



วารสาร

เกษตรพระจอมเกล้า

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 39 ฉบับที่ 3

VOLUME 39 NUMBER 3

กรกฎาคม – กันยายน 2564

ISSN 2651-2203 (Online)

July – September 2021

บทความวิจัย

สารบัญ

หน้า

- | | | |
|--|--|-----|
| □ แบบจำลองทางสถิติเพื่อค้นหาอิทธิพลของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการออกดอกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในจังหวัดพิษณุโลก | ศรัญญา ทองสุข และโสภณา สำราญ | 172 |
| □ การเข้าอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากต้นกล้าทุเรียนเสียบยอดพันธุ์หมอนทอง | กนกพร บุญญะอดิชาติ วรพล บรรณจิต
ประสิทธิ์ ดีวัฒนวงศ์ และรุจิรา ดีวัฒนวงศ์ | 184 |
| □ การศึกษาผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวและขนาดผลที่มีต่อคุณภาพผลของมะนาวพันธุ์ 'แป้นบ้านแพ้ว' | สริดา บัวทอง วชิรญา อิมสบาย
และปวีณา ชื่นวาริน | 190 |
| □ ศักยภาพของสปอร์แขวนลอยเชื้อรา <i>Trichoderma</i> spp. ในการควบคุมการฟักและการพัฒนาของกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยสาเหตุรากปม (<i>Meloidogyne incognita</i>) ในมะเขือเทศ | อังคณา โรจน์ประจักษ์ และอมรศรี ขุนอินทร์ | 198 |
| □ ผลของเวลาการให้อากาศต่อการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยเชื้อ <i>Sacharomyces cerevisiae</i> | ประยุทธ เสาทอง กล้าณรงค์ ศรีรอด
บุญทิศา นิลจันทร์ และวิรัตน์ วาณิชยศิริรัตน | 206 |
| □ ผลของเเคโตไมคอร์ไรซาจากเห็ดเผาะและเห็ดตับเต่าต่อการเจริญของไม้ป่าและไม้โตเร็วบางชนิดในสภาพแปลงธรรมชาติ | ธนภักร อินยอด ธนากร ลัทธิดีระสุวรรณ
ธนภัทร เต็มอารมย์ ชาติรี กอนี่
ศิรินทิพย์ ชัยมงคล และวีระชัย ฟองธวังค์ | 215 |
| □ ความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภคในจังหวัดขอนแก่น | ธมณ ชีระศรณนธ์ เยาวรัตน์ ศรีวรานันท์
และปรีชาติ แสงคำเฉลียง | 224 |
| □ ความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร | วรรณรีย์ คนขยัน สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม
และธานินทร์ คงศิลา | 231 |
| □ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง | ภาสุรี ฤทธิเลิศ | 239 |

บทความวิชาการ

- | | | |
|--|---|-----|
| □ ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมวิถีสู่สังคมเกษตรยั่งยืน | อดิศักดิ์ อ่ำเทศ
และดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์ | 248 |
|--|---|-----|

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร
2. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างผู้ที่อยู่ในวงการเกษตรหรือสถาบันต่าง ๆ

การส่งเรื่องลงพิมพ์

เรื่องที่ส่ง ได้แก่ บทความวิจัย บทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับทางการเกษตรหลักเกณฑ์และการเตรียมต้นฉบับได้ระบุไว้ตอนท้ายของวารสารพระจอมเกล้า

สำนักงาน

งานวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์/โทรสาร : 0-2329-8524
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th
www.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/index

กำหนดการตีพิมพ์ : วารสารเกษตรพระจอมเกล้า กำหนดตีพิมพ์ปีละ 4 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม
- ฉบับที่ 2 เมษายน – มิถุนายน
- ฉบับที่ 3 กรกฎาคม – กันยายน
- ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
รองคณบดี
ผู้ช่วยคณบดี
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
หัวหน้าภาควิชาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง
หัวหน้าภาควิชาวนวัตกรรมสื่อสารและ
พัฒนาการเกษตร
รศ. ดร.จำรูญ เล้าสินวัฒนา
(บรรณาธิการ พ.ศ. 2555-2558)

บรรณาธิการบริหาร

- รศ. ดร.ณัฐกร สงคราม
- รศ. ดร.กนก เลิศพานิช

บรรณาธิการ

- รศ. ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

- ผศ. ดร.ช่อแก้ว อนิลบล

ผู้ดูแลระบบ

- นายอภิสิทธิ์ แสนหล้า
- นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

กองบรรณาธิการ

- ศ. ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข
- ศ. ดร.สุดฤดี ประเทืองวงศ์
- ศ. ดร.อังศุมาลย์ จันทราปัติย์
- ศ. ดร.ฉลอง วชิราภากร
- รศ. ดร.กานต์ สุขสุแพทย์
- รศ. ดร.กำจร หลุยยะพงศ์
- รศ. ดร.จินดา ชลิตทอง
- รศ. ดร.จุฑารัตน์ เศรษฐกุล
- รศ. ดร.สุกฤษ หนียสาแม
- รศ. ดร.เนาวนิตย์ สงคราม
- รศ. ดร.ปรเมศ บันเทิง
- รศ. ดร.วรเดช จันทรส
- รศ. ดร.วรวิทย์ เทพานุต
- รศ. ดร.ศิริชัย กัลยาณรัตน์
- รศ. ดร.สนธิชัย จันทร์เปรม
- ผศ. ดร.จักรมาศ เลหาพนิช
- ผศ. ดร.พิชิตวรรณ เจริญสมบัติ
- ผศ. ดร.เยาวรัตน์ ศรีวรรณันท์
- ผศ. ดร.วัชรระ จินตโกวิท
- ผศ. ดร.วีระณีย์ ทองศรี
- ผศ. ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์
- คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
- รศ. ดร.พรหมมาศ คุณาภาญจน์
- รศ. ดร.กัญจนา แซ่เตียว
- รศ. ดร.สุณิพร สุวรรณมณีพงษ์
- ผศ. ดร.นิตยา ผกามาต
- ผศ. ดร.อัฉรี เรืองเดช
- ผศ. ดร.จำลอง มิตรชาวไทย
- ผศ. ดร.กัลยาณี เต็งพงศธร
- ผศ. ดร.ดวงกมล ปานรดทิพ ธรรมาธิวัฒน์
- ผศ. ดร.สมศักดิ์ ครามโชติ
- ผศ. ดร.มัลลิกา กิลลาโส
- ดร.ธนัท สมณคุปต์

เลขานุการและงานทะเบียน

นางสาวอาชูรา อูมา

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 096-176-3329
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th

สำนักพิมพ์ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านเมืองทองธานี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านชลลดา-สุวรรณภูมิ)
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านตำบลคลองเกลือ)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านสุขุมวิท 81)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยนครพนม
กรมส่งเสริมการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้น ๆ แต่อย่างใด

บทบรรณาธิการ

วารสารเกษตรพระจอมเกล้าฉบับนี้เป็นฉบับที่ 3 ของปีที่ 39 ซึ่งมีบทความที่น่าสนใจมากมายที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านพืชสวน พืชไร่ ปศุสัตว์ โรคพืช พัฒนาการเกษตร อุตสาหกรรมเกษตร และอุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งการป่าไม้ ฉบับนี้มีบทความวิชาการ 1 เรื่อง ที่เกี่ยวกับงานทางด้านพัฒนาการเกษตร มีชื่อเรื่องว่า ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมวิถีผู้สังคมเกษตรยั่งยืน ซึ่งระบบเกษตรอินทรีย์ในปัจจุบันก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้อ่าน และขอขอบคุณนักวิจัยและผู้อ่านทุกท่าน ที่ให้ความสนใจและสนับสนุนวารสารเกษตรพระจอมเกล้ามาอย่างต่อเนื่อง

กองบรรณาธิการ

แบบจำลองทางสถิติเพื่อค้นหาอิทธิพลของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการออกดอก ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในจังหวัดพิษณุโลก

A Statistical Model for Finding the Influence of Climate on Flowering of 'Namdokmai Sithong' Mango in Phitsanulok Province

ศรัญญา ทองสุข¹ และโสภณา สำราญ²
Saranya Thongsook¹ and Sophana Somran²

บทคัดย่อ

จากการศึกษาหาแบบจำลองการถดถอยพหุคูณโดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยสำหรับการทำนายการออกดอกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในจังหวัดพิษณุโลก โดยนำข้อมูลจำนวนการออกดอกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากสวนของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างจำนวน 11 สวน ใน 2 ตำบลของอำเภวังทอง และใน 3 ตำบลของอำเภเนินมะปราง โดยแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ช่วง คือ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม 2560 และระหว่างเดือนกันยายน - ธันวาคม 2561 และนำข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความกดอากาศเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย มาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการถดถอยพหุคูณด้วยวิธี Principal Component Analysis (PCA) พบว่า $\hat{y} = 21.623913 - 10.542305FS_1 - 8.285513FS_2$ คือสมการพยากรณ์หรือสมการถดถอยของจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น จากสมการแสดงให้เห็นว่าจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 ลดลง ซึ่งกล่าวว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 สามารถอธิบายความผันแปรของจำนวนช่อดอกเฉลี่ย/ต้นได้ร้อยละ 48.5 และเพื่อการตรวจสอบความแม่นยำของสมการในอนาคต คณะผู้วิจัยจึงสร้างเว็บไซต์ <http://www.mangoforecast.com/> เพื่อทำนายจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น และเพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศจากเกษตรกรผู้สนใจ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ปรับปรุงสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น เพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่ง ๆ ขึ้นไปอีกทั้งจะถูกใช้เพื่อหาปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมที่สุดตามจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นที่ต้องการสำหรับจังหวัดพิษณุโลกในปัจจุบันและในอนาคต

คำสำคัญ: ภูมิอากาศ ดอกมะม่วง การวิเคราะห์ปัจจัย การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

Abstract

A multiple regression model using factor analysis was used to predict the flowering of 'Namdokmai Sithong' mangoes in Phitsanulok province. Data concerned with the average number of flowerings per tree in eleven sample gardens in two sub-districts of Wang Thong district and three sub-districts of Noen Maprang district, and climate data for the same area including average temperature, average air pressure, average relative humidity, and average rainfall were collected over two periods: February to March 2017 and September to December 2018. The data were applied to determine a multiple regression model based on Principal Component Analysis (PCA). The results showed that $\hat{y} = 21.623913 - 10.542305FS_1 - 8.285513FS_2$ was the predictive equation or regression equation for the average number of flowerings/tree. From the equation, the average number of flowerings/tree increased when the first weather factor and the second weather factor decreased. This implied that climate was an important factor influencing the average number of flowerings/tree. It also suggested climate factors 1 and 2 could account for the 48.5 percent variation in the mean number of flowerings/plant. Furthermore, the researchers created a website, <http://www.mangoforecast.com/> which can be used to predict the average number of flowerings/tree and to collect climate data from interested farmers. The data will be used to improve

¹ สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและการจัดการสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิษณุโลกสงคราม อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000

¹ Department of Data Science and Information Management, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok 65000

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000

² Department of Science, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Phitsanulok 65000

*Corresponding author, Email: saranya.tho@psru.ac.th

the forecasting equation for the average number of flowerings/tree and to achieve greater accuracy. In addition, the data will be used to determine the optimal climate factors influencing flowering in present and future Phitsanulok province.

Keywords: weather, mango flower, factor analysis, multiple regression

คำนำ

มะม่วงเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ทั้งการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกไปยังต่างประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) อีกทั้งมะม่วงยังเป็นผลไม้ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ดี เกษตรกรไทยจึงนิยมปลูกมะม่วงเพื่อจำหน่ายกันกว้างขวางมากขึ้น โดยมีพื้นที่ปลูกมะม่วงเชิงพาณิชย์รวมประมาณกว่า 2 ล้านไร่ ให้ผลผลิตมะม่วงกว่า 3 ล้านตัน โดยในปี พ.ศ. 2558 สามารถส่งออกมะม่วงได้ราว 65,000 ตัน มีมูลค่าการส่งออกกว่า 3,000 ล้านบาท ซึ่งตลาดส่งออกมะม่วงที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น จีน เวียดนาม สหรัฐอเมริกา และเกาหลี โดยประเทศไทยมีการส่งออกผลผลิตมะม่วงให้ประเทศเกาหลีมากที่สุด คิดเป็นมูลค่ากว่า 720 ล้านบาท รองลงมา คือ ญี่ปุ่น 440 ล้านบาท เวียดนาม 180 ล้านบาท และจีน 110 ล้านบาท ซึ่งเมื่อพิจารณาการส่งออกในรอบ 5 ปี ที่ผ่านมา ถือว่ามีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2558)

ประเทศไทยมีการปลูกมะม่วงกระจายอยู่ในเขตภาคเหนือมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 42 ของพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งจังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดที่ปลูกมะม่วงเป็นธุรกิจเพื่อส่งออกที่เป็นแหล่งผลิตมะม่วงที่ใหญ่ที่สุดของภาคเหนือ โดยมีพื้นที่ปลูกมะม่วงกว่า 103,280 ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2552) สร้างรายได้เข้าสู่ประเทศไม่ต่ำกว่าปีละ 1,000 ล้านบาท ปัจจุบันแหล่งปลูกมะม่วงที่สำคัญของจังหวัดพิษณุโลกกระจายตัวอยู่ในพื้นที่อำเภอเนินมะปราง อำเภอวังทอง และอำเภอบึงสามพัน ซึ่งมีเนื้อที่ไม่ต่ำกว่า 62,030 ไร่ สามารถผลิตมะม่วงได้มากกว่าปีละ 44,000 ตัน ซึ่งมะม่วงที่ส่งออกมากที่สุดคือ มะม่วงกึ่งสุก เช่น น้ำดอกไม้สีทอง และน้ำดอกไม้เบอร์ 4 (จิรวรรณ โรจนพรทิพย์, 2558) จากการที่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงของจังหวัดพิษณุโลกได้สร้างกลุ่มชุมชนสวนมะม่วงที่มีการเชื่อมโยงเครือข่ายทางธุรกิจกับบริษัทผู้รับซื้อโดยตรง ทำให้สามารถกำหนดราคาซื้อขายได้อย่างยุติธรรมเป็นที่พึงพอใจของทุกฝ่าย และส่งผลให้จังหวัดพิษณุโลกเป็นแหล่งผลิตมะม่วงที่ใหญ่ที่สุดในเขตภาคเหนือ

อย่างไรก็ตามโดยส่วนมากแล้วร้อยละ 75 ของการทำเกษตรในประเทศไทยเป็นแบบพึ่งพาน้ำฝนและฤดูกาลตามธรรมชาติ จึงอาจกล่าวได้ว่าสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อผลผลิตทางการเกษตรสำหรับเกษตรกรไทยเป็นอย่างมาก ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อผลผลิตทางการเกษตร เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณและรูปแบบของฝน อุณหภูมิที่สูงขึ้น รวมถึงการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ดังนั้นการผลิตที่ขึ้นอยู่กับการพึ่งพาธรรมชาติมากเกินไป ความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศก็ยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเท่านั้น (อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2554) และผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศก็เป็นปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญสำหรับการปลูกมะม่วงไม่แตกต่างจากผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ เช่นกัน จากการศึกษาการจัดการการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของเกษตรกรในอำเภอบึงสามพัน จังหวัดพิษณุโลก พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากสภาพภูมิอากาศแปรปรวนนั้น ส่งผลกระทบต่อการผลิตมะม่วงเป็นอย่างมาก ทำให้กระบวนการผลิตยากขึ้น ผลกระทบมาจากภาวะโลกร้อนทำให้สภาพอากาศตอนกลางวันร้อนมาก เมื่อเจอสภาพอากาศเย็นในช่วงกลางคืน ทำให้ต้นมะม่วงให้ผลผลิตน้อยลง ขนาดผลเล็กลงไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (ธัญลักษณ์ ตาสุข และคณะ, 2556) แต่อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่แล้ววิธีการสำหรับการแก้ไขปัญหาก็เกิดจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเป็นคำแนะนำเพียงแค่เบื้องต้นเท่านั้น เช่น เกษตรกรจะต้องพยายามดูแลป้องกันผลผลิตของตนโดยติดตามสถานการณ์จากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อวางแผนจัดการผลผลิตอย่างเหมาะสมเพื่อลดความสูญเสียให้น้อยที่สุด เป็นต้น นอกจากนี้แล้วงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการผลิตมะม่วงในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านต่าง ๆ ของสภาพภูมิอากาศกับการออกดอกของมะม่วง โดยพัฒนาแบบจำลองของปริมาณการออกดอกสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้ และจัดทำข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ของปริมาณการออกดอกสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแบบต่าง ๆ ในเขตจังหวัดพิษณุโลก เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการลดผลกระทบของปริมาณผลผลิตและคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เกิดจากสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลต่อการสร้างความเข้มแข็ง โอกาสทางการตลาด และการสร้างรายได้ให้กับจังหวัดพิษณุโลกและประเทศไทยทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการรวบรวมข้อมูลจำนวนการออกดอกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองใน 2 ตำบลของอำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ ตำบลวังพิรุณ และตำบลพันชาลี และใน 3 ตำบลของอำเภอนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ได้แก่ ตำบลเนินมะปราง ตำบลบ้านมุง และตำบลบ้านน้อยชุมชี่เหล็ก โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าว 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม 2560 และช่วงที่ 2 คือ ระหว่างเดือนกันยายน - ธันวาคม 2561 โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนการออกดอกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจากสวนของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างจำนวน 11 สวน โดยในแต่ละสวนจะถูกสุ่มเลือกต้นมะม่วงโดยการสุ่มอย่างง่ายจำนวน 7-18 ต้น จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลช่อดอกที่ออกดอกในแต่ต้นที่ถูกสุ่ม แล้วนำมาหาจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นในแต่ละสวนตัวอย่าง (Table 1) และสำหรับข้อมูลสภาพภูมิอากาศใช้ข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศที่เทศบาลตำบลเนินมะปราง ต. เนินมะปราง อ. เนินมะปราง จ. พิษณุโลก และจากสถานีตรวจอากาศที่ทำการผู้ใหญ่บ้าน หมู่ 13 ต. วังทอง อ. วังทอง จ. พิษณุโลก จากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ และปริมาณน้ำฝน ซึ่งเก็บข้อมูลเป็นแบบรายวัน โดยคณะผู้วิจัยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจอากาศดังกล่าว โดยใช้ข้อมูลนับจากช่วงดึ่งดอกจนถึงวันที่เก็บข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดช่วงดึ่งดอกโดยเฉลี่ยไว้ที่ประมาณปลายเดือนสิงหาคมจนถึงต้นเดือนกันยายน ทั้งนี้เนื่องจากสวนที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอย่างมีช่วงระยะเวลาการดึ่งดอกไม่พร้อมกัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2559 ถึง มีนาคม 2560 สำหรับช่วงที่ 1 และใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2560 ถึง มีนาคม 2561 สำหรับช่วงที่ 2 จากนั้นนำข้อมูลในแต่ละช่วงมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยสำหรับอุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ และปริมาณน้ำฝน (Table 2)

Table 1 The average number of inflorescences/tree of mango in each orchard.

District	Sub-district	Orchard	The number of trees				
			Period 1		Period 2		
			1	1	2	3	4
Wang Thong	Phan Chali	1	15	-	-	-	-
		2	18	-	-	-	-
		3	15	-	-	-	-
		4	12	-	12	12	12
	Wang Phikun	1	4	-	-	-	-
Noen Maprang	Noen Maprang	1	10	12	12	12	12
		2	10	12	12	12	12
	Ban Mung	1	10	-	-	-	-
		2	10	-	-	7	8
	Ban Noi Sum Khilek	1	10	12	12	12	12
		2	10	-	-	-	-
Total			124	36	48	55	56

Note: In period 1, the data were collected only once due to the absence of inflorescences and the gardens without data. In period 2, some data were not collected due to the absence of inflorescences during this period.

Table 2 Average in weather conditions.

District	Period	Temperature (°C)	Air pressure (mBar)	Relative humidity (%)	Rainfall (mm)
Wang Thong	1	27.46	1006.73	74.73	2.90
		29.69	1002.73	77.40	3.85
	2	29.89	1006.07	74.42	1.70
		29.60	1006.23	71.64	2.25
		29.22	1006.70	70.14	1.74
Noen Maprang	1	28.24	1005.76	72.62	2.66
		30.43	1001.73	77.30	2.60
	2	30.41	1003.12	77.11	2.83
		29.71	1003.96	76.95	2.73
		29.44	1004.80	74.48	2.53

การวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองทางสถิติสำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศต่อการออกดอกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง โดยขั้นตอนแรกคือใช้การวิเคราะห์การหาค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนช่อดอกเฉลี่ย/ต้นกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ขั้นตอนที่สองคือใช้วิธีการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2559; Baayen, 2016) โดยการใช้วิธี principal component analysis สำหรับแก้ปัญหาคอเลอเนียร์ (multicollinearity) เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กันอยู่แล้วไม่ว่าทางตรงก็ทางอ้อม ทั้งนี้เพื่อให้ได้ปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุดสำหรับสร้างแบบจำลองทางสถิติของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศต่อการออกดอกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง และขั้นตอนสุดท้ายคือใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงพหุ (multiple regression) โดยใช้โปรแกรมอาร์ เวอร์ชัน 3.2.3 เพื่อสร้างแบบจำลองทางสถิติสำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศต่อการออกดอกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ดังแผนภาพข้างล่าง (Figure 1) และเนื่องจากระยะเวลาและงบประมาณในงานวิจัยครั้งนี้มีจำกัด ดังนั้นแบบจำลองทางสถิติที่ได้จึงขาดในส่วนของการตรวจสอบ (validation) ซึ่งทางคณะผู้วิจัยจะดำเนินการต่อไป โดยจะนำข้อมูลปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศของเกษตรกรผู้สนใจใช้แบบจำลองดังกล่าวแสดงผ่านทางเว็บไซต์ที่สร้างขึ้นมาใช้ในการตรวจสอบแบบจำลองต่อไป

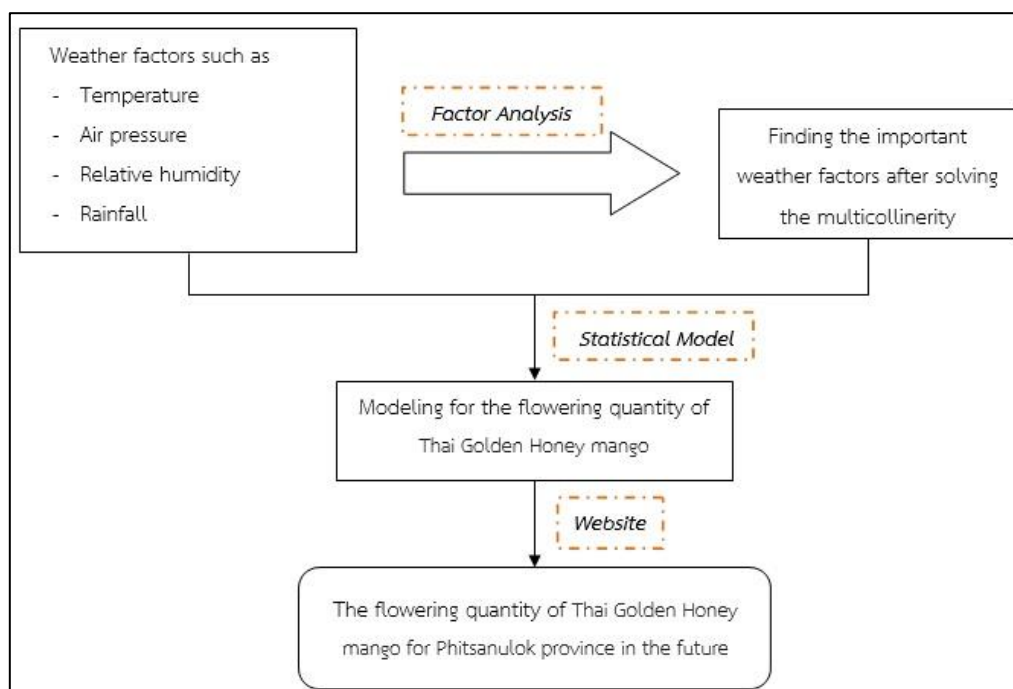


Figure 1 Research framework.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากข้อมูลจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น และข้อมูลสภาพภูมิอากาศของอำเภอวังทองและอำเภอนนทบุรี นำมาหาความสัมพันธ์โดยใช้การคำนวณค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Table 3)

Table 3 Pearson's correlation between the average number of inflorescences/tree of mango and weather information.

Parameter	Number of inflorescences/tree (inflorescences)	Temperature (°C)	Air pressure (mBar)	Relative humidity (%)	Rainfall (mm)
Number of inflorescences/tree (inflorescences)					
Temperature (°C)	-0.43*				
Air pressure (mBar)	0.69**	-0.80**			
Relative humidity (%)	-0.70**	0.61**	-0.84**		
Rainfall (mm)	-0.46*	-0.10	-0.37	0.51*	

*Significant level of 0.05, ** significant level of 0.01.

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิเฉลี่ย (X_1 , $r = -0.43$), มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกดอากาศเฉลี่ย (X_2 , $r = 0.69$), มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (X_3 , $r = -0.7$) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (X_4 , $r = -0.46$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศทีละตัวที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความกดอากาศเฉลี่ย ($r = -0.8$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ($r = 0.61$) ความกดอากาศเฉลี่ยมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ($r = -0.84$) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ($r = 0.51$) นอกจากความสัมพันธ์ของจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นกับตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศแล้ว จากข้อมูลยังแสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัวอีกด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดัง Figure 2

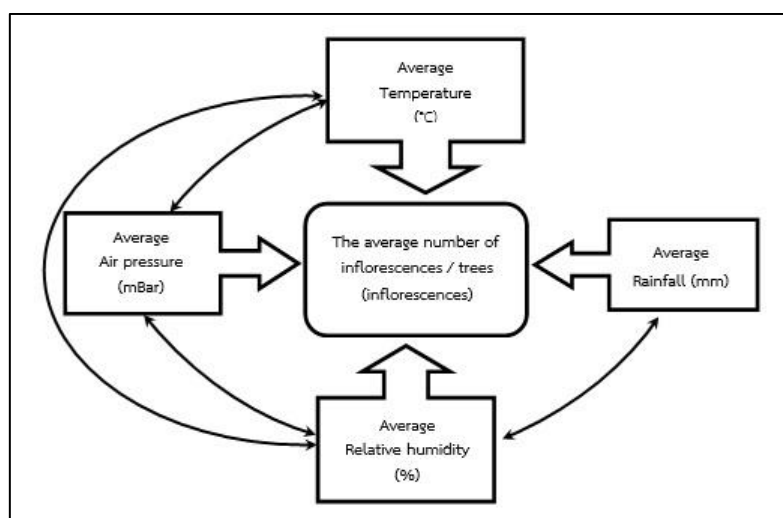


Figure 2 The relationship between the four weather factors and the average number of inflorescences/trees.

จากภาพแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้ง 4 ปัจจัย มีผลทางตรงต่อจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น และจากภาพนี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันเองอีกด้วย จากความสัมพันธ์กันของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศดังกล่าว จึงทำให้มีโอกาสเกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (multicollinearity) เกิดขึ้นได้ เมื่อนำปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้ง 4 ปัจจัยไปใช้สร้างสมการพยากรณ์หรือสมการถดถอย ซึ่งอาจจะเป็นการยากต่อการอธิบายค่าหรือความหมายของปัจจัยเหล่านี้แยกจากกัน และอาจส่งผลให้เกิดการคลาดเคลื่อนเมื่อนำไปใช้ทำนายจริง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการทดสอบปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้ง 4 ปัจจัย ก่อนนำไปสร้างสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นต่อไป สำหรับการตรวจสอบปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัวทำได้โดยการตรวจสอบจากค่าปัจจัยการขยายตัวความแปรปรวน (variance inflation factor, VIF) และค่า tolerance ของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัว

Table 4 แสดงให้เห็นว่าค่า tolerance สำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัวมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และค่า VIF สำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัวมีค่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอุณหภูมิเฉลี่ยและความกดอากาศเฉลี่ยมีค่ามากกว่า 5 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ ดังนั้นก่อนจะดำเนินการสร้างสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น จึงจำเป็นต้องแก้ปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นที่เกิดจากปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศแต่ละตัวก่อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2559; Baayen, 2016) โดยการใช้วิธี principal component analysis ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดสำหรับขั้นตอนในการสกัดปัจจัยสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย นำมาใช้ในการเลือกปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศสำหรับการสร้างสมการพยากรณ์หรือสมการถดถอยของจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นต่อไป

Table 4 The tolerance and VIF values of each weather factor.

Weather factors	Tolerance	VIF
Average temperature (°C)	0.178	5.619
Average air pressure (mBar)	0.136	7.379
Average relative humidity (%)	0.246	4.058
Average rainfall (mm)	0.361	2.771

สำหรับขั้นตอนแรกในการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยนั้น จะทำการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลและปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศว่ามีความเหมาะสมสำหรับการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยหรือไม่ โดยทำการทดสอบของ KMO และ Bartlett จากการทดสอบพบว่า ค่า KMO มีค่าเท่ากับ 0.565 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลตัวอย่างมีความเหมาะสมที่จะใช้การวิเคราะห์ปัจจัยในการวิเคราะห์ต่อไป และค่า Bartlett's test มีค่าเท่ากับ 64.247 (Sig. = 0.00) ระดับนัยสำคัญที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้ง 4 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กัน จากค่าการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยเหมาะสมที่จะใช้กับข้อมูลที่ทำการศึกษา

ขั้นตอนต่อมาคือทำการสกัดปัจจัย (factor extraction) เพื่อลดจำนวนของตัวแปรหรือปัจจัยที่จะอธิบายและตีความผลลัพธ์แต่ยังคงให้ข้อมูลที่ครบถ้วน สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดเลือกเกณฑ์ที่ค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (eigenvalues) มีค่ามากกว่า 1 มาใช้สำหรับการหาจำนวนส่วนประกอบ (principal component) ที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรหรือปัจจัยที่ทำการศึกษา ขั้นตอนต่อมาคือทำการหมุนแกนแบบ orthogonal rotation ด้วยวิธี Varimax เพื่อทำให้ค่าความสัมพันธ์โดยพิจารณาจากค่า factor loading สำหรับแต่ละปัจจัยในแต่ละส่วนประกอบมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดชัดเจนยิ่งขึ้นมากกว่าตอนยังไม่หมุนแกน จากขั้นตอนการสกัดปัจจัยและการหมุนแกนแล้วพบว่า ค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (eigenvalues) เมื่อเริ่มต้นและหลังจากการสกัดปัจจัยแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบที่ 1 และ 2 (component 1 and 2) มีค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้มากกว่า 1 แต่ส่วนประกอบที่ 3 และ 4 (component 3 and 4) ค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้น้อยกว่า 1 ดังนั้นหลังจากการสกัดปัจจัยแล้วจึงไม่นำส่วนประกอบที่ 3 และ 4 มาพิจารณาว่าเป็นส่วนประกอบที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรหรือปัจจัยที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานหรือสมการพยากรณ์ จากตารางนี้แสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบที่ 1 หลังจากการสกัดปัจจัยแล้วสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมทั้งหมดที่อธิบายได้เท่ากับ 65.894% และส่วนประกอบที่ 2 หลังจากการสกัดปัจจัยแล้วสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมทั้งหมดที่อธิบายได้เท่ากับ 27.934% ดังนั้นจากส่วนประกอบ

ที่ 1 และ 2 หลังจากการสกัดปัจจัยแล้วสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมทั้งหมดที่อธิบายได้เท่ากับ 93.828% นั่นคือค่าความแปรปรวนรวมทั้งหมดที่อธิบายได้จากส่วนประกอบที่ 1 และ 2 สำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้ง 4 ปัจจัย มีค่าเท่ากับ 93.828% นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ของทั้ง 2 ส่วนประกอบ ทั้งแบบที่ทำการหมุนแกนแล้วและแบบที่ยังไม่ได้หมุนแกนมีค่าเท่ากันคือ 93.828% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการหมุนแกนแล้วจะเห็นได้ว่าส่วนประกอบที่ 1 ลดความสำคัญลง โดยที่จากเดิมมีค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้เป็น 65.894% ค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ลดลงเหลือ 59.511% แต่ในส่วนประกอบที่ 2 ค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมคือ 27.934% เป็น 34.317% (Table 5)

Table 5 Eigenvalues for initial, extraction and rotation.

Component	Initial eigenvalues			Extraction sums of squared loading			Rotation sums of squared loading		
	Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %
1	2.636	65.894	65.894	2.636	65.894	65.894	2.380	59.511	59.511
2	1.117	27.934	93.828	1.117	27.934	93.828	1.373	34.317	93.828
3	0.167	4.184	98.012						
4	0.080	1.988	100.00						

ในส่วนของขั้นตอนสุดท้ายคือการหาค่า factor score เพื่อใช้เป็นปัจจัยใหม่สำหรับใช้ในสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น สำหรับงานวิจัยครั้งนี้หาค่า factor score ใช้วิธีการถดถอย (regression method) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของ factor score สำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้ง 4 ปัจจัย ดังแสดงใน Table 6

Table 6 Component score coefficient matrix.

Factor	Component	
	1	2
Average temperature (X_1)	0.484578	-0.347688
Average air pressure (X_2)	-0.366282	-0.077800
Average relative humidity (X_3)	0.267943	0.266697
Average rainfall (X_4)	-0.159128	0.781157

จากค่าสัมประสิทธิ์ของ factor score นำมาเขียนให้อยู่ในรูปของ linear combination ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้ง 4 ปัจจัย ซึ่งแสดงในสมการที่ 1 และ 2 ซึ่งทำให้ได้ค่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศใหม่ที่จะถูกใช้เป็นปัจจัยสำหรับสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นต่อไป

$$FS_{1j} = 0.484578X_{1j} - 0.366282X_{2j} + 0.267943X_{3j} - 0.159128X_{4j} \quad (1)$$

$$FS_{2j} = -0.347688X_{1j} - 0.0778X_{2j} + 0.266697X_{3j} + 0.781157X_{4j} \quad (2)$$

เมื่อ FS_{1j} คือ ค่า factor score สำหรับปัจจัยตัวที่ 1 ของข้อมูลค่าที่ j
 FS_{2j} คือ ค่า factor score สำหรับปัจจัยตัวที่ 2 ของข้อมูลค่าที่ j
 X_{1j}, X_{2j}, X_{3j} และ X_{4j} คือ ค่าของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความกดอากาศเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ที่ทำการ standardized ของข้อมูลตัวที่ j ตามลำดับ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression) บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) ทำโดยนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (X_1) ความกดอากาศเฉลี่ย (X_2) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (X_3) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (X_4) ของข้อมูล ที่เก็บรวบรวมได้ นำไปแทนในสมการที่ 1 และ 2 จะได้ FS_{1j} และ FS_{2j} ซึ่งจะเป็นปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศใหม่ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแสดงการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวพร้อมกันของตัวแปรอิสระหรือตัวแปร ทำนาย ซึ่งประกอบด้วย ค่าคงที่ ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 กับจำนวนช่อดอก เฉลี่ยต่อต้น ซึ่งเป็นตัวแปรตามในสมการพยากรณ์หรือสมการทำนาย เมื่อพิจารณาจากค่าระดับนัยสำคัญมีค่าเท่ากับ 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่ามีตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนายอย่างน้อย 1 ตัวแปรที่มีอิทธิพลหรือผลต่อจำนวนช่อดอก เฉลี่ยต่อต้น (Table 7) และตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์รายตัวของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนายในสมการพยากรณ์หรือสมการ ถดถอย โดยพิจารณาค่าระดับนัยสำคัญพบว่า ค่าคงที่ ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ตัวที่ 2 มีค่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.000, 0.001 และ 0.008 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ค่า มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นก็แสดงว่าค่าคงที่ ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 มีอิทธิพลหรือผลต่อจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น (Table 8)

Table 7 ANOVA.

Model	SS	df	MS	F	Sig.
Regression	3955.378	2	1977.689	11.370	0.001
Residual	3478.915	20	173.946		
Total	7434.294	22			

Table 8 Coefficients.

Model	Unstandardized coefficients		t	Sig.	Collinearity statistics	
	B	Std. error			Tolerance	VIF
Constant	21.624	2.750	7.863	0.000		
FS1	-10.542	2.812	-3.749	0.001	1.000	1.000
FS2	-8.286	2.812	-2.947	0.008	1.000	1.000

นอกจากนี้แล้วเมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นกับตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนาย และ เงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ซึ่งมีเงื่อนไขในการตรวจสอบ 3 ข้อ คือ 1) ค่าความคลาดเคลื่อน (error or residual) ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ 2) ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่ และ 3) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็น อิสระกัน พบว่า ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนาย ซึ่งประกอบด้วย ค่าคงที่ ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้าน สภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 สามารถอธิบายความแตกต่างของจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นได้เท่ากับ 48.5% (Table 9) และสำหรับการ ตรวจสอบเงื่อนไขการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนจะใช้วิธี Kolmogorov-Smirnov ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า ให้ระดับนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 0.2 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ สำหรับการ ทดสอบความเป็นอิสระกันของค่าความคลาดเคลื่อนจะใช้วิธีของ Durbin-Watson จากตารางเห็นว่าค่า Durbin-Watson มีค่าเท่ากับ 2.342 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-2.5 จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน (Table 10) สำหรับการตรวจสอบ ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนในข้อที่ 2 ทำการตรวจสอบโดยการพล็อตกราฟระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับ ค่าพยากรณ์ จากภาพแสดงให้เห็นว่าการกระจายของค่าเป็นไปแบบสุ่มไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตายตัว จึงสรุปได้ว่าค่าความ แปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนคงที่ (Figure 3)

Table 9 Model summary.

R	R Square	Adjusted R Square
0.729	0.532	0.485

Table 10 Condition checking.

	Kolmogorov-Smirnov			Durbin-Watson
	Statistic	df	Sig.	
Unstandardized residual	0.125	23	0.200	2.342

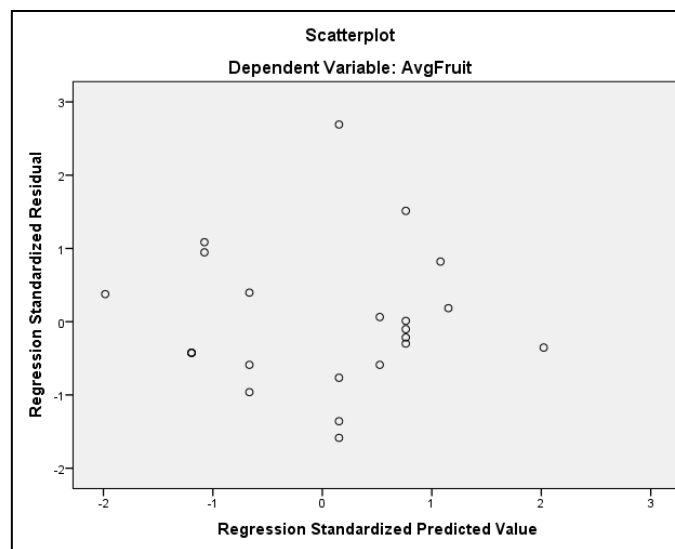


Figure 3 The scatterplot of residual variance.

จากการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนายกับจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น และจากการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จึงสรุปได้ว่าสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3

$$\hat{y} = 21.623913 - 10.542305FS_1 - 8.285513FS_2 \quad (3)$$

เมื่อ $\hat{y}$ คือ ค่าพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ย/ต้น
 FS_1 คือ ค่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1
 FS_2 คือ ค่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2

จากสมการที่ได้แสดงให้เห็นว่าจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นเพิ่มขึ้นเมื่อปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 ลดลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของศูนย์สนธิ ช้างคะนาถ เกษตรกรผู้เชี่ยวชาญและประสบความสำเร็จในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้มาหลายปี กล่าวไว้ว่าช่วงของการติดดอกซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้เกิดช่อดอกและเกิดเป็นผลผลิตต่อไปนั้นควรพิจารณาถึงสภาพภูมิอากาศ กล่าวคือไม่ควรติดดอกในช่วงที่ฝนตกชุกเพราะจะทำให้มีโอกาสดกใบอ่อนได้มากกว่าการเกิดตาดอก สภาพอากาศที่เหมาะสมควรเป็นช่วงที่มีฝนทิ้งช่วงเล็กน้อยและดินไม่ชุ่มน้ำมากเกินไป เช่น สวนมะม่วงน้ำดอกไม้ของศูนย์สนธิ ช้างคะนาถ จะทำการติดดอกหรือเปิดตาดอกในช่วงปลายเดือนกันยายน หรือ

ช่วงต้นจนถึงกลางเดือนตุลาคมของทุกปี ให้ทำการดึ่งดอกจำนวน 3-4 ครั้ง สำหรับจังหวัดพิษณุโลกมักจะดึ่งดอกหลังวันที่ 20 เดือนกันยายน ของทุกปี (ปิยะดา วชิระวงศกร และคณะ, 2562)

นอกจากนี้แล้วในงานวิจัยนี้ได้สร้างเว็บไซต์ <http://www.mangoforecast.com/> ที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อทำนายจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น และเพื่อให้เก็บรวบรวมข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศจากเกษตรกรผู้สนใจ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ปรับปรุงสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น เพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่ง ๆ ขึ้นไป อีกทั้งจะถูกใช้เพื่อหาปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมที่สุดตามจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นที่ต้องการสำหรับจังหวัดพิษณุโลกในปัจจุบันและในอนาคต สำหรับสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น ใช้สมการที่ 3 ข้างต้นเป็นสมการพยากรณ์ เว็บไซต์ดังกล่าวถูกออกแบบให้มีความเรียบง่ายและง่ายสำหรับการใช้งานอีกด้วย ผู้ใช้เพียงแค่ต้องป้อนค่าเฉลี่ยของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่บันทึกไว้ โดยนับจากวันที่เริ่มดึ่งดอกจนถึงวันที่ป้อนข้อมูลในพื้นที่ที่ต้องการพยากรณ์ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความกดอากาศเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย สำหรับขั้นตอนในการใช้งานได้แสดงไว้ดังนี้

เข้าเว็บไซต์ <http://www.mangoforecast.com/>

เลือกคลิก "MANGO FLOWER FORECAST" ดังแสดงในภาพข้างล่าง (Figure 4)

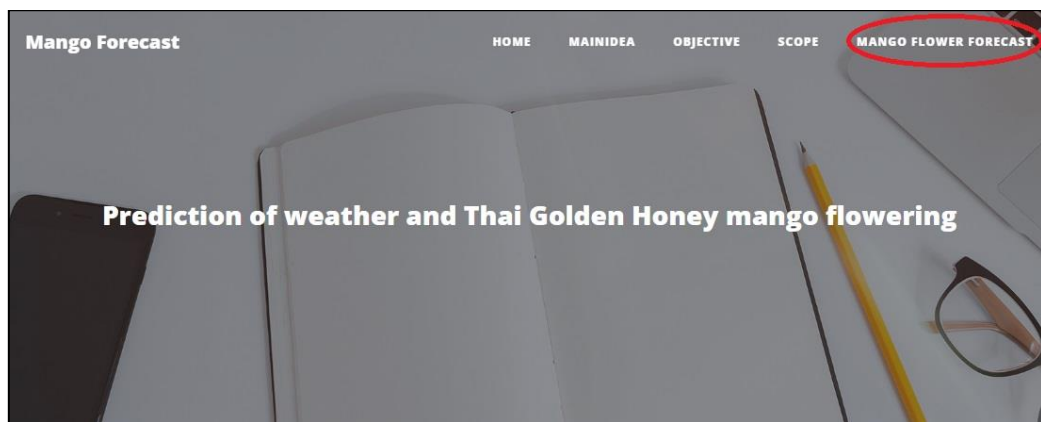


Figure 4 Website screen <http://www.mangoforecast.com>.

หลังจากเลือกคลิก "MANGO FLOWER FORECAST" จะปรากฏหน้าจอแสดงในภาพข้างล่าง (Figure 5) จากนั้นผู้ใช้กรอกค่าเฉลี่ยของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่บันทึกไว้ โดยนับจากวันที่เริ่มดึ่งดอกจนถึงในขณะนั้นในพื้นที่ที่ต้องการพยากรณ์ และกดตกลงก็จะปรากฏค่าพยากรณ์ปริมาณดอกมะม่วงที่ต้องการทราบ

Mango Forecast		HOME	MANGO FLOWER FORECAST
Prophecy			
Average temperature	Average temperature		
Average air pressure	Average air pressure		
Average relative humidity	Average relative humidity		
Average rainfall	Average rainfall		
Mango flowers			
AGREED			

Figure 5 Website screen <http://www.mangoforecast.com> after selecting "MANGO FLOWER FORECAST".

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นกับข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ ด้วยวิธี principal component analysis สามารถสร้างสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นได้ดังสมการ $\hat{y} = 21.623913 - 10.542305FS_1 - 8.285513FS_2$ จากสมการแสดงให้เห็นว่าจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น เพิ่มขึ้นเมื่อปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 ลดลงตามลำดับ สำหรับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย ความกดอากาศเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย จากการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระกับจำนวนช่อดอกเฉลี่ย/ต้น ซึ่งเป็นตัวแปรตาม และจากการตรวจสอบเงื่อนไขของทฤษฎีการถดถอยพหุคูณ จึงสรุปได้ว่าสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ย/ต้น มีความเหมาะสมเป็นไปตามเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยกล่าวว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 1 และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศตัวที่ 2 สามารถอธิบายความผันแปรของจำนวนช่อดอกเฉลี่ย/ต้นได้ร้อยละ 48.5 และเพื่อการตรวจสอบความแม่นยำของสมการในอนาคตคณะผู้วิจัยจึงสร้างเว็บไซต์ <http://www.mangoforecast.com/> เพื่อทำนายจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น และเพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศจากเกษตรกรผู้สนใจ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ปรับปรุงสมการพยากรณ์จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น เพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่ง ๆ ขึ้นไป อีกทั้งจะถูกใช้เพื่อหาปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมที่สุดตามจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นที่ต้องการสำหรับจังหวัดพิษณุโลกในปัจจุบันและในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามการหาช่วงหรือค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศสำหรับการติดดอกอาจจำเป็นต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์หรือสถิติขั้นสูงสำหรับทำการศึกษาในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับความอนุเคราะห์และเงินสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) สำหรับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปีงบประมาณ 2561 ขอขอบคุณสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) สำหรับข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศที่เทศบาลตำบลเนินมะปราง ต. เนินมะปราง อ. เนินมะปราง จ. พิษณุโลก และจากสถานีตรวจอากาศที่ทำกาผู้ใหญ่บ้าน หมู่ 13 ต. วังทอง อ. วังทอง จ. พิษณุโลก ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สำหรับสถานที่ปฏิบัติงาน และขอขอบคุณเกษตรกรชาวสวนมะม่วงในอำเภอวังทองและอำเภอนเนินมะปรางสำหรับการเก็บข้อมูลจำนวนช่อดอกมะม่วงของงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2559. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สามลดา.
- จิรวรรณ โรจนพรทิพย์. 2558. เทคนิคการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้แบบมืออาชีพที่พิษณุโลก. <https://www.facebook.com/smartfarmthailand/posts/231205270387951/>. (9 เมษายน 2562).
- ธัญลักษณ์ ตาสู, พงศ์พันธุ์ เขียวหิรัญ และสัจจา บรรจงศิริ. 2556. การจัดการการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ของเกษตรกรในอำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก. ใน รายงานการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 4. น. 1-9. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.
- ประวิทย์ จันทรแห่ง. 2553. การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งในพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, การจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ปิยะดา วชิระวงศกร, สุภาวดี น้อยน้ำใส และทองใส จันทนาการ. 2562. คัมภีร์การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- วรจกณา กิรติวิบูลย์. 2558. การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร 38(3): 211-223.
- ศุทธิณี คุ่มครองทรัพย์. 2555. การสร้างตัวแบบการถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าความเข้มข้นของ NO_2 ในจังหวัดชลบุรี. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2558. <https://www.facebook.com/supergreen999capsule/posts/998446123596051/>. (9 เมษายน 2562).
- สุจิตตรา สารคนธ์, จรัสศรี รุ่งรัตนอุบล และอนามัย นาอุดม. 2558. การปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตข้าวในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 11. น. 31-36. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- อรนงค์ บุญฤดี และพฤษดี ศิริแสงตระกูล. 2556. แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณฮอยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 41(1): 213-225.

- อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2554. รายงานการสังเคราะห์และประมาณสถานภาพองค์ความรู้ ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย พ.ศ. 2554 คณะทำงานกลุ่มที่ 2 องค์ความรู้ ด้านผลกระทบความล่าช้าและผลและการปรับตัว. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- Baayen, R. H. 2016. Analyzing linguistic data: A practical introduction to statistics. https://www.researchgate.net/publication/311509723_Analyzing_Linguistic_Data_A_practical_introduction_to_statistics_using_R. (8 April 2019).
- Mehmet, M. 2011. Multivariate multiple regression analysis based on principal component score to study relationships between some pre- and post-slaughter traits of broilers. *Journal of Agricultural Science* 17: 77-83.
- Mendes, M. 2009. Multiple linear regression models based on principal component scores to predict slaughter weight of broiler. *Archiv fur Geflugelkunde* 73(2): 139-144.
- Rakshitha, M., Shivananda, T. N., and Shivananda, A. 2016. Weather based forecasting models for prediction of leafhopper population *Idioscopus nitidulus* Walker; (Hemiptera: Cicadellidae) in mango orchard. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5(1): 163-168.
- Kaundal, R., Kapoor, A. S., and Raghava, G. P. S. 2006. Machine learning techniques in disease forecasting: A case study on rice blast prediction. *BMC Bioinformatics* 7(485): 1-16.
- Rathod, S., and Mishra, G. C. 2017. Weather based modeling for forecasting area and production of mango in Karnataka. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 10(1): 149-162.
- Statistical Consulting Staff. 2019. Practical introduction to factor analysis: Exploratory factor analysis. University of California (Los Angeles) Institute for Digital Research & Education. <https://stats.idre.ucla.edu/spss/seminars/introduction-to-factor-analysis/a-practical-introduction-to-factor-analysis/> (9 April 2019).
- Venugopalan, R., Rawal, R. D., and Saxena, A. K. 2006. A statistical model for ascertaining the influence and reliability of weather parameters on incidence of blossom blight in mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Horticultural Science* 1(1): 64-67.

วันรับบทความ (Received date) : 18 ก.ค. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 15 ก.ค. 63

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 พ.ค. 64

การเข้าอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากต้นกล้าทุเรียนเสียบยอดพันธุ์หมอนทอง

Root Colonization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Durian cv. "Monthong"

Grafted-Seedlings

กนกพร บุญญะอดิชาติ¹ วรพล บรรณจิต¹ ประสิทธิ์ ดีวัฒนวงศ์² และรุจิรา ดีวัฒนวงศ์³
 Kanokpon Bunya-atchart¹, Worapon Bannajit¹, Prasit Deewatthanawong² and Rujira Deewatthanawong³

บทคัดย่อ

เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) เป็นเชื้อราที่อาศัยในดินร่วมกับรากพืช โดยต่างฝ่ายต่างได้รับผลประโยชน์ซึ่งกันและกัน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มความต้านทานต่อภาวะเครียดต่าง ๆ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเข้าอาศัยของเชื้อ AMF ในรากของต้นกล้าทุเรียนเสียบยอดพันธุ์หมอนทอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ได้แก่ การใส่เชื้อ *Glomus mosseae*, *Glomus geosporum*, *Acaulospora mellea*, *Scutellospora pellucida*, *Claroideoglossum claroideum* และ *Rhizophagus intravadicis* และไม่ใส่เชื้อ AMF (กรรมวิธีควบคุม) หลังจากทำการทดลองเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า AMF ทั้ง 6 ชนิด สามารถเข้าอาศัยในรากต้นกล้าทุเรียนได้ และเชื้อ AMF ต่างชนิดกันมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าทุเรียนแตกต่างกัน การใส่เชื้อ *G. geosporum* มีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากต้นกล้าทุเรียนมากที่สุด 47.33 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนสปอร์ 53.60 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นระดับคอดินที่เพิ่มขึ้น ความสูงที่เพิ่มขึ้น มวลชีวภาพแห้งของลำต้นระดับเหนือดิน และมวลชีวภาพแห้งของรากเท่ากับ 2.05 มิลลิเมตร 7.12 เซนติเมตร 31.78 เปอร์เซ็นต์ และ 30.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไมคอร์ไรซา การเข้าครอบครองราก การเจริญเติบโต

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) form symbiosis with plant roots. The AMF are beneficial to the host plant as they promote growth and enhance plant tolerance to stress. The objective of this research was to study root colonization by AMF in durian cv. "Monthong" grafted seedlings. The experiment was designed in Completely Randomized Design (CRD) with 7 treatments and 5 replications. The AMF species tested were: *Glomus mosseae*, *Glomus geosporum*, *Acaulospora mellea*, *Scutellospora pellucida*, *Claroideoglossum claroideum*, *Rhizophagus intravadicis*, and a control without inoculation was run. Three months after inoculation, all AMF species had colonized the durian roots and each AMF species showed different effects on the growth of durian seedlings. The highest percentage of root colonization was found in *G. geosporum* treated durian plants with 47.33% root colonization and 53.60 spores per 100 g of soil. The treatment improved plant growth, and the stem diameter, plant height, plant above-ground dry biomass, and root dry biomass of the inoculated durian plants were 2.05 mm, 7.12 cm, 31.78% and 30.72%, respectively.

Keywords: mycorrhiza, mycorrhizal colonization, plant growth

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ อ. ปะทิว จ. ชุมพร 86160

¹ Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Pathio, Chumphon 86160

² Smile Heart Orchard ต. ท่าใหม่ อ. ท่าใหม่ จ. จันทบุรี 22120

² Smile Heart Orchard, Tha Mai, Chanthaburi 22120

³ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120

³ Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

*Corresponding author, Email: kanokpon.bu@kmitl.ac.th

คำนำ

ทุเรียน (*Durio zibethinus* L.) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างมาก ประเทศไทยเป็นทั้งผู้ผลิตและผู้ส่งออกผลทุเรียนสดรวมไปถึงผลิตภัณฑ์จากทุเรียนเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก (ณัฐชดา เดชพวง และกนกพร ชัยประสิทธิ์, 2561) จนได้รับการยกย่องให้เป็น “ราชาผลไม้” แต่เกษตรกรพบปัญหาการปลูกทุเรียน ตั้งแต่ต้นกล้าทุเรียนอ่อนแอเจริญเติบโตช้า ต้นใหญ่เกิดการเข้าทำลายของโรคพืชและแมลง จนนำไปสู่การตาย ทั้งที่เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมี สารกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช สารกำจัดวัชพืช และฮอร์โมนพืช ในปริมาณที่มากเพื่อเพิ่มผลผลิต การใช้สารเคมีดังกล่าวทำให้เกิดการตกค้างอยู่ในดินในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ (ศิริพร วรกุลดำรงชัย, 2558) หรืออาจทำให้โครงสร้างดินถูกทำลายหรือเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในดิน เปลี่ยนแปลงหรือสูญเสียไป แนวทางหนึ่งในการลดการใช้สารเคมีพร้อมทั้งฟื้นฟูสภาพดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช คือการใช้ปุ๋ยชีวภาพและการควบคุมศัตรูพืชด้วยชีววิธี เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) เป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชชนิดหนึ่งที่อยู่ในดิน โดยเส้นใยจะเข้าไปอาศัยอยู่ภายในเซลล์รากพืช ต่างฝ่ายต่างได้รับผลประโยชน์ซึ่งกันและกัน (symbiosis) (St. John, 2000) เชื้อ AMF ช่วยให้พืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดีขึ้น และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของพืช เช่น พืชทนทานต่อความแห้งแล้งและทนทานต่อการเกิดโรคได้ (Smith and Read, 1997) จากรายงานของศรีธญา จิรวรรณานนท์ (2545) พบว่า ต้นกล้าทุเรียนที่มีเชื้อ AMF เข้าอาศัยอยู่ มีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นดีกว่าต้นกล้าทุเรียนที่ไม่มีเชื้อ AMF กลัวย่น้ำว่าเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีเชื้อ AMF เข้าอาศัยอยู่ ทำให้รากมีน้ำหนัก ความยาว และการแตกหน่อมากขึ้น (นิศาตร์น วัฒนุต และคณะ, 2559) ความสามารถในการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อต่อรากพืชแต่ละชนิดขึ้นกับชนิดของเชื้อ AMF เชื้อ *G. mosseae* เข้าอยู่อาศัยในรากมะเขือเทศได้ 80% เมื่อเทียบกับ *Glomus margarita* เข้าอาศัยได้เพียง 20% ซึ่งการเข้าอาศัยที่รากได้มากนั้นชักนำให้รากแตกแขนงมากและใหญ่ขึ้น (Tahat et al., 2008) หนึ่ง เตียอำรุง และคณะ (2552) ทำการคัดแยก เก็บ และจำแนกสปอร์เชื้อ AMF ในสวนส้ม พบเชื้อ 4 ชนิด ได้แก่ *Glomus* sp., *Acaulospora* sp., *Gigaspora* sp. และ *Sclerocystis* sp. และพบว่า เชื้อราไมคอร์ไรซา *G. etunicatum* และ *A. tuberculata* สามารถเข้าอยู่อาศัยในรากของส้มทั้งชนิดส้มพันธุ์และส้มต้นตอ แต่เชื้อ *G. etunicatum* และ *Glomus* sp. มีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของส้มพันธุ์เขียวหวานและสายน้ำผึ้งมากกว่าเชื้อ AMF ชนิดอื่น จากรายงานต่าง ๆ รากของพืชที่มีเชื้อ AMF เข้าอาศัยนั้น ต้นมีการเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อ AMF เข้าอาศัยในราก (พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, 2556) อย่างไรก็ตามการเข้าอาศัยของเชื้อ AMF นี้มีความเฉพาะเจาะจงต่อชนิดพืช ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดต่อการเข้าอาศัยในรากของต้นกล้าทุเรียน

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลองในสภาพโรงเรือน ณ สาขาวิชาพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ อ. ปะทิว จ. ชุมพร ระหว่างเดือนมกราคม ถึง กันยายน 2562 ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 3 ต้น ประกอบด้วยเชื้อ *G. mosseae*, *G. geosporum*, *A. mellea*, *S. pellucida*, *C. claroideum*, *R. intravardices* และไม่ใส่เชื้อ AMF (กรรมวิธีควบคุม) โดยการเพาะเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองที่ใช้ทำเป็นต้นตอทางการค้าในชุมชนพร้าวที่ผ่านวิธีการนี้มาเชื้อ หลังจากนั้น 1 เดือน ทำการย้ายกล้าต้นทุเรียนใส่ถุงเพาะชำขนาด 2*12 นิ้ว ถุงละ 1 ต้น ที่มีดินผสม (ดิน : ขุยมะพร้าว เท่ากับ 1 : 2) และผ่านวิธีการนี้มาเชื้อก่อนนำไปปลูก (ค่า pH ~5.6) หลังจากนั้นทำการเสียบยอดทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (กิ่งพันธุ์เสียบยอดอายุ 2-3 เดือน) เมื่อต้นกล้าแข็งแรงและยอดติดดีแล้ว ย้ายปลูกลงวัสดุปลูกผสมสูตรเดิม ดูแลต้นจนมีอายุ 3 เดือน คัดเลือกต้นที่มีความสูงและขนาดลำต้นใกล้เคียงกันสำหรับการทดลอง

การเตรียมเชื้อและการใส่เชื้อ AMF

เตรียมเชื้อ AMF แต่ละชนิดด้วยการแยกสปอร์ของ AMF จากหัวเชื้อ โดยเชื้อจำนวน 2 สายพันธุ์ได้มาจากการคัดแยกโดย ศุภธิดา อำทอง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ คือ *G. mosseae*, *G. geosporum* และเชื้อจำนวน 4 สายพันธุ์ ที่มาจาก International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) มหาวิทยาลัย West Virginia ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ *A. mellea*, *S. pellucida*, *C. claroideum* และ *R. intravardices* ด้วยวิธี wet sieving and 50% sucrose centrifugation method โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Brundrett et al. (1996) ซึ่งตัวอย่างวัสดุปลูกหรือดินที่มีเชื้อ AMF จำนวน 25 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร กวนจนวัสดุละลาย จากนั้นกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาด 500, 250 และ 45 ไมครอนตามลำดับ นำตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 45 ไมครอน ใส่ในหลอดทดลอง พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที เทสารแขวนลอยทิ้ง แล้วเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

50 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที นำสารแขวนลอยมาล้างสารละลายซูโครสออกด้วย ตะแกรงขนาด 45 ไมครอน เก็บตัวอย่างสปอร์ ตรวจนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์ หลังจากนั้นนำไปใส่ในต้นกล้าทุเรียน ให้มีสปอร์ ความเข้มข้น 200 สปอร์ต่อถุงปลูก หลังการใส่สปอร์ของเชื้อ AMF มีการให้น้ำทางดินวันเว้นวัน และธาตุอาหารสูตร hoagland solution สัปดาห์ละ 1 ครั้ง จนต้นกล้ามีอายุ 90 วัน

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นระดับคอดิน (มิลลิเมตร) และความสูงต้น (เซนติเมตร) ทั้งก่อนและหลังการใส่เชื้อ AMF เมื่อครบ 3 เดือน

มวลชีวภาพแห้งของลำต้นเหนือดินและราก (%) เมื่อครบ 3 เดือน ทำการเก็บตัวอย่าง โดยนำส่วนลำต้นและรากของ ทุเรียน ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์มวลชีวภาพแห้ง จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์มวลชีวภาพแห้ง} = (\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง} / \text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง}) \times 100$$

การตรวจหาเชื้อ AMF ในราก (root colonization) นำรากทุเรียนแยกออกจากดินปลูก นำมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด ใส่ตัวอย่างรากในบีกเกอร์แล้วเติมสารละลาย KOH ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นำไปต้มที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 30-45 นาที จากนั้นล้าง KOH ออกจากรากด้วยน้ำกลั่น ซับให้แห้ง แล้วนำไปย้อมด้วยสารละลาย trypan blue ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลาย lactoglycerol ทิ้งไว้ ประมาณ 12-15 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาตรวจสอบการเข้าอาศัย ในรากของเชื้อ AMF ดัดแปลงมาจาก McGonigle et al. (1990) โดยตัดรากให้มีขนาด 1 เซนติเมตร มาวางเรียงบนแผ่นสไลด์ นำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัย ดังสมการ

$$\text{Root colonization (\%)} = (\text{จำนวนของรากที่พบเชื้อ AMF} / \text{จำนวนรากพืชทั้งหมดที่ตรวจสอบ}) \times 100$$

การตรวจสอบสปอร์ของเชื้อ AMF ในดิน ด้วยวิธี wet sieving and 50% sucrose centrifugation method โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Brundrett et al. (1996)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของเชื้อ AMF ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าทุเรียน

หลังจากใส่เชื้อ AMF ในต้นกล้าทุเรียน เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *G. geosporum* มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นระดับคอดินเพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับ 2.05 มิลลิเมตร รองลงมาคือ *C. claroideum* และ *R. intravadicis* เท่ากับ 1.89 และ 1.70 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนต้นกล้าทุเรียนที่ไม่ได้ใส่เชื้อ AMF (กรรมวิธีควบคุม) มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นระดับคอดินน้อยที่สุด เท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุเรียนที่ใส่เชื้อ *G. geosporum* ส่วนความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ AMF มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้าทุเรียนที่ไม่ได้ใส่เชื้อ AMF แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *A. mellea* มีความสูงเท่ากับ 7.33 เซนติเมตร ส่วนความสูงต้นที่ใส่เชื้อ *G. geosporum* และ *C. claroideum* เท่ากับ 7.12 และ 6.93 เซนติเมตร ตามลำดับ ต้นที่ไม่ใส่เชื้อ มีความสูง 4.90 เซนติเมตร เช่นเดียวกับมวลชีวภาพแห้งของลำต้นเหนือดินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *G. geosporum* มีมวลชีวภาพแห้งของลำต้นเหนือดินเท่ากับ 31.78 เปอร์เซ็นต์ มวลชีวภาพแห้งของ ลำต้นที่ใส่เชื้อ *G. mosseae* และ *C. claroideum* เท่ากับ 31.40 และ 31.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนมวลชีวภาพแห้งของ ลำต้นเหนือดินของต้นกล้าทุเรียนที่ไม่ใส่เชื้อ AMF (กรรมวิธีควบคุม) เท่ากับ 30.79 เปอร์เซ็นต์ และต้นกล้าทุเรียนที่มีมวลชีวภาพ แห้งรากมากในกลุ่มเดียวกันคือ *G. geosporum* เท่ากับ 30.72 เปอร์เซ็นต์ *G. mosseae* และ *A. mellea* เท่ากับ 30.71 และ 30.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *S. pellucida* มีมวลชีวภาพแห้งรากน้อยที่สุดเท่ากับ 26.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

Table 1 Plant growth and biomass of durian seedlings at 3 months after mycorrhiza inoculation.

Treatments	Increase in stem diameter at ground level (mm)	Increase in plant height (cm)	Above-ground dry biomass percentage	Root dry biomass percentage
Control	1.27a	4.90	30.79	29.54bc
<i>G. mosseae</i>	1.68ab	6.55	31.40	30.71c
<i>G. geosporum</i>	2.05b	7.12	31.78	30.72c
<i>A. mellea</i>	1.51ab	7.33	31.17	30.15c
<i>S. pellucida</i>	1.66ab	6.07	31.08	26.35a
<i>C. claroideum</i>	1.89ab	6.93	31.35	27.63ab
<i>R. intravadicces</i>	1.70ab	6.88	30.99	27.73ab
F-test	*	ns	ns	*
CV (%)	27.81	27.35	4.91	7.55

Different letters indicate significant differences between treatments by Duncan's New Multiple Test (DMRT) at P=0.05.

ns = non-significant, * = significant at P<0.05 by DMRT.

การเข้าอาศัยของเชื้อ AMF ในรากต้นกล้าและจำนวนสปอร์ในดิน

หลังจากใส่เชื้อ AMF ในต้นกล้าทุเรียน เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าเชื้อ AMF ทั้ง 6 ชนิด สามารถเข้าอาศัยในรากของต้นกล้าทุเรียนได้เมื่อเทียบกับรากต้นกล้าทุเรียนเสียบยอดที่ไม่ได้ใส่สปอร์ของเชื้อ AMF (Figure 1) โดยเชื้อ *G. geosporum* มีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยอยู่ของเชื้อ AMF ในรากต้นกล้าทุเรียนมากที่สุด เท่ากับ 47.33 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *A. mellea* และ *S. pellucida* เท่ากับ 44.00 และ 43.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *C. claroideum* และ *R. intravadicces* มีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อ AMF ในรากต้นกล้าทุเรียนน้อยที่สุด เท่ากับ 35.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนจำนวนสปอร์ในดินพบว่า ต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *G. mosseae*, *G. geosporum*, *A. mellea*, *S. pellucida* และ *C. claroideum* มีจำนวนสปอร์ในดินระดับใกล้เคียงกัน ซึ่งมีจำนวน 53.93, 53.60, 51.0, 49.8, และ 45.7 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ ต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *R. intravadicces* มีจำนวนสปอร์ในดินน้อยที่สุด เท่ากับ 37.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2)

Table 2 Mycorrhizal root colonization and spore numbers in soil at 3 months after mycorrhiza inoculation.

Treatments	Root colonization (%)	Number of spores/100 g soil
Control	0.00a	0.00a
<i>G. mosseae</i>	38.67bc	53.93c
<i>G. geosporum</i>	47.33d	53.60c
<i>A. mellea</i>	44.00cd	51.00c
<i>S. pellucida</i>	43.33cd	49.80c
<i>C. claroideum</i>	35.33b	45.70c
<i>R. intravadicces</i>	35.33b	37.53b
F-test	*	*
CV (%)	45.35	45.14

Different letters indicate significant differences between treatments by Duncan's New Multiple Test (DMRT) at P=0.05.

* = significant at P<0.05 by DMRT.

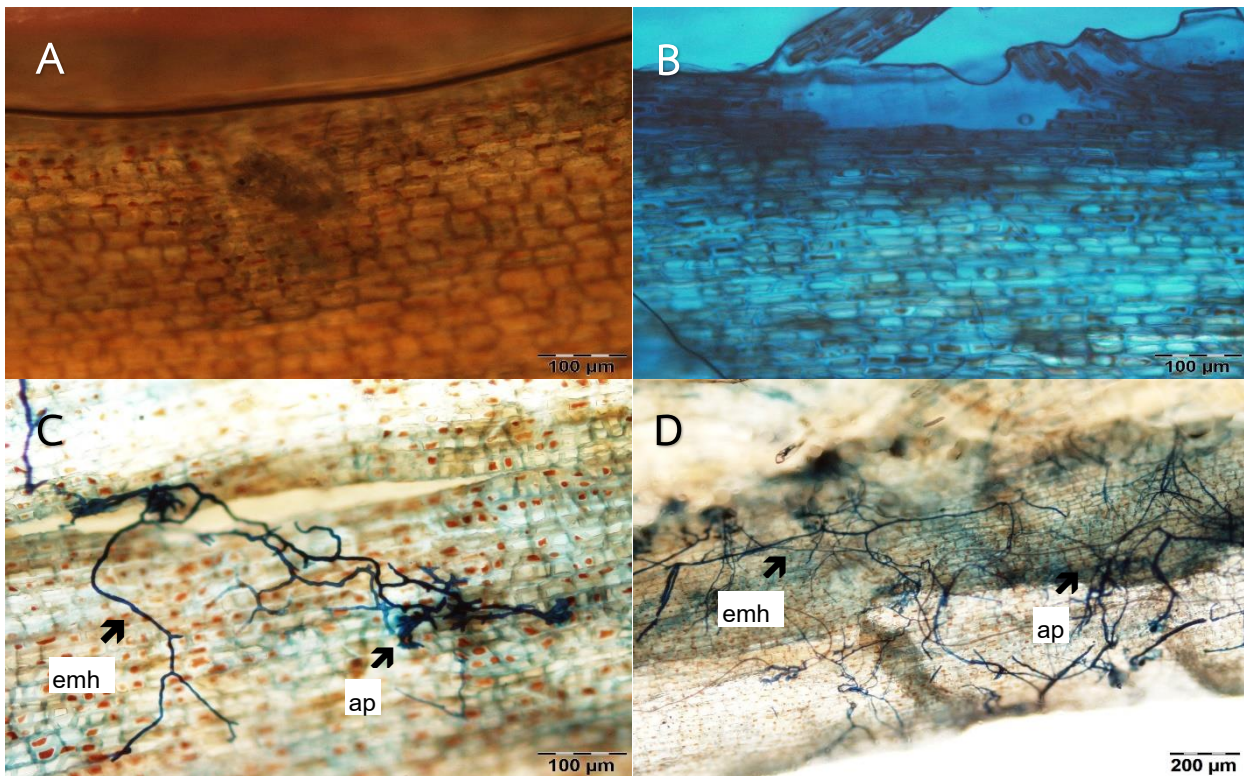


Figure 1 Colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in durian seedlings. Roots of non-inoculated control plants (A and B) and AMF-inoculated plants, extrametrical hyphae (emh) and appressorium (ap) (C and D).

การใช้ประโยชน์จากเชื้อ AMF สำหรับช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ต้องพิจารณาจากความสามารถในการเข้าอาศัยของเชื้อในรากพืช ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อ AMF มีความจำเพาะเจาะจงกับพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชต่างกัน (Van der Heijden et al., 1998; Bennett and Bever, 2007) ผลการทดลองการใส่เชื้อ AMF จำนวน 6 ชนิด แก่รากต้นกล้าทุเรียน พบว่าทุกชนิดสามารถเข้าอาศัยในรากทุเรียนได้ แต่มีเพียงเชื้อ *G. geosporum* ที่เพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นระดับคอดินได้แตกต่างจากต้นกล้าที่ไม่ใส่เชื้อ เช่นเดียวกับรายงานของ นงลักษณ์ ปูระณะพงษ์ และจิราภรณ์ อินทสาร (2556) พบว่า เชื้อ AMF ที่คัดเลือกมาจากอำเภอสันป่าตอง อำเภอหางดง อำเภอสารภี อำเภอแม่ฮอน อำเภอแม่ทา และอำเภอทุ่งหัวช้าง ในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน สามารถเข้าอาศัยในรากลำไยได้ และเชื้อ AMF จากอำเภอแม่ทา ทำให้ลำไยมีความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวทรงพุ่มมากที่สุด ความจำเพาะเจาะจงระหว่างเชื้อ AMF และพืชยังพบได้กับพืชตระกูลแตง ถั่วลิสง เลี้ยวสิริพงศ์ และวิพรพรรณ เนืองเม็ก (2555) รายงานการใช้เชื้อ *Acaulospora* sp. ทำให้แตงกวามีความสูงและจำนวนใบมากที่สุด ส่วนการใช้เชื้อ *Glomus* sp. ร่วมกับ *Scutellospora* sp. ส่งผลให้แตงกวามีความสูงและจำนวนใบน้อยที่สุด นอกจากนี้เชื้อไมคอร์ไรซายังมีผลต่อน้ำหนักแห้งของพืช ดังการทดลองของ Abhinya and Charoenpiwatpong (1996) พบว่า การใช้ *Acaulospora scrobiculata* ทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสดเมล็ดของต้นดาวเรืองเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ *Glomus microcarpus* เช่นเดียวกับการทดลองนี้ที่พบว่าการใส่เชื้อ *G. mosseae*, *G. geosporum* และ *A. mellea* รากของทุเรียนมีมวลชีวภาพแห้งมากกว่าการใส่เชื้อ *S. pellucida*, *C. claroideum* และ *R. intravadicis* (Table 1)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเข้าอาศัยของเชื้อ AMF ในรากและจำนวนสปอร์ในดิน พบว่าต้นกล้าทุเรียนที่ใส่เชื้อ *G. mosseae* และ *G. geosporum* มีจำนวนสปอร์ในดินสูงใกล้เคียงกัน แต่เชื้อ *G. mosseae* กลับมีการเข้าอาศัยอยู่ในรากน้อยกว่าเชื้อ *G. geosporum* (Table 2) ซึ่งอาจเป็นเพราะเชื้อ AMF แต่ละชนิดมีความสามารถในการเข้าอาศัยในรากของพืชอาศัยได้ต่างกัน (Malibari et al., 1988) เช่นเดียวกับการศึกษาของ ศรัณยา จิราภรณ์ (2545) พบว่าเชื้อ *Acaulospora colombiana* และ *Acaulospora dilatata* มีการเข้าอาศัยในรากต้นกล้าทุเรียนได้ดีที่สุด แต่เชื้อ *A. colombiana* มีจำนวนสปอร์ในดินน้อยกว่าเชื้อ *A. dilatata*

สรุปผลการศึกษา

เชื้อ AMF ทั้ง 6 ชนิด สามารถเข้าอาศัยในรากต้นกล้าทุเรียนได้ โดยที่แต่ละสายพันธุ์สามารถสร้างสปอร์และเข้าครอบครองรากได้แตกต่างกัน ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยต่อไป โดยเฉพาะเชื้อ *G. geosporum* มีแนวโน้มส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าทุเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองระยะสั้นทำให้ยังไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้าทุเรียนมากนัก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่กำกับดูแลโครงการวิจัยลำดับต่อมา

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐชา เดชพ่วง และกนกพร ชัยประสิทธิ์. 2561. ความสัมพันธ์ของปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกประเทศที่มีผลต่อการส่งออกทุเรียนไปสาธารณรัฐประชาชนจีน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสต์เทิร์นเอเชีย ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์* 8(1): 330-340.
- ธีรภัทร เดียวสิริพงศ์ และวิพรพรรณ เนื่องเม็ก. 2555. การใช้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการปรับปรุงดินและเพิ่มความต้านทานโรคราน้ำค้างในแตงกวา. ใน *รายงานการประชุมวิชาการ “พะเยาวิจัย ครั้งที่ 1”*. น. 80-86. มหาวิทยาลัยพะเยา.
- นงลักษณ์ ประณะพงษ์ และจิราภรณ์ อินทสาร. 2556. การศึกษาผลของการใช้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุอาหารการเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย. ใน *รายงานโครงการวิจัย*. น. 1-68. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- นิศารัตน์ ทวีนุต, ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต, ประไพ ทองระอา, กานดา ฉัตรไชยศิริ, กัลยาณี สุวิทวัส และภาสันต์ ศารทูลทัต. 2559. การใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของรากต้นกล้ากล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์* 3(พิเศษ 1): 49-52.
- พัชกรเพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 2: 91-101.
- ศรัณยา จิวภากรานนท์. 2545. การสำรวจเชื้อราไมคอร์ไรซาของทุเรียนและการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าทุเรียนในเรือนปลูกพืชทดลอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ศิริพร วรกุลดำรงชัย. 2558. การเพิ่มประสิทธิภาพด้านการผลิตทุเรียนคุณภาพและการกระจายการผลิต. ใน *รายงานโครงการวิจัย*. น. 1-74. กรมวิชาการเกษตร.
- หนึ่ง เตียอำรุง, ไสภณ วงศ์แก้ว และปรารภ พรหมมานพ. 2552. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการประยุกต์ใช้เชื้อราไมคอร์ไรซากับการทำสวนส้ม. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- Abhinya, P., and Charoenpiwatpong, P. 1996. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizae on growth and yield of marigold. In *Proceedings of the Third Asia-Pacific Conference on Agricultural Biotechnology*. pp. 491-495. Bangkok.
- Bennett, A. E., and Bever, J. D. 2007. Mycorrhizal species differentially alter plant growth and response to herbivory. *Ecology* 88(1): 210-218.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., and Malajczuk, N. 1996. *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Malibari, A. A., Al-Fassi, F. A., and Ramadan, E. M. 1988. Incidence and infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizas in some Saudi soil. *Plant-soil Interactions on the Tibetan Plateau* 112: 105-111.
- McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L., and Swan, J. A. 1990. A new method which gives an objective of colonization of root by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 115: 495-501.
- Smith, S. E., and Read, D. J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd ed. London: Academic Press.
- St. John, T. 2000. *The instant expert guide to mycorrhiza, the connection for functional ecosystems*. California: BioNet, LLC.
- Tahat, M. M., Kamaruzaman, S., Radziah, O., Kadir, J., and Masdek, H. N. 2008. Response of (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to different arbuscular mycorrhizal fungi species. *Asian Journal of Plant Sciences* 7(5): 479-484.
- Van der Heijden, M. G. A., Boller, T., Wiemken, A., and Sanders, I. R. 1998. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79(6): 2080-2091.

วันรับบทความ (Received date) : 2 ธ.ค. 63

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 6 พ.ค. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 15 ก.ค. 64

การศึกษาผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยวและขนาดผลที่มีต่อคุณภาพผล ของมะนาวพันธุ์ 'แป้นบ้านแพ้ว'

A Study on Harvesting Seasons and Different Fruit Sizes on 'Pan Baan Phaeo' Lime Fruit Qualities

สรिता บัวทอง¹ วชิรญา อิมสabay¹ และปวีณา ชื่นวาริน¹

Sarida Buathong¹, Wachiraya Imsabai¹ and Paweena Chuenwarin¹

บทคัดย่อ

มะนาวที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดและเป็นที่นิยมของผู้บริโภค คือ พันธุ์ 'แป้นบ้านแพ้ว' แต่ยังไม่มียี่ห้อหรือข้อมูลลักษณะคุณภาพของมะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้วเปรียบเทียบกันทั้งสองฤดูกาลเก็บเกี่ยว คือ ฤดูแล้ง (มกราคม 2561) และฤดูฝน (สิงหาคม 2561) จึงได้ประเมินลักษณะคุณภาพของมะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้วจากตลาดไท จำนวน 3 ขนาด คือ เบอร์ 4, 5 และ 6 พบว่า มะนาวที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนมีความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล น้ำหนักน้ำคั้น ความหนาเปลือก จำนวนเมล็ด และอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) น้อยกว่ามะนาวที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง ส่วนปริมาณน้ำคั้น ปริมาณวิตามินซี และ TA ของมะนาวที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนมีค่ามากกว่าฤดูแล้ง สำหรับปัจจัยด้านขนาดผล พบว่า ความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล และน้ำหนักน้ำคั้น ของมะนาวเบอร์ 4 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ เบอร์ 5 และ เบอร์ 6 แต่ปริมาณ TA และ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดผลเล็กลง นอกจากนี้ยังพบว่าฤดูกาลและขนาดผลมีปฏิสัมพันธ์กันต่อจำนวนกลีบ จำนวนเมล็ด ปริมาณวิตามินซี TA TSS และอัตราส่วน TSS/TA

คำสำคัญ: *Citrus aurantifolia* ขนาดผล คุณภาพผล ฤดูกาล มะนาวแป้น

Abstract

'Pan Baan Phaeo' is the most popular lime cultivar produced in Thailand; however, information on the quality of the fruit, and in particular on the quality of the fruit cultivated in the dry (January) and rainy (August) seasons is very limited. In this research, we therefore aimed to determine and compare the quality of limes obtained from some Talaad Thai (fruit and vegetable flea market), sampling three different fruit sizes, namely, sizes 4, 5, and 6. The results indicated that harvesting season affected the fruit length, fruit diameter, fruit weight, juice weight, fruit rind thickness, number of seeds per fruit, and the total soluble solids (TSS), and titratable acidity (TA) ratio (TSS/TA) values, all of which were higher in the dry season than in rainy season, whereas the juice content, vitamin C content, and TA were lower in the dry season. Concerning the parameters of fruit size, we found that the fruit length, fruit diameter, fruit weight, and juice weight of the Pan Baan Phaeo 4 were the highest, followed by Pan Baan Phaeo 5 and 6, but the TA and TSS increase were the highest in Pan Baan Phaeo 6, followed by Pan Baan Phaeo 5 and 4. Furthermore, there was an interaction of season and size that affected the number of segments per fruit, number of seeds per fruit, vitamin C content, TA, TSS, and TSS/TA.

Keywords: *Citrus aurantifolia* Swingle, fruit size, fruit quality, season, Mexican lime

¹ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author, Email: paweena.chue@ku.th

คำนำ

ตลาดไท ซึ่งเป็นตลาดกลางค้าส่งสินค้าเกษตรที่ให้ผู้ขายและผู้ซื้อได้เข้ามาทำการค้าขายสินค้าเกษตรกันโดยตรงอย่างเสรี และมีการเก็บสถิติราคาของสินค้าในทุกวัน เป็นแหล่งสำคัญในการรวบรวมและกระจายสินค้าทางการเกษตรทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งมีการจำหน่ายมะนาวพันธุ์ 'แป้นบ้านแพ้ว' เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นมะนาวพันธุ์สำคัญทางการค้าในประเทศไทย โดยมีลักษณะที่ดี คือ เปลือกบางและปริมาณน้ำมาก แต่ทั้งนี้มะนาวแป้นบ้านแพ้วมีราคาผลผลิตต่างกันในแต่ละขนาดของผล และราคาก็แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้จัดทำมาตรฐานสินค้าเกษตรของมะนาวขึ้น (มกษ. 27-2560) โดยคุณภาพผลที่สำคัญ คือ มีปริมาณน้ำคั้นไม่น้อยกว่า 40% เมื่อคำนวณโดยน้ำหนักน้ำคั้นเทียบกับน้ำหนักของผลมะนาว สีเปลือกควรมีสีเขียว หรือมีแต้มสีเหลืองได้ไม่เกิน 30% ขนาดที่กำหนดตามมาตรฐานแบ่งเป็น 6 ขนาด โดยที่ขนาดที่ใหญ่ที่สุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 49 มิลลิเมตร และขนาดที่เล็กที่สุดอยู่ที่ 35-37 มิลลิเมตร สำหรับมะนาว *C. aurantifolia* (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560) โดยที่ราคาขายในตลาดไท ขนาดมะนาวผลใหญ่จะขายได้ในราคาที่แพงกว่ามะนาวผลเล็ก เนื่องจากขนาดผลที่ใหญ่จะได้ราคาดี นับเป็นลักษณะคุณภาพที่ดีทางการค้า ขนาดผลส่งผลต่อคุณภาพของผลไม้บางประการ ดังที่มีรายงานการศึกษาผลส้ม mandarin ใน Sikkim Himalayas ประเทศอินเดีย พบว่าผลที่มีขนาดใหญ่ มักจะมีเปลือกที่หนากว่าผลที่มีขนาดเล็ก ผลขนาดเล็กมีปริมาณน้ำคั้นมากกว่าผลขนาดใหญ่ และปริมาณวิตามินซีในส้มผลที่มีขนาดเล็กสูงกว่าผลขนาดใหญ่ (Kumar et al., 2011)

นอกจากเรื่องขนาดผลแล้ว คุณภาพผลในด้านอื่น ได้แก่ ปริมาณน้ำคั้น สีเปลือก ปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนระหว่าง TSS/TA ในแต่ละฤดูกาลผลิตของมะนาวอาจมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ผลิตมะนาวในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพผลผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐานอยู่เสมอ โดยทั่วไปมะนาวจะให้ผลผลิตตามฤดูกาลสองครั้งในรอบหนึ่งปี โดยครั้งแรกจะออกดอกประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม และมีการออกดอกอีกครั้งในช่วงสิงหาคมถึงกันยายน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนธันวาคมถึงมกราคม (วี เสฐรักษ์ดี, 2543)

ฤดูกาลที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้คุณภาพผลผลิตของพืชชนิดเดียวกันมีคุณภาพแตกต่างกันออกไป เช่น ส้ม Navel ที่ให้ผลผลิตในฤดูฝนจะมีขนาดผลที่ใหญ่กว่า แต่สีผิวผลไม่สวย ปริมาณ TSS และปริมาณ TA ต่ำกว่าผลผลิตในฤดูแล้ง (Zekri, 2011) และอุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณ TA ลดลงในส้ม Valencia และเกรปฟรุต แต่ในเลมอนพบว่าปริมาณกรดสูงทั้งในสภาพอากาศร้อนและอากาศเย็น อย่างไรก็ตามอาจมีข้อยกเว้นเนื่องจากพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิสูงมีผลทำให้การเปลี่ยนสีผิวของเปลือกส้มเป็นสีส้มไม่ดีเท่าอุณหภูมิต่ำ หรือทำให้ผลแตกได้ (Cooper et al., 1963; Nauer et al., 1975; Abobatta, 2019)

ขนาดผลและฤดูกาลการเก็บเกี่ยวอาจส่งผลต่อคุณภาพทั้งทางกายภาพและเคมีของผลมะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้ว ทั้งนี้ยังไม่เคยมีการศึกษาเรื่องคุณภาพของมะนาวที่มีขนาดผลแตกต่างกันและเก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณภาพผลมะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้วจากตลาดไทว่ามะนาวในแต่ละขนาดและแต่ละฤดูกาลมีคุณภาพของผลแตกต่างกันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อมูลแก่เกษตรกรและผู้บริโภค

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างผลมะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้วจากตลาดไท รับจากเกษตรกรผู้ปลูกมะนาวในจังหวัดสมุทรสาคร โดยประเมินลักษณะคุณภาพของผลมะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้ว จำนวน 3 ขนาด คือ แป้นบ้านแพ้วเบอร์ 4 (400 ผลต่อ 20 L) เบอร์ 5 (500 ผลต่อ 20 L) และเบอร์ 6 (600 ผลต่อ 20 L) ใช้มะนาวขนาดละ 10 ผล จากทั้ง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูแล้งและฤดูฝน ซึ่งเก็บเกี่ยวในเดือนมกราคมและเดือนสิงหาคม ตามลำดับ

การบันทึกผล

- ความยาวผล (fruit length) เส้นผ่านศูนย์กลางผล (fruit diameter) และความหนาเปลือก (fruit rind thickness) วัดด้วย Digital Vernier Caliper (Insize, Suzhou New District, China)

- น้ำหนักผล (fruit weight) และน้ำหนักน้ำคั้น (juice weight) โดยการชั่งน้ำหนักผลและปริมาณน้ำคั้นของมะนาว ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Adventurer™ OHAUS, New Jersey, USA) และคำนวณปริมาณน้ำคั้น ดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำคั้น (juice content)} = (\text{juice weight} / \text{fruit weight}) \times 100$$

- จำนวนกลีบ (number of segments per fruit) และจำนวนเมล็ด (number of seeds per fruit)

- ปริมาณวิตามินซี (vitamin C content) ด้วยวิธี 2,6-dichlorophenolindophenol titrimetric (AOAC, 2000) โดยนำ น้ำมะนาวที่คั้นแล้วปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับ extracting solution (3%W/V oxalic acid, 8%W/V acetic acid) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน flask ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตด้วยสารละลาย 2,6-dichlorophenolindophenol (dye solution) จนถึงจุดยุติ (end point) คำนวณปริมาณวิตามินซี จากสมการดังนี้

$$\text{Ascorbic acid (vitamin C) content (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร น้ำมะนาว)} = [(A/B) \times (v/y)] \times 100$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของ dye solution ที่ใช้ไทเทรตกับสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของ dye solution ที่ใช้ไทเทรตกับ standard ascorbic acid (1 มิลลิกรัม ต่อ 1 มิลลิลิตร)

v คือ ปริมาตรของ standard ascorbic acid ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

y คือ ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ด้วยวิธีของ AOAC (2000) โดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน 0.1N sodium hydroxide นำมาใช้ในการไทเทรตกับน้ำมะนาวปริมาณ 2 มิลลิลิตร โดยหยดสารละลาย 1%W/V phenolphthalein ในน้ำมะนาวจำนวน 2 หยด จนกระทั่งสารละลายปฏิกิริยาเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนที่คงตัว โดยทำการไทเทรต 3 ซ้ำ ต่อ 1 ตัวอย่าง

$$\%TA = [(Volume\ of\ NaOH \times 0.1N \times 0.064) / volume\ of\ sample] \times 100$$

เมื่อ 0.064 คือ จำนวนกรัมของกรด citric ที่ใช้ไทเทรตกับ 1 มิลลิโมล โซเดียมไฮดรอกไซด์ จนเข้าสู่จุดสมมูล

- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) โดยวัดด้วย digital refractometer (Atago, PAC-1, Japan)

การวิเคราะห์สถิติ

ในการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพผลของมะนาวในฤดูกาล 2 ฤดูกาล คือ ฤดูแล้งและฤดูฝน (ปัจจัยที่ 1) และมะนาว 3 ขนาด (ปัจจัยที่ 2) โดยวางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in CRD วิเคราะห์ Analysis of Variance (ANOVA): two factor with replication ใน Microsoft Excel ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพของผลมะนาวพันธุ์บ้านแพ้วที่มีขนาดต่างกันทั้งสองฤดูกาล

จากการวัดความยาวผลและเส้นผ่านศูนย์กลางผล พบว่า ความยาวของมะนาวบ้านแพ้ว เปรียบเทียบกันในแต่ละขนาดของผล ในฤดูแล้ง เบอร์ 4 มีค่ามากที่สุดคือเฉลี่ย 41.40 มิลลิเมตร รองลงมาคือเบอร์ 5 มีความยาวเฉลี่ย 38.26 มิลลิเมตร และเบอร์ 6 มีความยาวเฉลี่ย 36.66 มิลลิเมตร ในฤดูฝน บ้านแพ้วเบอร์ 4 มีค่ามากที่สุดคือเฉลี่ย 40.40 มิลลิเมตร รองลงมาคือเบอร์ 5 มีความยาวเฉลี่ย 37.43 มิลลิเมตร และเบอร์ 6 มีความยาวเฉลี่ย 35.37 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางผล มะนาวในฤดูแล้งของเบอร์ 4 มีค่ามากที่สุดคือเฉลี่ย 48.64 มิลลิเมตร รองลงมาคือเบอร์ 5 เฉลี่ย 44.27 มิลลิเมตร และเบอร์ 6 เฉลี่ย 42.27 มิลลิเมตร ในฤดูฝน บ้านแพ้วเบอร์ 4 มีค่ามากที่สุดคือเฉลี่ย 46.83 มิลลิเมตร รองลงมาคือเบอร์ 5 เฉลี่ย 43.20 มิลลิเมตร และเบอร์ 6 เฉลี่ย 39.93 มิลลิเมตร (Table 1) ซึ่งความยาวผลและเส้นผ่านศูนย์กลางผลของมะนาวบ้านแพ้ว เบอร์ 4 มากกว่าเบอร์ 5 และ เบอร์ 6 อย่างมีนัยสำคัญ (Table 2) และพบว่าความยาวผลและเส้นผ่านศูนย์กลางผลของมะนาว บ้านแพ้วในทุกขนาดในฤดูแล้งมีค่ามากกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ

น้ำหนักผลของมะนาวพันธุ์บ้านแพ้ว ในแต่ละขนาดของผลในฤดูแล้งพบว่าเบอร์ 4 มีน้ำหนักมากที่สุดเฉลี่ยคือ 57.60 กรัม รองลงมาคือเบอร์ 5 มีน้ำหนักเฉลี่ย 44.91 กรัม และน้ำหนักน้อยที่สุดคือเบอร์ 6 มีน้ำหนักเฉลี่ย 38.32 กรัม (Table 1) ส่วนในฤดูฝนเบอร์ 4 มีน้ำหนักมากที่สุดเฉลี่ยคือ 51.15 กรัม รองลงมาคือเบอร์ 5 มีน้ำหนักเฉลี่ย 39.95 กรัม และ

เบอร์ 6 มีน้ำหนักน้อยที่สุด เฉลี่ย 32.18 กรัม (Table 1) โดยในทั้ง 2 ฤดูกาล ขนาดผลที่ใหญ่กว่าจะมีน้ำหนักผลที่มากกว่า ขนาดผลที่มีขนาดเล็กลงมาอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2)

น้ำหนักน้ำคั้นในฤดูแล้งของบ้านแพ้ว เบอร์ 4 มีน้ำหนักมากที่สุดเฉลี่ย 27.84 กรัม รองลงมาคือเบอร์ 5 น้ำหนักเฉลี่ย 21.81 กรัม และเบอร์ 6 น้อยที่สุด มีน้ำหนักเฉลี่ย 18.51 กรัม (Table 1) ในฤดูฝน เบอร์ 4 มีน้ำหนักมากที่สุดเฉลี่ยคือ 25.59 กรัม รองลงมาคือเบอร์ 5 น้ำหนักเฉลี่ย 20.92 กรัม และน้อยที่สุดคือเบอร์ 6 น้ำหนักเฉลี่ย 16.03 กรัม (Table 1) โดยน้ำหนักน้ำคั้นของบ้านแพ้วที่มีผลขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักมากกว่าผลขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2)

ความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล และน้ำหนักน้ำคั้น ในแต่ละขนาดของฤดูแล้ง มีค่ามากกว่าฤดูฝน อย่างมีนัยสำคัญ (Table 1 and 2) ซึ่งสอดคล้องกับ วิภาวิน สุจริต และคณะ (2557) ในแง่ที่พบว่าผลมะนาวในแต่ละฤดูกาล เก็บเกี่ยวมีน้ำหนักแตกต่างกัน ซึ่งมีการศึกษาในพืชสกุลส้มพบว่าปริมาณน้ำฝนส่งผลต่อปริมาณผลผลิต (Parsons and Wheaton, 2000) ดังนั้นเมื่อปริมาณผลผลิตต่อต้นเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ขนาดและน้ำหนักผลลดลง (Goldschmidt, 1997; Guardiola and Garcia-Luis, 2000)

ปริมาณน้ำคั้นของมะนาวพันธุ์บ้านแพ้วในแต่ละขนาดของผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และจากค่าที่ได้ จะพบว่า มะนาวที่ใช้ในการทดลองนี้ได้คุณภาพตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติของมะนาว *L. aurantifolia* (มกษ. 27-2560) ที่ต้องมีปริมาณน้ำคั้นมากกว่า 40% (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560) แต่พบว่าในฤดูฝนให้ปริมาณน้ำคั้นมากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญ (Table 1 and 2) ซึ่งสอดคล้องกับ Zekri (2011) ที่กล่าวว่าส้ม Navel ถ้ามีการให้น้ำดีจะทำให้มีปริมาณน้ำคั้นสูง

ความหนาเปลือกของมะนาวบ้านแพ้ว ระหว่างขนาดของผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ในฤดูแล้ง บ้านแพ้วเบอร์ 4, 5 และ 6 มีความหนาเปลือกเฉลี่ย 1.58 มิลลิเมตร 1.53 มิลลิเมตร และ 1.56 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในฤดูฝน บ้านแพ้วเบอร์ 4 มีความหนาเปลือกเฉลี่ยคือ 1.53 มิลลิเมตร เบอร์ 5 เฉลี่ย 1.38 มิลลิเมตร และเบอร์ 6 เฉลี่ย 1.35 มิลลิเมตร (Table 1) โดยที่ในฤดูแล้งมะนาวบ้านแพ้วเปลือกหนากว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1 and 2) การเพาะปลูกและสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อความหนาของเปลือกมะนาว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิภาวิน สุจริต และคณะ (2557) ที่รายงานว่า ผลมะนาวในฤดูหนาวและฤดูร้อนมีความหนาของเปลือกมากกว่าฤดูฝน อาจเนื่องจากในฤดูร้อนมีอุณหภูมิที่สูงมากจึงทำให้ต้นมะนาวเกิดความเครียดที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม พืชจะต้องปรับตัวให้อยู่ได้ภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสมเหล่านี้ จึงส่งผลให้ในฤดูร้อนนั้นผลมะนาวมีเปลือกที่หนาขึ้นเพื่อลดการสูญเสียน้ำและเพื่อการอยู่รอดของต้นมะนาว และการที่ฤดูฝนมะนาวเปลือกบางกว่าจึงอาจส่งผลให้ปริมาณน้ำคั้นของมะนาวในฤดูฝนมากกว่าในฤดูแล้ง

จำนวนกลีบมะนาวพันธุ์บ้านแพ้ว เบอร์ 4, 5 และ 6 ในฤดูแล้ง มีจำนวนกลีบเฉลี่ย 11.6 กลีบ 10.8 กลีบ และ 11.6 กลีบ ตามลำดับ ในฤดูฝน เบอร์ 4, 5 และ 6 มีจำนวนกลีบเฉลี่ยอยู่ที่ 11.1 กลีบ 12 กลีบ และ 10.3 กลีบ (Table 1) โดยจำนวนกลีบไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งปัจจัยด้านฤดูกาลและขนาด (Table 2) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นมะนาวพันธุ์เดียวกัน แต่พบว่าฤดูกาลและขนาดมีปฏิสัมพันธ์กันต่อจำนวนกลีบของมะนาวพันธุ์บ้านแพ้ว (Table 2)

จำนวนเมล็ดของมะนาวที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง บ้านแพ้วเบอร์ 4 มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ย 11.9 เมล็ด เบอร์ 5 มีจำนวนเฉลี่ย 8.6 เมล็ด และเบอร์ 6 เฉลี่ย 7 เมล็ด ในฤดูฝน บ้านแพ้วเบอร์ 4 มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ย 5.6 เมล็ด เบอร์ 5 มีจำนวนเฉลี่ย 9 เมล็ด และเบอร์ 6 เฉลี่ย 6.4 เมล็ด (Table 1) ซึ่งพบว่าจำนวนเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติในมะนาวขนาดต่าง ๆ (Table 2) แต่จะเห็นว่าในฤดูแล้งจำนวนของเมล็ดมากกว่าในฤดูฝน และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและขนาดผล โดยในฤดูแล้งมีเมล็ดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดผลมะนาวใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการพัฒนาของเมล็ดที่มีการผลิตฮอร์โมนออกซิน ไคโตไคนิน และ จิบเบอเรลลิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ (Kumar et al., 2011) และเนื่องจากมะนาวในฤดูแล้งอาจมีโอกาสถูกผสมเกสรด้วย pollinator มากกว่าในฤดูฝน เพราะในฤดูฝน ฝนเป็นอุปสรรคสำหรับแมลงที่ช่วยผสมเกสร ทำให้มีละอองเกสรไปตกที่เกสรตัวเมียน้อยกว่าจึงทำให้การพัฒนาจำนวนของเมล็ดน้อยกว่า (Lawson and Rands, 2019)

Table 1 Physical qualities of 'Pan Baan Phaeo' fruits for different sizes in dry and rainy seasons.

