขาวอมชมพูเล็กน้อย ผลการตรวจสอบรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งสาคูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิสชัน พบว่าแป้งมีลักษณะพื้นผิวเรียบมีรูปร่างของเม็ดแป้งเป็นรูปไข่ เม็ดแป้งระยะ 1 2 และ 3 มีขนาด 12-42 6-37 และ 15-47 ไมโครเมตร ตามลำดับ งานวิจัยนี้สรุปได้ว่าการเก็บเกี่ยวแป้งสาคูควรเลือกใช้ต้นสาคูระยะ 2-3 ผลผลิตแป้งสาคูสูง สารประกอบฟีโนลิกและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องสำอางและอาหารทางเลือกสำหรับคนรักสุขภาพ

คำสำคัญ: ผลผลิต แป้งสาคู คุณสมบัติ

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
[*] Corresponding author e-mail: Chatchai-sung@hotmail.com

Received: 12 February 2019, Revised: 4 April 2019, Accepted: 24 April 2019

Abstract

The objective of this research is to know the utilization of sago palm tree from Nakhon Si Thammarat province, southern Thailand. Our aim is to investigate the production of sago flour from palm trees of different growth stages. This research also identifies the physicochemical properties of sago flour produced from three different growth staged palm trees; 1st stage: the plants aged from 6-7 years, 2nd stage: the plants before starting of flowering period and 3rd stage: starting from flowering stage to antler shape period. Sago was collected from stem base, central trunk, and stem end. The whole body weight (mean ± standard deviation) of 1st, 2nd and 3rd staged plants were 654.45±72.81, 780.70±92.53 and 922.00±152.62 kg/tree, respectively, and debarked parts weight were 525.46±55.49, 628.40±34.50 and 714.61±40.53 kg/tree, respectively. During comparing the sago production from three staged plants, 3rd staged plants produced the highest percentage of sago (19.77± 0.68%). When phenolic compound and antioxidant activity of sago flour were compared, it was observed that 2nd staged plants produced the highest amount of phenolic compound (133.57±22.89 mg GAE/100 g) and highest percentage of antioxidant (62.60±11.21%). Antioxidant was measured in terms of % radical scavenging activity at 100 mg/ml. Color values (CIE L*, a*, b*) of sago flour produced from different staged plants were different. Sago flour found from 1st and 2nd staged plants were more white (L*-1st stage: 90.17±0.80, 2nd stage: 89.86±0.69; a*-1st stage: 1.49±0.87, 2nd stage: 2.10±1.48; b*-1st stage: 7.03±0.83, 2nd stage: 7.36±1.23), while sago flour produced from 3rd staged plants were pinkish-white (L* 89.12±1.16, a* 4.30±1.90, and b* 6.35±1.76). Study of the shape and size of sago starch granules with field emission scanning electron microscope found that sago flour had smooth surface and oval shape. During measuring the particle sizes of flour granules (found from 1st, 2nd and 3rd staged plants) the sizes were observed about 12-42, 6-37 and 15-47 micrometer, respectively. This study confirms that during sago harvesting, people should choose 2nd and 3rd staged plants due to higher sago yield, as well as due to higher phenolic compound and antioxidant activity in sago flour which could be beneficial for cosmetic production and for the people who are health-conscious.

Keywords: Yield, Sago palm flour, Properties

บทนำ

ปาล์มสาคู (sago palm) เป็นพืชตระกูลปาล์ม (Arecaceae) แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ชนิดก้านใบ (ทาง) ไม่มีหนามมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Metroxylon sago* Rottb. กับชนิดก้านใบมีหนาม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *M. rumphii* Mart. สาคูทั้งสองชนิดนี้เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ช่วงต้นยังเล็กอยู่ลักษณะเหมือนต้น (กอ) จาก เมื่อมีอายุหรือต้นแก่จะมีลำต้นตรงเหมือนกับต้นมะพร้าว มีขนาดเส้นรอบวง 90-120 เซนติเมตร สูง 7-15 เมตร อายุ 10-15 ปี ในลำต้นมีแป้งสะสมปริมาณมาก ท้องถิ่นต่าง ๆ ที่มีต้นพืชสาคู พบว่า มีการนำแป้งจากต้นสาคู มาใช้เป็นอาหารมนุษย์ และอาหารสัตว์มานานหลายพันปี และยังค้นพบหลักฐานทางโบราณวัตถุว่ามนุษย์ใช้สาคูเป็นอาหารก่อนการปลูกข้าว (Yang *et al*., 2013) ขั้นตอนการผลิตแป้งจากต้นสาคูทั้งแบบวิธีพื้นบ้าน วิธีพัฒนา และวิธีที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม มีหลักการไม่แตกต่างกัน คือ เลือกต้นสาคูที่อายุประมาณ 9 ปีขึ้นไป โดยสังเกตได้จากดอกที่พัฒนาขึ้นมาบริเวณยอดของลำต้น จากนั้นโค่นต้นสาคู แล้วตัดให้เป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 1-1.2 เมตร ปอกเปลือกนำเนื้อสาคูมาบดหรือขูดให้ละเอียด แล้วคั้นชะล้างแป้งกับน้ำ ซึ่งสังเกตจากน้ำสีขาวขุ่นออกมา กรองด้วยตะแกรงหรือผ้ากรอง เก็บส่วนที่เป็นน้ำ ตั้งทิ้งให้ตกตะกอนแป้งที่ก้นภาชนะ รินน้ำทิ้งและเปลี่ยนน้ำล้างจนกว่าแป้งจะขาวบริสุทธิ์ จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยวิธีการอบหรือตากแดด โดยให้มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 บดเป็นผงร่อนแยกขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนแล้วบรรจุ ผลจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชของคณะผู้วิจัย พบว่า วัตถุดิบเนื้อสาคู 100 กิโลกรัม สกัดแป้งได้ 15-20 กิโลกรัม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณและคุณภาพของแป้งสาคูมีหลายประการ จากการศึกษาด้วยการสัมภาษณ์ ทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการทดลองปฏิบัติเบื้องต้น พบว่า ระยะอายุของต้นสาคู ส่วนต่าง ๆ ของต้นสาคู สภาพของพื้นที่ปลูก วิธีการเก็บรักษาต้นสาคู เครื่องมือ อุปกรณ์และกระบวนการผลิตแป้ง มีบทบาทสำคัญต่อปริมาณและคุณภาพของแป้ง (กล้าณรงค์ และคณะ, 2542)

เมื่อต้นสาคูมีอายุตั้งแต่ระยะ 4.5 ปี ขึ้นไป จะเริ่มสร้างเม็ดแป้งแทรกสะสมไว้ในช่องว่างระหว่างเส้นใยของลำต้น องค์ประกอบของแป้งสาคูบริสุทธิ์โดยเฉลี่ยมีอะไมโลสประมาณร้อยละ 24 และ 31 (Karim *et al.,* 2008) ต้นสาคูระยะออกดอกเขากวางอายุประมาณ 7 ปี มีปริมาณแป้งสะสมสูงสุด สามารถนำมาสกัดแป้งได้ประมาณ 75-100 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับขนาดและความสมบูรณ์ของลำต้น หากใช้ลำต้นที่มีอายุ 4.5-6.5 ปี สกัดแป้งได้เพียง 40-50 กิโลกรัมต่อต้น นอกจากได้ปริมาณของแป้งที่แตกต่างกันแล้วสีของแป้งก็แตกต่างกันด้วย โดยแป้งที่สกัดจากต้นสาคูที่ยังไม่สมบูรณ์เต็มที่จะมีสีขาวนวล แต่หากใช้ต้นสาคูที่ออกดอกจะได้แป้งที่มีลักษณะสีชมพูอ่อน เนื่องจากต้นสาคูจะสร้างและสะสมสารกลุ่มฟีนอลิก (Karim *et al.,* 2008) ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามอายุของลำต้น และเมื่อพิจารณาจากส่วนต่าง ๆ ภายในลำต้นของสาคู พบว่า ส่วนกลางของลำต้นมีปริมาณแป้งสะสมมากที่สุด รองลงมาคือ ส่วนโคนต้น และส่วนปลายของลำต้น

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งสาคูในประเทศมาเลเซียที่ระยะการเจริญแตกต่างกัน 4 ช่วง คือ ต้นสาคูที่มีอายุการปลูก 10 ปี ระยะเวลาการเจริญของลำต้น 4.5 ปี ลำต้นสามารถเจริญได้ประมาณร้อยละ 75 ต้นสาคูมีอายุการปลูก 12 ปี ระยะเวลาการเจริญของลำตัน 6.5 ปี (ก่อนออกดอก) ต้นสาคูมีอายุการปลูก 12.5 ปี ระยะเวลาการเจริญของลำตัน 7 ปี (ออกดอกเขากวาง) และต้นสาคูที่มีอายุการปลูก 14 ปี ระยะเวลาการเจริญของลำต้น 8.5 ปี (ออกผล) มีปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า

และไขมัน แตกต่างกันเล็กน้อยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.62-16.96 0.05-0.09 0.12-0.18 และ 0.17-0.24 ตามลำดับ มีปริมาณแป้งไม่แตกต่างกัน คือร้อยละ 92-94 แป้งสาคูมีลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งเป็นรูปไข่ อนุภาคกระจายขนาดตั้งแต่ 20-60 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับอนุภาคของแป้งข้าวเจ้า (3-10 ไมโครเมตร) แต่มีขนาดเล็กกว่าแป้งมันฝรั่ง (15-85 ไมโครเมตร) เมื่อต้นสาคูมีอายุมากขึ้นจนถึงระยะออกผลที่สมบูรณ์ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ดแป้งส่วนใหญ่จะมีขนาดที่โตขึ้น (Uthumporn *et al*., 2014)

ปัจจุบันยังขาดข้อมูลเชิงพื้นที่เกี่ยวกับปริมาณและคุณภาพของแป้งในต้นสาคูที่ปลูกในประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดนครศรีธรรมราชและใกล้เคียง ดังนั้นความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปริมาณผลผลิตแป้งและคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของแป้งสาคู ได้แก่ คุณสมบัติด้านเคมีกายภาพ รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง คุณสมบัติการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบในแป้งที่ได้จากต้นสาคู อายุของต้น และตำแหน่งของต้น จะเป็นข้อมูลที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการตระหนักรู้และเกิดการสร้างสรรค์ประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแป้งสาคูในด้านต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย ซึ่งนักวิจัยคาดว่าพืชสาคูน่าจะเป็นตัวอย่างพืชทางเลือกใหม่สำหรับเกษตรกรชาวจังหวัดนครศรีธรรมราชและชาวปักษ์ใต้ที่ต้องการประกอบอาชีพสร้างรายได้พึ่งตนเองอย่างยั่งยืน

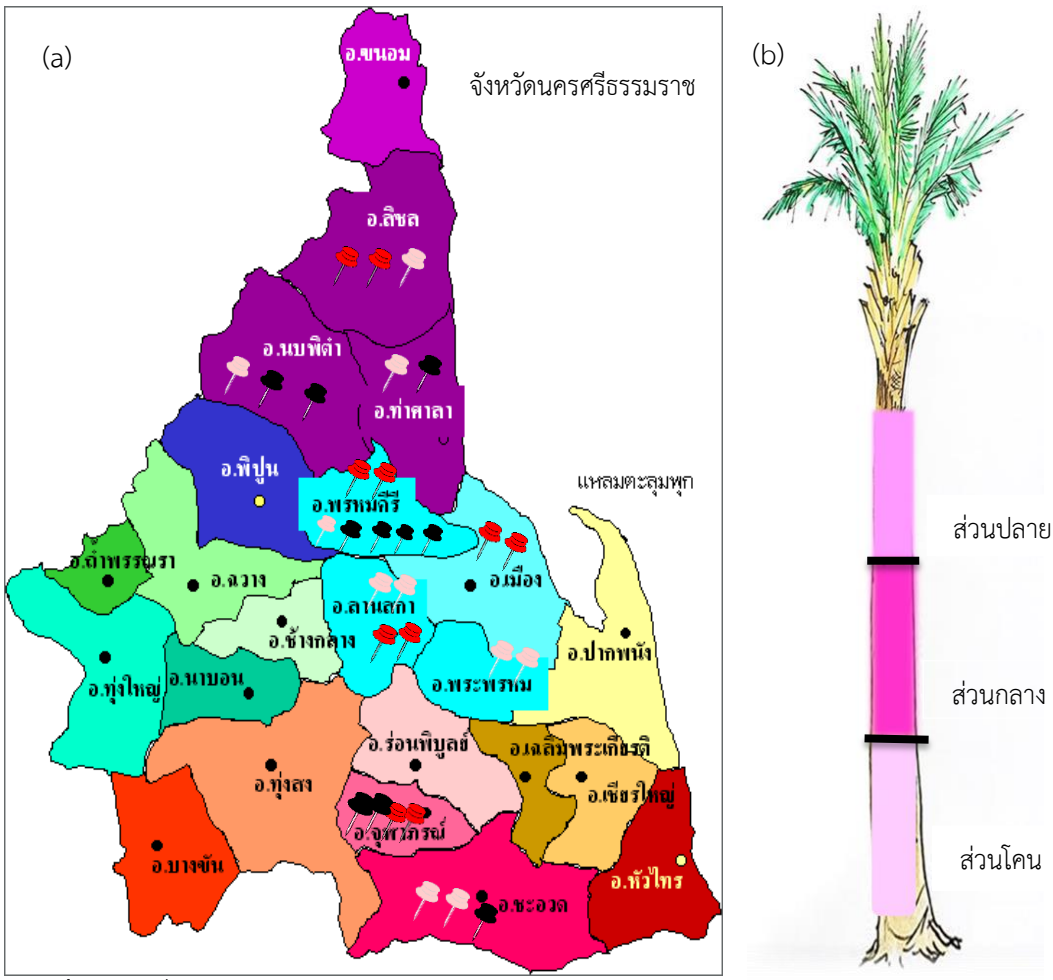
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) แบ่งเป็น 3 บล็อก ๆ ละ 10 ซ้ำ ๆ ละ 1 ต้น โดยเก็บตัวอย่างต้นสาคูสายพันธุ์ *M. sago* Rottb. ที่เจริญแตกต่างกัน 3 ระยะ คือ ระยะ 1 (อายุประมาณ 6-7 ปี) จากอำเภอเมือง จุฬาภรณ์ ลานสกา สิชล และพรหมคีรี (ภาพที่ 1 a) ระยะ 2 (อายุประมาณ 8-9 ปี หรือก่อนออกดอก) จากอำเภอพรหมคีรี ท่าศาลา ลานสกา จุฬาภรณ์ นบพิตำ และชะอวด และระยะ 3 (อายุมากกว่า 9 ปีหรือออกดอกเขากวาง) จากอำเภอเมือง ท่าศาลา พรหมคีรี สิชล จุฬาภรณ์ ลานสกา นบพิตำ และชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช ระยะละ 10 ต้น

