

วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



Journal of Roi Et Rajabhat University: Science and Technology

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2
กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

Vol. 2 No. 2
July - December 2021



ISSN : 2730 - 2849

มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
113 หมู่ 12 ตำบลเกาะแก้ว อำเภอ
เสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 45120

Tel. : 08-9710-5696, 09-0284-3888

Email: Science101@reru.ac.th

Website: <http://www.tci-thaij.org/index.ph/ScienceRERU>



คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

(เจ้าของและผู้จัดพิมพ์)

113 หมู่ 12 ตำบลเกาะแก้ว อำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 45120

www.flas.reru.ac.th

คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

Faculty of Liberal Arts and Science, Roi-Et Rajabhat University

วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Journal of Roi Et Rajabhat University : Science and Technology) เป็นวารสารของคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงานวิชาการในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสาขาที่เกี่ยวข้อง จัดพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ราย 6 เดือน 1) มกราคม - มิถุนายน 2) กรกฎาคม - ธันวาคม โดยทุกเรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ได้ผ่านการพิจารณาตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาต่าง ๆ พร้อมทั้งพิจารณาคุณค่าทางวิชาการทั้งภายในและภายนอก

เรื่องที่ลงตีพิมพ์ ได้แก่ บทความวิชาการ/บทความปริทัศน์ บทความวิจัย ประกอบด้วยสาขาวิชาฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี (ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์) และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ติดต่อสอบถาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ภูสีฤทธิ์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด 113 หมู่ 12 ตำบลเกาะแก้ว อำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 45120
E-mail : Science101@reru.ac.th

เนื้อหาบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจอ่าน
คณะผู้จัดทำไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยและมีอิสระการรับผิดชอบของคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

กรรมการที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์พิเศษ นายแพทย์ สมพร	โพธินาม	นายกสภามหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนลย	ภูมิพันธุ์	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิต	กัมมันตะคุณ	รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร
อาจารย์ ดร.ธนาภรณ์	พันธุ์	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สมเดช	กนกเมธากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ดารุณี	จงอุดมการณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.เสริม	จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ	ลิ้มสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม	ม่วงมี	มหาวิทยาลัยบูรพาวิทยาเขตจันทบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.เอื้อมพร	ทองกระจาย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์อลงกรณ์	พรหมที	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์	วังภคพัฒน์วงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริณี	สุภาพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีมาลา	คำคมเขตต์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรศาสตร์	คณาศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอื้อมพร	จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
อาจารย์ ดร.ปภากร	จันทร์วงศ์ฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
อาจารย์ ดร.ศิริกัญญา	อ่อนอัฐ	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข	จันทร์ศิลป์
------------------------------	-------------

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรินทร์	สมพร
----------------------------------	------

บทบรรณาธิการ

วารสารฉบับนี้เป็นฉบับปฐมฤกษ์ของ วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Journal of Roi Et Rajabhat University : Science and Technology) คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุน ส่งเสริมให้นักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษา และผู้ที่สนใจได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ประสบการณ์ นำเสนอผลงานวิจัยที่จะพัฒนาสู่ความเป็นเลิศทางวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี (ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์) และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีระยะเวลาการตีพิมพ์เผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ โดยมุ่งพัฒนาเพื่อเข้าสู่มาตรฐานของคุณภาพผลงานวิชาการและเข้าสู่ฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre : TCI) ในลำดับต่อไป

ในฉบับปฐมฤกษ์นี้ประกอบด้วย บทความวิจัย 7 เรื่อง ทั้งนี้กองบรรณาธิการได้คัดเลือกบทความที่ผ่านการพิจารณาตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาต่าง ๆ พร้อมทั้งพิจารณาคุณค่าทางวิชาการเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของวารสารวิชาการทั่วไป

ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณาอนุเคราะห์การอ่านและให้คำแนะนำต่อบทความ พร้อมกันนี้ขอขอบคุณเจ้าของบทความทุกท่านทุกฉบับที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้เป็นอย่างสูงที่ให้ความสนใจเป็นอย่างดี ทั้งนี้ขอเชิญชวนนักวิชาการ อาจารย์และนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไปได้ร่วมส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในฉบับต่อ ๆ ไป อนึ่งหากมีข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงคุณภาพวารสารให้มีคุณภาพและมีมาตรฐานสามารถติดต่อโดยตรงทาง Email: Science101@reru.ac.th

พูนสุข จันทศิลป์

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
บทความวิจัย	
ผลของปุ๋ยอินทรีย์และจุลินทรีย์ท้องถิ่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดเขียวปลี ในสภาพโรงเรือน พวงเพชร พิมพ์จันทร์ ^{1*} , นีอร งามสุข ¹ , วันเพ็ญ ชลอเจริญยิ่ง ¹ และ อาทิตยา ดวงสุพรรณ ¹	1
การทดสอบกิจกรรมการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด จากใบรางจืด สุรัชย์ รัตนสุข ¹ , จิราพร กระจ่างใจ ¹ ณิชฐณิชา ศรเสนา ¹ และ เอี่ยมพร จันทร์สองดวง ^{1*}	8
การประเมินการปนเปื้อนเชื้อราในอากาศภายในห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) วินัย มีแสง ¹ และ วภัทร นวกะคาม ²	13
การตรวจสอบยีนต้านทานโรคไหม้ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ สุชีลา ตาลอำไพ ^{1*} , ดวงหทัย โพธิ์ศรีคำ ¹ , พชรินทร์ สารบรรณ ¹ , นนทิพัฒน์ เพาะชม ¹ และสิทธิพันธุ์ สีนอำพร ²	19
การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องต้มน้ำลูกสำรองผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโพรหมเมท จิตตะวัน กุโปลา ^{1*} , นพพร ยีรัมย์ ¹ และ แสงทิพย์ ตูลานนท์ ¹	36
ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดินจากบริเวณพื้นที่ ที่ปลูกต้นไผ่ยาสูบ ภูริต ควินรัมย์ ^{1*} , เจนจิรา รอดพูล ² และ ปัญญา คำหนองยาง ³	43
ต้นแบบเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาศรีไซเคิลอัตโนมัติ ธีรศาสตร์ คณาศรี ^{1*}	50

ผลของปุ๋ยอินทรีย์และจุลินทรีย์ท้องถิ่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดเขียวปลี ในสภาพโรงเรือน

Influence of Organic Fertilizer and Indigenous Microorganism on Growth and Yield in Green Mustard under Greenhouse

พวงเพชร พิมพ์จันทร์^{1*}, นีร งามฮุย¹, วันเพ็ญ ชลอเจริญยิ่ง¹ และ อาทิตยา ดวงสุพรรณ¹
Paongpetch Phimchan^{1*}, Nion Nanghui¹, Wanpen Chalorchaoenyong¹ and Atitaya Duangsupphan¹

Received: 20 ธ.ค. 2564

Revised: 25 ธ.ค. 2564

Accepted: 30 ธ.ค. 2564

บทคัดย่อ

เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตผักกาดเขียวปลี จึงได้ศึกษาภายใต้สภาพโรงเรือน ณ แผนกสวนผัก สาขาวิชาพืชศาสตร์ สิ่งทอและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 วางแผนการทดลองแบบการสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยมี 5 กรรมวิธี กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยรองพื้น 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอก (ปุ๋ยมูลวัวเก่า) อัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ กรรมวิธีที่ 4 จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากกอไผ่ อัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ และกรรมวิธีที่ 5 จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน อัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยมีความสูงต้น ความกว้างของทรงพุ่ม ความกว้างของใบ และความยาวใบ คือ 9.81, 12.95, 8.14 และ 13.90 เซนติเมตร ตามลำดับ และสำหรับผลผลิตและคุณภาพผลผลิตพบว่า กรรมวิธีที่ 3 ผักกาดเขียวปลีมีน้ำหนักสดรวมมากที่สุด คือ 478.10 กรัม และกรรมวิธีที่ 2 มีน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุด คือ 95.75 กรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ : ปุ๋ยคอก, ปุ๋ยหมัก, จุลินทรีย์, ผักอินทรีย์

Abstract

The aim of this study was to investigate the efficacy of organic fertilizer on mustard green production. Therefore, the experiment was conducted in greenhouse at vegetable field experiment, department of Plant sciences, Textile and Design, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology ISAN, Surin Campus during November 2017 to January 2018. Randomized complete block design with 4 replications were used. Five treatments were consisted of 1) chemical fertilizer (15-15-15) at the rate of 50 kg/rai, 2) cow manure at the rate of 1,000 kg/rai, 3) compost at the rate of 1,000 kg/rai, 4) compost plus indigenous microorganism from bamboo soil at the rate of 1,000 kg/rai, and 5) compost plus indigenous microorganism from forest soil at the rate of 1,000 kg/rai. The result showed that the growth of treatment No.4 gave highest in plant height, plant width, leaf width and leaf length with 9.81, 12.95, 8.14 and 13.90 cm, respectively. For yield and yield qualities, treatment No. 3 showed highest in total fresh weight with 478.10 g/plant, while treatment No. 2 gave highest in leaf dry weight with 95.75 g/plant.

Keyword : East-West Economic Corridor (EWEC), Collaborative Planning, Greater Mekong Subregion (GMS), Stakeholders

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

¹ Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus

*Corresponding Author: E-mail hed.hung@gmail.com

บทนำ

ผักกาดเขียวปลี (Green mustard หรือ Indian mustard) เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ตลอดทั้งปี โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 50-55 วัน สามารถนำต้นสดมาทำอาหารได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วนิยมนำไปแปรรูปโดยเฉพาะผักกาดดองเค็ม ดองหวาน และดองเปรี้ยว เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักกาดเขียวปลีในรูปแบบของผักกาดเขียวปลีดองเปรี้ยว หรือกิมจิในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ (นิษฐกานต์ ประดิษฐ์ศรีกุล, 2555) สำหรับประเทศไทยนั้น ผักกาดเขียวปลีที่นิยมปลูกสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเข้าปลี ทั้งพันธุ์ปลีกลมและปลีแหลม ซึ่งนิยมนำมาดองหวานหรือดองเปรี้ยวหวาน กลุ่มลำต้นพองหนา นิยมนำมาใช้สำหรับการดองเค็ม และกลุ่มไม่เข้าปลี นิยมนำมาประกอบอาหารโดยตรง อย่างไรก็ตามในการผลิตผักกาดเขียวปลีในระบบปลูกทั่วไปในปัจจุบันประสบปัญหาการเข้าทำลายของโรคแมลง โดยเฉพาะหนอนกระทู้ผัก และหนอนใยผัก ส่งผลให้มีการใช้สารเคมีมากขึ้นและมีสารเคมีตกค้างในผลผลิตตลอดจนผลิตภัณฑ์แปรรูป ดังนั้นการผลิตผักกาดเขียวปลีภายใต้ระบบอินทรีย์จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ลดปัญหาดังกล่าว ซึ่งการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นลำดับแรกในการเริ่มต้นพัฒนาระบบการผลิตผักกาดเขียวปลีภายใต้สภาพอินทรีย์ก่อนที่จะศึกษาเรื่องเทคนิคการจัดการโรคแมลงต่อไป

การปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการทำเกษตรอินทรีย์ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เข้าไบนั้นมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (โสฬส แซ่ลิ้ม, 2559) โดยจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญทั้งกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก น้ำหมักชีวภาพ ผลิตภัณฑ์กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์ป้องกันกำจัดโรคแมลง โดยจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการผลิตพืชนั้น ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียย่อยสลายและตรึงไนโตรเจน กลุ่มควบคุมโรค กลุ่มแอกทิโนมัยซิส กลุ่มแบคทีเรียออกซิโดซีกามะถันหรือซัลเฟอร์ เป็นต้น (สุพจน์ บุญแรง และสุวรรณ สุวรรณ, 2562) สำหรับจุลินทรีย์ท้องถิ่น (Indigenous Microorganism; IMO) นั้นเป็นจุลินทรีย์ดั้งเดิมประจำพื้นที่นั้นๆ ซึ่งมีความแข็งแรงปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศของพื้นที่นั้นๆ ได้ดี ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าจุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์ในสภาพธรรมชาติ (อาณัฐ ตันโช, 2548) ดังนั้นในการศึกษารังนี้จึงได้ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ และจุลินทรีย์ท้องถิ่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดเขียวปลีในสภาพโรงเรือน เพื่อให้ทราบศักยภาพของจุลินทรีย์ท้องถิ่นในพื้นที่เขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมจุลินทรีย์ท้องถิ่น และปุ๋ยหมัก

การเตรียมจุลินทรีย์ท้องถิ่นจากกอไผ่ ดัดแปลงจาก สุพจน์ บุญแรง (2562) โดยการนำมูลวัวเก่าจำนวน 1 กระสอบ หน้าดินไถกอไผ่จำนวน 1 กระสอบ รำข้าวละเอียดจำนวน 0.5 กระสอบ จาวปลวกบดละเอียดจำนวน 1 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำกากน้ำตาล 5 ลิตร ผสมกับน้ำสะอาด 50 ลิตร รดลงบนกองวัสดุผสม แล้วคลุกให้เข้ากัน กองเป็นลักษณะสามเหลี่ยมสูงไม่เกิน 50 เซนติเมตร ใช้เศษใบไม้คลุมให้ทั่วกอง จากนั้นจึงใช้ผ้าพลาสติกคลุมให้มิดชิด เมื่อครบ 7 วันจึงทำการกลับกอง แล้วแบ่งกองผสมให้สูงไม่เกิน 30 เซนติเมตร นำเศษใบไม้มาคลุมให้ทั่วกอง แล้วใช้ผ้าพลาสติกคลุมไว้ให้มิดชิด ครบ 15 วัน จึงนำไปใช้ ซึ่งทั้งหมดนี้ทำการหมักกองผสมไว้บริเวณใต้กอไผ่ไม่ให้ถูกแสงแดด สำหรับการเตรียมจุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชนนั้น เตรียมเช่นเดียวกันแต่ใช้หน้าดินจากป่าชุมชนและหมักกองผสมไว้บริเวณใต้ต้นไม้ในป่าชุมชนไม่ให้ถูกแสงแดด ในส่วนของการเตรียมปุ๋ยหมักนั้น เตรียมปุ๋ยหมักโดยใช้ปุ๋ยมูลวัว เศษใบจามจุรี เศษผักตบชวา ชนิดละ 1 กระสอบ รำข้าว 3 กิโลกรัม และน้ำหมักจาวปลวก 1 ลิตร กากน้ำตาล 1 ลิตร น้ำสะอาด 50 ลิตร โดยผสมวัสดุทุกอย่างให้เข้ากัน จากนั้นจึงคลุมด้วยผ้าพลาสติก ทำการกลับกองเมื่อครบ 7 และ 30 วัน และเมื่อครบ 60 วัน จึงนำไปใช้

2. แผนการทดลองและวิธีดำเนินการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยมี 5 กรรมวิธี คือ 1) ใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ 2) ใส่ปุ๋ยมูลวัวเก่า 3) ใส่ปุ๋ยหมัก 4) ใส่จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากกอไผ่ และ 5) ใส่จุลินทรีย์จากป่าชุมชนรองพื้นในอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ โดยดำเนินการทดลองในแปลงปลูกภายใต้สภาพโรงเรือน ซึ่งเพาะกล้าผักกาดเขียวปลีในถาดเพาะขนาด 200 หลุม จากนั้นเมื่อต้นกล้าอายุได้ 21 วัน จึงพร้อมสำหรับย้ายปลูก สำหรับการเตรียมดินปลูกนั้นใช้หน้าดินจากแปลงนา โดยนำดินมาบรรจุลงขนาด 5x12 นิ้ว จากนั้นนำปุ๋ยข้างต้นของแต่ละกรรมวิธีมาคลุกเคล้าให้เข้ากันกับดินปลูก นำไปจัดเรียงตามแผนผังการทดลองในระยะระหว่างถาด 50x50 เซนติเมตร รดน้ำให้ชุ่ม

จากนั้นจึงย้ายปลูกต้นกล้าผักกาดเขียวจำนวน 1 ต้น/ถุง สำหรับการดูแลจัดการนั้น ให้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาสดกับน้ำหมักจากหน่อกล้วย สัปดาห์ละครั้ง ในอัตรา 1:200 โดยปริมาตร โดยรดลงดินบริเวณโคนต้น ให้น้ำวันละครั้ง ในส่วนการป้องกันกำจัดศัตรูพืชนั้น ฉีดพ่นสารสกัดสะเดาเมื่อพบการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อน

3. การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังย้ายปลูกเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จึงเริ่มบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตสัปดาห์ละครั้ง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ได้แก่ ความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่ม ส่วนจำนวนใบ และความยาวใบ บันทึกข้อมูลเพียง 5 สัปดาห์ เนื่องจากผักกาดเขียวปลีเริ่มเข้าสีแล้วจะไม่สามารถบันทึกข้อมูลได้ จากนั้นเมื่อผักกาดเขียวปลีอายุ 85 วัน จึงทำการเก็บเกี่ยว บันทึกข้อมูลผลผลิตและคุณภาพผลผลิตได้แก่ น้ำหนักก่อนตัดแต่ง น้ำหนักหลังตัดแต่ง น้ำหนักแห้งรวม และน้ำหนักแห้งส่วนราก จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix10

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ชนิดปุ๋ยที่แตกต่างกันมีผลทำให้ผักกาดเขียวปลีมีความสูงต้นแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1) โดยการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตด้านความสูงต้นดีที่สุดตลอดทั้ง 6 สัปดาห์ คือ 10.60, 16.81, 18.80, 28.40, 31.98 และ 33.63 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือการให้ปุ๋ยมูลวัวแห้ง 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ที่ผักกาดเขียวปลีมีความสูงต้นตลอด 6 สัปดาห์ คือ 8.31, 15.17, 17.93, 25.40, 31.20 และ 34.34 เซนติเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่า การให้ปุ๋ยหมัก และจุลินทรีย์ท้องถิ่นจากกอไผ่ นั้นผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตด้านความสูงน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นๆ สำหรับความกว้างทรงพุ่มนั้น พบว่าผักกาดเขียวปลีเริ่มมีความกว้างทรงพุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 2 (ตารางที่ 2) โดยการให้ปุ๋ยมูลวัวแห้ง 1,000 กิโลกรัม/ไร่ และการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ นั้นผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตด้านความกว้างทรงพุ่มดีที่สุด รองลงมาคือการให้ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัม/ไร่ และการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากกอไผ่ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งการให้ปุ๋ยมูลวัวแห้งนั้นผักกาดเขียวปลีมีความกว้างทรงพุ่มในสัปดาห์ที่ 2-6 คือ 22.11, 33.93, 40.16, 50.32 และ 55.40 เซนติเมตร ตามลำดับ และการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชนนั้นมีความกว้างทรงพุ่มในสัปดาห์ที่ 2-6 คือ 20.80, 29.34, 41.50, 48.44 และ 50.07 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ความสูงต้นของผักกาดเขียวปลีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์รองพื้นที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ความสูงต้น (เซนติเมตร) ในสัปดาห์ที่					
	1	2	3	4	5	6
ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50 กก./ไร่	8.51 ^{bc}	13.44 ^b	17.10 ^a	22.30 ^c	25.07 ^b	29.27 ^{ab}
ปุ๋ยมูลวัว 1000 กก./ไร่	8.31 ^{bc}	15.17 ^{ab}	17.93 ^a	25.40 ^b	31.20 ^a	34.34 ^a
ปุ๋ยหมัก 1000 กก./ไร่	7.80 ^c	12.42 ^b	13.84 ^b	16.52 ^d	18.70 ^c	20.55 ^c
จุลินทรีย์จากกอไผ่ 1000 กก./ไร่	9.81 ^{ab}	17.44 ^a	19.65 ^a	23.90 ^{bc}	25.05 ^b	26.20 ^d
จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน 1000 กก./ไร่	10.60 ^a	16.81 ^a	18.80 ^a	28.40 ^a	31.98 ^a	33.63 ^a
F-test	*	**	*	**	**	**
CV%	13.77	13.47	11.96	8.13	8.86	11.45

หมายเหตุ: *, ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ที่ 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่เหมือนกัน แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 2 ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดเขียวปลีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์รองพื้นที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ในสัปดาห์ที่					
	1	2	3	4	5	6
ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50 กก./ไร่	11.55	17.50 ^{bc}	25.74 ^{bc}	32.11 ^b	38.60 ^c	42.34 ^b
ปุ๋ยมูลวัว 1000 กก./ไร่	12.19	22.11 ^a	33.93 ^a	40.16 ^a	50.32 ^a	55.40 ^a
ปุ๋ยหมัก 1000 กก./ไร่	9.20	14.24 ^c	20.94 ^c	23.93 ^c	24.19 ^c	27.71 ^c
จุลินทรีย์จากกอกอไผ่ 1000 กก./ไร่	12.48	21.54 ^a	28.91 ^{ab}	36.90 ^{ab}	39.80 ^b	43.48 ^b
จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน 1000 กก./ไร่	12.95	20.80 ^{ab}	29.34 ^{ab}	41.50 ^a	48.44 ^a	50.07 ^{ab}
F-test	ns	**	**	**	**	**
CV%	16.15	13.38	13.46	11.51	11.06	13.46

หมายเหตุ: ns, ** แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ที่ 99 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ
ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่เหมือนกัน แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติ

นอกจากนี้แล้วขนาดของใบ พบว่าผักกาดเขียวปลีมีความกว้างใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 1, 3, 4 และ 5 ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยการให้ปุ๋ยมูลวัวแห้ง จุลินทรีย์จากกอกอไผ่ และจุลินทรีย์จากป่าชุมชนนั้นมีการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบมากที่สุด ซึ่งในสัปดาห์ที่ 5 นั้นมีความกว้างใบคือ 24.47, 19.94 และ 19.52 เซนติเมตร ตามลำดับ และความยาวใบของผักกาดเขียวปลีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการให้ปุ๋ยชนิดที่ต่างกันโดยเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 4-5 หลังย้ายปลูก (ตารางที่ 4) โดยการให้ปุ๋ยมูลวัวแห้ง จุลินทรีย์จากกอกอไผ่ และจุลินทรีย์จากป่าชุมชน อัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ นั้นผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตด้านความยาวใบมากที่สุดตลอด 3 สัปดาห์ โดยมีความยาวใบในสัปดาห์ที่ 5 คือ 26.20, 26.12 และ 23.60 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ความกว้างใบของผักกาดเขียวปลีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์รองพื้นที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ความกว้างใบ (เซนติเมตร) ในสัปดาห์ที่				
	1	2	3	4	5
ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50 กก./ไร่	4.99 ^b	6.81	9.05 ^{bc}	13.67 ^b	17.94 ^b
ปุ๋ยมูลวัว 1000 กก./ไร่	5.10 ^b	8.14	12.78 ^a	18.00 ^a	24.47 ^a
ปุ๋ยหมัก 1000 กก./ไร่	3.83 ^c	5.09	7.15 ^c	8.50 ^c	13.37 ^b
จุลินทรีย์จากกอกอไผ่ 1000 กก./ไร่	5.38 ^{ab}	7.74	9.42 ^b	15.80 ^{ab}	19.94 ^{ab}
จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน 1000 กก./ไร่	6.43 ^a	8.07	10.13 ^b	16.11 ^{ab}	19.52 ^{ab}
F-test	**	ns	**	**	**
CV%	14.35	20.58	14.23	19.32	24.48

หมายเหตุ: ns, *, ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ที่ 95 และ 99 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ
ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่เหมือนกัน แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 4 ความยาวใบของผักกาดเขียวปลีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์รองพื้นที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ความยาวใบ (เซนติเมตร) ในสัปดาห์ที่				
	1	2	3	4	5
ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50 กก./ไร่ (เปรียบเทียบ)	9.90	12.34	14.98 ^b	23.21 ^a	27.43 ^a
ปุ๋ยมูลวัว 1000 กก./ไร่	9.57	12.31	17.81 ^a	22.32 ^a	26.20 ^a
ปุ๋ยหมัก 1000 กก./ไร่	8.57	10.57	12.62 ^c	14.79 ^b	16.67 ^b
จุลินทรีย์จากกอกไผ่ 1000 กก./ไร่	11.27	13.90	17.55 ^a	21.11 ^a	26.12 ^a
จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน 1000 กก./ไร่	12.02	13.77	17.89 ^a	20.53 ^a	23.60 ^a
F-test	ns	ns	**	**	**
CV%	18.61	16.24	8.66	10.55	11.14

หมายเหตุ: ns, *, ** แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ที่ 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่เหมือนกัน แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติ

สำหรับข้อมูลด้านผลผลิตนั้น พบว่า ทุกลักษณะที่ศึกษาได้แก่ น้ำหนักสดก่อนและหลังตัดแต่ง น้ำหนักแห้งรวม และ น้ำหนักแห้งส่วนของรากนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) โดยการให้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ และการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชนอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ นั้น ผักกาดเขียวปลีมีน้ำหนักก่อนตัดแต่งมากที่สุด คือ 257.50 และ 591.50 กรัม ตามลำดับ ในส่วนของน้ำหนักหลังตัดแต่งพบว่า การให้ปุ๋ยมูลวัว จุลินทรีย์จากกอกไผ่ และจุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน กรรมวิธีละ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ นั้นให้น้ำหนักหลังตัดแต่งมากที่สุด คือ 102.50, 86.75 และ 95.75 กรัม ตามลำดับ และให้น้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด คือ 120.39, 102.45 และ 117.80 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะน้ำหนักแห้งส่วนของราก พบว่าการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชนอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ นั้น ผักกาดเขียวปลีมีน้ำหนักแห้งส่วนของรากมากที่สุด คือ 22.05 กรัม

ตารางที่ 5 น้ำหนักสดก่อนตัดแต่ง น้ำหนักสดหลังตัดแต่ง น้ำหนักแห้งรวม และน้ำหนักแห้งส่วนของรากของผักกาดเขียวปลีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์รองพื้นที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	น้ำหนักสด (กรัม)		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	
	ก่อนตัดแต่ง	หลังตัดแต่ง	รวม	ส่วนของราก
ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50 กก./ไร่	181.15 ^{bc}	46.03 ^b	65.29 ^b	19.25 ^b
ปุ๋ยมูลวัว 1000 กก./ไร่	257.50 ^b	102.50 ^a	120.39 ^a	17.88 ^{bc}
ปุ๋ยหมัก 1000 กก./ไร่	478.10 ^a	46.20 ^b	63.48 ^b	17.28 ^{bc}
จุลินทรีย์จากกอกไผ่ 1000 กก./ไร่	143.52 ^c	86.75 ^a	102.45 ^a	15.70 ^c
จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชน 1000 กก./ไร่	591.50 ^a	95.75 ^a	117.80 ^a	22.05 ^a
F-test	**	**	**	**
CV%	22.37	19.21	16.01	9.51

