



วารสาร เกษตรอนุภูมิภาคน้ำโขง

Greater Mekong Sub-region
Agricultural Journal

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2567

ISSN: 3056-9478 (Online)

คณะเกษตรและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนครพนม
Faculty of Agriculture and Technology
Nakhon Phanom University



วารสารเกษตรอนุภูมิภาคน้ำโขง

Greater Mekong Sub-Region Agricultural Journal

- ❖ เกษตรอนุภูมิภาคน้ำโขง เป็นวารสารของคณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านการเกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ปีละ 2 ฉบับ ฉบับ ราย 6 เดือน (2 ฉบับ/ปี) คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม
- ❖ เรื่องที่ลงตีพิมพ์ ได้แก่ บทความจากรายงานการวิจัย บทความทางวิชาการ ทางด้านการเกษตร ที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน โดยมีผู้เขียนหรือผู้ร่วมเขียนอย่างน้อย 1 ท่านที่เป็นสมาชิกวารสารเกษตรอนุภูมิภาคน้ำโขง
- ❖ ติดต่อสอบถาม รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับวารสารเกษตรอนุภูมิภาคน้ำโขง
สามารถติดต่อได้ที่ บรรณธิการวารสารเกษตรอนุภูมิภาคน้ำโขง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จ. นครพนม 48000
e-mail: journal_agri@ms.npu.ac.th Website: li05.tci-thaijo.org/index.php/JAgriGMS/index

❖ ที่ปรึกษา

ศ.ดร.อนันต์ พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.สุจินต์ สิมารักษ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

❖ บรรณาธิการ

รองวิชาการฝ่ายวิชาการและวิจัย (ผศ.ดร.อดิเทพชัยการณธ์ ภาชนะวรรณ)	มหาวิทยาลัยนครพนม
--	-------------------

❖ รองบรรณาธิการ

หัวหน้างานวารสารวิชาการ (ดร.พรทิพย์ พุทธโส)	มหาวิทยาลัยนครพนม
--	-------------------

❖ กองบรรณาธิการ (ภายนอก)

รศ.ดร.ปราณีต งามเสน่ห์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.พงศธร กุณัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผศ.จรัญ มงคลวัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผศ.ดร.พัชรภรณ์ สุวอ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ ลาลุน	มหาวิทยาลัยนครพนม
ผศ.ดร.นครินทร์ จ้าอาทิตย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.อนวัทย์ ฝาลี	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร.สมชาย บุตรนันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

❖ กองบรรณาธิการ (ภายใน)

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

❖ ผู้จัดการวารสาร

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยนครพนม

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารฉบับนี้เป็นวารสารเกษตรอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2567 ในฉบับนี้ ในฉบับนี้ประกอบด้วย บทความวิจัยที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทยจำนวน 5 ฉบับ เรื่อง สาขาพืชศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาเทคโนโลยีอาหาร 2 เรื่อง เกษตรเชิงระบบ 1 เรื่อง

ทางวารสารเกษตรอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง เปิดรับบทความวิจัย บทความวิชาการทางเกษตร วิทยาศาสตร์เกษตร เทคโนโลยีการเกษตร เทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารเกษตรอนุภูมิภาคเกษตรลุ่มน้ำโขง สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li05.tci-thaijo.org/index.php/JAagriGMS/index> หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : journal_agri@ms.npu.ac.th ขอให้ทุกท่านมีความสุข สุขภาพแข็งแรง ส่งผลงานวิจัยมาตีพิมพ์กันนะครับ และพบกันฉบับต่อไปครับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเทพชัยการณ ภาชนะวรรณ

บรรณาธิการเกษตรอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง

วารสาร

เกษตรอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง

Greater Mekong Sub-region Agricultural Journal



คณะเกษตรและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนครพนม

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567

บทความวิจัย

หน้า

- การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารพิษตกค้างในผลไม้พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน
ณัฐฐชัยธวัชตติยะพุฒิเมธ1,จารุพงศ์ ประสพสุข1, ประภัสสร สีลาภิรักษ์1,
วัชรพร ศรีสว่างวงศ์11-8
- การพัฒนาแครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคล
กิตติยา ขุนไชย, ชลธาร ไกรษร, ภรณ์ทิพา ไชไพวัลย์ และ กฤติกา ชุณหวิจิตร 9-17
- ผลของการบ่มก่อนพันธ์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังเกษตรศาสตร์ 50
ภากร พันธพาน*, ก้องเกียรติ พรหมศรีธรรม, และ ชัชวาล แสงฤทธิ์ 18-23
- ผลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ดมะเขือเทศ
ประวิต สุพรหม ชัชวาล แสงฤทธิ์ นิคม ศรีหะมงคล และภากร พันธพาน 24-31
- การรอบรอบสับปะรดโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกันรังสีอินฟราเรดที่ควบคุม
ด้วยอินเตอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง
กานต์ กอมณ*, ภาณุวัฒน์ นาทพงษ์, กมลรัตน์ ดีสภา, ทรงพล วิจารณ์จักร..... 32-41

ISSN: 3056-9478 (Online)

คณะเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรและเทคโนโลยี
Faculty of Agriculture and Technology
Nakhon Phanom University

AgriNPU



การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารพิษตกค้างในผลไม้พื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

Human Health Risk Assessment of Pesticide Residues in Fruits in the Upper Northeast of Thailand

ณัฐชัยธร ขัตติยะพุดิเมธ¹, จารุพงศ์ ประสพสุข¹, ประภัสสร สีลารักษ์¹ และ วัชรพร ศรีสว่างวงศ์¹
Natchayathon Khattiyaphutthimet^{1*}, Jarupong Prasopsuk¹, Papatsorn Seelarak¹,
and Watcharaporn Srisawangwong¹

¹สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 อำเภอมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

¹Office of Agricultural Research and Development Region 3, Development of Agricultural, Khon Kaen, 40000

* Corresponding author: natkhat223@gmail.com

Received: date; February 2024 Accepted: date; June 2024 Published: date; June 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารพิษตกค้างในผลไม้พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยเก็บตัวอย่างมะม่วง 4 ชนิด ได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงมหาชนก มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงฟ้าลั่น จากพื้นที่เกษตรปลูกผลไม้เชิงพาณิชย์ ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ กาฬสินธุ์ อุตรดิตถ์ และสกลนคร จำนวน 12 หมู่บ้าน ระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2566 สกัดตัวอย่างด้วยวิธี QuEChERS วิเคราะห์หาสารพิษตกค้างจำนวน 228 ชนิดสาร ด้วยเครื่อง LC-MS/MS ณ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 จำนวน 47 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง จำนวน 19 ตัวอย่าง คิดเป็น 40.42% ปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.01-0.67 มก./กก. ชนิดสารที่ตรวจพบ 8 ชนิด ได้แก่ carbendazim, clothianidin, imidacloprid, lambda-cyhalothrin, metalaxyl, profenofos, pyraclostrobin และ thiamethoxam การประเมินระดับความเสี่ยงต่อผู้บริโภค โดยใช้ข้อมูลชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในผลผลิต คำนวณค่า HQ (Hazard Quotient) และค่า HI (hazard index) โดย ค่า HI > 100 หมายถึง สารพิษตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อผู้บริโภค พบว่า ค่า HI มีค่าระหว่าง 0.20 - 13.70% ไม่มีความเสี่ยงต่อการบริโภค อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยเกษตรกรยังคงมีความจำเป็นต้องระมัดระวังการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : ความเสี่ยง สารเคมีกำจัดศัตรูพืช สารพิษตกค้าง ผลไม้

Abstract

The objectives of this study are to monitor and assess the health risks of pesticide residues in fruits collected from 12 villages across 5 provinces in the Upper Northeast of Thailand during January 2023 to May 2023. Four types of mangoes - *Mangifera indica* 'Nam Dork Mai', *Mangifera indica* 'Mahachanaka' (Rainbow Mango), *Mangifera indica* 'Khiew Sawoey', and *Mangifera indica* 'Faar Lun' - were



collected from Khon Kaen, Chaiyaphum, Kalasin, Udon Thani, and Sakon Nakhon provinces and prepared for pesticide residue analysis. Pesticide risks in the fruits were assessed based on the Hazard Index (HI). A total of 47 samples were prepared and analyzed using the quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS) multi-residue extraction method, followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) determination. The 228 pesticides monitored in this study at OARD 3 were used. The results showed that pesticide residues were detected in 19 samples (40.42% of all samples). Eight pesticides - carbendazim, clothianidin, imidacloprid, lambda-cyhalothrin, metalaxyl, profenofos, pyraclostrobin, and thiamethoxam - were found in the range of 0.01-0.67 mg/kg. The risk assessment for consumption in terms of Hazard Quotient (HQ) and Hazard Index (HI) were conducted. It was found that the HIs ranged from 0.20 - 13.70%, indicating acceptable risks. An HI value greater than 100% would indicate a risk to consumption. However, for safety reasons, farmers still need to be careful about correct pesticide application in plantations.

Keyword: Risk, Pesticide, Pesticide Residues, fruit

บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนมีพื้นที่ปลูกผักและผลไม้ที่สำคัญของประเทศ ในแต่ละปีมีปริมาณผลผลิต ผัก และผลไม้ ออกสู่ตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ การปลูกพืชผักและผลไม้เชิงพาณิชย์หลายชนิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มีความสำคัญเป็นอันดับต้นของประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560ก.; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560ข.; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560ค.; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560ง.; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560จ.) การปลูกพืชผักและเชิงพาณิชย์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและตรงกับความต้องการของตลาด ในขณะที่แรงงานที่น้อยลง ทำให้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น ซึ่งสารเคมีกำจัดศัตรูพืชนอกจากมีเป้าหมายที่ศัตรูพืชแล้ว อาจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อมได้ (ศรีจันทร์และพฤทธิชาติ, 2566) จากรายงานการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างพืชผักและผลไม้ที่ขอรับการรับรองแปลง GAP รายใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ปี 2561-2565 จำนวน 1062 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 453 คิดเป็น 42.7% จำนวนตัวอย่างที่พบเกินค่ามาตรฐาน MRL จำนวน 94 ตัวอย่าง คิดเป็น 8.9% ชนิดพืชที่มักตรวจพบสารพิษตกค้างเกินค่า MRL ได้แก่ พุทรา พริก คื่นหีบก แ้วม้งกร เมล่อน มะเขือเทศ และ ถั่วฝักยาว (จารุพงศ์, 2565)

ปัทมและคณะ (2565) ศึกษาการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในแหล่งปลูกพืชผักต่อความเสี่ยงที่มีต่อสุขภาพเกษตรกร และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอนดินและผัก ในฤดูแล้งและฤดูฝน 78 ตัวอย่าง พบการตกค้าง 34 ตัวอย่าง (ร้อยละ 44) สารพิษตกค้างที่พบในดิน 6 ชนิดสาร ได้แก่ atrazine, ametryn, acetochlor, profenofos, cypermethrin และ permethrin ปริมาณ 0.02-0.10 มก./กก. ในน้ำพบ 4 ชนิดสาร ได้แก่ atrazine, ametryn, acetochlor และ permethrin ปริมาณ 0.02-1.02 ไมโครกรัม/ลิตร ในผักพบ 3 ชนิดสาร ได้แก่ profenofos, carbaryl และ cypermethrin ปริมาณ 0.02-0.07 มก./กก. ไม่พบการตกค้างในตะกอนดิน เมื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยค่า Hazard quotient (HQ) ในดินและผัก มีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ (HQ<1.0) น้ำค่ามากกว่า 1.0 ถือว่ามีความเสี่ยง (HQ>1) และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยค่า Risk Quotient (RQ) ในดินและน้ำ มีค่าน้อยกว่า 0.1 พบว่าไม่มีความเสี่ยง (RQ<1.0)



การใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่อง อาจเกิดการตกค้างในผลผลิต ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และตกค้างในสิ่งแวดล้อม ที่เกิดการฟุ้งของละอองสารเคมีในขณะฉีดพ่น ทำให้เกิดการตกค้างในผลผลิต สะสมในดินและแหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียง เกิดการเคลื่อนย้ายของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม สู่สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ สู่ระบบห่วงโซ่อาหาร ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารพิษตกค้างในผลไม้ พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

วิธีการดำเนินการ

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

สุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากหมู่บ้านที่มีการปลูกผลไม้เชิงพาณิชย์ในจังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ กาฬสินธุ์ อุตรดิตถ์ และสกลนคร จำนวน 12 หมู่บ้าน ระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2566 เก็บตัวอย่างมะม่วง จำนวน 47 ตัวอย่าง ในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ตามข้อกำหนดการสุ่มตัวอย่างและเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารพิษตกค้าง (กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2548) นำแต่ละตัวอย่างใส่ในถุงพลาสติกติดฉลากรายละเอียดตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการภายใน 24 ชั่วโมง

2. การวิเคราะห์สารพิษตกค้าง

ใช้วิธีการสกัด แบบ QuEChERS (BSI., 2008) ตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารพิษตกค้าง จำนวน 228 ชนิดสาร ครอบคลุมสารกำจัดวัชพืช (Herbicide) สารกำจัดแมลง (Insecticide) และ สารป้องกันกำจัดโรคพืช (Fungicide) ด้วยเครื่อง Liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) ใช้ acetonitrile สกัดแบบขั้นตอนเดียวและทำการแยกน้ำในตัวอย่างด้วย $MgSO_4$ ทำให้สะอาดขึ้นด้วย Dispersive-Solid-phase extraction (dispersive-SPE) เพื่อกำจัดกรดอินทรีย์ น้ำส่วนเกินและส่วนประกอบอื่น ๆ ด้วย primary secondary amine (PSA) C18 และ $MgSO_4$ ทำให้เป็นกรดโดยการเติมกรดฟอร์มิก สารสกัดขั้นสุดท้ายนำไปวิเคราะห์ด้วย LC-MS/MS สำหรับตัวอย่างรอวิเคราะห์เก็บในสภาวะเย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง

3. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพืชผัก

ประเมินระดับความเสี่ยงต่อผู้บริโภค โดยใช้ข้อมูลชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในผลผลิต คำนวณสมการ HQ (Hazard Quotient) และค่า HI (hazard index) มาจากผลรวมของ HQ (Gadalla, *et al.*, 2015; Łozowicka *et al.*, 2013) โดยคำนวณจาก Estimate Daily Intake (EDI) หรือ ค่าประมาณการได้รับเข้าสู่ร่างกายด้วยการบริโภคต่อวัน เทียบกับค่า Acceptable Daily Intake (ADI) หรือ ปริมาณสารที่บริโภคทุกวันแล้วไม่พบความเสี่ยงที่มีผลกระทบและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค (สมการ 1)

$$EDI = \sum (Fi \cdot RLi / BW) \quad (\text{สมการ 1})$$

เมื่อ: Fi ; อัตราการบริโภคอาหาร (กก./วัน) มะม่วง 0.214 กก./วัน

อ้างอิงค่าเฉลี่ยปริมาณการบริโภคมะม่วง เฉพาะผู้ที่บริโภค (eater only) ในช่วงอายุ 18-64.9 ปี : กรัม/คนที่บริโภค/วัน (มกอช., 2559)

RLi ; ปริมาณสารพิษตกค้างในมะม่วง (มก./กก.)

