



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2568) | Vol.13 Issue.2 (May – August 2025)

ISSN 2287 – 0083

บทความวิจัย

- การศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่า
กระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน 1
ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, กฤษณะ จันทสิทธิ์ และ อีระวัฒน์ ชื่นอัครดงคต
- การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส 17
โยธิน กัลยาเลิศ, ปัญญธิดา กาเยาว์, เอกชัย จงเสรีเจริญ และ ชนิษฐา ภมรพล
- ผลของระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED ที่มีต่อการเติบโตและสรีรวิทยาของต้นกล้วย
พันธุ์ RRIM 600 35
สมศักดิ์ สัพโส, จรรยา สิงห์คำ และ วนาลัย วิริยะสุธี
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สำหรับฝึกราดทะเลสูตรลดน้ำตาล 51
กุลพร พุทธิมี และ วริศชนม์ นิลนนท์
- ผลของการเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอด
ของลูกปลาหมอชุมพร 1 65
*วรพรภักดิ์ ปัดภัย, กนกกาญจน์ ธิบเร่งรัมย์, วิชชุดา ยินดี, สายฝน ทดทะศรี,
กฤตกนก พาบ และ กิตติศักดิ์ ร่วมพัฒนา*



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (2568)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.13 Issue.2 (2025)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (2568)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์สาขาเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มเกษตรศาสตร์ สาขาพืชศาสตร์ เศรษฐศาสตร์เกษตร ประมง และสัตวศาสตร์ และกลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล, พลังงาน อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ โดยมีกำหนดเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน) ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม) และฉบับที่ 3 (กันยายน-ธันวาคม) ของทุกปี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิตรา วัฒนสุนทรสกุล	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตชาย ม่วงปทุม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ เฟื่องชัย	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี บุญมี	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล สิงห์คำ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
ดร.เอกราช ตินาง	รองอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (2568)

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิรารวรรณ กุณัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นล่อ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม

รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร

รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงภูมิ อุดรา

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลินทร์ พ่อคำ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสิต คำหล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิสิษฐพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทิบุญมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (2568)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงภู อดุตรา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ พูลประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกยูร ดวงอุปมา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์นันทนาท	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ คงฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ เมืองด้อม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ทุมม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวรรณ แสงภักดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณศิริ วรรณสืบเชื้อ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรณัฏร เทียมดาว	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจธรรม สุขณีนวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จริญญา สุขจันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
ดร.วิบูล เป็นสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.วิวรรณ แก่นสา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (2568)

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ณัฏฐนันท์ สุวรรณวงศ์	รองประธานกรรมการ
นายกวีพงษ์ หงส์ทอง	กรรมการ
ดร.เบญจธรรม สุขณวัฒน์	กรรมการ
นางสาวศิวพร ภูทอง	กรรมการ
นายธราดล ปราบภัย	กรรมการ
นางพิมพ์พรรณ ศรีภูธร	กรรมการ
นายอภิเดช อภิปพัฒนภาค	กรรมการ
นางสาวนัชชา คำบุญมา	กรรมการ
นายธนวิชญ์ ปังขามาศ	กรรมการ
นางสาววณัฐพร แพงขวา	กรรมการ
นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวศศิตา พงศาวัล	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพรพย์ เลิศปรีดากร

พิสูจน์อักษร

นางสาวศิวพร ภูทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์

นางสาวศศิตา พงศาวัล

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (2568)

กำหนดการเผยแพร่

- 3 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)
- ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)
- ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000
โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702 เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>
เว็บไซต์วารสาร: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru>
อีเมล: scjournal@udru.ac.th

“ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องในวารสารวิชาการเล่มนี้
ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ซึ่งความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความ
แต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน”

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เป็นวารสารที่ได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 5 พ.ศ. 2568-2572 ได้ประกาศให้วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถูกจัดให้เป็นวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 13 ฉบับที่ 2 ประจำปี พ.ศ. 2568 มีบทความวิจัยจำนวน 5 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้อ่านทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ส่งบทความ และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร

ปิยวดี ยาบุษดี

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

การศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับ ลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน <i>ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, ฤกษ์ณัฏฐ์ จันทสิทธิ์ และ อธิวัฒน์ ชื่นอัคตังคต</i>	1
การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส <i>โยธิน กัลยาเลิศ, ปัญญธิดา กาเยาว์, เอกชัย จงเสรีเจริญ และ ขนิษฐา ภูมิพล</i>	17
ผลของระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED ที่มีต่อการเติบโตและสรีรวิทยา ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 <i>สมศักดิ์ สัพโส, จรรยา สิงห์คำ และ วนาลัย วิริยะสุธี</i>	35
การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับฝักกาดทะเลสูตรลดน้ำตาล <i>กุลพร พุทธิมี และ วริศชนม์ นิลนนท์</i>	51
ผลของการเสริมฮอร์โมนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารต่อการเจริญเติบโตและอัตรา การรอดของลูกปลาหมอชุมพร 1 <i>วรพรภักดิ์ ปัดภัย, กนกกาญจน์ ธิบะรัมย์, วิชชุดา ยินดี, สายฝน ทดทะศรี, กฤตกนก พาวุ และ กิตติศักดิ์ ร่วมพัฒนา</i>	65

การศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน

A STUDY COMPARISON OF SMALL SOLAR POWER GENERATION SYSTEM FOR REDUCING ELECTRICITY COSTS WITHIN THE HOUSEHOLD

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล^{1,*}, กฤษณะ จันทสิทธิ์² และ ชีระวัฒน์ ชื่นอัสดงคต³

Sarayut Chitphutthanakul^{1,*}, Kritsana Chantasit² and Teerawat Chuenatsadongkot³

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

² สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

¹ Energy Technology, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

² Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

³ Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

Received: 17 July 2025

Revised: 18 August 2025

Accepted: 21 August 2025

บทคัดย่อ

การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาพัฒนาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน และ 2) วิเคราะห์เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้แต่ละช่วงเวลาของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กจำนวน 2 อุปกรณ์ ประกอบด้วยไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ ยี่ห้อ DXM และ Hoymiles (DXM 300 และ MI-300) ทำงานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 325 วัตต์ จำนวน 1 แผง อุปกรณ์ภายในติดตั้งในกล่องควบคุมขนาดความกว้าง 44 เซนติเมตร ยาว 61 เซนติเมตร และลึก 23 เซนติเมตร สำหรับนำไปเชื่อมต่อเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าแบบ Plug & Play สำหรับควบคุมการทำงานด้านไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น พิวส์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า พัฒนาระบายความร้อนจำนวน 2 ตัว และมาตรวัดปริมาณทางไฟฟ้า ทดสอบผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลา 08.00 ถึง 17.00 น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยทั้ง 3 วัน

* Corresponding author: ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล

E-mail: sarayut.c@rbru.ac.th

สามารถวัดค่าปริมาณค่ากำลังไฟฟ้าได้สูงสุดในเวลาช่วง 13.00 น. เท่ากับ 189.01 และ 273.86 วัตต์ พลังงานไฟฟ้าสะสมตลอดวันมีค่าเท่ากับ 1.27 และ 1.42 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ 1.27 และ 1.42 ยูนิตต่อวัน ทั้งนี้ไมโครอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Hoymiles รุ่น MI-300 ทำงานได้ดีกว่าไมโครอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ DXM รุ่น DXM 300 ร้อยละ 30.98 อีกทั้งยังได้พลังงานสะสมตลอดวันมากกว่าร้อยละ 10.56

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก, กระแสไฟฟ้า, คริวเรือน

Abstract

This research aimed to (1) study and develop a small-scale solar power generation system to reduce household electricity costs, and (2) analyze and compare the electricity output of two small-scale inverters over different time periods. The two inverters included the DXM 300-watt microinverter and the Hoymiles MI-300 microinverter, each connected to a 325-watt solar panel. All components were housed in a control box measuring 44 cm in width, 61 cm in length, and 23 cm in depth. The system was designed for Plug & Play grid connection and included electrical control components such as a fuse, circuit breaker, DC surge protector, two cooling fans, and a power meter. Electricity generation was tested between 08:00 and 17:00 hours, with measurements taken 6 times per hour over a three-day period. The highest average power outputs were recorded at 13:00 hours, with values of 189.01 watts and 273.86 watts for the DXM 300 and MI-300 inverters, respectively. The total daily energy outputs were 1.27 kWh and 1.42 kWh, or 1.27 and 1.42 units per day. The results indicate that the Hoymiles MI-300 microinverter outperformed the DXM 300 model by 30.98% in peak power output and generated 10.56% more accumulated daily energy.

Keywords: Small Solar Power, Electric Current, Household

บทนำ

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือ ไมโครอินเวอร์เตอร์ (Micro Inverter) หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) ที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Current) เหมาะกับผู้ที่ต้องการติดตั้งขนาดบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก เพื่อลดต้นทุนในการติดตั้ง และให้เหมาะสมกับปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน โดยติดตั้งไมโครอินเวอร์เตอร์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์แยกอิสระต่อการ ทำงาน และไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานในภาพรวม ทำให้สะดวกต่อการบำรุงรักษา และ โอกาสขยายระบบในอนาคต เนื่องจากการติดตั้งจะต่อกันในลักษณะวงจรขนานใช้ปริมาณ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำ จึงมีความปลอดภัย แตกต่างจากระบบผลิตไฟฟ้าแบบสตริง อินเวอร์เตอร์ที่ต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะอนุกรมมีปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูง ทั้งนี้ระบบ ไมโครอินเวอร์เตอร์ยังมีข้อได้เปรียบในด้านข้อกำหนดมาตรฐานการหยุดทำงานในกรณีฉุกเฉิน (Rapid Shutdown) ซึ่งจะถูกบังคับใช้ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยของระบบขณะทำงานนั่นเอง สอดคล้องกับไพบูลย์ เกียรติสุขคนธา และ วิสุทธิ์ ตัณฑ์รุ่งเรือง (2557) ถึงแม้อินเวอร์เตอร์ แบบศูนย์รวมให้ประสิทธิภาพมากกว่าแบบกระจายติดตั้ง แต่ข้อดีของการติดตั้งแบบกระจาย จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรงดันต่ำ ปลอดภัยกว่าแบบศูนย์รวมซึ่งเป็นไฟฟ้าแรงดันสูง

เนื่องจากความต้องการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจที่ต้องการเจริญเติบโต และ ความ ต้องการใช้กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น จากอุณหภูมิโลกปรับตัวสูงขึ้น จึงใช้เครื่องปรับอากาศหรือ พัดลมเพื่อลดอุณหภูมิภายในบ้านพักอาศัยลง ซึ่งทำให้เกิดภาระค่ากระแสไฟฟ้าสูงขึ้น (Su & Ullah, 2024) โดยจะเป็นแนวทางในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน โดยการนำระบบไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ ร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 325 วัตต์ ติดตั้งในกล่องควบคุมร่วมกับอุปกรณ์ติดต่อไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับให้สามารถ เคลื่อนที่ และต่อใช้งานในลักษณะ Plug & Play เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า แล้วนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จ่ายให้โหลดเครื่องไฟฟ้าภายในครัวเรือน โดยจะสามารถลดค่า กระแสไฟฟ้าในระดับครัวเรือน สอดคล้องกับนัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และคณะ (2564) ศึกษา พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถผลิต กระแสไฟฟ้าได้สูงสุดและมีความต่อเนื่อง รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้ากับระบบ จำหน่ายไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ในการจัดสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน

1. ไมโครอินเวอร์เตอร์

1.1. ไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ รุ่น DXM 300 แบบ Single Phase สามารถต่อแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1x60 Cells หรือ 1x72 Cells จำนวน 1 แผงต่อเครื่อง รายละเอียดดังรูปที่ 1 โดยมีคุณลักษณะของอุปกรณ์โดยทั่วไปดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 ไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ DXM 300

ที่มา: โซล่า ไทยแลนด์, (2567)

(1) ขนาดกำลังไฟฟ้าขาเข้าเครื่องอินเวอร์เตอร์มีความต้องการกำลังไฟฟ้าระหว่าง 200-310 วัตต์ สามารถรับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ระดับสูงสุด 54 โวลต์ ปริมาณแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มทำงานที่ 22-50 โวลต์ แรงดันขณะทำงานอยู่ระหว่าง 17-50 โวลต์ สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 13 แอมแปร์ และสามารถทนกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดขณะลัดวงจรที่ระดับ 20 แอมแปร์ (2) ข้อมูลทางด้านฝั่งขาออกเพื่อเชื่อมต่อกับวงจรของการไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 230 โวลต์ (VAC) มีค่าแรงดันทำงานอยู่ระหว่าง 180-260 โวลต์ (VAC) ระดับความถี่อยู่ระหว่าง 50 Hz มีค่าความถี่ทำงานอยู่ระหว่าง 47-52.5 Hz กระแสไฟฟ้าทางด้านขาออกที่ระดับ 1.08 แอมแปร์ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มากกว่าร้อยละ 99 ปริมาณการสูญเสีย Total Harmonic Distortion (THD) น้อยกว่าร้อยละ 5 (3) ขนาดตัวเครื่องมีขนาดความกว้าง 192 มิลลิเมตร ยาว 175 มิลลิเมตร และสูง 38 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำหนัก 0.7 กิโลกรัม ทำงานที่ระดับอุณหภูมิ -40 ถึง +60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการป้องกันน้ำของตัวเครื่องที่ระดับ IP65 นอกจากนั้นยังมีค่าประสิทธิภาพของตัวเครื่อง (CEO Peak Efficiency) ที่ระดับร้อยละ 95.50

ประสิทธิภาพความถ่วงน้ำหนัก (CEO Weighted Efficiency) ร้อยละ 96.50 และประสิทธิภาพการควบคุมการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Nominal MPPT Efficiency) ที่ระดับร้อยละ 99.80 สามารถต่อรวมกันได้จำนวน 30 เครื่องต่อ 1 วงจรไฟฟ้า (โซล่า ไทยแลนด์, 2567) นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลการทำงานของตัวเครื่องผ่านทางระบบสายสัญญาณ PV Connector ได้อีกด้วย ทำให้สามารถสะดวกต่อการตรวจสอบการทำงาน ซึ่งไมโครอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวเป็นขนาดเล็กสุด เหมาะสำหรับนำไปใช้ในครัวเรือนหรือบ้านหลังเล็ก ๆ สามารถติดตั้งที่ได้แผงโซล่าเซลล์ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง และยังสะดวกต่อการบำรุงรักษาอีกด้วย

1.2. ไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ ยี่ห้อ Hoymiles รุ่น MI-300 แบบ Single Phase สามารถต่อแผงโซล่าเซลล์ขนาด 1x60 Cells หรือ 1x72 Cells จำนวน 1 แผงต่อเครื่อง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ MI-300

ที่มา: ฮอยมายส์, (2566)

คุณลักษณะทั่วไป (1) ขนาดกำลังไฟฟ้าขาเข้าเครื่องอินเวอร์เตอร์มีความต้องการกำลังไฟฟ้าระหว่าง 200-310 วัตต์ ปริมาณแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มทำงานที่ 22 โวลต์ แรงดันขณะทำงาน 16-60 โวลต์ และสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 10.5 แอมแปร์ (2) ข้อมูลทางด้านฝั่งขาออกเพื่อเชื่อมต่อกับวงจรของการไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 230 โวลต์ มีค่าแรงดันทำงานอยู่ระหว่าง 180-275 โวลต์ ระดับความถี่ 50 Hz มีค่าความถี่ทำงานอยู่ระหว่าง 45-55 Hz กำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ 250 วัตต์ กระแสไฟฟ้าทางด้านขาออกที่ระดับ 1.08 แอมแปร์ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มากกว่า 0.99 ปริมาณการสูญเสีย Total Harmonic Distortion (THD) น้อยกว่าร้อยละ 3 (3) สามารถต่อรวมกันได้จำนวน 20 เครื่องต่อ 1 วงจรไฟฟ้า (4) ขนาดตัวเครื่องมีขนาดความกว้าง 178 มิลลิเมตร ยาว 153 มิลลิเมตร และสูง 28 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำหนัก 1.98 กิโลกรัม ทำงานที่ระดับอุณหภูมิ -40 ถึง +60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพใน

การป้องกันน้ำของตัวเครื่องที่ระดับ IP67 ค่าประสิทธิภาพของตัวเครื่อง (CEO Peak Efficiency) ที่ระดับร้อยละ 96.70 ประสิทธิภาพความถ่วงน้ำหนัก (CEO Weighted Efficiency) ร้อยละ 96.50 และประสิทธิภาพการควบคุมการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Nominal MPPT Efficiency) ที่ระดับร้อยละ 99.80 (ฮอยมายส์, 2566) นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลการทำงานของตัวเครื่องผ่านทางระบบเครือข่ายที่ความถี่ 2.4 GHz ได้อีกด้วย

2. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly Crystalline) มีขนาดความกว้าง 992 มิลลิเมตร ยาว 1960 มิลลิเมตร และสูง 40 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Suntech รุ่น STP325-24/vfw กำลังวัตต์สูงสุดที่ผลิตได้ 325 วัตต์ จำนวน 72 Cells สำหรับติดตั้งด้านบนหลังคาเพื่อใช้ในการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกรวมนั้นจะมีกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแบบฟิล์มบาง (Thin Film) เมื่อเทียบกับพื้นที่ติดตั้งแต่น้อยกว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบชนิดผลึกเดี่ยว (Mono Crystalline) โดยจะมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 13-16 (นครินทร์ รินผล, 2559)

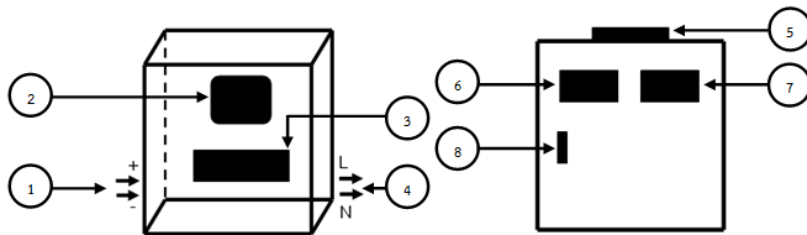
3. อุปกรณ์ควบคุมพัดลมระบายความร้อน

เนื่องจากการติดตั้งไมโครอินเวอร์เตอร์หากติดตั้งบริเวณภายนอก หรือติดตั้งหลังแผงโซลาร์เซลล์จะไม่มี ความจำเป็นต้องติดตั้งพัดลมระบายความร้อนใด ๆ เพิ่มเติม โดยวัสดุภายนอกของไมโครอินเวอร์เตอร์สามารถระบายความร้อนได้ โดยติดตั้ง Smart Switch Wi-Fi ยี่ห้อ Sonoff รุ่น TH16 ร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจสอบอุณหภูมิ รุ่น Si7021 เพื่อควบคุมพัดลมระบายความร้อนให้ทำงานได้ สามารถรองรับกำลังไฟสูงสุดที่ 2,200 วัตต์ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 90-250 โวลต์ อุณหภูมิทำงานระหว่าง -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ระดับ 0 ถึง 100 %RH สามารถตั้งเวลาเปิด/ปิด ผ่านแอปพลิเคชัน eWelink เพื่อแสดงข้อมูลแบบ Real Time หรือรองรับการตั้งเปิด/ปิดพัดลมระบายความร้อนตามอุณหภูมิและความชื้นได้ตามต้องการ

ส่วนที่ 2 การออกแบบผลระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน

ชุดควบคุมระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือนพบว่า กล่องควบคุมที่นำมาใช้เก็บอุปกรณ์เป็นเหล็กกันน้ำมีขนาดความกว้าง 44 เซนติเมตร ยาว 61 เซนติเมตร และลึก 23 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3 ภายในติดตั้งอุปกรณ์ (1) ช่องต่อสำหรับกระแสไฟฟ้าที่มาจากแผงโซลาร์เซลล์จำนวน 2 ช่อง (ขั้วบวก และขั้วลบ) บริเวณด้านข้างของ