หมายเหตุ: *, ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ที่ 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่เหมือนกัน แสดงความไม่แตกต่างทางสถิติ

เห็นได้ว่าการใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชนในอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ นั้น ผักกาดเขียวปลีมีการตอบสนองดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ได้จากป่าในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ โดย จุนจะรา ไทยไธสง และชติยา มูลไชยสุข (มปป.) ได้รายงานชนิดของจุลินทรีย์ท้องถิ่นที่พบในป่าข้างต้นนั้นประกอบไปด้วย แบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิก 6 ไอโซเลตรา 10 ไอโซเลต โดยเป็นแบคทีเรียละลายฟอสเฟต 5 ไอโซเลต และราละลายฟอสเฟต 6 ไอโซเลต และจากการศึกษาของ Ana (2018) ที่พบว่าจุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ได้จากพื้นที่แตกต่างกันมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชนที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่าจุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ได้จากกอไผ่ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมักชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าธรรมชาติจะมีความหลากหลาย โดยเฉพาะแบคทีเรียในกลุ่มแอคติโนมัยซิส และเชื้อราไมคอร์ไรซา ที่ช่วยในการปลดปล่อยธาตุอาหารของพืชและช่วยหาอาหารให้พืชได้ดี สำหรับจุลินทรีย์ท้องถิ่นจากกอไผ่ส่วนใหญ่แล้วเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มที่สามารถย่อยอินทรีย์วัตถุได้ดี จึงเหมาะสำหรับการนำไปทำปุ๋ยหมัก (สุพจน์ บุญแรง, 2562) นอกจากนี้แล้วยังมีการพัฒนาจุลินทรีย์ท้องถิ่นเพื่อเป็นชีวภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ในการผลิตภายใต้ระบบอินทรีย์ต่างๆ เช่น จุลินทรีย์เบญจคุณ หรือจุลินทรีย์แบบ Mixed Culture ซึ่งประกอบไปด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แบคทีเรียย่อยน้ำมัน แบคทีเรียสร้างเส้นใย รา ยีสต์ และราบ่มหมัก (ณัฐภูมิ สุดแก้ว, 2558) สำหรับการศึกษาอิทธิพลของจุลินทรีย์ในผักต่างๆ นั้น Phua *et al.*, (2012) พบว่าการใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นหลากหลายไอโซเลตร่วมกันนั้นช่วยให้ผักกาดขาวปลีเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี นอกจากนี้แล้วการศึกษาในสัปดาห์ว่าการให้จุลินทรีย์ในอัตรา 10 มิลลิลิตรต่อตารางเมตรที่อายุ 0 และ 15 วันหลังย้ายปลูกทำให้สลัดมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูง (González *et al.*, 2019)

สรุปผลการวิจัย

การปลูกผักกาดเขียวปลีในถุงปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนนั้นการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากป่าชุมชนในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ นั้น ผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโต และผลผลิตสูงที่สุด โดยมีน้ำหนักสดก่อนและหลังตัดแต่งมากที่สุด รองลงมาคือการให้ปุ๋ยคอก และการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นจากกอไผ่ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการให้ปุ๋ยเคมี และการให้ปุ๋ยหมักนั้นผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตและผลผลิตน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้จนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จุนจะรา ไทยไธสง และชติยา มูลไชยสุข. (มปป.) ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ดินในระบบป่าวิทยาเขตสุรินทร์. รายงานวิจัยคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. ณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2558). การทำจุลินทรีย์เบญจคุณและการนำไปใช้ทางการเกษตร. เกษตรกรรมธรรมชาติ. ปีที่ 17(4), 25-53. นิษฐกานต์ ประดิษฐ์ศรีกุล. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักกาดเขียวปลีต้องเปรี้ยวและกิมจิในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ. รายงานวิจัยสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
- สุพจน์ บุญแรง. (2562). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกษตรอินทรีย์ เล่มที่ 1 ดิน จุลินทรีย์และชีวภัณฑ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. จังหวัดเชียงใหม่.
- สุพจน์ บุญแรง และสุวรรณ สุวรรณ. (2562). การถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นและสารชีวภัณฑ์ในการผลิตพืชอาหารอินทรีย์สำหรับเกษตรกรจังหวัดเชียงใหม่. รายงานวิจัยสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ
- โสฬส แซ่ลิ้ม. (2559). ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ. กลุ่มวิจัยและพัฒนาการจัดการอินทรีย์วัตถุ. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. กรมพัฒนาที่ดิน
- อานัฐ ตันโช. (2548). จุลินทรีย์ท้องถิ่น (Indigenous Microorganism: IMOs). เชียงใหม่: Trio Advertising & media Co.Ltd.

- Ana K. (2018). Unraveling the mystery of the natural farming system (Korean): Isolation bacteria and determining the effects on growth. A thesis of The University of Hawai'i at Mānoa. Hawaii, United States.
- Phua, C.K.H., Abdul Wahid, A.N. & Abdul Rahim, K. (2012). Development of multifunctional biofertilizer formulation from indigenous microorganisms and evaluation of their N₂-fixing capabilities on Chinese cabbage using ¹⁵N tracer technique. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci*, 35(3), 667-674.

การทดสอบกิจกรรมการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบรางจืด

In vitro antipathogenic bacterial and antioxidant activity of *Thunbergia laurifolia* Lindl. leaves extract

สุรัชย์ รัตนสุข¹ จิราพร กระจำใจ¹ ณัฐธินิชา ศรีเสนา¹ และ เอ็มพร จันทร์สองดวง^{1*}

Surachai Rattanasuk¹ Jiraporn Kojangjai¹ Nattanicha Sonsena¹ and Auemporn Junsongduang^{1*}

Received: 19 ธ.ค. 2564

Revised: 25 ธ.ค. 2564

Accepted: 29 ธ.ค. 2564

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากิจกรรมการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบรางจืด โดยทำการสกัดใบรางจืดด้วยตัวทำละลายเมทานอล เฮกเซนและ ไดคลอโรมีเทน ทำการทดสอบหาค่า MIC และ MBC ของสารสกัดใบรางจืดต่อเชื้อ *Staphylococcus epidermidis* TISTR 518, *Staphylococcus aureus* TISTR 1466, *Klebsiella pneumoniae* TISTR 1383 และ *Escherichia coli* TISTR 780 และทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบรางจืดที่สกัดด้วยเมทานอลมีค่า MIC ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.39 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ต่อเชื้อ *K. pneumoniae* TISTR 1383 และ ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% inhibition) ของสารสกัดใบรางจืดที่สกัดด้วยเมทานอลมีค่าการยับยั้งสูงสุด คือ 94.55%

คำสำคัญ : ใบรางจืด, แบคทีเรียก่อโรค, กิจกรรมการต้านเชื้อแบคทีเรีย, กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

This study aims to study antipathogenic bacterial and antioxidant activity from *Thunbergia laurifolia* Lindl leaves extract. *T. laurifolia* leaves were extracted with methanol, hexane and dichloromethane. The MIC and MBC values against *Staphylococcus epidermidis* TISTR 518, *Staphylococcus aureus* TISTR 1466, *Klebsiella pneumoniae* TISTR 1383 and *Escherichia coli* TISTR 780 were determined and antioxidant activity was measured using DPPH method. The result indicated that the methanolic extract showed the lowest MIC value at 0.39 mg/ml against *Klebsiella pneumoniae* TISTR 1383. The highest % inhibition at 94.55±6.86 was found from the methanolic *T. laurifolia* Lindl. leave extract.

Keywords : *Thunbergia laurifolia* Lindl., pathogenic bacteria, antibacterial activity, antioxidant activity

บทนำ

ยาปฏิชีวนะเป็นยาที่ใช้สำหรับรักษาอาหารติดเชื้อจากเชื้อแบคทีเรียก่อโรค โดยยาปฏิชีวนะมีกลไกการทำงานอยู่ 2 แบบ คือ มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (bacteriostatic antibiotic) และมีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย (bactericidal antibiotic) (Nemeth et. Al., 2015) ในปัจจุบันพบปัญหาจากการใช้ยาปฏิชีวนะของผู้ป่วยไม่ถูกต้องตามคำแนะนำของแพทย์ส่งผลให้เชื้อ แบคทีเรียก่อโรคเกิดการดื้อต่อยา ส่งผลให้ยาปฏิชีวนะที่มีในปัจจุบันไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ อาจต้องใช้ยาปฏิชีวนะหลายชนิดรวมในการรักษา (Rattanasuk and Phiwthong, 2021) และมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนในการเร่งค้นหาแหล่งของยาปฏิชีวนะแหล่งใหม่

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด อำเภอเสลภูมิจังหวัดร้อยเอ็ด 45120

¹Department of Science and Technology, Faculty of Liberal Arts and Science, Selaphum, Roi Et 45120

*Corresponding Author Email: a.junsongduang@reru.ac.th

พืชสมุนไพร จัดได้ว่าเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญอย่างมากเนื่องจากถูกใช้ในการรักษาโรคต่าง ๆ มาอย่างยาวนาน ตัวอย่างสมุนไพร (Rattanasuk et. al., 2021) เช่น พญาวานหรือฮวานเจือก (*Pseuderanthemum palatiferum* (Nees) Radlk.) มีสรรพคุณในการรักษาโรคอุจจาระร่วง (พีรวิทย์ และสมศักดิ์, 2552) หญ้าหวาน ดาวเรือง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (อนงค์ และกาญจนา, 2564) ขิง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ *Staphylococcus intermedius* (พิมพ์ชนก และคณะ, 2562) เป็นต้น

เชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในคนมีมากมายหลายชนิด เช่น เชื้อ *Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม มีรูปร่างท่อน เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบที่ทำให้เกิดจะทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วง (สุรัชย์ และคณะ, 2563) การติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ ภาวะโลหิตเป็นพิษและโน้ดเยื่อหุ้มสมองอักเสบ (Ku et al., 2015; Makvana and Krilov, 2015) เชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างกลมอยู่รวมกลุ่มกันคล้ายพวงอุ้ง เป็นเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อที่ผิวหนัง โรคอาหารเป็นพิษ โรคปอดบวม ภาวะติดเชื้อ กระดูกอักเสบและเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ (Chessa et. al., 2015) เชื้อ *Staphylococcus epidermidis* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างกลมที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อที่ข้อต่อและเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ (Koch et. al., 2020) และ เชื้อ *Klebsiella pneumoniae* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบรูปร่างท่อนที่ทำให้เกิดโรคปอดบวม โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ โรคฝีในตับ เป็นต้น (Joseph et. al., 2021)

รางจืด (*Thunbergia laurifolia* Lindl.) เป็นหนึ่งในสมุนไพรไทยในตำรายาโบราณที่ใช้ใบสดตำคั้นน้ำกินเพื่อแก้ไข้ และถอนพิษ (จันทร์พร มณีเสน, 2564) รางจืดมีองค์ประกอบของสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากมายหลายชนิด เช่น สารฟีนอลิก คาโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการต่อต้านฤทธิ์ของสารก่อกลายพันธุ์ (รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์, 2549) มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Bacillus cereus* และ *Bacillus subtilis* (ชลธิญา เพรศแก้ว, 2551) ซึ่งการศึกษากิจกรร การต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคจากสารสกัดจากรางจืดยังมีอยู่ไม่มาก

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากิจกรรการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและกิจกรรการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบรางจืด

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บตัวอย่างพืช

รางจืดถูกเก็บจากพื้นที่กลุ่มชาติพันธุ์ไท-ลาวและภูไท ในจังหวัดร้อยเอ็ด นำส่วนใบมาล้างด้วยน้ำสะอาดและผึ่งให้แห้ง อบใบรางจืดด้วยเครื่องอบความร้อน (Hot air oven) ที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง นำใบแห้งมาบดเป็นผงละเอียด ด้วยเครื่องปั่นสมุนไพรและเก็บในภาชนะปิดสนิท

การเตรียมสารสกัดจากใบรางจืด

ทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทนและเมทานอล แล้วนำสารละลายที่สกัดได้ไปทำการระเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ แล้วนำสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดไปปรับความเข้มข้นด้วย DMSO ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Rattanasuk and Phiwthong, 2021)

การเตรียมตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียก่อโรค

เชื้อ *Staphylococcus epidermidis* TISTR 518 ถูกเลี้ยงในอาหาร Nutrient broth (NB) บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เชื้อ *Staphylococcus aureus* TISTR 1466, *Klebsiella pneumoniae* TISTR 1383 และ *Escherichia coli* TISTR 780 ถูกเลี้ยงในอาหาร Nutrient broth (NB) บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เชื้อ เขย่าเชื้อด้วยความเร็ว 150 rpm นาน 18 ชั่วโมง นำเชื้อแบคทีเรียไปปรับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่ $OD_{600} = 0.1$ (Rattanasuk and Phiwthong, 2021)

การทดสอบหาค่า Minimum inhibitory concentration (MIC)

เติมเชื้อแบคทีเรียที่ปรับความเข้มข้นแล้ว 100 ไมโครลิตร ลงใน 96- Well Microplate ในหลุมที่ 1-12 เติมสารสกัดจากใบรางจืด 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมที่ 1 แล้วทำการเจือจางสารสกัดหยาบบน 2 เท่า จากหลุมที่ 1-10 ทำให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125, 1.562, 0.781, 0.390, 0.195, และ 0.097 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เติมเชื้อแบคทีเรีย ปริมาณ 100 ไมโครลิตรลงในหลุมที่ 1-11 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบหาค่า MIC โดยดูหลุมที่มีความเข้มข้นของสารสกัดน้อยที่สุดที่ไม่มีความขุ่นของเชื้อ (สุรัชย์ และคณะ, 2563)

การทดสอบหาค่า Minimum bactericidal concentration (MBC)

จุดของเหลวที่อยู่ในหลุมก่อนหน้าค่า MIC จำนวน 3 หลุมมาทดสอบโดยทำการ spread plate บนอาหาร Nutrient agar (NA) แล้วนำไปหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบการเจริญ โดยค่า MBC จะเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ไม่พบการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเลย (สุรัชย์ และคณะ, 2563)

การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพรที่สกัด

การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพรที่สกัดใบรางจืด ด้วยวิธี 2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity โดย ปิเปตสารสกัดใบรางจืด อย่างละ 1 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย DPPH เข้มข้นร้อยละ 0.004 ในเอทานอล 99% ปริมาณ 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex แล้วเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV spectrophotometer (Biochrom, Li bra S22 S/N 97765, UK) และคำนวณหาค่า % inhibition (อรอนงค์ และคณะ, 2563)

$$\% \text{ inhibition} = [(\text{Abs}_{\text{DPPH}} - \text{Abs}_s) / \text{Abs}_{\text{DHHH}}] \times 100$$

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การทดสอบหาค่า MIC และ MBC

ผลการศึกษาผลของสารสกัดจากใบรางจืดที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล ไดคลอโรมีเทนและเฮกเซนต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 780, *S. aureus* TISTR 1466, *S. epidermidis* TISTR 518, และ *K. pneumoniae* TISTR 1383 พบว่า สารสกัดจากใบรางจืดสามารถยับยั้งการเจริญต่อเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 4 สายพันธุ์ โดยสารสกัดจากใบรางจืดที่สกัดด้วยเมทานอลมีค่า MIC ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.39 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ต่อเชื้อ *K. pneumoniae* TISTR 1383 รองลงมาคือ สารสกัดจากใบรางจืดที่สกัดด้วยไดคลอโรมีเทนต่อเชื้อ *S. epidermidis* TIST 518 โดยมีค่า MIC เท่ากับ 1.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 1) ผลการศึกษานี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ วิสาตรี และ ปิยรัตน์ (2552) ที่ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียกลุ่มแกรมลบด้วยโอกาสบางสายพันธุ์ของสารสกัดเมทานอลจากรางจืด ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดรางจืดที่สกัดด้วยเมทานอลมีค่า MIC ต่อเชื้อ *E. coli* ATCC25913 เท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ผลการศึกษาหาค่า MBC พบว่า มีเพียงสารสกัดจากใบรางจืดที่สกัดด้วยเมทานอล มีค่า MBC ต่อเชื้อ *S. epidermidis* TIST 518 เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่า MIC และ MBC ของสารสกัดใบรางจืดต่อเชื้อแบคทีเรียก่อโรค

	ค่า MIC (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)				ค่า MBC (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)			
ตัวทำละลาย	<i>E. coli</i> TISTR 780	<i>S. aureus</i> TISTR 1466	<i>S. epidermidis</i> TIST 518	<i>K. pneumoniae</i> TISTR 1383	<i>E. coli</i> TISTR 780	<i>S. aureus</i> TISTR 1466	<i>S. epidermidis</i> TIST 518	<i>K. pneumoniae</i> TISTR 1383
เมทานอล	6.25	-	12.5	0.39	-	-	50	-
ไดคลอโรมีเทน	-	12.50	1.56	50	-	-	-	-
เฮกเซน	-	-	-	-	-	-	-	-

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบรางจืด

ผลการศึกษาพบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยการรายงานค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งของสารสกัด ใบรางจืดที่สกัดด้วยเมทานอลมีฤทธิ์การยับยั้งสูงสุด คือ 94.55% รองลงมาคือสารสกัดใบรางจืดที่สกัดด้วยไดคลอโรมีเทนและเฮกเซน โดยมีค่าเท่ากับ 93.23% และ 8.90% ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ Hongsing et. al. (2019) ที่ได้รายงานว่าสารสกัดจากรางจืดมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ $77.31 \pm 0.66\%$ และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ วลัยพร และคณะ (2556) ที่รายงานผลการศึกษาว่าสารสกัดใบรางจืดสดมีการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 94.60% ซึ่งมีมากกว่าสารสกัดใบรางจืดแห้งที่มีการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 92.94%

ตารางที่ 2 ค่า % inhibition ของสารสกัดใบรางจืดในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

ตัวทำละลาย	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
ไดคลอโรมีเทน	93.23 ± 0.57
เมทานอล	94.55 ± 6.86
เฮกเซน	8.90 ± 0.50

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าสารสกัดจากใบรางจืดมีคุณสมบัติในการต่อต้านการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* TISTR 780, *S. aureus* TISTR 1466, *S. epidermidis* TISTR 518, และ *K. pneumoniae* TISTR 1383 โดยตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดคือ เมทานอล และยังพบว่าสารสกัดจากใบรางจืดมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จันทพร มณีเสน. (2564). การศึกษาผลของการใช้รางจืดเป็นยาต้านพิษ. *วารสารสาธารณสุขและวิทยาศาสตร์สุขภาพ*. 3(1), 28-40.
- ชลธิญา เพรศแก้ว. (2551). ฤทธิ์ของสารสกัดรางจืดต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและเชื้อยีสต์บางชนิด. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาชีววิทยา. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา
- พิมพ์ชนก โล่ห์ทองคำ, วณิชา คล่องแคล่ว, เนาวรัตน์ แจ่มใส และมณฑล วิสุทธิ. (2562). ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus intermedius* ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*. 3(2)
- พีรวิทย์ พาศิ และสมศักดิ์ นวกแก้ว. (2552). ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับสมุนไพรพญาวันหรือฮวันจอก. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, 18(1); 131-138.
- รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์. (2549). คุณสมบัติเชิงหน้าที่และโภชนเภสัชของสารสกัดรางจืด (*Thunbergia luarifolia* Lindl.). วิทยานิพนธ์ดุสิตบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วลัยพร สีนสวัสดิ์, นฤภัสร์ คุ่มกลาง และพรชัย สีนสวัสดิ์. (2556). การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบรางจืดสดและแห้ง. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิสาตรี คงเจริญสุนทร และปิยรัตน์ พิมพ์สวัสดิ์. (2552). ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียกลุ่มแกรมลบฉวยโอกาสบางสายพันธุ์ของสารสกัดเมทานอลจากรางจืด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 14(1); 8-17.
- สุรัชย์ รัตนสุข, ดุจฤทัย พลเยี่ยม, พุติตา หลักไพล และ ไกรเทพ ชัยกิจ. (2563). กิจกรรมการต้านเชื้อแบคทีเรียในหลอดทดลองจากสารสกัดเห็ดแครง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*. 8(2); 65-73.
- สุรัชย์ รัตนสุข, นรินทร์ อุบลบาน และ รติรส เสี่ยงสาย. (2563). การตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อ *Escherichia coli* ในน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในจังหวัดร้อยเอ็ด. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 1(2); 54-58.

- อนงค์ ศรีโสภา และกาญจนา วงศ์กระจ่าง. (2564). การพัฒนาสูตรชาสมุนไพรหอมผสมสมุนไพรให้กลิ่นหอมที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเอนไซม์กลูโคซิเดส. *Thai Journal of Science and Technology*. 9(2); 218-229.
- อรอนงค์ ภูสีฤทธิ์, ชีระพันธ์ จำเริญพัฒน์, เนตรนภา กุมารสิทธิ์, เรณูภา ระดาไสย และ สิริรัตน์ สังข์บัวดง. (2563). สารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพรไทย บางชนิด. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 1(1); 44-51.
- Chessa, D., G. Ganau and V. Mazzarello. (2015). An overview of *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus aureus* with a focus on developing countries. *The Journal of Infection in Developing Countries*. 9(6): 547-550.
- Hongsing, P., Palanuvej, C., and Ruangrunsi, N. (2019). *In vitro* biological activities of *Thunbergia laurifolia* stem and leaf with reference to rosmarinic acid. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 42 (3), 615-620.
- Joseph, L., T. Merciecca, C. Forestier, D. Balestrino and S. Miquel. (2021). From *Klebsiella pneumoniae* Colonization to Dissemination: An Overview of Studies Implementing Murine Models. *Microorganisms*. 9(6): 1282.
- Koch, J. A., T. M. Pust, A. J. Cappellini, J. B. Mandell, D. Ma, N. B. Shah, K. M. Brothers and K. L. Urish. (2020). *Staphylococcus epidermidis* biofilms have a high tolerance to antibiotics in periprosthetic joint infection. *Life*. 10(11): 253.
- Ku, L. C., Boggess, K. A. and Cohen-Wolkowicz, M. (2015). Bacterial meningitis in the infants. *Clinics in Perinatology*, 42(1), 29-45.
- Makvana, S. and Krilov, L. R. (2015). *Escherichia coli* infections. *Pediatrics in Review*, 36(4), 167-170; quiz 171.
- Nemeth, J., Oesch, G., and Kuster, S. P. (2015). Bacteriostatic versus bactericidal antibiotics for patients with serious bacterial infections: systematic review and meta-analysis. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 70(2); 382-395.
- Rattanasuk, S., and Phiwthong, T. (2021). A New Potential Source of Anti-pathogenic Bacterial Substances from *Zamioculcas zamiifolia* (Lodd.) Engl. Extracts. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*. 24(2); 235-240.
- Rattanasuk, S., R. Boongapim and T. Phiwthong. (2021). Antibacterial activity of *Cathormion umbellatum*. *Bangladesh Journal of Pharmacology* 16(3): 91-95.

การประเมินการปนเปื้อนเชื้อราในอากาศภายในห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)

Assessment of Fungal Contamination in the Air Inside the Faculty of Technology Laboratory Udon Thani Rajabhat University (Sam Phrao Campus)

วินัย มีแสง¹ นวภัทร นวาคม²

Winai Meesang¹ Nawapat Nawakam²

Received: 14 มิ.ย. 2564

Revised: 25 ก.ย. 2564

Accepted: 12 ธ.ค. 2564

บทคัดย่อ

การศึกษครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและชนิดของเชื้อราในอากาศจากห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) ระหว่างเดือน มิถุนายน – เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง ด้วย Andersen impactor six stage จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที ผลการศึกษาพบว่า พบว่าชนิดของเชื้อราได้ทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่ เชื้อราสกุล *Curvularia* และ เชื้อราสกุล *Rhizopus* โดยพบเชื้อราเฉลี่ยจากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) ปริมาณ 79.77 CFU/m³ และพบเชื้อราจากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) ปริมาณ 229.89 CFU/m³) ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน IAQ/WHO

คำสำคัญ : ราในอากาศ, *Curvularia Rhizopus* ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Abstract

The purpose of this study was to determine the quantity and type of fungi in the air from the Faculty of Technology Laboratory Udon Thani Rajabhat University (Sam Phrao Campus) during June-October 2019. Air samples were collected by machine with Andersen impactor six stage, 3 times, 10 minutes each time. The result found that there were 2 types of fungi including *Curvularia* and *Rhizopus*. The average fungi were found from Food and Service Laboratory, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University. (Sam Phrao Campus) at 79.77 CFU/m³ and were found from the major of plant production technology, faculty of technology, Udon Thani Rajabhat University. (Sam Phrao Campus) at 229.89 CFU/m³), which does not exceed the IAQ/WHO standard.