BW ; ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กก.) สำหรับผู้ใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ น้ำหนักเฉลี่ย 62.64 กก. (ผู้หญิง = 68.8 กก., ผู้ชาย = 56.48 กก.) (Wells *et al.*, 2012)

คำนวณค่า HQ จากการหาร ค่า EDI กับ ค่า ADI สมการ HQ (สมการที่ 2) คำนวณได้ดังนี้:

$$HQ = (EDI/ADI) \cdot 100 \quad (\text{สมการ 2})$$



เมื่อ: EDI; Estimate Daily Intake หน่วย มก./กก.น้ำหนักตัว/วัน

ADI; Acceptable Daily Intake ได้จากข้อมูลสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในอาหาร Codex online databases (FAO/WHO, 2023) และ Pesticide Properties Database: PPDB, An international database for pesticide risk assessments (AERU. 2023) หน่วย มก./กก.น้ำหนักตัว/วัน

ประเมินความเสี่ยงจากค่า Hazard Index (HI) ที่มาจากผลรวมค่า HQ คำนวณ (สมการ 3) ได้ดังนี้

$$HI = \sum HQ_i \quad (\text{สมการ 3})$$

เมื่อ: HQ_i; Hazard quotient ของสารพิษ

HI >100; หมายถึง สารพิษตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อผู้บริโภค

HI <100; หมายถึง สารพิษตกค้างอยู่ในระดับยอมรับได้

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างมะม่วง 4 ชนิด ได้ออก มะม่วงน้ำดอกไม้ 36 ตัวอย่าง มะม่วงมหาชนก 8 ตัวอย่าง มะม่วงเขียวเสวย 2 ตัวอย่าง และมะม่วงฟ้าลั่น 1 ตัวอย่าง รวม จำนวน 47 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง จำนวน 19 ตัวอย่าง คิดเป็น 40.42% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งพบการตกค้างในตัวอย่างมะม่วงมหาชนก 3 ตัวอย่าง (6.38%) และมะม่วงน้ำดอกไม้ 16 ตัวอย่าง (34.04%) ปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.01-0.67 มก./กก. จำแนกตามประเภทการใช้งาน ประเภทที่พบมากที่สุด คือ สารกำจัดแมลง 5 ชนิด ได้แก่ clothianidin, imidacloprid, lamda-cyhalothrin, , profenofos, และ thiamethoxam สารกำจัดโรคพืช 3 ชนิด ได้แก่ carbendazim, metalaxyl และ pyraclostrobin (Table 1)

Table 1 Frequencies of pesticides detected in Mangoes samples in Upper Northeast Thailand

Pesticides detected	Type	WHO classification	MRLs (มก./กก.)	Number of samples detected	Amount of pesticide detected (มก./กก.)
carbendazim	FUC	U	2 ¹	15	0.01-0.67
clothianidin	INS	II	0.04 ²	5	0.01-0.04
imidacloprid	INS	II	0.4 ¹	1	0.01
lamda-cyhalothrin	INS	II	0.2 ¹	1	0.01
metalaxyl	FUC	II	0.01 ³	1	0.04
profenofos	INS	II	0.2 ¹	1	0.01
pyraclostrobin	FUC	Not listed	0.6 ²	1	0.04
thiamethoxam	INS	II	0.2 ¹	1	0.01

II =Moderately hazardous, III =Slightly hazardous, U=Unlikely to present an acute hazard (World Health Organization, 2020), MRL = maximum residue limit, INS = insecticide, FUC = fungicide

¹; Thai Agricultural Standard TAS 9002-2016 (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2016), ²; Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2023), ³; European Commission Pesticides database MRLs (EU) 2022/1343 (European Commission, 2023)



ผลการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคด้วยดัชนีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ (Hazard Index)

นำผลวิเคราะห์สารพิษตกค้างมาประเมินความเสี่ยงต่อการบริโภค โดยใช้ค่าดัชนีบ่งชี้ Hazard Index เป็นดัชนีชี้วัดความเสี่ยง หาก HI มากกว่า 100 ถือว่ามีความเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค พบว่า ค่า HI ของมะม่วงมีค่าระหว่าง 0.009- 14.06 % มีค่าน้อยกว่า 100 (Table 2) แสดงว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการบริโภคซึ่งหมายถึงปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เมื่อพิจารณาจากพันธุ์ของมะม่วง พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้พบการตกค้าง 44.44% ของจำนวนตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้ และมะม่วงมหาชนกพบการตกค้าง 37.5% ของจำนวนตัวอย่างมะม่วงมหาชนก ซึ่งมะม่วงทั้งสองชนิดสามารถส่งออกจำหน่ายในประเทศต่างๆ เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น เวียดนาม เป็นต้น ซึ่งการผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออกมักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลผลิต ผลผลิตถูกทำลายโดยแมลงศัตรูพืช เช่น เพลี้ยจักจั่นมะม่วง เพลี้ยไฟพริก ดั้วงวงกัดใบมะม่วง แมลงวันทอง หนอนเจาะผลมะม่วง เพลี้ยแป้งน้อยหน่า และดั้วงวงเจาะเมล็ดมะม่วง เป็นต้น (ศรีจันทร์และพทุธิชาติ, 2566) เกษตรกรควรใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่ถูกต้องและเหมาะสมกับศัตรูพืชแต่ละชนิด เพื่อลดปัญหาการตกค้างในผลผลิต และการสะสมในสิ่งแวดล้อม

สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างมะม่วง ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน พบสารพิษสารพิษตกค้าง คิดเป็นร้อยละ 40.42 ของจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ ปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.01-0.67 มก./กก. เมื่อนำมาคำนวณค่า HI เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการบริโภค พบว่า อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปเผยแพร่และแนะนำเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ให้เกิดการเฝ้าระวังการใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้อง เพื่อความปลอดภัยของเกษตรกรและผู้บริโภค

**Table 2** Assessment of consumption risk for mango in Upper NE Thailand

Plots No.	Pesticide	Residues (มก./กก.)	EDI	ADI	HQ (%)	HI = Σ HQ (%)	Health Risk
1	carbendazim	0.38	1.54×10^{-3}	0.02	7.73	9.36	accept
	lamda-cyhalothrin	0.01	4.07×10^{-5}	0.025	1.62		
2	carbendazim	0.02	8.14×10^{-5}	0.02	0.41	0.41	accept
3	carbendazim	0.02	8.14×10^{-5}	0.02	0.41	0.85	accept
	clothiandin	0.02	8.14×10^{-5}	0.097	0.08		
	metalaxyl	0.04	1.63×10^{-4}	0.08	0.20		
	thaiamethoxam	0.01	4.07×10^{-5}	0.026	0.16		
4	carbendazim	0.43	1.75×10^{-3}	0.02	8.75	8.75	accept
5	clothianidin	0.01	4.07×10^{-5}	0.097	0.04	0.042	accept
6	profenofos	0.01	4.07×10^{-5}	0.03	0.14	0.136	accept
7	carbendazim	0.34	1.38×10^{-3}	0.02	6.92	7.46	accept
	pyraclostrobin	0.04	1.63×10^{-4}	0.03	0.54		
8	carbendazim	0.01	4.07×10^{-5}	0.02	0.204	0.204	accept
9	carbendazim	0.67	2.73×10^{-3}	0.02	13.64	13.7	accept
	imidacloprid	0.01	4.07×10^{-5}	0.06	0.07		
10	carbendazim	0.04	1.63×10^{-4}	0.02	0.814	0.814	accept
11	carbendazim	0.04	1.63×10^{-4}	0.02	0.814	0.814	accept
12	carbendazim	0.15	6.11×10^{-4}	0.02	3.05	3.05	accept
13	carbendazim	0.57	2.32×10^{-3}	0.02	11.60	11.7	accept
	clothiandin	0.02	8.14×10^{-5}	0.097	0.084		
14	cabendazim	0.04	1.63×10^{-4}	0.02	0.814	0.814	accept
15	cabendazim	0.01	4.07×10^{-5}	0.02	0.204	0.204	accept
16	cabendazim	0.01	4.07×10^{-5}	0.02	0.204	0.204	accept
17	cabendazim	0.04	1.63×10^{-4}	0.02	0.814	0.814	accept
18	carbendazim	0.02	8.14×10^{-5}	0.02	0.41	0.41	accept
19	carbendazim	0.13	5.29×10^{-4}	0.02	2.63	2.69	accept
	clothiandin	0.01	4.07×10^{-5}	0.097	0.042		
					Average	3.29	accept

HI > 100 = risk to consumers, HI $\leq$ 100 = accept; EDI = estimated daily (มก./กก.น้ำหนักตัว/วัน); ADI = acceptable daily intake (มก./กก.น้ำหนักตัว/วัน); ADI values according to the Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2023) and Pesticide Properties Database: PPDB, An international database for pesticide risk assessments (AERU, 2023)



เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2557). เอกสารวิชาการ. การผลิตผลไม้นอกฤดูเพื่อเพิ่มศักยภาพการตลาด. สืบค้น 10 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.servicelink.doae.go.th/>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560ก). รายงานสถานการณ์การเพาะปลูก ใช้น้ำ ปีเพาะปลูก 2561 จำแนกตามรายจังหวัด. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร. สืบค้น 10 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560ข). รายงานสถานการณ์การเพาะปลูก พริกชี้ฟ้าเม็ดใหญ่ ปีเพาะปลูก 2561 จำแนกตามรายจังหวัด. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร. สืบค้น 10 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560ค). รายงานสถานการณ์การเพาะปลูก พุทรา ปีเพาะปลูก 2561 จำแนกตามรายจังหวัด. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร. สืบค้น 10 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560ง). รายงานสถานการณ์การเพาะปลูก มะเขือเทศ ปีเพาะปลูก 2561 จำแนกตามรายจังหวัด. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร. สืบค้น 10 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560จ). รายงานสถานการณ์การเพาะปลูก มะม่วง ปีเพาะปลูก 2561 จำแนกตามรายจังหวัด. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร Online กรมส่งเสริมการเกษตร. สืบค้น 10 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2565). การผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก. สืบค้น 10 มกราคม 2567, จาก https://mediatank.doae.go.th/medias/file_upload/12-2022/3-1751705114510091.pdf
- กลุ่มวิจัยวัตถุดิบพืชการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2548. คู่มือการใช้บริการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง คุณภาพวัตถุดิบพืชการเกษตรและสารธรรมชาติ. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- จารุพงศ์ ประสพสุข. (2565). รายงานสรุปผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในพืชผักและไม้ผลพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนบน ปี 2561-2565. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร.
- ปัทมรา คุณเลิศ, ประกิจ จันตรีดี และผกาสินี คล้ายมาลา. (2565). ผลการปฏิบัติงานประจำปี 2565 กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กลุ่มบริการโครงการวิจัย กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- ศรีจันทร์ ศรีจรยา และ พงษ์ชาติ ปุณวัฒโน. (2566). เอกสารวิชาการ คำแนะนำการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชอย่างปลอดภัยจากงานวิจัย ปี 2566. กลุ่มบริหารศัตรูพืช/กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยและพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2559). สารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด: มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9002-2559. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Agriculture and Environment Research Unit [AERU]. (2023). Pesticide Properties Database (PPDB). Agriculture and Environment Research Unit, University of Hertfordshire. Available at: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>. Accessed: July 20, 2023.



- British Standards [BSI]. (2008). Foods of plant origin Determination of pesticide residues using GC- MS and/or LC-MS-MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean up by dispersive SPE- QuEChERS-method. BS EN 15662:2008. London: BSI Group, Chiswick High Road.
- European Commission. (2023). European Commission Pesticides database MRLs (EU) 2022/1343. Available at: https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en. Accessed: July 20, 2023.
- Food and Agricultural Organization/World Health Organization [FAO/WHO]. (2023). Pesticide residues in food and feed: Codex Alimentarius. pesticides. Online Database. Available at: <http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/pesticides>. Accessed: July 20, 2023.
- Gadalla, S.A., N.M. Loutfy, A.H. Shendy, and M.T. Ahmed. (2015). Hazard Index, a Tool for a Long-term Risk Assessment of Pesticide 3 Residues in Some Commodities, a Pilot Study. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 73(3), 985- 991.
- Łozowicka, B., P. Kaczynski, E. Rutkowska, M. Jankowska, and I. Hrynko. (2013). Evaluation of pesticide residues in fruit from Poland and health risk assessment. Agricultural Sciences 2013, 4(5B), 106-111.
- World Health Organization. (2020). WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition. Geneva



การพัฒนาแครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคล Development of germinated parboiled rice cracker supplemented with kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC) powder

กิตติยา ขุนไชย¹, ชลธาร ไกรสร¹, ภารทิพย์ ไช้ไพรวลัย¹ และ กฤติกา ชุนหวีจิตร^{1*}

Kittiya Khunchai¹, Chonlatharn Kraisorn¹, Phonthip Khaipraiwan¹

and Krittika Chunwijitra^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

¹Department of Food Technology, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University,
Nakhon Phanom, 48000, Thailand

*Corresponding author: krittika@npu.ac.th

Received: date; February 2024 Accepted: date; June 2024 Published: date; June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณการเสริมผงผักเคลที่ร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก (สูตรที่ 1 2 3 และ 4) ต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่า การเสริมผงผักเคลส่งผลให้คุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส อัตราการขยายตัวและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ (สูตรที่ 2 ถึง 4) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่เสริมผงผักเคล (สูตรที่ 1) ปริมาณผงผักเคลที่เพิ่มขึ้น ทำให้ ค่า L^* a^* b^* และ C^* ลดลง โดยสูตรที่ 4 ที่มีปริมาณผงผักเคลร้อยละ 7.5 มีค่า L^* a^* b^* และ C^* น้อยที่สุด คือ 34.23, -0.29, 14.35 และ 103.1 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกที่เสริมผงผักเคลมีเฉดสีอยู่ในช่วง เหลืองถึงเขียว (ค่า h° อยู่ระหว่าง 90° ถึง 180°) ส่วนที่ไม่มีการเสริมผงผักเคลจะมีเฉดสีแดงถึงสีเหลือง (ค่า h° อยู่ระหว่าง 0 ถึง 90°) และพบว่าสูตรที่เสริมผงผักเคลมีค่าอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วงระหว่าง 7.00 ถึง 8.49 และมีค่าความแข็งที่ 2,105.00 ถึง 2,494.08 กรัม ซึ่งต่ำกว่าสูตรที่ 1 ที่ไม่เสริมผงผักเคล ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 12.83 และ 3,236.67 กรัม ตามลำดับ ตัวอย่างทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.3797 ถึง 0.5822 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 โดยอยู่ใน มผช. 523/ 2563 แครกเกอร์สูตรที่เสริมผงผักเคลที่ร้อยละ 5.0 เป็นสูตรที่ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ที่ 7.53

คำสำคัญ : แป้งข้าวฮางอก ผักเคล แครกเกอร์

Abstract

The research aims to investigate the effects of adding 0%, 2.5%, 5.0%, and 7.5% kale powder by weight (formulas 1, 2, 3, and 4, respectively) on the physicochemical quality and sensory acceptance of the product. The results found that the addition of kale powder affected the color, texture, spread ratio, and water activity of the products (formulas 2 - 4) significantly differently from the sample without kale powder (formula 1). An increase in kale powder content decreased the L^* , a^* , b^* , and C^* values.



Formula 4, containing 7.5% kale powder, had the lowest L^* , a^* , b^* , and C^* values, ranging from 34.23, -0.29, 14.35, and 103.1, respectively. The germinated parboiled rice crackers supplemented with kale powder had a color shade ranging from yellow to green (hue angle 90° - 180°), while those without kale powder addition had a color shade ranging from red to yellow (hue angle 0° - 90°). It was found that the formulas added with kale powder showed a lower spread ratio in the range of 7.00 - 8.49 and hardness in the range of 2,105.00 - 2,494.08 g compared to the control sample (formula 1: without kale powder), which had values of 12.83 and 3,236.67 g, respectively. All formulas had water activity in the range of 0.3797 to 0.5822, less than 0.6 according to TCPS: 523/2020. The cracker with 5% kale powder had the highest sensory overall liking score of 7.53.