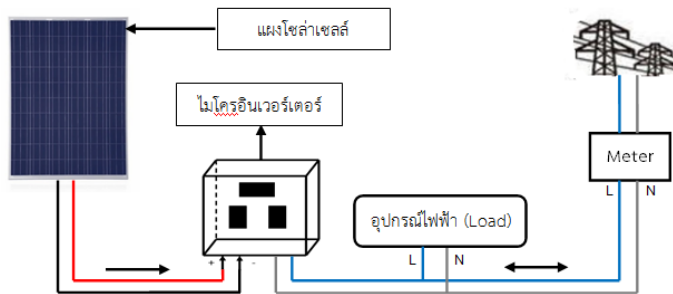
กล่องควบคุม เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน (2) ตำแหน่งติดตั้งไมโครอินเวอร์เตอร์ สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (3) พิวส์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด อุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับตัดต่อวงจรไฟฟ้าระบบการทำงาน อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อป้องกันในกรณีที่เกิดไฟกระชอกรุนแรง อุปกรณ์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสสลับ และอุปกรณ์ควบคุมพัดลมระบายความร้อน บริเวณด้านข้าง (4) ติดตั้งปลั๊กสำหรับเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เข้าไปร่วมกับส่วนของการไฟฟ้าให้สามารถทำงานได้สะดวกในลักษณะ Plug & play (5) ติดตั้งหุ้สำหรับยกเคลื่อนย้ายด้านเลนของกล่องควบคุม (6) วัดตมิตเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ (7) วัดตมิตเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า (8) อุปกรณ์สำหรับเปิด-ปิดกล่องควบคุม เพื่อทำการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ภายใน



รูปที่ 3 แบบจำลองกล่องควบคุมระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

ส่วนที่ 3 การจัดสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน

ดำเนินการจัดสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน ขนาดไมโครอินเวอร์เตอร์ 300 วัตต์ ให้อยู่กล่องเก็บอุปกรณ์สามารถเคลื่อนที่ได้ มีช่องสำหรับเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 330-350 วัตต์ จำนวน 1 แผง ติดตั้งบนหลังคาตามมุมลาดเอียง 15-20 องศา (จรรูวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์, 2557) ตามรูปแบบที่กำหนด รูปที่ 4 และเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้ง วสท. 022013-22 เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2565)



รูปที่ 4 แบบจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

ส่วนที่ 4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและเปรียบเทียบผลการใช้งาน

ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้งาน และการรวบรวมข้อมูล โดยการเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 08.00 น.-17.00 น. เก็บข้อมูลเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง ในช่วงเดือนเมษายน และทำการเปรียบเทียบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 2 รุ่น ซึ่งนำข้อมูลที่ได้มาเรียบเรียงใช้ประกอบการประเมิน เพื่อศึกษาความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการจัดสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน

อุปกรณ์ที่ควบคุมระบบการทำงานจะถูกติดตั้งลงในกล่องเหล็กกันน้ำพร้อมติดตั้งพัดลมระบายความร้อนขนาดความกว้าง 44 เซนติเมตร ยาว 61 เซนติเมตร และลึก 23 เซนติเมตร โดยติดตั้งฟิวส์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 32 แอมแปร์ 100 โวลต์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 32 แอมแปร์ 120-500 โวลต์ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ 1,000 โวลต์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 32 แอมแปร์ 220 โวลต์ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 20 กิโลแอมแปร์ 1,000 โวลต์ อุปกรณ์ควบคุมพัดลมระบายความร้อนขณะทำงาน (Sonoff TH16) บริเวณด้านหน้าติดตั้งมอโนเตอร์แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 100 แอมแปร์ 100 โวลต์ และมอโนเตอร์แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 100 แอมแปร์ 220 โวลต์

2. ผลการวิเคราะห์ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน

การทดสอบดำเนินงานโดยการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 วัน (ช่วงเดือนเมษายน 2568) ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 33-36 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 5 วัดปริมาณแรงดันไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ทั้งทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงก่อนเข้าไมโครอินเวอร์เตอร์ และทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับหลังผ่านการแปลงไฟจากไมโครอินเวอร์เตอร์ และปริมาณความเข้มแสง เพื่อตรวจสอบปริมาณพลังงาน (ยูนิตที่ได้ใน 1 วัน) ได้ผลดังตารางที่ 1

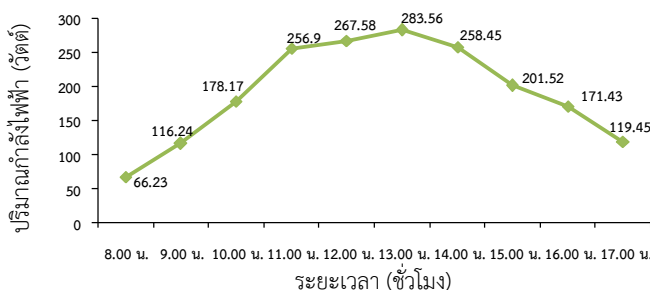


รูปที่ 5 กล่องควบคุม และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน ทางด้านขาเข้าไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรงดัน (โวลต์)	ค่ากระแส (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความเข้มแสง (ลักซ์)
08.00 น.	32.98	1.97	66.23	16,957
09.00 น.	33.44	3.31	116.24	33,954
10.00 น.	33.56	4.96	178.17	70,860
11.00 น.	33.61	7.62	256.90	53,577
12.00 น.	33.74	7.85	267.58	72,457
13.00 น.	34.40	8.25	283.56	90,189
14.00 น.	33.68	7.70	258.45	88,562
15.00 น.	32.96	7.03	201.52	73,315
16.00 น.	31.54	5.50	171.43	40,157
17.00 น.	31.19	3.57	119.45	35,196

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน ตามตารางที่ 1 ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยเฉลี่ย พบว่า ค่าปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และความเข้มแสงด้วยเครื่องมือทดสอบความเข้มแสง (Light Intensity Meter) ยี่ห้อ UNIT-T รุ่น UT383 ที่อ่านได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 325 วัตต์ ทั้งนี้เพื่อศึกษาแนวโน้มค่าพลังงานตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ หากวัดค่าพลังงานจากดวงอาทิตย์ควรใช้เครื่องมือไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมา โดยการอ่านค่ามาตรวัด ซึ่งเมื่อเริ่มต้นระยะเวลา 08.00 น. รังสีจากดวงอาทิตย์จะยังมีปริมาณความเข้มแสงน้อย ทำให้วัดค่ากำลังไฟฟ้าก่อนเข้าไมโครอินเวอร์เตอร์ 66.23 วัตต์ เมื่อระยะเวลาผ่านไปแนวโน้มรังสีจากดวงอาทิตย์มีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่จากทางทิศตะวันออกไปยังทางทิศตะวันตก และมีลักษณะการเคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้ ทำให้วัดค่าปริมาณกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดในเวลาช่วง 13.00 น. มีค่าเท่ากับ 283.56 วัตต์ เนื่องมาจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์ ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าตามได้ตามกำลังวัตต์ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบุไว้ ทั้งนี้ปริมาณกำลังไฟฟ้าจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาหลังจาก 14.00 น. ดังรูปที่ 6 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพาลาโบลา โดยมีกำลังวัตต์ที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 17.00 น. ลดลงเท่ากับ 119.45 วัตต์ โดยหากรังสีจากดวงอาทิตย์มีปริมาณความเข้มแสงมาก สอดคล้องกับศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล และคณะ (2563) ศึกษาพัฒนาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกลใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ ทำงานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 350 วัตต์ จำนวน 5 แผง มีค่าปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 164.27 8.73 และ 1,432.76 ตามลำดับ



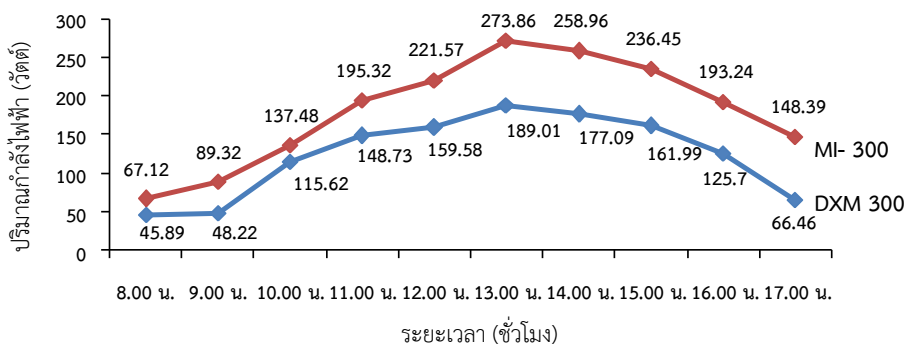
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของระยะเวลา และกำลังไฟฟ้า ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ตามตารางที่ 2 โดยเชื่อมต่อกับปลั๊กไฟภายในบ้านพักอาศัย และทำการเปรียบเทียบกันของไมโครอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ DXM รุ่น DXM 300 และ Hoymiles รุ่น MI-300 พบว่า ปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ไมโครอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ (Rate Voltage Range) ในช่วง 180-260 โวลต์ โดยเป็นแรงดันที่มาจากการไฟฟ้าร่วมกับแรงดันที่มาจากไมโครอินเวอร์เตอร์ ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ได้เริ่มต้นเวลา 08.00 น. เท่ากับ 45.89 และ 67.12 วัตต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ในช่วงเริ่มต้นยังมีปริมาณความเข้มแสงจากรังสีดวงอาทิตย์ในระดับต่ำ ทำให้ได้ปริมาณกำลังไฟฟ้าน้อย โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไป สามารถวัดค่าปริมาณค่ากำลังไฟฟ้าได้สูงสุดในเวลาช่วง 13.00 น. เท่ากับ 189.01 และ 273.86 วัตต์ เนื่องจากมีปริมาณความเข้มแสงจากรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด ทำให้สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้ามากที่สุด สอดคล้องกับประสิทธิภาพของไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด (Rate Output Power) ที่ระดับ 250 และ 300 วัตต์

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน ทางด้านขาออกไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกำลังไฟฟ้า (วัตต์) และค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh)			
	DXM รุ่น DXM 300		Hoymiles รุ่น MI-300	
	ค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh)	ค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh)
08.00 น.	45.89	0.00	67.12	0.00
09.00 น.	48.22	0.05	89.32	0.08
10.00 น.	115.62	0.17	137.48	0.26
11.00 น.	148.73	0.32	195.32	0.58
12.00 น.	159.58	0.48	221.57	0.71
13.00 น.	189.01	0.67	273.86	0.96
14.00 น.	177.09	0.85	258.96	1.20
15.00 น.	161.99	1.01	236.45	1.33
16.00 น.	125.70	1.14	193.24	1.39
17.00 น.	66.46	1.27	148.39	1.42

โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณลดลงหลังจากระยะเวลา 14.00 น. เนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ดังรูปที่ 7 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพลาโบลา ทั้งนี้เมื่อมาตรวจสอบค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมตลอดทั้งวันจะมีค่าเท่ากับ 1.27 และ 1.42 กิโลวัตต์ชั่วโมง (KWh) หรือ 1.27 และ 1.42 ยูนิตต่อวัน ตามลำดับ หรือจำนวนหน่วยต่อเดือนเท่ากับ 38.10 และ 42.60 ยูนิตต่อเดือน พื้นที่จังหวัดจันทบุรีมีค่า Peak Sun Hour (PSH) เฉลี่ยอยู่ที่ 5 ชั่วโมงต่อวัน (Gaisma, 2565) ทั้งนี้ไมโครอินเวอร์เตอร์จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพนั้น ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีการออกแบบและวัสดุที่นำมาจัดสร้าง



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของระยะเวลา และกำลังไฟฟ้า ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

3. ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน

หลังจากดำเนินการทดสอบการทำงาน ตั้งแต่ระยะเวลา 08.00-17.00 น. ด้วยไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 2 ยี่ห้อ DXM และ Hoymiles (DMX 300 และ MI-300) ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 325 วัตต์ เพื่อให้การวิจัยมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงทำการวิเคราะห์ผลการวิจัยในด้านต่าง ๆ ดังแสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก ยี่ห้อ DXM และ Hoymiles (DMX 300 และ MI-300)

ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	DXM (DMX 300)	Hoymiles (MI 300)
1. ด้านอินพุตขาเข้า (DC Input)		
1.1 กำลังงานไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)	283.56 (300)	283.56 (380)
1.2 กระแสไฟฟ้าสูงสุด (แอมป์)	8.25 (13)	8.25 (10.50)
1.3 แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (โวลต์)	34.40 (54)	34.40 (60)
1.4 แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน (โวลต์)	17-50	16-60
2. ด้านเอาต์พุตขาออก (AC Output)		
2.1 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)	189.01	273.86
2.2 กระแสไฟฟ้าผลิตได้สูงสุด (แอมป์)	0.78	1.15
2.3 แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน (โวลต์)	215-233	217-235
2.4 ความถี่ขณะทำงาน (เฮิรต)	47-52.5	58-62
3. ลักษณะการใช้งาน		
3.1 ลักษณะการใช้งาน	Plug & Play	Plug & Play
3.2 อุณหภูมิทำงาน (องศาเซลเซียส)	-40 ถึง 60	-40 ถึง 65
3.3 ขนาดไมโครอินเวอร์เตอร์ (มิลลิเมตร)	192 x 175 x 38	178 x 153 x 28
3.4 ระดับการป้องกัน	IP65	IP67
3.5 ระบบระบายความร้อน	Heat Sink	Natural Convection
3.6 ประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท/เดือน)	171.45	191.70
4. ต้นทุน (อุปกรณ์ไมโครอินเวอร์เตอร์)	4,900 บาท	6,500 บาท
5. สมรรถนะการผลิตกระแสไฟฟ้า (ยูนิท/วัน)	1.27	1.42

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 รุ่น ที่ทำการศึกษา ไมโครอินเวอร์เตอร์ Hoymiles รุ่น MI-300 มีประสิทธิภาพสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ดีกว่าไมโครอินเวอร์เตอร์ DXM รุ่น DXM 300 ซึ่งอาจมาสาเหตุมาจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหมือนกัน รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ประกอบ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานนั่นเอง ทั้งนี้ ไมโครอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ยี่ห้อ สามารถนำมาติดตั้งสะดวกต่อการใช้งาน เหมาะสมกับครัวเรือนที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนัก ทั้งนี้จะช่วยลดค่ากระแสไฟฟ้าต่อเดือน 170-190 บาทและยังมีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 3.0-3.8 ปี หลังจากนั้นจะมีผลตอบแทนในการลงทุนเท่ากับร้อยละ 26.50-33.20 โดยอาจมีปัจจัยด้านอายุการใช้งานของไมโครอินเวอร์เตอร์เองที่ต้องมีการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนบางประการ

สรุปผลการวิจัย

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าภายในครัวเรือน ประกอบด้วยไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาด 300 วัตต์ DXM และ Hoymiles (DXM 300 และ MI-300) ทำงานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 325 วัตต์ ทดสอบเก็บข้อมูล 08.00 น. ถึง 17.00 น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง เฉลี่ยจำนวน 3 วัน พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมตลอดทั้งวันจะมีค่าเท่ากับ 1.27 และ 1.42 กิโลวัตต์ชั่วโมง (KWh) หรือ 1.27 และ 1.42 ยูนิต์ต่อวัน ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน ไมโครอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Hoymiles รุ่น MI-300 ทำงานได้ดีกว่าไมโครอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ DXM รุ่น DXM 300 ร้อยละ 30.98 อีกทั้งยังได้พลังงานสะสมตลอดวันมากกว่าร้อยละ 10.56 โดยหลังทดสอบเปรียบเทียบจะสามารถทราบข้อดีของการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์ สามารถติดตั้งเพิ่มเติมจำนวนไมโครอินเวอร์เตอร์ได้ในภายหลัง ซึ่งจะสามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือนขนาดเล็กได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปลงใหญ่ จังหวัดจันทบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำต่องานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์. (2557). *ตำแหน่งของทิศที่ควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2568, จาก https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=55175.
- โซล่า ไทยแลนด์. 2567. *ไมโครอินเวอร์เตอร์ แบบออนกริด สำหรับแผงโซลาร์ 1 แผ่น*. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2567, จาก <https://www.solar-thailand.com/TH/Product/DXM300/>.
- นครินทร์ รินผล. (2559). *คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ ฯ: จรัสสินทวงศ์การพิมพ์.

- ฐิโชติ รักไทยเจริญชีพ, ปพน งามประเสริฐ, นริศ ชัยธรานนท์ และ ทง ลานธารทอง. (2564). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนวัตกรรมพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า. *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี*, 1(1), 80-86.
- ไพบูลย์ เกียรติสุขคนธา และ วิสุทธิ์ ตันติรุ่งเรือง. (2557). *การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์แบบศูนย์กลางและแบบกระจายสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์*. พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (2565). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล, กฤษณะ จันทสิทธิ์ และ อธิวัฒน์ ชื่นอัตติงคต. (2563). ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกลสำหรับ ลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*, 7(2), 1-11.
- ฮอยมายส์. (2566). *Hoymiles MICROINVERTER User Manual*. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2567, จาก <https://manuals.plus/hoymiles/microinverter-manual.pdf>.
- Gaisma. (2565). *Solar Energy and Surface Meteorology*. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2568, จาก <https://www.gaisma.com/en/location.chanthaburi.html>.
- Su, Y., & Ullah, K. (2024). Exploring the correlation between rising temperature and household electricity consumption: An empirical analysis in China. *Heliyon*, 10, e30130.

การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส

DEVELOPMENT OF BIOCHARCOALS FROM DURIAN PEELS

FOR PHOSPHORUS FERTILIZER ADSORPTION

โยธิน กัลยาเลิศ^{1,*}, ปญญธิดา กาเยาว์², เอกชัย จงเสรีเจริญ¹ และ ขนิษฐา ภมรพล¹Yotin kallayalert^{1,*}, Punyathida Kayao², Ekachai Chongsereecharoen¹and Kanittha Pamonpol¹¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์¹ Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage² สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง² School of Health Science, Mae Fah Luang University

Received: 24 July 2025

Revised: 25 August 2025

Accepted: 26 August 2025

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส ที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้จากกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส แล้วนำถ่านชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง (EDS) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) แล้วนำถ่านชีวภาพไปทดสอบการดูดซับฟอสฟอรัสที่เวลา 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบเฟสคาร์บอนอสัณฐาน และแกรไฟต์ นอกจากนี้ยังพบโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบโครงสร้าง

* Corresponding author: โยธิน กัลยาเลิศ

E-mail: yotin@vru.ac.th

จุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 10-20 μm และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ ซึ่งมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 5-10 μm ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่านถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย EDS พบว่า มีคาร์บอนร้อยละ 51.96 เป็นธาตุหลัก รองลงมา ได้แก่ ออกซิเจน ร้อยละ 28.07 โพแทสเซียม ร้อยละ 12.58 แมกนีเซียม ร้อยละ 1.74 และฟอสฟอรัส ร้อยละ 1.64 และผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) โดยใช้ Gas adsorption ซึ่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) 113 ตารางเมตรต่อกรัม เวลาในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน มีค่ามากที่สุด คือเวลาดูดซับที่ 20 ชั่วโมง มีค่าดูดซับฟอสฟอรัส ที่ร้อยละ 7.60

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน, การดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส, การเผาแบบไพโรไลซิส

Abstract

Biochar from durian peels in this study for phosphorus fertilizer adsorption was obtained through a pyrolysis process at temperatures of 400-600 $^{\circ}\text{C}$. The prepared biochar was analyzed for the crystalline structure using X-ray diffraction (XRD), the morphology by scanning electron microscopy (SEM), the elemental composition via energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and the surface area using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) technique. The biochar conducted phosphorus adsorption examination at intervals of 0.5, 1, 5, 10, and 20 hours. Subsequently, the investigation of the crystal structure of biochar derived from durian peel by XRD indicates the existence of amorphous carbon and graphite phases. Furthermore, potassium aluminum silicate is found as well. The SEM results show that the biochar exhibited pore diameters between 10 and 20 micrometers (μm), as well as smaller pores (5-10 μm) situated inside larger ones. The elemental composition study by using EDS shows that carbon contains 51.96%, followed by oxygen at 28.07%, potassium at 12.58%, magnesium at 1.74%, and phosphorus at 1.64%. The analysis of surface area

with BET method through gas adsorption reveals that the specific surface area of biochar derived from durian peel is $113 \text{ m}^2/\text{g}$. Moreover, the optimal time for phosphorus adsorption of biochar from durian peels is 20 hours, with a phosphorus adsorption value of 7.60%.