2. การเตรียมต้นสาคู

ทำการโค่นต้นสาคูโดยใช้เครื่องเลื่อยไฟฟ้า เลื่อยบริเวณโคนต้นสาคู ทำการวัดขนาดความยาวของลำต้น หั่นให้เป็นท่อน ๆ แต่ละท่อนมีความยาวท่อนละ 60 เซนติเมตร ทำเครื่องหมายเก็บตัวอย่างจากส่วนต่าง ๆ ของลำต้น 3 ส่วน คือ ส่วนโคน กลาง และปลายของลำต้น (ภาพที่ 1 b) ทำการเลาะเอาส่วนกาบนอกของต้นสาคูออก ชั่งน้ำหนักท่อนสาคูทุกท่อน เพื่อหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยของลำต้น วัดขนาดเส้นรอบวง และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อนสาคูทั้ง 3 ส่วน ที่เก็บตัวอย่างมา นำแต่ละท่อนมาผ่าออกเป็นพู เพื่อนำไปขูดเอาเฉพาะเนื้อแป้งโดยใช้เครื่องขูดไฟฟ้า



ภาพที่ 1 แผนที่การเก็บตัวอย่างต้นสาคู (a) และการแบ่งส่วนต่าง ๆ ของลำต้นสาคู (b)

หมายเหตุ: จุดเก็บตัวอย่างต้นสาคูระยะที่ 1 อายุประมาณ 6-7 ปี
จุดเก็บตัวอย่างต้นสาคูระยะที่ 2 อายุประมาณ 8-9 ปี หรือระยะกำลังจะออกดอก
จุดเก็บตัวอย่างต้นสาคูระยะที่ 3 ระยะออกดอกเขากวาง

3. การเตรียมแป้งสาคู

ชั่งน้ำหนักเนื้อสาคูทั้งหมดเพื่อนำมาหาปริมาณผลผลิตแต่ละระยะของต้นสาคู โดยชั่งน้ำหนักเนื้อ แล้วสุ่มตัวอย่างเนื้อสาคูบดมาท่อนละ 3 กิโลกรัม โดยแบ่งเป็น 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 กิโลกรัม เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณผลผลิต ชั่งน้ำหนักเนื้อสาคูสด นำมาตำให้ละเอียด คั้นกับน้ำด้วยวิธีการตีปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที แล้วนำมาคั้นด้วยมืออีกรอบ กรองผ่านผ้ากรอง เติมน้ำล้าง และคั้น 3 ครั้ง เก็บส่วนที่เป็นน้ำทั้งหมดกรองด้วยตะแกรงขนาด 20 ไมโครเมตร รอให้แป้งตกตะกอนเกาะตัวแน่นจมอยู่ที่ก้นภาชนะ รินน้ำทิ้งและเปลี่ยนน้ำ คนให้แป้งลอย รอให้ตกตะกอนอีกครั้ง เพื่อแยกสีและสิ่งสกปรกออกจะได้แป้งบริสุทธิ์ที่ขาวสะอาด อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 ชั่งน้ำหนักแป้งสาคูหลังอบแห้ง นำมา

คำนวณหาปริมาณผลผลิตแป้งสาคู (% yield) ร่อนแยกขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อน 500 ไมโครเมตร บรรจุถุงโพลีเอทธิลีนเพื่อใช้สำหรับการทดลอง

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 ข้อมูลขนาดและปริมาณผลผลิต เกี่ยวกับความยาวลำต้น (เมตร) น้ำหนักสาคูทั้งต้น (กิโลกรัม) น้ำหนักเนื้อสาคูทั้งต้น (กิโลกรัม) ผลผลิตแป้งจากส่วนต่าง ๆ ของต้นสาคู (ร้อยละ) และผลผลิตแป้งต่อต้น (กิโลกรัม)

4.2 ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพด้านฤทธิ์ทางชีวภาพ นำตัวอย่างแป้งจากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นมาวิเคราะห์ทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังต่อไปนี้

1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteau colotimetric ตามวิธีของ Soong and Barlow (2004) โดยปิเปตสารสกัดที่ละลายด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย Folin (Folin-Ciocalteau reagent: น้ำกลั่น 1:10 โดยปริมาตร) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากัน บ่มอุณหภูมิห้องในที่มืด 60 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายกรดแกลลิก (gallic acid) เป็นสารละลายมาตรฐาน (0 20 40 60 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิก (gallic acid equivalent, GAE) ต่อ 100 กรัมของตัวอย่าง

2) 1,1-diphenyl-2-picrydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay ตามวิธีของ Agbor *et al.* (2006) โดยปิเปตสารสกัดที่ละลายด้วยเอทานอลปริมาตร 100 ไมโครกรัม และเติมสารละลาย DPPH (100 ไมโครโมลาร์ในเมทานอล ทำการเจือจางด้วยเมทานอล จนมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเป็น 515 นาโนเมตร เป็น 0.685-0.687 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากัน และบ่มอุณหภูมิห้องในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายแอสคอร์บิก (วิตามินซี) เป็นสารละลายมาตรฐาน (ความเข้มข้น 0 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ไมโครโมลาร์) คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของแป้งในหน่วยไมโครโมลาร์ของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid equivalent antioxidant capacity; AEAC) ต่อ 100 กรัมของตัวอย่าง และคำนวณในรูปร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity) วัดค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 จากปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้น (IC_{50})

4.3 ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ นำตัวอย่างแป้งจากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นมาวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1) วัดค่าสี ระบบ CIE L*a*b* โดยใช้เครื่อง colorimeter

2) วัดขนาดและรูปร่างของอนุภาค เม็ดแป้งด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิสชัน (field emission scanning electron microscope; FESEM)

5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ SPSS เวอร์ชัน 20.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ข้อมูลต้นสาคู

พบว่าระยะ 1 2 และ 3 มีเส้นรอบวงเฉลี่ย 138.93±1.55 145±5.65 และ 138.70±5.09 เซนติเมตรต่อต้น และเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย 43.00±0.70 43.47±1.16 และ 43.07±1.70 เซนติเมตรต่อต้น (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับงาน Michiel (1997) พบว่า ต้นสาคูมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35-60 เซนติเมตร ต้นสาคูระยะ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยท่อนสาคูแต่ละส่วนสูงสุดเท่ากับ 317.13±56.91 กิโลกรัม และน้ำหนักเนื้อสาคูระยะ 3 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 246.68±44.30 กิโลกรัม โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับระยะ 1 และ 2 ซึ่งสัมพันธ์กับการวิจัยของนิพนธ์ และคณะ (2552) ที่วัดค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปลือกเท่ากับ 200.90 กิโลกรัม

2. ผลผลิตแป้งสาคู

พบว่าแป้งสาคูระยะ1 มีผลผลิตแป้งส่วนโคนและกลางสูงสุด มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับส่วนปลาย โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 15.46±3.52 15.452.45 และ 3.85±0.69 ตามลำดับ คิดเป็นผลผลิตแป้งเฉลี่ยต่อต้นร้อยละ 11.59±6.70 ส่วนแป้งสาคูระยะ 2 มีผลผลิตแป้งจากส่วนโคน กลาง และปลายไม่มีความแตกต่างทางสถิติคือร้อยละ 20.06±1.77 20.00±4.62 และ 17.46±4.47 (ตารางที่ 2) ผลผลิตแป้งเฉลี่ยร้อยละ 19.77±0.68 และสาคูระยะ 3 ผลผลิตแป้งจากส่วนโคน กลาง และปลาย ไม่มีความแตกต่างทางสถิติคือร้อยละ 20.06±5.90 20.25±4.51 และ 18.99±5.56 สอดคล้องกับงานวิจัยของเปลื้อง และมงคล (2557) ที่พบว่าแป้งสาคูมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 20 ต้นสาคูระยะ 3 มีน้ำหนักทั้งต้นสูงสุดเท่ากับ 922.00±152.62 กิโลกรัม โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับระยะ 1 และ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องจากต้นสาคูระยะออกดอกเขากวางมีการสร้างแป้งและสะสมไว้ที่ลำต้นเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นสาคู โดยใกล้เคียงกับรายงานวิจัยของเปลื้อง และคณะ (2558) ซึ่งพบว่าน้ำหนักเนื้อสาคูทั้งต้นเท่ากับ 890 กิโลกรัม

ตารางที่ 1 ขนาดและน้ำหนักของต้นสาคูระยะต่าง ๆ

ระยะการเจริญ	ส่วนต่าง ๆ	เส้นรอบวง (ซม.)^{ns}	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)^{ns}	น้ำหนักต้นสาคูแต่ละส่วน (กก.)	น้ำหนักเนื้อสาคู (กก.)
ระยะ 1 (อายุ 6-7 ปี)	โคน	137.20±8.72	42.30±1.57	216.80±48.83^{a}	174.64±40.16^{a}
	กลาง	140.00±7.38	43.70±2.54	212.50±36.01^{a}	170.89±29.04^{a}
	ปลาย	139.60±8.67	43.00±3.02	134.20±26.36^{b}	107.82±20.90^{b}
เฉลี่ย		**138.93±1.55**	**43.00±0.70**	**187.83±46.50^{B}**	**151.12±37.54^{B}**
ระยะ 2 (ก่อนออกดอก)	โคน	139.30±15.98	42.40±3.75	300.55±72.11^{ns}	241.53±61.37^{ns}
	กลาง	147.30±14.02	44.70±4.22	348.00±65.51^{ns}	280.44±58.34^{ns}
	ปลาย	150.20±13.36	43.30±5.01	223.10±90.70^{ns}	178.54±69.29^{ns}
เฉลี่ย		**145.60±5.65**	**43.47±1.16**	**290.55±63.05^{AB}**	**233.50±51.42^{AB}**
ระยะ 3 (ออกดอกเขากวาง)	โคน	134.00±10.31	41.30±3.20	337.70±134.49^{ns}	261.79±102.57^{ns}
	กลาง	141.30±16.71	43.20±4.98	360.90±167.91^{ns}	279.66±127.43^{ns}
	ปลาย	143.80±13.07	44.70±3.89	252.80±104.85^{ns}	195.58±78.23^{ns}
เฉลี่ย		**138.70±5.09**	**43.07±1.70**	**317.13±56.91^{A}**	**245.68±44.30^{A}**

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างสาคูระยะละ 10 ต้น
2. เครื่องหมาย a และ b ในคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
3. ns หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ของสาคูจากส่วนต่าง ๆ ในระยะเดียวกัน
4. เครื่องหมาย A และ B ในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในแต่ละระยะโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

3. ผลข้อมูลการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ

ผลการทดสอบฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งสาคู พบว่า แป้งสาคูระยะ 2 พบสูงสุด 133.57±22.89 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนแป้งสาคูระยะ 1 พบต่ำสุดเท่ากับ 99.87±9.98 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ปอเยาะทุเรียนและทุเรียนสด พบว่ามีปริมาณฟีโนลิกเท่ากับ 0.18±0.14 ไมโครกรัม GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.04±0.04 ไมโครกรัม GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง (ลัญจกร และคณะ, 2559) และงานวิจัยของละอองศรี และคณะ (2561) พบว่ามันญี่ปุ่นเนื้อสีเหลืองและมันญี่ปุ่นเนื้อสีม่วงเข้มมีปริมาณฟนอลิก 42.39 และ 49.48 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแป้งสาคูมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ ส่วนค่าร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ ที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.49±5.58 และ 62.60±11.21 ตามลำดับ เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นของสารสกัดจากแป้งสาคูที่สามารถออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) พบว่า แป้งสาคูระยะ 2 ก่อนออกดอก มีค่า IC_{50} มีฤทธิ์ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 80.20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อาจเนื่องมาจากเมื่อต้นสาคูมีอายุมากขึ้นจะสร้างและสะสมสารในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่เม็ดแป้งในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามอายุของลำต้น (Karim *et al.,* 2008) จึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง แต่เมื่อต้นสาคูเข้าสู่ระยะ 3 ออกดอกเขากวางจะมีการนำแป้งจาก

