Journal of Agricultural Research and Communications

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม พ.ศ. 2569

**การจัดการอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ ผลผลิต และองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมในฟาร์มโคนม จังหวัดพัทลุง**

นิรมล ทองเต็ม ภรณ์ทิพย์ ทองมณี ธีระพงษ์ รัตนพันธุ์ สุรเชษ จำนงค์จิตร และ สุภิญญา ชูใจ .....145

**ผลของ 6-benzyladenine และการผ่าชิ้นส่วนยอดตามแนวยาวต่อการเกิดหน่อใหม่ของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในสภาพปลอดเชื้อ**

พันทิพา ลิ้มสงวน ธีรยุทธ คล้ำชื่น เยาวรัตน์ วงศ์ศรีสกุลแก้ว และ ประวิทย์ ธรรมทะ .....157

**ผลของกรดอินโดล-3-บิวทีริกและกรดจิบเบอเรลลิกต่อการเกิดรากพิเศษและการเติบโตของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะ**

วีรภัทร ปั้นฉาย เจษฎากร จบแล้ว รวิพล ต่ายคง สุวิทย์ บุญเรือง ดรุณี นาพรหม .....167

**การใช้ซิลิกอนและโบรอนทางใบเพื่อบรรเทาผลกระทบจากอุณหภูมิสูงต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ กข43**

เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์ และ สาวิกา กอนแสง .....177

**ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินและการพ่นทางใบต่อปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวและการสูญเสียของสังกะสีจากกระบวนการขัดสีข้าว**

สิทธิกร บดีรัฐ และ ชนากานต์ พรมอุทัย .....189

ISSN 3057-1022 (Online)
TCI 1

# คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

**เรื่องที่ตีพิมพ์**

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

**การเตรียมต้นฉบับ**

**1. ภาษา** เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

**2. การพิมพ์**

1) พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 พิมพ์แนวตั้ง (portrait orientation) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เวิร์ด (Microsoft Word for Windows) ตัวอักษรใช้ TH-SarabunPSK โดยทั่วไปใช้ระยะบรรทัดปกติคือ 1 เท่า หรือ Single ความยาวต้นฉบับไม่เกิน 10 -12 หน้า

2) ชื่อเรื่องให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 18 points พิมพ์ตัวหนา (bold) และจัดกึ่งกลางหน้า กระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)

3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

4) ที่อยู่และที่อยู่อีเมลของผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 12 points พิมพ์ตัวเอียงธรรมดา (normal italic) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

5) บทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal) ยกเว้นเฉพาะคำ บทคัดย่อ และ Abstract ให้พิมพ์ตัวหนา และจัดชิดซ้าย

6) เนื้อหาให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal)

7) หัวข้อหลัก ได้แก่ คำนำ อุปกรณ์และวิธีการ ผลการทดลองและวิจารณ์ สรุป เอกสารอ้างอิง ให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 16 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย

9) คำอธิบายตารางและภาพให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 14 points พิมพ์ตัวหนา โดยคำอธิบายตารางให้พิมพ์เหนือตารางและจัดชิดซ้าย ส่วนคำอธิบายภาพให้พิมพ์ใต้ภาพและจัดกึ่งกลางหน้า และคำอธิบายตารางและภาพถ้ามีมากกว่าหนึ่งบรรทัดให้เริ่มต้นพิมพ์บรรทัดถัดมาตรงกับข้อความของบรรทัดแรก

10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ ในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อนี้ให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้อีกให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียนเป็น *M. incognita*

11) คำว่า *et al*. และ *P* (*P*-value) ให้พิมพ์เอน

**ข้อแนะนำการใช้ภาษา**

1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสภา

2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้น ๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่

3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว

4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

**การเรียงลำดับหัวข้อ** ให้เรียงตามลำดับดังนี้

**1. ชื่อเรื่อง (Title)** ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาไทย

**2. ชื่อผู้เขียน** ใช้ชื่อผู้เขียนเต็มและระบุชื่อผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author)

**3. ที่อยู่ หรือสังกัด** ระบุที่อยู่หรือสังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากที่อยู่หรือสังกัดมีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งแรกก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ ผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขตัวยก (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนแต่มีที่อยู่หรือสังกัดเดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขตัวยก (superscript) กำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน ผู้เขียนเป็นนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่หรือสังกัดตามหลักสูตรของนักศึกษา บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล์ (email address) ของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author)

**4. บทคัดย่อ (Abstract)** ควรเป็นเนื้อหาที่สั้น ชัดเจนและเข้าใจง่าย รวมเหตุผลในการศึกษาวิจัย อุปกรณ์ วิธีการ ตลอดจนผลการศึกษาและสรุป ระบุบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ควรเกิน 250 คำ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยบทคัดย่อภาษาไทย ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญ (keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษาด้วย คำสำคัญไม่ควรเกิน 5 คำ

**5. เนื้อหา (Text) ประกอบด้วย**

**5.1 คำนำ (Introduction)** แสดงความเป็นมาและเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสาร (review of literature) และวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยไว้ด้วย

**5.2 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)** ให้บอกรายละเอียดของวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจนและสมบูรณ์

**5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion)** ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ รวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วยโดยใช้เป็นภาษาอังกฤษ เช่น Table หรือ Figure สำหรับการวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

**5.4 สรุป (Conclusion)** เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

**5.5 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)** อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

**5.6 เอกสารอ้างอิง (References)** ให้เรียงเอกสารตามตัวอักษรอังกฤษ

**หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง**

สืบเนื่องจากวารสาร มีความประสงค์ที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารเพื่อปรับเข้าสู่ฐานข้อมูล ACI (ASEAN Citation Index) ซึ่งมีข้อกำหนดเกี่ยวกับรูปแบบในการจัดทำ เอกสารอ้างอิง (reference) โดยต้องจัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ทั้งในเนื้อเรื่องและท้ายบทความ โดยหลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง มีดังนี้

**1. การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง** ระบบที่ใช้ในการอ้างอิงคือ ระบบชื่อ และปี (Name-and-year System) ให้ใช้ ชื่อสกุล และปี ค.ศ ดังนี้

1.1 ผู้เขียน มี 1 คน ตัวอย่าง Kubo (2003) รายงานว่า.....หรือ.....(Kubo, 2003)

1.2 ผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้คำว่า and คั่นกลาง ตัวอย่าง Muthita and Kuanprasert (2004) รายงานว่า.....หรือ.....(Muthita and Kuanprasert, 2004)

1.3 ผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้ชื่อคนแรกและตามด้วยคำว่า *et al.* ตัวอย่าง Bukhari et al. (2011) รายงานว่า.....หรือ.....(Bukhari et al., 2015)

1.4 กรณีมีหลายรายงานอ้างอิงในเรื่องเดียวกัน ให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษและใช้ (;) คั่นกลาง ตัวอย่าง (Bukhari et al. (2011); Kubo (2003); Muthita and Kuanprasert(2004))

1.5 กรณีผู้แต่งเดียวกัน และปีพิมพ์เดียวกัน ให้เพิ่มตัวอักษร a b c ต่อท้ายปี

ตัวอย่าง Tangtaweewipat et al. (2011a).....Tangtaweewipat et al. (2011b).....

(ดูคำแนะนำการเขียนเอกสารอ้างอิง การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ และการพิจารณาบทความ ได้ที่ปกหลังด้านใน)

# JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND COMMUNICATIONS


| | | | |
|---|---|---|---|
| ผู้จัดพิมพ์ | คณะเกษตรศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | Publisher | Faculty of Agriculture,<br>Chiang Mai University |
| กำหนดการพิมพ์ | วารสารราย 4 เดือน (3 ฉบับ/ปี) คือ<br>ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน<br>ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม<br>ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม | Publication | Tri-annually<br>Issue 1 January-April<br>Issue 2 May-August<br>Issue 3 September-December |
| วัตถุประสงค์ | เพื่อเผยแพร่วิทยาการด้านการเกษตร<br>และสาขาที่เกี่ยวข้อง | Objective | To disseminate academic knowledge in<br>agriculture and related fields |
| ที่ปรึกษา | คณบดีคณะเกษตรศาสตร์<br>รองคณบดีฝ่ายวิจัย และวิเทศสัมพันธ์ | Consultants | Dean, Faculty of Agriculture; Associate<br>Dean for Research and International Relations |
| บรรณาธิการ | รศ.ดร. ณัฐา โพธาภรณ์<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | Editor | Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof.<br>Chiang Mai University |
| รองบรรณาธิการ | ผศ.ดร. ชูชาติ สันธทรัพย์<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | Vice Editor | Choochad Santasup, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| กองบรรณาธิการ<br>ฝ่ายวิชาการ | ผศ.ดร. บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | Editorial Board<br>(Academic) | Budsara Limnirankul, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. จิรวรรณ กิจชัยเจริญ<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Chanakan Thebault Prom-u-thai, Ph.D., Prof.<br>Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Tonapa Pusadee, Ph.D., Assoc. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ติยายน<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Chantalak Tiyayon, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Piyawan Suttiprapan, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. อรอุมา เรืองวงษ์<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assoc. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. มินตรา ศีลอุดม<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Mintra Seel-audom, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | อ.ดร. มนตรี แสนวังสี<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Montri Sanwangsri, Ph.D.<br>Chiang Mai University |

| | | |
|---|---|---|
| | ผศ.ดร. สุกิจ กันจินะ | Sukit Kanjina, Ph.D., Assist. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. พิชญา พูลลาภ | Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. ธีรนุช เจริญกิจ | Theeranuch Jaroenkit, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | ข้าราชการเกษียณอายุ | Retired government official |
| | ผศ.ดร. ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร | Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ | Maejo University |
| | ผศ.ดร. ศุภวรรณ วิเศษน้อย | Supawan Visetnoi, Ph.D., Assist. Prof |
| | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | Chulalongkorn University |
| | รศ.ดร. อนุสรณ์ เชิดทอง | Anusorn Cherdthong, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยขอนแก่น | Khon Kaen University |
| | ผศ.ดร. สุขกฤช นิมิตรกุล | Sukkrit Nimitku, Ph.D., Assist. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ | Kasetsart University |
| | รศ.ดร. ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์ | Ladawan Lerslerwong, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | Prince of Songkla University |
| | ผศ.ดร. สาวิกา กอนแสง | Sawika Konsaeng, Ph.D., Assist. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ | Maejo University |
| | ผศ.ดร. ไชยธีระ พันธุ์ภักดี | Chaiteera Panpakdee, Ph.D., Assist. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยขอนแก่น | Khon Kaen University |
| | Prof. Dr. Shang-Ho Yang | Shang-Ho Yang, Ph.D., Prof. |
| | National Chung Hsing University | National Chung Hsing University, Taiwan |
| | Prof. Dr. Mehmet Ulaş Çınar | Mehmet Ulaş Çınar, Ph.D., Prof. |
| | Erciyes Üniversitesi | Erciyes Üniversitesi, Turkey |
| | Prof. Dr. Bernard Dell | Bernard Dell, Ph.D., Prof. |
| | Murdoch University | Murdoch University, Australia |
| | Assoc. Prof. Dr. Teresita D. Amore | Teresita D. Amore, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | University of Hawai‘i | University of Hawai‘i, United States |
| | Prof. Dr. Tomofumi Mochizuki | Tomofumi Mochizuki, Ph.D., Prof. |
| | Osaka Metropolitan University | Osaka Metropolitan University, Japan |
| | Prof. Dr. Won-Kyo Jung | Won-Kyo Jung, Ph.D., Prof. |
| | Pukyong National University | Pukyong National University, South Korea |
| | Assoc. Prof. Dr. Thilde Bech Bruun | Thilde Bech Bruun, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | University of Copenhagen | University of Copenhagen, Denmark |
| ฝ่ายการจัดการ | นางลาลิตยา นุ่มมีศรี | (Management) Lalitaya Nummisri |
| | นายมานพ เปี้ยพรรณ์ | Manop Pearpun |
| | นางสาวศิริลักษณ์ ใจเหล็ก | Sirilak Chailek |

# บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสาร Journal Of Agricultural Research And Communications ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน–ธันวาคม พ.ศ. 2569 ฉบับนี้ ประกอบด้วยบทความวิชาการภาษาไทย จำนวนทั้งสิ้น 5 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาสัตวศาสตร์ จำนวน 1 เรื่อง สาขาพืชสวน จำนวน 2 เรื่อง และสาขาพืชไร่ จำนวน 2 เรื่อง ซึ่งล้วนเป็นผลงานที่มีคุณค่าทางวิชาการและเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน นักวิจัย และผู้สนใจในสาขาเกษตรศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

วารสาร Journal of Agricultural Research and Communications ได้รับการประเมินคุณภาพวารสารและได้รับการจัดให้อยู่ในกลุ่มที่ 1 (Tier 1) ซึ่งนับเป็นอีกหนึ่งก้าวสำคัญของวารสารในการพัฒนาและยกระดับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง

ทางวารสาร เปิดรับบทความวิชาการทางเกษตร วิทยาศาสตร์เกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : agjournal22@gmail.com ขอให้ทุกท่านมีความสุข สุขภาพแข็งแรง ส่งผลงานวิจัยมาตีพิมพ์กันนะคะ และพบกันปีหน้าค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธาภรณ์

บรรณาธิการวารสาร

# การจัดการอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ ผลผลิต และองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมในฟาร์มโคนม จังหวัดพัทลุง

# Feeding Management, Feed Chemical Composition, Milk Yield, and Milk Composition in Dairy Farms, Phatthalung Province

**นิรมล ทองเต็ม ภรณ์ทิพย์ ทองมณี ธีระพงษ์ รัตนพันธุ์**
**สุรเชษ จำนงค์จิตร และสุภิญญา ชูใจ***
**Niramol Thongtem, Porntip Thongmanee, Teerapong Rattanphan,**
**Surachet Jamnongjit and Supinya Chuchai***

*คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช จ. นครศรีธรรมราช 80240*
*Faculty of Veterinary Science, Rajamangala University of Technology Srivijaya,*
*Nakhon Si Thammarat Campus, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand*

**Corresponding author: Email: supinya.c@rmutsv.ac.th*

*(Received: 21 August 2026; Revised: 29 September 2026 ; Accepted: 30 September 2026)*

**Abstract**: This study aimed to investigate feeding management, determine the chemical composition of feedstuffs, and evaluate milk yield and composition in 102 dairy farms in Phatthalung Province, Thailand. Farms were classified according to total herd size as small (≤37 cattle; 40 farms), medium (38–40 cattle; 30 farms), or large (≥41 cattle; 32 farms). Farm-level data were collected through interviews and farm records. Feed and bulk-tank milk samples were collected from four areas. Data were analyzed using one-way analysis of variance, followed by Duncan's multiple range test. Most farms used fresh grass as the primary roughage source (85.29%) and practiced group concentrate feeding (80.39%). Average milk yields did not differ among small, medium, and large farms, ranging from 13.35 to 13.69 kg/cow/day ($P$=0.929). Small farms provided more concentrate than medium and large farms ($P$<0.001), whereas large farms had a higher mean number of cows affected by mastitis ($P$<0.001). Concentrates had the highest crude protein concentration (17.04% of dry matter), while by-products contained the highest neutral detergent fiber, acid detergent fiber, and acid detergent lignin concentrations. Farm location did not affect milk fat, protein, or solids-not-fat concentrations ($P$>0.05), but significantly affected lactose concentration ($P$=0.008). The solids-not-fat concentrations across all areas were below the reference value of 8.25%.

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

These findings emphasize the need for dry matter-based feed analysis and ration formulation, production-based feeding, appropriate nutrient supplementation when using high-fiber by-products, and effective mastitis control to improve production efficiency and milk quality.

**Keywords:** feed quality, dairy cattle, milk yield, milk composition

**บทคัดย่อ:** การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจการจัดการอาหาร วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ และประเมินผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมในฟาร์มโคนมจังหวัดพัทลุงจำนวน 102 ฟาร์ม โดยจำแนกเป็นฟาร์มขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ โดยมีจำนวนฟาร์มเฉลี่ยแต่ละกลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 (ฟาร์มขนาดเล็ก มีโคนมทั้งหมดไม่เกิน 37 ตัว) กลุ่มที่ 2 (ฟาร์มขนาดกลาง มีโคนมทั้งหมด 38–40 ตัว) เท่ากับ 30 ฟาร์ม และกลุ่มที่ 3 (ฟาร์มขนาดใหญ่ มีโคนมทั้งหมดตั้งแต่ 41 ตัวขึ้นไป) จำนวนโคในฟาร์มเฉลี่ยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเท่ากับ 37, 39 และ 42 ตัว ตามลำดับ เก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์และบันทึกระดับฟาร์ม พร้อมเก็บตัวอย่างอาหารและน้ำนมจาก 4 พื้นที่ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s multiple range test ผลการศึกษาพบว่า ฟาร์มส่วนใหญ่ใช้หญ้าสดเป็นอาหารหยาบหลัก (85.29%) และให้อาหารข้นแบบรวมกลุ่ม (80.39%) ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ยของฟาร์มทั้งสามขนาดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยอยู่ระหว่าง 13.35–13.69 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ฟาร์มขนาดเล็กให้อาหารข้นสูงกว่าฟาร์มขนาดกลางและใหญ่ ($P$<0.001) ขณะที่ฟาร์มขนาดใหญ่มีจำนวนโคเต้านมอักเสบสูงกว่า ($P$<0.001) อาหารข้นมีโปรตีนหยาบสูงสุด 17.04% ของวัตถุแห้ง ส่วนผลพลอยได้มี NDF, ADF และ ADL สูงสุด พื้นที่ตั้งฟาร์มไม่มีผลต่อไขมัน โปรตีน และของแข็งไม่รวมไขมัน แต่มีผลต่อแลคโตส ($P$=0.008) โดยของแข็งไม่รวมไขมันทุกพื้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์อ้างอิง ผลการศึกษาสะท้อนถึงความจำเป็นในการวิเคราะห์อาหารและจัดสูตรบนฐานวัตถุแห้ง ให้อาหารตามระดับผลผลิต และควบคุมโรคเต้านมอักเสบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพน้ำนม

**คำสำคัญ:** คุณภาพอาหารสัตว์ โคนม ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม

## คำนำ

การเลี้ยงโคนมเป็นกิจกรรมทางการเกษตรที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารและการสร้างรายได้อย่างต่อเนื่องแก่เกษตรกร เนื่องจากน้ำนมโคเป็นแหล่งโปรตีน ไขมัน แลคโตส แร่ธาตุ และสารอาหารที่มีคุณค่าต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ผลผลิตและองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมมีความแปรผันตามพันธุกรรม ระยะการให้นม ลำดับการคลอด สุขภาพเต้านม สภาพแวดล้อม และการจัดการฟาร์ม โดยเฉพาะการจัดการอาหารซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เกษตรกรสามารถปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้โดยตรง ความต้องการโภชนะของแม่โครีดนมแตกต่างกันตามน้ำหนักตัว ระยะการให้นม ระดับผลผลิตน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และสถานะการตั้งท้อง การจัดการอาหารจึงต้องคำนึงถึงทั้งปริมาณอาหาร ความถี่ในการให้อาหาร ชนิดของวัตถุดิบ และความสมดุลระหว่างอาหารหยาบกับอาหารข้น โดยควรประเมินปริมาณและคุณค่าของอาหารบนฐานวัตถุแห้ง เนื่องจากอาหารแต่ละชนิดมีความชื้นแตกต่างกัน องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในการประเมินคุณภาพอาหาร ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส ลิกนิน และพลังงาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกินได้ การย่อยได้ การทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และการสังเคราะห์น้ำนม (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2021) อาหารหยาบเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของอาหารโคนม เพราะเป็นแหล่งเยื่อใยที่ช่วยกระตุ้นการเคี้ยวเอื้อง การหลั่งน้ำลาย การเคลื่อนไหวของกระเพาะรูเมน และการรักษาสมดุลความเป็นกรด–ด่างภายในรูเมน ปริมาณผนังเซลล์มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการ-

กินอาหาร ขณะที่ประสิทธิผลของเยื่อใยยังขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นอาหารและลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบ การให้อาหารข้นในสัดส่วนสูงอาจเพิ่มพลังงานและเอื้อต่อการผลิตน้ำนม แต่หากอาหารมีเยื่อใยที่มีประสิทธิผลไม่เพียงพอ อาจลดการเคี้ยวเอื้อง เปลี่ยนแปลงกระบวนการ-หมักในกระเพาะรูเมน เพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะกรดในกระเพาะรูเมน และลดปริมาณไขมันนมได้ ดังนั้น การจัดสมดุลระหว่างอาหารหยาบกับอาหารข้นจึงมีความสำคัญต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการผลิตของแม่โค (Cao *et al*., 2021; Olijhoek *et al*., 2022) โปรตีนและพลังงานในอาหารมีบทบาทต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มระดับโปรตีนหยาบเพียงอย่างเดียวอาจไม่ทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น หากอาหารขาดพลังงานที่หมักได้หรือมีความไม่สมดุลระหว่างโปรตีนกับพลังงาน นอกจากนี้ การให้โปรตีนสูงเกินความต้องการยังลดประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนและเพิ่มการขับไนโตรเจนสู่สิ่งแวดล้อม การจัดการอาหารจึงควรพิจารณาร่วมกันทั้งปริมาณและคุณภาพของอาหารหยาบ แหล่งโปรตีน ระดับพลังงาน ระยะการให้นม และศักยภาพการให้ผลผลิตของแม่โค (Chagas *et al*., 2021; Doran *et al*., 2022) ชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารยังอาจส่งผลต่อองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนม ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แลคโตส และของแข็งไม่รวมไขมัน โดยไขมันนมมีความไวต่อสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น ปริมาณและลักษณะทางกายภาพของเยื่อใย ชนิดของคาร์โบไฮเดรต และแหล่งไขมันในอาหาร ส่วนโปรตีนนมสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ โปรตีนเมแทบอไลซ์ และความสมดุลของกรดอะมิโน ขณะที่แลคโตสมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาตรน้ำนมผ่านแรงดันออสโมติก การศึกษาภายใต้สภาพเขตร้อนแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นและชนิดของวัตถุดิบมีผลต่อการกินอาหาร การย่อยได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ตลอดจนผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (Ouppamong *et al*., 2022; Sommai *et al*., 2023)

จังหวัดพัทลุงเป็นพื้นที่เลี้ยงโคนมที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคใต้ มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นและมีความแปรผันของปริมาณและคุณภาพพืชอาหารสัตว์ตามฤดูกาล ฟาร์มโคนมในพื้นที่ใช้อาหารหลากหลายชนิด เช่น หญ้าเนเปียร์ หญ้าอะตราตัม หญ้าแพงโกล่า ฟางข้าว ข้าวโพดหมัก อาหารข้นสำเร็จรูป อาหารผสมครบส่วน (TMR) กากเบียร์ และผลพลอยได้ทางการเกษตร ความแตกต่างด้านชนิดวัตถุดิบ ระยะเก็บเกี่ยว วิธีถนอมอาหาร คุณภาพอาหาร และรูปแบบการให้อาหารอาจทำให้แม่โคแต่ละฟาร์มได้รับวัตถุแห้ง โปรตีน พลังงาน และเยื่อใยแตกต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตและองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมมีความแปรผันระหว่างฟาร์ม แม้ว่าจะมีการศึกษาผลของวัตถุดิบและสูตรอาหารชนิดต่าง ๆ ต่อสมรรถนะของโคนมภายใต้สภาวะการทดลองแล้ว แต่ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่เกษตรกรใช้จริง ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมโคในจังหวัดพัทลุงยังมีจำกัด การ-รวบรวมข้อมูลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต่อการประเมินสถานการณ์การเลี้ยงโคนม การระบุข้อจำกัดด้านอาหารและโภชนะ และการพัฒนาแนวทางจัดการอาหารให้เหมาะสมกับทรัพยากรและระบบการผลิตของพื้นที่

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการอาหาร วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ ประเมินผลผลิตน้ำนม และศึกษาองค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมโคในฟาร์มโคนม จังหวัดพัทลุง ข้อมูลที่ได้จะเป็นพื้นฐานสำหรับการ-ปรับปรุงการจัดการอาหาร การเลือกใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และการส่งเสริมการผลิตน้ำนมที่มีคุณภาพอย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การดำเนินการวิจัย

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมที่เป็นสมาชิกของสหกรณ์โคนมพัทลุง จังหวัดพัทลุง โดยการสำรวจตามการดำเนินงานจริงของฟาร์ม ในช่วงเดือนสิงหาคม-เดือนพฤศจิกายน 2565 โดยทำการสำรวจจากประชากรสมาชิกทั้งหมด จำนวนทั้งสิ้น 102 ฟาร์มถูกจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตามจำนวนโคนมทั้งหมด โดยพิจารณาการกระจายของข้อมูล

และกำหนดจุดตัดใกล้เคียงกับค่าตำแหน่งเทอร์ไทล์ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ฟาร์มขนาดเล็ก มีโคนมทั้งหมดไม่เกิน 37 ตัว จำนวน 40 ฟาร์ม กลุ่มที่ 2 ฟาร์มขนาดกลาง มีโคนมทั้งหมด 38–40 ตัว จำนวน 30 ฟาร์ม และกลุ่มที่ 3 ฟาร์มขนาดใหญ่ มีโคนมทั้งหมดตั้งแต่ 41 ตัวขึ้นไป จำนวน 32 ฟาร์ม

**การเก็บข้อมูล**

ดำเนินการสำรวจเกษตรกรเลี้ยงโคในพื้นที่จังหวัดพัทลุงภายใต้การดูแลของสหกรณ์ฟาร์มโคนมพัทลุง ซึ่งมีสมาชิกทั้งหมด 102 ฟาร์ม ขอบเขตของกลุ่มตัวอย่าง โดยดำเนินการเก็บข้อมูลฟาร์ม ดังนี้ ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรและฟาร์ม จำนวนโคทั้งหมด จำนวนแม่โครีดนม และผลผลิตน้ำนม รูปแบบการจัดการการเลี้ยงและการให้อาหาร ชนิดและปริมาณอาหารข้นและอาหารหยาบ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

**การเก็บตัวอย่าง**

**การเก็บตัวอย่างน้ำนมโค**

เก็บตัวอย่างน้ำนมรวมจากถังเก็บน้ำนมของแต่ละฟาร์ม ภายหลังการกวนน้ำนมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บตัวอย่างปริมาตรไม่น้อยกว่า 30 มิลลิลิตร โดยทำการเก็บตัวอย่าง 4 ซ้ำต่อถัง ใส่ขวดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ภาชนะสะอาดที่มีฉลากระบุรหัสฟาร์ม วันที่ และเวลาเก็บตัวอย่าง เก็บรักษาตัวอย่างในภาชนะควบคุมอุณหภูมิประมาณ 2–8 องศาเซลเซียส และนำส่งห้องปฏิบัติการโดยเร็วเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำนมด้วยเครื่องวิเคราะห์น้ำนม Ultrasonic milk analyzer (ยี่ห้อ LACTOSCAN ผลิตโดยบริษัท Milkotronic Ltd. ประเทศผู้ผลิต บัลแกเรีย (Bulgaria)) โดยค่าที่วิเคราะห์ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งไม่รวมไขมัน

**การเก็บตัวอย่างอาหาร**

เก็บตัวอย่างอาหารข้นและอาหารหยาบ (หญ้าเนเปียร์ และหญ้าพลิแคทูลั่ม ที่ช่วงระยะการตัด 45-60 วัน และฟาง โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง จำนวน 102 ฟาร์ม โดยแบ่งอาหารออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 เก็บประมาณ 100 กรัม อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ เพื่อหาปริมาณวัตถุแห้งของอาหารในสภาพที่สัตว์กิน (as fresh) ส่วนที่ 2 เก็บประมาณ 300 กรัม อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร บรรจุในภาชนะปิดสนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียสเพื่อนำไปวิเคราะห์วัตถุแห้ง (DM) โปรตีนหยาบ (CP) และเถ้า (ash) ตามวิธีมาตรฐานของ Association of Official Analytical Chemist, (1990) วิเคราะห์ผนังเซลล์ (NDF) ลิกโนเซลลูโลส (ADF) และลิกนิน วิเคราะห์ตามวิธี detergent fiber ของ Van Soest *et al*. (1991)

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

ข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น รูปแบบการเลี้ยง และชนิดอาหาร นำเสนอเป็นจำนวนและร้อยละ ข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม รายงานผลในรูปแบบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดกรณีมีการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยการ-วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมัน 99% ($P<0.01$) ด้วยโปรแกรม R (R Core team, 2026)

$$Y_{ij}=\mu+\tau_i+\varepsilon_{ij}$$

เมื่อ $Y_{ij}$ คือค่าที่สังเกตจากฟาร์ม j ในกลุ่ม I, $\mu$ คือค่าเฉลี่ยรวม, $\tau_i$ คือ อิทธิพลของกลุ่ม และ $\varepsilon_{ij}$ คือความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของเศษเหลือและความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน หากพบความแตกต่างจาก ANOVA โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ $P<0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมัน 99% ด้วยโปรแกรม R (R Core team, 2026)