Keywords : fungi in the air, *Curvularia, Rhizopus*, Faculty of Technology Laboratory Udon Thani Rajabhat University

บทนำ

ราเป็นสิ่งมีชีวิตยูคาริโอตที่มีขนาดเล็ก สามารถพบได้ในทั้งรูปแบบที่เป็นเส้นใยและแบบเซลล์เดี่ยว ซึ่งราแบบเส้นใยนั้นจะเพิ่มจำนวนด้วยการสร้างสปอร์ที่สามารถฟุ้งกระจายไปในอากาศ ซึ่งราบางชนิดนั้นเป็นต้นเหตุสำคัญของโรคทางเดินหายใจ (พิทักษ์ คิมนารักษ์, 2558) ตัวอย่างเชื้อราที่พบการแพร่กระจายในอากาศ เช่น *Aspergillus, Cladosporium, Alternaria* และ *Penicillium* ซึ่งเชื้อราดังกล่าวสามารถชักนำให้เกิดภาวะภูมิแพ้ หอบหืด ไอ และหายใจมีเสียงหวัดได้ (นุรฮุดดา สุวรรณนุรักษ์และคณะ, 2562)

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

¹Environmental Science Program, Faculty of Science, Udonthani Rajabhat University

²Assistant Professor, Biology Program, Faculty of Science, Udonthani Rajabhat University

*Corresponding Author Email: winai.me@udru.ac.th

เชื้อราสามารถพบได้ทั่วไปในอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ มักเกิดขึ้นจากภาวะการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น กระดาษ ขนสัตว์ ใบไม้ กิ่งไม้ ในดิน ในน้ำ บางครั้งอาจพบเชื้อราบนผนังห้องได้ ดังนั้นอากาศภายในอาคารจึงมีการปนเปื้อนของสปอร์รา ซึ่งจะมีปริมาณของการปนเปื้อนในปริมาณมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุและสภาพแวดล้อมตรงบริเวณนั้น (กิจจา จิตกริรมย์, 2555) ปริมาณราที่พบบริเวณพื้นที่โล่งและแห้งจะมีปริมาณน้อยกว่าที่พบจากบริเวณที่มีความชื้น เช่น ภายในอาคารที่มีความชื้นสามารถพบการเจริญของราได้ที่เบาะนั่งหรือโซฟา หรือแม้แต่วัสดุแต่งบ้านบางชนิด เช่น ฝ้าผนัง ขอบประตู หน้าต่าง พรมปูพื้นที่มีความเปียกชื้น ห้องเก็บของที่มีสิ่งของที่ปิดห้องไว้เป็นเวลานานไม่ได้ทำความสะอาด ห้องน้ำ ท่อระบายและที่หมักหมม แผ่นรองของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นแหล่งให้ราสามารถเจริญได้ดีและสามารถแพร่กระจายต่อไปได้

ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) เป็นห้องปฏิบัติการที่เป็นศูนย์กลางของกิจกรรมทั้งการเรียนการสอนและการบริการทางวิชาการ หากมีการปนเปื้อนของเชื้อราในอากาศของห้องปฏิบัติการของคณะเทคโนโลยีเกินมาตรฐาน อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติในห้องปฏิบัติการนี้ได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปริมาณและชนิดของเชื้อรา ในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักในห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Descriptive Study) เพื่อหาปริมาณและชนิดของเชื้อแบคทีเรียในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักในห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ในช่วงเดือน มิถุนายน – เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562

1. เครื่องมือการวิจัย

เก็บตัวอย่างอากาศด้วย Andersen N-6 stage sampler (พรณิภา ดิจะมาลา และกาญจนา นาคะพันธุ์., 2558) ตามการแนะนำของ NIOSH Manual of Analytical Methods 5th Edition โดยอาศัยหลักการดูดอากาศผ่านลงไปในผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งแรงดันโดยตรง ซึ่งจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในอากาศจะตกลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง

2. สถานที่เก็บตัวอย่าง

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ภาพประกอบที่ 1) และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) (ภาพประกอบที่ 2)



ภาพประกอบที่ 1 ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)



ภาพประกอบที่ 2 ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)

3. วิธีการเก็บตัวอย่าง

ประกอบเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ Andersen N-6 stage sampler ตั้ง ให้มีความสูงที่ระดับ 1.5 เมตรจากระดับพื้นราบซึ่งถือว่าอยู่ระดับการหายใจ (Breathing zone) ด้วยอัตราการดูดอากาศ 28.3 ลิตรต่อนาที นาน 10 นาที ตั้งบริเวณที่มีคนงานทำงาน (นุชจรี นะรินยาม และคณะ, 2560) ในช่วงเดือนมิถุนายน 2562 เดือนตุลาคม 2563 เมื่อเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่างนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมดไปบ่มเพาะเชื้อ และ วิเคราะห์หาโดยการนับจำนวนโคโลนี แยกเชื้อบริสุทธิ์ เพื่อหาลักษณะสัณฐานวิทยาของรา ที่สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว ที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมงและนำมานับจำนวนโคโลนีและแยกพิสูจน์เชื้อตามวิธีของ American Society for Microbiology และ Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology หลังจากครบกำหนดนำมานับจำนวนโคโลนี โดยให้ 1 โคโลนี เท่ากับ 1 หน่วย ที่ได้จะมีค่าเป็นจำนวนโคโลนีต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ขึ้นในจานเพาะเชื้อรายงานเป็น Colony Forming Unit (CFU/m³) (พรรณิภา ตีจะมาลา และกาญจนา นาถะพันธุ์, 2558) โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

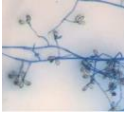
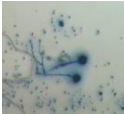
$$C \text{ (CFU/m}^3\text{)} = \frac{(P1+P2+P3+P4+P5+P6) \times 1000}{t \text{ (min)} \times F \text{ (L/min)}}$$

โดย C คือ ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศในหน่วยโคโลนีต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ P1, P2, P3, P4, P5, และ P6 คือ จำนวนโคโลนีในชั้นที่ 1 T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที) F คือ อัตราการดูดอากาศช่วงเก็บตัวอย่าง (L/min) ผลที่ได้รายงานในรูปของ CFU/ลูกบาศก์เมตรทำการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ณ ห้องปฏิบัติการ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษา สามพร้าว ในช่วงพฤษภาคม 2562- เดือนตุลาคม 2562 เวลา บ่าย (13.00-16.00น.) ทำการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง Andersen N-6 stage Impactor ทำการเก็บตัวอย่างแบคทีเรีย ใช้เวลา 10 นาที โดยตั้งไว้ในความสูงที่ระดับ 75-120 เมตร จากพื้นราบซึ่งถือว่าอยู่ในระดับการหายใจ (Breathing zone) ด้วยอัตราการดูดอากาศ 28.3 ลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

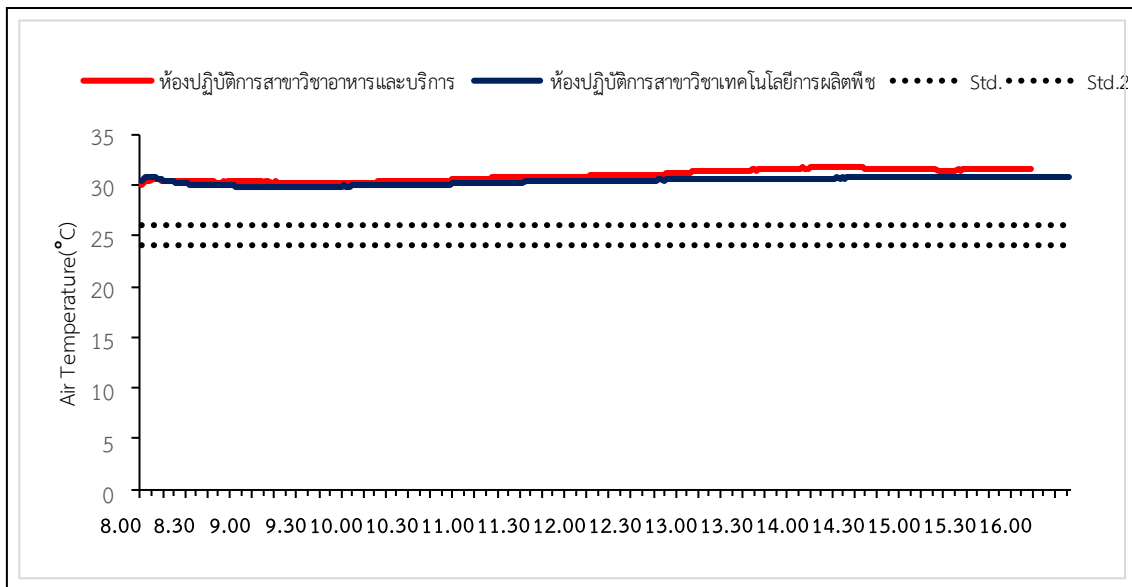
งานวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) การวิเคราะห์ทางสถิติ T-test แบบ Independent และ F-test แบบ one – way ANOVA แสดงผลเป็นการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยร้อยละเพื่ออธิบายชนิดและปริมาณของเชื้อรา

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณรา คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

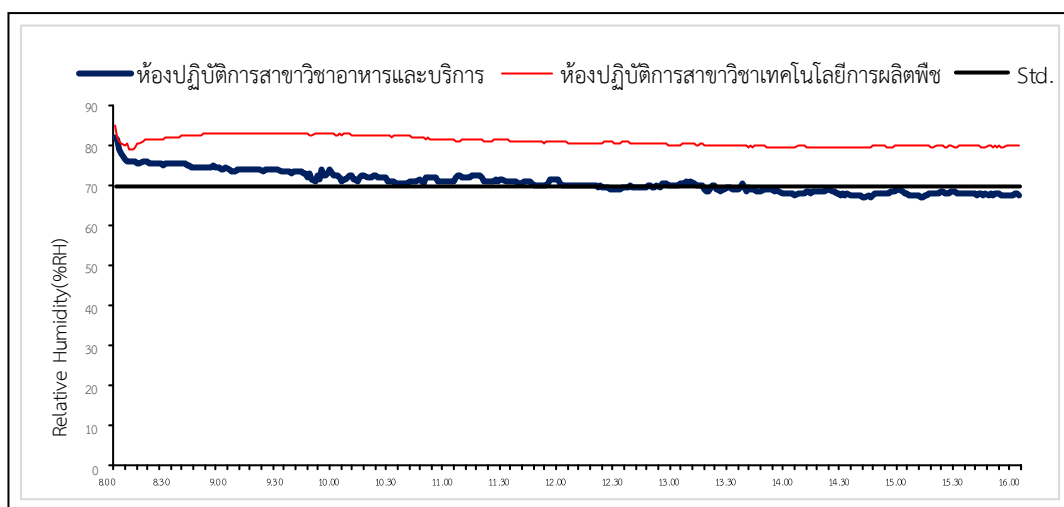
สถานที่	ครั้งที่	ลักษณะโครงสร้างของรา	เชื้อราที่เกิดขึ้นในแต่ละ stage						ปริมาณเชื้อราเฉลี่ยและค่ามาตรฐาน 500 (CFU/m ³)
			1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	
ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ		1. <i>Curvularia</i> sp. 	d ₅₀ =7 μm	d ₅₀ =4.7 μm	d ₅₀ =3.3 μm	d ₅₀ =2.1 μm	d ₅₀ =1.1 μm	d ₅₀ =0.65 μm	
	1	2. <i>Rhizopus</i> sp. 	2	3	1	0	1	1	61.83
	2		1	3	2	1	3	2	106
	3		3	0	2	1	0	3	71.5
			2	2	1.66	0.66	1.33	2	79.77

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณรา คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ต่อ)

สถานที่	ครั้งที่	ลักษณะโครงสร้างของรา	เชื้อราที่เกิดขึ้นในแต่ละ stage						ปริมาณเชื้อราเฉลี่ยและค่ามาตรฐาน 500 (CFU/m ³)
			1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	
ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช		1. <i>Curvularia</i> sp. 	d ₅₀ =7 μm	d ₅₀ =4.7 μm	d ₅₀ =3.3 μm	d ₅₀ =2.1 μm	d ₅₀ =1.1 μm	d ₅₀ =0.65 μm	
	1	2. <i>Rhizopus</i> sp. 	1	3	9	6	3	1	203
	2		1	2	5	8	9	2	283.51
	3		0	2	2	3	1	15	203.18
			0.66	2.33	5.33	5.66	4.33	6	229.89



ภาพประกอบที่ 3 ปริมาณอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)



ภาพประกอบที่ 4 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)

การเปรียบเทียบเชื้อราในอากาศภายในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการและห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช บริเวณ 2 ห้องปฏิบัติการฯ แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเชื้อราในอากาศภายในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ และ ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช บริเวณ 2 ห้องปฏิบัติการ

บริเวณพื้นที่	Mean	S.D.	T-test	Sig.
อาหารและบริการ	82.44	22.23	-5.800	0.01
เทคโนโลยีการผลิตพืช	214.89	20.44	-5.800	0.02

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณและชนิดของเชื้อราในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักในห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) พบว่าชนิดของเชื้อราได้ทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เชื้อราสกุล *Curvularia* กลุ่มที่ 2 เชื้อราสกุล *Rhizopus* โดยพบปริมาณเฉลี่ยของราจากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาอาหารและบริการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) เท่ากับ 79.77 CFU/m³ และจากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว) เท่ากับ 229.89 CFU/m³ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานของ IAQ/WHO กระทรวงสิ่งแวดล้อม ประเทศสิงคโปร์ (กำหนดไว้ที่ 500 CFU/m³) (นุจรี นะรินยามและคณะ, 2560)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนและเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างในงานวิจัย สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี สนับสนุน ที่ห้องปฏิบัติการและสารเคมี อีกทั้ง สาขาวิชาอาหารและบริการ และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี พื้นที่ในการดำเนินการวิจัย และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ข้อเสนอแนะ

1. การเก็บตัวอย่างทางจุลชีววิทยา ควรเก็บแบคทีเรียในอาคารเพิ่มเติม
2. เก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศภายในอาคาร ตามมาตรฐาน NIOSH. (2017). OSHA. (2003). The Government of the Hong Kong Special Administrative Region Indoor Air Quality Management Group. (2003). WHO เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กิจจา จิตกริรมย์. (2555). การประเมินการปนเปื้อนเชื้อราในอากาศภายในสถานบริการสปาใน กรุงเทพมหานคร. วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา, 7(2), 1-11.
- นุจรี นะรินยาม, ขนิษฐา คุณเมือง และพรพรรณ สกลคุ. (2560). การประเมินการปนเปื้อนปริมาณเชื้อราในอากาศภายในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 10(1): 11-18.
- นุรฮุดา สุวรรณนุรักษ์, ลัดดาวัลย์ พะวร, พหล แสนสมชัย และอรอุมา จันท์เสถียร. (2562). ราในอากาศภายในอาคารวิทยาลัยนครราชสีมา. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 6, นครราชสีมา, 1053-1058.
- พรณิภา ติงะมาลา และกาญจนา นาถะพันธุ์. (2558). ชนิดและปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศ ภายในร้านรับซื้อของเก่าเขตเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 ขอนแก่น. 22(1): 68-77.
- พิทักษ์ คิมนารักษ์. (2558). การแพร่กระจายของเชื้อราในอากาศภายในห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์: กรณีศึกษาห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ โรงพยาบาลนครปฐม จังหวัดนครปฐม. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 70 หน้า
- Almaguer, M., Diaz, L., Fernández-González, M., & Salas, S. (2021). Assessment of airborne *Curvularia* propagules in the atmosphere of Havana, Cuba. *Aerobiologia*, 37(1), 53-69.
- NIOSH. (2017). Sampling and characterization of Bio aerosols NIOSH Manual of Analytical Methods 5th Edition, DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health. USA.
- OSHA. (2003). OSHA Policy on Indoor Air Quality: Office Temperature/Humidity and Environmental Tobacco Smoke. USDOL/OSHA, Washington DC.
- Sivanesan A. (1987). Graminicolous species of *Bipolaris* *Curvularia* *Drechslera* *Exserohilum* and their teleomorphs. United Kingdom: 261 pp

การตรวจสอบยีนต้านทานโรคไหม้ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ

Investigation of rice blast resistance gene in Thai Colored Rice Landrace Varieties found in the Sakonnakhon Rice Research Center Puparn Royal Development Study Center for the conservation

สุชีลา ตาลอำไพ^{1*}, ดวงหทัย โพธิ์ศรีคำ¹, พชรินทร์ สารบรรณ¹, นนทิพัฒน์ เพาะชม¹ และ สิทธิพันธุ์ สินอำพร²
Sucheela Talumphai^{1*}, Duanghathai Phosrikham¹, Phatcharin Saraban¹, Nuntipat Pochom¹
and Sitipun Sinumporn²

Received: 14 ธ.ค. 2564
Revised: 25 ธ.ค. 2564
Accepted: 28 ธ.ค. 2564

บทคัดย่อ

โรคไหม้ของข้าว (Rice blast disease) มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Pyricularia grisea* ซึ่งเป็น ตัวการสำคัญที่ทำให้สูญเสียผลผลิตข้าวทั่วโลก การใช้พันธุ์ข้าวที่มียีนต้านทานถือว่าเป็นวิธีการป้องกัน ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบยีนต้านทานโรคไหม้ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อ ยีนต้านทานโรคไหม้ 5 ตำแหน่ง คือ ยีน *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm (t)* และ *Pi54* ผลจากการตรวจสอบเครื่องหมายโมเลกุล จำนวน 5 เครื่องหมาย คือ pB8, Pi54MAS, Pia, S29747 และ YL155/YL87 พบ 4 เครื่องหมาย คือ pB8, YL155/YL87, S29747 และ Pi54MAS ที่จำเพาะเจาะจงกับยีนต้านทานโรคไหม้คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของเครื่องหมายทั้งหมด และผลจากการตรวจสอบความคล้ายคลึงกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ พบว่าลำดับนิวคลีโอไทด์ของข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือกสุ่มตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้จากฐานข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนสากล (GenBank) โดยรวมอยู่ระหว่าง 98.80 - 100 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์เพื่อพัฒนา และปรับปรุงข้าวพันธุ์ต้านทานโรคไหม้ในอนาคต

คำสำคัญ: ยีนต้านทานโรคไหม้, โรคไหม้ในข้าว, เครื่องหมายดีเอ็นเอ, ข้าวสีพันธุ์พื้นเมือง

Abstract

Rice blast disease caused by a fungal pathogen, *Pyricularia grisea*, is one of the most devastating diseases in worldwide rice production. The use of rice varieties with resistance genes is considered the most effective prevention method. The objective of this research is was to Investigation for rice blast resistance gene in 13 varieties of Thai colored rice landrace by using 5 specific markers for rice blast resistance gene, namely *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm (t)* and *Pi54*. The results of 5 DNA markers, pB8, Pia, YL155 / YL87, S29747 and Pi54MAS found 4 markers is pB8, YL155/YL87, S29747 and Pi54MAS specific to rice blast resistance gene accounting for 80 percent of all markers and the results of the similarity of nucleotide sequences showed that the nucleotide sequence of Thai landrace color rice varieties selected for sampling had a percentage of similarities with the nucleotide sequence of rice blast resistance gene from GenBank database is between 98.80 - 100 percent. The information obtained from this study is very useful for the identification of parental lines with rice blast resistance gene in rice breeding program.

Keywords: rice blast resistance gene, rice blast disease, DNA marker, colored rice landrace

¹สาขาวิชาชีววิทยาอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

²ทุ่งกุลาร้องไห้ วิทยาเขตร้อยเอ็ด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

¹Major Biology, Department of Science and Technology, Faculty of Liberal Arts and Science Roi Et Rajabhat University

²Thung Kula Ronghai Roi Et Campus, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

*Correspondence: aor_sucheela@hotmail.com

บทนำ

ข้าวพันธุ์พื้นเมือง (landrace rice) เป็นข้าวพันธุ์ที่มีการคัดเลือก และเก็บรักษาโดยเกษตรกรสืบทอดกันมาหลายชั่วอายุ มีชื่อข้าวพันธุ์เรียกแตกต่างกันไปตามแหล่งที่ปลูก เช่น ข้าวเจ้าเหลืองทอง ข้าวเจ้าเก้ารวง ข้าวเจ้าตาอุ ข้าวเจ้าเล็บมือนาง ปลูกมากในบริเวณภาคกลาง ส่วนข้าวพันธุ์ชาวลี้น ข้าวเล็บนก ข้าวหอมลูกแดง ปลูกมากบริเวณภาคใต้ และข้าวเจ้าพันธุ์เจ้าขอบ ข้าวเจ้าอีสานวนอนทุ่ง ข้าวเหนียวพันธุ์ขี้ต้ม และข้าวพันธุ์ปล้องแฉว ต่างเป็นพันธุ์พื้นเมืองของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับในภาคเหนือ ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกมีลักษณะเป็นข้าวเหนียวเป็นส่วนมาก ซึ่งมีทั้งที่ปลูกเป็นข้าวนา และปลูกเป็นข้าวไร่ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันอย่างมากมาย เช่น ข้าวนา ได้แก่ ข้าวแก้วข้าเฮาะ ข้าวลึงเกา ข้าวแก้วลาเหลียง ข้าวมะตาล ข้าวมะน้ำ ข้าวกาละวงค์ ข้าวลายน้อย ข้าวลายหลวง ข้าวผาหมี ข้าวผาใจ ข้าวน้ำฝาง ข้าวปูลี่ และข้าวเหนียวดำ (ดำเนิน กาละดีและคณะ, 2544) ข้าวที่มีสี เช่น ข้าวเหนียวดำเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำม่วง หรือแดง เยื่อหุ้มเมล็ดในส่วนของผิวเมล็ดจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในมีสารต่าง ๆ สะสมได้แก่ แอนโทไซยานิน (Dagang *et al.*, 2019) ปัจจุบันมนุษย์ใส่ใจต่อสุขภาพจึงหันมานิยมบริโภคข้าวที่มีสีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากข้าวที่มีสีมีแร่ธาตุ และวิตามินที่สำคัญต่อร่างกายมากกว่าข้าวขาว โดยข้าวที่มีสีในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น ข้าวหอมแดงสุโขทัย 1 ข้าวหอมดาสุโขทัย 2 ข้าวสังข์หยด ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นต้น ซึ่งบางชนิดมีเมล็ดคล้ายคลึงกันมาก และแยกได้ยากด้วยการใช้เพียงลักษณะสัณฐานวิทยา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (genetic relationship) และสร้างลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprinting) ของข้าวที่มีสีสำหรับใช้ในการใช้จำแนกพันธุ์ข้าวที่มีสีซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการอนุรักษ์พันธุ์ข้าว และปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต (สุรินทร์ ปิยะโชคนาทกุล, 2552) จากข้อมูลกรมการข้าวพบว่า “โรคไหม้” เป็นโรคระบาดอันดับ 1 ใน ข้าว (อิงอณ สี่แก้วและคณะ, 2553) ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Pyricularia grisea* เชื้อสามารถเข้าทำลายต้นข้าวได้ ทุกระยะของการเจริญเติบโต ตั้งแต่ระยะต้นกล้าถึงระยะออกรวง พบได้ทุกส่วนของข้าว ซึ่งมีชื่อเรียก ต่างกันไปขึ้นอยู่กับเชื้อราได้ก่อโรคบริเวณใด ลักษณะของแผลเป็นสีน้ำตาลรูปกระสวย หรือดวงตา พบมากในฤดูฝน และข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ไวต่อช่วงแสง ส่วนใหญ่ ระบาดในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ และมีการแพร่ระบาด ทุกปีซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวโดยรวม ร้อยละ 5 ของผลผลิตข้าวทั้งประเทศ (อิงอณ สี่แก้วและคณะ, 2553) วิธีการที่เหมาะสมต่อการควบคุมการระบาดของโรคไหม้ คือการปรับปรุง พันธุ์ข้าวให้มีความต้านทานต่อโรคไหม้ ประกอบกับประเทศไทยที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของ สายพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวนาสวน ข้าวน้ำลึก ข้าวขึ้นน้ำ ข้าวไร่ และข้าวนาที่สูง ข้าวบางสายพันธุ์มียืนต้นทนต่อความ แห้งแล้ง (drought stress) ยืนต้นทนความเค็ม (salt stress) (ชัชวาล จันทราสุริยรัตน์, 2553) และยืนต้นทนโรคไหม้ (blast resistance gene) (ชัชวาล จันทราสุริยรัตน์ และสุริพร เกตุงาม, 2552) ยืนต้นทนนี้ถือเป็นแหล่งพันธุกรรมที่มีความ หลากหลาย และสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความต้านทานต่อโรคไหม้ในปัจจุบันได้ การนำเทคโนโลยีมาช่วย โดยการใช้เครื่องหมายโมเลกุล (marker assisted selection) เพื่อการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มียืน หรือตำแหน่งของยีนที่เชื่อมโยงกับลักษณะที่ศึกษา สำหรับยืนต้นทนโรคไหม้ในข้าวขึ้นน้ำ ปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพในการทำยีนพันธุ์ศาสตร์โมเลกุลพบ ยืนต้นทนโรคไหม้ไม่ต่ำกว่า 100 ยีน และได้มีการโคลนยืนต้นทนโรคไหม้สำเร็จแล้ว 31 ยีน ได้แก่ *Pit*, *Pi37*, *Pish*, *Pi35*, *Pib*, *Pi21*, *Pid2*, *Pi2*, *Piz*, *Pi8*, *Pi9*, *Pizt*, *Pid3*, *Pb1*, *Pi36*, *Pi5*, *Pik*, *Pikm*, *Pikp*, *Pi5 4rh*, *Pb1*, *NLS1*, *Pia*, *Pita*, *Pi6 (t)*, *Pi12(t)*, *Pi19(t)*, *Pi31(t)* และ *Pi32(t)* ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุล (molecular marker) จากยืนต้นทน โรคไหม้ เพื่อนำมาเป็นเครื่องหมายโมเลกุลในการค้นหาสายพันธุ์ข้าวที่มียืนต้นทนโรคไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษา ยืนต้นทนโรคไหม้จำนวน 5 ยีน ที่มีตำแหน่งบนโครโมโซมที่แตกต่างกัน โดยยืนต้นทนโรคไหม้ *Pi54* หรือ *Pi-kh* มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 11 (sharma *et al.*, 2002) พบในข้าวเวียดนามพันธุ์อินดิกา สายพันธุ์ Tetep ยืนต้นทนโรคไหม้ *Pi9* มีตำแหน่ง อยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 6 ถูกถ่ายทอดมาจากข้าวป่า *Oryza rufipogon* ซึ่งมีโครโมโซมเป็นเตตระพลอยด์ ($2x=4x=48$) ยืนต้นทนโรคไหม้ *Pi-ta* มีต้นกำเนิดมาจากข้าวพันธุ์อินดิกา และได้รับการถ่ายทอดยีน *Pi-ta* สู่ข้าวพันธุ์จาпонิกา ได้แก่ ข้าวสายพันธุ์ Katy ซึ่งใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในประเทศสหรัฐอเมริกา ยืนต้นทนโรคไหม้ *Pigm(t)* มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 6 มีความยาวโดยประมาณ 70 กิโลเบส ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุล CO428, C26348 และ S47656 (Deng *et al.*, 2006) และยืนต้นทนโรคไหม้ *Pia* มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 11 โดยมี การวิเคราะห์ยืนต้นทนโรคไหม้กับเครื่องหมายโมเลกุล และแสดงตำแหน่งที่แตกต่างกันเล็กน้อย จากการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบยืนต้นทนโรคไหม้โดยใช้ เครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ และวิเคราะห์ผลความคล้ายคลึงกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ของ ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองของไทย จากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยืนต้นทนโรคไหม้จากฐานข้อมูล ยีนสากล (GenBank) ยืนต้นทนโรคไหม้ที่กล่าวมานี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุง สายพันธุ์ข้าวเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองต่อโรคไหม้ได้ดีที่สุด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการ คัดเลือกพ่อแม่พันธุ์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงข้าวพันธุ์ต้านทานโรคไหม้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบยีนต้านทานโรคไหม้โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะเจาะจงในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ จากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ
2. เพื่อตรวจสอบความคล้ายคลึงกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ของข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย กับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้จากฐานข้อมูลยีนสากล (GenBank)