ส่วนลำต้นไปใช้ในการสร้างดอกและบำรุงผล จึงส่งผลให้ความสามารถในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิตแป้งในต้นสาคูระยะต่าง ๆ

ระยะการเจริญ	ส่วนต่าง ๆ	ผลผลิตแป้ง (ร้อยละ)	ผลผลิตแป้งเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความยาวลำต้น (เมตร)	น้ำหนักสาคูทั้งต้น(กก.)	น้ำหนักเนื้อสาคูทั้งต้น (กก.)	ผลผลิตแป้งต่อต้น (กก.)
ระยะ1	โคน	15.46±3.52^{a}	11.59±6.70^{B}	6.05±1.05^{C}	654.45±72.81^{C}	525.46±55.50	67.12±15.68
	กลาง	15.45±2.45^{a}					
	ปลาย	3.85±0.69^{b}					
เฉลี่ย		**11.59±1.43^{B}**					
ระยะ2	โคน	20.06±1.77^{ns}	19.17±1.48^{A}	7.01±1.29^{B}	780.70±92.53^{B}	628.40±34.50	123.31±9.43
	กลาง	20.00±4.62^{ns}					
	ปลาย	17.46±4.47^{ns}					
เฉลี่ย		**19.17±1.6^{A}**					
ระยะ3	โคน	20.06±5.90^{ns}	19.77±0.68^{A}	8.18±2.51^{A}	922.00±152.62^{A}	714.61±40.53	135.52±7.31
	กลาง	20.25±4.51^{ns}					
	ปลาย	18.99±5.56^{ns}					
เฉลี่ย		**19.77±0.73^{A}**					

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างสาคูระยะละ 10 ต้น
2. เครื่องหมาย a และ b ในคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
3. ns หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ของสาคูจากส่วนต่าง ๆ ในระยะเดียวกัน
4. เครื่องหมาย A B และ C ในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในแต่ละระยะโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

4. ค่าสีของแป้งสาคู (L*, a*, b*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี colorimeter

พบว่า ต้นสาคูระยะ 1 และ 2 มีค่าความสว่างของแป้งสูงสุด 90.17±0.80 และ 89.86±0.69 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับแป้งสาคูระยะ 3 เท่ากับ 89.12±1.16 (ดังตารางที่ 4) ส่วนค่า a* ของแป้งสาคูระยะ3 มีค่าสูงสุด 4.30±1.90 และค่า b* ของแป้งสาคูระยะ 1 และ 2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เท่ากับ 7.03±0.83 และ 7.36±1.25 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแป้งสาคูระยะ 1 และ 2 แป้งมีลักษณะเป็นสีขาวนวล ส่วนแป้งสาคูระยะ 3 แป้งมีลักษณะสีขาวอมชมพูเล็กน้อย การที่แป้งสาคูมีสีที่แตกต่างกันอาจจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในเนื้อแป้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีแป้งเป็นสีชมพู (กล้าณรงค์ และคณะ, 2542) และสอดคล้องกับ Karim *et al.* (2008) พบว่าแป้งที่สกัดจากต้นสาคูที่ยังไม่สมบูรณ์เต็มที่จะมีสีขาวนวล แต่หากใช้ต้นสาคูออกดอกแป้งจะมีลักษณะสีชมพูอ่อน เนื่องจากต้นสาคูมีการสร้างและสะสมสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น

ตามอายุของลำต้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของศศิวิมล และคณะ (2552) พบว่า แป้งสาคูปัตตานี 2 มีสีขาวนวลแต่คล้ำกว่าแป้งสาลีเล็กน้อย ส่วนแป้งสาคูปัตตานี 1 มีสีขาวนวล

ตารางที่ 3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแป้งสาคูระยะต่าง ๆ

ระยะ	ส่วนต่าง ๆ	Phenolic content (มิลลิกรัม GAE/100 กรัม)	% DPPH free radical scavenging activity ที่ระดับความเข้ม (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) 20	50	100	IC_{50} (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)
ระยะ 1	โคน	106.44±8.03^{a}	14.41±3.23^{a}	24.36±3.72^{a}	45.94±3.39^{ns}	113.88±9.34^{a}
	กลาง	102.30±8.78^{a}	12.53±2.15^{ab}	21.15±1.58^{b}	44.31±2.98^{ns}	117.17±9.31^{b}
	ปลาย	90.87±4.12^{b}	11.84±1.98^{b}	19.18±1.48^{b}	40.15±9.78^{ns}	120.66±9.47^{b}
	เฉลี่ย	**99.87±9.98^{C}**	**12.93±2.79^{B}**	**21.56±3.33^{C}**	**43.47±6.79^{C}**	**117.24±9.94^{C}**
ระยะ 2	โคน	142.65±19.82^{ns}	21.41±5.64^{a}	35.74±5.45^{a}	67.98±10.32^{ns}	72.18±9.84^{a}
	กลาง	134.62±21.59^{ns}	18.94±5.63^{ab}	32.53±4.69^{ab}	61.79±10.41^{ns}	81.41±9.18^{ab}
	ปลาย	123.44±21.77^{ns}	15.85±4.96^{b}	29.20±4.13^{b}	58.04±9.94^{ns}	87.01±9.94^{b}
	เฉลี่ย	**133.57±22.89^{A}**	**18.73±5.98^{A}**	**32.49±5.58^{A}**	**62.60±11.21^{A}**	**80.20±11.63^{A}**
ระยะ 3	โคน	132.41±10.14^{a}	21.88±3.31^{a}	32.15±2.77^{a}	60.24±2.33^{a}	80.86±4.07^{a}
	กลาง	118.85±5.95^{b}	19.21±2.21^{b}	29.10±1.83^{b}	58.71±2.15^{ab}	85.57±4.21^{ab}
	ปลาย	111.71±8.81^{b}	15.94±1.91^{c}	25.82±2.29^{c}	56.60±3.63^{b}	90.19±6.70^{b}
	เฉลี่ย	**118.11±21.14^{B}**	**19.01±3.58^{A}**	**29.02±3.54^{B}**	**58.51±3.21^{B}**	**94.33±18.98^{B}**

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างสาคูระยะละ 10 ต้น
2. เครื่องหมาย a b และ c ในคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
3. ns หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ของสาคูจากส่วนต่าง ๆ ในระยะเดียวกัน
4. เครื่องหมาย A B และ C ในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในแต่ละระยะโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

5. ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งสาคู

การศึกษารูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งสาคู ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า พบว่า แป้งสาคูต้นสาคูมีลักษณะพื้นผิวเรียบ รูปร่างของเม็ดแป้งมีลักษณะรูปร่างรีคล้ายรูปไข่และปลายอีกด้านมีลักษณะเหมือนรอยตัด (ภาพที่ 2 a1 a2 b1 b2 c1 และ c2) เมื่อวัดขนาดอนุภาคของแป้งสาคูระยะ 1 จากส่วนโคน กลาง และปลาย ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่ามีขนาดอนุภาค 18-42 18-40 และ 12-40 ไมโครเมตร แป้งสาคูระยะ 2 มีขนาดอนุภาค 18-37 16-33 และ 6-19 ไมโครเมตร และระยะ 3 มีขนาดอนุภาค 15-33 20-47 และ 16-36 ไมโครเมตร ตามลำดับ เมื่อต้นสาคูมีอายุมากขึ้นจนถึงระยะออกผลที่สมบูรณ์ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ดแป้งส่วนใหญ่จะมีขนาดที่เล็กลง (Uthumporn *et al.*, 2014) เมื่อเปรียบเทียบอนุภาคแป้งสาคูกับแป้งอื่น ๆ พบว่า แป้งมันฝรั่ง (15-85 ไมครอน) และแป้งข้าวเจ้า (3-10 ไมโครเมตร) และ

งานวิจัยของจันทร์เพ็ญ (2550) วัดขนาดอนุภาคของแป้งมันสำปะหลัง พบว่ามีขนาด 12.93±5.591 ไมโครเมตร ซึ่งเล็กกว่าแป้งสาคู แต่รูปร่างมีลักษณะกลมและปลายข้างหนึ่งมีลักษณะเว้าหรือคล้ายมีรอยตัด

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าสีระบบ CIE L*a*b* ของแป้งสาคูระยะต่าง ๆ

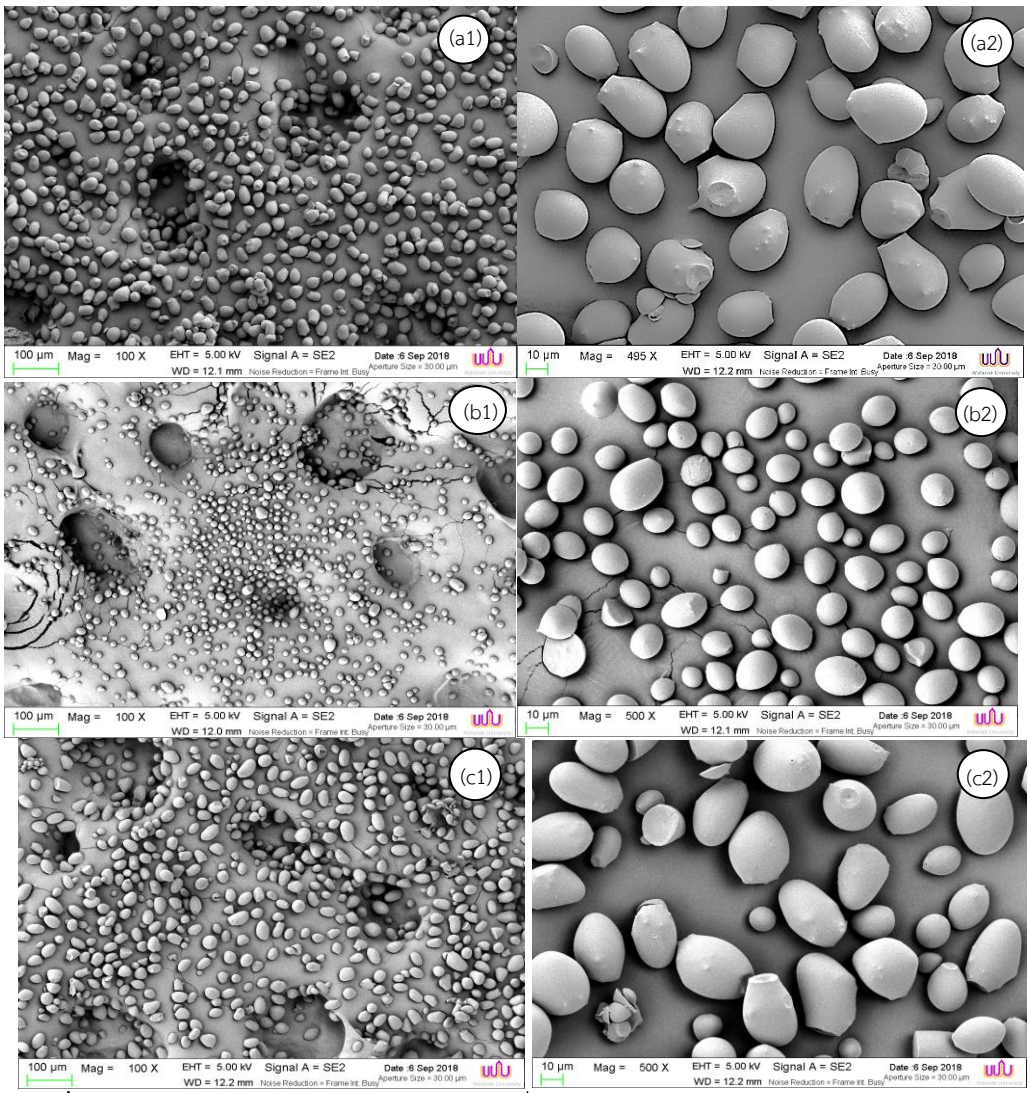
ระยะการเจริญ	ส่วนต่าง ๆ ของลำต้น	ค่าสี ระบบ CIE			ลักษณะสีแป้งสาคู
		L*	a*	b*	
ระยะ 1	โคน	90.04±0.83 ^{ns}	1.91±0.90 ^{a}	7.22±0.63 ^{ns}	
	กลาง	90.12±0.78 ^{ns}	1.86±0.55 ^{a}	6.95±0.88 ^{ns}	
	ปลาย	90.34±0.86 ^{ns}	0.69±0.47 ^{b}	7.22±0.73 ^{ns}	
	เฉลี่ย	**90.17±0.80** ^{A}	**1.49±0.87** ^{B}	**7.03±0.83** ^{AB}	
ระยะ 2	โคน	89.85±0.84 ^{ns}	3.40±0.87 ^{a}	6.98±0.94 ^{ns}	
	กลาง	89.56±0.87 ^{ns}	2.18±1.37 ^{b}	7.27±1.64 ^{ns}	
	ปลาย	90.17±0.58 ^{ns}	0.71±0.62 ^{c}	7.82±1.01 ^{ns}	
	เฉลี่ย	**89.86±0.69** ^{A}	**2.10±1.48** ^{B}	**7.36±1.25** ^{A}	
ระยะ 3	โคน	88.42±1.16 ^{b}	5.80±0.59 ^{a}	5.03±0.66 ^{b}	
	กลาง	89.95±1.11 ^{b}	5.26±0.38 ^{a}	6.29±1.87 ^{b}	
	ปลาย	90.00±0.59 ^{a}	1.82±0.92 ^{b}	7.73±1.40 ^{a}	
	เฉลี่ย	**89.12±1.16** ^{B}	**4.30±1.90** ^{A}	**6.35±1.76** ^{B}	

