วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ISSN 1906-1889

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566 Vol. 16 No. 1 January - June 2023

จริยธรรม/จรรยาบรรณวารสาร

ผู้แต่ง (Authors)

1. ผู้แต่งต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยนำเสนอในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceedings) หรือได้รับการตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน รวมทั้งการไม่อยู่ระหว่างการส่งหรือรอเพื่อการตีพิมพ์บทความ
2. ผู้แต่งต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดของวารสาร ตามคำแนะนำของรายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ มิฉะนั้นทางบรรณาธิการวารสารจะไม่รับพิจารณาบทความนั้น ๆ
3. บทความต้องนำเสนอรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูลหรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้แต่งต้องไม่นำผลงานของผู้อื่นมาอ้างเป็นผลงานของตัวเอง โดยบทความต้องมีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง หากมีการนำผลงานผู้อื่นมาอ้างอิง และจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงของผู้นั้นในรายการอ้างอิงท้ายบทความด้วย
5. ผู้แต่งที่มีชื่อปรากฏในบทความ จะต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง และผู้แต่งจะต้องระบุการไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน (กรณีที่กังวลต่อการส่งบทความ)
6. ผู้แต่งต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยในกิตติกรรมประกาศ

บรรณาธิการวารสาร (Editors)

1. มีหน้าที่พิจารณารูปแบบความครบถ้วนและคุณภาพของบทความ ก่อนเริ่มกระบวนประเมินเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่รับผิดชอบ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความและการตีพิมพ์วารสารฉบับนั้น ๆ
2. เป็นผู้ประเมินเบื้องต้นในการตัดสินใจคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการประเมินบทความ และตัดสินใจรับตีพิมพ์โดยพิจารณาจากผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งนี้บรรณาธิการวารสารจะต้องคำนึงถึงความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหากับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
3. บรรณาธิการวารสารจะไม่รับตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่จากที่อื่นมาแล้ว ทั้งในรูปแบบของวารสารหรือบทความหลังการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการฉบับเต็ม (Proceedings) และต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่ยอมรับในทางวิชาการ และกรณีตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการวารสารต้องติดต่อผู้นิพนธ์หลักเพื่อขอคำชี้แจง และหากไม่มีข้อชี้แจงตามหลักวิชาการ บรรณาธิการจะ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
4. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเพียงด้วยข้อสงสัย ความไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
5. บรรณาธิการวารสารจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนใด ๆ กับผู้นิพนธ์ ผู้ประเมินบทความ และทีมผู้บริหาร

ผู้ประเมินบทความ (Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่จะทำให้ผู้ประเมินไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระ ซึ่งหากมีกรณีดังกล่าวผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลใด ๆ ของบทความและผู้นิพนธ์แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
2. ผู้ประเมินบทความ ควรมีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาของบทความที่ประเมิน โดยพิจารณาจากเนื้อหาของบทความ และการประเมินบทความโดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน ความสอดคล้องของเนื้อหา และความเข้มข้นของบทความ ไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินบทความ
3. ผู้ประเมินบทความสามารถเสนอแนะผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้นิพนธ์ไม่ได้อ้างถึงเข้าไปในการประเมินบทความได้ นอกจากนี้ หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือความซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ โดยมีหลักฐานชัดเจน ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566 Vol.16 No.1 January - June 2023

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

ISSN 1906-1889

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นสื่อ รวบรวมเผย แพร่ผลงานวิจัยด้าน (1) วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

ผู้จัดพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่ ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็ปไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่ มอบให้หน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ และเผยแพร่ในเว็บไซต์ ThaiJO

สำนักงาน สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5
เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510
โทรสาร 0-3835-8142
E-mail : journal2rmutto@gmail.com

ชลกิจการพิมพ์
47 ถ.ศรีราชานคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566
Vol. 16 No. 1 January - June 2023
ISSN 1906-1889

เจ้าของ
สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ฤกษ์ชัย ฟูประทีปศิริ
ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร
ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์
ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงค์เสถียร
รศ.ดร.จำเป็น อ่อนทอง
รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ
รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู
รศ.ดร.กฤษชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์
รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

บรรณาธิการ
รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ
อ.ดนุชวัฒน์ สุวรรณศิลป์
ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ	
ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร	ม.เกษตรศาสตร์
ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์	สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์
ศ.ดร.เสาวภา อังสุภานิช	ม.สงขลานครินทร์
ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงค์เสถียร	ม.ขอนแก่น
ศ.ดร.สุวัจน์ ธัญรส	มทร.ศรีวิชัย
ศ.ดร.สนั่น จอกลอย	ม.ขอนแก่น
รศ.ดร.จำเป็น อ่อนทอง	ม.สงขลานครินทร์
รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ	มจพ.
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ	ม.สุโขทัยธรรมาธิราช
รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร	ม.เชียงใหม่
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู	ม.ราชภัฏลำปาง
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	มทร.ธัญบุรี
รศ.ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย	ม.บูรพา

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน ไม่ใช่แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ ไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจาก วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2566) ฉบับนี้มีบทความวิจัยส่งมาลงตีพิมพ์น้อย ทางบรรณาธิการจึงรู้สึกเสียดายโอกาสของคณาจารย์และนักวิจัย เนื่องจากวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกแม้ในปีนี้จะยังอยู่ในฐานข้อมูล TCI 2 แต่ก็ยังสามารถนำผลงานที่ตีพิมพ์ในวารสารฯ ไปส่งขอผลงานทางวิชาการได้ เนื่องจากบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารฯ นั้น ได้ผ่านการตรวจประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารฯ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2564 อีกทั้งในส่วนของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่สามารถส่งบทความวิจัยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์/การค้นคว้าอิสระมาตีพิมพ์เพื่อจบการศึกษาได้ ในการนี้จึงขอเชิญชวนคณาจารย์ นักวิจัย และนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ได้ส่งบทความวิจัยเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ทั้งนี้ในส่วนของทางคณะผู้จัดทำวารสารฯ จะได้ดำเนินการประชาสัมพันธ์เชิญชวนให้ทุกท่านส่งบทความเพื่อมาลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
บรรณาธิการ
วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

การประมาณค่า CBR ของดินโดยโครงข่ายประสาทเทียม.....1
ณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ

การศึกษาสายพันธุ์มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) ที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์.....11
ทวีเกียรติ ทวีกสิกรรม และ ธีระ สมหวัง

การประเมินและคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่มีคุณภาพสำหรับการบริโภคที่ดีและผลผลิตสูง.....18
ธีระ สมหวัง ภัศจี คงศิล และ น้องนุช ศิริวงศ์

การพัฒนาเค้กปราศจากกลูเตนโดยการใช้แป้งข้าวกล่ำบางพระทดแทนแป้งสาลี.....29
อนงค์นาฏ โสภณางกูร สุธัญญา พรหมสมบูรณ์ ประพฤติ พรหมสมบูรณ์ และ สุพรรษา ชินวรณ์

องค์ประกอบทางเคมีและความสามารถต้านอนุมูลอิสระของข้าวจี๊บ มะลิดำและดอกมะขาม.....39
สมหมาย ปะติตังโข กิ่งแก้ว ปะติตังโข และ ครุปกรณ์ ละเอียดอ่อน

การประมาณค่า CBR ของดินโดยโครงข่ายประสาทเทียม

Estimation of California Bearing Ratio by Artificial Neural Network

ณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ

Narongdej Intaratchaiyakit

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Uthenthawai Campus, 225 Phayathai Road
Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand
E-mail: mydej456@yahoo.co.th โทร. 081-628-8063

บทคัดย่อ

การทดสอบค่าซีบีอาร์ (CBR) ในห้องปฏิบัติเป็นงานยากลำบาก ใช้เวลานาน และมีราคาแพง ส่งผลให้มีการพัฒนาแบบจำลองเชิงทำนายโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (MLRA) และโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ในการศึกษานี้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำในชุดการทดสอบที่ได้รับจาก MLRA ซึ่งใช้กรวด ทราย ดัชนีพลาสติก และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเป็นตัวแปรต้น อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง ANN ที่พัฒนาขึ้นอย่างเหมาะสม คือ แบบจำลอง 5 ซึ่งใช้ปริมาณดินมวลละเอียด ดัชนีพลาสติก ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม และความหนาแน่นแห้งสูงสุดเป็นตัวแปรต้น แบบจำลอง 5 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างสูงในชุดการทดสอบ ค่า CBR ที่ถูกทำนายโดยใช้ ANN จะถูกเปรียบเทียบกับค่า CBR ที่ถูกทำนายโดย MLRA ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ANN มีประสิทธิภาพสูงกว่า MLRA และแบบจำลอง 5 สามารถถูกนำมาใช้ได้เพราะค่าความเชื่อถือได้มีค่าสูง ดังนั้นสูตรใหม่ที่ได้จาก ANN ได้ถูกนำเสนอสำหรับการทำนายค่า CBR สูตรใหม่นี้เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบเบื้องต้นในงานดินที่มีข้อจำกัดภายใต้งบประมาณ และเวลาที่จำกัด

คำสำคัญ : ค่าซีบีอาร์ การประมาณค่า โครงข่ายประสาทเทียม ปัญญาประดิษฐ์

Abstract

Laboratory CBR test is laborious, time-consuming, and expensive, resulting in the development of predictive models by employing a multiple linear regression analysis (MLRA) and an artificial neural network (ANN). In this study, a low coefficient of determination in the testing set was deserved from the MLRA in which the gravel, sand, plasticity index, and optimum moisture content were used as independent variables. However, the suitably developed ANN model was Model 5 in which fine content, plastic index, optimum moisture content and maximum dry density were used as independent variables. The Model 5 had a relatively high coefficient of determination in the testing set. The predicted CBR values using the ANN were compared with those predicted by MLRA. The findings demonstrated that ANN outperforms MLRA and that model 5 can be used due to its high reliability. A new formula derived from ANN has been suggested to predict CBR values. This new formula is helpful for a preliminary design in earthwork under time and money constraints.

Keywords : California Bearing Ratio, estimation, artificial neural network, artificial intelligence

1. บทนำ

งานดินในโครงการก่อสร้าง เช่น คันทางถนน และผิวทาง จำเป็นต้องมีชั้นรองพื้นทางที่เหมาะสม ชั้นรองพื้นทางควรพิจารณาเงื่อนไขบางประการ เช่น ความสามารถในการรับน้ำหนัก การทรุดตัว และการพองตัว ดังนั้นวิธีการประเมินจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการสร้างถนน (Taskiran, 2010) ผิวทางแบบยืดหยุ่นประกอบด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต ชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง และชั้นดินเดิม คุณสมบัติของวัสดุและลักษณะความแข็งแรงของผิวทางแต่ละชั้นจะมีความแตกต่างกัน ความแข็งแรงของวัสดุดินเดิมและวัสดุมวลหยาบ สามารถกำหนดได้โดยใช้ค่าซีบีอาร์ (California Bearing Ratio, CBR) และโมดูลัสยืดหยุ่น (Resilient modulus, M_R) (Taha *et al*., 2019)

CBR คือ การทดสอบที่ใช้ประเมินโมดูลัสยืดหยุ่น และความแข็งแรงของดินเดิม นอกจากนี้ CBR แสดงค่าทางอ้อมในลักษณะสัดส่วนของความแข็งแรงของดินเดิมต่อความแข็งแรงของหินคลุกมาตรฐานเป็นเปอร์เซ็นต์ รวมทั้ง CBR ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบความหนาของผิวทาง อย่างไรก็ตาม การทำงานเพื่อให้ได้ค่า CBR จะต้องใช้ความพยายามอยู่เสมอ ข้อมูลการสำรวจดินอาจไม่เพียงพอเนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ เวลา และแผนงานที่ไม่ดี อย่างไรก็ตาม การทดสอบ CBR ในห้องปฏิบัติการจะมีความยากลำบาก ใช้เวลานาน ราคาแพง และอาจจะไม่ถูกต้องเนื่องจากตัวอย่างดินถูกรบกวนและคุณภาพการทดสอบต่ำ

ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองการทำนายค่า CBR จึงเป็นสิ่งจำเป็น (Wai, 2006) ตัวอย่างเช่น Agarwal and Ghanekar (1970) เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับขีดจำกัดเหลว (Liquid limit, LL) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit, PL) หรือดัชนีพลาสติก (Plasticity index, PI) พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สมการความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) และ LL มีนัยสำคัญ National Cooperative Highway Research Program of United States of America (NCHRP) (2001) รายงานสองสมการ ซึ่งแต่ละสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติดัชนีของดิน กับ CBR โดยสมการ (1) ใช้สำหรับวัสดุดินเม็ดหยาบที่ไม่มีพลาสติก และสมการ (2) ใช้สำหรับดินเม็ดละเอียดมากกว่า 12% ที่มีความเป็นพลาสติกบางส่วน ดังนี้

$$CBR = 28.09(D_{60})^{0.358} \quad (1)$$

โดย D_{60} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ผ่าน 60% (มม.) จากสมการ (1) D_{60} อยู่ระหว่าง 0.01 มม. ถึง 30 มม. ดังนั้น ค่า CBR ที่แนะนำ คือ 5% สำหรับ D_{60} น้อยกว่า 0.01 มม. ในขณะที่ค่า CBR ที่แนะนำ คือ 95% สำหรับ D_{60} ที่มากกว่า 30 มม. อีกสมการหนึ่งเกี่ยวกับดินเม็ดละเอียดได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง CBR และสมบัติดัชนีของดิน (เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 และดัชนีพลาสติก) ดังนี้

$$CBR = \frac{75}{1+0.728*wPI} \quad (2)$$

$$wPI = P_{200} * PI \quad (3)$$

โดย wPI คือ ดัชนีพลาสติกซึ่งถูกถ่วงน้ำหนัก P_{200} เท่ากับ เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ในรูปแบบทศนิยม PI คือ ดัชนีพลาสติกที่ใช้ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ กรวด (Gravel, G) ทราย (Sand, S) ดินเม็ดละเอียด (Fine content, FC) ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density, MDD) LL, PL และ OMC ส่งผลต่อค่า CBR ของดินเม็ดละเอียด ตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression analysis, SLRA) ท่ามกลาง G, S, FC, LL, PL, MDD และ OMC สำหรับการทำนายค่า CBR คือ MDD การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression analysis, MLRA) มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูงกว่า SLRA (Ramasubbarao and Sankar, 2013; Rehman *et al*., 2015) Rakaraddi and Gomarsi (2015) รายงานว่า MLRA มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวที่ดีมากกว่า SLRA Rehman *et al*. (2017) พัฒนาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม รวมทั้งโนโมกราฟหรือเส้นโค้งทำนายเพื่อทำนายค่า CBR, OMC และ MDD ในเทอมของ C_u, D_{30}, และ D_{50}

2. วิธีการศึกษา

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษานี้ใช้วิธี MLRA และ ANN ในการประมาณค่า CBR ของดินจากข้อมูลทั้งหมด 96 กรณีจากการรายงานโดย Farias *et al*. (2018) ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสามชุด คือ ชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ 80% ของข้อมูลถูกใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลอง 10% ใช้สำหรับการตรวจสอบแบบจำลอง และส่วนที่เหลืออีก 10% ใช้สำหรับการทดสอบแบบจำลอง ตัวแปรต้น และตัวแปรตามได้มีช่วงของข้อมูล ดังตารางที่ 1 ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ทำให้ค่าทั้งตัวแปรต้น และตัวแปรตามให้เป็นค่ามาตราฐานที่อยู่ระหว่าง 0 และ 1

ตารางที่ 1 ขอบเขตของข้อมูล ซึ่งถูกใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลอง

ตัวแปร	ค่ามากสุด	ค่าน้อยสุด	พิสัย
G (%)	94	0	94
S (%)	100	2	98
FC (%)	98	0	98
LL (%)	51	15	36
PI (%)	24	1	23
OMC (%)	17	4.5	12.5
MDD (g/cm^3)	2.29	1.62	0.67
CBR (%)	81	1	80

2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (MLRA)

นักวิจัยหลายคนได้กล่าวถึงตัวแปรหลาย ๆ ตัว ที่ส่งผลต่อค่าซีบีอาร์ ได้แก่ LL, PI, OMC, MDD, G, S และ FC ดังนั้นตัวแปรเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรต้น สำหรับ MLRA ในขณะที่ CBR เป็นตัวแปรตาม ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตามของ MLRA ได้แสงดังสมการต่อไปนี้

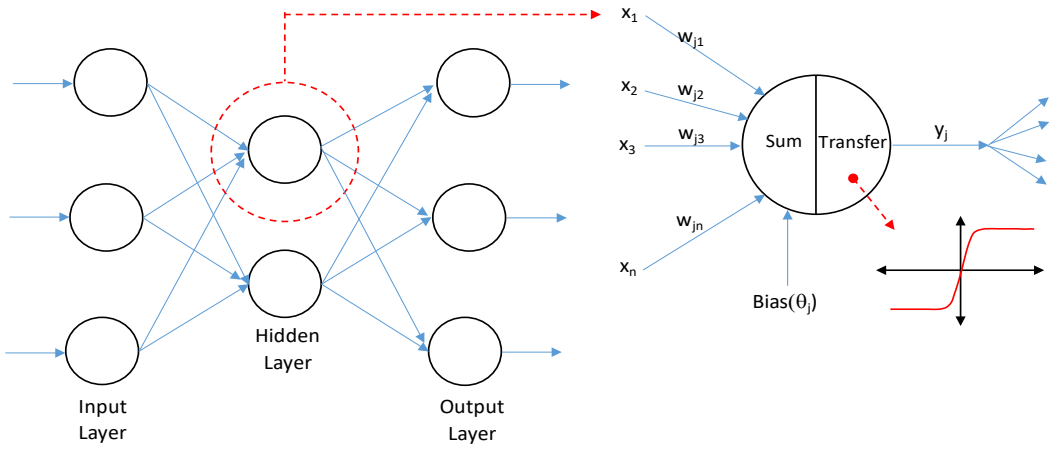
$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + e \quad (4)$$

โดย Y คือ ตัวแปรตาม; α คือ ระยะตัดแกน Y; $\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n$ คือ ค่าความชันของ X_1, X_2, ..., X_n ตามลำดับ e คือ พจน์ของค่าความผิดพลาด (Yildirim and Gunaydin, 2011) การหาผลลัพธ์สามารถกระทำโดย Y จะถูกแทนที่ด้วย CBR ในขณะที่ตัวแปรต้น คือ LL, PI, OMC, MDD, G, S และ FC การวิเคราะห์ดำเนินการใน Python 3.8.5 และแบบจำลอง CBR ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ MLRA ประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลอง MLR ที่พัฒนาขึ้น สามารถประเมินได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute error, MAE) ระหว่างค่า CBR ที่วัดได้ และค่า CBR ที่ได้จากการทำนาย สำหรับชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN) ในวิศวกรรมปฐพีและสาขาวิชาอื่น ๆ ได้ประเมินตัวแปรหลาย ๆ ตัว (Basma and Kallas, 2004; Das and Basudhar, 2008; Gunaydin *et al*., 2010) แบบจำลองที่ซับซ้อนจะมีความซับซ้อนในการแก้ไขปัญหา แต่ ANN สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้แบบจำลองทางกายภาพ (Taskiran, 2010; Shahin, 2015) การประมาณค่า CBR ในงานวิจัยหลายประเภทไม่สามารถเข้าถึงได้โดยใช้วิธีการทางสถิติเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ นอกจากนี้ CBR มักจะแสดงในลักษณะของพารามิเตอร์ของดินน้อยกว่าสองพารามิเตอร์ (เช่น ขนาดคละ พลาสติกซิตี้ และคุณสมบัติของการบดอัดของดิน) อย่างไรก็ตาม การประมาณค่า CBR ของดินเม็ดละเอียดในตุรกีได้ใช้ทั้ง ANN และโปรแกรมนิพจน์ของยีน (Gene expression

programming, GEP) ได้ประสบความสำเร็จในความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ คุณสมบัติพื้นฐานหลายอย่างของดินเม็ดละเอียด MDD, PI, OMC, S, FC, LL และ G เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตามลำดับที่มีผลต่อค่า CBR ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความไว (Taskiran, 2010) Bhatt *et al*. (2014) แสดงให้เห็นว่า SLRA และ MLRA มีประสิทธิภาพในการทำนายค่า CBR เกี่ยวกับ G, S, OMC และ MDD ต่ำกว่า ANN แบบจำลอง ANN ทำนายค่า CBR ได้ดีกว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression, MLR) (Erzin and Turkoz, 2016) ทั้ง ANN และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis, RA) ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเป็นที่น่าพอใจ (Taha *et al*., 2019)



ภาพที่ 1 การทำงานของ ANN

ANN เป็นวิธีการของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence, AI) ที่พยายามเลียนแบบสมองและระบบประสาทของมนุษย์ ANN ประกอบด้วยโหนดหรือองค์ประกอบการประมวลผล (Processing elements, PEs) โหนดเหล่านี้ถูกจัดอยู่ในชั้นป้อนเข้า หรือชั้นซ่อน และชั้นผลลัพธ์ (ภาพที่ 1) แต่ละโหนดในชั้นหนึ่งใด ๆ จะเชื่อมโยงกับโหนดอื่นผ่านการเชื่อมต่อแบบถ่วงน้ำหนัก การป้อนเข้าจากแต่ละโหนดในชั้นล่าสุด (x_i) คูณด้วยน้ำหนักการเชื่อมต่อที่ปรับเปลี่ยนได้ (w_{ji}) ที่แต่ละโหนด สัญญาณป้อนเข้าที่ถูกถ่วงน้ำหนักจะถูกรวบรวม และเพิ่มความเอนเอียง (θ_j) แล้วผ่านฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function, f.) เช่น ฟังก์ชันกระตุ้น tanh เป็นต้น แล้วได้ผลลัพธ์ของโหนด (y_i) ผลลัพธ์ของโหนดหนึ่งใด ๆ จะให้ค่าป้อนเข้าไปยังหลาย ๆ โหนดในชั้นถัดไป กระบวนการนี้ถูกดำเนินการในสมการ (5) และ (6) และถูกแสดงในภาพที่ 1 (Shahin and Jaksa, 2002)

$$I_j = \sum w_{ji} x_i + \theta_j \quad (5)$$

$$y_j = f(I_j) \quad (6)$$

ความเอนเอียงจะถูกเพิ่มเข้าไปในโหนดชั้นซ่อนอยู่ และชั้นผลลัพธ์เท่านั้น (Erzin, Rao, Patel, Gumaste, and Singh, 2008) หนึ่งชั้นซ่อนได้เพียงพอ สำหรับ ANN (Cybenko, 1989; Hecht-Nielsen, 1989) ANN สามารถเรียนรู้ได้โดยการปรับน้ำหนักของโหนดจนกว่าจะมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุดระหว่างค่าผลลัพธ์จริง และผลลัพธ์เป้าหมาย (Erzin *et al*., 2008) อัลกอริทึมการแพร่กระจายกลับ (Back-propagation algorithm) เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multi - Layer Perceptron, MLP) (Khandelwal and Singh, 2009) อัลกอริทึมการแพร่กระจายกลับนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในวิศวกรรมธรณีเทคนิค (Erzin and Gunes, 2011; Shahin and Jaksa, 2002; Taskiran, 2010)

2.4 การพัฒนาแบบจำลอง ANN

นักวิจัยหลายคนกล่าวถึงว่า ตัวแปรหลาย ๆ ตัวได้ส่งผลต่อค่าซีบีอาร์ ได้แก่ LL, PI, OMC, MDD, G, S และ FC ดังนั้นตัวแปรเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับแบบจำลอง ANN ที่พัฒนาขึ้น เพื่อหาแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสม และสร้างสูตรสำหรับการประมาณค่า CBR ซึ่งจำเป็นต้องตรวจสอบแบบจำลอง ANN หลาย ๆ แบบ แบบจำลอง 6 แบบ ได้ถูกสร้างขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ โดยการรวมกันของตัวแปรป้อนเข้าอย่างเหมาะสม รวมทั้งความแตกต่างในสถาปัตยกรรม ANN จะถูกใช้ทำนายค่า CBR ที่เหมาะสมมากสุด ดังตารางที่ 2 ข้อมูลที่นำมาใช้กับแบบจำลอง ANN ที่พัฒนาขึ้นจะถูกทำให้เป็นค่ามาตรฐานระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อลดผลกระทบของมิติและเพื่อฝึกฝน ANN สำหรับการหาค่าน้ำหนักและความเอนเอียง ส่วนการแปลงข้อมูลให้เป็นค่ามาตรฐาน (Normalization) จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$X_n = \frac{X - Xmin}{X_{max} - X_{min}} \quad (7)$$