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

**ข้อมูลทั่วไป**

การจัดการอาหารหยาบ พบว่า ฟาร์มส่วนใหญ่จำนวน 87 ฟาร์ม หรือร้อยละ 85.29 ใช้หญ้าเนเปียร์และหญ้าพลิแคททูลัมเป็นอาหารหยาบหลัก ขณะที่ 15 ฟาร์ม หรือร้อยละ 14.71 ใช้อาหารหยาบหมักเป็นอาหารหยาบหลัก ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าฟาร์มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังพึ่งพาหญ้าสดเป็นแหล่งอาหารหยาบสำคัญ

ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับความพร้อมของพื้นที่ปลูกพืชอาหารสัตว์ แรงงานในการตัดและขนย้ายหญ้า ตลอดจนความคุ้นเคยของเกษตรกรในการจัดการอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม คุณค่าทางโภชนะของหญ้าสดอาจแปรผันตามชนิดพืช อายุการตัด ฤดูกาล การใส่ปุ๋ย และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก ดังนั้น การประเมินคุณภาพอาหารหยาบจึงควรพิจารณาทั้งปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีน พลังงาน เยื่อใย และความสามารถในการย่อยได้ อาหารหยาบมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของกระเพาะรูเมน การเคี้ยวเอื้อง การกินอาหาร และสุขภาพของโคนม ขณะที่ความต้องการสารอาหารของแม่โคแตกต่างกันตามน้ำหนักตัว ระยะการให้นม ระดับผลผลิต และสถานะทางสรีรวิทยา การจัดสูตรอาหารจึงควรทำให้แม่โคได้รับพลังงาน โปรตีน เยื่อใย แร่ธาตุ และวิตามินอย่างเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021) นอกจากนี้ คุณภาพของอาหารหยาบสามารถจำกัดปริมาณอาหารที่กินได้และผลผลิตน้ำนม โดยอาหารหยาบคุณภาพต่ำมักมีการย่อยได้ต่ำและอาจทำให้โคนมได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ การเสริมอาหารข้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของสารอาหารในสูตร แต่ต้องพิจารณาควบคู่กับต้นทุนการผลิตและความสมดุลของอาหารทั้งสูตร (Snitwong *et al*., 2000) แม้ว่าฟาร์มที่ใช้อาหารหมักเป็นอาหารหยาบหลักจะมีเพียงร้อยละ 14.71 แต่อาหารหมักมีบทบาทในการสำรองอาหารสำหรับช่วงที่หญ้าสดขาดแคลน และอาจช่วยให้ฟาร์มมีอาหารหยาบใช้อย่างต่อเนื่องตลอดปี อย่างไรก็ตาม คุณภาพของอาหารหมักขึ้นอยู่กับชนิดและระยะเก็บเกี่ยวของวัตถุดิบ ปริมาณความชื้น ขนาดการสับ การอัดแน่น สภาวะไร้อากาศ ระยะเวลาการหมัก และการจัดการหลังเปิดใช้ ดังนั้น การใช้อาหารหมักจึงควรพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และความปลอดภัยของอาหารร่วมกัน ไม่ควรพิจารณาจากชื่อชนิดอาหารเพียงอย่างเดียว ด้านรูปแบบการให้อาหารข้น พบว่าฟาร์มส่วนใหญ่จำนวน 82 ฟาร์ม หรือร้อยละ 80.39 ให้อาหารข้นแบบรวมกันโดยไม่ได้แยกรายตัว ขณะที่ 20 ฟาร์ม หรือร้อยละ 19.61 ให้อาหารข้นแบบรายตัว การให้อาหารข้นแบบรวมกลุ่มอาจช่วยลดขั้นตอนและแรงงานในการจัดการ แต่มีข้อจำกัดในการควบคุมปริมาณอาหารที่โคแต่ละตัวได้รับ โดยเฉพาะเมื่อโคภายในกลุ่มมีน้ำหนักตัว ระยะการให้นม ลำดับการคลอด และระดับผลผลิตแตกต่างกัน โคที่มีลำดับชั้นทางสังคมต่ำอาจเข้าถึงอาหารได้น้อยกว่าโคตัวอื่น หากพื้นที่รางอาหารหรือปริมาณอาหารไม่เพียงพอในทางตรงกันข้าม การให้อาหารข้นแบบรายตัวทำให้สามารถปรับปริมาณอาหารตามระดับผลผลิตและความต้องการของแม่โคแต่ละตัวได้ละเอียดขึ้น แต่ต้องอาศัยการบันทึกข้อมูลผลผลิตรายตัว แรงงาน และระบบบริหารจัดการที่เหมาะสม หลักการให้อาหารโคนมจึงควรคำนึงถึงปริมาณอาหารที่กินได้ ระดับผลผลิต ระยะการให้นม และความต้องการสารอาหารของโคแต่ละกลุ่ม เพื่อให้สัตว์ได้รับสารอาหารเพียงพอโดยไม่ให้อาหารข้นมากหรือน้อยเกินไป (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021) การจัดอาหารผสมครบส่วนหรือ TMR เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้โคได้รับอาหารหยาบและอาหารข้นในสัดส่วนที่สม่ำเสมอ แต่ประสิทธิผลของระบบดังกล่าวขึ้นอยู่กับความถูกต้องของสูตรอาหาร คุณภาพวัตถุดิบ ความสม่ำเสมอของการผสม และการจัดการให้อาหารภายในฟาร์ม (Sova *et al*, 2014) (Table 1)

ผลของขนาดฟาร์มต่อลักษณะการผลิตและการจัดการอาหาร (Table 2) จำนวนแม่โครีดนมและจำนวนโคดรายไม่แตกต่างกันระหว่างฟาร์มขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ (P=0.532 และ *P*=0.145 ตามลำดับ) เช่นเดียวกับผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13.64, 13.35 และ 13.69 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ (*P*=0.929) โดยฟาร์มที่มีขนาดใหญ่ กลุ่ม 3 กลับมีจำนวนโคน้อยที่สุดหรือไม่แตกต่างกับฟาร์มที่มีจำนวนขนาดเล็ก (กลุ่ม 1) เพราะจำนวนโคทั้งหมดประกอบด้วย ลูกโค และโคนมตัวผู้ (โคขุน) 8.67 และ 10.00 ตัว/ฟาร์ม โดยพบว่าจำนวนโคนมเพศผู้ (โคขุน) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนจำนวนลูกโค ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งทำให้สัดส่วนแม่โครีดนมต่ำ โดยพบจำนวนโครีดนมเฉลี่ยใกล้เคียงหรือต่ำกว่าฟาร์มขนาดเล็ก ปริมาณอาหารหยาบที่ให้แก่โคนมไม่แตกต่างกันระหว่างฟาร์มทั้งสามกลุ่ม โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 37.91–38.60 กิโลกรัมต่อตัว

Table 1. General characteristics and feeding management practices of dairy farms included in this study.

| Item | Number of farms (n) | Percentage (%) |
|---|---|---|
| **Farmer's Gender** | | |
| Male | 70 | 68.63 |
| Female | 32 | 31.37 |
| **Dairy farming experience** | | |
| < 10 years | 51 | 50.00 |
| ≥ 10 years | 51 | 50.00 |
| **Primary roughage source** | | |
| Fresh grass | 87 | 85.29 |
| Silage | 15 | 14.71 |
| **Concentrate offered** | | |
| individually to each cow | 20 | 19.61 |
| a group-feeding basis | 82 | 80.39 |

Table 2. Effects of farm group on milk yield, herd characteristics, and feed allowance.

| Variable | Group 1 | Group 2 | Group 3 | SEM[1] | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| Total number of farm | 40 | 30 | 32 | - | - |
| Number of cows (head/farm) | 35.57 | 40.98 | 43.30 | - | - |
| Lactating cows (head/farm) | 20.25 | 19.00 | 18.91 | 0.98 | 0.53 |
| Dry cows (head/farm) | 3.25 | 4.33 | 3.72 | 0.39 | 0.14 |
| Calves (head/farm) | 6.84 | 8.10 | 8.67 | 0.77 | 0.20 |
| Fattening dairy cattle (head/farm) | $4.23^{c}$ | $8.28^{b}$ | $10.00^{a}$ | 0.28 | <0.001 |
| Cows with mastitis (head/farm) | $1.00^{b}$ | $0.67^{b}$ | $2.00^{a}$ | 0.16 | <0.001 |
| Milk yield (kg/cow/day) | 13.64 | 13.35 | 13.69 | 0.64 | 0.92 |
| Roughage allowance (kg DM/cow/day) | 38.58 | 38.60 | 37.91 | 0.65 | 0.69 |
| Concentrate allowance (kg DM /cow/day) | $7.75^{a}$ | $6.33^{b}$ | $6.41^{b}$ | 0.24 | <0.001 |

[1] The pooled SEM was adjusted using the harmonic mean because the number of farms differed among groups.
[a, b, c] Means within the same row bearing different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

ต่อวัน บนฐานวัตถุแห้ง ($P$=0.697) ขณะที่ปริมาณอาหารข้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P$<0.001) โดยฟาร์มขนาดเล็กให้อาหารข้นเฉลี่ย 7.75 กิโลกรัมของวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน ซึ่งสูงกว่าฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ให้เฉลี่ย 6.33 และ 6.41 กิโลกรัมของวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน เนื่องจากในจำนวนโคทั้งหมดเป็นโคนมเพศผู้ที่มีน้ำหนักมากกว่า 300 กิโลกรัมจึงทำให้มีค่าปริมาณอาหารข้นที่เยอะกว่า ซึ่งทางฟาร์มเลี้ยงและให้อาหารร่วมกับโคนมประเภทอื่นร่วมด้วย ซึ่งส่งผลให้ปริมาณอาหารข้นที่ให้แตกต่างจากกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ตามลำดับ

**องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบ**

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบ ดังแสดงใน Table 3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นหญ้าเนเปียร์ หญ้าพลิแคททูลั่ม อาหารหมัก

และฟาง พบว่า อาหารข้นที่เกษตรกรเลี้ยงโคนมมีองค์ประกอบทางเคมีของ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เถ้า ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินเท่ากับ 93.31, 17.04, 14.03, 37.20, 29.11 และ 1.65 ตามลำดับ หญ้าเนเปียรที่เกษตรกรเลี้ยงโคนมมีองค์ประกอบทางเคมีของ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เถ้า ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินเท่ากับ 19.26, 6.87, 8.03, 68.54, 45.04 และ 4.85 ตามลำดับ หญ้าพลิแคททูลั่มที่เกษตรกรเลี้ยงโคนมมีองค์ประกอบทางเคมีของ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เถ้า ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินเท่ากับ 22.80, 6.27, 8.27, 72.00, 35.70 และ 4.34 ตามลำดับ และอาหารหยาบหมักที่เกษตรกรเลี้ยงโคนมมีองค์ประกอบทางเคมีของ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เถ้า ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนินเท่ากับ 31.30, 10.58, 6.22, 54.40, 37.10 และ 4.12 ตามลำดับ (Table 3) สะท้อนบทบาทของอาหารข้นในการเสริมโปรตีนและสารอาหารให้แก่แม่โครีดนม อย่างไรก็ตาม การจัดสูตรอาหารควรพิจารณาร่วมกับระดับผลผลิตน้ำนม น้ำหนักตัว ระยะการให้นม ปริมาณอาหารที่กินได้ และองค์ประกอบของอาหารโดยรวม เนื่องจากความต้องการสารอาหารของแม่โคแตกต่างกันตามสถานะทางสรีรวิทยาและระดับการผลิต (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021) ส่วนของฟาง พบว่าองค์ประกอบทางเคมี มีโปรตีนหยาบต่ำที่สุด แต่มีค่า NDF ADF และ ADL สูงที่สุด แสดงถึงการมีสัดส่วนผนังเซลล์และลิกนินสูง เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารประเภทอื่น ค่า NDF มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกินอาหารของสัตว์ ส่วนค่า ADF และลิกนินสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอาหาร โดยทั่วไปเมื่อสัดส่วนเยื่อใยและลิกนินเพิ่มขึ้น ความสามารถในการย่อยและการใช้ประโยชน์จากอาหารมีแนวโน้มลดลง (Van Soest *et al*., 1991) โดยการใช้ฟางเป็นอาหารหยาบหลักเพียงชนิดเดียวอาจไม่สามารถสนับสนุนความต้องการสารอาหารของแม่โครีดนมได้อย่างเพียงพอ โดยเฉพาะโคที่ให้ผลผลิตสูง โปรตีนหยาบของผลพลอยได้ที่พบในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับร้อยละ 4.15 ของวัตถุแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปมีโปรตีนหยาบประมาณร้อยละ 3–6 และมีผนังเซลล์สูง จึงมักใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบในช่วงที่อาหารคุณภาพดีขาดแคลน (Aquino *et al*., 2020) ดังนั้น หากใช้ฟางในสัดส่วนสูง ควรเสริมอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงาน หรือใช้วิธีปรับปรุงคุณภาพฟาง เพื่อเพิ่มการกินได้และการใช้ประโยชน์จากสารอาหารหญ้าเนเปียร์สดมีโปรตีนหยาบร้อยละ 6.87 และมีค่า NDF และ ADF ร้อยละ 68.54 และ 45.04 ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ จัดว่ามีคุณค่าทางโภชนะสูงกว่าฟาง ปริมาณโปรตีนและสัดส่วนเยื่อใยต่ำกว่า ส่วนอาหารหยาบหมักมีโปรตีนหยาบร้อยละ 10.58 และมีค่า NDF คือ ร้อยละ 54.40 ของวัตถุแห้ง ซึ่งอาจเอื้อต่อการกินได้และการใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม คุณค่าของอาหารหมักขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ ระยะเก็บเกี่ยว ขนาดการสับ ความชื้น กระบวนการหมัก และสภาพการเก็บรักษา จึงควรพิจารณาคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพการหมักร่วมกับองค์ประกอบทางเคมี โดยอาหารแต่ละประเภทมีลักษณะทางโภชนะแตกต่างกันอย่างชัดเจน อาหารข้นเป็นแหล่งโปรตีนสำคัญ หญ้าสดและอาหารหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีโปรตีนสูง ขณะที่ฟางมีโปรตีนต่ำและมีเยื่อใยสูง การจัดอาหารสำหรับแม่โครีดนมจึงควรผสมผสานวัตถุดิบหลายประเภทให้มีโปรตีน พลังงาน และเยื่อใยที่เหมาะสม โดยไม่ควรประเมินความ-เหมาะสมของสูตรอาหารจากวัตถุดิบชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021)

**องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมโค**

องค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมจำแนกตามกลุ่มตามจำนวนโคทั้งหมดในฟาร์ม จำนวนทั้งสิ้น 102 ฟาร์มถูกจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตามจำนวนโคนมทั้งหมด โดยพิจารณาการกระจายของข้อมูลและกำหนดจุดตัดใกล้เคียงกับค่าตำแหน่งเทอร์ไทล์ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ฟาร์มขนาดเล็ก มีโคนมทั้งหมดไม่เกิน 37 ตัว จำนวน 40 ฟาร์ม กลุ่มที่ 2 ฟาร์มขนาดกลาง มีโคนมทั้งหมด 39 ตัว จำนวน 30 ฟาร์ม และกลุ่มที่ 3 ฟาร์มขนาดใหญ่ มีโคนมเฉลี่ย 43 ตัว จำนวน 32 ฟาร์ม ดังแสดงใน Table 4 องค์ประกอบทางโภชนะของน้ำนมพบว่า ปริมาณไขมันนม ของแข็งไม่รวมไขมัน (solids-not-fat; SNF) และโปรตีนนมไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($P$>0.05) โดยปริมาณไขมันนมของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 4.33, 3.84 และ 3.96% ตามลำดับ ($P$=0.35) ค่าเฉลี่ยดังกล่าวสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตรสำหรับน้ำนมโคดิบของ

**Table 3. Chemical composition of different feed types.**

| Chemical composition | Concentrate | Napier grass | Plicatulum grass | Silage | Rice Straw |
|---|---|---|---|---|---|
| Dry matter (% as-fed) | 93.31 | 19.26 | 22.80 | 31.30 | 89.58 |
| Crude protein (% DM) | 17.04 | 6.87 | 6.27 | 10.58 | 4.15 |
| Ash (% DM) | 14.03 | 8.03 | 8.27 | 6.22 | 10.08 |
| Neutral detergent fiber (% DM) | 37.20 | 68.54 | 72.00 | 54.40 | 76.47 |
| Acid detergent fiber (% DM) | 29.11 | 45.04 | 35.70 | 37.10 | 40.55 |
| Acid detergent lignin (% DM) | 1.65 | 4.85 | 4.34 | 4.12 | 4.50 |

Abbreviations: DM, dry matter; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin.

All chemical components are expressed on a dry matter basis, except dry matter, which is expressed on an as-fed basis.

**Table 4. Effects of farm group on milk composition by farm location**

| Variable (%) | Group 1 | Group 2 | Group 3 | SEM[1] | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| Milk fat (F) | 4.33 | 3.84 | 3.96 | 0.21 | 0.35 |
| Lactose (L) | 4.26[a] | 4.15[ab] | 4.22[a] | 0.03 | <0.01 |
| Solids-not-fat (SNF) | 7.69 | 7.55 | 7.21 | 0.24 | 0.47 |
| Milk protein (P)[2] | 2.80 | 2.76 | 3.13 | 0.14 | 0.37 |

[1] The pooled SEM was adjusted using the harmonic mean of the number of farms because the number of farms differed among groups.

[2] Calculated using the original dataset, in which the morning milk protein concentration at Manop Farm was reported as 4.41%.

[a,b] Means within the same row bearing different superscripts differ significantly ($P < 0.01$).

ประเทศไทย ซึ่งกำหนดให้มีไขมันไม่น้อยกว่า 3.35% โดยน้ำหนัก (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards , 2010) แสดงให้เห็นว่าน้ำนมจากทั้งสามกลุ่มมีปริมาณไขมันอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มอาจเนื่องมาจากแม่โคได้รับอาหารที่มีปริมาณเยื่อใยและโภชนะในอาหารสำหรับการสังเคราะห์ไขมันนมใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ไขมันนมยังได้รับอิทธิพลจากสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นชนิดของคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไขมันในอาหาร ระยะการให้นม และพันธุ์

ปริมาณแลคโตสของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 4.26, 4.15 และ 4.22% ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.01) แลคโตสเป็นคาร์โบไฮเดรตหลักของน้ำนมซึ่งสังเคราะห์จากกลูโคสภายในต่อมน้ำนม และมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมแรงดันออสโมติกและปริมาตรน้ำนม ความแตกต่างของแลคโตสระหว่างกลุ่มจึงอาจสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานและกลูโคสที่แม่โคได้รับ ระดับผลผลิตน้ำนม ระยะการให้นม สมดุลพลังงาน และสุขภาพเต้านม โดยมีรายงานว่าปริมาณแลคโตสที่ลดลงสามารถสัมพันธ์กับภาวะสมดุล

พลังงานติดลบและความผิดปกติของสุขภาพเต้านม (Hamon *et al*., 2024)

ปริมาณ ของแข็งไม่รวมไขมัน (solids-not-fat; SNF) ของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 7.69, 7.55 และ 7.21% ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P$=0.47) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำนมโคดิบของประเทศไทย ซึ่งกำหนดให้มีของแข็งไม่รวมไขมัน ไม่น้อยกว่า 8.25% โดยน้ำหนัก (ACFS, 2010) เนื่องจากค่าของแข็งไม่รวมไขมัน ประกอบด้วยโปรตีน แลคโตส แร่ธาตุ และของแข็งอื่นที่ไม่ใช่ไขมัน ค่าของแข็งไม่รวมไขมันที่ต่ำอาจสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนและแลคโตสในน้ำนมที่ค่อนข้างต่ำ ความไม่สมดุลของพลังงานและโปรตีนในอาหาร ปริมาณการกินวัตถุแห้งไม่เพียงพอ ระยะการให้นม ผลผลิตน้ำนม หรือสุขภาพเต้านม

ปริมาณโปรตีนนมของกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 2.80, 2.76 และ 3.13% ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P$=0.37) แม้ว่ากลุ่มที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำนมโคดิบที่กำหนดปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 3.00% พบว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ ขณะที่กลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยผ่านเกณฑ์ การสังเคราะห์โปรตีนนมขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ โปรตีนเมแทบอไลซ์ การสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์ในรูเมน ความสมดุลของกรดอะมิโน และปริมาณการกินวัตถุแห้ง โดย NASEM (2021) ระบุว่าการประเมินความเพียงพอของโปรตีนในโคนมควรพิจารณาทั้งโปรตีนเมแทบอไลซ์และกรดอะมิโนที่จำเป็น ไม่ควรพิจารณาจากระดับโปรตีนหยาบในอาหารเพียงอย่างเดียว

## สรุป

การสำรวจฟาร์มโคนมจำนวน 102 ฟาร์มในจังหวัดพัทลุง พบว่าระบบการจัดการอาหารส่วนใหญ่พึ่งพาหญ้าสดเป็นอาหารหยาบหลัก (หญ้าเนเปียร์ หญ้าพลิแคททูลั่ม) และมีการใช้ฟางข้าว การให้อาหารข้นเป็นอาหารสำเร็จรูปที่รับจากสหกรณ์ แต่มีการเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันร่วมด้วย การให้เป็นการให้แบบรวมกลุ่ม ไม่ได้แยกเป็นรายตัว โดยแบ่งเป็นเกษตรกรร้อยละ 85.29 ใช้หญ้าสดเป็นอาหารหยาบหลัก ขณะที่ร้อยละ 14.71 ใช้อาหารหยาบหมัก ส่วนการให้อาหารข้นพบว่า ร้อยละ 80.39 และร้อยละ 19.61 ตามลำดับ จำนวนโคทั้งหมดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแบ่งแยกชนิดโคกำลังให้ผลผลิตน้ำนม โคดราย และลูกโค ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยจำนวนโคนมเพศผู้ (โคขุน) โคที่เป็นเต้านมอักแสบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โคนมกลุ่มที่ 3 มีจำนวนโคทั้งฟาร์มสูงสุดเท่ากับ 10.00 และ 2.00 ต่อตัวต่อฟาร์มตามลำดับ ผลผลิตน้ำนมของฟาร์มทั้งสามกลุ่มอยู่ระหว่าง 13.35–13.69 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และปริมาณอาหารหยาบที่ให้ทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อยู่ใยช่วง 37.91 – 38.60 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่มที่ 1 มีค่าสูงสุด 7.75 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน องค์ประกอบทางเคมีของอาหารโดยแบ่งออกเป็น อาหารข้น หญ้าเนเปียร์ หญ้าพลิแคทูลัม และฟาง องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมทั้ง 3 กลุ่ม ปริมาณไขมันนม อยู่ในช่วง 3.96-4.33 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งไม่รวมไขมัน อยู่ในช่วง 4.15-4.26 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโปรตีนนมอยู่ในช่วง 2.80-3.13 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแลคโตสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยกลุ่มที่ 3 มีค่าสูงสุด (4.22 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มที่ 1 (4.26 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช ทุ่งใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจังหวัดพัทลุง ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Aquino, D., A.N. Del Barrio, N.X. Trach, N.T. Hai, D.N. Khang, N.T. Toan and N.V. Hung. 2020. Rice straw-based fodder for

ruminants. *In:* M. Gummert, N.V. Hung, P. Chivenge, and B. Douthwaite (eds.). Sustainable rice straw management. Springer, Cham.

Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed.. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia. 1298 p.

Cao, Y., D. Wang, L. Wang, X. Wei, X. Li, C. Cai, X. Lei and J. Yao. 2021. Physically effective neutral detergent fiber improves chewing activity, rumen fermentation, plasma metabolites, and milk production in lactating dairy cows fed a high-concentrate diet. Journal of Dairy Science 104(5): 5631-5642.

Chagas, L.J., C.D.A. Batalha, M.A.C. Danés, J.M. Santos Neto and F.A.P. Santos. 2021. Protein supplementation to early lactation dairy cows grazing tropical grass: Performance and ruminal metabolism. Animal Science Journal 92(1): e13564, doi: 10.1111/asj.13564.

Doran, M. J., F.J. Mulligan, M.B. Lynch, A.G. Fahey, N.J. Ryan, C. McDonnell, S. McCabe and K.M. Pierce. 2022. Effect of supplement crude protein concentration on milk production over the main grazing season and on nitrogen excretion in late-lactation grazing dairy cows. Journal of Dairy Science 105(1): 347-360.

Department of Livestock Development. 2020. A study of the relationship between good agricultural practices and daily milk quality. Bureau of Livestock Products Standards and Certification, Prathum Thani. 22 p. (in Thai).

Hamon, A., S. Dufour, D. Kurban, S. Lemosquet, R. Gervais and J. Guinard-Flament. 2024. Decreased lactose percentage in milk associated with udder health disorders and negative energy balance in dairy cows. Journal of Dairy Science 107(7): 5041-5053.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. Nutrient requirements of dairy cattle 8th ed. Consensus Study Report. The National Academies Press, Washington, DC 502 p.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2010. Thai Agricultural Standard TAS 6003-2010: Raw cow milk. Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Olijhoek, D.W., A.L.F. Hellwing, S.J. Noel, P. Lund, M. Larsen, M.R. Weisbjerg and C.F. Børsting. 2022. Feeding up to 91% concentrate to Holstein and Jersey dairy cows: Effects on enteric methane emission, rumen fermentation and bacterial community, digestibility, production, and feeding behavior. Journal of Dairy Science 105(12): 9523-9541.

Ouppamong, T., N. Gunun, C. Tamkhonburee, P. Khejornsart, C. Kaewpila, P. Kesorn, T. Kimprasit, A. Cherdthong, M. Wanapat, S. Polyorach, S. Foiklang and P. Gunun. 2022. Fermented rubber seed kernel with yeast in the diets of tropical lactating dairy cows: Effects on feed intake, hematology, microbial protein synthesis, milk yield and milk composition. Veterinary Sciences 9(7): 360, doi: 10.3390/vetsci9070360.

Polyorach, S., R. Nampukdee, M. Wanapat, S. Kang, A. Cherdthong, O. Poungchompu,

P. Gunun, N. Gunun, S. Foiklang, A. Thinowong, Y. Jindatajak, A. Lapmee and T. Norrapoke. 2023. Microbial fermented liquid supplementation improves nutrient digestibility, feed intake, and milk production in lactating dairy cows fed total mixed ration. Animals 13(5): 933, doi: 10.3390/ani13050933.

Phaothong, S., P. Puiphanthawong and W. Ritruachai. 1998. A survey of dairy farming practices among farmers in Phang Khwang Subdistrict, Mueang District, Sakon Nakhon Province. Research Report. Animal Nutrition Division, Department of Livestock Development, Bangkok, pp. 313 (in Thai).

Snitwong, C., T. Suwangumjai and S. Thinnakorn. 2000. Effects of protein levels in concentrate diets on milk production of lactating dairy cows fed low-quality roughage. Research Report. Animal Nutrition Division, Department of Livestock Development, Bangkok, pp. 192. (in Thai).

Sommai, S., M. Wanapat, R. Prachumchai and A. Cherdthong. 2023. Effect of Brazilian spinach (*Alternanthera sissoo*) pellet supplementation and dietary ratios on rumen characteristics, microorganisms, methane production, milk yield, and milk composition in dairy cows. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 107(6): 1336-1346.

Sommai, S., M. Wanapat, R. Prachumchai and A. Cherdthong. 2023. Effect of Brazilian spinach (*Alternanthera sissoo*) pellet supplementation and dietary ratios on rumen characteristics, microorganisms, methane production, milk yield, and milk composition in dairy cows. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 107(6): 1336-1346.

Sova, A. D., S.J. LeBlanc, B.W. McBride and T.J. DeVries. 2014. Accuracy and precision of total mixed rations fed on commercial dairy farms. Journal of Dairy Science 97(1): 562-571.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597.

