

การประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมการจัดการแมลงศัตรูพืชในแปลงนาข้าวอัลฮัม
Implementation of an Ecological Engineering System to Support Insect Pest Management
in the Alham Rice Field

วนิดา เพ็ชรลมูล^{1*} ไสว บัวแก้ว¹ กัณฑณ มะหามัด² และ พงษ์ศักดิ์ มานสุริวงศ์¹

Wanida Petlamul^{1*}, Sawai Boukaew¹, Kuntapon Mahamad² and Pongsak Mansuriwong¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

¹Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla Province

²Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla Province

*Corresponding Author: wanida.pe@skru.ac.th

Received: April 20, 2025

Revised: July 21, 2025

Accepted: July 23, 2025

บทคัดย่อ

ระบบนิเวศวิศวกรรมในนาข้าว เป็นการจัดสิ่งแวดล้อมให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศเกษตรเพื่อลดการใช้สารเคมี งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม กรณีศึกษาแปลงนาข้าวอัลฮัม โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ประกอบด้วย 4 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) ไม่ปลูกพืชบนคันนา (กลุ่มควบคุม) 2) ปลูกถั่วฝักยาวบนคันนา 3) ปลูกดาวเรืองบนคันนา และ 4) ปลูกถั่วฝักยาวร่วมกับดาวเรืองบนคันนา ดำเนินการสำรวจประชากรแมลงในแปลงนาข้าวอัลฮัม ก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม จำแนกชนิดแมลง วิเคราะห์ค่าระดับความถี่ของการปรากฏ และค่าความหลากหลายทางชีวภาพ ผลการศึกษาพบว่าแมลงในอันดับ Orthoptera เป็นกลุ่มที่มีความชุกชุมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 22 ของประชากรทั้งหมด แมลงที่มีค่าระดับความถี่ของการปรากฏในกลุ่มที่พบบ่อย (ร้อยละ 71.00–79.06) พบปานกลาง (ร้อยละ 45.50–57.10) และพบน้อย (ร้อยละ 10.50–11.20) ซึ่งตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวพบการปรากฏของแมลงในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในช่วงระยะออกรวงถึงระยะสุกแก่ ซึ่งเป็นช่วงที่พบความหลากหลายชนิดและปริมาณของแมลงสูงที่สุด ผลการประเมินดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม พบว่า ทรีตเมนต์ที่ 2–4 มีค่าแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมเท่ากับ 1.0175 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าก่อนการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม (0.4425) ถึง 2.3 เท่า ทั้งนี้แมลงที่พบทั้งหมด 21 ชนิด 20 วงศ์ และ 9 อันดับ นอกจากนี้ ระบบนิเวศวิศวกรรมยังช่วยลดปริมาณแมลงศัตรูข้าวลงได้โดยเฉลี่ย 1.7 เท่า

คำสำคัญ: ข้าวอัลฮัม, ความหลากหลายทางชีวภาพของแมลง, ระบบนิเวศวิศวกรรม

Abstract

Ecological engineering systems in rice fields involve organizing the environment to create biodiversity in agricultural ecosystems to reduce chemical use. Therefore, this research aimed to study the results of using ecological engineering systems with a case study of AlHam rice fields. The experimental design was a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four treatments of three replications each:

(1) no planting on the ridge (control group), (2) planting long beans on the ridge, (3) planting marigolds on the ridge, and (4) planting long beans together with marigolds on the ridge. Insect population surveys were conducted in Alham rice fields before and after applying the ecological engineering system. Insect species were classified, and occurrence frequency levels and biodiversity values were analyzed. The study results showed that insects in the order Orthoptera were the most abundant group, accounting for 22% of the total population. Insects with occurrence frequency levels were categorized as frequently found (71.00%–79.06%), moderately found (45.50%–57.10%), and rarely found (10.50%–11.20%). Throughout the rice growth stages, insects appeared in all growth stages especially during the panicle emergence to maturity stages, which showed the highest species diversity and insect abundance. Results of evaluating the insect biodiversity index after applying the ecological engineering system showed that treatments 2–4 were significantly different from the control group ($p < 0.05$). The average biodiversity index after applying the ecological engineering system was 1.0175, which was 2.3 times higher than before applying the ecological engineering system (0.4425). In total, 21 insect species, 20 families, and 9 orders of insects were found. Furthermore, the ecological engineering system helped reduce rice pest population by an average of 1.7 times.