Keywords: germinated parboiled rice, kale, cracker

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำเอาธัญพืชชนิดที่มีปริมาณแป้งสูง อาทิเช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ฟักทอง เป็นต้น มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์จากข้าวเหนียวดำ (Sattasuwan et al., 2010) และผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน (ญาณีสา และคณะ, 2562) เป็นต้น โดยจุดประสงค์การทดแทนแป้งสาลี เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ปราศจากกลูเตนสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นโรคแพ้กลูเตน (Coeliac disease) ซึ่งกลูเตนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต อีกทั้งแป้งจากธัญพืชยังอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น โปรตีน โยอาหาร วิตามินและสารพฤกษเคมี ซึ่งช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์

ข้าวฮางอก เป็นข้าวที่เพาะงอกจากข้าวเปลือก โดยการแช่ข้าวเปลือกในน้ำ 1-2 คืน แล้วนำขึ้นมาพักไว้ปล่อยให้รากงอกยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการนึ่งและทำแห้ง ทั้งนี้ ในระหว่างกระบวนการงอกของราก เอนโดสเปิร์มจะนิ่มลงและเอนไซม์ที่อยู่ในเมล็ดข้าวถูกกระตุ้นทำให้เกิดการสลายวิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน และกลิ่นหอมจากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น โดยสารสำคัญที่พบในข้าวฮางอก ได้แก่ สารกาบา (GABA) ซึ่งมีมากกว่าข้าวกล้องถึง 15 เท่า ช่วยรักษาระบบประสาทส่วนกลาง รักษาสมดุลในสมอง ป้องกันมะเร็งลำไส้ เป็นต้น อีกทั้งยังมีโปรตีนและไขมันที่ดี เช่น ออริซานอล โทโคฟีรอล ไตรโคไตรอินอลฯ ซึ่งช่วยลดไขมันในเลือดและหลอดเลือด ลดไขมันชนิด LDL และเพิ่มปริมาณไขมันชนิด HDL นอกจากนี้ ข้าวฮางอกยังมีปริมาณโยอาหารชั้นดีสูง สูงกว่าข้าวขาว 15 ถึง 20 เท่า (อุไรวรรณ และคณะ, 2561) ด้วยเหตุนี้ จึงมีการนำข้าวฮางอกมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพชนิดผงพร้อมชงจากข้าวฮางอก (สุภาภรณ์ และคณะ, 2556) ผลิตภัณฑ์บราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวฮางอก (โชติกันต์ และคณะ, 2565) เป็นต้น

ผักเคล (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC) หรือคะน้าใบหยิก จัดเป็นพืชผักในวงศ์ Brassicaceae เช่นเดียวกับคะน้า บร็อคโคลี่ และกะหล่ำปลี ผักเคลถูกขนานนามว่าเป็นราชินีแห่งผักสีเขียวทั้งมวล (Queen Of Greens) และได้รับการยอมรับว่าเป็น Super food หรืออาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ผักเคลมีปริมาณโปรตีน โยอาหาร สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ วิตามินและแร่ธาตุ ที่สูงเมื่อเทียบกับผักประเภทอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน โดยผักเคล 100 กรัม มีโปรตีน 4.3 กรัม โยอาหาร 4.1 กรัม ธาตุเหล็ก 1.6 มิลลิกรัม แคลเซียม 254 มิลลิกรัม วิตามิน เอ 4,810 IU มีวิตามิน ซี สูงถึง 93.4 มิลลิกรัม และพบสารลูทีน (Lutein) และซีแซนทีน (Zeaxanthin) รวมกันในปริมาณมากถึง 6,260 ไมโครกรัม ซึ่งสารดังกล่าวทำหน้าที่ในการช่วยดูแลดวงตา (USDA, 2019) จากงานวิจัยของ Kahlon et al. (2007) พบว่าผักเคลช่วยยับยั้งการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ เนื่องจากผักเคลมีสารประกอบฟีนอลสูงและมีสารออกฤทธิ์ที่



มีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพ Kim (2017) รายงานว่าในผักเคลมีสารอาหารหลายอย่างที่จะช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของดวงตาโดยเฉพาะลูทีนและซีแซนทีน

งานวิจัยนี้มีความสนใจนำผงผักเคลมาใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับแป้งข้าวฮางอกในการผลิตแครกเกอร์แป้งข้าวฮางอก เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง เป็นที่สนใจของผู้บริโภค อีกทั้งยังได้มีการศึกษามาก่อน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณการเสริมผงผักเคลที่ระดับที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง เพิ่มกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้งูเตน และเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งข้าวฮางอก

นำข้าวฮางอกที่ผลิตมาจากข้าวหอมมะลิ 105 จากวิสาหกิจชุมชนแม่บ้านเกษตรบ้านดงหลวง อ.เต่างอย จ. สกลนคร มาทำการอบลดปริมาณความชื้นด้วยการอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ชั่วโมง โดยให้ความชื้นสุดท้ายน้อยกว่าร้อยละ 10 จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 140 เมช เก็บใส่ถุงออลูมิเนียมฟอยล์

2. การเตรียมผงผักเคล

นำผักเคลชนิดใบหยิกส่วนใบที่อายุการปลูกประมาณ 60 วัน จากจังหวัดนครพนม มาใช้ในการทดลอง โดยนำมาล้างให้สะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ นำมาหั่นเป็นชิ้นที่เล็กลง จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง โดยให้ความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 10 จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดสมุนไพร เก็บใส่ถุงออลูมิเนียมฟอยล์

3. การผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคล

ซึ่งส่วนผสม ได้แก่ แป้งข้าวฮางอก 100 กรัม น้ำตาล 10 กรัม เกลือ 3 กรัม เนยสด 30 กรัม คาร์บอซีเมทิลเซลลูโลส 2 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.8 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง 5 กรัม และน้ำ 65 กรัม และเสริมผงผักเคลในปริมาณร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ในสูตรที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ นำส่วนผสมทั้งหมดร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นนวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน พักแป้งโดใช้ผ้าขาวบางชุบน้ำคลุมทิ้งไว้นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ขึ้นรูปโดยชั่งน้ำหนักชิ้นละ 5 ± 0.5 กรัม ขนาดชิ้นละ 4×4 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หลังจากนำออกจากเตา นำตัวอย่างมาผึ่งให้เย็น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีและกายภาพ

4. การวิเคราะห์คุณภาพด้านสี

วิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของผงผักเคล ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น CR-400, Minolta, Japan) โดยวัดค่าสีตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 จุด นำค่า a^* และ b^* ที่ได้มาคำนวณค่า C^* (Chroma) ตามสมการที่ 1 และค่า h° (Hue angle) ตามสมการที่ 2

$$\text{Chroma } (C^*) = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$\text{Hue angle } (h^\circ) = \tan^{-1} (b^*/a^*) \text{ เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* \geq 0 \quad \text{สมการที่ 2}$$

$$= \tan^{-1} (b^*/a^*) + 180^\circ \text{ เมื่อ } a^* < 0$$

$$= \tan^{-1} (b^*/a^*) + 360^\circ \text{ เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* < 0$$

5. วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity: a_w) ด้วยเครื่องวัดกิจกรรมน้ำ (รุ่น LabMaster- a_w Neo, Novasina, Switzerland) ทำการทดสอบทั้ง 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

6. วิเคราะห์ค่าอัตราการขยายตัว

วิเคราะห์ค่าอัตราการขยายตัว (spread ratio) ตามวิธี AACC (2000) โดยนำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แบ่งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคลทั้ง 4 สูตร มาวัดค่าความหนาและความกว้างของแครกเกอร์หลังอบด้วยเครื่องเวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) สูตรละ 3 ซ้ำแล้วคำนวณตามสมการที่ 3

$$\text{อัตราการขยายตัว} = \frac{\text{ค่าขนาดความกว้างหลังอบ}}{\text{ค่าขนาดความหนาหลังอบ}} \quad \text{สมการที่ 3}$$

6. วิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส โดยวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์ด้วย เครื่อง Texture analyzer (รุ่น CT3, USA) ใช้หัว Cylinder probe No.15 โดยทำการทดสอบทั้ง 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

7. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น ความกรอบ รสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ของแครกเกอร์แบ่งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคลทั้ง 4 สูตร โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบความชอบแบบ 9 - point hedonic scaling

8. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษานี้ได้เลือกใช้ผักเคลชนิดเคลใบหยิก (curly kale) ดังแสดงใน Figure 1 (a) ที่ปลูกในจังหวัดนครพนม อายุการปลูก 60 วัน มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง แล้วบดเป็นผงละเอียด ผงผักเคลที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงสีเขียว ดังแสดงใน Figure 1 (b) เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านสีแสดงด้วยค่า L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ในระบบ CIELAB และนำค่า a^* และ b^* ที่ได้มาคำนวณค่า C^* (Chroma) และ h° (Hue angle) พบว่าผงผักเคลมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 58.10 -3.15 และ 31.34 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า C^* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสดสีของสีพบว่าผงผักเคลมีค่า C^* อยู่ที่ 496.1 และมีค่า h° ที่แสดงถึงมุมของสีที่อยู่ 178.5294 ซึ่งมีเฉดสีอยู่ในช่วงเหลืองถึงสีเขียว



Figure 1 Fresh kale (a) and kale powder (b)

Table 1 Color characteristics of kale powder

kale powder	color characteristics				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
	58.10±0.78	-3.15±0.09	31.34±0.07	496.1±1.32	178.5294±0.0012

Remarks: Mean values are the mean $\pm$ SD

นำผงผักเคลที่ได้มาเสริมในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอก ที่ประกอบไปด้วย แป้งข้าวฮางอก น้ำตาล เกลือ เนยสด คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โซเดียมไบคาร์บอเนต โปรตีนถั่วเหลือง และน้ำ และเสริมผงผักเคลในปริมาณร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ในสูตรที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์คุณภาพด้านสี อัตราการขยายตัว ค่าเนื้อสัมผัส ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคล ดังแสดงใน Table 2 พบว่าการเสริมผงผักเคลมีผลทำให้ค่า L^* a^* และ b^* ของแครกเกอร์ทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณการเสริมผงผักเคลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ ค่า L^* a^* และ b^* ลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากผงเคลมีสีเขียวเข้ม (Figure 1 (b)) เมื่อเสริมในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทำให้สีของแครกเกอร์เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียวเข้ม ค่า b^* ที่แสดงความเป็นสีเหลืองลดลงจาก 30.11 ในสูตรที่ 1 (ไม่เสริมผงผักเคล) เป็น 20.60 17.45 และ 14.35 ในสูตรที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ ค่า a^* เปลี่ยนจากค่าเป็นบวกซึ่งแสดงความเป็นสีแดงเป็นค่าติดลบซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวในตัวอย่างที่มีการเสริมผงผักเคล (สูตร 2 ถึง 4) สำหรับค่า C^* ที่แสดงถึงความสดใสของสีมีค่าลดลงจาก 476.5 ในสูตรที่ 1 ที่ไม่เสริมผงผักเคล เป็น 212.6 152.7 และ 103.1 ตามลำดับ เมื่อปริมาณการเสริมผงผักเคลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า h° พบว่าสามารถแบ่งเฉดสีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่เสริมผงผักเคล ได้แก่ สูตรที่ 1 ค่า h° อยู่ที่ 1.3500 มีเฉดสีแดงถึงสีเหลือง (ค่า h° อยู่ระหว่าง 0 ถึง 90°) และกลุ่มที่เสริมผงผักเคล ได้แก่ สูตรที่ 2 3 และ 4 ค่า h° อยู่ที่ 178.4305 178.4373 และ 178.449 ตามลำดับ มีเฉดสีเหลืองถึงเขียว (ค่า h° อยู่ระหว่าง 90° ถึง 180°) สอดคล้องกับสีที่ปรากฏดังแสดงใน Figure 2

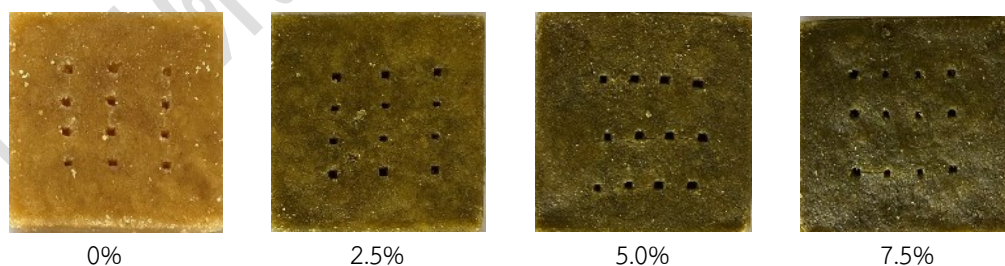

Figure 2 Photographs of kale powder (0–7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

Table 2 L^* a^* b^* C^* and h° of kale powder (0 – 7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

formula	kale powder (%)	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
1	0	54.49±2.98 ^a	6.75±0.16 ^a	30.11±1.26 ^a	476.5±38.9 ^a	1.3500±0.0072 ^c
2	2.5	39.72±0.57 ^b	-0.05±0.03 ^b	20.60±1.13 ^b	212.6±22.8 ^b	178.4305±0.0011 ^b
3	5.0	36.64±1.47 ^{bc}	-0.14±0.09 ^{bc}	17.45±1.22 ^c	152.7±20.9 ^c	178.4373±0.0058 ^b
4	7.5	34.23±0.74 ^c	-0.29±0.04 ^c	14.35±0.61 ^d	103.1±18.8 ^c	178.4496±0.0037 ^a

Remarks: Mean values are the mean $\pm$ SD, Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

จาก Table 3 แสดงให้เห็นว่าการเสริมผงผักเคลมีผลทำให้ค่าอัตราการขยายตัวของแครกเกอร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (สูตรที่ 1) ที่ไม่เสริมผงผักเคล โดยมีค่าอัตราการขยายตัวมากที่สุดอยู่ที่ 12.83 ซึ่งมากกว่าสูตรที่เสริมผงผักเคล (สูตรที่ 2 ถึง 4) ที่มีค่าอัตราการขยายตัวของแครกเกอร์ที่ 7.00 ถึง 8.49 เป็นผลมาจากผงผักเคลมีปริมาณใยอาหารที่สูง (USDA, 2019) ซึ่งจะไปขัดขวางการพองตัวของแป้งในการเกิดโครงสร้างโพรงอากาศจึงทำให้การขยายตัวของแครกเกอร์ลดลง สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Drisya et al. (2015) ที่รายงานว่า ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่เสริมด้วยผงใบหอมแขกอบแห้ง ซึ่งเป็นพืชที่อุดมไปด้วยเส้นใยจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 15 ทำให้ค่าอัตราการขยายตัวลดลงจาก 7.40 เป็น 6.22

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้านความแข็งของตัวอย่างแครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคลด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าแครกเกอร์ทั้ง 4 สูตรมีความแข็งที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณผงผักเคลส่งผลให้ค่าความแข็งของแครกเกอร์ลดลง จาก 3236.67 กรัม ในสูตรที่ 1 ที่ไม่เสริมผงผักเคล เป็น 2,105.00 2,244.00 และ 2,494.08 กรัม ในสูตรที่ 2 3 และ 4 ที่มีการเสริมผงผักเคลร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ตามลำดับ และปริมาณการเสริมผงผักเคลที่ต่างกันที่ระดับร้อยละ 2.5 ถึง 7.5 ไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ($p > 0.05$) ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงเมื่อเสริมผงผักเคลเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยทั่วไปจะนิยมใช้แป้งสาลีที่มีโปรตีนกลูเตนที่มีบทบาททำให้โครงสร้างของโดในผลิตภัณฑ์ขนมอบแข็งแรงในการผลิต แต่ในงานวิจัยนี้ใช้แป้งข้าวฮางอกซึ่งปราศจากกลูเตนเป็นส่วนผสมส่งผลให้โครงสร้างของโดไม่แข็งแรง (Gallagher et al., 2004) เมื่อเสริมผงผักเคลซึ่งมีปริมาณใยอาหารที่สูงจะไปทำการขัดขวางโครงสร้างของโดเมื่อขึ้นรูปแล้วนำไปอบผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะร่วน ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์จึงลดลง

ค่าวอเตอร์แอคติวิตีหรือปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่าง พบว่าการเสริมผงผักเคลที่ระดับปริมาณร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักขึ้นไป มีแนวโน้มให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตีของผลิตภัณฑ์ลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 4 สูตร มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีอยู่ที่ 0.3797 ถึง 0.5822 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 ส่งผลให้จุลินทรีย์โดยเฉพาะก่อโรคไม่สามารถเจริญได้รวมทั้งสามารถยับยั้งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและไม่ปลอดภัย (USFDA, 2014) และอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่อง ขนมปังกรอบ (มผช.523/2563) คือ ไม่เกิน 0.6

**Table 3** Spread ratio hardness and a_w of kale powder (0 – 7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

formula	kale powder (%)	spread ratio	hardness (g)	a_w
1	0	12.83±3.18 ^a	3,236.67±226.89 ^a	0.5081±0.0962 ^{ab}
2	2.5	7.70±0.95 ^b	2,105.00±724.00 ^b	0.5822±0.0056 ^a
3	5.0	8.49±2.75 ^{ab}	2,244.00±170.48 ^b	0.3797±0.0165 ^b
4	7.5	7.00±0.00 ^b	2,494.08±292.62 ^b	0.4570±0.0043 ^{ab}

Remarks: Mean values are the mean ± SD, Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ กลิ่น และความชอบโดยรวม (Table 4) ของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคลที่อัตราส่วนที่ต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม ไม่เสริมผงผักเคล) 2.5 5.0 และ 7.5 ด้วยวิธีการทดสอบความชอบแบบ 9 - point hedonic scaling ให้คะแนนตามลำดับความชอบในช่วงคะแนน 1 - 9 โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทุกสูตรได้รับคะแนนการทดสอบความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ กลิ่น และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกที่เสริมผงผักเคลในสูตรที่ 2 ถึง 4 สูงกว่าที่ไม่เสริมผงผักเคลในสูตรที่ 1 การเสริมผงผักเคลที่ปริมาณร้อยละ 5.0 ในสูตรที่ 3 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยได้คะแนนจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ กลิ่น และความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยมีคะแนนอยู่ที่ 7.50 7.27 7.17 7.63 6.57 และ 7.53 ตามลำดับ ในขณะที่การเสริมผงผักเคลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7.5 จะส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสในด้านสีและความกรอบลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเขียวเข้มขึ้นสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีใน Table 2 ที่พบว่าค่า L^* a^* b^* และ C^* ลดลง และมีค่าความแข็งที่มีแนวโน้มสูงขึ้น (Table 3)

Table 4 Sensory evaluation of kale powder (0–7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

formula	kale powder (%)	sensory characteristics					
		appearance	color	order	crispness	taste	overall liking
1	0	6.00±1.05 ^b	6.03±1.35 ^c	5.73±1.23 ^b	6.83±1.34 ^b	5.73±1.23 ^b	5.37±1.00 ^c
2	2.5	6.37±1.07 ^b	6.50±1.11 ^{bc}	6.90±1.16 ^a	6.50±1.07 ^b	6.23±0.97 ^a	6.40±1.35 ^b
3	5.0	7.50±0.86 ^a	7.27±1.20 ^a	7.17±1.09 ^a	7.63±1.07 ^a	6.57±1.07 ^a	7.53±1.04 ^a
4	7.5	7.00±1.23 ^a	7.03±1.33 ^{ab}	7.03±1.03 ^a	6.80±0.89 ^b	6.43±1.14 ^a	7.30±0.92 ^a

Remarks: Mean values are the mean ± SD, Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).