ส่วนฟังก์ชันกระตุ้น relu และ tanh ถูกใช้ในชั้นซ่อน และชั้นผลลัพธ์ โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า ซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ถูกฝึกฝนด้วยอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (Back-propagation algorithm) และใช้อัลกอริทึมอดัม (Adam algorithm) สำหรับการทำให้ฟังก์ชันการสูญเสียมีค่าน้อยสุด การวิเคราะห์ถูกดำเนินการใน Python 3.8.5 ประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลอง ANN ที่พัฒนาขึ้น สามารถประเมินได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute error, MAE) ระหว่างค่า CBR ที่วัดได้ และค่า CBR ที่ได้จากการทำนาย สำหรับชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ

2.5 ความเชื่อถือได้

ความเชื่อถือได้ (Reliability) คือ สิ่งที่ใช้วัดความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ไปใช้วัดตัวอย่าง หากนำเครื่องมือไปวัดตัวอย่าง 2 ครั้ง แล้วผลที่ได้จะต้องคล้ายกันหรือสอดคล้องกัน ซึ่งเป็นวิธีการวัดซ้ำ สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการวัดซ้ำ ซึ่งจะใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่าง CBR ที่ประมาณค่า และ CBR ที่วัดได้ บนข้อมูลตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 96 กรณี ที่ระดับความเชื่อมั่น (Confidence level, CI) เท่ากับ 0.95 การวิเคราะห์ถูกดำเนินการใน Python 3.8.5 โดยความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันและสูง จะแสดงถึงเครื่องมือ (แบบจำลอง) มีความน่าเชื่อถือสูง

ตารางที่ 2 แบบจำลอง ANN ซึ่งถูกใช้ประมาณค่า CBR

แบบจำลอง	ตัวแปรป้อนเข้า	โครงสร้าง (ANN)	ฟังก์ชันกระตุ้น
1	G, S, FC, LL, PI, OMC, MDD	7-1-1	relu - tanh
2	S, FC, LL, PI, OMC, MDD	6-3-1	relu - tanh
3	S, PI, OMC, MDD	4-3-1	relu - tanh
4	LL, PI, OMC, MDD	4-4-1	relu - tanh
5	FC, PI, OMC, MDD	4-2-1	tanh - tanh
6	G, S, PI, MDD	4-1-1	tanh - tanh

3. ผลการศึกษา

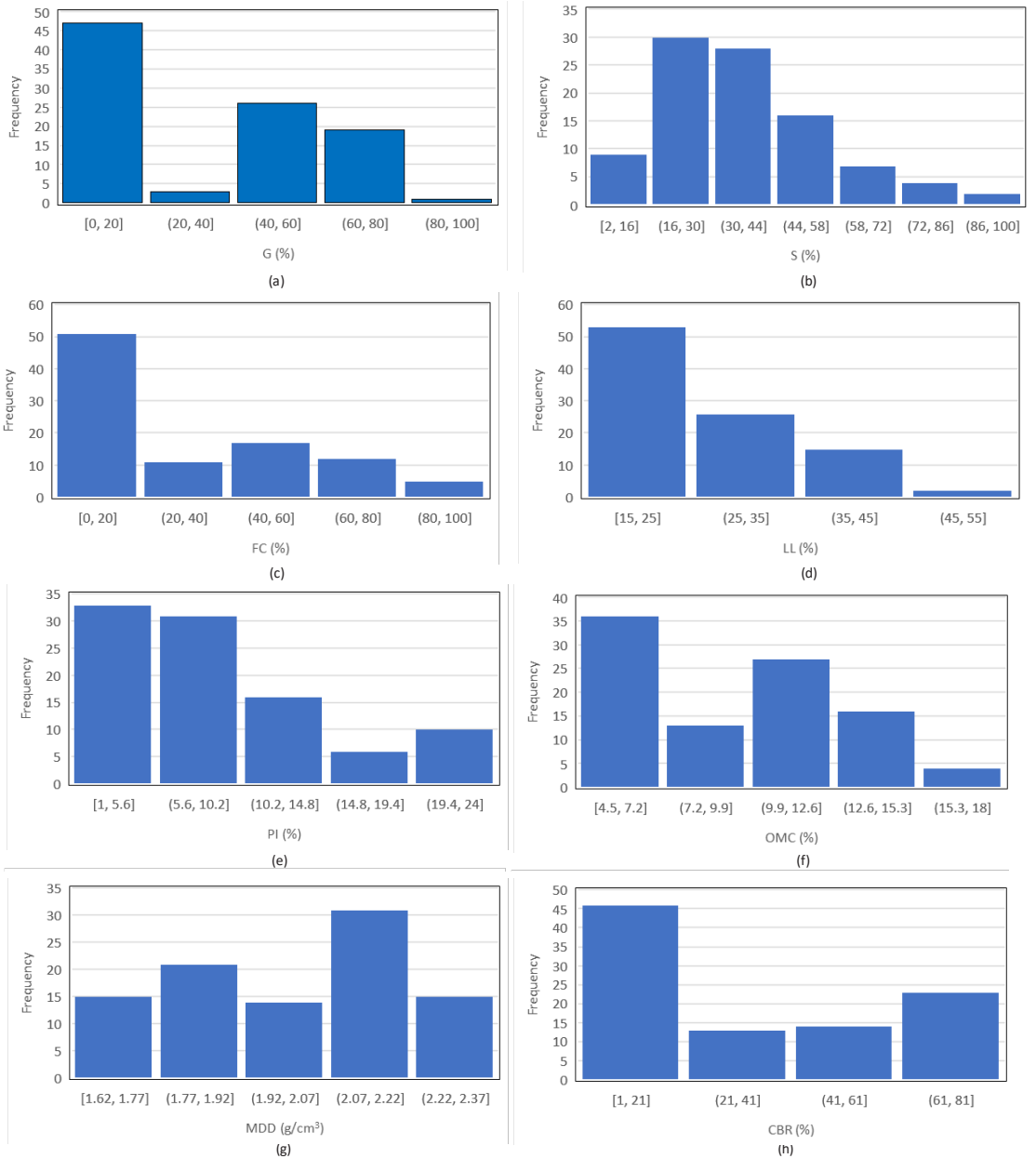
3.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายข้อมูล

ภาพที่ 2 แสดงการกระจายของข้อมูลของแต่ละตัวแปรในรูปแบบความถี่ ดินส่วนมากจะมีค่า G ระหว่าง 0 และ 20 % (ภาพที่ 2a) และจะมี S ระหว่าง 16 ถึง 44% (ภาพที่ 2b) ขณะที่ FC ในดินส่วนมากจะมีค่าในช่วง 0 ถึง 20% (ภาพที่ 2c) ส่วนใหญ่ดินจะมี LL จาก 15 ถึง 25% (ภาพที่ 2d) ส่วน PI จะมีค่าส่วนใหญ่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 10.2% (ภาพที่ 2e) OMC จะมีค่าส่วนมากในช่วง 4.5 ถึง 7.2% (ภาพที่ 2f) MDD และ CBR จะมีความถี่สูงสุดในช่วง 2.07 ถึง 2.22 g/cm^3 และ 1 ถึง 21% ตามลำดับ (ภาพที่ 2g และ 2h)

3.2 ผลการวิเคราะห์ MLRA

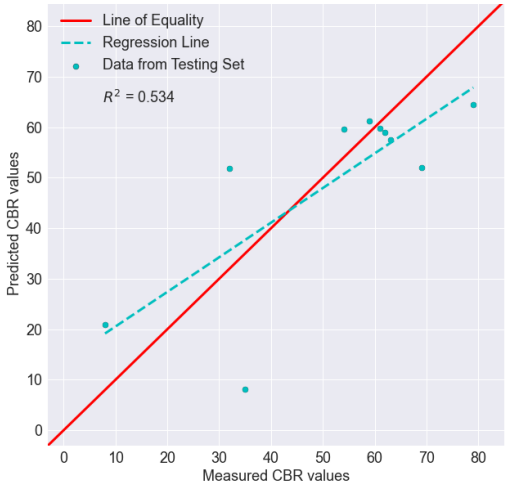
ประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลอง MLR ที่พัฒนาขึ้นสามารถประเมินได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ระหว่างค่า CBR ที่วัดได้ และค่า CBR ที่ถูกทำนาย ค่า R^2 ของสมการ (8) เท่ากับ 0.846, 0.892 และ 0.534 สำหรับชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่า MAE คือ 7.730, 8.017 และ 10.87 สำหรับชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ ตามลำดับ สมการที่ใช้ทำนายค่า CBR โดยใช้ G, S, PI และ OMC เป็นตัวแปรต้น ซึ่งได้จาก MLRA จะมีค่าดังต่อไปนี้

$$CBR = 58.435400 + 0.376590\ G + 0.116958\ S - 0.658274\ PI - 3.604220\ OMC \quad (8)$$



ภาพที่ 2 การกระจายข้อมูลของข้อมูลป้อนเข้า และผลลัพธ์

นอกจากนี้ ค่า CBR ที่คำนวณจากสมการ (8) จะถูกเปรียบเทียบกับค่า CBR ที่วัดได้ในชุดการทดสอบ โดยการนำมาพล็อตจุด ดังภาพที่ 3 จะพบว่า มีความสัมพันธ์กันปานกลางระหว่างกัน



ภาพที่ 3 ค่า CBR ซึ่งถูกประมาณค่าจากสมการ (8) เปรียบเทียบกับค่า CBR ที่วัดได้

ตารางที่ 3 น้ำหนัก และความเอนเอียง สำหรับแบบจำลอง 5

น้ำหนักระหว่างชั้นป้อนเข้า และชั้นซ่อน		น้ำหนักระหว่างชั้นซ่อน และชั้นผลลัพธ์
-1.8708048	-0.5295375	1.2511209
-0.7253409	-0.15920386	0.75452834
-1.8599731	0.6836202	
0.57240915	-0.03287369	
ความเอนเอียงระหว่างชั้นป้อนเข้า และชั้นซ่อน		ความเอนเอียงระหว่างชั้นซ่อน และชั้นผลลัพธ์
-0.1332478	0.984387	0.75696903

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง ANN ซึ่งถูกใช้ประมาณค่า CBR

แบบจำลอง	ชุดการฝึกฝน		ชุดการตรวจสอบ		ชุดการทดสอบ	
	R^2	MAE	R^2	MAE	R^2	MAE
1	0.862	7.419	0.940	6.740	0.581	9.535
2	0.902	6.148	0.941	6.585	0.609	9.810
3	0.846	7.340	0.872	8.907	0.647	9.222
4	0.846	7.542	0.850	8.850	0.643	9.068
5	0.905	5.940	0.989	2.357	0.674	9.413
6	0.805	8.482	0.898	8.203	0.568	10.454

3.3 ผลการวิเคราะห์ ANN

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการฝึกฝนได้แสดงในตารางที่ 2 หลังจากแบบจำลอง ANN ได้ถูกฝึกฝน แล้วจะได้น้ำหนักและความเอนเอียงสำหรับแบบจำลอง 5 ดังตารางที่ 3 ค่าฟังก์ชันกระตุ้น น้ำหนัก และความเอนเอียงจะถูกนำมาใช้ในการสร้างสูตร CBR ประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ถูกแสดงในตารางที่ 4 โดยแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสม คือ แบบจำลอง 5 เนื่องจากมี R^2 ค่อนข้างสูง และ MAE ต่ำในชุดการฝึกฝน นอกจากนี้ แบบจำลอง 5 ยังซับซ้อนน้อยกว่าแบบจำลอง 4 เนื่องจากมีตัวแปรป้อนเข้า 4 ตัว กับ โหนด 2 ตัวในชั้นซ่อน ในขณะที่ แบบจำลอง 3

มีตัวแปรป้อนเข้า 4 ตัว กับ โหนด 3 ตัวในชั้นซ่อน R^2 ของแบบจำลอง 5 ในชุดการทดสอบได้มีค่าสูงสุด แต่ค่า MAE ได้มีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง 1 แบบจำลอง 2 และ แบบจำลอง 6 ดังนั้นแบบจำลอง 5 จึงถูกเลือก และมีสมการดังต่อไปนี้

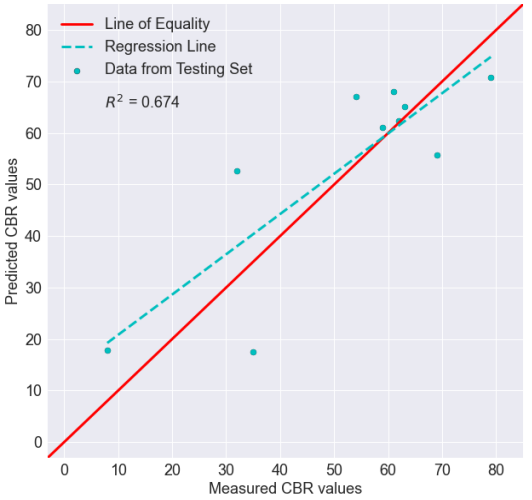
$$CBR = 1 - 80 * \tanh(1.251121\ C_1 + 0.754528\ C_2 - 0.756969) \quad (9)$$

โดย

$$C_1 = \tanh(0.019090\ FC + 0.031537\ PI + 0.816152 + 0.148798\ OMC - 0.854343 * MDD) \quad (10)$$

$$C_2 = \tanh(0.005403\ FC + 0.006922\ PI - 0.824692 - 0.054690\ OMC + 0.049065\ MDD) \quad (11)$$

การหาค่าฟังก์ชัน C_1 จากสมการ (10) และ C_2 จากสมการ (11) จะต้องใช้ตัวแปรป้อนเข้า FC, PI, OMC และ MDD การใช้ฟังก์ชัน C_1 และ C_2 ในสมการ (9) เพื่อหาค่า CBR ซึ่งสูตรที่นำเสนอนั้นจะสมเหตุผลเมื่อตัวแปรป้อนเข้ามีค่าอยู่ระหว่างค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของตัวแปรป้อนเข้าตามที่กำหนดในตารางที่ 1 ผลการทำนายของแบบจำลองสามารถเพิ่มค่าเบี่ยงเบนจากการใช้ตัวแปรป้อนเข้านอกเหนือจากช่วงตัวแปรป้อนเข้า (Pala, 2006) ค่า CBR ซึ่งถูกประมาณค่าโดยแบบจำลอง 5 เทียบกับค่า CBR ที่วัดได้ในชุดการทดสอบ ดังภาพที่ 4 จะพบว่ามีความสัมพันธ์กันมากระหว่างค่าเหล่านี้



ภาพที่ 4 ค่า CBR ซึ่งถูกประมาณค่าจากแบบจำลอง 5 เปรียบเทียบกับค่า CBR ที่วัดได้

3.4 ความเชื่อถือได้

จากข้างจะพบว่าแบบจำลอง 5 ซึ่งอยู่บนพื้นฐาน ANN (R^2 = 0.674 และค่า MAE = 9.413 ในชุดการทดสอบ) จะมีประสิทธิภาพที่โดดเด่นกว่าแบบจำลอง MLR (R^2 = 0.534 และค่า MAE = 10.87 ในชุดการทดสอบ) ดังนั้นแบบจำลอง 5 จึงถูกเลือกใช้ และที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.95 จะหาค่าความเชื่อถือได้บนข้อมูลตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 96 กรณี มีค่าเท่ากับ 0.953 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แบบจำลองจึงมีความเชื่อถือได้สูง และอยู่ในขอบเขตของช่วงความเชื่อมั่น ซึ่งมีค่าขอบเขตล่าง 0.93 และค่าขอบเขตบน 0.968

3.5 อภิปรายผลการวิจัย

การประเมินค่า CBR โดยใช้แบบจำลอง MLR และ ANN R^2 มีค่าที่ปานกลาง (R^2 = 0.534) กับค่า MAE เท่ากับ 10.87 ในชุดการทดสอบจาก MLRA ซึ่งใช้ G (%), S (%), PI (%) และ OMC (g/cm^3) เป็นตัวแปรต้น นอกจากนี้การพัฒนาแบบจำลอง ANN ด้วยตัวแปรต้นที่แตกต่างกัน จะพบว่าแบบจำลอง 5 ได้ใช้ตัวแปรต้น FC (%), PI (%), OMC (%) และ MDD (g/cm^3) มีความเหมาะสมมากสุดในบรรดาแบบจำลอง ANN เนื่องจากแบบจำลองได้มีความซับซ้อนน้อยกว่า กับ ค่า R^2 ค่อนข้างสูง (R^2 = 0.674) และค่า MAE ต่ำ (MAE = 9.413) ในชุดการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง ANN ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพที่โดดเด่นกว่าแบบจำลอง MLR ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับของนักวิจัยคนอื่น ๆ

(Bhatt *et al.*, 2014; Erzin and Turkoz, 2016) นอกจากนี้ แบบจำลอง 5 ได้มีค่าความเชื่อถือได้เท่ากับ 0.953 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 จึงทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมาก

4. สรุป

เป้าหมายหลักของการศึกษานี้ คือ การประเมินค่า CBR โดยใช้แบบจำลอง MLR และ ANN จะพบว่าแบบจำลอง ANN ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพที่โดดเด่นกว่าแบบจำลอง MLR ในการทำนายค่า CBR ทั้งนี้แบบจำลอง ANN (แบบจำลอง 5) มีความน่าเชื่อถือมากเพราะค่าความเชื่อถือได้มีค่าสูง นอกจากนี้ สูตรใหม่ที่ได้จากแบบจำลอง ANN (แบบจำลอง 5) มีประโยชน์ต่อการออกแบบเบื้องต้นในงานดินที่มีข้อจำกัดในด้านงบประมาณ และเวลาจำกัด

5. เอกสารอ้างอิง

Agarwal, K.B. and K.D. Ghanekar. 1970. **Prediction of CBR from plasticity characteristics of soil**. In: Proceeding of 2nd south-east Asian conference on soil engineering, Singapore. June 11-15. 1970. Bangkok: Asian Institute of Technology. 571-576.

Basma, A. A. and N. Kallas. 2004. **Modeling soil collapse by artificial neural networks**. Geotech. 22: 427-438.

Bhatt, S., P.K. Jain and M. Pradesh. 2014. **Prediction of California bearing ratio of soils using artificial neural network**. AIJRSTEM. 8(2): 156-161.

Cybenko, G. 1989. **Approximation by superpositions of a sigmoidal function**. MCSS. 3: 303-314.

Das, S. K. and P. Basudhar. 2008. **Prediction of residual friction angle of clay artificial neural network**. Eng Geol. 142-145.

Erzin, Y., B. H. Rao, A. Patel, S.D. Gumaste and D.N. Singh. 2008. **Artificial neural networks for predicting soil thermal resistivity**. Int J Therm Sci, 47: 1347-1358.

Erzin, Y. and N. Gunes. 2011. **The prediction of swell percent and swell pressure by using neural networks**. Comput. 16(2): 425-436.

Erzin, Y. and D. Turkoz. 2016. **Use of neural networks for the prediction of the CBR value of some Aegean sands**. Neural Comput. 27: 1415–1426.

Gunaydin, O., A. Gokoglu and M. Fener. 2010. **Prediction of artificial soil's unconfined compression strength test using statistical analyses and artificial neural networks**. Adv. Eng. Softw. 41: 1115-1123.

González Farias, I., W. Araujo and G. Ruiz. 2018. **Prediction of California Bearing Ratio from Index Properties of Soils Using Parametric and Non-parametric Models**. Geotech. 36: 3485-3498.

Hecht-Nielsen, R. 1989. **Theory of the back-propagation neural network**. In: Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, Washington. DC. 593-605.

Khandelwal, M. and T.N. Singh. 2009. **Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 46(7): 1214-1222.

National Cooperative Highway Research Program. 2001. **Guide for mechanistic and empirical - design for new and rehabilitated pavement structures**. final document. In: Appendix CC-1: correlation of CBR values with soil ındex properties. West University Avenue Champaign, Illinois: Ara, Inc.

Pala, M. 2006. **A new formulation for distortional buckling stress in cold-formed steel members**. J Constr Steel Res. 62: 716-722.

Ramasubbarao, G. V. and G. S. Sankar. 2013. **Predicting Soaked CBR Value of Fine Grained Soils Using Index and Compaction Characteristics**. Jordan J. Civ. Eng. 7(3): 354-360.

Rakaraddi, P. G. and V. Gomarsi. 2015. **Establishing relationship between CBR with different soil properties**. Int. Res. J. Eng. Technol. 4(2): 182-188.

Rehman, A.U., K. Farooq, H. Mujtaba and O. Altaf. 2015. **Estimation of California bearing ratio (CBR) from index properties and compaction characteristics of coarse grained soil**. Sci. Int. Lahore 27(6): 6207-6210.

Rehman, A.U., K. Farooq and H. Mujtaba. 2017. **Prediction of California bearing ratio (CBR) and compaction characteristics of granular soils**. Acta Geotech. Slov. 14(1): 62-72.

Shahin, M.A. and M. Jaksa. 2002. **Artificial neural network-based settlement prediction formula for shallow foundations on granular soils**. Australian Geomechanics, 45-52.

Shahin, M.A. 2015. **A review of artificial intelligence applications in shallow foundations**. Int. J. Geotech. 9: 49-60.

Taskiran, T. 2010. **Prediction of California bearing ratio (CBR) of fine grained soils by AI methods**. Adv. Eng. Softw. 41(6): 886-892.

Taha, S., Gabr, A. and S. El-Badawy. 2019. **Regression and Neural Network Models for California Bearing Ratio Prediction of Typical Granular Materials in Egypt**. Arab J Sci Eng. 44: 8691-8705.

Wai, K. M. 2006. **California bearing ratio correlation with soil index properties master of engineering (civil-geotechnics)**. Faculty of Civil Engineering, University Teknology Malaysia.

Yildirim, B. and O. Gunaydin. 2011. **Estimation of California bearing ratio by using soft computing systems**. Expert Syst. Appl. 38(5): 6381-6391.

(Received: 19/Jan/2022, Revised: 17/Jun/2023, Accepted: 21/Jun/2023)

การศึกษาสายพันธุ์มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) ที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์

Study of Cassava Variety (*Manihot esculenta* Crantz) for Leaves Used as Animal Feed

ทวีเกียรติ ทวีกสิกรรม* และ ธีระ สมหวัง

Taweekeart Taweekasikum and Teera Somwang

สถานีวิจัยเขาหินซ้อน ศูนย์วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Khao Hin Sorn Research Station Agricultural Technology Research and Transfer Center, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

**E-mail: fagrtat@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์ ในปี 2564/65 จำนวน 5 พันธุ์โดยใช้พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ตรวจสอบ วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำ 4 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 7 x 7 เมตร ใช้ระยะปลูก 100 x 100 เซนติเมตร ปฏิบัติดูแลรักษาแปลง (กำจัดวัชพืช ใส่ปุ๋ย และ ให้น้ำ) ตามระยะเวลาที่เหมาะสม เก็บข้อมูลทางสรีรวิทยา จำนวนใบย่อย ความสูงต้น จำนวนหัวต่อต้น ผลผลิตใบ ผลผลิตหัวสด ดัชนีการเก็บเกี่ยว เปอร์เซ็นต์แป้งในหัว ข้อมูลการวิเคราะห์สารไซยาไนด์ และโปรตีนในใบ จากผลการทดลองพบว่า สามารถคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ให้ผลผลิตและคุณภาพใบสูงที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์ จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ KUKM 001, KUKM 036 และ สายพันธุ์ KUKM 060

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง ไซยาไนด์ อาหารสัตว์

Abstract

A study of 5 cultivars of cassava using leaves as fodder in 2021/22 using Kasetsart 50 as a check cultivar. RCBD experimental planning was done in 4 replicates, plot size 7 x 7 m, planting spacing 100 x 100 cm. Field maintenance (weed removal, fertilizing and watering) was performed at appropriate intervals. Physiological data collected were number of leaflets, plant height, number of tubers per plant, leaf yield, fresh tuber yield, harvest index, percentage of starch in the root, cyanide content and protein in the leaves. From the experimental results, it was found that 3 cassava cultivars with high yield and quality of leaves were selected for use as fodder, namely KUKM 001, KUKM 036 and KUKM 060.