'Pan Baan Phaeo' sizes	Fruit length (mm)		Fruit diameter (mm)		Fruit weight (g)		Juice weight (g)		Juice content (%)		Fruit rind thickness (mm)		Number of segments/fruit		Number of seeds/fruit	
	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy
4	41.40	40.40	48.64	46.83	57.60	51.15	27.84	25.59	48.32	49.97	1.58	1.53	11.6	11.1	11.9	5.6
	±0.49	±0.67	±0.27	±0.57	±0.94	±2.02	±0.74	±1.16	±0.85	±0.88	±0.06	±0.06	±0.4	±0.3	±1.9	±1.2
5	38.26	37.43	44.27	43.20	44.91	39.95	21.81	20.92	48.38	52.34	1.53	1.38	10.8	12.0	8.6	9.0
	±0.66	±0.36	±0.28	±0.24	±1.01	±0.65	±1.10	±0.50	±1.72	±0.65	±0.06	±0.04	±0.3	±0.3	±1.3	±1.0
6	36.66	35.37	42.27	39.93	38.32	32.18	18.51	16.03	48.24	49.69	1.56	1.35	11.6	10.3	7.0	6.4
	±0.50	±0.51	±0.43	±0.44	±1.04	±1.13	±0.75	±0.81	±1.15	±1.34	±0.06	±0.05	±0.3	±0.3	±1.1	±0.9

Table 2 ANOVA results for the physical fruit qualities of 'Pan Baan Phaeo' with season and size as factors.

Parameter	Source	DF	F-value	P-value
Fruit length	Season	1	5.524453	0.022435
	Size	2	41.26349	1.33E-11
	Season*size	2	0.091543	0.912663
Fruit diameter	Season	1	29.55658	1.34E-06
	Size	2	144.769	2.01E-22
	Season*size	2	1.319547	0.275735
Fruit weight	Season	1	35.20289	2.18E-07
	Size	2	128.0812	3.17E-21
	Season*size	2	0.212939	0.80888
Juice weight	Season	1	6.915262	0.01111
	Size	2	58.83561	2.74E-14
	Season*size	2	0.489967	0.615344
Juice content	Season	1	6.231312	0.015636
	Size	2	0.864204	0.427132
	Season*size	2	0.724009	0.48945
Fruit rind thickness	Season	1	8.779611	0.004523
	Size	2	1.969072	0.149482
	Season*size	2	1.022494	0.366554
Number of segments/fruit	Season	1	0.545455	0.463379
	Size	2	1.106061	0.338238
	Season*size	2	7.409091	0.001434
Number of seeds/fruit	Season	1	4.340258	0.04197
	Size	2	1.770003	0.180071
	Season*size	2	4.02591	0.023456

การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของผลมะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้วที่มีขนาดต่างกันในสองฤดูกาล

ปริมาณวิตามินซีของมะนาวแป้นบ้านแพ้ว เบอร์ 6 ในฤดูฝน มีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยมากที่สุด คือ 50.66 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม และในฤดูแล้ง มะนาวเบอร์ 5 มีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยมากที่สุด คือ 40.98 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม (Table 3) และพบว่าปริมาณวิตามินซีในแต่ละขนาดผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 4) ในขณะที่ฤดูฝนมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hanson et al. (2011) ที่พบว่าผักในสกุล *Brassica* สองชนิด มีปริมาณวิตามินซีในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิภาวิน สุจริต และคณะ (2557) ที่รายงานว่า ผลมะนาวในฤดูร้อนมีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าผลมะนาวในฤดูอื่น ๆ เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวสูงทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538) และพบว่าฤดูกาลและขนาดของผลมีปฏิสัมพันธ์กันต่อปริมาณวิตามินซี กล่าวคือ ผลของมะนาวขนาดเล็กในฤดูฝนจะมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผลขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับส้ม mandarin ที่รายงานว่า ผลส้มขนาดเล็กมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผลขนาดใหญ่ (Kumar et al., 2011)

ปริมาณ TA ของมะนาวเบอร์ 6 มีปริมาณมากกว่ามะนาว เบอร์ 5 และเบอร์ 4 อย่างมีนัยสำคัญ และมะนาวที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนมีปริมาณ TA มากกว่ามะนาวแล้งอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ของฤดูกาลและขนาดผลมะนาวด้วย (Table 4) จากงานวิจัยนี้พบว่าทั้งปริมาณ TA และปริมาณวิตามินซีในฤดูฝนมีค่ามากกว่าฤดูแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิภาวิน สุจริต และคณะ (2557) ที่พบว่า ปริมาณวิตามินซีในฤดูฝนมาก อาจเนื่องจากมีปริมาณกรดซิตริกและกรดมาลิกในผลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งกรดทั้งสองชนิดช่วยในการคงตัวของวิตามินซีได้ ซึ่งอาจใช้อธิบายว่ามะนาวขนาดเล็กมี TA สูงจึงอาจส่งผลให้

มีปริมาณวิตามินซีสูงด้วย รวมทั้งในฤดูฝนพืชสามารถดูดใช้ธาตุไนโตรเจนได้มากขึ้น และอาจเป็นผลให้มีการผลิตกรดสะสมในผลได้มาก (Zekri, 2011)

ปริมาณ TSS ของมะนาวแป้นบ้านแพ้วในทุกขนาดผลแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล และยังพบว่ามีความสัมพันธ์ของฤดูกาลและขนาดผลต่อปริมาณ TSS (Table 4) โดยมะนาวเบอร์ 6 ที่เก็บเกี่ยวในทั้งสองฤดูกาลมีปริมาณ TSS มากกว่ามะนาวเบอร์ 5 และเบอร์ 4 อย่างมีนัยสำคัญ (Table 3 and 4)

สำหรับอัตราส่วน TSS/TA มีค่าแตกต่างกันในสองฤดูกาล และพบว่ามีความสัมพันธ์ของฤดูกาลและขนาดต่อ TSS/TA โดยมะนาวเบอร์ 4 ในฤดูแล้ง มีค่า TSS/TA มากกว่า เบอร์ 5 และ เบอร์ 6 อย่างมีนัยสำคัญ (Table 3 and 4) ส่วนในฤดูฝนกลับพบว่ามะนาวเบอร์ 6 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ 1.24 รองลงมาเป็นเบอร์ 4 เฉลี่ย 1.15 น้อยที่สุดคือ เบอร์ 5 เฉลี่ย 1.13 (Table 3) การที่มีปริมาณวิตามินซี ปริมาณ TA และ TSS ในผลมะนาวแตกต่างกันนั้น อาจเกิดจากการเขตรกรรมและสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อขนาดผล และปริมาณวิตามินซี ปริมาณกรด และปริมาณ TSS ที่สะสมในผล (Ywassaki and Canniatti-Brazaca, 2011) อัตราส่วน TSS/TA ใช้บ่งบอกความหวานของผลไม่ได้ดีกว่าปริมาณ TSS เพราะ TSS จะประกอบไปด้วย กรด น้ำตาล และแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้หลาย ๆ ชนิด ดังนั้นเมื่อมะนาวในฤดูฝนมีปริมาณ TA สูงกว่ามะนาวในฤดูแล้ง จึงส่งผลให้อัตราส่วน TSS/TA ต่ำ บ่งบอกว่ามะนาวในฤดูฝนมีรสเปรี้ยวกว่ามะนาวฤดูแล้ง หรือกล่าวในอีกทางหนึ่งได้ว่ามะนาวฤดูแล้งมีรสเปรี้ยวมหวานมากกว่ามะนาวฤดูฝน

Table 3 Chemical qualities of 'Pan Baan Phaeo' fruits for different sizes in dry and rainy seasons.

'Pan Baan Phaeo' sizes	Vitamin C content (mg/100 ml juice)		TA (%)		TSS (°brix)		TSS/TA	
	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy
4	36.80	42.99	3.35	7.24	8.80	8.30	2.64	1.15
	±2.02	±1.47	±0.06	±0.14	±0.21	±0.16	±0.09	±0.02
5	40.98	41.92	3.69	7.90	8.80	8.91	2.39	1.13
	±2.68	±1.26	±0.08	±0.13	±0.27	±0.14	±0.08	±0.03
6	38.74	50.66	3.73	8.24	8.91	10.19	2.39	1.24
	±2.12	±1.22	±0.09	±0.13	±0.23	±0.27	±0.06	±0.03

Table 4 ANOVA results for the chemical fruit qualities of 'Pan Baan Phaeo' with season and size as factors.

Parameter	Source	DF	F-value	P-value
Vitamin C content	Season	1	14.82267	0.000315
	Size	2	2.947559	0.060963
	Season*size	2	3.70047	0.031182
TA	Season	1	2268.883	8.52E-46
	Size	2	21.88596	1.09E-07
	Season*size	2	4.10608	0.021878
TSS	Season	1	2.79488	0.100352
	Size	2	11.12201	9.02E-05
	Season*size	2	8.661269	0.000546
TSS/TA	Season	1	744.2307	2.92E-33
	Size	2	2.553035	0.08721
	Season*size	2	4.254	0.019247

สรุปผลการศึกษา

มะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้วจากตลาดไท เบอร์ 4 เบอร์ 5 และเบอร์ 6 ที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง (มกราคม 2561) และฤดูฝน (สิงหาคม 2561) มีความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล น้ำหนักน้ำคั้น ปริมาณ TA และ TSS แตกต่างกันตามขนาดผลมะนาว โดยเบอร์ 4 มีความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล และน้ำหนักน้ำคั้นมากที่สุด เบอร์ 6 ปริมาณ TA และ TSS มากที่สุด มีความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล น้ำหนักน้ำคั้น ปริมาณน้ำคั้น ความหนาเปลือก จำนวนเมล็ด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณ TA และอัตราส่วน TSS/TA แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ฤดูกาลและขนาดผล มีปฏิสัมพันธ์ต่อจำนวนกลีบ จำนวนเมล็ด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณ TA ปริมาณ TSS และอัตราส่วน TSS/TA

มะนาวพันธุ์แป้นบ้านแพ้วที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง มีความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล น้ำหนักผล น้ำหนักน้ำคั้น ความหนาเปลือก จำนวนเมล็ด และอัตราส่วน TSS/TA มากกว่ามะนาวในฤดูฝน แต่มะนาวที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนมีปริมาณน้ำคั้น ปริมาณวิตามินซี และปริมาณ TA มากกว่ามะนาวในฤดูแล้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สวพ. มก.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2560. *ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : มะนาว*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2538. *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- วี เสฐริภักดี. 2543. เทคนิคการผลิตมะนาวนอกฤดู. ใน *เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ โครงการวิจัยและถ่ายทอดงานวิจัยสู่ประชาชนประจำปีงบประมาณ 2543 (งบปรญัตติ 43)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิภาวิน สุจริต, วิลาวัลย์ คำปวน และจันทน์ อุทัยบุตร. 2557. ผลของฤดูกาลเก็บเกี่ยว และการเคลือบผิวด้วยไขผึ้งต่ออายุการวางจำหน่ายของผลมะนาวพันธุ์แป้น. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 45 (3/1 พิเศษ): 233-236.
- Abobatta, W. F. 2019. Potential impacts of global climate change on citrus cultivation. *MOJ Ecology and Environmental Sciences* 4(6): 308-312.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. *Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists*. 17th ed., Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists International.
- Cooper, W. C., Peynado, A., Furr, J. R., Hilgeman, R. H., Cahoon, G. A., and Boswell, S. B. 1963. Tree growth and fruit quality of Valencia oranges in relation to climate. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 82: 180-192.
- Goldschmidt, E. E. 1997. Basic and practical aspects of citrus trees' carbohydrate economy. In *Citrus Flowering and Fruiting Short Course*, S. H. Futch, and W. J. Kender, ed. pp. 63-72. Citrus Research and Education Center, Lake Alfred, IFAS, University of Florida.
- Guardiola, J. L., and García-Luis, A. 2000. Increasing fruit size in Citrus. Thinning and stimulation of fruit growth. *Plant Growth Regulation* 31: 121-132.
- Hanson, P., Yang, R. Y., Chang, L. C., Ledesma, L., and Ledesma, D. 2011. Carotenoids, ascorbic acid, minerals, and total glucosinolates in choysum (*Brassica rapa* cvg. *parachinensis*) and kailaan (*B. oleraceae* Alboglabra group) as affected by variety and wet and dry season production. *Journal of Food Composition and Analysis* 24: 950-962.
- Kumar, A., Avasthe, R. K., Pandey, B., Lepcha, B., and Rahman, H. 2011. Effect of fruit size and orchard location on fruit quality and seed traits of mandarin (*Citrus reticulata*) in Sikkim Himalayas. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 81(9): 821-824.
- Lawson, D. A., and Rands, S. A. 2019. The effects of rainfall on plant-pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions* 13: 561-569.
- Nauer, E. M., Goodale, J. H., Summers, L. L., and Reuther, W. 1975. Climate effects on grapefruit and lemons. *California Agriculture* 29(3): 8-10.
- Parsons, L. R., and Wheaton, T. A. 2000. Irrigation management and Citrus tree response in a humid climate. *HortScience* 35(6): 1043-1045.
- Ywassaki, L. A., and Canniatti-Brazaca, S. G. 2011. Ascorbic acid and pectin in different sizes and parts of citric fruits. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 31(2): 319-326.
- Zekri, M. 2011. Factors affecting citrus production and quality. *Citrus Industry*: 6-9.

วันรับบทความ (Received date) : 6 ส.ค. 63

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 10 พ.ค. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 ส.ค. 64

ศักยภาพของสปอร์แวนลอยเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการควบคุมการฟักและการพัฒนาของ กลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยสาเหตุรากปม (*Meloidogyne incognita*) ในมะเขือเทศ

Potential of *Trichoderma* spp. Spore Suspension to Control Egg Hatchability and Development of Root-knot Nematode (*Meloidogyne incognita*) in Tomatoes

อังคณา โรจน์ประจักษ์¹ และอมรศรี ขุนอินทร์^{1*}
Angkana Rotprachak¹ and Amornsri Khun-in^{1*}

บทคัดย่อ

เชื้อรา *Trichoderma* spp. สามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น เศษซากพืช อินทรีย์วัตถุ และดิน โดยส่วนมากรู้จักกันดีในฐานะของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ มีการนำมาใช้ประโยชน์และศึกษาอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเชื้อราดังกล่าวสามารถเจริญได้รวดเร็ว และมีการสร้างเอนไซม์หรือสารทุติยภูมิในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาศักยภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการยับยั้งการพัฒนาของกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยสาเหตุโรครากปม *Meloidogyne incognita* ในมะเขือเทศ จากการทดสอบเชื้อราจำนวน 22 ไอโซเลต พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. ไอโซเลต T35-CO4, M4 และ O3-T34 สามารถลดการฟักตัวของกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการสร้างเส้นใยบริเวณกลุ่มไข่ที่ 72 ชั่วโมง เท่ากับ 100% และทำให้กลุ่มไข่มีการฟักตัวเท่ากับ 1.33, 1.50 และ 2.00% ตามลำดับ (ชุดทดลองควบคุมเท่ากับ 80.60%) สำหรับการทดสอบในโรงเรือน พบว่าให้ผลสอดคล้องกัน คือเชื้อรา *Trichoderma* spp. ทั้ง 3 ไอโซเลต สามารถลดการเกิดปม และการสร้างกลุ่มไข่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับชุดทดลองควบคุม งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. นอกจากสามารถควบคุมเชื้อราสาเหตุโรค และกระตุ้นความต้านทานของพืชได้แล้วนั้น ยังมีศักยภาพในการเป็นเชื้อราปฏิปักษ์ต่อไส้เดือนฝอย ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาเพื่อการควบคุม และลดการเข้าทำลาย รวมถึงชะลอการพัฒนาของไส้เดือนฝอยสาเหตุโรครากปมในพืชอื่น ๆ ได้ต่อไป

คำสำคัญ: เชื้อราปฏิปักษ์ต่อไส้เดือนฝอย ไส้เดือนฝอยรากปม การควบคุมโดยชีววิธี

Abstract

The fungi *Trichoderma* spp. can be found living naturally in various places such as plant residues, organic matter, and soils. Because they are antagonistic microorganisms that can be grown fast, they are often studied and used in various applications in microbiology and agriculture. The fungi are sometimes used to create enzymes or secondary substances that find application in the control of plant pathogens. The main aim of this research was to evaluate the ability of *Trichoderma* spp. to inhibit the egg hatching of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tomatoes. Twenty-two isolates of *Trichoderma* spp. were used in this study. The findings indicated that 3 isolates; T35-CO4, M4, and O3-T34, exhibited the highest ability to inhibit the egg hatching of the root-knot nematode. The fungi infection reached 100% and the levels of egg hatching 1.33, 1.50, and 2.00% at 72 hours after incubation, respectively, compared to 80.6% for the control. The main result of the greenhouse experiment was that the 3 isolates of *Trichoderma* spp. mentioned above were able to effectively reduce galling and egg production in the plant roots, compared with control treatment. This research shows that *Trichoderma* spp. can be used to promote plant resistance and is a fungal agent that is antagonistic to nematodes. Furthermore, the fungi have the potential to be used in the biocontrol of root-knot nematodes that infect other plant species.

Keywords: nematophagous fungi, root-knot nematode, biocontrol

¹ ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹ Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author, Email: agramsk@ku.ac.th

คำนำ

ไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*) จัดเป็นสาเหตุโรคที่สร้างความเสียหายต่อพืชเศรษฐกิจทั่วโลก มีพืชอาศัยมากกว่า 3,000 ชนิด (Evans et al., 1993; Perry and Starr, 2009) สามารถแพร่กระจายได้ดีในพื้นที่เขตร้อน (tropical to sub-tropical regions) นอกจากนี้ยังถูกจัดเป็น 1 ใน 10 ของไส้เดือนฝอยรากปมที่สร้างความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตด้านการเกษตรมากที่สุด (Jones et al., 2013) จากข้อมูลของ Manzanilla-Lopez et al. (2004) พบว่าไส้เดือนฝอยมีการระบาดที่รุนแรงและรวดเร็ว เนื่องมาจากเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีวงจรชีวิตสั้น มีระยะตัวอ่อนที่ 2 ซึ่งเป็นระยะที่สามารถเข้าทำลายและสร้างปมให้กับพืชอาศัยได้ โดยใช้เวลาเพียง 25-30 วัน อีกทั้งยังสามารถพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยที่มีการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ และไม่มีการผสมของเซลล์สืบพันธุ์ (parthenogenesis reproduction) สร้างกลุ่มไข่ (egg masses) 1 กลุ่ม มีประมาณ 200-500 ฟอง ซึ่งสอดคล้องกับ Arayungsarit (1987) พบว่า ไข่ของไส้เดือนฝอยรากปมในพื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทย หลังจากไข่ฟักตัวเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2 ประมาณ 24 ชั่วโมง ไส้เดือนฝอยจะเข้าไปอยู่ภายในรากข้าวได้และหลังจากฟักเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2 จะเจริญครบวงจรชีวิตภายใน 20 วัน และทำให้ผลผลิตลดลง 20-80% นอกจากนี้ยังพบว่าในพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจอีกหลายชนิดยังได้รับความเสียหายจากไส้เดือนฝอยรากปม (สมชาย สุชะกุล, 2549)

การควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากเป็นเชื้อสาเหตุโรคที่อยู่บริเวณดิน มีการปรับตัวให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงของพืชอาศัยได้ดี นอกจากนี้ข้อมูลทางนิเวศวิทยาและพฤติกรรมของไส้เดือนฝอยรากปมนั้นยังมีไม่เพียงพอที่จะใช้ในการประเมินเพื่อหาวิธีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพได้ (สมชาย สุชะกุล, 2549) การควบคุมในอดีตจนถึงปัจจุบันจึงเน้นไปที่การปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์พืชที่สามารถทนทาน ต้านทานต่อการสร้างปม และการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย เพื่อลดความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตร (Willason and Hussey, 1996) นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีราดลงในบางส่วน แต่ยังไม่สามารถควบคุมเชื้อสาเหตุได้ดีเท่าที่ควร โดยจากรายงานของ Wheeler et al. (2014) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการไส้เดือนฝอย *M. incognita* สาเหตุรากปมของฝ้ายในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการใช้สารเคมีในการรมดินด้วย 1,3-dichloropropene (1,3-D) และศึกษาพันธุ์ฝ้ายที่ต้านทาน ผลการทดลองพบว่าการใช้สารเคมีสามารถลดการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมได้เพียงเล็กน้อย และการรมดินด้วยสารเคมี 1,3-D มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไส้เดือนฝอยได้ดี แต่พบว่าการตกค้างในดินและพืชค่อนข้างสูง สำหรับพันธุ์ต้านทาน พบว่าการเกิดปมของไส้เดือนฝอยน้อยลงแต่ปริมาณผลผลิตที่ได้ก็น้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากการตอบสนองระหว่างพืชและไส้เดือนฝอยสาเหตุโรค ในปัจจุบันการควบคุมโดยชีววิธี (biological control) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการ และลดผลกระทบต่อการใช้และความเป็นพิษต่อเกษตรกรผู้ใช้และพืช รวมไปถึงผู้บริโภค

เชื้อรากลุ่ม filamentous fungi เป็นจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอย เนื่องจากสามารถเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมแบบร้อนชื้น อีกทั้งขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว โดยการสร้างสปอร์ จากรายงานพบเชื้อราหลายชนิดที่มีศักยภาพในการควบคุม เช่น เชื้อรา *Paecilomyces lilacinus*, Mycorrhiza และ endophytic fungi อีกหลายชนิด (Galano et al., 1996; Poveda et al., 2020) นอกจากนี้เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* spp.) ยังเป็นเชื้อราปฏิปักษ์อีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอย จากรายงานของ Sahebani and Hadavi (2008) ทำการศึกษาศักยภาพของเชื้อรา *T. harzianum* ในการควบคุมไส้เดือนฝอย *M. javanica* และพบว่าเชื้อราดังกล่าวสามารถลดการฟักตัว และการเข้าทำลาย รวมถึงการสร้างปมของไส้เดือนฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีเชื้อรา *T. asperellum*-203, *T. atroviride* และ *T. viride* ที่มีรายงานถึงความสามารถในการควบคุมไส้เดือนฝอยในพืชอีกหลายชนิด (Sharon et al., 2001; Al-Hazmi and TariqJaveed, 2016) งานวิจัยนี้จึงได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการควบคุมโรคพืชที่เกิดจากไส้เดือนฝอยศัตรูพืช และพัฒนาสำหรับเป็นวิธีการควบคุมด้วยชีววิธีต่อไป

วิธีการศึกษา

ไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* ที่ใช้ในการศึกษา

ไส้เดือนฝอย *M. incognita* จากรากมะเขือเทศในจังหวัดเพชรบุรี นำมาล้างดินและสิ่งสกปรกออก เชียกลุ่มไข่ใส่น้ำตาลถึงน้ำตาลอมแดงจากบริเวณรากพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิด stereo microscope จากนั้นทำให้ไส้เดือนฝอยบริสุทธิ์โดยวิธี single mass inoculation และเพิ่มปริมาณกลุ่มไข่บนต้นกล้ามะเขือเทศอายุ 21 วัน จากนั้นนำกลุ่มไข่ที่ได้มาล้างด้วย 1% sodium hypochlorite นาน 30 วินาที และน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ 3 รอบ ตามวิธีการของ Ravichandra (2010) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

เชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่ใช้ในการศึกษา

เชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี single spore isolation จำนวน 22 ไอโซเลต ได้แก่ A18+A50 No.3, A40+A50 No.7, CB-Pin, F054, F107, 181, F254, M4, M33, M35, M49, O3-134, PQM, 35-C04, T50, T50-C04, T152, TL, TP, TV16, TV24 และ TV100 ได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.จิระเดช แจ่มสว่าง ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม นำมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) บ่มได้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง วัดการเจริญของเส้นใยเชื้อราทุกวัน จนครบ 4 วัน วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แต่ละกรรมวิธี มี 5 ซ้ำ

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ต่อการเข้าทำลายกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita*

เชื้อรา *Trichoderma* spp. จำนวน 22 ไอโซเลต นำมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มได้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นทำสปอร์แขวนลอยความเข้มข้น 1×10^7 spore/ml ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำมาเกลี่ยให้ทั่วผิวน้ำอาหาร water agar (WA) ที่มีส่วนผสมของ streptomycin 0.2 กรัมต่อลิตร บ่มได้แสง near UV ที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอย *M. incognita* มาวางตรงกลางจานเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิห้อง บันทึกผลกลุ่มไข่ที่ถูกเชื้อราเข้าทำลายตามวิธีการของ Khun-in et al. (2015) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิด stereo microscope จากนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายของเชื้อราที่ทดสอบดังแสดงในสมการด้านล่าง เปรียบเทียบสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

$$\% \text{Mycelia infectivity} = \frac{\text{No. of J2 hatch in dH}_2\text{O} - \text{No. of J2 hatch in treatment}}{\text{No. J2 hatch in treatment}} \times 100$$

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ต่อการฟักตัวของไข่ไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita*

เชื้อรา *Trichoderma* spp. จำนวน 22 ไอโซเลต ที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มได้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน ทำสปอร์แขวนลอยความเข้มข้น 1×10^7 spore/ml ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำมาเกลี่ยให้ทั่วผิวน้ำอาหาร water agar (WA) ที่มีส่วนผสมของ streptomycin 0.2 กรัมต่อลิตร บ่มได้แสง near UV ที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอย *M. incognita* มาวางตรงกลางจานเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิห้อง บันทึกจำนวนตัวอ่อนของไข่ไส้เดือนฝอยรากปมที่ฟักออกจากไข่ โดยดัดแปลงวิธีการจาก Sun et al. (2006) และ Khun-in et al. (2015) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิด stereo microscope คำนวณค่าเฉลี่ยตามสูตร

$$\text{Egg hatching rate} = \frac{\text{Juveniles}}{\text{Eggs} + \text{Juveniles}} \times 100$$

$$\text{Juvenile mortality} = \frac{\text{Dead juveniles}}{\text{Total juveniles}} \times 100$$

ผลของกลุ่มไข่ที่ถูกทำลายด้วยเชื้อรา *Trichoderma* spp. ต่อพัฒนาการในการเข้าทำลายบนต้นมะเขือเทศ

นำกลุ่มไข่ที่สัมผัสเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่มีเปอร์เซ็นต์การควบคุมการฟักสูงจากการทดลองก่อนหน้านี้ มาทดสอบความสามารถในการเข้าทำลายและก่อโรคในมะเขือเทศ โดยทำการปลูกเชื้อไส้เดือนฝอยด้วยกลุ่มไข่ที่สัมผัสเชื้อรา *Trichoderma* spp. ลงบริเวณโคนต้นมะเขือเทศพันธุ์สีดา อายุ 14 วัน ดูแลรดน้ำตามปกติ จนครบ 30 วัน จากนั้นนำรากของมะเขือเทศมาย้อมสีรากโดยใช้ acid fuchsin in acetic acid ตรวจนับปม และกลุ่มไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิด stereo microscope เป็นเวลา 3 วันหลังการปลูกเชื้อ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แต่ละกรรมวิธี มี 5 ซ้ำ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ไส้เดือนฝอย *M. incognita* และเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่ใช้ในการศึกษา

ไส้เดือนฝอย *M. incognita* จากรากมะเขือเทศในจังหวัดเพชรบุรี นำมาเพิ่มปริมาณกลุ่มไซบอนด์นกลำมะเขือเทศอายุ 21 วัน เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป สำหรับเชื้อรา *Trichoderma* spp. พบว่าเชื้อราทั้ง 22 ไอโซเลต มีลักษณะโคโลนีคล้ายคลึงกัน คือเส้นใยเจริญลักษณะแผ่ราบไปกับผิวหน้าอาหารถึงฟูเล็กน้อย สร้างเส้นใยสีขาวบริเวณขอบโคโลนี บริเวณด้านในมีการสร้างสปอร์สีเขียวถึงเขียวมะกอกกระจายทั่วโคโลนี เจริญรวดเร็วบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยที่อายุ 1 วัน มีการเจริญของโคโลนีเฉลี่ย 2.68 เซนติเมตร โดยไอโซเลต M4 มีการเจริญมากที่สุด เท่ากับ 5.0 เซนติเมตร และไอโซเลตที่มีการเจริญของโคโลนีน้อยที่สุด คือ ไอโซเลต PQM มีการเจริญของโคโลนีเท่ากับ 1.6 เซนติเมตร และเมื่อเวลาผ่านไป 4 วัน พบว่าเชื้อราทั้ง 22 ไอโซเลต สามารถเจริญและสร้างเส้นใยเต็มจานเลี้ยงเชื้อ (9.0 เซนติเมตร) (Table 1) สอดคล้องกับรายงานหลายฉบับที่กล่าวถึงความสามารถของเชื้อราในสกุล *Trichoderma* spp. และเชื้อราในกลุ่ม *Hypocrea* ในการเจริญและสร้างส่วนขยายพันธุ์ได้รวดเร็วทั้งในสภาพแปลง และห้องปฏิบัติการ (จิระเดช แจ่มสว่าง, 2553; พรามมาส เจริญรักษ์, 2559; Aness et al., 2010)

Table 1 Colony diameter of *Trichoderma* spp. 22 isolates incubated under near UV alternate darkness for 4 days.

Isolate name	Colony diameter (cm) ¹			
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4
A18+A50	1.98c	5.4b	9.0a	9.0a
A40+A50	2.8bc	6.7a	9.0a	9.0a
CB-Pin	3.2b	6.5a	9.0a	9.0a
F054	2.3bc	8.1a	9.0a	9.0a
F107	2.1bc	5.3bc	9.0a	9.0a
F181	2.3bc	5.3bc	9.0a	9.0a
F254	2.1bc	5.5b	9.0a	9.0a
M33	3.7b	6.0b	6.5c	9.0a
M35	2.5bc	5.5b	5.0e	9.0a
M4	5.0a	7.0a	9.0a	9.0a
M49	2.5bc	6.5a	9.0a	9.0a
O3-T34	2.6bc	6.4ab	9.0a	9.0a
PQM	1.6c	6.0b	9.0a	9.0a
T152	3.2b	6.4b	9.0a	9.0a
T35-CO4	1.8c	5.3b	9.0a	9.0a
T50	2.3bc	6.4ab	9.0a	9.0a
T50+CO4	3.9b	7.0a	9.0a	9.0a
TL	2.6bc	5.0c	9.0a	9.0a
TP	2.4bc	5.4b	9.0a	9.0a
TV100	3.7b	7.0a	8.8ab	9.0a
TV16	1.9c	4.0c	9.0a	9.0a
TV24	2.4bc	5.3bc	7.2b	9.0a

¹ Means within the same column with a common letter are not significantly different at P<0.01 by DMRT.

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ต่อการเข้าทำลายกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita*

จากการศึกษาเชื้อรา *Trichoderma* spp. ต่อการเข้าทำลายกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปม ผลการทดลอง พบว่า เชื้อรา *Trichoderma* spp. จำนวน 3 ไอโซเลต ได้แก่ ไอโซเลต M4, O3-T34 และ T35-CO4 จาก 22 ไอโซเลต สามารถเข้าทำลายกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยรากปมได้ดีที่สุด โดยที่ 24 ชั่วโมง หลังการปลูกเชื้อ พบว่าไอโซเลต T35-CO4 มีการเข้าทำลายอยู่ที่ 40.0% รองลงมาคือ ไอโซเลต M4 และ O3-T34 มีการเข้าทำลายเท่ากันอยู่ที่ 20.0% และเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง หลังการปลูกเชื้อ พบว่าเชื้อราทั้ง 3 ไอโซเลต สามารถเข้าทำลายกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยได้ 100% เมื่อตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าบริเวณกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยรากปม มีการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Trichoderma* spp. และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น เชื้อราดังกล่าวมีการพัฒนาโดยการสร้าง germ tube และ aerial mycelium ปกคลุมกลุ่มไข่ (Table 2, Figure 1) สอดคล้องกับรายงานของ Sharon et al. (2007) ที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. asperellum* และ *T. atroviride* ในการลดการพัฒนาของกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอย *M. javanica* โดยผลการทดลองพบว่า เชื้อราทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถลดการพัฒนาและฟักของไส้เดือนฝอย *M. javanica* ได้ถึง 80.00% เมื่อเทียบกับชุดทดลองควบคุม โดยกลไกการเข้าทำลายไข่และการชะลอการฟักนั้น เกิดจากความสามารถของเชื้อราในสกุล *Trichoderma* ในการสร้างเอนไซม์ chitinase และ protease ซึ่งสามารถย่อยสลายผนังของไข่และเซลล์ตัวอ่อน รวมถึงตัวเต็มวัยได้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อรา และระยะเวลาในการสัมผัส (Suarez et al., 2004; Gortari and Hours, 2008)

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ต่อการฟักตัวของไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita*

สำหรับประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการลดอัตราการฟักของไข่ไส้เดือนฝอยรากปม ผลการทดลองพบว่าให้ผลสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้า คือเชื้อรา *Trichoderma* spp. ไอโซเลต M4, O3-T34 และ T35-CO4 สามารถลดการฟักตัวของกลุ่มไข่เพื่อพัฒนาไปเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2 ซึ่งเป็นระยะที่เข้าทำลาย และก่อให้เกิดปมกับรากของพืชอาศัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ 24 ชั่วโมงหลังการบ่มเชื้อ พบว่ากลุ่มไข่ที่สัมผัสเชื้อรา *Trichoderma* spp. ไอโซเลต M4, O3-T34 และ T35-CO4 มีอัตราการฟักตัวเท่ากับ 0.0, 7.5 และ 0.8% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดทดลองควบคุมที่มีเปอร์เซ็นต์การฟักตัวเท่ากับ 47.5 เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงหลังการปลูกเชื้อ พบว่ากลุ่มไข่ที่สัมผัสเชื้อราทั้ง 3 ไอโซเลต มีเปอร์เซ็นต์การฟักตัวสูงขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์การฟักของกลุ่มไข่ที่สัมผัสเชื้อราทั้ง 3 ไอโซเลต เท่ากับ 1.6, 5.0 และ 4.5% ตามลำดับ แต่พบว่าการฟักตัวดังกล่าวยังมีอัตราการฟักน้อยมาก เมื่อเทียบกับชุดทดลองควบคุมที่มีการฟักตัวเท่ากับ 75.0% สำหรับที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง หลังการปลูกเชื้อ พบว่ากลุ่มไข่ที่สัมผัสเชื้อราทั้ง 3 ไอโซเลต ยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการฟักตัวของไส้เดือนฝอย โดยมีการฟักของกลุ่มไข่ลดลงเท่ากับ 1.50, 2.0 และ 1.33% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดทดลองควบคุมที่มีอัตราการฟักเท่ากับ 80.0% (Table 2)

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า มีรายงานหลายฉบับที่ให้ผลสอดคล้องกัน คือพบว่าเชื้อราในสกุล *Trichoderma* สามารถลดการฟักตัวของกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปมได้หลายชนิด อาทิ *M. incognita*, *M. javanica* และ *Globodera pallida* โดยมีกลไกการควบคุมหลายกรณี เช่น การเจริญของเชื้อรา *Trichoderma* ที่รวดเร็ว ส่งผลให้มีการขัดขวางการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอย ความสามารถในการสร้างเอนไซม์ chitinase และ protease และการรวมของสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* กับเมือกหุ้มตัวและกลุ่มไข่ (gelatinous) เป็นต้น (Sharon et al., 2007; Zhang et al., 2014; Martínez-Medina et al., 2017)

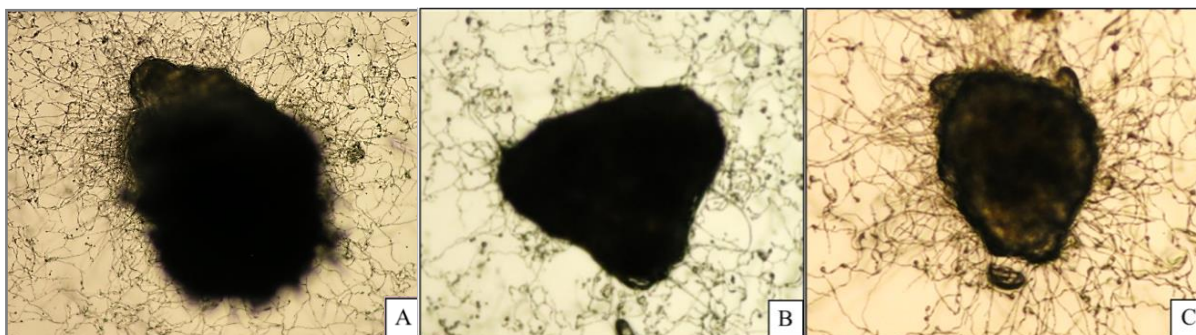


Figure 1 Egg masses of *Meloidogyne incognita* parasitized by spore suspension of *Trichoderma* spp. (A) isolate M4, (B) isolate O3-T34, and (C) isolate T35-CO4 after inoculation for 72 hours under compound microscope at 200X.

Table 2 Percentage of infection on egg mass and egg mass hatching of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* by *Trichoderma* sp. at 24, 48, and 72 hours after inoculation.

Isolate name	Mycelia infectivity (%) ¹			Egg mass hatching (%) ¹		
	24 hours	48 hours	72 hours	24 hours	48 hours	72 hours
Control	0.0b	0.0bc	0.0b	47.5a	75.0a	80.6a
A18+A50	0.0b	40.0ab	60.0ab	18.16cd	12.3de	3.6ij
A40+A50	0.0b	40.0ab	60.0ab	1.33ij	4.0gh	3.2jk
CB-Pin	0.0b	40.0ab	60.0ab	2.0ij	4.5gh	5.0hi
F054	0.0b	20.0b	60.0ab	13.6cd	7.6ef	4.5hi
F107	0.0b	40.0ab	40.0ab	15.0cd	19.6c	19.8de
F181	0.0b	20.0b	40.0ab	20.16c	9.3de	19.5de
F254	0.0b	20.0b	40.0ab	17.16cd	11.1de	15.5ef
M33	0.0b	20.0b	40.0ab	32.8b	13.6cd	19.8de
M35	0.0b	20.0b	40.0ab	13.5cd	20.0c	10.8fg
M4	20.0ab	80.0a	100.0a	0.0k	1.6h	1.50k
M49	0.0b	20.0b	40.0ab	33.0b	35.6b	45.5b
O3-T34	20.0ab	60.0ab	100.0a	7.5gh	5.0fg	2.0k
PQM	0.0b	20.0b	40.0ab	10.3ef	9.1de	12.0ef
T152	0.0b	40.0ab	40.0ab	15.6cd	5.5fg	23.5d
T35-CO4	40.0a	60.0ab	100.0a	0.8jk	4.5gh	1.33k
T50	0.0b	20.0b	60.0ab	12.1de	6.83ef	5.8hi
T50+CO4	0.0b	20.0b	60.0ab	1.33ij	6.66ef	4.0hi
TL	0.0b	20.0b	40.0ab	20.33c	19.3c	12.0ef
TP	0.0b	20.0b	40.0ab	5.5hi	7.3ef	34.3c
TV100	0.0b	20.0b	60.0ab	10.8de	8.6de	8.16gh
TV16	0.0b	20.0b	40.0ab	11.3de	15.5cd	17.5de
TV24	0.0b	20.0b	60.0ab	8.5fg	4.16gh	7.16gh

¹ Means within the same column with a common letter are not significantly different at $P < 0.01$ by DMRT.

ผลของกลุ่มเชื้อราที่ถูกทำลายด้วยเชื้อรา *Trichoderma* spp. ต่อพัฒนาการในการเข้าทำลายบนต้นมะเขือเทศ

จากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. ไอโซเลต M4, O3-T34 และ T35-CO4 มีศักยภาพในการเข้าทำลายกลุ่มไข่ และลดการฟักตัวของกลุ่มไข่ได้เดือนฝอยรากปมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้จึงได้นำกลุ่มไข่ดังกล่าวมาทดสอบความสามารถของการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยศัตรูพืชในระดับโรงเรือน โดยการนำกลุ่มไข่ปลูกลงในมะเขือเทศพันธุ์สีดาอายุ 14 วัน ผลการทดลองพบว่า หลังการปลูกลงเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. ไอโซเลต T35-CO4 ยังถือเป็น *Trichoderma* spp. ไอโซเลตที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการควบคุมการเจริญและพัฒนาของไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* โดยที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังการตรวจจสอบ พบการสร้างปมเพียง 16.2 ปม และพบกลุ่มไข่เพียง 3.2 กลุ่มไข่ เทียบกับชุดทดลองควบคุมที่มีการสร้างปมถึง 53.4 ปม และกลุ่มไข่ 19.2 กลุ่ม และเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง พบว่ามีการลดลงของปมและกลุ่มไข่ โดยมีปมเท่ากับ 14.0 ปม และกลุ่มไข่เท่ากับ 2.6 กลุ่ม (ชุดทดลองควบคุมพบปม 57.0 ปม และกลุ่มไข่ 21.2 กลุ่ม) และเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมงหลังการตรวจจสอบ พบว่าปริมาณปมและกลุ่มไข่ลดลงอย่างชัดเจน โดยมีจำนวนปมเท่ากับ 10.4 ปม และมีการสร้างกลุ่มไข่เพียง 1.2 กลุ่ม เมื่อเทียบกับชุดทดลองควบคุมที่มีการสร้างปมเพิ่มมากขึ้นถึง 63.6 ปม และมีการพบกลุ่มไข่มากถึง 28.4 กลุ่มไข่ (Table 3)

จากการทดลองที่กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่าเชื้อราในสกุล *Trichoderma* spp. มีความสามารถในการเป็นปฏิปักษ์กับไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งแท้จริงแล้วเชื้อราในสกุลดังกล่าวส่วนใหญ่ก็มีกลไกในการเป็นปฏิปักษ์ที่ค่อนข้างหลากหลาย เช่น รายงานของ Calderón et al. (1993) และ Bigirimana et al. (1997) พบว่าเชื้อรา *T. harzianum* สามารถกระตุ้นให้พืชตระกูลถั่ว

ต้านทานต่อเชื้อราสาเหตุโรคและไส้เดือนฝอย โดยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ transcriptomic, proteomic และการสร้างสารทุติยภูมิชนิดอื่น ๆ เพื่อให้พืชมีการตอบสนองต่อเชื้อสาเหตุได้รวดเร็วขึ้น เช่น การให้พืชสร้างกรด salicylic acid ซึ่งเป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันในกรณีมีการเข้าทำลายของศัตรูพืชได้รวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบกระบวนการที่คล้ายคลึงกันในพืชหลายชนิด (Hewezi et al., 2018; De Palma et al., 2019)

Table 3 Effects of *Trichoderma* spp. isolate M4, O3-T34, and T35-CO4 on infestation of *Meloidogyne incognita* in tomato under greenhouse condition.