Keywords: Alham rice, Insect biodiversity, Ecological engineering

1. บทนำ

การใช้สารเคมีทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำลายศัตรูธรรมชาติในระบบนิเวศ และส่งผลต่อการดื้อยาของแมลง (Sparks & Nauen, 2015) ระบบนิเวศวิศวกรรมเป็นแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อทั้งมนุษย์และระบบนิเวศ โดยมีรากฐานจากระบบเกษตรผสมผสานแบบดั้งเดิม การบริหารจัดการแหล่งที่อยู่อาศัย และการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (Gurr, 2009) สำหรับระบบนิเวศวิศวกรรมในนาข้าว นับว่ามีบทบาทสำคัญในการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพเพื่อการจัดการศัตรูพืชในนาข้าว (Gurr et al., 2016) ส่งเสริมความสมดุลทางนิเวศโดยการเพิ่มความหลากหลายของพืชบริเวณนาข้าว การผสมผสานพืชปลูกช่วยให้ระบบนิเวศทางการเกษตรได้รับการฟื้นฟู เพิ่มแหล่งที่อยู่อาศัย และเป็นแหล่งอาหารให้แมลงศัตรูธรรมชาติ หรือสัตว์อื่นที่เป็นศัตรูธรรมชาติของแมลงให้มีบทบาทมากขึ้นในการช่วยควบคุมศัตรูพืช จึงถือเป็นกลยุทธ์ของการจัดการความหลากหลายทางชีวภาพที่สามารถลดจำนวนประชากรแมลงศัตรูพืชได้โดยตรง (Yele et al., 2023; Horgan et al., 2024) ตัวอย่างเช่น การปลูกดอกไม้สีเหลืองและสีขาวตามขอบแปลงนาเป็นการสร้างแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารให้กับศัตรูธรรมชาติ เกสร และน้ำหวาน จากพืชเหล่านี้มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญ อายุขัย ความสามารถในการสืบพันธุ์ และพฤติกรรมของแมลงศัตรูธรรมชาติ ซึ่งท้ายที่สุดจะช่วยลดจำนวนประชากรของแมลงศัตรูพืชลงได้ (Wäckers et al., 2007; Chandrasekar et al., 2017; Horgan & Kudavidanage, 2020) โดยน้ำหวานจากดอกไม้เป็นแหล่งน้ำตาลที่มีประโยชน์ สามารถดึงดูดแมลงศัตรูธรรมชาติทั้งกลุ่มตัวห้ำ และตัวเบียนได้เป็นอย่างดี (Wäckers et al., 2007) สำหรับพืชที่เลือกปลูกเพื่อส่งเสริมการทำให้ระบบนิเวศวิศวกรรมควรเป็นพืชส่งเสริมการเจริญของแมลงศัตรูธรรมชาติ (Evans et al., 2011) ขณะเดียวกันควรมีประโยชน์เพิ่มเติมนอกเหนือจากการจัดการแมลงศัตรูพืช เช่น การเป็นพืชรองหรือการมีส่วนร่วมช่วยปรับปรุงบำรุงดิน (Settele et al., 2008; Gurr et al., 2011) กรณีศึกษาการปลูกพืชดอกในแปลงนาข้าวของจังหวัดพิษณุโลก พบว่าแปลงนาข้าวที่มีการปลูกพืชดอกกรว่มีจำนวนแมลงศัตรูธรรมชาติเฉลี่ย 4.05 ตัว/แปลง ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าแปลงที่ไม่มีการปลูกพืชดอกกรว่