# ผลของ 6-benzyladenine และการผ่าชิ้นส่วนยอดตามแนวยาว ต่อการเกิดหน่อใหม่ของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในสภาพปลอดเชื้อ

# Effects of 6-benzyladenine and Longitudinal Explant Halving on *In Vitro* Plantlets Proliferation of 'Namwa Pak Chong 50' Banana

**พันทิพา ลิ้มสงวน ธีรยุทธ คล้ำชื่น เยาวรัตน์ วงศ์ศรีสกุลแก้ว และ ประวิทย์ ธรรมทะ***

**Pantipa Limsanguan, Teerayut Klumchaun, Yaowarat Wongsrisakulkaew and Prawit Thammatha***

*คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12130*

*Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130, Thailand*

**Corresponding author: Email: prawit_t@rmutt.ac.th*

*(Received: 19 April 2024; Revised: 29 September 2026 ; Accepted: 30 September 2026)*

**Abstract**: The effects of plant growth regulator 6 benzyladenine (BA) and longitudinal explant halving on *in vitro* plantlets proliferation in 'Namwa Pak Chong 50' banana was studied. The experimental design was factorial in CRD with 12 replications, each of one plantlet per replication. The *in vitro* shoots of banana were cut to 1 cm length, leaves were discarded and stem part were cultured on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with 0, 1, 3, and 5 mg/L of BA. Two explant preparations (whole stem and longitudinally halved stem) were tested for 8 weeks with one subculture at the $4^{th}$ week. The results revealed that different BA concentration yielded significantly different in shoot proliferation. BA at 3 mg/L yielded 3.50±0.64 shoots which was not statistically different from 5 and 1 mg/L BA which yielded 2.64±0.75 and 2.64±0.61 shoots, respectively. These shoot numbers were higher than those without BA. For explant preparation, the statistical analysis showed significantly difference that the longitudinally halved stem yielded 3.93±0.67 shoots, while the whole stem yielded 1.10±0.08 shoots. There was also interaction of BA and explant preparation on shoot proliferation. Halved stem cultured on MS medium containing 1, 3 and 5 mg/L BA produced higher number of shoots than other protocols.

**Keywords:** Tissue culture, cytokinin, banana, longitudinal explant halving

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: การศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต BA และการผ่าครึ่งยอดตามแนวยาว ต่อการเพิ่มจำนวนหน่อของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในสภาพปลอดเชื้อ วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลในแผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์กรรมวิธีละ 12 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น ซึ่งทดลองโดยนำเนื้อเยื่อต้นกล้วยในสภาพปลอดเชื้อ มาตัดใบออกให้เหลือเฉพาะส่วนโคนยาว 1 เซนติเมตร นำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้วิธีการเตรียมเนื้อเยื่อสำหรับเพาะเลี้ยง 2 วิธีการ คือ เพาะเลี้ยงทั้งต้น และเพาะเลี้ยงโดยผ่าแบ่งครึ่งชิ้นส่วนยอดตามแนวยาว โดยเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนอาหารในสัปดาห์ที่ 4 ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ BA มีผลต่อจำนวนหน่อใหม่ที่เกิดขึ้น โดยการใช้ BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เกิดหน่อใหม่ 3.50±1.16 หน่อ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่เติม BA ความเข้มข้น 5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เกิดหน่อใหม่ 2.64±0.75 และ 2.64±0.61 หน่อ ตามลำดับ แต่จำนวนหน่อนี้สูงกว่าหน่อที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ไม่เติม BA สำหรับวิธีการผ่าและไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดนั้น มีผลต่อจำนวนหน่อใหม่ที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการผ่าและไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดให้จำนวนหน่อ 3.93±0.67 และ 1.10±0.08 หน่อ ตามลำดับ และพบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ BA และวิธีการผ่าชิ้นส่วนยอดต่อจำนวนหน่อใหม่ที่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งวิธีการผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA 1, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนหน่อมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ

**คำสำคัญ:** การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ไซโทไคนิน กล้วย การผ่าลำต้น

## คำนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกกล้วยเป็นอันดับ 2 ของอาเซียน รองจากฟิลิปปินส์ และอยู่ในอันดับที่ 18 ของโลก เนื่องจากความได้เปรียบด้านสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก รวมถึงสิทธิประโยชน์และความได้เปรียบทางการค้าจากความตกลงการค้าเสรี (Free Trade Agreements: FTAs) โดยในช่วง 7 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยส่งออกกล้วยสดไปยังประเทศคู่ค้า FTA คิดเป็นมูลค่า 6.9 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือร้อยละ 99.47 ของมูลค่าการส่งออกกล้วยสดทั้งหมด โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น และประเทศสมาชิกอาเซียน (Prachachat Business, 2020)

กล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญในด้านเศรษฐกิจ โดยมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อส่งออกไปยังต่างประเทศ กล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 เป็นพันธุ์ที่สถานีวิจัยปากช่องได้พัฒนาและคัดเลือกสายพันธุ์ โดยกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ให้ผลผลิตสูง น้ำหนักเครือเฉลี่ย 30 กิโลกรัม มีจำนวนหวี 10 หวีขึ้นไป และให้จำนวนผลถึง 18 ผลต่อหวี ผลกล้วยมีขนาดใหญ่ ทรงกระบอกสม่ำเสมอ ไส้กลางมีสีเหลืองไม่แข็ง เปลือกไม่บางจนเกินไป เนื้อแน่นเหนียวนุ่มและมีรสชาติที่หวานมัน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งการบริโภคและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับความสนใจจากเกษตรกรและผู้ที่สนใจอย่างกว้างขวาง (Kasetsart University Research and Development Institute, 2020)

การขยายพันธุ์กล้วยส่วนใหญ่มักใช้วิธีการแยกหน่อ แต่มักพบปัญหาโรคที่ติดมากับหน่อพันธุ์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบการผลิตอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดและอายุของหน่อพันธุ์ที่แยกมานั้นไม่เท่ากัน ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกษตรกรไม่สามารถทำตารางการผลิตที่แน่นอนได้ และเมื่อมีการปลูกกล้วยเพิ่มมากขึ้นยังพบว่ามีปัญหาที่ตามมา คือจำนวนหน่อที่ใช้สำหรับการขยายพันธุ์นั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร (Silayoi, 2015) การขยายพันธุ์พืชเพื่อให้ได้ต้นพันธุ์ที่มีอายุเท่ากันนั้นมักใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเข้ามาช่วย ซึ่งทำให้ได้ต้นพืชที่มีลักษณะตรงตามพันธุ์เดิม ขนาดต้นสม่ำเสมอ สามารถขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว ทำให้มีจำนวนต้นเพียงพอ และยังออกปลูกได้ตลอดปี ทำให้ง่ายต่อการจัดการและการวางแผนการผลิต อย่างไรก็ตามการเจริญและการพัฒนาของเซลล์และเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยงภายใต้อาหารสังเคราะห์ถูกควบคุมด้วยปัจจัยภายนอก เช่น องค์ประกอบของอาหาร

เพาะเลี้ยง อุณหภูมิ แสง และปัจจัยภายในพืชเอง เช่น ชนิดและสายพันธุ์ของพืช ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ได้ ในประเด็นของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้น สารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยส่วนใหญ่การเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์มักใช้สารกลุ่มไซโทไคนินเพื่อกระตุ้นให้มีการเกิดหน่อมากขึ้น (Silayoi, 2015) เช่น 6-benzyladenine (BA) และ kinetin นอกจากนี้ยังพบว่าการผ่าแบ่งลำต้นเป็นวิธีการทำลายตายอด ซึ่งเป็นการรบกวนกระบวนการทางสรีรวิทยา ทำให้พืชมีการสร้างออกซินลดลง ทำให้สมดุลของฮอร์โมนในกลุ่มออกซินและไซโทไคนินในพืชเปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดการกระตุ้นการพัฒนาของตาข้าง และพัฒนาเป็นหน่อใหม่ได้มากขึ้น (Swamy *et al.*, 1983)

งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต BA และศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดต้นใหม่มากที่สุด Al-Amin *et al.* (2009) ได้ทำการเพิ่มปริมาณกล้วยหอมด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชโดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต BA และ α-Naphthaleneacetic acid (NAA) ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า BA ความเข้มข้น 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดมากที่สุด นอกจากนี้ Uma *et al.* (2011) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอและการพัฒนาเป็นต้นกล้วย พบว่าการนำเอ็มบริโอที่มีการเจริญเติบโต 90 เปอร์เซ็นต์ มาเพาะเลี้ยงในสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ร่วมกับ IAA สามารถเกิดเป็นต้นได้ Charoenwattana *et al.* (2018) ได้ขยายพันธุ์กล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 ด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มจำนวนยอดได้สูงสุดเฉลี่ย 10.00 ยอดต่อชิ้นส่วน และ Kaewsompong *et al.* (1992) รายงานว่าการเพิ่มปริมาณต้นกล้วยในสภาพปลอดเชื้อ สามารถทำได้โดยการผ่าแบ่งลำต้นแล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่มีน้ำมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ และ BAP 5 หรือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าในการศึกษาที่กล่าวมาแล้วมีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มเดียวกัน แต่ก็มีการเลือกใช้ชนิดของสารที่แตกต่างกัน รวมทั้งยังใช้ความเข้มข้นที่ต่างกันอีกด้วย ทั้งนี้เพราะความสำเร็จของการชักนำให้เกิดยอดนั้นนอกจากขึ้นอยู่กับอาหารเพาะเลี้ยงและสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เติมลงไปแล้ว ชนิดของเนื้อเยื่อและพันธุกรรมของพืชก็มีผลอย่างมากเช่นกัน Gahan and George (2008) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ BA และการผ่ายอดตามแนวยาว ต่อการเกิดหน่อใหม่ของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในสภาพปลอดเชื้อ ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คาดว่าจะได้วิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่สามารถผลิตต้นพันธุ์กล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 ได้มากขึ้น

## อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเกิดหน่อใหม่ในกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในสภาพปลอดเชื้อ วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (2x4) ในแผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) จำนวน 12 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ วิธีการผ่าชิ้นส่วนยอดตามแนวยาว (ผ่าหรือไม่ผ่า) และการใช้ BA 4 ระดับความเข้มข้น (0, 1, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร) วิธีการทดลองทำโดยนำต้นกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบนอาหารแข็งสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ มาตัดส่วนใบออกให้เหลือเฉพาะกาบใบด้านล่างความยาว 1 เซนติเมตร สำหรับกรรมวิธีที่ผ่าชิ้นส่วนยอดนั้นใช้มีดผ่าตัดกรีดผ่าชิ้นส่วนยอดตามแนวยาวให้ผ่านส่วนปลายยอด แล้วนำเนื้อเยื่อทั้ง 2 ซีก ไปเพาะเลี้ยงบนอาหารในขวดเดียวกัน ใช้อาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA (Extrapure AR, Sisco Research Laboratories (SRL)) ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามกรรมวิธี ซึ่งอาหารแต่ละสูตรเติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร และผงวุ้น 7 กรัมต่อลิตร ปรับค่า pH ที่ 5.7 นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที โดยเพาะเลี้ยงในขวดขนาด 4 ออนซ์ ปริมาตรอาหารขวดละ 20 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงที่ความเข้มแสง 55 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที นาน 16 ชั่วโมงต่อวัน ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 1 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 4 (Figure 1)

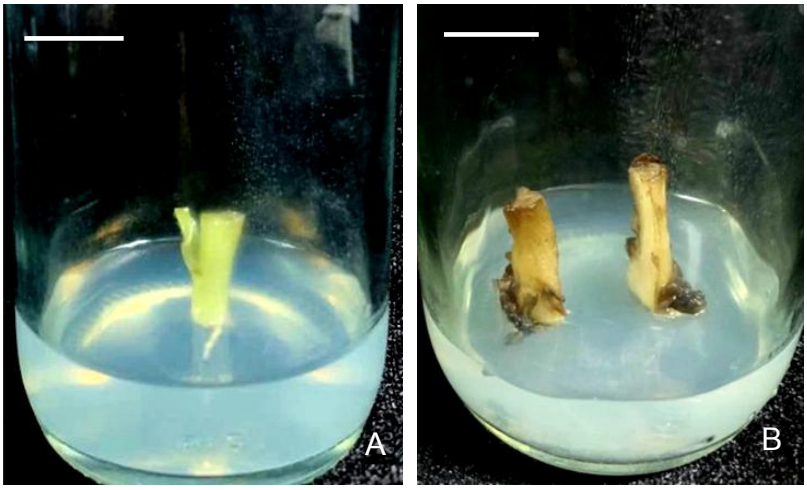


**Figure 1. Explant preparation A. whole stem B. longitudinally halved stem (Bar = 1 cm)**

บันทึกผลการเจริญเติบโตของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 โดยนับจำนวนหน่อ จำนวนใบ และจำนวนราก วัดความสูงต้น ความยาวราก และชั่งน้ำหนักสดเมื่อเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดครบ 8 สัปดาห์ วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 21 และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

เมื่อนำต้นกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ที่ผ่าชิ้นส่วนยอดตามแนวยาวและที่ไม่ผ่ามาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ให้ผลการทดลองในแต่ละปัจจัย ดังนี้

การศึกษาผลของ BA ต่อการชักนำให้เกิดหน่อใหม่ พบว่า ความเข้มข้นของ BA มีผลต่อจำนวนหน่อ จำนวนราก ความยาวราก และน้ำหนักสดของเนื้อเยื่อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นที่เพาะเลี้ยงใน BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนหน่อ 3.50±1.16 หน่อต่อต้น แต่หน่อมีขนาดเล็ก มีน้ำหนักสดของเนื้อเยื่อเฉลี่ยเพียง 2.11±0.62 กรัม จำนวนหน่อนี้ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ BA ความเข้มข้น 5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้จำนวนหน่อ 2.64±0.75 และ 2.64±0.61 หน่อต่อต้น มีน้ำหนักสดเฉลี่ย 2.62±0.77 และ 2.44±0.62 กรัม ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่เติม BA มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 4.11±1.49 กรัม แต่มีหน่อเฉลี่ยเพียง 1.29±0.19 หน่อต่อต้น เท่านั้น ส่วนจำนวนรากและความยาวราก พบว่า ชิ้นส่วนต้นกล้วยที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม BA 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนรากและความยาวรากน้อยที่สุด โดยมีจำนวนราก 0.57±0.33 และ 0.71±0.27 ราก ตามลำดับ และความยาวราก 0.54±0.30 และ 0.77±0.28 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่เติม BA มีจำนวนและความยาวรากมากที่สุด คือ 8.00±1.77 ราก และ 72.76±12.28 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับจำนวนใบและความสูง พบว่า การใช้ BA ทุกระดับความเข้มข้นไม่ทำให้จำนวนใบและความสูงแตกต่างกัน (Table 1)

สำหรับวิธีการผ่าชิ้นส่วนยอดตามแนวยาวเพื่อแบ่งลำต้นเป็น 2 ซีก ก่อนนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรที่เติม BA ความเข้มข้นต่าง ๆ นั้น พบว่าการผ่าชิ้นส่วนยอดส่งผลให้เนื้อเยื่อมีจำนวนหน่อ จำนวนใบ และความสูงมากกว่าชิ้นส่วนยอดที่ไม่ผ่าแบ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส่วนที่ผ่าและไม่ผ่ามีจำนวนหน่อ 3.93±0.67 และ 1.10±0.08 หน่อต่อต้น ตามลำดับ จำนวนใบ 7.86±0.93 และ 4.61±0.29 ใบ ตามลำดับ และความสูง

Table 1. Effects of BA concentration and explant preparation on the growth characteristics of 'Namwa Pak Chong 50' banana

| Treatments | | Number of Shoots | Number of Leaves | Number of Roots | Root length (cm) | Plant height (cm) | Fresh weight (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BA (mg/L) | | | | | | | |
| 0 | | 1.29±0.19$^{b}$ | 5.29±0.73 | 8.00±1.77$^{a}$ | 72.76±12.28$^{a}$ | 7.46±1.03 | 4.11±1.49$^{a}$ |
| 1 | | 2.64±0.61$^{ab}$ | 6.21±0.92 | 3.71±0.88$^{b}$ | 8.10±2.18$^{b}$ | 6.69±1.28 | 2.44±0.62$^{b}$ |
| 3 | | 3.50±1.16$^{a}$ | 7.57±1.62 | 0.57±0.33$^{c}$ | 0.54±0.30$^{b}$ | 7.47±2.16 | 2.11±0.62$^{b}$ |
| 5 | | 2.64±0.75$^{ab}$ | 5.86±0.74 | 0.71±0.27$^{c}$ | 0.77±0.28$^{b}$ | 5.36±1.44 | 2.62±0.77$^{b}$ |
| Explant preparation | | | | | | | |
| Whole | | 1.10±0.08$^{b}$ | 4.61±0.29$^{b}$ | 2.46±0.77 | 18.91±6.32 | 3.84±0.44$^{b}$ | 1.93±0.76 |
| Halved | | 3.93±0.67$^{a}$ | 7.86±0.93$^{a}$ | 4.04±1.01 | 22.18±8.08 | 9.65±1.23$^{a}$ | 3.72±0.52 |
| BA (mg/L) x Explant preparation | | | | | | | |
| 0 | Whole | 1.14±0.14$^{b}$ | 5.29±0.83$^{b}$ | 7.71±1.97$^{a}$ | 72.71±8.69$^{a}$ | 6.63±0.85$^{bcd}$ | 5.00±2.85$^{a}$ |
| | Halved | 1.43±0.37$^{b}$ | 5.29±1.26$^{b}$ | 8.29±3.11$^{a}$ | 72.80±24.10$^{a}$ | 8.29±1.90$^{abc}$ | 3.21±1.14$^{ab}$ |
| 1 | Whole | 1.00±0.00$^{b}$ | 4.14±0.34$^{b}$ | 1.57±0.43$^{b}$ | 2.44±0.65$^{b}$ | 3.43±0.37$^{cd}$ | 0.96±0.13$^{ab}$ |
| | Halved | 4.29±0.87$^{a}$ | 8.29±1.46$^{ab}$ | 5.86±1.28$^{a}$ | 13.76±3.10$^{b}$ | 9.96±1.86$^{ab}$ | 3.93±0.95$^{ab}$ |
| 3 | Whole | 1.00±0.00$^{b}$ | 4.14±0.26$^{b}$ | 0.29±0.29$^{b}$ | 0.30±0.30$^{b}$ | 2.14±0.30$^{d}$ | 0.61±0.09$^{b}$ |
| | Halved | 6.00±1.94$^{a}$ | 11.00±2.72$^{a}$ | 0.86±0.59$^{b}$ | 0.79±0.52$^{b}$ | 12.80±3.27$^{a}$ | 3.61±0.96$^{ab}$ |
| 5 | Whole | 1.29±0.29$^{b}$ | 4.85±0.70$^{b}$ | 0.29±0.29$^{b}$ | 0.19±0.19$^{b}$ | 3.14±0.76$^{cd}$ | 1.13±0.41$^{ab}$ |
| | Halved | 4.00±1.33$^{a}$ | 6.86±1.24$^{b}$ | 1.14±0.40$^{b}$ | 1.37±0.42$^{b}$ | 7.57±2.61$^{abcd}$ | 4.11±1.28$^{ab}$ |
| BA | | * | ns | * | * | ns | * |
| Explant preparation | | * | * | ns | ns | * | ns |
| BA x Explant preparation | | * | * | * | * | * | * |

$^{ns}$not significant *significant at $P \leq 0.05$

Means (± SE) in a column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT

9.65±1.23 และ 3.84±0.44 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับจำนวนราก ความยาวราก และน้ำหนักสด พบว่า การผ่าและไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดมีค่าไม่แตกต่างกัน (Table 1)

เมื่อศึกษาผลของปัจจัยร่วม คือ ความเข้มข้นของ BA ที่ระดับต่าง ๆ ร่วมกับการผ่าและไม่ผ่าชิ้นส่วนยอด พบอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของ BA และการผ่าชิ้นส่วนยอด ต่อการเกิดหน่อ จำนวนใบ จำนวนราก ความยาวราก ความสูง และน้ำหนักสดของเนื้อเยื่อ ซึ่งพบว่า กรรมวิธีที่ศึกษานั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ทำให้เกิดจำนวนหน่อมากที่สุด คือ การเพาะเลี้ยงโดยผ่าชิ้นส่วนยอดบนอาหารสูตร MS ที่ใช้ BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีหน่อใหม่ 6.00±1.94 หน่อต่อต้น แต่ไม่แตกต่างกับการเพาะเลี้ยงโดยผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับการใช้ BA ความเข้มข้น 1 และ

5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีหน่อใหม่ 4.29±0.87 และ 4.00±1.33 หน่อต่อต้น ตามลำดับ กรรมวิธีที่ต้นกล้วยมีจำนวนใบมากที่สุดคือ การผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับการใช้ BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร 11.00±2.72 ใบ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับต้นจากการเพาะเลี้ยงโดยผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับการใช้ BA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มี 8.29±1.46 ใบ กรรมวิธีที่ต้นกล้วยมีจำนวนรากและความยาวรากมากที่สุด คือ การผ่าและไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดที่ไม่มีการใช้ BA มีจำนวนราก 8.29±3.11 และ 7.71±1.97 ราก ตามลำดับ และความยาวราก 72.80±24.10 และ 72.71±8.69 เซนติเมตร ตามลำดับ กรรมวิธีที่ต้นกล้วยมีความสูงมากที่สุดคือ การผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับการใช้ BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต้นกล้วยมีความสูง 12.80±3.27 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับต้นจากการเพาะเลี้ยงโดยผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับการใช้ BA ความเข้มข้น 1, 0 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีความสูงต้น 9.96±1.86, 8.29±1.90 และ 7.57±2.61 เซนติเมตร ตามลำดับ ในส่วนของน้ำหนักสดของเนื้อเยื่อ กรรมวิธีที่ต้นกล้วยมีน้ำหนักสดมากที่สุดคือ การไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดและไม่มีการใช้ BA มีน้ำหนักสด 5.00±2.85 กรัม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ ยกเว้นกรรมวิธีที่เพาะเลี้ยงโดยไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับการใช้ BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีน้ำหนักสดน้อยที่สุด 0.61±0.09 กรัม (Table 1 และ Figure 2)

จากการศึกษาผลของ BA และการผ่าชิ้นส่วนยอดของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ต่อการเกิดหน่อใหม่ในสภาพปลอดเชื้อ พบว่าอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ในทุกระดับความเข้มข้น สามารถชักนำให้เกิดหน่อได้ดีกว่าการไม่เติม BA เนื่องจาก BA เป็นสารในกลุ่มไซโทไคนิน ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์และกระตุ้นการพัฒนาของตาข้าง (Sritapunya and Chotikadachanarong, 2021) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้จำนวนยอดไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองที่ได้นี้คล้ายกับการทดลองของ Mia *et al*. (2025) ที่ศึกษาความเข้มข้นของ BA 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหารที่เพาะเลี้ยงกล้วยพันธุ์ red banana และ G9 พบว่าต้นกล้วยที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนหน่อใหม่มากกว่าต้นกล้วยในอาหารที่ไม่ได้เติม BA แต่จำนวนหน่อใหม่ไม่แตกต่างกับหน่อของต้นที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม BA 2, 3 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนต้นที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม BA 5 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนหน่อใหม่น้อยกว่าต้นที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในเนื้อเยื่อกล้วยที่นำมาเพาะเลี้ยงมีไซโทไคนินอยู่แล้ว แต่มีไม่เท่ากัน ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มไซโทไคนินจากภายนอกเข้าไปอาจทำให้ปริมาณไซโทไคนินภายในเนื้อเยื่อเสียสมดุล ส่งผลให้การพัฒนาของตาข้างซึ่งจะเจริญเป็นหน่อใหม่ไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง (Mok and Mok, 1994) ในการทดลองนี้ ความเข้มข้นของ BA 1, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลให้จำนวนหน่อใหม่จากชิ้นส่วนยอดของกล้วยไม่แตกต่างกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า สำหรับกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 การเติม BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังไม่มากเกินไปจนส่งผลลบต่อการเกิดหน่อใหม่ นอกจากนี้ จากการทดลอง พบว่าเมื่อมีจำนวนหน่อเกิดขึ้นมากนั้น หน่อที่ได้มีขนาดเล็กเห็นได้จากการที่เนื้อเยื่อมีน้ำหนักรวมน้อย เป็นผลมาจากการแข่งขันกันของหน่อใหม่ ซึ่งเป็นปกติของการพัฒนาของตาข้างในเนื้อเยื่อพืชทั่วไป (Campiranon, 1983)

ในกรณีของวิธีการผ่าและไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดนั้น พบว่า การผ่าและไม่ผ่าชิ้นส่วนยอดมีผลต่อการเกิดหน่อใหม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยชิ้นส่วนที่ได้รับการผ่ามีค่าเฉลี่ยจำนวนหน่อมากกว่าการไม่ผ่า และการผ่าชิ้นส่วนยอดยังส่งผลให้เนื้อเยื่อมีน้ำหนักสดมากกว่าการไม่ผ่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากการผ่าชิ้นส่วนยอดตามแนวยาวนี้ เป็นการทำลายตายอด ซึ่งช่วยกระตุ้นการพัฒนาของตาข้างหรือหน่อใหม่ให้เกิดมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Swamy *et al.* (1983) ที่อธิบายว่าถ้าไม่มีการตัดแบ่งปลายยอดต้นกล้วยในสภาพปลอดเชื้อจะมีการเจริญเพียงต้นเดียว แต่ถ้ามีการตัดแบ่งจะทำให้เนื้อเยื่อเจริญตามซอกใบเจริญเพิ่มมากขึ้นจนพัฒนาเป็นหน่อได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewsompong *et al.* (1992) ที่รายงานว่าการเพิ่มปริมาณต้นกล้วยในสภาพปลอดเชื้อ สามารถทำได้โดยการผ่าแบ่งลำต้นแล้วนำ

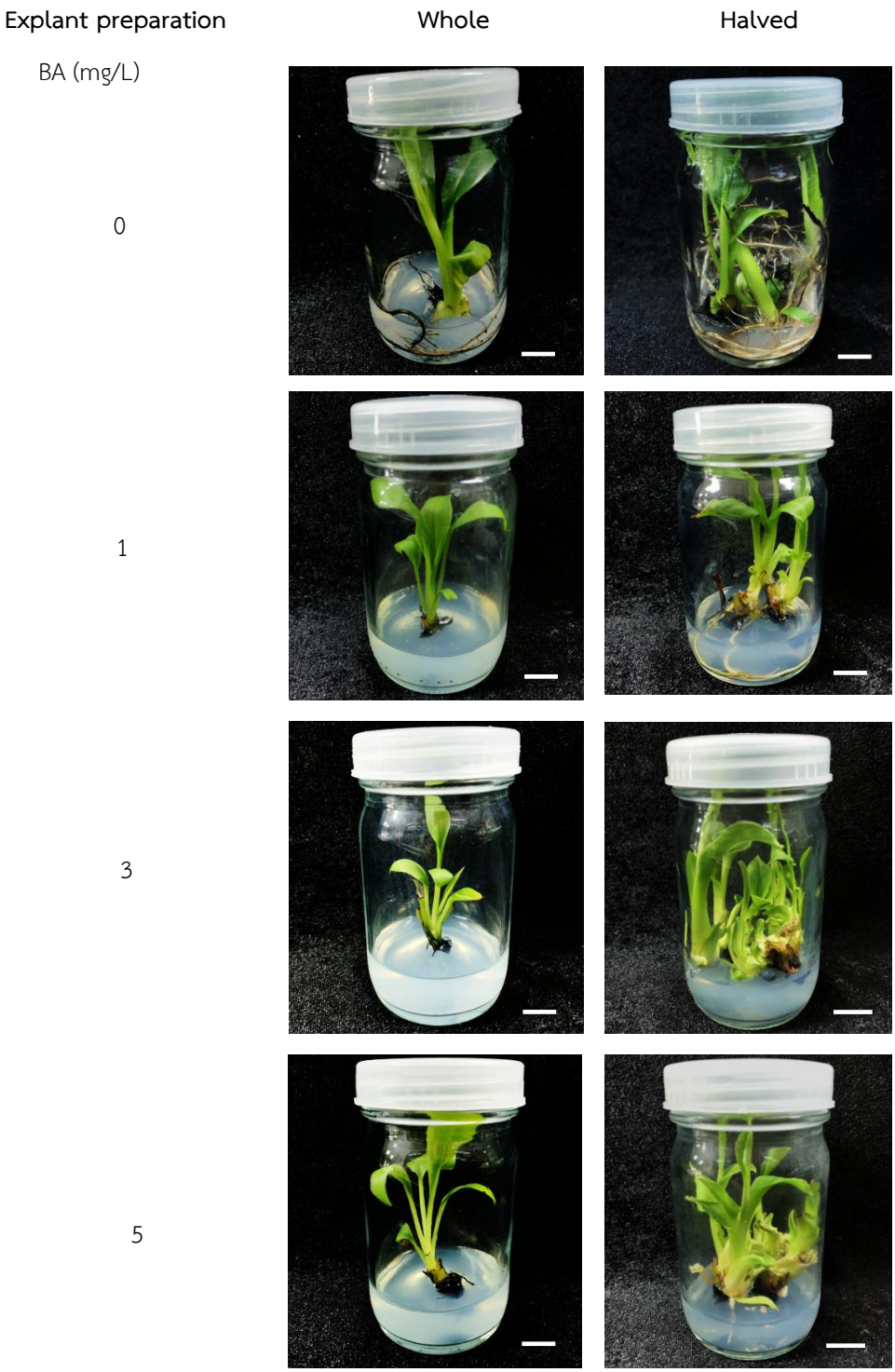


Figure 2. The 8-week-old *in vitro* ‘Namwa Pak Chong 50’ banana of the whole and halved stems cultured on MS medium supplemented with 0-5 mg/L BA (Bar = 1 cm)

ไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่มีน้ำมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ และ BAP 5 หรือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และงานวิจัยของ Charoenwattana *et al.* (2018) พบว่า การขยายพันธุ์กล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 ด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มจำนวนยอดได้สูงสุดเฉลี่ย 10.00 ยอดต่อชิ้นส่วน

จากผลการทดลองนี้เมื่อพิจารณากลุ่มของกรรมวิธีที่มีการเติม BA ร่วมกับการผ่าชิ้นส่วนยอด พบว่า ต้นกล้วยในกรรมวิธีที่ผ่าชิ้นส่วนยอดและเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนหน่อไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ชิ้นส่วนยอดที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม BA ทุกความเข้มข้นแต่ไม่ได้รับการผ่าชิ้นส่วนยอดมีจำนวนหน่อใหม่ไม่แตกต่างจากชิ้นส่วนยอดที่ไม่ได้ผ่าและไม่ได้เติม BA ซึ่งในด้านการขยายพันธุ์นั้นจัดได้ว่าวิธีการผ่าชิ้นส่วนยอดแล้วเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงพอต่อการชักนำให้เกิดหน่อ โดยไม่ต้องใช้ BA ความเข้มข้นถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตในการขยายพันธุ์กล้วยด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออีกด้วย

## สรุป

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหน่อใหม่ของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ในสภาพปลอดเชื้อ พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ BA และวิธีการผ่าชิ้นส่วนยอดต่อจำนวนหน่อใหม่ที่เกิดขึ้น โดยการเติม BA ร่วมกับการผ่าชิ้นส่วนยอดให้จำนวนหน่อใหม่มากกว่าการไม่เติม BA และไม่ผ่าชิ้นส่วนยอด วิธีการเพิ่มปริมาณหน่อของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ที่เหมาะสม คือ การผ่าชิ้นส่วนยอดร่วมกับเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1, 3 หรือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้จำนวนหน่อ 4.00 - 6.00 หน่อต่อต้น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย ประเภททุนวิจัยประเภทงบประมาณ กองทุนส่งเสริมงานวิจัยฯ ประจำปีงบประมาณ 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## เอกสารอ้างอิง

Al-Amin, M.D., M.R. Karim, M.R. Amin, S.M.A.N. Rahman and A.N.M Mamun. 2009. *In vitro* micropropagation of banana. Bangladesh Journal of Agricultural Research 34(4): 645-659.