Isolate name	Index of investigation ¹					
	Number of galls/root system			Number of egg mass/root system		
	24 hours	48 hours	72 hours	24 hours	48 hours	72 hours
Control	53.4a	57.0a	63.6a	19.2a	21.2a	28.4a
M4	20.4b	18.0b	12.0bc	2.6c	3.0b	2.4b
O3-T34	19.2bc	16.6bc	12.2b	3.8b	3.2b	2.2bc
T35-CO4	16.2c	14.0bc	10.4c	3.2bc	2.6c	1.2c
Healthy	0.0d	0.0c	0.0d	0.0d	0.0d	0.0d

¹ Means within the same column with a common letter are not significantly different at $P < 0.01$ by DMRT.

สรุปผลการศึกษา

เชื้อรา *Trichoderma* spp. จำนวน 22 ไอโซเลต พบว่ามีการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ได้อย่างรวดเร็ว โดยที่หลังการบ่มเชื้อเป็นเวลา 4 วัน เชื้อราสามารถเจริญได้เท่ากับ 9.0 เซนติเมตรในทุกไอโซเลต ทำการตรวจสอบความสามารถของเชื้อราในการเข้าทำลายกลุ่มไข่ ลดอัตราการฟักตัว และลดการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* บนต้นมะเขือเทศพันธุ์สีดา อายุ 14 วัน พบว่าให้ผลสอดคล้องกันทุกการทดลอง คือเชื้อรา *Trichoderma* spp. จำนวน 3 ไอโซเลต ได้แก่ M4, O3-T34 และ T35-CO4 มีศักยภาพในการเข้าทำลายกลุ่มไข่ ลดการฟักตัว และลดการเข้าทำลาย รวมถึงชะลอการพัฒนาการของไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเชื้อราเพื่อเป็นทางเลือกในการควบคุมไส้เดือนฝอยสาเหตุรากปม ซึ่งยังคงต้องมีการศึกษาต่อไปถึงความสามารถของเชื้อราในการจัดการความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ ผลกระทบต่อพืช รวมไปถึงการจัดจำแนกเชื้อราให้ถูกต้องตามหลักการ เพื่อให้งานวิจัยมีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์ต่อการเกษตรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิระเดช แจ่มสว่าง ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อรา *Trichoderma* spp. และคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จิระเดช แจ่มสว่าง. 2553. ไตรโคเดอร์มา: เชื้อราปฏิปักษ์ควบคุมโรคพืช. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรวมาส เจริญรักษ์. 2559. ประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma asperellum* ในการลดโรคเมล็ดต่างส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม.
- สมชาย สุขะกุล. 2549. ไส้เดือนฝอยศัตรูพืช และการควบคุม. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Al-Hazmi, A. S., and TariqJaveed, M. 2016. Effects of different inoculum densities of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* against *Meloidogyne javanica* on tomato. *Saudi Journal of Biological Sciences* 23(2): 288-292.
- Aness, M., Tronsmo, A., Edel-Hermann, V., Hjeljord, L. G., Heraud, C., and Steinberg, C. 2010. Characterization of field isolates of *Trichoderma* antagonistic against *Rhizoctonia solani*. *Fungal Biology* 114(9): 691-701.
- Arayungsarit, L. 1987. Yield ability of rice varieties in fields infested with root-knot nematode. *IRRI* 12(5): 14.
- Bigirimana, J., De Meyer, G., Poppe, J., Elad, Y., and Höfte, M. 1997. Induction of systemic resistance on bean (*Phaseolus vulgaris*) by *Trichoderma harzianum*. *Ghent University; Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen* 62: 1001-1007.
- Calderón, A. A., Zapata, J. M., Muñoz, R., Pedreño, M. A., and Barceló, A. R. 1993. Resveratrol production as a part of the hypersensitive-like response of grapevine cells to an elicitor from *Trichoderma viride*. *New Phytologist* 124: 455-463.

- De Palma, M., Salzano, M., Villano, C., Aversano, R., Lorito, M., Ruocco, M., et al. 2019. Transcriptome reprogramming, epigenetic modifications and alternative splicing orchestrate the tomato root response to the beneficial fungus *Trichoderma harzianum*. *Horticulture Research* 6(5): 1-15.
- Evans, K, Trudgill, D. L., and Webster, J. M. 1993. *Plant parasitic nematodes in temperate agriculture*. pp. 648. Cambridge, UK: University Press.
- Galano, C. D., Gapasin, R. M., and Lim, J. L. 1996. Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* isolates for the control of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* (Kofoed and White) Chitwood) in sweet potato. *Annals of Tropical Research* 18: 4-12.
- Gortari, M. C., and Hours, R. A. 2008. Fungal chitinases and their biological role in the antagonism onto nematode eggs. *Mycological Progress* 7(4): 221-238.
- Hewezi, T., Pantalone, V., Bennett, M., Stewart, C. N., and Burch-Smith, T. M. 2018. Phytopathogen-induced changes to plant methylomes. *Plant Cell Reports* 37: 17-23.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G., et al. 2013. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 14(9): 946-961.
- Khun-in, A., Sukhakul, S., Chamswarn, C., Tangkijchote, P., and Sasnarukkit, A. 2015. Culture filtrate of *Pleurotus ostreatus* isolate Poa3 effect on egg mass hatching and juvenile 2 of *Meloidogyne incognita* and its potential for biological control. *Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences* 21(1): 46-54.
- Manzanilla-Lopez, R. H., Kenneth, E., and Bridge, J. 2004. Plant diseases caused by nematodes. In *Nematology-advances and perspectives*. Volume II: Nematode management and utilization, Z. X. Chen, S. Y. Chen, and D. W. Dickson, eds. pp. 637-716. Cambridge, UK: CABI Publishing.
- Martínez-Medina, A., Fernández, I., Lok, G. B., Pozo, M. J., Pieterse, C. M., and Van Wees, S. C. 2017. Shifting from priming of salicylic acid-to jasmonic acid-regulated defences by *Trichoderma* protects tomato against the root knot nematode *Meloidogyne incognita*. *New Phytologist* 213: 1363-1377.
- Perry, R. N., and Starr, J. L. 2009. *Root-knot nematodes*. London, UK: CABI International.
- Poveda, J., Abril-Urías, P., and Escobar, C. 2020. Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma*, mycorrhizal and endophytic fungi. *Frontiers in Microbiology* 11(992): 1-14.
- Ravichandra, N. G. 2010. *Methods and techniques in plant nematology*. Delhi, India: PHI Learning Pvt. Ltd.
- Sahebani, N., and Hadavi, N. 2008. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. *Soil Biology and Biochemistry* 40(8): 2016-2020.
- Sharon, E., Bar-Eyal, M., Chet, I., Herrera-Estrella, A., Kleifeld, O., and Spiegel, Y. 2001. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology* 91(7): 687-693.
- Sharon, E., Chet, I., Viterbo, A., Bar-Eyal, M., Nagan, H., Samuels, G. J., and Spiegel, Y. 2007. Parasitism of *Trichoderma* on *Meloidogyne javanica* and role of the gelatinous matrix. *European Journal of Plant Pathology* 118(3): 247-258.
- Suarez, B., Rey, M., Castillo, P., Monte, E., and Llobell, A. 2004. Isolation and characterization of PRA1, a trypsin-like protease from the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* CECT 2413 displaying nematocidal activity. *Applied Microbiology and Biotechnology* 65(1): 46-55.
- Sun, M. H., Gao, L., Shi, Y. X., Li, B. J., and Liu, X. Z. 2006. Fungi and actinomycetes associated with *Meloidogyne* spp. eggs and females in China and their biocontrol potential. *Journal of Invertebrate Pathology* 93(1): 22-28.
- Wheeler, T. A., Siders, K. T., Anderson, M. G., Russell, S. A., Woodward, J. E., and Mullinix, B. G. 2014. Management of *Meloidogyne incognita* with chemicals and cultivars in cotton in a Semi-Arid environment. *Journal of Nematology* 46(2): 101-107.
- Williason, V. M., and Hussey, R. S. 1996. Nematode pathogenesis and resistance in plants. *Plant Cell* 8(10): 1735-1745.
- Zhang, S., Gan, Y., Xu, B., and Xue, Y. 2014. The parasitic and lethal effects of *Trichoderma longibrachiatum* against *Heterodera avenae*. *Biological Pest Control* 72: 1-8.

วันรับบทความ (Received date) : 24 มิ.ย. 63

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 9 ก.พ. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 6 พ.ค. 64

ผลของเวลาการให้อากาศต่อการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

โดยเชื้อ *Sacharomyces cerevisiae*

Effect of Aeration Time on Ethanol Production from Molasses

by *Sacharomyces cerevisiae*ประยูทธ เสาทอง^{1,2} กล้านรงค์ ศรีรอด^{1,2} บุญทิศา นิลจันทร์¹ และวิรัตน์ วาณิชศรีรัตน^{1*}
Prayooth Saethong^{1,2}, Klanarong Sriroth^{1,2}, Boontiwat Ninchan¹ and Wirat Vanichsiratana^{1*}

บทคัดย่อ

อากาศถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อเชื้อยีสต์และประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอล ดังนั้นงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการให้อากาศต่อการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลที่สอดคล้องกับการใช้เชื้อยีสต์ *Sacharomyces cerevisiae* ภายใต้สภาวะการให้อากาศที่ระดับ 0.10 vvm (อัตราปริมาตรอากาศต่อปริมาตรต่อนาที) ในช่วงเริ่มต้นของการหมักเอทานอลเป็นเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่า อัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อยีสต์ อัตราการใช้สารตั้งต้น และปริมาณเอทานอลที่ได้ในระหว่างการหมักเอทานอลสูงกว่าการทดลองชุดควบคุม (ไม่มีการให้อากาศ) โดยเฉพาะปริมาณการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตรที่ได้สูงสุดพบในสภาวะการให้อากาศ 12 ชั่วโมง (เอทานอลเชิงปริมาตรที่ได้ 1.73 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) และ 18 ชั่วโมง (เอทานอลเชิงปริมาตรที่ได้ 1.70 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) รองลงมาคือ การให้อากาศ 6 ชั่วโมง (เอทานอลเชิงปริมาตรที่ได้ 1.58 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) ซึ่งผลสอดคล้องกับอัตราการเจริญจำเพาะและการใช้สารตั้งต้น และพบว่าปริมาณเอทานอลที่ได้ต่ำที่สุดพบในสภาวะการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ ปริมาณเอทานอลเชิงปริมาตรอยู่ที่ 1.48 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การให้อากาศในระยะเริ่มต้นเป็นเวลา 12 ชั่วโมงของการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลมีผลทำให้เชื้อยีสต์สามารถเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ ใช้สารตั้งต้นได้อย่างรวดเร็ว และปริมาณเอทานอลที่ได้เพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ: กากน้ำตาล การให้อากาศ การหมักเอทานอล *Sacharomyces cerevisiae*

Abstract

Aeration is one of the significant factors affecting yeast physiology and efficiency of ethanol production. In this study, we investigated the effects of aeration time on ethanol fermentation from molasses by *Sacharomyces cerevisiae*. When aeration was conducted at 0.10 vvm (volume per volume per minute) at 6, 12 and 18 h, the specific growth rate, substrate consumption rate, and ethanol concentration and productivity were higher than in the case of the control. Specifically, higher ethanol productivity was achieved during fermentation when aeration was prolonged to 12 h (1.73 g/l/h) and 18 h (1.70 g/l/h), compared with that at 6 h (1.58 g/l/h), results which were in agreement with those obtained for specific growth rate and substrate consumption rate values. Conversely, the lowest ethanol productivity, 1.48 g/l/h, was obtained when the fermentation was not aerated. These findings indicated that the initial aeration at 12 h during ethanol fermentation greatly improved the yeast cell growth, substrate consumption, and ethanol concentration and productivity.

Keywords: molasses, aeration, ethanol fermentation, *Sacharomyces cerevisiae*

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Biotechnology, Faculty of Agro-industry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

² บริษัท มิตรผลวิจัยพัฒนา อ้อยและน้ำตาล จำกัด อ. ภูเขียว จ. ชัยภูมิ 36110

² Mitr Phol Innovation and Research Center Co., Ltd., Phu Khiao, Chaiyaphum 36110

*Corresponding author, Email: wirat.v@ku.ac.th

คำนำ

การหมักเอทานอลโดยใช้วิธีทางชีวเคมีเป็นกระบวนการที่อาศัยเชื้อ *S. cerevisiae* ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทานอล 2 โมเลกุล และคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเชื้อยีสต์จะกระทำภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย และมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อยีสต์ การหมักเอทานอลโดยทั่วไปจะใช้ระยะเวลาในการหมัก 48 ถึง 72 ชั่วโมง ซึ่งจะได้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 8 ถึง 12 กรัมต่อลิตร (ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์, 2549)

วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้สำหรับการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่จะมีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ อ้อย (sugarcane) กากน้ำตาล (molasses) หัวผักกาดหวาน (sugar beet) ข้าวฟ่างหวาน (sweet sorghum) แต่เนื่องจากเชื้อยีสต์ไม่สามารถใช้น้ำตาลซูโครสในการหมักเอทานอลได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยปฏิกิริยาในการสลาย (hydrolysis) ด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) ซึ่งเชื้อยีสต์จะผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทสออกมาย่อยน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโทส (Kumar et al., 2010) ซึ่งในสภาวะที่มีอากาศเชื้อยีสต์จะใช้น้ำตาลกลูโคสในกระบวนการหายใจเพื่อการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานในรูปของ ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งออกซิเจน ถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับการเจริญของเชื้อยีสต์ โดยเชื้อยีสต์ต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ และสังเคราะห์เออร์โกสเตอรอล (ergosterol) รวมทั้งสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ (Shang et al., 2006) ซึ่งในสภาวะการหมักเอทานอลที่มีการให้อากาศตลอดระยะเวลาการหมักเอทานอลจะส่งผลทำให้ชีวมวลหรือปริมาณเซลล์ยีสต์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การผลิตเอทานอลจะลดลง ซึ่งเป็นเพราะออกซิเจนส่งเสริมให้เกิด Pasteur effect นอกจากนี้ยังช่วยลดการเกิดผลพลอยได้ (by-product) อื่น ๆ ซึ่งผลพลอยได้หลักที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักเอทานอล คือ กลีเซอรอล แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมการไม่ให้อากาศตลอดระยะเวลาของการหมักต่อการผลิตเอทานอลโดยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* พบว่า เชื้อยีสต์มีอัตราการเจริญหรือเพิ่มจำนวนเซลล์เล็กน้อย และผลได้ของเอทานอลต่อ 1 กรัมสับสเตรต (substrates) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหมักแบบให้อากาศเมื่อสิ้นสุดการหมัก (Alfenore et al., 2004) Deesuth et al. (2016) ทำการศึกษาการให้อากาศในระหว่างกระบวนการหมักเอทานอลจากน้ำข้าวฟ่างหวาน (sweet sorghum juice) ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นสูง (very high gravity) โดยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* พบว่า การให้อากาศด้วยอัตรา 0.31 vvm ระยะเวลา 12 ชั่วโมงได้ปริมาณเอทานอลสูงสุด สกานต์ เหลืองเกรียงไกร และคณะ (2556) ได้ศึกษาผลของการให้อากาศระหว่างการหมักเอทานอลจากมันสำปะหลังแบบเส้นบด พบว่า การให้อากาศในระหว่างการหมักเอทานอลด้วยอัตรา 1.0 vvm ระยะเวลา 12 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาของการหมักเอทานอลได้ถึง 6 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับหมักแบบปกติ (การหมักแบบไม่มีการให้อากาศ) และปริมาณเอทานอลที่ได้ใกล้เคียงกันเมื่อสิ้นสุดการหมัก นอกจากนี้ พจมาลย์ พิมพ์พันธ์ (2555) ได้ทำการศึกษาผลของอัตราการเติมอากาศในระหว่างการหมักเอทานอลจากน้ำอ้อยเข้มข้นโดยเชื้อยีสต์พันธุ์ *Kluyveromyces marxianus* พบว่า อัตราการให้อากาศระหว่างการหมักเอทานอลที่อัตรา 0.00 vvm ได้ปริมาณเอทานอลสูงกว่าการให้อากาศที่อัตรา 0.20 vvm และเชื้อยีสต์มีอัตราการเจริญสูงกว่าระบบที่ไม่มีการให้อากาศ ซึ่งปัจจุบันโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทยที่ผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจำนวน 11 โรงงาน มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 2.78 ล้านลิตรต่อวัน ผลิตจากน้ำอ้อยจำนวน 1 โรงงาน มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 0.23 ล้านลิตรต่อวัน ผลิตจากมันสำปะหลังและกากน้ำตาลจำนวน 6 โรงงาน มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 0.92 ล้านลิตรต่อวัน และผลิตจากมันสำปะหลังจำนวน 9 โรงงาน มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 2.19 ล้านลิตรต่อวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564) ซึ่งโรงงานเอทานอลส่วนมากจะใช้กากน้ำตาล (molasses) และมันสำปะหลัง (cassava) เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล (Nguyen et al., 2008; Papong et al., 2010) และจากการตั้งเป้าหมายในการผลิตเอทานอลที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณความต้องการวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากโรงงานเอทานอลที่ใช้น้ำมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตนั้นมักเกิดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ เนื่องจากมันสำปะหลังจัดว่าเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ รวมถึงความไม่แน่นอนทางด้านต้นทุนวัตถุดิบ จึงทำให้ไม่สามารถที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลได้ (เนรินทร์ ต้นไพบูลย์, 2560) ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมเอทานอลจึงมุ่งเน้นการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งกากน้ำตาลถือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนของน้ำตาลที่เหลือที่ไม่สามารถตกผลึกเป็นน้ำตาลทรายได้อีก โดยพบว่าอุตสาหกรรมเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลมีกำลังการผลิตสูงถึงร้อยละ 66 ของกำลังการผลิตเอทานอลจากอุตสาหกรรมเอทานอลทั้งหมดในประเทศ และยังพบว่าระบบการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่เป็นระบบต่อเนื่อง และเป็นการหมักภายใต้สภาวะไม่มีการให้อากาศในระหว่างการหมักเอทานอล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564) ซึ่งประสิทธิภาพของการผลิต

เอทานอลยังไม่ได้ตามความต้องการอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญได้แก่ คุณภาพของกากน้ำตาล และเชื้อยีสต์ ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่า เชื้อยีสต์ต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ และยังพบว่า การให้อากาศ ในระยะเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอล อีกทั้งยังพบว่า การหมักเอทานอลจากสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบ ที่แตกต่างกัน และสายพันธุ์เชื้อยีสต์ที่ต่างกัน สภาวะการให้อากาศที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลได้ แต่เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่กากน้ำตาลในการหมักเอทานอล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของระยะเวลา การให้อากาศต่อการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลที่สอดคล้องกับการใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ในการหมักเอทานอล

วิธีการศึกษา

การเตรียมอาหารหมัก

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์กากน้ำตาลจาก บริษัท น้ำตาลสระบุรี จำกัด โดยนำกากน้ำตาลมาเตรียม เป็นอาหารสำหรับการหมักเอทานอลในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการขนาด 5 ลิตร โดยทำการเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นเติมยีสต์ 2.25 กรัมต่อลิตร และ ปรับพีเอชให้ได้ 4.5 ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 5 โมลาร์ แล้วนำไปฆ่าเชื้อโดยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อไอน้ำความดันสูง (autoclave รุ่น tomy ss-325, Japan) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (Chotineeranat et al., 2010)

การหมักเอทานอล

ทำการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการขนาด 5 ลิตร (5-L fermenter, Biostat®, B. Braun, Germany) โดยเตรียมอาหารหมักปริมาตร 3 ลิตร จากนั้นเติมเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ซึ่งเป็นเชื้อยีสต์แห้ง (active dry yeast; angel yeast) ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 0.35 กรัมต่อลิตร หรือจำนวนเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตเท่ากับ 10^6 CFU (colony forming unit)/ml (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) แล้วทำการหมักเอทานอลที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส อัตราการกวน ที่ 120 รอบต่อนาที ให้อากาศที่ระดับ 0.10 vvm และทำการศึกษาระยะเวลาการให้อากาศในระหว่างการหมักเอทานอลออกเป็น 4 การทดลอง คือ ไม่ให้อากาศในระหว่างการหมัก (ชุดควบคุม หรือการหมักแบบปกติ) ให้อากาศตั้งแต่เริ่มต้นการหมักที่ระยะ 6, 12 และ 18 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 2, 4, 6, 10, 24, 30, 48, 54 และ 72 ชั่วโมง

การวิเคราะห์จำนวนเชื้อ ปริมาณน้ำตาล และปริมาณเอทานอล

การวิเคราะห์อัตราการเจริญจำเพาะ (specific growth rate)

วิเคราะห์อัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อยีสต์ในช่วง log phase โดยทำการนับจำนวนเซลล์ยีสต์โดยใช้เครื่องนับ จำนวนเซลล์ฮีมาโตมิเตอร์ (haemocytometer รุ่น improved Neubauer line, Germany) จากนั้นนำค่าจำนวนเซลล์ของ เชื้อยีสต์ที่ได้มาคำนวณเทียบกับเวลา

การวิเคราะห์อัตราการใช้สารตั้งต้น (substrate consumption rate) และปริมาณเอทานอลที่ได้ (ethanol concentration)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโทส ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ VertiSep™ Sugar CMP, 7.8 x 300 mm, 8 μ m (Vertical Chromatography Co., Ltd.), RI detector, สารละลายที่ใช้ คือ น้ำ DI อัตราการไหล 0.4 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 35 นาทีต่อตัวอย่าง จากนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราการใช้สารตั้งต้น (substrate consumption rate) ดังสมการที่ 1

$$\text{ผลได้ของเอทานอล (g/l)} = \frac{\text{ความเข้มข้นเอทานอลที่ผลิตได้ } \left(\frac{g}{l}\right) - \text{ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น } \left(\frac{g}{l}\right)}{\text{ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดที่ถูกใช้ } \left(\frac{g}{l}\right)} \times \text{สมการที่ 1}$$

และวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการทดลอง ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ Aminex HPX-87H (Bio-Rad Laboratories, Inc., USA), RI detector สารละลายคือ กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.50 มิลลิโมลาร์ อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตร ต่อนาที อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 25 นาทีต่อตัวอย่าง

การวิเคราะห์อัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตร (productivity)

อัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตรเป็นค่าของการผลิตเอทานอลที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาหนึ่ง (กรัมต่อชั่วโมง) คำนวณโดยใช้สมการที่ 2

$$\text{อัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตร (g/l/h)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของเอทานอลที่ผลิตได้ } \left(\frac{g}{L}\right)}{\text{ระยะเวลาของการหมักเอทานอล (h)}} \quad \text{สมการที่ 2}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างสถิติด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 โดยใช้วิธี general linear model (GLM)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

องค์ประกอบของกากน้ำตาลที่ใช้หมักเอทานอล

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองหมักเอทานอล (Table 1) พบว่า กากน้ำตาลที่นำมาทำการทดลองมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เริ่มต้นเท่ากับ 80.4 องศาบริกซ์ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากน้ำตาลพบว่า องค์ประกอบของกากน้ำตาลประกอบไปด้วยน้ำตาลซูโครส 363,900.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำตาลกลูโคส 51,300.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้ำตาลฟรุกโทส 45,700.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือร้อยละ 36.39, 5.13 และ 4.57 ตามลำดับ และมีปริมาณเถ้าอยู่ 101,600.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะพบว่าในกากน้ำตาลจะมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ และมีน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโทส ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เชื้อยีสต์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์และผลิตเอทานอลได้โดยตรง ซึ่งแตกต่างจากน้ำตาลซูโครสที่เชื้อยีสต์ต้องผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อนจึงสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งกากน้ำตาลถือเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในปริมาณที่สูงและเป็นวัตถุดิบที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพก่อนหมักเอทานอล เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการหมักเอทานอล เช่น มันสำปะหลังและชานอ้อย ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยสารเคมีหรือเอนไซม์ก่อนการนำมาใช้ในการหมักเอทานอล เนื่องจากเชื้อยีสต์ไม่สามารถย่อยสลายวัตถุดิบดังกล่าวได้โดยตรง

Table 1 Composition of molasses.

Composition	
Total soluble solid (°Brix)	80.4
Total sugar (mg/kg)	460,900.8
Sucrose (mg/kg)	363,900.6
Glucose (mg/kg)	51,300.3
Fructose (mg/kg)	45,700.4
Sulphate ash (mg/kg)	101,600.5

ผลของระยะเวลาการให้อากาศต่ออัตราการเจริญจำเพาะ (specific growth rate, μ) อัตราการใช้สารตั้งต้น (substrate consumption, Q_s), ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้ (ethanol concentration) และอัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตร (productivity, Q_p)

จากผลของการศึกษาการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลภายใต้สภาวะการให้อากาศในอัตรา 0.10 vvm ระยะเวลา 0 (ชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ), 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ต่ออัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* พบว่า การให้อากาศ 6, 12 และ 18 ชั่วโมง เชื้อยีสต์มีอัตราการเจริญจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเชื้อยีสต์มีอัตราการเจริญจำเพาะสูงกว่าการทดลองชุดควบคุม (Table 2) ซึ่งผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการให้อากาศมีผลทำให้เชื้อยีสต์มีการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ได้เร็ว ส่งผลให้อัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อยีสต์สูงกว่าการทดลองที่ไม่มีการให้อากาศ

สำหรับเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ทั้งนี้เมื่อพิจารณาระยะเวลาของการให้อากาศทั้ง 3 การทดลองพบว่า อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อยีสต์จึงส่งผลทำให้อัตราการเจริญของเชื้อยีสต์มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

อัตราการใช้สารตั้งต้น หรือความสามารถของเชื้อยีสต์ในการใช้น้ำตาลซูโครสหรือความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส (น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่เชื้อยีสต์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ และผลิตเอทานอลได้ จากการศึกษาผลของระยะเวลาการให้อากาศที่ระดับ 0.10 vvm ในระหว่างการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลต่ออัตราการใช้สารตั้งต้นของเชื้อยีสต์ (Table 2) พบว่า อัตราการใช้สารตั้งต้นของเชื้อยีสต์ภายใต้สภาวะการให้อากาศ 12 และ 18 ชั่วโมง มีอัตราการใช้สารตั้งต้นสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อยู่ที่ 4.01 และ 4.14 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือการให้อากาศ 6 ชั่วโมง เชื้อยีสต์มีอัตราการใช้สารตั้งต้นอยู่ที่ 3.58 กรัมต่อลิตร ซึ่งอัตราการใช้สารตั้งต้นของเชื้อยีสต์ภายใต้สภาวะการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง มีอัตราการใช้สารตั้งต้นสูงกว่าการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ ทั้งนี้ยังพบว่าผลของอัตราการใช้สารตั้งต้นของเชื้อยีสต์สอดคล้องกับผลของอัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อยีสต์ ซึ่งการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ของเชื้อยีสต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะการให้อากาสนั้นก็ส่งผลทำให้เชื้อยีสต์ต้องการใช้สารอาหารเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลทำให้อัตราการใช้สารตั้งต้นของเชื้อยีสต์เพิ่มขึ้นด้วย (Cheong et al., 2007)

ผลของระยะเวลาการให้อากาศในระหว่างการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลต่อปริมาณเอทานอลที่ได้ พบว่า การหมักเอทานอลภายใต้สภาวะการให้อากาศที่ระดับ 0.10 vvm ระยะเวลา 12 และ 18 ชั่วโมง ได้ปริมาณเอทานอลสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อยู่ที่ 9.24 และ 9.30 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือ การให้อากาศระยะเวลา 6 ชั่วโมง ปริมาณเอทานอลที่ได้คือ 8.56 กรัมต่อลิตร และการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศได้เอทานอลต่ำสุดอยู่ที่ 8.11 กรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณเอทานอลที่ได้จากหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลภายใต้สภาวะที่มีการให้อากาศทั้ง 3 การทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ และนอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลภายใต้สภาวะการให้อากาศทั้ง 3 การทดลองได้ปริมาณเอทานอลสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ สกานต์ เหลืองเกรียงไกร และคณะ (2556) ซึ่งการศึกษากการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดด้วยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและการหมักพร้อมแบบย่อน้ำตาลก่อนการหมักและเติมอากาศระหว่างการหมัก ของสกานต์ เหลืองเกรียงไกร และคณะ (2556) พบว่า การเติมอากาศระหว่างการหมักด้วยปริมาณอากาศในอัตรา 5 ลิตรต่อนาที่ ระยะเวลา 12 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาการหมักเอทานอลลง 6 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับหมักแบบปกติ และให้ปริมาณเอทานอลใกล้เคียงกัน และที่สภาวะการให้อากาศที่ 1.0 vvm ระยะเวลา 12 ชั่วโมงได้เอทานอลสูงสุดอยู่ที่ 7.60 กรัมต่อลิตร

อัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตร พบว่า มีผลสอดคล้องกับผลของอัตราการเจริญจำเพาะ อัตราการใช้สารตั้งต้น และปริมาณเอทานอลที่ได้ ซึ่งภายใต้สภาวะการให้อากาศเป็นระยะเวลา 12 และ 18 ชั่วโมง พบว่า มีอัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตรที่ระยะเวลาการให้อากาศ 12 ชั่วโมงมากกว่าเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อยู่ที่ 1.73 และ 1.70 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ การให้อากาศ 6 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตรรองลงมา อยู่ที่ 1.58 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ มีอัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาตรต่ำสุด อยู่ที่ 1.48 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการทดลองที่มีการให้อากาศในระหว่างการหมักเอทานอลทั้ง 3 การทดลอง

Table 2 Specific growth rate (μ), substrate consumption rate (Q_s), ethanol concentration, and productivity (Q_p).

Sample	μ (h^{-1})	Q_s (g/l)	Ethanol (g/l)	Productivity, Q_p (g/l/h)
No aeration	0.17±0.00 ^b	3.47±0.04 ^c	8.11±0.17 ^c	1.48±0.00 ^c
Aeration 6 h	0.19±0.01 ^a	3.58±0.01 ^b	8.56±0.37 ^b	1.58±0.01 ^b
Aeration 12 h	0.20±0.01 ^a	4.01±0.02 ^a	9.24±0.78 ^a	1.73±0.02 ^a
Aeration 18 h	0.21±0.00 ^a	4.14±0.02 ^a	9.30±0.21 ^a	1.70±0.00 ^a

^{a-c} Lowercase letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโทส ในระหว่างกระบวนการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยเชื้อยีสต์ภายใต้สภาวะที่มีการให้อากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

จากผลการศึกษาการให้อากาศ 0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ที่ระดับ 0.10 vvm ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโทส ในระหว่างการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลด้วยเชื้อยีสต์ (Figure 1) จากการศึกษา พบว่า การหมักเอทานอลภายใต้สภาวะที่มีการให้อากาศทั้ง 3 การทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลซูโครสอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในระหว่างการหมักเอทานอลที่เวลา 6-48 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงอย่างช้า ๆ ที่ระยะเวลาเดียวกัน ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงนั้นจะพบว่าปริมาณน้ำตาลฟรุกโทสเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และปริมาณน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากในระหว่างการหมักเอทานอล เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* มีการผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) ออกมานอกเซลล์ ซึ่งเอนไซม์อินเวอร์เทสเป็นเอนไซม์ที่มีหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งเชื้อยีสต์สามารถใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ในการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ และผลิตเอทานอลได้ (สาวิตรี ลิ้มทอง, 2549) ซึ่งในสภาวะการหมักเอทานอลที่มีการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลา 0 ถึง 12 ชั่วโมง และลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากชั่วโมงที่ 12 ทั้งนี้เนื่องจากอาหารหมักที่เป็นกากน้ำตาลนั้นมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหารหมักแล้ว ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งส่งผลทำให้เชื้อยีสต์สามารถใช้น้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในอาหารหมักได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส และจากการทดลองยังพบว่าภายใต้สภาวะการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง ปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากชั่วโมงที่ 12 ในขณะที่การทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงช้ากว่าการทดลองที่มีการให้อากาศ ทั้งนี้ผลของการลดลงของน้ำตาลกลูโคสนั้นแปรผกผันกับผลของอัตราการใช้สารตั้งต้น และอัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อยีสต์ (Table 2) เนื่องจากอัตราการเจริญจำเพาะ และอัตราการใช้สารตั้งต้นของเชื้อยีสต์ที่มีค่าสูง แสดงว่าเชื้อยีสต์สามารถใช้สารตั้งต้นได้อย่างรวดเร็วส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน และหลังจากชั่วโมงที่ 48 พบว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสจะค่อย ๆ ลดลงและคงที่ และในขณะที่ปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากชั่วโมงที่ 24 พบว่าปริมาณน้ำตาลฟรุกโทสเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกัน เนื่องจากในกรณีที่เชื้อยีสต์ใช้น้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในอาหารหมักจนกระทั่งมีปริมาณเหลือน้อยแล้ว เชื้อยีสต์จะเริ่มมีการใช้น้ำตาลฟรุกโทส โดยเชื้อยีสต์จะผลิตเอนไซม์ไอโซเมอเรส (isomerase) ออกมาเปลี่ยนน้ำตาลฟรุกโทสให้เป็นน้ำตาลกลูโคสก่อน แล้วจึงสามารถใช้น้ำตาลกลูโคสผลิตเอทานอลต่อไปได้ (Desai et al., 2016)

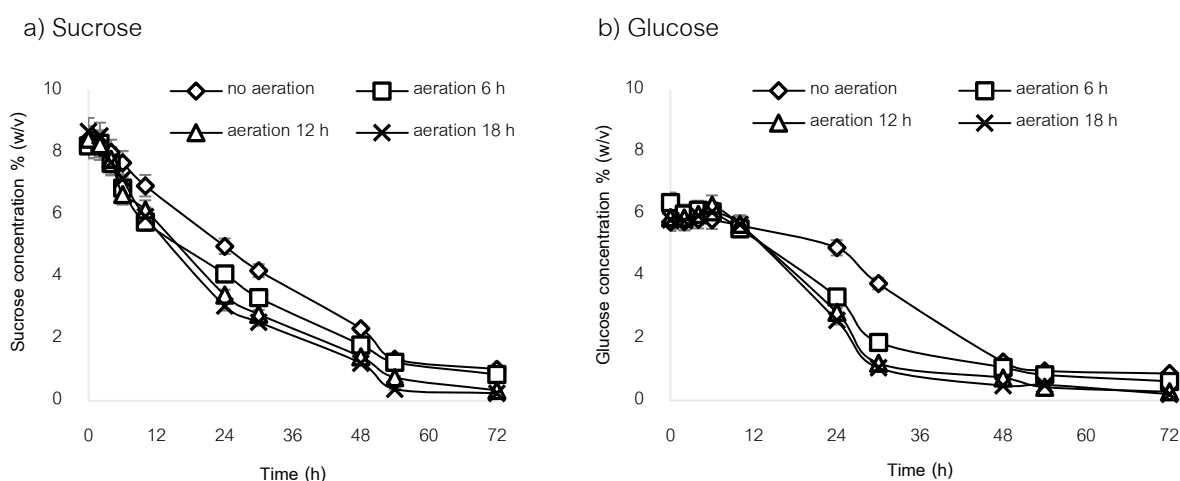


Figure 1 Sucrose (a), glucose (b), fructose (c) concentration during ethanol fermentation from molasses by *Saccharomyces cerevisiae*.

c) Fructose

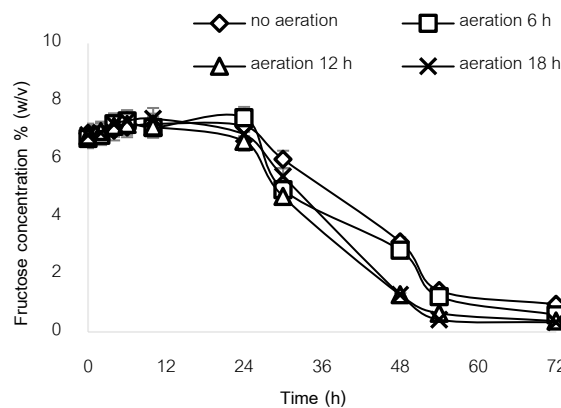


Figure 1 (continued).

การเปลี่ยนแปลงการเจริญของเซลล์ยีสต์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณเอทานอล ในระหว่างการหมักเอทานอล จากกากน้ำตาลโดยเชื้อยีสต์ภายใต้สภาวะที่มีการให้อากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

จากผลการศึกษาการให้อากาศในระหว่างการหมักเอทานอลที่ระยะเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ที่ระดับ 0.10 vvm ต่อการเจริญของเซลล์ยีสต์ในระหว่างการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยทำการเปรียบเทียบกับ การทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศตลอดระยะเวลาของการหมัก (Figure 2) พบว่า การเจริญของเซลล์ยีสต์มีการเจริญแบ่งออกเป็น 4 ระยะ (Werner-Washburne et al., 1993) คือ ระยะเริ่มต้นหรือระยะการปรับตัว (lag phase) คือช่วงเวลา 0 ถึง 6 ชั่วโมง พบว่า การเจริญของเซลล์ยีสต์มีการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์เล็กน้อย ซึ่งเป็นช่วงที่เชื้อยีสต์กำลังปรับเปลี่ยนเซลล์ให้เข้ากับสภาวะของสารอาหารที่เป็นกากน้ำตาล ซึ่งจะพบว่าภายใต้สภาวะการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง เชื้อยีสต์มีอัตราการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองชุดควบคุม ซึ่งแสดงว่าภายใต้สภาวะการให้อากาศนั้นเชื้อยีสต์มีปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมได้รวดเร็วว่าการทดลองชุดควบคุม ระยะที่สอง คือ ระยะที่มีการเจริญของเซลล์ยีสต์มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัดในชั่วโมงที่ 6 ถึงชั่วโมงที่ 12 โดยเฉพาะภายใต้สภาวะการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง เชื้อยีสต์มีการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองชุดควบคุมพบว่าการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ที่ช้ากว่า เนื่องจากพบว่าระยะเริ่มต้นหรือระยะ lag phase ของการทดลองชุดควบคุม เชื้อยีสต์มีระยะเวลาการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมช้ากว่าการทดลองที่มีการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง ซึ่งส่งผลทำให้ระยะการเพิ่มจำนวนเซลล์แบบทวีคูณหรือระยะ log phase เกิดขึ้นช้าไปด้วย ซึ่งในระยะการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ยีสต์แบบทวีคูณนั้น พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงว่าในระยะที่เชื้อยีสต์กำลังเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ เชื้อยีสต์มีการใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และในช่วงเวลาเดียวกันพบว่ามีปริมาณเอทานอลเกิดขึ้นเล็กน้อย ส่วนการทดลองชุดควบคุมมีอัตราการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ยีสต์ที่ช้ากว่าส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลงอย่างช้า ๆ เช่นเดียวกัน ระยะที่สาม คือ ระยะที่เชื้อยีสต์มีการเจริญอย่างคงที่หรือระยะ stationary phase พบว่าอยู่ในชั่วโมงที่ 30 ถึง 48 ซึ่งในช่วงเวลาเดียวกันนี้พบว่า อัตราการผลิตเอทานอลของเชื้อยีสต์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นช่วงเวลาหลังจากที่หยุดให้อากาศของการทดลองที่มีการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง และปริมาณเอทานอลที่ได้ของการทดลองที่มีการให้อากาศ 12 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตเอทานอลสูงกว่าการทดลองให้อากาศที่ระยะเวลา 18 ชั่วโมง แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการทดลองชุดควบคุมมีอัตราการผลิตเอทานอลที่ช้ากว่าการทดลองที่มีการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง และผลของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของการทดลองที่มีการให้อากาศทั้ง 3 การทดลอง ที่ชั่วโมงที่ 24 ถึง 48 พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการทดลองชุดควบคุมมีการลดลงอย่างช้า ๆ ในเวลาเดียวกัน (Figure 3) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การผลิตเอทานอลสอดคล้องกับอัตราการเจริญของเชื้อยีสต์ และแปรผกผันกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ในช่วงระยะเวลาเดียวกันด้วย (Cot et al., 2006) และระยะที่สี่ คือ ระยะที่เซลล์ยีสต์มีจำนวนลดลงหรือระยะ death phase พบว่าอยู่ในชั่วโมงที่ 54 ถึง 72 ซึ่งเป็นระยะที่เชื้อยีสต์มีการผลิตเอทานอลเล็กน้อยหรือไม่มีการผลิตเอทานอลเลย และปริมาณน้ำตาลไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือลดลง

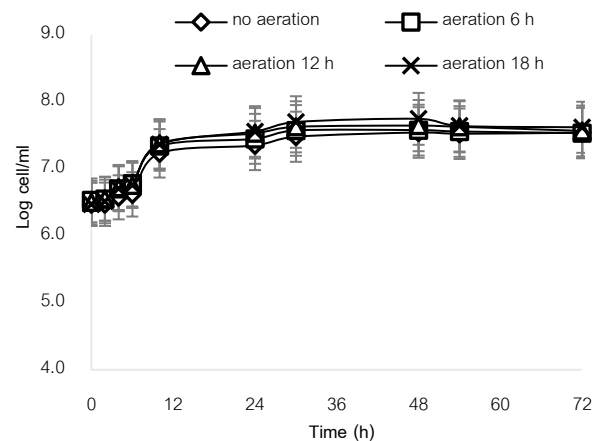
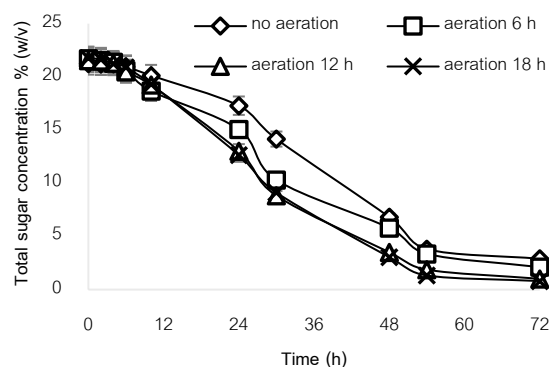


Figure 2 Cell growth during fermentation from molasses.

a) Total sugar



b) Ethanol

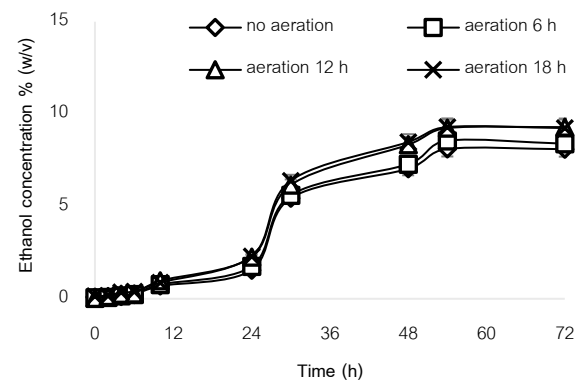


Figure 3 Total sugar (a) and ethanol (b) concentration during yeast fermentation from molasses.

การวางแผนการให้อากาศที่สอดคล้องกับลักษณะของการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมัก และผลได้ของเอทานอลคือการให้อากาศที่ระยะเวลาการเจริญของเชื้อยีสต์ในช่วง 6 ถึง 12 ชั่วโมง จากการศึกษพบว่า การให้อากาศ ที่ระยะเวลา 12 และ 18 ชั่วโมงตั้งแต่เริ่มการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลส่งผลให้อัตราการผลิตเอทานอลที่ได้สูงที่สุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และอัตราการผลิตเอทานอลที่ได้สูงกว่าการทดลองที่ไม่มีการให้อากาศ และการให้อากาศ 6 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สรุปผลการศึกษา

การหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยเชื้อยีสต์ภายใต้สภาวะการให้อากาศที่ระดับ 0.10 vvm ระยะเวลา 12 และ 18 ชั่วโมงมีอัตราการผลิตเอทานอลเฉพาะ อัตราการใช้สารตั้งต้น และอัตราการผลิตเอทานอลที่ได้เชิงปริมาณของเชื้อ *S. cerevisiae* สูงกว่า การทดลองที่มีการให้อากาศที่ระยะ 6 ชั่วโมง และการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการผลิตเอทานอลที่ระดับ 0.10 vvm ระยะเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง อัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณ อยู่ที่ 1.58, 1.73 และ 1.70 กรัม ต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งการทดลองการให้อากาศในระหว่างการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลทั้ง 3 การทดลองพบว่า อัตราการผลิตเอทานอลเชิงปริมาณที่ได้สูงกว่าการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีการให้อากาศ ซึ่งการศึกษานี้พบว่า การให้อากาศ ที่ระดับ 0.10 vvm ระยะเวลา 12 ชั่วโมงในระหว่างการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ช่วยเพิ่มผลได้ของ เอทานอลที่ได้ถึงร้อยละ 13.93 เมื่อเปรียบเทียบกับ การหมักเอทานอลแบบปกติที่ไม่มีการให้อากาศ (การทดลองชุดควบคุม)

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2564. *สถานการณ์กำลังการผลิตติดตั้งโรงงานเอทานอลของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- พจนานุกรม พจนานุกรม. 2555. การผลิตไบโอเอทานอลที่อุณหภูมิสูงจากน้ำอ้อยเข้มข้นโดยยีสต์พันธุ์ *Kluyveromyces marxianus* DMKU 3-1042. วิทยาลัยนานาชาติปริญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นรินทร์ ตันไพบูลย์. 2560. *แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรม ปี 2560-62: อุตสาหกรรมเอทานอล*. กรุงเทพฯ: วิจัยกรุงศรี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด.
- ยุทธศักดิ์ วัฒนสวัสดิ์. 2549. การพัฒนาเทคโนโลยีด้านเอทานอล. *วารสารส่งเสริมการลงทุน* 17(5): 34-38.
- สกานต์ เหลืองเกรียงไกร, เซาว์ อินประสิทธิ์ และพรทิพย์ ศิริสุนทรราชลักณ์. 2556. การผลิตเอทานอลจากมันเส้นแปรรูปด้วยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและการหมักพร้อมแบบย่อน้ำตาลก่อนการหมักและเติมอากาศระหว่างการหมัก. ใน *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6*, กรุงเทพฯ.
- สาวิตรี ลิ้มทอง. 2549. ยีสต์: ความหลากหลายและเทคโนโลยีชีวภาพ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alfenore, S., Cameleyre, X., Benbadis, L., Uribelarrea, G. C., Molina-Jouve, S., and Guillouet, E. 2004. Aeration strategy: a need for very high ethanol performance in *Saccharomyces cerevisiae* fed-batch process. *Applied Microbiology and Biotechnology* 63: 537.
- Cheong, C., Wackerbauer, K., and Kang, S. 2007. Influence of aeration during propagation of pitching yeast on fermentation and beer flavor. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 17(2): 297-304.
- Chotineeranat, S., Wansuksri, R., Piyachomkwan, K., Chatakanonda, P., Weerathaworn, P., and Sriroth, K. 2010. Effect of calcium ions on ethanol production from molasses by *Saccharomyces cerevisiae*. *Sugar Tech* 12(2): 120-124.
- Cot, M., Loret, M. O., François, J., and Benbadis, L. 2006. Physiological behavior of *Saccharomyces cerevisiae* in aerated fed-batch fermentation for high level production of bioethanol. *FEMS Yeast Research* 7(1): 22-32.
- Deesuth, O., Laopaiboon, P., and Laopaiboon, L. 2016. high ethanol production under optimal aeration conditions and yeast composition in a very high gravity fermentation from sweet sorghum juice by *Saccharomyces cerevisiae*. *Industrial Crops and Products* 92: 263-270.
- Desai, S., Dhanashree, G., and Basavaraj, H. 2016. Glucose isomerising Enzymes. *Microbial Enzyme Technology in Food Applications* 69-82.
- Kumar, S., Singh, N., and Prasad, R. 2010. Anhydrous ethanol: A renewable source of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(7): 1830-1844.
- Nguyen, T. L. T., and Gheewala, S. H. 2008. Fuel ethanol from cane molasses in Thailand: Environmental and cost performance. *Energy Policy* 36(5): 1589-1599.
- Papong, S., and Malakul, P. 2010. Life-cycle energy and environmental analysis of bioethanol production from cassava in Thailand. *Bioresource Technology* 101(1): 112-118.
- Shang, F., Wen, S., Wang, X., and Tan, T. 2006. High-cell-density fermentation for ergosterol production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101(1): 38-41.
- Werner-Washburne, M., Braun, E., Johnston, G. C., and Singer, R. A. 1993. Stationary phase in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Microbiological Reviews* 57(2): 383-401.