1.78 ตัวต่อแปลง (Chiengwattana et al., 2021) กรณีศึกษาการใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมในแปลงนาข้าวหอมมะลิอินทรีย์ของจังหวัดพิษณุโลก พบว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ยในแปลงนาที่ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม (731.76 ± 196.66 กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าสูงกว่าแปลงนาที่ทำนาแบบดั้งเดิม (667.04 ± 91.65 กิโลกรัมต่อไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นถึง 1.10 เท่า การประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีทางการเกษตร และมีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้น (Chalermsan, 2013) หากพิจารณาการทำนาข้าวในภาคใต้ของประเทศไทยที่มีการกระจายอยู่ในหลายจังหวัด พบว่าจังหวัดสตูลถือเป็นหนึ่งในพื้นที่สำคัญในการปลูกข้าว จากข้อมูล Satun Provincial Office of Agriculture and Cooperatives (2024) ระบุว่า ในปี พ.ศ. 2565 จังหวัดสตูลมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 14,422 ไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 14,658 ไร่ในปี พ.ศ. 2566 พื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งปลูกข้าวพื้นเมืองหลากหลายสายพันธุ์ อาทิ ข้าวเล็บนก ข้าวเหนียว ข้าวบางแก้ว ข้าวหอมจันทร์ ข้าวหอมเหลือง ข้าวลูกแดง ข้าวขาวตายก ไชมัด ช่อมูก ดอนทราย ลูกเหลือง ข้าวแดง หมออรุณ รวงยาว สีรว และมัทแคนดู อย่างไรก็ตามแม้ปัจจุบันมีแนวโน้มการลดลงของการปลูกข้าวพื้นเมือง เนื่องจากเกษตรกรหันไปปลูกข้าวพันธุ์ส่งเสริมและพืชเศรษฐกิจอื่น ส่งผลให้การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวพื้นเมืองลดลง เกิดปัญหาข้าวกลายพันธุ์และผลผลิตลดต่ำลง แต่ ข้าวอัลฮัมยังเป็นข้าวพื้นเมืองที่สำคัญ และได้รับความนิยมในการเพาะปลูก การศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม ต่อการส่งเสริมการจัดการแมลงศัตรูพืชในแปลงนาข้าวอัลฮัม ตำบลควนโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดสตูล ซึ่งระบบนิเวศวิศวกรรมช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในนาข้าว ส่งเสริมการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยศัตรูธรรมชาติ ลดการพึ่งพาสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยกระดับความปลอดภัยของผลผลิตข้าวต่อผู้บริโภค ทั้งนี้สามารถประยุกต์ใช้กับข้าวพันธุ์ส่งเสริมชนิดอื่นได้ต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการในแปลงนาข้าวอัลฮัม ซึ่งตั้งอยู่ในชุมชนพญาบังสา ตำบลควนโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดสตูล การศึกษานี้ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสานที่ประกอบด้วยการวิจัยเชิงปริมาณจากการทดลอง และการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยอาศัยการวิจัยแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research; PAR) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา และวางแผน Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับทดสอบการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม 2) การสำรวจประชากรแมลงบริเวณแปลงนาข้าวอัลฮัม ก่อนและหลังทดสอบการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม และ 3) การประเมินความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงบริเวณแปลงนาข้าวอัลฮัม

2.1 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา และวางแผนทดสอบการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม

คัดเลือกพื้นที่แปลงนาข้าวอัลฮัมในชุมชนพญาบังสา ตำบลควนโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดสตูล (ซึ่งเป็นพื้นที่ที่พบการปลูกข้าวอัลฮัมเป็นจำนวนมาก) สำหรับทดลองการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม จากแปลงของเกษตรกรที่คัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) รายละเอียดได้แก่ 1) เกษตรกรที่เข้าร่วมการทดลองมีประสบการณ์การทำนามาอย่างน้อย 5 ปี 2) เกษตรกรเป็นเจ้าของแปลงนาที่ใช้สำหรับทดลอง 3) เกษตรกรยินยอมมีส่วนร่วมตลอดกิจกรรมของการศึกษา ตั้งแต่การกำหนดรูปแบบการทำระบบนิเวศวิศวกรรม การร่วมตัดสินใจเลือกชนิดพืชปลูกร่วม การสำรวจความหลากหลายของแมลงในแปลงนา และการติดตามผล และ 4) ลักษณะของแปลงนาที่คัดเลือกมีขนาดเท่ากับ 5 ไร่

การออกแบบแผนการทดลองสำหรับทดสอบประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมกับแปลงนาที่คัดเลือกได้จำนวน 4 แปลง โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ทรีตเมนต์ (ชนิดพืชปลูกร่วมบนคันนา ที่พิจารณาจากการมีส่วนร่วมของเกษตรกรเจ้าของแปลง) ได้แก่ 1) ไม่ปลูกพืชชนิดใดร่วมบนคันนาข้าวอัลฮัม (กลุ่มควบคุม) 2) ปลูกถั่วฝักยาวร่วมบนคันนาข้าวอัลฮัม 3) ปลูกดาวเรืองร่วมบนคันนาข้าวอัลฮัม และ 4) ปลูกถั่วฝักยาวและดาวเรืองร่วมบนคันนาข้าวอัลฮัม (Figure 1.) ทุกทรีตเมนต์ได้รับการจัดการเหมือนกันตามแนวทางเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (GAP) โดยมีการขังน้ำในแปลงนา 5 เซนติเมตร ในระยะต้นกล้า และเพิ่มเป็น 10–15 เซนติเมตร ในระยะข้าวแตกกอถึงออกดอก ก่อนระบายน้ำออก

หลังข้าวออกดอก 15 วัน ใส่ปุ๋ยสองครั้ง ได้แก่ สูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ หลังข้าวออก 30 วัน และสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนข้าวออกดอก 30 วัน การควบคุมวัชพืชทำโดยปรับหน้าดินให้เรียบเพื่อลดระดับน้ำ (Krisanapong et al., 2014)