Campiranon, S. 1983. Plant Hormone. Kasetsart University Press, Bangkok. 147 p. (in Thai)

Charoenwattana, P., T. Jansri, N. Wangnapklang and A. Chomkrathok. 2018. *In vitro* culture of banana (*Musa* ‘Kluai Namwa Pak Chong 50’. Agricultural Science Journal 49(Suppl. 1): 412-415. (in Thai)

Gahan, P.B. and E.F. George. 2008. Adventitious regeneration. pp. 355-401. *In*: E.F. George, M.A. Halls and G.D. Klerk (eds.). Plant Propagation by Tissue Culture: Volume 1. Springer, Netherlands.

Kaewsompong, S., J. Chunwongse, K. Wanichkul and B. Silayoi. 1992. Effect of 6-benzylaminopurine in shoot induction of *Musa* (AA group) ‘Kluai Khai’ on synthetic medium. Kasetsart Journal (Natural Science) 26(2): 115-118. (in Thai)

Kasetsart University Research and Development Institute. 2020. Kluai Namwa Pak Chong 50. (Online). Available: https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=34970 (April 2, 2020). (in Thai)

Mia, M.A.S., S.M.A. Al Mamun, T.Z. Masror, M.J. Hossain and M.M. Islam. 2025. Optimization of BAP Concentration for *In Vitro* Mass Multiplication of G9 and

Agnishwar Banana (*Musa* spp.) Varieties. Plant Tissue Culture and Biotechnology 35(1): 51-56.

Mok, D.W.S. and M.C. Mok. 1994. Cytokinins: Chemistry, Activity, and Function. CRC Press, Boca Raton, Florida. 352 p.

Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 15(3): 473-497.

Prachachat Business. 2020. Trade Negotiations Department Urges Farmers to Use FTAs to Expand Fresh and Processed Banana Exports and Increase Income. (Online). Available: https://www.prachachat.net/economic/news-516833 (July 28, 2026). (in Thai)

Silayoi, B. 2015. Banana. Kasetsart University Press, Bangkok. 512 p. (in Thai)

Sritapunya, T. and K. Chotikadachanarong. 2021. Micropropagation of *Dracaena loureiroi* Gagnep. Burapha Science Journal 26(1): 59-70. (in Thai)

Swamy, R.D., N.K.S. Rao and E.K. Chacko. 1983. Tissue-culture propagation of banana. Scientia Horticulturae 18(3): 247-252.

Uma, S., S. Lakshmi, M.S. Saraswathi, A. Akbar and M.M. Mustaffa. 2011. Embryo rescue and plant regeneration in banana (*Musa* spp.). Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC) 105(1): 105-111.

# ผลของกรดอินโดล-3-บิวทีริกและกรดจิบเบอเรลลิกต่อการเกิดรากพิเศษและการเติบโตของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะ

# Effects of Indole-3-Butyric Acid and Gibberellic Acid on Adventitious Root Formation and Growth of 'Akihime' Strawberry Stolon

**วีรภัทร ปั้นฉาย[1] เจษฎากร จบแล้ว[2] รวิพล ต่ายคง[4] สุวิทย์ บุญเรือง[3] และ ดรุณี นาพรหม[2*]**

**Werapat Panchai[1], Jedsadakorn Joblaew[2], Rawipon Taikhong[4], Suwit Boonraeng[3] and Daruni Naphrom[2*]**

*[1]ศูนย์วิจัย บูรณาการ สาธิตและฝึกอบรมนวัตกรรมการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

*[1]Agriculture Innovation Research, Integration, Demonstration and Training Center*

*Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[2]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

*[2]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[3]ภาควิชาเกษตรที่สูงและทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

*[3]Department of Highland Agriculture and Natural Resources,*

*Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[4]สถานีเกษตรหลวงปางดะ มูลนิธิโครงการหลวง จ.เชียงใหม่ 50250*

*[4]Pang Da Royal Agricultural Station; Royal Project Foundation, Chiang Mai 50250, Thailand*

*[*]Corresponding author: Email: daruni.n@cmu.ac.th*

*(Received: 4 January 2025; Revised: 28 September 2026 ; Accepted: 29 September 2026)*

**Abstract**: This study aimed to investigate root induction in daughter plants of the 'Akihime' strawberry grown in a modified CMU2S nutrient solution in an evaporative cooling greenhouse at the Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. In the first week, the electrical conductivity (EC) of the nutrient solution was maintained at 0.0 mS/cm and gradually increased to 1.0, 1.5, and 2.0 mS/cm in the second, third, and fourth weeks, respectively. The experiment was conducted using a (2×2)+1 factorial arrangements in a completely randomized design (CRD) with seven replications. Factor A consisted of indole-3-butyric acid (IBA) at 0.6 and 1.2 mg/L while Factor B consisted of gibberellic acid ($GA_3$) at 50 and 150 mg/L. The basal ends of the daughter plants were dipped in the respective treatment solutions for 3 min, with distilled water used as the control. The results revealed an interaction between IBA and $GA_3$ on the number of roots and chlorophyll content in strawberry daughter plants. All treatments

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

had a lower number of roots and chlorophyll content than the control, except for the combination of 1.2 mg/L IBA and 50 mg/L $GA_3$, which showed no significant difference from the control.

**Keywords:** strawberry daughter plants, root number, root induction

**บทคัดย่อ**: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระตุ้นการเกิดรากในต้นไหลของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะ (Akihime) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง CMU2S ภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิแบบการคายระเหยของน้ำ (Evaporative cooling greenhouse) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยในสัปดาห์ที่ 1 ให้ค่าการนำไฟฟ้า ไฟฟ้า (EC) ของสารละลายปุ๋ย เท่ากับ 0.0 และเพิ่มค่า EC เป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบ (2x2)+1 factorial in CRD จำนวน 7 ซ้ำ โดยปัจจัย A คือ กรดอินโดล-3-บิวทีริก (Indole-3-butyric acid; IBA) ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปัจจัย B คือ กรดจิบเบอเรลลิก (Gibberellic acid; $GA_3$) ที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจุ่มฐานของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีลงในสารละลายแต่ละกรรมวิธีเป็นเวลา 3 นาที เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ใช้เพียงน้ำเปล่า ผลการทดลองพบว่า การใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ มีปฏิสัมพันธ์กันต่อจำนวนรากและปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นไหลสตรอว์เบอร์รี โดยทุกกรรมวิธีให้จำนวนรากและปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม ยกเว้นการใช้ IBA ความเข้มข้น 1.2 มก./ลิตร ร่วมกับ $GA_3$ ความเข้มข้น 50 มก./ลิตร ซึ่งให้ค่าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม

**คำสำคัญ:** ต้นไหลสตรอว์เบอร์รี จำนวนราก การชักนำการเกิดราก

## คำนำ

สตรอว์เบอร์รี (strawberry) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Fragaria × ananassa* อยู่ในวงศ์ *Rosoideae* จัดเป็นไม้ผลกึ่งร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง มีการปลูกกระจายกันแทบทุกประเทศตั้งแต่แถบขั้วโลกลงมาถึงพื้นที่ในเขตร้อน ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสภาพภูมิอากาศและชนิดดินที่ใช้ปลูก สตรอว์เบอร์รีเป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อยและเป็นที่รู้จักกันมาหลายร้อยปีมาแล้ว ในช่วงสิบปีที่ผ่านมานี้พบว่าผลผลิตที่ใช้สำหรับบริโภคเป็นผลสดและใช้ในเชิงอุตสาหกรรมแปรรูปได้เพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก ทั้งนี้เป็นผลมาจากการผสมพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตยาวนานขึ้น การนำระบบปลูกแบบดูแลอย่างใกล้ชิดมาใช้ ตลอดจนการเลือกพื้นที่ปลูกที่มีความเหมาะสมมากขึ้น สตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะเป็นพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ในจังหวัดชิซุโอกะ ประเทศญี่ปุ่น จากการผสมระหว่างพันธุ์ Kunowase และ Nyoho โดยได้รับการเผยแพร่ในปี ค.ศ. 1992 สตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะเป็นพืชวันสั้น (short-day cultivar) ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำในการกระตุ้นตาดอก ให้ผลผลิตเร็ว (early-maturing cultivar) จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่นและประเทศแถบเอเชียสำหรับการผลิตในระบบโรงเรือนและการบังคับให้ออกดอกติดผลนอกฤดู ผลมีลักษณะทรงกรวยยาว สีแดงสด เนื้อผลนุ่ม ฉ่ำน้ำ มีปริมาณน้ำตาลสูง มีปริมาณกรดต่ำ มีกลิ่นหอม และมีวิตามินซีสูง จึงเหมาะสำหรับการบริโภคผลสด (Liu *et al.,* 2012). อย่างไรก็ตาม พันธุ์อะกิฮิเมะมีข้อจำกัดคือเนื้อผลค่อนข้างนิ่ม ทำให้เกิดความเสียหายระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนส่งได้ง่าย อีกทั้งยังมีความไวต่อโรคราแป้ง (powdery mildew) นอกจากนี้ต้นกล้าพันธุ์ที่แข็งแรงปลอดโรคยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต การออกดอกติดผล และคุณภาพผลผลิต ดังนั้นการผลิตต้นกล้าพันธุ์ที่มีระบบรากแข็งแรงและปลอดโรคจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะในเชิงการค้าอย่างยั่งยืน การขยายพันธุ์สตรอว์เบอร์รีในเชิงการค้าส่วนใหญ่นิยมใช้การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยต้นไหล (runner หรือ stolon) เนื่องจากสามารถ

รักษาลักษณะทางพันธุกรรมของพันธุ์ไว้ได้เหมือนต้นแม่ ทำให้ต้นพันธุ์มีความสม่ำเสมอ ให้ผลผลิตเร็ว และสามารถผลิตต้นพันธุ์ได้เป็นจำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น จึงเป็นวิธีการหลักในการผลิตต้นพันธุ์เชิงการค้า (Hancock, 2020) อย่างไรก็ตาม คุณภาพของต้นไหลไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนต้นไหลที่ผลิตได้เพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของระบบรากเป็นสำคัญ เนื่องจากรากเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหาร ยึดเหนี่ยวต้น และสะสมอาหาร ส่งผลโดยตรงต่อการตั้งตัวหลังย้ายปลูก ความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต การออกดอก และผลผลิตของสตรอว์เบอร์รีในระยะต่อไป (Taiz *et al.,* 2015) การกระตุ้นให้ต้นไหลเกิดรากได้อย่างรวดเร็วและมีระบบรากที่แข็งแรงจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการผลิตต้นพันธุ์คุณภาพ เนื่องจากต้นไหลที่มีจำนวนรากและความยาวรากที่เหมาะสมจะสามารถตั้งตัวหลังการย้ายปลูกได้รวดเร็ว ลดการสูญเสียต้นพันธุ์ เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำและธาตุอาหาร และส่งผลให้ต้นมีการเจริญเติบโตที่ดี สามารถออกดอกและให้ผลผลิตได้เร็วกว่าต้นที่มีระบบรากไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ระบบรากที่แข็งแรงยังช่วยเพิ่มความสามารถของต้นพืชในการทนต่อสภาวะเครียดจากการย้ายปลูกและการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ทำให้การผลิตต้นพันธุ์มีประสิทธิภาพและมีอัตราการรอดสูงขึ้น (Taiz *et al.,* 2015; Hossain and Gony, 2020)

สารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มของออกซินสังเคราะห์มีคุณสมบัติในการเร่งการเจริญเติบโต กระตุ้นการขยายขนาดของเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ และกระตุ้นการเกิดราก รวมถึงมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของส่วนต่าง ๆ ของพืช จึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในการเพิ่มขนาดของผลผลิต และนำไปใช้ในการเร่งการเจริญของรากในการขยายพันธุ์พืชแบบไม่อาศัยเพศ เช่น การปักชำ การตอนกิ่ง และมีคุณภาพดีตอบสนองความต้องการของตลาดได้ (Stern *et al.,* 2007) ซึ่งการใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถกระตุ้นหรือยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชได้ (Techapinyawat,1993) Ashrafuzzaman *et al.* (2013) พบว่า การใช้ IBA ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีอัตราการสร้างรากของสตรอว์เบอร์รีสูงถึง 91–96% และจำนวนรากเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4–9 รากต่อต้น จากรายงานของ Thongrod (1990) ศึกษาผลของกรดจิบเบอเรลริก ($GA_3$) ที่มีผลต่อการผลิตต้นไหลและการเจริญเติบโตของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์ไทโอก้า โดยพ่น $GA_3$ ระดับความเข้มข้น 5, 10, 20, 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า $GA_3$ มีผลส่งเสริมการเกิดต้นไหลและการเจริญเติบโตของต้นสตรอว์เบอร์รี เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับสาร $GA_3$ นอกจากนี้ยังมีผลทำให้การผลิตต้นไหลและจำนวนต้นไหลต่อต้นแม่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับระดับความเข้มข้น $GA_3$ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ซึ่ง $GA_3$ ที่ระดับความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการให้ 6 ครั้ง และระดับความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการให้ 9 ครั้ง ส่งผลให้จำนวนต้นไหลสตรอว์เบอร์รีต่อต้นแม่สูงสุด นอกจากนี้ Hossain and Gony (2020) พบว่า การใช้ IBA ที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นไหลสตรอว์เบอร์รีมีการพัฒนาการเกิดรากและยอดมากที่สุด แม้ว่าจะมีรายงานการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อส่งเสริมการเกิดรากและการผลิตต้นไหลของสตรอว์เบอร์รีหลายพันธุ์ แต่ผลของการใช้สารแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความเข้มข้น วิธีการใช้ และสภาพแวดล้อมในการปลูก เนื่องจาก IBA มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการเกิดรากพิเศษ ขณะที่ $GA_3$ ส่งเสริมการแบ่งและการยืดตัวของเซลล์ ซึ่งช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้น อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับการใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ เพื่อส่งเสริมการเกิดรากและการเจริญเติบโตของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะ รวมถึงยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารทั้งสองชนิดสำหรับการผลิตต้นพันธุ์คุณภาพ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซินและกรดจิบเบอเรลลิกต่อการเกิดรากของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะ (Akihime) เพื่อเป็นแนวทางในการกระตุ้นการเกิดราก ให้สามารถผลิตต้นไหลสตรอว์เบอร์รีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาสำหรับผู้ที่สนใจผลิตต้นไหลสตรอว์เบอร์รีต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

**วิธีดำเนินการทดลอง**

การศึกษาผลของกรดอินโดล-3-บิวทีริกและกรดจิบเบอเรลลิกต่อการเกิดรากและการเจริญเติบโตของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะ ณ โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 โดยวางแผนการทดลองแบบ (2x2)+1 factorial in CRD จำนวน 7 ซ้ำ โดย ปัจจัย A คือ กรดอินโดล-3-บิวทีริก (Indole-3-butyric acid; IBA) (Sigma-Aldrich, USA) ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปัจจัย B คือ กรดจิบเบอเรลลิก (Gibberellic acid; $GA_3$) (Sigma-Aldrich, USA) ที่ 2 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม (น้ำกลั่น) ทั้งหมด 5 กรรมวิธี โดยนำต้นไหลที่ตัดออกมาจากต้นแม่พันธุ์ที่มีขนาดและอายุใกล้เคียงกัน ทำการจุ่มฐานของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีลงในสารละลายของแต่ละกรรมวิธีเป็นเวลา 3 นาที โดยจุ่ม 2 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 ของการปลูก เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ใช้น้ำกลั่น จากนั้นนำต้นไหลสตรอว์เบอร์รีปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำ โดยเตรียมกระบะใส่น้ำ ขนาด 16 ลิตร (39 x 53 x 12 ซม.) นำต้นไหลสตรอว์เบอร์รีมาใส่กระถางขนาด 1 นิ้ว จากนั้นนำกระถางใส่ในแผ่นโฟมที่เจาะรู แล้ววางลงในกระบะน้ำ การให้น้ำโดยเติมน้ำลงในกระบะ 4,000 มิลลิลิตร และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 7 วัน โดยในแต่ละสัปดาห์ใช้สารละลายปริมาตรรวม 4,000 มิลลิลิตรต่อชุดทดลอง สัปดาห์แรกใช้น้ำเปล่าปริมาตร 4,000 มิลลิลิตร หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 เตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร CMUS2 modified โดยใช้น้ำ 3,000 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายธาตุอาหาร A และ B อย่างละ 500 มิลลิลิตร ให้มีปริมาตรรวม 4,000 มิลลิลิตร สารละลายมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 1.0 mS/cm สัปดาห์ที่ 3 เตรียมสารละลายโดยใช้น้ำ 2,500 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายธาตุอาหาร A และ B อย่างละ 750 มิลลิลิตร ให้มีปริมาตรรวม 4,000 มิลลิลิตร สารละลายมีค่า EC เท่ากับ 1.5 mS/cm ส่วนสัปดาห์ที่ 4 เตรียมสารละลายโดยใช้น้ำ 2,000 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายธาตุอาหาร A และ B อย่างละ 1,000 มิลลิลิตร ให้มีปริมาตรรวม 4,000 มิลลิลิตร สารละลายมีค่า EC เท่ากับ 2.0 mS/cm ทั้งนี้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ก่อนนำไปใช้ทุกครั้ง

**การบันทึกผลการทดลอง**

หลังการย้ายปลูกต้นไหลสตรอว์เบอร์รี ทำการบันทึกผลการทดลองทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ แต่ละกรรมวิธีประกอบด้วยต้นไหลสตรอว์เบอร์รีจำนวน 7 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น โดยบันทึกข้อมูลตามลำดับ ดังนี้ จำนวนราก โดยนับจำนวนรากทั้งหมดที่เกิดจากโคนต้น ความยาวราก (เซนติเมตร) วัดจากโคนต้นถึงปลายรากที่ยาวที่สุดโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (1108-150, INSIZE, China) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร) วัดบริเวณโคนต้นเหนือคอราก จำนวนใบ โดยนับเฉพาะใบที่คลี่สมบูรณ์ ความสูงต้น (เซนติเมตร) วัดจากโคนต้นถึงปลายใบที่ยาวที่สุด และความเขียวของใบ วัดด้วยเครื่อง Chlorophyll meter (SPAD-502, Konica Minolta, Japan) โดยวัดจากใบที่เจริญเต็มที่ของแต่ละต้น ๆ ละ 3 ใบ ระหว่างการทดลองมีการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วงระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 60-90%

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

วิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ (2x2)+1 factorial in CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากผลการศึกษาการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช IBA และ $GA_3$ ต่อต้นไหลสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ มีผลต่อจำนวนรากของสตรอว์เบอร์รี โดยจำนวนรากของทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง

ซึ่งพบว่า กรรมวิธีควบคุม (น้ำเปล่า) ให้จำนวนรากสูงที่สุดตลอดการทดลอง โดยเพิ่มจาก 12.42 รากต่อต้นในสัปดาห์ที่ 1 เป็น 20.51 รากต่อต้น ในสัปดาห์ที่ 4 ขณะที่การใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ ทุกกรรมวิธีให้จำนวนรากต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมในทุกสัปดาห์ (Figure 1a)

สำหรับลักษณะของความยาวราก เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ และความสูงต้น พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ ในบางช่วงของการทดลอง โดยความยาวรากพบปฏิสัมพันธ์ในสัปดาห์ที่ 1 ขณะที่จำนวนใบพบปฏิสัมพันธ์ในสัปดาห์ที่ 2 และความสูงต้นพบปฏิสัมพันธ์ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ IBA และ $GA_3$ ในทุกสัปดาห์ อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ความยาวรากอยู่ในช่วง 6.75-8.12 เซนติเมตร (Figure 1b) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอยู่ในช่วง 0.73-0.77 เซนติเมตร (Figure 1c) จำนวนใบอยู่ในช่วง 3.71-4.14 ใบต่อต้น (Figure 1d) และความสูงต้นอยู่ในช่วง 17.50-19.65 เซนติเมตร (Figure 1e) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบ (SPAD) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นในทุกกรรมวิธี และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ IBA และ $GA_3$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสัปดาห์ โดยในสัปดาห์ที่ 4 กรรมวิธีที่ใช้ IBA ความเข้มข้น 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ $GA_3$ ความ-เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มจะส่งผลให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดเท่ากับ 48.65 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติจากกรรมวิธีควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 48.05 ขณะที่กรรมวิธีที่ใช้ IBA ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ $GA_3$ ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุดเท่ากับ 45.42 (Figure 1f)

จากผลการทดลองพบว่า การใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ ในทุกกรรมวิธีทำให้ต้นไหลสตรอว์เบอร์รีมีจำนวนรากน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม Frick and Strader (2018) อธิบายกลไกการทำงานของออกซินชนิด IBA ว่าเป็นออกซินสังเคราะห์ที่ช่วยส่งเสริมการเกิดรากพิเศษ การแบ่งเซลล์ และการพัฒนาของระบบราก โดย IBA ถูกเปลี่ยนเป็น Indole-3-acetic acid (IAA) ซึ่งเป็นออกซินที่ออกฤทธิ์ภายในพืชและมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างรากและขนราก ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำและธาตุอาหารของพืช (Iyer-Pascuzzi and Benfey, 2009; Zhao *et al.,* 2021) นอกจากนี้ De Rybel *et al.* (2012) รายงานว่า การเปลี่ยน IBA เป็น IAA สามารถกระตุ้นการแบ่งตัวและการยืดตัวของเซลล์บริเวณปลายรากส่งผลให้เกิดการสร้างรากและขนรากเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของ IBA ที่เหมาะสมแตกต่างกันไปตามชนิดพืช พันธุ์ และวิธีการใช้สาร โดย Ashrafuzzaman *et al.* (2013) รายงานว่า การใช้ IBA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มอัตราการเกิดรากของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ Hossain and Gony (2020) พบว่า การใช้ IBA ที่ความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วยส่งเสริมการเกิดรากและการเจริญของยอดได้ดีกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวเป็นการใช้ IBA เพียงชนิดเดียว ขณะที่การศึกษาครั้งนี้ใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ จึงอาจเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนทั้งสองชนิด ส่งผลให้ประสิทธิภาพของ IBA ในการกระตุ้นการเกิดรากลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ IBA เพียงชนิดเดียว นอกจากนี้ หากพืชได้รับออกซินในระดับที่สูงเกินความเหมาะสม อาจกระตุ้นการ-สังเคราะห์เอทิลีนผ่านการเพิ่มการแสดงออกของยีน ACC synthase (ACS) ซึ่งเอทิลีนมีบทบาทในการยับยั้งการเกิดรากพิเศษ (Ivanchenko *et al.,* 2010; Edelmann, 2022) ขณะที่ $GA_3$ เป็นฮอร์โมนที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ รวมทั้งการเจริญของส่วนเหนือดิน โดยลดการทำงานของออกซินบริเวณตาข้างและส่งเสริมการเจริญของยอดร่วมกับไซโทไคนิน (Nishii *et al.,* 2012) เช่นเดียวกับ Zhang *et al.* (2021) ที่รายงานว่าการใช้ $GA_3$ ทำให้จำนวนรากและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง เนื่องจากรบกวนกระบวนการสร้างรากพิเศษ ผลการทดลองในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ ในทุกระดับความเข้มข้นให้จำนวนรากต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งอาจเกิดจากปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างฮอร์โมนทั้งสองชนิด โดยการเกิดรากพิเศษต้องอาศัยความสมดุลของฮอร์โมนภายในพืช โดยเฉพาะออกซินและจิบเบอเรลลิน การได้รับ IBA และ $GA_3$ พร้อมกันอาจรบกวนการลำเลียงและการตอบสนองต่อออกซินบริเวณโคนต้น รวมถึงการทำงานร่วมกันของฮอร์โมน

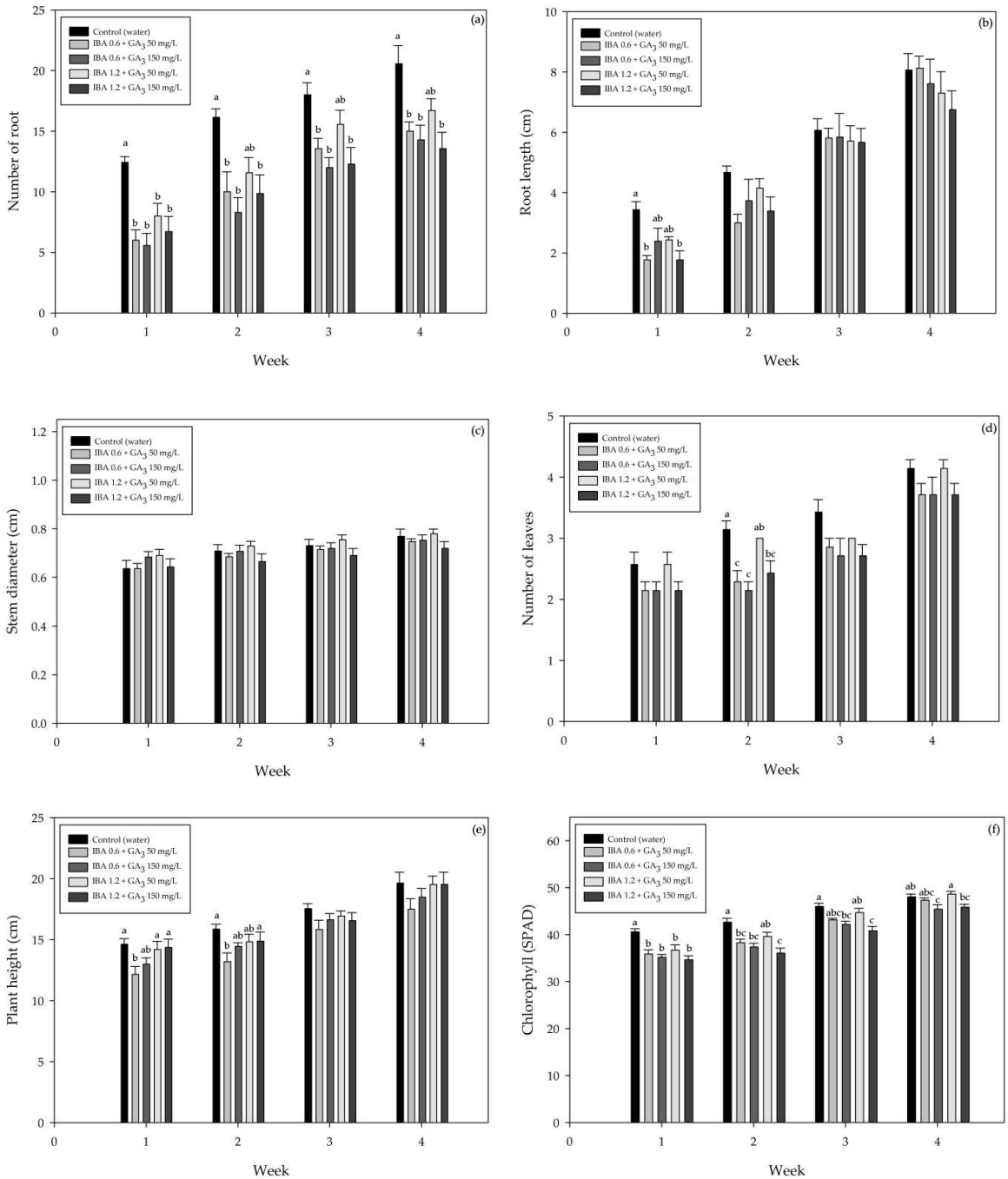


Figure 1. Effects of IBA and $GA_3$ on the growth and development of strawberry daughter plants over 4 weeks: (a) number of root, (b) root length (cm), (c) stem diameter (cm), (d) number of leaves, (e) plant height (cm), and (f) chlorophyll content (SPAD).