สรุปผลการทดลอง

การเสริมผงผักเคลที่ปริมาณร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกมีผลต่อคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี อัตราการขยายตัว ค่าความแข็ง ค่าปริมาณน้ำอิสระและการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ปริมาณผงผักเคลที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ ค่าสี L^* a^* b^* และ C^* ลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีเขียวที่เข้มขึ้น โดยมีเฉดสีอยู่ที่เฉดสีเหลืองถึงเขียว (h° อยู่ระหว่าง 90° ถึง 180°) ในส่วนของค่าอัตราการขยายตัวและค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง ค่าวอเตอร์แอคทีวิตีของผลิตภัณฑ์ได้ทั้ง 4 สูตร อยู่ใน มผช. 523/2563 คือ มีค่าต่ำกว่า 0.6 แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคลที่ร้อยละ 5.0 (สูตรที่ 3) ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุดในทุกด้าน โดยมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ 7.53 การเสริมผงผักเคลเพิ่มเป็นร้อยละ 7.5 มีผลทำให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคลดลง โดยเฉพาะด้านความกรอบ ดังนั้น สามารถเสริมผงผักเคลในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกได้สูงสุดที่ ร้อยละ 5.0 ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางอกเสริมผงผักเคลในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ อีกทั้งยังเพิ่มกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพและกลุ่มที่แพ้อาหารได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- โชติกานต์ แชนอก, วิภา ลำพาย, อรัญญา พรหมกุล และอาภัสสร ศิริจริยวัตร. 2565. การพัฒนาบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวฮางอก. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 27(2), 1393-1406.
- ญาณิศา โพธิ์รัตนไธ, สุนันท์ บุตรศาสตร์ และพรพิชญ์ ธรรมปัทม์. 2562. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน. วารสารเกษตรพระวรุณ. 16(2), 221-227.
- สุภาภรณ์ พรหมขันธ พนอจิต นิตสุข และศุภฤชญา เหมะธูลิน. 2556. รายงานการวิจัย เรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพชนิดผงพร้อมชงจากข้าวฮางอก ประจำปีงบประมาณ 2556. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน: สกลนคร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2563. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ขนมปังกรอบ (มผช.523/2563). สืบค้น วันที่ 12 ธันวาคม 2566, จาก https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0523_63 (ขนมปังกรอบ).pdf.
- อุไรวรรณ วัฒนกุล, ศุภลักษณ์ สุดขาว และพีรพงษ์ พึ่งแย้ม. 2561. รายงานการวิจัย เรื่อง คุณภาพทางเคมี-กายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกเร็วจากข้าวกล้องงอกผสม 3 สายพันธุ์ ประจำปีงบประมาณ 2561. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. 10th Ed. St Paul: American Association of Cereal Chemists.
- Drishya, C.R., Swetha, B.G., Velu, V., Indrani, D. and Singh, R.P. 2015. Effect of dried *Murraya koenigii* leaves on nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. Journal of Food Science and Technology. 52(1), 500-506.
- Gallagher, E., Gormley, R.T. and Arendt, K.E. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Trends in Food Science & Technology. 15, 143-152.



- Kahlon, T.S., Chapman, M. H., and Smith, G.H. 2007. In vitro binding of bile acids by spinach, kale, brussels sprouts, broccoli, mustard greens, green bell pepper, cabbage and collards. Food Chemistry. 100(4), 1531-1536.
- Kim, S.Y. 2017. Production of fermented kale juices with *Lactobacillus Strains* and nutritional composition. Preventive Nutrition and Food Science. 22(3), 231-236.
- Sattasuwat, N., Nuengjamnong, N and Suksomboon, A. 2010. Development of rice crackers (Arare) from black glutinous rice. Agricultural Science Journal. 41(3/1)(Suppl.): 165 168.
- USFDA. 2014. Water Activity (a_w) in Foods. January 13, 2024, Retrieved, from: <https://www.fda.gov>.
- USDA. 2019. Kale, raw. December 13, 2023, Retrieved, from: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168421/nutrients>

เกษตรอินทรีย์ภาคลุ่มน้ำโขง



ผลของการบ่มท่อนพันธุ์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50

Effect of Stalk Incubation on Shoot Germination and Growth of Cassava Kasetsart 50 Variety

ภากร พันธุ์พาน,^{1*} ก้องเกียรติ พรหมศรีธรรม¹ และ ชัชวาล แสงฤทธิ์¹

Phakorn Phunthupan,^{1*} Khongkiat Phromsrithom¹ and Chadcharwan Seangrit¹

¹สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

¹Department of Plant science, Faculty of agriculture and Technology, Nakhon Phanom University,
Nakhon Phanom 48000

*Corresponding author: Phakorn.p@ms.npu.ac.th

Received: date; February 2024 Accepted: date; June 2024 Published: date; June 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำมันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์ รวมไปถึงนำมาเป็นพืชที่สามารถแก้ไขปัญหาวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงาน แต่ยังคงมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังต่ำ ไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของการบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังต่อการงอกและการเจริญเติบโต ทำการทดลองโดยใช้พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ปลูที่สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มีจำนวน 4 ตำรับ 4 ซ้ำ ประกอบไปด้วย ตำรับทดลองที่ 1 (T1) คือ ไม่มีการบ่ม (Control) ตำรับทดลองที่ 2 (T2) คือ บ่มเป็นเวลา 2 วัน ตำรับทดลองที่ 3 (T3) คือ บ่มเป็นเวลา 4 วัน และตำรับทดลองที่ 4 (T4) คือ บ่มเป็นเวลา 6 วัน จากการศึกษาผลของการบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ต่อการงอกและการเจริญเติบโต พบว่า การบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเป็นเวลา 6 วัน มีการงอกและเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในลักษณะ จำนวนกิ่งก้าน น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก เนื่องจากการบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังมีความชื้น จึงทำให้การงอกของตามันสำปะหลังงอกเพิ่มมากขึ้นและมีอัตราการรอดตายมากขึ้น

คำสำคัญ : การงอก มันสำปะหลัง พืชพลังงาน

Abstract

This study aims to test the effect of incubation periods of cassava stem cuttings on germination and growth. The experiment is conducted using cassava cv. Kasetsart 50 grown at the Plant Science Department, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. A Completely Randomized Design (CRD) was used with four treatments and four replications. The treatments included no incubation (Control) (T1), incubating for 2 days (T2), incubating for 4 days (T3), and incubating for 6



days (T4). The results found that the cassava cuttings of T4 had the highest germination and growth performance in terms of appearance, number of germinations, stem dry weight, and root dry weight. This is because the incubation of cassava cuttings retains moisture, thereby increasing cassava bud germination and survival rate.

Keywords: Germination, Cassava, Energy crops

บทนำ

มันสำปะหลัง (Cassava) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ เป็นพืชอาหารที่ใช้เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต ถ้าพิจารณาจากปริมาณของการผลิตพืชอาหารทั่วโลก มันสำปะหลังอยู่ในระดับ 5 รองมาจาก ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะในทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชียบางประเทศ เช่น อินโดนีเซีย อินเดีย และฟิลิปปินส์ ซึ่งปลูกมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการบริโภคโดยตรง ปริมาณการผลิตของมันสำปะหลังทั่วโลก ประมาณสองในสามส่วนใช้เป็นอาหารมนุษย์ และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

ผลผลิตมันสำปะหลังโลกปี 2556 มีประมาณ 255.67 ล้านตัน โดยผลผลิตส่วนใหญ่เป็นของทวีปแอฟริกา 137.5 ล้านตัน รองลงมาคือ เอเชีย 85.5 ล้านตัน และลาตินอเมริกา 32.5 ล้านตัน ทั้งนี้ ประเทศที่มีการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดคือประเทศไนจีเรีย 55.0 ล้านตัน รองลงมาคือ ประเทศไทย 30.23 ล้านตัน อินโดนีเซีย 24.60 ล้านตัน บราซิล 24.12 ล้านตัน และ คองโก 15.00 ล้านตัน ส่วนอินเดีย เวียดนาม กัมพูชาและจีน ผลิตได้ 8.2 ล้านตัน 7.8 ล้านตัน 7.0 ล้านตัน และ 4.6 ล้านตัน ซึ่งอุตสาหกรรมมันสำปะหลังในปี 2566-2568 มีแนวโน้มเติบโตดี ตามทิศทางการขยายตัวของความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องทั้งตลาดในประเทศ (โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมเอทานอล) และตลาดส่งออก (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560; ชัยวัฒน์ สวเจริญสุข, 2567)

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและน้ำมันดิบมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการหาแหล่งพลังงานใหม่เข้ามาทดแทนการนำเข้าน้ำมันดิบจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ จะช่วยให้เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศอย่างยั่งยืน วัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล สามารถผลิตได้จากพืชจำพวกแป้งและน้ำตาล เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์จะได้น้ำมัน ที่เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) โดยวัตถุดิบทางการเกษตรในประเทศไทยที่มีศักยภาพสูงสำหรับการผลิตเอทานอลคือ มันสำปะหลัง ซึ่งเกษตรกรนิยมปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดี จากสถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังในปัจจุบันยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตต่ำ เกิดจากปัญหาของการรอกของมันสำปะหลัง ซึ่งเกษตรกรนำท่อนมันสำปะหลังไปปลูกในแปลงโดยไม่มีการเตรียมท่อนพันธุ์ให้พร้อมสำหรับการรอก ทำให้เกิดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของต้นมันสำปะหลัง ส่งผลทำให้มีผลผลิตต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง เพื่อกระตุ้นการรอก และเพิ่มอัตราการรอดตาย เป็นอีกปัจจัยที่หนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาค่าความสม่ำเสมอของต้นมันสำปะหลัง (นวลศรี, 2555) ให้มีเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงขึ้นได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การปลูกและดูแลรักษา

ทำการศึกษผลของการบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ต่อการรอกและการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นพันธุ์ที่แนะนำที่ให้ผลผลิตและเปื้อนแข็งสูง เหมาะกับการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนและ

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ที่แปลงทดลองสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จ. นครพนม ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนสิงหาคม 2562 แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 4 ตำรับทดลอง (Treatment) จำนวน 4 ซ้ำ (Replication) ดังนี้ ตำรับทดลองที่ 1 (T1) ไม่มีการบ่ม (Control) ตำรับทดลองที่ 2 (T2) บ่มเป็นเวลา 2 วัน ตำรับทดลองที่ 3 (T3) บ่มเป็นเวลา 4 วัน ตำรับทดลองที่ 4 (T4) บ่มเป็นเวลา 6 วัน

การศึกษานี้ใช้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่มีอายุ 8 เดือน จากแปลงรวบรวมพันธุ์มันสำปะหลัง สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ทำการตัดท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ให้มีความยาว 15 เซนติเมตร วางกระบะพลาสติก ขนาด 25 x 45 เซนติเมตร ห่างกัน 10 เซนติเมตร ตามแผนการสุ่ม (Figure 1) จำนวน กระบะละ 5 ท่อนพันธุ์ จากนั้นใช้กระบะสอบปานขนาด 20 x 40 เซนติเมตร พร้อมรดน้ำปริมาณ 500 มิลลิลิตรต่อกระบะ พลาสติกขนาด 25 x 45 เซนติเมตร ทุกตำรับการทดลอง หรือจนกว่าจะมีความชื้นสม่ำเสมอ จากนั้นทำการเตรียมดินแห้ง ใส่ในกระบะปลูก โดยชั่งน้ำหนักดินปริมาณ 10 กิโลกรัม ทุกตำรับการทดลอง นำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ครบกำหนดการบ่มตามตำรับการทดลองลงปลูก โดยวิธีการปักท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ลงใน กระบะปลูกขนาด 25 x 45 เซนติเมตร



Figure 1 Cassava stalk incubation (a) and planting cassava stalk in nursery containers (b)

2. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลการงอกและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ดังนี้

- 1) การเก็บข้อมูลวันงอก โดยการตรวจเช็คความงอกตั้งแต่ปลูกจนถึงอายุ 30 วันหลังปลูก หรือจนกว่ามันสำปะหลังจะงอกทั้งหมด
- 2) การเก็บข้อมูลความสูงของลำต้น เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก ทำการวัดโคนต้นจนถึงปลายยอดของมันสำปะหลัง (หน่วย: เซนติเมตร)
- 3) น้ำหนักแห้งราก ลำต้น และใบ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก นำตัวอย่างต้นมันสำปะหลังมาแยกเป็นส่วนราก ลำต้น และใบ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ ทำการชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง (หน่วย: กรัม)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกลักษณะ ตามแผนการทดลอง Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) (Gomez and Gomez, 1984)



ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่า วันงอกของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยไม่มีการบ่มมีจำนวนวันงอก เท่ากับ 12 วัน ซึ่งเร็วกว่าการบ่มเป็นเวลา 2 4 และ 6 วัน เท่ากับ 13 วัน ตามลำดับ (Figure 2a) ส่วนความสูงต้นพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ไม่มีการบ่ม มีความสูงของลำต้นเทียบเท่ากับการบ่มเป็นเวลา 2 และ 4 วัน (17.90 13.10 และ 13.00 เซนติเมตร ตามลำดับ) ส่วน การบ่มเป็นเวลา 6 วัน มีความสูงเท่ากับ 12.25 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการบ่มเป็นเวลา 2 และ 4 วัน (Figure 2b)

ลักษณะน้ำหนักแห้งของลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดย การบ่มเป็นเวลา 6 วัน มีแนวโน้มสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 172.50 กรัมต่อต้น รองลงมาคือ ไม่มีการบ่ม การบ่มเป็นเวลา 4 และ 2 วัน มีค่าเท่ากับ 163.00 159.75 และ 143.00 กรัมต่อต้น (Figure 2c) ส่วนน้ำหนักแห้งของราก พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ โดยการบ่มเป็นเวลา 6 วัน มีค่าสูงที่สุด (7.75 กรัมต่อต้น) เทียบเท่ากับการบ่มเป็นเวลา 4 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.35 กรัมต่อต้น เนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิในการบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไปกระตุ้นการงอกของรากและใบได้ดี ซึ่งไปทำลายการพักตัว (Dormancy) ทำให้มีกระบวนการหายใจ และสร้างเอนไซม์มากขึ้น ซึ่งทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโนในระหว่างการงอกของตาและรากมันสำปะหลัง กิตติศักดิ์ (2555) ได้ทำการศึกษาการงอกของรากมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 90 ที่มีการแช่ท่อนมันสำปะหลังด้วยน้ำเปล่าและสารอาหารเสริมออธดำ 90/10 ส่วน พบว่า น้ำเปล่าและสารอาหารเสริมออธดำ 90/10 ส่วน มีอัตราการงอกของรากเจริญเติบโตดีที่สุด นอกจากนี้ Van Minh and Van Loc (2024) รายงานว่าการรักษาสภาพความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 70-75% อัตราการงอก จำนวนต้นต่อท่อนพันธุ์ ความสูงของต้น จำนวนใบต่อต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมันสำปะหลังที่สุด อย่างไรก็ตาม การบ่มเป็นเวลา 4 วันนั้นไม่มีความแตกต่างกันกับไม่มีการบ่ม และการบ่มเป็นเวลา 2 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.50 และ 2.25 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (Figure 2d)

นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ศึกษาความแตกต่างทางสถิติ โดยที่ไม่มีการบ่ม มีค่าน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด (3.25 กรัมต่อต้น) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการบ่มเป็นเวลา 6 วัน ที่มีค่าเท่ากับ 2.25 กรัมต่อต้น นอกจากนี้ การบ่มเป็นเวลา 6 วันจะให้ผลไม่แตกต่างกับการบ่มเป็นเวลา 2 และ 4 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.00 และ 1.75 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (Figure 2e) ทั้งนี้การกระตุ้นให้มีการสร้างรากและพัฒนาการของมันสำปะหลังได้เร็ว จะสามารถอาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในช่วงต้นของการเจริญเติบโตได้ ส่งผลให้มีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังสูงขึ้นได้ (Kamau et al. 2011; ภากร และภาณุพงศ์, 2566) อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า น้ำหนักแห้งใบในตำรับที่ไม่มีการบ่มท่อนพันธุ์ มีค่าสูงที่สุด นั้น ในท่อนพันธุ์ที่นำมาใช้ปลูกมีการเจริญของตาเร็วกว่าการเกิดของราก อีกทั้งท่อนพันธุ์ที่ไม่มีการบ่ม ได้รับความชื้นหลังจากปลูกในกระถาง จึงมีการดูดซับน้ำ (Water absorption) ได้อย่างรวดเร็วและมีการใช้อาหารสะสมไปใช้ในการเจริญเติบโตของตา และส่งผลให้มีจำนวนใบมากขึ้นไป ทำให้การเจริญเติบโตของรากและตาไม่สอดคล้องกัน ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตหรือการแบ่งสัณป็นส่วน (Partitioning) ไม่เหมาะสม ดังนั้น การบ่มท่อนพันธุ์จะทำให้การเจริญเติบโตของตาและรากพัฒนาไปพร้อมกัน ส่งผลให้มีระยะพัฒนาการของมันสำปะหลังมีความเหมาะสม ทำให้มีการเจริญเติบโตดี มีความสม่ำเสมอ ช่วยให้ผลผลิตของมันสำปะหลังสูงขึ้นได้

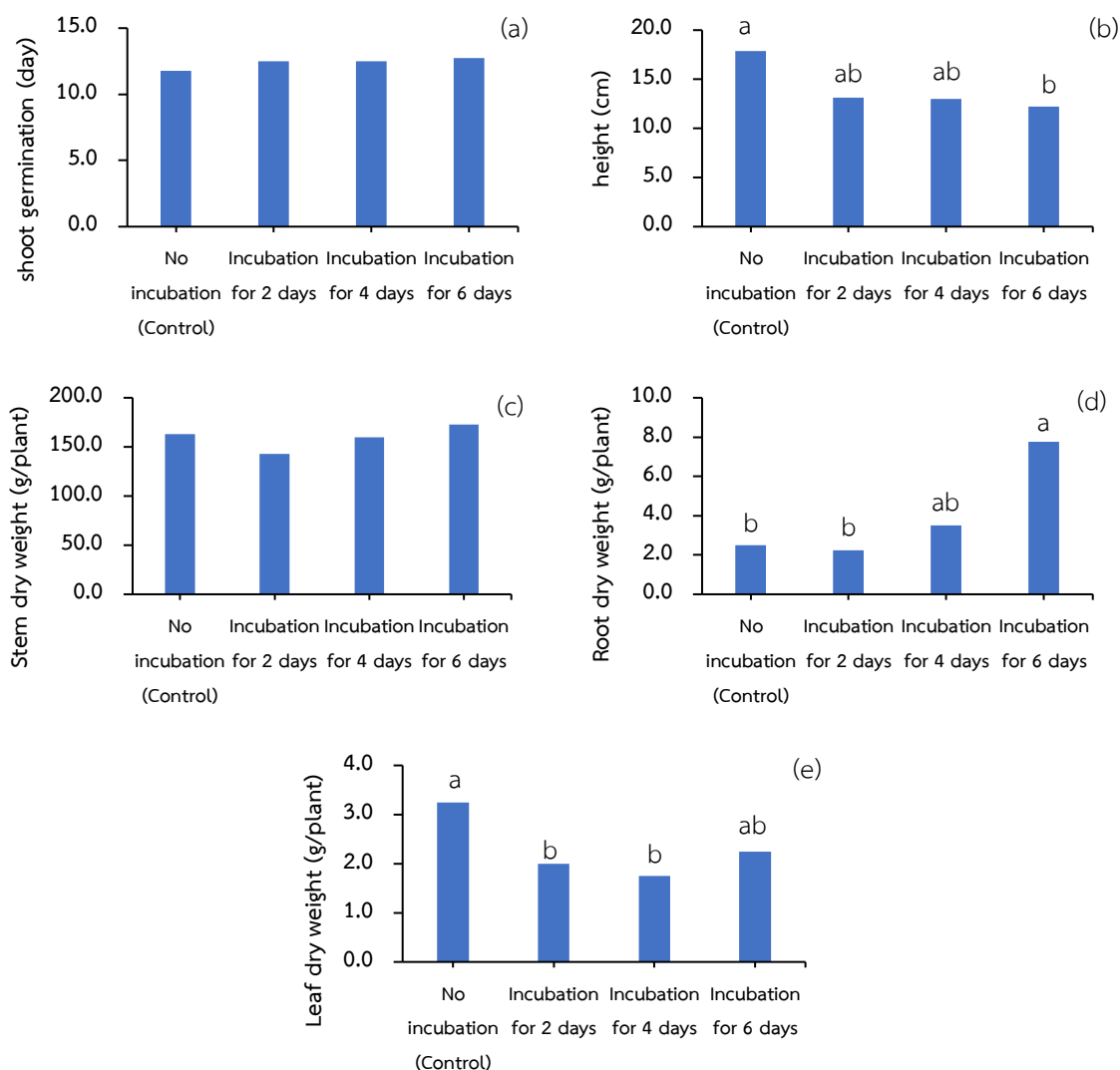


Figure 2 Effect of stalk incubation on shoot germination (a), height (b), stem dry weight (c), root dry weight (d), and leaf dry weight (e) for cassava Kasetart 50 variety at 30 days after planting (DAP). Different letters indicate a significant difference among stalk incubation methods ($p < 0.05$, least significant difference (LSD) test).

สรุปผลการทดลอง

การบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเป็นเวลา 6 วัน มีการงอกและเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในลักษณะ จำนวนที่งอก น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก เนื่องจากการบ่มท่อนพันธุ์มันสำปะหลังมีความชื้น จึงทำให้การงอกของท่อนมันสำปะหลังงอกเพิ่มมากขึ้นและมีอัตราการรอดตายมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลองและวิจัย ในครั้งนี้



เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ ดอนกวนเจ้า. (2555). ธาตุอาหารเสริมที่มีต่อการงอกของรากมันสำปะหลังระยะยง 90. สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม.
- ชัยวัฒน์ สวเจริญสุข. (2567). แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2566-2568 : มันสำปะหลัง. สืบค้น วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2567, จาก <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/cassava/io/cassava-2023-2025>.
- นวลศรี โชตินันท์. (2555). ปัญหาของมันสำปะหลัง. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพฯ.
- ภากร พันธุพาน และภาณุพงศ์ ผลเจริญ. (2566). ความเข้มข้นของ NAA ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยะยง 9 ที่ปลูกภายใต้สภาพอาศัยน้ำฝน. วารสารแก่นเกษตร. 51(5), 962-974.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2560). มันสำปะหลัง : แหล่งปลูกมันสำปะหลังของโลก. สืบค้น วันที่ 25 ธันวาคม 2567, จาก <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17876>.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2566. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพมหานคร.
- Kamau, J., Melis, R., Laing, M., Derera, J., Shanahan, P., and Ngugi, E. (2011). Farmers' participatory selection for early bulking cassava genotypes in semi-arid Eastern Kenya. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 3(3), 44-52.
- Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. John Wiley and Sons: New York.
- Van Minh, N., and Van Loc, N. (2024). Effects of black sunshade nets and humidity levels on cassava growth for mini-cutting propagation. 18(1), 50-54.



ผลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ดมะเขือเทศ

Effects of Light-emitting Diode (LED) on Tomato Seed Germination

ประวิตร สุพหม¹ ชัชวาล แสงฤทธิ์¹ นิคม ศรีหะมมงคล¹ และ ภากร พันธุ์พาน¹

Prawit Suprom¹ Chadchawarn Sangrit^{1*} Nikom Srihamongkol¹ and Phakorn Phunthuparn¹

¹คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม อ. เมืองนครพนม จ. นครพนม 48000

¹Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000, Thailand.

* Corresponding author: chdhort@npu.ac.th

Received: date; February 2024 Accepted: date; June 2024 Published: date; June 2024

บทคัดย่อ

LED เป็นแสงที่มีการประยุกต์ใช้ในการเกษตรทดแทนแสงอาทิตย์จากธรรมชาติที่สามารถเพิ่มผลผลิตได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแสง LED ที่สามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดมะเขือเทศ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยมี 6 กรรมวิธี คือ 1) ไม่ให้แสงกับเมล็ดมะเขือเทศ 2) ให้แสงห้องปกติกับเมล็ดมะเขือเทศ 3) หลอด LED สีแดง 4) หลอด LED สีน้ำเงิน 5) หลอด LED สีขาว และ 6) หลอด LED สีแดง+น้ำเงิน (1:1) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด ให้แสงวันละ 16 ชั่วโมงต่อวัน พบว่า เมล็ดที่งอกภายใต้แสง LED สีน้ำเงิน ขาว และสีแดง+น้ำเงิน (1:1) มีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูง (76.00, 80.67, 78.00 % ตามลำดับ) จำนวนเมล็ดเฉลี่ยที่นับงอกวันแรก (21.67, 25.00, 22.67 ตามลำดับ) ดัชนีความงอก (6.34, 6.15, 6.10), น้ำหนักสด (36.75, 37.27, 30.75 มิลลิกรัม ตามลำดับ) และ มีค่า biomass index (15.31, 13.04, 16.60 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้รับแสงและเมล็ดที่ได้รับแสงปกติ ยกเว้นเมล็ดที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้เพื่อส่งเสริมคุณภาพของต้นกล้ามะเขือเทศได้

คำสำคัญ : ดัชนีการงอก, ความแข็งแรงของเมล็ด ไดโอดเปล่งแสง

Abstract

Light-emitting diodes (LEDs) are an optimal alternative light source to increase plant productivity. This research was conducted to evaluate the effect of LEDs on tomato seed germination. The treatments included no light (dark), room light, red LED, blue LED, white LED (daylight), and a red + blue LED ratio of 1:1, each assigned with three replications and a 16-hour daily exposure period. A Completely Randomized Design (CRD) was used, with 50 seeds per replication. The results showed that blue, white, and red + blue LED illumination yielded the highest germination percentage (76.00%, 80.67%, and 78.00%, respectively), first count (21.67, 25.00, 22.67), germination index (6.34, 6.15, 6.10), fresh weight (36.75, 37.27, 30.75 mg), and seedling biomass (15.31, 13.04, 16.60), compared to the dark and room light conditions,



except for the red LED treatment. This research indicates that LEDs are beneficial for promoting tomato seedling quality.

Keywords: Germination index, Seed vigor, Light-emitting Diode (LED)

บทนำ

มะเขือเทศ (Tomato) เป็นพืชผักเศรษฐกิจที่นิยมบริโภคกันทั่วโลก มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะไลโคพีน และเบต้าแคโรทีน เป็นสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ป้องกันการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมาก และโรคหลอดเลือดตีบตัน (Rein and Herbers, 2006) มะเขือเทศในปัจจุบันมีหลากหลายพันธุ์และเมล็ดพันธุ์มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชผักชนิดอื่น ๆ (ซัชวาล, 2558) เนื่องด้วยการผลิตเมล็ดพันธุ์มีข้อจำกัดด้วยพันธุ์ และคุณลักษณะพิเศษของพันธุ์ ดังนั้นในการผลิตเมล็ดพันธุ์ จำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพและความแข็งแรงของเมล็ดทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว รวมไปถึงเมล็ดพันธุ์ที่จำหน่ายให้เกษตรกรนำไปเพาะปลูก ต้องเมล็ดพันธุ์ที่มีความสามารถในการงอกและคงสภาพความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์สูง รวมทั้งพัฒนาวิธีการกระตุ้นหรือปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ให้มีระดับความงอกที่สูงตามมาตรฐานของเมล็ดพันธุ์ควบคุม ซึ่งไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diodes; LEDs) เป็นแสงที่มีนำมาประยุกต์ใช้ในด้านเกษตร (ชิดชนก และบุญณมี, 2555) การผลิตพืชหลายชนิด โดยเฉพาะพืชผักที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง เพื่อให้คุ้มค่าต้นทุนการผลิต และแสงไฟ LEDs ที่ตอบสนองต่อการเจริญเติบโต หรือมีผลต่อผลผลิตและคุณภาพ ได้แก่ แสงสีแดง ที่ความยาวคลื่น 650 nm และแสงสีน้ำเงิน ที่ความยาวคลื่น 450 nm ซึ่งเป็นคลื่นแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดีที่สุด เช่น ช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผักสลัด กะหล่ำปลี หรือแม้กระทั่งการใช้แสง LEDs เพื่อเพิ่มหรือกระตุ้นการสังเคราะห์สารทุติยภูมิในพืชหลายชนิด เช่น การตอบสนองต่อการเพิ่มปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศ และยังมีงานนำแสง LEDs มาใช้ในการกระตุ้นการงอกของพืชพืชตระกูลสัปปะ และกระตุ้นการงอกของกาชาเนีย Dandelion (*Taraxacum officinale*) (Lin *et al.*, 2013)

ในปัจจุบัน LEDs ได้รับความนิยมมากขึ้น และมีรูปแบบการใช้ที่หลากหลาย ทั้งการผลิตในระบบปิด และระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน มีราคาค่อนข้างถูก จึงสามารถประยุกต์ใช้ได้ง่าย โดยเฉพาะพืชผักที่มีมูลค่าต่อหน่วยสูง เช่น ผักสลัด พริก มะเขือเทศ และไม้ดอกบางชนิด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำการทดสอบอิทธิพลของแสงจากหลอดไฟชนิด LED ที่มีแหล่งกำเนิดแสงแตกต่างกัน คือ สีแดง สีน้ำเงิน และแสงสีขาว ในการช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดมะเขือเทศให้ได้ต้นกล้าที่มีคุณภาพ

วิธีดำเนินการดำเนินการ

1. **อุปกรณ์และวิธีการวิจัย** เพาะเมล็ดมะเขือเทศเทศ พันธุ์ R-3034-3-10-N-UG ชนิด Determinate ในถาดเพาะเมล็ด ขนาด 9 x 17 x 3 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ด้วยวิธี Top of paper ด้วยกระดาษเพาะเมล็ดที่ชุบด้วยยากันรา (แมนโคเซป) ให้แสง LED ที่แตกต่างกัน ตามแผนการทดลอง (สีขาว แดง น้ำเงิน) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 6 กรรมวิธี (treatments) 3 ซ้ำ (replications) ซ้ำละ 50 เมล็ด กรรมวิธีที่ 1 ไม่ได้รับแสง (สภาพมืด) กรรมวิธีที่ 2 ได้รับแสงปกติ กรรมวิธีที่ 3 หลอด LED สีแดง กรรมวิธีที่ 4 หลอด LED สีขาว กรรมวิธีที่ 5 หลอด LED สีน้ำเงิน กรรมวิธีที่ 6 หลอด LED สีแดง + น้ำเงิน (สัดส่วน 1 ต่อ 1) ในแต่ละกรรมวิธีมีแผ่นกันแสงแบบทึบ และติดตั้งระบบไฟ LED โดยตั้งเวลาในการให้แสงวันละ 16 ชั่วโมงต่อวัน โดยประยุกต์ตามวิธีการของ Wang *et al.* (2016)



2. การเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูลการงอก รวม 14 วัน ตามมาตรฐานการทดสอบความงอกของ International Seed Testing Association (ISTA) (1997) โดยนับการงอกวันแรกวันที่ 7 (First count) และนับวันงอกวันสุดท้ายวันที่ 14 (Final count) บันทึกข้อมูล ดังนี้

2.1 เปอร์เซ็นต์การงอก (% seed germination): $\% \text{ seed germination} = (100 \times \text{จำนวนเมล็ดงอกวันสุดท้าย}) / \text{จำนวนเมล็ดที่ทดสอบ}$ บันทึกข้อมูลความยาวของต้นกล้า (มิลลิเมตร) อายุหลังการงอก 5 วัน (หลังจากปรากฏรากอ่อน (radicle)) และหาค่าเฉลี่ยจากต้นกล้า 5 ต้น และบันทึกน้ำหนักแห้งของต้นกล้า (อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง)

2.2 ความเร็วในการงอกโดยวัดจากค่าดัชนีการงอก (Germination Index) จากสูตรผลรวมของ (จำนวนเมล็ดงอกวันที่ 1/1) + (จำนวนเมล็ดงอกวันที่ 2/2) + ... + (จำนวนเมล็ดงอกวันที่ 14/14)