เตรียมพื้นที่โดยการไถตากดินบริเวณคันนาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ปรับคันนาให้มีขนาดความกว้าง 1.5x3 เมตร ต่อการปลูกพืช 1 ไร่ตมตม ดำเนินการเช่นเดียวกันนี้ 4 ไร่ตมตม ๆ ละ 3 ไร่ กรณีถั่วฝักยาวให้หยอดเมล็ดลงปลูกแบบยกร่องบนคันนาโดยตรง สำหรับการปลูกดาวเรืองใช้การย้ายกล้าดาวเรืองที่มีอายุ 15 วัน ลงปลูก โดยพืชทั้ง 2 ชนิด ให้ดำเนินการปลูกหลังจากปลูกข้าวแล้วเป็นเวลา 10 วัน ทั้งนี้เพื่อให้ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของถั่วฝักยาว และดาวเรืองตรงกับช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ตั้งท้อง และออกรวง



Figure 1. The selected area consists of 4 rice plots for testing ecological engineering systems, located in Phayabangsa community, Khuan Poh Subdistrict, Mueang District, Satun Province

2.2 การสำรวจประชากรแมลงบริเวณแปลงนาข้าวอัลฮัม ก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม

สำรวจประชากรแมลงในแปลงนาข้าวอัลฮัม ก่อนดำเนินการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม ได้แก่ แมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติ โดยวิธีการใช้กับดักหลุมพราง (pitfall trap) แมลงหน้าดินที่มองเห็นด้วยตาเปล่า เก็บตัวอย่างใส่ในขวดแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 และแมลงบริเวณรอบแปลงนาข้าวชนิดแมลงผสมเกสร สำหรับวิธีการใช้สวิงโฉบแบบเส้นทแยงมุมแต่ละวิธีการดำเนินการจำนวน 10 จุดต่อแปลงย่อย จำนวน 3 แปลงย่อย (ซ้ำ) ของแต่ละแปลงที่คัดเลือก ดำเนินการสำรวจในลักษณะเดียวกัน 1 ครั้งต่อสัปดาห์ (สัปดาห์เว้นสัปดาห์) เป็นระยะเวลา 8 ครั้ง ตามวิธีการสุ่มตัวอย่างของ IRRI (Ricehoppers, 2010) นำตัวอย่างแมลงที่รวบรวมได้มาจำแนกและวิเคราะห์ชนิดในห้องปฏิบัติการภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ โดยใช้เอกสารประกอบการจัดจำแนก ได้แก่ Intawat (1994), Leksawat (2001) และ Tasen (2018) บันทึกผล

วิเคราะห์ความถี่ และลักษณะการแพร่กระจายแมลงระดับวงศ์ (Frequency of occurrence) ที่พบในพื้นที่ศึกษาวิจัย จากการแบ่งระดับการพบออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับการพบบ่อย (high frequency) พบปานกลาง (mediate frequency) และพบน้อย (low frequency) โดยการคำนวณจากสมการที่ (1) (Alegbejo et al., 2006)

$$\text{ความถี่ (ร้อยละ)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พบวงศ์แมลงในแต่ละครั้งที่สำรวจ}}{\text{จำนวนครั้งที่สุ่มตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

โดยระดับความถี่ที่ปรากฏได้แก่

พบบ่อย (high frequency) = ร้อยละ 70 ขึ้นไป

พบปานกลาง (mediate frequency) = ร้อยละ 40–69

พบน้อย (low frequency) = น้อยกว่าร้อยละ 40

2.3 การประเมินความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงบริเวณแปลงนาข้าวอัลฮัม

การสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติในนาข้าว เป็นการสำรวจชนิดและปริมาณของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติที่พบ ในระยะการเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 4 ระยะ คือ ระยะกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอก และระยะสุกแก่ ทั้งนี้เพื่อให้ทราบความหลากหลายของประชากรแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติในแต่ละระยะการเจริญของข้าว ซึ่งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสุ่มประชากรสิ่งมีชีวิตดังกล่าวดำเนินการเช่นเดียวกับการสำรวจก่อนการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม นำตัวอย่างแมลงที่สุ่มได้ไปจำแนกชนิด บันทึกจำนวน แล้วคำนวณค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Diversity Index) หรือดัชนีความแตกต่างของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติเพื่อประกอบการพิจารณาความหลากหลายของกลุ่มประชากรซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้สมการของ Shannon-Weaver Index: H' (Shannon and Weaver, 1949) ตามสมการที่ (2)

$$H' = \sum_{i=1}^s (P_i)(\ln P_i) \quad (2)$$

โดยที่ H' คือ ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ

P_i คือ สัดส่วนของจำนวนชนิดสิ่งมีชีวิตในกลุ่มบทบาททางนิเวศวิทยาต่อจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่สุ่มได้ทั้งหมด

s คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบในจุดสำรวจนั้น

การคำนวณค่าความสม่ำเสมอของสิ่งมีชีวิต (Shannon Evenness, J') คำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$J' = \frac{H'}{\ln s} \quad (3)$$