Keywords: Biochar from durian peels, Phosphorus fertilizer absorption, pyrolysis

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีพื้นที่เขตเกษตรกรรม 153,184,527 ไร่ หรือร้อยละ 47.77 ของพื้นที่ประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) เพื่อให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตมากขึ้นจึงมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์เพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การเสียสภาพของดินกลายเป็นดินแข็งและแน่น ดินเป็นกรด ทำให้การดูดซึมธาตุอาหารของพืชลดน้อยลง อีกทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีในการทำการเกษตรยังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อม (สุภาวดี หนูสิน, 2564) การเพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ยทำให้ต้นทุนในการปลูกพืชของเกษตรกรเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยส่วนใหญ่พืชทุกชนิดมีความต้องการธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชและเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลผลิตของพืช (อัญชลี นิลสุวรรณ และ ลดา มัทธูรศ, 2562) การใช้ปุ๋ยเคมีจำนวนมากส่งผลทำให้เกิดการขาดแคลนปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลให้ราคาปุ๋ยแพงขึ้น ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนในการทำการเกษตรมากขึ้น เนื่องจากต้องนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ (สุภาวดี หนูสิน, 2564) จึงมีการใช้วัสดุที่หลากหลายที่ช่วยในการปรับปรุงสภาพดิน เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

ถ่านชีวภาพ (Biochar) เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน ยังสามารถปรับสภาพดินให้มีความเป็นกรดลดลง หรือยังสามารถใช้แก่น้ำที่มีสภาพความเป็นกรด (บุญรักษ์ กาญจนวรรณชัย, 2560) สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่หาได้โดยทั่วไป ทั้งเศษพืช เศษไม้ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ของเสียจากครัวเรือน การเตรียมถ่านชีวภาพโดยการผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจน (Pyrolysis) ซึ่งจะทำให้ลดการสูญเสียคาร์บอนในสถานะก๊าซจากถ่านชีวภาพจึงทำให้ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณ

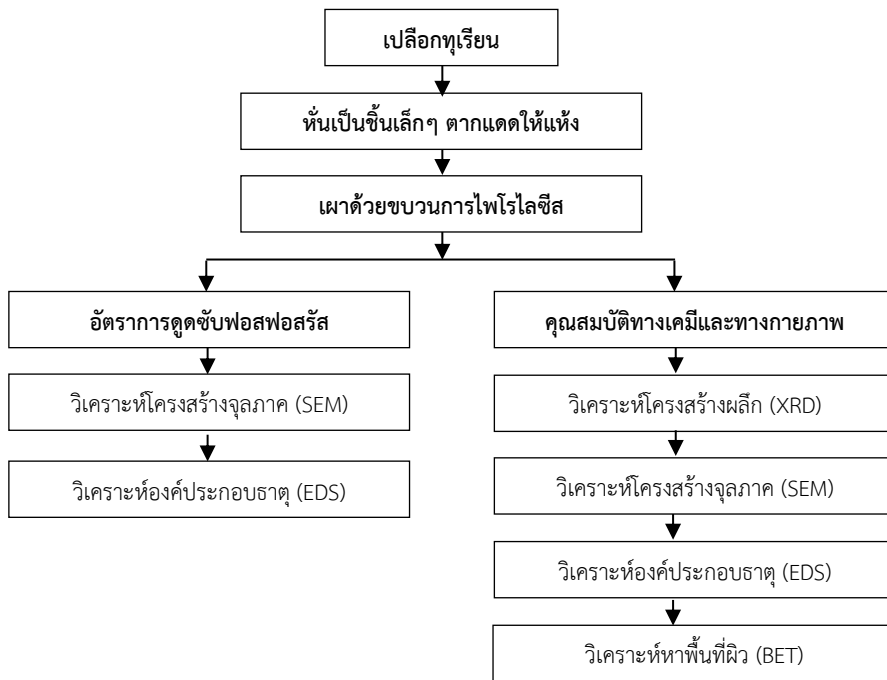
คาร์บอนคงตัวสูงถึงร้อยละ 50 ของวัตถุดิบในการผลิต (องค์ความรู้ถ่านชีวภาพ, 2557) คาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านชีวภาพ มีความเสถียรมาก มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีความพรุนสูง และเป็นของแข็งที่มีความคงตัว (Sohi, 2009) วัสดุเหลือทิ้งที่นิยมนำมาพัฒนาเป็นถ่านชีวภาพ เช่น กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด เปลือกมะพร้าว เปลือกขนุน ไม้มะกอก เมล็ดมะกอก เปลือกปาล์มน้ำมัน แกลบข้าว และกากกาแฟ (Ahmedna et al., 2000) เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Saygili et al., 2015) ถ่านชีวภาพได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เพราะมีพื้นที่ผิวและความพรุนตัวสูง (Porosity) ดูดซับได้ดีสามารถนำมาใช้ดูดซับปุ๋ยเพื่อให้เกิดอัตราการละลายที่ช้าลง และสามารถดูดซับน้ำที่เป็นประโยชน์แก่พืช (Eykelbosh et al., 2014; Ulyett et al., 2014; Yao et al., 2012) มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูง (Borchard et al., 2012; Liang et al., 2006; Morales et al., 2013; Zhao et al., 2014)

เปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากที่กลายเป็นขยะที่ส่งกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการจัดการคือการนำไปทิ้งให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค จะก่อให้เกิดก๊าซมีเทน หรือเผาทิ้งทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นสาเหตุที่สำคัญทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Ioannidou & Zabaniotou, 2007) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเผาแบบไพโรไลซิส เพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีความพรุนตัวและพื้นที่ผิวสูง แล้วจึงนำถ่านชีวภาพที่ได้จากเปลือกทุเรียนไปดูดซับกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ และทดสอบอัตราการดูดซับของฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพเพื่อพัฒนาให้เป็นวัสดุดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ในการเกษตรต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน
2. เพื่อศึกษาการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยนำเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำความสะอาดและหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปตากแดดให้แห้ง นำมาเผาแบบไพโรไลซิส จากนั้นนำถ่านชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของบริษัท Shimadzu corporation รุ่น 6000 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM-T330A ของบริษัท Jeol ที่เชื่อมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง (EDS) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) ของบริษัท Quantachrome รุ่น Autosorb iQ นำถ่านชีวภาพที่ได้จากเปลือกทุเรียนไปดูดซับกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ที่เวลา 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง แล้วนำถ่านมาทดสอบอัตราการดูดซับของฟอสฟอรัสด้วยการ

วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง (EDS) ดังขั้นตอนการวิจัยต่อไปนี้

1. เตรียมเปลือกทุเรียนและทำให้แห้ง โดยทำความสะอาดเปลือกทุเรียน หั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 5-10 เซนติเมตร แล้วนำไปตากแดดให้แห้งสนิท จนน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเตรียมเปลือกทุเรียนและทำให้แห้ง

2. นำเปลือกทุเรียนไปเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยนำเปลือกทุเรียนที่แห้งแล้วบรรจุในถังขนาด 20 ลิตร จนเต็มถัง ปิดฝาด้านบนล็อกให้แน่น ยานวดด้วยดินเหนียวตามรอยฝาถังที่ปิด แล้วนำไปใส่ในเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตร เเผาที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปิดปล่องควันและปิดหน้าเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตร ทิ้งไว้ 1 วัน ดังรูปที่ 3



(ก)



(ข)



(ง)

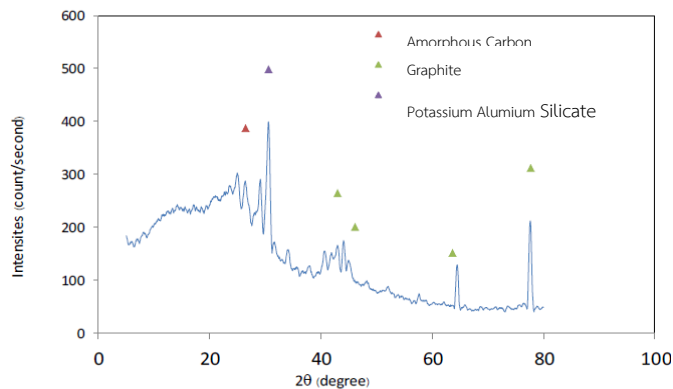
รูปที่ 3 การเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

(ก) เปลือกทุเรียนในถัง 20 ลิตร (ข) วัดอุณหภูมิในการเผา (ค) ถ่านที่ได้จากการเผา

3. นำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย (EDS) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) แล้วนำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนไปทดสอบการดูดซับฟอสฟอรัสที่เวลา 0.5 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 10 ชั่วโมงและ 20 ชั่วโมง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของสารที่ถูกดูดซับฟอสฟอรัสบนผิวของถ่านชีวภาพด้วย (EDS)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

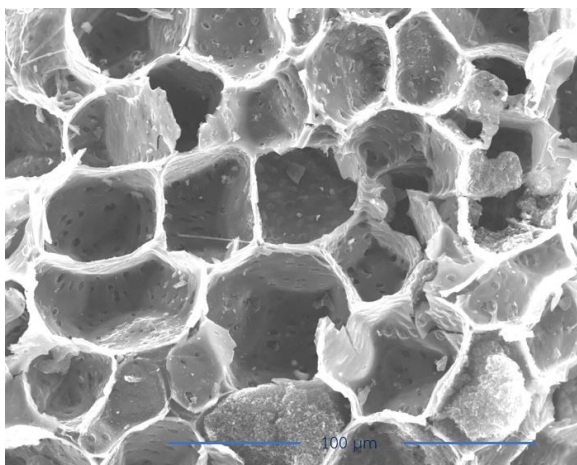


รูปที่ 4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย XRD

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย XRD มุมที่ทำให้การวัดเท่ากับ 2θ พบเฟส คาร์บอนอสัณฐานที่มุม 24° แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนยังไม่ได้เปลี่ยนเฟสกลายเป็นผลึก และพบแกรไฟต์ที่มุม 42° , 45° , 65° และมุม 78° นอกจากนั้นยังพบโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มุม 30° ซึ่งสอดคล้องกับ Kumar et al. (2015) ที่การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมส่วนใหญ่ที่มุม 24° และที่มุม 43° เป็นโครงสร้างของคาร์บอนอสัณฐาน จากรูปที่ 4 ยังพบลักษณะของพีคที่เกิดขึ้นมีฐานพีคกลางและยอดพีคไม่สูงแหลม ทำให้คาร์บอนมีการจัดเรียงตัวเป็น ออสัณฐานมีโครงสร้างเกาะกันไม่เป็นระเบียบ (aromatic

layer) (Ma & Ouyang, 2013) สามารถอธิบายได้ว่า ระหว่างการให้ความร้อนเกิดการจัดเรียงตัวของคาร์บอนเป็นชั้นระนาบของแกรไฟต์และในระหว่างการคาร์บอนไนซ์จะมีการกระจายตัวของโครงสร้างแกรไฟต์ (Li et al., 2007; Liou, 2010; Li et al., 2014) และสอดคล้องกับ Christina et al. (2012) การให้ความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้มีผลึกขนาดเล็กของแกรไฟต์มีความสมบูรณ์ขึ้นและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ผิวดังที่ศึกษาไว้

2. ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

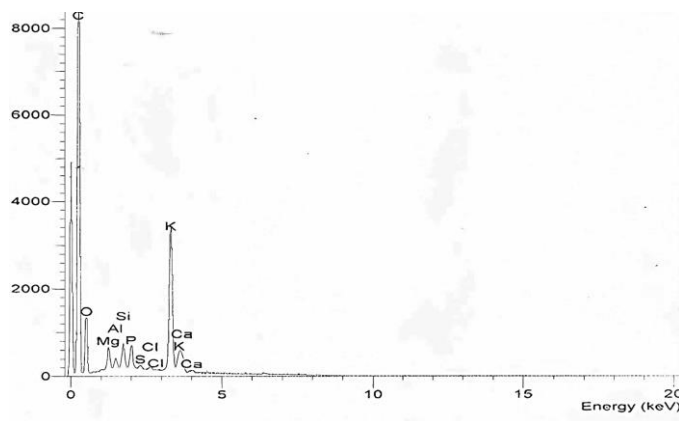


รูปที่ 5 ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าโครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 10-20 ไมโครเมตร และพบว่ามีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ในช่วง 5-10 ไมโครเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประไพพิศ ศรีมวณต์ และคณะ (2564) ที่ศึกษาถ่านชีวภาพจากไม้ประดู่ ซึ่งมีรูพรุนอยู่ในช่วง 0.4-15 ไมโครเมตร ซึ่งรูพรุนส่วนใหญ่จะเป็นรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) และรูพรุนขนาดใหญ่ (macropor) เช่นเดียวกับ รัตชล อ่างมณี และคณะ (2560) ได้ศึกษาถ่านไบโอชาร์จากเศษข้าวโพดจะมีลักษณะช่องว่างกึ่งกลมกึ่งรี ขนาดของช่องว่างไม่สม่ำเสมอ แต่มีความพรุนตัวสูง ขนาดของช่องว่างมีขนาด

ตั้งแต่ 20 ถึง 110 ไมโครเมตร Dhar et al., 2022 เช่นเดียวกับ กิตติชัย โสพันนา และ ธนากร อุทัยดา (2552); ภควดี สุขอนันต์ (2551) ที่ศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมใช้ในการเผาอยู่ที่ 350 – 700°C ที่ จากขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เตรียมได้ มีขนาดอยู่ในช่วง 10-20 ไมโครเมตร และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ในช่วง 5-10 ไมโครเมตร จะมีแนวโน้มที่ดีต่อการดูดซับฟอสฟอรัส

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย (EDS)



รูปที่ 6 องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย EDS

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย EDS

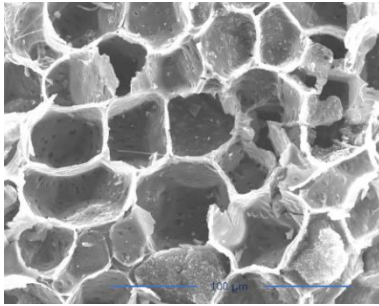
ธาตุ	ร้อยละโดยมวล
คาร์บอน (C)	51.96
ออกซิเจน (O)	28.07
แมกนีเซียม (Mg)	1.74
อะลูมิเนียม (Al)	0.87
ซิลิกอน (Si)	1.21
ฟอสฟอรัส (P)	1.64
ซัลเฟอร์ (S)	0.27
คลอรีน (Cl)	0.19
โพแทสเซียม (K)	12.58
แคลเซียม (Ca)	1.46
รวม = 100	

องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน โดย EDS พบว่า มีคาร์บอน ร้อยละ 51.96 เป็นธาตุหลัก รองลงมาคือ ออกซิเจน ร้อยละ 28.07 โฟสเฟอรัส ร้อยละ 12.58 แมกนีเซียม ร้อยละ 1.74 โพสฟอรัส ร้อยละ 1.64 แคลเซียม ร้อยละ 1.46 ซิลิกอน ร้อยละ 1.21 อะลูมิเนียม ร้อยละ 0.87 ซัลเฟอร์ ร้อยละ 0.27 และคลอรีน ร้อยละ 0.19 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 สอดคล้องกับ รัตถชล อ่างมณี และคณะ (2560) โดยถ่านชีวภาพควรมีคาร์บอน เป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 50 โดยอะตอม ขึ้นอยู่กับชีวมวลที่นำมาผลิต (Ahmedna et al., 2000)

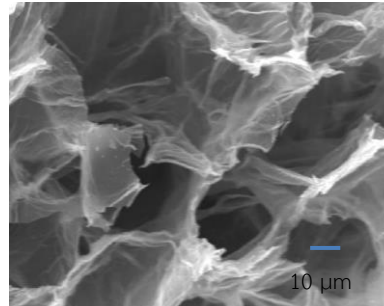
4. ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET)

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยก๊าซ Gas adsorption ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) 113 ตารางเมตรต่อกรัม ดังรูปที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับ ภควดี สุขอนันต์ (2551) ที่ศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ที่ 700 °C มีพื้นที่ผิวในช่วง 151 – 208 ตารางเมตร/กรัม เช่นเดียวกับ รัตถชล อ่างมณี และคณะ (2560) ที่ศึกษาสมบัติของชีวภาพจากเศษข้าวโพด พบว่า มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 93.36 ตารางเมตร/กรัม

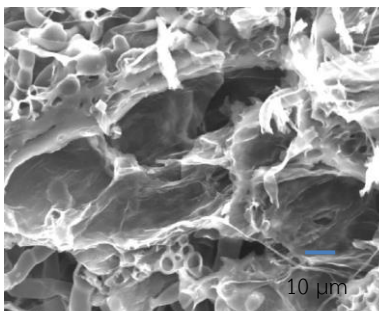
5. ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะเห็นว่าฟอสฟอรัส ถูกดูดซับด้วยผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ปริมาณมากขึ้นตามเวลา ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีรูพรุนอยู่ในช่วง 5-20 μm มีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ ทำให้รูพรุนของถ่านสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ เมื่อนำไปใช้ในการเกษตรจะทำให้ฟอสฟอรัสค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกจากรูพรุนของถ่าน จะหลงเหลือถ่านชีวภาพ



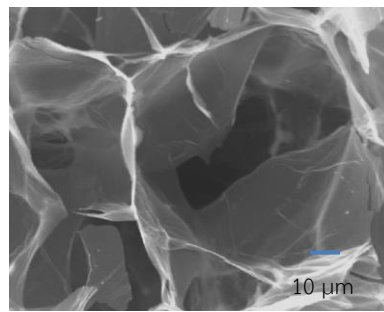
ก. ถ่านชีวภาพ 0 ชั่วโมง



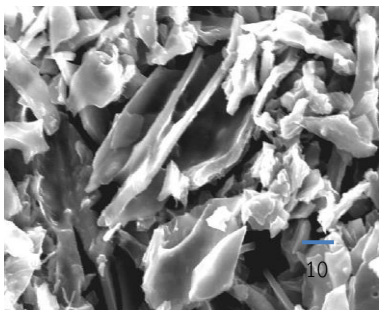
ข. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 0.5 ชั่วโมง



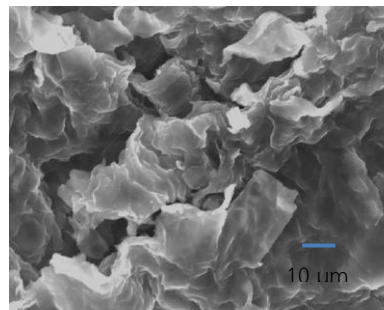
ค. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 1 ชั่วโมง



ง. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 5 ชั่วโมง



จ. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 10 ชั่วโมง



ฉ. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 20 ชั่วโมง

รูปที่ 7 ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง

ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการเกษตรจะทำให้ฟอสฟอรัสค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกจากรูพรุนของถ่าน จะหลงเหลือถ่านชีวภาพ ซึ่งถ่านยังมีพื้นที่ผิวมาก มีรูพรุน และมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช (พินิจภณ ปิตุยะ และ อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์, 2560; อโณทัย โกวิทย์วิวัฒน์ และคณะ, 2562; Sriburi & Wijitkosum, 2016; Wijitkosum & Sriburi, 2018; Yu

et al., 2019) ซึ่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนล้วนมีคุณสมบัติที่เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ทั้งการเพิ่มค่าการดูดซึมน้ำ การแลกเปลี่ยนประจุบวกเพื่อยึดธาตุอาหาร เพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดินโดยตรง ไรต์ทอล อ่างมณี และคณะ (2560) เช่นเดียวกับ (Zhang et al., 2010) ที่ใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงคุณภาพดินต่อคุณภาพดิน ผลผลิตข้าว และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในดินนาของประเทศจีน พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพช่วยให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ยังช่วยกักเก็บคาร์บอนรูปของแข็งลงในดินและลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกลงได้

6. ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง ด้วยการวิเคราะห์ห่อองค์ประกอบธาตุ (EDS)

ตารางที่ 2 ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ด้วยการวิเคราะห์ห่อองค์ประกอบธาตุ (EDS)

ธาตุ	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง) / ร้อยละโดยมวล					
	0	0.5	1	5	10	20
คาร์บอน (C)	51.96	72.78	73.63	65.40	63.99	65.73
ออกซิเจน (O)	28.07	18.94	13.94	25.56	25.14	20.07
แมกนีเซียม (Mg)	1.74	0.46	1.27	0.72	1.57	1.37
อะลูมิเนียม (Al)	0.87					
ซิลิกอน (Si)	1.21					
ฟอสฟอรัส (P)	1.64	2.77	4.99	6.14	6.40	7.60
ซัลเฟอร์ (S)	0.27	0.38		0.21	0.34	0.20
คลอรีน (Cl)	0.19		0.26	0.19	0.49	0.35
โพแทสเซียม (K)	12.58	4.66	5.16	1.63	1.50	3.96
แคลเซียม (Ca)	1.46			0.15	0.59	0.40

จากตารางที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 0-5 ชั่วโมงมีการดูดซับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คิดเป็นร้อยละ 4.50 แต่หลังจากช่วงเวลา 5-20 ชั่วโมงไปแล้ว พบว่า การดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีการดูดซับได้ช้าลง และมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คิดเป็นร้อยละ 1.46 เนื่องจากใกล้ถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 20 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีผลึกเกาะเป็นชั้นอย่างหนาแน่น (รูปที่ 7 ฉ.) โดยการดูดซับฟอสฟอรัสนั้น

สอดคล้องกับ รัตชล อ่างมณี และคณะ, (2560) ที่คุณสมบัติของถ่านชีวภาพมีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูง มีค่าความเป็นกรดต่างที่สูง (Borchard et al., 2012; Liang et al., 2006; Morales et al., 2013; Zhao et al., 2014) และฟอสฟอรัสอยู่ในรูปไอออนลบละลายน้ำได้ดีที่อยู่ในรูป H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} ค่าความเป็นกรด ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบ เกิดขึ้นได้มากขึ้น ดังรูปที่ 7 (ฉ) ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 20 ชั่วโมง และเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) บนผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น (นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์, 2550)

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส สรุปได้ดังนี้

1. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนอสัณฐาน พบแกรไฟต์ และโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตปริมาณเล็กน้อย
2. ขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนอยู่ในช่วง 10-20 μm และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ ซึ่งมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 5-10 μm
3. องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 51.96 เป็นธาตุหลัก รองลงมาได้แก่ ออกซิเจนร้อยละ 28.07 โพแทสเซียมร้อยละ 12.58 แมกนีเซียมร้อยละ 1.74 และฟอสฟอรัสร้อยละ 1.64
4. พื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน มีค่าเท่ากับ 113 ตารางเมตรต่อกรัม
5. การดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ที่ 20 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัสมากที่สุด ที่ร้อยละ 7.60

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย (วว.) ที่อนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ ดร.ชุมพล บุชบก ที่ให้คำปรึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2562). *แผนการใช้ที่ดินของประเทศไทย Land Use Plan of Thailand*. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กิตติชัย โสพันนา และ ธนากร อุทัยดา. (2552). การปรับปรุงสมบัติของตัวดูดซับโลหะหนัก ด้วยวัสดุในท้องถิ่น. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, 1(1), 181-196.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2550). *หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ น้ำทางเคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุญรักษ์ กาญจนวรรณชัย. (2560). *สารละลาย: แก๊สกลบ ของเหลือสารพัดประโยชน์*. สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2568, จาก <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/865>.
- ประไพพิศ ศรีมาวงศ์, นภัตสร ไนต์สิริ, ปราณี จอมอ่อน, จริญญาพรพรณ และ รัตนชาติ ช่วยบุตตา. (2564). ผลการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมน้ำ ในดินปลูกมันสำปะหลัง. (รายงานผลการวิจัย). สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- พินิจภณ ปิตุยะ และ อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์. (2560). การพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายในเขตเงาฝนด้วยถ่านชีวภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 12(3), 27-38.
- ภควดี สุขอนันต์. (2551). การศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, 7(2), 30-36.
- รัตชล อ่างมณี, กัญจน์นรี ช่างฉำ, และ อรรณพ หอมจันทร์. (2560). สมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพด และศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 12(1), 53-63.
- สุภาวดี หนูสิน. (2564). ผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมีทางการเกษตร. *วารสารบริหารการพัฒนา นวัตกรรมเชิงบูรณาการ*, 1(2), 34-43.
- องค์ความรู้ถ่านชีวภาพ. (2557). *ถ่านชีวภาพ*. เพชรบุรี: ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- อัญชลี นิลสุวรรณ และ ลดา มัทธุศ. (2562). ผลของวัสดุปลูกชนิดกลบที่ปรับปรุงการดูดซับไนเตรดด้วย สารลดแรงตึงผิวต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ. น. 1-9. ใน:

การประชุมวิชาการระดับชาติวลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 11, 27-28 มีนาคม 2562.
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, นครศรีธรรมราช.

อโณทัย โกวิทย์วิวัฒน์, พันธวัศ สัมพันธ์พานิช และ พินิจภณ ปิตุยะ. (2562). ไม่กระถิน
เหลือใช้...มวลชีวภาพสำหรับการฟื้นฟูดินปนเปื้อน. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 23(4), 1-9.

Ahmedna, M., Marshall, W. E., & Rao, R. M. (2000). Production of granular activated
carbon from select agricultural by product and evaluation of their
physical, chemical and adsorption properties. *Bioresource Technology*,
71, 113-123.

Borchard, N., Wolf, A., Laabs, V., Aeckersberg, R., Scherer, H. W., Moeller, A., &
Amelung, W. (2012). Physical activation of biochar and its meaning for
soil fertility and nutrient leaching - a greenhouse experiment. *Soil Use
and Management*, 28(2), 177-184.

Christina, C.S, Zaher, H., & Ania, C.U. "Preparation and characterization of activated
carbon from oil sands coke," *Fuel*, vol. 92, pp. 69-76, 2012.

Dhar, S. A., Sakib, T. U. & Hilary, L. N. (2022). Effects of pyrolysis temperature on
production and physicochemical characterization of biochar derived
from coconut fiber biomass through slow pyrolysis process. *Biomass
Conversion and Biorefinery*, 12, 2631-2647.

Eykelbosh, A. J., Johnson, M. S., de Queiroz, E. S., Dalmagro, H. J., & Couto, E. G.
(2014). biochar from sugarcane filtercake reduces soil CO₂ emissions
relative to raw residue and improves water retention and nutrient
availability in a highly-weathered tropical soil. *PLoS ONE*, 9(6). Doi.org/
10.1371/journal.pone.0098523.

Kumar, A., & Mohan Jena, H. (2015). High surface area microporous activated
carbons prepared from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by zinc chloride
activation. *Applied Surface Science*, 356, 753-761.

- Li, D., Tang, R., Tian, Y., Qiao, Y., & Li, J. (2014). Preparation of highly porous binderless active carbon monoliths from waste aspen sawdust. *BioResources*, 9(1), 1246-1254.
- Li, Z. Q., Lu, C. J., Xia, Z. P., Zhou, Y., & Luo, Z. (2007). X-ray diffraction patterns of graphite and turbostratic carbon. *Carbon*, 45, 1686-1695.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., & Neves, E. G. (2006). Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.
- Liou, T. H. (2010). Development of meso-porous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. *Chemical Engineering Journal*, 158, 129-142.
- Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agri-cultural residues as precursors for activated carbon production: A review. *Re-newable and Sustainable Energy Re-views*, 1, 1966-2005.
- Ma, X., & Ouyang, F. (2013). Adsorption properties of biomass-based activated carbon prepared with spent coffee grounds and pomelo skin by phosphoric acid activation. *Appl. Surf. Sci*, 268, 566-570.
- Morales, M. M., Comerford, N., Guerrini, I. A., Falcao, N. P. S., & Reeves, J. B. (2013). Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. *Soil Use and Management*, 29(3), 306-314.
- Sohi, S. (2009). *Biochar*. climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report.
- Saygili, H., Güzel, F., & Önal, Y. (2015). Con-version of grape industrial processing waste to activated carbon sorbent and its performance in cationic and anionic dyes adsorption, *Journal of Cleaner Production*, 93, 84-93.
- Sriburi, T. & Wijitkosum, S. (2016). Biochar amendment experiments in Thailand: practical examples. In V.J. Bruckman, E.A. Varol, B.B. Uzun, J. Liu (eds.).

Biochar a regional supply chain approach in view of climate change mitigation, 368-389.

- Ulyett, J., Sakrabani, R., Kibblewhite, M., & Hann, M. (2014). Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 96-104.
- Wijitkosum, S., & Sriburi, T. (2018). Increasing the Amount of Biomass in Field Crops for Carbon Sequestration and Plant Biomass Enhancement Using Biochar. In *Biochar - An Imperative Amendment for Soil and the Environment*. doi: 10.5772/intechopen.82090.
- Yao, Y., Gao, B., Chen, H., Jiang, L., Inyang, M., Zimmerman, A. R., & Li, H. (2012). Adsorption of sulfamethoxazole on biochar and its impact on reclaimed water irrigation. *Journal of Hazardous Materials*, 209–210, 408-413.
- Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X., & Gao, B. (2019). Biochar amendment improves crop production in problem soils: a review. *Journal of Environmental Management*, 232, 8-21.
- Zhang, H., Tang, Y., Cai, D., Liu, X., Wang, X., Han, X., & Yu, X. (2010). Hexavalent chromium removal from aqueous solution by algal bloom residue derived activated carbon: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials* 181, 801–808.
- Zhao, X.-r., Li, D., Kong, J., & Lin, Q.-m. (2014). Does Biochar Addition Influence the Change Points of Soil Phosphorus Leaching?. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3), 499-506.

ผลของระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED ที่มีต่อการเติบโตและสรีรวิทยา ของต้นกล้ายาง พันธุ์ RRIM 600

EFFECTS OF LED LIGHTING DURATION ON GROWTH AND PHYSIOLOGY OF RUBBER SEEDLINGS CLONE RRIM 600

สมศักดิ์ สัพโส*, จรรยา สิงห์คำ และ วานาลัย วิริยะสุธี

Somsak Subpaso*, Junya Singkham and Wanalai Viriyasuthee

แขนงวิชาการจัดการทรัพยากรเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Agricultural Resources Management, School of Agriculture and Cooperatives,

Sukhothai Thammathirat Open University

Received: 22 July 2025

Revised: 27 August 2025

Accepted: 27 August 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ผลของระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED ต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นกล้ายางพันธุ์ RRIM 600 และ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตกับสรีรวิทยาของต้นกล้ายาง การทดลองจัดแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ทรีตเมนต์ 3 ซ้ำ ได้แก่ แสงธรรมชาติ 12 ชั่วโมง (ไม่ให้แสงเสริม) และการให้แสง LED เสริมในตอนกลางคืน 4, 8 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง รวมถึงลักษณะทางสรีรวิทยา เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสังเคราะห์แสง การคายน้ำ และการนำไฟฟ้าของปากใบ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการถดถอยเชิงเส้น

ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการให้แสงเสริมมีผลต่อการเจริญเติบโตของกล้ายาง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยทรีตเมนต์ที่ให้แสงเสริม 12 ชั่วโมงมีค่าการเติบโตสูงสุด ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย 8.66 มม. ความสูงเฉลี่ย 100.43 ซม. และพื้นที่ใบเฉลี่ย 67.78

* Corresponding author: นายสมศักดิ์ สัพโส

E-mail: d25d27@gmail.com

ดร.ชม. ขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ การสังเคราะห์แสง และการคายน้ำไม่แตกต่างกันระหว่าง ทรีตเมนต์ อย่างไรก็ตาม การนำไฟฟ้าของปากใบมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การให้แสง LED เสริมในตอนกลางคืนสามารถเร่งการเจริญเติบโตของกล้ายางได้ โดยเฉพาะทรีตเมนต์ 4 ชั่วโมงซึ่งมีความเหมาะสมในด้านการประหยัดพลังงานและการส่งเสริมการเจริญเติบโต จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตต้นกล้ายางคุณภาพสูงเพื่อลดระยะเวลาเพาะเลี้ยงและสนับสนุนการปลูกเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: ต้นกล้ายาง, การขยายพันธุ์ยาง, การให้แสงหลอดไฟ LED, ยางพันธุ์ RRIM 600

Abstract

This research aimed to study 1) the effects of LED lighting duration on the growth and physiological characteristics of RRIM 600 rubber seedlings and 2) the relationship between growth and physiology. The experiment involved four treatments and three replications: 12 hours of natural light (no supplementary lighting) and supplementary LED lighting at night for 4, 8, and 12 hours, respectively. Data were collected on growth, including height, stem diameter, leaf number, leaf area, fresh and dry weight, as well as physiological traits such as chlorophyll content, photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance. Data were analyzed using analysis of variance, LSD, and linear regression analysis.

The results revealed that supplementary lighting duration significantly affected the growth of rubber seedlings ($p < 0.05$). The 12-hour supplementary lighting treatment had the highest growth values, with average stem diameter of 8.66 mm, height of 100.43 cm, and leaf area of 67.78 cm². Chlorophyll content, photosynthesis, and transpiration were also significantly lower. And transpiration was not different between treatments. However, stomatal conductance was significantly related to growth. The results showed that supplementary LED lighting at night could accelerate the growth of rubber seedlings, especially the 4-hour treatment, which was suitable in terms of

energy saving and growth promotion. Therefore, it is a potential approach for producing high-quality rubber seedlings to reduce the cultivation time and support commercial cultivation.

Keywords: Rubber seedlings, Rubber propagation LED, light bulbs, Clone RRIM 600

บทนำ

พันธุ์ยางที่นิยมปลูกมากในประเทศไทย คือ พันธุ์ยาง RRIM 600 ซึ่งเป็นการผสมพันธุ์ยางระหว่าง แม่xพ่อ (Tjir 1 x PB 86) เป็นพันธุ์ที่มีการปรับตัวได้ดีในทุกพื้นที่การเติบโต มีผลผลิตดี (สถาบันวิจัยยาง, 2559)

จากพื้นที่ปลูกยางพาราและพันธุ์ที่นิยมปลูก จะเห็นได้ว่า นิยมใช้พันธุ์ยาง RRIM 600 และการขยายพันธุ์ยางพาราส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการติดตา เนื่องจากสามารถรักษาลักษณะพันธุ์ดี และเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกระบวนการติดตาดังกล่าว จำเป็นต้องใช้ต้นกล้ายาง การขยายพันธุ์ส่วนใหญ่ นิยมใช้เมล็ดพันธุ์ยาง RRIM 600 เนื่องจากหาเมล็ดพันธุ์ได้ง่ายและเหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตต้นกล้ายางตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย ซึ่งรวมถึงการเพาะเมล็ดในแปลงเพาะกล้า การเลี้ยงในถุงเพาะชำ และการจัดการพื้นที่เพาะเลี้ยง ต้องใช้เวลานานและต้องการการดูแลอย่างต่อเนื่อง กระบวนการผลิตต้นกล้ายางให้เหมาะสมสำหรับการติดตาต้องการเวลาประมาณ 6-9 เดือน และต้องการการดูแลเพื่อให้ต้นกล้ามีลักษณะที่เหมาะสม เช่น เปลือกที่ลอกง่าย และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 0.9-1.2 เซนติเมตร (สถาบันวิจัยยาง, 2550) นอกจากนี้ หลังการติดตาแล้ว ยังต้องใช้เวลา 45-90 วันเพื่อให้ต้นกล้าที่ติดตาแล้วพร้อมสำหรับการปลูก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการวางแผนการปลูกและฤดูกาลเพาะปลูก

สำหรับปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ต้นกล้ายาง สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็ว คือ แสง โดยแสง ทำให้ต้นกล้ายางสามารถสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ได้มาก โดยแสงธรรมชาติที่พืชสามารถดูดกลืนเพื่อใช้ในการสร้างคาร์โบไฮเดรตมีสัดส่วนเพียงเล็กน้อย ดังนั้น การพัฒนาระบบการขยายพันธุ์ด้วยเทคโนโลยี เช่น การใช้แสงจากหลอดไฟ LED ที่สามารถกำหนดสีและความเข้มของแสงได้ (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี, 2560) ดังนั้นการใช้นวัตกรรมแสง LED สำหรับการเพาะเลี้ยงต้นกล้ายาง จะช่วยเพิ่มการเติบโตทางด้านลำต้น ลดระยะเวลา

ในการเพาะเลี้ยงและการขยายพันธุ์ จาก 9- 12 เดือน ลดลงเหลือเพียง 6-8 เดือน ทำให้เกษตรกรสามารถวางแผนการผลิตและการปลูกยางพาราได้ตามเป้าหมาย ลดต้นทุนในการดูแลรักษา และนำไปสู่การพัฒนากระบวนการผลิตยางพาราอย่างยั่งยืน ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED ที่มีต่อการเติบโตและสรีรวิทยาของต้นกล้ายางพันธุ์ RRIM 600 เพื่อเป็นแนวทาง สำหรับการเพาะกล้ายางและขยายพันธุ์ยาง นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดนวัตกรรมดังกล่าวในการขยายพันธุ์พืชชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ระเบียบการวิจัย ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design 4 ทรีตเมนต์ จำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้ต้นกล้ายาง พันธุ์ RRIM 600 เพื่อเปรียบเทียบการเติบโตต้นกล้ายาง โดยใช้หลอดไฟ LED Grow Light 200W ประเภทชิป LED SMD 2835 ความยาวคลื่นสเปกตรัม 447-660 nm PPFD/1 ฟุต $457 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ (นภัทร วัฒนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี, 2560) อัตราส่วน สีแดง : สีน้ำเงิน 1:1 โดยทรีตเมนต์ที่ 1 (T1) การได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมหลอดไฟ ทรีตเมนต์ที่ 2 (T2) การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางวัน 4 ชั่วโมง ทรีตเมนต์ที่ 3 (T3) การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางวัน 8 ชั่วโมง ทรีตเมนต์ที่ 4 (T4) การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางวัน 12 ชั่วโมง

2. การดำเนินการ ก่อนเริ่มต้นการทดลอง ทดสอบความเข้มแสงของหลอดไฟ LED ที่จะใช้เป็นแสงเสริม โดยใช้เครื่อง Quantum Light Meter วัดค่า PPFD ซึ่งเป็นตัวชี้วัดปริมาณแสงในช่วงความยาวคลื่นแสง โดยทำการวัดในช่วงเวลา 20.00–22.00 น. ค่าความเข้มแสงไม่น้อยกว่า $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ หลังจากที่ดินกล้ายางเจริญเติบโต และตั้งตัวได้ผ่าน 25–30 วัน ทุกทรีตเมนต์จะได้รับแสงธรรมชาติแบบเปิดโล่งเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน (06.00–18.00 น.) อย่างสม่ำเสมอ เป็นระยะเวลา 5 เดือน หลังเวลา 18.00 น. จะทำการปิดม่านบังแสงเพื่อควบคุมการรับแสงของต้นกล้า และเปิดม่านอีกครั้งในเวลา 06.00 น. ของวันถัดไป รวมระยะเวลาที่ควบคุมแสงทั้งหมด 12 ชั่วโมงต่อคืน ตามวิธีการดังนี้ ทรีตเมนต์ที่ 1 (T1) ได้รับเฉพาะแสงธรรมชาติในช่วง 06.00–18.00 น. รวมเวลา 12 ชั่วโมง ไม่มีการให้แสงเสริมจากหลอดไฟ LED ทรีตเมนต์ที่ 2 (T2) ได้รับแสงธรรมชาติ 12 ชั่วโมง และแสงเสริมจากหลอดไฟ LED 4 ชั่วโมง (18.00–00.00 น.) รวมเวลาได้รับแสงทั้งหมด 16 ชั่วโมง/วัน ทรีตเมนต์ที่ 3 (T3) ได้รับแสงธรรมชาติ 12 ชั่วโมง และแสงเสริมจากหลอดไฟ LED 8 ชั่วโมง (18.00–02.00 น.) รวมเวลา