วันรับบทความ (Received date) : 26 ธ.ค. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 พ.ค. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 15 ก.ค. 64

ผลของเอคโตไมคอร์ไรซาจากเห็ดเผาะและเห็ดตับเต่า

ต่อการเจริญของไม้ป่าและไม้โตเร็วบางชนิดในสภาพแปลงธรรมชาติ

Effects of Ectomycorrhiza from *Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus* on some Species of Forest Trees and Fast Growing Trees in Natural Conditionsธนภักษ์ อินยอด¹, ธนากร ลัทธิดิระสุวรรณ², ธนภัทร เต็มอารมย์¹, ชาตรี กอนี¹,
ศิรินทิพย์ ชัยมงคล² และวีระชัย ฟองธิวงศ์²Tanapak Inyod¹, Thanakorn Lattirasuvan², Thanapat Termarom¹, Chatree Konee¹,
Sirinthip Chaimongkhon² and Weerachi Fongthiwong²

บทคัดย่อ

เห็ดเผาะและเห็ดตับเต่า เป็นเอคโตไมคอร์ไรซา เส้นใยเห็ดเจริญบริเวณรอบรากพืช ดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยเกื้อกูลกันกับพืช (symbiosis) และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงในประเทศไทย การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในอาหารเพาะเลี้ยงสังเคราะห์จำนวน 4 สูตร พบว่าอาหารสูตรที่ 4 ประกอบด้วย มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ และ malt extract 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยให้ปริมาณน้ำหนักแห้งเส้นใยเห็ดเผาะและเห็ดตับเต่ามากที่สุด คือ 1.12 และ 7.17 กรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำมาทดสอบกับพืชอาศัยของเห็ดจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ตะเคียนทอง (*Hopea odorata*) มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa*) ซึ่งจะปลูกถ่ายเชื้อเห็ดเผาะ ส่วนหางนกยูงไทย (*Caesalpinia pulcherrima*) และแคบ้าน (*Sesbania grandiflora*) ปลูกถ่ายเชื้อเห็ดตับเต่าเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ใส่เชื้อ (ต้นควบคุม) เพื่อดูผลของการเจริญของกล้าไม้พืชอาศัยที่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อเห็ดไมคอร์ไรซาที่นำไปปลูกในสภาพธรรมชาติที่บ้านปางมอญ อำเภออำเภอนาโหล จังหวัดน่าน จำนวน 3 พื้นที่ มีลักษณะแปลงปลูกแตกต่างกันดังนี้ 1. สภาพพื้นที่เป็นที่ราบเชิงเขา (PM1) 2. สภาพพื้นที่เป็นสวนกล้วย (PM2) และ 3. สภาพพื้นที่ไร่มันสำปะหลัง (PM3) โดยไม่ใส่ปุ๋ยเคมีหรือสารควบคุมการเจริญเติบโต ภายหลังการปลูก 6 เดือน พบว่า แปลงปลูกแบบผสมผสานร่วมกับแปลงกล้วย (PM2) กล้าไม้ตอบสนองต่อการเจริญเติบโตมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม

คำสำคัญ: เห็ดไมคอร์ไรซา เห็ดเผาะ เห็ดตับเต่า พืชอาศัย

Abstract

Astraeus odoratus and *Phlebopus portentosus* are ectomycorrhiza fungi that grow and survive symbiotically around the roots of certain plants hosts. They are of high economic value in Thailand. Our study of the optimum culture medium for increasing mycelium density involved four different media types. The results indicated that the T4 medium, which was composed of potato 20%, sugar 2%, and malt extract 0.5% produced the highest biomasses (level of significance $P \leq 0.05$) for *A. odoratus* and *P. portentosus* (1.12 and 7.17 g/100 ml, respectively). The effects of the mycorrhiza on the growth of 4 host plant species (*Hopea odorata* and *Azelia xylocarpa* were inoculated with *A. odoratus*; *Caesalpinia pulcherrima*, and *Sesbania grandiflora* were inoculated with *P. portentosus*) were compared with the control, which had not been inoculated with mycorrhiza. The two types of mycorrhiza mushrooms was transplanted into three different habitats: foothills (PM1), banana plantations (PM2) and cassava plantations (PM3), and this took place without fertilizer and plant growth regulator addition at Pangmon village, in Nan province.

Keywords: mycorrhiza, *Astraeus odoratus*, *Phlebopus portentosus*, host plant

¹ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เทคโนธานี อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120

¹ Thailand institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Technopolis, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

² มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อ. ร้องกวาง จ. แพร่ 54140

² Maejo University Phrae Campus, Rong Kwang, Phrae 54140

*Corresponding author, Email: Tanapak@tistr.or.th

คำนำ

เห็ดป่าไมคอร์ไรซาเส้นใยส่วนใหญ่เจริญบริเวณรอบรากพืช (ectomycorrhiza) ดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยเกื้อกูลกันกับพืช (symbiosis) (Allen, 1991) ช่วยในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่รากพืชจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่จำเป็นในการดำรงชีวิตให้กับรา (Nopamombodi, 1995; Brundrett, 2006) ส่งผลให้พืชสามารถเจริญได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ทนต่อสภาพความเป็นกรด ความแห้งแล้งสูง และมีความต้านทานต่อโรคที่เข้าทำลายระบบรากเป็นอย่างดี หรือในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่ไม่เหมาะสม ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของเห็ดไมคอร์ไรซากับชนิดกล้าไม้พืชอาศัย (Harley and Smith, 1983) ดังนั้นเห็ดไมคอร์ไรซาถือเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในดิน และส่วนใหญ่มักเจริญร่วมกับไม้วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) เช่น ยางนา เต็ง รัง มะค่าโมง พะยอม และเหียง เป็นต้น (สมจิตร อยู่เป็นสุข, 2549)

เห็ดเผาะ (*Astraeus odoratus*) และเห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*) เป็นเห็ดไมคอร์ไรซามีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงในประเทศไทย เห็ดเผาะมีลักษณะกลม ก้านดอกแข็ง ผนังดอกด้านนอกเรียบ ดอกมีสีเหลืองน้ำตาล ไปจนถึงสีดำ เมื่อดอกแก่มากจะแตกออกเป็น 3-10 แฉก (อนงค์ จันทศรีกุล และคณะ, 2551) พบในป่าเต็งรัง (ราชบัณฑิตยสถาน, 2550) ส่วนเห็ดตับเต่า ลักษณะทั่วไปหมวกเห็ดรูปกระชก ก้านอวบใหญ่ สีน้ำตาลอมเหลือง หมวกและก้านผิวมีขนละเอียดคล้ายกำมะหยี่สีน้ำตาล มักพบในประเทศไทยทางภาคเหนือบริเวณโคนต้นไม้ (เกษม สร้อยทอง, 2537) ปัจจุบันมีศึกษาการใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาร่วมพืชชนิดอื่น ๆ Phosri (2005) ได้ศึกษาการสร้างเอดโตไมคอร์ไรซาในสนสามใบ พบว่าการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและมีปริมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือ-ใต้ดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Janos et al. (2001) ศึกษาผลของเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นลินจี่ที่ขยายพันธุ์ด้วยกิ่งตอน พบว่าภายหลังจากที่ปลูกถ่ายเชื้อไมคอร์ไรซาได้ 120 วัน ส่งผลให้ไม้หนักรากส่วนเหนือดินสูงกว่าต้นที่ไม่มีเชื้อราไมคอร์ไรซา ในขณะที่ วิพรพรรณ เนื่องเม็ก และมนัส ทิตยวรรณ (2562) ทดสอบผลของเห็ดเอดโตไมคอร์ไรซาในต้นยางนา โดยใส่เชื้อเห็ดปริมาณ 50 มิลลิกรัมต่อต้น พบว่ายางนาที่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อมีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ปลูกถ่ายเชื้อ

เห็ดไมคอร์ไรซาที่เกิดขึ้นเป็นเห็ดป่าที่เกิดตามธรรมชาติ ไม่สามารถนำมาเพาะเลี้ยงในระบบโรงเรือนได้เหมือนกับเห็ดเศรษฐกิจทั่วไป โดยจะเก็บได้ในช่วงฤดูฝนของทุกปีและยังมีปริมาณน้อยเนื่องจากป่าไม้ในประเทศไทยลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ และส่งผลโดยตรงต่อปริมาณเห็ดตับเต่าและเห็ดเผาะซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการในการบริโภค มีมูลค่าสูง แต่หากสามารถเลี้ยงเส้นใยในอาหารเพาะเลี้ยงเชื้ออย่างง่าย เพื่อให้เห็ดเผาะและเห็ดตับเต่าสร้างเส้นใยมากขึ้น และปลูกถ่ายเชื้อใส่พืชอาศัย จะสร้างสวนป่าสวนเห็ดในพื้นที่ของเกษตรกรเองทำให้ได้ผลผลิตเห็ดมากขึ้น อีกทั้งทำให้พืชมีอัตราการรอดชีวิตสูง และมีการเจริญเติบโตดี

ไม้วงศ์ไม้ยาง และไม้โตเร็วบางชนิด (สน หว้า ตะเคียน ยูคาลิปตัส แคบ้าน และหางนกยูง เป็นต้น) เป็นพรรณไม้ที่สำคัญของป่าเขตร้อน (tropical forest) เป็นไม้เศรษฐกิจที่นิยมปลูก และถูกนำมาใช้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในปัจจุบันมีการส่งเสริมการปลูกสร้างสวนป่าสวนเห็ดอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการปรับปรุงกล้าไม้ให้มีความแข็งแรงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การปลูกสร้างสวนป่าประสบผลสำเร็จ ในปัจจุบันมีการศึกษาพบเชื้อราเอดโตไมคอร์ไรซามีผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและช่วยเพิ่มอัตราการรอดตาย (survival rate) ของกล้าไม้ เมื่อนำไปปลูกในพื้นที่แห้งแล้งและเสื่อมโทรม (Pampolina et al., 1999)

ดังนั้นงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเอดโตไมคอร์ไรซาของเห็ดตับเต่าและเห็ดเผาะ และเพื่อศึกษาผลของเห็ดไมคอร์ไรซาทั้งสองชนิดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าไม้ป่าและไม้โตเร็วบางชนิดที่เป็นพืชอาศัยในสภาพแปลงธรรมชาติ

วิธีการศึกษา

การแยกเชื้อบริสุทธิ์เห็ดไมคอร์ไรซา

การแยกเชื้อบริสุทธิ์เห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดตับเต่าและเห็ดเผาะ) โดยเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ที่นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เทใส่จานเพาะเลี้ยงปริมาณ 25 มิลลิกรัม ทิ้งไว้ให้เย็น การแยกเชื้อบริสุทธิ์จากดอกเห็ดเริ่มจากคัดเลือกดอกที่สะอาดและสมบูรณ์ ใช้เข็มเย็บเย็บกรีดเนื้อเห็ดตรงกลางดอกออกเป็นชิ้นเล็ก นำไปวางบนอาหารเพาะเลี้ยง เส้นใยจะเจริญเต็มจานเพาะประมาณ 30 วัน

การศึกษาปริมาณเส้นใย (biomass) ของเห็ดเหาะและเห็ดตับเต่าในอาหารเพาะเลี้ยง 4 สูตร

อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวสำหรับใช้เลี้ยงเชื้อเห็ดเหาะและเห็ดตับเต่าจำนวน 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 (T1) ใช้อาหารสำเร็จรูป Potato Dextrose Broth (PDB) เป็นชุดควบคุม สูตรที่ 2 (T2) ประกอบด้วย มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 (T3) ประกอบด้วย มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์ peptone 0.2 เปอร์เซ็นต์ และ สูตรที่ 4 (T4) ประกอบด้วย มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์ malt extract 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยต้มมันฝรั่งกับน้ำสะอาดจนสุก นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง แบ่งใส่ในปิกเกอร์นำมาปรับปริมาตรและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 2 ช่วง คือ pH 4 และ pH 5 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เมื่ออาหารเย็นลง นำเส้นใยเชื้อเห็ดเหาะและเห็ดตับเต่าที่เลี้ยงไว้ในอาหาร PDA มาใส่เพื่อเลี้ยงขยายในอาหารเหลวทั้ง 4 สูตร 2 ระดับความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ โดยคัดเลือกแม่เชื้อเห็ดเหาะและเห็ดตับเต่าอายุประมาณ 15 วัน และไม่มีกรรปนเปื้อนของเชื้อราชนิดอื่น นำ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เจาะบริเวณรัศมีรอบนอกของเส้นใยบนจานอาหาร ใช้เข็มเย็บเชื้อขึ้นจำนวน 3 ชิ้น ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เตรียมไว้ ลนปากขวด ปิดด้วยจุกกลี และหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์ บ่มที่อุณหภูมิห้อง ในสภาวะเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตรวจวัดปริมาณเส้นใยของเห็ดตับเต่าเมื่อเลี้ยงได้ 10 วัน และเห็ดเหาะ 20 วัน เมื่อครบอายุ นำอาหารเหลวที่มีเส้นใยเห็ดมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ด้วยระบบปั๊มสุญญากาศ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง รวบรวมกระทั่งกระดาษกรองไม่มีน้ำหยด นำเส้นใยที่ผ่านการกรองมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้งของเส้นใย (biomass) วิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS version 9.1 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ประกอบด้วย 4 สูตรอาหาร 3 ซ้ำต่อสูตรอาหาร โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีทางสถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมกล้าไม้ป่าและไม่โตเร็วและการใส่เชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา

การเตรียมกล้าไม้สำหรับใส่เชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา ประกอบด้วยกล้าไม้ป่าและไม่โตเร็ว จำนวน 4 ชนิด คือ มะค่าโมงและตะเคียนทอง อายุกล้าไม้ 1 ปี สำหรับใส่เชื้อเห็ดเหาะ และกล้าไม้โตเร็ว ได้แก่ หางนกยูงไทยและแคบ้าน อายุกล้า 6 เดือน สำหรับใส่เชื้อเห็ดตับเต่า เริ่มจากการบิดินที่ถุงเพาะให้ดินแยกออกจากกัน เมื่อใส่เชื้อเห็ดจะทำให้สามารถไหลผ่านไปยังรากได้ดีขึ้น นำเชื้อเห็ดที่เลี้ยงในอาหารเหลวชนิดลงบริเวณโคนรากปริมาณ 15 มิลลิลิตรต่อต้น เพื่อป้องกันการชะล้างควรรดให้น้ำเป็นเวลา 2 วัน และวางกล้าไม้ไว้ในที่ร่ม โดยเชื้อจะเจริญร่วมกับรากต้นไม้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งกันและกัน ประมาณวันที่ 3 หลังจากใส่เชื้อเห็ดเริ่มรดน้ำให้ความชื้นเล็กน้อย เมื่อครบ 1 สัปดาห์ จึงนำกล้าไม้ออกมาปรับแสงแดดแบบรำไร เพื่อให้ต้นไม้อปรับตัว ดูแลจนกล้าไม้โต 1 เดือน ให้ต้นไม้แข็งแรงสมบูรณ์โดยห้ามใส่ปุ๋ยเคมี หลังจากนั้นจึงนำกล้าไม้ไปปลูกในสภาพแปลงธรรมชาติ

การนำกล้าไม้ที่มีเชื้อเห็ดไมคอร์ไรซาไปปลูกในสภาพแปลงธรรมชาติ

นำกล้าไม้ที่มีเชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดเหาะและเห็ดตับเต่า) ไปปลูกในพื้นที่บ้านปางมอญ (PM) ตำบลอ่าวนาโหล อำเภอยางตลาด จังหวัดน่าน จำนวน 3 แปลง โดยมีพื้นที่ปลูกแตกต่างกันดังนี้ แปลง PM1 พิกัด 18°28'48.9"N 100°30'15.2"E สภาพพื้นที่เป็นที่ราบเชิงเขา แปลง PM2 พิกัด 18°29'29.6"N 100°30'54.4"E สภาพพื้นที่เป็นสวนกล้วย และแปลง PM3 พิกัด 18°29'41.6"N 100°31'16.4"E สภาพพื้นที่เป็นไร่มันสำปะหลัง มีกล้าไม้ที่ปลูกจำนวน 4 ชนิด คือ ตะเคียนทอง (*Hopea odorata*) มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa*) หางนกยูงไทย (*Caesalpinia pulcherrima*) และแคบ้าน (*Sesbania grandiflora*) (เต็ม สมิตินันท์, 2557) ชนิดละ 24 ต้น เปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ปลูกถ่ายเชื้อ การปลูกต้นกล้าทั้ง 4 แปลง จะไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีหรือสารควบคุมการเจริญเติบโต หลังการปลูกต้นกล้าแล้วเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตรวจสอบการสร้างเอคโตไมคอร์ไรซา โดยการสุ่มตัวอย่างราก ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสโตริโอ ล้างรากให้สะอาดด้วยน้ำเปล่า และนำรากที่ตัดมาทำสไลด์ ย้อมด้วย methylene blue ศึกษาลักษณะโครงสร้างรากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นกล้าดังนี้ คือ อัตราการรอดชีวิต (เปอร์เซ็นต์) ความสูงต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น (เซนติเมตร) ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) และสุขภาพของกล้าไม้ (คะแนน) ด้วยระบบการให้คะแนน 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านความสูง ด้านรูปร่างทรงพุ่ม ด้านความสมบูรณ์ของใบ และด้านการเข้าทำลายของโรคและแมลง นำมาวิเคราะห์โดยวิธีการให้คะแนน โดยกำหนดคะแนนระดับ 3 หมายถึงความสมบูรณ์มาก คะแนนระดับ 2 หมายถึงความสมบูรณ์ปานกลาง และคะแนนระดับ 1 หมายถึงมีความสมบูรณ์ต่ำ เปรียบเทียบกับกล้าไม้ที่ไม่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อ (ชุดควบคุม) วิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS version 9.1 วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 4 พื้นที่ปลูก 4 ชนิดกล้าไม้ กล้าไม้ละ 3 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีทางสถิติ DMRT ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาปริมาณเส้นใย (biomass) ของเห็ดเผาะและเห็ดตับเต่าในอาหารเพาะเลี้ยง 4 สูตร

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดเผาะในอาหารเพาะเลี้ยงชนิดต่าง ๆ 4 สูตร พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยระดับความเป็นกรด-ด่างที่ pH 4 เส้นใยสามารถเจริญได้ดีกว่าระดับ pH 5 ในทุกสูตรอาหาร ในอาหารที่เตรียมจากมันฝรั่ง และที่มีส่วนประกอบของ malt extract ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของเส้นใยเห็ดเผาะมากกว่าอาหาร PDB สำเร็จรูปทางการค้า (ชุดควบคุม) โดยอาหารสูตรที่ 4 (T4) ประกอบด้วย มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์ และ malt extract 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งเส้นใยมากที่สุดคือ 1.12 กรัม/100 มิลลิลิตร รองลงมาคืออาหารสูตรที่ 1 (T1) คือสูตรอาหาร PDB (ชุดควบคุม) ให้ปริมาณเส้นใย 0.87 กรัม/100 มิลลิลิตร และอาหารเหลวที่เส้นใยเห็ดเจริญได้น้อยที่สุดคือ อาหารสูตรที่ 2 (มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์) ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งเส้นใย 0.25 กรัม/100 มิลลิลิตร (Table 1)

ส่วนการศึกษากการเจริญของเส้นใยเห็ดตับเต่าที่เลี้ยงด้วยอาหารเหลวชนิดต่าง ๆ จำนวน 4 สูตร พบว่า อาหารสูตร T2 และ T3 เส้นใยเห็ดสามารถเจริญได้ดี และให้ปริมาณเส้นใยได้มากกว่าอาหารสำเร็จรูป PDB (T1) ซึ่งเป็นชุดควบคุม แต่ในทางสถิติไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่อาหารสูตร 4 (T4) ที่ระดับ pH 4 และ pH 5 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งเส้นใยเห็ดตับเต่ามากที่สุด คือ 7.17 และ 7.14 กรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ (Figure 1) รองลงมาสูตรที่ 3 (T3) ที่ระดับ pH 5 มีปริมาณเส้นใย 6.19 กรัม/100 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสำเร็จรูป PDB (T1) ซึ่งเป็นชุดควบคุม ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งเส้นใยเฉลี่ยเท่ากับ 2.71 กรัม/100 มิลลิลิตร และมีปริมาณเส้นใยน้อยกว่าอาหารสูตรที่ 2 (T2) ซึ่งมีส่วนประกอบเพียงมันฝรั่งกับน้ำตาลทรายแดง (Table 1) ดังนั้นในการเตรียมหัวเชื้อเห็ดเผาะและเห็ดตับเต่าในอาหารเหลวสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือสูตรที่ 4 (T4) สอดคล้องกับงานของ นัยนา ทองเจียม และคณะ (2559) พบว่าการเพาะเลี้ยงเชื้อเห็ดเผาะและเห็ดตับเต่าในอาหารเลี้ยงเชื้อ modified PDA (มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ malt extract 0.2 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาล dextrose 2 เปอร์เซ็นต์) เส้นใยเห็ดตับเต่าและเห็ดเผาะสามารถเจริญได้ดีสุด ในระยะเวลา 15-20 วัน และยังสอดคล้องกับรายงานของ Scherommm et al. (1990) พบว่าเชื้อเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาสสามารถเจริญได้ดีบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ไนโตรเจน และ Thapar (1988) รายงานว่า เชื้อราไมคอร์ไรซาเส้นใยเจริญได้ดีบนอาหารที่มีน้ำตาลซูโครส มอลโตสเป็นแหล่งคาร์บอน และแอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน

Table 1 Biomass of *Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus* (g) in four different media.

Treatment	Biomass (g/100 ml)			
	<i>Astraeus odoratus</i>		<i>Phlebopus portentosus</i>	
	pH 4	pH 5	pH 4	pH 5
T1 PDB	0.87±0.00ab	0.25±0.05a	2.71±0.30b	4.08±0.48b
T2 Potato 20%	0.25±0.31b	0.11±0.05b	3.86±0.38b	4.41±0.40b
T3 Potato 20%+Peptone 0.2%	0.72±0.24ab	0.26±0.19a	4.82±0.91b	6.19±0.72a
T4 Potato 20%+Malt extract 0.5%	1.12±0.32a	0.11±0.09b	7.17±0.48a	7.14±0.36a
F-test	*	*	**	**
CV (%)	44.28	49.23	24.63	22.74

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at $P=0.05$.

**, * = Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

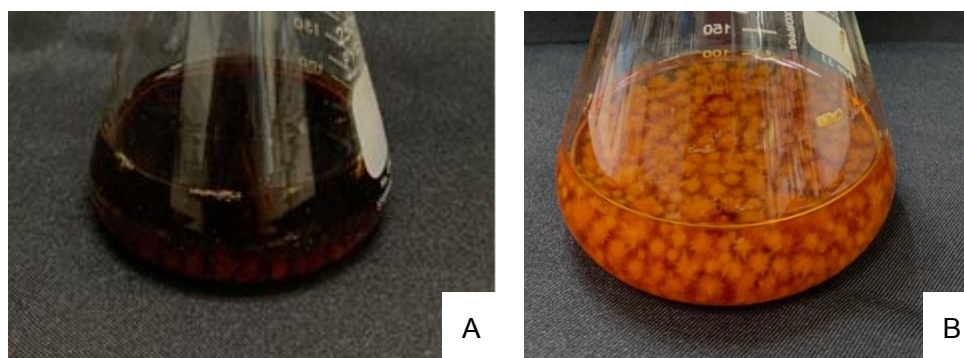


Figure 1 Mycelium density (A) of *Astraeus odoratus* for 20 days and (B) mycelium of *Phlebopus portentosus* for 10 days in T4 medium.

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต การเจริญเติบโต และสุขภาพของกล้าไม้ หลังการนำกล้าไม้ไปปลูกในพื้นที่ เป็นเวลา 6 เดือน

ภายหลังการนำกล้าไม้ที่มีเชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดเผาะและเห็ดตับเต่า) ไปปลูกในสภาพแปลงธรรมชาติ ของบ้านปางมอญ ตำบลอ่าวนาโดย อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 3 พื้นที่ ที่มีลักษณะแปลงปลูกแตกต่างกันดังนี้ แปลง PM1 สภาพพื้นที่เป็นที่ราบเชิงเขา แปลง PM2 สภาพพื้นที่เป็นสวนกล้วย และแปลง PM3 สภาพพื้นที่ไร่มันสำปะหลัง เปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ปลูกถ่ายเชื้อ จากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันในทางสถิติดังต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของกล้าไม้

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของกล้าไม้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 72.34-98.95 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าแปลง PM2 ซึ่งสภาพแปลงปลูกร่วมแปลงสวนกล้วย กล้าไม้มีการรอดชีวิตเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 98.95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าโง่ หางนกยูงไทย และแคบ้าน มีการรอดชีวิตถึง 100 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือแปลง PM3 สภาพแปลงจะปลูกร่วมกับมันสำปะหลัง มีอัตราการรอดชีวิตเฉลี่ย 88.74 ส่วนแปลงกล้าไม้ที่ไม่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อมีอัตราการรอดชีวิตเฉลี่ยน้อยที่สุด 72.34 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) เนื่องจากเห็ดไมคอร์ไรซาเป็นราที่อาศัยอยู่กับเซลล์ผิวราก โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำและธาตุอาหารของราก ส่งผลให้ลำต้นพืชเหี่ยวช้าในสภาวะขาดน้ำ (Jannifer et al.,1983) และยังช่วยป้องกันการเข้าทำลายของโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงด้วย (กิตติมา ดั่งแคะ และคณะ, 2548) ดังนั้นกล้าไม้ที่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อเห็ดเผาะและเห็ดตับเต่า จึงมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อ

Table 2 Survival percentages of *Hopea odorata*, *Azelia xylocarpa*, *Caesalpinia pulcherrima* and *Sesbania grandiflora* inoculated with mycorrhiza (*Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus*) and non-inoculated seedlings for 6 months.

Treatment	Plant survival (%)				Average (%)
	<i>A. odoratus</i>		<i>P. portentosus</i>		
	<i>H. odorata</i>	<i>A. xylocarpa</i>	<i>C. pulcherrima</i>	<i>S. grandiflora</i>	
Non-inoculated seedlings	79.55	64.33	77.66	67.85	72.34
PM1 foothills	95.80	95.80	79.16	75.00	86.44
PM2 banana plantation	95.80	100.00	100.00	100.00	98.95
PM3 cassava plantation	80.00	91.66	100.00	83.33	88.74

การเจริญเติบโตของกล้าไม้

การศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าไม้ จากการวัดการเจริญด้านความสูงของกล้าไม้หลังการปลูกเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าต้นกล้าที่ได้รับการใส่เชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดตับเต่าและเห็ดเผาะ) ในสภาพแปลงธรรมชาติทั้ง 3 พื้นที่ มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อ (ชุดควบคุม) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสภาพแปลงปลูกร่วมกับสวนกล้วย (PM2) ต้นตะเคียนทอง ต้นมะค่าโมง ต้นหางนกยูงไทย และต้นแคบ้าน มีความสูงเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 73.56, 123.25, 84.32 และ 152.21 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือแปลง PM3 และ PM1 มีสภาพแปลงปลูก

ร่วมกับมันสำปะหลัง และที่ราบเชิงเขา (Table 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phiaphukhiao (1960) ได้ศึกษาผลการปลูกถ่ายเชื้อเห็ดเผาะลงในกล้าไม้พืชอาศัย ได้แก่ ต้นตะเคียนทอง ยางนา พะยอม เต็ง และรัง มีอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงมากกว่าต้นที่ไม่ได้ปลูกถ่ายเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลของเส้นผ่านศูนย์กลางต้นที่ระดับคอราก และผลความกว้างทรงพุ่ม เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าให้ผลไปในแนวทางเดียวกับผลด้านความสูง คือทุกชนิดของกล้าไม้ที่ได้รับการใส่เชื้อเห็ดเผาะมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4, 5) (Figure 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Arsawang et al. (2015) ได้ศึกษาผลของการปลูกถ่ายเชื้อเห็ดเผาะสีรินทร์ให้ผลการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางระดับคอรากในต้นยางนา สูงกว่าต้นที่ไม่ได้ปลูกถ่ายเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับ ทนวงศ์ แสงเทียน และอุทัยวรรณ แสงวณิช (2537) รายงานว่า การเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนาในดินนี้หม่าเชื้อที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อ และได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางด้านความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น โดยกล้าที่ได้รับการปลูกเชื้อมีการเจริญเติบโตในทุกด้านที่กล่าวข้างต้นสูงกว่าชุดควบคุม และจากการทดลองดังกล่าวพบว่าพื้นที่แปลงปลูกที่มีอัตราอดชีวิตสูง และให้ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้สูงสุด ในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม เป็นแปลงที่เกษตรกรปลูกแบบผสมผสานร่วมกับแปลงกล้วย (PM2) เนื่องจากต้นกล้วยเป็นพืชแซมที่ให้ร่มเงา ยังช่วยลดผลกระทบต่อการแข่งขันของรากต่อรากพืชหลัก และช่วยปรับพื้นดินให้เกิดความชุ่มชื้นให้กับกล้าไม้ ส่วนผลการตรวจสอบการสร้างเอดโตไมคอร์ไรซาในรากของต้นตะเคียนทอง โดยดูลักษณะสีฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบการสร้างเอดโตไมคอร์ไรซาของเส้นใยเห็ดเผาะสานกันเป็นตาข่าย (external hyphae) สีน้ำตาลบริเวณผิวของรากพืช เมื่อตัดรากพืชตามขวางเส้นใยติดสีน้ำเงินของ methylene blue ลักษณะเส้นใยมีผนังกันห่อหุ้มชั้น epidermis ของรากพืชอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับรากของต้นควบคุม (Figure 3) โดยเส้นใยเห็ดเผาะเอดโตไมคอร์ไรซาที่แผ่กระจายไปในดิน นอกจากจะช่วยดูดซึมธาตุอาหารแล้วยังสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำของรากด้วย สอดคล้องกับ Foster (1981) รายงานว่า เส้นใยเชื้อราเอดโตไมคอร์ไรซาที่รวมตัวเป็นกลุ่มของเส้นใยรอบรากพืช (rhizomorph) มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีผนังหนา และมี polysaccharide gel เป็นองค์ประกอบอยู่รอบ ๆ ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ และในสภาพที่มีความชื้นในดินจำกัด ดังนั้นรากพืชที่มีเชื้อราไมคอร์ไรซาจะมีอัตราการระเหยน้ำต่ำกว่ารากที่ไม่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อราไมคอร์ไรซา และยังสอดคล้องกับ ธนิตา อาส่วง และคณะ (2558) ศึกษาการสร้างเอดโตไมคอร์ไรซาของเห็ดเผาะสีรินทร์ในต้นยางนา พบ rhizomorph สีน้ำตาลดำรอบ ๆ ราก และพบว่าการใส่หัวเชื้อเห็ดเผาะสีรินทร์ให้การเจริญเติบโตทางความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และมวลชีวภาพดีกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อเห็ด

Table 3 Average height of *Hopea odorata*, *Azelia xylocarpa*, *Caesalpinia pulcherrima*, and *Sesbania grandiflora* inoculated with mycorrhiza (*Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus*) and non-inoculated seedlings for 6 months.

Treatment	Average height (cm)			
	<i>A. odoratus</i>		<i>P. portentosus</i>	
	<i>H. odorata</i>	<i>A. xylocarpa</i>	<i>C. pulcherrima</i>	<i>S. grandiflora</i>
Non-inoculated seedlings	55.32±1.16c	81.04±1.49c	60.24±3.19c	111.32±4.26b
PM1 foothills	66.21±2.10b	78.32±3.56c	63.25±2.68bc	142.35±6.59a
PM2 banana plantation	73.56±2.27a	123.25±2.91a	84.32±4.50a	152.21±6.27a
PM3 cassava plantation	69.25±4.44b	107.36±5.35b	70.21±5.42ab	146.85±7.82a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	4.02	3.70	6.13	4.60

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at P=0.05.

** = Significant at 0.01 probability levels.

Table 4 Average tree diameter of *Hopea odorata*, *Azelia xylocarpa*, *Caesalpinia pulcherrima*, and *Sesbania grandiflora* inoculated with mycorrhiza (*Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus*) and non-inoculated seedlings for 6 months.

Treatment	Average tree diameter (cm)			
	<i>A. odoratus</i>		<i>P. portentosus</i>	
	<i>H. odorata</i>	<i>A. xylocarpa</i>	<i>C. pulcherrima</i>	<i>S. grandiflora</i>
Non-inoculated seedlings	0.82±0.02b	0.67±0.05b	0.64±0.03c	1.83±0.02b
PM1 foothills	0.87±0.04b	0.74±0.03b	0.71±0.01bc	2.88±0.02a
PM2 banana plantation	1.03±0.02a	0.92±0.03a	0.94±0.02a	2.86±0.04a
PM3 cassava plantation	1.04±0.04a	0.68±0.04b	0.73±0.01b	2.87±0.05a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	6.13	6.74	5.25	2.46

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at P=0.05.

** = Significant at 0.01 probability levels.

Table 5 Average long shrub of *Hopea odorata*, *Azelia xylocarpa*, *Caesalpinia pulcherrima*, and *Sesbania grandiflora* inoculated with mycorrhiza (*Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus*) and non-inoculated seedlings for 6 months.

Treatment	Average long shrub (cm)			
	<i>A. odoratus</i>		<i>P. portentosus</i>	
	<i>H. odorata</i>	<i>A. xylocarpa</i>	<i>C. pulcherrima</i>	<i>S. grandiflora</i>
Non-inoculated seedlings	34.12±1.27b	28.25±2.42c	32.10±3.15b	65.19±2.58d
PM1 foothills	52.14±6.13a	30.12±1.08bc	51.20±3.09a	93.50±1.91c
PM2 banana plantation	50.14±3.36a	37.78±1.77a	51.20±2.62a	132.17±12.27a
PM3 cassava plantation	49.32±3.34a	33.21±1.87b	46.89±2.47a	110.27±4.97b
F-test	**	**	**	**
CV (%)	8.47	5.72	6.28	6.79

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at P=0.05.

** = Significant at 0.01 probability levels.

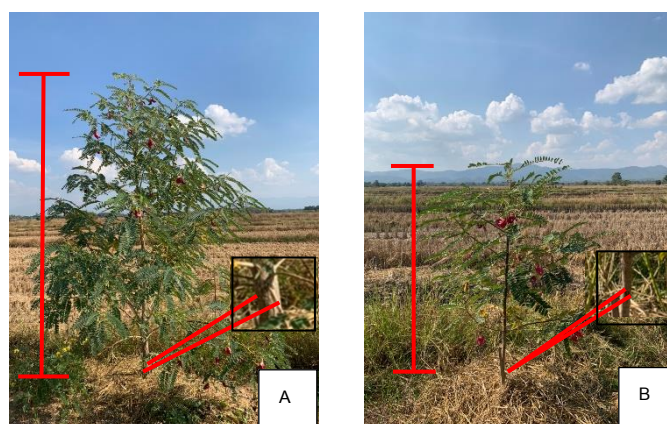


Figure 2 Height and tree diameter of *Sesbania grandiflora* for 6 months (A) inoculated seedling with mycorrhiza and (B) non-inoculated seedlings.

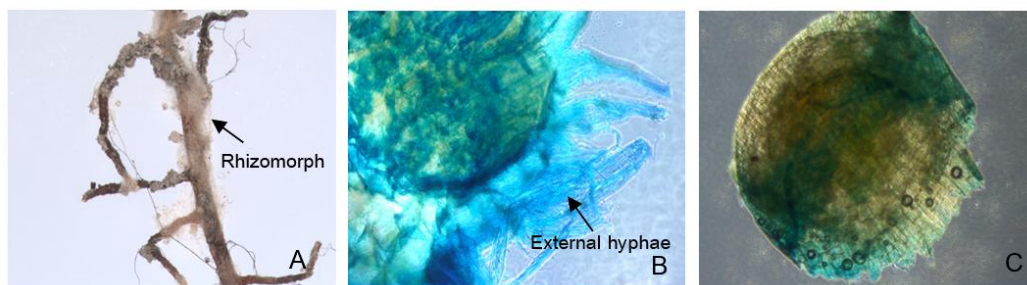


Figure 3 Characteristics of the creation of ectomycorrhiza in the root of *Hopea odorata* (A) plant root covered by rhizomorph (B) transverse section of the mycorrhiza root and (C) non-inoculated mycorrhiza (control).

สุขภาพของกล้าไม้

การตรวจประเมินความสมบูรณ์และสุขภาพของกล้าไม้ พบว่ามีคะแนนสุขภาพของต้นไม้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.22-2.11 คะแนน โดยกล้าไม้ที่ได้รับการใส่เชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา มีระดับคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.98-2.88 คะแนน (Table 6) ซึ่งสูงกว่าในชุดควบคุม ค่าคะแนนสุขภาพของกล้าไม้สูงสุด คือกล้าไม้ที่มีสภาพแปลงปลูกร่วมกับสวนกล้วย (PM2) รองลงมาคือแปลง PM3 และ PM1 มีสภาพแปลงปลูกร่วมกับมันสำปะหลัง และที่ราบเชิงเขา ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ รุ่งฟ้า จินแสง (2555) รายงานว่า การใส่เชื้อเห็ดดับเตาปริมาณ 80 มิลลิลิตรต่อต้น ทำให้ต้นกล้ามีอัตราการเจริญเติบโตที่เร็วกว่าต้นที่ไม่ใส่เชื้อ มีคะแนนสูงสุด 7.2 คะแนน

Table 6 Average of tree health of *Hopea odorata*, *Azelaia xylocarpa*, *Caesalpinia pulcherrima*, and *Sesbania grandiflora* inoculated with mycorrhiza (*Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus*) and non-inoculated seedlings for 6 months.

Treatment	Average tree health (score)			
	<i>A. odoratus</i>		<i>P. portentosus</i>	
	<i>H. odorata</i>	<i>A. xylocarpa</i>	<i>C. pulcherrima</i>	<i>S. grandiflora</i>
Non-inoculated seedlings	2.10±0.06b	2.11±0.11	1.22±0.06b	1.58±0.23b
PM1 foothills	2.56±0.16a	1.98±0.09	2.32±0.17a	2.64±0.07a
PM2 banana plantation	2.56±0.06a	2.35±0.12	2.36±0.12a	2.88±0.05a
PM3 cassava plantation	2.56±0.12a	2.45±0.13	2.51±0.12a	2.68±0.01a
F-test	*	ns	**	**
CV (%)	8.40	9.51	10.96	9.09

Note: Score 3 = high growing, score 2 = moderate growing, and score 1 = low growing.

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at P=0.05.

**, * = Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively. ns = non-significant.

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาสูตรอาหารเหลวที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดเผาะและเห็ดดับเตา) สูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ สูตร 4 (T4) ประกอบด้วย มันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์ และ malt extract 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งเส้นใยเห็ดเผาะ และเห็ดดับเตามากที่สุด คือ 1.12 และ 7.17 กรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการเจริญของกล้าไม้พืชอาศัยที่ได้รับการปลูกถ่ายเชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา ภายหลังการปลูก 6 เดือน ในพื้นที่บ้านปางมอญ จังหวัดน่าน จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ตะเคียนทอง มะค่าโมง หางนกยูงไทย และแคบ้าน พบว่าแปลงที่ปลูกแบบผสมผสานร่วมกับแปลงกล้วย (PM2) กล้าไม้มีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับต้นควบคุม ทั้งด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) ในการสนับสนุนทุนวิจัย ในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดตับเต่า เห็ดเผาะ เห็ดระโงก) และเห็ดตีนแรด ที่สร้างต้นแบบสวนป่าสวนเห็ดครัวเรือนเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- กิตติมา ดวงแคว, วินันต์ดา หิมะมาน และจันจิรา อายุวงษ์. 2548. ผลของเอดโตไมคอร์ไรซาต่อ อัตราการเจริญเติบโตและการควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อราในดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส. กลุ่มงานกีฏวิทยาและจุลชีววิทยาป่าไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. <https://www.dnp.go.th/FEM/PDF/FM9.pdf> (15 มกราคม 2564).
- เกษม สร้อยทอง. 2537. เห็ดและราขนาดใหญ่ในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. อุบลราชธานี: ศิริธรรม ออฟเซ็ท.
- เต็ม สมิตินันท์. 2557. เชื้อพรรณไม้แห่งประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- ทनुวงศ์ แสงเทียน และอุทัยวรรณ แสงวนิช. 2537. การเจริญเติบโตของยางนาที่ได้รับการปลูกเชื้อเอดโตไมคอร์ไรซา. *วารสารวนศาสตร์* 13: 22-28.
- ธนิดา อาสวาท, อุไรวรรณ วิจารณ์กุล, รุ่งเพชร แข็งแรง, ญัฏฐิกา สุวรรณศรี และเชิดชัย โพธิ์ศรี. 2558. เอดโตไมคอร์ไรซาของเห็ดเผาะสีรินทร์ในกล้าไม้ยางนา. ใน *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4*. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- นัยนา ทองเจียม, อินทิรา พันธาส, ปิติ กาลธยานันท์, พจนีย์ ยิ่งคุ้ม และน้ำตาล คุ่มตะโก. 2559. การเพาะเลี้ยงเห็ดเอดโตไมคอร์ไรซานิดินได้ในไม้ไผ่เร็ว. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. <https://www.forprod.forest.go.th/forprod/forprod2017> (17 มกราคม 2564).
- รุ่งฟ้า จินแส. 2555. การใช้เชื้อเห็ดตับเต่า (*Boletus colossus* Heim.) ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นเต้าชื่อ (*Diospyros lotus*) ระยะต้นกล้า. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน.
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2550. *เห็ดในประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน.
- วิพรพรรณ เนื่องมณี และมนัส ทิตยวรรณ. 2562. วัสดุผลิตหัวเชื้อเห็ดเผาะและผลต่อการเจริญของพืชอาศัย. *วารสารแก่นเกษตร* 48(1): 1173-1180.
- สมจิตร อยู่เป็นสุข. 2549. *ไมคอร์ไรซา*. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อนงค์ จันทรศิริกุล, พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ และอุทัยวรรณ แสงวนิช. 2551. ความหลากหลายของเห็ดและราขนาดใหญ่ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Allen, M. F. 1991. The ecology of mycorrhizae. In *Journal of Tropical Ecology*, A. C. Newton, ed. pp. 194. Cambridge: Cambridge University Press.
- Arsawang, T., Vijaranakul, U., Kengrang, R., Suwannasai, N., and Phosri, C. 2015. Ectomycorrhizal formation of *Astraeus sirindhorniae* on dipterocarp seedlings. In *Proceedings of Thailand Forest Ecological Research Network (T-FERN) Ecological Knowledge for Sustainable Management*. pp. 272. Phitsanuloke.
- Brundrett, M. C. 2006. Understanding the roles of multifunctional mycorrhizal and endophytic fungi. *Soil Biology* 38(9): 281-298.
- Foster, R. C. 1981. Mycelial strands of *Pinus radiata* D. Don: Ultrastructure and histochemistry. *The New Phytologist* 88: 705-712.
- Harley, J. L., and Smith, S. E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. In *Scientific Research*, J. Dighton, ed. pp 483. London: Academic Press.
- Janos, D. P., Schroeder, M. S., Schaffer, B., and Crane, J. H. 2001. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi enhances growth of *Litchi chinensis* Sonn. trees after propagation by air-layering. *Plant and Soil* 233: 85-94.
- Jennifer, L. P., Linderman, R. G., and Black, C. H. 1983. The role of ectomycorrhizas in drought tolerance of Douglas- fir seedlings. *The New Phytologist* 95: 83-95.
- Nopamornbodi, O. 1995. Effect of mycorrhizae on plant growth and soil fertility. In *International Training Course on Soil Management Technique "Fertility Improvement"*, ADRC, ed. JICAS ADRC, Khonkaen.
- Pampolina, N. M., Cruz, R. E., and Garcia, M. U. 1999. Ectomycorrhizal root and fungi of Philippine dipterocarps. In *Proceedings of an international symposium and workshop, kaiping, Guangdong Province, P. R., M. Brundett, B. Dell, N. Malajczuk, and G. Mingqin*, eds. pp. 47-50. Kaiping City: The Chinese Academy of Forestry.
- Phiaphukhiao, J. 1996. Effects of *Astraeus* spp. mycelial inoculate on mycorrhizal formation and growth stimulation of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don seedlings. Thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- Phosri, C. 2005. Ectomycorrhizal formation of gasteromycete fungi in forest tree seedlings. Research Report, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanuloke.
- Scheromm, P., Plassard, C., and Saldac, L. 1990. Effect of nitrate and ammonium nutrition on the metabolism of the ectomycorrhizal basidiomycete, *Hebeloma cylindrosporum* Romagn. *The New Phytologist* 114: 227-234.
- Thapar, H. S. 1988. Nutritional studies on ectomycorrhizal fungi of chir pine in culture. In *Mycorrhizae for Green Asia 1st Asian Conference on Mycorrhizae*, N. Raman, and K. Natarajan, eds. pp. 179-183. Madras: Madras University.

วันรับบทความ (Received date) : 5 ก.พ. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 1 มี.ย. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 5 ส.ค. 64

ความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภคในจังหวัดขอนแก่น

Analysis of Consumer Intention to Purchase Sacred Lotus Flowers

for Decoration in Khon Kaen Province

ธมณธีระสารานนท์¹, เยาวรัตน์ ศรีวรานันท์¹ และปริชาติ แสงคำเจ็ญ¹
Thamon Theerasaranon¹, Yaowarat Sriwaranun¹ and Parichard Sangkumchaliang¹

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภคในจังหวัดขอนแก่น ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมโดยการสุ่มแบบเจาะจงและใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการสัมภาษณ์ผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้เพื่อใช้สำหรับประดับตกแต่ง ในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น จำนวนทั้งสิ้น 381 ราย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ และสถิติไค-สแควร์ ผลการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ในจังหวัดขอนแก่นส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 33 ปี ระดับการศึกษาน้อยกว่าปริญญาตรี สถานภาพโสด มีรายได้ส่วนบุคคลเฉลี่ย 15,359.68 บาท/เดือน และรายได้ครัวเรือนเฉลี่ย 43,270.37 บาท/เดือน สำหรับพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ในจังหวัดขอนแก่น พบว่า ชนิดดอกไม้ที่เคยซื้อมากที่สุด คือ ดอกบัวหลวง วัตถุประสงค์ในการซื้อคือเพื่อการทำบุญไหว้พระ สำหรับทัศนคติต่อการใช้ดอกบัวหลวงสำหรับการประดับตกแต่งของผู้บริโภคโดยภาพรวมอยู่ในเชิงบวก ส่วนการยอมรับการใช้ดอกบัวในการประดับตกแต่งของผู้บริโภคโดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าทัศนคติที่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อประดับตกแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ดอกบัวหลวงมีสีสันที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประดับตกแต่งสถานที่ได้หลายโอกาส การนำดอกบัวหลวงมาใช้ในการงานมงคลสมรสแสดงความเป็นไทยให้ความรู้สึกแปลกใหม่ การใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งช่วยเสริมรูปแบบงานที่เน้นความเป็นไทยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่วนการยอมรับที่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อประดับตกแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ การใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งหน้าหีบศพ ใช้ประดับตกแต่งพวงหรีด ใช้ประดับตกแต่งพานรับน้ำสังข์ ใช้ประดับตกแต่งฉากหลัง และใช้ตกแต่งภายในบ้าน/ที่ทำงาน

คำสำคัญ: ดอกบัวหลวง ความตั้งใจซื้อ ทัศนคติ การยอมรับ

Abstract

The purpose of this article was to analysis consumer intention to purchase sacred lotus flowers for decoration in Khon Kaen province. Data were collected by purposive sampling and by questionnaire. These instruments were used to interview consumers that bought flowers for decoration in Muang district, Khon Kaen province. A total of 381 samples were collected. The statistical parameters for data analysis were frequency, percentage, and Chi-Square test. The results showed that the consumers who bought flowers in Khon Kaen province were mostly female, with 33 years old on average. They had an educational level lower than bachelor's degree, single, with an average personal income of 15,359.68 baht per month, and had an average household income of 43,270.37 baht per month. The analysis of the consumer behavior of those who bought flowers revealed that the flower most frequently bought was the sacred lotus. The purpose of purchasing was to use the flower for making merit and paying respect to the Buddha. Consumer attitude towards the use of the sacred lotus for decoration was positive. The consumer acceptance of the use of this flower for decoration was moderate. In addition, it was found that the attitudes that significantly related with consumer intention to purchase sacred lotus flowers for decoration were to do with the colorful nature of the flowers and their suitability for use as decorations in various places and on various occasions, their suitability for use in the wedding ceremony which they felt expressed the Thai identity, their ability to create new and exciting sensations, and their ability to capture and express an overall sense of 'Thai-ness'. Furthermore, it was found that consumer intention to purchase sacred lotus flowers

¹ สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

¹ Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen 40002

*Corresponding author, Email: syaowa@kku.ac.th

for decoration correlated with their use as decorations for coffin casket fronts, wreaths, water-pouring trays, backgrounds, and houses and offices.