โดยที่ H' คือ ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ

s คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบในจุดสำรวจนั้น

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ และค่าความสม่ำเสมอของสิ่งมีชีวิต ที่แตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการสำรวจประชากรแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติบริเวณแปลงนาข้าวอัลฮัม ก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม

ผลการสำรวจประชากรแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติบริเวณแปลงนาข้าวอัลฮัม ก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบและสัดส่วนของกลุ่มแมลงในระบบนิเวศนาข้าว ซึ่งจัดจำแนกตามระดับอนุกรมวิธาน ได้แก่ อันดับ (Order) และวงศ์ (Family) ดังแผนภูมิวงกลม (Figure 2.) จากผลการสำรวจพบว่า แมลงในอันดับ Orthoptera เป็นกลุ่มที่มีความชุกชุมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 22 ของประชากรทั้งหมด โดยประกอบด้วยวงศ์ Gryllidae (จิ้งหรีด) Tettigoniidae (ตั๊กแตนหนวดยาว) Acrididae (ตั๊กแตนหนวดสั้น) และ Tetrigidae (ตั๊กแตนกระแะ) รองลงมาคืออันดับ Hymenoptera และ Diptera ซึ่งมีสัดส่วนเท่ากันที่ร้อยละ 17 โดยกลุ่ม Hymenoptera พบแมลงในวงศ์ Formicidae (มด), Bethyidae (แตนเบียน) และ Vespidae (ต่อ แตน) ขณะที่กลุ่ม Diptera ประกอบด้วยวงศ์ Tabanidae (เห็บ) Drosophilidae (แมลงหวี่) และ Muscidae (แมลงวัน) สำหรับกลุ่มแมลงในอันดับ Coleoptera และ Hemiptera และศัตรูธรรมชาติในอันดับ Araneae พบในสัดส่วนร้อยละ 11 เท่ากัน โดย Coleoptera ประกอบด้วยวงศ์ Staphylinidae (ด้วงก้นกระดก) และ Coccinellidae (ด้วงเต่า) Hemiptera พบแมลงในวงศ์ Alydidae (แมลงสิง) และศัตรูธรรมชาติในอันดับ Araneae (แมงมุม) ประกอบด้วยวงศ์ Oxyopidae (แมงมุมตาหกเหลี่ยม) และ Tetragnathidae (แมงมุมเขี้ยวยาว) ขณะที่อันดับ Odonata พบในสัดส่วนร้อยละ 6 ซึ่งประกอบด้วยวงศ์ Coenagrionidae (แมลงปอเข็ม) และอันดับ Blattodea ที่มีสัดส่วนน้อยที่สุดร้อยละ 5 คือแมลงในวงศ์ Blaberidae (แมลงสาบ)

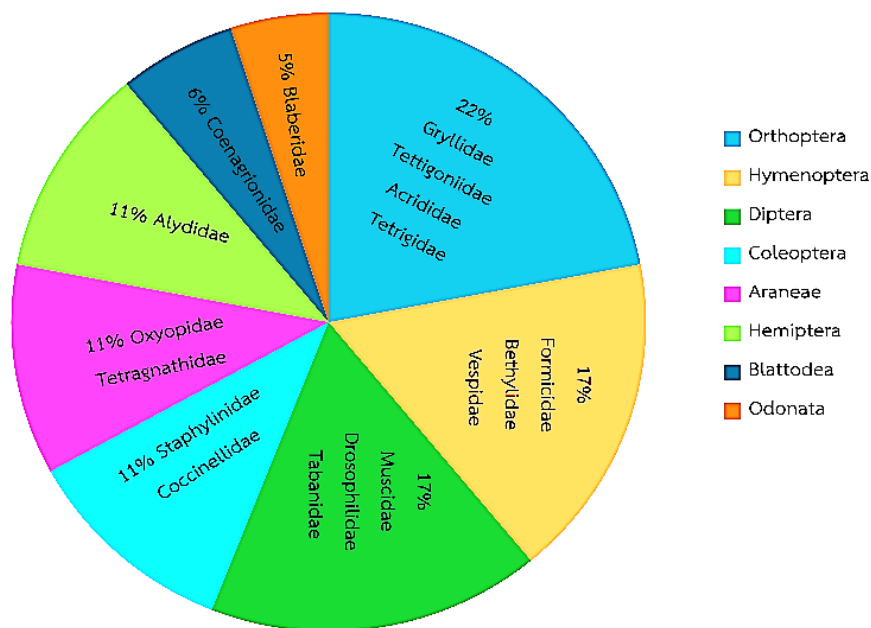


Figure 2. Relative abundance of arthropod families grouped by taxonomic orders in a rice ecosystem

ผลการศึกษาความถี่การปรากฏของแมลงในระดับวงศ์พบว่า แมลงที่ปรากฏพบจำนวน 18 วงศ์ มีความถี่ทั้ง 3 ระดับ คือ ระดับบ่อย (ร้อยละ 70 ขึ้นไป) ระดับปานกลาง (ร้อยละ 40–69) และระดับน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 40) (Figure 3.)