ได้รับแสงทั้งหมด 20 ชั่วโมง/วัน ทรีตเมนต์ที่ 4 (T4) ได้รับแสงธรรมชาติ 12 ชั่วโมง และแสงเสริมจากหลอดไฟ LED 12 ชั่วโมงเต็ม (18.00–06.00 น.) รวมเวลาได้รับแสงทั้งหมด 24 ชั่วโมง/วัน

3. การปลูกและดูแลรักษา โดยการใช้ต้นกล้ายางที่มีใบ 2 ใบ อายุไม่เกิน 14 วัน ก่อนจะย้ายลงปลูกในถุงชำขนาด $4\frac{1}{2} \times 14$ นิ้ว ดินค่อนข้างเหนียว ขุดหลุมลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร นำถุงชำที่นำต้นกล้ายาง 2 ใบ วางเรียง 2×10 ถุง รวม 20 ถุงต่อแปลงย่อย แปลงย่อยมีขนาด 120×150 เซนติเมตร จำนวน 12 แปลงย่อย การดูแลรักษาให้น้ำ ใช้ระบบให้น้ำแบบมินิสปริงเกอร์อัตโนมัติ วันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น ครั้งละ 0.5 ชั่วโมง พร้อมทั้งใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ปริมาณ 5 กรัมต่อต้นต่อครั้ง เดือนละ 1 ครั้ง และกำจัดวัชพืชเป็นประจำทุกเดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2567 ถึงพฤษภาคม 2568 ภายในศูนย์วิจัยยางหนองคาย สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

4.1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน รวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทางการเกษตรของศูนย์วิจัยยางหนองคาย เป็นระยะเวลา 6 เดือน

4.2 ข้อมูลการเติบโตของต้นกล้ายาง

1) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.) ความสูงต้น (ซม.) และจำนวนใบ รวม 5 เดือน โดยวัดทุกต้นที่ระยะ 5 เซนติเมตร จากปากถุงชำ

2) วัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่อง LI-3100C จากใบกลางที่สมบูรณ์ในฉัตรที่ 2 ของหน่วย หัว กลาง และท้าย

3) วัดมวลรวมทั้งต้น (น้ำหนักสดและแห้ง) แยกเป็นส่วนของใบ ลำต้น และราก

4.3 ข้อมูลทางสรีรวิทยา

1) วัดอัตราการสังเคราะห์แสง ค่าการคายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าของปากใบ ด้วยเครื่อง LI-6400

2) วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบโดยใช้เครื่อง SPAD-502 Plus

5. การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธี ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ ด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) โดยใช้โปรแกรม Statistix 10.0 พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยากับการเจริญเติบโตด้วยวิธี Linear Regression Analysis

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED ต่อการเติบโตของต้นกล้วยพันธุ์ RRIM 600

1.1 การเติบโตของต้นกล้วยพันธุ์ RRIM 600 โดยการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) ให้ผลการเติบโตดีที่สุด โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นเฉลี่ย 8.66 มิลลิเมตร และความสูง เฉลี่ย 100.43 เซนติเมตร ขณะที่การได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น น้อยที่สุด เฉลี่ย 7.12 มิลลิเมตร และความสูง เฉลี่ย 72.25 เซนติเมตร โดยมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง ทรีตเมนต์ที่ 1 กับทรีตเมนต์ที่ 2, 3 และทรีตเมนต์ที่ 4 (ตารางที่ 1,2) ในส่วนของพื้นที่ใบเฉลี่ยสูงสุด คือ การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) เท่ากับ 67.78 ตารางเซนติเมตร มากที่สุดและแตกต่างจาก ทรีตเมนต์ที่ 1 (49.12) และ ทรีตเมนต์ที่ 2 (52.23) ทรีตเมนต์ที่ 3 (57.19) ไม่แตกต่างจาก ทรีตเมนต์ที่ 4 แต่สูงกว่า ทรีตเมนต์ที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3) และจำนวนใบรวม ของการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) มีจำนวนใบมากที่สุด เท่ากับ 689 ใบ ส่วนจำนวนใบ ของการให้แสงหลอดไฟ LED สีแดง และน้ำเงิน เสริมในตอนกลางคืน 8 ชั่วโมง (T3) มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 578 ใบ ซึ่งพื้นที่ใบ จำนวนใบ ทุกทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้วยพันธุ์ RRIM 600 เมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่แตกต่างกัน

Treatment/เดือน	เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้วย (มิลลิเมตร)				
	มค.67	กพ.67	มีค.67	เมย.67	พค.67
T1	3.15	3.76ab	4.44	5.54b	7.12b
T2	3.07	3.59b	4.56	6.13a	8.21a
T3	2.84	3.68b	4.73	6.34a	8.38a
T4	3.07	3.92a	4.79	6.35a	8.66a
SD	0.12	0.11	0.13	0.23	0.46
F-test	ns	*	ns	*	*
CV(%)	4.94	3.26	3.46	4.58	6.98

ตารางที่ 2 การเติบโตของความสูงของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 เมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่แตกต่างกัน

Treatment/เดือน	ความสูงของต้นกล้วย (เซนติเมตร)				
	มค.67	กพ.67	มีค.67	เมย.67	พค.67
T1	33.30	37.30	42.22	56.85c	72.25b
T2	29.80	35.52	48.79	63.13bc	93.24a
T3	30.30	39.90	40.45	71.91ab	99.72a
T4	30.37	41.91	50.71	76.90a	100.43a
SD	2.49	2.28	8.33	5.64	7.85
F-test	ns	ns	ns	*	*
CV(%)	9.87	7.18	22.39	10.28	10.51

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (non-significant) LSD

* = แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (significant difference) LSD

ตารางที่ 3 พื้นที่ใบเฉลี่ย ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 เมื่อได้รับแสง จากหลอดไฟ LED ที่แตกต่างกัน

Treatment/เดือน	พื้นที่ใบเฉลี่ย (ตารางเซนติเมตร)				
	มค.67	กพ.67	มีค.67	เมย.67	พค.67
T1	11.33	18.43	27.40c	41.86	49.12b
T2	12.45	18.41	26.75c	44.62	52.23b
T3	14.58	21.35	30.60b	48.95	57.19ab
T4	18.58	24.96	36.90a	58.19	67.78a
SD	2.82	4.22	1.23	5.73	5.18
F-test	ns	ns	*	ns	*
CV(%)	24.28	24.84	4.96	14.49	11.21

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (non-significant) LSD

* = แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (significant difference) LSD

ตารางที่ 4 จำนวนใบรวมเฉลี่ย ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 เมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่แตกต่างกัน

Treatment/เดือน	จำนวนใบรวม (ใบ)				
	มค.67	กพ.67	มีค.67	เมย.67	พค.67
T1	171	153	369	455	636
T2	165	216	417	489	637
T3	161	192	349	409	578
T4	176	248	416	503	689
SD	27.46	34.23	67.62	78.21	135.43
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	19.96	20.69	21.33	20.62	25.71

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (non-significant) LSD

* = แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (significant difference) LSD

1.2 น้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 8 ชั่วโมง (T3) มีน้ำหนักสด ของ ราก ลำต้น ใบ และ น้ำหนักรวมมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 149 กรัม ต่อต้น การได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) มีน้ำหนักสด ของ ราก ลำต้น ใบ และน้ำหนักรวมน้อยที่สุด เท่ากับ 79.85 กรัม ต่อต้น ในทุกหริตเมนต์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 5) ในส่วนของน้ำหนักแห้ง โดยการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 8 ชั่วโมง (T3) มีน้ำหนักแห้ง ของ ราก ลำต้น ใบ มากที่สุดรวมเฉลี่ย เท่ากับ 42.88 กรัม ต่อต้น และการได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) มีน้ำหนักแห้ง ของ ราก ลำต้น ใบ รวมเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 28.59 กรัม ต่อต้น ทุกหริตเมนต์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 น้ำหนักสดต่อต้น ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 เมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่แตกต่างกัน ในเดือน พฤษภาคม 2567

Treatment	น้ำหนักสด(กรัม)			รวม	เปรียบเทียบ (ร้อยละ)
	ราก	ลำต้น	ก้านใบและใบ		
T1	26.67	30.46	22.72	79.85	100.00
T2	34.73	46.27	26.41	107.41	134.51
T3	39.33	46.42	33.10	118.85	148.84
T4	32.78	45.96	29.73	108.47	135.84
SD	6.13	12.2	8.18	24.84	
F-test	ns	ns	ns	ns	
CV(%)	22.65	35.33	35.35	29.42	

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (non-significant) LSD

* = แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (significant difference) LSD

ตารางที่ 6 น้ำหนักแห้งต่อต้น ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 เมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟ LED แตกต่างกันในเดือน พฤษภาคม 2567

Treatment	น้ำหนักแห้ง(กรัม)			รวม	เปรียบเทียบ (ร้อยละ)
	ราก	ลำต้น	ก้านใบและใบ		
T1	9.30	11.61	7.68	28.59	100.00
T2	12.85	18.27	9.17	40.29	140.92
T3	13.65	17.86	11.37	42.88	149.98
T4	11.90	17.61	10.51	40.02	139.98
SD	2.65	4.71	2.82	9.72	
F-test	ns	ns	ns	ns	
CV(%)	27.24	35.28	35.73	31.37	

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (non-significant) LSD

* = แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (significant difference) LSD

ความสำคัญของระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมในการส่งเสริมการเติบโตของต้นกล้วย พบว่า การให้แสงจากหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 8 ชั่วโมง (T3) มีผลต่อการพัฒนา

ของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในระดับที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่น ๆ แต่การให้แสงจากหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) ส่งผลให้ต้นกล้ามีการเติบโตของลำต้นและความสูงที่ดีที่สุด สอดคล้องกับ (Cheng, X. et al., 2021) ที่พบว่า การเสริมไฟ LED สีแดง-น้ำเงิน ตอนกลางคืน (12 ชม.) ในมณฑลไหหลำ ประเทศจีน ดันยางพารา พันธุ์ CATAS 7-20-59 เติบโตดีขึ้น โดยใช้ค่าแสง PPFD $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ เป็นเวลา 5 เดือน พบว่าต้นยางเมื่อได้รับแสงเสริม มีความสูงเพิ่มขึ้น 41% และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 36% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แสดงให้เห็นว่าแสงเสริมตอนกลางคืน ช่วยกระตุ้นการเติบโตของต้นยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตาม (สมศักดิ์ สัพโส, ม.ม.ป.) พบว่าต้นกล้ายางติดตา (ยางชำถุง) มีความสูง และการแตกยอด มากกว่าการไม่ได้รับแสงเพิ่ม และการให้แสงจากหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 8 ชั่วโมง (T3) มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด สอดคล้องกับ (Fan et al., 2013) ศึกษาพบว่า ความเข้มแสง มีผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ที่ความเข้มแสง $300\text{-}450 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ และมีขนาดความหนาของใบสูงที่สุด นอกจากนี้ การให้แสงธรรมชาติมีการเติบโตทางลำต้นและความสูงน้อยที่สุด ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) 8 ชั่วโมง (T3) และ 12 ชั่วโมง (T4) โดยรวมแล้วการเติบโตของต้นกล้ายางไม่แตกต่างกัน แต่ระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) มีระยะเวลาการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด อาจทำให้ลดต้นทุนในการผลิตต้นกล้ายาง และเหมาะสมต่อการผลิตต้นกล้ายางพารา ในด้านผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจ

2. ผลของระยะเวลาการให้แสงจากหลอดไฟ LED ต่อสรีรวิทยาของต้นกล้ายาง

พันธุ์ RRIM 600 พบว่า การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) มีค่าการสังเคราะห์แสง เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $5.091 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ และการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) มีค่าการสังเคราะห์แสงน้อยที่สุด เท่ากับ $4.335 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD) จากการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 53.73 และการได้รับแสงปกติไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้อยที่สุด เฉลี่ย เท่ากับ 50.51 อัตราการคายน้ำ พบว่า การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) มีอัตราการคายน้ำ เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $4.399 \text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ และการให้แสงหลอดไฟ LED สี เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) มีอัตราการคายน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ $3.456 \text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ และการนำไฟฟ้าของปากใบ พบว่า การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง

(T2) การนำไฟฟ้าของปากใบ เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $3.964 \text{ mmol/m}^2/\text{s}^1$ และการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 8 ชั่วโมง (T3) การนำไฟฟ้าของปากใบน้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ $3.160 \text{ mmol/m}^2/\text{s}^1$ และแต่ละทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 การสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ และการนำไฟฟ้าของปากใบ ของต้นกล้วยพันธุ์ RRIM 600 เมื่อได้รับแสงจากหลอดไฟ LED แตกต่างกัน เฉลี่ย 5 เดือน (มกราคม 2567 - พฤษภาคม 2567)

Treatment	คลอโรฟิลล์ (SPAD)	การสังเคราะห์แสง (A) ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}^1$)	อัตราการคายน้ำ (E) ($\text{mmol/m}^2/\text{s}^1$)	การนำไฟฟ้าของปากใบ (Gs) ($\text{mmol/m}^2/\text{s}^1$)
T1	50.51	4.918	3.756	3.797
T2	53.24	5.091	4.399	3.964
T3	52.85	4.671	3.390	3.160
T4	53.73	4.335	3.345	3.657
SD	5.37	0.907	0.735	0.629
F-test	ns	ns	ns	ns
CV(%)	11.06	9.87	12.83	14.39

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (non-significant) LSD

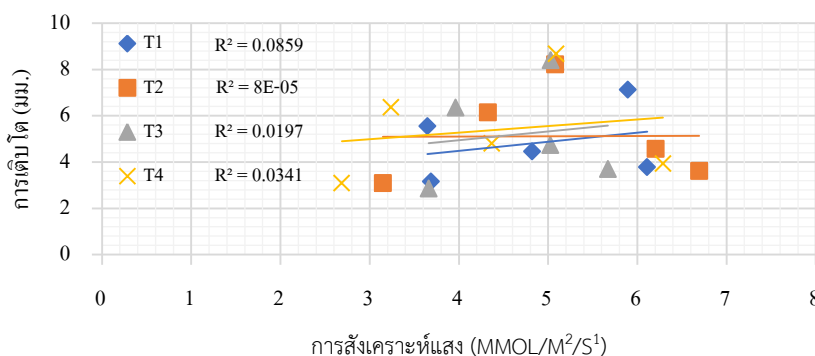
* = แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (significant difference) LSD

การได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) ช่วยให้อัตราการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในระดับ $4.918 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}^1$ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะตามธรรมชาติของพืชที่มีการปรับตัวให้เหมาะสมกับแสงธรรมชาติ แต่การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) มีอัตราการสังเคราะห์สูงสุดเท่ากับ $5.091 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}^1$ และ 8 ชั่วโมง (T3) และ 12 ชั่วโมง (T4) ตามลำดับ ทุกทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Yaol et al. (2021) พบว่า พารามิเตอร์การสังเคราะห์แสงไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และธาตุอาหารในใบพืช เมื่อได้รับแสงเสริมในเวลากลางคืน และกลุ่มควบคุม ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น บ่งชี้ว่าการให้แสงเสริมหลอดไฟ LED ส่งผลดี

ต่อการผลิตคลอโรฟิลล์และการพัฒนารูปร่างของต้นกล้าได้ดี โดยเฉพาะ ระยะเวลาการให้แสง LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การนำไฟฟ้าของปากใบ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ซึ่งอาจเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด ในการส่งเสริมการเติบโตต่อสรีรวิทยาของต้นกล้า

3. ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตต่อสรีรวิทยาของต้นกล้าอย่าง พันธุ์ RRIM 600

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตกับการสังเคราะห์แสง ของต้นกล้าอย่าง พันธุ์ RRIM 600 พบว่า ความสัมพันธ์กันระหว่างการเติบโตกับการสังเคราะห์แสง ในทุกทรีตเมนต์ ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยการได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) มีค่ามากที่สุดที่ค่า $R^2=0.085$ และการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) มีค่าน้อยที่สุดที่ค่า $R^2=8E-05$ (ภาพที่ 8)



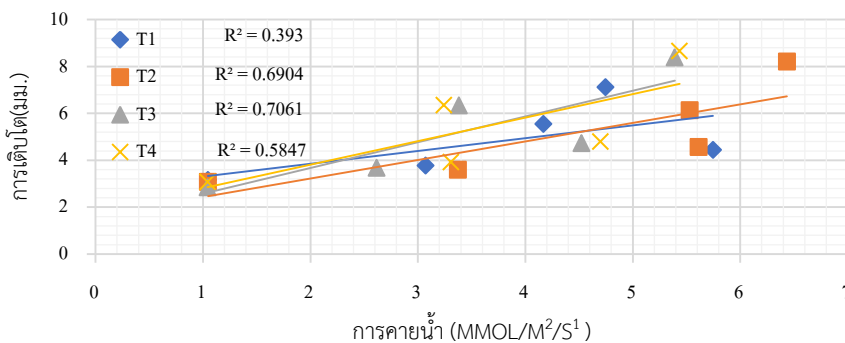
ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตกับการสังเคราะห์แสง ของต้นกล้าอย่าง พันธุ์ RRIM 600 ที่ได้รับแสงปกติและการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน ที่แตกต่างกัน

3.2 ความสัมพันธ์ของการเติบโตกับคลอโรฟิลล์ (SPAD) ของต้นกล้าอย่าง พันธุ์ RRIM 600 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตกับปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD) ในทุกทรีตเมนต์ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) มีค่ามากที่สุดที่ $R^2=0.621$ และการได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) มีค่าน้อยที่สุดที่ $R^2=0.430$ (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเจริญเติบโตกับคลอโรฟิลล์ (SPAD) ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 ที่ได้รับแสงปกติและการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน ที่แตกต่างกัน

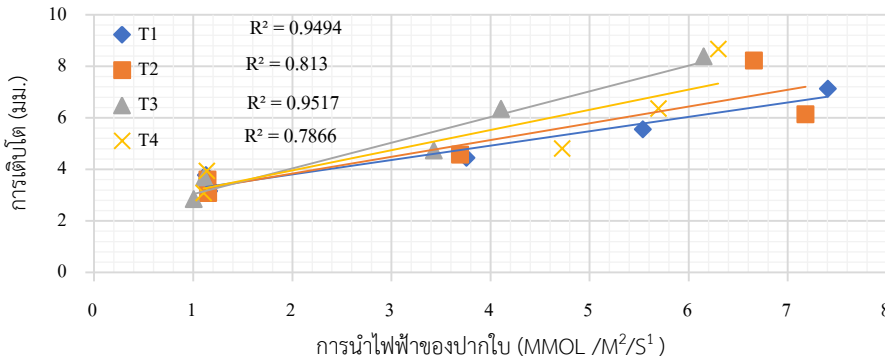
3.3 ความสัมพันธ์ของการเติบโตกับอัตราการคายน้ำ ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตกับอัตราการคายน้ำ ในทุกหริตเมนต์ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 8 ชั่วโมง (T3) ค่ามากที่สุดที่ $R^2=0.706$ และการได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) มีค่าน้อยสุดที่ $R^2=0.393$ (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเจริญเติบโตกับอัตราการคายน้ำ ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 ที่ได้รับแสงปกติและการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน ที่แตกต่างกัน