Keywords : cassava, cyanides, animal feed

1. บทนำ

มันสำปะหลัง Cassava หรือ Tapioca (*Manihot esculenta Crantz*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย เนื่องจากเป็นทั้งพืชอาหารและพืชพลังงาน สามารถสร้างมูลค่าการส่งออกในปี 2556 กว่า 75,000 ล้านบาท โดยครองตำแหน่งเป็นผู้ส่งออกอันดับหนึ่งของโลกมาอย่างยาวนาน มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในฤดูกาลผลิตปี 2563/64 พบว่ามีพื้นที่เก็บเกี่ยวประมาณ 8.91 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 3.252 ตัน และผลผลิตรวมประมาณ 28.9 ล้านตัน (Agricultural Economic Research Office, 2012) เป็นพืชอาหารที่สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่าง ๆ ในทวีปแอฟริกา และอเมริกาใต้ ในทวีปเอเชีย ประเทศอินโดนีเซีย และ อินเดีย มีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก (Limsila and

Limsila, 2004a)

เช่นเดียวกับรายงานของ Bellotti *et al*. (1999) ที่พบว่ามันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตของคนในประเทศเขตร้อนที่สำคัญอันดับ 4 ของโลกรองจากข้าว น้ำตาล และ ข้าวโพด ผลผลิตทั่วโลก 166 ล้านตัน/ปี พื้นที่ปลูก 16.6 ล้านเฮกตาร์ (ha) ผลผลิตเฉลี่ย 9.9 ตัน/เฮกตาร์ โดยใช้เป็นอาหารมนุษย์ 57% เป็นอาหารสัตว์ 32% ใช้ในอุตสาหกรรม 11% ผลผลิตประมาณ 51.3% ผลิตในทวีปแอฟริกา รองลงมาคือ ทวีปเอเชีย ผลิตประมาณ 29.4% และอเมริกาใต้ 19.3% ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกมากที่สุดในโลก ทั้งนี้เพราะประเทศที่ผลิตมันสำปะหลังได้มา เช่น ไนจีเรีย บราซิล คองโก กานา และประเทศอื่น ๆ นำผลผลิตที่ได้ใช้เป็นอาหารของพลเมืองภายในประเทศ ในขณะที่ประเทศไทยใช้มันสำปะหลังเพื่อบริโภคน้อยมาก ประเทศที่ไทยส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในรูปของมันอัดเม็ดไปขายมากที่สุด คือ ประเทศในกลุ่มประชาคมยุโรป (เนเธอร์แลนด์ สเปน เยอรมัน โปรตุเกส) เกาหลีใต้ และญี่ปุ่น ส่วนในรูปแป้งมันสำปะหลัง ประเทศญี่ปุ่นสั่งซื้อมากที่สุด รองลงมาคือ ฮ่องกง สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย สิงค์โปร์ และ ไต้หวัน (Limsila and Limsila, 2004b)

สารไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง จะอยู่ในรูปของกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) ซึ่งเกิดจากสารไซยาโนเจนิค ไกลโคไซค์ ซึ่งมีอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 1) เมื่อเซลล์ของมันสำปะหลังถูกทำลาย เช่น ถูกบด ถูกสับ จะทำให้เอนไซม์เข้ามาทำปฏิกิริยากับสารไซยาโนเจนิค ไกลโคไซด์ ได้กรดไฮโดรไซยานิคออกมา สารไซยาโนเจนิค ไกลโคไซด์มีอยู่หลายชนิด แต่ที่พบในมันสำปะหลังมีอยู่ 2 ชนิดคือ ไลนามาริน (linamarin) และ โลทอสตราลิน (lotaustralin) นักวิทยาศาสตร์พบว่าสารไซยาโนเจนิค ไกลโคไซด์นั้น สร้างขึ้นในส่วนของใบมันสำปะหลัง แล้วลำเลียงไปเก็บยังส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง เช่น ที่ราก หรือ หัว เป็นต้น (Bediako *et al*., 1981) พบว่ากรดไฮโดรไซยานิค ในบริเวณเปลือกของหัวจะพบมากที่สุด ประมาณ 150-1,110 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ ใบ ประมาณ 83-878 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด และในเนื้อหัวมี ประมาณ 5-490 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด

BruiJn (1971) ได้จัดลำดับความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิค ดังนี้

- ระดับไม่เป็นพิษ : มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคน้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด
- ระดับเป็นพิษปานกลาง : มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคน้อยกว่า 50-100 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด
- ระดับเป็นพิษมาก (อันตราย) : มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคมากกว่า 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด

Table 1 Hydrocyanic acid content in two cassava varieties grown in Thailand.

	Hydrocyanic acid content (mg/kg of fresh weight)	
Part of cassava	**Rayong 1**	**Hanatee**
Cassava root starch	78-148.4	8.2-23.6
Cassava root bark	100-662	78-160
Leaf	238-328	380-498
Petiole	200	135.6
Upper stem	177	27.2
Middle stem	224.8	5.6
Lower stem	194	58-95

Source: Suphasit (1963)

ทั้งนี้ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคจะแปรปรวนไปตามพันธุ์ และ สิ่งแวดล้อม ในบางพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันทำให้ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่างกันถึง 4-5 เท่า และในสภาวะการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และสภาวะขาดน้ำจะทำให้ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคสูงขึ้น ซึ่งถ้าปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคที่มีความเข้มข้นสูงจะเป็นพิษโดยไปยับยั้งขบวนการหายใจของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต อาการเป็นพิษมักแสดงออกเกี่ยวกับระบบประสาท ซึ่งพบมากในทานซาเนีย และ ไนจีเรีย

พบอาการเกี่ยวกับประสาทตา หู และการเคลื่อนไหว ตาพร่า ถึงบอด หูอื้อถึงหนวก และการเคลื่อนไหวตั้งแต่เข่าลงไปถึงข้อเท้าลำบาก ไม่มีแรงที่ขา พบมากในคนที่มีอายุ 40-60 ปีขึ้นไป พบควบคู่กับการบริโภคโปรตีนต่ำ นอกจากนี้ยังมีอาการของโรคคอหอยพอก เนื่องจากสารไทโอไซยาเนท (Thiocyanate) ซึ่งเปลี่ยนมาจากกรดไฮโดรไซยานิค ซึ่งสารนี้จะไปยับยั้งการนำไอโอดีนไปยังต่อมไทรอยด์ ทำให้มีอาการเหมือนขาดธาตุไอโอดีน (Narintaraphon, 2004)

วิธีการที่จะลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคทำได้โดยใช้ความร้อน เช่น การตากแดด อบ คั่ว หรือ ย่าง แต่สารที่เป็นต้นกำเนิดของกรดนี้ คือ ไซยาโนเจนิค ไกลโคไซด์ ไม่สลายตัวเมื่อถูกความร้อน (Rojanaritpichet, 2003) ใบมันสำปะหลังมีโปรตีน 18-24% ใช้ทำอาหารสัตว์ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ งานวิจัยพบว่า ตัดที่ 2.5-3 เดือนหลังปลูก และห่างกัน 2-3 เดือน รวมประมาณ 3-4 ครั้ง/ปี ให้ผลผลิตใบแห้ง 0.57 ตัน/ไร่ งานวิจัยปี 2544 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง พบว่าปริมาณใบทั้งหมดอยู่ระหว่าง 4.0-7.7 ตัน/เฮกตาร์ ปริมาณโปรตีน 19.7-26.8% ขณะที่เก็บเกี่ยวหัวสดอายุ 12 เดือน ให้ผลผลิตหัวสด 11.9-29.1 ตัน/เฮกตาร์ เปอร์เซ็นต์แป้ง 19.0-26.4% การตากใบมันสำปะหลังให้แห้งด้วยแสงแดดลด HCN ได้ถึง 90% ผลดีของการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งทำอาหารสัตว์ช่วยยืดอายุน้ำนมวัว และช่วยในระบบการย่อย เพิ่มคุณภาพน้ำนมด้วย (Wanapat, 2002; Limsila *et al*., 2002)

เมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุได้ 4 เดือนขึ้นไปจะสามารถเก็บใบมันสำปะหลังได้ เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวใบมันสำปะหลังและนำมาขายให้กับพ่อค้าคนกลางในราคาประมาณ 0.8 ถึง 2 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับใบมันสำปะหลังสด (หากเกษตรกรทำการตากใบมันสำปะหลังแห้ง และนำใบมันสำปะหลังแห้งมาขาย จะขายได้ในราคา 4 ถึง 6 บาทต่อกิโลกรัม) โดยราคารับซื้อจะขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ หลังจากนั้นพ่อค้าคนกลางจะรวบรวมใบมันสำปะหลังสดที่เกษตรกรมาขาย ส่งต่อให้กับโรงงานที่แปรรูปเป็นใบมันสำปะหลังบดอัดเม็ด (Technology Choa Bann, 2019)

เพราะฉะนั้นถ้าจะใช้ใบมันสำปะหลังเป็นอาหารของสัตว์ควรมุ่งเน้นปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ใบมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ และมีปริมาณโปรตีนสูงเพื่อทดแทนอาหารสัตว์ที่มีราคาแพง และที่ผ่านมาไม่มีรายงานการปรับปรุงพันธุ์ใหม่ออกมาตลอดจนสอดคล้องกับพระราชดำริ เรื่อง เศรษฐกิจพอเพียง คือ การปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์ เหมาะสำหรับเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์ในครัวเรือน เช่นเลี้ยงไก่ เป็ด แพะ สุกร โคเนื้อ โคนม แล้วนำใบมันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์เป็นการลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ และสอดคล้องกับสภาพภูมิสังคม ในการแก้ไขปัญหาของประชาชนในท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสม คือ เกษตรกรบริเวณเขตรับผิดชอบของศูนย์ฯ ส่วนใหญ่จะปลูกมันสำปะหลังเป็นอาชีพหลัก และประกอบกับราคาหัวมันสำปะหลังที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับกลไกลของตลาด ดังนั้นทางโครงการฯ จึงเห็นความสำคัญในการที่จะปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังเพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่ที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์ เป็นที่ต้องการของตลาด และเผยแพร่ให้เกษตรกรนำไปปลูกเพื่อใช้เลี้ยงสัตวดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์ ทำให้ได้มันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ เพื่อเป็นแหล่งพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ใบเลี้ยงสัตว์ส่งเสริมให้ประชาชน และ เผยแพร่ความรู้ให้แก่ประชาชนต่อไป

2. วิธีการทดลอง

การศึกษาสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ได้จากโครงการวิจัยการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิต และคุณภาพใบสูง ที่สถานีวิจัยเขาหินซ้อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2564 ดำเนินการ เตรียมแปลงปลูกมันสำปะหลังที่ได้จากการคัดเลือกตั้งแต่ปี 2551-2564 จำนวน 5 พันธุ์ (KUKM 001, KUKM 012, KUKM 032, KUKM 036 และ KUKM 060) และ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ตรวจสอบ วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำ 4 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 7 x 7 เมตร ใช้ระยะปลูก 100 x 100 เซนติเมตร ปฏิบัติดูแลรักษาแปลง (กำจัดวัชพืช ใส่ปุ๋ย และ ให้น้ำ) ตามระยะเวลาที่เหมาะสม เก็บข้อมูลทางสรีรวิทยาทั้งหมด รูปร่างของใบ จำนวนใบย่อย ความสูงต้น สีใบ สีลำต้น สีของยอด สีก้านใบ การแตกกิ่ง การเกิดขนที่ยอด ขนที่ใบ ขนที่ก้านใบ และ ขนที่ลำต้น การเกิดโรค แมลงศัตรูพืช เก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต ปริมาณไซยาไนด์ในใบ และปริมาณโปรตีนในใบ วิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ขององค์ประกอบผลผลิต และองค์ประกอบทางเคมีบางประการ ส่งวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ในใบ และปริมาณโปรตีนในใบ

ที่ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โดยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในใบโดยวิธี Kjedahl Method ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ใช้วิธีของ Bradbury *et al*. (1999) จากการศึกษาคัดเลือกหาพันธุ์ที่ดี จำนวน 3 พันธุ์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากผลการทดลองพบว่า

1. ผลผลิตน้ำหนักใบสด (กิโลกรัม/ไร่)

จากตารางที่ 2 พบว่า สายพันธุ์ KUKM0360 ให้ผลผลิตใบสดสูงที่สุดคือ 8,579 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 060 สายพันธุ์ KUKM 032 และ สายพันธุ์ KUKM 012 ให้ผลผลิตใบสด 7,268, 6,769 และ 6,766 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตใบสดมากกว่าพันธุ์ KU 50 (4,659 กิโลกรัม/ไร่) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตใบสดน้อยที่สุด

2. ผลผลิตน้ำหนักหัวสด (กิโลกรัม/ไร่)

จากตารางที่ 2 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 012 ให้ผลผลิตหัวสดสูงที่สุดคือ 8,354 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 060 และ สายพันธุ์ KUKM 036 ให้ผลผลิตหัวสด 8,209 และ 7,765 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตหัวสดมากกว่าพันธุ์ KU 50 (6,339 กิโลกรัม/ไร่) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตหัวสดน้อยที่สุด

3. เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวสด

จากตารางที่ 2 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 060 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงที่สุดคือ 29.90 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 036 และสายพันธุ์ KUKM 012 ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 26.05 และ 25.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์แป้งมากกว่าพันธุ์ KU 50 (24.25 เปอร์เซ็นต์) ส่วน สายพันธุ์ KUKM 001 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งน้อยที่สุดคือ 18.48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวสดของสายพันธุ์ทั้งหมดที่ให้ 24.85 เปอร์เซ็นต์

4. เปอร์เซ็นต์โปรตีนในใบแห้ง

จากตารางที่ 2 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 001 ให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในใบแห้งสูงที่สุดคือ 29.65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 060 และ สายพันธุ์ KUKM 012 ให้เปอร์เซ็นต์โปรตีน 27.92 และ 27.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนมากกว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมด (26.48 เปอร์เซ็นต์) และสูงกว่า พันธุ์ KU 50 (23.91 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในใบแห้งน้อยที่สุด

5. ปริมาณไซยาไนด์ในใบสด

จากตารางที่ 2 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 032 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในใบสดน้อยที่สุดคือ 203.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัมใบสด รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 001 และ สายพันธุ์ KUKM 012 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในใบสด 251.50 และ 264.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัมใบสด ตามลำดับ ซึ่งให้ปริมาณไซยาไนด์ในใบสดน้อยกว่าพันธุ์ KU 50 ซึ่งให้ปริมาณไซยาไนด์มากที่สุด คือ 553.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัมใบสด ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไซยาไนด์ในใบสดของสายพันธุ์ทั้งหมดที่ให้ 298.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัมใบสด

6. ดัชนีการเก็บเกี่ยว

จากตารางที่ 3 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 012 ให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงที่สุดคือ 0.62 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 036 และ สายพันธุ์ KUKM 060 ให้ดัชนีการเก็บเกี่ยว 0.62 และ 0.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวมากกว่าพันธุ์ KU 50 (0.59 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด

7. จำนวนใบย่อยต่อใบ

จากตารางที่ 3 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 060 ให้ใบย่อยมากที่สุดคือ 6.9 ใบย่อย/ใบ รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 012, KUKM 001 และ สายพันธุ์ KUKM 032 ให้ใบย่อย 6.7 6.5 และ 6.2 ใบย่อย/ใบ ตามลำดับ ซึ่งให้ใบย่อยมากกว่าพันธุ์ KU 50 (5.5 ใบย่อย/ใบ) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ใบย่อยน้อยที่สุด

8. จำนวนหัวต่อต้น

จากตารางที่ 3 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 012 ให้จำนวนหัวต่อต้นมากที่สุดคือ 16.70 หัว/ต้น รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 060 และสายพันธุ์ KUKM 036 ให้จำนวนหัวต่อต้น 16.41 และ 15.53 หัว/ต้น ตามลำดับ ซึ่งให้จำนวนหัวต่อต้นมากกว่าพันธุ์ KU 50 (12.67 หัว/ต้น) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้จำนวนหัวต่อต้นน้อยที่สุด

9. ความสูงลำต้น

จากตารางที่ 3 พบว่า สายพันธุ์ KUKM 001 ให้ความสูงลำต้นมากที่สุดคือ 262.55 เซนติเมตร รองลงมาคือ สายพันธุ์ KUKM 012 และ KUKM 032 ให้ความสูงลำต้น 189.45 และ 187.95 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ความสูงลำต้นมากกว่าพันธุ์ KU 50 (179.36 เซนติเมตร) ส่วน สายพันธุ์ KUKM 060 ให้ความสูงลำต้นน้อยที่สุดคือ 163.34 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นของสายพันธุ์ทั้งหมดที่ให้ 188.25 เซนติเมตร

Table 2 Character Means of 5 Cassava clones were chosen to compare with Check Varieties (KU 50) tested during 2021-2022.

No. variety Cassava (Clones)	Fresh leaf Yield (kg/rai)	Fresh root Yield (kg/rai)	Protein dry leaf weight (%)	Cyanide wet leaf weight (mg/kg)	Root starch content (%)
KUKM 001	6,619^{cde}	6,630^{e}	29.65^{a}	251.50^{cde}	18.48^{f}
KUKM 012	6,766^{cd}	8,354^{a}	27.02^{bc}	264.06^{bcd}	25.98^{bc}
KUKM 032	6,769^{c}	7,080^{d}	26.58^{cd}	203.09^{f}	20.80^{e}
KUKM 036	8,579^{a}	7,765^{c}	26.86^{cd}	277.86^{b}	26.05^{b}
KUKM 060	7,268^{b}	8,209^{ab}	27.92^{b}	268.60^{bc}	29.90^{a}
KU 50	4,659^{f}	6,339^{f}	23.91^{e}	553.75^{a}	24.25^{d}
MEAN	6,777	6,878	26.48	298.43	24.85
CV (%)	12.56	14.23	6.91	9.19	4.83
LSD (1 %)	196	228	0.94	22.38	0.39

In each column, means followed by the same are not significantly different at 1% level by DMRT.

Table 3 Character Means of 5 Cassava clones were chosen to compare with Check Varieties (KU 50) tested during 2021-2022.

No. variety Cassava (Clones)	Harvest Index (%)	Height (cm.)	Number of foliage/Leaves	Number of Roots /Plant
KUKM 001	0.58c	262.55a	6.5bc	13.26de
KUKM 012	0.62a	189.45b	6.7ab	16.70a
KUKM 032	0.60abc	187.95bc	6.2cd	14.16d
KUKM 036	0.61ab	168.75de	5.9de	15.53bc
KUKM 060	0.61ab	163.34e	6.9a	16.41ab
KU 50	0.59bc	179.36bcd	5.5f	12.67e
MEAN	0.60	188.25	6.1	13.75
CV (%)	5.98	10.23	4.67	6.15
LSD (1 %)	0.02	12.43	0.3	0.97

In each column, means followed by the same are not significantly different at 1% level by DMRT.

KUKM 060

KUKM 060

KUKM 036

KUKM 001

Figure 1 Cassava cultivars with high yield and quality of leaves were selected for use as fodder (KUKM 060, KUKM 036 and KUKM 001)

4. สรุป

การคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ใบเป็นอาหารสัตว์ ในปี 2564/65 จากผลการทดลองพบว่า สามารถคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ให้ผลผลิตสูง และคุณภาพใบสูง เพื่อที่จะใช้ใบเป็นอาหารสัตว์ จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ คือ KUKM 001, KUKM 036 และ สายพันธุ์ KUKM 060

5. เอกสารอ้างอิง

Agricultural Economic Research Office. 2012. **Farm Crops/Oil Crops Situation Report**. Period September 2012. **https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/casava 63.pdf**. Accessed 10 Mar 2023. (in Thai)

Bediako, M.K.B., B.A. Tapper and G.G. Pritchard. 1981. **Metabolism, synthetic site, and translocation of cyanogenic glycosides in cassava, pp. 143-148**. In: E.R. Terry, K.A. Oduro and F. Caveness(ed). Tropical root crops: research strategies for the 1980 S. IDRC, Ottawa.

Bellotti A.C., L. Smith and S.L. Lapointe. 1999. **Recent advances in cassava pest management**. Annu Rev Entomol. 44: 343-370.

Bradbury, M. G., S.V. Egan and J.H. Bradbury. 1999. **Picrate paper kits for determination of total Cyanogens in cassava roots and all forms cyanogens in cassava products**. Journal of the Science of Food and Agriculture 79, 593-601.

Bruijn, G.W. De. 1971. **Etude du character cyanogenetique du manioc (*Manihot esculenta Crantz*)**. Mededelingen landbouwhoge school 71(13): 1-140.

Kasikorn Research Center. 2014. **Cassava production and trade situation, production season 2013/14**. April 2014 (in Thai)

Limsila A., S. W. Tungsakul, A. Watananonta, S. Boosing, Pichitporn and R.H. Howeler. 2002. **Cassava Laef Production Research in Thailand**. Paper presented at 7th Regional Workshop, held in Bangkok, Thailand. Oct 28-Nov 1, 2002 (in press)

Limsila J., and A. Limsila. 2004a. **History and significance. Academic paper on cassava**. Department of Agriculture Ministry of Agriculture and Cooperatives. 1-7 .(in Thai)

Limsila A., and J. Limsila. 2004b. **Cassava varieties. Academic papers Cassava**. Department of Agriculture Ministry of Agriculture and Cooperatives. 8-14. (in Thai)

Narintaraphon, P. 2004. Processing And Utilization of Cassava. Academic papers "Cassava". Department of Agriculture Ministry of Agriculture and Cooperatives. 91-110. (in Thai)

Rojanaritpichet C. 2003. **General knowledge about cassava**. Training Materials. Cassava production and marketing potential development project. Kasetsart University. 4-8 August 2003. 1-34 pages. (in Thai)

Suphasit S. 1963. **Hydrocyanic acid in cassava grown in Thailand**. Science division Biology, Department of Science Ministry of Industry. Re No. 174. (in Thai)

Technology Choa Bann. 2019. **Cassava Leaves, Low-Cost Source of Protein for The Feed Industry**. https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_30535. Accessed 10 Mar 2023. (in Thai)

Wannapat M. 2002. **The Role of Cassava Hay as Animal Feed. Paper presented at 7th Regional**. Workshop, held in Bangkok, Thailand. Oct 28-Nov 1, 2002 (in press).