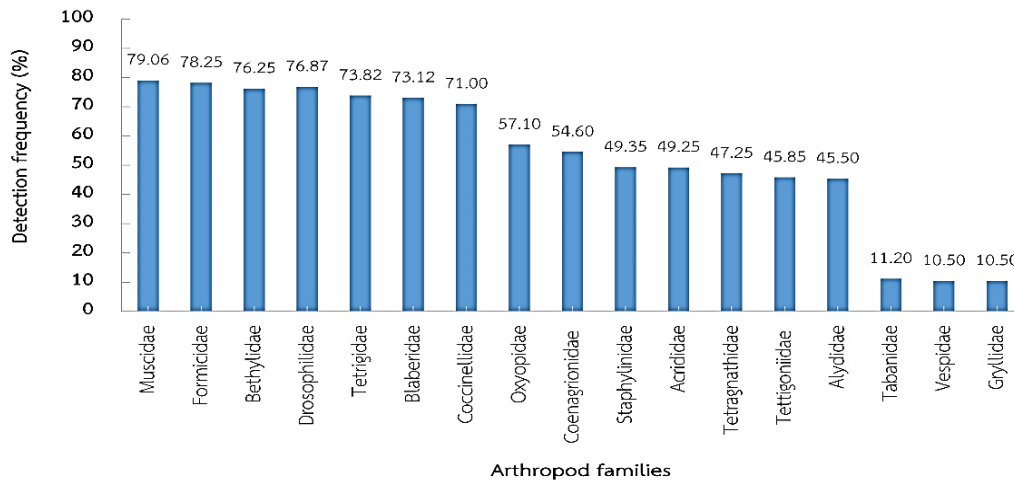


Figure 3. Detection frequency of arthropod families

จาก Figure 3. แมลงที่มีค่าการปรากฏตัวอยู่ในระดับพบบ่อยจำนวน 7 วงศ์ คือ Muscidae (ร้อยละ 79.06) Formicidae (ร้อยละ 78.25) Bethyidae (ร้อยละ 76.25) Drosophilidae (ร้อยละ 76.87) Tetrigidae (ร้อยละ 73.82), Blaberidae (ร้อยละ 73.12) และ Coccinellidae (ร้อยละ 71.00) พบระดับปานกลาง จำนวน 7 วงศ์ ประกอบด้วยแมลงจำนวน 5 วงศ์ ได้แก่ Coenagrionidae (ร้อยละ 54.60) Staphylinidae (ร้อยละ 49.35) Acrididae (ร้อยละ 49.25) Tettigoniidae (ร้อยละ 45.85) และ Alydidae (ร้อยละ 45.50) และศัตรูธรรมชาติชนิดแมงมุมจำนวน 2 วงศ์ ได้แก่ Oxyopidae (ร้อยละ 57.10) และ Tetragnathidae (ร้อยละ 47.25) ขณะที่แมลงที่มีค่าการปรากฏตัวอยู่ในระดับพบน้อยมีจำนวน 4 วงศ์ คือ Tabanidae (ร้อยละ 11.20), Vespidae (ร้อยละ 10.50) และ Gryllidae (ร้อยละ 10.50)

เมื่อนำข้อมูลข้างต้นมาวิเคราะห์ร่วมกับระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวพบว่า ทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวพบแมลงตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในช่วงระยะออกรวง ซึ่งเป็นช่วงที่พบความหลากหลายชนิดและปริมาณของแมลงสูงที่สุด รองลงมาคือระยะสุกแก่ สำหรับระยะแตกกอ และระยะกล้า พบชนิดของแมลงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (Figure 4.)