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษร L* หมายถึง ค่าความสว่าง (100 = สว่าง, 0 = ดำ) a* หมายถึง (+) คือ สีแดง (-) คือ สีเขียว b* หมายถึง (+) คือ สีเหลือง (-) คือ สีน้ำเงิน

2. เครื่องหมาย a b และ c ในคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3. ns หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ของสาคูจากส่วนต่าง ๆ ในระยะเดียวกัน

4. A B และ C ในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในแต่ละระยะโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT



ภาพที่ 2 ลักษณะเม็ดแป้งสาคูจากส่วนของลำต้นที่กำลังขยายขนาด 100 เท่าระยะ 1 (a1) ระยะ 2 (b1) และระยะ 3 (c1) ที่กำลังขยายขนาด 500 เท่า ระยะ 1 (a2) ระยะ 2 (b2) และระยะ 3 (c2)

สรุปผลการวิจัย

การเก็บเกี่ยวแป้งสาคูควรเลือกใช้ต้นสาคูระยะ 2-3 (ต้นแก่ก่อนออกดอกอายุประมาณ 8-9 ปี ถึงระยะออกดอกเขากวางหรืออายุมากกว่า 9 ปี) จะมีปริมาณแป้งสะสมสูงสุดร้อยละ19.17±1.48 ถึง 19.77±0.68 โดยส่วนกลางของลำต้นมีปริมาณแป้งสะสมมากที่สุด รองลงมาคือส่วนโคนต้น และส่วนปลาย มีผลผลิตแป้งต่อต้น 123.31±9.43 และ 135.52±7.31 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 12,300-13,500 บาทต่อต้น ด้านคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งสาคูมีความแตกต่างกันด้วย โดยแป้งที่สกัดจากต้นสาคูระยะ 1 ซึ่งลำต้นยังไม่สมบูรณ์เต็มที่แป้งจะมีสีขาวนวล ส่วนต้นสาคูที่ออกดอกจะได้แป้งที่มีลักษณะสีชมพูอ่อน มีลักษณะพื้นผิวเรียบ รูปร่างของเม็ดแป้งเป็นรูปไข่ อนุภาคของแป้งสาคู

มีขนาดประมาณ 12-42 6-37 และ 15-47 ไมโครเมตร ตามลำดับ ส่วนความแตกต่างของฤทธิ์ทางชีวภาพพบว่า แป้งสาคูระยะ 2 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงสุด 133.57±22.89 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง และร้อยละ 62.60±11.21 ส่วนความสามารถออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) ดีที่สุดเท่ากับ 80.20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากต้นสาคูมีการสร้างแป้งและสะสมสารฟีนอลิกในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามอายุของลำต้น แต่เมื่อเข้าสู่ระยะ 3 สารฟีนอลิกจะถูกนำไปใช้ในการสร้างดอกและผล ส่งผลให้ฤทธิ์ทางชีวภาพลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี พ.ศ. 2560 และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ รังสิมา ชลคุป สุนีย์ โชตินีรนาท สุนีรัตน์ หทัยรักษ์ธรรม สมยศ จรรยาวิลาส ธีระ ทองเผือก สาลี่ บัวลำไย และฉัตรชัย ปฏิยุทธ. (2542). *คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของสาคู (*Metroxylon *spp.) ในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย. (2550). *ผลของสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสม (แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู) ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

นิพนธ์ ใจปลื้ม กัญจนัสม์ พาพล และอัจฉรา ใจปลื้ม. (2552). *การเจริญเติบโตของปาล์มสาคูปลูกใหม่และปาล์มสาคูในธรรมชาติของจังหวัดนครศรีธรรมราช*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.

เปลื้อง บุญแก้ว และมงคล คงเสน. (2557). การใช้ปาล์มสาคูในอาหารสัตว์. *วารสารราธิวาสราชนครินทร์, 6*(1), 113-119.

เปลื้อง บุญแก้ว อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงเสน (2558). การเสริมเนื้อเยื่อสาคูในอาหารที่มีผลต่อสมรรมภาพการผลิตของไก่พื้นเมือง. *วารสารราธิวาสราชนครินทร์, 7*(2), 113-117.

ละอองศรี ศิริเกษร สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์ และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2561). การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันเทศ 6 พันธุ์. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,* 10(3), 411-423.

ลัญจกร จันทร์อุดม นุชวรา องศารา ดาวีณาร ยีเลาะ และสุไรดา มามะแตหะ. (2559). การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ปอเยาะทุเรียนระหว่างการหมัก. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 35(2), 1-15.

ศศิวิมล บุญยิ่ง สุนทรี สุวรรณสิชณน์ และวรางคณา สมพงษ์. (2552). *สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งสาคูและผลของการใช้แป้งสาคูทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของคุกกี้*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

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

Karim, A.A., Tie, A.P., Manan, D.M.A. and Zaidul, I.S.M. (2008). Starch from the sago (*Metroxylon sagu*) palm tree-properties, prospects, and challenges as a new industrial source for food and other uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(3), 215-228.

Michiel, F. (1997). *Sago palm* Metroxylon sagu *Rottb*. *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.13*. Rome: International Plant Genetic Resources Institute.

Soong, Y.Y. and Barlow, P.J. (2004). Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds**.** *Food chemistry*, 88(3), 411-417.

Uthumporn, U., Wahidah, N. and Karim, A.A. (2014). Physicochemical properties of starch from sago (*Metroxylon sagu*) palm grown in mineral soil at different growth stages. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering,* 62(1), 1-11.

Yang, X., Barton, H.J., Wan, Z., Li, Q., Ma, Z., Li, M., Zhang, D. and Wei, J. (2013). Sago-type palms were an important plant food prior to rice in southern subtropical China. *Plos one*, 8(5), 1-8.

การสำรวจความพึงพอใจจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม
A Satisfactory Study of Satellite Receiver Demo Set

อัษฎา วรรณกายนต์[1*] นิคม ลนขุนทด[1] เที่ยงธรรม สิทธิจันทเสน[1]
สุรเชษฐ์ วงศ์ชัยประทุม[2] และ สุชาติ ดุมนิล[2]
Asada Wannakayont[1*], Nikom Lonkuntosh[1], Teangtum Sittichantasen[1],
Surachet Vongchaipratoom[2] and Suchat Dumnil[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดความรู้ และสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย ชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ นักศึกษาที่กำลังศึกษาในหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ลงทะเบียนเรียนและที่เรียนในรายวิชาระบบสื่อสารและโทรคมนาคมผ่านมาแล้ว ทั้งภาคปกติและภาคเสาร์-อาทิตย์ โดยคณะผู้วิจัยทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 30 คน ในการดำเนินการ คณะผู้วิจัยใช้วิธีถ่ายทอดความรู้ในวิธีแบบกลุ่ม (group method) โดยใช้การสาธิตให้กลุ่มตัวอย่างได้ดู จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างทดลองปฏิบัติการติดตั้ง บำรุงรักษา จาน และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นรายบุคคล และสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า การถ่ายทอดความรู้จากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม มีผลทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านศักยภาพการเรียนรู้ ทำให้กลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้ ความเข้าใจ เกิดการปรับเปลี่ยนในด้านพฤติกรรม เกิดทักษะในการเรียนรู้ ได้รับความรู้ในเชิงวิชาการร่วมกับการลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง อันจะทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความมั่นใจในการนำความรู้ลงไปสู่การปฏิบัติจริง และความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ในภาพรวมอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.63±0.54 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านกระบวนการขั้นตอนการถ่ายทอดความรู้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดี มีค่าเท่ากับ 4.40±0.61

[1] หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
[2] หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
* Corresponding author e-mail: asada2518@hotmail.com

Received: 6 February 2019, Revised: 19 April 2019, Accepted: 2 May 2019

ด้านการให้บริการ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเท่ากับ 4.89±0.27 ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเท่ากับ 4.53±0.65 และด้านการนำเสนอหรือการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเท่ากับ 4.67±0.50

คำสำคัญ: การสำรวจ ความพึงพอใจ การถ่ายทอดความรู้ ชุดสาธิต เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

Abstract

The purposes of this research were to knowledge transferring and explore satisfaction of knowledge transferring and the usage of satellite receiver demo set. Research tools consisted of a satellite receiver demo set and a satisfactory questionnaire related to knowledge transferring and the usage of satellite receiver demo set. The sample group used in this study was students studying in the Bachelor of Technology Program in Electrical and Electronics Technology, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University who have enrolled in a course of Principle of Communications and Telecommunications both full-time and part-time students. There were 30 participants who were selected purposively participated in this study. According to the study, a group method was employed as the knowledge transferring method. The satellite receiver demo set was demonstrated to the participants, then each participant tried to practice to install and maintain a satellite dish and a satellite receiver. After that, the satisfaction on the knowledge transferring and the usage of satellite receiver demo set was surveyed. The collected data was analyzed for mean and standard deviation.

The study found that: the knowledge transferring from the satellite receiver demo set leads to changes in the potential of learning. The participants' knowledge, understanding, behaviors, and learning skills have been promoted. Further, the participants received the academic knowledge together with a continual practice which will give the participants' confidence in bringing knowledge into practical action. The overall satisfaction on the knowledge transferring and the usage of the satellite receiver demo set is at a very good level (4.63±0.54). However, when each dimension was considered separately, the study showed that the satisfaction on knowledge transferring process is at a good level (4.40±0.61), service is at a very good level (4.89±0.27), facility is at a very good level (4.53±0.65) and presentation/utilization is at a very good level (4.67±0.50).

Keywords: Survey, Satisfaction, Knowledge Transferring, Demo set, Satellite receiver

บทนำ

ระบบโทรทัศน์ในปัจจุบันได้เปลี่ยนการส่งสัญญาณโทรทัศน์จากระบบอนาล็อกมาเป็นโทรทัศน์ระบบดิจิทัล หรือ โทรทัศน์ดิจิตอล (digital television) หรือทีวีดิจิตอล เป็นการส่งผ่านของเสียงและวิดีโอโดยสัญญาณดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งความคมชัดของภาพและเสียง การส่งข้อมูลแบบนี้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบอนาล็อกในหนึ่งช่องสัญญาณ จึงเรียกได้อีกอย่างว่า multicasting การส่งสัญญาณเป็นแบบดิจิตอลจึงทำให้ได้คุณภาพของภาพและเสียงดีกว่าด้วย เช่น โทรทัศน์ระบบ HDTV ต่อมาเมื่อระบบคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางขึ้น จึงได้มีการนำระบบคอมพิวเตอร์นำมาพัฒนาแปรสัญญาณภาพและเสียงใช้ในการออกอากาศ เพื่อให้เกิดความคมชัดและมีจำนวนช่องสัญญาณที่มากขึ้น คณะกรรมการสหภาพโทรคมนาคมสากล (ITU) ได้มีการกำหนดมาตรฐาน ในการแพร่ภาพในระบบดิจิตอล มีด้วยกัน 3 ระบบ ได้แก่ (ฝ่ายเทคนิคและออกอากาศ สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5, 2560)

1. ระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม (DVB-S : digital video broadcasting satellite system)
2. ระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านสายเคเบิล (DVB-C : digital cable eleliverly system)
3. ระบบแพร่ภาพดิจิตอลภาคพื้นดิน (DVB-T : digital terrestrial television system)