Keywords: lotus flowers, purchase intention, attitude, acceptance

คำนำ

บัวหลวง เป็นไม้ที่สำคัญและเป็นพืชเขตร้อนที่นิยมตัดดอกเพื่อนำมาใช้ประโยชน์โดยเฉพาะพุทธศาสนิกชนนิยมใช้ดอกบัวในการกราบไหว้บูชาพระรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ (สุปราณี วนิชชานนท์, 2541) บัวหลวงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ของประเทศไทย เกษตรกรทำการปลูกบัวในแปลงที่มีการขังน้ำเหมือนทำนาข้าว การทำนาบัวดูแลรักษาง่ายและมีโรคและแมลงรบกวนน้อย สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตและใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ พื้นที่ปลูกบัวหลวงกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคในประเทศไทยรวมทั้งสิ้นประมาณ 2,399 ไร่ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2559) พื้นที่ปลูกในภาคกลางที่สำคัญ ได้แก่ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เกษตรกรทำนาบัวเน้นการผลิตเพื่อการตัดดอก ส่วนในจังหวัดนครสวรรค์ พระนครศรีอยุธยา และอ่างทอง เน้นการผลิตเพื่อเก็บเมล็ด ตัดดอกและเกสรตากแห้ง ขณะที่จังหวัดปราจีนบุรีปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวไหล (อรรธรณ วิชัยลักษณ์ และภุชชีพันธุ์ สุวรรณเมฆ, ม.ป.ป.) และพื้นที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น อุบลราชธานี อุรธานี ชัยภูมิ สกลนคร หนองคาย และนครพนม มีพื้นที่ปลูกบัวหลวงรวมประมาณ 266 ไร่ ส่วนใหญ่นิยมปลูกเพื่อตัดดอกจำหน่ายในช่วงเทศกาลและวันสำคัญทางพระพุทธศาสนา สำหรับพันธุ์บัวหลวงที่นิยมปลูก คือ พันธุ์จักรขาวและพันธุ์จักรแดง (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2559)

เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ชุ่มน้ำและมักเกิดวิกฤตน้ำท่วมซ้ำซากในบริเวณที่เป็นพื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่สาธารณะ และบางพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ในจังหวัดขอนแก่น นาข้าวหลายแห่งเป็นพื้นที่ลุ่ม มักจะประสบปัญหาถูกน้ำท่วมทำให้ได้รับความเสียหายอยู่เสมอ หากมีการพัฒนาการจัดการผลิตพืชให้เกิดประโยชน์และเหมาะสมกับพื้นที่ เช่น การทำนาบัวจะสามารถเพิ่มมูลค่าเชิงเศรษฐกิจได้ และเป็นช่องทางพลิกวิกฤตเป็นโอกาส ซึ่งช่วยสนับสนุนแนวคิดที่ว่า บัวหลวงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นพืชเกษตรเศรษฐกิจไทยเพื่อการส่งออก ข้อมูลข้างต้นพอที่จะทราบได้ว่าบัวหลวงสามารถที่จะพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจ ทั้งเพื่อสร้างงานให้เกิดรายได้ขึ้นภายในประเทศ และส่งออกไปยังต่างประเทศเพื่อสร้างรายได้ (จินตนากร งามสุทธา, 2555)

ในปัจจุบันดอกบัวหลวงได้รับความนิยมมากขึ้น มีการนำดอกบัวหลวงมาใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น ใช้งานสำหรับบูชาพระสักการะสิ่งศักดิ์สิทธิ์ นำมาแปรรูปเป็นอาหาร เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางตามที่ตลาดต้องการ ทั้งนำมาประดับตกแต่งเพื่อความสวยงาม ปัจจุบันความนิยมในการส่งดอกไม้เพื่อเป็นตัวแทนในการแสดงความยินดีหรือแสดงความเสียใจในโอกาสต่าง ๆ เพิ่มขึ้น สำหรับประเทศไทยดอกบัวหลวงเป็นดอกไม้ที่ตลาดมีความต้องการ ทั้งยังเป็นพืชที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ และสามารถพัฒนาด้านการนำดอกบัวหลวงไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลายมากขึ้น นอกเหนือจากการนำไปใช้บูชาสักการะสิ่งศักดิ์สิทธิ์ ยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับดอกบัวหลวงด้วยการนำไปใช้ประดับตกแต่งตามสถานที่ต่าง ๆ เช่น ใช้ประดับตกแต่งจากถ่ายรูปในงานมงคลสมรส หรืองานมงคลอื่น ๆ รวมถึงการนำดอกบัวหลวงไปจัดช่อกับดอกไม้ชนิดอื่นเพื่อใช้มอบในโอกาสต่าง ๆ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบัวหลวงที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่มีผู้ที่ทำการศึกษาทางด้านการใช้ประโยชน์จากดอกบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจ ศึกษาถึงพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ รวมถึงทัศนคติการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อดอกบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่ง และศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อความตั้งใจต่อดอกบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภคในจังหวัดขอนแก่น จังหวัดขอนแก่นถือว่าเป็นแหล่งผลิตดอกบัวหลวงตัดดอกที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีตลาดที่เป็นแหล่งรวบรวมดอกบัวหลวงเพื่อจำหน่ายและกระจายต่อไปยังตลาดในจังหวัดอื่น ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อธุรกิจบัวหลวงในปัจจุบันและในอนาคต ทั้งการเพิ่มมูลค่าให้กับดอกบัวหลวง และเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาด้านการนำดอกบัวหลวงไปใช้ประดับตกแต่ง ซึ่งเป็นสิ่งแปลกใหม่โดยสามารถพัฒนาไปสู่การเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งต่อไป

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือผู้บริโภคร้านค้าผลไม้ทั้งเพศชายและเพศหญิง ในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน ดังนั้นจึงใช้หลักการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างได้จากสูตรไม่ทราบขนาดตัวอย่างของ Cochran (2007) ดังนี้ $n = (P(1-P)z^2)/E^2$ โดย P คือสัดส่วนของประชากรที่กำลังสุ่มเท่ากับ 0.5 Z คือระดับค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และระดับค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2549) ซึ่งได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 384.16 คน จากการเก็บรวบรวมข้อมูลกับผู้บริโภคที่เคี้ยวผลไม้ ในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในระหว่างวันที่ 25 มกราคม 2559 ถึง 3 กุมภาพันธ์ 2559 ด้วยวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) ณ ร้านจำหน่ายผลไม้ในตลาดอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ได้แก่ ตลาดคำไฮ ตลาดมอ ตลาดบางลำพู ตลาดจอมพล ตลาดสำราญ และห้างสรรพสินค้าในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ได้แก่ เซ็นทรัลพลาซ่าขอนแก่น ห้างแฟรี่ บิ๊กซีซูเปอร์เซ็นเตอร์ และโลตัสเอ็กซ์ตรา ได้จำนวนทั้งสิ้น 395 ตัวอย่าง แต่เนื่องจากมี 14 ตัวอย่างที่ข้อมูลในส่วนของความตั้งใจซื้อผลไม้เพื่อประดับตกแต่งไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้มีจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ทั้งหมด 381 ตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างคือแบบสอบถาม (questionnaire) โดยมีการสร้างแบบสอบถามตรวจสอบคุณภาพ และเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านเศรษฐศาสตร์และสาขาไม้ดอกไม้ประดับเพื่อตรวจสอบความครบถ้วนและถูกต้อง และทำการทดสอบแบบสอบถามโดยการเก็บข้อมูลจำนวน 30 ชุด ก่อนทำการใช้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ผลการทดสอบค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (reliability analysis) โดยการวัดความสอดคล้องภายในด้วยสัมประสิทธิ์ Cronbach's Alpha โดยความเชื่อมั่นของปัจจัยด้านจิตวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ทศนคติ และการยอมรับการใช้บัวหลวงสำหรับการประดับตกแต่งของผู้บริโภค มีค่าเท่ากับ 0.729 และ 0.798 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 0.7 ถือว่าเครื่องมือที่ใช้วัดยอมรับได้

แบบสอบถามที่สร้างขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส สถานภาพในครัวเรือน อาชีพ ศาสนา ที่อยู่อาศัย รายได้บุคคลเฉลี่ยต่อเดือน และรายได้ครัวเรือนเฉลี่ยต่อเดือน ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อผลไม้ของผู้บริโภค ได้แก่ ดอกไม้ที่ผู้บริโภคซื้อเป็นส่วนใหญ่ เหตุผลในการซื้อ ผู้มีส่วนในการตัดสินใจซื้อ เวลาและสถานที่ซื้อ และความถี่ในการซื้อ ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยด้านจิตวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ทศนคติ และการยอมรับการใช้บัวหลวงสำหรับการประดับตกแต่งของผู้บริโภค ซึ่งใช้คำถามแบบอันตรภาค (interval scale) มีมาตรวัด 5 ระดับ สำหรับการวัดทศนคติ คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วยไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ส่วนการวัดการยอมรับ แบ่งมาตรวัดเป็น มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด และส่วนที่ 4 ข้อมูลความตั้งใจซื้อบัวหลวงที่ใช้สำหรับการประดับตกแต่ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย ความถี่ (frequency) และร้อยละ (percentage) ในการวิเคราะห์ข้อมูลในแบบสอบถามส่วนที่ 1 ด้านประชากรศาสตร์ ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการซื้อดอกไม้ และส่วนที่ 4 ด้านความตั้งใจซื้อดอกไม้หลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่ง (ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ, 2552) สำหรับส่วนที่ 3 ปัจจัยด้านจิตวิทยา ประกอบด้วยทศนคติและการยอมรับนั้น ใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (mean) โดยการแปลงผลการวัดทศนคติ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ เกือบมาก (ค่าเฉลี่ย 3.67-5.00) ปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.34-3.66) และเชิงลบ (ค่าเฉลี่ย 1.00-2.33) ส่วนการวัดการยอมรับ แบ่งการแปลงผลออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.21-5.00) มาก (ค่าเฉลี่ย 3.41-4.20) ปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.61-3.40) น้อย (ค่าเฉลี่ย 1.81-2.60) และน้อยที่สุด (ค่าเฉลี่ย 1.00-1.80) (เดมศักดิ์ สุขวิบูลย์, 2552; กนกวลี รื่นรมย์, 2558) สำหรับสถิติเชิงอนุมานใช้การทดสอบค่าไค-สแควร์ (chi-square test: χ^2 - test) ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางประชากรศาสตร์กับความตั้งใจซื้อดอกไม้หลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภค โดยจัดข้อมูลประเภทนามบัญญัติ (nominal scale) สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของความถี่ สัดส่วน ร้อยละ และตัวแปรแต่ละตัว แบ่งกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป (นราศรี ไวนิชกุล และชูศักดิ์ อุดมศรี, 2538)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะทางประชากรศาสตร์และพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ในจังหวัดขอนแก่น

จากผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ในจังหวัดขอนแก่น พบว่า ส่วนใหญ่คือเพศหญิง (ร้อยละ 69.3) อายุเฉลี่ย 33 ปี จบการศึกษาระดับน้อยกว่าปริญญาตรี (ร้อยละ 50.9) มีสถานะโสด (ร้อยละ 57.0) รายได้ของผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ในจังหวัดขอนแก่นส่วนใหญ่อยู่ประมาณ 8,001-18,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 40.9) หรือเฉลี่ยเท่ากับ 15,359.68 บาท/เดือน และมีรายได้ครัวเรือน ตั้งแต่ 40,001 บาทต่อเดือนขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 34.4 (เฉลี่ย 43,270.37 บาท/เดือน) สำหรับข้อมูลพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ในจังหวัดขอนแก่น พบว่า ดอกบัวคือชนิดดอกไม้ที่ผู้บริโภคเคยซื้อมากที่สุด (ร้อยละ 19.8) รองลงมาคือดอกดาวเรืองและดอกมะลิ ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีค่าใช้จ่ายในการซื้อดอกไม้ครั้งละน้อยกว่า 100 บาท และมักจะซื้อดอกไม้ประมาณ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ วัตถุประสงค์ในการซื้อดอกไม้ของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือเพื่อการทำบุญไหว้พระ (ร้อยละ 50.1) รองลงมาคือเพื่อมอบให้กับบุคคลเนื่องในโอกาสต่าง ๆ (ร้อยละ 28.23)

ทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ที่มีต่อดอกบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่ง

ผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้ไม่ได้ให้ทัศนคติต่อการใช้ดอกบัวหลวงสำหรับการประดับตกแต่งโดยภาพรวมอยู่ในระดับเชิงบวก (ค่าเฉลี่ย 3.84) เมื่อพิจารณารายละเอียดตามประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 3 ลำดับแรก พบว่า ผู้บริโภคที่เคยซื้อดอกไม้มีทัศนคติในเชิงบวกหรือเห็นด้วยในประเด็นที่ว่า ดอกบัวหลวงเป็นดอกไม้ที่แสดงถึงความบริสุทธิ์จึงมีความศักดิ์สิทธิ์มาตั้งแต่สมัยพุทธกาล เหมาะสมสำหรับใช้ไหว้บูชาพระ (ค่าเฉลี่ย 4.32) ซึ่งผลการศึกษาของ Phonpho (2014) กล่าวว่า ดอกบัวเป็นดอกไม้ที่เป็นตัวแทนของความบริสุทธิ์และความศักดิ์สิทธิ์ในวัฒนธรรมไทย นอกจากนั้นผู้บริโภคเห็นว่ารูปร่างของดอกบัวหลวงให้ความรู้สึกสงบ อ่อนน้อมถ่อมตน คล้ายการประนมมือไหว้ นุ่มนวล อบอุ่น (ค่าเฉลี่ย 4.05) และดอกบัวหลวงมีสีส้มที่ไม่หลากหลาย (ค่าเฉลี่ย 3.98) ตามลำดับ

สำหรับในด้านการยอมรับการใช้ดอกบัวในการประดับตกแต่งนั้น โดยภาพรวมการยอมรับอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.35) เมื่อพิจารณารายละเอียดตามประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 3 ลำดับแรก พบว่า ผู้บริโภคยอมรับการใช้ดอกบัวประกอบเครื่องงานบรรพชาอุปสมบทมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.43) รองลงมาคือการใช้ดอกบัวหลวงทำพานพุ่ม/แจกันดอกบัว (ค่าเฉลี่ย 4.21) และยอมรับการใช้ดอกบัวหลวงทำช่อดอกไม้ถวายพระในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.84) ตามลำดับ แนวคิดของ Assael (1995) ได้อธิบายว่า ทัศนคติเป็นองค์ประกอบทางความคิด ความเชื่อ ความเข้าใจ ความรู้สึก อารมณ์ที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งเป็นแนวโน้มในการกระทำหรือการแสดงออก ความโน้มเอียงที่จะซื้อผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคมีทัศนคติที่ดีต่อการใช้ดอกบัวในการประดับตกแต่งซึ่งส่งผลให้มีแนวโน้มของการซื้อดอกบัวเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อดอกบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภคในจังหวัดขอนแก่น

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางประชากรศาสตร์กับความตั้งใจซื้อของผู้บริโภค พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพการสมรส อาชีพ รายได้บุคคล และรายได้ครัวเรือน ไม่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อบัวหลวงสำหรับการประดับตกแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 1)

Table 1 Relationship between purchase intention towards sacred lotus flowers for decoration and personal factors.

Personal Factors	χ^2	P-value
Gender	2.368	0.124 ^{ns}
Age	2.483	0.289 ^{ns}
Graduation	1.321	0.517 ^{ns}
Marital status	5.004	0.082 ^{ns}
Occupation	2.969	0.813 ^{ns}
Personal income	0.087	0.957 ^{ns}
Household income	1.885	0.390 ^{ns}

Note: ns denote statistically non-significant.

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งกับปัจจัยทัศนคติ พบว่า ปัจจัยด้านทัศนคติที่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อประกอบด้วย ดอกบัวหลวงมีสีสันที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประดับตกแต่งสถานที่ได้หลายโอกาส การนำดอกบัวหลวงมาใช้ในการมงคลสมรสแสดงความเป็นไทย ให้ความรู้สึกแปลกใหม่ และการใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งช่วยเสริมรูปแบบงานที่เน้นความเป็นไทยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อีกทั้งดอกบัวหลวงสามารถนำมาจัดช่อ/จัดกระเช้า รวมถึงการใช้เพื่อมอบให้กับบุคคลเพื่อแสดงความยินดีในโอกาสต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tzavaras et al. (2010) พบว่าผู้บริโภคชาวกรีกที่ซื้อไม้ตัดดอกมีวัตถุประสงค์เพื่อมอบให้บุคคลอื่นเนื่องในโอกาสทางศาสนาและทางสังคมไม่ว่าจะเป็นการไปโบสถ์หรือในวันแม่ และเพื่อเป็นส่วนที่สร้างบรรยากาศในบ้านเพื่อคุณภาพชีวิตตนเองให้เพิ่มขึ้น (Table 2)

Table 2 Relationship between purchase intention towards sacred lotus flowers for decoration and attitude factors.

Attitude	χ^2	P-value
Sacred lotus flowers indicate purity and sanctity since Buddha era. Therefore, the sacred lotus flowers are most suitable for worship.	4.241	0.374 ^{ns}
Sacred lotus flowers are Buddhist symbols. Thus, it is not suitable for decorating at parties/celebrations.	5.611	0.230 ^{ns}
Sacred lotus flowers are a symbol of joyfulness.	5.000	0.287 ^{ns}
The shape of sacred lotus flowers gives peaceful, humble, paying respect, gentle and warm feelings.	3.685	0.450 ^{ns}
Sacred lotus flowers have a unique smell of a cool and fresh fragrance.	3.989	0.407 ^{ns}
Sacred lotus flowers do not have a variety of colors.	6.593	0.159 ^{ns}
Sacred lotus flowers are withered and bruised easily.	3.210	0.523 ^{ns}
Sacred lotus flowers have the color that is suitable for decorating on many occasions.	13.511	0.009 ^{***}
The use of sacred lotus flowers for decorating in wedding ceremonies represents Thai culture, but gives a novel feeling.	9.796	0.044 ^{**}
Using sacred lotus flowers in decorating enhances the work to be more Thai.	10.430	0.034 ^{**}
Sacred lotus flowers can be applied to make a bouquet/flower basket to congratulate people on various occasions.	9.424	0.051 [*]
Sacred lotus flowers are relatively cheap compared to others that being used in decoration.	4.279	0.370 ^{ns}
Sacred lotus flowers have a big shape and, thus, it helps to save cost as it is being used in small amount.	4.386	0.356 ^{ns}
Sacred lotus flowers are easy to find and buy locally.	5.637	0.228 ^{ns}
Sacred lotus flowers are worthwhile to be used in decoration.	4.193	0.380 ^{ns}

Note: ns, *, ** and *** denote statistically non-significant, statistically significant at the 0.1, 0.05, and 0.01 level, respectively.

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งกับปัจจัยการยอมรับ พบว่า ปัจจัยด้านการยอมรับที่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่ง ประกอบด้วย การใช้ดอกบัวหลวงในงานศพ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ประดับตกแต่งหน้าศพ และการใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งพวงหรีด นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้บริโภคมีความตั้งใจในการใช้ดอกบัวสำหรับงานที่เป็นมงคล เช่น การใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งพานรับน้ำสังข์ ใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งฉากหลัง/ฉากถ่ายรูป และการใช้ตกแต่งภายในบ้านที่ทำงาน มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Table 3) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องการยอมรับของ Rogers (2003) ได้กล่าวไว้ว่า การยอมรับเป็นการตัดสินใจที่

ประเมินจากคุณลักษณะของสิ่งใหม่ เช่น ความสวยงามเหมาะสม ความเข้ากันได้ เป็นต้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการนำดอกบัวมาใช้สำหรับประดับตกแต่งได้รับการยอมรับ เนื่องจากมีความสวยงาม เหมาะสม และสามารถเข้ากับรูปแบบการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้

Table 3 Relationship between purchases intention towards sacred lotus flowers for decoration and acceptance factors.

Acceptance	χ^2	P-value
Using sacred lotus flowers to make a flower pedestal tray/vase.	8.015	0.091 ^{ns}
Using sacred lotus flowers to make a bouquet to pay respect for monks.	8.668	0.070 ^{ns}
Using sacred lotus flowers as one of the holy complements in Ordination ceremony.	4.269	0.371 ^{ns}
Using sacred lotus flowers to decorate a casket.	10.295	0.036**
Using sacred lotus flowers to decorate a wreath.	10.973	0.027**
Using sacred lotus flowers to decorate a holy water pouring pedestal tray.	10.681	0.030**
Using sacred lotus flowers to decorate a backdrop.	19.058	0.001***
Using sacred lotus flowers to decorate places.	7.133	0.129 ^{ns}
Using sacred lotus flowers to decorate a house/workplace.	15.045	0.005***
Using sacred lotus flowers to make a bouquet/flower basket to congratulate people on various occasions.	5.581	0.233 ^{ns}

Note: ns, ** and *** denote statistically non-significant, statistically significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

สรุปผลการศึกษา

ผู้บริโภควัดขอนแก่นที่เคยซื้อดอกไม้ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 33 ปี จบการศึกษาระดับน้อยกว่าปริญญาตรี ดอกบัวคือชนิดดอกไม้ที่ผู้บริโภคเคยซื้อมากที่สุด วัดอุปสงค์ในการซื้อดอกไม้คือเพื่อการทำบุญไหว้พระ

ผลจากการศึกษา พบว่า ปัจจัยทางจิตวิทยาประกอบด้วยทัศนคติและการยอมรับมีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภคในจังหวัดขอนแก่น โดยกลุ่มผู้บริโภคที่มีความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่มีทัศนคติเชิงบวกในด้านดอกบัวหลวงมีสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประดับตกแต่งสถานที่ได้หลายโอกาส การนำดอกบัวหลวงมาใช้ในงานมงคลสมรสแสดงความเป็นไทยให้ความรู้สึกแปลกใหม่ การใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งช่วยเสริมรูปแบบงานที่เน้นความเป็นไทยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และดอกบัวหลวงสามารถนำมาจัดซื้อ/จัดกระเช้าให้มอบในการแสดงความยินดีในโอกาสต่าง ๆ ได้ ส่วนปัจจัยด้านการยอมรับที่มีความสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งของผู้บริโภคนั้น พบว่า กลุ่มผู้บริโภคที่มีความตั้งใจซื้อบัวหลวงเพื่อใช้ประดับตกแต่งมีการยอมรับในการนำใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งหน้าหีบศพ ใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งพวงหรีด ใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งพานรับน้ำสังข์ ใช้ดอกบัวหลวงประดับตกแต่งฉากหลัง และใช้ตกแต่งภายในบ้าน/ที่ทำงาน

จากผลการศึกษาพบว่า ความต้องการของผู้บริโภคในการนำบัวหลวงมาใช้ในการประดับตกแต่งนั้นมีแนวโน้มมากขึ้น ผู้บริโภคมีทัศนคติและการยอมรับการนำบัวหลวงมาใช้ประดับตกแต่งสถานที่หรืองานที่มีรูปแบบความเป็นไทย ไม่ว่าจะเป็นงานมงคลสมรส งานเทศกาล หรืองานประชุมเพื่อให้เกิดความรู้สึกแปลกใหม่ อีกทั้งดอกบัวมีสีสันสวยและราคาไม่แพงมากนัก ผู้บริโภคที่ซื้อบัวหลวงในจังหวัดขอนแก่นเป็นกลุ่มวัยรุ่นกลางคนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น หากต้องการขยายตลาดจึงควรออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เน้นความเป็นไทย ทันสมัย และตอบสนองต่อความต้องการที่ตรงกลุ่มเป้าหมาย ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในธุรกิจบัวหลวง ไม่ว่าจะเป็นเกษตรกรผู้ผลิตบัวหลวง คนกลางทางการตลาด ผู้จำหน่ายดอกไม้ ร้านรับจัดดอกไม้หรือตกแต่งสถานที่ ควรพิจารณานำดอกบัวไปใช้ประดับตกแต่งตามลักษณะที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ จะสามารถเพิ่มช่องทางในการใช้และจำหน่ายดอกบัวได้เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2549. สถิติสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กฤษณ์ รื่นรมย์. 2558. การวิจัยการตลาด. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จินตน์กานต์ งามสุทธา. 2555. คู่มือการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับบัวหลวง. หนังสือพิมพ์กสิกร 5: 25-30.
- เดิมาศักดิ์ สุขวิบูลย์. 2552. ข้อคำนึงในการสร้างเครื่องมือประมาณค่า (rating scale) เพื่องานวิจัย. <http://www.ms.src.ku.ac.th> (10 ตุลาคม 2562).
- นราศรี ไวนิชกุล และชูศักดิ์ อุดมศรี. 2538. ระเบียบวิธีวิจัยธุรกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริวรรณ เสรีรัตน์, ศุภร เสรีรัตน์, ปณิศา มีจินดา, อรทัย เลิศวรรณวิทย์, ปริญ ลักษิตานนท์, อดิชา ปัทวานิช และจิระวัฒน์ อนุชานนท์. 2552. การบริหารการตลาดยุคใหม่. กรุงเทพฯ: ธรรมสาร.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2559. บัวหลวง. กรมส่งเสริมการเกษตร. http://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rotor/flower/tropics_zone/lotus (10 ตุลาคม 2562).
- สุปราณี วนิชานนท์. 2541. คู่มือการปลูกไม้ประดับ. นนทบุรี: สำนักพิมพ์เพื่อนเกษตร.
- อรรวรรณ วิชัยลักษณ์ และวรวิพันธุ์ สุวรรณเมฆ. ม.ป.ป. การผลิตบัวหลวงตัดดอก. กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.
- Assael, H. 1995. *Consumer behavior and marketing action*. 5th ed. The United of America: International Thomson.
- Cochran, W. G. 2007. *Sampling techniques*. New York: John Wiley & Sons.
- Phonpho, S. 2014. The relationship of lotus to Thai lifestyle in terms of religion, arts, and tradition. *Journal of Agricultural Technology* 10(6): 1353-1367.
- Rogers, E. M. 2003. *Diffusion of innovations*. 5th ed. New York: NY Free Press.
- Tzavaras, M., Tzimitra-Kalogianni, I., and Bourlakis, M. 2010. Consumer behaviour in the Greek floral market. *British Food Journal* 112(4): 403-415.

วันรับบทความ (Received date) : 10 มี.ค. 63

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 18 ธ.ค. 63

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 21 พ.ค. 64

ความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร

Self-Development Needs of Agricultural Promotions Officers,

Department of Agricultural Promotions

วรรณรีย์ คนขยัน¹ สมชัย อนุสนธิพรเพ็ญ² และธานินทร์ คงศิลา^{3*}

Wannaree Konkhayun¹, Somchai Anusontpornperm² and Tanin Kongsila^{3*}

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ปัจจัยส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร 2) ความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร และ 3) ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร กลุ่มตัวอย่าง คือ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สังกัดกรมส่งเสริมการเกษตร จำนวน 368 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบสอบถาม ผลการวิจัย พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ส่วนมาก เป็นเพศหญิง ร้อยละ 54.1 มีอายุระหว่าง 30-39 ปี ร้อยละ 48.9 มีประสบการณ์ในการทำงานในกรมส่งเสริมการเกษตรระหว่าง 6-10 ปี ร้อยละ 26.9 มีระดับการศึกษาในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 53.3 โดยสำเร็จการศึกษาในสาขาเกษตรศาสตร์ ร้อยละ 62.2 ความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.11) และด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.91) การศึกษาความสัมพันธ์ พบว่า อายุ ประสบการณ์ในการทำงาน และสาขาวิชาที่จบการศึกษา มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านงานส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร และด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

คำสำคัญ: นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร การพัฒนาตนเอง

Abstract

The purposes of this research were to study 1) the personal factors of agricultural promotions officers, 2) the needs for self-development of agricultural promotions officers, and 3) the relationship between personal factors and needs for self-development of agricultural promotions officers. The sample group consisted of 368 agricultural promotions experts. The research instrument was a questionnaire. The results showed that most of the agricultural promotion officers were female (54.1%), and aged 30-39 years old. 48.9% had work experience in the Department of Agricultural Promotions of 6-10 years, 26.9% had a bachelor's degree, and 53.3% were agriculture graduates. 62.2% of the officers said they needed to develop their skills in their roles as agricultural promotions officers, and that their needs were at a high level (mean 4.11). In term of their roles as community enterprise promotions staff, their needs for development were at a high level (mean 3.91). The study of the relationships between personal factors and need for self-development of agricultural promotions officers indicated that age, work experience, and educational level correlated with the need for self-development in the promotion of agricultural production and community enterprise promotion, with statistical significance at the level of 0.01.

Keywords: agricultural promotions officer, Department of Agricultural Promotions, self-development

¹ สาขาวิชาเกษตรเขตร้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² Tropical Agriculture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

³ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

³ ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author, Email: agrtnk@ku.ac.th

คำนำ

กรมส่งเสริมการเกษตรเป็นองค์กรที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้น การดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายขององค์กรต้องอาศัยบุคลากรทั้งส่วนกลางและส่วนภูมิภาคที่มีความรู้ ความสามารถที่ตรงกับสายงาน ตำแหน่ง และความรู้ในทักษะวิชาการที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ขับเคลื่อนงานให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ แผนยุทธศาสตร์ส่งเสริมการเกษตร ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) และแผนปฏิบัติงานระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2560-2564) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560) ซึ่งมีอยู่ 5 ยุทธศาสตร์หลัก โดยในยุทธศาสตร์ที่ 5 เป็นยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบุคลากรของกรมส่งเสริมการเกษตร ซึ่งมุ่งเน้นด้านการพัฒนาบุคลากรให้เป็น smart officer พัฒนาระบบข้อมูล สารสนเทศ และองค์ความรู้ เพิ่มประสิทธิภาพการประชาสัมพันธ์และสร้างการรับรู้พัฒนาสำนักงานให้เป็น smart office เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ พัฒนาองค์กรและการบริหารจัดการ สนับสนุนการวิจัยและพัฒนา เพื่อสร้างนวัตกรรมด้านการส่งเสริมการเกษตร โดยมีสำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี หน่วยงานภายในกรมส่งเสริมการเกษตรซึ่งรับผิดชอบการศึกษา วิเคราะห์ และวางแผนการพัฒนาทรัพยากรบุคคล พัฒนาระบบ วิธีการ และดำเนินการพัฒนาทรัพยากรบุคคล (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2561) ทั้งนี้ รวมถึงการพัฒนานักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ซึ่งปฏิบัติงานอยู่ทุกตำบลของประเทศไทย เป็นบุคลากรรัฐที่ใกล้ชิดกับเกษตรกร และมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการพัฒนาการเกษตรของประเทศ ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน (2556) ได้ระบุว่า มาตรการบริหารและพัฒนากำลังคนภาครัฐ (พ.ศ. 2557-2561) ประกอบด้วย มาตรการบริหารจัดการอัตรากำลังปกติ มาตรการบริหารจัดการอัตรากำลังปกติ และแนวทางการนำมาตรการดังกล่าวไปสู่การปฏิบัติ โดยแนวทางการทำงานส่งเสริมการเกษตรในปีงบประมาณ 2562 จะเป็นลักษณะการร่วมคิดร่วมตัดสินใจร่วมทำ ร่วมแก้ไขปัญหา และร่วมรับประโยชน์ โดยมุ่งเน้นการดำเนินงานใน 5 เรื่องหลัก ได้แก่ 1) สนับสนุนและขยายผลโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ 2) เพิ่มประสิทธิภาพกลไกขับเคลื่อนงานในพื้นที่ 3) มุ่งเน้นการส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรในลักษณะตลาดนำการผลิต 4) สร้างเกษตรกรรุ่นใหม่และพัฒนาเกษตรกรมืออาชีพ และ 5) เพิ่มขีดความสามารถในการบริหารจัดการองค์กรและสถานพลังทุกภาคส่วน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562) ซึ่งในการขับเคลื่อนงานส่งเสริมการเกษตรตามแนวทางการส่งเสริมการเกษตรของกรมส่งเสริมการเกษตรข้างต้น จำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความรู้และความสามารถเพื่อการปฏิบัติงานให้บรรลุตามเป้าประสงค์ (Hoffmann et al., 2000) ซึ่ง พันธจิตรต์ สีนะ และคณะ (2557) กล่าวว่า ระบบส่งเสริมการเกษตรมีหน้าที่โดยตรงต่อการพัฒนาความเข้มแข็งของเกษตรกรดังกล่าว เพื่อพัฒนาเกษตรกรไทยให้มีศักยภาพในการคิดวางแผน การพัฒนาระบบการผลิต และการจัดการผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยองค์กรส่งเสริมการเกษตรในภาครัฐมักมีโครงสร้างการบริหารจัดการที่เกี่ยวข้องกับประเด็นทางด้านเทคนิค ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการบริหาร การควบคุม การศึกษาและงานให้คำปรึกษา โดยอยู่ภายในหน่วยงานทางเทคนิค ได้แก่ กฎหมายการเกษตร เศรษฐศาสตร์ฟาร์ม การผลิตและการตลาดพืช การผลิตสัตว์ หรือการจัดการบ้านเรือนและโภชนาการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการทำงานส่งเสริมการเกษตรกว้างขวาง ขณะที่ Birner et al. (2006) ได้กล่าวไว้ว่า ไม่มีรูปแบบที่เหมาะสมหรือดีที่สุดสำหรับการให้บริการตามความต้องการ จุดประสงค์ และเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจงในการส่งเสริมการเกษตร ทางเลือกที่ดีที่สุดของวิธีการส่งเสริมการเกษตรขึ้นอยู่กับ 1) สภาพแวดล้อมทางนโยบาย 2) ความสามารถของผู้ให้บริการที่มีศักยภาพ 3) ประเภทของระบบการทำฟาร์มและการเข้าถึงตลาดของกลุ่มเป้าหมาย และ 4) ธรรมชาติของชุมชนท้องถิ่น รวมทั้งความสามารถในการให้ความร่วมมือ วิธีการส่งเสริมการเกษตรที่แตกต่างกันสามารถทำงานได้ดีในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ดังนั้น การพัฒนาบุคลากรดังกล่าวจำเป็นต้องทราบดีถึงความต้องการในการพัฒนาตนเองทั้งทางด้านความรู้เกี่ยวกับหน้าที่ความรับผิดชอบ และรูปแบบที่ใช้ในการพัฒนาของบุคลากรนั้น ๆ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ปัจจัยส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สังกัดกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ศึกษาความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร เพื่อจะเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดแนวทางการพัฒนาความรู้ให้ตรงกับความต้องการของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อจะนำไปสู่การทำงานในหน้าที่ให้มีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ คือ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สังกัด กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จำนวน 4,570 คน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560) ผู้วิจัยคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Yamane (สุรินทร์ นิยมมากร, 2556) และเนื่องจากการสุ่มตัวอย่างในที่นี้กำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 จึงได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 368 คน อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยดำเนินการส่งแบบสอบถามไปยังนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สังกัดกรมส่งเสริมการเกษตร

ทั้งหมดในรูปแบบอีเมล และได้แบบสอบถามที่ครบสมบูรณ์สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้จำนวน 368 ฉบับ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย 1) ปัจจัยพื้นฐานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร และ 2) ความต้องการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ด้านงานส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร และด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน จากนั้น นำแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความตรง (validity) ของเครื่องมือและปรับปรุงแก้ไข จากนั้น นำแบบสอบถามไปทดลองใช้ (try out) จำนวน 30 ชุด เพื่อทดสอบความเชื่อมั่น (reliability) ได้ค่า Cronbach's Alpha เท่ากับ 0.95 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลในการวิจัยต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความต้องการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ด้านงานส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร และด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน วัดระดับความต้องการแบบสเกลอันดับกลาง (interval class) ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้มาตรวัดแบบการจัดแบ่งระดับขั้น (rating scale) ด้วยวิธีการสร้างสเกลแบบ Likert scale โดยกำหนดค่าคะแนนความต้องการ 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ คำนวณช่วงกว้างระหว่างชั้นจากสูตร (สุรินทร์ นิยมามูร, 2556)

$$\begin{aligned}\text{อันดับกลางชั้น} &= \text{พิสัย/จำนวนชั้น} \\ &= (\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด})/\text{จำนวนชั้น} \\ &= (5-1)/5 \\ &= 0.80\end{aligned}$$

ดังนั้น เกณฑ์การสุรระดับความต้องการรายข้อและภาพรวมของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่เป็นกลุ่มตัวอย่างคือ

คะแนนเฉลี่ย	ความต้องการในการพัฒนาตนเอง
1.00 - 1.80	ความต้องการน้อยที่สุด
1.81 - 2.60	ความต้องการน้อย
2.61 - 3.40	ความต้องการปานกลาง
3.41 - 4.20	ความต้องการมาก
4.21 - 5.00	ความต้องการมากที่สุด

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้ chi-square ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปัจจัยส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ส่วนมากเป็นเพศหญิง ร้อยละ 54.1 และเพศชาย ร้อยละ 45.9 มีอายุ 30-39 ปี ร้อยละ 48.9 รองลงมา คือ 40-49 ปี ร้อยละ 34.2 และ 50-59 ปี ร้อยละ 15.8 และ 20-29 ปี ร้อยละ 1.1 มีประสบการณ์ในการทำงาน 6-10 ปี ร้อยละ 26.9 รองลงมา คือ 11-15 ปี ร้อยละ 26.4 และ 1-5 ปี ร้อยละ 15.5 มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 53.3 รองลงมา คือ ระดับปริญญาโท ร้อยละ 45.4 และระดับปริญญาเอก ร้อยละ 1.3 โดยสำเร็จการศึกษาในสาขาเกษตรศาสตร์ ร้อยละ 62.2 รองลงมา คือ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ร้อยละ 13.0 และสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ร้อยละ 11.4

ความต้องการในการพัฒนาตนเองของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

ความต้องการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตรของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการพัฒนาตนเองภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.11) โดยมีความต้องการ 3 อันดับแรกคือ 1) การเชื่อมโยงการตลาดสินค้าเกษตรระดับประเทศ (ค่าเฉลี่ย 4.20) 2) การใช้เทคโนโลยีด้านการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร (ค่าเฉลี่ย 4.17) และ 3) การพัฒนาการบรรจุ หีบห่อ ของสินค้าแปรรูปที่ทันสมัย (ค่าเฉลี่ย 4.17) ซึ่งการแปรรูป

ผลผลิตทางการเกษตร มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตทางการเกษตร ที่จะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าเกษตรได้ ประกอบกับปัจจุบันมีกลุ่มเกษตรกร สถาบันเกษตรกร ตลอดจนวิสาหกิจชุมชนจำนวนมาก ที่มีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และจำหน่ายตามท้องตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่ยังมีสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้มีคุณภาพที่แตกต่างกัน เนื่องจากผู้ประกอบการขาดความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิต การพัฒนามาตรฐานการผลิตและผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการบริหารจัดการ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่หลักหนึ่งของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่จะต้องเข้าไปมีบทบาท (Table 1)

Table 1 Needs for self-development of agricultural promotions officer; promoting agricultural processing.

Needs for self-development of agricultural promotions officer; promoting agricultural processing	Needs for self-development		
	$\bar{x}$	SD	Level
1. Basic knowledge of food processing and preservation	4.01	0.843	High
2. Product processing technology	4.17	0.833	High
3. Management of agricultural processing	4.04	0.852	High
4. Modern food processing technology	4.12	0.836	High
5. Promoting agricultural product processing to meet standards	4.14	0.804	High
6. Knowledge for improving the quality of processed products	4.12	0.793	High
7. Sale promotion of processed products for sale in the market	4.13	0.813	High
8. Modern packaging development of processed products	4.17	0.836	High
9. Linking the market of agricultural products at the national level	4.20	0.825	High
10. Value added agricultural products from processing	4.14	0.816	High
11. Groups of manufacturers of processed products from One Tambon One Product	4.07	0.857	High
12. Promote the processing of industrial field crop	4.04	0.859	High
13. Organize a forum to exchange knowledge which agricultural product processing that important	4.07	0.844	High
14. Promote vegetables, fruits, flowers, ornamental, and herbs processing	4.14	0.844	High
Total	4.11	0.770	High

ความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร (Table 2) พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการพัฒนาตนเองภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.91) โดยมีความต้องการ 3 อันดับแรกคือ 1) การถ่ายทอดความรู้ด้านการจัดการด้านการตลาด (ค่าเฉลี่ย 3.99) 2) การส่งเสริมการรวมกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (ค่าเฉลี่ย 3.93) และ 3) องค์ความรู้เพื่อพัฒนาคุณภาพผลผลิต/ผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 3.93) ซึ่งวิสาหกิจชุมชนเป็นกลไกหนึ่งที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจชุมชน โดยนำความรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่น และทรัพยากร มาผลิตสินค้าหรือบริการก่อให้เกิดการสร้างงาน สร้างรายได้ให้กับชุมชน ยังผลให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้ วิสาหกิจชุมชนจึงมีบทบาทต่อการสนับสนุนเศรษฐกิจชุมชน และส่งผลกระทบเชื่อมโยงต่อการสนับสนุนเศรษฐกิจของประเทศ การพัฒนารูปแบบของวิสาหกิจชุมชนยังผลให้ชุมชนพึ่งพาตนเองได้ และพัฒนาระบบเศรษฐกิจชุมชนให้มีความเข้มแข็งพร้อมสำหรับการแข่งขันทางการค้าในอนาคต รวมถึงก้าวไปสู่การเป็นผู้ประกอบการขนาดย่อมและขนาดกลางของเกษตรกรกลุ่มการเกษตรต่อไป

Table 2 Needs for self-development of agricultural promotions officer; community enterprise promotion.

Needs for self-development of agricultural promotions officer; community enterprise promotion	Needs for self-development		
	$\bar{x}$	SD	Level
1. Registration of community enterprise groups	3.87	0.804	High
2. Assessing the potential of community enterprise groups	3.87	0.784	High
3. Knowledge to improve product / product quality	3.93	0.780	High
4. Promoting the integration of community enterprise groups	3.93	0.782	High
5. Transfer of knowledge of group management	3.90	0.812	High
6. Transfer of knowledge in marketing management	3.99	0.820	High
7. Transfer of knowledge and access to funding	3.92	0.830	High
8. Creating a community enterprise development plan	3.91	0.792	High
9. Organizing a forum to exchange opinions on community enterprise groups	3.89	0.797	High
10. Evaluation of the success of the community enterprise group	3.86	0.785	High
Total	3.91	0.721	High

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรกับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร

เพศ ของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร

อายุ ของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีอายุ 20-39 ปี มีความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 50.0) อายุ 40-49 ปี มีความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 41.3) และอายุ 50-59 ปี มีความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 50.0)

ประสบการณ์ในการทำงาน มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีประสบการณ์ในการทำงาน 1-5 ปี มีระดับความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 61.4) ประสบการณ์ในการทำงาน 6-10 ปี มีความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 44.4) ประสบการณ์ในการทำงาน 11-15 ปี มีความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 54.6) เนื่องจากเป็นวัยทำงานและมีความกระตือรือร้นใส่ใจในงานใหม่ ๆ ที่ตนเองยังขาดประสบการณ์และความรู้ ประสบการณ์ในการทำงาน 16-20 ปี มีความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 55.5) และประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า 20 ปี มีความต้องการในการพัฒนาตนเองอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 52.9)

ระดับการศึกษา ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร เนื่องจากในหน้าที่ของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร จะต้องเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมในทุกภารกิจของการส่งเสริมการเกษตร ดังนั้น ทุกระดับการศึกษาจึงมีความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านนี้

สาขาวิชาที่จบการศึกษา มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยคนที่จบสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มีระดับความต้องการในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 48.0) รองลงมา คือ ปานกลาง (ร้อยละ 27.1) และระดับมาก (ร้อยละ 24.9) ส่วนจบการศึกษาสาขาวิชาอื่น ๆ มีระดับความต้องการในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 44.6) รองลงมา คือ ระดับมากที่สุด (ร้อยละ 33.8) และระดับปานกลาง (ร้อยละ 21.6) โดยค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความน่าจะเป็น (p-value) ของความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงใน Table 3

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรกับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน

เพศ ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน โดยนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรเพศชาย มีความต้องการอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 39.1) รองลงมา คือ ระดับมาก (ร้อยละ 35.5) และระดับมากที่สุด (ร้อยละ 25.4) ส่วนเพศหญิง มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 36.7) รองลงมา คือ ระดับมากที่สุด (ร้อยละ 33.7) และระดับปานกลาง (ร้อยละ 29.6)

อายุ มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีอายุ 20-39 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 45.1) รองลงมา คือ ระดับมากที่สุด (ร้อยละ 28.3) และ อายุ 40-49 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 38.9) รองลงมา คือ ระดับมากที่สุด (ร้อยละ 35.7) และระดับมาก (ร้อยละ 25.4) อายุ 50-59 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 46.6) รองลงมา คือ ระดับมาก (ร้อยละ 31.0) และระดับมากที่สุด (ร้อยละ 22.4) ดังนั้นนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีอายุ 20-39 ปี มีความต้องการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนมากกว่ากลุ่มอายุอื่น ๆ อย่างชัดเจน เนื่องจากกลุ่มอายุนี้นี้เพิ่งเริ่มรับราชการ จึงมีความสนใจในงานนี้เพราะเป็นงานที่ต้องปรับตัวและเรียนรู้ใหม่ที่ไม่ได้เรียนรู้มาจากเดิม และจากการปฏิบัติงานที่ผ่านมาได้พบปะกลุ่มวิสาหกิจต่าง ๆ ทำให้เกิดความสนใจในการเพิ่มความรู้ความเข้าใจในด้านนี้มากขึ้น

ประสบการณ์ในการทำงาน มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีประสบการณ์ในการทำงาน 1-5 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 38.6) รองลงมา คือ ระดับมากที่สุด (ร้อยละ 36.8) และระดับปานกลาง (ร้อยละ 24.6) ประสบการณ์ในการทำงาน 6-10 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 42.4) รองลงมา คือ ระดับปานกลาง (ร้อยละ 35.4) และระดับมากที่สุด (ร้อยละ 22.2) ประสบการณ์ในการทำงาน 11-15 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 42.3) รองลงมา คือ ระดับมาก (ร้อยละ 32.0) และระดับปานกลาง (ร้อยละ 25.7) ประสบการณ์ในการทำงาน 16-20 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 35.6) รองลงมา คือ ระดับปานกลาง (ร้อยละ 35.6) และระดับมากที่สุด (ร้อยละ 28.8) ประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า 20 ปี มีความต้องการอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 50.0) รองลงมา คือ ระดับมาก (ร้อยละ 31.4) และระดับมากที่สุด (ร้อยละ 18.6)

ระดับการศึกษา ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน ซึ่งนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร มีระดับการศึกษาปริญญาตรี และสูงกว่าปริญญาตรี ซึ่งมีหน้าที่งานรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องที่เหมือนกัน ในหน้าที่ที่นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

สาขาวิชาที่จบการศึกษา มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรจบการศึกษาด้านสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 36.3) รองลงมา คือ ระดับมาก (ร้อยละ 32.3) และระดับปานกลาง (ร้อยละ 31.4) ส่วนที่จบการศึกษาด้านสาขาวิชาอื่น ๆ มีความต้องการอยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 42.4) รองลงมา คือ ระดับปานกลาง (ร้อยละ 38.2) และระดับมากที่สุด (ร้อยละ 19.4) โดยค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความน่าจะเป็น (p-value) ของความสัมพันธ์ได้แสดงใน Table 3

Table 3 The relationship between personal factors and needs for self-development of agricultural promotions officer.