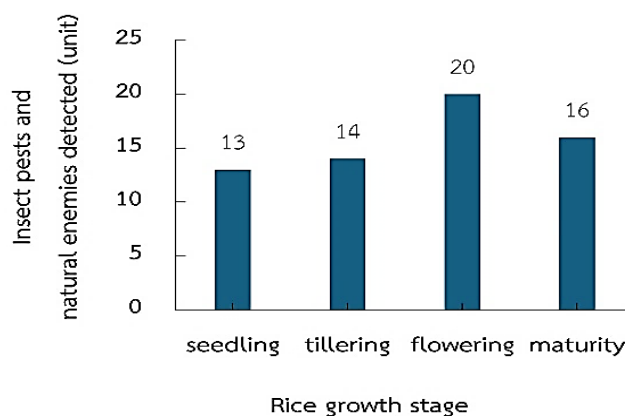


Figure 4. Insect pests and natural enemies detected during different rice growth stages

3.2 ผลการประเมินความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติในนาข้าวอัลฮัม

ผลการประเมินความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติในแปลงนาข้าวอัลฮัม พบว่า หลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม พบแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติ รวมทั้งสิ้น 21 ชนิด 20 วงศ์ และ 9 อันดับ

ซึ่งมีปริมาณและชนิดที่มากกว่าก่อนการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมอย่างชัดเจน โดยก่อนการประยุกต์ใช้พบแมลงศัตรูพืชเพียง 3 ชนิด 3 วงศ์ และ 3 อันดับ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (H') ในทรีตเมนต์ที่ 1–4 หลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม พบว่า มีค่าในช่วง 0.513–1.305 หรือเฉลี่ยเท่ากับ 1.018 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าก่อนการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมที่มีค่าในช่วง 0.395–0.515 หรือเฉลี่ย 0.443 โดยชนิดของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติ ได้แก่ มดแดง *Oecophylla smaragdina* F ตั๊กแตนข้าว *Hieroglyphus banian* (Fabricius) แมงมุมตาหกลีเยียม *Oxyopes javanus* Throll มดคันไฟ *Solenopsis saevissima wagneri* แมลงปอเข็ม *Ceragrion praetermissum* ตัวงักกระดก *Paederus fuscipes* ตัวง่าสีส้ม *Micraspis discolor* ตัวง่าลายหยัก *Menochilus sexmaculatus* ตัวง่าลายจุด *Harmonia octomaculata* ตั๊กแตนกระแะ *Paratettix aztecus* ตั๊กแตนหนวดยาว *Conocephalus longipennis* แตนเบียน *Goniozus* sp. จิ้งโกร่ง *Brachytrupes portentosus* จิ้งหรีดทองดำ *Gryllus bimaculatus* เหลือบ *Tabanus fulvilinearis* แมลงวันบ้าน *Musca domestica* แมลงหวี่ *Drosophila melanogaster* แมงมุมเขียวยาว *Tetragnatha* sp. แตนกระดาก *Polistes stigma* (F.) แมลงสิง *Leptocoris acuta* (Thunberg) และ แมลงกลบ *Pycnoscelus indicus* (Table 1.)

จาก Table 1. พบว่าหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมมีจำนวน และชนิดของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติ แตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละทรีตเมนต์ แสดงให้เห็นว่าการปลูกพืชร่วมส่งผลให้ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (H') เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในทุกทรีตเมนต์ที่มีการปลูกพืชร่วม ได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ 2 ($H' = 1.129$) ทรีตเมนต์ที่ 3 ($H' = 1.123$) และทรีตเมนต์ที่ 4 ($H' = 1.305$) มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์ที่ 1 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชร่วม โดยพบค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงต่ำที่สุด ($H' = 0.513$) โดยทรีตเมนต์ที่ 4 ($H' = 1.305$) มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (H') สูงกว่าทรีตเมนต์ที่ 2 และทรีตเมนต์ที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสิ่งมีชีวิตที่พบทั้งหมด แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ 1) แมลงศัตรูธรรมชาติ และศัตรูธรรมชาติอื่น ได้แก่ มดแดง (*O. smaragdina* F) แมงมุมตาหกลีเยียม (*O. javanus* Throll) มดคันไฟ (*S. saevissima wagneri*) แมลงปอเข็ม (*C. praetermissum*) ตัวงักกระดก (*P. fuscipes*) ตัวง่าสีส้ม (*M. discolor*) ตัวง่าลายหยัก (*M. sexmaculatus*) ตัวง่าลายจุด (*H. octomaculata*) แตนเบียน (*Goniozus* sp.) จิ้งโกร่ง (*B. portentosus*) จิ้งหรีดทองดำ (*G. bimaculatus*) เหลือบ (*T. fulvilinearis*) แมงมุมเขียวยาว (*Tetragnatha* sp.) และ แตนกระดาก (*P. stigma* (F.)) 2) แมลงศัตรูข้าว ได้แก่ ตั๊กแตนข้าว (*H. banian*) (Fabricius) ตั๊กแตนหนวดยาว (*C. longipennis*) ตั๊กแตนกระแะ (*P. aztecus*) และแมลงสิง (*L. acuta*) (Thunberg) และ 3) แมลงเคหะ/อื่น ๆ ได้แก่ แมลงวันบ้าน (*M. domestica*) แมลงหวี่ (*D. melanogaster*) และแมลงกลบ (*P. indicus*)