การแพร่ภาพทีวีดิจิตอลผ่านดาวเทียม สามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่ แม้จะเป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างไกล เช่น ดาวเทียมไทยคม 5 สามารถส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ในประเทศไทย และพื้นที่ที่การแพร่ภาพโดยใช้คลื่นผิวดินส่งไปไม่ถึง ซึ่งทีวีดิจิตอลผ่านดาวเทียมสามารถควบคุมพื้นที่การให้บริการได้ดีกว่า มีช่องรายการที่แพร่ภาพได้ทั่วประเทศ มีช่องฟรีทีวีให้ดูมากขึ้น มีช่องรายการที่แพร่ภาพเฉพาะภูมิภาคหรือบางพื้นที่ เช่น ทีวีภูมิภาค ทีวีชุมชน เป็นต้น จานรับสัญญาณดาวเทียมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับสัญญาณภาพและเสียงในการแพร่ภาพทีวีดิจิตอลผ่านดาวเทียม ในการติดตั้ง การบำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจึงเป็นที่ต้องการของประชาชนในหลายๆ พื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นประชาชนทั่วไป หน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชน เป็นต้น สิ่งที่จะตามมาก็คือความต้องการบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเพื่อที่จะออกไปทำงาน ประกอบอาชีพอยู่ในที่มีความเกี่ยวข้องและรับผิดชอบในการติดตั้ง การบำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ดังนั้น เพื่อเป็นการรองรับเทคโนโลยีการสื่อสาร ในส่วนของการเรียนการสอนของหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีความต้องการที่จะผลิตบัณฑิตให้มีความรู้ ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ให้เป็นนักวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยี โดยมีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณแห่งวิชาชีพ และแสวงหาความรู้เพื่อพัฒนาตนเองและท้องถิ่นอย่างต่อเนื่อง (สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2559)

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งของการทำงานวิจัย คือ การขาดข้อมูลบางประการที่ไม่สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้งานได้เป็นรูปธรรมอย่างแท้จริงและขาดการถ่ายทอดความรู้จากงานวิจัยได้ไปสู่กลุ่มเป้าหมาย กล่าวคือ ในงานวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่แม้ตัวผลิตภัณฑ์มีความน่าสนใจที่จะนำไปต่อยอด หากแต่ขาดข้อมูลความคิดเห็นจากกลุ่มเป้าหมายงานวิจัยนั้นไปใช้จริง การดำเนินการวิจัยดังกล่าวจะไม่ครอบคลุมกับข้อมูลที่เป้าหมายพึงทราบก่อนนำผลงานการวิจัยไปใช้จริง (วิชมณี และคณะ, 2559)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการนำเอางานวิจัยชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ทางหลักสูตรได้พัฒนาขึ้น นำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม โดยการนำเอางานวิจัยมาดำเนินการถ่ายทอดความรู้ ให้กับนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่เรียนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารและโทรคมนาคม ทั้งภาคปกติและภาคเสาร์และอาทิตย์ ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเป้าหมาย เพื่อเป็นการนำผลจากการวิจัยไปสู่การใช้งาน และนำเอาผลที่ได้รับมาทำการปรับปรุงสื่อการเรียนรู้ให้สามารถตอบสนองกับผู้เรียนให้ได้รับความรู้ และลงมือฝึกปฏิบัติการติดตั้ง บำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งเป็นระบบการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอลผ่านดาวเทียมที่ใช้ในการแพร่ภาพโทรทัศน์อีกรูปแบบหนึ่งในปัจจุบัน ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดความรู้จากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และเพื่อสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

1.1 ประชากร ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาที่กำลังศึกษาในหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จำนวน 82 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาที่กำลังศึกษาในหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ลงทะเบียนเรียนและที่เรียนในรายวิชาระบบสื่อสารและโทรคมนาคมผ่านมาแล้ว ทั้งภาคปกติและภาคเสาร์-อาทิตย์ โดยคณะผู้วิจัยทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 30 คน

2. การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัย เพื่อถ่ายทอดความรู้ และสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) ชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม



ภาพที่ 1 ตัวอย่างชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

2) แบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

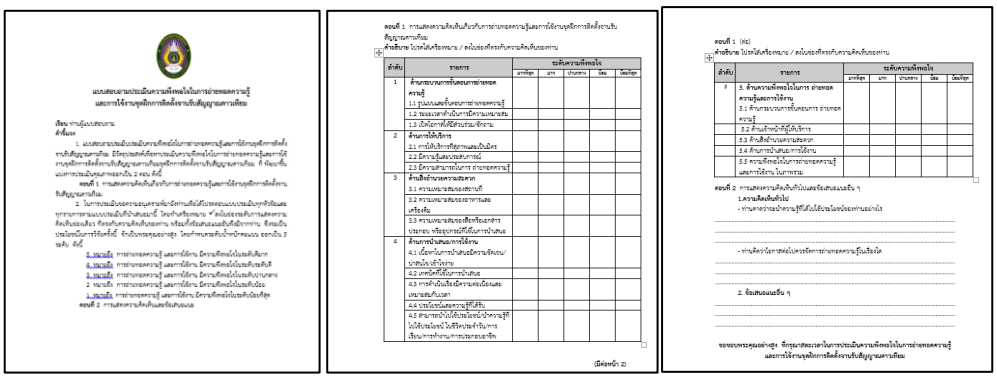
2.2 การสร้างแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

การสร้างแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม มีขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเอกสาร ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบ หลักการสร้างแบบสำรวจความพึงพอใจเพื่อนำมาเป็นกรอบแนวคิดในการสร้าง

2) ศึกษาเอกสาร ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มากำหนดประเด็นสาระสำคัญของการสำรวจความพึงพอใจที่ต้องการกำหนดข้อคำถามให้ครอบคลุมเนื้อหาที่ต้องการสำรวจ

3) สร้างแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมฉบับร่าง ให้ครอบคลุมประเด็นในด้านต่าง ๆ 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการขั้นตอนการถ่ายทอดความรู้ ด้านการให้บริการ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก และด้านการนำเสนอหรือการใช้งาน



ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

4) นำแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมฉบับร่าง เสนอต่อที่ปรึกษางานวิจัยพิจารณาความเหมาะสมของประเด็นข้อคำถามในเรื่องที่ต้องการศึกษา และรับฟังข้อเสนอแนะจากที่ปรึกษางานวิจัย

5) นำแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมฉบับร่างมาปรับปรุงแก้ไข ตามคำแนะนำจากที่ปรึกษางานวิจัย

6) นำแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมฉบับร่าง ไปจัดพิมพ์เป็นแบบสำรวจความพึงพอใจฉบับสมบูรณ์ต่อไป

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินงานวิจัย คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการถ่ายทอดความรู้ และสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย ดังต่อไปนี้

1) ขออนุญาตประธานหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย

2) ติดต่อประสานงาน นัดวันเวลา และสถานที่ กับกลุ่มตัวอย่างในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

3) คณะผู้วิจัยจัดเตรียมสถานที่ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ได้แก่ กระดาษ ปากกา สื่อบรรยาย powerpoint เอกสารประกอบการบรรยาย projector ชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม คู่มือการใช้งาน เป็นต้น

4) คณะผู้วิจัยดำเนินการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมให้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้วิธีการถ่ายทอดความรู้ในวิธีแบบกลุ่ม (group method) (เอกบุตร, 2555) โดยการสาธิตให้กลุ่มตัวอย่างได้ดู เช่น การเข้าสายสัญญาณ การประกอบจาน

การใช้เข็มทิศ การใช้ตัววัดมุม การปรับมุมจานเพื่อรับสัญญาณ การใช้เครื่องวัดสัญญาณ การต่อสายสัญญาณเข้ากับจานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เป็นต้น จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างทดลองติดตั้ง บำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นรายบุคคล พร้อมทั้งตอบข้อคำถามตามที่กลุ่มตัวอย่างได้ซักถาม



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการถ่ายทอดความรู้ในด้านทฤษฎี



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการถ่ายทอดความรู้ในด้านปฏิบัติ

5) คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการแจกแบบสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมให้กับกลุ่มตัวอย่าง

6) กลุ่มตัวอย่าง ทำการประเมินความพึงพอใจในการถ่ายทอดและการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ตามระดับน้ำหนักคะแนน

7) คณะผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์ความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้ และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (rating scale) แบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ คือ (สุมาลี, 2542)

ระดับคะแนนเท่ากับ 5 คือ ความคิดเห็นดีมาก

ระดับคะแนนเท่ากับ 4 คือ ความคิดเห็นดี

ระดับคะแนนเท่ากับ 3 คือ ความคิดเห็นปานกลาง
ระดับคะแนนเท่ากับ 2 คือ ความคิดเห็นน้อย
ระดับคะแนนเท่ากับ 1 คือ ความคิดเห็นน้อยที่สุด

และเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้ และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จัดระดับค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับ คือ (สุมาลี, 2542)

ระดับคะแนนเท่ากับ 4.50-5.00 เท่ากับ ความคิดเห็นดีมาก
ระดับคะแนนเท่ากับ 3.50-4.49 เท่ากับ ความคิดเห็นดี
ระดับคะแนนเท่ากับ 2.50-3.49 เท่ากับ ความคิดเห็นปานกลาง
ระดับคะแนนเท่ากับ 1.50-2.49 เท่ากับ ความคิดเห็นน้อย
ระดับคะแนนเท่ากับ 1.00-1.49 เท่ากับ ความคิดเห็นน้อยที่สุด

2) การหาค่าเฉลี่ย (arithmetic mean)

การหาค่าเฉลี่ย มีสูตรในการคำนวณ ดังนี้ (ธานินทร์, 2549)

สูตร $\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$

เมื่อ $\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของคะแนน
$\sum X$ = ผลรวมของคะแนน
N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

3) การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีสูตรในการคำนวณ ดังนี้ (ธานินทร์, 2549)

สูตร $S.D. = \sqrt{\frac{\sum(X-\overline{X})^2}{(N-1)}}$

เมื่อ S.D. = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
N = จำนวนครั้งของการประเมิน
X = ค่าคะแนนของการประเมินในแต่ละครั้ง
$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของการประเมินทั้งหมด

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การสำรวจความพึงพอใจจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม มีผลการวิจัย ดังนี้

1. การถ่ายทอดความรู้จากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ในการถ่ายทอดความรู้จากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม มีผลทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านศักยภาพการเรียนรู้ ทำให้กลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้ ความเข้าใจ เกิดการ

ปรับเปลี่ยนในด้านพฤติกรรม เกิดทักษะในการเรียนรู้ ได้รับความรู้ในเชิงวิชาการร่วมกับการลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง อันจะทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความมั่นใจในการนำความรู้ลงไปสู่การปฏิบัติจริง

2. การสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

หลังจากทำการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม โดยมีผลการสำรวจ แสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

รายการประเมิน	รวม	$\overline{X}$	S.D.	ระดับ
1. ด้านกระบวนการขั้นตอนการถ่ายทอดความรู้				
1.1 รูปแบบและขั้นตอนการถ่ายทอดความรู้	130	4.33	0.55	ดี
1.2 ระยะเวลาดำเนินการมีความเหมาะสม	127	4.23	0.73	ดี
1.3 เปิดโอกาสให้มีส่วนร่วม/ซักถาม	139	4.63	0.56	ดีมาก
2. ด้านการให้บริการ				
2.1 การให้บริการที่สุภาพและเป็นมิตร	149	4.97	0.18	ดีมาก
2.2 มีความรู้และประสบการณ์	149	4.97	0.18	ดีมาก
2.3 มีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้	142	4.73	0.45	ดีมาก
3. ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก				
3.1 ความเหมาะสมของสถานที่	139	4.63	0.49	ดีมาก
3.2 ความเหมาะสมของอาหารและเครื่องดื่ม	134	4.47	0.51	ดี
3.3 ความเหมาะสมของสื่อหรือเอกสารประกอบหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการนำเสนอ	135	4.50	0.68	ดี
4. ด้านการนำเสนอ/การใช้งาน				
4.1 เนื้อหาในการนำเสนอมีความชัดเจน/น่าสนใจ/เข้าใจง่าย	145	4.83	0.38	ดีมาก
4.2 เทคนิคที่ใช้ในการนำเสนอ	142	4.73	0.45	ดีมาก
4.3 การดำเนินเรื่องมีความต่อเนื่องและเหมาะสมกับเวลา	138	4.60	0.56	ดีมาก
4.4 ประโยชน์และความรู้ที่ได้รับ	138	4.60	0.56	ดีมาก
4.5 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน/การเรียน/การทำงาน/การประกอบอาชีพ	138	4.60	0.56	ดีมาก
คะแนนเฉลี่ย		4.63	0.54	ดีมาก