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองในการศึกษารั้วนี้ได้รับจากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ ในจังหวัดสกลนคร จำนวน 13 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขี้เหล็ก, ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม, ข้าวพันธุ์ขี้ตมทางนา, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู่”, ข้าวพันธุ์หอมนายพล, ข้าวพันธุ์ตบเหมยดำ, ข้าวพันธุ์กาบยาง1, ข้าวพันธุ์อิมิด, ข้าวพันธุ์ขี้ตมงัน, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ก้านกเค้านา, ข้าวพันธุ์แม่ฝั้ว และข้าวพันธุ์มะไฟดำ
2. ตรวจสอบคุณภาพและการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของดีเอ็นเอในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์
3. ตรวจสอบตัวอย่างข้าวด้วยยีนต้านทานโรคไหม้ *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm(t)* และ *Pi54* ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์โดยใช้ไพรเมอร์ที่เฉพาะเจาะจงกับยีนต้านทานโรคไหม้ จำนวน 5 เครื่องหมาย คือ pB8, *Pia*, YL155/YL87, S29747 และ *Pi54MAS* ด้วยเทคนิคเฉพาะทางคือการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีนต้านทานโรคไหม้ของข้าว (Polymerase Chain Reaction)
4. วิธีการทำดีเอ็นเอให้บริสุทธิ์
5. การวิเคราะห์ลำดับเบสตัวอย่างข้าว และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์
6. วิธีการวิเคราะห์ sequence ตัวอย่างข้าว

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร

ตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ใช้ในการศึกษา ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ ในจังหวัดสกลนคร จำนวน 13 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขี้เหล็ก, ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม, ข้าวพันธุ์ขี้ตมทางนา, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู่”, ข้าวพันธุ์หอมนายพล, ข้าวพันธุ์ตบเหมยดำ, ข้าวพันธุ์กาบยาง1, ข้าวพันธุ์อิมิด, ข้าวพันธุ์ขี้ตมงัน, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ก้านกเค้านา, ข้าวพันธุ์แม่ฝั้ว และข้าวพันธุ์มะไฟดำ

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดดีเอ็นเอ

- 2% CTAB (Cetyl trimethyl ammonium bromide)
- 1% Polyvinylpyrrolidone
- 100 mM Tris – HCl
- 1.4 M NaCl
- 20 mM EDTA
- β -mercaptoethanol
- Chloroform: Isoamylalcohol (24:1)
- Isopropanol
- 70% ethanol
- TE buffer

2.2 สารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ Polymerase Chain Reaction (PCR)

- DNA template
- 10X reaction buffer
- dNTP - $MgCl_2$
- Primer_F
- Primer_R
- Taq polymerase
- dH_2O

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพดีเอ็นเอโดยใช้วิธี Agarose Gel Electrophoresis

- Agarose
- 0.5X TBE buffer
- loading dye
- DNA ladder

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ใช้ในการศึกษา ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ ในจังหวัดสกลนคร จำนวน 13 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ ชื่นก, ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม, ข้าวพันธุ์ชั้ตมทางนาค, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู้”, ข้าวพันธุ์หอมนายพล, ข้าวพันธุ์ตบเหมยดำ, ข้าวพันธุ์กาบยาง1, ข้าวพันธุ์อูมิด, ข้าวพันธุ์ชั้ตมจัน, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ก้านกเค้านา, ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง และ ข้าวพันธุ์มะไฟดำ (ภาพประกอบที่ 1)



ภาพประกอบที่ 1 ลักษณะพันธุ์ข้าว 13 พันธุ์ (ก) ข้าวพันธุ์ชื่นก (ข) ข้าวพันธุ์ก้านกเค้านา (ค) ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง (ง) ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม (จ) ข้าวพันธุ์ตบเหมยดำ (ฉ) ข้าวพันธุ์อูมิด (ช) ข้าวพันธุ์ชั้ตมจัน (ช) ข้าวพันธุ์พื้นเมือง แก่นคู้ (ณ) ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3 (ญ) ข้าวพันธุ์ชั้ตมทางนาค (ฐ) ข้าวพันธุ์มะไฟดำ (ฒ) ข้าวพันธุ์กาบยาง1 (ณ) ข้าวพันธุ์หอมนายพล

ตารางที่ 1 รายชื่อข้าวพันธุ์และแหล่งที่มา

ลำดับที่	ข้าวพันธุ์	รหัส	ประเภทข้าว	ข้าว แหล่งที่มา
1	แม่ผึ้ง	S1	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
2	ข้าวแก่นเค้านา	S9	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
3	ขี้ตมทางนา	S20	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
4	แก่นคู่	S27	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
5	อิมัด	S29	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
6	มะไฟดำ	S30	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
7	ขี้ตมงัน	S32	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
8	ข้าวเหนียวดำ skn 3	S39	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
9	ขี้นก	S40	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
10	กาบย่าง	S41	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
11	มะยมนครพนม	S42	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
12	หอมนายพล	S43	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
13	ดัดเมยดำ	S83	Indica	ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร

3.2 ตัวอย่างข้าวสายพันธุ์ชุดควบคุมที่มียืนต้นทานโรคไหม้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้าวสายพันธุ์ชุดควบคุมที่มียืนต้นทานโรคไหม้

ลำดับที่	Designation	R gene
1	IRBL-1	<i>Pia</i>
2	IRBL-12	<i>Pita</i>
3	IRBL-22	<i>Pi9</i>
4	KDML 105	<i>Pi54, Pigm(t)</i>
5	Nipponbarae	Susceptible line
6	KDML 105	Thai Susceptible line

3.3 การสกัดดีเอ็นเอ

การสกัดดีเอ็นเอ (DNA Extraction) โดยนำใบข้าวพันธุ์ละ 0.5-1.0 กรัม ใส่ในโถงที่แช่เย็น แล้วเติมไนโตรเจนเหลวทันที บดใบข้าวให้ละเอียดจนกระทั่งไนโตรเจนเหลวระเหยหมด นำใบข้าวที่บดละเอียดมาใส่ในหลอดพลาสติก (Eppendorf tube) ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติม 2% CTAB extraction buffer ปริมาตร 600 ไมโครลิตร และ β -mercaptoethanol 2 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง พลิกหลอดไปมาเบา ๆ เป็นครั้งคราว ทั่งให้เย็น เติม Chloroform : Isoamyl alcohol (24:1) 500 ไมโครลิตร ผสมเบา ๆ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นดูดส่วนใสด้านบน ใส่ในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร และเติม Isopropanol เย็นปริมาณ เท่ากับสารละลายส่วนใสที่ดูดได้ (อัตรา 1:1) ผสมเบา ๆ ให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วดูดส่วนใสทิ้ง จากนั้นล้างตะกอนด้วย 70% ethanol ปริมาณ 500 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วเทส่วนใสทิ้ง ให้ล้างตะกอนรอบที่สองด้วย 70% ethanol ปริมาณ 500 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วเทส่วนใสทิ้ง และตากตะกอนดีเอ็นเอให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ทำการละลายตะกอนด้วยสารละลาย TE buffer ปริมาณ 30 ไมโครลิตร ให้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้งาน

3.4 การตรวจสอบคุณภาพและการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของดีเอ็นเอ

3.4.1 การตรวจสอบคุณภาพดีเอ็นเอโดยวิธีอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส (agarose gel electrophoresis) 2% โดยการเปรียบเทียบกับดีเอ็นเอมาตรฐานที่ทราบปริมาณแน่นอน ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 100 โวลต์ นานประมาณ 30 นาที ในสารละลาย 0.5xTBE buffer บันทึกภาพดีเอ็นเอภายใต้แสง UV spectrophotometer โดยใช้เครื่อง Gel Documentation System

3.4.2 การตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของดีเอ็นเอโดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง นำสารละลาย ดีเอ็นเอของข้าวสีพื้นเมืองของไทยที่สกัดแล้วดูด 1 ไมโครลิตร ผสมกับ TE buffer 1 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วย้ายใส่ Cuvette ชนิดที่ทำด้วย Quartz วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV Spectrophotometer) ประเมินคุณภาพดีเอ็นเอจากอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสง OD260/OD280 ซึ่งหากมีค่า OD260/OD280 อยู่ระหว่าง 1.80-2.00 แสดงว่าดีเอ็นเอนั้นมีความบริสุทธิ์ปราศจากการปนเปื้อนของอาร์เอ็นเอ หากอัตราส่วนดังกล่าวต่ำกว่า 1.80 แสดงว่ามีโปรตีนปนเปื้อนอยู่ แต่ถ้าอัตรา OD260/OD280 สูงกว่า 2.00 แสดงว่าดีเอ็นเอที่สกัดได้มีอาร์เอ็นเอปนเปื้อนอยู่

3.5 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีนต้านทานโรคไหม้ของข้าว

ข้าวสีพื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ได้มีการคัดเลือกยีนต้านทานโรคไหม้จำนวน 5 ยีน ได้แก่ *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm(t)* และ *Pi54* โดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอ

3.5.1 การตรวจสอบยีน *Pi9* จากข้าวสีพื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้ เครื่องหมายโมเลกุล pB8

การใช้เครื่องหมายโมเลกุล pB8 เพื่อวิเคราะห์การมียีนต้านทานโรคไหม้ในอัลลีล *Pi9* จาก พันธุ์ข้าวจำนวน 13 พันธุ์ โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอทั้งหมด 10 ไมโครลิตร ประกอบด้วย น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 6.3 ไมโครลิตร, 10X reaction buffer 1 ไมโครลิตร, dNTP 0.25 ไมโครลิตร, $MgCl_2$ 0.3 ไมโครลิตร, ไพรเมอร์เฉพาะยีนต้านทาน *Pi9* 0.5 ไมโครลิตร, Taq DNA polymerase 0.15 ไมโครลิตร (Platinum™ II Taq Hot-Start, บริษัท อีระเทรตติ้ง จำกัด) และ DNA ของตัวอย่างข้าว 1 ไมโครลิตร โดยมีการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอประกอบด้วยเริ่มต้น จาก Pre-denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที Denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส 30 วินาที Annealing *Pi9* 56 องศาเซลเซียส 30 วินาที Extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส 30 วินาที เป็นจำนวน 35 รอบ และ Final extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส 5 นาที นำ PCR product 5 ไมโครลิตร และ loading dye 1 ไมโครลิตร มาตรวจสอบผลโดยนำมาแยกขนาดใน 2% agarose gel electrophoresis ใน 0.5X TBE buffer ใช้ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที บันทึกภาพโดยใช้เครื่อง (Gel Documentation System)

3.5.2 การตรวจสอบยีน *Pia* จากข้าวสีพื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์

การใช้เครื่องหมายโมเลกุล เพื่อวิเคราะห์การมียีนต้านทานโรคไหม้ในอัลลีล *Pia* จากพันธุ์ข้าวจำนวน 13 พันธุ์ โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอทั้งหมด 10 ไมโครลิตร ประกอบด้วย น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 6.3 ไมโครลิตร, 10X reaction buffer 1 ไมโครลิตร, dNTP 0.25 ไมโครลิตร, $MgCl_2$ 0.3 ไมโครลิตร, ไพรเมอร์เฉพาะยีนต้านทาน *Pia* 0.5 ไมโครลิตร, Taq DNA polymerase 0.15 ไมโครลิตร และ DNA ของตัวอย่างข้าว 1 ไมโครลิตร โดยมีการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอประกอบด้วยเริ่มต้น จาก Pre-denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที annealing *Pia* 60 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที extension ที่ อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เป็นเวลา 35 รอบ และ Final extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ให้นำ PCR product 5 ไมโครลิตร และ loading dye 1 ไมโครลิตร มาตรวจสอบผลโดยนำมาแยกขนาดใน 2% agarose gel electrophoresis ใน 0.5X TBE buffer ใช้ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที บันทึกภาพโดยใช้เครื่อง (Gel Documentation System)

3.5.3 การตรวจสอบยีน *Pi-ta* จากข้าวสีพื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้ เครื่องหมายโมเลกุล YL155/YL87 การใช้เครื่องหมายโมเลกุล YL155/YL87

เพื่อวิเคราะห์การมียีนต้านทานโรคไหม้ในอัลลีล *Pi-ta* จากพันธุ์ข้าวจำนวน 13 พันธุ์ โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอทั้งหมด 10 ไมโครลิตร ประกอบด้วย น้ำกลั่น ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 6.3 ไมโครลิตร, 10X reaction buffer 1 ไมโครลิตร, dNTP 0.25 ไมโครลิตร, $MgCl_2$ 0.3 ไมโครลิตร, ไพรเมอร์เฉพาะยีนต้านทาน *Pi-ta* 0.5 ไมโครลิตร, Taq DNA

polymerase 0.15 ไมโครลิตร และ DNA ของตัวอย่างข้าว 1 ไมโครลิตร โดยมีการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอประกอบด้วย เริ่มต้นจาก Pre-denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที annealing Pi-ta58 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เป็นเวลา 35 รอบ และ Final extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ให้นำ PCR product 5 ไมโครลิตร และ loading dye 1 ไมโครลิตร มาตรวจสอบผลโดยนำมาแยกขนาดใน 2% agarose gel electrophoresis ใน 0.5X TBE buffer ใช้ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที บันทึกภาพโดยใช้เครื่อง (Gel Documentation System)

3.5.4 การตรวจสอบยีน Pigm(t) จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้ เครื่องหมายโมเลกุล S29747 การใช้เครื่องหมายโมเลกุล S29747

เพื่อวิเคราะห์การมียืนด้านทานโรคไหม้ในอัลลีล Pigm จาก พันธุ์ข้าวจำนวน 13 พันธุ์ โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอทั้งหมด 10 ไมโครลิตร ประกอบด้วย น้ำกลั่นที่ ผ่านการฆ่าเชื้อ 6.3 ไมโครลิตร, 10X reaction buffer 1 ไมโครลิตร, dNTP 0.25 ไมโครลิตร, MgCl₂ 0.3 ไมโครลิตร, ไพรมเมอร์เฉพาะยืนด้านทาน Pigm(t) 0.5 ไมโครลิตร, Taq DNA polymerase 0.15 ไมโครลิตร และ DNA ของตัวอย่างข้าว 1 ไมโครลิตร โดยมีการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอประกอบด้วย เริ่มต้นจาก Pre-denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที annealing Pigm(t) 56 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที extension ที่ อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เป็นเวลา 35 รอบ และ Final extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ให้นำ PCR product 5 ไมโครลิตร และ loading dye 1 ไมโครลิตร มาตรวจสอบผลโดยนำมาแยกขนาดใน 2% agarose gel electrophoresis ใน 0.5X TBE buffer ใช้ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที บันทึกภาพโดยใช้เครื่อง (Gel Documentation System)

3.5.5 การตรวจสอบยีน Pi54 จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้เครื่องหมาย โมเลกุล Pi54MAS การใช้เครื่องหมายโมเลกุล Pi54MAS

เพื่อวิเคราะห์การมียืนด้านทานโรคไหม้ในอัลลีล Pi54 จากพันธุ์ข้าวจำนวน 13 พันธุ์ โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอทั้งหมด 10 ไมโครลิตร ประกอบด้วย น้ำกลั่น 39.7 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 6.3 ไมโครลิตร, 10X reaction buffer 1 ไมโครลิตร, dNTP 0.25 ไมโครลิตร, MgCl₂ 0.3 ไมโครลิตร, ไพรมเมอร์เฉพาะยืนด้านทาน Pi54 0.5 ไมโครลิตร, Taq DNA polymerase 0.15 ไมโครลิตร และ DNA ของตัวอย่างข้าว 1 ไมโครลิตร โดยมีการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอประกอบด้วยเริ่มต้นจาก Pre-denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที annealing Pi54 56 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที extension ที่ อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เป็นเวลา 35 รอบ และ Final extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ให้นำ PCR product 5 ไมโครลิตร และ loading dye 1 ไมโครลิตร มาตรวจสอบผลโดยนำมาแยกขนาดใน 2 % agarose gel electrophoresis ใน 0.5X TBE buffer ใช้ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที บันทึกภาพโดยใช้เครื่อง (Gel Documentation System)

3.6 วิธีการหาคำขึ้นต้นให้บริสุทธิ์

ยืนด้านทานโรคไหม้ *Pi9*, *Pia*, *P-ta*, *Pigm(t)* และ *Pi54* ที่เพิ่มจำนวนได้จากเทคนิค PCR นำมา แยกให้บริสุทธิ์ด้วยชุด GF-1 AmbiClean Kit (Vivantis Technologies Sdn. Bhd., Malaysia) ที่มีขั้นตอนดังนี้

3.6.1 นำดีเอ็นเอที่มีการเพิ่มปริมาณด้วย PCR เพื่อยืนยันแถบดีเอ็นเอใน agarose gel electrophoresis ว่าแถบดีเอ็นเอที่ต้องการส่ง sequence ขึ้นไม่ แล้วให้นำ PCR Product มาทำการ แยกชิ้นดีเอ็นเอให้บริสุทธิ์

3.6.2 ตูด PCR Product 10 ไมโครลิตร ใส่ใน column จากนั้นเติม น้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อลงไป นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที 1 นาที เทน้ำที่อยู่ในส่วนล่างของ column ทิ้ง

3.6.3 เติม 650 ไมโครลิตร ของ Wash Buffer ลงใน column

3.6.4 นำ Column ไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที 1 นาทีเทน้ำที่อยู่ในส่วนล่างของ column ทิ้ง

3.6.5 นำ Column ไปปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที 1 นาที (ครั้งที่ 2)

3.6.6 ย้าย Column ด้านบนใส่ในหลอด Microtube ใหม่ เติม 30 ไมโครลิตร ของ Elution Buffer ลงใน Column บ่มไว้ 5 นาที

3.6.7 นำไปปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที 1 นาทีได้การชะล้างครั้งที่ 1 (Elute 1) ต่อด้วยการชะล้างครั้งที่ 2 (Elute 2)

3.6.8 นำ Column ที่อยู่ด้านบนของหลอด Microtube ทั้งแล้วปิดฝาหลอด

3.6.9 วิเคราะห์ดีเอ็นเอที่ได้จากการแยกบริสุทธิ์ (ได้จากการชะล้างครั้งที่ 1 และ 2) ด้วยการตรวจสอบดีเอ็นเอที่ 1% agarose gel electrophoresis

3.7 การวิเคราะห์ลำดับเบสตัวอย่างข้าว และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์

สิ่งปนเปื้อนใน PCR product ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ DNA template, Taq polymerase, dNTP, Primer และ $MgCl_2$ จะถูกกำจัดเพื่อให้ได้ PCR product ที่บริสุทธิ์ (Purification) ด้วย GF-1 AmbiClean Kit (Vivantis Technologies Sdn. Bhd., Malaysia) หลังจากการทำให้บริสุทธิ์ PCR Product และส่งหาลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธีxxxxx โดยบริษัท Macrogen Inc. (Korea) เพื่อยืนยันยืนยันตำแหน่งว่ามีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่สอดคล้องกับลำดับนิวคลีโอไทด์จากฐานข้อมูล GenBank กับโปรแกรม MAFFT V7.380

3.8 วิธีการวิเคราะห์ลำดับเบส

ตัวอย่างข้าว 3.8.1 โดยนำลำดับเบส ของตัวอย่างข้าว มาตรวจสอบโดยใช้โปรแกรม Chromatogram เพื่อดูลำดับเบส ที่ซ้อนกัน ใน ของตัวอย่างข้าว

3.8.2 จากนั้นให้ตัดลำดับเบส ของตัวอย่างข้าว โดยเลือกเอาลำดับเบส ในช่วงที่ดี ที่สุด โดยการตัดหัวท้ายลำดับเบสของตัวอย่างข้าวข้างละ 20 เบส โดยใช้โปรแกรม Chromatogram

3.8.3 จากนั้นนำลำดับเบสของตัวอย่างข้าว ที่มีทั้งเส้น Forward และ Reverse มารวมกัน (Assembly) ให้เป็นเส้นเดียวกัน โดยใช้โปรแกรม Cap3 assembly sequence

3.8.4 จากนั้นให้ดาวโหลดข้อมูล Sequence primer จากฐานข้อมูล National Center for Biotechnology (NCBI) ของยีนที่เพิ่มจำนวนได้ (Amplify) โดยใช้โปรแกรม Primer blast

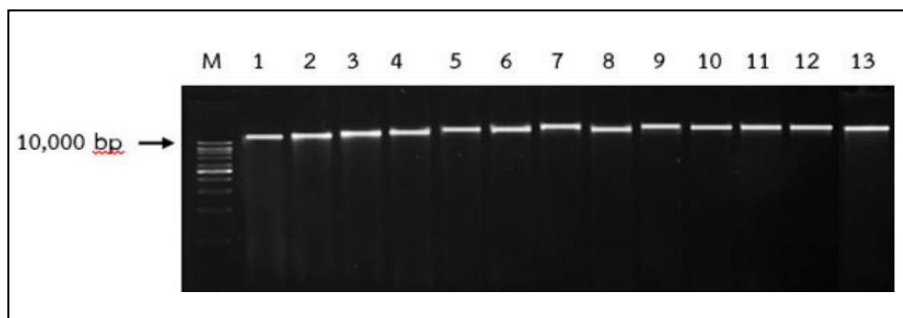
3.8.5 จากนั้นนำลำดับเบสของตัวอย่างข้าว และ sequence primer จากฐานข้อมูล มาเปรียบเทียบกับโดยนำข้อมูลมาเขียนในรูปแบบ FASTA format

3.8.6 นำลำดับเบสของตัวอย่างข้าว และ sequence primer จากฐานข้อมูล ทำการ alignment เพื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของ sequence ตัวอย่างข้าว และ sequence primer โดยใช้โปรแกรม Clustal omega

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การรวบรวมข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย เก็บรวบรวมข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ ในจังหวัดสกลนคร จำนวน 13 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขี้เหล็ก, ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม, ข้าวพันธุ์ขี้ตมทางนา, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู่”, ข้าวพันธุ์หอมนายพล, ข้าวพันธุ์ดงหมอยดำ, ข้าวพันธุ์กาบยาง1, ข้าวพันธุ์อูมิด, ข้าวพันธุ์ขี้ตมเงิน, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ก้านกเค้านา, ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง และข้าวพันธุ์มะไฟดำ

2. ผลการสกัดดีเอ็นเอ ทำการสกัดดีเอ็นเอในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้วิธี CTAB extraction procedure พบว่า ผลการทำอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส แสดงแถบดีเอ็นเอ ที่มีขนาดมากกว่า 10,000 bp ในข้าว 13 พันธุ์ (ภาพประกอบที่ 2)



ภาพประกอบที่ 2 Agarose gel ตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ 1=ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, 2=ข้าวก้านกเค้านา, 3=ข้าวมหานาค, 4=ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู้”, 5=ข้าวพันธุ์อิมัด, 6=ข้าวพันธุ์มะไฟดำ, 7=ข้าวพันธุ์ขี้ตมจัน, 8=ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn3, 9=ข้าวพันธุ์ขี้เหล็ก, 10=ข้าวพันธุ์กาบยาง1, 11=ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม, 12=ข้าวพันธุ์หอมนายพล, 13=ข้าวพันธุ์ตบเหมยดำ

ผลการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นจากค่าอัตราการดูดกลืนแสง OD260/OD280 ซึ่งหากมี ค่า D260/OD280 อยู่ระหว่าง 1.80 – 2.00 ถือว่าดีเอ็นเอที่มีความบริสุทธิ์ปราศจากการปนเปื้อน ถ้าอัตราการดูดกลืนแสงมีค่า OD260 ต่ำกว่า 1.80 แสดงว่ามีโปรตีนปนเปื้อนอยู่ แต่ถ้าอัตราการดูดกลืนแสงมีค่า OD280 สูงกว่า 2.00 แสดงว่ามีการปนเปื้อนของอาร์เอ็นเอ (ตารางที่ 9)

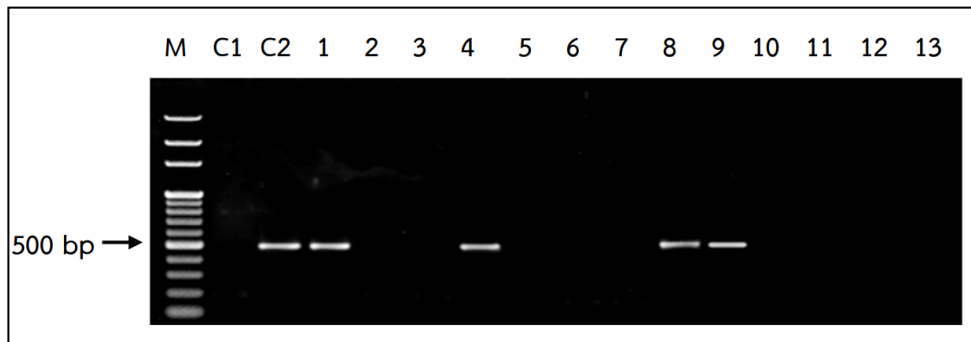
ตารางที่ 3 การประเมินคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอด้วยเครื่อง Spectrophotometry

ข้าวพันธุ์	ปริมาณความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าอัตราการดูดกลืนแสง OD260/280
แม่ผึ้ง	1728.4	1.85
ข้าวก้านกเค้านา	836.0	1.87
ข้าวมหานาค	404.1	2.00
แก่นคู้	711.7	1.96
อิมัด	275.1	2.00
มะไฟดำ	245.1	2.00
ขี้ตมจัน	547.3	1.85
ข้าวเหนียวดำ skn 3	456.0	1.94
ขี้เหล็ก	234.4	2.01
กาบยาง1	978.3	1.90
มะยมนครพนม	310.7	1.95
หอมนายพล	420.3	1.90
ตบเหมยดำ	683.7	1.97

3. ผลการตรวจสอบยีนต้านทานโรคไหม้ จำนวน 5 ยีน จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล และลำดับนิวคลีโอไทด์

3.1 ผลการตรวจสอบยีน *Pi9* จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้ เครื่องหมายโมเลกุล pB8 ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pi9* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ pB8

ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 500 bp ในข้าว 4 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู้”, ข้าวเหนียวดำ skn 3 และข้าวพันธุ์ซันก ซึ่งตรงกับ IRBL22 ที่ใช้เป็น Positive control คิดเป็น 30.80 เปอร์เซ็นต์จากข้าวทั้งหมด (ภาพประกอบที่ 3)



ภาพประกอบที่ 3 ตัวอย่าง PCR Product ที่เฉพาะเจาะจงของยีน *Pi9* ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย

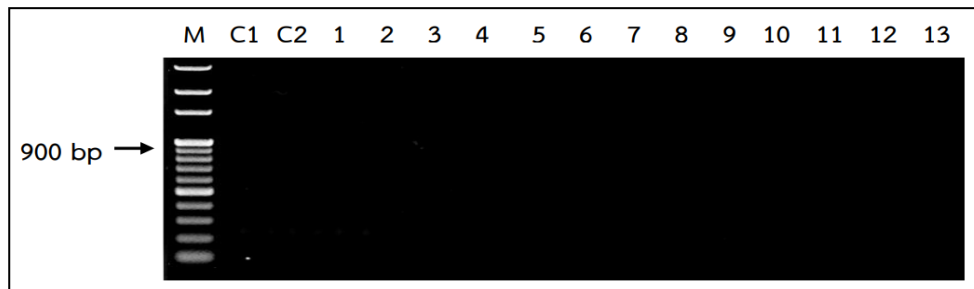
M	VC 100 bp Plus DNA Ladder
C1	Nipponbarae (Negative control)
C2	IRBL22 และยีน <i>Pi9</i> (Positive control)
1,4,8,9	ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pi9</i>
2,3,6,7,8,10,11,12,13	ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ไม่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pi9</i>

จากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือกกลุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *Pi9* - pB8 และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย มีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 99.70 เปอร์เซ็นต์ในกลุ่มข้าว DQ285630.1[*Oryza sativa* (indicacultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pi9*) gene, complete cds)] (ภาพประกอบที่ 4)

DQ285630.1 MeaPung	GGCGTTGTTTGTAGTTTGGAGAGGGTCATTATGGAGGATGCCATCAGGAAGCCCAACACC GGCGTTGTTTGTAGTTTGGAGAGGGTCATTATGGAGGATGCCATCAGGAAGCCCAACACC *****
DQ285630.1 MeaPung	GACGGTGTGAGTAACCTTTGGGTTTAGTGGAAATCCGGCAAAATCTTGCAAGGTGATTAG GACGGTGTGAGTAACCTTTGGGTTTAGTGGAAATCCGGCAAAATCTTGCAAGGTGATTAG *****
DQ285630.1 MeaPung	TGAGTGAAGCCATTTTCAGTTGGTGCTTTTCTTTGATTATCTGATTTTTAACAGATTTTC TGAGTGAAGCCATTTTCAGTTGGTGCTTTTCTTTGATTATCTGATTTTTAACAGATTTTC *****
DQ285630.1 MeaPung	TTTGTTCAGCATAAGATAGCAGATGACATGAAGTGTGGTATGGGTCATGGGGGAAACA TTTGTTCAGCATAAGATAGCAGATGACATGAAGTGTGGTATGGGTCATGGGGGAAACA *****
DQ285630.1 MeaPung	GTGCTCAGCATTGCGTCGTCCTCAACTGCCACAAATGACATGAGCTTGCTGCTGGGAGTGCA GTGCTCAGCATTGCGTCGTCCTCAACTGCCACAAATGACATGAGCTTGCTGCTGGGAGTGCA *****
DQ285630.1 MeaPung	GGAGACATGGTAAGCATCTAGCTCCACATAATAAGATTTTCCTTTTCATAACTGTGCCT GGAGACATGGTAAGCATCTAGCTCCACATAATAAGATTTTCCTTTTCATAACTGTGCCT *****
DQ285630.1 MeaPung	AGATTTATTGGAACCATGCACAGTTGTTATG AGATTCATTTGGAACCATGCACAGTTGTTATG *****

ภาพประกอบที่ 4 การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ จากฐานข้อมูล GenBank ระหว่าง ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง กับ ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *Pi9*; DQ285630.1 (*Oryza sativa*, Indica cultivar-group) ตามลำดับ

3.2 ผลตรวจสอบยีน *Pia* จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย จำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้ เครื่องหมายโมเลกุล xxx ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pia* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมือง ของไทยจำนวน 13 พันธุ์ไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 906 bp และแถบดีเอ็นเอ IRBL1 ซึ่งตรงกับ Positive control จากข้าวทั้งหมด (ภาพประกอบที่ 6)

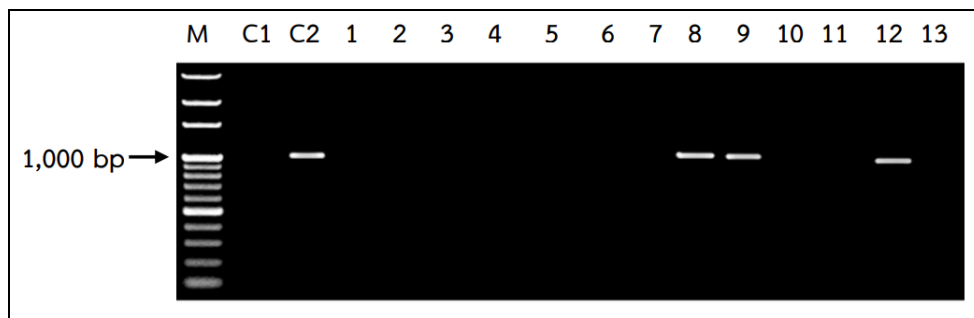


ภาพประกอบที่ 5 ตัวอย่าง PCR Product ที่เฉพาะเจาะจงของยีน *Pia* ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย

M	VC 100 bp Plus DNA Ladder
C1	ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Negative control)
C2	IRBL1 และยีน <i>Pia</i> (Positive control)
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ไม่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pia</i>

3.3 ผลการตรวจสอบยีน *Pi-ta* จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้ ไพรมเมอร์เฉพาะเจาะจงของยีน *Pi-ta*

ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pi-ta* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ YL155/YL87 ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 1,024 bp ในข้าว 3 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ขึ้นก และข้าวพันธุ์หอมนายพล ซึ่งตรงกับ IRBL12 ที่ใช้เป็น Positive control คิดเป็น 23.07 เปอร์เซ็นต์จากข้าวทั้งหมด (ภาพประกอบที่ 7)



ภาพประกอบที่ 6 ตัวอย่าง PCR Product ที่เฉพาะเจาะจงของยีน *Pi-ta* ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย

M	VC 100 bp Plus DNA Ladder
C1	ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Negative control)
C2	IRBL12 และยีน <i>Pi-ta</i> (Positive control)
8,9,12	ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pi-ta</i>
1,2,3,4,5,6,7,10,11,12,13	ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ไม่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pi-ta</i>

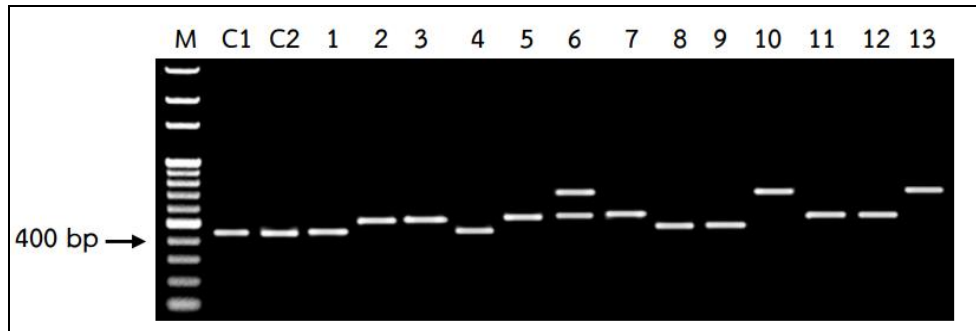
จากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือกสุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์หอมนายพล ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *Pi-ta*-YL155/YL87 และวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม Pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย มีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มข้าว AF207842.1 [*Oryza sativa* (indica cultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pi-ta*) gene, complete cds] (ภาพประกอบที่ 8)

AF207842.1 Hormnaipon	GTGTGTATGACAGGTAGGACCAAGTATTAATAGTATAGTAAGCAACTATTGTATGAATTG GTGTGTATGACAGGTAGGACCAAGTATTAATAGTATAGTAAGCAACTATTGTATGAATTG *****
AF207842.1 Hormnaipon	GCTATTTGGCTCTAGATGATTTGGAGCTAGTAGTCGGCTATACTATTTAACTTGCTCTTA GCTATTTGGCTCTAGATGATTTGGAGCTAGTAGTCGGCTATACTATTTAACTTGCTCTTA *****
AF207842.1 Hormnaipon	GATATGTGGTTAAATTTAATTTCTGAAATTACAAGATATAGAACATGTCTTCACCATGT GATATGTGGTTAAATTTAATTTCTGAAATTACAAGATATAGAACATGTCTTCACCATGT *****
AF207842.1 Hormnaipon	TTGCAAAGTTGATAAAATGAAATTGCACTCAACTTTTAAATTGAGCATGCTATCCACAG TTGCAAAGTTGATAAAATGAAATTGCACTCAACTTTTAAATTGAGCATGCTATCCACAG *****
AF207842.1 Hormnaipon	TATAGCTTTTAAATATGATTTATTTTTCGTACATTAGAAGTTAATGTTTACGAAGTA TATAGCTTTTAAATATGATTTATTTTTCGTACATTAGAAGTTAATGTTTACGAAGTA *****
AF207842.1 Hormnaipon	CTAAATGTTCTGCAGGTACTTCATCATAATTGAAGATTATGGGCTTCATCAATGTGGGA CTAAATGTTCTGCAGGTACTTCATCATAATTGAAGATTATGGGCTTCATCAATGTGGGA *****
AF207842.1 Hormnaipon	TATTGTTAGCCGTGGTTTGCCTGATAATAATAGTTGCAGTAGAATACTAATAACAACAGA TATTGTTAGCCGTGGTTTGCCTGATAATAATAGTTGCAGTAGAATACTAATAACAACAGA *****
AF207842.1 Hormnaipon	AATTGAACCTGTAGCTTTGGCATGCTGTGGATATAACTCAGAGCACATTATTAAGATTGA AATTGAACCTGTAGCTTTGGCATGCTGTGGATATAACTCAGAGCACATTATTAAGATTGA *****
AF207842.1 Hormnaipon	TCCACTGGGTGATGATGCTCAAGTCAATTGTTTTTCAGTGGAGTTGTTGGCCAAGGAAA TCCACTGGGTGATGATGCTCAAGTCAATTGTTTTTCAGTGGAGTTGTTGGCCAAGGAAA *****
AF207842.1 Hormnaipon	TGAATTTCTCTGGACATCTTACTG TGAATTTCTCTGGACATCTTACTG *****

ภาพประกอบที่ 7 การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ จากฐานข้อมูล GenBank ระหว่าง ข้าวพันธุ์ หอมนายพล กับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *Pi-ta*; AF207842.1 (*Oryza sativa*, Indica cultivar group) ตามลำดับ

3.4 ผลการตรวจสอบยีน *Pigm(t)* จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล S29747 เฉพาะเจาะจงของยีน *Pigm(t)*

ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pigm(t)* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ S29747 ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 450 bp ในข้าว 4 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู่”, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3 และข้าวพันธุ์ซิ่นกิด คิดเป็น 30.70 เปอร์เซ็นต์จากข้าวทั้งหมด (ภาพประกอบที่ 9)



ภาพประกอบที่ 8 ตัวอย่าง PCR Product ที่เฉพาะเจาะจงของยีน *Pigm(t)* ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย

M	VC 100 bp Plus DNA Ladder
C1	ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Positive control)
C2	ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Positive control)
1,4,8,9	ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pigm(t)</i>
2,3,5,6,7,10,11,12,13	ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ไม่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pigm(t)</i>

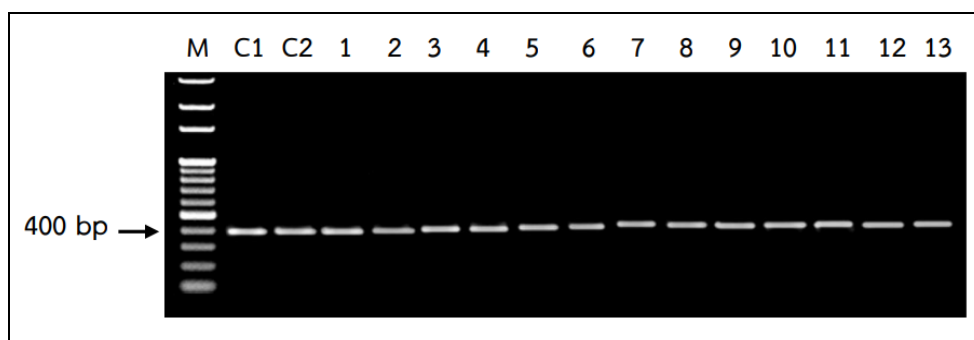
จากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือกสุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู่” ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *Pigm(t)* - S29747 และวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย มีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 99.20 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มข้าว AP014962.1 [(*Oryza sativa* (indica cultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pigm*) gene, complete cds)] (ภาพประกอบที่ 10)

AP014962.1 Ganku	ATGATATGATGATAAGCTTAATTCTCTCTCTGCTCAGACTGTTTCAGTGCAAAAGGTACC ATGATATGATGATAAGCTTAATTCTCTCTCTGCTCAGACTGTTTCAGGGCAAAACTACC *****
AP014962.1 Ganku	AACG--AGCTTGTCTCCTTGTGCGGTCGTGAGCTTGCTTGTGCTAAGCTTGAAGGGAGAG AACGAGAGCTTGTCTCCTTGTGCGGTCGTGAGCTTGCTTGTGCTAAGCTTGAAGGGAGAG ****
AP014962.1 Ganku	TCGAACGAATCCATGGCGGAGACGGTGCTGAGCATGGCGAGGTCGCTGGTGGGCAGTGCC TCGAACGAATCCATGGCGGAGACGGTGCTGAGCATGGCGAGGTCGCTGGTGGGCAGTGCC *****
AP014962.1 Ganku	ATCAGCAAGGCCGCTCTGCCGCTGCCAATGAGACGAGCCTCCTGCTCGGCGTCGAGAAG ATCAGCAAGGCCGCTCTGCCGCTGCCAATGAGACGAGCCTCCTGCTCGGCGTCGAGAAG *****
AP014962.1 Ganku	GACATCTGGTACGTACTGCACTGCTCTCGTTTATCCTAGCAAGTTCTTAGGCTCTTAATC GACATCTGGTACGTACTGCACTGCTCTCGTTTATCCTAGCAAGTTCTTAGGCTCTTAATC *****
AP014962.1 Ganku	TCGAAATTGAGGAACACCATGAAACACTAAAAGAGAGCTCGAAGACTAGGAAAGAAACT TCGAAATTGAGGAACACCATGAAACACTAAAAGAGAGCTCGAAGACTAGGAAAGAAACT *****
AP014962.1 Ganku	AGAAGACTAAGCTTTGAAAGTCTTCTAAATCCAAGCATCTCGACATTGAT AGAAGACTAAGCTTTGAAAGTCTTCTAAATCCAAGCATCTCGACATTGAT *****

ภาพประกอบที่ 9 การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ จากฐานข้อมูล GenBank ระหว่าง ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู่” กับ ลำดับ นิวคลีโอไทด์ของยีน *Pigm(t)*; AP014962.1 (*Oryza sativa*, Indica cultivar group) ตามลำดับ

3.5 ผลการตรวจสอบยีน *Pi54* จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ โดยใช้ เครื่องหมายโมเลกุล *Pi54MAS* เฉพาะเจาะจงของยีน *Pi54*

ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pi54* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ *Pi54MAS* ใน ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 400 bp ในข้าว 13 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวพันธุ์ก้านเคียนา, ข้าวพันธุ์ขี้ตมหางนา, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู่”, ข้าวพันธุ์อูมิด, ข้าวพันธุ์มะไฟดำ, ข้าวพันธุ์ขี้ตมงัน, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ขี้นก, ข้าวพันธุ์กาบยาง1, ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม, ข้าวพันธุ์หอมนายพล และข้าวพันธุ์ดัมหมยดำ คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์จากข้าวทั้งหมด (ภาพประกอบที่ 11)



ภาพประกอบที่ 10 ตัวอย่าง PCR Product ที่เฉพาะเจาะจงของยีน *Pi54* ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย

- | | |
|-------------------------------|---|
| M | VC 100 bp Plus DNA Ladder |
| C1 | ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Positive control) |
| C2 | ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Positive control) |
| 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 | ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่แสดงยีนต้านทานโรคไหม้ <i>Pi54</i> |

จากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือกสุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์มะไฟดำ ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล Pi54 - Pi54MAS และวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย มีเปอร์เซ็นต์ ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 98.80 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มข้าว AY914077.1 [(*Oryza sativa* (indica cultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pi54*) gene, complete cds)] (ภาพประกอบที่ 11)

AY914077.1 Ma-Fidam	GGCACTGGCTAGGTTGGAGGGTTTCAAGTACTTCATGATCTATTCTACTGGCATTTCAG GGCACTGGTTAGGTTGGAGGGTTTCAAGTACTTCATGATCTATTCTACTGGCATTTCAG *****
AY914077.1 Ma-Fidam	CATCCATATTCACCTCAACATCAATGTCTCGAGCTTTTCTTTCTCTTGAAGTTTGGCA CATCCATATTCACCTCAACATCAATGTCTCGAGCTTTTCTTTCTCTTGAAGTTTGGCA *****
AY914077.1 Ma-Fidam	TTCTTGATCTTCAGTGTCTGAAACCTTTTCAAGGTTCACTAGTGATAGTCTAT TTCTTGATCTTCAGTGTCTGAAACCTTTTCAAGGTTCACTAGTGATAGTCTAT *****

ภาพประกอบที่ 11 การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ จากฐานข้อมูล GenBank ระหว่าง ข้าวพันธุ์มะไฟดำ กับ ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ ยีน *Pi54*; AY914077.1 (*Oryza sativa*, Indica cultivar-group) ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากการตรวจสอบยีนต้านทานโรคไหม้จำนวน 5 ยีน *Pi9*, *Pia*, *Pita*, *Pigm(t)* และ *Pi54* ด้วย เครื่องหมายโมเลกุล ที่จำเพาะ จำนวน 5 เครื่องหมาย pB8, *Pia*, YL155/YL87, S29747 และ Pi54MAS กับยีนต้านทานโรคไหม้และวิเคราะห์ ลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล โดยใช้โปรแกรม Pairwise sequences ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของ ไทยที่ทำการเลือกสุ่มจากข้าวทั้งหมด 13 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวหอมนายพล, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคูล” และข้าวพันธุ์ มะไฟดำ

1. ผลการตรวจสอบเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะจำนวน 5 เครื่องหมาย pB8, *Pia*, YL155/YL87, S29747 และ Pi54MAS ของยีนต้านทานโรคไหม้จำนวน 5 ยีน *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm(t)* และ *Pi54* พบ 4 เครื่องหมายที่จำเพาะกับยีน ต้านทานโรคไหม้คือ pB8, YL155/YL87, S29747 และ Pi54MAS ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือกสุ่มจากข้าว ทั้งหมด 13 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวหอมนายพล, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคูล” และข้าวพันธุ์มะไฟดำ คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pi9* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ pB8 ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 500 bp ในข้าว 4 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคูล”, ข้าวพันธุ์ฮิมิต และข้าวพันธุ์ซันก คิดเป็น 30.80 เปอร์เซ็นต์จากข้าวทั้งหมด และผลจากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการ เลือกสุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *Pi9* - pB8 และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย มีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 99.70 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มข้าว DQ285630.1 [(*Oryza sativa*(indica cultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pi9*) gene, complete cds)]

3. ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pia* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 906 bp จากข้าวทั้งหมด

4. ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pi-ta* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ YL155/YL87 ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของ ไทยจำนวน 13 พันธุ์ ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 1024 bp ในข้าว 3 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ซันก และ ข้าวพันธุ์หอมนายพล คิดเป็น 23.07 เปอร์เซ็นต์ จากข้าวทั้งหมด และผลจากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการ เลือกสุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์หอมนายพล ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *Pi-ta* - YL155/YL87 และ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย มีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับ

ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มข้าว AF207842.1 [(*Oryza sativa* (indica cultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pi-ta*) gene, complete cds)]

5. ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pigm(t)* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ S29747 ใน ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 450 bp ในข้าว 4 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู้”, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3 และข้าวพันธุ์ขี้นก คิดเป็น 30.70 เปอร์เซ็นต์จากข้าวทั้งหมด และผลจากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการ เลือกสุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “ แก่นคู้” ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *Pigm(t)* - S29747 และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทย มีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 99.20 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มข้าว AP014962.1 [(*Oryza sativa* (indica cultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pigm(t)*) gene, complete cds)]

6. ผลการตรวจสอบยีนต้านทาน *Pi54* ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะ Pi54MAS ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ ปรากฏแถบดีเอ็นเอขนาด 400 bp ในข้าว 13 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวพันธุ์ก้านเคียนา, ข้าวพันธุ์ขี้ตมทางนา, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู้”, ข้าวพันธุ์อิมิด, ข้าวพันธุ์มะไฟดำ, ข้าวพันธุ์ขี้ตมกัน, ข้าวพันธุ์เหนียวดำ skn 3, ข้าวพันธุ์ขี้นก, ข้าวพันธุ์กาบยาง1, ข้าวพันธุ์มะยมนครพนม, ข้าวพันธุ์หอมนายพล และข้าวพันธุ์ดัมเมย์ดำ คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์จากข้าวทั้งหมด และผลจากการส่งตัวอย่างข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือก สุ่มจำนวน 1 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์มะไฟดำ ที่เพิ่มปริมาณด้วยเครื่องหมายโมเลกุล Pi54 - Pi54MAS และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม pairwise sequences พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของ ไทย มีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ คิดเป็น 98.80 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มข้าว AY914077.1 [(*Oryza sativa* (indica cultivar-group) NBS-LRR disease resistance (*Pi54*) gene, complete cds)]

การศึกษาความคล้ายคลึงกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ในยีนต้านทานโรคไหม้ *Pi-d2*, *Pi-z*, *Piz-t*, *Pi-9*, *Pi-36*, *Pi-37*, *Pi5*, *Pi-b*, *Pik-p*, *Pik-h* และ *Pi-ta2* ในกลุ่มข้าวของจีน 36 พันธุ์ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันในช่วง 9.4 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ มีศึกษาต้านทาน *Pita2* และ *Pita* ในข้าวสายพันธุ์ทดลอง (experimental lines) IRBL ta2-Re และ IRBL ta-CP1 โดยทดสอบกับเชื้อราสาเหตุโรคไหม้จำนวน 196 ไอโซเลทที่ เก็บรวบรวมจากประเทศจีน พบว่า ข้าว IRBL ta2-Re แสดงความต้านทานได้กว้างกว่า พันธุ์ IRBL ta-CP1 แล้วนำข้าว IRBL ta2-Re มาผสมกับข้าวพันธุ์ CO 39 เพื่อสร้างแผนที่พันธุกรรมในประชากร รุ่น F2 ซึ่งพบว่า ข้าว IRBL ta2-Re ยังมียีนต้านทาน *Pita3(t)* ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ห่างจาก ยีน *Pita* ประมาณ 500 กิโลเบสอีกด้วย และอิงฮอน สีแก้วและคณะ (2553) ทำการศึกษาข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทย จากภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 69 พันธุ์ โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลจำเพาะกับยีนต้านทานโรคไหม้ *Pi-d2* พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 39 พันธุ์ มีความคล้ายคลึงกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ในยีนต้านทานโรคไหม้ *Pi-d2* คิดเป็น 56.52 เปอร์เซ็นต์

อภิปรายผล

1. จากการตรวจสอบเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะจำนวน 5 เครื่องหมาย pB8, *Pia*, YL155/YL87, S29747, Pi54MAS ของยีนต้านทานโรคไหม้จำนวน 5 ยีน *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm* และ *Pi54* พบ 4 เครื่องหมายที่จำเพาะกับยีนต้านทานโรคไหม้ ในข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของเครื่องหมายทั้งหมด และผลการตรวจสอบยีนต้านทานโรคไหม้ จำนวน 5 ยีน *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm* และ *Pi54* จากข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 13 พันธุ์ พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ของข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่ทำการเลือกสุ่มจากข้าวทั้งหมด 13 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์แม่ผึ้ง, ข้าวหอมนายพล, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง “แก่นคู้” และ ข้าวพันธุ์มะไฟดำ มีเปอร์เซ็นต์ ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ จากฐานข้อมูล GenBank โดยรวมอยู่ในช่วง 98.80 - 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนต้านทานโรคไหม้ของข้าว 10 พันธุ์ ในยีน *Pi9*, *Piz-t*, *Pi2*, *Pigm(t)*, *Pid2*, *Pia*, *Pik*, *Pi54* และ *Pita* คิดเป็น 8.6 ถึง 53.4 เปอร์เซ็นต์และมีรายงานการศึกษาความคล้ายคลึงกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ในยีนต้านทานโรคไหม้ในกลุ่มข้าวพันธุ์ที่มีกลิ่นหอม พันธุ์ข้าวที่ยีนต้านทานโรคไหม้ *Piz*, *Piz-t*, *Pik*, *Pik-m*, *Pik-p* และ *Pit* คิดเป็น 30 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 206 พันธุ์ มีข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทยจำนวน 146 พันธุ์ มีลำดับนิวคลีโอไทด์ในยีนต้านทานโรคไหม้ *Pi37* คิดเป็น 70.87 เปอร์เซ็นต์ของข้าวที่ทดสอบทั้งหมด

2. พันธุ์ข้าวที่ยีนต้านทานโรคไหม้ *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm(t)* และ *Pi54* ถือเป็นแหล่ง พันธุกรรมที่สำคัญ ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ต้านทานต่อโรคไหม้ในประเทศไทย โดยใช้เครื่องหมาย โมเลกุลที่จำเพาะกับยีนดังกล่าวมาช่วย ในการคัดเลือก Marker-assisted selection (MAS) นั้นควร คำนึงว่ายีนดังกล่าวสามารถต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคไหม้ ได้แบบกว้าง (Broad spectrum resistance) หรือแบบจำเพาะเจาะจงกับเชื้อสาเหตุ ปัจจุบันมีการผนวกรวมยีนต้านทานโรคไหม้ หลายๆ ยีนมาไว้ในข้าว (Gene pyramiding) เพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวที่สามารถต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคไหม้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงควรมีการอนุรักษ์พันธุกรรมของข้าวสีพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่มียีนต้านทานโรคไหม้ *Pi9*, *Pia*, *Pi-ta*, *Pigm(t)* และ *Pi54* เหล่านี้เอาไว้ เพื่อใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ดำเนิน กาละดี, ศันสนีย์ จำจด และพันทิพา พงษ์เพียงจันทร์. (2544). พันธุศาสตร์การปรับปรุงพันธุ์และโภชนาศาสตร์เกษตร ของข้าวเหนียวดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ชัชวาล จันทราสุริยารัตน์ และสุริพร เกตุงาม. (2552). โรคไหม้ในข้าวและสถานการณ์ปัจจุบันของงานวิจัยด้านยีนต้านทานโรคไหม้ ในข้าว. แก่นเกษตร, 37, 67-78 น
- ชัชวาล ศุภจิตรา. (2553). การศึกษาลักษณะสมบัติของยีนชนิดใหม่ที่ตอบสนองต่อความเค็มในข้าว (*Oryza sativa* L.) กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรินทร์ ปิยะโชคนากุล. (2552). เครื่องหมายดีเอ็นเอจากพื้นฐานสู่การประยุกต์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 269.
- อิงออน สีแก้ว, ชัชวาล จันทราสุริยารัตน์ และสุริพร เกตุงาม. (2553). การค้นหายีนต้านทานโรคไหม้ ในข้าว (*Pi-d2*) ของข้าว พันธุ์พื้นเมืองในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทยด้วยเครื่องหมายดีเอ็นเอ, KRU Res. J. 15(2): 123-131.
- Deng, Y., Zhu, X., Shen, Y. & He, Z. (2006). Genetic characterization and fine mapping of the Chinese variety. Theor Appl Genet. 113(4), 705-713.
- Dagang, Tian., Xinrui, Guo., Zhujian, Zhang., Mo, Wang. & Feng, Wang. (2019). Improving blast resistance of the rice restorer line, Hui 316, by 1195-1203. introducing *Pi9* or *Pi2* with marker-assisted selection, Biotechnology & Biotechnological Equipment, 33:1,