(Received: 17/Sep/2022, Revised: 15/Jun/2023, Accepted: 19/Jun/2023)

การประเมินและคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) ที่มีคุณภาพสำหรับการบริโภคที่ดีและผลผลิตสูง

Evaluation and Selection of Cassava Varieties (*Manihot esculenta* Crantz) for Good Food Quality and High Yield Potential

ธีระ สมหวัง[1]* ภัศจี คงศิล[2] และ น้องนุช ศิริวงศ์[3]

Teera Somwang[1]*, Pasajee Kongsila[2] and Nongnuch Siriwong[3]

[1] สถานีวิจัยเขาหินซ้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[3] ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1] Khao Hin Son Research Station, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

[2] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

[3] Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

**E- mail: ijstrs@ku.ac.th โทรศัพท์: 0860352122*

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นพืชอุตสาหกรรมเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้ง เอทานอล และพลาสติก การนำมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นอาหารและขนมจึงจำกัดที่พันธุ์ห้านาทีและพันธุ์โกลกเท่านั้น เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อหัวต่ำ (ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่สำหรับมันสำปะหลังพันธุ์การค้าอื่น ๆ นั้นจะมีปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อหัวสูง (ส่วนมากจะมีสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้เป็นพิษต่อร่างกายอาจจะถึงแก่ชีวิตหากบริโภคในปริมาณมาก และมีรสชาติขมไม่น่ารับประทาน แต่มันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีและพันธุ์โกลกนั้นจะต้องปลูกในพื้นที่เขตชลประทาน เพื่อให้มีผลผลิตที่สูง ทำให้ไม่สามารถปลูกในพื้นที่อาศัยน้ำฝนให้มีผลผลิตที่สูงได้ ดังนั้นนักปรับปรุงพันธุ์จึงได้ปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังเพื่อให้มีผลผลิตสูงและมีปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อหัวต่ำ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยมีพันธุ์มันสำปะหลัง 10 พันธุ์ คือพันธุ์ LC097 พันธุ์ LC221 พันธุ์พิรุณ2 พันธุ์โกลก สายพันธุ์ KUKM001 สายพันธุ์KUKM 019 สายพันธุ์KUKM 031 และ สายพันธุ์ KUKM 045 โดยเปรียบเทียบปริมาณไซยาไนด์กับพันธุ์ห้านาที ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมใช้นำมาประกอบอาหารอยู่เดิม และเปรียบเทียบผลผลิตกับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่เป็นพันธุ์การค้าที่ได้รับความนิยมปลูกทั่วประเทศ มี 4 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 10x10 เมตร ผลการวิจัยพบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ที่ปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้มีปริมาณไซยาไนด์ที่ต่ำ ส่วนใหญ่จะให้ผลผลิตสูงกว่ามันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที และมีผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งใกล้เคียงกับมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 แต่ยังไม่สามารถมีปริมาณไซยาไนด์ที่ต่ำได้ในระดับที่ปลอดภัยเทียบเท่าพันธุ์ห้านาทีตลอดทั้ง 3 อายุการเก็บเกี่ยว ดังนั้นแม้จะมีผลผลิตที่สูงกว่าพันธุ์ห้านาที แต่ยังไม่ควรแนะนำให้เกษตรกรปลูกเพื่อการบริโภค เนื่องจากมีปริมาณไซยาไนด์ที่สูงเกินระดับ 50 ppm หรือกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดของหัว ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้นำไปบริโภคได้ โดยเฉพาะพันธุ์พิรุณ 2 นั้นได้รับการแนะนำให้เป็นมันสำปะหลังสำหรับการบริโภค แต่ในงานวิจัยนี้พบว่าพันธุ์พิรุณ 2 มีปริมาณไซยาไนด์ที่เกินกว่า 50 ppm และที่สำคัญเกินกว่า 100 ppm เมื่อเก็บเกี่ยวในเดือนที่ 10 และ 12 ซึ่งระดับไซยาไนด์ที่เกิน 100 ppm นั้นถือว่ามีอันตรายอย่างยิ่งต่อการนำไปบริโภค

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง การประเมินศักยภาพผลผลิต ความปลอดภัยอาหาร ความมั่นคงด้านอาหาร ไซยาไนด์

Abstract

Cassava is an economic industrial crop in Thailand which is used as raw materials for starch production, ethanol and plastic. In Thailand, cassava is also processed into food and desserts, Therefore, it is limited to Hanatee and Kolog varieties. Because they have low amount of cyanide content (below 50 milligrams per kilogram), but for other cultivars, there is a large amount of cyanide in the root (usually higher than 100 milligrams per kilogram) which is toxic to human and may be fatal if consumed in large quantities and it also has a bitter taste. However, Hanatee and Kolog varieties must be planted in irrigated areas only in order to produce high root yield. For this reason, they cannot be grown in rainy areas with high productivity. Therefore, breeders have improved cassava varieties for high yield and low cyanide content for consumption purpose. Randomized Complete Block Design (RCBD) experiments with 4 replications were planned with 10 cassava varieties; LC097, LC221, Phirun 2, Kolog, KUKM001, KUKM 019, KUKM 031 and KUKM 045. They were compared the amount of cyanide with Hanatee variety, which is the variety that is commonly used for cooking and were compared the root yield with Kasetsart 50 variety, which is the most popular commercial variety cultivated throughout Thailand. Each experimental unit (plot size) was 10x10 m. The results showed that cassava lines that have been bred to have low cyanide content, although most of the varieties had root yield which were higher than Hanatee variety and the production and root starch percentage was similar to Kasetsart 50, they still not be able to have a low level of cyanide in root as safe as Hanatee variety over the 3 harvest periods at 8 months, 10 months and 12 months after planting. Therefore, despite the higher yields over Hanatee variety, all breeding lines should not be suggested for farmers to grow for consumption because the amount of cyanide exceeds 50 ppm or grams per kilogram of fresh weight of root which may be intoxicate to the consumer especially Pirun 2 variety which have been suggested as cassava for consumption already. However, in this research, Pirun 2 variety has more than 50 ppm of cyanide in all harvesting times and more than 100 ppm when harvested in the 10th and 12th months. Cyanide content over 100 ppm is considered to be highly harmful for consumption.

Keywords : Cassava, Yield evaluation, Food safety, Food security, Cyanide

1. บทนำ

ประเทศในแถบอเมริกาใต้ได้พยายามพัฒนาการผลิตแป้งฟลาวร์ (flour) จากมันสำปะหลังมาผสมกับแป้งข้าวสาลีเพื่อใช้ในการผลิตขนมปัง ซึ่งจะใช้แทนแป้งสาลีได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งที่ใช้ในการทำเบเกอร์รี ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการนำเข้าแป้งข้าวสาลีจากต่างประเทศได้ (Nassar *et al*., 2009) สำหรับการผลิตแป้งฟลาวร์จากมันสำปะหลังนั้น หากผลิตจากมันสำปะหลังพันธุ์การค้าจะยังมีไซยาโนเจนิคกลูโคไซด์อยู่มากกว่ามาตรฐานที่ FAO/WHO กำหนด และถึงแม้ว่าสุนีย์ *et al*. (2549) ได้พัฒนากระบวนการผลิตแป้งฟลาวร์มันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำจากมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 โดยการลดขนาดของหัวมันสำปะหลัง เช่น การฝานเป็นแผ่น การสับ และการขูดฝอย และบ่มอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนการคั้นน้ำ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดว่าไม่สามารถลดปริมาณไซยาโนเจนิคกลูโคไซด์ในแป้งฟลาวร์มันสำปะหลังที่มีอายุ 6 และ 8 เดือน ให้ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด และถึงแม้จะเป็นมันสำปะหลังที่มีไซยาโนเจนิคกลูโคไซด์ต่ำ ก็มีรายงานว่าอาจจะสะสมไซยาโนเจนิคกลูโคไซด์ได้ในฤดูกาลที่ฝนแล้ง โดย Cardoso *et al*. (2005) รายงานว่าไซยาโนเจนิคกลูโคไซด์ในแป้งฟลาวร์ที่เคยผลิตได้ เพิ่มจาก 6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 43-65 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูกาลที่

มีน้ำน้อย

ประเทศบราซิลเป็นแหล่งที่มีเชื้อพันธุกรรมทางด้านโภชนาการอยู่หลายชนิดที่น่าสนใจและสามารถนำมาปรับปรุงพันธุ์เพื่อบริโภคที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะที่มหาวิทยาลัยบราซิลเลียได้รวบรวมมันสำปะหลังพันธุ์พื้นเมืองในเขตแห้งแล้งของป่าอะเมซอนเผ่าพื้นเมืองปลูกไว้เพื่อบริโภค มี 2 ชนิด ชนิดเนื้อหัวสีเหลืองซึ่งให้สารแคโรทีน (carotene) เหมือนฟักทอง มีชื่อพันธุ์ว่า UnB 400 และชนิดเนื้อหัวสีแดงซึ่งให้สารไลโคปีน (Lycopene) สูงใกล้เคียงกับมะเขือเทศ มีชื่อพันธุ์ว่า UnB 500 โดยมะเขือเทศมีสารไลโคปีน 6-20 mg/kg มันสำปะหลังชนิดหัวสีแดงเกิดจากการกลายพันธุ์ของชนิดเนื้อหัวสีเหลืองในขั้นตอนของกระบวนการสร้างสารเบต้า-แคโรทีน สารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ สารไลโคปีนเป็นสารที่จัดอยู่ในพวก antioxidant สรรพคุณป้องกันการเกิดโรคมะเร็งปอด กระเพาะอาหาร และต่อมลูกหมาก ส่วนวิตามินเอ ป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับตา และผิวพรรณโดยทั่วไป มันสำปะหลังชนิดเนื้อหัวสีแดงมีหัวน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์มันสำปะหลังที่ได้ปรับปรุงพันธุ์แล้ว ดังนั้น ควรนำมันสำปะหลังชนิดเนื้อหัวสีแดงมาผสมกับพันธุ์ห้านาที เพื่อจะได้พันธุ์ที่มีรสชาติอร่อยผลผลิตสูง เนื้อสีแดงสวยงาม และให้สาร antioxidant ด้วย และ พบว่า มีเชื้อพันธุกรรมมันสำปะหลังพันธุ์ป่าที่ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวต่ำมี 3 ชนิด ได้แก่ *Manihot pruinosa* Pohl., *Manihot oliganthа* Pax., *Manihot gracilis* Pohl. (Boonseng, 2008) ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

เพราะฉะนั้นถ้าจะบริโภคมันสำปะหลังให้ปลอดภัยจะต้องบริโภคมันสำปะหลังที่มีกรดไซยานิคต่ำ ซึ่งในปัจจุบันมีเพียงพันธุ์ห้านาที ที่ปลูกบริโภคกันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามพันธุ์ห้านาทีให้ผลผลิตที่ต่ำกว่าพันธุ์การค้าอื่น ๆ ในสภาพไร่แบบไม่มีการชลประทาน ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่ในประเทศไทย ดังนั้นทางโครงการฯ จึงเห็นความสำคัญในการที่จะคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังเพื่อการบริโภค เพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่ที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงเป็นที่ต้องการของตลาด ทำให้มีผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังเพื่อการบริโภคที่ปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมในสภาพไร่ได้ดีออกมาจำหน่ายในตลาด และเผยแพร่ให้เกษตรกรนำไปปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือนและจำหน่ายในตลาด ซึ่งจะเพิ่มมูลค่าของมันสำปะหลังให้มีราคาที่สูงกว่าการขายให้กับโรงงาน ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้เกษตรกร

2. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมสายพันธุ์มันสำปะหลังจากหลายโครงการปรับปรุงพันธุ์ จาก โครงการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังให้มีไซยาไนด์ในหัวต่ำและมีผลผลิตสูง (ภายใต้การสนับสนุนของ สวทช.) ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 2 สายพันธุ์คือ พันธุ์ LC097 และพันธุ์ LC221 พันธุ์มันสำปะหลังที่นิยมใช้บริโภคในปัจจุบัน จำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์พิรุณ 2 และ พันธุ์โกลก, พันธุ์ทดสอบที่มีไซยาไนด์ในใบต่ำอีก 4 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ KUKM001, KUKM 019, KUKM 031และ สายพันธุ์ KUKM 045 โดยเปรียบเทียบปริมาณไซยาไนด์กับพันธุ์ห้านาที ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมใช้นำมาประกอบอาหารอยู่เดิม และเปรียบเทียบผลผลิตกับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่เป็นพันธุ์การค้าที่ได้รับความนิยมปลูกทั่วประเทศ (Kittipadakul, 2016) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 4 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 10 x 10 เมตร ดูแลรักษา ในแปลงที่อาศัยน้ำฝน เก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต และปริมาณไซยาไนด์ในหัว เมื่ออายุ 8 เดือน 10 เดือน และ 12 เดือน ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ วัดในรูปของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดตามวิธีของ Bradbury *et al*. (1999) โดยนำตัวอย่างมันสำปะหลังใส่ในหลอดพลาสติกที่มีสารละลาย phosphate buffer pH 8 แล้วใส่กระดาษ picrate ลงไปเพื่อดูดซับไซยาไนด์ที่เกิดขึ้น จากนั้นปิดฝาให้แน่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำกระดาษ picrate ออกมาแช่ในน้ำ 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 510 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบปริมาณไซยาไนด์กับกราฟของสารมาตรฐาน นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังเพื่อการบริโภค เพื่อที่จะนำไปใช้การคัดเลือกพันธุ์ในปีต่อไป

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาพันธุ์มันสำปะหลังสำหรับรับประทาน จำนวน 10 สายพันธุ์ โดยมีสายพันธุ์มันสำปะหลังจากโครงการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังให้มีไซยาไนด์ในหัวต่ำและมีผลผลิตสูง (ภายใต้การสนับสนุนของ สวทช.) ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ LC097 และ LC221 พันธุ์พิรุณ 2 พันธุ์โกลก พันธุ์ทดสอบที่มีไซยาไนด์ในใบต่ำอีก 4 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ KUKM001, KUKM 019, KUKM 031 และสายพันธุ์ KUKM 045 มาปลูกเปรียบเทียบกับพันธุ์ห้านาที และ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ได้ผลดังนี้

3.1 องค์ประกอบของผลผลิต

3.1.1 เก็บเกี่ยวที่อายุ 8 เดือน

ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) จากตารางที่ 1 พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2 ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือ 5,069 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมาคือพันธุ์ LC097 (4,718 กิโลกรัม/ไร่) พันธุ์ LC221 (4,418 กิโลกรม/ไร่) ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ (พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50) ที่ให้ผลผลิต 4,307 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM045 และพันธุ์ห้านาที ที่ให้ผลผลิต 2,582 กิโลกรัม/ไร่ และ 2,976 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

ความสูงลำต้น (เซนติเมตร) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ KUKM001 ให้ความสูงลำต้นสูงที่สุดคือ 238.38 เซนติเมตร และพันธุ์ห้านาที (236.12 เซนติเมตร) แสดงว่าสามารถได้ท่อนพันธุ์ที่นำไปปลูกต่อสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ (พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50) ที่ให้ความสูงลำต้น 204.25 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ที่ให้ความสูงลำต้นน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM045 ที่ให้ความสูงลำต้น 120.37 เซนติเมตร

เปอร์เซ็นต์แป้ง (%) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ LC221 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งมากที่สุดคือ 29.55% รองลงมาให้เปอร์เซ็นต์แป้งไม่แตกต่างกัน คือให้เปอร์เซ็นต์แป้ง อยู่ระหว่าง 19.47-23.95% ส่วนพันธุ์ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้งน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM031 ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 19.47 %

ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2 ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงที่สุดคือ 0.62 รองลงมาคือพันธุ์ LC221 และ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว 0.61 และ0.60 ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดคือ พันธุ์โกลก และพันธุ์ห้านาที ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว 0.47 และ 0.48 ตามลำดับ แสดงว่าพันธุ์พิรุณ 2 ให้ปริมาณน้ำหนักผลผลิตหัวสดต่อน้ำหนักสดทั้งหมดของทุกส่วนมากว่าพันธุ์อื่น

เปอร์เซ็นต์ไซยาไนด์ในหัวสด (ppm) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ KUKM001 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดมากที่สุดคือ 220.53 ppm รองลงมาคือพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด 121.14 ppm ส่วนพันธุ์ที่ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดน้อยที่สุดคือ พันธุ์โกลก พันธุ์ KUKM019 และพันธุ์ห้านาที ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด 14.88 ppm 15.22 ppm และ 16.11 ppm ตามลำดับ แสดงว่าทั้งสามพันธุ์มีแนวโน้มจะเป็นมันสำปะหลังสำหรับใช้รับประทานได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maskhao *et al*. (2017) พบว่าใบมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาทีมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำที่สุดเท่ากับ 64.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในหนอนไหมอีรี่ที่เพาะเลี้ยงด้วยพันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าต่ำที่สุด (0.12 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด) และดักแด้พันธุ์ระยอง 72 มีค่าต่ำที่สุด 0.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด เมื่อพิจารณาจากผลผลิตรังไหมพันธุ์ระยอง 9 มีความเหมาะมากที่สุด ขณะที่พันธุ์ 5 นาที มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อการนำไปใช้ในการผลิตไข่ส่วนปริมาณไซยาไนด์ที่ตรวจพบในหนอนและดักแด้ไหมอีรี่ที่เพาะเลี้ยงด้วยใบมันสำปะหลังทุกพันธุ์นั้นจัดอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการนำไปบริโภคและใช้ประโยชน์

Table 1 Means of agronomic traits of 10 cassava varieties harvested at 8 months after planting (Mar 2020)

Variety	Plant height (cm)	Root starch content (%)	Harvest Index	Root Yield (kg/rai)	HCN (ppm)
KUKM031	203.13 AB	19.47 B	0.53 AB	3,189 BC	46.54
Ko Lok	182.13 B	22.82 B	0.47 B	3,678 ABC	14.88
Phirun 2	191.25 B	21.93 B	0.62 A	5,069 A	55.12
Ha Nathi	236.12 A	21.90 B	0.48 B	2,976 BC	16.11
LC097	208.07 AB	23.60 B	0.58 A	4,718 AB	64.44
LC221	174.00 B	29.55 A	0.61 A	4,418 AB	60.62
KUKM001	238.38 A	22.13 B	0.53 AB	3,809 ABC	220.53
KUKM019	180.50 B	23.95 B	0.55 AB	3,442 ABC	15.22
KUKM045	120.37 C	22.23 B	0.58 A	2,582 C	32.08
KU50	204.25 AB	23.68 B	0.60 A	4,307 ABC	121.14
mean	193.82	23.13	0.56	3818.71	64.666
p-value	0.000	0.000	0.000	0.001	0.057

In each column, means followed by the same letter are not significantly different at 1% level by DMRT

3.1.2 เก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือน

ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) จากตารางที่ 2 พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ KUKM031 ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือ 5,705 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมาคือพันธุ์ KUKM019 และ พันธุ์ LC221 ให้ผลผลิต 5,027 กิโลกรัม/ไร่ และ 4,975 กิโลกรม/ไร่ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุดคือ พันธุ์ ห้านาที ที่ให้ผลผลิต 3,949 กิโลกรัม/ไร่

ความสูงลำต้น (เซนติเมตร) พบว่าให้ผลการวิจัยเหมือนกันกับเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 8 เดือน คือมันสำปะหลังพันธุ์ KUKM001 ให้ความสูงลำต้นสูงที่สุดคือ 240.20 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์ ห้านาที (239.30 เซนติเมตร) ซึ่งให้ความสูงลำต้นสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ (พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50) ที่ให้ความสูงลำต้น 207.95 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ที่ให้ความสูงลำต้นน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM045 ที่ให้ความสูงลำต้น 124.47 เซนติเมตร

เปอร์เซ็นต์แป้ง (%) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ LC221 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งมากที่สุดคือ 27.67% รองลงมาคือพันธุ์ KUKM019 และพันธุ์โกลก ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 25.95% และ 24.07% ส่วนพันธุ์ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้งน้อยที่สุดคือพันธุ์ LC097 ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 19.60%

ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) พบว่าพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 10 พันธุ์ ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกัน ซึ่งมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2 ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงที่สุดคือ 0.66 รองลงมาคือพันธุ์ LC221 ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว 0.65 ส่วนพันธุ์ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดคือ พันธุ์ โกลก และพันธุ์ ห้านาที ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว 0.59 และ 0.59 ตามลำดับ

ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด (ppm) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 2 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดมากที่สุด คือ 105.47 ppm รองลงมาคือพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด 92.33 ppm ส่วนพันธุ์ที่ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดน้อยที่สุดคือ พันธุ์ ห้านาที ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด 1.30 ppm

Table 2 Means of agronomic traits of 10 cassava varieties harvested at 10 months after planting (May 2020)

Variety	Plant height (cm)	Root starch content (%)	Harvest Index	Root Yield (kg/rai)	HCN (ppm)
KUKM031	206.63 AB	20.85 C	0.63	5,705	55.12
Ko Lok	185.53 B	24.07 ABC	0.59	4,236	47.93
Phirun 2	192.80 B	21.20 BC	0.66	4,929	105.47
Ha Nathi	239.30 A	22.82 ABC	0.59	3,949	1.30
LC097	210.17 AB	19.60 C	0.61	4,272	64.35
LC221	177.18 B	27.67 A	0.65	4,976	65.19
KUKM001	240.20 A	21.85 BC	0.63	4,254	60.46
KUKM019	185.00 B	25.95 AB	0.64	5,027	33.64
KUKM045	124.47 C	19.95 C	0.60	3,994	54.84
KU50	207.95 AB	22.28 BC	0.63	4,372	92.33
mean	196.92	22.62	0.62	4,571	58.06
p-value	0.000	0.000	0.771	0.353	0.595

In each column, means followed by the same letter are not significantly different at 1% level by DMRT

3.1.3 เก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือน

ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) จากตารางที่ 3 พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ KUKM001 ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือ 6,257 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ(พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50) ที่ให้ผลผลิต 6,141 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุดคือ พันธุ์ ห้านาที ที่ให้ผลผลิต 3,611 กิโลกรัม/ไร่

ความสูงลำต้น (เซนติเมตร) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ KUKM001 ให้ความสูงลำต้นสูงที่สุดคือ 242.13 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์ ห้านาที (241 เซนติเมตร) ซึ่งให้ความสูงลำต้นสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ (พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50) ที่ให้ความสูงลำต้น 211.87 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ที่ให้ความสูงลำต้นน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM045 ที่ให้ความสูงลำต้น 131 เซนติเมตร

เปอร์เซ็นต์แป้ง (%) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ LC221 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งมากที่สุดคือ 28.02 % รองลงมาคือ พันธุ์ KUKM019 และพันธุ์โกลก ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 25.95% และ 24.03% ส่วนพันธุ์ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้งน้อยที่สุดคือ พันธุ์ LC097 ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 20.02%

ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) พบว่าพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 10 พันธุ์ ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกัน ซึ่งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงที่สุดคือ 0.67 รองลงมาคือพันธุ์ KUKM019 และ KUKM045 ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว 0.65 และ 0.65 ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดคือ พันธุ์ โกลก และพันธุ์ ห้านาที ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว 0.56 และ 0.58 ตามลำดับ

ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด (ppm) พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดมากที่สุดคือ 120.58 ppm รองลงมาคือพันธุ์พิรุณ 2 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด 115.55 ppm ส่วนพันธุ์ที่ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM031 พันธุ์ โกลก และพันธุ์ ห้านาที ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด 13.24 ppm 14.22 ppm และ 21.68 ppm ตามลำดับ แสดงว่าทั้งสามพันธุ์มีแนวโน้มจะเป็นมันสำปะหลังสำหรับใช้รับประทานได้

Table 3 Means of agronomic traits of 10 cassava varieties harvested at 12 months after planting (July 2020)

Variety	Plant height (cm)	Root starch content (%)	Harvest Index	Root Yield (kg/rai)	HCN (ppm)
KUKM031	209.25 AB	23.60 AB	0.61	4,109 AB	13.24
Ko Lok	190.00 B	24.03 AB	0.56	4,669 AB	14.22
Phirun 2	196.00 B	21.48 AB	0.60	4,672 AB	115.55
Ha Nathi	241.00 A	22.82 AB	0.58	3,611 B	21.68
LC097	212.50 AB	20.02 B	0.64	5,687 AB	69.10
LC221	180.00 B	28.02 A	0.63	5,483 AB	82.44
KUKM001	242.13 A	21.72 AB	0.60	6,257 A	69.07
KUKM019	188.88 B	25.95 AB	0.65	5,693 AB	77.37
KUKM045	131.00 C	22.45 AB	0.65	4,375 AB	48.77
Ku50	211.87 AB	22.40 AB	0.67	6,141 A	120.58
mean	200.26	23.25	0.62	5,070	63.20
p-value	0.000	0.017	0.055	0.003	0.210

In each column, means followed by the same letter are not significantly different at 1% level by DMRT

3.2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยว ที่ระยะ 8, 10 และ12 เดือน