3.4 ความสัมพันธ์ของการเติบโตกับการนำไฟฟ้าของปากใบ ของต้นกล้วย พันธ์ RRIM 600 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตกับการนำไฟฟ้าของปากใบ ในทุก

รีตเมนต์มีความสัมพันธ์ทางสถิติที่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) ค่ามากที่สุดที่ $R^2=0.947$ และการได้รับแสงปกติ และไม่ให้แสงเสริมในตอนกลางคืน (T1) มีค่าน้อยสุดที่ $R^2=0.803$ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเจริญเติบโตกับการนำไฟฟ้าของปากใบ ของต้นกล้วยพันธุ์ RRIM 600 ที่ได้รับแสงปกติและการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืนที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตกับสรีรวิทยาของต้นกล้วยพันธุ์ RRIM 600 จากการได้รับแสงปกติและแสงเสริมจากหลอดไฟ LED แม้พบว่าแสงเสริมจากหลอดไฟจะมีผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยา เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง และอัตราการคายน้ำ แต่กลับ ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเติบโตของต้นกล้วย จากการวิเคราะห์แบบ Linear Regression Analysis ซึ่งไม่สามารถบอกถึงการเติบโตได้แน่ชัด สอดคล้องกับ ชูติมา ยานสาร และคณะ (ม.ม.ป.) ที่พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบต่อผลผลิต มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงเชิงบวก และความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับผลผลิต ก็มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงเชิงบวกเช่นกัน แต่ความหนาแน่นคลอโรฟิลล์กับผลผลิตไม่มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง อาจเกิดจากปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเติบโต เช่น ปริมาณสารอาหาร น้ำ และสภาพแวดล้อมทางดิน ที่อาจเป็นตัวจำกัดหลัก ขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้แสงเสริม โดยเฉพาะการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 12 ชั่วโมง (T4) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการได้รับแสงเพิ่มเติม ช่วยกระตุ้นการสร้างคลอโรฟิลล์ให้มากขึ้น แต่ไม่ได้แปลว่าการเติบโตจะเพิ่มขึ้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญ เช่น การนำไฟฟ้าของปากใบ ซึ่งสัมพันธ์กันกับการเติบโต โดยการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมใน

ตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) มีค่าความสัมพันธ์สูงสุด ($R^2=0.947$) อาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในกรณีที่ต้องการเพิ่มคุณภาพสรีรวิทยาของการเติบโต ที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการพัฒนาของลำต้น ใบ และลักษณะทางสรีรวิทยาได้ดี เหมาะสมต่อการเพาะปลูก ได้ตามมาตรฐาน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.9 -1.5 เซนติเมตร ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร มีการเติบโตที่สมบูรณ์ มีลำต้นตรง รากไม่คดงอ ปลอดภัยจากโรคยาง ทั้งใบ ลำต้น ตามเป้าหมาย การเพาะปลูก สามารถนำมาใช้ทดแทนแสงธรรมชาติได้ในการเพาะต้นกล้ายาง เพื่อติดตามให้ทันต่อฤดูกาลเพาะปลูก และจำหน่ายเป็นต้นต่อตาข่ายเพื่อการค้า

สรุปผลการวิจัย

การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้ายาง ทั้งขนาดลำต้น ความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และยังชี้ให้เห็นว่า การให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) 8 ชั่วโมง (T3) และ 12 ชั่วโมง (T4) มีแนวโน้มในการกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ และการนำไฟฟ้าของปากใบ ซึ่งเป็นตัวชี้วัด ด้านสรีรวิทยา แม้ว่าในภาพรวมค่าทางสถิติจะไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทรีตเมนต์ แต่ค่าการตอบสนองของต้นกล้ายางใน (T2) โดยเฉพาะ การนำไฟฟ้าของปากใบกับการเติบโต ที่ค่า R^2 สูงถึง 0.947 สะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสรีรวิทยาต่อการเจริญเติบโต ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการเพาะต้นกล้ายางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการให้แสงหลอดไฟ LED เสริมในตอนกลางคืน 4 ชั่วโมง (T2) ซึ่งให้ผลดีทั้งในเชิงการประหยัดพลังงานและการส่งเสริมลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญ จึงสามารถเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงในการเพาะต้นกล้ายาง ให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานการค้า โดยเฉพาะในช่วงที่แสงธรรมชาติมีไม่เพียงพอหรือไม่สอดคล้องกับฤดูกาล การเพาะปลูก ช่วยให้สามารถผลิตต้นกล้ายาง เพื่อการติดตามและจำหน่ายได้อย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนวิจัย จากการยางแห่งประเทศไทย ด้วยความกรุณาและการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา สิงห์คำ และอาจารย์ ดร.วนาลัย วิริยะสุธี รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร.สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา ที่ให้คำแนะนำอย่างต่อเนื่อง

เพื่อให้งานมีความสมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ศูนย์วิจัยยางหนองคาย และนักศึกษาฝึกงานจากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลและการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณครอบครัว ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนในทุกด้าน จนงานสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชุติมา ยานสาร, ภัคจิ คงศีล, สิริินทร์ ชุ่มอินทรจักร, ขวัญชนก คลายจากทุกข์, วิมลศิริ สีหะวงษ์ และ ปิยะ กิตติภาดากุล. (ม.ป.ป.). *KU สร้างสรรค์งานวิจัยและพัฒนามั่นสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง* (พ.ศ. 2522-2559). 2.16) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และพื้นที่ใบมันสำปะหลังกับผลผลิตหัวสดมันสำปะหลัง. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นภัทร วัจนเทพินทร์ และ ไชยยันต์ บุญมี. (2560). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช?. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(1), 158-176.
- สถาบันวิจัยยาง (2559). *คำแนะนำพันธุ์ยาง ปี 2559*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นิเวศมรรดาการพิมพ์ (ประเทศไทย).
- สถาบันวิจัยยาง. (2550). *การผลิตต้นกล้ายางชำถุง โดยการติดตา*. กรุงเทพฯ: นิเวศมรรดาการพิมพ์ (ประเทศไทย).
- สมศักดิ์ สัพโส. (ม.ป.ป.). *การใช้หลอดไฟ (LED) ผลิตต้นกล้ายางพารา*. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2567, จาก www.raot.co.th/article_attach/1.pdf.
- Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. w., & 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.
- Yaol, X. C., Tul, H. Q., Wangl, X. L., Wangl, J. (2021). The efect of supplemental LED night lighting on the growth and physiology of the Para rubber tree. *Journal of Rubber Research*, 24, 321-326

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเลสูตรลดน้ำตาล DEVELOPMENT OF REDUCED SUGAR SEA LETTUCE (*ULVA RIGIDA*) GUMMY JELLY

กุลพร พุทธิมี* และ วริศชนม์ นิลนนท์

Kunlaporn Puttame* and Waritchon Ninlanon

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Food Science and Technology Program, Faculty of Agricultural Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University

Received: 20 June 2025

Revised: 27 August 2025

Accepted: 27 August 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายผักกาดทะเลที่เหมาะสมในการผลิตกัมมี่เยลลี่ และปริมาณไอโซมอลทูลอสที่เหมาะสมในการผลิตกัมมี่เยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเลสูตรลดน้ำตาล โดยใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5 15 และ 25 พบว่า ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเลที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายร้อยละ 5 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบมากที่สุด โดยได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลาง มีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 32.00 0.43 และ 5.33 ตามลำดับ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 66.0° Brix และค่า a_w เท่ากับ 0.86 เมื่อนำกัมมี่เยลลี่ที่มีความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายร้อยละ 5 มาศึกษาการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยสารให้ความหวานไอโซมอลทูลอส ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 15 และ 25 พบว่า สามารถทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูลอสในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ได้ในระดับร้อยละ 15 โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุกด้าน ได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ความยืดหยุ่น ความยากง่ายในการเคี้ยว และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (น้ำตาลทรายร้อยละ 100) ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเลที่ทดแทนน้ำตาล

* Corresponding author: กุลพร พุทธิมี

E-mail: kunlaporn.p@rbru.ac.th

ทรายด้วยไอโซมอลทูโลสร้อยละ 15 มีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 26.97, 1.17 และ 10.60 ตามลำดับ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 67.0° Brix ค่าปริมาณความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 10.14 และค่า a_w เท่ากับ 0.85 ปริมาณพลังงานทั้งหมด เท่ากับ 2.81 kCal/g ค่าเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อใช้ไอโซมอลทูโลสในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลทำให้ ค่า Hardness, Chewiness และ Gumminess ลดลง ทำให้กัมมีเยลลีมีความนุ่มและเคี้ยวง่ายขึ้น

คำสำคัญ: กัมมีเยลลี, สาหร่ายผักกาดทะเล, ไอโซมอลทูโลส

Abstract

This research aimed to determine the optimal concentration of sea lettuce (*Ulva rigida*) extract for gummy jelly production and the appropriate amount of isomaltulose for producing reduced-sugar sea lettuce gummy jelly. Three different sea lettuce extract concentrations (5%, 15%, and 25%) were investigated. The findings revealed that the gummy jelly product with a 5% sea lettuce extract concentration was the most suitable. It received the highest sensory acceptance scores from panelists. This formulation achieved a moderate liking score for color, odor, flavor, and overall acceptance. The color values were $L^* = 32.00$, $a^* = 0.43$, and $b^* = 5.33$, with a total soluble solids content was 66.0° Brix and the water activity (a_w) was 0.86. When the gummy jelly with 5% sea lettuce extract concentration was studied for the replacement of sucrose with isomaltulose at three different levels (0%, 15%, and 25%), it was found that sucrose could be replaced with isomaltulose in gummy jelly products at 15%. Sensory evaluation by panelists indicated no significant differences in all attributes, including color, odor, flavor, elasticity, chewiness, and overall acceptance, compared to the control formulation (100% sucrose). The gummy jelly product with 15% isomaltulose substitution had color values of $L^* = 26.97$, $a^* = 1.17$, and $b^* = 10.60$. The total soluble solids content was 67.0° Brix, the moisture content was 10.14%, and the water activity (a_w) was 0.85. The total

energy content was 2.81 kCal/g. Texture values showed that when using a higher amount of isomaltulose, the hardness, chewiness and gumminess values decreased, making the gummy jelly softer and easier to chew.

Keywords: Gummy Jelly, Sea Lettuce, Isomaltulose

บทนำ

สาหร่ายผักกาดทะเล (Sea Lettuce) เป็นสาหร่ายทะเลที่มีสีเขียวชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการรายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีว่ามีโปรตีนและใยอาหารสูง แต่มีไขมันและพลังงานต่ำ โดยสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 23 ไขมันร้อยละ 2.76 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 25.35 ใยอาหารร้อยละ 9.79 (น้ำหนักแห้ง) และพลังงาน 218.2 กิโลแคลอรี/100 กรัม โดยเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุหลายชนิดโดยเฉพาะแร่ธาตุดังนี้ แคลเซียม 388.88 มิลลิกรัม/100 กรัม และไอโอดีน 22.7 มิลลิกรัม/100 กรัม และยังมีวิตามินชนิดต่าง ๆ เช่น วิตามินบี และวิตามินซี เป็นต้น (สุวรรณา วรสิทธิ์ และคณะ, 2552) จุดเด่นที่สำคัญอีกประการหนึ่งของสาหร่ายผักกาดทะเลคือเป็นสาหร่ายทะเลที่ไม่มีกลิ่นคาว จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้หลายหลายรูปแบบทั้งของคาวและของหวาน (วิชมณี ยืนยง พุทธกาล และคณะ, 2558) ปัจจุบันศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดจันทบุรี ได้ส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลเพื่อจำหน่ายในทั้งในรูปของสาหร่ายสด และส่งเสริมให้กลุ่มหอยนางรมครบวงจรคุ้งกระเบนทำการแปรรูปสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น ข้าวเกรียบ บะหมี่ไข่ อบแห้ง น้ำพริกเผา หมี่กรอบทรงเครื่อง เป็นต้น

จากการที่ผู้วิจัยได้ร่วมปรึกษาถึงปัญหาของกลุ่มหอยนางรมครบวงจรคุ้งกระเบน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดจันทบุรี พบว่า ทางกลุ่มฯ มีความต้องการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเล เพื่อเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสนใจด้านสุขภาพ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของสยามรัฐออนไลน์ (2566) ที่เสนอผลสำรวจจากบริษัท Intage inc. ซึ่งเป็นบริษัทสำรวจตลาด ได้ทำการติดตามกลุ่มผู้บริโภคหญิงและชายจำนวน 50,000 คน พบว่า มีความต้องการบริโภคขนมเยลลี่เจลาตินเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่ปี 2563 ที่เกิดสถานการณ์โควิด-19 ที่คนอยู่บ้านทำให้มีความ

ต้องการขนมเหล่านี้เพิ่มขึ้น โดยสถิติปี 2565 ยอดซื้อขนมเยลลี่เจลาตินเพิ่มขึ้นร้อยละ 91 เมื่อเทียบกับปี 2556 ขนมบิสกิต ช็อกโกแลต และขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-30 ขนมลูกอมอัดเม็ดเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ทั่วไปมีการใช้ปริมาณน้ำตาลค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำตาลสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานและศึกษาการใช้ไอโซมอลทูลอสซึ่งเป็นสารให้ความหวานที่ผลิตจากน้ำตาลอ้อย ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปทางชีวภาพ (Bio-process) มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ (GI=38) ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ดูดซึมช้าทำให้อิ่มนาน และไม่ทำให้ฟันผุ (สถาบันอาหาร, 2561) ในผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผู้ป่วยที่ตกเกรดไม่สามารถจำหน่ายในรูปแบบสหารายสดได้ และยังเป็น การเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ของทางกลุ่มอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

ส่วนที่ 1 ศึกษาปริมาณสหารายผักกาดทะเลที่เหมาะสมในการผลิตกัมมีเยลลี่

1. การเตรียมสหารายผักกาดทะเล

นำสหารายผักกาดทะเลอบแห้งมาแช่น้ำสะอาด เป็นเวลา 5-10 นาที เพื่อให้สหารายคืนตัว พักให้สะเด็ดน้ำบนกระชอนเป็นเวลา 5 นาที เตรียมสหารายผักกาดทะเล ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 15 และ 25 โดยชั่งน้ำหนักสหารายและน้ำ แล้วทำการปั่นผสมโดยใช้เครื่องปั่นอาหารให้ละเอียด นำไปต้มจนเดือด จับเวลาหลังเดือดแล้ว 3 นาที ยกออกจากเตา บรรจุใส่ขวด ทำให้เย็น และเก็บไว้ในตู้เย็นสำหรับนำไปผลิตกัมมีเยลลี่ต่อไป ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำสหารายมาวิเคราะห์ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ด้วย pH Meter รุ่น F20+LE427 (ยี่ห้อ Mettler, ประเทศจีน) และวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand Refractometer) 0-32 ° Brix (ยี่ห้อ Atago, ประเทศญี่ปุ่น)

2. ส่วนผสม วิธีการผลิต และการวิเคราะห์คุณภาพกัมมีเยลลี่สหารายผักกาดทะเล

ส่วนผสมและวิธีการผลิต ดัดแปลงจากงานวิจัยของกุลพร พุทธิมี และ วริศชนม์ นิลนนท์ (2566) ส่วนผสมประกอบด้วย เจลาติน ร้อยละ 10.35 น้ำสหารายผักกาดทะเล ร้อยละ 36.85 น้ำตาลทราย ร้อยละ 41.41 กลูโคสไซรัป ร้อยละ 10.35 กรดซิตริก ร้อยละ

1.04 วิธีการผลิตโดยนำเจลาตินใสในน้ำสำหรับ คนผสมและแช่ไว้เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้เจลาตินดูดน้ำสำหรับจนอิ่มตัว นำน้ำตาลทรายเทลงกระทะเติมน้ำเปล่าเล็กน้อยยกขึ้นตั้งไฟ คนจนน้ำตาลละลายทั้งหมด แล้วเติมเจลาตินที่แช่น้ำสำหรับไว้คนให้เข้ากันแล้วเติมกลูโคสไซรัป และกรดซิตริก คนให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันให้ได้อุณหภูมิ 105°C แล้วยกลง จากนั้นเทกัมมีเยลลี่ลงพิมพ์ซิลิโคน นำใส่ภาชนะที่เตรียมไว้นำไปแช่เย็นในตู้เย็นเป็นเวลา 18 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วแกะกัมมีเยลลี่ออกจากพิมพ์ซิลิโคน โดยใช้แปรงข้าวโพดโรยบนกัมมีเยลลี่เล็กน้อยเพื่อไม่ให้กัมมีเยลลี่ติดกัน นำกัมมีเยลลี่ที่ได้มาร่อนแบ่งส่วนเกินออกโดยใช้ตะแกรงร่อน เก็บใส่ภาชนะที่มีฝาปิดสนิท นำผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับฝักกาดทะเลมาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ วัตค่าสี (L^* , a^* , b^*) โดยเครื่องวัดสี (Chroma Meter) รุ่น CR-400/410 (ยี่ห้อ Konica Minolta, ประเทศญี่ปุ่น) วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand Refractometer) $58-90^{\circ}$ Brix (ยี่ห้อ Atago, ประเทศญี่ปุ่น) วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) รุ่น PRE (ยี่ห้อ AQUALAB, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ Hedonic Scaling (1-9 คะแนน) ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ความยืดหยุ่น ความยากง่ายในการเคี้ยว และความชอบโดยรวม โดยใช้ ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ส่วนที่ 2 ศึกษาการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูลอสที่เหมาะสม ในการผลิตกัมมีเยลลี่สำหรับฝักกาดทะเล

นำสูตรที่ดีที่สุดจากการทดลองในส่วนที่ 1 มาศึกษาปริมาณการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูลอส ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 15 และ 25 ตามลำดับ และวิเคราะห์ผลคุณภาพต่าง ๆ ได้แก่ วัตค่าสี (L^* , a^* , b^*) โดยเครื่องวัดสี (Chroma Meter) รุ่น CR-400/410 (ยี่ห้อ Konica Minolta, ประเทศญี่ปุ่น) วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA Prime (ยี่ห้อ Bravo, ประเทศไทย) โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ใช้หัววัด P/0.5HS ตัวอย่างกัมมีเยลลี่ ขนาดกว้าง 1.5 cm ยาว 1.5 cm หนา 0.7 cm วัดที่อุณหภูมิ 25°C โดยรายงานผลเป็นค่าต่าง ๆ ได้แก่ Hardness, Cohesiveness, Springiness, Chewiness และ Gumminess วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand Refractometer) $58-90^{\circ}$ Brix (ยี่ห้อ Atago, ประเทศญี่ปุ่น) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) รุ่น PRE (ยี่ห้อ AQUALAB, ประเทศสหรัฐ

อเมริกา) วิเคราะห์ปริมาณพลังงานทั้งหมด ด้วยเครื่องวัดค่าพลังงาน Bomb Calorimeter รุ่น C5003 (ยี่ห้อ IKA, ประเทศเยอรมัน) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000), ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000) และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-point hedonic scale ในคุณลักษณะ ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความยืดหยุ่น ความยากง่ายในการเคี้ยว และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบซึ่งเป็นบุคลากรของมหาวิทยาลัย และบุคคลทั่วไปที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะผู้วิจัยดำเนินการขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ในการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเล จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เลขที่ IRB-44/2567 ก่อนการทดสอบผู้วิจัยทำการชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนการทดสอบ รายละเอียดในการตอบแบบทดสอบ และข้อปฏิบัติต่าง ๆ ของผู้ทดสอบ ให้กับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยจนเข้าใจ การทดสอบเป็นไปด้วยความสมัครใจ โดยทดสอบกับบุคลากรที่ยินยอมและเต็มใจทดสอบเท่านั้น

การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนใน Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำสาหร่าย และกัมมีเยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเล

ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำสาหร่าย พบว่า น้ำสาหร่ายผักกาดทะเลมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.79 – 6.81 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด เท่ากับ 0 ° Brix จากการทดลองผลิตกัมมีเยลลี่สาหร่ายผักกาดทะเล ที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5 15 และ 25 ตามลำดับ ได้เป็นกัมมีเยลลี่ที่มีสีเขียว มีความนุ่ม ยืดหยุ่น มีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สำหรับผักกาดทะเลที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำสำหรับแตกต่างกัน

เมื่อนำกัมมี่เยลลี่มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ได้แก่ ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่า a_w ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่สำหรับผักกาดทะเลที่มีความเข้มข้นของน้ำสำหรับระดับต่าง ๆ

ปัจจัยคุณภาพ	ความเข้มข้นของน้ำสำหรับ (%w/w)		
	5	15	25
1. ค่าสี			
ค่า L^*	32.00 ± 3.03^a	26.60 ± 0.44^b	22.80 ± 1.82^b
ค่า a^*	0.43 ± 0.21^a	0.20 ± 0.20^a	-0.83 ± 0.06^b
ค่า b^*	5.33 ± 1.01^c	8.97 ± 0.45^b	11.57 ± 1.94^a
2. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) ^{ns}	66.00 ± 0.00	65.67 ± 0.58	66.00 ± 0.00
3. ค่า a_w ^{ns}	0.86 ± 0.01	0.86 ± 0.00	0.85 ± 0.01

หมายเหตุ : ns=non-significant ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการศึกษา พบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำสำหรับที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าสีของกัมมี่เยลลี่ โดยเฉพาะการลดลงของค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสาหร่าย ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้ม

เพิ่มขึ้น การที่ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวที่มีอยู่ในสาหร่าย การเพิ่มปริมาณสาหร่ายจึงทำให้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีโดยรวมที่สว่างน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริพร สุคนธมาน และคณะ (2552) ที่ศึกษาผลของผงสาหร่ายสไปรูลิनाต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนม ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณสาหร่ายทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น การลดลงของค่าความเป็นสีแดง (a^*) บ่งชี้ว่าก็มีเยลลี่มีความเป็นสีแดงน้อยลง หรือมีความเป็นสีเขียวมากขึ้น เนื่องจากค่า a^* ที่เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว การเพิ่มสาหร่ายซึ่งมีสีเขียวเป็นหลักจึงทำให้ค่า a^* ลดลงและเข้าใกล้ค่าลบมากขึ้น สะท้อนถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่เบี่ยงเบนไปทางสีเขียวมากขึ้นอย่างชัดเจน สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ ปรียานุช แสงศรีจันทร์ และคณะ (2556) ที่ศึกษาการใช้สาหร่ายคลอเรลลาในผลิตภัณฑ์อาหาร และรายงานว่าการเติมสาหร่ายส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีโทนสีเขียวที่เด่นชัดขึ้น ส่วนของค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสาหร่ายสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากรงควัตถุอื่น ๆ ที่มีอยู่ในสาหร่าย เช่น แคโรทีนอยด์ แม้ว่าคลอโรฟิลล์จะเป็นรงควัตถุหลัก แต่รงควัตถุสีเหลืองหรือส้มในปริมาณน้อยก็อาจส่งผลให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของกัมมีเยลลี่ที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายแตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง $65.67 - 66.0^\circ$ Brix ค่า a_w ของกัมมีเยลลี่ที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายแตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.85-0.86

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5 15 และ 25 มีผลทำให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกัมมีเยลลี่ด้านสี กลิ่นรส รสชาติ ความยืดหยุ่น และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนความชอบด้านความยากง่ายในการเคี้ยวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับกัมมีเยลลี่ที่มีความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายร้อยละ 5 มากที่สุด ได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ ความยากง่ายในการเคี้ยว และความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลาง และความชอบด้านความยืดหยุ่นในระดับชอบเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกระดับความเข้มข้นของน้ำสาหร่ายที่ระดับร้อยละ 5 มาทำการศึกษาปริมาณสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับฝักกาดทะเล

ปัจจัยที่ศึกษา	ความเข้มข้นของน้ำสาหร่าย (%w/w)		
	5	15	25
สี	7.40±1.35 ^a	6.27±1.39 ^b	5.90±1.60 ^b
กลิ่นรส	7.50±1.38 ^a	6.60±1.19 ^b	5.83±1.90 ^c
รสชาติ	7.50±1.33 ^a	6.60±1.50 ^b	5.87±1.48 ^c
ความยืดหยุ่น	6.73±1.74 ^a	6.13±1.57 ^b	5.80±1.45 ^b
ความยากง่ายในการเคี้ยว ^{ns}	6.57±1.81	6.33±1.67	6.37±1.85
ความชอบโดยรวม	7.57±1.14 ^a	6.77±1.36 ^b	6.10±1.42 ^c

หมายเหตุ : ns=non-significant ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

2. ผลการศึกษาการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูโลสที่เหมาะสมในการผลิตกัมมีเยลลี่สำหรับฝักกาดทะเล

ผลศึกษาปริมาณการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูโลส ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 15 และ 25 ตามลำดับ ได้กัมมีเยลลี่ที่มีสีเขียวอ่อน มีความนุ่ม ยืดหยุ่น มีลักษณะ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับฝักกาดทะเลสูตรลดน้ำตาล โดยการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูโลสที่ระดับแตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพกัมมี่เยลลี่สำหรับยาลดน้ำตาล แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า การใช้ไอโซมอลทูลอสทดแทนน้ำตาลทรายที่ระดับ ร้อยละ 0 15 และ 25 ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยมีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 26.43-28.10 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 9.87-10.90 แต่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไอโซมอลทูลอสทดแทนน้ำตาลทรายในระดับที่เพิ่มขึ้น ค่าเนื้อสัมผัสพบว่า ค่า Hardness, Chewiness และ Gumminess ของกัมมี่เยลลี่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อใช้ไอโซมอลทูลอสทดแทนน้ำตาลทรายในระดับที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Hardness, Chewiness และ Gumminess ของกัมมี่เยลลี่ลดลง บ่งชี้ว่ากัมมี่เยลลี่มีความนุ่มและเคี้ยวง่ายขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของกัมมี่เยลลี่ที่ใช้ไอโซมอลทูลอส ทดแทนน้ำตาลทรายในระดับที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 66.33 – 67.33 ° Brix ค่า a_w ของกัมมี่เยลลี่ที่ใช้ไอโซมอลทูลอสทดแทน น้ำตาลทรายในระดับที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.84-0.87 ปริมาณพลังงานทั้งหมดของกัมมี่เยลลี่ทุกสูตรไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.80-2.81 kCal/g เมื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานทั้งหมดกับกัมมี่เยลลี่ในท้องตลาดโดยการคำนวณปริมาณพลังงานจากฉลากโภชนาการ พบว่า กัมมี่เยลลี่ในท้องตลาดให้ปริมาณพลังงาน 3.33 kCal/g จึงอาจกล่าวได้ว่ากัมมี่เยลลี่ที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มที่จะให้พลังงานต่ำกว่า อย่างไรก็ตามจากคุณสมบัติทางโภชนาการของไอโซมอลทูลอส ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำเนื่องจากถูกย่อยและดูดซึมอย่างช้า ๆ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดค่อยๆ สูงขึ้น ไม่เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเหมือนการบริโภคน้ำตาลทราย (สถาบันอาหาร, 2561) จึงเป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหรือผู้ป่วยเบาหวาน เพราะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงอย่างรวดเร็วและช่วยให้ระดับน้ำตาลในเลือดคงที่มากกว่าการบริโภคน้ำตาลทราย

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับ
ฝึกกาดทะเลที่มีการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูโลสที่ระดับแตกต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพ	ปริมาณไอโซมอลทูโลสที่ใช้ทดแทนน้ำตาลทราย (%)		
	0	15	25
1. ค่าสี			
ค่า L^{*ns}	28.10±1.57	26.97±0.49	26.43±1.59
ค่า a^{*}	0.13±0.25 ^b	1.17±0.21 ^a	1.20±0.10 ^a
ค่า b^{*ns}	10.90±1.28	10.60±1.71	9.87±0.81
2. ค่าเนื้อสัมผัส			
Hardness (gf)	1,923.90±291.99 ^a	1,531.97 ±209.79 ^b	1,324.91±118.77 ^c
Cohesiveness ^{ns}	2.95±0.06	2.94 ± 0.07	3.00±0.04
Springiness (s) ^{ns}	0.51 ±0.01	0.52±0.00	0.51±0.00
Chewiness (gf)	2,881.70 ± 461.26 ^a	2,114.21±422.33 ^b	2,033.15±179.71 ^b
Gumminess (gf)	5,677.46 ± 908.72 ^a	4,099.85±816.53 ^b	3,970.91±359.30 ^b
3. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมด (° Brix) ^{ns}	66.33±0.58	67.00±1.00	67.33± 0.58
4. ปริมาณความชื้น (%) ^{ns}	11.86±0.62	10.14±2.35	8.48±2.37
5. ค่า a_w ^{ns}	0.84±0.01	0.87±0.01	0.85±0.01
6. ปริมาณพลังงานทั้งหมด(kCal/g) ^{ns}	2.80±46.69	2.81±48.85	2.81±65.90

หมายเหตุ : ns=non-significant ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P\leq0.05$)

ผลการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของเยลลี่แข็ง (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2547) ที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ตารางที่ 4 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับทำเค้กทอดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูลอสที่ระดับต่าง ๆ

ปัจจัยที่ศึกษา	ปริมาณไอโซมอลทูลอสที่ใช้ทดแทนน้ำตาลทราย (%)		
	0 (สูตรควบคุม)	15	25
สี ^{ns}	6.87±1.14	6.63±1.13	6.63±1.13
กลิ่นรส	6.80±1.42 ^a	6.37±1.96 ^a	5.47±1.61 ^b
รสชาติ	7.40±1.25 ^a	6.87±1.33 ^{ab}	6.57±1.48 ^b
ความยืดหยุ่น ^{ns}	6.80±1.10	6.83±1.39	6.70±1.09
ความยากง่ายในการเคี้ยว ^{ns}	6.63±1.54	6.77±1.65	6.50±1.31
ความชอบโดยรวม	7.33±1.15 ^a	6.93±1.34 ^{ab}	6.60±1.28 ^b

หมายเหตุ : ns=non-significant ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบกัมมีเยลลี่สูตรที่ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูลอสร้อยละ 15 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม โดยมีคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนความชอบด้านสี ความยืดหยุ่น และความยากง่ายในการเคี้ยวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสามารถทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูลอสในกัมมีเยลลี่ในระดับร้อยละ 15 โดยยังได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิม

สรุปผลการวิจัย

1. ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่สำหรับทำเค้กทอดที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำสำหรับร้อยละ 5 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบมากที่สุด โดยได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลาง ส่วน ความชอบด้านความยืดหยุ่น และความยากง่ายในการเคี้ยวในระดับชอบเล็กน้อย โดยมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 32.00 0.43 และ 5.33 ตามลำดับ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 66.0 °Brix และค่า a_w เท่ากับ 0.86

2. สามารถทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไอโซมอลทูลอสในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ได้ในระดับร้อยละ 15 โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุกด้าน ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ความยืดหยุ่น ความยากง่ายในการเคี้ยว และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (น้ำตาลทรายร้อยละ 100) มีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 26.97, 1.17 และ 10.60 ตามลำดับ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 67.0 ° Brix ค่าปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 10.14 และค่า a_w เท่ากับ 0.85 ปริมาณพลังงานทั้งหมด เท่ากับ 2.81 kCal/g ค่าเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อใช้ไอโซมอลทูลอสในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลทำให้ ค่า Hardness, Chewiness และ Gumminess ลดลง ทำให้กัมมี่เยลลี่มีความนุ่มและเคี้ยวง่ายขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่สนับสนุนทุนดำเนินการวิจัย และคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กุลพร พุทธิมี และ วริตชนม์ นิลนนท์. (2566). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่เร็วหอม. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). จันทบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- ปรียานุช แสงศรีจันทร์, ยุวดี พิรพรพิศาล และ อรอนงค์ นัยภักดี. (2556). การใช้สาหร่ายคลอเรลลาผงในผลิตภัณฑ์บิสกิต. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 17(3), 289-298.
- วิชมณี ยืนยงพุททกาล, สุวรรณ วรสิงห์ และ พรนภา น้อยพันธ์. (2558). การเพิ่มมูลค่าสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วิชมณี ยืนยงพุททกาล, สุวรรณ วรสิงห์ และ พรนภา น้อยพันธ์. (2558). การเพิ่มมูลค่าสาหร่ายผักกาดทะเลโดยการใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

- ศิริพร สุคนธมาน, สุวิมล กิริติพิบูล และ อรอนงค์ น้อยรักดี. (2552). ผลของปริมาณผงสาหร่าย
สไปรูลินาต่อคุณภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 10(1), 1-10.
- สถาบันอาหาร. (2561). *นวัตกรรมความหวานกับ Palatyne น้ำตาลเพื่อสุขภาพจากธรรมชาติ*.
สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2567, จาก https://fic.nfi.or.th/technologyandinnovation_detail.php?smid=1737.
- สยามรัฐออนไลน์. (2566). *พาณิชย์-DITP เผยเทรนด์บริโภคขนมเยลลี่เจลาตินมาแรงในญี่ปุ่น*
แนะศึกษาวางแผนส่งออกปีมรายได้. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2567, จาก
<https://siamrath.co.th/n/451348>.
- สุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวิชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และ ภาควงศ์ วงศ์แข็ง. (2552). *สัณฐานวิทยา*
*การเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* C. Agargh, 1823.* (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง,
กรมประมง.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เยลลี่แข็ง*.
กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- AOAC. (2000). *Official Method of the Association of Official Analytical Chemists*.
17th Edition, Washington DC.

ผลของการเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารต่อการเจริญเติบโตและ
อัตราการรอดของลูกปลาหมอชุมพร 1
EFFECTS OF DRIED BLACK SOLDIER FLY LARVAE SUPPLEMNTATION IN DIET
ON GROWTH PERFORMANCE AND SURVIVAL RATE OF CLIMBING PERCH
CHUMPHON 1 (*ANABAS TESTUDINEUS*)

วรพรภักดิ์ ปัตถัย^{1,*}, กนกกาญจน์ ธิเบตรัมย์¹, วิชชุดา ยินดี¹, สายฝน ทดทะศรี²,
กฤตกนก พาบ³ และ กิตติศักดิ์ ร่วมพัฒนา⁴

Worrapornpat Patpai^{1,*}, Kanokkarn Reebreangrum¹, Witchuda Yindee¹,
Saifon Thodthasi², Krikanok Phabu³ and Kittisak Ruampattana⁴

¹ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

² สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

³ สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

⁴ สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

¹ Department of Animal Science Faculty of Agriculture and Agricultural Industry, Surindra Rajabhat University

² Department of Agriculture Faculty of Agriculture and Agricultural Industry, Surindra Rajabhat University

³ Department of Logistics management Faculty of Management, Surindra Rajabhat University

⁴ Department of Public Administration Faculty of Humanities, Surindra Rajabhat University

Received: 29 April 2025

Revised: 25 August 2025

Accepted: 26 August 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของลูกปลาหมอชุมพร 1 โดยใช้หนอนแมลงวันลายเสริมในอาหาร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) โดยเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารจำนวน 4 ชุดการทดลองคือ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยให้มีโปรตีนในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน เลี้ยงในระยะเวลา 60 วัน ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยชุดการทดลองที่ 4 เสริมหนอนแมลงวันลาย 15 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยสูงที่สุด

* Corresponding author : วรพรภักดิ์ ปัตถัย

E-mail : worrapornpat@gmail.com

เท่ากับ 13.00 ± 0.87 กรัม น้ำหนักเพิ่มต่อวันเท่ากับ 0.18 ± 0.02 กรัมต่อวัน อัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 9.58 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน อัตราแลกเนื้อเท่ากับ 1.10 ± 0.02 ประสิทธิภาพของอาหารเท่ากับ 0.91 ± 0.08 โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) และความยาวสุดท้ายเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 10.55 ± 0.16 เซนติเมตร และอัตราการรอดเท่ากับ 86.00 ± 2.86 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) การเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตลูกปลาหมอชุมพร 1 โดยทำการเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในปริมาณ 15 เปอร์เซ็นต์จะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของลูกปลาหมอชุมพร 1 ดีที่สุด หนอนแมลงวันลายเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่สามารถลดต้นทุนค่าอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงและช่วยลดความเสี่ยงจากการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำที่มีราคาแพงในการเลี้ยงปลาหมอชุมพร 1

คำสำคัญ: หนอนแมลงวันลาย, อาหาร, ลูกปลาหมอชุมพร 1

Abstract

This study aimed to investigate the growth and survival rates of Climbing perch “Chumphon 1” (*Anabas testudineus*) fed diets with dried black soldier fly (BSF) larvae. A completely randomized design (CRD) was employed, with four experimental treatments containing 0, 5, 10 and 15%, larvae, each diet containing 30% crude protein for 60 days. The 15% inclusion group had the highest final weight (13.00 ± 0.87 g), average daily weight gain (0.18 ± 0.02 g/day), specific growth rate ($9.58 \pm 0.01\%/day$), feed conversion ratio (1.10 ± 0.02), and a feed efficiency (0.91 ± 0.08), with significant differences ($p < 0.05$). The highest final length (10.55 ± 0.16 cm) and survival rate (86.00 ± 2.86 %) were recorded in the same group; however, survival rate did not differ significantly among treatments ($p > 0.05$). These findings indicate that 15% inclusion of dried larvae can effectively improve growth performance and survival rate of Climbing perch “Chumphon 1”, black soldier fly (BSF) larvae an alternative protein source, resulting in reduction of feed costs, increase farming efficiency and reduction

of the risk of using expensive aquatic animal feed ingredients in raising Climbing perch “Chumphon 1”

Keywords: Black soldier fly, Diet, Climbing perch “Chumphon 1”

บทนำ

ปลาหมอชุมพร 1 เป็นพันธุ์ปลาหมอไทยที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูง มีลักษณะเด่น คือ โตเร็ว ขนาดใหญ่ ส่วนหัวเล็ก และสันหนา โดยมีอัตราการการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาหมอสายพันธุ์เดิมถึง 25.22 เปอร์เซ็นต์จากการติดตามประเมินผลการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในปี 2565 พบว่ามีผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5.91 เปอร์เซ็นต์ (กรัมประมง, 2566) ปลาหมอชุมพร 1 สามารถอาศัยอยู่ได้ทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย (Davenport & Matin, 1990; Liem, 1987) เนื่องจากมีอวัยวะพิเศษช่วยหายใจ (labyrinth organ) ทำให้ทนทานต่อสภาพน้ำที่ที่ออกซิเจนต่ำ และสามารถอยู่รอดในบริเวณที่มีน้ำน้อยหรือเพียงความชุ่มชื้นได้นาน ส่งผลให้สามารถขนส่งในระยะไกลๆและจำหน่ายในรูปแบบปลาสดมีชีวิตได้เป็นจำนวนมาก ผลผลิตส่วนใหญ่ยังได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำชุมพร, 2560) ต้นทุนการเลี้ยงสัตว์น้ำค่าอาหารซึ่งเป็นส่วนสำคัญของค่าใช้จ่ายทั้งหมดและเป็นปัจจัยที่ผู้เพาะเลี้ยงรายย่อยและขนาดกลางควบคุมได้ยาก หากสามารถลดต้นทุนด้านอาหารลงได้จะช่วยเพิ่มรายได้และความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกร ปัจจุบันมีการพัฒนาแหล่งโปรตีนทางเลือกที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเทียบเท่าหรือมากกว่าวัตถุดิบเลี้ยงสัตว์ทั่วไปหนึ่งในนั้นคือ หนอนแมลงวันลาย (Black Soldier Fly) *Hermetia illucens* (L.), (Diptera : Stratiomyidae) ซึ่งพบได้ทั่วโลกทั้งในเขตอบอุ่นและเขตร้อนชื้น (Wang & Shelomi, 2017) วงจรชีวิตของแมลงวันลายเริ่มจากระยะไข่ (3-4 วัน) ระยะตัวหนอน (14-18 วัน) ซึ่งมูลสัตว์ อาหารหมัก หรือขยะอินทรีย์ ก่อนเข้าสู่ระยะดักแด้ (10-15 วัน) และพัฒนาสู่ระยะโตเต็มวัย หนอนแมลงวันลายสามารถเปลี่ยนของเหลือใช้ทางอินทรีย์ให้โปรตีนและไขมันคุณภาพสูง โดยในช่วง (1-14 วัน) ของระยะตัวหนอนมีโปรตีน 38-56 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 4-28 เปอร์เซ็นต์ ระยะก่อนดักแด้มีโปรตีน 40.2-40.4 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 24.2-28.0 เปอร์เซ็นต์ ระยะดักแด้มีโปรตีน 43.8-46.2 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 7.2-8.2 เปอร์เซ็นต์ ตัวเต็มวัยเพศผู้มีโปรตีน 44.0 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 32.2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ตัวเต็มวัยเพศ