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำลูกสำรองผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท

Development of Malva Nut Instant Powder by Foam-mat Drying method

จิตตะวัน กุโบล^{1*}, นพพร ยึดรัมย์¹ และ แสงทิพย์ ตูลานนท์¹

Jittawan Kubola^{1*}, Nopporn Yuedram and Sangthip Tulanon¹

Received: 18 ธ.ค. 2564

Revised: 23 ธ.ค. 2564

Accepted: 27 ธ.ค. 2564

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปจากน้ำลูกสำรอง และเพื่อศึกษาผลของสารก่อเกิดโฟมที่มีต่อคุณภาพของเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปโดยวิธีการอบแห้งแบบโฟมเมท โดยใช้สารก่อเกิดโฟม 2 ชนิด คือ Carboxymethyl Cellulose (CMC) และ สารเมโธเซล (Methocel 65 HG) ที่ระดับความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟม 3 ระดับ คือร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5 นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผลศึกษาพบว่า สารเมโธเซลมีประสิทธิภาพการเกิดโฟมและทำให้โฟมมีความคงตัวได้ดีกว่าสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และปริมาณสารละลายเมโธเซลความเข้มข้น ร้อยละ 1 เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดังนี้ ปริมาณความชื้นร้อยละ 3.42, aw เท่ากับ 0.38 ความสามารถในการละลาย 6 นาที, ค่าสี L^* , a^* , b^* ของเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปเท่ากับ 81.75, 2.67 และ 10.68 มีค่าสีหลังการทำละลายเท่ากับ 54.32, 6.46 และ 29.15 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ลูกสำรอง, เครื่องดื่มผงสำเร็จรูป, การทำแห้งแบบโฟมเมท, สารก่อเกิดโฟม

Abstract

Objectives of this research Study on the production of instant beverage powder from reserve juice and to study the effect of foaming agent on the quality of instant powdered juice drink by foam-mat drying method. Two types of foaming agents were used carboxymethyl cellulose (CMC) และ Methocel 65 HG at three concentrations of 0.5, 1 and 1.5 percent. They were dried in a hot air dryer at 70 °C. The results showed that Methocel 65 HG has better foaming efficiency and foam stability than CMC. The concentration of 1% is the most suitable concentration in the production of instant powdered juice drinks with the following qualities: Moisture content 3.42%, aw 0.38, solubility 6 min, color values L^* , a^* , b^* of instant powdered water reserves were 81.75, 2.67 and 10.68, color values after dissolved were 54.32, 6.46 and 29.15 respectively

Keywords : Malva nut, Instant drinks, Foam-mat drying, Foaming agent

บทนำ

เยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดลูกสำรอง (*Scaphium scaphigerum*) สามารถดูดน้ำและพองตัวออกได้มากกว่าเดิม 10 เท่าของผลแห้ง เมื่อเกิดพองตัวจะมีลักษณะคล้ายวุ้นหรือเยลลี่สีน้ำตาล มีสรรพคุณเป็นยาเย็น กินแก้อาการร้อนใน ลดไข้ แก้ไอ ขับเสมหะ แก้อาการกระหายน้ำ ทำให้ชุ่มคอและสดชื่น ลูกสำรอง จึงนับว่าเป็นสมุนไพรที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (สุภาภรณ์, 2550) นอกจากน้ำสำรองเป็นเครื่องดื่มสมุนไพรที่มีสรรพคุณเรื่องการละลายไขมันออกจากร่างกายแบบวิถีธรรมชาติด้วยการดูดซับไขมันเอาไว้ และขับออกพร้อมกับการขับถ่าย เนื่องจากสำรองมีกากใยสูงจะไปช่วยในการจับไขมัน โดยเฉพาะกลุ่มที่ต้องการลดความอ้วน (วิชนะชัย และคณะ, 2564) การอบแห้งวิธีการผลิตอาหารผงที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เช่น การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาแพง ต้องใช้เงินลงทุนสูง และอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ผลิตอาหารผงได้คือ วิธีการอบแห้งแบบโฟมเมท (foam-mat) ซึ่งสามารถทำให้วัตถุดิบที่แห้งยาก ที่มีลักษณะเหลวหรือกึ่งเหลว สามารถแห้งได้ภายใต้สภาวะการ

¹สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและแปรรูป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

¹Department of Food Innovation and Processing, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Muang District Buriram Province, 31000 Thailand.

*Corresponding author email: jittawan.kb@bru.ac.th, jkubola@gmail.com

อบแห้งด้วยลมร้อน โดยทำให้เกิดฟองที่คงตัวก่อนนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อน และเมื่ออาหารแห้งจะสามารถแกะทะลอกออกมาเป็นเกล็ดหรือผงได้ (จิตตะวัน และคณะ, 2562) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้การทำแห้งแบบโพรหมเมทในการผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปจากน้ำลูกสำรอง เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโพรหมและอุณหภูมิอบแห้งและประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปจากน้ำสำรอง และยังเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากลูกสำรองในด้านการแปรรูปหรือเพิ่มคุณค่าและสร้างรายได้กระจายสู่ชุมชนของยีนต้านทานโรคไหม้จากฐานข้อมูล ยีนสากล (Gene Bank) ยีนต้านทานโรคไหม้ที่กล่าวมานี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุง สายพันธุ์ข้าวเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองต่อโรคไหม้ได้ดีที่สุด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการ คัดเลือกพ่อแม่พันธุ์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงข้าวพันธุ์ต้านทานโรคไหม้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโพรหมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบโพรหมเมท

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำลูกสำรอง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำลูกสำรอง มผช.339/2552)

นำลูกสำรอง 10 เมล็ด ล้างน้ำเอาเศษผงที่ติดมากับเปลือกออกให้มากที่สุด แล้วแช่น้ำไว้ 1 ชั่วโมง ตัดหัวท้ายของเมล็ด เมื่อลูกสำรองพองออกได้ที่ ลอกเปลือกเอาเฉพาะเนื้ออุ่น ต้มน้ำให้เดือด ใส่ปูนที่ได้ลงไปต้ม อัตราส่วน 1: 2 คนไม่ให้เกิดก้อนหม้อ ใส่น้ำตาลหล้าหวาน เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรุงแต่งสี กลิ่น รส จากนั้นนำน้ำลูกสำรองในภาชนะและปิดฝาให้สนิท

2. การศึกษาสารที่ก่อให้เกิดโพรหม

การเลือกสารที่ทำให้เกิดโพรหมที่เหมาะสมโดยใช้สารที่ทำให้เกิดโพรหม 2 ประเภทคือ Methocel Carboxymethyl Cellulose (CMC) และ Methocel65 HG ละลายในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จากนั้นค่อยๆ เติมสารละลายของสารก่อให้เกิดโพรหม และเพิ่มปริมาตรของสารก่อให้เกิดโพรหมขึ้นเรื่อยๆจนเกิดโพรหม หาระดับที่ต่ำที่สุดของสารก่อให้เกิดโพรหม เลือกเฉพาะสารก่อให้เกิดโพรหมที่มีความเป็นไปได้นำไปศึกษาต่อไป

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบโพรหมเมท

ศึกษาปริมาณของสารก่อให้เกิดโพรหมที่เหมาะสมแต่ละชนิด จากปริมาณต่ำสุดของสารก่อให้เกิดโพรหมแต่ละชนิดนำมาทดลองทำให้เกิดโพรหม โดยมีการเพิ่มปริมาณแต่ละระดับ ร้อยละ 0.5 ดัดแปลงมาจากกระบวนการผลิตน้ำมะขามป้อมสำเร็จรูปโดยการทำแห้งแบบโพรหมเมท (อรทัย, 2547) เมื่อเกิดโพรหมแล้วนำมาทดสอบคุณภาพ นำน้ำลูกสำรองที่ผ่านการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี แล้วมาเติมสารก่อโพรหม โดยในการศึกษาครั้งนี้ ใช้สารก่อโพรหม Methocel65 HG 3 ระดับ ที่มีระดับความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับคือ ระดับที่ 1 เข้มข้นร้อยละ 0.5 ระดับที่ 2 ความเข้มข้นร้อยละ 1 และระดับที่ 3 ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ตามลำดับ

4. ขั้นตอนการตีโพรหมน้ำลูกสำรอง

นำมอลโทเดกซ์ทริน 30 กรัม และน้ำลูกสำรอง จากหัวข้อ 3 และเมทโซเซล ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 ความเข้มข้นระดับร้อยละ 1 และความเข้มข้นระดับร้อยละ 1.5 ตามลำดับ ต่อตัวอย่าง 300 กรัม นำเข้าเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid, Model K5SS, U.S.A.) เพื่อตีให้เป็นโพรหม นาน 30 นาที เมื่อเกิดโพรหมแล้ว นำไปวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี การวิเคราะห์คุณภาพของโพรหมก่อนนำไปอบ

1. ความหนาแน่นของโพรหม (Foam density)

ความหนาแน่นของโพรหม ดัดแปลงวิธีจาก Akintoye and Oguntunde (อรทัย, 2547) โดยการนำโพรหมน้ำสำรอง บรรจุลงในถ้วยแก้วมาตรฐานที่ทราบปริมาตรและน้ำหนักที่แน่นอน นำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณความหนาแน่นของโพรหม ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของโพรหม} = \frac{\text{น้ำหนักของโพรหม}}{\text{ปริมาตรของถ้วย}}$$

2. ค่าความคงตัวของโฟม drainage method

ค่าความคงตัวของโฟม ดัดแปลงวิธีจาก อรทัย (2547) โดยนำโฟมลงในกรวยกรอง ซึ่งวางอยู่บนกระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตรและบันทึกปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกมาจากโฟม เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง เพื่อหาอัตราการแยกตัวของของเหลวออกจากโฟมค่าความคงตัวของโฟม (Foam density)

3. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid)

การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของส่วนผสมน้ำลูกส่ารองทำได้โดยใช้เครื่อง hand refractometer “ATAGO” model N1 Brix 0-32 ก่อนใช้งานต้องปรับมาตรฐานด้วย น้ำกลั่นให้อ่านค่าได้เท่ากับ 0 ก่อนระหว่างการใช้งาน ต้องล้างด้วยน้ำกลั่นทุกครั้ง ก่อนตัวอย่างต่อไป (AOAC, 1995)

4. การตรวจสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและการยอมรับ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ศึกษาการทดลองแบบสุ่มไม่บล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ใช้ผู้ชิมจำนวน 50 คน

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการทดลองด้วย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การเลือกชนิดของสารก่อเกิดโฟมที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกส่ารอง

การศึกษานี้ของสารก่อเกิดโฟมในการผลิตน้ำลูกส่ารองผง โดยการใช้สารก่อเกิดโฟม 2 ชนิด ได้แก่ Carboxy methyl cellulose (CMC) และ Methocel65 HG ละลายในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก นำเจลที่ได้ไปผสมกับน้ำลูกส่ารอง ตีปั่นโดยใช้ความเร็วสูงสุด ขณะที่ทำการตีโฟมสังเกตการเกิดโฟมของสาร Methocel65 HG ในน้ำลูกส่ารอง เริ่มทำให้ส่วนผสมน้ำลูกส่ารองเกิดโฟมได้ เมื่อใช้ปริมาณ 100 กรัม โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 1 ในขณะที่สารละลายได้แก่ Carboxy methyl cellulose (CMC) ไม่สามารถทำให้เกิดโฟมที่คงตัวได้ ดังนั้นจึงเลือก สารละลาย Methocel65 HG ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพื่อทำการศึกษาต่อไปโดยเติมลงในส่วนผสมน้ำลูกส่ารองในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยระดับ ที่ต่ำที่สุด คือปริมาณสารที่เติมลงไปในส่วนผสมน้ำลูกส่ารองน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดโฟมได้ จากนั้นนำมาศึกษาต่อ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบชนิดของสารก่อเกิดโฟมระดับต่ำสุดที่ก่อให้เกิดโฟมในส่วนผสมน้ำลูกส่ารอง

ชนิดของสารก่อเกิดโฟม	ลักษณะของโฟม	
Methocel 65 HG	เกิดโฟมที่คงตัวได้	
Carboxy methyl cellulose (CMC)	ไม่เกิดลักษณะโฟม	

2. การวิเคราะห์คุณภาพของโฟมน้ำลูกส่ารองก่อนการอบแห้ง

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพของของโฟมน้ำลูกส่ารองที่ใช้เมโซเซล เป็นสารก่อเกิดโฟม ในอัตราส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5

3. ค่าความหนาแน่นและค่าความคงตัวของโฟมน้ำลูกส่ารองผง

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นและค่าคงตัวของโฟมน้ำลูกส่ารองที่ใช้สารเมโธเซล

ปริมาณเมโธเซล (ร้อยละ)	ค่าความหนาแน่น (g/cm ³)	ความคงตัว (กรัมต่อมิลลิลิตร)
0.5	0.22 ^a ±0.01	1.83 ^a ±0.05
1	0.19 ^b ±0.01	0.00±0.00
1.5	0.16 ^c ±0.01	0.00±0.00

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นของโฟม เป็นอีกคุณลักษณะที่สำคัญต่อการนำโฟมไปอบแห้ง โดยความหนาแน่นควรอยู่ในระหว่างช่วง 0.20-0.80 กรัมต่อมิลลิลิตร (ตรุณี, 2550) การทดสอบค่าความหนาแน่นของโฟมน้ำลูกส่ารองที่มีการเติมเมโธเซล (Methocel 65 HG) เป็นสารก่อให้เกิดโฟมโดยใช้ระดับความเข้มข้นของเมโธเซลที่ต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นของสารเมโธเซล ที่สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของโฟมน้ำลูกส่ารองลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีความหนาแน่น อยู่ในช่วง 0.16-0.22 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากการศึกษาคุณสมบัติของโฟมพบว่าการเติมสารที่ก่อให้เกิดโฟม ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีปริมาณโฟมมาก และช่วยให้โฟมมีความคงตัวเพิ่มขึ้น (Rajkumar and others, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Krasaekoopt and Bhatia (2012) และการทดสอบค่าความคงของโฟมน้ำลูกส่ารองโดยการวัดอัตราการแยกตัวของของเหลวจากโฟม เมื่อใช้สารก่อโฟม ที่ระดับต่างกันโดยใช้เวลาในการตีปั่นโฟมเท่ากัน พบเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารสารก่อโฟมเพิ่มขึ้น จะมีอัตราการแยกตัวของของเหลวลดลงทำให้โฟมมีความคงตัวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยสอดคล้องกับผลการทดลองของ (สุริดา, 2552) จากการทดลองพบว่า โฟมมีอัตราการแยกตัวของของเหลวระหว่าง 0-2 มิลลิลิตรต่อกรัม การตีโฟมที่ใช้เวลานานเกินไปทำให้การรั่วซึมของก๊าซภายในฟองอากาศ ฟองอากาศเกิดการแตกตัวและยุบตัว เนื่องจากฟองอากาศไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อแรงเฉือนที่เกิดจากการตีปั่น (กัลยาณี, 2540)

4. คุณภาพทางกายภาพของน้ำลูกส่ารองและน้ำลูกส่ารองผง

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพของของโฟมน้ำลูกส่ารองที่ใช้เมโธเซล เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ในอัตราส่วนความเข้มข้นที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยค่า L^* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง (lightness) a^* เป็นค่าแสดงความเป็นสีแดงและสีเขียว (redness/greenness) และ b^* เป็นค่าแสดงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ตารางที่ 3 แสดงคุณลักษณะทางด้านสีของน้ำลูกส่ารอง และน้ำลูกส่ารองผง ที่ผ่านทำแห้งแบบโฟมเมท โดยการเติมปริมาณความเข้มข้นของเมโธเซล ทั้ง 3 ระดับ เพื่อเพิ่มความคงตัวของโฟมน้ำลูกส่ารอง อัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น ทำให้สารสำคัญในผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในปริมาณที่สูง จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำลูกส่ารองพบว่า ค่า L^* มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นและขณะเดียวกัน ค่า a^* มีค่าเป็นสีแดง ค่า b^* มีค่าเป็นสีเหลืองจะลดลง โดยทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสีของผลิตภัณฑ์น้ำลูกส่ารอง แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น มีค่าความเป็นสีเหลืองและแดงลดลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสีของน้ำส่ารองคั้นรูปกับน้ำส่ารองก่อนการทำแห้ง พบว่า ค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE^*) ของน้ำลูกส่ารองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าสีเฉลี่ยน้ำลูกส่ารองผงผลิตโดยการทำแห้งแบบโฟมเมท

ปริมาณเมโธเซล (ร้อยละ)	ค่าสี			
	*L	*a	*b	ΔE
0.5	49.15 ^c ±0.30	8.28 ^b ±0.09	30.40 ^b ±0.07	54.50 ^c ±12.15
1	54.32 ^a ±0.60	6.46 ^d ±0.15	29.15 ^c ±0.12	58.30 ^a ±11.93
1.5	51.03 ^b ±0.26	6.51 ^c ±0.75	28.22 ^d ±0.14	55.08 ^b ±11.44

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 การทดสอบความสามารถในการละลายของน้ำลูกสำรองผง

ปริมาณเมทโรเซล (ร้อยละ)	เวลา (นาท)
0.5	5.00 ^c ± 0.01
1	6.00 ^b ± 0.01
1.5	7.00 ^a ± 0.01

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดสอบคุณภาพด้านการละลายของน้ำลูกสำรองผง พบว่าปริมาณของสารละลายเมทโรเซลที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อคุณภาพด้านความสามารถในการละลายของน้ำลูกสำรองผงที่ผลิตโดยการทำแห้ง แบบโม่เมท โดยเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารเมทโรเซลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การละลายใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้น ระยะเวลาในการละลายจากตารางอยู่ช่วง 5-7 นาท ทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การทำแห้งแบบโม่เมท จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากและมีความหนาแน่นต่ำ จึงเกิดการลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว และจากการที่มีอนุภาคที่เล็กทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาค ส่งผลให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านระหว่างอนุภาคหรือแทรกซึมผ่านได้น้อย ทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอและเกิดการรวมเป็นก้อน โดยที่ผิวนอกเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียก จึงทำให้สมบัติการกระจายตัวเสียไป และใช้เวลานานในการละลาย (วัชร และคณะ, 2556)

5. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำลูกสำรองผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโม่เมท

ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์น้ำลูกสำรองสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโม่เมท พบว่าปริมาณของสารละลายเมโรเซล ที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นของน้ำลูกสำรองผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโม่เมท โดยเมื่อใช้ปริมาณสารละลายเมโรเซล ในระดับต่ำ จะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำลูกสำรองผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโม่เมท พบทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่าการใช้สารละลายเมโรเซลในระดับสูง โดยปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำลูกสำรองผง ที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโม่เมท ที่ผลิตได้นี้อยู่ในช่วงร้อยละ 3.42-4.22 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำลูกสำรอง มพช.339/2552) จากการทดลอง พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำลูกสำรองผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบ โม่เมท โดยใช้สารละลายเมโรเซล ความเข้มข้นที่แตกต่างกันและทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุด คือร้อยละ 3.42 โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity ; aw) เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหารซึ่งอาหารแห้ง (dried food) ควรมีค่า aw น้อยกว่า 0.6 ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งค่ากิจกรรมของน้ำ เป็นตัวชี้บ่งหรือทำนายการเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหารและเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นานและมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2544) (ตารางที่ 5)

จากการทดลอง พบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 0.37-0.39 โดยสอดคล้องกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แครอทผงสำเร็จรูป (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 1402/2550)

ตารางที่ 5 ค่าความชื้นของโม่เมทน้ำลูกสำรองที่ใช้ความเข้มข้นของสารเมทโรเซลแตกต่างกัน

ปริมาณสารเมทโรเซล (ร้อยละ)	ค่าความชื้น	ค่าAw ^{ns}
0.5	3.47 ^b ± 0.13	0.37 ± 0.14
1	3.42 ^c ± 0.10	0.38 ± 0.14
1.5	4.22 ^a ± 0.18	0.39 ± 0.14

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำลูกสำรอง และน้ำสำรองผงสำเร็จรูป

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	น้ำสำรอง	น้ำสำรองผงสำเร็จรูป (ร้อยละปริมาณสารเมทโฮเซล)		
		0.5	1	1.5
สี	7.54 ^a ±0.96	6.93 ^d ±0.70	7.14 ^b ±0.89	7.00 ^c ±0.94
กลิ่น ^{ns}	7.11±1.37	6.39±1.16	6.82±1.16	6.93±1.01
รสชาติ	7.46 ^a ±1.13	6.43 ^b ±1.37	6.36 ^d ±1.25	6.36 ^c ±1.47
ความใส	6.14 ^d ±1.53	6.89 ^b ±1.13	6.79 ^c ±1.06	7.18 ^a ±1.21
ความชอบโดยรวม	7.82 ^a ±0.98	6.89 ^c ±0.68	6.86 ^d ±1.00	7.07 ^b ±0.85

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ 9-Point Hedonic Scale ของน้ำลูกสำรองผง ที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟมเมทที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและน้ำสำรองพร้อมดื่มก่อนการทำแห้ง โดยการโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้าน กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวม ของน้ำลูกสำรองผง โดยใช้ น้ำลูกสำรองผงละลายกับน้ำ (15 กรัม ต่อน้ำ 250 มิลลิลิตร) พบค่าคะแนนความชอบ ของผลิตภัณฑ์น้ำลูกสำรองผงคีนรูปและน้ำสำรองพร้อมดื่มก่อนการทำแห้ง ในด้านสี (อยู่ในช่วง 6.93-7.54) รสชาติ (อยู่ในช่วง 6.36-7.46) ความใส (อยู่ในช่วง 6.14-7.18) ความชอบโดยรวม (อยู่ในช่วง 6.86-7.82) มีค่าคะแนนความชอบในระดับ ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ทุกสิ่งทดสอบต่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์น้ำลูกสำรองผงคีนรูปและน้ำสำรองพร้อมดื่มก่อนการทำแห้ง ในด้านกลิ่น (อยู่ในช่วง 6.39-7.11) ค่าคะแนนความชอบในระดับ ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความชอบโดยรวม พบว่าลูกสำรองผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท โดยใช้สารละลายสารเมทโฮเซล 1.5% ได้รับความชอบความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ คะแนน 7.07 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำลูกสำรองผงสำเร็จรูปโดยการทำแห้งแบบโฟมเมท การเลือกสารก่อโฟมและทำให้โฟมคงตัว 2 ชนิด พบมีเพียงสารละลาย Methocel 65 HG ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถทำให้เกิดโฟมและทำให้โฟมมีความคง สม่ำเสมอที่สุดของการทดลองสารช่วยให้เกิดโฟม Methocel 65 HG ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นสูตรที่ใช้ปริมาณสารก่อโฟมที่น้อยที่สุด ประเมินผลจากการทดลองหลายๆ ผลการทดลอง ความหนาแน่นของโฟม ความคงตัวของโฟม ระยะเวลาในการละลายปริมาณความชื้น ผลิตภัณฑ์น้ำลูกสำรองผงสำเร็จรูปที่ผลิตโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท มีปริมาณความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.42 โดยน้ำหนักแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชานวัตกรรมอาหารและแปรรูป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้จนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กัลยาณี โสมนัส. 2540. การผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบโฟมและแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิตตะวัน กุโบล่า, ชูลีพร บึงทอง, เทวิกา กิรติบุรณะ, เพียรพรรณ สุกะโคตร, จตุพัฒน์ สมบัติโต และกมลพร สิทธิไธรัตน์. (2562). การผลิตเนื้อลูกตาลสุกโดยการทำแห้งแบบโฟมเมทและการประยุกต์ใช้ในขนมไทย. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 17 (1) : 17-26.
- ดร.ณิ มุลโรจน์. (2550). การพัฒนาการผลิตกล้วยน้ำว้าผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท. รายงานการประชุมทางวิชาการ 29-30 พฤษภาคม. ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ : 362-370.

- พนิดา รัตนปิติกรณ์. (2555). สมบัติการเกิดโฟมและการใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร ตอนที่ 1.วารสารอาหาร, 42(3), 199-204.
- นิธิยา รัตนพานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.1402/2550. แครอทผงสำเร็จรูป, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.339/2552. น้ำลูกสำรอง, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- รัตนา อุตตปัญญา. (2547). การทำแห้งแบบโฟมเมท. เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. 89-100. เชียงใหม่: TRIO Advertising & Media.113.
- วัชร เทพโยธิน, นวนจริ คำมูลสืบ และ มณฑิรา แก้วฟู. (2556). ผลของสารก่อโฟมที่มีต่อคุณภาพของน้ำมะม่วงมหาชนกอบแห้งแบบโฟม-เมท. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5. 308-318.
- วัชนะชัย จูมผา ,นฤมล มงคลธวัช, ศิวกร เลาเพย, ลัดดากร นาถาบำรุง และนวิช โยธาพิทย์. (2564). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสำรองด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. การประชุมวิชาการขานงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 39. 635-640.
- สุธิดา กิจเกษตรสภาพร. (2552). การผลิตสารสกัดชนิดผงจากพริกสดโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุภาภรณ์ ปิติพร. (2550). สำรอง. หมอชาวบ้าน. 28(35) : 18-22.
- อรทัย บุญทะวงศ์. (2547). กรรมวิธีและลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะเขี๋ยงผงขละลายที่ผลิต (Cleistocalyx nervosum var paniala) โดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและวิธีอบแห้งแบบโฟมเมท. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- AOAC. (1995). Official methods of analysis of the association of official analytical Chemists. 16th ed. Gaithersburg, Maryland.
- Rajkumar P., Kailappan R., Viswanathan R. and Raghavan G.S.V. 2007. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. Journal of Food Engineering.79(4): 1452-1459
- Krasaekoopt, W. and W. Bhatia. (2012). Production of yogurt powder using foam-mat drying. Assumption University Journal of Technology. 15(3): 166-171

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดินจากบริเวณพื้นที่ที่ปลูก ต้นใบยาสูบ

Specific Activities of Natural Radionuclides in Soil Samples from Area Where Tobacco Plants Were Grown

ภูริต ควินรัมย์^{1*}, เจนจิรา รอดพูล² และ บัญชา คำหนองยาง²
Purit Quinram^{1*}, Janjira Rodpool² and Buncha Kamnhongyang²

Received: 8 ธ.ค. 2564
Revised: 20 ธ.ค. 2564
Accepted: 26 ธ.ค. 2564

บทคัดย่อ

ทำการตรวจวัดกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินจากพื้นที่ที่ปลูกต้นใบยาสูบมาก่อน โดยใช้หัววัดแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K พบว่า ค่า ^{226}Ra อยู่ในช่วงพิสัย 1.86 – 14.71 Bq/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.63 ± 1.65 Bq/kg ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th อยู่ในช่วงพิสัย $<0.2 - 10.84$ Bq/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.65 ± 2.54 Bq/kg และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K อยู่ในช่วงพิสัย 3.84 – 19.34 Bq/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.83 ± 6.73 Bq/kg นอกจากนี้ ยังคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับภายนอก (H_{ex}) ปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอก (AED_{out}) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลงานวิจัย ภายนอกประเทศและมาตรฐานของการวิจัยทั่วโลก ซึ่งทำให้ทราบว่าดินจากบริเวณพื้นที่ที่ปลูกต้นใบยาสูบมาก่อน อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยทางด้านรังสี และมีผลน้อยมากต่อการได้รับรังสีในชีวิตประจำวัน

คำสำคัญ: นิวไคลด์กัมมันตรังสี, ดิน, หัววัดแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์.