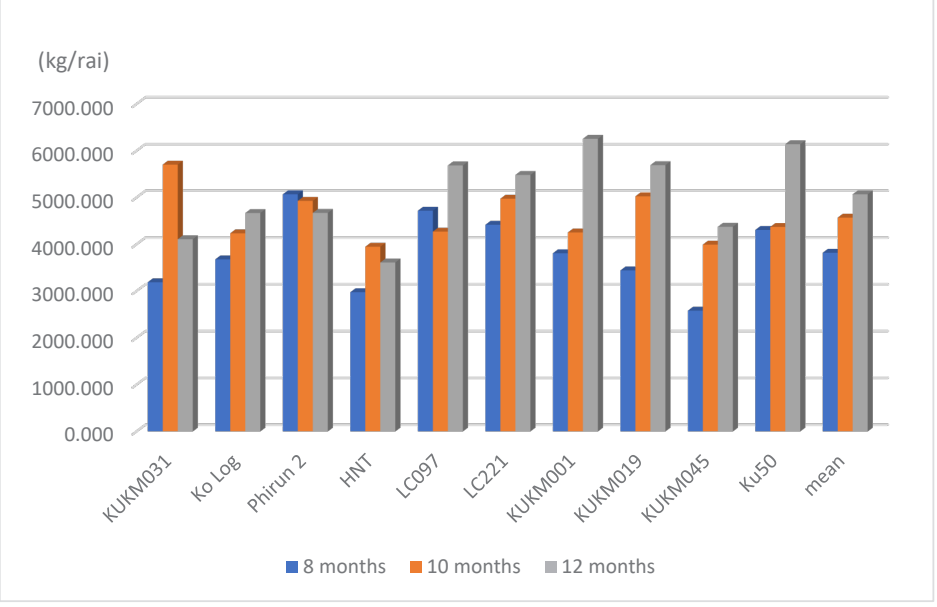


Figure 1 Means of yield of 10 varieties harvested at three periods

ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) จากภาพที่ 1 สรุปว่ามันสำปะหลังพันธุ์ LC221 ให้ผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ (พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50) รองลงมาคือพันธุ์ LC097 พันธุ์พิรุณ 2 พันธุ์ KUKM019 และ พันธุ์ KUKM001 ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุดคือ พันธุ์ ห้านาที และ พันธุ์ KUKM045

Figure 2 Means of plant height of 10 varieties harvested at three periods

ความสูงลำต้น (เซนติเมตร) จากภาพที่ 2 สรุปว่า มันสำปะหลังพันธุ์ KUKM001 ให้ความสูงลำต้นสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ ห้านาที ซึ่งให้ความสูงลำต้นสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ (พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50) แสดงว่าเป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพในการขยายพันธุ์ คือ มีความสามารถในการนำท่อนพันธุ์ไปปลูกขยายพันธุ์ต่อได้มากที่สุด สอดคล้องกับบทความวิจัยของ Kittipadakul (2016) ที่บอกว่ามันสำปะหลังพันเกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่มีความสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี ให้ผลผลิตสูง เกษตรกรส่วนใหญ่ยังย้อมรับอยู่ ส่วนพันธุ์ที่ให้ความสูงลำต้นน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM045

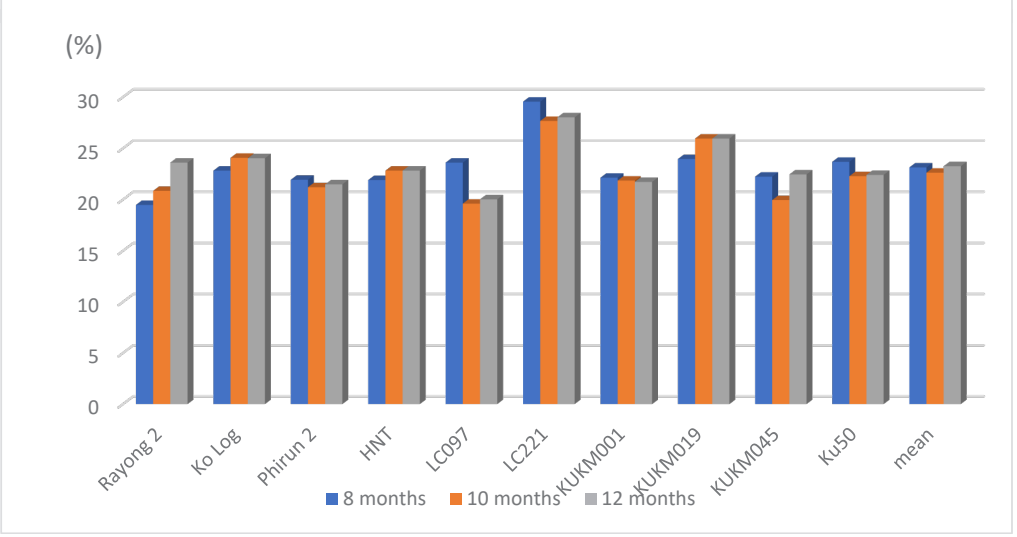


Figure 3 Means of root starch content of 10 varieties harvested at three periods

เปอร์เซ็นต์แป้ง (%) จากภาพที่ 3 สรุปว่ามันสำปะหลังพันธุ์ LC221 ให้เปอร์เซ็นต์แป้งมากที่สุด แสดงว่าให้ผลตอบแทนที่เป็นแป้งสูงรองลงมาคือพันธุ์ KUKM019 และพันธุ์โกลก ส่วนพันธุ์ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้งน้อยที่สุดคือ พันธุ์ LC097 และพันธุ์ KUKM031

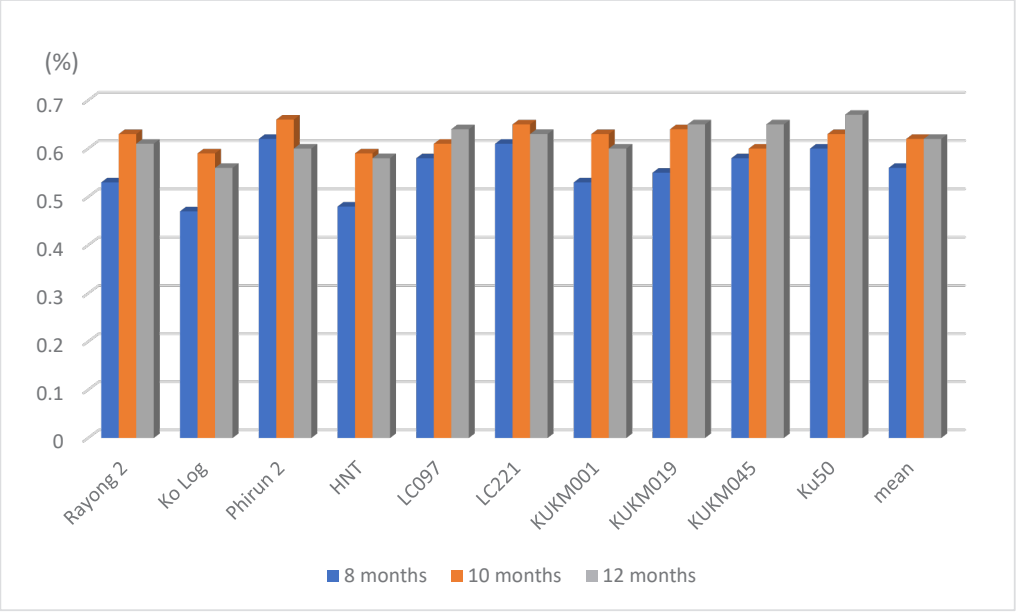


Figure 4 Means of harvest index of 10 varieties harvested at three periods

ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) จากภาพที่ 4 สรุปว่ามันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์พิรุณ 2 และ LC221 จะเห็นได้ว่าพันธุ์ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงแสดงว่าพันธุ์ดังกล่าวมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง ส่วนพันธุ์ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดคือ พันธุ์ โกลก และพันธุ์ ห้านาที

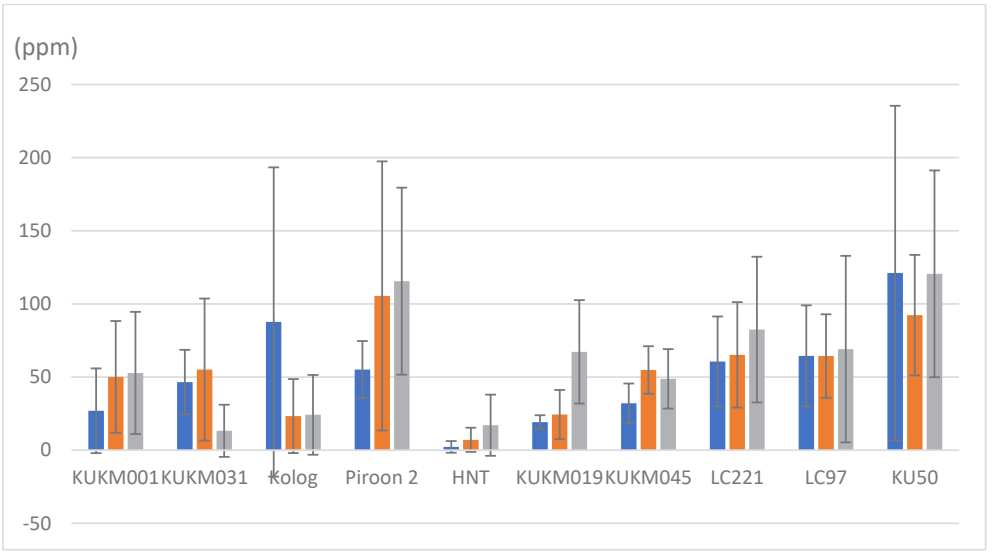


Figure 5 Means and standard deviation of hydrogen cyanide in root of 10 varieties harvested at three periods

ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสด (ppm) จากภาพที่ 5 สรุปว่ามันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์พิรุณ 2 ส่วนพันธุ์ที่ให้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวสดน้อยที่สุดคือ พันธุ์ KUKM045 KUKM031 KUKM019 พันธุ์ โกลก และพันธุ์ ห้านาที แสดงว่าพันธุ์ดังกล่าวมีแนวโน้มจะเป็นมันสำปะหลังสำหรับใช้รับประทานได้ สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ออกจำหน่ายต่อไปได้

4. สรุปผล

จากการทดสอบศักยภาพการผลิตมันสำปะหลังเพื่อการบริโภค หากพิจารณาถึงความปลอดภัยในการบริโภคเป็นหลัก พันธุ์ที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 50 ppm ที่ถือว่าเป็นพันธุ์ที่ไม่มีพิษจากไซยาไนด์นั้นได้แก่พันธุ์ห้านาที ที่สามารถเก็บเกี่ยวตังแต่ 8 เดือนจนถึง 12 เดือน พันธุ์โกลก เก็บเกี่ยวที่ 10 ถึง 12 เดือน พันธุ์ KUKM019 เก็บเกี่ยวที่อายุ 8 ถึง 10 เดือน พันธุ์ KUKM031 เก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือน พันธุ์ KUKM045 เก็บเกี่ยวที่อายุ 8 เดือน ดังนั้นพันธุ์ที่มีความปลอดภัยและมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยคือพันธุ์ห้านาที ซึ่งเหมาะสมที่จะแนะนำให้เกษตรกรนำไปปลูกเพื่อการบริโภค อย่างไรก็ตามพันธุ์ห้านาที ให้ผลผลิตน้อยกว่าพันธุ์การค้า อีกทั้งมีเปอร์เซ็นต์แป้งที่ต่ำ จึงไม่เหมาะสมต่อการปลูกเพื่อการขายส่งโรงงาน แต่ควรเน้นปลูกเพื่อการบริโภคและแปรรูปเป็นอาหารเท่านั้น

สำหรับพันธุ์ที่ปรับปรุงพันธุ์เพื่อการให้มีปริมาณไซยาไนด์ที่ต่ำทั้งหมดนั้น ยังไม่สามารถมีปริมาณไซยาไนด์ที่ต่ำได้ในระดับที่ปลอดภัยเทียบเท่าพันธุ์ห้านาทีตลอดทั้ง 3 อายุการเก็บเกี่ยว ดังนั้นแม้จะมีผลผลิตที่สูงกว่าพันธุ์ห้านาที แต่ยังไม่ควรแนะนำให้เกษตรกรปลูกเพื่อการบริโภค เนื่องจากมีปริมาณไซยาไนด์ที่สูงเกินระดับ 50 ppm หรือมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดของหัว ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้นำไปบริโภคได้ ถึงแม้ว่าพันธุ์พิรุณ 2 เป็นพันธุ์ที่ได้รับการแนะนำให้เป็นมันสำปะหลังสำหรับการบริโภค แต่ในงานวิจัยนี้พบว่าพันธุ์พิรุณ 2 มีปริมาณไซยาไนด์ที่เกินกว่า 50 ppm และที่สำคัญเกินกว่า 100 ppm เมื่อเก็บเกี่ยวในเดือนที่ 10 และ 12 ซึ่งระดับไซยาไนด์ที่เกิน 100 ppm นั้นถือว่ามีอันตรายอย่างยิ่งต่อการนำไปบริโภค เพราะฉะนั้นเราควรจะต้องมีการศึกษาต่อไปว่าการที่ไซยาไนค์สูงเป็นเพราะอะไร สภาพแวดล้อมหรือเปล่า หรือว่าเราอาจจะต้องให้น้ำเพื่อลดปริมาณไซยาไนด์ในขั้นตอนปลูกดูแลรักษา เพราะงานวิจัยนี้เป็นการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน ภาควิชาพืชไร่นา ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนปัจจัยพื้นฐานในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

Boonseng, O. 2008. **The World's Second Cassava Seed Bank**. Kasikorn Journal, Vol. 81, No. 1. January-February 2008. P. 12-22 (in Thai)

Bradbury, M. G., S.V. Egan and J.H. Bradbury. 1999. **Picrate paper kits for determination of total Cyanogens in cassava roots and all forms cyanogens in cassava products**. Journal of the Science of Food and Agriculture 79, 593-601.

Cardoso, A.P., E. Mirione, M. Ernesto, F. Massaza, J. Cliff, M.R. Haque and J.H. Bradbury. 2005. **Processing of cassava roots to remove cyanogens**. Journal of Food Composition and Analysis. 18, 451-460

Chotineeranat, S. 2006. **Process development of cyanide cassava flour from Kasetsart 50 variety and its utilization in food products**. Ph.D. (Agro-Industrial Product Development). Kasetsart University. Library Office: Kasetsart University (in Thai)

Kittipadakul, P. 2016. **Breeding of cassava to increase productivity and starch content for industrial use**. National Research Council of Thailand (NRCT), National Research Organization Network (NRCT), Kasetsart University. 17 June 2016. https://oer.learn.in.th/search_detail/result/25823 (in Thai)

Maskhao, S., Civilaisirimankararat, D. Wongsorn and W. Saksirirat. 2017. **Effect of Cassava Varieties with Different Cyanide Contents on Food Consumption, Growth and Yields of Eri Silkworm in Cool Season**. KKU Science Journal Vol. 45 No. 2. 2017 p. 379-391(in Thai)

Nassar, N.M.A., O.P. Junior, M.V. Sousa and R. Ortiz. 2009. **Improving carotenoids and amino-acids in cassava**. *Recent Pat Nutr&Agr* 1: 32-38.

(Received: 9/Feb/2023, Revised: 14/Jun/2023, Accepted: 19/Jun/2023)

การพัฒนาเค้กปราศจากกลูเตนโดยการใช้แป้งข้าวก่ำบางพระทดแทนแป้งสาลี

Substitution of Wheat Flour using Kum Bangpra Rice Flour in Development of Gluten-Free Cake

อนงค์นาฏ โสภณางกูร[1]* สุธัญญา พรหมสมบูรณ์[1] ประพฤติ พรหมสมบูรณ์[2] และ สุพรรษา ชินวรณ์[2]

Anongnat Sopanangkul[1]*, Sutunya Promsomboon[1], Praprut Promsomboon[2], and Supansa Chinaworn[2]

[1] สาขาวิชานวัตกรรมเพื่อสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่บางพระ จังหวัดชลบุรี 20110

[2] คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่บางพระ จังหวัดชลบุรี 20110

[1] Department of Innovation for Health and Beauty, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra Campus, Chonburi 20110

[2] Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra Campus, Chonburi 20110

**Email: anongnat_so@rmutto.ac.th; Tel. 080-2469978*

บทคัดย่อ

การพัฒนาเค้กปราศจากกลูเตนจากข้าวก่ำบางพระ ซึ่งเป็นข้าวพื้นถิ่นที่ผ่านปรับปรุงพันธุ์โดยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี โดยการทดแทนแป้งสาลี (WF) ด้วยแป้งข้าวก่ำบางพระ (KRF) ในการผลิตเค้ก พบว่า การเพิ่มระดับการทดแทนด้วยแป้งข้าวก่ำ (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) มีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดของแบทเทอร์เล็กน้อย แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะของเค้กเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (สูตรแป้งสาลี) สีของเนื้อเค้กจะคล้ำขึ้นตามปริมาณของแป้งข้าวก่ำที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ลักษณะเนื้อสัมผัสและการประเมินทางประสาทสัมผัสของเค้กที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวก่ำให้ผลใกล้เคียงกับเค้กสูตรควบคุม นอกจากนี้เค้กที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวก่ำร้อยละ 100 ยังได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงกว่าตัวอย่างควบคุม การทดลองปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำด้วยการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม แซนแทนกัม และ CMC) และการเพิ่มปริมาณไข่ขาว พบว่า การเติม CMC (ร้อยละ 0.25) และการเพิ่มปริมาณไข่ขาว (ร้อยละ 30) มีผลต่อปริมาตรจำเพาะของเค้ก แต่ไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาครั้งนี้จึงแสดงถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาเค้กปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวก่ำบางพระเพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ที่แพ้กลูเตนและผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

คำสำคัญ : กลูเตน เค้กปราศจากกลูเตน การพัฒนาผลิตภัณฑ์ การทดแทน

Abstract

Development of gluten-free cake from Kum Bangpra rice, the local rice cultivar bred by researchers from Rajamangala University of Technology Tawan-ok in Chonburi Province, was studied by substitution of Kum Bangpra rice flour (KRF) for wheat flour (WF) in cake formula. The results showed that increasing KRF substituted levels (25, 50, 75, and 100%) slightly affected specific gravity and viscosity of cake batter, however, no significant difference was observed in specific volume of KRF substituted cakes in comparison to the control cake (WF cake). Crumb color of cake progressively became darker as the level of KRF substitution increased. Texture profile analysis (TPA) and sensory

evaluation of KRF substitution samples revealed that cakes with KRF had similar results compared to the control cake. Moreover, the completely KRF-substituted cake (100% KRF) provided higher liking scores of texture and overall acceptance than the control sample. Regarding the improvement of KRF cake texture by adding hydrocolloids (guar gum, xanthan gum and CMC) and increasing amount of egg white, either adding 0.25% CMC or increasing amount of egg white (to 30%) affected specific volume without significantly change in texture and sensory evaluation of the final products. This study reveals the potential of gluten-free cake development from KRF, which is suitable for celiac patients and health-concerned consumers.

Keywords : gluten, gluten-free cake, product development, substitution

1. บทนำ

ความต้องการผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน (gluten-free) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน เป็นผลมาจากการตระหนักถึงความสำคัญของโรคแพ้กลูเตน (celiac disease) ซึ่งเกิดจากระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายที่มีปฏิกิริยาต่อกลูเตนที่จากข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์และข้าวไรย์ ทำให้ไม่สามารถบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีกลูเตนหรือผลิตภัณฑ์ที่มาจากข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรย์ได้ อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรที่แพ้กลูเตนมีมากขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่มประเทศแถบอเมริกา ยุโรป รวมถึงประเทศไทย ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกช่วงวัย ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมหลักคือ แป้งสาลีมักพบในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ต่าง ๆ เช่น ขนมปัง เค้ก คุกกี้ เป็นต้น จะมีกลูเตนเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้ผู้ป่วยโรคแพ้กลูเตนไม่สามารถรับประทานผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ ผู้ที่แพ้กลูเตนอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกายโดยมีอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ แน่นท้อง ท้องเสีย คลื่นไส้ อาเจียน ชาตามแขนและขา อาการจะรุนแรงมากหรือน้อยขึ้นกับแต่ละบุคคลว่ามีความไวต่อการแพ้สารอาหารแต่ละชนิดมากน้อยต่างกัน (Elli *et al*., 2003) ปัจจุบันนี้ยังไม่มียารักษาอาการโรคแพ้กลูเตน วิธีการรักษาโรคแพ้กลูเตนที่ดีที่สุด คือ หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีส่วนผสมของกลูเตน หรือรับประทานอาหารปราศจากกลูเตน

กระแสความนิยมผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน จึงเป็นโจทย์วิจัยที่สำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตนจากข้าวไทย เนื่องจากข้าวไทยเป็นธัญชาติที่ปราศจากกลูเตน จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้แป้งข้าวในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวและเบเกอรี่หลายชนิด ได้แก่ แครกเกอร์จากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Pichai and Ratmanee, 2018) คุกกี้จากแป้งข้าวสีนิล ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวกล้องสังข์หยด (Lekjing *et al.*, 2019) ขนมปังแท่งจากแป้งข้าวมีสี (Noonim *et al*., 2021) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม การใช้แป้งข้าวอาจมีข้อจำกัดด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับการใช้แป้งสาลี เนื่องจากแป้งข้าวไม่มีกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนในแป้งที่สามารถจับตัวเป็นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติด้านความหนืด ความยืดหยุ่นและคงตัว

ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติโดยอาจมาจากพืช สัตว์หรือเชื้อจุลินทรีย์ มีสมบัติในการละลายน้ำและทำให้เกิดสารละลายที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์หรือเจล มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารดูดซับน้ำ ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นสารเพิ่มความเสถียรให้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน ทำให้ไม่เกิดการแยกตัวของไขมัน จึงนิยมใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มากมายหลายชนิด (Mohammadi *et al*., 2014; Mir *et al*., 2016; Ferrero, 2017) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณไข่ขาวก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีไข่ขาวเป็นองค์ประกอบ เช่น เค้กชิฟฟอน ขนมโสมนัส เป็นต้น ซึ่งเนื้อสัมผัสและปริมาณของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับการขยายตัวของไข่ขาวที่ถูกนำมาตีจนเป็นฟองซึ่งจะเก็บอากาศในระหว่างการตีไข่ ทำให้ขยายตัวและขึ้นฟูในระหว่างการอบ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาตรและเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ (Sakkaekaew, 2022)

ข้าวก่ำบางพระ (*Oryza sativa* L. var. Kum Bangpra) เป็นข้าวพื้นเมืองสายพันธุ์บางพระ BP2012-009 ที่ได้รับการพัฒนาพันธุ์โดยนักวิจัยจากคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่บางพระ จังหวัดชลบุรี (Promsomboon *et al*., 2016) และตั้งชื่อว่า “ข้าวก่ำบางพระ” (Kum Bangpra rice) ลักษณะเด่น ได้แก่ มีการปรับตัวและสามารถเจริญเติบโตได้ดี ต้านทานต่อโรคและแมลง ไม่ไวต่อช่วงแสง จึงปลูกได้ทั้งในฤดูนาปีและนาปรัง ทั้งในสภาพนาดำและสภาพข้าวไร่ จึงกล่าวได้ว่าเป็น “ข้าวสะเทินน้ำสะเทินบก” ข้าวเปลือกเมื่อสุกแก่เต็มที่มีสีฟาง เมล็ดยาวเรียว เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้องมีสีม่วงดำ มีสารต้านอนุมูลอิสระ แอนโทไซยานิน แกมมาออไรซานอล และสารอาหารที่สำคัญต่อสุขภาพ (Promsomboon and Promsomboon, 2016; Promsomboon and Promsomboon, 2019) ดังนั้นเพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากข้าวก่ำบางพระ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้แป้งข้าวก่ำทดแทนแป้งสาลีเพื่อพัฒนาเค้กปราศจากกลูเตน เนื่องจากเค้กซึ่งมีส่วนผสมหลักคือแป้งสาลีเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่นิยมบริโภคในทุกเพศทุกวัย โดยศึกษาการพัฒนาสูตรเค้กที่เหมาะสมและการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำ เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ที่แพ้กลูเตนที่นิยมบริโภคผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