(hormonal cross-talk) ส่งผลให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาของรากลดลง (Guan *et al.,* 2015; Lakehal and Bellini, 2019) จึงอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ ในการศึกษาครั้งนี้ให้ผลด้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม (Figure 2)

ทั้งนี้ การตอบสนองของออกซินจะขึ้นกับความเข้มข้น (dose-dependent response) โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถกระตุ้นการเกิดรากพิเศษ (adventitious roots) ได้ แต่เมื่อได้รับในระดับที่สูงเกินไปอาจยับยั้งการพัฒนาและการยืดตัวของราก (De Klerk *et al.,* 1999) ทั้งนี้ Lakehal and Bellini (2019) รายงานว่า การเกิดรากพิเศษจำเป็นต้องอาศัยการรักษาสมดุลของออกซิน (auxin homeostasis) รวมถึงการลำเลียงและการส่งสัญญาณของออกซินที่เหมาะสมร่วมกับ

**Figure 2. Vegetative and root growth of "Akihime" strawberry daughter plants 30 days after treatment with different concentrations of Indole-3-Butyric Acid (IBA) and Gibberellic Acid ($GA_3$) of stem cutting**

การทำงานสัมพันธ์ของฮอร์โมนพืชชนิดต่าง ๆ โดยการรบกวนสมดุลของออกซินและปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการเกิดรากลดลง สอดคล้องกับ Bai *et al.* (2020) ที่รายงานว่า การได้รับ IBA ในระดับที่สูงหรือเป็นระยะเวลานาน แม้ว่าจะช่วยกระตุ้นการเกิดรากในระยะแรก แต่กลับยับยั้งการยืดตัวและการพัฒนาของรากในระยะต่อมา อันเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างออกซินกับเอทิลีน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ ส่วนใหญ่ทำให้จำนวนรากลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม แต่กรรมวิธีที่ใช้ IBA ความเข้มข้น 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ $GA_3$ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มจะส่งผลให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบ (SPAD) สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองของปริมาณคลอโรฟิลล์อาจขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ใช้ร่วมกัน โดยเฉพาะ $GA_3$ มีบทบาทในการส่งเสริมการเจริญของใบ รักษาความสมบูรณ์ของคลอโรพลาสต์ และชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการสะสมคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Islam *et al.* (2020) ที่รายงานว่าการใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ ช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบในมะเขือเทศ นอกจากนี้ Tripathi *et al.* (2025) รายงานว่า $GA_3$ ช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์และรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ดังนั้น การศึกษาในอนาคตควรประเมินการใช้ IBA และ $GA_3$ ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือศึกษาการให้ฮอร์โมนทั้งสองชนิดแบบแยกช่วงเวลา รวมทั้งประเมินอัตราส่วนของ IBA ต่อ $GA_3$ ที่เหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนและเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดรากของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีพันธุ์อะกิฮิเมะ

## สรุป

ผลการทดลองพบว่า การใช้ IBA ร่วมกับ $GA_3$ มีปฏิสัมพันธ์กันต่อจำนวนรากและปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นไหลสตรอว์เบอร์รี โดยทุกกรรมวิธีให้จำนวนรากและปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม ยกเว้นการใช้ IBA ความเข้มข้น 1.2 มก./ลิตร ร่วมกับ $GA_3$ ความเข้มข้น 50 มก./ลิตร ซึ่งให้ค่าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม

## เอกสารอ้างอิง


Ashrafuzzaman, M., S.M. Faisal, D. Yadav, D. Khanam and F. Raihan. 2013. Micropropagation of strawberry (*Fragaria x ananassa*) through runner culture. Bangladesh Journal of Agricultural Research 38(3): 467-472.

Bai, T., Z. Dong, X. Zheng, S. Song, J. Jiao, M. Wang and C. Song. 2020. Auxin and its interaction with ethylene control adventitious root formation and development in apple rootstock. Frontiers in Plant Science 11: 574881, doi: 10.3389/fpls.2020.574881.

De Klerk, G.J., W. Van Der Krieken, and J.C. de Jong. 1999. Review the formation of adventitious roots: new concepts, new possibilities. *In Vitro* Cellular & Developmental Biology-Plant 35(3): 189-199.

De Rybel, B., D. Audenaert, W. Xuan, P. Overvoorde, L.C. Strader and S. Kepinski. 2012. A role for the root cap in root branching revealed by the non-auxin probe naxillin. Nature Chemical Biology 8(9): 798-805.

Edelmann, H.G. 2022. Plant root development is the classical theory for auxin-regulated root growth false?. Protoplasma 259(3): 823-832.

Frick, E.M. and L.C. Strader. 2018. Roles for IBA-derived auxin in plant development. Journal of Experimental Botany 69(2): 169-177.

Guan, L., A.S. Murphy, W.A. Peer, L. Gan, Y. Li. and Z.M. Cheng. 2015. Physiology and molecular regulation of adventitious root formation. Critical Reviews in Plant Sciences 34(5): 506-521.

Hancock, J.F. 2020. Strawberries (2nd ed.). CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom 287 p.

Hossain, M.M. and O. Gony. 2020. Influence of indole butyric acid on root induction in daughter plants of strawberry. Journal of Applied Horticulture 22(3): 209-214.

Islam, M.S., M.A. Hoque, S.A. Sumi, M. Jony, S.A.R Kamrunnahar and M. Shamsuzzaman. 2020. Effects of foliar application of indole butyric acid (IBA), gibberellic acid ($GA_3$) and zinc (Zn) on yield and quality of tomato. International Journal of Plant and Soil Science 32(1): 1-9.

Ivanchenko, M.G., S. Napsucialy-Mendivil and J.G. Dubrovsky. 2010. Auxin-induced inhibition of lateral root initiation contributes to root system shaping in *Arabidopsis thaliana*. The Plant Journal 64(5): 740-752.

Iyer-Pascuzzi, A.S. and P.N. Benfey. 2009. Transcriptional networks in root cell fate specification. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Regulatory Mechanisms 1789(4): 315-325.

Lakehal, A. and C. Bellini. 2019. Control of adventitious root formation: insights into synergistic and antagonistic hormonal interactions. Physiologia plantarum 165(1): 90-100.

Liu, H.J., K.Q. Tao, T.H. Shen, D.L. Song and C.Y. Wang. 2012. Semi-forcing cultivation of'Akihime'strawberry in Heilongjiang Province, China. In VII International Strawberry Symposium 1049 (pp. 517-520).

Nishii, K., C.N. Wang, A. Spada, T. Nagata and M. Möller. 2012. Gibberellin as a suppressor of lateral dominance and inducer of apical growth in the unifoliate *Streptocarpus wendlandii* (Gesneriaceae). New Zealand Journal of Botany 50(3): 267-287.

Stern, R.A., M. Flaishman, S. Applebaum and R. Ben-Arie. 2007. Effect of synthetic auxins on fruit development of 'Bing'cherry (*Prunus avium* L.). Scientia Horticulturae 114(4): 275-280.

Taiz, L., E. Zeiger, I.M. Møller and A. Murphy. 2015. Plant Physiology and Development ($6^{th}$ed.). Sinauer Associates. Sunderland, CT. 761 p.

Techapinyawat, S. 1993. Plant Physiology. Amarin Long Ting Group, Bangkok. 222 p. (in Thai)

Thongrod, N. 1990. Effect of gibberellin on rune production and growth of Tioga strawberry. M.S.Thesis, Kasetsart University, Bangkok. 46 p. (in Thai)

Tripathi, J.M., B.R Khan, R. Gaur, D. Yadav, K.K. Verma and R. Gupta. 2025. Gibberellic acid improves photosynthetic electron transport and stomatal function in crops that are adversely affected by salinity exposure. Plants 14(21): 3388, doi: 10.3390/plants14213388.

Zhang, J., T. Zhou, C. Zhang, W. Zheng, J. Li, W. Jiang, C. Xiao, D. Wei, C. Yang, R. Xu, A. Gong and Y. Bi. 2021. Gibberellin disturbs the balance of endogenesis hormones and inhibits adventitious root development of *Pseudostellaria*

*heterophylla* through regulating gene expression related to hormone synthesis. Saudi Journal of Biological Sciences 28(1): 135-147.

Zhao, H., Y. Wang, S. Zhao, Y. Fu and L. Zhu. 2021. HOMEOBOX PROTEIN 24 mediates the conversion of indole-3-butyric acid to indole-3-acetic acid to promote root hair elongation. New Phytologist 232(5): 2057-2070.

# การใช้ซิลิกอนและโบรอนทางใบเพื่อบรรเทาผลกระทบจากอุณหภูมิสูงต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ กข43

# Foliar Application of Silicon and Boron to Alleviate Effects of High Temperature on Yield and Nutritional Quality of Rice Variety RD43

**เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์[1] และ สาวิกา กอนแสง[2*]**

**Pennapa Jaksomsak[1] and Sawika Konsaeng[2*]**

*[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

*[1]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[2]สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290*

*[2]Program in Agriculture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand*

*[*]Corresponding author: Email: sawika@mju.ac.th*

*(Received: 30 July 2026; Revised: 15 September 2026 ; Accepted: 23 September 2026)*

**Abstract**: Rice grown in Thailand's dry season is commonly exposed to heat stress from high temperatures, resulting in lower grain yield and quality compared to the wet season. Although foliar application of silicon (Si) or boron (B) can help alleviate this effect, their combined effects on yield and nutritional quality under different growing seasons have not been studied, particularly for RD43 rice, a low glycemic-index variety of increasing economic importance. This study, therefore, aimed to evaluate the effects of foliar-applied silicon and boron on the yield and grain quality of RD43 rice grown in the dry and wet seasons. The treatments included no foliar application, foliar silicon (0.6% Si), foliar boron (0.01% B), and a combination of silicon (0.6% Si) and boron (0.01% B), showed that grain yield and quality were significantly lower in the dry season than in the wet season. Combined Si and B foliar application increased grain set particularly in the dry season and increased grain yield, without affecting nitrogen or protein accumulation in the grain, but reduced grain zinc accumulation. These findings provide guidelines for nutrient management to maintain the yield and nutritional quality of RD43 rice under the differing temperature conditions of each growing season.

**Keywords:** Silicon (Si), boron (B), rice, heat stress, nutrient management

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: ข้าวในฤดูนาปรังของประเทศไทยมักเกิดความเครียดเนื่องจากผลของอุณหภูมิสูง ทำให้ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดลดลงเมื่อเทียบกับฤดูนาปี แม้การฉีดพ่นซิลิกอน หรือโบรอนทางใบสามารถช่วยบรรเทาผลกระทบนี้ แต่ยังไม่มีการศึกษาผลร่วมกันต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการภายใต้ความแตกต่างของฤดูปลูก โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ กข43 ซึ่งเป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการฉีดพ่นซิลิกอนและโบรอนทางใบต่อผลผลิตและคุณภาพผลผลิตข้าวพันธุ์ กข43 ที่ปลูกฤดูนาปรังและนาปี กรรมวิธีทดลอง ได้แก่ ไม่มีการฉีดพ่นธาตุอาหาร ฉีดพ่นด้วยซิลิกอน (0.6% Si) ฉีดพ่นด้วยโบรอน (0.01% B) และฉีดพ่นด้วยซิลิกอน (0.6% Si) ร่วมกับโบรอน (0.01% B) ผลการทดลองพบว่าผลผลิตและคุณภาพผลผลิตเมล็ดในฤดูนาปรังต่ำกว่าฤดูนาปีอย่างมีนัยสำคัญ การฉีดพ่นด้วยซิลิกอนร่วมกับโบรอนช่วยเพิ่มการติดเมล็ด โดยเฉพาะในฤดูนาปรัง และเพิ่มผลผลิตเมล็ด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการสะสมไนโตรเจน และโปรตีนในเมล็ดข้าว แต่พบว่าทำให้การสะสมสังกะสีในเมล็ดลดลง ผลการศึกษานี้เป็นแนวทางการจัดการธาตุอาหารเพื่อรักษาผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ กข43 ในสภาพอุณหภูมิที่ต่างกันของแต่ละฤดูปลูก

**คำสำคัญ:** ซิลิกอน โบรอน ข้าว ความเครียดจากความร้อน การจัดการธาตุอาหาร

## คำนำ

การปลูกข้าวในประเทศไทยโดยทั่วไปมีการปลูกในฤดูนาปีและนาปรัง (Rerkasem, 2017) ในทั้งสองฤดูปลูกมีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันอย่างมาก ฤดูนาปีเป็นการปลูกข้าวช่วงมิถุนายน-พฤศจิกายน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยสูงกว่า 100 มิลลิเมตรในเดือนมิถุนายน-ตุลาคม และลดลงต่ำกว่า 60 มิลลิเมตรในเดือนพฤศจิกายน ขณะที่ในฤดูนาปรังซึ่งปลูกช่วงเดือนธันวาคม-เมษายน มีปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ทำให้ไม่สามารถปลูกข้าวได้ในพื้นที่นอกเขตชลประทาน (Thai Meteorological Department, 2026) นอกจากนี้ อุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยในฤดูนาปรังมีค่าสูงสุดถึง 36.1 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยในฤดูนาปี พบว่ามีค่าสูงที่สุด 32.6 องศาเซลเซียส ในเดือนมิถุนายน (Rerkasem, 2018) ทำให้ผลผลิตข้าวในฤดูนาปรังน้อยกว่าฤดูนาปี การลดลงของผลผลิตข้าวที่ปลูกภายใต้ภาวะแล้งและอุณหภูมิสูงเกิดจากความล้มเหลวในกระบวนการผสมเกสร และการปฏิสนธิของข้าว ในระยะผสมเกสร (Matsui et al., 2001; Rang *et al*., 2011) ซึ่งเป็นผลกระทบของความเครียดจากความร้อน (Heat stress) ดังตัวอย่างงานวิจัยในประเทศไทยจำนวนมากที่ได้มีการรายงานถึงผลกระทบของอุณหภูมิสูงที่มีต่อผลผลิตข้าว การปลูกข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 เหนียวแพร่ 1 R258 และสกลนคร ในฤดูนาปรัง พบว่าผลผลิตข้าวลดลงเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับฤดูนาปี (Sukkeo *et al*., 2017) การได้รับอุณหภูมิสูงในช่วงที่ดอกบาน ทำให้ความมีชีวิตของละอองเรณูข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิสูง ลดลงถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และการติดเมล็ดลดลง 77 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิกลางวันในช่วงดอกบานเพิ่มขึ้นจาก 34 เป็น 36 องศาเซลเซียส (Jongjaidee *et al*., 2010) นอกจากนี้ยังพบว่าการปลูกข้าวในสภาพภูมิอากาศที่ต่างกันของฤดูนาปีและนาปรังยังส่งผลต่อขนาดเมล็ด และคุณภาพการขัดสี เช่น เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และท้องไข่ อีกด้วย (Laenoi *et al*., 2018)

การจัดการธาตุอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยบรรเทาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โบรอนเป็นจุลธาตุที่มีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับความมีชีวิตของละอองเรณูและการงอกของละอองเรณู (Chen *et al*., 1998) พบงานวิจัยที่รายงานว่าข้าวที่ออกดอกในช่วงอุณหภูมิสูง หากได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเพียงพอ ทำให้ความมีชีวิตของละอองเรณู การงอกของละอองเรณู และการติดเมล็ด เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีโบรอน (Lordkaew *et al*., 2013) นอกจากนี้ยังพบรายงานเกี่ยวกับการให้ปุ๋ยโบรอนทางใบในการเพิ่มผลผลิต

และคุณภาพผลผลิต ตัวอย่างเช่น การให้สารละลายโบรอนทางใบความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ในรูปของบอแรกซ์ ทำให้มีการสะสมโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดถั่วเขียวผิวดำเพิ่มขึ้น (Pandey and Gupta, 2013) งานวิจัยล่าสุดยังยืนยันว่าการให้โบรอนช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุโบรอนและผลผลิตของข้าวได้ดีกว่าการไม่ได้รับโบรอน (Songsriin *et al*., 2023) ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงในฤดูร้อนมักมีสภาวะแล้งร่วมด้วย ซิลิกอนเป็นธาตุเสริมประโยชน์ที่ช่วยลดผลกระทบจากสภาวะแล้งในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี และข้าว (Marschner, 2012) โดยมีบทบาทในการรักษาปริมาณน้ำในใบ จากการลดการสูญเสียน้ำ และเพิ่มการดูดทางราก เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง และการดูดซึมธาตุอาหารของพืช (Chen *et al*., 2011) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโดยบรรเทาความเครียดทั้งจากปัจจัยทางชีวภาพและกายภาพ ทั้งนี้ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปริมาณการสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชซึ่งช่วยเสริมความแข็งแรงของผนังเซลล์ (Chaiwong and Prom-u-thai, 2022) มีรายงานว่าการให้ปุ๋ยซิลิกอนช่วยเพิ่มผลผลิตข้าว พร้อมกับกระตุ้นการแสดงออกของยีนขนส่งซิลิกอนในต้นข้าว (Chaiwong *et al*., 2022) สำหรับการตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยซิลิกอนทางดิน พบว่าการให้ในอัตราที่เหมาะสมช่วยเพิ่มผลผลิตได้สูงสุด แต่การให้ในอัตราที่สูงเกินไปกลับทำให้ผลผลิตลดลงโดยเฉพาะในดินที่มีความเป็นประโยชน์ของซิลิกอนต่ำ (Sukyankij *et al*., 2023) การให้ซิลิกอนทางดินในรูปแคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200-600 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ยังช่วยทำให้ข้าวที่ปลูกในสภาพไร่ทนต่อภาวะแล้ง และมีผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ซิลิกอน (Nolla *et al*., 2012) นอกจากนี้ ซิลิกอนยังช่วยลดความเสียหายจากความเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) และรักษาสมดุลของกระบวนการเผาผลาญในระดับเซลล์เมื่อพืชเกิดความเครียด (Sarkar *et al*., 2022) อย่างไรก็ตามการให้ปุ๋ยทางดินอาจไม่ได้ผล หากพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การพ่นทางใบจึงเป็นวิธีการจัดการธาตุอาหารที่ช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารเพียงพอและตอบสนองต่อความเครียดได้อย่างรวดเร็ว (Osotsapar, 2015)

ในปัจจุบันมีการปรับปรุงข้าวพันธุ์สมัยใหม่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นข้าวตลาดเฉพาะที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ข้าวพันธุ์ กข43 เป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) ปานกลางค่อนข้างต่ำ โดยการศึกษาในอาสาสมัครสุขภาพดีพบว่าข้าว กข43 มีค่าดัชนีน้ำตาลเฉลี่ย 56.9 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิที่มีค่า 80.1 และยังให้ค่าตอบสนองน้ำตาลในเลือดหลังบริโภคต่ำกว่าข้าวหอมมะลิถึง 28.8 เปอร์เซ็นต์ (Sanpawithayakul *et al*., 2026) จึงเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และผู้รักสุขภาพ โดยมีแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น

แม้ว่าจะมีรายงานผลของการฉีดพ่นซิลิกอนและโบรอนร่วมกันในข้าว โดยพบว่าการฉีดพ่นซิลิกอนที่ 3,000 ppm ร่วมกับโบรอนที่ 90 ppm ให้ผลดีที่สุดต่อจำนวนรวง ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ด ในข้าวพันธุ์ Sakha 104 (El-Temsah, 2017) แต่งานวิจัยดังกล่าวดำเนินการในสภาพภูมิอากาศเขตอบอุ่นกึ่งแห้งแล้ง ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างฤดูปลูกไม่ได้มีลักษณะเป็นความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ชัดเจนเช่นเดียวกับความแตกต่างระหว่างฤดูนาปีและนาปรังของประเทศไทย นอกจากนี้ยังเน้นการศึกษาเฉพาะองค์ประกอบผลผลิตและคุณภาพด้านโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต โดยไม่ได้ประเมินผลต่อธาตุอาหารในเมล็ด เช่น สังกะสี ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าว ในขณะที่งานวิจัยด้านซิลิกอนและโบรอนในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาผลของแต่ละธาตุแยกจากกัน (Lordkaew *et al*., 2013; Chaiwong *et al*., 2022; Songsriin *et al*., 2023) ยังไม่พบรายงานที่ประเมินผลของการให้ซิลิกอนและโบรอนทางใบร่วมกันภายใต้สภาพภูมิอากาศที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิอย่างชัดเจนระหว่างฤดูปลูก ประกอบกับข้าวพันธุ์ กข43 เป็นข้าวตลาดเฉพาะที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นจากคุณสมบัติที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ แต่ยังไม่มีการศึกษาการจัดการธาตุอาหารเพื่อรักษาผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์นี้ ภายใต้สภาพอากาศที่แตกต่างกันของแต่ละฤดูปลูก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการพ่นซิลิกอนและโบรอนทางใบต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการข้าวพันธุ์ กข43 ในฤดูปลูกที่ต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางการจัดการธาตุอาหารเมื่อต้องปลูกข้าวในสภาพที่อุณหภูมิสูง

## อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินงานวิจัยที่แปลงเกษตรกรใน ต.สันป่าเปา อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ดินในแปลงปลูกจัดอยู่ในชุดดินสันทราย เก็บตัวอย่างดินก่อนการปลูก วิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของดินเบื้องต้น ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณธาตุอาหารในดิน (total N, available P, exchangeable K, exchangeable Ca, exchangeable Mg, available Zn, available Mn, available Fe และ available Cu) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (Puranapong, 2005) ผลการวิเคราะห์สมบัติดินก่อนเริ่มดำเนินการทดลองแสดงใน Table 1 พบว่า ดินมีค่า pH 6.4 เป็นกรดเล็กน้อย มีอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ระดับปานกลาง ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมงกานีสที่เป็นประโยชน์ เหล็กที่เป็นประโยชน์ และทองแดงที่เป็นประโยชน์ในระดับสูง

ปลูกข้าวพันธุ์ กข43 โดยใช้ต้นกล้าข้าวอายุ 40 วัน ด้วยวิธีนาดำใช้ต้นกล้า 2-3 ต้นต่อหลุม ระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ยทางดินใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรูปยูเรีย 75 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ แบ่งใส่ 2 ครั้งในอัตราที่เท่ากัน เมื่อข้าวอายุ 15 วัน และ 45 วันหลังปักดำ มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (0-42-0) 12.5 กิโลกรัม $P_2O_5$/เฮกตาร์ และโพแทสเซียม (0-0-60) อัตรา 20 กิโลกรัม $K_2O$/เฮกตาร์ (Osotsapar *et al*., 2008) พร้อมกับการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized complete block design) จำนวน 4 ซ้ำ ขนาดแปลง 12 x 15 ตารางเมตร ปัจจัยการทดลองประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ฤดูปลูก 2 ฤดู ได้แก่ ฤดูนาปรัง (ปลูกข้าวในวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2566 เพื่อให้ออกดอกในช่วงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูง พิจารณาจากข้อมูลสภาพอากาศย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2561-2565) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่) และฤดูนาปี (ปลูกข้าวในวันที่ 6 สิงหาคม 2566) ปัจจัยที่ 2 คือ กรรมวิธีฉีดพ่นธาตุอาหารทางใบ 4 กรรมวิธี ได้แก่ ไม่มีการพ่นปุ๋ยทางใบ พ่นซิลิกอนทางใบ (0.6 เปอร์เซ็นต์ Si

**Table 1 Soil properties before the experiment**

| Soil properties[1] | Analysis |
|---|---|
| pH | 6.4 |
| Organic matter (%) | 2.25 |
| Total N (%) | 0.113 |
| Available P (mg/kg) | 118 |
| Exchangeable K (mg/kg) | 86 |
| Exchangeable Ca (mg/kg) | 2,265 |
| Exchangeable Mg (mg/kg) | 284 |
| Available Zn (mg/kg) | 2.45 |
| Available Mn (mg/kg) | 27 |
| Available Fe (mg/kg) | 231 |
| Available Cu (mg/kg) | 5.6 |

[1]Analysis method: pH-1:1 soil: water, Organic matter-Walkley and Black, total N-Kjeldahl, available P-Bray II, exchangeable K, exchangeable Ca and exchangeable Mg-extracted by ammonium acetate and analyzed by atomic absorption spectrophotometer, available Zn, available Mn available Fe and available Cu-extracted by DTPA and analyzed by atomic absorption spectrophotometer

เตรียมจาก Sodium metasilicate) พ่นโบรอนทางใบ (0.01 เปอร์เซ็นต์ B เตรียมจาก Boric acid) และพ่นทางใบด้วยซิลิกอน (0.6 เปอร์เซ็นต์ Si) ร่วมกับโบรอน (0.01 เปอร์เซ็นต์ B) สำหรับการพ่นปุ๋ยทางใบ มีการพ่นตามกรรมวิธีทดลอง 2 ครั้ง ในระยะข้าวตั้งท้อง (booting) และระยะออกรวง (heading) แต่ละกรรมวิธีพ่นปุ๋ยอัตรา 200 มิลลิลิตร ในพื้นที่ 4 ตารางเมตร

การบันทึกข้อมูลในทั้ง 2 ฤดู ประกอบด้วยการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดตั้งแต่ระยะสร้างช่อดอกจนถึงระยะดอกบาน เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว (physical maturity) สุ่มเก็บผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตจากพื้นที่ 1 ตารางเมตร บันทึกข้อมูลความสูงของต้นข้าว จำนวนหน่อ จำนวนรวง น้ำหนักแห้งฟาง และน้ำหนักผลผลิตเมล็ด วัดความชื้นของเมล็ด แล้วคำนวณเป็นผลผลิตที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ สุ่มเก็บตัวอย่างรวงข้าวจำนวน 10 รวงต่อกรรมวิธี นับจำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดี แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกจากแต่ละกรรมวิธี 100 เมล็ด ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง คำนวณเป็นน้ำหนัก 1,000 เมล็ด วิเคราะห์คุณภาพข้าวด้านโภชนาการ โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องมาบดละเอียด วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ด้วยวิธี Kjeldahl คำนวณเป็นปริมาณโปรตีนโดยคูณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วย Kjeldahl factor ของเมล็ดข้าว (5.95) (Perez *et al*., 1996) วิเคราะห์ปริมาณธาตุสังกะสี โดยย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริก-เปอร์คลอริก อ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Puranapong, 2005)

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ด้วยโปรแกรม Statistix 10 for Windows เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95%

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

**อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยในระยะการสร้างช่อดอกถึงระยะดอกบาน**

Table 2 แสดงอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ระหว่างระยะการสร้างช่อดอกถึงระยะดอกบาน ในฤดูนาปรัง อุณหภูมิต่ำสุดระยะสร้างช่อดอกมีค่า 22.5-25.6 องศาเซลเซียส สูงสุด 37.0-41.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 27.2-30.1 องศาเซลเซียส ในระยะออกดอกอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 23.4-27.5, 38.2-42.6 และ 28.4-32.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับฤดูนาปี อุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยในระยะสร้างช่อดอกมีค่าใกล้เคียงกับฤดูนาปรัง (23.4-25.8 และ 25.0-30.0 องศาเซลเซียส) ขณะที่อุณหภูมิสูงสุดในระยะสร้างช่อดอกรวมถึงอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยใน

**Table 2. Minimum, maximum and average daily temperature during panicle initiation to flowering of rice variety RD43 grown in dry and wet seasons of the year 2022/2023**

| Growing season | | Temperature (°C) | |
|---|---|---|---|
| | | Panicle initiation | Flowering |
| Dry season | Minimum temperature | 22.5 - 25.6 | 23.4 - 27.5 |
| Apr 18-24, 2023 | Maximum temperature | 37.0 - 41.5 | 38.2 - 42.6 |
| | Average temperature | 27.2 - 30.1 | 28.4 - 32.6 |
| Wet season | Minimum temperature | 23.4 - 25.8 | 23.9 - 25.8 |
| Sep 30-Oct 3, 2023 | Maximum temperature | 27.5 - 36.8 | 29.8 - 36.2 |
| | Average temperature | 25.0 - 30.0 | 26.1 - 29.9 |

ระยะดอกบานในฤดูนาปรังมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูนาปี จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงในฤดูนาปรังส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต รวมทั้งคุณภาพข้าวในด้านคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ กข43 ซึ่งมีความแตกต่างจากฤดูนาปรังอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากในฤดูนาปรังอุณหภูมิสูงสุดรายวันมีค่าสูงถึง 42.6 องศาเซลเซียส รวมทั้งมีช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญของข้าวทุกระยะ (Aghamolki *et al*., 2014) นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง และระยะออกดอก อุณหภูมิสูงสุดมีค่าระหว่าง 37.0-41.5 และ 38.2-42.6 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในทั้งสองระยะมีค่าสูงกว่า 35-36 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิวิกฤติสำหรับการ-สร้างผลผลิตข้าวตามที่ Yoshida (1978) ได้รายงานไว้ ทั้งนี้ในช่วงฤดูนาปีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าในฤดูนาปรังโดยอยู่ในช่วง 27.5-36.8 องศาเซลเซียส ในระยะตั้งท้อง และ 29.8-36.2 องศาเซลเซียส ในระยะออกดอก

**การเจริญเติบโตที่ระยะเก็บเกี่ยว ผลผลิตและองค์-ประกอบผลผลิต**

จากผลการวิจัยพบว่า ต้นข้าว กข43 ที่ปลูกในฤดูปรังมีความสูงที่ระยะเก็บเกี่ยวเพียง 57.08 เซนติเมตร ซึ่งเตี้ยกว่าต้นข้าวในฤดูนาปี ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 72.91 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าข้าว กข43 ที่ปลูกในฤดูนาปรังมีจำนวนหน่อ 25 หน่อต่อกอ และจำนวนรวง 20 รวงต่อกอ จะเห็นได้ว่ามีการสร้างหน่อและรวง น้อยกว่าข้าวที่ปลูกในฤดูนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (29 หน่อต่อกอ และ 25 รวงต่อกอ) ทั้งนี้ไม่พบผลของปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย และกรรมวิธีการฉีดพ่นธาตุอาหารต่อลักษณะดังกล่าว (Table 3)

**Table 3** Plant height, tiller number and panicle number of rice variety RD43 at harvest which were grown in dry and wet seasons 2022/2023 with various foliar-applied treatments

| Seasons | Treatments | Plant height (cm) | Tiller number per plant | Panicle number per plant |
|---|---|---|---|---|
| Dry season | NF | 58.17 | 23 | 20 |
| | Si | 58.54 | 25 | 19 |
| | B | 52.42 | 26 | 21 |
| | SiB | 59.21 | 26 | 21 |
| Wet season | NF | 72.17 | 29 | 25 |
| | Si | 71.34 | 29 | 25 |
| | B | 75.00 | 30 | 26 |
| | SiB | 73.08 | 30 | 26 |
| Mean | Dry | 57.08 b | 25 b | 20 b |
| | Wet | 72.91 a | 29 a | 25 a |
| | NF | 65.17 | 26 | 22 |
| | Si | 64.96 | 27 | 22 |
| | B | 63.71 | 28 | 24 |
| | SiB | 66.15 | 28 | 23 |
| F-test | Season (S) | ** | ** | ** |
| | Treatment (T) | ns | ns | ns |
| | SxT | ns | ns | ns |
| | $LSD_{0.05}$ (S) | 3.3 | 2 | 2 |
| | $LSD_{0.05}$ (T) | - | - | - |
| | $LSD_{0.05}$ (SxT) | - | - | - |

Means followed by different letters are significantly different among treatments according to LSD at $P \leq 0.05$

** = significantly different at $P<0.01$, ns = not significant

ด้านผลผลิต พบว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นของน้ำหนักฟาง และผลผลิตเมล็ด เกิดจากฤดูเพาะปลูก หรือกรรมวิธีการฉีดพ่นธาตุอาหารอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง การปลูกข้าว กข43 ในฤดูนาปีให้ผลผลิตฟาง 6.8 ตัน/เฮกตาร์ และผลผลิตเมล็ด 4.3 ตัน/เฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าการปลูกในฤดูนาปรัง 1.5 และ 1.7 เท่า ตามลำดับ ส่วนการฉีดพ่นธาตุอาหารพบว่าการฉีดพ่นธาตุซิลิกอนร่วมกับโบรอนทำให้น้ำหนักฟางและผลผลิตเมล็ดสูงกว่าการไม่ฉีดพ่น และการฉีดพ่นด้วยซิลิกอนเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลของกรรมวิธีการทดลองต่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (Table 4)

Table 5 แสดงจำนวนเมล็ดต่อรวง และการติดเมล็ดของข้าว กข43 ที่ได้รับกรรมวิธีการฉีดพ่นธาตุอาหารที่ต่างกันในสองฤดูปลูก ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในลักษณะจำนวนเมล็ดต่อรวง โดยมีจำนวนเมล็ด 93 เมล็ดต่อรวง อย่างไรก็ตามพบความแตกต่างโดยมีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างฤดูเพาะปลูกและกรรมวิธีการฉีดพ่นธาตุอาหาร การฉีดพ่นโบรอน และโบรอนร่วมกับซิลิกอน ช่วยให้การติดเมล็ดในฤดูนาปรังสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการฉีดพ่นและการฉีดพ่นซิลิกอน โดยการติดเมล็ดที่เพิ่มขึ้นนี้มีค่าไม่ต่างจากการติดเมล็ดในฤดูนาปีในทุกกรรมวิธี เมื่อพิจารณาผลของแต่ละธาตุต่อ

**Table 4 Straw yield, grain yield and 1,000 grain weight of rice variety RD43 which were grown in dry and wet seasons 2022/2023 with various foliar-applied treatments**

| Seasons | Treatments | Straw yield (ton/ha) | Grain yield (ton/ha) | 1,000 grain weight (g) |
|---|---|---|---|---|
| Dry season | NF | 4.2 | 2.3 | 30.42 |
| | Si | 4.6 | 2.4 | 30.28 |
| | B | 4.6 | 2.6 | 30.28 |
| | SiB | 4.5 | 2.9 | 30.36 |
| Wet season | NF | 6.3 | 4.3 | 30.52 |
| | Si | 6.2 | 4.0 | 30.93 |
| | B | 7.3 | 4.3 | 30.48 |
| | SiB | 7.5 | 4.5 | 31.02 |
| Mean | Dry | 4.5 b | 2.5 b | 30.34 |
| | Wet | 6.8 a | 4.3 a | 30.74 |
| | NF | 5.2 *c* | 3.2 *b* | 30.47 |
| | Si | 5.4 *bc* | 3.3 *b* | 30.60 |
| | B | 5.9 *ab* | 3.4 *ab* | 30.38 |
| | SiB | 6.0 *a* | 3.7 *a* | 30.69 |
| F-test | Season (S) | ** | ** | ns |
| | Treatment (T) | ** | ** | ns |
| | SxT | ns | ns | ns |
| | $LSD_{0.05}$ (S) | 1.0 | 0.3 | - |
| | $LSD_{0.05}$ (T) | 0.5 | 0.4 | - |
| | $LSD_{0.05}$ (SxT) | - | - | - |

Means followed by different letters are significantly different among treatments according to LSD at $P \leq 0.05$

** = significantly different at $P<0.01$, ns = not significant

Table 5 Grain number per panicle and percentage of grain set of rice variety RD43 which were grown in dry and wet seasons 2022/2023 with various foliar-applied treatments

| Seasons | Treatments | Grain number per panicle | Grain set (%) |
|---|---|---|---|
| Dry season | NF | 102 | 82.04 B |
| | Si | 83 | 78.17 B |
| | B | 87 | 87.36 A |
| | SiB | 93 | 90.14 A |
| Wet season | NF | 93 | 90.15 A |
| | Si | 91 | 90.47 A |
| | B | 103 | 88.73 A |
| | SiB | 96 | 89.73 A |
| Mean | Dry | 91 | 84.43 b |
| | Wet | 96 | 89.77 a |
| | NF | 98 | 86.09 *bc* |
| | Si | 87 | 84.32 *c* |
| | B | 95 | 88.05 *ab* |
| | SiB | 94 | 89.94 *a* |
| F-test | Season (S) | ns | ** |
| | Treatment (T) | ns | ** |
| | SxT | ns | ** |
| | $LSD_{0.05}$ (S) | - | 2.22 |
| | $LSD_{0.05}$ (T) | - | 3.14 |
| | $LSD_{0.05}$ (SxT) | - | 4.44 |

Means followed by different letters are significantly different among treatments according to LSD at $P \leq 0.05$

** = significantly different at $P<0.01$, ns = not significant

การติดเมล็ดในฤดูนาปรัง พบว่า ฉีดพ่นโบรอนเพียงอย่างเดียวทำให้การติดเมล็ด 87.36 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากการฉีดพ่นซิลิกอนร่วมกับโบรอน ขณะที่การติดเมล็ดจากการฉีดพ่นซิลิกอนอย่างเดียวมีค่าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่มีการฉีดพ่นธาตุอาหาร แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของการติดเมล็ดภายใต้อุณหภูมิสูง เป็นอิทธิพลที่มาจากโบรอนมากกว่าซิลิกอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากบทบาทของโบรอนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความมีชีวิตของละอองเรณู และกระบวนการงอกของหลอดละอองเรณู (Chen *et al*., 1998; Lordkaew *et al*., 2013) ซึ่งเป็นกระบวนการเฉพาะเจาะจงในช่วงการผสมเกสร ส่วนซิลิกอนมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างพืช และการรักษาสมดุลน้ำ ซึ่งอาจมีผลทางอ้อมต่อการติดเมล็ด (Marschner, 2012)

ในงานวิจัยนี้พบว่าข้าว กข43 ที่ปลูกในฤดูนาปรังมีการติดเมล็ดที่ลดลง 5.34 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ผลผลิตลดลง 40.41 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูนาปี ซึ่งสอดคล้องกับกลไกความล้มเหลวในกระบวนการผสมเกสรภายใต้ความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีรายงานไว้ในข้าวพันธุ์อื่น (Jagadish *et al*., 2007; Matsui *et al*., 2001; Prasad *et al*., 2006; Rang *et al*., 2011) จากรายงานของ Rehman *et al*. (2014) ที่พบว่าการฉีดพ่นโบรอนช่วย

เพิ่มเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด และผลผลิตเมล็ด แต่ในงานวิจัยนี้ได้ผลที่ต่างออกไป แม้ว่าการฉีดพ่นโบรอนทำให้มีการติดเมล็ดมากขึ้น แต่พบว่าการฉีดพ่นโบรอนเพียงอย่างเดียวไม่ได้ทำให้ผลผลิตเมล็ด มีความแตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่มีการฉีดพ่นธาตุอาหาร เนื่องจากในกระบวนการสร้างผลผลิตข้าวมีกระบวนการอื่นที่เกี่ยวข้องนอกเหนือจากขั้นตอนการผสมเกสร จะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดกับจำนวนหน่อต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบว่าการฉีดพ่นซิลิกอนร่วมกับโบรอนช่วยให้มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดมากขึ้น รวมทั้งได้ผลผลิตเมล็ดที่สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการฉีดพ่นธาตุอาหาร อาจเนื่องมาจากซิลิกอนที่ฉีดพ่นร่วมกับโบรอนมีบทบาทในการลดการสูญเสียน้ำ ช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง ซึ่งส่งผลต่อการสะสมน้ำหนักเมล็ด (Chen *et al*., 2011)

**คุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดข้าว**

ฤดูเพาะปลูกมีผลกระทบต่อปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ กข43 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในฤดูนาปีมีปริมาณไนโตรเจน และโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้อง 1.53 และ 9.10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฤดูนาปรังมีค่า 1.42 และ 8.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่พบผลจากกรรมวิธีการฉีดพ่นธาตุอาหารต่อปริมาณไนโตรเจน และโปรตีนในเมล็ดข้าว สำหรับปริมาณสังกะสีพบว่าไม่ได้รับผลกระทบจากฤดูเพาะปลูก แต่พบว่าการได้รับการฉีดพ่นธาตุอาหารที่ต่างกันทำให้ปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องมีความแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 6 มีรายงานว่าซิลิกอนสามารถลดการดูดสังกะสีเข้าสู่รากข้าวผ่านการกดการแสดงออกของยีนขนส่งสังกะสี โดยไม่มีผลต่อสัดส่วนการเคลื่อนย้ายจากรากไปยังส่วนเหนือดิน (Huang *et al*., 2020)

**Table 6 Nitrogen, protein and Zn in brown rice of rice variety RD43 which were grown in dry and wet seasons 2022/2023 with various foliar-applied treatments**

| Seasons | Treatments | Nitrogen (%) | Protein (%) | Zn (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|
| Dry season | NF | 1.41 | 8.39 | 17.50 |
| | Si | 1.47 | 8.72 | 18.25 |
| | B | 1.41 | 8.44 | 17.00 |
| | SiB | 1.36 | 8.14 | 16.00 |
| Wet season | NF | 1.45 | 8.66 | 17.50 |
| | Si | 1.53 | 9.12 | 18.50 |
| | B | 1.56 | 9.25 | 16.75 |
| | SiB | 1.58 | 9.37 | 16.75 |
| Mean | Dry | 1.42 b | 8.42 b | 17.19 |
| | Wet | 1.53 a | 9.10 a | 17.38 |
| | NF | 1.43 | 8.52 | 17.50 *b* |
| | Si | 1.50 | 8.92 | 18.38 *a* |
| | B | 1.49 | 8.84 | 16.88 *bc* |
| | SiB | 1.47 | 8.74 | 16.38 *c* |
| F-test | Season (S) | ** | ** | ns |
| | Treatment (T) | ns | ns | ** |
| | SxT | ns | ns | ns |
| | $LSD_{0.05}$ (S) | 0.06 | 0.36 | 0.70 |
| | $LSD_{0.05}$ (T) | - | - | - |
| | $LSD_{0.05}$ (SxT) | - | - | - |

Means followed by different letters are significantly different among treatments according to LSD at $P \leq 0.05$

** = significantly different at $P<0.01$, ns = not significant

ซึ่งกลไกนี้สอดคล้องกับผลที่พบในกรรมวิธีที่มีการฉีดพ่นซิลิกอนร่วมกับโบรอนที่มีปริมาณสังกะสีในข้าวกล้องน้อยกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการฉีดพ่น 6.4 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่สามารถอธิบายผลตรงข้ามที่พบในกรรมวิธีการฉีดพ่นซิลิกอนเพียงอย่างเดียว ที่พบว่าปริมาณสังกะสีในข้าวกล้องสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการฉีดพ่น ทั้งนี้ในงานวิจัยดังกล่าวศึกษาในสภาพไฮโดรโพนิกส์และเป็นการให้ซิลิกอนทางราก ซึ่งอาจมีกลไกการตอบสนองที่แตกต่างจากการฉีดพ่นทางใบในสภาพแปลงดังเช่นในงานวิจัยนี้ ความแตกต่างของผลการตอบสนองระหว่างกรรมวิธีการฉีดพ่นซิลิกอน และซิลิกอนร่วมกับโบรอน จึงอาจเกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างซิลิกอนกับโบรอนต่อระบบขนส่งธาตุอาหารในพืชซึ่งยังไม่มีการศึกษากลไกที่ชัดเจน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุสังกะสีภายในต้นข้าว ที่เกิดจากความแตกต่างทางพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมการปลูก รวมทั้งไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องกับผลผลิตเมล็ดในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และก่ำหอม มช. ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งกลไกการควบคุมทั้งสองลักษณะนี้อาจแยกจากกันในทางสรีรวิทยา (Rinsinjoy *et al*., 2019) สอดคล้องกับผลจากการทดลองนี้ที่พบว่าปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวไม่ได้แปรผันไปในทิศทางเดียวกับผลผลิตเมล็ด

## สรุป

จากการดำเนินการวิจัยเพื่อประเมินผลกระทบจากอุณหภูมิสูงในฤดูนาปรังต่อผลผลิตและคุณภาพข้าวคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยได้ทำการศึกษาในข้าวพันธุ์ กข43 งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์นี้ที่ปลูกในฤดูนาปรังมีการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และคุณค่าทางโภชนาการต่ำกว่าฤดูนาปีอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากความเครียดจากอุณหภูมิสูงในช่วงการสร้างช่อดอกและออกดอก การฉีดพ่นซิลิกอนร่วมกับโบรอนทางใบสามารถช่วยบรรเทาผลกระทบดังกล่าวได้บางส่วน โดยเพิ่มการติดเมล็ด และผลผลิตเมล็ดให้สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการฉีดพ่นธาตุอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ด แต่พบว่าการฉีดพ่นซิลิกอนร่วมกับโบรอนทำให้ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องลดลง ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ควรพิจารณาควบคู่กับการเพิ่มผลผลิต ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าการจัดการธาตุอาหารสามารถช่วยรักษาผลผลิตข้าว กข43 ที่ปลูกภายใต้สภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่สามารถชดเชยผลกระทบด้านคุณค่าทางโภชนาการได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบอัตรา และช่วงเวลาในการฉีดพ่นที่เหมาะสม รวมถึงตรวจสอบกลไกที่ทำให้ปริมาณสังกะสีลดลงเมื่อฉีดพ่นซิลิกอนร่วมกับโบรอน เพื่อพัฒนาแนวทางการจัดการธาตุอาหารที่รักษาทั้งผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์นี้ได้อย่างสมดุลภายใต้สภาพภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิสูง

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.)

## เอกสารอ้างอิง

Aghamolki, M.T.K., M.K. Yusop, F.C. Oad, H. Zakikhani, H.Z. Jaafar, S. Kharidah and M.H. Musa. 2014. Heat stress effects on yield parameters of selected rice cultivars at reproductive growth stages. Journal of Food, Agricultural and Environment 12(2): 741-746.

Chaiwong, N. and C. Prom-u-thai. 2022. Significant roles of silicon for improving crop productivity and factors affecting silicon uptake and accumulation in rice: a review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 22(2): 1970-1982.

Chaiwong, N., T. Pusadee, S. Jamjod and C. Prom-u-thai. 2022. Silicon application promotes productivity, silicon accumulation and

upregulates silicon transporter gene expression in rice. Plants 11(7): 989, doi: 10.3390/plants11070989.

Chen, W., X. Yao, K. Cai and J. Chen. 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. Biological Trace Element Research 142(1): 67-76.

Chen, Y., J.M. Smagula, W. Litten and S. Dunham. 1998. Effect of boron and calcium foliar sprays on pollen germination and development, fruit set, seed development, and berry yield and quality in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). Journal of American Society for Horticultural Science 123(4): 524-531.

El-Temsah, M.E. 2017. Response of rice yield, its components and quality to silicon and boron foliar application. Middle East Journal of Agriculture Research 6(4): 1259-1267.

Huang, S., N. Yamaji, Y. Ma and J.F. Ma. 2020. Silicon suppresses zinc uptake through down-regulating zinc transporter gene in rice. Physiologia Plantarum 170(3): 425-432.

Jagadish, S., P. Craufure and T. Wheeler. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Experimental Botany 58(7): 1627-1635.

Jongjaidee, J., S. Lordkaew, S. Konsaeng, S. Jamjod and B. Rerkasem. 2010. Influence of high temperature on pollen viability and fertilization in Thai rice varieties. Journal of Agriculture 26(Special Issue): 29-35. (in Thai)

Laenoi, S., B. Rerkasem, S. Lordkaew and C. Prom-u-thai. 2018. Seasonal variation in grain yield and quality in different rice varieties. Field Crops Research 221: 350-357.

Lordkaew, S., S. Konsaeng, J. Jongjaidee, B. Dell, B. Rerkasem and S. Jamjod. 2013. Variation in responses to boron in rice. Plant and Soil 363(1): 287-295.

Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press. 651 p.

Matsui, T., K. Omasa and T. Horie. 2001. The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among japonica-rice varieties. Plant Production Science 4(2): 90-93.

Nolla, A., R.J. de Faria. G.H. Korndoerfer and T.B. da Silva. 2012. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. Journal of Food, Agriculture and Environment 10(1): 269-272.

Osotsapar, Y., A. Wongmaneerote and C. Hongprayoon. 2008. Fertilizers for Sustainable Agriculture. Kasetsart University Press, Bangkok. 519 p. (in Thai)

Osotsapar, Y. 2015. Soil, Nutrients and Fertilizer in Rice. Soil and Fertilizer Society of Thailand, Bangkok. 454 p. (in Thai)

Pandey, N. and B. Gupta. 2013. The impact of foliar boron sprays on reproductive biology and seed quality of black gram. Journal of Trace Elements in Medicine Biology 27: 58-64.

Perez, C.M., B.O. Juliano, S.P. Liboon, J.M. Alcantara and K.G. Cassman. 1996. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein

content, and grain quality of rice. Cereal Chemistry 73(5): 556-560.

Prasad, P.V.V., K.J. Boote, L.H. Allen Jr., J.E. Sheehy and J.M.G. Thomas. 2006. Species ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. Field Crops Research 95(2-3): 398-411.

Puranapong, N. 2005. Handbook of Soil and Plant Analysis. Maejo University, Chiang Mai. 286 p. (in Thai)

Rang, Z.W., S.V.K. Jagadish, Q.M. Zhou, P.Q. Craufurd and S. Heuer. 2011. Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in rice. Environmental and Experimental Botany 70(1): 58-65.

Rehman, A., M. Farooq, Z.A. Cheema, A. Nawaz and Z. Wahid. 2014. Foliage applied boron improves the panicle fertility, yield and biofortification of fine grain aromatic rice. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 14(3): 723-733.

Rerkasem, B. 2017. The rice value chain: a case study of Thai rice. ASR: CMU Journal of Social Science and Humanities 4(1): 1-26.

Rerkasem, B. 2018. Thai Rice Science. Research Administration Center, Chiang Mai University: Chiang Mai. 296 p. (in Thai)

Rinsinjoy, R., S. Lordkaew and C.T. Prom-u-thai. 2019. Zinc accumulation in upland and wetland rice grown under non-flooded and flooded conditions. Journal of Agriculture 35(3): 425-434. (in Thai)

Sanpawithayakul, K., N. Kaewprasert, P. Tantiyavarong, S. Wichansawakun and T. Tharavanij. 2026. Determination of glycemic index of RD43 rice and Thai Hom Mali rice and effects on postprandial glucose and insulin responses in healthy participants: a crossover study. Thammasat University Hospital Journal Online 11(1): 169-181.

Sarkar, M.M., S. Mukherjee, P. Mathur and S. Roy. 2022. Exogenous nano-silicon application improves ion homeostasis, osmolyte accumulation and palliates oxidative stress in Lens culinaris under NaCl stress. Plant Physiology and Biochemistry 192: 143-161.

Songsriin, J., S. Yamuangmorn, S. Lordkaew, S. Jumrus, J. Veeradittakit, S. Jamjod and C. Prom-u-thai. 2023. Efficacy of soil and foliar boron fertilizer on boron uptake and productivity in rice. Agronomy 13(3): 692, doi: 10.3390/agronomy13030692.

Sukkeo, S. B. Rerkasem and S. Jamjod. 2017. Heat tolerance in Thai rice varieties. ScienceAsia 43(2): 61-69.

Sukyankij, S., S. Sukyankij, M. Phun-iam and T. Panich-pat. 2023. Response of rice to silicon fertilizer application and its effects on silicon availability in soil of Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand. Journal of Agriculture 39(2): 155-167.

Thai Meteorological Department. 2026. Monthly Mean Rainfall in Thailand 30 years. (Online). Available: https://www.tmd.go.th/en/ClimateChart/monthly-mean-rainfall-in-thailand-mm-30-years (June 29, 2026). (in Thai)

Yoshida, S. 1978. Tropical Climate and Its Influence on Rice. International Rice Research Institute, Los Banos. 25 p.

# ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินและการพ่นทางใบต่อปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าว และการสูญเสียของสังกะสีจากกระบวนการขัดสีข้าว

# Effects of Soil and Foliar Zinc Fertilizer Application on Grain Zinc Concentration and Its Milling Depression

**สิทธิกร บดีรัฐ[1] และ ชนากานต์ พรมอุทัย[1,2*]**

**Sitthikorn Bodeerath[1] and Chanakan Prom-u-thai[1,2*]**

*[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200*

*[1]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[2]ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200*

*[2]Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[*]Corresponding author: Email: chanakan.p@cmu.ac.th*

*(Received: 21 July 2026; Revised: 21 September 2026 ; Accepted: 28 September 2026)*

**Abstract**: Zinc (Zn) is an essential nutrient for cell functioning in plants and animals. Biofortification is a promising strategy for increasing grain Zn concentration in rice, but its loss during milling process to produce polished rice has not yet been evaluated. The objectives of this study were to: 1) evaluate the effectiveness of Zn fertilizer applications on grain Zn concentration and 2) determine the effect of polishing process on milling quality and grain Zn loss in San-Pah-Tawng 1 (SPT1) rice variety. The experiment was laid out in 4×2 factorial in a randomized complete block design (RCBD), comprising with four Zn fertilizer treatments, 1) no Zn application (control); 2) soil Zn application; 3) foliar Zn application; and 4) foliar micronutrient cocktails (Zn, I, Fe, and Se) applied at flowering and seven days after flowering grown at two locations, 1) research station, Chiang Mai University and 2) San Sai district in Chiang Mai province. Results showed that foliar Zn and foliar micronutrient cocktail increased Zn concentration in unhusked, unpolished, and polished rice compared with the control. Moreover, concentration and content of Zn in rice grains can be affected by the location. Zn concentration in paddy rice, unpolished rice, and polished rice, as well as grain Zn loss in the research station was higher than the San Sai after the polishing process. This experiment indicated that foliar Zn application effectively enhances grain Zn, but also increases its loss during the polishing process.