การอภิปรายผลการวิจัย

1. การถ่ายทอดความรู้จากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

มีผลทำให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้ ความเข้าใจ ในการนำผลจากการวิจัยไปสู่การปฏิบัติ โดยวิธีการถ่ายทอดความรู้จะผสมผสานกับกระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน มีผลทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนในด้านพฤติกรรม เกิดทักษะในการเรียนรู้ได้รับความรู้ในเชิงวิชาการร่วมกับการลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง อันจะทำให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างเกิดความมั่นใจในการนำความรู้ไปสู่การปฏิบัติจริง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการถ่ายทอดความรู้จากจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม มีการใช้สื่อการเรียนรู้ที่เข้าใจได้ง่าย มีการสาธิตให้ดู มีคู่มือที่ใช้ประกอบในการใช้งาน และเมื่อขณะทำการทดลองยังสามารถเห็นผลการทดลองได้อย่างชัดเจน เป็นการเสริมให้ผู้เรียนมีความเข้าใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนได้ วิธีดังกล่าวนี้ จะทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้จากภาคทฤษฎีไปสู่ภาคปฏิบัติ ผู้เรียนจึงเกิดทักษะในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้สอนไม่จำเป็นตองอธิบายมาก เนื่องจากผู้เรียนจะต้องทำการเข้าหัวสายสัญญาณ ปรับองศา วัดและตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎี สอดคลองกับ ชูศักดิ์ (2546) ที่ได้กล่าวไว้ว่า การสอนแบบทดลองเป็นการให้การศึกษา โดยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสัมผัสและได้รับประสบการณ์ที่เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและวัสดุ ด้วยการลงมือปฏิบัติ เป็นงานที่ฝึกการประสานงานระหว่างข้อมูลทางวิชาการในศาสตร์ความสามารถทางสมองหรือความคิดกับประสาทสัมผัสต่าง ๆ เป็นการฝึกทักษะทดลอง การสังเกต การบันทึกข้อมูลเทคนิคการสรุป การวิเคราะห์ผล ตลอดจนการทำงานที่เกี่ยวข่องกับบุคคลลักษณะต่าง ๆ ตั้งแต่การปรึกษาหารือระหว่างผู้ร่วมงานจนถึงการติดตอเพื่อหาข้อมูลจากผู้อื่น เพราะฉะนั้นจึงถือได้ว่า การทดลองเป็นการให้ประสบการณ์หลายมิติที่พัฒนาความสามารถของมนุษย์หลายประการ

2. การสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า

2.1 ด้านกระบวนการขั้นตอนการถ่ายทอดความรู้ มีผลการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดี เนื่องจากในการถ่ายทอดความรู้คณะผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการถ่ายทอดความรู้เป็นวิธีถ่ายทอดความรู้แบบกลุ่ม (group method) ซึ่งเป็นวิธีการถ่ายทอดความรู้ ที่สามารถถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้รับได้เป็นจำนวนมาก และมีขั้นตอนในการถ่ายทอดความรู้ที่เริ่มจากการเรียนรู้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์ วิธีการใช้อุปกรณ์ จากนั้นทำการสาธิตการติดตั้ง บำรุงรักษา จาน และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งเป็นขั้นตอนตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นจนถึงกระบวนการสุดท้ายที่สามารถเห็นผลลัพธ์จากการทดลองทำให้ได้ความรู้ครบถ้วนภายในระยะเวลาที่เหมาะสม รวมไปถึงได้เปิดโอกาสให้กลุ่มตัวอย่างได้มีส่วนร่วมและลงมือปฏิบัติ และซักถามข้อสงสัยที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับ สถาพร (2560) ที่ได้กล่าวว่า การจัดการเรียนการสอนแบบ active learning ที่เป็นการเรียนรู้ที่มีคุณค่าน่าตื่นเต้น สนุกสนาน ท้าทายความรู้

ความสามารถ ผู้เรียนได้เรียนรู้สอดคล้องกับความสนใจของตนเอง ได้ลงมือคิดและปฏิบัติอย่างมีความหมาย สามารถนำความรู้ไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างแน่นอน

2.2 ด้านการให้บริการ มีผลการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก เนื่องจากในการถ่ายทอดความรู้ คณะผู้วิจัยเป็นอาจารย์ผู้สอนในหลักสูตรและสถาบันอุดมศึกษาที่มีความรู้และประสบการณ์ในการสอนทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มาไม่น้อยกว่า 5 ปี อีกทั้งยังมีการพัฒนาตนเองในการอบรม และทำการวิจัยเพื่อพัฒนาสื่อการสอนเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งในการถ่ายทอดความรู้ในครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ถ่ายทอดความรู้โดยใช้วาจาที่สุภาพ ใช้ภาษาทางวิชาการ และมีความเป็นมิตรกับกลุ่มตัวอย่าง ทำให้กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจและประทับใจในการให้การบริการหรือการถ่ายทอดความรู้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับ ตรีเพ็ชร์ (2554) ที่ว่าการให้บริการโดยอาศัยคนเป็นหลักแบบพบหน้า เผชิญหน้ามีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการให้บริการเพื่อผูกมัดใจผู้ใช้บริการหรือลูกค้า ผู้ให้บริการจึงจำเป็นต้องรู้จัก ประยุกต์ความรู้จากแขนงวิชาต่าง ๆ มาใช้ในงานบริการ เพื่อสร้างความประทับใจให้แก่ผู้ใช้บริการหรือลูกค้า อาจจะต้องใช้จิตวิทยาในการทำความเข้าใจและรับรู้ถึงความต้องการของผู้ใช้บริการหรือลูกค้า และให้การบริการตรงใจมากที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้รับบริการมีความพึงพอใจและประทับใจในการให้บริการเป็นอย่างดีและยินดีกลับมาใช้บริการอีกครั้ง

2.3 ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก มีผลการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก เนื่องจากในการถ่ายทอดความรู้ คณะผู้วิจัย ได้เลือกสถานที่การถ่ายทอดความรู้โดยแบ่งสถานที่ออกเป็นการถ่ายทอดความรู้ในด้านทฤษฎีได้จัดในห้องประชุมของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกครบครัน เช่น ไมโครโฟน เครื่องขยายเสียง projector เครื่องฉายภาพ 3 มิติ รวมไปถึงมีเครื่องปรับอากาศจึงทำให้มีบรรยากาศในการถ่ายทอดความรู้ที่เย็นสบาย ในการถ่ายทอดความรู้ยังมีสื่อ powerpoint เอกสารประกอบการอบรมที่มีเนื้อหาในการใช้เข็มทิศ การใช้ตัววัดมุม มุมและองศาในการรับสัญญาณดาวเทียม อีกทั้งยังมีคู่มือในการติดตั้ง บำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ทำให้กลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้ และความเข้าใจในการบรรยายและการลงมือปฏิบัติ สอดคล้องกับ ประดินันท์ (2540) ที่กล่าวถึงเทคนิคการใช้สื่อการสอน โดยสื่อและวัสดุอุปกรณ์การสอนเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยให้การเรียนการสอนดำเนินไปด้วยดี การสอนที่มีการใช้วัสดุ อุปกรณ์ประกอบการเรียนนอกจากจะทำให้นักเรียนเห็นความเป็นรูปธรรมของสิ่งที่ครูสอนและเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจของนักเรียนให้เด่นชัดและง่ายขึ้น แล้วการสอนที่มีการใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบการสอนยังช่วยเพิ่มบรรยากาศของการสอนให้น่าสนใจ เนื่องจากมีการแปรเปลี่ยนสิ่งเร้าหลาย ๆ อย่าง และครูยังสามารถใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ กระตุ้นให้นักเรียนเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนการสอนได้อย่างสนุกสนานอีกด้วย ในระหว่างการถ่ายทอดความรู้มีกำหนดการในการพักผ่อนเพื่อรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่มให้กับผู้เรียน เพื่อให้ได้รับการผ่อนคลายจากการรับฟังการบรรยายและการลงมือปฏิบัติรวมไปถึงมีการเลี้ยงอาหารกลางวันและเครื่องดื่มให้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อไม่ต้องเดินทางไปรับประทานอาหารที่อื่น โดยจัดให้รับประทานอาหารร่วมกับคณะผู้วิจัย เนื่องจากว่า ถ้ากลุ่มตัวอย่างถ้ามีข้อสงสัยจากการบรรยายเนื้อหาทฤษฎีในช่วงเช้าจะได้ซักถามข้อ

สงสัยเพิ่มเติม และยังเป็นเพิ่มความสัมพันธ์ ลดความประหม่าระหว่างผู้ถ่ายทอดความรู้กับผู้รับการถ่ายทอดความรู้ ช่วยให้กลุ่มตัวอย่างมีความมั่นใจมากขึ้นในการรับการถ่ายทอดความรู้ การซักถามข้อสงสัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

2.4 ด้านการนำเสนอและการใช้งาน มีผลการสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก เนื่องจากในการถ่ายทอดความรู้คณะผู้วิจัยได้มีการนำเสนอเนื้อหาด้วยรูปภาพและมีตัวหนังสือบรรยาย จัดทำเป็นเอกสาร และสื่อ powerpoint ประกอบการบรรยาย ทำให้มีความน่าสนใจ และกลุ่มตัวอย่างยังสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น โดยเรียงจากเนื้อหาที่เป็นพื้นฐานหรือเนื้อหาที่ง่ายไปจนถึงเนื้อหาที่มีความซับซ้อนหรือเนื้อหาที่ยากทำให้มีความต่อเนื่องกันของเนื้อหา และใช้เวลาในช่วงเช้าในการบรรยายภาคทฤษฎี และช่วงบ่ายจะเป็นการลงมือปฏิบัติ ทำให้กลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้ เกิดทักษะที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเรียน ใช้ในชีวิตประจำวัน รวมไปถึงการทำงานเพื่อประกอบอาชีพเลี้ยงตัวเอง สอดคล้องกับ สายยนต์ (2552) ที่กล่าวว่า การพัฒนาสื่อการสอนที่เน้นให้ผู้เข้ารับการอบรมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสามารถพัฒนาตนเองได้อย่างมีระบบมีความกระตือรือร้นที่จะร่วมทำกิจกรรมอย่างเต็มที่ สอดคล้องกับความต้องการที่ส่งผลให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพและพึงพอใจต่อการถ่ายทอดความรู้เป็นอย่างมาก

3. การสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากกลุ่มตัวอย่าง

ในภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับ วีระยุทธ (2561) ที่ศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกอบรมระบบควบคุมทางกลแบบอัตโนมัติสำหรับการสอนนักศึกษาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีความพึงพอใจของผู้เรียนอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด แสดงว่า งานวิจัยที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีลักษณะของการกระจายตัวของข้อมูลมีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นไปในแนวทางเดียวกันสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในการถ่ายทอดความรู้คณะผู้วิจัยได้ใช้วิธีการถ่ายทอดความรู้ในวิธีแบบกลุ่ม (group method) โดยการสาธิตให้ดู และให้ผู้รับการถ่ายทอดความรู้ทดลองการติดตั้ง บำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ทั้งผู้ถ่ายทอดและผู้รับการถ่ายทอดความรู้ เป็นวิธีที่ไม่สิ้นเปลืองเวลาและค่าไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ถ่ายทอดความรู้ครั้งเดียวได้จำนวนผู้รับถ่ายทอดความรู้ เป็นจำนวนมาก สอดคล้องกับ เอกบุตร (2555) ที่ว่าการถ่ายทอดเทคโนโลยีวิธีแบบกลุ่ม (group method) เป็นวิธีการถ่ายทอดความรู้หรือเทคโนโลยีที่ผู้ส่งสาร และผู้รับสาร หรือผู้สอน สามารถใช้ได้ดีกับการถ่ายทอดความรู้ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการตัดสินใจรับความรู้หรือเทคโนโลยี รวมไปถึงการถ่ายทอดที่มุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงด้านทักษะ (skill) เหมาะสำหรับสถานการณ์ที่มีเจ้าหน้าที่ เวลา และงบประมาณจำกัด แต่มีจำนวนบุคคลเป้าหมายที่ต้องการรับเทคโนโลยีอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงสามารถทำการถ่ายทอดความรู้ได้ครบถ้วนภายในระยะเวลาอันสั้น นอกจากนี้การถ่ายทอดความรู้โดยใช้สื่อการเรียนรู้ ทำได้ง่ายต่อการเรียนรู้ มีคู่มือใช้ในการติดตั้ง ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาและภาพประกอบ

ตั้งแต่เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการติดตั้ง บำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นในการใช้เข็มทิศและตัววัดมุม การเข้าหัวสายสัญญาณ การติดตั้งจนถึงขบวนการสุดท้ายของการติดตั้ง มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ เช่น จานรับสัญญาณดาวเทียม เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เครื่องวัดสัญญาณดาวเทียม เครื่องรับโทรทัศน์ เข็มทิศ อุปกรณ์วัดมุมประแจ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็น เป็นต้น โดยจะรวบรวมอยู่ในกล่องเก็บอุปกรณ์ ซึ่งออกแบบมาให้ง่ายต่อการใช้งานและการขนย้าย จึงทำให้การถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม สามารถนำมาใช้เป็นสื่อการสอน ที่ใช้ในการฝึกการติดตั้ง บำรุงรักษาจานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างมีคุณภาพ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การสำรวจความพึงพอใจจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. การถ่ายทอดความรู้จากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม มีผลทำให้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาได้รับความรู้ และเกิดทักษะจากการนำความรู้ไปสู่การลงมือปฏิบัติ ได้แก่ การปฏิบัติการติดตั้ง การบำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จากการนำเอางานวิจัยไปใช้งานให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

2. การสำรวจความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม พบว่า ความพึงพอใจในการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ในภาพรวมอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.63 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.54 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านกระบวนการขั้นตอนการถ่ายทอดความรู้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดี มีค่าเท่ากับ 4.40 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 0.61 ด้านการให้บริการ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเท่ากับ 4.89 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 0.27 ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเท่ากับ 4.53 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 0.65 และด้านการนำเสนอหรือการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีมาก มีค่าเท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 0.50 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการถ่ายทอดความรู้จากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ควรมีการสอนทางด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม อุปกรณ์ การใช้อุปกรณ์ การติดตั้งและการบำรุงรักษาจานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมก่อน เพื่อให้ผู้รับการถ่ายทอดความรู้สามารถทำความเข้าใจและลงมือปฏิบัติได้อย่างรวดเร็ว