Personal factors	Needs for self-development of agricultural promotions officer			
	Promoting agricultural processing		Community enterprise promotion	
	$\bar{x}$	P-value	$\bar{x}$	P-value
1. Gender	2.396	0.302	4.483	0.106
2. Age	15.826**	0.003	17.734**	0.000
3. Experience	57.931**	0.000	21.725**	0.005
4. Educational level	0.573	0.751	4.682	0.096
5. Field of study	15.539**	0.000	11.783**	0.003

** = Significant at $P < 0.01$.

นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร จะมีหน้าที่รับผิดชอบงานตามภารกิจหลักทั้งหมด 7 ส่วน คือ งานส่งเสริมพืชไร่ งานส่งเสริมข้าว งานส่งเสริมพืชสวน งานส่งเสริมการผลิตผัก งานส่งเสริมไม้ดอกไม้ประดับ งานส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร งานส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน และงานกลุ่มส่งเสริมเกษตรกร/สถาบัน ซึ่งการพัฒนาตนเองสำหรับการปฏิบัติงานตามภารกิจทั้งหมด และในบางเรื่องโดยเฉพาะเจาะจง เช่น ทางด้านโรคแมลงศัตรูพืช ทั้งในกรณีของพืชไร่ ข้าว และไม้ผล รวมถึงวิธีการชีววิธีที่ใช้ในการควบคุมกำจัด และระบบเกษตรอินทรีย์ตามมาตรฐานในกรณีของข้าว โดยภาพรวม นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีการศึกษาระดับปริญญาตรีขึ้นไป จึงมีความต้องการพัฒนาตนเองผ่านการฝึกอบรมมากกว่าการศึกษาต่อ และจากการที่ส่วนใหญ่มีอายุงานไม่มากนักจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาตนเองด้านที่เกี่ยวกับนักบริหารส่งเสริมการเกษตร การสนองนโยบายของกรมส่งเสริมการเกษตร และทักษะการถ่ายทอดความรู้ทางการเกษตร ซึ่งในกรณีหลังเกี่ยวข้องกับประสบการณ์การทำงานซึ่งยังมีอยู่น้อย ขณะที่ความรู้เฉพาะด้านที่มีความต้องการในการพัฒนามากจะเป็นเรื่องที่เป็นปัญหาสำคัญของเกษตรกร เช่น โรคแมลงศัตรูพืชในพืชชนิดต่าง ๆ และวิทยาการใหม่ด้านชีววิธีที่ใช้ในการควบคุมกำจัด รวมถึงระบบเกษตรอินทรีย์ตามมาตรฐานในกรณีของข้าว

การส่งเสริมการเกษตรมีความสำคัญต่อการเกษตร เพื่อช่วยในการพัฒนาขีดความสามารถในการผลิตของเกษตรกรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้โดยการนำเอาวิทยาการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาถ่ายทอด แนะนำ และส่งเสริมให้เกษตรกรได้นำไปปฏิบัติ ซึ่งย่อมจะเกิดการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการเกษตรให้ดีขึ้น นอกจากนี้ การส่งเสริมการเกษตรมีความสำคัญต่อประเทศชาติด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม และในมิติการพัฒนาการเกษตรของประเทศไทย ในด้านการแก้ไขปัญหาหรือขจัดความยากจน เพื่อลดความเหลื่อมล้ำด้านรายได้ของเกษตรกร การส่งเสริมการเกษตรที่มีประสิทธิภาพจะเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาการเกษตรของประเทศให้ดีขึ้น (พงษ์ศักดิ์ อังสิทธิ์, 2551) การพัฒนาศักยภาพบุคลากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการส่งเสริมการเกษตรจึงเป็นสิ่งสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาด้านความรู้ เทคโนโลยี และเทคนิควิธีในการเข้าถึงและแก้ไขปัญหาทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่ยังมีอายุน้อย ทำให้มีประสบการณ์ในตำแหน่งน้อย ขณะที่ภารกิจมีความหลากหลาย การพัฒนาโดยการสนับสนุนให้มีการศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้นจำเป็นต้องระบุสาขาที่จะทำการศึกษาที่ชัดเจน เหมาะสมต่อการนำความรู้ที่ได้มาพัฒนางานตามภารกิจ การพัฒนาเพื่อเพิ่มพูนความรู้ผ่านการฝึกอบรมและดูงานควรมีความเฉพาะเจาะจงและตรงกับรูปแบบเกษตรกรรมในพื้นที่ที่รับผิดชอบ โดยสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปช่วยให้คำปรึกษา หรือแก้ไขปัญหาให้กับเกษตรกร ทั้งนี้ เพื่อให้เกษตรกรมีความเชื่อถือเชิงประจักษ์ด้านความรู้ความสามารถของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร และเกิดความร่วมมือด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

สรุปผลการศึกษา

จากการวิจัยความต้องการการพัฒนาด้านของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สังกัดกรมส่งเสริมการเกษตร ครังนี้ พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ส่วนมาก เป็นเพศหญิง ร้อยละ 54.1 มีอายุระหว่าง 30-39 ปี ร้อยละ 48.9 มีประสบการณ์ในการทำงานในกรมส่งเสริมการเกษตรระหว่าง 6-10 ปี ร้อยละ 26.9 มีระดับการศึกษาในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 53.3 โดยสำเร็จการศึกษาในสาขาเกษตรศาสตร์ ร้อยละ 62.2

ความต้องการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตรของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการพัฒนาตนเองภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.11) และเมื่อพิจารณารายละเอียด พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการพัฒนาตนเองในระดับมากทุกข้อ ดังนี้ การเชื่อมโยงการตลาดสินค้าเกษตรระดับประเทศ การใช้เทคโนโลยีด้านการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร การพัฒนาการบรรจุ หีบห่อ ของสินค้าแปรรูปที่ทันสมัย ส่งเสริมแปรรูปพืชผัก ไม้ผล ไม้ดอกไม้ประดับ สมุนไพร การเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรจากการแปรรูป การส่งเสริมการแปรรูปสินค้าเกษตรตรงตามมาตรฐาน ส่งเสริมการจำหน่ายผลผลิตที่แปรรูปเพื่อออกขายสู่ตลาด เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารที่ทันสมัย องค์ความรู้เพื่อพัฒนาคุณภาพผลผลิตที่แปรรูป การรวมกลุ่มผู้ผลิตสินค้าแปรรูปหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ การจัดเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้การแปรรูปสินค้าเกษตรที่สำคัญ การส่งเสริมการแปรรูปพืชไร่อุตสาหกรรม การบริหารจัดการแปรรูปด้านการเกษตร และความรู้เบื้องต้นด้านการแปรรูปและถนอมอาหาร ตามลำดับ และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรกับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร พบว่า อายุ ประสบการณ์ในการทำงาน และสาขาวิชาที่จบการศึกษา มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านงานส่งเสริมการแปรรูปทางการเกษตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนเพศ และระดับการศึกษา ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการพัฒนาตนเอง

ความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการพัฒนาตนเองภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.91) และเมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการพัฒนาตนเองในระดับมาก ทุกข้อ ดังนี้ การถ่ายทอดความรู้ด้านการจัดการด้านการตลาด การส่งเสริมการรวมกลุ่มวิสาหกิจชุมชน องค์ความรู้เพื่อพัฒนาคุณภาพผลผลิต/ผลิตภัณฑ์ การถ่ายทอดความรู้การเข้าถึงแหล่งทุน การจัดทำแผนพัฒนากลุ่มวิสาหกิจชุมชน การถ่ายทอดความรู้ด้านการบริหารกลุ่ม การจัดเวทีแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชน การจดทะเบียนกลุ่มวิสาหกิจชุมชน การประเมินศักยภาพของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และการประเมินผลสำเร็จของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรกับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน พบว่า อายุ ประสบการณ์ทำงาน และสาขาที่จบการศึกษา มีความสัมพันธ์กับความต้องการในการพัฒนาตนเองด้านการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนเพศ และระดับการศึกษา ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการพัฒนาตนเอง

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

กรมส่งเสริมการเกษตร ควรจัดการพัฒนานักวิชาการส่งเสริมการเกษตรในด้านการเชื่อมโยงการตลาดสินค้าเกษตรระดับประเทศ การใช้เทคโนโลยีด้านการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร การถ่ายทอดความรู้ด้านการจัดการด้านการตลาด การส่งเสริมการรวมกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เป็นต้น เนื่องจากนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการในระดับมาก ประกอบกับการส่งเสริมการเกษตรปัจจุบัน นอกเหนือจากการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการผลิตแล้ว การตลาดและการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2560. *แผนยุทธศาสตร์ส่งเสริมการเกษตร ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) และแผนปฏิบัติงานระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2560-2564)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2561. *วิสัยทัศน์และอำนาจหน้าที่ของสำนักงานการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2562. *แนวทางการดำเนินงานกรมส่งเสริมการเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2562*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- พงษ์ศักดิ์ อังกลสิทธิ์. 2551. *การส่งเสริมการเกษตรเพื่อการพัฒนา*. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- พันธจิตต์ สีเหนียง, โชตนา ลิ้มสอน, เสาวลักษณ์ ฤทธิอนันต์ชัย และชัยกร สีเหนียง. 2557. ความคิดเห็นของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรต่อระบบส่งเสริมการเกษตร: กรณีศึกษาพื้นที่ภาคกลาง. *Veridian* 7(6): 613-626.
- สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน. 2556. *HR in an ageing world รวบรวมบทความการบริหารทรัพยากรคนรุ่นใหม่*. นนทบุรี: บริษัท อัททรรักษ์ จำกัด.
- สุรินทร์ นิยมมางกูร. 2556. *ระเบียบวิธีวิจัยทางสังคมศาสตร์และสถิติที่ใช้*. กรุงเทพฯ: บัณฑิต ภู.
- Birner, R., Davis, K., Pender, J., Knonya, E., Anandajayasekeram, P., Ekboir, J., Mbabu, A., et al. 2006. *From best practice to best fit: A framework for analyzing pluralistic agricultural advisory services worldwide*. DC: International Food Policy Research Institute.
- Hoffmann, V., Lamers, J., and Kidd, A. D. 2000. *Reforming the organization of agricultural extension in Germany: Lessons for other countries*. Agricultural Research & Extension Network, Network paper, No. 98.
- Krejcie, R. V., and Morgan, D. W. 1970. Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement* 30: 607-610.

วันรับบทความ (Received date) : 9 ก.ค. 61

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 12 ธ.ค. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 3 ส.ค. 61

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง

The Optimum Conditions for the Production of
Dried Osmotic Dehydrated Karanda (*Carissa carandas* L.)ภาสุรี ฤทธิเลิศ^{1*}
Pasuree Rittilert^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้ผลที่มีระยะกึ่งสุกแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8% (w/v) ในช่วงการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิสและศึกษาปริมาณน้ำคั้นจากผลที่มีระยะสุกเต็มลงในสารละลายออสโมติก ความเข้มข้น 0, 10, 15, 20 และ 25% (w/v) ด้วยกระบวนการออสโมซิสแบบเร็ว จากนั้นทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วลมเฉลี่ย 4.2 m/s เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า การแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.6% สามารถปรับปรุงลักษณะปรากฏของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และมีคะแนนความชอบรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเติมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ 25% สามารถปรับปรุงสีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยมีคะแนนความชอบด้านสีสูงในระดับชอบมาก (8.15 ± 0.87 คะแนน) และคะแนนความชอบรวมมากที่สุด ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้การเติมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่จากผลสุกสามารถเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดให้กับผลิตภัณฑ์สุดท้าย และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 CFU/g ยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่สามารถเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานินและปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง

คำสำคัญ: มะม่วงหาวมะนาวโห่ การแช่อิ่มอบแห้ง แอนโทไซยานิน

Abstract

The purpose of this research was to produce osmotically dehydrated Karanda (*Carissa carandas* L.) The Karanda fruits at the half-ripened stage were soaked in calcium chloride concentrations of 0, 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8% (w/v) during the preparation of ingredients before the osmotic dehydration process. The Karanda fruit juices were studied from ripened stage fruits added to 0, 10, 15, 20, and 25% (w/v) osmotic solution using a fast osmotic dehydration process. Next, the fruits samples were dried at a temperature of 60°C in moving air that had an average air velocity of 4.2 m/s for 6 hours. The experimental results indicated that a soaking in 0.6% calcium chloride solution was able to improve the appearance of the finished products compared to control treatment, and resulted in overall preference score at the highest level with a statistical significance level of $P \leq 0.05$. Furthermore, the addition of 25% Karanda juice improved the color of the finished products, resulting in color preference at a very high level (8.15 ± 0.87 points) and the highest overall preference score ($P \leq 0.05$). The addition of Karanda juice at the fully-ripened stage increased the total anthocyanin contents of the finished products. Total microbial count values were less than 25 CFU/g, and yeast and mold levels were less than 10 CFU/g. This study suggested that the addition of Karanda juice could be used to increase the anthocyanin content and improve the sensory quality of osmotically dehydrated Karanda.

Keywords: Karanda, osmotically dehydrated, anthocyanin

¹ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 13180

¹ Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Klong Luang, Pathum Thani 13180

*Corresponding author, Email: ps.rittilert@gmail.com

คำนำ

มะม่วงหาวมะนาวโห่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carissa carandas* L. มีชื่อสามัญ Karanda เป็นผลไม้โบราณพื้นเมืองที่สามารถเก็บเกี่ยวผลได้ตลอดทั้งปี แต่จะมีมากในช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม ผลเป็นรูปทรงกลมรี ผิวเรียบ ผลอ่อนมีสีเขียวรสเปรี้ยวมาก ผลแก่เป็นสีชมพูจนเป็นสีแดงเข้มจนเกือบดำ เมื่อผลสุกจัดเป็นสีม่วงดำ มีรสออกหวานเล็กน้อย (Maheshwari et al., 2012; Kumar et al., 2013) จากข้อมูลงานวิจัยมีการรายงานถึงองค์ประกอบทางพฤกษเคมี (phytochemical composition) ของมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยพบสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน (Sarkar et al., 2018) สุภาพร พักเงิน และศิริประภา มีรอด (2560) วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของลูกมะม่วงหาวมะนาวโห่ระยะผลสุกกอม (ผลมีสีม่วงเข้ม) พบแอนโทไซยานินได้ทั้งในเปลือกและเนื้อของมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 2 ชนิด คือ ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และเพลาโรนินิดิน-3-กลูโคไซด์ เท่ากับ 181.66 และ 157.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจึงมีประโยชน์ต่อร่างกาย จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสุกต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่ของ วชิราภรณ์ ผิวล่อง และคณะ (2556) พบว่าผลสุกให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด ในขณะที่ผลดิบ (ผลมีสีเขียวอมเขียว) มีปริมาณของวิตามินซีสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะผลกึ่งสุก (ผลมีสีชมพูอมชมพู) และระยะผลสุก (ผลมีสีชมพูเข้มถึงม่วง) ผลไม้อบแห้งเป็นสินค้าส่งออกอีกชนิดหนึ่งที่มีแนวโน้มในการขยายการผลิตและการตลาดเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580 การเกษตรสร้างมูลค่า (สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ, 2561) ผลไม้อบแห้งนอกจากจะใช้บริโภคโดยตรงเป็นอาหารว่างแล้ว ยังสามารถใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารพร้อมรับประทาน (ready to eat fruit cereal) หรืออาหารเสริมสุขภาพประเภทมูสลี่ (muesli) และผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอื่นด้วย เช่น ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น ในการผลิตผลไม้อบแห้งเป็นวิธีการแปรรูปผลไม้สดให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน นิยมนำผลไม้มาผ่านกระบวนการแช่แข็งก่อนการอบแห้ง โดยการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) โดยการแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลหรือเกลือ ซึ่งเป็นตัวถูกละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าในตัวอย่าง น้ำในตัวอย่างจะเคลื่อนที่ออก ส่วนตัวถูกละลายในสารละลายจะเคลื่อนที่เพื่อลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (Raoult-Wack, 1994) เพื่อลดปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ก่อนนำไปอบแห้ง จึงช่วยลดเวลาการอบแห้งลงได้ อีกทั้งยังทำให้เนื้อสัมผัสและรสชาติดีกว่าผลไม้อบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส อย่างไรก็ตามอาจทำให้แรงกดหรือสารสีในเนื้อเยื่อผลไม้แพร่ออกสู่สารละลาย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการแช่แข็งมีสีซีด และอาจส่งผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ในการรักษาคุณภาพของผลไม้แปรรูป มีการใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แปรรูปมีเนื้อสัมผัสคงตัวและคงรูปดีขึ้น (Stanley et al., 1995) Luna-Guzman et al. (1999) ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่แคนตาลูปหลังการตัดแต่ง พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1-5 ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ส่วนงานวิจัยของ รวงนลิน เทพนวล และคณะ (2563) ศึกษาการแช่สะดอสดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2 (โดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 5 นาที ก่อนการนำสะดอสดไปอบแห้ง พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบสะดอสดอบแห้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่มะม่วงหาวมะนาวโห่ที่มีระยะผลกึ่งสุกต่อคุณภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่แข็ง และศึกษาการใช้ประโยชน์จากมะม่วงหาวมะนาวโห่ระยะผลสุก โดยศึกษาผลของปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่จากผลสุกในขั้นตอนการออสโมซิสต่อคุณภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่แข็ง

วิธีการศึกษา

ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลมะม่วงหาวมะนาวโห่

ผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้ในการทดลองเป็นผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่มีระยะการพัฒนารูปของผลหลังดอกบาน 59 วัน (ผลกึ่งสุกมีสีชมพูปนชมพู) และระยะการพัฒนารูปของผลหลังดอกบาน 74-82 วัน (ผลสุกมีสีแดงเข้มจนถึงม่วงดำ) จากสวนของเกษตรกร ตำบลบางพลีน้อย อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ โดยบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนลงในกล่องกระดาษ และขนส่งด้วยรถโดยสารประจำทาง เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง มายังคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จากนั้นนำมาล้างให้สะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปวัดค่าสีในระบบ CIE L*, a* และ b* ด้วยเครื่อง color reader รุ่น CR-10 (ยี่ห้อ Minolta, Japan) ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter รุ่น Cyberscan (ยี่ห้อ Eutech, Singapore) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วย digital refractometer (Model PASL-18S; Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan) อ่านค่าเป็น °Brix

การศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง

การเตรียมมะม่วงหาวมะนาวโห่ ตามวิธีการของ ภาสุรี ฤทธิเลิศ (2560) โดยใช้ผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่มีระยะการพัฒนาดอกของผลหลังดอกบาน 59 วัน (ผลกึ่งสุกมีสีขาวปนชมพู) นำมาล้างน้ำให้สะอาด ผ่าครึ่ง แล้วคว้านเมล็ดออก แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) อัตราส่วนของมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อสารละลายเป็น 1:1 (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อล้างยางของผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง แล้วผึ่งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่เตรียมได้มาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 (w/v) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปแช่อิ่มอบแห้ง โดยนำมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นมาเคี่ยวในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 35 บริกซ์ ด้วยไฟปานกลางเป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมน้ำตาลจนกระทั่งน้ำเชื่อมมีความเข้มข้นเท่ากับ 65 บริกซ์ จากนั้นนำมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ผ่านการแช่อิ่มแล้วไปล้างในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ผึ่งให้แห้ง และทำแห้งด้วยลมร้อน (hot air drying) โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด (tray dryer) (กล้วยน้ำไท, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเฉลี่ย 4.2 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งไปวัดค่าสีในระบบ CIE L*, a* และ b* ด้วยเครื่อง color reader รุ่น CR-10 (ยี่ห้อ Minolta, Japan) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) โดยใช้เครื่อง Aqualab รุ่น 3 (Decagon, USA) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ใช้สเกลความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic rating scale) กำหนดให้ระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด จนถึงระดับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 20 คน เป็นนักศึกษาศาสาวิชาศาสตรและเทคโนโลยอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

การศึกษาปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อคุณภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง

การเตรียมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ ตามวิธีการของ ภาสุรี ฤทธิเลิศ (2560) โดยใช้ผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่มีระยะการพัฒนาดอกของผลหลังดอกบาน 74-82 วัน (ผลสุกมีสีแดงเข้มจนถึงม่วงดำ) นำมาล้างน้ำให้สะอาด ผ่าครึ่ง แล้วคว้านเมล็ดออก แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) อัตราส่วนของมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อสารละลายเป็น 1:1 (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อล้างยางของผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่น รุ่น EM-SMART4 (ยี่ห้อ Sharp, ประเทศไทย) ที่ความเร็วระดับ 2 นาน 3 นาที กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง จะได้น้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่

การแช่อิ่มอบแห้ง โดยนำมะม่วงหาวมะนาวโห่ระยะการพัฒนาดอกของผลหลังดอกบาน 59 วัน (ผลกึ่งสุกมีสีขาวปนชมพู) ที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมไปเคี่ยวในน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 (w/v) ตามขั้นตอนการแช่อิ่มอบแห้งดังกล่าว และประเมินคุณภาพเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้น

การศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้ายของผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งที่ผู้บริโภคมารับมาทำการศึกษาผลิตภัณฑ์สุดท้ายทางด้านคุณภาพทางเคมี และจุลินทรีย์ โดยวัดปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล (pH-differential method) ตามวิธีการของ สุภาพร พักเงิน และศิริประภา มีรอด (2560) ด้วยการสกัดตัวอย่างในสารละลายไฮโดรคลอริกในเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (BAM, 2001)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และข้อมูลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS เวอร์ชัน 17

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลมะม่วงหาวมะนาวโห่

ผลกึ่งสุกของมะม่วงหาวมะนาวโห่มีสีขาวปนชมพู ทำให้มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่าผลสุกซึ่งมีสีแดงอมดำ (Figure 1) โดยผลสุกมีความเปรี้ยวน้อยกว่าผลกึ่งสุก จึงมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงกว่าผลกึ่งสุก และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากกว่าผลกึ่งสุก (Table 1) เนื่องจากตามระยะการพัฒนาดอกของผลไม้ทั่วไป เมื่อผลเริ่มสุกค่า pH จะเพิ่มขึ้น ความเป็นกรดลดลง ความหวานจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการย่อยสลาย (hydrolysis) ของแป้งเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลตามกระบวนการสุกของผลไม้ (Fawole and Opara, 2013) ปริมาณกรดในผลไม้ส่วนใหญ่ที่ลดลง

เกิดเนื่องจากการจะถูกนำไปใช้เป็นสารประกอบของการหายใจ (respiratory substrates) และสร้างโครงคาร์บอน (carbon skeleton) ของการสังเคราะห์สารชนิดใหม่ในระหว่างการสุก (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2542; Jiménez et al., 2011) ในทำนองเดียวกับการรายงานของ ธนิตยา พุทธิมี และคณะ (2561) พบว่า ผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นตามระยะการพัฒนารูปของผล เช่นเดียวกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการพัฒนารูปของผล แต่เมื่อผลเริ่มสุก ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เริ่มลดลง และยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อผลสุกแก่



Figure 1 Appearance of Karanda fruits (A) half-ripened and (B) fully-ripened stage.

Table 1 Physicochemical properties of Karanda fruits half-ripened and fully-ripened stage.

Physicochemical properties	Fruit ripening stage	
	Half-ripened	Fully-ripened
pH	2.67 ^b ±0.01	3.49 ^a ±0.02
Total soluble solid (°Brix)	7.17 ^b ±0.06	11.50 ^a ±0.69
Color		
Lightness (L*)	55.00 ^a ±1.52	26.17 ^b ±0.45
Redness (a*)	27.20 ^a ±2.58	6.10 ^b ±1.47
Yellowness (b*)	13.40 ^a ±0.41	1.57 ^b ±0.53

^{a-b} Different letters in the same row mean significantly different (P≤0.05).

ผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง

ลักษณะปรากฏของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง (Figure 2) พบว่า มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง มีสีไม่สม่ำเสมอ โดยเปลือกและเนื้อมีสีเหลืองปนชมพู เนื่องจากมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ใช้เป็นระยะสุกที่ผลมีสีขาวปนชมพู จึงทำให้สีเปลือกและสีเนื้อเป็นสีขาวปนชมพูด้วย โดย ธนิตยา พุทธิมี และคณะ (2561) รายงานว่า สีเปลือกของผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มีผลโดยตรงต่อการรับแสง บริเวณที่ได้รับแสงมากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็ว โดยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีแดง ในระยะผลสุก ทำให้สีเปลือกและสีเนื้อบางส่วนมีทั้งสีขาวและสีชมพู นอกจากนี้การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น การเกาะติดกันของเปลือกและเนื้อของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง จึงดีขึ้นที่ระดับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.6-0.8 อธิบายได้ว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์ช่วยให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงขึ้น โดยแคลเซียมคลอไรด์ไอออน (Ca^{2+}) สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทินที่อยู่บริเวณ middle lamella และผนังเซลล์ เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสายพอลิกลาแล็กทูโรไนด์ (polygalacturonide) และประจุของแคลเซียมไอออน โดยแคลเซียมไอออนทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสายพอลิกลาแล็กทูโรไนด์สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายพอลิกลาแล็กทูโรไนด์อีกสายหนึ่ง เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model ได้เป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตตซึ่งไม่ละลายน้ำ (Luna-Guzmán et al., 1999) และเชื่อมให้ผนังเซลล์ติดกัน เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ช่วยรักษาความคงรูปของเนื้อผลไม้ได้ ในทำนองเดียวกันงานวิจัยของ Luna-Guzmán and Barrett (2000) ศึกษาผลของการแช่แคนตาลูปชนิดพร้อมบริโภค (fresh-cut) ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ซึมเข้าไปในเนื้อแคนตาลูปมีค่ามากขึ้นและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

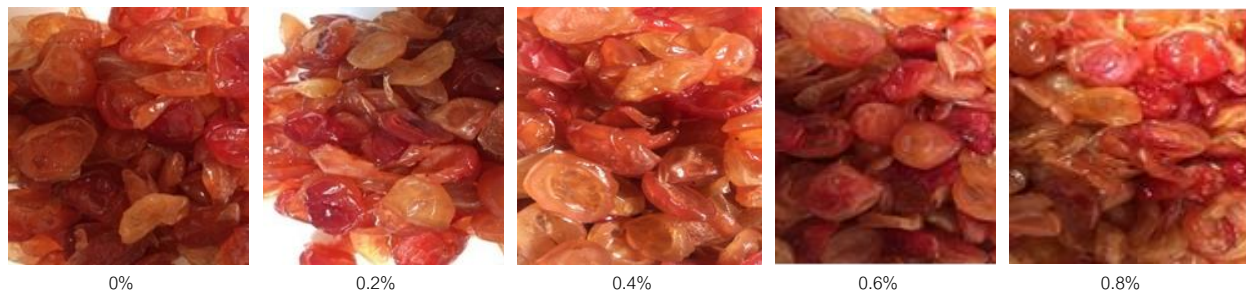


Figure 2 Appearance of osmotic dehydrated Karanda with different calcium chloride concentrations.

ค่าสี พบว่ามะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งมีค่า L^* และ a^* ลดลง ค่า b^* มีค่าเข้าใกล้ความเป็นสีเหลืองมาก แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 2) ส่วนค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่ามะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งมีค่า a_w เท่ากับ 0.4 อาจเนื่องมาจากการแช่อิ่มเป็นการใช้สารละลายน้ำตาล ซึ่งน้ำตาลซูโครสทำหน้าที่เป็นสารละลายออสโมติก เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการให้ความร้อน ส่งผลให้น้ำสามารถแพร่ออกจากชิ้นผลไม้ได้มากขึ้น ประกอบกับขั้นตอนการทำแห้งจึงช่วยลดความชื้นของชิ้นผลไม้จนถึงจุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ คือมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6

Table 2 Color and water activity (a_w) of osmotic dehydrated Karanda with different calcium chloride concentrations.

CaCl ₂ (w/v%)	Color			a_w^{ns}
	L^*^{ns}	a^*^{ns}	b^*^{ns}	
0	34.37±1.60	2.07±0.85	8.67±0.60	0.40±0.00
0.2	33.83±0.72	1.93±0.51	8.23±2.05	0.40±0.00
0.4	33.93±0.55	1.50±0.30	8.87±2.01	0.40±0.00
0.6	33.40±0.10	1.67±0.21	7.67±0.47	0.40±0.00
0.8	32.73±5.51	1.37±0.42	8.50±1.30	0.40±0.00

^{ns} Means in the same column not significant different ($P>0.05$).

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังแสดงไว้ใน Table 3 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมผลิตภัณฑ์ที่แช่เคลือบเคลือบไรต์ร้อยละ 0.6 มีคะแนนความชอบรวมมากที่สุด โดยอยู่ในระดับชอบปานกลาง รวมถึงมีคะแนนประเมินด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสสูงสุด เนื่องจากมะม่วงหาวมะนาวโห่มีเนื้อสัมผัสไม่แข็ง ไม่เหนียว และผลิตภัณฑ์มีเนื้อไม่หลุดออกจากเปลือก ส่วนการใช้เคลือบเคลือบไรต์ร้อยละ 0.8 ผู้บริโภครายงานว่า ผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งมีเนื้อสัมผัสเหนียวและแข็ง ดังนั้นจึงเลือกการแช่มะม่วงหาวมะนาวโห่ในสารละลายเคลือบเคลือบไรต์ร้อยละ 0.6 ในการทดลองขั้นต่อไป

Table 3 Sensory evaluation of osmotic dehydrated Karanda with different calcium chloride concentrations.

CaCl ₂ (w/v%)	Appearance	Color ^{ns}	Flavor ^{ns}	Taste ^{ns}	Texture	Overall liking
0	6.17 ^b ±1.46	5.85±0.96	5.42±1.21	5.63±0.88	5.82 ^b ±1.22	6.10 ^b ±1.03
0.2	5.75 ^b ±1.19	5.44±0.99	5.58±1.19	5.62±1.83	6.10 ^b ±0.88	6.22 ^b ±1.08
0.4	5.53 ^b ±1.40	5.76±0.98	5.82±0.99	6.08±1.00	5.97 ^b ±0.91	5.90 ^b ±1.03
0.6	7.33 ^a ±1.02	5.85±0.73	5.90±1.03	6.06±0.67	7.76 ^a ±0.66	8.25 ^a ±0.67
0.8	5.83 ^b ±1.48	5.83±1.06	5.76±1.43	5.83±1.00	6.18 ^b ±0.99	6.23 ^b ±0.84

^{ns} Means in the same column not significant different ($P>0.05$)

^{a-b} Different letters in the same column mean significantly different ($P\leq 0.05$)

ผลของปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อคุณภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง

จากการแช่มะม่วงหาวมะนาวโห่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.6 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์สูงสุด แต่ผลิตภัณฑ์มีสีไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยการแปรปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่เป็น 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 (w/v)

จากการทดลอง เมื่อเติมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ในขั้นตอนการเคี่ยวมะม่วงหาวมะนาวโห่ (การแช่อิ่มแบบเร็ว) พบว่า มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งมีสีแดงเพิ่มขึ้นแต่มีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง (Figure 3 และ Table 4) เนื่องจากการใช้น้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่จากกระยะผลสุก ผลมีสีเปลือกและสีเนื้อเป็นสีแดงเข้มอมม่วง ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำผลไม้เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้นด้วย ประกอบกับโครงสร้างของผนังเซลล์ผลไม้อ่อนตัวลงจากการให้ความร้อน ทำให้น้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่แพร่เข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ได้มากขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Samborska et al. (2019) พบว่า การเติมน้ำเบอร์รี่หรือน้ำเบอร์รี่สกัดเข้มข้นลงในสารละลายน้ำตาลออสโมติกที่ใช้แช่ชิ้นแอปเปิลพบว่าเนื้อแอปเปิลมีสีคล้ำขึ้นเนื่องจากการดูดซึมแอนโทไซยานินของน้ำเบอร์รี่ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ส่วน Kowalska (2017) รายงานว่า อุณหภูมิสูง ทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการทำแห้งด้วยการออสโมซิส และงานวิจัยของ Azoubel and Murr (2004) กล่าวว่า ระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิมีผลต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส โดยการใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง มีผลให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกภายในชิ้นผลไม้กับสารละลายภายนอกสูง จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีกว่าการใช้สารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่ำ

ค่าปริมาณน้ำอิสระ พบว่า มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.41-0.47 (Table 4) อาจอธิบายได้ว่าเป็นการแปรรูปโดยการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมด้วย ซึ่งความร้อนเป็น driving force ที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อด้านในของชิ้นผลไม้ออกสู่ด้านนอกแล้วระเหยไป จึงส่งผลให้มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มสูญเสียความชื้นไปได้มาก ทำให้ค่า a_w ของมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งมีค่าต่ำ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มชนิดแห้ง โดยมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558)



Figure 3 Appearance of osmotic dehydrated Karanda with different Karanda juice concentrations.

Table 4 Color and water activity (a_w) of osmotic dehydrated Karanda with different Karanda juice concentrations.

Karanda juice concentrates (w/v%)	Color			a_w
	L^*	a^*	b^*	
0	41.40 ^a ±0.17	2.53 ^c ±0.86	4.10 ^a ±1.44	0.41 ^c ±0.01
10	40.73 ^a ±0.61	3.83 ^{bc} ±0.06	1.43 ^b ±0.51	0.42 ^{bc} ±0.01
15	40.10 ^a ±1.59	5.07 ^b ±0.76	2.63 ^b ±0.42	0.44 ^{bc} ±0.02
20	39.93 ^a ±0.61	4.27 ^{ab} ±0.46	2.03 ^b ±0.30	0.45 ^{ab} ±0.01
25	35.60 ^b ±1.54	5.83 ^a ±0.94	2.37 ^b ±0.21	0.47 ^a ±0.01

^{a-c} Different letters in the same column mean significantly different ($P \leq 0.05$).

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Table 5) พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และด้านสีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบต่อรสชาติ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวอมหวาน โดยคะแนนความชอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง อธิบายได้ว่าน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่มีรสเปรี้ยว สอดคล้องกับคุณภาพด้านความเป็นกรด-ด่างที่ใช้เครื่องมือวิเคราะห์เมื่อปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อรสเปรี้ยวและรสหวานของผลิตภัณฑ์เชื่อมอบแห้งได้ ส่วนด้านเนื้อสัมผัสพบว่ามะม่วงหาวมะนาวโห่เชื่อมอบแห้งมีเนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่เหนียวแข็ง ทั้งนี้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมต่อมะม่วงหาวมะนาวโห่เชื่อมอบแห้งที่มีปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 25 ในระดับคะแนนชอบปานกลางสูงที่สุด ($P \leq 0.05$)

Table 5 Sensory evaluation of osmotic dehydrated Karanda with different Karanda juice concentrations.

Karanda juice concentrates (w/v %)	Appearance	Color	Flavor ^{ns}	Taste	Texture ^{ns}	Overall linking
0	6.65 ^b ±1.18	5.85 ^c ±1.09	6.45±1.27	6.65 ^b ±1.14	7.00±1.26	6.55 ^b ±1.19
10	6.65 ^b ±1.18	6.75 ^b ±1.25	6.80±1.15	7.05 ^{ab} ±1.00	6.70±1.22	7.05 ^b ±1.23
15	6.95 ^{ab} ±1.23	6.85 ^b ±1.22	6.85±1.14	7.15 ^{ab} ±1.09	6.70±1.13	6.90 ^b ±1.12
20	7.20 ^{ab} ±1.06	6.95 ^b ±1.28	6.85±1.22	6.90 ^{ab} ±1.25	6.85±1.04	6.90 ^b ±1.25
25	7.55 ^a ±1.00	8.15 ^a ±0.87	6.70±0.98	7.40 ^a ±1.14	6.35±1.22	7.80 ^a ±1.15

^{ns} Means in the same column not significant different ($P > 0.05$).

^{a-b} Different letters in the same column mean significantly different ($P \leq 0.05$).

คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่เชื่อมอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่เชื่อมอบแห้งมีแอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation โดยปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด วิเคราะห์ได้จากแอนโทไซยานิน 2 ชนิด ที่พบมากในเนื้อเยื่อพืช คือ ไซยานิดินและเพลาโรนิน (Anderson, 2006) แอนโทไซยานินที่พบในผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ในปริมาณมาก คือ cyanidin-3-O-rhamnoside, pelargonidin-3-O-glucoside และ cyanidin-3-O-glucoside (Kamlesh et al., 2010) ซึ่งการใช้น้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่จากผลสุกร้อยละ 25 (สูตรที่ได้รับการยอมรับ) ทำให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่เชื่อมอบแห้งมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (Table 6) อาจเป็นผลมาจากการดูดซึมแอนโทไซยานินที่มีในน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่เข้าสู่เนื้อเยื่อของชิ้นผลไม้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองใน Table 4 โดยพบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดง (a^*) มากขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของวชิราภรณ์ ผิวล่อง และคณะ (2556) พบว่า แอนโทไซยานินในผลมะม่วงหาวมะนาวโห่สุกมีปริมาณสูงที่สุดซึ่งสอดคล้องกับสีของผลที่มีความเป็นสีแดงที่มากขึ้น

Table 6 Anthocyanin content of osmotic dehydrated Karanda products.

Samples	Anthocyanin contents	
	Cyanidin-3-glucosides (mg/l)	Pelargonidin-3-glucosides (mg/l)
Control	45.77±7.16	24.32±3.80
Optimal formula	74.23±21.11	39.45±11.42

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ (Table 7) พบว่า มะม่วงหาวมะนาวโห่เชื่อมอบแห้งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 CFU/g ยีสต์และรา น้อยกว่า 10 CFU/g สอดคล้องกับผลการทดลองใน Table 4 ซึ่งมีค่า a_w ต่ำ มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยคุณภาพทางจุลินทรีย์อ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่มชนิดแห้ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) ซึ่งระบุไว้ว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^6 CFU/g ยีสต์และราต้องไม่เกิน 1×10^3 CFU/g

Table 7 Total microbial count, yeast and mold of osmotic dehydrated Karanda products.

Samples	Total microbial count (CFU/g)	Yeast and mold (CFU/g)
Control	<25	<10
Optimal formula	<25	<10

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่มะม่วงหาวมะนาวโห่ เพื่อผลิตมะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้ง พบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.6 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงสุดในระดับคะแนนชอบมาก เมื่อศึกษาปริมาณน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่จากผลสุกเต็มลงในส่วนผสม พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบรวมสูงสุดที่ระดับปานกลางสูงสุด การเติมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 25 ผลิตรสชาติมีสีแดงสม่ำเสมอ มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และเพลาโรโกนิน-3-กลูโคไซด์ เท่ากับ 74.23 ± 21.11 และ 39.45 ± 11.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าการเติมน้ำมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ได้จากผลสุกนั้น ช่วยเพิ่มสีธรรมชาติ และเพิ่มสารพฤกษเคมีให้กับผลิตภัณฑ์มะม่วงหาวมะนาวโห่แช่อิ่มอบแห้งได้ อย่างไรก็ตามในการแช่อิ่มอบแห้งนั้นใช้น้ำตาลปริมาณมาก ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพอาจใช้น้ำตาลชนิดอื่นทดแทนน้ำตาลทราย เช่น สารในกลุ่มพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ เนื่องจากสารในกลุ่มนี้มีระดับความหวานน้อยกว่า ช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานลดลง และอาจช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งได้

เอกสารอ้างอิง

- ธนิตยา พุทธิ, ภาวินี ผัวจันทร์, มาริษา รัตนโชติ และรุศมา มฤดี. 2561. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ ในระยะการพัฒนาดผล. *แก่นเกษตร* 46(1)(พิเศษ): 1254-1258.
- ภาสุรี ฤทธิเลิศ. 2560. *คู่มือการแปรรูปผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง: มะม่วงหาวมะนาวโห่*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- รวงนลิน เทพนวล, อุราภรณ์ เรืองวัชรินทร์, พราวตา จันทโร, อรุณทัย เจียมณี และศิริพร ทวีโรจนการ. 2563. ผลของการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่อิ่มอบแห้ง. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)* 12(23): 103-113.
- วชิราภรณ์ ผีหลวง, สุศักดิ์ สัจจุบุตร, ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร และจารุรัตน์ เอี่ยมศิริ. 2556. อิทธิพลของระยะเวลาสุกต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 44(2)(พิเศษ): 337-340.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2542. *วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวของพืช*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2558. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม มผช. 161-2558. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. [http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0161_58\(ผักและผลไม้แช่อิ่ม\).pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0161_58(ผักและผลไม้แช่อิ่ม).pdf). (7 กันยายน 2562).
- สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ. 2561. ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580 (ฉบับย่อ). สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ. https://www.nesdb.go.th/download/document/SAC/NS_SumPlanOct2018.pdf. (7 กันยายน 2562).
- สุภาพร พักเงิน และศิริประภา มีรอด. 2560. การสกัดแยกหาปริมาณแอนโทไซยานินจากลูกมะม่วงหาวมะนาวโห่. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร*. น. 1002-1011. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, กำแพงเพชร.
- Anderson, O. M., and Markham, K. R. 2006. *Flavonoids-chemistry, biochemistry, and applications*. New York: CRC Taylor and Francis Group.
- Azoubel, P., and Murr, F. E. Z. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering* 61: 291-295.
- BAM. 2001. Bacteriological Analytical Manual (BAM). USA. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>. (5 August 2018).
- Fawole, O. A., and Opara, U. L. 2013. Effects of maturity status on biochemical content, polyphenol composition and antioxidant capacity of pomegranate fruit arils (cv. 'Bhagwa'). *South African Journal of Botany* 85: 23-31.
- Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., Heredia, F. J., and Osorio, C. 2011. Physicochemical characterisation of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. fo *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International* 44(7): 1912-1918.
- Kamlesh, P., Jale, R., Singh, M., and Kuma, R. 2010. Non-destructive evaluation of dimensional properties and physical characterization of Carissa carandas fruits. *International Journal of Emerging Science* 2: 321-327.

- Kowalska, H., Marzec, A., Kowalska, J., Ciurzynska, A., Czajkowska, A., Czajkowska, K., Cichowska, J., Rybak, K., and Lenart, A. 2017. Osmotic dehydration of Honeoye strawberries in solutions enriched with natural bioactive molecules. *LWT Food Science and Technology* 85: 500-505.
- Kumar, S., Gupta, P., and Gupta, K. L. V. 2013. A critical review on Karamarda (*Carissa carandas* Linn.). *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archive* 4(4): 637-642.
- Luna-Guzmán, I., Cantwell, M., and Barrett, D. M. 1999. Fresh-cut cantaloupes: Effect of CaCl_2 dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology* 17: 201-213.
- Luna-Guzmán, I., and Barrett, D. M. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology* 19: 61-72.
- Maheshwari, R., Sharma, A., and Verma, D. 2012. Phyto-therapeutic Significance of Karaunda. *Bulletin of Environment Pharmacology and Life Sciences* 1(12): 34- 36.
- Raoult-Wack, A. L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology* 5: 255-260.
- Samborska, K., Eliasson, L., Marzec, A., Kowalska, J., Piotrowski, D., Lenart, A., and Kowalska, H. 2019. The effect of adding berry fruit juice concentrates and by-product extract to solution on osmotic dehydration and sensory properties of apples. *Journal of Food Science and Technology* 56(4): 1927-1938.
- Sarkar, R., Kundu, A., Banerjee, K., and Saha, S. 2018. Anthocyanin composition and potential bioactivity of karonda (*Carissa carandas* L.) fruit: An Indian source of biocolorant. *LWT-Food Science and Technology* 93: 673-678.
- Stanley, D. W., Bourne, M. C., Stone, A. P., and Wismer, W. V. 1995. Low temperature blanching effects on chemistry, firmness and structure of canned green beans and carrots. *Journal of Food Science* 60: 327-333.