**Keywords:** Foliar application, soil application, foliar micronutrient cocktail, zinc accumulation

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: สังกะสี (Zn) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ทั้งพืชและสัตว์ การขาดธาตุสังกะสีเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญด้านโภชนาการของประชากร ซึ่งการเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในกลุ่มผู้บริโภคข้าวได้ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน 1) ประสิทธิภาพของกระบวนการจัดการธาตุสังกะสีในรูปแบบต่าง ๆ ต่อการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว และ 2) ผลของการขัดสีต่อคุณภาพการขัดสีและการสูญเสียธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 โดยจัดชุดการทดลองแบบ 4×2 factorial ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) ประกอบด้วย การจัดการปุ๋ยสังกะสี 4 กรรมวิธี คือ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี (กรรมวิธีควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน 3) พ่นปุ๋ยสังกะสีทางใบ และ 4) พ่นปุ๋ยสังกะสีทางใบร่วมกับธาตุอาหารอื่น ๆ (ไอโอดีน เหล็ก และซิลีเนียม) โดยพ่น 2 ครั้งที่ระยะดอกบานและหลังดอกบาน 7 วัน ในพื้นที่ปลูกทดลอง 2 พื้นที่ ได้แก่ 1) แปลงทดลองสถานีวิจัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ 2) แปลงเกษตรกรอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองพบว่า การพ่นสังกะสีทางใบและการพ่นสังกะสีทางใบร่วมกันธาตุอาหารอื่น ๆ ทำให้ความเข้มข้นและปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าสถานที่ปลูกมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว โดยข้าวที่ปลูกแปลงทดลองสถานีวิจัยมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว รวมไปถึงการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีสูงกว่าแปลงสันทรายหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า การพ่นสังกะสีทางใบช่วยเพิ่มความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การเพิ่มขึ้นของธาตุสังกะสีอาจต้องสูญเสียไปจากกระบวนการขัดสีในปริมาณมากเช่นเดียวกัน

**คำสำคัญ:** การพ่นปุ๋ยทางใบ การใส่ปุ๋ยทางดิน การพ่นปุ๋ยทางใบร่วมกับธาตุอาหารอื่น การสะสมธาตุสังกะสี

## คำนำ

ปัญหาการขาดจุลธาตุอาหาร เช่น สังกะสี ไอโอดีน เหล็ก และซิลีเนียม ส่งผลต่อประชากรโลกมากกว่า 2,000 ล้านคน โดยการขาดสังกะสีเป็นหนึ่งในปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อประชากรโลกถึงร้อยละ 31 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา (Kumera *et al.*, 2015; Prom-u-thai *et al.*, 2020) เนื่องจากสังกะสีมีความสำคัญต่อร่างกายทั้งด้านการเจริญเติบโต การพัฒนาของระบบภูมิคุ้มกัน การทำงานของสมองและเอนไซม์ต่าง ๆ รวมไปถึงภาวะเครียดออกซิเดชัน (Prasad, 2017) โดยร่างกายต้องการสังกะสีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 9 ถึง 14 มิลลิกรัม/วัน ขึ้นอยู่กับความต้องการที่แตกต่างกันตามอายุและเพศ (Senguttuvel *et al.*, 2023) ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีในพืชอาหารหลัก เช่น ถั่ว ข้าวสาลี ข้าวโพด และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าว จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาการขาดสังกะสีในประชากรโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Khampuang *et al.*, 2021; Sheibanirad *et al.*, 2023; Suganya *et al.*, 2020) รายงานก่อนหน้าพบว่า ข้าวเจ้าพันธุ์ไทยมีสังกะสีสะสมอยู่ในช่วง 15.5 ถึง 30.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Laenoi *et al.*, 2015) แสดงให้เห็นช่วงกว้างของความแปรปรวนของธาตุสังกะสีในพันธุ์ข้าวไทย โดยข้าวบางสายพันธุ์มีปริมาณสังกะสีค่อนข้างต่ำแต่มีบางสายพันธุ์ที่พบว่ามีสังกะสีสูง ที่สามารถนำมาเป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสังกะสีสูงได้ แต่อาจต้องใช้ระยะเวลานานและงบประมาณจำนวนมาก การเพิ่มสังกะสีในเมล็ดข้าวด้วยวิธีการอื่น ๆ เช่น การจัดการปุ๋ย จึงเป็นวิธีการที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและประหยัดงบประมาณ (Khampuang *et al.*, 2023)

กระบวนการไบโอฟอร์ติฟิเคชัน (biofortification) เป็นกระบวนการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณของสารอาหารให้สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุสังกะสี (Senguttuvel *et al.,* 2023) โดยการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินและการพ่นทางใบเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถส่งเสริมการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวที่สามารถเป็นประโยชน์ทางโภชนาการต่อผู้บริโภคได้ ซึ่งพบว่าเป็นวิธีการเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพ่นปุ๋ยทางใบที่

มีรายงานว่าสามารถเคลื่อนย้ายไปเพิ่มการสะสมสังกะสีในเมล็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใส่ปุ๋ยทางดิน (Tuiwong *et al.*, 2015; Utasee *et al.*, 2022) รายงานล่าสุดพบว่า การพ่นปุ๋ยสังกะสีในข้าวทางใบสามารถเพิ่มธาตุสังกะสีจาก 21.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็น 28.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในการพ่นสังกะสีเพียงอย่างเดียว และ 26.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากการพ่นสังกะสีร่วมกับธาตุชนิดอื่น ได้แก่ ไอโอดีน เหล็ก และซิลีเนียม (Prom-u-thai *et al.*, 2020) และมีรายงานการให้สังกะสีในข้าวสาลีพบว่า การให้สังกะสีทางใบสามารถเพิ่มธาตุสังกะสีจาก 28.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็น 46.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในการพ่นสังกะสีเพียงอย่างเดียว และ 47.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากการพ่นสังกะสีร่วมกับธาตุชนิดอื่น ได้แก่ ไอโอดีน เหล็ก และซิลีเนียม (Zou *et al.*, 2019) แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวจากกระบวนการไบโอฟอติฟิเคชันส่วนมากรายงานในส่วนของข้าวกล้อง ยังไม่มีรายงานแน่ชัดในส่วนของข้าวสารขัดขาวที่ผ่านการขัดสี ซึ่งเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคข้าว รวมถึงความเข้มข้นสังกะสีในส่วนของรำข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการขัดสีข้าวกล้องเป็นข้าวสาร ที่สามารถนำไปใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ได้ด้วย

การขัดสีเพื่อให้ได้ข้าวสารขัดขาว เริ่มจากการทำความสะอาดเมล็ดข้าวเปลือกและกะเทาะเมล็ดเอาเปลือกออก เพื่อให้ได้ข้าวกล้องและแกลบ หลังจากนั้นข้าวกล้องจะถูกขัดสีต่อเพื่อนำส่วนของรำออกและได้เป็นข้าวสารขัดขาว (Paul *et al.*, 2019) มีรายงานว่าสังกะสีมีการสะสมอยู่ในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยการขัดสีทำให้เกิดการสูญเสียสังกะสีในเมล็ดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปร่างของเมล็ด เวลาและรูปแบบของเครื่องขัดสี (Saenchai *et al.*, 2012) สังกะสีสะสมเป็นจำนวนมากในส่วนของเอมบริโอ (embryo) เนื้อเยื่ออะลิวโรน (aleurone layer) และเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ตามลำดับ การขัดสีส่วนของรำข้าวที่ประกอบด้วยเอมบริโอ และเนื้อเยื่ออะลิวโรน จึงทำให้เกิดการสูญเสียสังกะสีในข้าวสารขัดขาวเป็นจำนวนมาก (Saha *et al.*, 2017) ดังนั้น การบริโภคข้าวสารขัดขาวทำให้ร่างกายได้รับธาตุสังกะสีในปริมาณที่ต่ำกว่าการบริโภคข้าวกล้อง และอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน ในขณะที่มีรายงานว่ากระบวนการไบโอฟอติฟิเคชันสามารถเพิ่มการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวได้ แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานว่ามีการสูญเสียอย่างไรในระหว่างการขัดสีข้าว ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน 1) ประสิทธิภาพของกระบวนการจัดการธาตุสังกะสีในรูปแบบต่าง ๆ ต่อการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว และ 2) ผลของการขัดสีต่อคุณภาพการขัดสีและการสูญเสียธาตุสังกะสีในเมล็ด ในข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกใน 2 พื้นที่ คือ แปลงทดลองสถานีวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และแปลงเกษตรกร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ โดยผลจากการทดลองนี้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดการเพื่อเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวให้มีธาตุสังกะสีสูงทั้งในส่วนของข้าวกล้องและข้าวขาว ซึ่งจะทำให้สามารถแก้ปัญหาการขาดธาตุสังกะสีในประชากรที่บริโภคข้าวได้ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลโดยจัดชุดการทดลองแบบ 4×2 factorial ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) มี 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 กรรมวิธีการจัดการปุ๋ยสังกะสี จำนวน 4 กรรมวิธี คือ 1) ไม่ใส่ธาตุสังกะสี (กรรมวิธีควบคุม) 2) ให้สังกะสีทางดิน ($ZnSO_4$) 3) ให้สังกะสีทางใบ (0.5% $ZnSO_4$) และ 4) การให้สังกะสีทางใบร่วมกับธาตุอาหารอื่น ๆ (0.5% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ + 0.05% $KIO_3$ + 0.02% Fe-EDTA + 0.001% $Na_2SeO_4$) และปัจจัยที่ 2 คือ พื้นที่ปลูก จำนวน 2 แปลงทดลอง ได้แก่ แปลงที่ 1 ทดลองที่แปลงทดลองสถานีวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (CMU) และแปลงที่ 2 ทดลองที่แปลงเกษตรกร อำเภอสันทราย (SSF) จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งแต่ละแปลงทดลองมีขนาดแปลงทดลองประมาณ 20 x 30 เมตร (600 ตารางเมตร) ทดลองกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ เหมือนกันทั้งสองแปลง พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบ คือ สันป่าตอง 1 (SPT1) ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ ชนิดข้าวเหนียวต้นเตี้ย ไวต่อช่วงแสง มีอายุการเก็บเกี่ยว 130-135 วัน การปลูกและดูแลรักษาดำเนินการเหมือนกันในแปลงที่ 1 และ 2 โดยปลูกข้าวใน

ฤดูนาปี ช่วงเดือนมิถุนายน-ธันวาคม พ.ศ. 2563 โดยปริมาณธาตุอาหารของแต่ละแปลงทดลอง คือ 1) แปลงทดลองสถานีวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 5.5 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 66.0, 246.0 และ 1.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และ 2) แปลงเกษตรกร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.6 และปริมาณความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 113.0, 32.0 และ 0.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ห้องปฏิบัติการปฐพีศาสตร์ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) เตรียมกล้าข้าวในแปลงปลูกโดยนำเมล็ดข้าวไปเพาะในแปลงเพาะกล้า และย้ายต้นกล้าข้าวที่มีอายุ 21 วันลงในแปลงทดลองที่มีขนาด 2 x 3 เมตรต่อกรรมวิธี ด้วยระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร โดยใช้ต้นกล้าจำนวน 1 ต้น/หลุม ใส่ปุ๋ยสังกะสี ($ZnSO_4$) ทางดินในอัตรา 50 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ก่อนการปักดำ 1 วัน ส่วนกรรมวิธีพ่นสังกะสีทางใบ ใช้ปุ๋ยสังกะสีความเข้มข้น 0.5% $ZnSO_4$ อัตราการพ่นที่ 500 ลิตร/เฮกตาร์ ในระยะดอกบานและหลังดอกบาน 7 วัน โดยทุกกรรมวิธีมีการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักทางดินเหมือนกันทั้งหมด คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ในรูป 15-15-15 อัตรา 60 กิโลกรัม/เฮกตาร์ จำนวน 4 ครั้ง คือ 1) ปุ๋ยรองพื้น 2) ข้าวอายุ 40 วันหลังงอก 3) ระยะแตกกอสูงสุด และ 4) ระยะตั้งท้อง ปลูกข้าวในสภาพนาสวนมีน้ำขังตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยว และเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อถึงระยะสุกแก่

**การเก็บบันทึกข้อมูล**

สุ่มเก็บตัวอย่างรวงข้าวจากพื้นที่ 1 ตารางเมตร จากนั้นสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือก (unhusked) 125 กรัม นำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะ ได้แกลบและข้าวกล้อง (unpolished rice) โดยนำข้าวกล้องไปขัดข้าวด้วยเครื่องขัดข้าว เป็นเวลา 40 วินาที เพื่อขัดเอาเยื่อหุ้มเมล็ดออกจะได้รำข้าว (bran fractions) และข้าวสารขัดขาว (polished rice) จากนั้น นำข้าวสารขัดขาวเข้าเครื่องแยกแบบตะแกรงกลม เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก และคำนวณหาคุณภาพการสีข้าว ได้แก่ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแกลบ รำ และต้นข้าว (Department of Foreign Trade, 2016)

สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือก 50 กรัม นำไปกะเทาะเมล็ดและขัดสีแยกส่วนที่เป็นข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว จากนั้นนำแต่ละส่วนของเมล็ดไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 0.20 กรัม วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีโดยใช้วิธีการ dry-ashing เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 535 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง และนำสารละลายที่ได้ไปวัดความเข้มข้นของธาตุสังกะสีด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนคลื่นแสงของอะตอม (atomic absorption spectrophotometer) และเปรียบเทียบความเข้มข้นจากสารละลายมาตรฐานของธาตุสังกะสี จากนั้น คำนวณปริมาณธาตุสังกะสีในแต่ละส่วนด้วยผลคูณระหว่างน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน (น้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวกล้องและข้าวสารขัดขาว) และความเข้มข้นธาตุสังกะสี (Tuiwong *et al.*, 2015) และคำนวณการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสี (Zn loss) จากความแตกต่างระหว่างปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องและปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวสารขัดขาวส่วนปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องในหน่วยร้อยละ (%) ดังสมการ

$$\text{การสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสี (\%)} = \frac{\text{ปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง} - \text{ปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวสารขัดขาว}}{\text{ปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง}} \times 100$$

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี โดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SX for Window เวอร์ชั่น 9.0

## ผลการทดลอง

**ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว**

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบความแตกต่างของการจัดการปุ๋ยสังกะสี และพื้นที่ปลูกต่อ

ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีทั้งในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารขัดขาวในข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (Table 1) โดยการพ่นสังกะสีทางใบส่งผลให้มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เท่ากับ 30.1, 19.7 และ 11.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีการควบคุมร้อยละ 42.3, 18.8 และ 9.7 ตามลำดับ การพ่นสังกะสีทางใบร่วมกับธาตุอาหารอื่น ๆ ส่งผลให้มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เท่ากับ 32.9, 19.1 และ 10.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีการควบคุมร้อยละ 45.6, 16.2 และ 5.6 ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างของการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เมื่อเทียบกับกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของสถานที่ปลูกต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว โดยข้าวที่ปลูกแปลงทดลองสถานีวิจัยมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เท่ากับ 27.6, 19.8 และ 11.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สูงกว่าแปลงสันทรายที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เท่ากับ 21.3, 15.8 และ 9.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

**ปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว**

พบความแตกต่างของการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 ในส่วนของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ด (Table 2) โดยการพ่นสังกะสีทางใบส่งผลให้พันธุ์สันป่าตอง 1 มีปริมาณธาตุ

**Table 1.** Zn concentration in unhusked, unpolished, and polished rice of SPT1 variety with four Zn treatments (control, soil Zn, foliar Zn, and foliar cocktails) grown at two locations (CMU and SSF)

| Treatment | Zn concentration (mg/kg) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Unhusked rice | | | Unpolished rice | | | Polished rice | | |
| | CMU | SSF | Mean | CMU | SSF | Mean | CMU | SSF | Mean |
| Control | 20.2 | 15.5 | 17.9 b | 17.6 | 14.5 | 16.0 b | 11.6 | 8.8 | 10.2 ab |
| Soil Zn | 19.1 | 12.8 | 15.9 b | 19.0 | 13.5 | 16.2 b | 10.4 | 8.7 | 9.5 b |
| Foliar Zn | 35.8 | 26.3 | 30.1 a | 22.2 | 17.3 | 19.7 a | 11.7 | 10.9 | 11.3 a |
| Foliar cocktails | 35.4 | 30.6 | 32.9 a | 20.4 | 17.8 | 19.1 a | 10.9 | 10.7 | 10.8 a |
| Mean | 27.6 A | 21.3 B | | 19.8 A | 15.8 B | | 11.1 A | 9.8 B | |

Effects by analysis of variance

| Variable | Unhusked rice | Unpolished rice | Polished rice |
|---|---|---|---|
| Treatment (T) | ** | ** | * |
| Location (L) | ** | ** | ** |
| T × L | ns | ns | ns |

The lowercase and uppercase letters indicate the comparison among Zn treatment and location, respectively. Statistical significance: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; and ns, not significant.

**Table 2. Zn content in unhusked, unpolished, and polished rice of SPT1 variety with four Zn treatments (control, soil Zn, foliar Zn, and foliar cocktails) grown at two locations (CMU and SSF)**

| Treatment | Zn content (mg/100 grains) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Unhusked rice | | | Unpolished rice | | | Polished rice | | |
| | CMU | SSF | Mean | CMU | SSF | Mean | CMU | SSF | Mean |
| Control | 56.4 | 46.7 | 51.6 b | 39.9 | 34.4 | 36.9 b | 22.1 | 18.9 | 20.5 b |
| Soil Zn | 54.6 | 39.3 | 46.9 b | 41.8 | 32.1 | 36.9 b | 20.7 | 18.0 | 19.4 b |
| Foliar Zn | 103.6 | 77.3 | 90.4 a | 50.3 | 41.1 | 45.7 a | 24.1 | 23.3 | 23.7 a |
| Foliar cocktails | 100.5 | 89.4 | 94.9 a | 45.7 | 42.5 | 44.1 a | 22.4 | 23.2 | 22.9 a |
| Mean | 78.8 A | 63.2 B | | 44.3 A | 37.5 B | | 22.3 | 20.9 | |

Effects by analysis of variance

| Variable | Unhusked rice | Unpolished rice | Polished rice |
|---|---|---|---|
| Treatment (T) | ** | ** | * |
| Location (L) | ** | ** | ns |
| T × L | ns | ns | ns |

The lowercase and uppercase letters indicate the comparison among Zn treatment and location, respectively. Statistical significance: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; and ns, not significant.

สังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เท่ากับ 90.4, 45.7 และ 23.7 มิลลิกรัม/100 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีการควบคุมร้อยละ 48.1, 19.3 และ 13.5 ตามลำดับ และการพ่นสังกะสีทางใบร่วมกับธาตุอาหารอื่น ๆ ส่งผลให้ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 มีปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว เท่ากับ 94.9, 44.1 และ 22.9 มิลลิกรัม/100 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีการควบคุมร้อยละ 50.6, 16.3 และ 10.5 ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว ภายใต้การใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของสถานที่ปลูกต่อปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว โดยข้าวที่ปลูกแปลงทดลองสถานีวิจัยมีปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก และข้าวกล้อง เท่ากับ 78.8 และ 44.3 มิลลิกรัม/100 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าแปลงสันทรายที่มีปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก และข้าวกล้อง เท่ากับ 63.2 และ 37.5 มิลลิกรัม/100 เมล็ด ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างของสถานที่ปลูกต่อปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวสารขัดขาว ($P < 0.05$)

**การสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในระหว่างการขัดสี**

พบความแตกต่างของการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 ระหว่างการขัดสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ด (Figure 1) โดยการพ่นสังกะสีทางใบ และการพ่นปุ๋ยสังกะสีร่วมกับธาตุอื่น ส่งผลให้พันธุ์สันป่าตอง 1 มีการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในระหว่างการขัดสี เท่ากับ 22.2 และ 23.0 มิลลิกรัม/100 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีการควบคุมร้อยละ 33.6 และ 38.4 ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างของการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของสถานที่ปลูกต่อการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในระหว่างการขัดสี โดยข้าวที่ปลูกแปลงทดลองสถานีวิจัยมีการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในระหว่างการขัดสี เท่ากับ 21.3 มิลลิกรัม/100 เมล็ด ซึ่งสูงกว่าแปลงสันทรายที่มีการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในระหว่างการขัดสี เท่ากับ 17.5 มิลลิกรัม/100 เมล็ด

**คุณภาพการขัดสี**

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบความแตกต่างของการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อร้อยละโดยน้ำหนักของแกลบ และข้าวหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อร้อยละโดยน้ำหนักของแกลบ และข้าวหัก (Table 3) โดยการพ่นสังกะสีทางใบ และการพ่นปุ๋ยสังกะสีร่วมกับธาตุอื่น ส่งผลให้พันธุ์สันป่าตอง 1 มีร้อยละโดยน้ำหนักของแกลบ และข้าวหัก เท่ากับ 19.7 และ 7.6 ตามลำดับ ในแปลงทดลอง

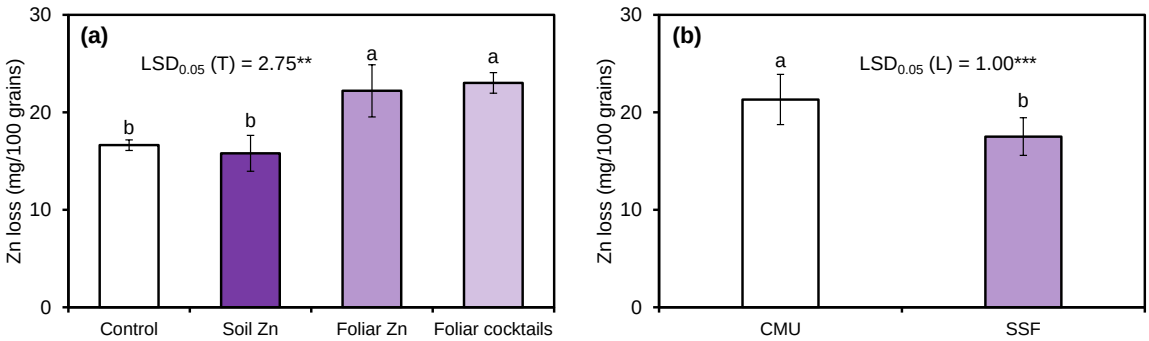


**Figure 1. Zn loss under milling process in unpolished to polished rice in Zn treatment (a) and location (b). The lowercase and uppercase letters indicate the comparison among Zn treatment and location, respectively. Statistical significance: **, $P < 0.01$; and ***, $P < 0.001$.**

**Table 3. Milling quality of SPT1 variety with four Zn treatments (control, soil Zn, foliar Zn, and foliar cocktails) grown at two locations (CMU and SSF)**

| Treatment | Husk (%) | | | Bran (%) | | | Head rice yield (%) | | | Broken rice (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CMU | SSF | Mean | CMU | SSF | Mean | CMU | SSF | Mean | CMU | SSF | Mean |
| Control | 20.7 | 21.1 | 20.9 a | 9.0 | 7.3 | 8.2 ab | 63.7 | 64.6 | 64.2 | 6.7 | 7.0 | 6.9 bc |
| Soil Zn | 22.8 | 19.6 | 21.2 a | 7.6 | 9.2 | 8.4 a | 64.0 | 63.4 | 63.7 | 5.0 | 7.0 | 6.0 c |
| Foliar Zn | 21.6 | 17.8 | 19.7 b | 6.6 | 8.1 | 7.4 bc | 64.4 | 64.4 | 64.4 | 6.7 | 8.5 | 7.6 b |
| Foliar cocktails | 21.2 | 18.4 | 19.8 b | 6.1 | 7.6 | 6.9 c | 64.5 | 64.5 | 64.2 | 8.8 | 9.4 | 9.1 a |
| Mean | 21.6 A | 19.2 B | | 7.4 | 8.0 | | 64.0 | 64.2 | | 6.8 B | 8.0 A | |

Effects by analysis of variance

| Variable | Husk (%) | Bran (%) | Head rice yield (%) | Broken rice (%) |
|---|---|---|---|---|
| Treatment (T) | * | * | ns | ** |
| Location (L) | ** | ns | ns | * |
| T × L | ns | ns | ns | ns |

The lowercase and uppercase letters indicate the comparison among Zn treatment and location, respectively. Statistical significance: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; and ns, not significant.

สถานีวิจัย และแปลงสันทราย เท่ากับ 19.8 และ 9.1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของการจัดการปุ๋ยสังกะสีต่อร้อยละโดยน้ำหนักของรำข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ด (Table 3) โดยการพ่นปุ๋ยสังกะสีร่วมกับธาตุอื่น ส่งผลให้พันธุ์สันป่าตอง 1 มีน้ำหนักของรำข้าวร้อยละ 6.9 แต่ไม่พบความแตกต่างของการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน และการพ่นปุ๋ยสังกะสี เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ในขณะเดียวกัน ไม่พบความแตกต่างของการจัดการปุ๋ยสังกะสีและสถานที่ปลูกต่อร้อยละโดยน้ำหนักของรำข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3) โดยพบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของต้นข้าวมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 64.1

## วิจารณ์

ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า การจัดการปุ๋ยสังกะสีแบบต่าง ๆ มีผลต่อการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 โดยการพ่นธาตุสังกะสีทางใบและการพ่นธาตุสังกะสีทางใบร่วมกับธาตุไอโอดีน เหล็ก และซีลีเนียม มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดข้าวกล้อง และเมล็ดข้าวขาว ในขณะที่ การใส่ธาตุสังกะสีทางดินไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Boonchuay *et al.* (2013) พบว่า การพ่นสังกะสีทางใบ (0.5% $ZnSO_4$) ส่งผลให้ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องเพิ่มขึ้นร้อยละ 55 งานวิจัยของ Phattarakul *et al.* (2012) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง พบว่า การพ่นสังกะสีทางใบส่งผลให้ความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 ในขณะที่ การใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 2 เช่นเดียวกับการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้ปุ๋ยสังกะสีในข้าวสาลี พบว่า การใส่ปุ๋ยทางดินมีการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวสาลีที่ระยะเก็บเกี่ยว 18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนการพ่นปุ๋ยทางใบมีการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวสาลีที่ระยะเก็บเกี่ยว 27 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Yilmaz *et al.*, 1997) โดยธาตุสังกะสีส่วนใหญ่ที่สะสมอยู่ในเมล็ดได้รับมาจากส่วนต่าง ๆ ของข้าว เช่น ใบและลำต้น แต่ไม่ได้รับมาโดยตรงจากราก แสดงให้เห็นว่าธาตุสังกะสีถูกขนส่งและลำเลียงจากใบไปสู่เมล็ดได้โดยตรง (Wu *et al.*, 2010) ในขณะที่การใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่า โดยเฉพาะในสภาพดินที่ไม่ขาดสังกะสีเช่นดินจากทั้ง 2 ที่ปลูกที่มีความเข้มข้นสังกะสี 1.3 และ 0.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในแปลงทดลองสถานีวิจัยและแปลงทดลองอำเภอสันทรายตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตของสังกะสีในดินปลูกข้าวที่มีค่า 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เนื่องจากธาตุสังกะสีมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ช้าทั้งในดินและพืช รวมไปถึงมีปฏิสัมพันธ์เชิงซ้อนระหว่างดินที่จำกัดการดูดซึมธาตุสังกะสีผ่านทางรากพืช (Phuphong *et al.*, 2018; Younas *et al.*, 2023) นอกจากนี้มีรายงานว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินทำให้สังกะสีเป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อย เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของธาตุสังกะสีในดินกับสมบัติต่าง ๆ ของดิน ตัวอย่างเช่น 1) อนุภาคดินเหนียวที่จะไปจับกับไอออนสังกะสีที่มีประจุบวก ($Zn^{2+}$) ซึ่งตามธรรมชาติของอนุภาคดินเหนียวที่มีพื้นผิวขนาดใหญ่และมีประจุลบ (Sriprachote *et al.*, 2014) 2) การลดลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดินลดลง เนื่องจากอินทรียวัตถุมีสารฮิวมิก (humic substances) ที่เป็นองค์ประกอบอินทรีย์ที่มีความเสถียรสูงในดิน เช่น กรดฮิวมิก (humic acid) และกรดฟุลวิก (fulvic acid) ซึ่งสารเหล่านี้มีหมู่ฟังก์ชัน (เช่น -OH, -COOH และ -SH) อยู่เป็นจำนวนมาก ที่มีความสามารถสูงในการจับกับไอออนของสังกะสี ในขณะเดียวกันพบว่า กรดฟุลวิกสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนแบบคีเลต (chelate) กับสังกะสีได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่กว้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับความสามารถในการละลายและการเคลื่อนที่ของสังกะสีในดิน (Suganya *et al.*, 2020) 3) อัตราส่วนแมกนีเซียมต่อแคลเซียมสูง พบว่า หากค่าอัตราส่วนนี้ในดินมีค่าสูงกว่า 1 จะสามารถบ่งชี้ได้ว่าดินมีการขาดสังกะสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีหินปูนเป็นองค์ประกอบสูงที่ส่งผลต่อการละลายของสังกะสี โดยสังกะสีจะถูกดูดซับ

เข้าไปในโครงสร้างผลึกแร่โดโลไมต์ (dolomite) และแมกนีไซต์ (magnesite) บริเวณตำแหน่งในโครงสร้างผลึกผ่านกระบวนการแทนที่แมกนีเซียม (Suganya *et al.,* 2020) 4) การชะล้างของสังกะสีในดินที่ทำให้เกิดการสูญเสียความเป็นประโยชน์ของสังกะสี (zinc availability) (Kannan, 2010) และ 5) ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน ที่เป็นปัจจัยจำกัดความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดินไปสู่พืช (Nadeem *et al.*, 2024) ซึ่งสภาพแวดล้อม ลักษณะดินและสมบัติทางเคมีของดินข้างต้นที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดิน การดูดใช้ และเคลื่อนย้ายธาตุสังกะสีในส่วนต่าง ๆ ของข้าว ที่ส่งผลต่อความแตกต่างในการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวของแปลงปลูกข้าวทั้งสองแหล่ง โดยปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุของความแตกต่างในการดูดใช้ธาตุสังกะสีไปสู่เมล็ดของการทดลองครั้งนี้ คือ ความแตกต่างของความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน ซึ่งพบว่าแปลงเกษตรกร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 113.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าแปลงทดลองที่สถานีวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (32.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) จากรายงานก่อนหน้าแสดงให้เห็นว่า การจัดการปุ๋ยที่ช่วยปรับปรุงความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีสู่พืช ซึ่งไปลดความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในส่วนเหนือดินและเมล็ด (Nadeem *et al.*, 2024) เช่นเดียวกันพบว่า การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสปริมาณสูงส่งผลต่อความเข้มข้นในรากและส่วนเหนือดิน รวมไปถึงการยับยั้งรากในการดูดซึมสังกะสี เห็นได้จากการที่ฟอสฟอรัสเปลี่ยนแปลงระดับการแสดงออกของยีน *OsZIPs* ให้สูงขึ้นบริเวณราก ซึ่งยีนกลุ่มนี้จะมีการแสดงออกสูงขึ้นเมื่อข้าวเกิดการขาดธาตุสังกะสี (Ding *et al.*, 2021) ในทางกลับกันพบว่าแปลงทดลองที่สถานีวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน 246.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าแปลงเกษตรกร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ (32 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ซึ่งข้าวที่ปลูกในแปลงทดลองสถานีวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดมากกว่าข้าวที่ปลูกแปลงทดลองอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าพบว่าระดับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่สูงขึ้น ช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุสังกะสีสู่ส่วนเหนือดินในข้าว (Carmeis Filho *et al.*, 2017) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มผลผลิตและความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดให้สูงขึ้น เช่น ข้าว และข้าวสาลี (Hussain *et al.*, 2020; Yamuangmorn *et al.*, 2022)