Abstract

Measurement the specific activity of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soil samples from area where tobacco plants were grown. The radioactivity of all soil samples was analyzed from gamma ray spectrums using hyper-pure germanium detector. It was found that, the mean values of specific activity of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soil samples ranges from 1.86 – 14.71 Bq/kg with mean values of 9.63 ± 1.65 Bq/kg for ^{226}Ra , $<0.2 - 10.84$ Bq/kg with mean values of 6.65 ± 2.54 Bq/kg for ^{232}Th , 3.84 – 19.34 Bq/kg with mean values of 10.83 ± 6.73 Bq/kg for ^{40}K Moreover, the value of radium equivalent activity (Ra_{eq}), the external hazard index (H_{ex}), the gamma-absorbed dose rate (D) and the annual effective dose rate (AED_{out}) from this study, including the experimental results were compared with data in global radioactivity measurement, UNSCEARS2000 and evaluations. The results of this study of measurement the specific activity of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soil samples from area where tobacco plants were grown, there is very little radiation hazards in everyday life.

Keywords : radionuclides, soil, hyper-pure germanium detector

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาฟิสิกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

¹Assistant Professor, Program of Physic, Faculty of Liberal of Arts and Science, Roi Et Rajabhat University

²Department of Science and Technology, Faculty of Liberal of Arts and Science, Roi Et Rajabhat University

*Corresponding Author Email: quinram@hotmail.com

บทนำ

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติหรือความแรงรังสี เป็นแหล่งที่สำคัญต่อการได้รับรังสีของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด มนุษย์ก็เช่นกัน ได้รับรังสีอยู่ตลอดเวลาโดยที่ไม่รู้ตัวเนื่องจากรังสีไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่สามารถสัมผัสได้ โดยรังสีมีอยู่ทั้งในธรรมชาติเช่นในอากาศ และในน้ำที่มนุษย์นำมาอุปโภคบริโภค และรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ โรงไฟฟ้าถ่านหิน การทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ หรือการใช้รังสีในทางการแพทย์ เป็นต้น โดยมนุษย์ได้รับรังสีจากธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นมาพร้อมกับการกำเนิดของโลก สะสมอยู่ในธรรมชาติเป็นระยะเวลายาวนาน (อุทัยรัตน์ และ คณะ, 2558) ได้แก่ ยูเรเนียม - 238 (^{238}U) มีค่าครึ่งชีวิต 4.47×10^9 ปี และ เรเดียม - 226 (^{226}Ra) มีค่าครึ่งชีวิต 1,600 ปี ซึ่งอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม (uranium series), ทอเรียม - 232 (^{232}Th) มีค่าครึ่งชีวิต 1.41×10^{10} ปี อยู่ในอนุกรมทอเรียม (thorium series) และ โพแทสเซียม - 40 (^{40}K) มีค่าครึ่งชีวิต 1.3×10^{10} ปี (Al-Hassan, A.A. *et al.*, 2014) โดยสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติเหล่านี้เรียกว่า (NORM: Naturally Occurring Radioactive Material) โดยปกติแล้วจะมีอยู่ในตัวอย่างดิน สิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดิน หิน ทราย น้ำ และอาหาร เป็นต้น (Alrefae, Tareq. *et al.*, 2013) ถ้ามนุษย์ได้รับสารกัมมันตรังสีเข้าไปในร่างกายเกินกว่าที่ร่างกายจะรับได้ จะสามารถก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับเนื้อเยื่อและระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายเราได้ ผลที่เกิดจากรังสีนี้เรียกว่า กลุ่มอาการ (syndrome) หรือการเจ็บป่วยจากรังสี (radiation sickness) นอกจากนี้สารกัมมันตรังสีสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่ยีนของร่างกาย ทำให้พัฒนาไปเป็นโรคต่างๆ ในภายหลัง เช่น มะเร็ง หรือทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับลูกหลานในรุ่นถัดไป (บทความสมาคมนิวเคลียร์แห่งชาติ, 1999)

นอกจากนี้ได้มีกลุ่มของนักวิทยาศาสตร์ในหลายประเทศได้ให้ความสนใจในการทำวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของสารกัมมันตรังสีพื้นในธรรมชาติที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน (Bajoga *et al.*, 2015; Nada *et al.*, 2009; Ahmad *et al.*, 2015; Asha Rani *et al.*, 2015; Almayahi *et al.*, 2012; Lijun Dai *et al.*, 2007; Turhan *et al.*, 2012 and Singh, J, 2009) เช่น การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีบางชนิด เช่น ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินผิวน้ำ ซึ่งในประเทศไทยได้มีการทำวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัด และวิเคราะห์สารกัมมันตรังสีธรรมชาติ และสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างดินผิวน้ำในเขตจังหวัดกระบี่ พัทลุง และสุราษฎร์ธานี (ประสงค์ และคณะ, 2552. ประสงค์ และคณะ, 2557. ประสงค์ และอุดร, 2555. ภูริต และคณะ, 2557. ศุภวุฒิ และคณะ, 2552) ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานทางรังสีและนำไปคำนวณปริมาณการได้รับสารกัมมันตรังสีที่บุคคลทั่วไปจะได้รับเมื่อเข้าไปอาศัยอยู่ในเขตพื้นที่เหล่านี้

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดิน ในพื้นที่ที่ผ่านการปลูกต้นไม้ยาสูบ ตำบลนาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด เพื่อวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่อยู่ในดิน เนื่องจากในพื้นที่มีการใช้สารเคมีในการเร่งให้ต้นยาสูบเจริญเติบโต ให้มีใบยาสูบที่ใหญ่ สวย เพื่อส่งขายให้ได้อายุยืน อีกทั้งในปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณสารกัมมันตรังสีปนเปื้อนสะสมในดินที่ใช้ปลูกด้วย ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเผยแพร่ให้กับชุมชนให้ได้ทราบถึงเกี่ยวกับปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ปนเปื้อนในดินที่ผ่านการปลูกต้นไม้ยาสูบมาแล้ว

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดิน ในพื้นที่ที่ผ่านการปลูกต้นไม้ยาสูบ ตำบลนาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด เพื่อวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่อยู่ในดิน
2. คำนวณปริมาณการได้รับสารกัมมันตรังสี หรือปริมาณความเสี่ยงทางด้านรังสี ของประชาชนในบริเวณพื้นที่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างดินผิวน้ำ

ศึกษาพื้นที่บริเวณตำบลนาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ผ่านการปลูกต้นไม้ยาสูบ เริ่มจากดูแผนที่ทางภูมิศาสตร์โดยมีพิกัดละติจูด (N) $15^{\circ}98'55''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}56'91''$ วางแผนการเก็บตัวอย่างดินแล้วลงพื้นที่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 6 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านนาโพธิ์, หมู่ที่ 3 บ้านตาแย, หมู่ที่ 4 บ้านกอกนา, หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ, หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย และ หมู่ที่ 9 บ้านหนองนาใหญ่ ในการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละสถานที่ที่จะทำการวัดขนาดพื้นที่ให้ได้ 40 เมตร x 40 เมตร หลังจากนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างของดินในทุกมุมของแปลง (4 มุม โดยแต่ละมุมจะทำการเก็บในพื้นที่ 16 ตารางเมตร และการเก็บดินจะทำการเก็บที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร) หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างดินใส่ถุงซิปลาสติกให้มีน้ำหนักประมาณ 1,000 กรัม แล้วบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (GPS)

ณ จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บได้เข้าห้องปฏิบัติการ โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บมาผึ่งไว้ในภาชนะสำหรับผึ่งตัวอย่าง ณ อุณหภูมิห้อง ให้แห้งหรือทำให้มีความชื้นในดินเหลือน้อยที่สุด หลังจากนั้นนำดินทั้ง 4 จุดในแต่ละมุมของแปลงที่เก็บตัวอย่างดิน มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน เพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ในแต่ละแปลง (รวมตัวอย่างดิน 7 ตัวอย่าง) แล้วนำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการอบตัวอย่างดินเสร็จแล้ว จะนำตัวอย่างดินมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อเอาเศษไม้ ใบหญ้าแห้ง และสิ่งแปลกปลอมต่างๆออก ทำให้ตัวอย่างดินมีความละเอียดสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน แล้วนำไปบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร ให้มีขนาดใกล้เคียงกันกับภาชนะที่บรรจุสารมาตรฐานที่ใช้ในการปรับเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดิน แล้วนำตัวอย่างดินทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 254 กรัมต่อตัวอย่าง แล้วทำการปิดผนึกภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุตัวอย่างดินด้วยการร่อนแล้วใช้เทปกาวปิดเข้าเพื่อป้องกันการปลดปล่อยแก๊สเรดอน จากนั้นนำไปเก็บไว้อย่างน้อยเป็นระยะเวลา 1 เดือนเพื่อให้เกิดภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสีในตัวอย่างดิน และนำไปตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ด้วยหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีของบริษัท Canberra Industries Model ที่ภาควิชาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ

การตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่อยู่ในดิน ในพื้นที่ที่ผ่านการปลูกต้นไผ่สาบ ตาบลาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด โดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีในการเปรียบเทียบพลังงานของหัววัด และใช้สารมาตรฐานดิน IAEA/RGU-1 (เวลาวัดสารมาตรฐาน 2,000 วินาทีและภูมิหลัง 24,2500 วินาที), IAEA/RGTh-1 (เวลาวัดสารมาตรฐาน 3,600 วินาทีและภูมิหลัง 24,2500 วินาที และ IAEA/RGK-1 (เวลาวัดสารมาตรฐาน 3,600 วินาทีและภูมิหลัง 24,2500 วินาที ในการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดินจำนวน 7 ตัวอย่าง ใช้เวลาในการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาทุกตัวอย่างดินเท่ากันคือ 10,800 วินาที หรือ 3 ชั่วโมง การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และ ^{232}Th นั้นใช้วิธีตรวจวัดพลังงานรังสีแกมมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีรุ่นลูกที่อยู่ในอนุกรมเดียวกันและเกิดสมดุลทางกัมมันตรังสี โดยที่ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พิภพพลังงานของรังสีแกมมาของ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609.3 keV สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พิภพพลังงานของรังสีแกมมาของ ^{208}Tl ที่พลังงาน 911.1 keV ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พิภพพลังงานของรังสีแกมมาของตัวเองที่พลังงาน 1460.8 keV นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีไปคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K เพื่อที่จะคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (R_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายรอบปี (AED_{out})

3. ดัชนีความเป็นอันตรายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ

นำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ของตัวอย่างดิน ในพื้นที่ที่ผ่านการปลูกต้นไผ่สาบ ตาบลาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด มาคำนวณหาดัชนีความเป็นอันตรายทางรังสี เพื่อเป็นการประเมินการได้รับสารกัมมันตรังสี หรือปริมาณความเสี่ยงทางด้านรังสี ของประชาชนในบริเวณพื้นที่ ซึ่งมีอยู่ 4 ดัชนี 1. ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (R_{eq}) 2. ดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกาย (H_{ex}) 3. ปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และ 4. ปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายรอบปี (AED_{out}) โดยมีสมการในการหาแต่ละดัชนีดังนี้

ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (R_{eq}) เป็นค่าที่แสดงถึงความแรงรังสีของตัวอย่างดิน โดยเป็นการนำเอาปริมาณความเข้มข้นรังสีของแต่ละนิวไคลด์แทนเข้าไปในสมการความสัมพันธ์ของ (UNSCEAR, 2000)

$$R_{\text{eq}} (\text{Bq Kg}^{-1}) = C_{\text{Ra}} + 1.43C_{\text{Th}} + 0.077C_{\text{K}}$$

ซึ่ง C_{Ra} , C_{Th} and C_{K} คือความเข้มข้นรังสีของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ตามลำดับ โดยค่ามาตรฐานกำหนดไว้ไม่ให้เกินที่ 370 Bq/kg (UNSCEAR, 2000)

ดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกาย (H_{ex}) แสดงถึงความเป็นอันตรายที่ประชาชนได้รับรังสีแกมมาจากภายนอกจากร่างกายจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดิน ดังสมการของ (UNSCEAR, 2000)

$$H_{\text{ex}} = C_{\text{Ra}}/370 + C_{\text{Th}}/259 + C_{\text{K}}/4810 \leq 1$$

ซึ่ง C_{Ra} , C_{Th} and C_K คือความเข้มข้นรังสีของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ตามลำดับ โดยค่ามาตรฐานกำหนดดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกายไว้ไม่เกิน 1 (UNSCEAR, 2000)

ปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราปริมาณรังสีแกมมาของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่อยู่ในดินตัวอย่าง ซึ่งทะลุผ่านอากาศขึ้นมาโดยวัดที่ระยะ 1 เมตร เหนือพื้นดิน ดังสมการ

$$D (nGy h^{-1}) = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K$$

ซึ่ง C_{Ra} , C_{Th} and C_K คือความเข้มข้นรังสีของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ตามลำดับ

ปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกอาคารรอบปี (AED_{out}) เป็นค่าที่แปลงจากการได้รับอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนจากอากาศเพื่อเปลี่ยนเป็นการได้รับปริมาณรังสียังผล และใช้ค่าปัจจัยโอกาสในการได้รับรังสีจากภายนอกบ้านเรือนเข้ามาคำนวณ โดยใช้ตัวคูณ $0.7 Sv Gy^{-1}$ และปัจจัยในการอยู่ภายนอกอาคารบ้านเรือนใช้ตัวคูณ 0.2 (การใช้เวลาที่อยู่นอกอาคารบ้านเรือนประมาณ 20 %) (UNSCEAR, 2000)

$$AED_{out} (mSv y^{-1}) = D (nGy h^{-1}) \times 24 h d^{-1} \times 365 d y^{-1} \times 0.7 Sv Gy^{-1} \times 0.2 \times 10^{-6}$$



ภาพประกอบที่ 1 พิกัดทางภูมิศาสตร์ในการเก็บตัวอย่างดิน ตำบลนาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด

หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ (A) : ละติจูด (N) $15^{\circ}55'15''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}45'56''$ / หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย (B1) : ละติจูด (N) $15^{\circ}57'13''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}33'27''$ / หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย (B2) : ละติจูด (N) $15^{\circ}57'16''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}34'27''$ / หมู่ที่ 4 บ้านกอกนาญ (C) : ละติจูด (N) $15^{\circ}57'32''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}33'23''$ / หมู่ที่ 9 บ้านหนองนาใหญ่ (D) : ละติจูด (N) $15^{\circ}57'32''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}32'37''$ / หมู่ที่ 3 บ้านตาแย (E) : ละติจูด (N) $15^{\circ}57'30''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}32'40''$ / หมู่ที่ 1 บ้านนาโพธิ์ (F) : ละติจูด (N) $15^{\circ}57'40''$ ลองจิจูด (E) $103^{\circ}34'42''$

ผลการวิจัย

จากตารางที่ 1 แสดงผลการตรวจวัดตัวอย่างดินในพื้นที่ตำบลนาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด พบว่า มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติชนิด ^{226}Ra อยู่ในช่วง $1.86 \pm 0.57 Bq/kg$ (หมู่ที่ 1 บ้านนาโพธิ์) ถึง $14.71 \pm 1.78 Bq/kg$ (หมู่ที่ 9 บ้านหนองนาใหญ่) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยทั้งหมด $9.63 \pm 1.65 Bq/kg$ ส่วนค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติชนิด ^{232}Th อยู่ในช่วง $<0.20 Bq/kg$ (หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ) ถึง $10.84 \pm 3.64 Bq/kg$ (หมู่ที่ 3 บ้านตาแย) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยทั้งหมด $6.65 \pm 2.54 Bq/kg$ และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติชนิด ^{40}K อยู่ในช่วง $3.84 \pm 1.91 Bq/kg$ (หมู่ที่ 7(1) บ้านหัวฝาย) ถึง $19.34 \pm 11.32 Bq/kg$ (หมู่ที่ 7(2) บ้านหัวฝาย) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยทั้งหมด

10.83 ± 6.73 Bq/kg จะเห็นว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกไผ่สุบ ตำบลนาโพธิ์ อำเภอมือเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าข้อมูลของประเทศไทย และมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยนักวิจัยทั่วโลกที่รายงานไว้ 35 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , 30 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 400 Bq/kg สำหรับ ^{40}K ตามลำดับ (UNSCEAR, 2000) จะเห็นได้ว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจะกระจายไปในแต่ละพื้นที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณี สภาพทางภูมิศาสตร์ คุณสมบัติของดินทางด้านเคมี และทางฟิสิกส์ ของแต่ละชนิดของดิน ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ค่าความแรงรังสีแตกต่างกัน (Al-Hassan, A.A. et al., 2014 and Alrefae, Tareq. et al., 2013)

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดิน

สถานที่ (หมู่บ้าน)	Activity concentrations (Bq/kg)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ (A)	8.83 ± 1.54	<0.2	8.69 ± 5.03
หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย (B1)	10.58 ± 1.78	10.23 ± 2.06	3.84 ± 1.91
หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย (B2)	10.16 ± 1.89	3.54 ± 1.35	19.34 ± 11.32
หมู่ที่ 4 บ้านกอกนาคูย (C)	10.44 ± 1.97	7.49 ± 3.57	13.38 ± 9.77
หมู่ที่ 9 บ้านหนองนาใหญ่ (D)	14.71 ± 1.78	4.03 ± 2.06	13.97 ± 9.46
หมู่ที่ 3 บ้านคำแย (E)	10.86 ± 2.04	10.84 ± 3.64	9.45 ± 3.84
หมู่ที่ 1 บ้านนาโพธิ์ (F)	1.86 ± 0.57	10.23 ± 0.54	7.17 ± 2.47
min	1.86 ± 0.57	<0.2	3.84 ± 1.91
max	14.71 ± 1.78	10.84 ± 3.64	19.34 ± 11.32
Mean	9.63 ± 1.65	6.65 ± 2.54	10.83 ± 6.73
Thailand	48 (11 - 78)	51 (7 - 120)	230 (7 - 712)
UNSCEAR (2000)	35	30	400

จากตารางที่ 2 คำนวณหาค่าดัชนีความเป็นอันตรายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ในตัวอย่างดิน ได้แก่ ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (R_{eq}), ปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D), ปริมาณรังสีสัมผัสที่ได้รับจากภายนอกร่างกายรอบปี (AED_{out}) และดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})

ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (R_{eq}) มีค่าพิสัยอยู่ที่ 9.79 Bq/kg (หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ) - 27.09 Bq/kg (หมู่ที่ 3 บ้านคำแย) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 19.98 Bq/kg ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานของโลก คือ 370 Bq/kg

ปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) มีค่าพิสัยอยู่ที่ 4.56 nGy/hr (หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ) - 11.96 nGy/hr (หมู่ที่ 3 บ้านคำแย) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.92 nGy/hr ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานของโลก คือ 59 nGy/hr

ปริมาณรังสีสัมผัสที่ได้รับจากภายนอกร่างกายรอบปี (AED_{out}) มีค่าพิสัยอยู่ที่ 0.006 mSv/y (หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ) - 0.015 mSv/y (หมู่ที่ 3 บ้านคำแย) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.011 mSv/y ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานของโลก คือ 0.07 mSv/y

ดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) มีค่าพิสัยอยู่ที่ 0.03 (หมู่ที่ 5 บ้านดอนไฮ) - 0.07 (หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย และหมู่ที่ 3 บ้านคำแย) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.05 ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานของโลก คือ 1

จากดัชนีความเป็นอันตรายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ในตัวอย่างดินดังกล่าวมา ประชาชนในบริเวณพื้นที่ทั้ง 6 หมู่บ้าน ได้รับปริมาณความเสี่ยงทางด้านรังสีอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

ตารางที่ 2 ดัชนีความเป็นอันตรายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ในตัวอย่างดิน

สถานที่(หมู่บ้าน)	D (nGy/hr)	Ra _{eq} (Bq/kg)	H _{ex}	AED _{out} (mSv/y)
หมู่ที่ 5 บ้านคอนไฮ (A)	4.56	9.79	0.03	0.006
หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย (B1)	11.23	25.50	0.07	0.014
หมู่ที่ 7 บ้านหัวฝาย (B2)	7.64	16.718	0.05	0.009
หมู่ที่ 4 บ้านกอกนาบุง (C)	9.91	22.185	0.06	0.012
หมู่ที่ 9 บ้านหนองนาใหญ่ (D)	9.81	21.55	0.06	0.012
หมู่ที่ 3 บ้านคำแย (E)	11.96	27.09	0.07	0.015
หมู่ที่ 1 บ้านนาโพธิ์ (F)	7.34	17.04	0.05	0.009
min	4.56	9.79	0.03	0.006
max	11.96	27.09	0.07	0.015
mean	8.92	19.98	0.05	0.011
UNSCEAR (2000)	59	370	1	0.07

สรุปผลการวิจัย

จากการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ที่ผ่านการปลูกต้นไม้ยาสูบ ทั้งหมด 6 หมู่บ้าน ในพื้นที่ตำบลนาโพธิ์ อำเภอมือง จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 7 ตัวอย่าง และนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีไปคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K เพื่อที่จะคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และปริมาณรังสีสัมผัสที่ได้รับจากภายนอกร่างกายรอบปี (AED_{out}) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลงานวิจัยภายในและมาตรฐานของการวิจัยทั่วโลก ซึ่งทำให้ทราบว่าดินที่เก็บจากพื้นที่ที่ผ่านการปลูกต้นไม้ยาสูบ อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยทางด้านรังสี มีผลน้อยมากในการดำเนินชีวิตประจำวันของประชาชนที่อาศัยในพื้นที่และสามารถนำค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานของเขตพื้นที่ทำการเพาะปลูกยาสูบได้

เอกสารอ้างอิง

- บทความนิวเคลียร์แห่งชาติ. (1999). การเจ็บป่วยจากรังสี. แหล่งข้อมูล: <http://www.nst.or.th> สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2561
- ประสงค์ เกษราธิคุณ และคณะ. 2552. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในทรายชายหาดบริเวณชายหาดแฉะ อำเภอกะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นิวเคลียร์ ครั้งที่ 11.
- ประสงค์ เกษราธิคุณ และคณะ. 2557. การประเมินความเป็นอันตรายทางรังสีและแผนภาพทางรังสีในตัวอย่างดินผิวน้ำบริเวณจังหวัดกระบี่, ประเทศไทย. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24.
- ประสงค์ เกษราธิคุณ และอุดร ยิ่งช่วย. 2555. การประเมินค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาในดินผิวน้ำบริเวณจังหวัดชุมพร ก่อนการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในภาคใต้ของประเทศไทย. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ภูริต ควินรัมย์, เฉลิมพงษ์ โพธิ์ และสุกเกียรติ พงษ์ร้อย. 2557. ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติในตัวอย่างดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 1 ประจำปี 2557. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, กำแพงเพชร. 519 – 524.
- ศุภวุฒิ เบ็ญจุฑา, เจนจิรา งามเพียร, หทัยชนก อุทัยขวัญแก้ว และประสงค์ เกษราธิคุณ. (2552). ค่ากัมมันตภาพจำเพาะและแผนภาพทางรังสีของเรเดียม-226 (^{226}Ra) ทอเรียม-232 (^{232}Th) และโปแตสเซียม-40 (^{40}K) ในตัวอย่างดินบริเวณจังหวัดตรัง, ประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 12 (ฉบับที่3): 38 – 51.

- ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ, อาสมะ แมหะ และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. (2558). การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างข้าวสารไทยบรรจุถุง. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25 ประจำปี 2558. มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา. 1209 – 1215.
- Ahmad, N., Suhaimi Jaafar, M., Bakhsh, M. and Rahim, M. (2015). An overview on measurements of natural radioactivity in Malaysia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*: 1-6.
- Al-Hassan, A.A., Abdel-Salam, A.M. and El-Taher, A. (2014). Assessment of natural radioactivity level and heavy metals in different types of rice consumed in Qassim, Saudi Arabia. *Life Science Journal*. 11(11): 829 – 836.
- Alrefae Tareq., Tiruvachi N. and Nageswaran. (2013) Radioactivity of long lived gamma emitters in rice consumed in Kuwait. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*. Volume 13: 24-27
- Almayahi, B.A., Tajuddin, A.A. and Jaafar, M.S. (2012). Radiation hazard indices of soil and water samples in Northern Malaysian Peninsula. *Applied Radiation and Isotopes* 70: 2652–2660.
- Asha Rani, Sudhir Mittal, Rohit Mehra and R C Ramola. (2015) . Assessment of natural radionuclides in the soil samples from Marwar region of Rajasthan, India. *Applied Radiation and Isotopes* 101: 122–126.
- Bajoga, A.D., Alazemi, N., Regan, P.H. and Bradley, D.A. (2015). Radioactive investigation of NORM samples from Southern Kuwait soil using high-resolution gamma-ray spectroscopy. *Radiation Physics and Chemistry* 116: 305–311.
- Lijun Dai, Haiyan Wei and Lingqing Wang. (2007). Spatial distribution and risk assessment of radionuclides in soils around a coal-fired power plant: A case study from the city of Baoji, China. *Environmental Research* 104: 201–208.
- Nada, A., Abd-El Maksoud, T.M., Abu-Zeid Hosnia, M., El-Nagar, T. and Awad, S. (2009). Distribution of radionuclides in soil samples from a petrified wood forest in El-Qattamia, Cairo, Egypt. *Applied Radiation and Isotopes* 67: 643–649.
- Singh, J., Singh, H., Singh, S., Bajwa, B.S. and Sonkawade, R.G. (2009). Comparative study of natural radioactivity levels in soil samples from the Upper Siwaliks and Punjab, India using gamma-ray spectrometry. *Journal Environ Radioactivity* 100: 94-98.
- Turhan, S., Kose, A., Varinlioglu, A., Sahin, N.K., Arikani, İ., Oguz, F., Yucel, B. and Ozdemir, T. (2012). Distribution of terrestrial and anthropogenic radionuclides in Turkish surface soil samples. *Geoderma* 187-188: 117-124.
- UNSCEAR 2000. Sources and Effects of ionizing Radiation. United Nations Scientific committee on the Effects of Atomic Radiation United Nations, New York.