เมียมี่โปรตีน 43.8 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 30.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ด้วยคุณค่าทางโภชนาการสูง วงจรชีวิตสั้นและต้นทุนการผลิตต่ำ หนองแมลงวันลายจึงเป็นแหล่งโปรตีนศักยภาพสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการใช้อาหารเสริมจากหนองแมลงวันลายต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของลูกปลาหมอชุมพร 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลแนะนำเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของลูกปลาหมอชุมพร 1 ทำการทดลองในสระน้ำ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์เดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2567 ระยะเวลาในการเลี้ยง 60 วัน ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ในกระชังกว้าง 1 X ยาว 1 X ความลึก 1.20 เมตร อัตราความหนาแน่น 50 ตัว/กระชัง จำนวน 4 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 = เสริมหนองแมลงวันลายอบแห้งในอาหาร 0 % (ควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 = เสริมหนองแมลงวันลายอบแห้งในอาหาร 5 %

ชุดการทดลองที่ 3 = เสริมหนองแมลงวันลายอบแห้งในอาหาร 10 %

ชุดการทดลองที่ 4 = เสริมหนองแมลงวันลายอบแห้งในอาหาร 15 %

การใช้หนองแมลงวันลายอบแห้งเป็นระยะตัวหนอนอายุ 14-18 วัน นำมาทำความสะอาดและฆ่าให้ตายอย่างสงบด้วยวิธีการแช่ในน้ำแข็งแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังการอบแห้งบดหนองแมลงวันลายให้ละเอียดนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อทำการผสมในอาหารตามชุดการทดลอง กำหนดให้อาหารมีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์เท่ากันทุกสูตร วัตถุดิบในอาหารประกอบด้วย ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด แป้งข้าวเหนียว แร่ธาตุ น้ำมันสัตว์ นำวัตถุดิบแต่ละสูตรผสมให้เข้ากันเติมน้ำประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร จากนั้นนำมาอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดผ่านรูหน้าแวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร นำอาหารที่อัดไปตากแดด 24 ชั่วโมง แล้วนำไปให้ปลาตามหน่วยการทดลอง

อาหารสำหรับการทดลองให้อาหารลูกปลาปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาวันละ 2 เวลา คือเวลา 09.00 น. และเวลา 15.00 น. และทำการเก็บข้อมูลทุก 30 วัน โดยสุ่มจับปลาหมอชุมพร 1 จำนวน 20 ตัวต่อชุดการทดลอง

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้านการอัตราการเติบโตของปลา ดัดแปลงจากวิธีการของ Hephher & Pruginin (1981) ดังนี้

1. น้ำหนักเฉลี่ย เป็นน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม) ของปลาในแต่ละชุดการทดลองตามอายุการเลี้ยงที่กำหนดและสุดท้ายเมื่อเลี้ยงได้ 60 วัน

2. ความยาวเฉลี่ย เป็นความยาวเฉลี่ยต่อตัว (เซนติเมตร) ของปลาในแต่ละชุดการทดลองตามอายุการเลี้ยงที่กำหนดและสุดท้ายเมื่อเลี้ยงได้ 60 วัน

3. น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (Average Daily Weight Gain, ADG; กรัมต่อวัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาทดลอง}}$$

4. อัตราการเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate, SGR; เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$$= \frac{\ln \text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาทดลอง}} \times 100$$

5. อัตราแลกเนื้อ (Feed Conversion Ratio; FCR)

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

6. อัตรารอดตาย (Survival Rate: SR; เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

7. ประสิทธิภาพของอาหาร (Feed Efficiency Ratio, FER)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}$$

นำข้อมูลด้านอัตราการเติบโตที่มาวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's new multiple rang test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในพื้นที่บ่อทดลอง โดยทำการวัดวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก 30 วัน ในเวลา 08.00 น. ดัดแปลงจากวิธีการของ ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจากรูรณ สมศิริ (2528) ดังนี้

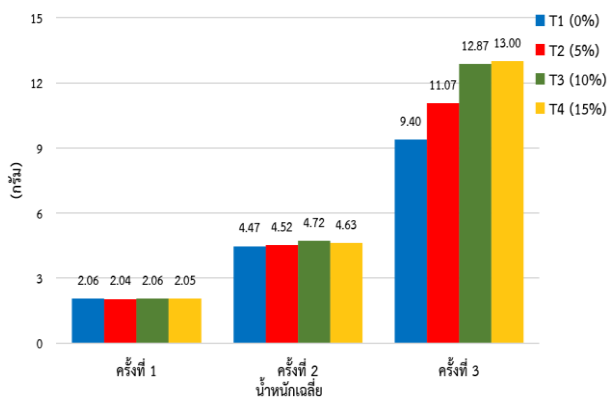
1. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) เครื่อง EUTECH Multi-Parameter รุ่น PCD 650
2. ความเป็นกรดเป็นด่าง เครื่อง EUTECH Multi-Parameter รุ่น PCD 650
3. ความโปร่งแสง (เซนติเมตร) ด้วย Secchi disc
4. ความขุ่นของน้ำ (NTU) ด้วย Turbidimeter รุ่น TN-100
5. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) เครื่อง EUTECH Multi-Parameter รุ่น PCD 650
6. การนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) เครื่อง EUTECH Multi-Parameter รุ่น PCD 650
7. ความลึกของน้ำ (เมตร) ด้วย Portable Depth Sounder รุ่น PS-7

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

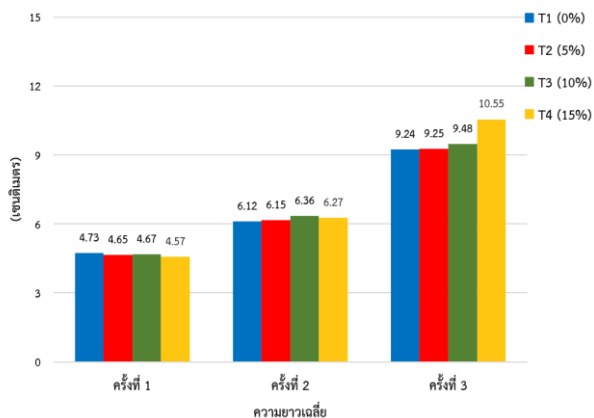
1. อัตราการเจริญเติบโตของลูกปลาหมอชุมพร 1

น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยพบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 13.00 ± 0.87 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับเท่ากับ 12.87 ± 0.12 , 11.07 ± 0.12 และ 9.40 ± 0.69 กรัมตามลำดับ (ตารางที่ 1) น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (Average Daily Weight Gain, ADG; กรัมต่อวัน) พบว่าชุดการทดลองที่ 4 และ 3 มีน้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.18 ± 0.02 กรัมต่อวัน รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2 และ 1 เท่ากับ 0.15 ± 0.02 และ 0.12 ± 0.01 กรัมต่อวันตามลำดับ อัตราการเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate, SGR; เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) พบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีอัตราการเติบโตจำเพาะมากที่สุดเท่ากับ 9.58 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับเท่ากับ 9.43 ± 0.02 , 7.67 ± 0.02 และ 5.97 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวันตามลำดับ (ตารางที่ 3) อัตราแลกเนื้อ (Feed Conversion Ratio; FCR) พบว่าชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราแลกเนื้อมากที่สุดเท่ากับ 1.60 ± 0.01 รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับเท่ากับ 1.31 ± 0.02 , 1.13 ± 0.01 และ 1.10 ± 0.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ประสิทธิภาพของอาหาร (Feed Efficiency Ratio, FER) พบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีค่าประสิทธิภาพของอาหารดีที่สุดเท่ากับ 0.91 ± 0.08 รองลงมา

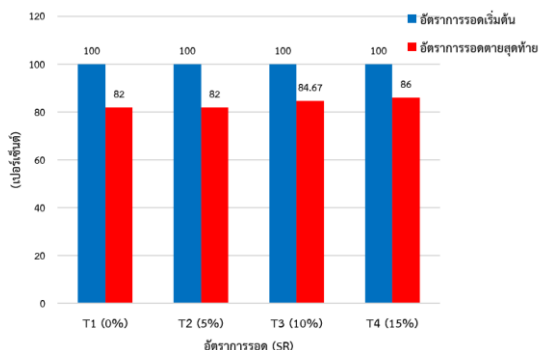
คือชุดการทดลองที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับเท่ากับ 0.89 ± 0.05 , 0.76 ± 0.09 และ 0.62 ± 0.06 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3) และความยาวสุดท้ายเฉลี่ยพบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 10.55 ± 0.16 เซนติเมตร รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับเท่ากับ 9.48 ± 0.20 , 9.25 ± 0.96 และ 9.24 ± 0.46 เซนติเมตรตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2) อัตรารอด (SR) พบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีอัตราการรอดมากที่สุดเท่ากับ 86.00 ± 2.86 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 3 และ 2, 1 ตามลำดับเท่ากับ 84.67 ± 2.82 , 82.00 ± 2.33 และ 82.00 ± 2.73 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3)



รูปที่ 1 น้ำหนักลูกปลาหม่อชุมพร 1 เสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารปริมาณต่างกัน



รูปที่ 2 ความยาวลูกปลาหม่อชุมพร 1 เสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารปริมาณต่างกัน



รูปที่ 3 อัตราการรอดลูกปลาหมอชุมพร 1 เสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้ง
ในอาหารปริมาณต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าการใช้หนอนแมลงวันลายเสริมในอาหารปริมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลูกปลาหมอชุมพร 1 มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าชุดทดลองอื่น โดย St-Hilaire et al. (2007) ทดลองเลี้ยงปลาเทราท์ (*Oncorhynchus mykiss*) ด้วยอาหารปลาผสมหนอนแมลงวันลายระยะก่อนเข้าดักแด่ 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลาเจริญเติบโตใกล้เคียงกับการเลี้ยงด้วยอาหารปลาอย่างเดียว เช่นเดียวกับ Kumar et al. (2011) ทดลองเลี้ยงลูกปลากะพงขาว สามารถใช้หนอนแมลงวันลายเป็นส่วนผสมแทนปลาป่นในอาหารปลาได้มากกว่า 28.4 เปอร์เซ็นต์ แต่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ลูกปลากะพงขาวเจริญเติบโตได้ดี อาหารเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลี้ยงปลานิลแล้วสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปก็มีผลต่อการเลี้ยงปลานิล และ เวียง เชื้อโพธิ์หัก (2528) รายงานว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในครั้งนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี อาหารที่มีคุณภาพที่ดีนั้น ควรมีอัตราแลกเนื้อต่ำกว่า 2.00 สอดคล้องกับจิตติมา หมั่นกิจ (2563) ทดลองใช้หนอนแมลงวันลายเป็นส่วนผสมในอาหารลูกปลาหมอไทยชุมพร 1 อาหารผสมหนอนแมลงวันลาย 30 เปอร์เซ็นต์ของปลาป่นมีราคาอาหารที่ทำให้ปลา มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมถูกกว่าอาหารกลุ่มอื่น การใช้หนอนแมลงวันลาย 30 เปอร์เซ็นต์เสริมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาหมอไทยชุมพร 1 เพื่อลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งหนอนแมลงวันลายมีกรดอะมิโนที่จำเป็น ไขมัน และสารอาหารรองที่สำคัญ ทำให้เป็นทางเลือกที่มีคุณค่าสำหรับแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ (Makkar et al., 2014) ซึ่งหนอนแมลงวันลายมีโปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 35 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโน แร่ธาตุอื่น ๆ สูงและหนอนแมลงวันลายมีพลังงาน 2,900 Kcal/kg (De Marco et al., 2015; Sprangers et al., 2017)

ตารางที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ลูกปลาหม่อชุมพร 1 เสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารปริมาณต่างกัน

ระยะเวลา	ระดับการเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหาร				F-test
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (10%)	T4 (15%)	
เริ่มต้น	2.06±0.02	2.04±0.05	2.06±0.04	2.05±0.01	ns
30 วัน	4.47±0.08 ^b	4.52±0.03 ^b	4.72±0.05 ^a	4.63±0.03 ^a	*
60 วัน	9.40±0.69 ^c	11.07±0.12 ^b	12.87±0.12 ^a	13.00±0.87 ^a	*

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่ต่างกันตามแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 2 ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) ลูกปลาหม่อชุมพร 1 เสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารปริมาณต่างกัน

ระยะเวลา	ระดับการเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหาร				F-test
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (10%)	T4 (15%)	
เริ่มต้น	4.73±1.07	4.65±0.21	4.67±0.30	4.57±0.21	ns
30 วัน	6.12±0.12 ^c	6.15±0.05b ^c	6.36±0.07 ^a	6.27±0.02 ^{ab}	*
60 วัน	9.24±0.46	9.25±8.96	9.48±0.20	10.55±0.16	ns

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่ต่างกันตามแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตลูกปลาหม่อชุมพร 1 โดยเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารปริมาณต่างกัน

อัตราการเจริญเติบโต	ระดับการเสริมหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหาร				F-test
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (10%)	T4 (15%)	
อัตราการรอดสุดท้าย (%)	82.00±2.73	82.00±2.33	84.67±2.82	86.00±2.86	ns
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (g/d)	0.12±0.01 ^b	0.15±0.02 ^a	0.18±0.02 ^a	0.18±0.02 ^a	*
อัตราการเติบโตจำเพาะ (%/d)	5.97±0.01 ^d	7.67±0.02 ^c	9.43±0.02 ^b	9.58±0.01 ^a	*
อัตราแลกเนื้อ	1.60±0.01 ^a	1.31±0.02 ^b	1.13±0.01 ^c	1.10±0.02 ^c	*
ประสิทธิภาพของอาหาร	0.62±0.06 ^c	0.76±0.09b ^c	0.89±0.05 ^{ab}	0.91±0.08 ^a	*

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่ต่างกันตามแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

2. คุณสมบัติของน้ำในบ่อดินที่เลี้ยงปลาหมอชุมพร 1 โดยเสริมพืชนอนแมลงวันลายในอาหารปริมาณต่างกันในระยะช่วงระยะเวลา 60 วัน

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) มีค่าระหว่าง 2.52-2.80 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระดับปกติในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีค่าระหว่าง 7.10-7.04 เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ความโปร่งแสง (Transparency) ค่าความโปร่งแสงของน้ำมีค่าระหว่าง 25-30 เซนติเมตร เป็นค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) มีค่าระหว่าง 40.05-59.6 NTU อยู่ในช่วงความขุ่นปกติทำให้แสงสามารถส่องลงไปได้ลึกมาก อุณหภูมิของน้ำ (Water Temperature) อยู่ในช่วง 31.2-33.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาในเขตร้อนควรอยู่ในช่วง 25-32 องศาเซลเซียส ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) อยู่ในระหว่าง 420.5-475.0 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ ความลึกของน้ำ (Water Depth) ค่าความลึกของน้ำมีค่าระหว่าง 0.7-1.5 เมตร (ตารางที่ 4) คุณสมบัติที่เหมาะสมอยู่ในเกณฑ์ที่สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ดีตามปกติและเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553; Boyd, 1990)

ตารางที่ 4 คุณภาพน้ำในบ่อดินที่เลี้ยงปลาหมอชุมพร 1 โดยเสริมพืชนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารปริมาณต่างกัน

พารามิเตอร์	หน่วยวัด	เกณฑ์มาตรฐาน	ครั้งที่		
			1	2	3
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ	mg/l	2-5	2.52	2.70	2.80
ความเป็นกรดเป็นด่าง	-	6.5-9.0	7.10	7.08	7.04
ความโปร่งแสง	เซนติเมตร	30-60	30	28	25
ความขุ่นของน้ำ	NTU	25-80	40.5	48.6	59.6
อุณหภูมิ	°C	28-32	31.2	32.5	33.4
ค่าความนำไฟฟ้า	($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$)	< 2,000	420.5	450.8	475.0
ความลึกของน้ำ	เมตร	-	1.5	1.0	0.7

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของลูกปลาทอมุขุมพร 1 พบว่าการเสริมหนอนแมลงวันลายในอาหารปริมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของอาหาร มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) และความยาวสุดท้ายมากที่สุดในด้านน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักเพิ่มต่อวัน อัตราการเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ อัตราการรอดสูงสุดที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ในการใช้หนอนแมลงวันลายเสริมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาทอมุขุมพร 1 สามารถช่วยเพิ่มโปรตีนในอาหารเพื่อให้ปลาทอมุขุมพร 1 มีอัตราการเจริญเติบโตที่เร็วขึ้นและสามารถลดต้นทุนด้านอาหารการเลี้ยงได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ที่สนับสนุนพื้นที่ อุปกรณ์ และครุภัณฑ์สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2566). *สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2567, จาก https://www4.fisheries.go.th/index.php/dof/news_local/1210/185820.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2553). *คู่มือการเลี้ยงปลาในกระชังที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- จิตติมา หมั่นกิจ. (2563). การใช้หนอนแมลงวันลายเป็นส่วนผสมในอาหารลูกปลาทอมุขุมพร 1. *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาเกษตร*, 4(2), 15-25.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. (2528). *คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยทางการประมง*. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ.
- เวียง เชื้อโพธิ์ทัก. (2528). *อาหารปลา*. [เอกสารประกอบการสอน]. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำชุมพร. (2560). เลี้ยงปลาหมอโตไวรายได้งาม. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2567, จาก https://www4.fisheries.go.th/index.php/dof/activity_item/1180.
- Boyd, C. E. (1990). *Water Quality in Pond for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Auburn Alabama.
- De Marco, M., Martinez, S., Madrid, F., Gai, F., Rotolo, L., & Kovitvadhi, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebriomolitor* and *Hermetia illucens*) of broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 209-218.
- Davenport, J., & Abdul Matin, A. K. M. (1990). Terrestrial locomotion in the climbing perch *Anabas testudineus* (Bloch) (Anabantidea, Pisces). *Journal of Fish Biology*, 37(1), 175–184.
- Hepher, B., & Pruginin, Y. (1981). *Commercial Fish Farming: with Special Reference to Fish Culture Israel*. John Wiley & Sons, New York. U.S.A.
- Kumar, S. V. R., Inamdar, N. Md., Nayeemunnisa, & Viswanatha, G. L. (2011). Protective effect of lemongrass oil against dexamethasone induced hyperlipidemia in rats: possible role of decreased lecithin cholesterol acetyltransferase activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(8), 658-660.
- Liem, K. F. (1987). Functional design of the air ventilation apparatus and overland excursions by teleosts. *Fieldiana. Zoology*, 37, Doi.org/10.5962/bhl.title.2823.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33.
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Olyn, A., Deboosere, S., Meulenaer, De B., & Smet, De S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly

(*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates.

Journal of the Science of Food and Agriculture, 97, 2594-2600.

St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J. K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Hardy, R. W., Sealey, W. (2007). Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(1), 59-67.

Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91.

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology

Vol.13 Issue.2 (2025)

ISSN 2287-0083

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

64 ถ.ทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702 เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>

เว็บไซต์: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru>

อีเมล: scjournal@udru.ac.th