2. วิธีการทดลอง

2.1 การศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำบางพระในการผลิตเค้ก

โดยการทดแทนแป้งสาลี (WF) ด้วยแป้งข้าวก่ำบางพระ (KRF) ในปริมาณร้อยละ 25 50 75 และ 100 ในการทำเค้ก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเค้กที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำบางพระสูตรต่าง ๆ

ส่วนผสม	สูตรควบคุม	ร้อยละของการทดแทน			
(กรัม)	(ร้อยละ 100 WF)	ร้อยละ 25	ร้อยละ 50	ร้อยละ 75	ร้อยละ 100
WF	100	75	50	25	0
KRF	0	25	50	75	100
ผงฟู	3	3	3	3	3
ไข่แดง	55	55	55	55	55
น้ำตาลทราย (1)	5	5	5	5	5
นมสด	80	80	80	80	80
เกลือ	2	2	2	2	2
น้ำมันพืช	40	40	40	40	40
ไข่ขาว	110	110	110	110	110
น้ำตาลทราย (2)	60	60	60	60	60
ครีมออฟทาร์ทาร์	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

การเตรียมเค้ก

ผสมไข่แดงกับส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ แป้ง น้ำตาลทราย (1) ผงฟู เกลือ น้ำมันพืช และนมสดให้เข้ากัน (ส่วนผสมที่ 1) ตีไข่ขาวกับครีมออฟทาร์ทาร์และน้ำตาล (2) จนไข่ขาวตั้งยอดอ่อน นำไปผสมกับส่วนผสมที่ 1 คนตะล่อมเบา ๆ ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (ใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของแบทเทอร์) เทแบทเทอร์ที่ได้ใส่พิมพ์ ขนาด 8 x 8 x 2 นิ้ว โดยชั่งน้ำหนักแบทเทอร์ 440 กรัม อบที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที จนเค้กสุก นำออกจากเตาอบทันที แล้วผึ่งบนตะแกรงจนเค้กเย็น ก่อนการวิเคราะห์คุณภาพ

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของแบทเทอร์

ชั่งน้ำหนักแบทเทอร์เค้กแป้งข้าวก่ำที่ปริมาตร 1 ถ้วยตวง เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ปริมาตรเดียวกัน คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะจากอัตราส่วนน้ำหนักแบทเทอร์ของเค้กต่อน้ำหนักของน้ำ (Kumari *et al*., 2011)

ความหนืด (Viscosity) ของแบทเทอร์

วิเคราะห์ค่าความหนืดของแบทเทอร์ ด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น RVDVII+ ใช้หัวเบอร์ 5 รอบการหมุนที่ 100 รอบต่อนาที ปริมาตรตัวอย่าง 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 3 องศาเซลเซียส)

ค่าสี (L* a* b*)

วิเคราะห์ค่าสีของเนื้อเค้กด้านใน (crumb) โดยหั่นตัวอย่างเค้กข้าวก่ำเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 30 x 30 x 30 มิลลิเมตร วัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (CM3500d, Konica Minolta) ในระบบ CIE L*a*b* ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมองในการวัด 10°

ปริมาตรจำเพาะ (specific volume)

วัดปริมาตรของเค้ก โดยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (rapeseed displacement) ตามวิธีของ AACC method 10-05 (AACC, 2000) และชั่งน้ำหนักของเค้ก คำนวนปริมาตรจำเพาะ ดังสมการ

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาตรของเค้ก (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักเค้ก (กรัม)}}$$

ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) โดยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., United Kingdom) ใช้หัววัดทรงกระบอก (cylindrical probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) ตัดตัวอย่างขนาด 40 x 40 x 20 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง ให้หัววัดกดบนตัวอย่างด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ระยะร้อยละ 75 ของความสูงของตัวอย่าง จากนั้นหัววัดจะเคลื่อนที่กลับด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อวินาที แล้วกดตัวอย่างอีกครั้งด้วยความเร็วเท่าเดิม

2.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเค้ก โดยวิธี 9-Point-Hedonic Scaling Test ทำการประเมินโดยผู้ชิมไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนความชอบ คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

2.4 การศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำ

ศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำโดย (1) เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด ได้แก่ กัวร์กัม (ร้อยละ 0.5) แซนแทนกัม (ร้อยละ 0.25 และ 0.5) และ CMC (ร้อยละ 0.25 และ 0.5) ลงในเค้กข้าวก่ำที่พัฒนาได้จากข้อ 2.1 และ (2) โดยเพิ่มปริมาณไข่ขาวในการเตรียมตัวอย่างเค้ก จากเค้กข้าวก่ำสูตรควบคุม ร้อยละ 24 เป็นร้อยละ 27 และ 30 ของน้ำหนักทั้งหมด โดยใช้การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างเค้กตามข้อ 2.1 และ 2.2

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางกายภาพวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Dancan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window Version 16

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำบางพระในการผลิตเค้ก

การวิเคราะห์คุณภาพของเค้กข้าวก่ำที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำสูตรต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2

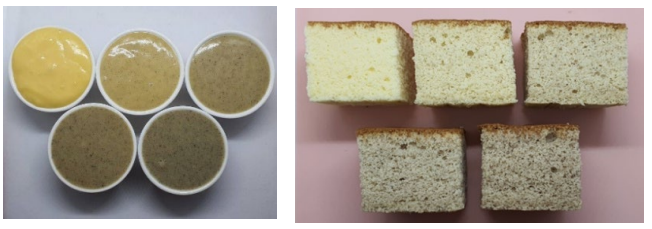
ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางกายภาพของเค้กที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวก่ำ

ร้อยละของ	ความถ่วง	ความหนืด	ปริมาตรจำเพาะ	ค่าสีของเนื้อเค้ก		
การทดแทน	จำเพาะ	(cP)	(cm^3/g)	L*	a*	b*
0 (control)	0.39 ± 0.01^{a}	8780 ± 530^{b}	2.73 ± 0.01^{a}	73.42 ± 0.45^{e}	2.20 ± 0.24^{a}	22.40 ± 1.22^{d}
25	0.41 ± 0.01^{a}	8385 ± 438^{ab}	2.81 ± 0.01^{b}	67.32 ± 0.49^{d}	3.43 ± 0.17^{b}	19.72 ± 0.49^{c}
50	0.42 ± 0.01^{a}	8187 ± 256^{ab}	2.86 ± 0.02^{b}	61.73 ± 1.32^{c}	4.04 ± 0.12^{c}	16.40 ± 0.31^{b}
75	0.44 ± 0.01^{ab}	8065 ± 395^{a}	2.83 ± 0.01^{b}	57.50 ± 1.40^{b}	4.74 ± 0.27^{d}	14.55 ± 0.22^{a}
100	0.46 ± 0.01^{b}	8005 ± 215^{a}	2.74 ± 0.04^{a}	53.54 ± 0.54^{a}	5.63 ± 0.27^{e}	14.23 ± 0.20^{a}

หมายเหตุ : แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ค่าความถ่วงจำเพาะของแบทเทอร์เป็นคุณลักษณะสำคัญที่บ่งชี้ถึงการเก็บอากาศของแบทเทอร์ในระหว่างการตีผสม โดยค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าน้อยหมายถึง มีความสามารถในการเก็บอากาศภายในแบทเทอร์ได้เป็นอย่างเหมาะสมจะส่งผลให้เค้กขึ้นฟูได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับความหนืดของแบทเทอร์และปริมาตรจำเพาะของเค้ก ผลิตภัณฑ์เค้กที่มีความหนืดของแบทเทอร์ต่ำจะส่งผลให้ต่อการขึ้นฟูของเค้ก เนื่องจากอากาศหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำซึ่งเกิดการขยายตัวจะไม่ถูกกักเก็บไว้ภายในระหว่างการอบได้ ปริมาตรของเค้กจึงลดลง (Ashwini *et al.*, 2009) ดังนั้นส่วนผสมเค้กหรือแบทเทอร์เค้กที่ดีจะต้องมีความหนืดที่เพียงพอที่จะป้องกันอากาศภายในแบทเทอร์รวมตัวกันและป้องกันการสูญเสียอากาศในช่วงเริ่มต้นการอบด้วย จากการทดลองพบว่า เค้กที่ใช้แป้งข้าวก่ำที่ทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 75 ขึ้นไป ค่าความถ่วงจำเพาะของแบทเทอร์เพิ่มขึ้นและความหนืดลดลงเล็กน้อย แสดงว่าแบทเทอร์เค้กสามารถกักเก็บอากาศไว้ภายในได้น้อยลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ส่งผลให้การขึ้นฟูของเค้กลดลงเล็กน้อย (ภาพที่ 1) แต่อย่างไรก็ตามไม่ส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะของเค้กเนื่องจากการชั่งน้ำหนักส่วนผสมให้เท่ากันก่อนอบจึงทำให้ปริมาตรจำเพาะของเค้กหลังอบในการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกัน (Mau *et al.*, 2015)

การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำสูตรต่าง ๆ จะสังเกตได้ว่า แบทเทอร์เค้กของแป้งสาลี (สูตรควบคุม) จะมีสีเหลืองอ่อนตามสีของไข่แดงที่ใช้ การทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำส่งผลให้สีของแบทเทอร์เค้กจะเข้มขึ้นตามปริมาณของแป้งข้าวก่ำที่ใช้ เนื่องมาจากสีของแป้งข้าวก่ำ ซึ่งมีสีม่วงอ่อน ๆ เมื่อนำไปอบ จึงได้เค้กที่มีเนื้อเค้กสีม่วงออกน้ำตาล สังเกตได้จากค่า L* ที่ลดลง ค่า a* ที่เพิ่มขึ้น และค่า b* ที่ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 1 และตารางที่ 2



(ก) (ข)

ภาพที่ 1 สีของแบทเทอร์ (ก) และสีของเนื้อเค้ก (ข) ที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวก่ำร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้ก (ตารางที่ 3) พบว่า การใช้แป้งข้าวก่ำทดแทนแป้งสาลีทำให้เค้กที่ได้มีค่าความแข็ง (hardness) ค่าการกลับคืนตัว (springiness) ค่าการยึดเกาะกันภายในอาหาร (cohesiveness) และแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเจือจางโปรตีนกลูเตนในส่วนผสมเค้ก ส่งผลต่อโครงสร้างและความสามารถในการเก็บกักอากาศของเค้กลดลง ทำให้เนื้อเค้กมีลักษณะร่วนเนื้อไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากแป้งข้าวก่ำมีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ 18.9) และมีค่าความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) สูง เมื่อใช้ระดับการทดแทนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้เค้กมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น โดยที่ร้อยละ 75 และ 100 จะมีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้กที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวก่ำ

ร้อยละของการทดแทน	Hardness (N)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Chewiness (N)
0 (control)	10416.23 ± 118.14^{b}	0.87 ± 0.01^{ab}	0.58 ± 0.01^{b}	5267.11 ± 134.87^{b}
25	9268.21 ± 756.11^{a}	0.88 ± 0.02^{ab}	0.54 ± 0.03^{ab}	4392.44 ± 422.37^{ab}
50	9523.54 ± 877.87^{a}	0.84 ± 0.01^{a}	0.52 ± 0.04^{a}	4223.41 ± 658.32^{a}
75	10284.27 ± 1145.72^{b}	0.91 ± 0.04^{b}	0.56 ± 0.02^{ab}	5252.50 ± 541.21^{b}
100	10312.17 ± 414.53^{b}	0.85 ± 0.01^{a}	0.53 ± 0.02^{ab}	5141.94 ± 422.29^{b}

หมายเหตุ : แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเค้กที่มีทดแทนด้วยแป้งข้าวก่ำ

ร้อยละของการทดแทน	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0 (control)	7.40 ± 0.56	6.83 ± 0.38	7.50 ± 0.51^{a}	7.37 ± 0.49^{bc}	7.40 ± 0.50^{ab}
25	7.17 ± 0.53	6.70 ± 0.47	7.23 ± 0.43^{b}	7.23 ± 0.43^{c}	7.20 ± 0.41^{b}
50	7.23 ± 0.50	6.67 ± 0.48	7.60 ± 0.50^{a}	7.47 ± 0.51^{ab}	7.30 ± 0.47^{b}
75	7.33 ± 0.55	6.73 ± 0.45	7.63 ± 0.49^{a}	7.63 ± 0.49^{a}	7.70 ± 0.47^{a}
100	7.30 ± 0.47	6.77 ± 0.43	7.57 ± 0.50^{a}	7.60 ± 0.50^{a}	7.63 ± 0.49^{a}

หมายเหตุ : แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$),
ns แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเค้กที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำ (ตารางที่ 4) พบว่า เค้กข้าวก่ำได้รับคะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ ใกล้เคียงกับเค้กสูตรควบคุม (แป้งสาลี) โดยเค้กข้าวก่ำที่มีการทดแทนร้อยละ 75 และ 100 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าเค้กสูตรควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นความสามารถในการใช้แป้งข้าวก่ำทดแทนแป้งสาลีในการผลิตเค้กได้ถึงร้อยละ 100 ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกสูตรเค้กที่มีแป้งข้าวก่ำเพียงอย่างเดียว (การทดแทน ร้อยละ 100) ในการพัฒนาเค้กข้าวก่ำต่อไป เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตนทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่แพ้กลูเตน

3.2 การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำ

จากการสังเกตการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำที่พัฒนาได้โดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด ได้แก่ กัวร์กัม (GG) แซนแทนกัม (XG) และ CMC พบว่า การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ทำให้ส่วนผสมเค้กหรือแบทเทอร์ก่อนผสมโฟมไข่ขาวมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่เติมแซนแทนกัมและ CMC จะมีความหนืดมากกว่าตัวอย่างที่เติมกัวร์กัม และการเพิ่มปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ (แซนแทนกัมและ CMC) จากร้อยละ 0.1 เป็น 0.25 ส่งผลให้ความหนืด

ของแบทเทอร์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากสารไฮโดรคอลลอยด์ประกอบไปด้วยหมู่ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) ซึ่งจะสามารถทำอันตรกิริยากับน้ำและเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้เป็นอย่างดี การเติมปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความหนืดของแบทเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย และส่งผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะของเค้กที่เติมไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ (ตารางที่ 5) ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ashwini *et al*. (2009) และ Poonnakasem *et al*. (2015) ที่พบว่า ผลิตภัณฑ์เค้กที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์จะมีค่าความหนืดของแบตเตอร์เค้กเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม นอกจากนี้การศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำโดยการเพิ่มปริมาณไข่ขาว พบว่า เค้กที่ได้มีปริมาตรจำเพาะมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.5$) จาก 2.95 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เป็น 3.25 และ 3.43 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาวจากร้อยละ 24 (สูตรควบคุม-KRF) เป็นร้อยละ 27 (KRF27EW) และร้อยละ 30 (KRF30EW) ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพเค้กข้าวก่ำที่มีการปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ตัวอย่าง	ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g)	คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส			
		Hardness (N)	Springiness^{ns} (mm)	Cohesiveness^{ns}	Chewiness (N)
KRF (control)	2.95 ± 0.02^{a}	10312.17 ± 414.53^{b}	0.85 ± 0.01	0.53 ± 0.02	5141.94 ± 422.29^{ab}
KRF0.5GG	3.18 ± 0.07^{ab}	11353.65 ± 180.22^{b}	0.87 ± 0.04	0.51 ± 0.03	4999.09 ± 169.92^{ab}
KRF0.1XG	3.28 ± 0.01^{ab}	9113.18 ± 847.06^{a}	0.87 ± 0.04	0.53 ± 0.02	4261.70 ± 559.36^{a}
KRF0.25XG	3.41 ± 0.01^{b}	10549.66 ± 327.16^{b}	0.86 ± 0.03	0.51 ± 0.03	5543.37 ± 597.48^{b}
KRF0.1CMC	3.36 ± 0.01^{b}	10901.96 ± 990.65^{b}	0.86 ± 0.08	0.52 ± 0.03	4434.13 ± 106.53^{a}
KRF0.25CMC	3.41 ± 0.01^{b}	11293.37 ± 390.24^{b}	0.85 ± 0.01	0.51 ± 0.03	4900.47 ± 895.92^{ab}
KRF27EW	3.25 ± 0.02^{ab}	10510.16 ± 836.78^{b}	0.88 ± 0.01	0.56 ± 0.02	5164.28 ± 283.55^{ab}
KRF30EW	3.43 ± 0.01^{b}	11284.42 ± 374.63^{b}	0.86 ± 0.06	0.54 ± 0.02	5369.56 ± 775.76^{b}

หมายเหตุ : แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$),
ns แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำที่มีปรับปรุงเนื้อสัมผัสโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (ตารางที่ 5) พบว่า การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อค่าความแข็ง (hardness) และแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) ในขณะค่าการกลับคืนตัว (springiness) ค่าการยึดเกาะกันภายในอาหาร (cohesiveness) มีค่าใกล้เคียงกับเค้กที่ไม่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guarda *et al*. (2004) พบว่า การเติมแซนแทนกัมลงในส่วนผสมของขนมปัง ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติม โดยแซนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติในการดูดน้ำ จึงทำให้มีผลต่อการกระจายตัวและการเกิดเจลาติไนซ์เซชันลดลง (Kruger *et al*., 2003) ดังนั้นจึงทำให้มีปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่เพียงพอต่อการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบ ส่งผลให้เกิดการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชลดลง (Mandala and Bayas, 2004) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งและค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของเค้กข้าวก่ำที่มีปรับปรุงเนื้อสัมผัสโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (ตารางที่ 6) ไม่มีผลต่อคะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนการประเมินด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ($p<0.5$) โดยเค้กข้าวก่ำที่เติม CMC ร้อยละ 0.25 ได้รับคะแนนด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุด (7.73)

การศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำโดยการเพิ่มปริมาณไข่ขาว พบว่าค่าความแข็ง (hardness) ค่าการกลับคืนตัว (springiness) ค่าการยึดเกาะกันภายในอาหาร (cohesiveness) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และการเพิ่มปริมาณไข่ขาวเป็นร้อยละ 27 และ 30 ส่งผลให้แรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) มีค่าเพิ่มขึ้น

การประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า เค้กข้าวก่ำที่เพิ่มปริมาณไข่ขาวได้รับคะแนนด้านต่าง ๆ ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (ตารางที่ 6) โดยเค้กข้าวก่ำที่เพิ่มปริมาณไข่ขาวเป็นร้อยละ 30 มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด (7.77) ซึ่งใกล้เคียงกับเค้กข้าวก่ำที่เติม CMC ร้อยละ 0.25 (7.73)

ตารางที่ 6 การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเค้กข้าวก่ำที่มีปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ตัวอย่าง	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
KRF (control)	7.50±0.57	6.67±0.48	7.70±0.47	7.70±0.47^{ab}	7.67±0.48^{ab}
KRF0.5GG	7.50±0.57	6.73±0.45	7.57±0.50	7.40±0.50^{c}	7.23±0.43^{c}
KRF0.1XG	7.47±0.63	6.60±0.50	7.60±0.50	7.47±0.51^{c}	7.47±0.51^{b}
KRF0.25XG	7.53±0.51	6.63±0.49	7.67±0.48	7.60±0.45^{b}	7.50±0.43^{b}
KRF0.1CMC	7.53±0.51	6.70±0.47	7.57±0.50	7.73±0.45^{ab}	7.60±0.49^{ab}
KRF0.25CMC	7.43±0.57	6.70±0.47	7.73±0.45	7.77±0.43^{a}	7.73±0.45^{a}
KRF27EW	7.40±0.62	6.73±0.45	7.60±0.50	7.77±0.43^{a}	7.65±0.47^{ab}
KRF30EW	7.47±0.57	6.83±0.38	7.63±0.49	7.80±0.41^{a}	7.77±0.43^{a}

หมายเหตุ : แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$),
ns แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

การเปรียบเทียบผลของการปรับปรุงเนื้อสัมผัสต่อคุณภาพของเค้กข้าวก่ำบางพระ โดยการเติมไฮโดรคอลลอยด์ CMC ร้อยละ 0.25 (KRF0.25CMC) และการเพิ่มปริมาณไข่ขาวเป็นร้อยละ 30 (KRF30EW) กับเค้กข้าวก่ำปราศจากกลูเตนที่ไม่ปรับปรุงเนื้อสัมผัส (KRF) พบว่า เนื้อสัมผัสของเค้กทั้งสาม (ความแข็ง การกลับคืนตัว การยึดเกาะกันภายในอาหาร และแรงที่ใช้ในการเคี้ยว) มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ (สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ไม่ได้แสดงผล) ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนจึงเลือกใช้เค้กข้าวก่ำสูตรควบคุม (KRF) เป็นสูตรต้นแบบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตน แต่อย่างไรก็ตามการเติม CMC ร้อยละ 0.25 หรือการเพิ่มปริมาณไข่ขาวเป็นร้อยละ 30 ทำให้การขึ้นฟูของเค้กเพิ่มขึ้น สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาตรของเค้กได้

4. สรุปผล

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กจากแป้งข้าวก่ำบางพระโดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวก่ำบางพระร้อยละ 100 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตน เค้กข้าวก่ำที่ได้จะมีสีม่วงน้ำตาลจากสีของแป้งข้าวก่ำบางพระ โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กมีความใกล้เคียงกับสูตรแป้งสาลี โดยเค้กข้าวก่ำได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าเค้กสูตรแป้งสาลี การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวก่ำด้วยการเติม CMC ร้อยละ 0.25 และการเพิ่มปริมาณไข่ขาวเป็นร้อยละ 30 ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของเค้กเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคะแนนประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสเมื่อเทียบกับเค้กข้าวก่ำสูตรต้นแบบ ดังนั้นเค้กจากแป้งข้าวก่ำบางพระที่พัฒนาได้จากการศึกษาครั้งนี้ จึงสามารถใช้เป็นสูตรต้นแบบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ปราศจากกลูเตน เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ที่แพ้กลูเตนที่นิยมบริโภคผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และสามารถตอบโจทย์ผู้บริโภคที่ชอบรับประทานผลิตภัณฑ์เบเกอรี่แต่ยังใส่ใจสุขภาพได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ภายใต้แผนบูรณาการ : การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวก่ำบางพระเพื่อการแปรรูปอาหารสุขภาพและเวชสำอางสู่ตลาดเออีซี โครงการวิจัย : การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพและเวชสำอางจากข้าวก่ำบางพระ

6. เอกสารอ้างอิง

AACC. 2000. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th Ed. St. Paul, MN, U.S.A.

Ashwini, A., R. Jyotsna and D. Indrani. 2009. **Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake**. Food Hydrocolloids 23: 700-707.

Elli, L., E. Dolfini and M.T. Bardella. 2003. **Gliadin cytotoxicity and in vitro cell cultures**. Toxicology Letters. 146(1): 1-8.

Ferrero, C. 2017. **Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review**. Food Hydrocolloids, 68, 15-22.

Guarda, A., C.M. Rosell, C. Benedito and M.J. Galotto. 2004. **Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents**. Food Hydrocolloids. 18: 241-247.

Kruger, A., C. Ferrero and N.E. Zaritzky. 2003. **Modelling corn starch swelling in batch system: of sucrose and hydrocolloids**. J. Food Eng. 58: 125-133.

Kumari R., T. Jeyarani, C. Soumya and D. Indrani. 2011. **Use of vegetable oils, emulsifiers and hydrocolloids on rheological, fatty acid profile and quality characteristics of pound cake**. Journal of Texture Studies 42: 377-386.

Lekjing, S., P. Noonim, S. Boottajean and P. Chantawong. 2019. **Effect of substitution of wheat flour with Sangyod brown rice flour on physicochemical and sensory qualities in snack product**. Khon Kaen Agriculture Journal 47 (suppl.1): 679-684. (in Thai)

Mandala, I.G. and E. Bayas. 2004. **Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions**. Food Hydrocolloids. 18(2): 191-201.

Mau, J.L., T.M. Lu, C.C. Lee, L.Y. Lin, C.H. Cheng and S.D. Lin. 2015. **Physicochemical, Antioxidant and Sensory Characteristics of Chiffon cakes Fortified with Various tea Powder**. Journal of Food Processing and Preservation 39: 443-450.