2.3 คำนวณค่าดัชนีมวลชีวภาพ (Biomass index) จากค่า (น้ำหนักต้นกล้าสด-น้ำหนักต้นกล้าแห้ง)/น้ำหนักต้นกล้าแห้ง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ตามแผนการทดลอง CRD โดยใช้โปรแกรม Statistix 8 (United States Department of Agriculture National Resources Conservation Service (USDA, NRCS) (2007) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

เปอร์เซ็นต์การงอก (% seed germination) พบว่า ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีขาว มีอัตราการงอกดีที่สุด เท่ากับ 80.67% รองลงมาคือ เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง+น้ำเงิน มีอัตราการงอกที่ 78% เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีน้ำเงิน 76% เมล็ดมะเขือเทศที่ไม่ได้รับแสงเลยอัตราการงอกที่ 70.67% เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงในห้องปกติมีอัตราการงอกที่ 64% แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่า เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดงมีอัตราการงอกที่ 16% ตามลำดับ (Table 1)

ค่าดัชนีการงอก (Germination Index; GI) จากค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี ค่า GI มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นระดับความเชื่อมั่น 99% (ค่า GI ระหว่าง 5.81-6.34) เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีน้ำเงิน มีอัตราความเร็วในการงอกสูงสุดที่ 6.34 รองลงมาคือ เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีขาว มีอัตราความเร็วในการงอกที่ 6.15 เมล็ดมะเขือเทศที่ไม่ได้รับแสงเลย มีอัตราความเร็วในการงอกที่ 6.13 เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง+น้ำเงิน มีอัตราความเร็วในการงอกที่ 6.10 เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงในห้องปกติ มีอัตราความเร็วในการงอกที่ 5.81 เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง มีอัตราความเร็วในการงอกต่ำที่สุด คือ 1.06 ตามลำดับ (Table 1)

การเจริญเติบโต (Growth test) บันทึกข้อมูลการงอกรวมในวันที่ 7 (First count) ของการทดสอบความงอก พบว่า เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยที่เมล็ดมะเขือเทศที่ไม่ได้รับแสงเลย มีอัตราการงอกที่นับครั้งแรกดีที่สุด คือ เฉลี่ย 26.33 เมล็ด รองลงมาคือ เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีขาว เฉลี่ย 25.00 เมล็ด เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง+น้ำเงิน เฉลี่ย 22.67 เมล็ด เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีน้ำเงิน เฉลี่ย 21.67 เมล็ด เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงในห้องปกติ มีเฉลี่ย 21.33 เมล็ด และเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง เฉลี่ย 3.33 เมล็ด (Table 1)

อัตราการเจริญเติบโต (Growth index) จากการวัดความยาวของต้นกล้าอายุหลังการงอก 7 วัน พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่ได้รับแสงในแต่ละกรรมวิธี เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ได้รับแสงและได้รับแสงปกติในสภาพห้อง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความยาวต้นกล้าอยู่ระหว่างที่ 3.53-5.90 เซนติเมตร เฉลี่ย 4.46 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตาม ต้นกล้าในกรรมวิธีที่ไม่ได้รับแสง (ในที่มืด) ต้นกล้าจะมีลักษณะของใบอ่อนเหลืองซีด และค่อนข้างจะยัดและเล็กกว่ากรรมวิธีที่ได้แสงทุกกรรมวิธี (Table 1 และ Figure 1)

น้ำหนักสดของต้นกล้า พบว่า เมื่อมีอายุ 7 วันหลังจากงอก radicle มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% น้ำหนักสดที่แตกต่างกัน ระหว่าง 19.58-37.27 มิลลิกรัม ซึ่งเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีขาว และสีน้ำเงิน มีน้ำหนักสดมากที่สุดที่ 37.27 และ 36.75 มิลลิกรัม รองลงมาคือ เมล็ดมะเขือเทศที่ไม่ได้รับแสงเลย มีน้ำหนักสดที่ 34.98 มิลลิกรัม เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงในห้องปกติ มีน้ำหนักสดที่ 32.51 มิลลิกรัม เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง+น้ำเงิน มีน้ำหนักสดที่ 30.75 มิลลิกรัม และเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง มีน้ำหนักสดน้อยที่สุด 19.58 มิลลิกรัม ตามลำดับ แต่น้ำหนักแห้งของต้นกล้า พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี มีค่าอยู่ระหว่างที่ 1.79-3.24 มิลลิกรัม เฉลี่ย 2.47 มิลลิกรัม (Table 1)

ในส่วนของการคำนวณมวลชีวภาพระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้า พบว่า ในทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง+น้ำเงิน มีอัตราในการสะสมชีวมวลดีที่สุดเท่ากับ 16.60 รองลงมาคือ เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีน้ำเงิน มีอัตราในการสะสมชีวมวลที่ 15.31 เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีขาว มีอัตราในการสะสมชีวมวลที่ 13.04 เมล็ดมะเขือเทศที่ไม่ได้รับแสงเลย มีอัตราในการสะสมชีวมวลที่ 12.40 เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงในห้องปกติ มีอัตราในการสะสมชีวมวลที่ 11.70 เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดง มีอัตราในการสะสมชีวมวลที่ 5.6 ตามลำดับ (Table 1)

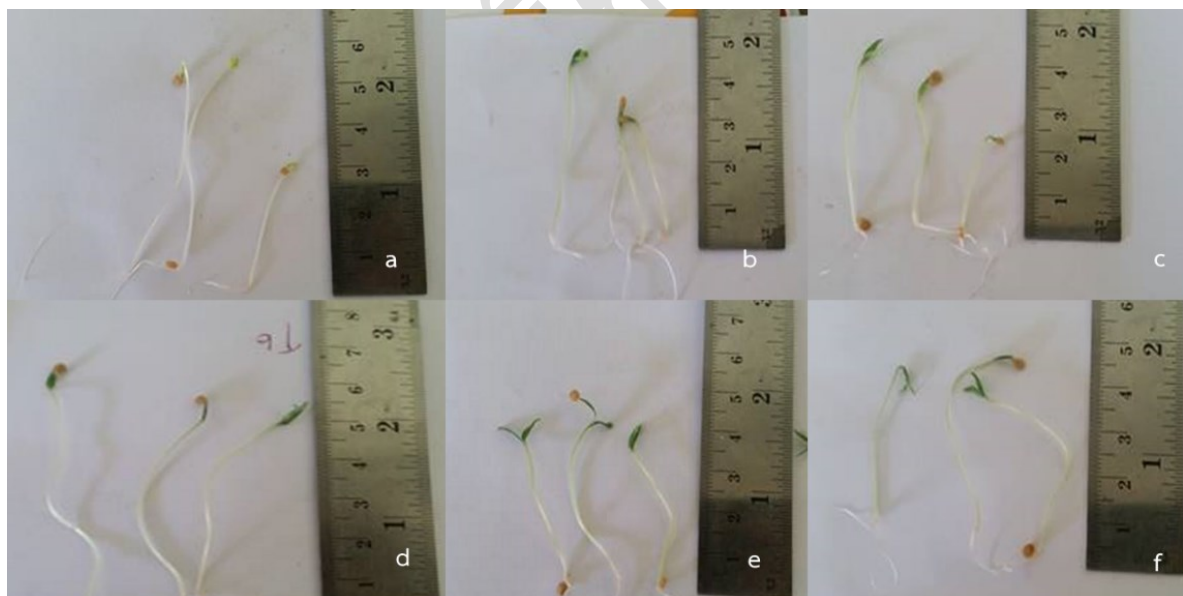


Figure 1 Appearance of tomato seedling after 5 days under 6 different lights treated; a) No light (dark), b) room light, c) red LED, d) blue LED, e) white LED (day light) and f) red + blue LED ratio 1:1

**Table 1** Mean of germination percentage, germination index, first count, seedling length, seedling fresh weight, seedling dry weight and biomass index with 6 treatments

Treatment	% Germination	Germination Index	The 7 th Day at first germination (First count)	Seedling length (cm.)	Seedling fresh weight (mg./plant)	Seedling dry weight (mg./plant)	Biomass index
No light (dark)	70.67a ¹	6.13a	26.33a	4.93	34.98a	2.69	12.40ab
Room light	64.00a	5.81a	21.33a	3.77	32.51a	2.61	11.70ab
Red-LED	16.00b	1.06b	3.33b	3.53	19.58b	3.24	5.60b
Blue-LED	76.00a	6.34a	21.67a	5.90	36.75a	2.26	15.31a
White-LED (Day light)	80.67a	6.15a	25.00a	4.30	37.27a	2.25	13.04a
red + blue LED ratio 1:1	78.00a	6.10a	22.67a	4.33	30.75a	1.79	16.60a
Mean	64.22	5.27	20.06	4.46	31.97	2.47	12.44
% C.V.	14.48	13.25	16.99	19.87	13.25	24.70	23.51
F-test	**	**	**	ns	**	ns	**

¹Values within a column followed by the same letter are not significantly different, ns= not significantly different, ** = significant at $P<0.01$



จากการศึกษาการทดสอบอิทธิพลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ดมะเขือเทศ พบว่า แสง LED มีผลต่อการงอกและคุณภาพของต้นกล้า ยกเว้นความสูงของต้นกล้า และแสดงให้เห็นว่า LED เป็นแสงที่ผลิตขึ้นมาทดแทนแสงจากธรรมชาติ สามารถช่วยกระตุ้นกิจกรรมทางชีวเคมีต่าง ๆ ของพืช รวมทั้งกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของเมล็ดถึงแม้ว่าเมล็ดมะเขือเทศ เป็นชนิดไม่ต้องการแสงในการงอก (Wien, 1997) แต่จากทดลอง พบว่า แสงจากหลอดไฟ LED สามารถกระตุ้นกระบวนการงอกของเมล็ดมะเขือเทศได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้รับแสงในทุก ๆ กรณีวิธีที่ทำการทดลอง และพบว่า เมล็ดมะเขือเทศที่เพาะภายใต้สภาพแสง LED สีแดง มีค่าทุกลักษณะมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ทั้งนี้แสงสีแดงอาจจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการงอกที่มีความสัมพันธ์กับโปรตีนรับแสง ไฟโตรโครม (phytochrom) ซึ่งเป็นโปรตีนรับแสงชนิดหนึ่ง มีแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน (red) และแสงสีไกลแดง (far-red) ตามลำดับ ซึ่งพืชที่ต้องการแสงในการงอกจำเป็นต้องได้รับแสงสีแดง มีคลื่นความยาวประมาณ 650-680 nm และในกรณีที่เมล็ดที่ไม่ต้องการแสง (มะเขือเทศ) เมื่ออยู่ในสภาพมืดโปรตีนรับแสงสีแดงจะเปลี่ยนเป็น far-red มีคลื่นความยาวประมาณ 710-740 nm ซึ่งส่งผลต่ออัตราการงอกที่ต่ำลง ซึ่งเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไฟโตฮอร์โมนบางชนิด (Ryu *et al.*, 2012) นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นกล้าที่งอกภายใต้สภาพที่ไม่มีแสง ต้นกล้าจะมีลักษณะใบอ่อนเหลืองซีด เนื่องจากได้รับแสงไม่เพียงพอหลังการงอก ดังนั้นเมื่อต้นกล้าหลังจากงอก ควรให้แสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 450 nm และแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นแสง 660 นาโนเมตร หรือได้รับแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีแดงในสัดส่วนประมาณ 75:25 (Wang *et al.*, 2016) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดลอง กล่าวคือสัดส่วนน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าหลังการงอกจะมีค่าสูงสุดที่ได้รับแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงร่วมกัน เช่นเดียวกับ Jerico *et al.* (2016) พบว่า แสงจาก LED สีน้ำเงิน และสีแดง ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดวันลางอกดีที่สุด

ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มแสงสีต่าง ๆ สามารถเพิ่มคุณภาพของต้นกล้าได้ และสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับพืชอื่น ๆ เช่น จิตรภาพรรณ (2550) ได้มีการประยุกต์ใช้หลอด LED สีแดง+สีน้ำเงิน 90 % และ 10 % . สามารถช่วยในการพัฒนาตาดอกได้สูงกว่าการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และช่วยเพิ่มจำนวนเนื้อเยื่อมากกว่า 2.5 เท่า และในการเลี้ยงต้นกล้าขนาดเล็กในสภาพปลอดเชื้อเป็นเวลา 120 วัน ทำให้ต้นกลามีน้ำหนักสดและความสูงมากกว่าต้นกล้าที่เลี้ยงด้วยแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ อย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับ อภิชาติและคณะ (2557) ได้มีการประยุกต์ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออูคาลิปตัสในสภาพปลอดเชื้อโดยใช้การผสมกันระหว่างสีน้ำเงิน : สีแดง : สีขาว 3 สามารถเพิ่มจำนวนยอด ความยาว และน้ำหนักสดได้ดี รวมทั้งสุทธิตาและคณะ (2558) ใช้แสง LED ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดเรดโอ๊คในสภาพโรงเรือนได้ดีในสภาพที่ใช้แสงสีน้ำเงินและสีแดงร่วมกัน นอกจากนี้ Xiao-Xue Fan *et al.* (2013) ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนมะเขือเทศที่ปลูกภายใต้แสงเทียมจากไดโอดเปล่งแสงผสมกันระหว่างสีแดงและสีน้ำเงิน พบว่าที่ความเข้มแสง ระหว่าง 300-550 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาทีที่มีผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมะเขือเทศและ health index มีอัตราการเติบโตที่ดีมากและที่ความเข้ม 300-450 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที จะได้ขนาดความหนาของใบสูงที่สุดและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงดีที่สุดที่ความเข้มแสง 300 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที อีกทั้งพบว่า การเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมภายใต้แสงเทียม ผสมสีแดง-สีน้ำเงิน-สีขาว มีน้ำหนัก สดน้ำหนักแห้ง รูปร่างของใบ สี ความหวานและความกรอบของผักกาดที่ดีที่สุด และมีข้อเสนอแนะว่าการควบคุมความยาวคลื่นของแสงให้ตรงกับความต้องการของพืชสำคัญที่สุดการพัฒนา ระบบควบคุมและการวัดแสงที่มีความละเอียดและพัฒนาเข้าสู่อุตสาหกรรมเกษตรที่มีคุณภาพต่อไป (Fan *et al.*, 2013)



สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทดสอบอิทธิพลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ดมะเขือเทศ พบว่า เมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับแสงจากหลอด LED ขาว และสีน้ำเงิน มีแนวโน้มส่งผลต่อคุณภาพของต้นกล้ามะเขือเทศรวมดีที่สุด และการใช้แสงร่วมกันระหว่างสีน้ำเงินและแดง หลังการงอก ทำให้การสะสมมวลชีวภาพสูงที่สุด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์กับการผลิตกล้าผักชนิดอื่นได้โดยเลือกใช้คลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต เพื่อให้ได้ต้นกล้าที่มีคุณภาพและส่งผลต่อผลิตผลหลังย้ายกล้า

เอกสารอ้างอิง

- จิตราพรรณ พิสิก. (2550). การเพาะเมล็ดและเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้. เอกสารประกอบการฝึกอบรมประชาชน หลักสูตรการเพาะเมล็ดและเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้. ณ สวนกล้วยไม้ระพีสาคริก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ชัชวาล แสงฤทธิ์. (2558). ความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของลักษณะความต้านทานต่อโรคเหี่ยวเหี่ยวและปริมาณสารไลโคพินในมะเขือเทศ. ปรัชญาดุษฎีนิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ชิดชนก ประสพสุข และปณณมี สัจจกมล. (2555). การอนุรักษ์พลังงาน และการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วย LED กรณีศึกษาบริษัททำซิงคอตตอนไทย (Energy conservation by LED_s replacement Case Study: Taching Cotton Ltd). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาเขตบางเขน. กรุงเทพมหานคร. 10900.
- สุทธิดา มณีเมือง, เนตรนภา อินสลุต, นิตติคำ เมืองลือ, ประดิษฐ์ เทอดทูล, พงษ์ สกุลช่างสังจะทัย. (2558). ผลของแสงเข้มแสงจากชุดหลอดแอลอีดีสำหรับการเพาะปลูกที่มีต่อผักสลัดเรดโอ๊คในระบบโรงเรือนไฮโดรโปนิิกส์. วารสารวิจัย มทร.อีสาน. 8(1), 63-72.
- อภิชาติ ชิตบุรี, อนนท์ นานิน, กริช แสนสุภา และธีรวัฒน์ กลายเทศ. (2557). ผลของหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกันสีน้ำเงิน/สีแดง/สีขาวที่มีต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อแคลิปลัสในสภาพปลอดเชื้อ. ว.แก่นเกษตร 42(พิเศษ 3), 409-414.
- Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W., and Han, X.L., (2013). Effect of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*. 153, 50-55.
- ISTA. (1999). International Rules for Seed Testing. *Seed Science and Technology*. 27, Supplement.
- Jerico, J.B.B., Eduardo, M.E., Jose, H.C.C.V. and Victorino, M.R., (2016). Effect of LED light quality on in vitro shoot proliferation and growth of Vaniila plan folia Andrews. *African Journal of. Biotechnology*. 15, 272-277.
- Lin, K.H., Huang, M.Y., Huang, W.D., Hsu, M.H., Yang, Z.W., and Yang, C.M., (2013). The effects of red, blue, and white light emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically growth Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*. 105, 86-91.
- Rein, D., and Herbers, K. (2006). Enhances nutritional value of food crops. In Halford, N. (Ed.). *Plant Biotechnology*. (pp. 91-117.). John Wiley & Sons, Ltd.