2. ในการถ่ายทอดความรู้ ควรใช้ระยะเวลาให้เหมาะสมกับเนื้อหาของการถ่ายทอดความรู้ เพื่อความเหมาะสมของช่วงระยะเวลาในการทำความเข้าใจ การลงมือปฏิบัติ และการ

ทบทวนการปฏิบัติ อันจะทำให้ผู้รับการถ่ายทอดความรู้เกิดความมั่นใจในการนำความรู้ไปสู่การปฏิบัติจริง

3. ควรให้ผู้รับการถ่ายทอดความรู้ได้ลงมือในการปฏิบัติการติดตั้ง บำรุงรักษา จาน และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในสภาพความเป็นจริงหรือลงภาคสนามจริง เนื่องจากการติดตั้ง และการบำรุงรักษา จานและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในแต่ละพื้นที่และในแต่ละรายจะมีปัญหา และการแก้ไขปัญหาที่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ที่ปรึกษางานวิจัย อาจารย์ ดร.สุวัฒน์ มณีวรรณ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำและให้ข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำงานวิจัยเป็นอย่างดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย นักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ทั้งภาคปกติและภาคเสาร์-อาทิตย์ ในการรับการถ่ายทอดความรู้และการใช้งานจากชุดสาธิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และตอบแบบสำรวจความพึงพอใจในการวิจัย จนการดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งขอขอบคุณการสนับสนุนการวิจัยจากหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

เอกสารอ้างอิง

ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่. (2546). *เอกสารประกอบการสอนวิชา การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบการสอนช่างอุตสาหกรรม.* กรุงเทพฯ: ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ตรีเพ็ชร์ อ่ำเมือง. (2554). *คู่มือ เทคนิคการให้บริการด้วยใจ.* นครปฐม: งานเลขานุการกิจและสภาคณาจารย์ กองบริหารงานทั่วไป สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2549). *การวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติด้วย SPSS*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: วี. อินเตอร์ พริ้นท์.

ประดินันท์ อุปรมัย. (2540). *เอกสารการสอนชุดวิชาพื้นฐานการศึกษา.* (พิมพ์ครั้งที่ 15). นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ฝ่ายเทคนิคและออกอากาศ สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5. (2560). *โทรทัศน์ระบบดิจิตอล.* สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2560, จาก: http://www.tv5.co.th/technics/tec_02_digital_tv.html.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล กฤษณะ ชินสาร และสิริมา ชินสาร. (2559). *การออกแบบบรรจุภัณฑ์ การทดสอบผู้บริโภคสำหรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้.* ชลบุรี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ และคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วีระยุทธ สุดสมบูรณ์. (2561). การพัฒนาชุดฝึกอบรมระบบควบคุมทางกลสำหรับการสอนนักศึกษาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(ฉบับพิเศษ), 99-113.

สถาพร พฤฑฒิกุล. (2560). *เอกสารประกอบการอบรม ในการอบรมเชิงปฏิบัติการ การจัดกิจกรรมการเรื่องเรียนการสอนแบบ active learning.*กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. (2559). *หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2559*. สุรินทร์: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.

สายยนต์ จ้อยนุแสง. (2552). *การพัฒนาชุดฝึกอบรมครูเพื่อเสริมสร้างความสามารถด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยประยุกต์ทฤษฎีพหุปัญญา.*วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

สุมาลี จันทร์ชะลอ. (2542). *การวัดและประเมินผล.* กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อส่งเสริมกรุงเทพ.

เอกบุตร อยู่สุข. (2555). กระบวนทัศน์การถ่ายทอดเทคโนโลยีเกษตรทฤษฎีใหม่. *วารสารการอาชีวะและเทคนิคศึกษา*, 2(4), 20-22.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียน
เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

วารสารวิชชา เป็นวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี ซึ่งมีกำหนด

ตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม–มิถุนายน และฉบับที่ 2 ในเดือนกรกฎาคม–ธันวาคม วารสารวิชชามีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ 1) บทความวิจัย (research article) 2) บทความวิชาการหรือบทความปริทัศน์ (review article) และ 3) บทความวิจารณ์หนังสือ (book review) ของคณาจารย์และนักศึกษาทั้งภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และผู้เขียนภายนอก นักวิชาการทั่วไป และปราชญ์ชาวบ้าน

ผลงานที่ได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารวิชชา **"ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อน"** พร้อมทั้งได้รับการพิจารณาจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) ในสาขาที่เกี่ยวข้องและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ **ทั้งนี้ บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขคำ สำนวน รูปแบบการอ้างอิง รูปแบบการนำเสนอ และอื่นๆ (ซึ่งไม่เกี่ยวกับเนื้อหาหรือสาระสำคัญ) ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร และผู้เขียนต้องรับผิดชอบในเนื้อหาของบทความ โดยกองบรรณาธิการวารสารวิชชา และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ไม่จำเป็นต้องรับผิดชอบใดๆ**

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ

- พิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้
- การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ควรหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปลหรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ
- สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาเป็นเบื้องต้นก่อน
- ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง ภาพและเอกสารอ้างอิง ควรระบุเลขหน้าให้ชัดเจนและจัดให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันทั้งฉบับ

2. รายละเอียดตัวอักษรและรูปแบบการพิมพ์

- จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word ขนาดของต้นฉบับใช้กระดาษขนาด Executive (18.41 × 26.67 เซนติเมตร)
- ตั้งค่าหน้ากระดาษสำหรับการพิมพ์

ด้านบน 2.5 เซนติเมตร	ด้านล่าง 2.5 เซนติเมตร
ด้านซ้าย 2.3 เซนติเมตร	ด้านขวา 2.5 เซนติเมตร

- พิมพ์คอลัมน์เดียวกระจายเต็มบรรทัด

- ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร 15
- ควรตั้งค่ากำหนดเลขบรรทัดไว้ด้านซ้าย

3. ส่วนประกอบในบทความ

3.1 บทความวิจัย เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งผู้เขียนได้ดำเนินการด้วยตนเอง

3.1.1 ส่วนประกอบตอนต้น

- ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้น กะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

- ชื่อผู้เขียนบทความ (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมล์สำหรับติดต่อ (e-mail: address)

- บทคัดย่อ (abstract) ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกินอย่างละ 300 คำ บทคัดย่อที่เขียนควรสั้น ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญเท่านั้น โดยเรียงลำดับบทคัดย่อภาษาไทยก่อนตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

- คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการวิจัย ประเด็นที่วิจัย ผลการวิจัย การใช้ประโยชน์หรือสถานที่ที่ทำวิจัย คำสำคัญนี้ให้เขียนทั้งในภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ในตอนท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาอย่างละไม่เกิน 5 คำ

3.1.2 เนื้อหาในบทความวิจัย ให้มีองค์ประกอบดังนี้

- บทนำ (introduction) อธิบายถึงที่มา ความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย ให้ข้อมูลทางวิชาการที่มีการตรวจเอกสาร (literature review) โดยระบุถึงแหล่งที่มาของข้อมูล (อ้างอิง) และจุดมุ่งหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย

- วิธีดำเนินการวิจัย (research methods) อธิบายกระบวนการดำเนินการวิจัย โดยบอกรายละเอียดวัสดุ วิธีการศึกษา สิ่งที่นำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา อธิบายแบบแผนการวิจัย การสุ่มตัวอย่าง วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

- ผลการวิจัย (results) และหรือการอภิปรายผลการวิจัย (discussion)

ผลการวิจัย รายงานผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็น โดยยึดแนวทางตามวัตถุประสงค์เป็นหลัก ควรอธิบายผลการวิจัยด้วยคำบรรยายเป็นหลัก แต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมากควรนำเสนอเป็นภาพและตาราง แทรกในเนื้อหา พร้อมอธิบายผลการวิจัยให้ได้สาระครบถ้วน

- การอภิปรายผลการวิจัย (discussion) เป็นการชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์/สมมติฐานของการวิจัย สอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

- สรุปผลการวิจัย (conclusion) สรุปผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็น

- ข้อเสนอแนะ (suggestion) (ถ้ามี)

- กิตติกรรมประกาศ (acknowledgements) ให้ระบุว่างานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด และบุคคลใดบ้าง

- เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิจัยอย่างครบถ้วน โดยระบุรายละเอียดและใช้รูปแบบการเขียนที่ถูกต้องครบถ้วน (ตามข้อ 4) จัดเรียงลำดับตามตัวอักษร โดยเรียงเอกสารภาษาไทยก่อนและตามด้วยเอกสารภาษาอังกฤษ

3.2 บทความทางวิชาการ เป็นบทความที่ผู้เขียนได้เรียบเรียงโดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร งานแปล และผลงานจากประสบการณ์ของผู้เขียนหรือได้รับการถ่ายทอดจากผู้อื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ องค์ความรู้ การเสนอความคิดเห็นที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ทางวิชาการของสาขาต่างๆ

3.2.1 ส่วนประกอบตอนต้น

- ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้นกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

- ชื่อผู้เขียน (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมล์สำหรับติดต่อ (e-mail: address)

- สาระสังเขป (summary)

เป็นการย่อเนื้อความของบทความทั้งเรื่องให้สั้นได้เนื้อหาสาระครบถ้วน

- คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการ สิ่งที่ศึกษา ผลการศึกษา สาขา การใช้ประโยชน์และสถานที่ คำสำคัญให้เขียนทั้งคำสำคัญภาษาไทย และภาษาอังกฤษแต่ละชุดไม่เกิน 5 คำ

3.2.2 เนื้อหา (main text) ในบทความทางวิชาการมีองค์ประกอบดังนี้

- บทนำ (introduction) กล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่นำเสนอ ก่อนเข้าสู่เนื้อหา

- เนื้อความ (content) ควรนำเสนอพัฒนาการของเรื่องได้อย่างน่าสนใจและเนื้อเรื่องมีเนื้อหาใหม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน

- สรุป (conclusion) เป็นการย่อเฉพาะข้อมูลจากเนื้อความให้สั้นได้เนื้อหาสาระของเนื้อความครบถ้วน

- เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามที่ระบุไว้ในข้อ 4 (เอกสารอ้างอิง)

3.3 ตารางและภาพประกอบ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

- ตาราง เมื่อวางรูปตารางข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ด้านบนของตารางด้วยข้อความที่เป็น “ตารางที่... (เว้น 1 วรรค และตามด้วยชื่อตารางหรือคำอธิบายสั้นๆ)” ส่วน “ที่มา” ของตาราง (ถ้ามี) ให้อยู่ด้านล่างของตาราง “ที่มา: ... (เว้น 1 วรรคและตามด้วยอ้างอิง” (ชื่อ, ปี) ดังตัวอย่าง

ตารางที่ 1 จำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็วรอบของจานโซ่

จานโซ่	**จำนวนฟัน**	**เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)**	**ความเร็วรอบ (pm)**
ตัวที่ 1 ติดกับมอเตอร์	20	59	600
ตัวที่ 2 รับกำลังจากมอเตอร์	14	70	700
ตัวที่ 3 ต่อจากมอเตอร์	30	85	800

ที่มา: จารุณี (2559)

- ภาพประกอบ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ เป็นภาพที่ใช้ประกอบเนื้อหา เมื่อจัดภาพเสร็จแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ใต้ภาพด้วยข้อความที่เป็น “ภาพที่.. (เว้น 1 วรรค และตามด้วยชื่อภาพหรือคำอธิบายภาพประกอบสั้นๆ”) และบรรทัดที่ถัดลงมาคือ “ที่มา..” ใช้รูปแบบเดียวกับตารางทุกประการ ดังตัวอย่าง

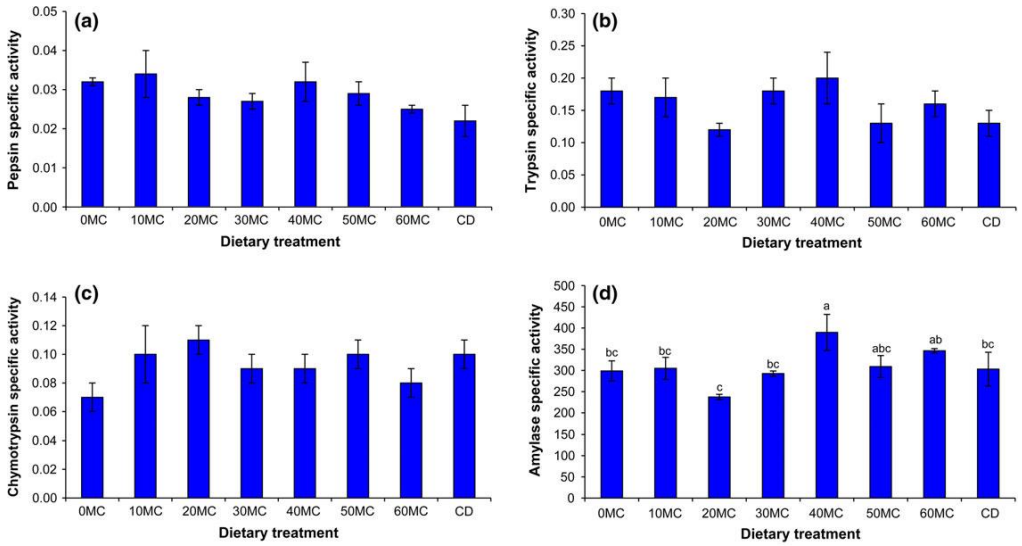


Figure 1 The specific activities (U/mg protein) of pepsin (a), trypsin (b), chymotrypsin (c) and amylase (d) in giant freshwater prawns subjected to various dietary replacements of protein from fish meal with mackerel condensate (MC). The data are expressed as mean ± SEM (n = 3). Different superscripts indicate significant differences between groups ($P < 0.05$). CD, commercial diet.