Mir, S. A., M. A. Shah, H. R.Naik and I. A. Zargar. 2016. **Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads**. Trends in Food Science & Technology, 51, 49-57.

Mohammadi, M., N. Sadeghnia, M. H. Azizi, T. R. Neyestani and A.M. Mortazavian. 2014. **Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC**. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20(4), 1812-1818.

Noonim, P., W. Thongthoung and S. Lekjing. 2021. **Quality Improvement of Gluten-Free Bread Stick Product from Pigmented Rice Flour**. Khon Kaen Agriculture Journal 49(suppl. 1): 982-987. (in Thai)

Pichai, S. and P. Ratmanee. 2018. **Product development of gluten-free cracker**. Prawarun Agricultural Journal 15(2): 289-296. (in Thai)

Poonnakasem, N., K. Laohasongkram and S. Chaiwanichsiri. 2015. **Influence of hydrocolloids on batter properties and texture kinetic of sponge cake during storage**. Journal of Food Quality 38: 441-449.

Promsomboon, P., S. Chan-udom, A. Wisetsing, S. Promsomboon, and K. Kanjanajan. 2016. **Collection and Characterization of Agricultural Traits of Local Thai Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties**. King Mongkut's Agricultural Journal 4 (3): 126-132. (in Thai)

Promsomboon, P. and S. Promsomboon. 2016. **Collection and Evaluation of Local Thai Rice Varieties (*Oryza sativa* L.)**. Journal of Life Sciences 10, 371-374.

Promsomboon, P. and S. Promsomboon. 2019. **Environmental responsibility of rice var. Kum Bangpra and riceberry in lowland and upland conditions**. International Journal of Agricultural Technology 15(5), 747-752.

Sakkaekaew, K. 2022. **Physicochemical properties, nutrition values, and sensory acceptance of khanom sommanat with duck egg white residue from thai dessert industry**. Burapha Science Journal, 27(2), 1375-1392.

(Received: 12/May/2022, Revised: 14/Jun/2023, Accepted: 18/Jun/2023)

องค์ประกอบทางเคมีและความสามารถต้านอนุมูลอิสระของข้าวจิ๊บ มะลิดำ และดอกมะขาม

Chemical composition and Antioxidant activity of Jib, Mali-dam and Dok-makam rice

สมหมาย ปะติตังโข[1] กิ่งแก้ว ปะติตังโข[2] และ ครุปกรณ์ ละเอียดอ่อน[3]

Sommai Patitungkho[1], Kingkaew Patitungkho[2] and Karupakorn Laeid-on[3]

[1] สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

[2] สาขาวิชาบรรณารักษศาสตร์และสารสนเทศศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

[3] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

[1] Department of Chemistry, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

[2] Department of Library and Information, Faculty of Humanities and Social Sciences, Rajabhat Buriram University

[3] Department of General Science, Faculty of Education, Buriram Rajabhat University

E-mail: dr.sommai@gmail.com Tel. 0897201597

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมือง 3 ชนิดคือ ข้าวจิ๊บ มะลิดำและดอกมะขาม เป็นข้าวพื้นเมืองที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีพบว่าสารองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในข้าวจิ๊บ ได้แก่ โซเดียมเฉลี่ยเท่ากับ 16.63 มิลลิกรัม แมกนีเซียมเฉลี่ย เท่ากับ 135.33 มิลลิกรัม ข้าวมะลิดำมีปริมาณวิตามินบี 1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.48 มิลลิกรัม แคลซียมเฉลี่ยเท่ากับ 10.72 มิลลิกรัม เหล็กเฉลี่ยเท่ากับ 3.95 มิลลิกรัม สังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 มิลลิกรัม ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 463.73 mg GAE/100g extract และข้าวดอกมะขามมีปริมาณบี 2 เฉลี่ยเท่ากับ 0.24 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 336.83 มิลลิกรัม โพแทสเซียมเฉลี่ยเท่ากับ 204.26 มิลลิกรัม ทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 0.7 มิลลิกรัม อะไมโลสเฉลี่ยเท่ากับ 16.62 มิลลิกรัม ไนอะซินเฉลี่ยเท่ากับ 4.79 มิลลิกรัม เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิค DPPH และ FRAP พบว่าข้าวมะลิดำมีค่ามากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 82.44% และ 55.44 mg Fe/100g extract รองลงมาคือ ข้าวดอกมะขามเฉลี่ยเท่ากับ 78.23% และ 52.18 mg Fe/100g ส่วนข้าวจิ๊บน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 78% และ 51.96 mg Fe/100g ตามลำดับ

คำสำคัญ : ข้าวพันธุ์พื้นเมือง องค์ประกอบทางเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The purpose of this research was to study the chemical constituents and antioxidant capacity of 3 rice landraces as follows: Jib rice, Mali-Dam rice and Dok-Makam rice was nutritious rice landrace and when analyzed by quantitative content found that the highest content of jib rice was the average sodium of 16.63 mg, average magnesium equal to 135.33 milligrams, Mali-Dam rice has an average vitamin B1 content of 0.48 mg, calcium 10.72 mg, iron 3.95 mg, zinc 1.90 mg, a total phenolic content of 463.73 mg GAE/100g extract and Dok-Makam rice contains B2 0.24 mg phosphorus 336.83 mg potassium 204.26 mg copper 0.7 mg amylose 16.62 mg and niacin 4.79 mg. Antioxidant capacity was analyzed by DPPH and FRAP techniques was found that the average Mali-dam rice was 82.44% and 55.44 mg Fe/100g extract, followed by the average Dok-Makam rice was 78.23% and 52.18 mg Fe/100g, while Jib rice the lowest was 78% and 51.96 mg Fe/100g respectively.

Keywords : Rice landraces, Chemical composition, Antioxidant activity

1. บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนทั้งโลก โดยประชากรกว่าครึ่งโลกจะบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก เนื่องจากข้าวเป็นอาหารที่ให้คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแห่งพลังงานหลักสำหรับมนุษย์ (Radannielson *et al*., 2018) รวมทั้งยังเป็นธัญพืชที่สำคัญและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่ส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ (Liu *et al*., 2017) และนอกจากจะมี คาร์โบไฮเดรต แล้วข้าวยังมี โปรตีน ไขมัน วิตามินบี และแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบ และมีสารอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ไทอามีน โทโคฟีรอล ออไรซานอล และแอนโทไซยานิน เป็นต้น (Booyaves *et al*., 2015) โดยสารดังกล่าวมานี้มีบทบาทสำคัญในระบบสรีรวิทยารักษาสมดุลของร่างกายสร้างเสริมสุขภาพป้องกันโรคต่าง ๆ เช่นทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและหลอดเลือดหัวใจ ลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ (Mano *et al*., 1999)

ประเทศไทยมีสายพันธุ์ข้าวที่หลากหลายทั้งสายพันธุ์พื้นเมืองและที่ปรับปรุงพันธุ์โดยนักวิชาการ ทำให้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร เกษตรกรส่วนใหญ่มีแนวโน้มสนใจข้าวที่ปรับปรุงสายพันธุ์มากกว่าเนื่องจากให้ผลผลิตที่สูง (Pholva *et al*., 2018) ทั้งที่ข้าวพื้นเมืองมีข้อดีหลายอย่างและเกษตรกรปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือนมายาวนาน ซึ่งพบว่าข้าวพื้นเมืองหลายสายพันธุ์มีสีเยื่อหุ้มเมล็ดเมล็ดแตกต่างกัน เช่น สีแดง สีดำ สีม่วง จะประกอบด้วยอาหารที่ค่อนข้างสูงเช่น ข้าวที่เมล็ดสีแดงจะมีปริมาณสารฟีนอลิกที่สูงระหว่าง 66.8-422.2 mg/100 g (Shao *et al*., 2015) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งความหลากหลายทางพันธุกรรมและลักษณะที่ดีหลายประการ เช่น ต้านทานโรคและแมลง ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ทนแล้ง ทนน้ำท่วม คุณภาพเมล็ดดีและผลผลิตสูง เป็นต้น ความหลากหลายทางพันธุกรรมเป็นฐานสำคัญยิ่งในการนำไปใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวพันธุ์ดีให้มีคุณค่าทางอาหารสูงเหมาะสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพแล้ว ยังมีการใช้ประโยชน์จากข้าวพันธุ์พื้นเมืองในด้านอื่น ๆ เช่น ถนอมอาหาร สมุนไพร เลี้ยงสัตว์ แปรรูปเป็นขนมหรือของหวาน ประกอบพิธีกรรม ทำสุราพื้นบ้าน และจำหน่ายสร้างรายได้ให้กับครัวเรือน จะเห็นได้ว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีประโยชน์ในหลายด้าน ทำให้เกษตรกรส่วนหนึ่งยังคงเก็บรักษาและปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองไว้

เกษตรในจังหวัดบุรีรัมย์ ได้ทำการปลูกข้าวข้าวพื้นเมือง สามสายพันธุ์ที่พบมาก ได้แก่ ข้าวจิ๊บ ข้าวมะลิดำ ข้าวดอกมะขาม (ปะกาอัลปีล) เพื่อใช้บริโภคในครัวเรือนหรือแปรรูปจำหน่ายข้าวเหล่านี้ข้าวกล้องจะมีสีสันที่น่ารับประทาน มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำหรือแดงที่ผิวเปลือกจะพบสารประกอบฟีนอลิกและมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ (Walter *et al*., 2013) แม้ว่าข้าวพื้นเมืองในแต่ละท้องถิ่นจะมีความหลากหลายของสายพันธุ์ มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาต่างกันไปก็ตาม (Bhowmick and Nayak, 2000) และมีรายงานวิจัยของ Sutharut and Sudarat (2012) พบว่าข้าวพื้นเมืองที่มีสีดำ สีม่วงจะมีสารประกอบฟีนอลิก สารแอนโทไซยานินที่สูงกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสีและยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงตามไปด้วย ลดปริมาณคลอเลสเตอรอล และช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคเบาหวานได้ (Wang and Xu., 2007) โดยทั่วไปเกษตรกรในพื้นที่จะปลูกข้าวพื้นเมืองในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ส่งเสริมเพื่อการค้า แต่ข้าวพื้นเมืองทั้งสามสายพันธุ์นั้นจะมีลักษณะเด่น คือ เมล็ดข้าวกล้องจะเรียวยาว เมล็ดมีสีสวยน่ารับประทานและที่สำคัญคือเป็นข้าวที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพพื้นที่ปลูกได้ดี ทนต่อสภาพแวดล้อม และโรคแมลงและเกษตรกรบางครัวเรือนจึงยังปลูกไว้ ประกอบกับกระแสการตื่นตัวของผู้คนที่หันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้นอาหารเพื่อสุขภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทสำคัญของคนยุคใหม่เป็นอย่างมากโดยเฉพาะในกลุ่มที่มีกำลังซื้อสูงมีโอกาสเลือกได้มากขึ้น ถึงแม้ราคาจะสูงกว่าปกติก็ตาม จะพบว่าข้าวที่มีสีสันต่าง ๆ วางขายอยู่ทั่วไป กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นและในปัจจุบันเห็นได้ชัดเจนว่าข้าวพันธุ์ส่งเสริม เช่น ข้าวขาวดอกมะลิมีราคาตกต่ำมากตันละไม่ถึงหมื่นบาท ดังนั้นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในข้าวพื้นเมืองที่เกษตรกรปลูกจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษาเพิ่มเติม นอกจากการศึกษาด้านสัณฐานวิทยาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการแปรรูปอาหารเพื่อสุขภาพและยังเป็นการสร้างคุณค่าข้าวพื้นเมืองให้เป็นที่สนใจและช่วยอนุรักษ์พันธุ์ข้าวพื้นเมืองให้คงอยู่ตลอดไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเก็บตัวอย่างข้าวพื้นเมือง

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้าวพื้นเมือง 3 สายพันธุ์จากเกษตรกรที่ปลูกข้าวพื้นเมือง ได้แก่ ข้าวดอกมะขาม (ปะกาอัลปีล) ข้าวจิ๊บ และข้าวมะลิดำ จากเกษตรกรที่ปลูกในจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเป็นข้าวใหม่อายุหลังการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 เดือน หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์แยกใส่ถุง ถุงละ 1 กิโลกรัม จัดเก็บในตู้เย็น (4 ± 1 องศาเซลเซียส) รอการนำมาทดสอบ ก่อนการทดสอบนำข้าวเปลือกออกจากตู้เย็นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงกะเทาะเอาเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะ พร้อมทั้งคัดข้าวหักออกเพื่อให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดทั้งหมดทดสอบความชื้นของข้าวกล้องเริ่มต้นด้วยการอบโดยชั่งน้ำหนักข้าวกล้อง 30 กรัม อบที่อุณหภูมิ 120 ± 1 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (AOAC, 2000)

2.2 การสกัดสารจากตัวอย่างข้าว

นำตัวอย่างข้าวทั้งสามสายพันธุ์ชนิดละ 100 กรัม มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปแช่ในเอทานอล 80% ในอัตราส่วน 1:5 W/V (ข้าว : เอทานอล) นำไปบ่มและเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแยกส่วนใสออกด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที สารละลายที่ได้นำไปทำให้เข้มข้นด้วยเครื่อง vacuum rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นำสารสกัดหยาบไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวตัวอย่าง โดยใช้วิธีการของ AOAC (2000) ตามขั้นตอนดังนี้

2.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน

2.3.1.1 ความชื้นด้วยการอบแห้งตัวอย่างข้าว 4 กรัม ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส นานประมาณ 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นตามวิธีการที่อธิบายใน AOAC (2000) method No. 44-15 A

2.3.1.2 เถ้าด้วยการเผาตัวอย่างข้าวเตาเผาอุณหภูมิ 550 ± 5 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมงจนเหลือเป็นสีเทาขาว ตามวิธีการที่อธิบายใน AOAC (2000) method No. 08-01

2.3.1.3 คาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการที่รายงานโดย Onyeike *et al*. (1995) โดยวิธีการนี้จะนำ ผลรวมของปริมาณความชื้น เถ้าไขมัน โปรตีน ของตัวอย่างข้าวที่วิเคราะห์ได้และลบออกจาก 100 ค่าที่ได้คือร้อยละของคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่าง

2.3.1.4 โปรตีนด้วยการคำนวณปริมาณไนโตรเจนในข้าวด้วย Kjeldahl's method ตามวิธีการที่อธิบายใน AOAC (2000) method No. 46-10 ร้อยละของโปรตีนถูกคำนวณโดยการคูณด้วยไนโตรเจนแฟคเตอร์ด้วย 5.95

2.3.1.5 ไขมันด้วยการใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลายใน Soxhlet apparatus ตามวิธีการที่อธิบายใน AOAC (2000) method No. 30-10.35

2.3.2 วิเคราะห์ปริมาณ Vitamin A, Vitamin B1, Vitamin B2 และ Vitamin E โดยวิธี AOAC (2000)

2.3.3 วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุประกอบด้วย Calcium (Ca), Sodium (Na)และ Iron (Fe) โดยวิธี In house method based on AOAC (2000) by Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)

2.4 ปริมาณอะไมโลส (Amylose content)

การตรวจสอบปริมาณอะไมโลสนั้นตรวจวัดจากสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งข้าวและสารละลายไอโอดีน โดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสง 620 นาโนเมตร ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันนั้นจะบอกถึงระดับของปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าว (Juliano, 1971)

2.5 การทดสอบเพื่อหาปริมาณฟีนอลทั้งหมด

การหาปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total Phenolic Content; TPC) โดยวิธี Folin-Ciocalteu โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ใช้ตัวอย่างสารสกัด 0.4 มิลลิลิตรเติม 10 % Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่า

ให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติม 7.5% Na_2CO_3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางไว้ที่อุณหภูมิห้องและมืด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จึงนำสารละลายส่วนใสไปวัดวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Moogngarm and Saetung, 2010)

2.6 การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

นำตัวอย่างสารสกัดหยาบจากข้าวทั้ง 3 ชนิด ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก จากนั้นเติม DPPH (2,2-diphenyl-1-icrylhydrazyl) ความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 10 นาที บ่มในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องเป็น เวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 nm โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยใช้กรดแอสคอบิกเป็น positive control คำนวณ % Radical scavenging activity จากสูตร (Jandaruang *et al*., 2012)

$$\% \text{ Radical scavenging activity} = \frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}} \times 100$$

2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการทดลอง

ลักษณะค่าสีของข้าวกล้อง

ลักษณะของค่าสีข้าวกล้อง พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของข้าวกล้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ข้าวที่มีค่าความสว่างสูงที่สุดคือ ข้าวดอกมะขาม เท่ากับ 34.83 น้อยที่สุดคือ ข้าวมะลิดำ เท่ากับ 17.48 ค่าสี a* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนมากอยู่ในเกณฑ์บวกแสดงว่ามีลักษณะสีแดงเจือปนในเมล็ด ค่า a* สูงที่สุดคือ ข้าวจิ๊บ เท่ากับ 12.19 น้อยที่สุดคือ ข้าวมะลิดำ เท่ากับ 4.20 ส่วนค่าสี b* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าสี b* สูงที่สุดคือ ข้าวจิ๊บ เท่ากับ 12.85 น้อยที่สุดคือ มะลิดำ เท่ากับ 3.15 (Table 1)

Table 1 The colors of brown rice

Varieties	Colour		
	L*	a*	b*
Jib	26.26	12.19	12.85
Mali-dam	17.48	4.20	3.15
Dok-Makam	34.83	6.32	8.51
C.V.(%)	2.56	3.31	4.74

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าว

ผลการศึกษา เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพื้นเมืองทั้ง 3 สายพันธุ์พบว่าข้าวดอกมะขาม มีโปรตีน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส ทองแดง อะไมโลส ไนอะซินและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 8.68 กรัม 204.26 มิลลิกรัม 336.83 มิลลิกรัม 0.7 มิลลิกรัม 16.62 กรัม4.79 มิลลิกรัมและ 449.83mg GAE/100g extract ตามลำดับ ส่วนข้าวมะลิดำมีไขมันรวมและคาร์โบไฮเดรตรวม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี มากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 3.37 กรัม 75.80 กรัม 10.72 มิลลิกรัม 3.95 มิลลิกรัม 1.90 มิลลิกรัมตามลำดับ ส่วนข้าวจิ๊บมีคาร์โบไฮเดรต

แมกนีเซียม โซเดียม แมกนีเซียมมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 74.41 กรัม 135.33 มิลลิกรัม 16.63 มิลลิกรัม และ 135.33 มิลลิกรัม ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Chemical compositions of Local rice Varieties

Chemical composition	Local rice Varieties			C.V. (%)
	Jib	Mali-dam	Dok-Makam	
Energy (kcal)	355.43	361.86	352.16	1.79
Moisture (g)	11.47 b	11.53 b	12.34 a	1.92
Protein (g)	7.28 c	7.79 b	8.68 a	1.26
Total Fat (g)	0.37 c	3.37 a	1.52 b	6.51
Total Carbohydrate (g)	74.41 a	75.80 a	70.60 b	1.60
Ash (g)	1.35 a	0.98 c	1.41 a	3.60
Vitamin B1 (mg)	0.41	0.48	0.37	1.64
Vitamin B2 (mg)	0.21	0.20	0.24	15.05
Calcium (mg)	9.74 b	10.72 a	8.80 c	4.33
Phosphorus (mg)	326.23 ab	319.33 b	336.83 a	1.93
Sodium (mg)	16.63 a	11.83 b	10.50 b	6.81
Potassium (mg)	200.70	203.25	204.26	1.15
Magnesium (mg)	135.33 a	130.68 ab	127.53 b	2.05
Iron (mg)	1.08 c	3.95 a	1.27 b	3.36
Zinc (mg)	1.69 c	1.90 a	1.79 b	2.49
Copper (mg)	0.29 b	0.29 b	0.7 a	9.88
Amylose (g)	14.97 b	14.53 b	16.62 a	2.84
Niacin (mg)	3.85 b	3.99 b	4.79 a	4.50
Total Phenolic content (mg GAE/100g extract)	452.33	463.73	449.83	3.09

Remark: Values followed by the same letter in the same row are not significantly different ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวสามสายพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่าข้าวมะลิดำมีค่ามากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 82.44% และ 55.44mg Fe/100g extract รองลงมาคือ ข้าวดอกมะขามเฉลี่ยเท่ากับ 78.23% และ 52.18 mg Fe/100g ส่วนข้าวจิ๊บน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ78% และ 51.96 mg Fe/100g ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Antioxidant activity

Rice varieties	DPPH (%)	FRAP (mg Fe/100g extract)
Jib	78.00 b	51.96 b
Mali-Dam	82.44 a	55.44 a
Dok-Makam	78.23 b	52.18 b
C.V. (%)	1.24	1.01

Remark: Values followed by the same letter in the same column are not significantly different ($p < 0.05$)

4. วิจารณ์ผล

ข้าวพื้นเมืองทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวจิ๊บ มะลิดำและดอกมะขาม เป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง หรือสีม่วง เป็นข้าวที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิค DPPH และ FRAP พบว่าข้าวหอมมะลิดำ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เนื่องจากในข้าวชนิดนี้มีสารแอนโทไซยานินในปริมาณที่สูง แอนโทไซยานินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Sutharut and Sudarat, 2012) โดยสารนี้จะสะสมอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว ดังนั้นข้าวที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย (Mattioli *et al*., 2012) รองลงมาคือ ข้าวจิ๊บและข้าวดอกมะขาม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นแหล่งความหลากหลายทางพันธุกรรมและลักษณะที่ดีหลายประการ เช่น ความต้านทานโรคและแมลง ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม คุณภาพเมล็ดและผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการสูง ป้องกันและรักษาโรคบางชนิดได้ เป็นต้น ซึ่งความหลากหลายทางพันธุกรรมเป็นฐานสำคัญยิ่งในการนำไปใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้ได้ข้าวพันธุ์ดีและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ข้าวพันธุ์พื้นเมืองต่างสายพันธุ์กันจะมีคุณค่าทางโภชนาการหรือมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์แตกต่างกันออกไป (Pimratch *et al.*, 2015) จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ข้าวพื้นเมืองต่างสายพันธุ์กันมีปริมาณสารอาหารความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน เนื่องจากข้าวพื้นเมืองต่างสายพันธุ์กันจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Goufo and Trinade (2014) ในข้าวสีต่าง ๆ พบว่ามีสารสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน โปรแอนโทไซยานิดิน โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล แกมมาออริซานอลและกรดไฟติกและสารเหล่านี้ยังขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการสร้างเมล็ดข้าวแตกต่างกัน หรือขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าว หรือสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่นงานวิจัยของ Maksup (2014) พบว่า การขาดน้ำส่งผลต่อการสังเคราะห์รงควัตถุที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของข้าว ได้แก่ คลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ b และแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับการแสดงออกของสารพันธุกรรมหรือยีนที่ควบคุมการทำงานของระบบแสง ได้แก่ ยีน *OEC1* ยีน *PsbP* และยีน *PsaE* มีระดับการแสดงออกลดลงอย่างชัดเจนเมื่อต้นข้าวขาดน้ำ ยีนดังกล่าวมีหน้าที่สำคัญในขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้กระบวนการสร้างน้ำตาลและแป้งเพื่อใช้ในการเจริญพัฒนาของต้นข้าว รวมถึงการสะสมแป้งในเมล็ดลดลงอีกด้วย ดังนั้นจึงมีผลทำให้ปริมาณสารอาหาร ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้จากงานของ Shokrzadeh and Ebadi (2006) ได้ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดข้าวทั้ง 4 ชนิด คือ Tarom, Khazar, Neda และ Sadri พบว่า ข้าว Tarom มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงสุด เนื่องจากข้าว Tarom มีสีเข้ม นั่นคือ มีแอนโทไซยานินปริมาณสูงทำให้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ Chung and Shin (2007) ได้ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของข้าว 5 สายพันธุ์โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 80% ในการสกัดเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองพบว่า ข้าวสายพันธุ์ *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo มีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ซึ่งสอดคล้องกับ Dechklong (2021) อธิบายว่าข้าวพื้นเมืองของไทยหลายสายพันธุ์เป็นข้าวที่มีโภชนาการสูง เนื่องจากมีความหลากหลายของสีเยื้อหุ้มเมล็ด เมื่อกะเทาะเปลือกข้าวจะมีสีเยื่อหุ้มเมล็ดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น สารสีม่วงสัมพันธ์กับแอนโทไซยานิน (anthocyanin) แกมมาออริซานอล (γ-oryzanol) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไทรอีนอล (tocotrienol) และฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง ช่วยชะลอการเสื่อมของเซลล์ นอกจากนี้เยื่อหุ้มเมล็ดยังอุดมไปด้วยวิตามินบี 1 บี 2 บี 3 โอเมก้า 6 โอเมก้า 9 รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น เหล็ก สังกะสี (Walter and Marchesan, 2011) นอกจากนี้ในข้าวที่บริโภคพบว่า ข้าวกล้องหรือที่เรียกว่าข้าวเต็มเมล็ดเป็นผลจากการกำจัดเปลือกชั้นนอกที่กินไม่ได้และแตกต่างจากข้าวขาวทั่วไป ซึ่งรวมถึงจมูกข้าว รำข้าว และเอนโดสเปิร์ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีคล้ำต่าง ๆ ของชั้นนอก ข้าวสามารถจำแนกได้เป็นสีดำ สีม่วง สีแดง ฯลฯ (Ciulu *et al*., 2018) ซึ่งมีคุณสมบัติในการส่งเสริมสุขภาพและโภชนาการหลายอย่าง (Shao and Bao, 2015) ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาของ Hallfrisch *et al*., (2003) พบว่าช่วยลดความเสี่ยง