- Ryu, J. H., Seo K. S., Choi G. L., Rha E. S., Lee S. C., Choi S. K., Kang S.-Y., and Bae C.-H.. (2012). Effects of LED Lillumination on Germination, Growth and Anthocyanin Content of Dandelion (*Taraxacum officinale*). Korean J. Plant Res. 25(6): 731-738.
- United States Department of Agriculture National Resources Conservation Service (USDA, NRCS). 2007. Statistix 8 User Guide Version 2.0 for the Plant Materials Program. http://plant-materials.nrcs.usda.gov/intranet/software/Statistix-UserGuide-ver2_0.pdf.
- Wang, J., W. Lu, Y. Tong, and Q. Yang. (2016). Leaf Morphology, Photosynthetic Performance, chlorophyll Fluorescence, stomatal Development of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Exposed to Different Ratios of Red Light to Blue Light. Frontiers in Plant Science. 7. 1-10.
- Wien, H. C. (1997). The Physiological of Vegetable Crops. CAB International. Wallingford, United Kingdom.



การอบแห้งสับปะรดโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่ ควบคุมด้วยอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

Pineapple drying using a solar dryer combined with infrared radiation controlled by the Internet of Things

กานต์ กอมนี¹, ภาณุวัฒน์ นาคพงษ์¹, กมลรัตน์ ดีสภา² และ ทรงพล วิจารย์จักร^{1*}

Kan Komaneer¹, Panuwat Nakpong¹, Kamonrat Deesapa² and Songpol Wijanjak^{1*}

¹สาขาช่างยนต์/เทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 หมู่ 12 ตำบลหนองญาติ
อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

¹Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University 214 Moo 12,
Nong yat Subdistrict, Mueang Nakhon Phanom District, Nakhon Phanom Province 48000

²คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 234 หมู่ 12 ตำบลสามพร้าว อำเภอเมืองจังหวัดอุดรธานี 41000

²Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University 234 Moo 12, Sam Phrao Subdistrict, Mueang
District, Udon Thani Province 41000

*Corresponding Author: Songpol.w@npu.ac.th

Received: date; February 2024 Accepted: date; June 2024 Published: date; June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการอบแห้งสับปะรดท่าอุเทนซึ่งเป็นผลไม้ขึ้นชื่อเฉพาะถิ่นของอำเภอท่าอุเทน ในจังหวัดนครพนม ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์กับอินฟราเรดที่มีระบบการควบคุมการทำงานของพัดลมดูดความชื้นด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet Of Things, IOT) โดยมีวิธีการทดลองคือใช้การอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 8.00 – 17.00 น. ซึ่งในระหว่างทำการอบแห้งนั้นก็จะมีการกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วยโซล่าเซลล์เก็บไว้ยังแบตเตอรี่ในรูปแบบของพลังงานทางไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้กับการอบแห้งด้วยเทคนิคการใช้อินฟราเรด (Infrared, IR) ในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงแดดเวลา 18.00 – 20.00 น. ผลจากการทดลองพบว่า การอบแห้งที่มีการควบคุมด้วยระบบ IOT จะมีอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่สูงกว่าระบบที่ไม่มีการควบคุมอีกทั้งการนำอินฟราเรดมาใช้ร่วมกับการอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ก็จะช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและลดเวลาในการอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว

คำสำคัญ : การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ สับปะรดท่าอุเทน การอบแห้งแบบผสมผสาน อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

Abstract

The research aims to study drying techniques for Tha Uthen pineapples, a locally renowned fruit from the Tha Uthen district in Nakhon Phanom province, by using a combined drying method



integrating solar and infrared energy. This method was controlled by a fan moisture extraction system through the Internet of Things (IoT). The experimental procedure involved solar drying from 8:00 AM to 5:00 PM. During the solar drying process, solar energy was captured by solar cells and stored as electrical energy for use in infrared (IR) drying techniques at night from 6:00 PM to 8:00 PM. The results showed that the drying process controlled by the IoT system promoted a higher temperature in the drying chamber compared to the uncontrolled system. Additionally, the use of infrared in conjunction with solar drying helped increase the drying rate and reduce the drying time significantly.

Keywords: Solar drying, Tha Uthen Pineapple, Hybrid drying, Internet of things (IOT)

บทนำ

สับปะรดท่าอุเทนเป็นสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวียที่มีการปลูกที่อำเภอท่าอุเทนจังหวัดนครพนมเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจประจำจังหวัดของจังหวัดนครพนม ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานจากคณะกรรมการอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร GI เพราะเป็นสับปะรดที่มีความเป็นเอกลักษณ์ในด้านพื้นที่การเพาะปลูกรวมถึงรสชาติที่มีความเป็นเอกลักษณ์ ซึ่งได้รับความนิยมและการสนับสนุนส่งเสริมในด้านการเพาะปลูกและแปรรูปเป็นอย่างดี (ศูนย์ข่าวกรมส่งเสริมการเกษตร, 2564) การนำสับปะรดมารับประทานโดยไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปหรือการถนอมเพื่อเพิ่มอายุการบริโภคอาจจะทำให้ไม่สามารถบริโภคได้ทั้งหมดภายในเวลาที่จำกัดส่งผลให้สับปะรดนั้นอาจเกิดการเน่าเสียได้ (บุญโชค, 2565) จึงมีความจำเป็นต้องแปรรูปสับปะรดเพื่อให้มีอายุของการบริโภคที่ยาวนานขึ้น ซึ่งหนึ่งในวิธีการถนอมอาหารเพื่อเพิ่มอายุการบริโภคที่ได้รับความนิยมและทำได้ง่ายคือการอบแห้ง (Ekka and Kumar, 2023) โดยการอบแห้งนั้นเป็นหนึ่งในกระบวนการถนอมอาหารที่มีมาตั้งแต่ในยุคโบราณ ซึ่งในการอบแห้งนั้นจะช่วยเพิ่มอายุการบริโภคของสับปะรดได้ เนื่องจากการอบแห้งจะเป็นกระบวนการของการนำน้ำออกจากผลิตภัณฑ์หรืออาหารซึ่งจะช่วยยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย (Kouhila et al., 2020) ซึ่งวิธีการถนอมอาหารเพื่อเพิ่มอายุการบริโภคด้วยการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์นั้นเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่ายและประหยัดพลังงาน อีกทั้งในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบแสงอาทิตย์นั้นมีความต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Nukulwar and Tungikar, 2022)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา Thanompongchart et al. (2022) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิกมาใช้ร่วมกับการอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ในการอบแห้งสับปะรด ซึ่งค้นพบว่าการอบแห้งด้วยเทคนิคนี้จะสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Malakar et al. (2023) ที่ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาการอบแห้งสับปะรดด้วยเทคนิคที่นำการอบแห้งแบบอินฟราเรดมาใช้ร่วมกับแสงอาทิตย์รวมถึงการนำวัสดุที่เปลี่ยนเฟสได้มาใช้ร่วมกัน โดยการเปรียบเทียบพฤติกรรมของการอบแห้งในแต่ละรูปแบบผลลัพธ์ที่พบคือการอบแห้งที่มีการนำพลังงานอินฟราเรดมาใช้งานร่วมกับแสงอาทิตย์จะช่วยลดเวลาในการอบแห้ง อีกทั้งยังรักษาคุณภาพของสีและสารภายในสับปะรดได้ดีกว่าการอบแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

แต่ทั้งนี้ การอบแห้งแบบแสงอาทิตย์นั้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องของสภาพอากาศที่ไม่คงที่ (Thanompongchart et al., 2022) และไม่สามารถทำงานได้ในเวลากลางคืน ส่งผลให้ยังคงต้องค้นหาเทคนิคใหม่ที่หลากหลายมากขึ้นที่จะช่วยผสมผสานกับการอบแห้งแบบแสงอาทิตย์เพื่อให้การอบแห้งแบบแสงอาทิตย์นั้นมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะจัดทำเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์และอินฟราเรดที่มีระบบควบคุมการอบแห้งแบบ IOT เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการอบแห้งและคุณลักษณะทางกายภาพหลังจากการอบแห้งเพื่อให้การอบแห้งนั้นมีประสิทธิภาพและการใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด

วิธีการดำเนินการวิจัย

1 การเตรียมวัตถุดิบ

ทำการซื้อสับปะรดทำอุเทนจากตลาดอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม โดยก่อนทดสอบนำมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนทำการทดสอบการอบแห้ง โดยใช้อุปกรณ์ปอกสับปะรดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร และมีความหนาที่ 5 มิลลิเมตร เพื่อเป็นตัวอย่างในการทดลอง ซึ่งค่าความชื้นเริ่มต้นของสับปะรดทำอุเทนจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 74–89 % (Wet basis) (บุญโชค, 2565)

2 เครื่องอบแห้งแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์และอินฟราเรด

เครื่องอบแห้งแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์และอินฟราเรดที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขนาดความกว้าง 80 เซนติเมตร x ยาว 100 เซนติเมตร x สูง 50 เซนติเมตร มีพัดลมขนาด 12 โวลต์เพื่อใช้ดูดความชื้นออกจากห้องอบแห้ง และมีหลอดอินฟราเรดขนาด 100 วัตต์เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนอีกประเภทในการอบแห้ง เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คือ DHT21 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งดัง Figure 1 และมีรายละเอียดดัง Table 1

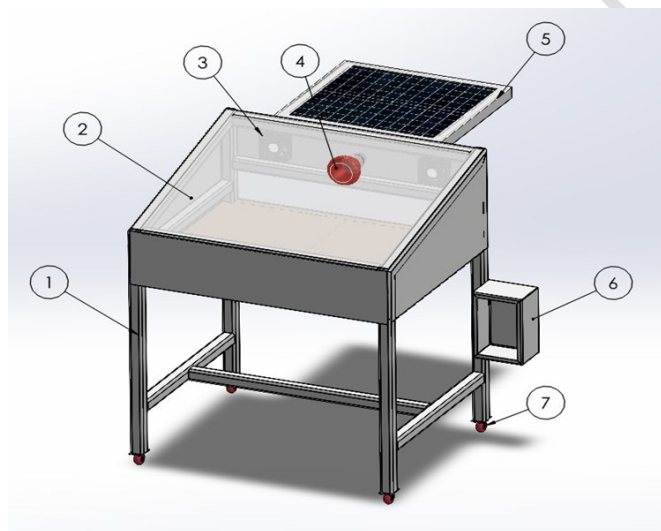


Figure 1 Infrared-assisted hybrid solar dryer

Table 1 Detailed description of the experimental tools used for the infrared-assisted hybrid solar dryer

No.	Equipment Name	Usage Details
1	Structure of the drying machine	To determine the shape and size of the drying machine
2	Tray	To receive solar radiation to enhance the drying process
3	12-volt fan	To absorb moisture from the drying machine
4	100-watt infrared lamp	To increase the heat in the drying process
5	30-watt solar cell panel	To store solar energy and convert it into electricity
6	Control box	To store energy in batteries and control the fan's operation
7	Wheel	For mobility

3. ขั้นตอนการออกแบบการทำงานของระบบการควบคุม

การออกแบบการควบคุมการทำงานของพัดลมโดยใช้ระบบการควบคุมผ่านบอร์ด NodeMCU 8266 ซึ่งเป็นบอร์ดที่ใช้ในงานระบบอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of things, IOT) ซึ่งพัดลมจะทำงานในช่วงเฉพาะของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่าสูงเกินกำหนดดัง Figure 2 เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานที่จะส่งให้กับพัดลมดูดอากาศ นอกจากนี้เพื่อให้การเป็นการเก็บรักษาใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าและกักเก็บพลังงานสะอาดอย่างพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ จึงทำการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านโซลาร์เซลล์แปลงเป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรงผ่านชุดควบคุมการชาร์จในตัวควบคุมก่อนนำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งสะสมพลังงานจากนั้นจะส่งพลังงานไฟฟ้าไปใช้ผ่านตัวแปลงกระแสอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะแปลงกระแสจากกระแสตรง 12 โวลต์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เพื่อเป็นแหล่งไฟฟ้าให้กับหลอดอินฟราเรดในการอบแห้งช่วงเวลากลางคืน เพื่อการส่งเสริมให้สามารถกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ต่อไปกับการอบแห้งแบบอินฟราเรดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดดัง Figure 3

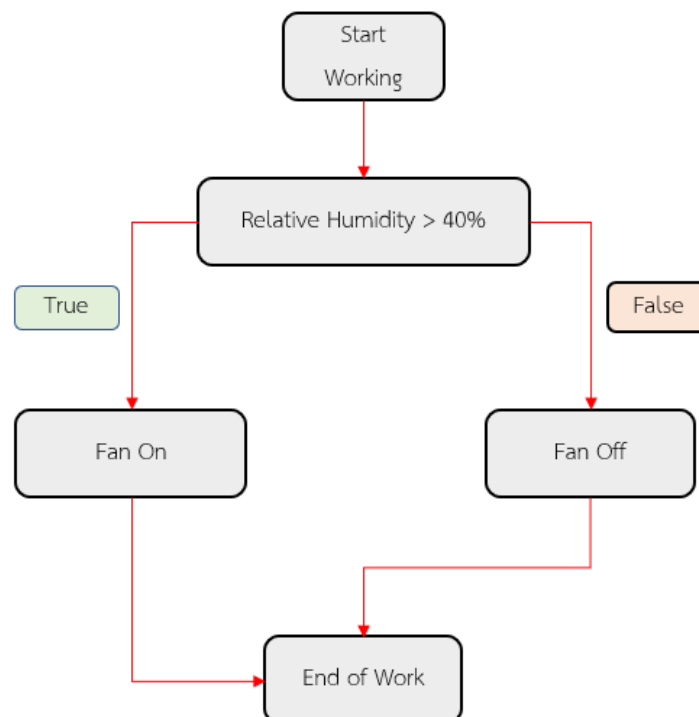


Figure 1 Control system diagram for turning the fan on and off during drying

4. อัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) เป็นค่าที่นิยมในการศึกษาเรื่องการอบแห้ง เพราะเป็นตัวแปรไร้มิติซึ่งมีประโยชน์ในการทำการทดลอง เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณวัสดุมากในการศึกษา นิยามโดยความแตกต่างระหว่างความชื้นที่เวลาใดๆ กับความชื้นสมดุล หาค่าด้วยความแตกต่างระหว่างความชื้นเริ่มต้นกับความชื้นสมดุล (Badaoui et al., 2019) ตามสมการที่ 1

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} \approx \frac{M_t}{M_0} \quad (1)$$

โดยที่

- MR คือ อัตราส่วนความชื้น
 M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (%d.b.)
 M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น (%d.b.)
 M_e คือ ความชื้นสมดุล (%d.b.)