Source: Wattanakul *et al*. (2017)

ตารางสรุปรูปแบบการพิมพ์ส่วนประกอบของบทความ

ส่วนประกอบของบทความ	ลักษณะของตัวอักษร	ขนาดของตัวอักษร	รูปแบบการจัดหน้าบทความ
ชื่อเรื่อง			
1) ภาษาไทย	หนา	18 pt.	กึ่งกลาง
2) ภาษาอังกฤษ	หนา	18 pt.	กึ่งกลาง
ชื่อผู้เขียนบทความ	หนา	15 pt.	ชิดขวา
บทคัดย่อ			
1) ภาษาไทย	ปกติ	15 pt.	
2) ภาษาอังกฤษ	ปกติ	15 pt.	
คำสำคัญ	หัวข้อตัวหนา และคำสำคัญปกติ	15 pt.	ชิดซ้าย
เชิงอรรถ	ปกติ	13 pt.	ชิดซ้าย
- หัวข้อหลัก	หนา	15 pt.	ชิดซ้าย (ไม่มีตัวเลขกำกับ)
- หัวข้อย่อย	หนา	15 pt.	1. ชิดซ้าย (1.5 ซม.)

ส่วนประกอบของบทความ	ลักษณะของตัวอักษร	ขนาดของตัวอักษร	รูปแบบการจัดหน้าบทความ
	ปกติ		1.1 ชิดซ้าย (2 ซม.)
	ปกติ		1.1.1 ชิดซ้าย (2.75 ซม.)
- เนื้อหา	ปกติ	15 pt.	
ตาราง	ปกติ	15 pt.	

4. การอ้างอิง (citation)

การอ้างอิงของวารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชใช้รูปแบบการอ้างอิงที่ดัดแปลงมาจากสมาคมจิตวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Psychological Association: APA) ดังนี้

4.1 การอิงในเนื้อหา (in-text citation) ใช้การอ้างอิงแบบ “นาม-ปี”ทั้งนี้ให้ใส่ชื่อผู้แต่งและปีที่พิมพ์ เช่นเดียวกับการอ้างอิงท้ายบทความ

4.1.1 การเขียนอ้างอิงก่อนเนื้อหา

ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: จิรวัฒน์ (2554) ข้อความ.....

ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: Tomson (2014) ข้อความ.....

4.1.2 การเขียนเนื้อหาก่อนการอ้างอิง

ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ข้อความ.....(จิรวัฒน์, 2554)

ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ข้อความ.....(Tomson, 2014)

<u>กรณีมีผู้แต่งคนเดียว</u>

1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อ/(ปี พ.ศ.)

2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุล/(ปี ค.ศ.)

<u>กรณีมีผู้แต่ง 2 คน</u>

1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อคนที่ 1/และชื่อคนที่ 2/(ปี พ.ศ.)

2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุลคนที่ 1/ and ชื่อสกุลคนที่ 2/(ปี ค.ศ.)

<u>กรณีมีผู้แต่งมีตั้งแต่ 3 คนขึ้นไป</u>

1) ต้นฉบับเป็นภาษาไทย: ชื่อคนที่ 1/และคณะ/(ปี พ.ศ.)

2) ต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ: ชื่อสกุลคนที่ 1/*et al.*/(ปี ค.ศ.)

4.2 การอ้างอิงท้ายบทความ (reference section)

4.2.1 หนังสือที่ตีพิมพ์เป็นรูปเล่ม (print version)

ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)./*ชื่อหนังสือ*./(ครั้งที่พิมพ์)./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
<u>ตัวอย่าง</u> **กรณีที่ตีพิมพ์ครั้งแรก** สรเมธี วชิรปราการ. (2551). *เปิดชีวิตเทวดานางฟ้าไขปริศนาแดนสวรรค์*. นนทบุรี: สมาร์ทบุ๊ค. Almond, G.A. and Powell, B.G. (1976). *Comparative political today*. Boston: Little Brown and Company.

กรณีที่ตีพิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป

เจือจันทร์ จงสถิต และรุ่งเรือง สุขาทิพย์. (2550). *การสังเคราะห์งานวิจัยคุณลักษณะและกระบวนการปลูกฝังจริยธรรมของประเทศต่างๆ*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

Carpenter, J.W., Mashima, T.Y. and Rupiper, D.J. (2001). *Exotic animal formulary*. (2nd ed). Philadelphia: W.B. Saunders Company.

4.2.2 หนังสือที่ออนไลน์ (electronic book)

ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่ออนไลน์)./*ชื่อหนังสือ*./สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี,/จาก:/http:..... .

The World Society for the Protection of Animals. (2013). *The Cayman Turtle Farm: A continued case for change*. Retrieved 10 July 2017, from: https://d31j74p4lpxrfp.cloudfront.net/sites/default/files/us_files/turtle_a_continued_case_for_change_report.pdf.

4.2.3 วารสาร

ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความ./*ชื่อวารสาร*,/ปีที่หรือเล่มที่ (ฉบับที่),/หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

ตัวอย่าง

กรณีที่วารสารมีเลขหน้า

สมรักษ์ รอดเจริญ และการุณ ทองประจุแก้ว. (2559). สภาวะการเลี้ยงและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Nostoc commune* TISTR 8870) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 8(2), 219–229.

Palzzo, A.J., Cory, T.J. and Hardy, S.E. (2003). Root growth and metal uptake in four grasses grown on Zn-contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*, 32(3), 834–840.

กรณีที่วารสารยังไม่มีเลขหน้า

Whan-air, W., Thongprajukaew, K., Salaeharae, T. and Yoonram, K. (2018). Identification of wild and farmed broadhead catfish (*Clarias macrocephalus* Günther, 1864) based on morphometry, digestive indexes and flesh quality. *Journal of Oceanology and Limnolology*, doi: https://doi.org/10.1007/s00343-018-7205-7.

4.2.4 นิตยสารหรือหนังสือพิมพ์

ชื่อ/ชื่อสกุล./(วัน/เดือน/ปี)./ชื่อบทความ./*ชื่อนิตยสารหรือหนังสือพิมพ์*,/ปีที่,/หน้า.

ตัวอย่าง

มาลินี ป้องกัน. (3 กรกฎาคม 2560). ลงทะเบียนคนจน. *มติชน*, 50, หน้า 12.

4.2.5 บทหนึ่งในหนังสือ (book chapter)

ชื่อ/ชื่อสกุลผู้เขียนบท./(ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทหรือตอน./ใน/ชื่อ/ชื่อสกุลบรรณาธิการ./*ชื่อหนังสือ*,/หน้าแรก-หน้าสุดท้ายของบท./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง มาลีนนท์ วุฒิจักร. (2560). สาหร่ายพวงองุ่น. ใน บัณฑิต คิดดี. *เกษตรหน้าใหม่*, หน้า 100–110. กรุงเทพฯ: อุดมศิลป์. Zambonino-Infante, J., Gisbert, E., Sarasquete, C., Navarro, I., Gutiérrez, J. and Cahu, C.I. (2009). Ontogeny and physiology of the digestive system of the marine fish larvae. In Cyrino, J.E.O., Bureau, D. and Kapoor, B.G. (Eds.). *Feeding and digestive function of fish*, pp. 277–344. Enfield: Science Publishers, Inc.

4.2.6 วิทยานิพนธ์

ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)./*ชื่อวิทยานิพนธ์*./ระดับวิทยานิพนธ์./ชื่อมหาวิทยาลัย,/เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง จงลักษณ์ งิ้มนับใจ. (2550). *สมรรถนะแห่งตนต่อการเฝ้าระวังโรคความดันโลหิตสูงของอาสาสมัครสาธารณสุขอำเภอนาหมื่น จังหวัดน่าน*. วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. Mirera, D.O. (2013). Capture-based mud crab (*Scylla serrata*) aquaculture and artisanal fishery in East Africa – Practical and ecological perspectives. Ph.D. thesis in Environmental Science. Linnaeus University, Kalmar.

4.2.7 เว็บไซต์ (website)

ชื่อผู้จัดทำ./(ปีที่ออนไลน์)./*ชื่อเรื่อง*./สืบค้นเมื่อ/วัน/เดือน/ปี,/จาก:/http:..... .
ตัวอย่าง อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2542, จาก: http://158.108.200.11//scil/009hom~1/009421/chap1.html. Adkins, J. (2016). *Marine scientist devotes career to reversing trend of by catch*. Retrieved 1 July 2018, from: https://phys.org/news/2016-03-marine-scientist-devotes-career-reversing.html.

4.2.8 รายงานการประชุม

ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)./ชื่อเรื่อง./*ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา*./สถานที่พิมพ์.
ตัวอย่าง สุรยุทธ แจ้งเกิด. (2559). ความมั่นคงทางอาหารของชุมชนบ้านบางปริก. *การประชุมวิชาการความมั่นคงทางอาหารแห่งชาติ*. กรุงเทพฯ.

4.2.9 บทหนึ่งในหนังสือการประชุม (proceeding) และเอกสารการสัมมนา

ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความหรือบท./ใน/*ชื่อการประชุมหรือการสัมมนา* (หน้าแรก–หน้าสุดท้าย)./เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
<u>ตัวอย่าง</u> กรวรรณ มากสุข. (2555). วาทกรรมความงามของเด็กมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 3* (หน้า 22–35). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

4.2.10 บทคัดย่อในการประชุมวิชาการ (abstract in conference)

ชื่อ/ชื่อสกุล./(ปีที่พิมพ์)./ชื่อบทความ./ในบทคัดย่อ/*ชื่อการประชุม* (หน้า)./เมืองที่พิมพ์:/หน่วยงานที่จัดทำ.
Kovitvadhi, A., Chandang, P., Luapan, J., Sriyaphai, P., Buahom, R., Cham-iam, T., Leelehapongsathon, K., Tirawattanawanich, C. and Thongprajukaew, K. (2018). Screening three cricket species (*Gryllus bimaculatus*, *Acheta domestica* and *Modicogryllus confirmata*) for broiler diets by *in vitro* digestibility techniques. In *Abstract of the 6th Mediterranean Poultry Summit* (pp. 62). Torino: The Mediterranean Poultry Network of the World's Poultry Science Association.

แบบเสนอขอส่งบทความตีพิมพ์ลงในวารสารวิชชา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ชื่อเรื่อง

(ภาษาไทย).....

.....

(ภาษาอังกฤษ).....

.....

ประเภทบทความ

☐ บทความวิจัย

☐ บทความวิชาการหรือบทความปริทัศน์

☐ บทความวิจารณ์หนังสือ

ผู้เขียนบทความ

ชื่อ – สกุล (นาย/นาง/นางสาว/ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี)/อื่นๆ)

.....

☐ นักศึกษา ระดับ .....สาขา/คณะ/สถาบัน.....

☐ อาจารย์ สาขา/คณะ.....สถาบัน.....

☐ บุคคลทั่วไป ตำแหน่ง/หน่วยงาน ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ เลขที่.....หมู่ที่.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์ (ที่ทำงาน).....โทรศัพท์ (มือถือ).....

โทรสาร.....อีเมล์.....

ผู้เขียนร่วม (ถ้ามี)

1. ชื่อ-สกุล .....ตำแหน่ง/หน่วยงาน.....
2. ชื่อ-สกุล .....ตำแหน่ง/หน่วยงาน.....
3. ชื่อ-สกุล .....ตำแหน่ง/หน่วยงาน.....

สิ่งที่ส่งมาด้วย

☐ ส่งต้นฉบับ ซึ่งประกอบด้วยไฟล์ Microsoft Word และ PDF ทางเว็บไซต์
https://www.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/login

“ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความที่เสนอนี้ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่มาก่อน ไม่อยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น ข้าพเจ้ายอมรับและยินดีปฏิบัติตามหลักเกณฑ์การพิจารณาต้นฉบับ และยินยอมให้กองบรรณาธิการตรวจแก้ต้นฉบับได้ตามสมควร”

ลงชื่อ ..... เจ้าของบทความ

(.....)

...../...../.....



วารสารวิชชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ISSN (Print) : 0125-2380

ISSN (Online) : 2672-958X

Wichcha Journal

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University