ต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด เนื่องจากการเพิ่มประสิทธิภาพของการรับประทานอาหารประเภทธัญพืชไม่ขัดสีในอาหารประจำวัน นอกจากนี้การบริโภคข้าวกล้องงอกเป็นอาหารได้รับการพิสูจน์แล้วว่าให้ผลดีในการรับมือกับภาวะซึมเศร้า ความเกลียดชังและความเหนื่อยล้าในกลุ่มมารดาที่ให้นมบุตร (Sakamoto and Hayashi, 2007) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านโรคเบาหวานและมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย ซึ่งมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณพอลิฟีนอลในองค์ประกอบทางเคมีในข้าวกล้อง รวมทั้งกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก กรดไฮดรอกซีซินนามิก และกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Ciulu *et al*., 2018)

5. สรุปผล

จากการศึกษาลักษณะของค่าสีข้าวกล้องมีค่าความสว่าง (L*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ ข้าวดอกมะขามมีค่าความสว่างสูงที่สุดเท่ากับ 34.83 น้อยที่สุดคือ ข้าวมะลิดำ เท่ากับ 17.48 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าข้าวจิ๊บมีปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด เช่น โซเดียมและแมกนีเซียมเฉลี่ยในปริมาณที่สูง สำหรับข้าวมะลิดำมีปริมาณวิตามินบี 1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.48 มิลลิกรัม แคลเซียมเฉลี่ยเท่ากับ 10.72 มิลลิกรัม เหล็กเฉลี่ยเท่ากับ 3.95 มิลลิกรัม สังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 มิลลิกรัม ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 463.73 (mg GAE/100g extract) และข้าวดอกมะขามมีปริมาณบี 2 เฉลี่ยเท่ากับ 0.24 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 336.83 มิลลิกรัม โพแทสเซียมเฉลี่ยเท่ากับ 204.26 มิลลิกรัม ทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 0.7 มิลลิกรัม อะไมโลสเฉลี่ยเท่ากับ 16.62 มิลลิกรัม ไนอะซินเฉลี่ยเท่ากับ 4.79 มิลลิกรัม เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิค DPPH และ FRAP พบว่าพบว่า ข้าวมะลิดำมีค่ามากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 82.44% และ 55.44 mg Fe/100g extract รองลงมาคือข้าวดอกมะขามเฉลี่ยเท่ากับ 78.23% และ 52.18 mg Fe/100g ส่วนข้าวจิ๊บน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 78% และ 51.96 mg Fe/100g ตามลำดับ ข้าวพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 3 ชนิดมีทั้งวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายจึงควรได้รับการส่งเสริมให้บริโภคมากขึ้นและควรได้รับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำหรับผู้สูงอายุต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ที่ช่วยสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยและสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในข้าวพื้นเมืองที่ปลูกในจังหวัดบุรีรัมย์ จนทำให้งานวิจัยสำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed. AOAC International, Maryland, USA.

Bhowmick, N. and R.L. Nayak, 2000. **Response of hybrid rice (*Oryza sativa*) varieties to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers during dry (Boro) season in West Bengal**. Indian Journal of Agronomy. 45(2): 323-326.

Chung, H.S. and J.C. Shin. 2007. **Characterization of antioxidant alkaloids and phenolic acids from anthocyanin pigmented rice (*Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo)**. Food Chemistry. 104: 1670-1677.

Ciulu, M., M. Cadiz-Gurrea and A. Segura-Carretero. 2018. **Extraction and analysis of phenolic compounds in rice: A review**. Molecules. 23(11): 2-20.

Dechklong, P. 2021. **Value of nutrient of land rice**. Central Laboratory and Greenhouse Complex. Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. Nakornpatom. (in Thai)

Fattal-Valevski, A. 2100. **Thiamine (Vitamine B1)**. Journal of Evidence-Based. 16(1): 12-20.

Goufo, P. and H. Trindade. 2014. **Rice antioxidants: Phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ-oryzanol and phytic acid**. Food Science & Nutrition. 2(2): 75-104.

Hallfrisch J., J. Scholfield and K.M. Behall. 2003. **Blood pressure reduced by whole grain diet containing barley or whole wheat and brown rice in moderately hypercholesterolemic men**. Nutrition Research. 23:1631-1642.

Jandaruang, J., J. Siritapettawee, K. Thumanu., C. Songsiritthigul., C. Krittanai., S. Daduang., A. Dhiravisit and S. Thammsirirak. 2012. **The effects of temperature and pH on secondary structure and antioxidant activity of *Crocodylus siamensis* hemoglobin**. The Protein Journal. 31: 43-50.

Juliano, B.O. 1971. **A simplified assay for milled-rice amylose**. Cereal Science Today. 16(4): 334-340.

Maksup, S. 2014. **The study of the expression of genes related to Retrotransposon in white jasmine rice 105 under stressful conditions of dehydration, Research report**. Department of Biology Faculty of Science Silpakorn University. Nakornpatom. (in Thai)

Mano, Y., K. Kawaminami., M. Kojima., M. Ohnishi and S. Ito. 1999. **Comparative composition of brown rice lipids (Lipid fractions) of Indica and Japonica rice**. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 63(4): 619-626.

Mattioli, R., A. Francioso, L. Mosca and P. Silva. 2020. **Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases**. Molecules. 25, 3809.

Moongngarm, A. and N. Seatung. 2010. **Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice**. Food Chemistry. 122: 782-788.

Pholva, M., A. Chataraponpan and T. Paseephol. 2018. **Chemical and physical characteristics of red glutinous rice at three development stages after flowering**. KhonKaen Agriculture Journal. 46(1): 526-532. (in Thai)

Pimratch, S., S. Butsat, T. Chinnasaen and T. Ketmala. 2015. **GABA content and antioxidant activity of five local germinated brown rice varieties**. Prawarun Agriculture Journal. 12(1): 35-40. (in Thai)

Sakamoto S. and T. Hayashi. 2007. **Pre-germinated brown rice could enhance maternal mental health and immunity during lactation**. European Journal of Nutrition. 46: 391–396.

Shao Y. and J. Bao. 2015. **Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits**. Food Chemistry. 180: 86-97.

Shao, Y., X. Feifei., S. Sun., B. Jinsong and B. Trust. 2014. **Phenolic acids, Anthocyanins and antioxidant capacity in rice (*Oryza sativa* L.) grains at four stages of development after flowering**. Food Chemistry. 143: 90-96.

Shokrzadeh, M. and A.G. Ebadi. 2006. **Study of Antioxidative Activity in Four Kinds of Cultivated Rice Grains of Mazandaran Province (Iran)**. Pakistan Journal of Biological Sciences: 2723-2725.

Storck, C., C.D. Picolli., H.P. Nagi and M. Kalia. 2005. **Quality characterization of six rice varieties of *Himachal Pradesh***. Journal of Food Composition and Analysis. 18: 333-341.

Sutharut S. and J. Sudarat. 2012. **Total anthocyanin content and antioxidant activity of germinated colored rice**. International Food Research Journal. 19(1): 215-221.

Walter, M. and E. Marchesan. 2011. **Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Rice**. Brazilian Acrchives of Biology and technology and International Journal. 54(1): 371-377.

Walter, M., E. Marchesan, P.E. Massoni, L.P. Silva, G.M. Sartori and R.B. Fereira. 2013. **Antioxidant properties of rice grains with light brown, red and black pericarpcolors and the effect of processing**. Food Research International. 50: 698-703.

Wang, W. D. and S. Y. Xu. 2007. **Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate**. Journal Food Engineering. 82: 271-275.

(Received: 6/Dec/2022, Revised: 14/Jun/2023, Accepted: 20/Jun/2022)

ภาคผนวก
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และกรกฎาคม - ธันวาคม)

1. บทความวิจัย

ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. **ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรสั้น กะทัดรัด ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. **ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. **ที่อยู่หน่วยงาน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์**
4. **ตัวเลขยก** ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. **บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. **คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้เป็นคำสืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword ควรมีประมาณ 4 คำ)

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. **บทนำ (Introduction)** เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. **วิธีการทดลอง (Materails and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology)** เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับการวิจัยแต่ละประเภท
3. **ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion)** ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. **สรุปผล (Conclusion)** สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและมีความสำคัญจริง (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)
6. **เอกสารอ้างอิง (References)** ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น
7. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้า

หมายเหตุ เรื่องที่จะส่งตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน หรืออยู่ในระหว่างการรอพิจารณาจากวารสารอื่น

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ	ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซ.ม. ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซ.ม.
- กระดาษ	ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซ.ม. ความสูง 27 ซ.ม.
รูปแบบตัวอักษร	แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น
หมายเลขหน้า	ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14
การย่อหน้า	เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9
จำนวนหน้าทั้งหมด	6 - 10 หน้า
การพิมพ์ส่วนปก	พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)
การพิมพ์ส่วนเนื้อหา	พิมพ์ 1 คอลัมน์
ชื่อบทความ	ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา) จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
ชื่อผู้เขียน	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) ระหว่างชื่อกับนามสกุล เว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล	ขนาดตัวอักษร 16
(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)	
ที่อยู่	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 12
(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)	
E-mail และโทรศัพท์	ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)
ชื่อบทคัดย่อ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
เนื้อหาบทคัดย่อ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14
ชื่อคำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)
คำสำคัญ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14
ชื่อหัวเรื่องใหญ่	ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล 4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย
ชื่อหัวเรื่องรอง	ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย
ชื่อหัวเรื่องย่อ	ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5
เนื้อหาบทความ	ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย
ชื่อตาราง	ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย
ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ	ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง
เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ	ขนาดตัวอักษร 12

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ตรงกับการอ้างอิงท้ายเรื่อง โดยใช้นามสกุลของผู้แต่งคนแรก แล้วตามด้วยปี (ค.ศ.) เช่น Jamsawat (2011) หรือ (Jamsawat, 2011) หรือ Dan and Hamasaki (2011) หรือ Jamsawat and Piempol (2016) กรณีผู้เขียนมีมากกว่า 2 คน ใช้ Dan *et al*. (2011) หรือ (Dan *et al*., 2011) เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง ให้อ้างอิงตามรูปแบบ APA (American Psychological Association) โดยผู้เขียนบทความภาษาไทยที่มีรายการอ้างอิงเป็นภาษาไทย ต้องเปลี่ยน (แปล) ให้เป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai) โดยให้แนบรายการอ้างอิงภาษาไทยเดิมไว้ด้วยเพื่อให้กองบรรณาธิการตรวจสอบความถูกต้องในการแปล

ตัวอย่างเช่น

ภาษาอังกฤษ

Pornsuriya, P. (2014). **Biometrical Analysis in Plant Breeding**. Bangkok: O.S. Printing House. (in Thai)

ภาษาไทย

ปราโมทย์ พรสุริยา. (2557). **การวิเคราะห์ทางไบโอเมตริกในการปรับปรุงพันธุ์พืช**. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

โดยให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำย่อชื่อ และชื่อกลาง (ถ้ามี) ของผู้แต่ง กรณีเป็นหน่วยงานให้ใช้ชื่อเต็มหน่วยงาน ตามด้วยปีที่ตีพิมพ์

หมายเหตุ ต้นฉบับบทความที่นำส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนตามที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร

*** ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง**

1. การอ้างอิงวารสาร (Journal)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. **ชื่อวารสาร**, **ปีที่** (ฉบับที่), เลขหน้าเริ่มต้น-หน้าสุดท้าย.

Darkwa, K., Ambachew, D., Mohammed, H., Asfaw, A., & Blair, M. W. (2016). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. **The crop journal, 4**(5), 367-376.

2. การอ้างอิงตำรา (Text book) และหนังสือ

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ**. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Singh, R.K., & Chaudhary, B.D. (2012). **Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis**. 3rd Edition, reprinted 2012. New Delhi: Kalyani Publishers.

3. การอ้างอิงวิทยานิพนธ์ (Thesis)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตหรือปริญญาดุษฎีบัณฑิต). สถาบันการศึกษา, เมืองที่พิมพ์.

Pornsuriya, P. (2005). **Genetic Studies and Inheritance of Fruit Characters in Slicing Melon (*Cucumis* melo L. var. *conomon* Makino)** (Doctoral Thesis). Kasetsart University, Bangkok.

4. การอ้างอิงเรื่องย่อยในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องกันเขียน และมีบรรณาธิการ (Chapter in a book)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่องย่อย. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), **ชื่อหนังสือ** (เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Gauch, H.G. & Zobel, R.W. (1996). AMMI analysis of yield trials. In Kang, M.S. and H.G. Gauch (eds.), **Genotype by environment interaction** (85-122). Boca Raton, FL: CRC Press.

5. การอ้างอิงรายงานการวิจัย (Research report)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อเรื่อง** (รายงานผลการวิจัย). เมืองที่พิมพ์: สถาบัน หรือหน่วยงาน หรือสำนักพิมพ์.

Theraumpon, N. (2003). **Automatic classification of white blood cells in bone marrow images** (research report). Chiangmai: Chiangmai University.

6. การอ้างอิงจากเอกสารประชุมวิชาการ (Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), **ชื่อเรื่องการประชุม** (เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด). เมือง สถานที่จัด: หน่วยงานที่จัดหรือสำนักพิมพ์.

Pornsuriya, P., Pornsuriya, P. & Julakasewee, A. (2018). Genetic variability, heritability and genetic advance among yardlong bean lines. In A. Songrak (Ed.), **Proceedings of the 9th International Conference of Rajamangala University of Technology** (pp. 189-195). Trang: Rajamangala University of Technology Srivijaya.

7. การอ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (Online document) ที่สามารถนำมาอ้างอิงทางวิชาการได้

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อเรื่อง**. สืบค้น วันเดือนปี, จาก URL.

The Secretariat of The House of Representatives. (2019). **Helping farmers to reduce the risk of drought in agriculture**. Retrieved 27 Nov 2019, from https://www.parliament.go.th/library. (in Thai)

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารหยาบทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง } **ชื่อบทความ ขนาด 18 หนา**

Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หนา } **วีระพล แจ่มสวัสดิ์**

Virapol Jamsawat

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี

Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra campus, Chonburi

E-mail: virapolj@yahoo.com โทร.086-3303057

ที่อยู่ ขนาด 12 *E-mail และโทรศัพท์ ขนาด 12 ตัวเอียง*

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หนา { **บทคัดย่อ**

ผลจากการทดลองการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 6% เปลือกสับปะรดสดและหญ้าขนเป็นอาหารหยาบทดแทนเลี้ยงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเซียน สายเลือดประมาณ 62.5% ที่กำลังให้น้ำนมโดยให้อาหารข้นมีโปรตีนรวม 16% ตามปริมาณการให้น้ำนมต่ออาหารข้น เท่ากับ 2 :1 และให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่เป็นเวลา 165 วัน

เนื้อหาบทคัดย่อ ภาษาไทยและอังกฤษ ขนาด 14

Keywords: Roughage replacer, Milking cow.

ชื่อคำสำคัญ (Keyword) ขนาด 14 หนา และ คำสำคัญ ขนาด 14 บาง

ชื่อหัวข้อบทความ ขนาด 18 หนา

1. บทนำ

ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หนา

เคาะ 8 ตัวอักษร ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมให้มีการขยายการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกๆ ปี ทั้งโคนมและโคเนื้อ แต่จำนวนพื้นที่ทำการเกษตรกลับลดจำนวนลง โดยถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโค ซึ่งจำเป็นต้องใช้อาหารหยาบพวกหญ้าเป็นพืชอาหารสัตว์หลักสำหรับเลี้ยงโค จึงมีจำนวนพืชอาหารสัตว์และจำนวนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ลดน้อยลงเรื่อยๆ (วีระพล, 2557)

เนื้อหาบทความ ขนาด 14

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารข้น **ชื่อตาราง/ภาพที่/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หนา**

ขอบขวา 2.0 ซม.

ขอบซ้าย 2.5 ซม.

วัตถุดิบ	จำนวน
รำละเอียด	45
กากมะพร้าว	30
กากถั่วลิสง	15
ปลาป่น	5
เกลือป่น	2
แร่ธาตุผสม (premix)	1
รวม	**100**

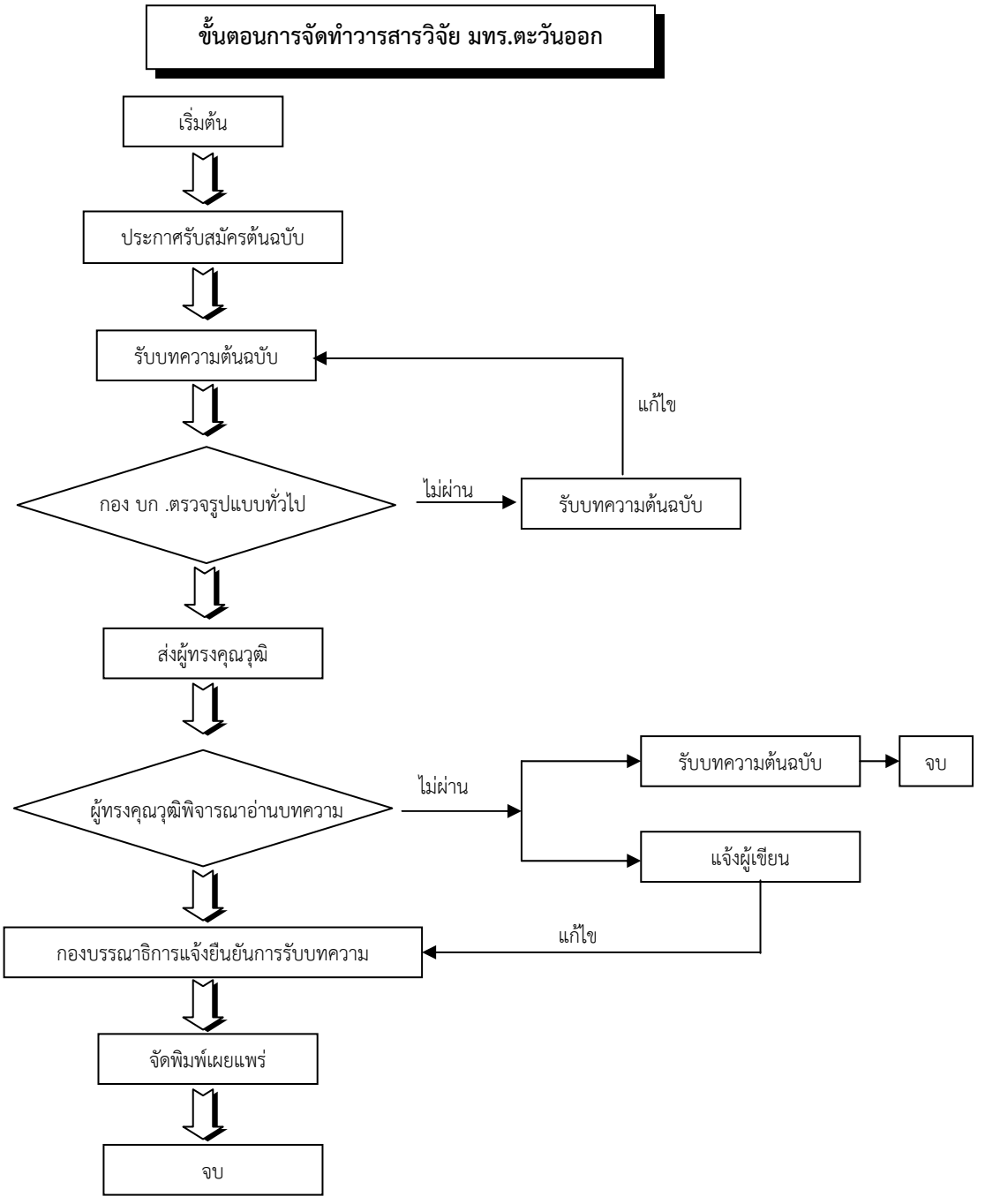
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบล่าง 2.0 ซม.

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ



แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว .....

2. ระดับการศึกษาสูงสุด .....
ตำแหน่งทางวิชาการ .....

3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย) .....
(ภาษาอังกฤษ) .....

4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1) .....
(2) .....
(3) .....
(4) .....
(5) .....

5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

.....

.....

.....

โทรศัพท์..... มือถือ.....แฟกซ์.....

E-mail : .....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....

(.....)

แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R ☐☐☐ ☐

2. ชื่อบทความ.....

.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... **ท่าน**

4. หัวข้อที่พิจารณา

หัวข้อ	ผ่าน	ผ่านและมีการแก้ไข	ไม่ผ่าน	ข้อแก้ไข/ข้อเสนอแนะ
บทคัดย่อ (Abstract)				
บทนำ				
วิธีการทดลอง/วิธีการศึกษา				
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล / ผลการศึกษาและอภิปรายผล				
สรุปผล				
เอกสารอ้างอิง				
คุณค่าทางวิชาการ				

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....

หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

.....
.....
.....

โดย

.....
.....
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

.....
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ตะวันออก
ให้ ณ วันที่.....

ISSN 1906-1889

นโยบายการพิจารณาบทความ

1. วารสารรับพิจารณาบทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษภายใต้เงื่อนไขว่าจะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุมหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น / รวมทั้งจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ อีกนับจากวันที่ได้ส่งบทความฉบับนี้มาที่กองบรรณาธิการวารสาร ทั้งนี้ทางวารสารไม่มีค่าธรรมเนียมใด ๆ ในการตีพิมพ์เผยแพร่

2. ขอบเขตของวารสาร จะรับบทความทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในทางด้าน (1) วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (peer Review) กระบวนการพิจารณากลั่นกรองบทความบทความที่จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องผ่านกระบวนการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องดังนี้

   3.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้แต่งทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยสมบูรณ์พร้อมตรวจสอบรูปแบบความถูกต้อง

   3.2 กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพงานวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ

   3.3 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นสมควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไปโดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 2 ท่านประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double - blind peer review process)

   3.4 เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ เห็นควรอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์ได้ และจะส่งบทความนั้นไปให้ผู้แต่งได้แก้ไขตามข้อเสนอของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นให้ผู้แต่งส่งกลับมาให้กองบรรณาธิการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

มทร.ตะวันออก สร้างงานวิจัย พัฒนาสังคม ชุมชน และประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 0-3313-6099 ต่อ 1181-1187 โทรสาร/สายตรง 0-3835-8142
http://ird.rmutto.ac.th, http://journal.rmutto.ac.th