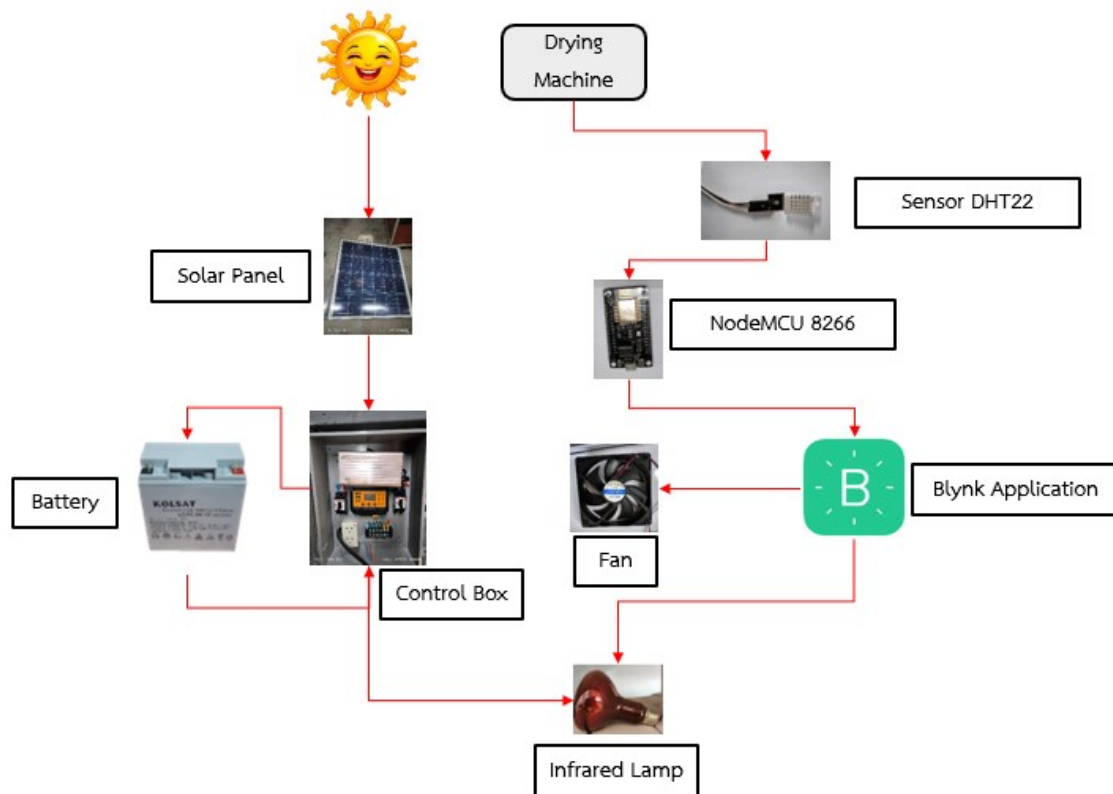


Figure 2 Diagram of the infrared-assisted hybrid solar dryer

5. อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) สามารถหาได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง หรือปริมาณความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้ง นิยามโดยผลต่างระหว่างมวลเริ่มต้นกับมวลที่เวลาใด ๆ หารด้วยเวลา (Badaoui et al., 2019) ตามสมการที่ 2

$$DR = \frac{m_0 - m_T}{t} \quad (2)$$

โดยที่

- m_0 คือ มวลเริ่มต้น (kg)
 m_t คือ มวลที่เวลาใดๆ (kg)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, (h)

6. วิธีการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้จะนำสับปะรดที่จะทำการทดลองมาหั่นให้มีขนาดเท่ากันที่ 5 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นของสับปะรดก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง เมื่อชั่งน้ำหนักเริ่มต้นเสร็จแล้วนำไปไว้ในเครื่องอบแห้งที่มีการควบคุมดัง Figure 2 โดยเครื่องอบแห้งนั้นจะใช้หลักการของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน 8.00 น. – 17.00 น. พร้อมทั้งในขณะที่ทำงานก็จะกักเก็บพลังงานของแสงอาทิตย์เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปเป็นแหล่งให้พลังงานแก่อินฟราเรดซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานในการให้ความร้อนในการอบแห้งในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงแดดโดยจะเริ่มทำงานในช่วงเวลา 18.00 น. – 20.00 น. ผ่านระบบการควบคุมด้วยมือถือจากแอปพลิเคชัน Blynk จากนั้นจะทำการสุ่มชิ้นสับปะรดมาชั่งน้ำหนักในทุกๆ ชั่วโมงที่ทำการทดลอง เพื่อนำค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นไปทำการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

จากภาพที่ 4 จะพบว่าอุณหภูมิในห้องอบแห้งนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 70 องศา ซึ่งอุณหภูมิของการอบแห้งที่มีการควบคุมด้วยระบบ IOT นั้นจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการอบแห้งที่ไม่ได้ควบคุมด้วยระบบ IOT เนื่องจากการควบคุมด้วยระบบ IOT จะทำงานแค่ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเท่านั้นแตกต่างจากการอบแห้งที่ไม่ได้ควบคุมด้วย IOT ที่ทำงานตลอดเวลา ทำให้การอบแห้งแบบ IOT นั้นจะสะสมความร้อนในห้องอบแห้งได้มากกว่าการอบแห้งที่ไม่ได้ควบคุมเพราะพัดลมจะดูดทั้งความชื้นและอุณหภูมิในห้องอบแห้งทั้งตลอดเวลา ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้งนั้นในการอบแห้งแต่ละเทคนิคจะมีแนวโน้มที่คล้ายกันคือมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงที่สุดที่เวลา 17:00 น. ซึ่งในการอบแห้งที่นำอินฟราเรดมาช่วยอบแห้งในช่วงเวลาตั้งแต่ 18.00 น. เป็นต้นไปจะทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงขึ้นและทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงอย่างรวดเร็วดังลูกศรที่ชี้ในภาพที่ 4 เป็นการช่วยเพิ่มความสามารถในการอบแห้งให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง

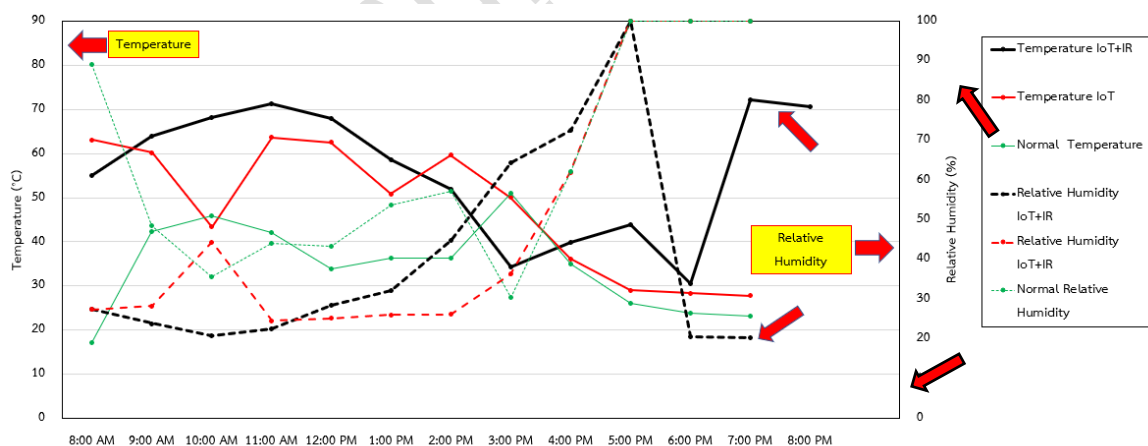


Figure 4 Comparing the relationship between temperature and relative humidity with drying time

2. อัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง

จาก Figure 5 จะพบว่า การอบแห้งที่ใช้ระบบควบคุมแบบ IOT นั้นจะมีค่าอัตราส่วนความชื้นที่ต่ำกว่าการอบแห้งที่ไม่มีระบบควบคุม เนื่องจากการอบแห้งแบบมีระบบควบคุมจะมีอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่าส่งผลให้ใช้เวลาในการ



อบแห้งที่น้อยกว่า และในกรณีที่นำอินฟราเรดมาใช้ในการอบแห้งตั้งแต่ชั่วโมงที่ 10 เป็นต้นไปนั้น ยิ่งส่งผลให้มีอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงโดยจะเห็นได้จากแนวโน้มของกราฟที่ลดลงอย่างรวดเร็วดังลูกศรในภาพที่ 5 ทำให้ทราบว่าการใช้อินฟราเรดนั้นจะส่งผลให้อัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Malakar et al. (2023) ที่เมื่อนำอินฟราเรดมาช่วยในการอบแห้งกับแสงอาทิตย์จะทำให้มีอัตราส่วนความชื้นที่ลดลง

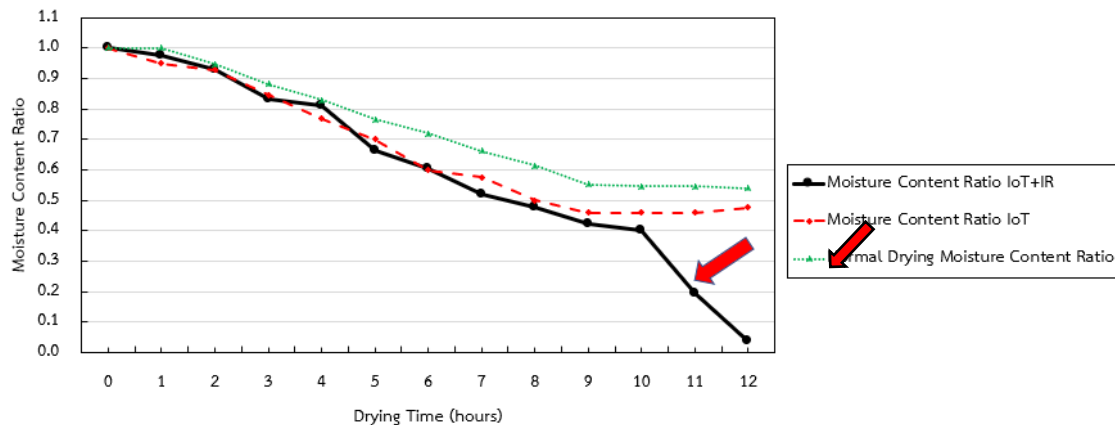


Figure 3 Comparison of the moisture ratio in drying for each technique

3. อัตราการอบแห้ง

จาก Figure 6 อัตราการอบแห้งของระบบที่มีการควบคุมด้วย IOT นั้นจะมีค่าที่สูงกว่าการอบแห้งที่ไม่ได้มีระบบควบคุม เนื่องจากอุณหภูมิในห้องอบแห้งของระบบอบแห้งที่มีระบบควบคุมนั้นมีค่าที่สูงกว่าระบบอบแห้งที่ไม่ได้ควบคุมด้วยระบบ IOT และมีอัตราส่วนความชื้นที่ต่ำกว่าดัง Figure 5 และในกรณีที่มีการนำอินฟราเรดมาช่วยร่วมในกระบวนการอบแห้งจะทำให้แนวโน้มของอัตราการอบแห้งนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงมีความเป็นไปได้ที่การอบแห้งที่นำอินฟราเรดมาช่วยร่วมกับแสงอาทิตย์นั้นมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาในการอบแห้งที่รวดเร็วกว่าการอบแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวเท่านั้นดังลูกศรใน Figure 6

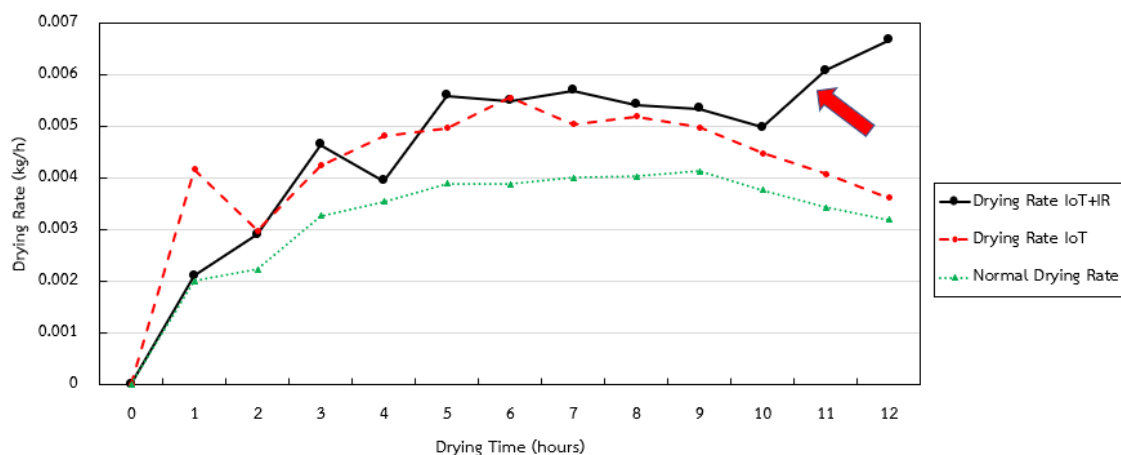


Figure 4 Comparison of the drying rates for each technique

4. ผลกระทบด้านสีของสับปะรดทำอุเทนที่ผ่านการอบแห้ง

การอบแห้งที่ใช้แหล่งความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจะให้น้ำที่เข้มข้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดดัง Figure 7 และ Figure 8 เนื่องจากการอบแห้งแสงอาทิตย์นั้นจะอบแห้งใน อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและใช้เวลานานกว่า ซึ่งสามารถช่วยรักษาสีให้ดีกว่า ในทางกลับกันถึงแม้อินฟราเรดจะให้ความร้อนที่สูง และอบแห้งเร็วกว่าแต่ส่งผลต่อสีของผลไม้ที่เปลี่ยนไปคือการอบแห้งที่นำอินฟราเรดมาช่วยนั้นจะให้สีของสับปะรดมีค่า ความสว่างหรือซีดลง เช่นเดียวกับงานของ Malakar et al. (2023) นอกจากนี้การอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากอินฟราเรด ร่วมกับแสงอาทิตย์นั้นยังทำให้เกิดรอยไหม้บางจุดบริเวณโดยรอบของสับปะรดดังที่ได้วงกลมสีแดงไว้ดัง Figure 8 เนื่องมาจาก แสงอาทิตย์กระจายความร้อนอย่างเท่าเทียมทั่วทั้งผลไม้และใช้ความร้อนที่น้อยกว่า ในขณะที่อินฟราเรดมี อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงมากกว่าการใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจึงอาจทำให้เกิดจุดร้อนบางจุด ทำให้สีของสับปะรดไม่ สม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลต่อการเร่งการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลทำให้เกิดรอยไหม้ที่สับปะรดได้



Figure 5 Color of pineapple dried using solar drying only



Figure 6 Color of pineapple dried using a combination of solar drying and infrared

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในครั้งนี้จะสามารถสรุปความแตกต่างระหว่างการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับการอบแห้งโดยแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์และอินฟราเรดที่ควบคุมด้วยระบบ IOT ดังนี้



- การอบแห้งที่มีระบบควบคุมแบบ IOT จะมีอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งที่ไม่ควบคุม
- การอบแห้งแบบแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจะใช้เวลาในการอบแห้งที่ยาวนานกว่า แต่ให้ความสามารถในการรักษาคุณภาพสีของสับปะรดซึ่งมีสีที่เข้มกว่าการอบแห้งแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์และอินฟราเรด
- การอบแห้งแบบผสมผสานนั้นให้ค่าอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่าการอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว
- การอบแห้งแบบผสมผสานนั้นอาจทำให้เกิดรอยไหม้บริเวณโดยรอบของชิ้นงานได้

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะหากต้องการทำวิจัยต่อในการนำอินฟราเรดมาใช้ร่วมกับแสงอาทิตย์อาจต้องคำนึงถึงพลังงานของหลอดอินฟราเรดที่ต้องใช้วัตต์ที่น้อยลงรวมถึงระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง รวมถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมในการช่วยกระตุ้นการอบแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาช่างยนต์/ เทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือ และสถานที่สำหรับการสร้างชุดทดลอง ตลอดจนการทดสอบและวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- บุญโชค พ้อตาแสง. (2565). ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยเครื่องอบแห้งลมร้อน. ปริญญามหาบัณฑิต.คณะวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศูนย์ข่าวกรมส่งเสริมการเกษตร. (2564). กรมส่งเสริมการเกษตรลงพื้นที่นครพนม ชูไม้ผล GI “สับปะรดหวานท่าอุเทน” และ “ลิ้นจี่พันธุ์นครพนม 1.”. กรมส่งเสริมการเกษตร.
- Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B., and Benhamou, A. (2019). Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: Evaluation of new drying models. *Renewable Energy*. 133, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.020>
- Ekka, J. P., and Kumar, D. (2023). A review of industrial food processing using solar dryers with heat storage systems. *Journal of Stored Products Research*. 101, 102090.
- Kouhila, M., Moussaoui, H., Lamsyehe, H., Tagnamas, Z., Bahammou, Y., Idrimam, A., and Lamharrar, A. (2020). Drying characteristics and kinetics solar drying of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) type under forced convection. *Renewable Energy*. 147, 833-844.
- Malakar, S., Arora, V. K., Nema, P. K., and Yadav, D. K. (2023). Development of infrared-assisted hybrid solar dryer for drying pineapple slices: Investigation of drying characteristics, mass transfer parameters, and quality attributes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 88, 103437.
- Nukulwar, M. R., and Tungikar, V. B. (2022). Recent development of the solar dryer integrated with thermal energy storage and auxiliary units. *Thermal Science and Engineering Progress*. 29, 101192.



Thanompongchart, P., Pintana, P., and Tippayawong, N. (2022). Thermal performance enhancement in hot air and solar drying of pineapple slices with ultrasonic vibration. Case Studies in Thermal Engineering, 37, 102296.

เกษตรกรรมภาควิชาคณิศร