ต้นแบบเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษรีไซเคิลอัตโนมัติ

Prototype the Recycle Paper Exchange Machine of Automatic

ธีรศาสตร์ คุมาศรี^{1*}

Teerasad Kanasri^{1*}

Received: 13 ธ.ค. 2564

Revised: 25 ธ.ค. 2564

Accepted: 29 ธ.ค. 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษรีไซเคิลอัตโนมัติ โดยทดสอบการนับจำนวนเพื่อคัดแยกกระดาษรีไซเคิลโดยใช้อินฟราเรดเซ็นเซอร์ในการตรวจสอบ สำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษ การทดสอบความแม่นยำใช้ชนิดกระดาษมาตรฐาน A4 จำนวน 500 แผ่น ในการตรวจสอบโดยการนำอุปกรณ์อินฟราเรดเซ็นเซอร์และโมดูลกล้องมาตรวจจับการนับกระดาษรีไซเคิลบนเครื่องพิมพ์กระดาษ ซึ่งระบบทำการประมวลผลหลักด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องพิมพ์ เพื่อดึงกระดาษของเครื่องพิมพ์ที่รับกระดาษรีไซเคิล จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลนับกระดาษรีไซเคิลที่เข้ามาแล้วประมวลผล เพื่อที่จะนับแล้วส่งให้มอเตอร์ของเครื่องพิมพ์กระดาษที่จะจ่ายกระดาษคือออก โดยการแลกจำนวนกระดาษในอัตรา 3 แผ่น ต่อกระดาษดี 1 แผ่น จากผลการทดลองการตรวจจับของอินฟราเรดเซ็นเซอร์และการนับกระดาษของโปรแกรม พบว่าความแม่นยำมีความเที่ยงตรงสูงโดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.10 สำหรับผลการทดสอบคัดแยกกระดาษรีไซเคิลจำนวน 500 แผ่น ในพื้นที่กระดาษทั้งสองด้าน ผลการทดลองถูกนำมาใช้ในการประมวลผลซึ่งโมดูลกล้องสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไข มีความผิดพลาดเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.15 แสดงให้เห็นว่าการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการทำงานดึงกระดาษอย่างต่อเนื่องใช้ระยะเวลาประมาณ 10 นาที เป็นไปตามเงื่อนไขสำหรับสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษรีไซเคิล

คำสำคัญ: เซ็นเซอร์, เครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษรีไซเคิล, บอร์ดอาร์ดูโน

Abstract

The objectives of this study were to design and build prototype to test separation of recycled paper with infrared sensors to design and build a paper exchange machine. Comparison of precision tests using standard paper A4 500 inspection using sensor module and camera module installed on printer. Perform core processing with a microcontroller. Then the sensor signals the control of the printer paper pulling mechanism to separate the recycled paper. The results showed that the accuracy was high with an average error of 0.10 percent. Recycled paper screening test results Paper usage area on both sides, 500 sheets. The results of test paper used will be checked by the camera module according to the condition indicating that the control sensor system created is effective an average error of 0.15. In continuous work for a period of 10 minutes, follow the conditions of the paper exchange machine.

Keywords: Sensor, Paper Exchange Machine, Arduino

¹ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

¹Electrical Faculty of Arts and Science Department of Science and Technology Roi Et Rajabhat University

บทนำ

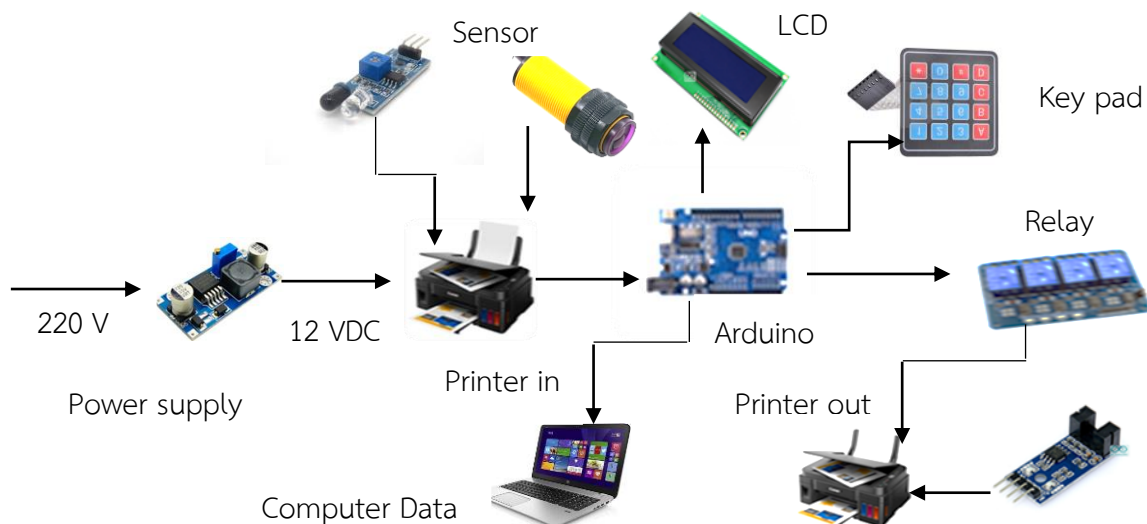
กระดาษมีประวัติศาสตร์ยาวนานเชื่อกันว่ามีแผ่นกระดาษครั้งแรกในยุคอียิปโบราณ ผลิตภัณฑ์หนึ่ง ที่เรียกว่า พาไพรัส (Papyrus) และเรียกว่ากระดาษพาไพรัส พบว่ามีการใช้จารึกบทสวดและคำสาบาน บรรจุไว้ในพีระมิดของอียิปต์ แต่ชนชาติจีนเป็นชาติแรกที่ประดิษฐ์กระดาษใช้จากเยื่อเปลือกไม้ โดยนำมาต้มจนได้เยื่อกระดาษเกลี่ยบนตระแกรง ปล่อยให้แห้งนำไปใช้ในงานจิตรกรรม (วิลเลียม สตรีทสัน, 2536) ต่อมากระดาษถูกนำมาพัฒนาจนใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมได้หลายด้านยกตัวอย่าง เช่น งานพิมพ์ งานเขียน งานวาดภาพ เป็นต้น ปัจจุบันทั่วโลกกระดาษมีกำลังการผลิต ประมาณ 150 ล้านตันต่อปี ประเทศไทยเป็นอีกประเทศที่ใช้กระดาษเฉลี่ยปีละ 3.9 ล้านตัน หรือประมาณคนละ 60 กิโลกรัมต่อปี เพื่อตอบสนองความต้องการต่อการใช้กระดาษของประเทศ จะต้องตัดต้นไม้ประมาณ 66.3 ล้านต้นต่อปี ใช้กระแสไฟฟ้า 41,00 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง จากรายงานปริมาณผลการใช้กระดาษทุกชนิดทั่วประเทศ พบว่าเกิดขยะทั่วประเทศปีละ 14.6 ล้านตัน แต่เกือบครึ่งหนึ่งเป็นขยะที่มีราคา ยกตัวอย่าง เช่น พลาสติก เหล็ก และกระดาษทุกชนิด ซึ่งสามารถนำกลับมาแยกใช้ใหม่ได้ เป็นกระดาษรีไซเคิลคิดเป็นร้อยละ 19 นอกจากนี้การนำเศษกระดาษกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบการบรรจุภัณฑ์ตามความเหมาะสม จะสามารถลดการใช้พลังงานจากการผลิต เป็นการช่วยลดขั้นตอนการผลิตกระดาษ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2556)

กระดาษส่วนใหญ่จะใช้ขนาดมาตรฐาน A4 ซึ่งผู้จำหน่ายทั่วไปขายกระดาษจำหน่ายแบบยกกริม ผู้ใช้ต้องการแยก จำนวนแผ่นตามความเหมาะสมตามสำนักงานหรือองค์กร เพื่อเป็นการทำลายป้องกันข้อมูลก็จะมีเครื่องย่อยกระดาษเอกสาร ลดขนาดกระดาษก่อนนำไปทิ้งแต่ไม่สามารถสร้างมูลค่าได้ ซึ่งอาจแก้ไขวิธีการนี้โดยการส่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตแทน หรือ อาจเก็บมัดรวบรวมนำไปซึ่งน้ำหนักรายให้กับร้านรับซื้อของเก่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) กระดาษใหม่จึงถูกนำมาประโยชน์ อย่างต่อเนื่อง แนวคิดเพื่อลดปริมาณการใช้ให้ประหยัดกระดาษสำหรับการใช้ต่อคนต่องาน และการกำจัดขยะรีไซเคิล ถูกนำมาใช้ลักษณะตู้หยอดเหรียญ มีรายงานของ ประจักษ์ ดับโศรก และชาญชัย โคตรศรีวงศ์ (2554) ออกแบบและสร้าง เครื่องขายกระดาษหยอดเหรียญในโรงเรียนด้วยหลักการทำงานของเครื่องพิมพ์กระดาษ โดยใช้กล่องหยอดเหรียญควบคุม จำนวนเหรียญบาทแล้วประมวลผลกลางสั่งงานมอเตอร์นับจำนวนกระดาษตามกำหนด แต่เครื่องมีขนาดเล็กต้องเติมกระดาษ สม่่าเสมอให้เหมาะสมต่อจำนวนผู้ใช้งาน เมื่อพิจารณาการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่อย่างคุ้มค่ายังไม่อาจลดความสิ้นเปลือง ในองค์กรหรือสำนักงาน เนื่องจากผู้ใช้งานเพียงต้องการใช้กระดาษให้คุ้มค่าจนเสี่ยงปริมาณจากการใช้กระดาษในสำนักงานสูง จากปัญหาดังกล่าวจากแนวคิดดังกล่าวเมื่อผู้ต้องการใช้กระดาษเพิ่มควรต้องนำกระดาษ A4 ที่ใช้แล้วทั้งสองด้านให้นำมา เพื่อแลกกระดาษใหม่อีกครั้งเป็นการรวบรวมกระดาษที่ใช้แล้วในสำนักงาน โดยใช้หลักการธนาคารขยะคล้ายเครื่องแลกหยอด เหรียญแบบต่างๆ เช่น เครื่องรับซื้อขวดพลาสติกและกระป๋องโลหะ (สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์ และเอกรินทร์ วัฒนฤญเลิศสกุล, 2558) นอกจากนี้เครื่องรับซื้อขยะรีไซเคิล (Reverse Vending Machine; RVM) สำหรับจัดการขยะประเภทขวดพลาสติกและ กระป๋องอลูมิเนียมในเครื่องเดียวกัน โดยใช้เทคโนโลยีบีบอัดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อสะดวกในการจัดเก็บและเพิ่มการรองรับ ปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวได้มากขึ้น มีระบบป้องกันความปลอดภัยให้กับเครื่อง นับเป็นนวัตกรรมการจัดการขยะ ยุค Thailand 4.0 สำหรับบริการคนในเขตเมืองเป็นนวัตกรรมใหม่ของประเทศไทยในขณะนี้ เนื่องจากยังไม่เป็นที่แพร่หลาย มากนัก และเป็นการสร้างแรงจูงใจให้ประชาชนเปลี่ยนพฤติกรรมกาทิ้งขยะบรรจุภัณฑ์รีไซเคิล

จากรายงานของ ประจักษ์ ดับโศรก และชาญชัย โคตรศรีวงศ์ (2554) เครื่องหยอดเหรียญแลกกระดาษไม่มีการ ตรวจสอบคุณภาพกระดาษที่ผ่านการใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องแลกเปลี่ยน กระดาษแบบอัตโนมัติ ทำการทดสอบการแยกกระดาษรีไซเคิลโดยใช้อินฟราเรดเซ็นเซอร์ในการตรวจสอบ สำหรับเป็นแนวทาง นำไปเป็นหลักการแลกเปลี่ยนกระดาษในสำนักงานหรือองค์กรให้มีประสิทธิภาพสูง เพื่อนำกระดาษรีไซเคิลต่อปริมาณกระดาษ ที่นำมาแลก ส่งข้อมูลไปยังบอร์ดทดลองประมวลผลกลางด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้มอเตอร์ทำงานฝัดกระดาษออกมา ตามจำนวนที่ตั้งค่ากับระบบ เพื่อแจ้งจำนวนกระดาษที่คงเหลือสามารถตรวจสอบประมาณกระดาษรีไซเคิล หรือหากมีการ ตรวจสอบข้อมูลระบบจะไม่บันทึกผลการใช้งานได้อย่างต่อเนื่องซึ่งหลักการดังกล่าวเป็นแนวทาง เพื่อส่งเสริมการลดปริมาณ การใช้กระดาษในสำนักงานได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการทดลองผู้วิจัยมีแนวคิดการออกแบบ ใช้หลักการทำงานของต้นแบบเครื่องแลกรกระดาษรีไซเคิล ดังภาพประกอบที่ 1 การทำงานจะใช้หลักการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงภายในเครื่องพิมพ์ดึงกระดาษเข้า และจ่ายกระดาษออก



ภาพประกอบที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องแลกรกระดาษรีไซเคิล

ขั้นตอนการทดสอบรายละเอียดดังนี้

- 1) เพื่อทดสอบความแม่นยำใช้ชนิดกระดาษมาตรฐาน A4 ใส่กระดาษครั้งละ 100 แผ่น ทดสอบ 5 ครั้ง รวมกระดาษจำนวน 500 แผ่น (กระดาษผ่านการใช้งานแล้ว) บันทึกผลการนับจำนวนแผ่นบนจอแสดงผลแอลซีดี
- 2) ผลตรวจคัดแยกกระดาษรีไซเคิลด้วยนาฬิกาจับเวลา ระยะเวลาการดึงแผ่นกระดาษที่ผ่านการใช้งาน 1 และ 2 ด้าน
- 3) การกำหนดเงื่อนไขแลกรจำนวนกระดาษรีไซเคิลในอัตรา 3 แผ่น ต่อการแลกรกระดาษดี 1 แผ่น จากการทดสอบเขียนโปรแกรมให้ระบบการออกแบบเป็นไปตามเงื่อนไขอุปกรณ์ถูกเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดทดลองสำหรับประมวลผลกลาง และบันทึกข้อมูลเชื่อมต่อบนคอมพิวเตอร์

มีหลักการทำงานเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขความถูกต้องจากอินฟาเรดเซ็นเซอร์ใช้อุปกรณ์ ดังนี้ 1) บอร์ดอาร์ดูโน รุ่น UNO R3 2) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 5 แอมป์ 3) วงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้าบัคคอนเวอร์เตอร์ ปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 4) จอแสดงผลแอลซีดี (LCD) สำหรับแสดงผลตัวเลขข้อมูลจำนวนกระดาษ 5) วงจรรีเลย์สวิตช์ 4 ช่อง 6) เครื่องพิมพ์กระดาษยี่ห้อ Canon รุ่น PIXMA IP2770 InkJet จำนวน 2 เครื่อง ใช้หลักการของมอเตอร์ดึงกระดาษดึงรับกระดาษรีไซเคิลเข้าเครื่องพิมพ์บนถาดรองรับ และ 7) กล้องโมดูล 1 ชุด และ 8) อินฟาเรดเซ็นเซอร์ ทำหน้าที่ตรวจสอบพื้นที่การใส่กระดาษรีไซเคิลทั้งสองด้าน ดังภาพประกอบที่ 2

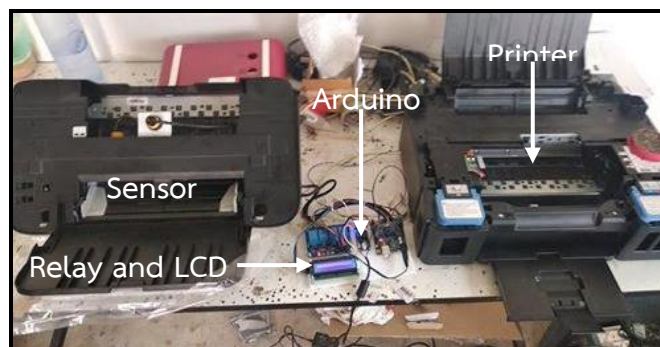


ภาพประกอบที่ 2 ทดสอบการรับกระดาษรีไซเคิลเข้าเครื่องพิมพ์

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบแยกกระดาษโดยเปรียบเทียบความแม่นยำใช้ชนิดกระดาษมาตรฐาน A4 จำนวน 500 แผ่น พบว่าระบบตรวจสอบทำงานอย่างต่อเนื่องใช้ระยะเวลา 20 นาที เมื่อทดสอบการตรวจสอบตัวอย่างทดลองกระดาษที่ผ่านการใช้แล้ว เซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลสัญญาณดิจิทัลไปยังส่วนประมวลผลกลางจากบอร์ดอาร์ดูโน รุ่น UNO R3 แล้ววิเคราะห์พื้นที่การใช้งานกระดาษจากตัวอักษร ตัวเลข และรูปภาพขาวดำ จากนั้นบอร์ดอาร์ดูโนแสดงการประเมินผลผ่านจอแอลซีดี ขนาด 16 x 2 จะแสดงสถานะของอินฟราเรดเซ็นเซอร์ตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 3

จากผลการทดสอบการรับกระดาษรีไซเคิลเข้าเครื่องพิมพ์แลกเปลี่ยนกระดาษ A4 จำนวนกระดาษรีไซเคิลในอัตรา 500 แผ่น ทั้งแบบ 1 และ 2 ด้าน ตามลำดับ พบว่าเครื่องพิมพ์แลกเปลี่ยนกระดาษทำงานอย่างมีประสิทธิภาพพร้อมสามารถแลกเปลี่ยนเฉลี่ยจำนวน 168 แผ่น ดังตารางที่ 1



ภาพประกอบที่ 3 การทดสอบระบบตรวจสอบด้วยอินฟราเรดเซ็นเซอร์

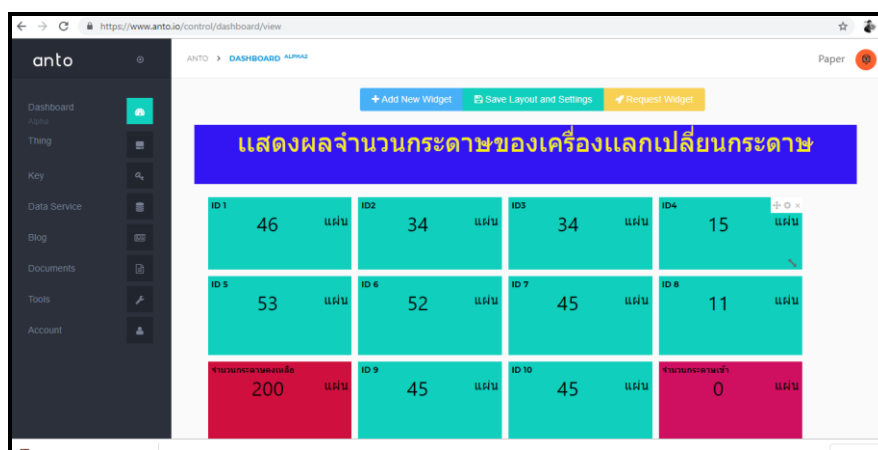
นอกจากนี้จากตารางที่ 1 พบว่า การทำงานตำแหน่งการวางอุปกรณ์อินฟราเรดเซ็นเซอร์ระยะห่างอาจส่งผลต่อระยะเวลาในการตรวจสอบกระดาษ กำหนดปริมาณทดสอบกระดาษรีไซเคิล 500 แผ่น กระดาษรีไซเคิลมีความผิดพลาดเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.10 และ 0.15 ตามลำดับ แต่เมื่อทดลองสุ่มตัวอย่างกระดาษต่างชนิดมารวมกัน มีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.15 และเกิดการส่งสัญญาณเตือนขณะระบบหากทำงานขัดข้องจะแสดงผลข้อมูลบนจอแอลซีดี สำหรับผลการทดสอบที่ได้ระบบทำการบันทึกส่งข้อมูลขึ้นไปเว็บไซต์ของ Netpie และแอปพลิเคชันของ Netpie แล้วเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาษที่รับเข้ามา และจำนวนการนับออกกระดาษดีจากเครื่องพิมพ์

ตารางที่ 1 ผลทดสอบความแม่นยำการแยกระดาศรีไซเคิล

กระดาศรีไซเคิล (500 แผ่น)	ระยะเวลาถึง (นาทื)	ความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	จำนวนนับออก (แผ่น)	แสดงผลข้อมูล
1 ด้าน	10.0	0.10	167	แจ้งสถานะทำงานปกติ
2 ด้าน	13.2	0.15	169	แจ้งสถานะทำงานปกติ
เฉลี่ย	11.6	0.12	168	-

การทดสอบจากการกำหนดผู้ใช้งานตามแป้นกดคีย์แพด โดยมีปุ่มสำหรับกดเพื่อใช้งานซึ่งกำหนดรายละเอียดให้ผู้ใช้งานได้ดังนี้ 1) # หมายถึง ผู้ใช้งานทั่วไป+ปุ่มแลก 2) 1A-10 หมายถึง ผู้ใช้งาน ID 3) D หมายถึง บันทึกข้อมูล data 4) C หมายถึง แกะเปลี่ยนแปลงรหัสผู้ใช้ ID 5) B หมายถึง ลบข้อมูลทั้งหมดตามด้วยกดบันทึก D และ 6) หมายถึง สวิตซ์ทำการแยกระดาศรี

เมื่อมีการใช้งานข้อมูลก็จะถูกบันทึกไว้ ข้อมูลทั้งหมดจะปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากรูปที่ 3 พบว่า ข้อมูลผู้ใช้งานทั้งหมด 10 คน จะกำหนดให้แต่ละคนมีรหัสประจำเป็นของตนเอง คือ ID 1 – ID 10 เพื่อแสดงการใช้กระดาศรีไม่เท่ากัน บันทึกข้อมูลจำนวนแผ่นกระดาศรีที่ใช้ โดยมีโปรแกรม NET PIE จะบันทึกข้อมูลทั้งหมด เมื่อผู้ใช้งานต้องการรายงานผลสามารถเปรียบเทียบจำนวนแผ่นกระดาศรีทั้งหมดในฐานข้อมูล สำหรับเป็นแนวทางการควบคุมใช้กระดาศรีได้อย่างแม่นยำ



ภาพประกอบที่ 4 ข้อมูลผู้ใช้งานการแยกระดาศรี

จากการทดลองพบว่า เครื่องแยกระดาศรีไซเคิลใช้ระยะเวลาในการฝัดกระดาศรีเข้าและฝัดกระดาศรีออกเฉลี่ย 1 วินาที และยังแสดงการบันทึกข้อมูลผ่านเว็บ NET PIE อย่างแม่นยำ และในทดสอบการใช้งาน ภายในหน่วยงานสำนักงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จากการสอบถามมีผู้ใช้งานให้ความสนใจทางด้านโครงสร้างและด้านการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ความพึงพอใจมากที่สุด แต่ยังมีค่าความผิดพลาดเนื่องจากใส่กระดาศรีเข้าไปในช่องฝัดเข้ามากเกินไป และจัดเรียงกระดาศรีไม่เป็นระเบียบทำให้มอเตอร์ฝัดเข้าไปที่หลายแผ่น ดังนั้นเครื่องแยกระดาศรีไซเคิลจึงเหมาะสมกับการนำไปใช้ในสำนักงานหรือองค์กร เพื่อให้รู้คุณค่าของการใช้กระดาศรีและบันทึกข้อมูลของผู้ใช้งาน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการแยกกระดาษรีไซเคิลด้วยอินฟราเรดเซ็นเซอร์ตรวจสอบ สำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษสำหรับองค์กรหรือสำนักงาน ที่ต้องการตรวจสอบผู้ใช้งานกระดาษ ให้ความคุ้มค่าช่วยส่งเสริมการลดปริมาณการใช้กระดาษในสำนักงานได้ จากผลการทดสอบระบบพบว่าระบบทำงานของอินฟราเรดเซ็นเซอร์สามารถทำงานตามหน้าที่ได้ถูกต้อง ทั้งการจัดการคัดแยกกระดาษที่ใช้งานแล้วสองด้านทำงานในระยะเวลาเฉลี่ย 11.6 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ยอมรับได้ในการออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษ แต่จากรายงานของประจักษ์ ดับโศกร และชาญชัย โคตรศรีวังษ์ (2554) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการทำงานของเครื่องจำหน่ายกระดาษแบบหยอดเหรียญ สามารถกำหนดตั้งค่าจำนวนกระดาษที่ขายต่อบาทได้ถึง 1-9 แผ่น และสามารถใส่กระดาษ A4 ในถาดรับกระดาษได้สูงสุด 1,200 แผ่น แต่เป็นเพียงการตรวจสอบนับปริมาณกระดาษจากคำสั่งข้อมูลให้ตรงตามมูลค่าเหรียญหยอดที่การขายเท่านั้น ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพกระดาษที่ผ่านการใช้งาน ดังนั้นการนำหลักการไปสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนกระดาษชนิดหมึกพิมพ์สีขาวและดำ ผู้วิจัยอาจจะต้องทำการทดสอบกับชนิดกระดาษอื่นเพิ่มเติมยกตัวอย่าง เช่น กระดาษสี และกระดาษแข็ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สนับสนุนการวิจัย และนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยเก็บข้อมูลทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2560). *คู่มือปฏิบัติงานสำหรับผู้ประกอบการอาชีพรับซื้อของเก่า*. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2562, http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_waste.cfm?task=recycle_work.
- ประจักษ์ ดับโศกร และชาญชัย โคตรศรีวังษ์. (2554). *เครื่องขายกระดาษหยอดเหรียญ*. สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนขอนแก่นเทคโนโลยีวิทยาคาร.
- วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน. (2536). *กระดาษ*. นิตยสารสารคดี. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2562, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki>.
- สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์ และเอกรินทร์ วาญญูเลิศสกุล. (2558). *เครื่องบีบอัดพลาสติกและกระดาษรีไซเคิล*. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2556). *อุตสาหกรรมกระดาษในยุคดิจิทัล*. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2562, จาก <https://www.tcijthai.com/news/2015/12/watch/5288>