วันรับบทความ (Received date) : 25 ธ.ค. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 9 ธ.ค. 63

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 ส.ค. 64

ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมวิถีสังคมเกษตรยั่งยืน

Participatory Guarantee Systems for Organic Agriculture, Way to Sustainable Agricultural Society

อดิศักดิ์ อัมเทด¹ และดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมมาธิวัฒน์¹
Adisak Amthed¹ and Duangkamol Panrosthip Thunmathiawat¹

คำนำ

เกษตรอินทรีย์ (organic agriculture) เป็นการทำเกษตรที่มีหลักการเพื่อให้คงสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระบบนิเวศ ทรัพยากรธรรมชาติ และสุขภาพมนุษย์ ซึ่งเป็นองค์รวมไม่สามารถแยกจากกันได้ ด้วยการจัดการระบบนิเวศ ความหลากหลายทางชีวภาพ และการหมุนเวียนของวงจรชีวภาพในสภาพของแต่ละท้องถิ่นนั้น ๆ มากกว่าการพึ่งปัจจัยจากภายนอก โดยเชื่อมโยงกับวิถีการปฏิบัติที่เป็นวัฒนธรรมท้องถิ่นในแต่ละชุมชนร่วมกับการพัฒนาประยุกต์ใช้องค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นกับวิทยาศาสตร์ในการสร้างความสมดุลที่เป็นธรรมต่อทุกสรรพสิ่ง ทำให้เกิดความแตกต่างในผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์ ซึ่งองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) สมาพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (IFOAM) และการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยการค้าและการพัฒนา (UNCTAD) ได้ร่วมกันกำหนดมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ในการเทียบเคียงมาตรฐานของแต่ละประเทศ (Moura et al., 2019)

ในส่วนของประเทศไทยมีหน่วยงานที่ให้บริการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์หลายหน่วยงาน เช่น สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) องค์การมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ภาคเหนือ (อมน.) เป็นต้น และภาครัฐยังมีนโยบายสนับสนุนการทำเกษตรอินทรีย์โดยมีการกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ พ.ศ. 2560-2564 เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายการเพิ่มพื้นที่และจำนวนเกษตรกรที่ทำเกษตรอินทรีย์เพิ่มสัดส่วนตลาดเกษตรอินทรีย์ภายในประเทศ รวมทั้งยกระดับกลุ่มเกษตรอินทรีย์วิถีพื้นบ้านด้วยระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม นำไปสู่การพัฒนาเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทยอย่างต่อเนื่องตามวิสัยทัศน์ “ประเทศไทยเป็นผู้นำในระดับภูมิภาคด้านการผลิต การบริโภค การค้าสินค้าและการบริการเกษตรอินทรีย์ ที่มีความยั่งยืน และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล” (คณะกรรมการพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ, 2560)

ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems) หรือ ระบบพีจีเอส เกิดขึ้นจากสมาพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movements, IFOAM) ได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกษตรกรรายย่อยไม่สามารถขยายช่องทางตลาดได้ จึงได้ร่วมกับเครือข่ายประเทศต่าง ๆ พัฒนาระบบพีจีเอสขึ้น และทดลองนำร่องใน 8 ประเทศตั้งแต่ปี 2547 เป็นต้นมา (IFOAM, 2014) เป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชนบททำให้ผู้บริโภคภายในประเทศสามารถเข้าถึงอาหารอินทรีย์ในราคาที่สมารถซื้อได้ รวมทั้งเป็นการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ ระบบนิเวศเกษตร ซึ่งระบบพีจีเอสเป็นระบบที่แตกต่างกับการตรวจรับรองจากหน่วยงานภายนอก โดยกระตุ้นให้ผู้ผลิตเกิดการพัฒนาการผลิตเข้าสู่มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ด้วยการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และเกิดเครือข่ายระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค มีผลทำให้เกิดการวางแผนการผลิตตามตลาดต้องการ การรวมตัวเกษตรกรเป็นสังคมเกษตร เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน ทั้งด้านรายได้ของเกษตรกร ฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สุขภาพของผู้ผลิตและผู้บริโภค และเกิดสังคมที่เข้มแข็งสามารถพึ่งพาตนเองในที่สุด บทความนี้จึงต้องการนำเสนอให้เห็นประโยชน์ของการทำเกษตรอินทรีย์ ภายใต้ระบบพีจีเอสที่นำไปสู่วิถีสังคมเกษตรยั่งยืน อันจะเป็นตัวอย่างให้ชุมชนที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้ให้เข้ากับบริบทพื้นที่

ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม คืออะไร

ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม หรือ ระบบพีจีเอส เป็นการรับรองเกษตรอินทรีย์โดยอาศัยการมีส่วนร่วมของชุมชนผู้ผลิตและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภายใต้หลักการพื้นฐานความไว้วางใจซึ่งกันและกัน (IFOAM, 2014)

คำว่า “พีจีเอส” เป็นคำที่เกิดขึ้นจากการประชุมเชิงปฏิบัติการนานาชาติ เรื่องการรับรองทางเลือกของสมาพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ ที่รู้จักในนาม IFOAM ณ ประเทศบราซิล ในปี 2547 โดยมีผู้แทนของประเทศต่าง ๆ กว่า 20 ประเทศได้ประชุมร่วมกันเกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์ทางเลือกให้กับเกษตรกรรายย่อยที่มีใจรักในการทำเกษตรอินทรีย์ เป็นการรวมกลุ่มสามารถสร้างการยอมรับได้ในระดับท้องถิ่นโดยไม่ถูกจำกัดด้วยข้อกำหนดที่เคร่งครัด เปิดโอกาสในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และลดค่าใช้จ่าย

¹ ภาควิชาวนวัตกรรมสื่อสารและพัฒนากาเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Department of Innovative Communication and Agricultural development, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520

*Corresponding author, Email: 62604060@kmitl.ac.th

จำนวนมากที่ต้องใช้ในการตรวจรับรองจากหน่วยงานภายนอก ด้วยการจัดระบบรับรองโดยสมาชิกในกลุ่มหรือเครือข่ายที่ยังคงสามารถรักษามาตรฐานเกษตรอินทรีย์ไว้ได้อย่างไม่แตกต่างจากการรับรองโดยหน่วยงานภายนอก และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้เช่นเดียวกัน (IFOAM, 2018) ระบบพีจีเอสมุ่งเน้นการสร้างเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคด้วย กระบวนการทางสังคมมีการออกแบบกระบวนการให้เหมาะสมกับชุมชนท้องถิ่นที่ทำเกษตรอินทรีย์ โดยการเปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ ผู้ผลิต ผู้บริโภค ผู้ประกอบการ นักพัฒนา และนักวิชาการ เข้ามามีส่วนร่วมดำเนินการในระบบพีจีเอส (Figure 1)

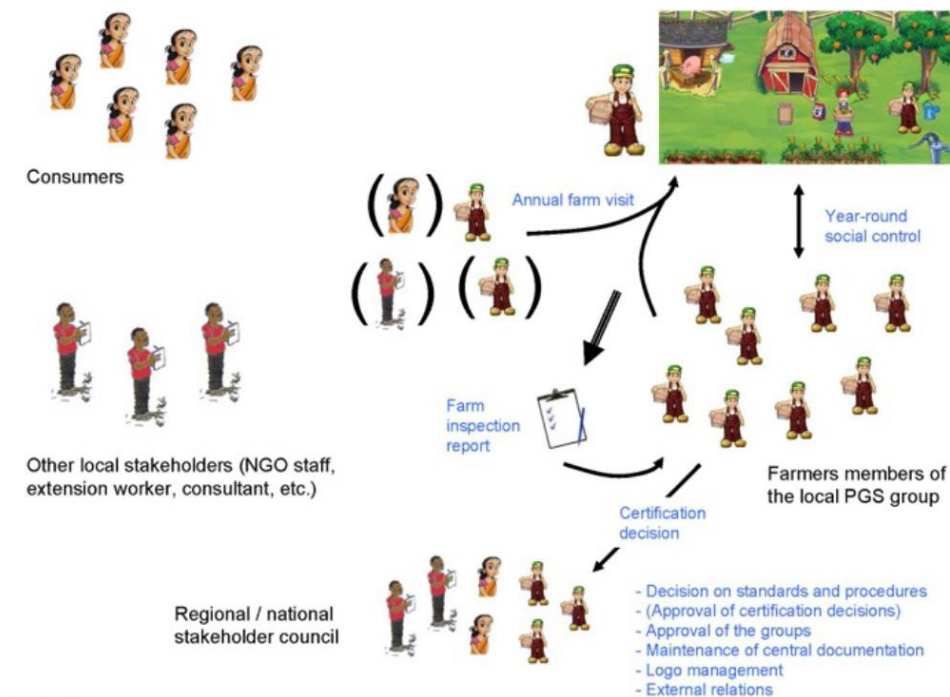


Figure 1 Diagram of a typical PGS initiative.

Source: IFOAM (2014)

ดังนั้นระบบพีจีเอสจึงเป็นกระบวนการที่ไม่มีสูตรสำเร็จ มีความเฉพาะของแต่ละท้องถิ่นตามทรัพยากร สิ่งแวดล้อม ในบริบทชุมชน แต่ยังคงยึดมั่นในหลักการและองค์ประกอบของระบบพีจีเอส

หลักการและองค์ประกอบของระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

May (2019) ได้กล่าวถึง หลักการและองค์ประกอบของระบบพีจีเอส ไว้ดังนี้

1. วิสัยทัศน์ร่วม จุดแข็งขั้นพื้นฐานของระบบพีจีเอส คือการที่เกษตรกรและผู้บริโภคมีความตระหนักในวิสัยทัศน์ และ ประโยชน์ร่วมกัน

2. การมีส่วนร่วม ระบบพีจีเอสเน้นการมีส่วนร่วมอย่างจริงจังของผู้ผลิตและผู้บริโภค จึงให้ความสำคัญกับการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ได้แก่ ผู้ผลิต ที่ปรึกษา และผู้บริโภค ตลอดจนกระบวนการตรวจรับรองตั้งแต่การคิด หลักการและกฎระเบียบ รวมทั้งการนำมาประยุกต์ใช้ เช่น การตัดสินใจร่วมกันในการดำเนินกิจกรรม การมีส่วนร่วมรับผิดชอบ และการไว้วางใจซึ่งกันและกัน เป็นต้น

3. ความโปร่งใส ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมดซึ่งรวมถึงเกษตรกรต้องตระหนักรู้อย่างชัดเจนว่ากลไกและกระบวนการ การรับรองทำงานอย่างไร และตัดสินใจได้อย่างไร ไม่ได้หมายความว่าทุกคนต้องรู้รายละเอียดทุกอย่าง เพียงแต่ต้องมีความ เข้าใจขั้นพื้นฐานในระบบการทำงาน รวมทั้งตระหนักรู้เกี่ยวกับเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อรับรองสถานะเกษตรอินทรีย์ว่าทำอย่างไร และต้องแจกจ่ายแก่ทุกฝ่ายที่มีผลประโยชน์ เช่น กฎเกณฑ์กลุ่ม บทลงโทษกลุ่ม เอกสารกลุ่ม เป็นต้น

4. ความไว้วางใจ แนวคิดของระบบพีจีเอส คือ ความไว้วางใจในเกษตรกรผู้ผลิตที่สามารถรับรองการผลิตได้ตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ที่ผู้บริโภคสามารถตรวจสอบเข้าถึงข้อมูลการผลิตของผู้ผลิตได้ทุกราย เช่น การมีใบรับรองมาตรฐานและการเผยแพร่กิจกรรมกลุ่ม เป็นต้น

5. ไม่มีลำดับชั้นของอำนาจ หมายถึง การแบ่งปันอำนาจโดยไม่ปล่อยให้อำนาจการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการอินทรีย์อยู่ในมือของคนเพียงไม่กี่คน แต่ให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในกระบวนการมีการรับรองอย่างมีส่วนร่วม

6. กระบวนการเรียนรู้ จุดมุ่งหมายส่วนใหญ่ของระบบพีจีเอส ไม่เพียงเพื่อออกไปรับรองเท่านั้น แต่เพื่อจัดหาเครื่องมือและกลไกที่สนับสนุนการทำเกษตรอินทรีย์ของชุมชนอย่างยั่งยืน ซึ่งกระบวนการรับรองในระบบพีจีเอสก่อให้เกิดการสร้างโครงข่ายองค์ความรู้และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดที่อยู่ในระบบการผลิตและการบริโภคผลิตภัณฑ์อินทรีย์

จากหลักการและองค์ประกอบข้างต้นจึงเห็นได้ว่าระบบพีจีเอสเป็นกระบวนการที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ควบคู่กันไปตามแนวคิดเกษตรยั่งยืน

แนวคิดเกี่ยวกับเกษตรยั่งยืน

Reijntjes et al. (1992) คำศัพท์ “ความยั่งยืน” กลายเป็นคำที่ใช้ทั่วไปในงานทางด้านการพัฒนา คำว่า ความยั่งยืน มาจากภาษาอังกฤษว่า sustainability ซึ่งในพจนานุกรมนั้นอธิบายความหมายว่า การดำเนินการไปอย่างต่อเนื่องหรือความสามารถในการดำรงอยู่โดยไม่วันสูญหายไป แต่เมื่อนำคำนี้มาใช้กับการเกษตร คำว่า “ความยั่งยืน” หมายถึง ศักยภาพในการผลิตที่ดำรงอยู่อย่างต่อเนื่องโดยไม่ทำให้ฐานทรัพยากรทรุดโทรมหรือสูญสิ้นไป ดังที่คณะกรรมการที่ปรึกษาด้านเทคนิคของกลุ่ม Consultative Group on International Agricultural Research: CGIAR ได้นิยามว่า เกษตรยั่งยืน คือ ระบบการบริหารทรัพยากร เพื่อทำการผลิตทางการเกษตรที่ตอบสนองต่อความจำเป็นและความต้องการของมนุษย์ และในขณะเดียวกันก็รักษารักษาและฟื้นฟูคุณภาพของสิ่งแวดล้อม ตลอดจนช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ

Reijntjes et al. (1992) กล่าวว่า เกษตรยั่งยืนต้องประกอบด้วยเงื่อนไข 5 ประการ ได้แก่

1. สอดคล้องกับระบบนิเวศ คือ มีการรักษาทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งระบบนิเวศเกษตรให้คงสภาพสมบูรณ์อย่างเป็นองค์รวม ทั้งที่เป็นสิ่งไม่มีชีวิต เช่น ดิน น้ำ และสิ่งมีชีวิต เช่น มนุษย์ พืชหรือสัตว์ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดิน ควรได้รับการดูแลจัดการให้มีความสมดุลและมีสุขภาพที่ดี โดยนำระบบการจัดการปรับปรุงบำรุงดินและการดูแลสุขภาพของพืช สัตว์ และมนุษย์ โดยกระบวนการทางชีววิทยา (การควบคุมกันเอง) มาใช้ รวมทั้งนำทรัพยากรท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์

2. มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ คือ เกษตรกรควรจะสามารถทำการผลิตพอเพียงที่จะเลี้ยงครอบครัว และมีรายได้ตามอัตราภาพ รวมทั้งมีผลตอบแทนที่เหมาะสมต่อแรงงานหรือต้นทุนการผลิตอื่น ๆ กรอบในการพิจารณาความอยู่รอดทางเศรษฐกิจนี้ไม่ควรดูเฉพาะแต่ผลผลิตโดยตรงจากฟาร์มเท่านั้น แต่รวมถึงประโยชน์อื่นด้านกว้าง เช่น การลดค่าใช้จ่ายในชีวิตประจำวัน และการอนุรักษ์ทรัพยากร

3. มีความยุติธรรมทางสังคม คือ มีการกระจายทรัพยากรและอำนาจให้กับประชาชนเพื่อเป็นหลักประกันว่า ประชาชนทุกคนจะได้รับการตอบสนองในด้านปัจจัยยังชีพและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการผลิตอย่างเท่าเทียม รวมทั้งหลักประกันสำหรับสิทธิในการใช้ที่ดิน การมีเงินทุนที่เพียงพอ ความช่วยเหลือด้านเทคนิค และด้านช่องทางการตลาด ประชาชนทุกคนควรมีโอกาสที่จะเข้าร่วมในกระบวนการตัดสินใจ ทั้งในระดับพื้นที่และในระดับสังคมโดยรวม

4. มีมนุษยธรรม คือ สิ่งมีชีวิตทั้งหมด (พืช สัตว์ และมนุษย์) มีสิทธิที่จะมีชีวิตอยู่อย่างเหมาะสม มนุษย์ทุกคนควรได้รับการยอมรับอย่างเท่าเทียม รวมทั้งความสัมพันธ์ต่าง ๆ ควรตั้งอยู่บนค่านิยมอย่างถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความไว้วางซึ่งกันและกัน ความซื่อสัตย์ การเคารพในตนเองและผู้อื่น หลักการทางวัฒนธรรมและจิตวิญญาณของสังคมจะต้องได้รับการรักษาและพัฒนาให้ก้าวรุดหน้าไป

5. มีความยืดหยุ่น คือ ชุมชนต้องปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเป็นเงื่อนไขด้านประชากรหรือนโยบายตลาด ซึ่งหมายความว่า จะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม และการเปลี่ยนแปลงทางสังคมวัฒนธรรม วิถีชุมชน ควบคู่กันไป

สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2562) ให้ความหมาย เกษตรยั่งยืน หมายถึง ระบบการเกษตรที่ครอบคลุมถึงวิถีชีวิตเกษตรกร กระบวนการผลิต และการจัดการทุกรูปแบบเพื่อให้เกิดความสมดุลทางเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ ซึ่งนำไปสู่การพึ่งตนเอง การพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกร และผู้บริโภค สามารถแบ่งออกเป็น 3 มิติ ดังนี้

1. ความยั่งยืนทางมิติเศรษฐกิจ หมายถึง การมีผลผลิตที่หลากหลายสามารถตอบสนองความต้องการจำเป็นพื้นฐานทำให้เกิดความมั่นคงทางอาหาร ลดการพึ่งพาปัจจัยภายนอก เนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ มีการเกื้อกูลกันทำให้สามารถลดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังมีการสร้างมูลค่าเพิ่มจากการแปรรูป และขยายกิจกรรมทางการตลาด ซึ่งเป็นภูมิคุ้มกันให้กับเกษตรกรในอนาคต

2. ความยั่งยืนทางมิติสังคม หมายถึง สร้างความปลอดภัยทางอาหารและสุขอนามัย ปฏิบัติดีปฏิบัติชอบ ใส่ใจและการมีส่วนร่วมในกิจกรรมทางการเกษตร เป็นการเสริมสร้างความเข้มแข็งระดับครัวเรือนและชุมชน ลดอัตราการอพยพแรงงาน และลดปัญหาครอบครัว มีการสร้างกระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมในชุมชน ส่งผลให้เกิดสังคมแห่งความเอื้อเฟื้อ เอื้ออาทร สืบสานวิถีชีวิตวัฒนธรรมชุมชน และภูมิปัญญาท้องถิ่น

3. ความยั่งยืนทางมิติสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ หมายถึง ลดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ รวมไปถึงการอนุรักษ์และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน ด้วยการลด ละ เลิก การใช้สารเคมีต่าง ๆ อีกทั้งยังก่อให้เกิดระบบการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

จึงสามารถสรุปได้ว่า เกษตรยั่งยืน เป็นทางเลือกหนึ่งในการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่สามารถรับมือกับปัญหาด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

ความสัมพันธ์ระบบรับรองเกษตรกรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมกับสังคมเกษตรยั่งยืน

ระบบพีจีเอส เป็นระบบการรับรองในชุมชนที่มีบริบทสังคมเกษตรกรรมใกล้เคียงกัน โดยอาศัยความร่วมมือกันของกลุ่มเกษตรกรที่มีใจรักในการทำเกษตรอินทรีย์อย่างแท้จริง เพื่อตอบโจทย์ในความเป็นอยู่ของครอบครัวเกษตรกร ชุมชนสู่ความต้องการของตลาดหรือผู้บริโภค เป็นสิ่งกระตุ้นให้เกิดการผลิตที่ใส่ใจในระบบพีจีเอส ซึ่งการเกษตรในระบบพีจีเอสสามารถได้ผลผลิตที่ปลอดภัย ไร้สารเคมี ส่งผลดีต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค การรวมกลุ่มเกษตรกร สามารถนำผลผลิตไปแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของผลผลิต สร้างรายได้พัฒนาเศรษฐกิจฐานรากให้เข้มแข็งอย่างยั่งยืน จึงกล่าวได้ว่าระบบพีจีเอสเป็นการทำเกษตรยั่งยืน ที่สามารถตอบโจทย์ได้ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความยั่งยืนด้านเศรษฐกิจ ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม และความยั่งยืนด้านสังคม สามารถอธิบายได้ดังนี้

ความยั่งยืนด้านเศรษฐกิจ ระบบพีจีเอสเป็นการทำเกษตรอินทรีย์ที่ไม่ใช้สารเคมี ปุ๋ยเคมี ทำให้ลดต้นทุนการผลิตและการตรวจรับรอง ไม่ก่อให้เกิดการเจ็บป่วยจากการใช้สารเคมี ลดการพึ่งพาเครื่องจักร สามารถเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและเศรษฐกิจครัวเรือน เกิดความสมดุล

ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม ระบบพีจีเอสทำการเกษตรด้วยการปกป้อง ฟื้นฟู และรักษาทรัพยากรธรรมชาติเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ และสิ่งมีชีวิตที่ช่วยในการทำการเกษตรเพื่อเพิ่มความสมดุลให้กับสิ่งแวดล้อม

ความยั่งยืนด้านสังคม ระบบพีจีเอสเสริมสร้างความเข้มแข็งในชุมชน รวมกลุ่มการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ของเกษตรกรเพื่อให้เกิดความเสมอภาคและความเป็นปึกแผ่นในสังคมเกษตรอินทรีย์ และยังช่วยลดอัตราการอพยพแรงงานภาคการเกษตรทำให้เป็นการสร้างเกษตรกรรุ่นใหม่ที่มีความรู้ความสามารถในการพัฒนาภาคการเกษตรในอนาคต (Figure 2)

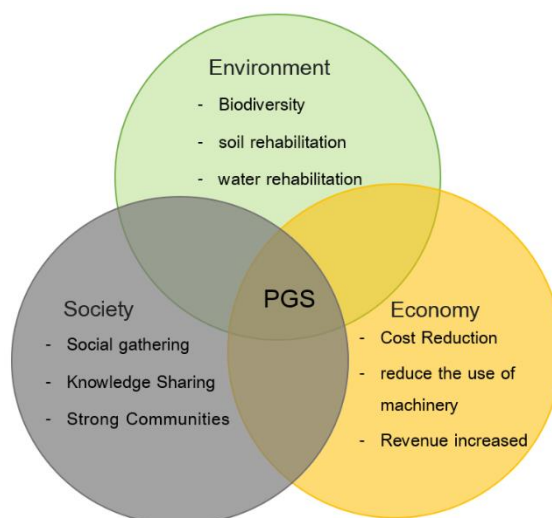


Figure 2 The relationship between Participatory Guarantee Systems and sustainable agricultural society.

Source: Adapted from Mary (2007)

ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมในโลกปัจจุบัน

ปัจจุบันทั่วโลกมีประเทศที่ใช้ระบบพีจีเอสทั้งหมด 76 ประเทศ โดยมีผู้ผลิต 496,104 ราย จาก 567,142 ราย ที่ได้รับการรับรองโดยระบบพีจีเอส จากข้อมูลพบว่าระบบพีจีเอสมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในช่วงปี 2014-2019 โดยปี 2019 มีจำนวนผู้ผลิตสูงถึง 496,104 ราย (Figure 3) ซึ่งเพิ่มจากปี 2018 ถึงประมาณ 350,000 ราย โดยอินเดียเป็นประเทศที่มีจำนวนผู้ผลิตในระบบพีจีเอสสูงสุด ทั้งหมด 509,351 ราย ในจำนวนนี้มีผู้ผลิตอย่างน้อย 471,007 ราย ที่ได้รับการรับรอง และมีพื้นที่เพาะปลูกที่ได้รับการรับรองทั้งหมด 371,276 เฮกตาร์ รองลงมาเป็นประเทศบราซิลและประเทศไทย ที่มีจำนวนผู้ผลิต 6,309 ราย และ 2,110 ราย ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทั่วโลกมีเพียง 8 ประเทศเท่านั้นที่มีผู้ผลิตมากกว่า 1,000 ราย ที่ได้รับการรับรองในระบบพีจีเอส (Willer et al., 2020)

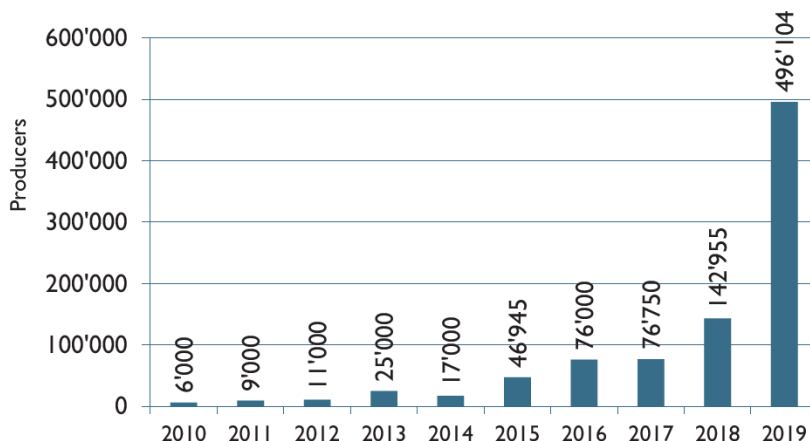


Figure 3 Development of PGS - certified producers worldwide.

Source: Willer et al. (2020)

แสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันระบบพีจีเอสมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในประเทศกำลังพัฒนาและประเทศที่ตลาดเกษตรอินทรีย์เติบโตเป็นอย่างมาก เช่น ประเทศอินเดีย ประเทศบราซิล และประเทศไทย ซึ่งน่าจะแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาระบบพีจีเอสในประเทศดังกล่าว ผู้เขียนจึงนำเสนอกรณีศึกษาของประเทศดังกล่าว

อินเดีย

ระบบพีจีเอสในประเทศถูกพัฒนาขึ้นจากองค์กรพัฒนาเอกชน คือ มูลนิธิคิยัสโตนและการสนับสนุนจากภาครัฐ เป็นการสร้างระบบการรับรองของท้องถิ่น เพื่อรับรองผลผลิตพื้นบ้านในท้องถิ่นของประเทศอินเดีย (Figure 4) โดยทำการส่งเสริมแบบมีส่วนร่วม มีการปรับใช้ระบบพีจีเอสให้เข้ากับบริบทพื้นที่ โดยให้ความสำคัญของการหาแนวทางและวิธีการต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมเป็นลำดับแรกทางเชิงสังคมและวัฒนธรรมของรัฐที่มีนาข้าวเป็นรัฐที่นำร่องในการนำระบบพีจีเอสให้เป็นวิธีการรับประกันผลผลิตอินทรีย์ที่ผลิตและบริโภคในตลาดภายในประเทศอินเดีย การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ด้วยกันโดยสร้างระบบที่เรียบง่าย และเป็นพื้นฐานการให้ข้อมูล การรับรองแก่ผู้บริโภคเกี่ยวกับคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ ซึ่งความยั่งยืนในการทำระบบพีจีเอสในประเทศอินเดีย ด้านสิ่งแวดล้อม คือ การไม่ใช้สารเคมีในการทำเกษตร อาศัยการเกื้อกูลของธรรมชาติและระบบนิเวศในพื้นที่ทำการเกษตร การอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น การขุดคู การทำฝายหินและฝายธรรมชาติที่ช่วยฟื้นฟูดิน ด้านสังคม คือ มีการรวมกลุ่มเกษตรกรในชุมชน ความซื่อสัตย์ของเกษตรกรผู้ผลิต การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างเจ้าหน้าที่กับเกษตรกรเพื่อลดความเหลื่อมล้ำทางสังคม รวมถึงการลดการพึ่งพาการจ้างแรงงานเพื่อทำการเกษตร และด้านเศรษฐกิจ คือ การเพิ่มช่องทางในการขายผลิตภัณฑ์จากชุมชน เศรษฐกิจแลกเปลี่ยน เช่น รากไม้ สมุนไพร กล้วยพืช เป็นต้น (IFOAM, 2008; Joe, 2016)



Figure 4 Trading and cropping in India's PGS systems.

Source: IFOAM (2015)

บราซิล

ระบบพีจีเอส ในประเทศบราซิลเกิดขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบของการปฏิวัติเขียว การขับเคลื่อนในระยะเริ่มต้นดำเนินการโดยอีโควิด้า อะโกรอีโคโลจี เน็ตเวิร์ก (Ecovida Agroecology Network) ซึ่งการดำเนินงานพัฒนาระบบพีจีเอสของอีโควิด้ามีความสอดคล้องกับเกณฑ์การปฏิบัติของกระทรวงเกษตรที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิต ผู้บริโภค และเครือข่าย ทั้งอย่างเป็นทางการและไม่เป็นทางการ โดยยึดหลักการกระจายอำนาจที่สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของท้องถิ่น ได้แก่ สภาพทางสังคม และนิเวศวิทยา การผลิตขนาดเล็กและตลาดในท้องถิ่น โดยเป็นทางเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์อินทรีย์ซึ่งก่อให้เกิดการรวมตัวทางสังคม และเพิ่มคุณค่าของความโปร่งใสในการควบคุมคุณภาพผลผลิต โดยการกระตุ้นการมีส่วนร่วมและสร้างความร่วมมือภายในเครือข่ายอย่างเข้มแข็ง นอกจากนี้ยังเกิดความยั่งยืนได้ด้วยการเชื่อมโยงระหว่างเกษตรกรผู้ผลิตกับผู้บริโภคด้วยการสร้างตลาดในการขายผลผลิตที่เป็นธรรมปราศจากการเอาเปรียบ รวมถึงระบบนิเวศเกษตรที่ฟื้นฟูจากการทำเกษตรอินทรีย์ในระบบพีจีเอส ซึ่งเป็นรากฐานของการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Fonseca et al., 2008; IFOAM, 2014)

ระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมในประเทศไทย

ระบบพีจีเอส ในประเทศไทยเกิดขึ้นมาจากการต้องการของกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ในพื้นที่บ้าน ทั้งกลุ่มผู้ผลิตที่ทำการปลูกพืช ปศุสัตว์ และประมง ที่มีผลผลิตหลายชนิดในปริมาณไม่มากจึงไม่สามารถเข้าสู่มาตรฐานเกษตรอินทรีย์จากหน่วยงานตรวจรับรองภายนอก (ดุสิต อธิวัฒน์ และคณะ, 2559) เนื่องจากบุคลากรและงบประมาณจากภาครัฐไม่เพียงพอต่อการตรวจรับรองผู้ผลิตเกษตรอินทรีย์ตามการขยายตัวของตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ได้ และค่าใช้จ่ายในการตรวจรับรองค่อนข้างสูง ซึ่งระบบพีจีเอสเป็นการขับเคลื่อนจากกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตที่ต้องการพัฒนาคุณภาพชีวิต สิ่งแวดล้อม ความมั่นคงทางอาหาร เช่น แนวทางเศรษฐกิจพอเพียงจะผลิตเพื่อบริโภคภายในครัวเรือนและจำหน่ายในบริเวณใกล้เคียง ทำให้เกิดความยั่งยืนในการผลิตและการบริโภคอย่างแท้จริง ซึ่งในประเทศไทยระบบพีจีเอสมีการเติบโตและมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีหน่วยงานภาครัฐและองค์กรพัฒนาเอกชนในการสนับสนุนชุมชนเกษตรในท้องถิ่น โดยประเทศไทยมีจำนวนผู้ผลิตเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมเป็นอันดับ 3 ของโลกจำนวน 2,110 ราย ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นสมาชิกของสมาพันธ์เกษตรอินทรีย์ไทย พีจีเอส (กรีนเนท, 2563) โดยในที่นี่ขอนำเสนอกรณีศึกษา 3 เครือข่าย ได้แก่ เครือข่ายสามพรานโมเดล นครปฐม สหกรณ์เกษตรอินทรีย์ทัทไทย จำกัด และเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) แปะดรีว ที่ประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้และพัฒนา ระบบพีจีเอสได้อย่างสอดคล้องกับบริบทชุมชนเกษตรไทย

เครือข่ายสามพรานโมเดล นครปฐม

สามพรานโมเดลเริ่มก่อตั้งในปี พ.ศ. 2553 โดยการพัฒนากระบวนการรับรองมาตรฐานเกษตรปลอดภัยและมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ร่วมกับภาคีเครือข่าย โดยให้ความสำคัญกับเกษตรกรที่ปรับเปลี่ยนมาทำเกษตรอินทรีย์ ซึ่งปัจจุบันได้กลายเป็นโมเดลธุรกิจที่ยั่งยืนบนพื้นฐานความเป็นธรรมตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ภายใต้การขับเคลื่อนโดยมูลนิธิสังคมสุขใจด้วยทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ทำให้การรวมกลุ่มกันในการขับเคลื่อนให้เกษตรกรมีส่วนร่วมในการวางแผนการผลิต การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การแปรรูป และการตลาดในการขายผลผลิตของทางเครือข่าย ถือเป็นรูปแบบการดำเนินงานของเกษตรกรที่สามารถพึ่งตนเองได้ โดยกลุ่มมีการนำระบบพีจีเอสมาปรับใช้ในการรับรองเกษตรอินทรีย์ ปัจจุบันสามารถขยายเครือข่ายสร้างความเข้มแข็งเชื่อมโยงในพื้นที่บริเวณใกล้เคียง จึงสร้างความยั่งยืนในระบบพีจีเอสให้เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่คุณค่า ทั้งด้านสังคมเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันระหว่างผู้ผลิต ผู้ประกอบการ และผู้บริโภค ซึ่งการขับเคลื่อนสังคมเกษตรอินทรีย์และการค้าที่เป็นธรรม ช่วยลดความเหลื่อมล้ำทางสังคมได้ โดยมีตลาดสุขใจเป็นสถานที่ซื้อขายสินค้าเกษตรอินทรีย์ในเครือข่าย พร้อมกับการเป็นแหล่งเรียนรู้วิถีเกษตรอินทรีย์

และช่องทางเชื่อมต่อระหว่างเกษตรกรในเครือข่ายสามพรานโมเดลกับผู้บริโภคทำให้เกิดการเข้าถึงสินค้าอินทรีย์ที่เชื่อมั่นได้ ด้านสิ่งแวดล้อมช่วยพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศเกษตร คุณภาพดินและน้ำดีขึ้นเมื่อเลิกใช้สารเคมีทางการเกษตร ตลอดจนกระบวนการผลิตและช่วยลดปริมาณคาร์บอน ด้านเศรษฐกิจเกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการขายผลผลิตและขยายช่องทางการตลาดเสริมเศรษฐกิจฐานรากเติบโตอย่างยั่งยืน (พนามาศ ตริวรณกุล และคณะ, 2562; สามพรานโมเดล, 2563)

สหกรณ์เกษตรอินทรีย์ทัฟไทย จำกัด

เริ่มจดทะเบียนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 โดยมีจำนวนสมาชิกเริ่มจัดตั้ง 66 ราย เพื่อจัดการค้าขายผลผลิตของสมาชิก โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ปะกาอัมปิล และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ไร่ และเนื้อสุกร กลุ่มมีการทำการเกษตรที่หลากหลายแบบผสมผสานทั้งการทำนาอินทรีย์ การปลูกพืชตระกูลถั่ว การปลูกแตงโมหลังนา การปลูกผักและผลไม้ท้องถิ่น การเลี้ยงปลา และการเลี้ยงปลาสลิดอินทรีย์ ทำให้กลุ่มมีความโดดเด่น โดยเฉพาะการเลี้ยงสุกรแบบหลุม กลุ่มได้รับระบบพีจีเอส ของมูลนิธิเกษตรอินทรีย์ไทย (มกท.) ซึ่งรับรองผู้ผลิตทั้งระบบพืช สัตว์ และประมง ทำให้กลุ่มมีช่องทางการตลาดที่หลากหลายและมีการสร้างตลาดเพื่อรองรับผลผลิตของสมาชิกภายในกลุ่มที่รู้จักกันในนาม “ตลาดสีเขียว” เป็นการสร้างเครือข่ายภายในและภายนอกชุมชน เรียนรู้การผลิตตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์สากลด้วยระบบการตรวจเยี่ยมแปลงสมาชิก การให้คำแนะนำ การเรียนรู้ และพัฒนานวัตกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเกษตรอินทรีย์ทั้งระบบ ด้วยการปลูกพืชเลี้ยงสัตว์ผสมผสาน การรักษาสีเขียวและระบบนิเวศในพื้นที่ทำการเกษตรของสมาชิกกลุ่ม การสร้างรายได้ในระดับเศรษฐกิจฐานราก สร้างความยั่งยืนทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในชุมชน ด้วยการทำการเกษตรตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง (สรธรรม เกตตะพันธุ์ และคณะ, 2561)

เครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) แปร้ว

เริ่มต้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 เครือข่ายเริ่มจากเป้าหมายร่วมกัน คือ เพื่อปลูกพืชอินทรีย์ที่มีคุณภาพ ปลอดภัย ไว้บริโภคในครัวเรือน ประกอบกับปัญหาสุขภาพจากการใช้สารเคมีในการทำเกษตร จึงร่วมกันจัดตั้งเครือข่ายโดยใช้ระบบพีจีเอส ในการรับรองการทำเกษตรอินทรีย์ โดยปรับให้สอดคล้องกับบริบทพื้นที่โดยอาศัยการมีส่วนร่วมของสมาชิกที่มีอาชีพหลากหลาย แต่มีความต้องการทำเกษตรอินทรีย์ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาศักยภาพขีดความสามารถในการทำระบบพีจีเอส จึงเป็นการสร้างสัมพันธ์ในเครือข่ายให้เข้มแข็งผ่านกิจกรรม โดยปัจจุบันเครือข่ายมีสมาชิกทั้งหมด 273 ราย หัวใจหลักของเครือข่าย PGS แปร้ว คือ “ผู้ผลิตปลอดภัย ผู้บริโภคปลอดภัย ใส่ใจสิ่งแวดล้อม มีคุณธรรม จริยธรรม” สร้างความยั่งยืนด้านเศรษฐกิจ พัฒนาตลาดเกษตรอินทรีย์เกิดรายได้ในชุมชน เช่น ตลาดชุมชน ร้านโกลเด้น เฟลซ เป็นต้น สร้างอำนาจต่อรองทางการค้า เพิ่มโอกาสทางตลาด เศรษฐกิจหมุนเวียน และเป็นการทำการเกษตรแบบเศรษฐกิจพอเพียง ด้านสิ่งแวดล้อม การทำการเกษตรแบบไม่ใช้สารเคมีเป็นการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ ระบบนิเวศเกษตร แหล่งน้ำ และพื้นที่เพาะปลูก ด้านสังคม เครือข่ายมีการทำกิจกรรมร่วมกัน เช่น การตรวจเยี่ยมแปลงสมาชิก การประชุมประจำเดือนแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน งานแลกเปลี่ยนการทำระบบพีจีเอสโดยเปิดเวทีให้หน่วยงานราชการ หรือผู้ประกอบการได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเครือข่ายเกษตรกร เพื่อเชื่อมความสัมพันธ์ทำให้ชุมชนเกษตรอินทรีย์ยั่งยืน (นิรุจน์ ศรีเกษม, สัมภาษณ์, 27 ตุลาคม 2563)

จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาระบบพีจีเอสให้ความสำคัญกับ 1) การมีส่วนร่วมของผู้ผลิตและผู้บริโภคภายในเครือข่าย ตลอดจนหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบพีจีเอสในพื้นที่ และการตรวจแปลงสมาชิกของเครือข่าย เป็นการประเมินในลักษณะเรียนรู้ร่วมกัน 2) กระบวนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในและภายนอกเครือข่าย เช่น การผลิต และช่องทางจัดจำหน่าย เป็นต้น 3) ความโปร่งใส ใช้ในการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ตามระบบพีจีเอส เพื่อความเชื่อมั่นในคุณภาพของผลผลิตและผู้บริโภคสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

สรุป

ระบบพีจีเอส เป็นระบบรับรองที่สมาพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติยอมรับว่าเป็นระบบที่สามารถแก้ไขปัญหาการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ทั่วไปที่ต้องดำเนินการโดยหน่วยงานอิสระจากภายนอกชุมชน และยังมีระเบียบข้อกำหนดที่ค่อนข้างเข้มงวด อีกทั้งมีวิธีการตรวจรับรองและเอกสารประกอบการตรวจรับรองที่ยากต่อความเข้าใจของเกษตรกร นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายในการตรวจรับรองค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะสมกับเกษตรกรที่ต้องการทำเกษตรอินทรีย์เพื่อจำหน่ายในท้องถิ่นหรือเกษตรกรรายย่อย จากกรณีศึกษาข้างต้นทำให้เห็นว่าระบบพีจีเอสเป็นระบบที่ยังคงรักษามาตรฐานพร้อมทั้งสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคและมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติสำหรับเกษตรกรรายย่อยและชุมชนที่มีความต้องการทำเกษตรอินทรีย์ โดยระบบพีจีเอสสามารถอธิบายสังคมเกษตรยั่งยืน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ 1) ด้านเศรษฐกิจ

เกิดการซื้อขายแลกเปลี่ยนระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคในระดับชุมชน ในส่วนของเกษตรกรผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนการผลิตจากการไม่ใช้สารเคมีและค่าใช้จ่ายในการตรวจรับรอง รวมถึงการมุ่งเน้นการดำเนินงานในลักษณะเครือข่ายยังเป็นการขยายช่องทางการตลาดที่ทำให้เกษตรกรผู้ผลิตสามารถขายสินค้าได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีรายได้สูงขึ้น นำไปสู่การพึ่งพาตนเองหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสร้างเศรษฐกิจชุมชนฐานรากให้เติบโตอย่างยั่งยืน 2) ด้านสังคม เกิดการรวมกลุ่มหรือเครือข่ายระหว่างผู้ผลิตทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และสร้างกิจกรรมร่วมกัน เช่น การวางแผน การออกข้อกำหนดของกลุ่ม การตรวจแปลงเกษตรของสมาชิก และการระดมความคิดระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เป็นต้น ทำให้เกิดสังคมแห่งการเรียนรู้ที่นำไปสู่การแก้ปัญหาของเกษตรกรรายย่อยได้อย่างยั่งยืน นอกจากนี้ระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคระบบพีจีเอสยังมีกระบวนการที่โปร่งใสสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ ทำให้ผู้ผลิตสามารถวางแผนการผลิตได้ตามความต้องการของผู้บริโภค พร้อมกับการสร้างความเชื่อมั่นในการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยให้กับผู้บริโภค ส่งผลให้เกิดสังคมที่มีสุขภาพและสภาวะที่ดีจากการบริโภคอาหารอินทรีย์ และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อม ระบบพีจีเอสมีส่วนในการส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์ซึ่งเป็นการรักษาสภาพธรรมชาติของพื้นที่ให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศ รวมถึงฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน น้ำ และสภาพแวดล้อมให้ดีขึ้น ทั้งหมดนี้มีส่วนในการสร้างความมั่นคงทางอาหารและส่งเสริมให้เกิดการอยู่ร่วมกับธรรมชาติอย่างเกื้อกูลตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง เกิดสังคมเกษตรที่เข้มแข็งสามารถพึ่งตนเองได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- กรีนเนท. 2563. อัปเดตข้อมูลเกษตรอินทรีย์โลก: ประเทศไทยได้เริ่มปักหมุดบนแผนที่เกษตรอินทรีย์โลก. <https://www.greennet.or.th/2002-global> (31 ตุลาคม 2563).
- คณะกรรมการพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ. 2560. ยุทธศาสตร์การพัฒนากฎเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ พ.ศ. 2560-2564. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- ดุสิต อธิวัฒน์, จินตนา อินทรมงคล, สมชัย วิสารทพงศ์, ปริญญา พรสิริชัยวัฒนา และลักษมี เมตปรางค์. 2559. มาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมคืออะไร?. *Thai Journal of Science and Technology* 5(2): 119-134.
- นิรุจน์ ศรีเกษม ให้สัมภาษณ์, 27 ตุลาคม 2563. อดิศักดิ์ อ้าเทศ ผู้สัมภาษณ์. สถานการณ์เครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) แปรตัว. ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงด้านการแปรรูปพืชผักและสมุนไพร.
- พนามาต ศิริวรรณกุล, เมตตา เร่งชวนชวาย, เสถียร แสงแถวทิพย์, อรุณ นวราช และชฎทิพร เน้งเกร็ด. 2562. การถอดบทเรียนการขับเคลื่อนเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมของเกษตรกรในโซ่คุณค่าสามพรานโมเดล. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สรรพธรรม เกตตะพันธุ์, กฤติเดช อนันต์, ดุสิต อธิวัฒน์ และลักษมี เมตปรางค์. 2561. ผลของการใช้ระบบการรับรองแบบมีส่วนร่วม (พีจีเอส) ในชุมชนเกษตรอินทรีย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 7(4): 333-354.
- สามพรานโมเดล. 2563. เกี่ยวกับสามพรานโมเดล. <https://www.sampranmodel.com/> (31 ตุลาคม 2563).
- สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2562. ระบบเกษตรกรรมยั่งยืน. กองนโยบายเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและเกษตรกรรมยั่งยืน. https://www.opsmoac.go.th/sustainable_agri-dwl-preview-4 (31 ตุลาคม 2563).
- Fonseca, M. F., Wilkinson, J., Egelyng, H., and Mascarenhas, G. C. C. 2008. The institutionalization of Participatory Guarantee Systems (PGS) in Brazil: Organic and fair trade initiatives. In *Proceedings of the 16th IFOAM Organic World Congress*, International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), pp. 1-4.
- IFOAM. 2008. *Participatory Guarantee Systems: Case studies from Brazil, India, New-Zealand, USA, France*. Germany: IFOAM.
- IFOAM. 2014. *Global Comparative study on interactions between social processes and Participatory Guarantee Systems*. Germany: Die Deutsche Bibliothek.
- IFOAM. 2015. The global PGS newsletter updates on Participatory Guarantee Systems worldwide. <https://www.ifoam.bio/our-work/how/standards-certification/participatory-guarantee-systems/pgs-newsletter-archive> (1 November 2020).
- IFOAM. 2018. *IFOAM policy brief on how governments can recognize and support Participatory Guarantee Systems (PGS)*. Germany: IFOAM.
- Joe, K. W. 2016. Organic agriculture in India and Participatory Guarantee Systems (PGS) a case study from West Bengal. *Jharkhand Journal of Development and Management Studies XISS, Ranch* 14(2): 7037-7055.
- Mary, V. G. 2007. Sustainable agriculture: Definitions and terms. Related terms. National Agricultural Library U.S. Department of Agriculture. <https://www.nal.usda.gov/afsic/sustainable-agriculture-definitions-and-terms-related-terms> (1 November 2020).
- May, C. 2019. *PGS guidelines : How to develop and manage Participatory Guarantee Systems for organic agriculture*. IFOAM - Organics International.
- Moura de Castro, F., Katto-Andrighetto, J., Kirchner, C., and Flores Rojas, M. 2019. *Why invest in Participatory Guarantee Systems? Opportunities for organic agriculture and PGS for sustainable food systems*. Rome: FAO and IFOAM - Organic International.

- Reijntjes, C., Haverkort, B., and Waters-Bayer, A. 1992. เกษตรยั่งยืนวิถีการเกษตรเพื่ออนาคต. แปลโดย วิฑูรย์ ปัญญากุล พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสลายใยแผ่นดิน.
- Willer, H., Schlatter, B., Travnicek, J., Kemper, L., and Lemond, J. 2020. *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2020*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM - Organics International.

วันรับบทความ (Received date) : 24 พ.ย. 63

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 มี.ย. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 ส.ค. 64

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

Research Articles:

Page

- | | | |
|---|--|-----|
| □ A Statistical Model for Finding the Influence of Climate on Flowering of 'Namdokmai Sithong' Mango in Phitsanulok Province | Saranya Thongsook and Sophana Somran | 172 |
| □ Root Colonization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Durian cv. "Monthong" Grafted-Seedlings | Kanokpon Bunya-atichart, Worapon Bannajit, Prasit Deewatthanawong and Rujira Deewatthanawong | 184 |
| □ A Study on Harvesting Seasons and Different Fruit Sizes on 'Pan Baan Phaeo' Lime Fruit Qualities | Sarida Buathong, Wachiraya Imsabai and Paweena Chuenwarin | 190 |
| □ Potential of <i>Trichoderma</i> spp Spore Suspension to Control Egg Hatchability and Development of Root-knot Nematode (<i>Meloidogyne incognita</i>) in Tomatoes | Angkana Rotprachak and Amomsri Khun-in | 198 |
| □ Effect of Aeration Time on Ethanol Production from Molasses by <i>Sacharomyces cerevisiae</i> | Prayooth Saothong Klanarong Siroth Boontiwa Ninchan and Wirat Vanichsiratana | 206 |
| □ Effects of Ectomycorrhiza from <i>Astraeus odoratus</i> and <i>Phlebopus portentosus</i> on some Species of Forest Trees and Fast Growing Trees in Natural Conditions | Tanapak Inyod, Thanakorn Lattirasuvan, Thanapat Termarom, Chatree Konee, Sirinthip Chaimongkhon and Weerachi Fongthiwong | 215 |
| □ Analysis of Consumer Intention to Purchase Sacred Lotus Flowers for Decoration in Khon Kaen Province | Thamon Theerasaranon, Yaowarat Sriwaranun and Parichard Sangkumchaliang | 224 |
| □ Self-Development Needs of Agricultural Promotions Officers, Department of Agricultural Promotions | Wannaree Konkhayun, Somchai Anusontpomperm and Tanin Kongsila | 231 |
| □ The Optimum Conditions for the Production of Dried Osmotic Dehydrated Karanda (<i>Carissa carandas</i> L.) | Pasuree Rittilert | 239 |

Academic Articles:

- | | | |
|--|--|-----|
| □ Participatory Guarantee Systems for Organic Agriculture, Way to Sustainable Agricultural Society | Adisak Amthed and Duangkamol Panrosthup Thunmathiwat | 248 |
|--|--|-----|