นอกจากนี้ ผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการพ่นปุ๋ยสังกะสีและการพ่นปุ๋ยสังกะสีร่วมกับธาตุอาหารอื่น ส่งผลต่อความแตกต่างของการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดที่ผ่านการขัดสี โดยการสูญเสียธาตุสังกะสีจากการขัดสีเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น พันธุกรรม (Maganti *et al.*, 2020; Saenchai *et al.*, 2012) ขนาดและรูปร่างของเมล็ด (Liang *et al.*, 2008; Prom-u-thai *et al.*, 2006) การจัดการปุ๋ย (Jaksomsak *et al.*, 2018; Saha *et al.*, 2013) รวมไปถึงระยะเวลาในการขัดสี (Liu *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม การสูญเสียธาตุสังกะสีส่วนใหญ่เกิดจากการขัดสีส่วนของเอมบริโอ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณธาตุสังกะสีมากที่สุด (Ning *et al.*, 2023) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งกักเก็บสังกะสี (sink) ที่ธาตุสังกะสีจับกับสารประกอบอื่น เช่น โปรตีน ได้แก่ ซิสเทอีน (cysteine) ฮิสทิดีน (histidine) กรดแอสปาร์ติก (aspartic acid) และกรดกลูตามิก (glutamic acid) และไฟเตท (phytate) อีกทั้งสังกะสียังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการงอกของเมล็ด โดยการสะสมธาตุสังกะสีพบในบริเวณเนื้อเยื่อที่มีการพัฒนามากกว่าใบแก่ถึง 10 เท่า เพื่อรักษาอัตราการสังเคราะห์โปรตีนให้สูง (Broadley *et al.*, 2007; Ozturk *et al.*, 2006) นอกจากนี้การสูญเสียชั้นเนื้อเยื่ออะลิวโรนยังทำให้ปริมาณสังกะสีในข้าวขาวลดลงจากเดิมที่เป็นข้าวกล้องถึง 5 เท่า (Ning *et al.*, 2023) เนื่องจากในช่วงของการเติมเต็มเมล็ด พืชมีการขนส่งธาตุอาหารต่าง ๆ มาทางท่ออาหารเนื้อเยื่อนิวเซลลาร์ (Nucellus) และไปยังส่วนของเมล็ด คือ เนื้อเยื่ออะลิวโรนและเอนโดสเปิร์ม (Lu *et al.*, 2013) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Saenchai *et al.* (2012) พบว่า ข้าวขาวมีการสะสมธาตุสังกะสีเฉลี่ย 20.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม คิดเป็นการลดลงร้อยละ 59.7 เมื่อมีการขัดส่วนของเนื้อเยื่ออะลิวโรนออก อย่างไรก็ตาม Hansen *et al.* (2012) พบว่า ธาตุสังกะสีมีการกระจาย

อย่างสม่ำเสมอและมีความเข้มข้นลดลงเล็กน้อยแม้ในบริเวณส่วนกลางของเอนโดสเปิร์ม ในขณะที่ธาตุอาหารอื่น เช่น ธาตุเหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง นิกเกิล และซีลีเนียมมีแนวโน้มในการสูญเสียเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่การขัดสี เนื่องจากธาตุดังกล่าวมีการสะสมที่ชั้นนอกของเมล็ด เช่น เอมบริโอ และเนื้อเยื่ออะลิวโรนเป็นส่วนใหญ่ (Liu *et al.*, 2017; Maganti *et al.*, 2020; Prom-u-thai *et al.*, 2006; Yao *et al.*, 2019) เช่นเดียวกันพบการสะสมของธาตุเหล็กที่บริเวณเอมบริโอ เนื้อเยื่ออะลิวโรน และเอนโดสเปิร์ม เท่ากับ 76.7, 76.9 และ 5.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นการลดลงของธาตุเหล็กร้อยละ 93 เมื่อขัดเนื้อเยื่ออะลิวโรนออก (Saenchai *et al.*, 2012) สอดคล้องกับรายงานของ Prom-u-thai *et al.* (2006, 2007) พบว่าการขัดสีจากข้าวกล้องเป็นข้าวขาวส่งผลให้เกิดการสูญเสียธาตุเหล็กร้อยละ 25 ถึง 84 ซึ่งแนวโน้มการลดลงของความเข้มข้นธาตุเหล็กขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของข้าว ในขณะเดียวกันรายงานก่อนหน้าของ Persson *et al.* (2009) ที่ศึกษาการย่อยโปรตีนเมล็ดข้าวบาร์เลย์โดยใช้เอนไซม์ protease XIV พบว่า การย่อยดังกล่าวทำให้ปริมาณธาตุสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุเหล็ก เนื่องจากธาตุสังกะสีส่วนใหญ่มีการจับโปรตีนเปปไทด์ไม่ว่าจะเป็นอัลบูมิน (albumin) โกลบูลิน (globulin) และโปรลามิน (prolamin) ในเอนโดสเปิร์มของข้าว (Persson *et al.*, 2011) ผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า การพ่นธาตุสังกะสีทางใบและการพ่นธาตุสังกะสีทางใบร่วมกับธาตุอาหารอื่น ส่งผลให้มีปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวขาวเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.5 และ 10.5 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม แสดงให้เห็นว่าการพ่นสังกะสีทางใบที่ระยะการเจริญพันธุ์สามารถเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวได้ โดยนอกจากช่วยเพิ่มธาตุสังกะสีในเนื้อเยื่ออะลิวโรนแล้ว ยังช่วยเพิ่มธาตุสังกะสีในเอนโดสเปิร์มด้วย เนื่องจากการพ่นสังกะสีที่ระยะออกดอกและก่อนระยะน้ำนม ส่งผลให้ธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง และข้าวขาวให้สูงขึ้น (Jaksomsak *et al.*, 2018) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพ่นสังกะสีทางใบ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินได้ 3-5 เท่า (Amoah and Tetteh, 2022) เช่นเดียวกัน การใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินร่วมกับการพ่นสังกะสีทางใบช่วยเพิ่มการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวในดินที่มีการขาดธาตุสังกะสีมากกว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินอย่างเดียว (Saha *et al.*, 2013) อีกทั้งการพ่นสังกะสีทางใบส่งผลให้มีการคืนกลับสังกะสี (Zn recovery) สู่เมล็ดได้สูงกว่าการใส่สังกะสีทางดิน (Wang *et al.*, 2012) ทำให้เมื่อทำการขัดสีแล้ว ความเข้มข้นสังกะสีในข้าวขาวยังคงอยู่ในปริมาณสูง แม้ว่าจะสูญเสียทั้งเอมบริโอและเนื้อเยื่ออะลิวโรน (Phattarakul *et al.*, 2012) และการพ่นธาตุสังกะสียังช่วยเพิ่มขนาดเมล็ดทำให้มีพื้นที่กักเก็บสังกะสีมากขึ้นด้วย (Tuiwong and Prom-u-thai, 2021) ทำให้ลดการสูญเสียสังกะสีจากการขัดสีได้

## สรุป

การพ่นสังกะสี และการพ่นสังกะสีร่วมกับธาตุอาหารไอโอดีน ซีลีเนียม และธาตุเหล็กทางใบ เป็นกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว แต่ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณธาตุสังกะสี เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของสภาพแวดล้อมของแปลงปลูกมีผลต่อการสะสมสังกะสีในเมล็ดแตกต่างกัน โดยข้าวที่ปลูกในแปลงทดลองสถานีวิจัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาวมากกว่าข้าวที่ปลูกในแปลงเกษตรกร อำเภอสันทราย อาจเนื่องมาจากสถานที่ปลูกทั้งสองสถานที่มีสภาพแวดล้อม ลักษณะดินและสมบัติทางเคมีของดินที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดิน การดูดใช้ และเคลื่อนย้ายธาตุสังกะสีในส่วนต่าง ๆ ของข้าว อย่างไรก็ตาม การพ่นสังกะสีทางใบให้แก่ข้าว สามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การเพิ่มขึ้นของธาตุสังกะสีอาจต้องสูญเสียไปจากกระบวนการขัดสีในปริมาณมากเช่นเดียวกัน ดังนั้น การบริโภคข้าวที่ไม่ขัดสีหรือมีการขัดสีน้อยที่สุดอาจจะเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการสำหรับผู้บริโภคข้าวได้ต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาและธาตุอาหารพืช สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## เอกสารอ้างอิง

Amoah, A.A. and C.K. Tetteh. 2022. Effect of soil-applied and foliar fertilizer on rice (*Oryza sativa*). African Journal of Agricultural Research 18(8): 657-663.

Boonchuay P., I. Cakmak, B. Rerkasem and C. Prom-u-thai. 2013. Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. Soil Science and Plant Nutrition 59: 180-188.

Broadley, M.R., P.J. White, J.P. Hammond, I. Zelko and A. Lux. 2007. Zinc in plants. New Phytologist 173(4): 677-702.

Carmeis Filho, A.C.D.A., C.A.C. Crusciol, A.S. Nascente, M Mauad and R.A. Garcia. 2017. Influence of potassium levels on root growth and nutrient uptake of upland rice cultivars. Revista Caatinga 30(1): 32-44.

Department of Foreign Trade. 2016. Thailand Standards for Rice. Ministry of Commerce, Bangkok. 247 p. (in Thai)

Ding, J., L. Liu, C. Wang, L. Shi, F. Xu and H. Cai. 2021. High level of zinc triggers phosphorus starvation by inhibiting root-to-shoot translocation and preferential distribution of phosphorus in rice plants. Environmental Pollution 277: 116778, doi: 10.1016/j.envpol.2021.116778.

Hansen, T.H., E. Lombi, M. Fitzgerald, K.H. Laursen, J. Frydenvang, S. Husted, C. Boulalphanh, A. Resurreccion, D.L. Howard, M.D. Jonge, D. Peterson and J.K. Schjoerring. 2012. Losses of essential mineral nutrients by polishing of rice differ among genotypes due to contrasting grain hardness and mineral distribution. Journal of Cereal Science 56: 307-315.

Hussain, S., M.A.A. Shah, A.M. Khan, F. Ahmad and M. Hussain. 2020. Potassium enhanced grain zinc accumulation in wheat grown on a calcareous saline-sodic soil. Pakistan Journal of Botany 52(1): 69-74.

Jaksomsak, P., P. Tuiwong, B. Rerksem, G. Guild, L. Palmer, J. Stangoulis and C. Prom-u-thai. 2018. The impact of foliar applied zinc fertilizer on zinc and phytate accumulation in dorsal and ventral sections of four thai rice varieties with different grain zinc. Journal of Cereal Science 79: 6-12.

Kannan, S. 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production. pp. 371-402. *In:* E. Lichtfouse (ed.). Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming. Sustainable Agriculture Reviews 4. Springer, Dordrecht.

Khampuang, K., N. Chaiwong, A. Yazici, B. Demirer, I. Cakmak and C. Prom-u-thai. 2023. Effect of sulfur fertilization on productivity and grain zinc yield of rice grown under low and adequate soil zinc applications. Rice Science 30(6): 632-640.

Khampuang, K., S. Lordkaew, B. Dell and C. Prom-u-thai. 2021. Foliar zinc application improved grain zinc accumulation and

bioavailable zinc in unpolished and polished rice. Crop Physiology 24(1): 94 -102.

Kumera, G., T. Awoke, T. Melees, S. Eshetie, G. Mekuria, F. Mekonnen, T. Ewunetu and D. Gedle. 2015. Prevalence of zinc deficiency and its association with dietary, serum albumin and intestinal parasitic infection among pregnant women attending antenatal care at the University of Gondar Hospital, Gondar, Northwest Ethiopia. BMC Nutrition 1(31), doi: 10.1186/s40795-015-0026-6.

Laenoi, S., C. Prom-u-thai, B. Dell and B. Rerkasem. 2015. Iron and zinc variation along the grain length of different Thai rice varieties. ScienceAsia 41(6): 386-391.

Liang, J., Z. Li, K. Tsuji, K. Nakano, M.J.R. Nout and R.J. Hamer. 2008. Milling characteristics and distribution of phytic acid and zinc in long- medium- and short-grain rice. Journal of Cereal Science 48: 83-91.

Liu, K., J. Zheng and F. Chen. 2017. Relationships between degree of milling and loss of vitamin B, minerals, and change in amino composition of brown rice. LWT – Food Science and Technology 82: 429 -436.

Lu, L., S. Tian, H. Liao, J. Zhang, X. Yang, J.M. Labavitch and W. Chen. 2013. Analysis of metal element distributions in rice (*Oryza sativa* L.) seeds and relocation during germination based on X-ray fluorescence imaging of Zn, Fe, K, Ca, and Mn. PLoS ONE 8(2): e57360, doi: 10.1371/journal.pone.0057360.

Maganti, S., R. Swaminathan and A. Parida. 2020. Variation in iron and zinc content in traditional rice genotypes. Agricultural Research 9(3): 316-328.

Nadeem, F., S. Abbas, F. Waseem, N. Ali, R. Mahmood, S. Bibi, L. Deng, R. Wang, Y. Zhong and X. Li. 2024. Phosphorus (P) and Zinc (Zn) nutrition constraints: A perspective of linking soil application with plant regulations. Environmental and Experimental Botany 226: 105875, doi: 10.1016/j.envexpbot.2024.105875.

Ning, M., S.J. Liu, F. Deng, L. Huang, H. Li, J. Che, N. Yamaji, F. Hu and G.J. Lei. 2023. A vacuolar transporter plays important roles in zinc and cadmium accumulation in rice grain. New Phytologist 239(5): 1919 -1934.

Ozturk, L., M.A. Yazici, C. Yucel, A. Torun, C. Cekic, A. Bagci, H. Ozkan, H. Braun, Z. Sayers and I. Cakmak. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. Physiologia Plantarum 128: 144-152.

Paul, H., B.C. Nath, M.G.K. Bhuiyan, S. Paul, S. Islam, M.D. Huda and H.B. Shosib. 2019. Effect of degree of milling on rice grain quality. Journal of Agricultural Engineering 42(4): 69-76.

Persson, D.P., T.H. Hansen, K.H. Laursen, J.K. Schjoerring and S. Husted. 2009. Simultaneous iron, zinc, sulfur and phosphorus speciation analysis of barley grain tissues using SEC-ICP-MS and IP-ICP-MS. Metallomics 1(5): 418-426.

Persson, D.P., T.H. Hansen, S. Husted and J.K. Schjoerring. 2011. Exploring the Zn-binding properties of the storage proteins in rice. pp. 10-14. *In:* 3rd International Symposium on

"Improving Crop Production and Human Health", Hyderabad.

Phattarakul, N., B. Rerkasem, L.J. Li, L.H. Wu, C.Q. Zou, H. Ram, V.S. Sohu, B.S. Kang, H. Surek, M. Kalayci, A. Yazici, F.S. Zhang and I. Cakmak. 2012. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. Plant Soil 361: 131-141.

Phuphong, P., I. Cakmak, B. Dell and C. Prom-u-thai. 2018. Effects of foliar application of zinc on grain yield and zinc concentration of rice in farmers' fields. CMU Natural and Life Sciences Communications 17(3): 181-190.

Prasad, A.S. 2017. Chapter 20 - Discovery of zinc for human health and biomarkers of zinc deficiency. pp. 241-260. *In:* J.F. Collins (ed.). Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals. Academic press, Massachusetts.

Prom-u-thai, C., A. Rashid, H. Ram, C. Zou, L.R.G. Guiherme, A.P.B. Corguinha, S. Guo, C. Kaur, A. Naeem, S. Yamuangmorn, M.Y. Ashraf, V.S. Sohu, Y. Zhang, F.A.D. Martins, S. Jumrus, Y. Tutus, M.A. Yazici and I. Cakmak. 2020. Simultaneous biofortification of rice with zinc, iodine, iron and selenium through foliar treatment of a micronutrient cocktail in five countries. Frontiers in Plant Science 11: 589835, doi: 10.3389/fpls.2020.589835.

Prom-u-thai, C., L. Huang, R.P. Glahn, R.M. Welch, S. Fukai and B. Rerkasem. 2006. Iron (Fe) bioavailability and the distribution of anti-Fe nutrition biochemicals in the unpolished, polished grain and bran fraction of five rice genotypes. Journal of the Science of Food and Agriculture 86: 1209-1215.

Prom-u-thai, C., S. Fukai, I.D. Godwin and L. Huang. 2007. Genotypic variation of iron partitioning in rice grain. Journal of Science of Food and Agriculture 87: 2049-2054.

Saenchai, C., C. Prom-u-thai, S. Jamjod, B. Dell and B. Rerkasem. 2012. Genotypic variation in milling depression of iron and zinc concentration in rice grain. Plant Soil 361: 271-278.

Saha, B., S. Saham P.D. Roy, G.C. Hazra and A. Das. 2013. Zinc fertilization effects on agromorphological and quality parameters of commonly grown rice. SAARC Journal of Agriculture 11(1): 105-120.

Saha, S., M. Chakraborty, D. Padhan, B. Saha, S. Murmu, K. Batabyal, A. Seth, G.C. Hazra, B. Mandal and R.W. Bell. 2017. Agronomic biofortification of zinc in rice: Influence of cultivars and zinc application methods on grain yield and zinc bioavailability. Field Crops Research 210: 52-60.

Senguttuvel, P., G. Padmavathi, C. Jasmine, R.D. Sanjeeva, C.N. Neeraja, V. Jaldhani, P. Beulah, R. Gobinath, K.J. Aravind, P.S.V. Sai, R.L.V. Subba, A.S. Hariprasad, K. Sruthi, D. Shivani, R.M. Sundaram and M. Govindaraj. 2023. Rice biofortification: breeding and genomic approaches for genetic enhancement of grain zinc and iron contents. Frontiers in Plant Science 14: 1138408, doi: 10.3389/fpls.2023.1138408.

Sheibanirad, A., M. Haghighi, S.A.H. Jalali and L. Abbey. 2023. Effect of different zinc

fertilizer on green bean nutraceutical values. Journal of Crops Science and Biotechnology 26: 301-315.

Sriprachote, A., S. Pengprecha, P. Pengpreecha, P. Kanyawongha and K. Ochiai. 2014. Assessment of cadmium and zinc contamination in the soils around Pha Te Village, Mae Sot District, Tak Province, Thailand. Applied Environmental Research 36(4): 67-79.

Suganya, A., A. Saravanan and N. Manivannan. 2020. Role of zinc nutrition for increasing zinc availability, uptake, yield, and quality of maize (*Zea mays* L.) grains: An overview. Communications in Soil Science and Plant Analysis 51(15): 2001-2021.

Tuiwong, P. and C. Prom-u-thai. 2021. Improving grain yield and zinc accumulation by zinc fertilizer management in wetland and upland rice varieties. Khon Kaen Agriculture Journal 49(4): 799-809. (in Thai)

Tuiwong, P., P. Jaksomsak, B. Rerkasem and C. Prom-u-thai. 2015. Effect of foliar zinc application on grain yield and zinc accumulation in brown rice of local and improved varieties. Khon Kaen Agriculture Journal 43(4): 605-612. (in Thai)

Utasee, S., S. Jamjod, S. Lordkaew and C. Prom-u-thai. 2022. Improved anthocyanin and zinc concentration in purple rice by nitrogen and zinc fertilizer application. Rice Science 29(5): 435-450.

Wang, J., H. Mao, H. Zhao, D. Huang and Z. Wang. 2012. Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. Field Crops Research 135: 89-96.

Wu, C., L. Lu, X. Yang, Y. Feng, Y. Wei, H. Hao, P.J. Stoffella and Z. He. 2010. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58(11): 6767-6773.

Yamuangmorn, S., S. Jumrus, S. Jamjod, and C. Prom-u-thai. 2022. Promoting seedling vigour and grain zinc accumulation in rice by priming seeds and foliar application with zinc and potassium fertiliser. Crop & Pasture Science 73(5): 437-448.

Yao, B., P. Chen and G. Sun. 2019. Distribution of elements and their correlation in bran, polished rice, and whole grain. Food Science & Nutrition 8: 982-992.

Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gultekin, S. Karanlik, S.A. Bagci and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. Journal of Plant Nutrition 20(4-5): 461-471.

Younas, N., I. Fatima, I.A. Ahmad, and M.K. Ayyaz. 2023. Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. Acta Ecologica Sinica 43(3): 419-425.

Zou, C., Y. Du, A. Rashid, H. Ram, E. Savasli, P. J. Pieterse, I. Ortiz-Monasterio, A. Yazici, C. Kaur, K. Mahmood, S. Singh, M.R. Le Roux, W. Kuang, O. Onder, M. Kalayci and I. Cakmak. 2019. Simultaneous

biofortification of wheat with zinc, iodine, selenium, and iron through foliar treatment of a micronutrient cocktail in six countries. Journal of agricultural and food chemistry 67(29): 8096-8106.

# คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

1.6 กรณีผู้แต่งเดียวกัน แต่ปีพิมพ์ต่างกัน ให้เรียงลำดับตามปีพิมพ์

ตัวอย่าง (Tangtaweewipat et al. 2009; Tangtaweewipat et al. 2018)

1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลงเป็นภาษาอังกฤษ และเปลี่ยน ปี พศ. เป็น ปี คศ.

1.8 กรณีเป็นหน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงานราชการ สมาคม สถาบัน สำนักงาน ฯลฯ ให้ใช้ชื่อหน่วยงานเต็มในการอ้างอิงทั้งบทความ ตัวอย่าง (Department of Agricultural Extension, 1995)....

1.9 กรณีมีผู้แต่งที่มีทั้งบุคคลและเป็นหน่วยงาน ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงาน และใช้ (;) คั่นระหว่างชื่อผู้แต่งและหน่วยงาน

**2. การเขียนเอกสารอ้างอิง** มีรูปแบบการเขียนมีดังนี้

**วารสาร (Journals)** อ้างอิงวารสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบันมากที่สุด

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร (เขียนเต็ม) ปีที่(ฉบับที่): เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด.

TH: Muthita, W. and N. Kuanprasert. 2004. Cytogenetics and flower color inheritance of fuchsias. Journal of Agriculture 20(1): 10-18. (in Thai)

EN: Barcenas, N.M., T.R. Unruh and L.G. Neven. 2005. DNA diagnostics to identify internal feeders (Lepidoptera: Tortricidae) of pome fruits of quarantine importance. Journal of Economic Entomology 98(2): 299-306.

ในกรณีที่เป็นวารสารออนไลน์ ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้นและเลขหน้าสิ้นสุดได้ ให้ระบุ doi แทน

EN: Bukhari, T., W. Takken and C.J.M. Koenraadt. 2011. Development of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* formulations for control of malaria mosquito larvae. Parasites & Vectors 4: 23, doi: 10.1186/1756-3305-4-23.

**หนังสือ และตำรา (Books & Textbooks)**

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Ek-amnuay, P. 2016. Diseases and Pests of Economic Importance. 5th ed. Amarin Printing and Publishing PCL, Bangkok. 704 p. (in Thai)

EN: Gullan, P.J. and P.S. Cranston. 2005. The Insects: An Outline of Entomology. 3rd ed. Blackwell Publishing, Malden. 505 p.

**เรื่องย่อยในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ**

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

TH: Krairiksh, S. and W. Namruangsri. 1997. Integrated pest control of mango. pp. 137-144. *In*: K. Jumroenma (ed.). Integrated Pest Control. The Agricultural Cooperative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. (in Thai)

EN: Kubo, T. 2003. Molecular analysis of the honeybee sociality. pp. 3-20. *In*: T. Kikuchi, N. Azuma and S. Higashi (eds.). Gene, Behaviors and Evolution of Social Insects. Hokkaido University Press, Sapporo.

**รายงานการประชุม สัมมนา (Reports and Proceedings)**

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อย. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. *ใน*: รายงานการประชุม สัมมนา. สถานที่จัดประชุม.

TH: Tantarawongsa, P. and D. Ketrot. 2017. Diuron residue in soils under pineapple cultivation. pp. 17-24. *In*: Proceedings of 55th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics, Bangkok. (in Thai)

EN: Feigenbaum, S., A. Bar-Tal and D.L. Sparks. 1990. Dynamics of soil potassium in multicationic systems. pp. 145-161. *In*: Proceedings of the 22nd Colloquium of the International Potash Institute, Bern.

**วิทยานิพนธ์ (Thesis)**

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ระดับวิทยานิพนธ์. สถาบันการศึกษา, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Maneepong, A. 2004. Effects of ozone treatments on postharvest quality and pesticide residue of Mandarin cv. Sai Nam Pung. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 100 p. (in Thai)

EN: Liquido, N.J. 1982. Population ecology of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Heteroptera: Miridae). Ph.D. Dissertation. University of Hawaii, Honolulu. 175 p.

**เอกสารวิชาการอื่น ๆ**

ชื่อผู้เขียน หรือหน่วยงาน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องหรือชื่อหนังสือ. ประเภทของเอกสาร. สถาบันหรือหน่วยงานที่จัดพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Shutsrirung, A., C. Santasup and K. Kunasakdakul. 2010. Screening of bio-organic inputs for high quality tea production. Final Report. The Thailand Research Fund, Bangkok. 109 p. (in Thai)

EN: Siriphontangmun, S., U. Nounart, S. Roumchaiapikun and S. Srijuntra. 2016. Insect Pests of Vegetable, Mushroom and Cut Flower. Technical Document. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 74 p. (in Thai)

**สื่ออิเล็กทรอนิกส์**

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (เดือน วันที่, ปีที่ สืบค้นข้อมูล).

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

TH: Department of Agricultural Extension. 2005. Hydroponics. (Online). Available: http://www.doae.go.th/ proster/nondir/htm (April 21, 2005). (in Thai)

EN: Marja, L.L. 2000. How Mycostop® acts in the control of fungal plant diseases. (Online). Available: http://www.shkagro.com/otros/efecto_fungicida.pdf (April 1, 2016).

**การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์**

โปรดตรวจสอบบทความต้นฉบับให้เป็นไปตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ พร้อมแนบแบบฟอร์มนำส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร (https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/information/authors) โดยนำส่งบทความผ่านทาง online เท่านั้น ที่ https:// li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index

**การพิจารณาบทความ**

1) ต้นฉบับที่ไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับของวารสาร จะไม่ได้รับการพิจารณา

2) ทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน

3) กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจและแก้ไขบทความทุกเรื่องที่เสนอเพื่อการตีพิมพ์ในวารสาร (The Editorial Board claims a right to review and correct all articles submitted for publishing in Journal of Agriculture)

4) หากบทความใดขาดการติดต่อเกิน 6 เดือน กองบรรณาธิการจะดำเนินการลบบทความดังกล่าวออกจากระบบ ThaiJo 2.0 เพื่อให้การจัดทำวารสารเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีคุณภาพ

**สำนักงานและการติดต่อสอบถาม (Office and Inquiries)**

กองบรรณาธิการวารสาร

งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200 โทร. 0 5394 4089-92 ต่อ 12 โทรสาร 0 5394 4089-92 ต่อ 12

Editorial Board, Journal of Agriculture

Division of Research and International Affairs, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand Tel: 0 5394 4089-92 ext. 12

Fax: 0 5394 4089-92 ext. 12 Email: agjournal22@gmail.com

(ดูตัวอย่างต้นฉบับที่เป็นทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่ https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/about/submissions)

Journal of Agricultural Research and Communications
A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 42, Issue 3 September-December 2026

**Feeding Management, Feed Chemical Composition, Milk Yield, and Milk Composition in Dairy Farms, Phatthalung Province**
Niramol Thongtem, Porntip Thongmanee, Teerapong Rattanphan, Surachet Jamnongjit and Supinya Chuchai .....145

**Effects of 6-benzyladenine and Longitudinal Explant Halving on *In Vitro* Plantlets Proliferation of 'Namwa Pak Chong 50' Banana**
Pantipa Limsanguan, Teerayut Klumchaun, Yaowarat Wongsrisakulkaew and Prawit Thammatha .....157

**Effects of Indole-3-Butyric Acid and Gibberellic Acid on Adventitious Root Formation and Growth of 'Akihime' Strawberry Stolon**
Werapat Panchai, Jedsadakorn Joblaew, Rawipon Taikhong, Suwit Boonraeng and Daruni Naphrom .....167

**Foliar Application of Silicon and Boron to Alleviate Effects of High Temperature on Yield and Nutritional Quality of Rice Variety RD43**
Pennapa Jaksomsak and Sawika Konsaeng .....177

**Effects of Soil and Foliar Zinc Fertilizer Application on Grain Zinc Concentration and Its Milling Depression**
Sitthikorn Bodeerath and Chanakan Prom-u-thai .....189

ISSN 3057-1022 (Online)
TCI 1