Table 1. Types of Insect pests and natural enemies surveyed before and after implementing the ecological engineering

Observation	Insects, pests and natural enemies	Pi-T1	Pi-T2	Pi-T3	Pi T4	p-value
Before implementing the ecological engineering	<i>Oecophylla smaragdina</i> F	0.188	0.167	0.250	0.271	0.062
	<i>Hieroglyphus banian</i> (Fabricius)	0.021	0.000	0.000	0.021	
	<i>Oxyopes javanus</i> Throll	0.000	0.021	0.042	0.021	
	<i>H'</i>	0.395	0.380	0.480	0.515	
	<i>J'</i>	0.570	0.548	0.691	0.469	
After implementing the ecological engineering	<i>Oecophylla smaragdina</i> F	0.020	0.044	0.039	0.049	0.020*
	<i>Solenopsis saevissima wagneri</i>	0.006	0.008	0.013	0.011	
	<i>Ceriagrion praetermissum</i>	0.003	0.015	0.009	0.017	
	<i>Paederus fuscipes</i>	0.000	0.008	0.004	0.010	
	<i>Micraspis discolor</i> Fabricius	0.003	0.025	0.022	0.029	
	<i>Menochilus sexmaculatus</i> Fabricius	0.004	0.022	0.020	0.030	
	<i>Harmonia octomaculata</i> Fabricius	0.002	0.025	0.022	0.025	
	<i>Hieroglyphus banian</i> (Fabricius)	0.004	0.008	0.012	0.011	
	<i>Paratettix aztecus</i>	0.006	0.017	0.009	0.020	
	<i>Conocephalus longipennis</i> (de Haan)	0.003	0.010	0.013	0.010	
	<i>Goniozus</i> sp.	0.004	0.013	0.012	0.012	
	<i>Brachytrupes portentosus</i> Licht	0.000	0.002	0.001	0.003	
	<i>Gryllus bimaculatus</i>	0.001	0.002	0.002	0.004	
	<i>Tabanus fulvilinearis</i> Philip	0.000	0.003	0.002	0.004	
	<i>Musca domestica</i>	0.007	0.008	0.010	0.012	
	<i>Drosophila melanogaster</i>	0.007	0.008	0.015	0.016	
	<i>Oxyopes javanus</i> Throll	0.001	0.012	0.015	0.011	
	<i>Tetragnatha</i> sp.	0.000	0.010	0.008	0.009	
	<i>Polistes stigma</i> (F.)	0.000	0.002	0.003	0.003	
	<i>Leptocoris acuta</i> (Thunberg)	0.040	0.019	0.025	0.024	
	<i>Pycnoscelus indicus</i>	0.006	0.016	0.018	0.022	
	<i>H'</i>	0.513 ^c	1.129 ^b	1.123 ^b	1.305 ^a	
	<i>J'</i>	0.182 ^c	0.372 ^b	0.369 ^b	0.428 ^a	

Note: (T1) no planting on the ridge (control group), (T2) planting long beans on the ridge, (T3) planting marigolds on the ridge, and (T4) co-planting long beans and marigolds on the ridge. * Significant statistical differences were observed ($p < 0.05$). Different English letters indicate statistically significant differences at the 95% confidence level.

4. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาระดับความถี่ที่ปรากฏของแมลงศัตรูพืช และศัตรูธรรมชาติในแปลงนาข้าว พบว่ากลุ่มที่พบบ่อย เช่น Coccinellidae และ Formicidae มีบทบาทในการควบคุมศัตรูพืช และการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ กลุ่มที่พบปานกลาง ได้แก่ แมงมุมวงศ์ Oxyopidae และวงศ์ Tetragnathidae ซึ่งเป็นศัตรูธรรมชาติกลุ่มตัวห้ำ ช่วยควบคุมแมลงปากดูด เช่น เพลี้ยต่าง ๆ ในนาข้าว และหนอนกอข้าว เป็นต้น มีความสำคัญในห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศนาข้าว (Keswani, 2024) โดยเฉพาะแมงมุมเขียวยาว *Tetragnatha* sp. ในวงศ์ Tetragnathidae ที่มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดและความชุกชุมสูงที่สุดในระยะออกดอกเมื่อเปรียบเทียบกับระยะอื่น ๆ ของการเจริญของข้าว เนื่องจากระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่แตกต่างกันส่งผลต่อโครงสร้างของต้นข้าวที่เหมาะสมต่อปริมาณเหยื่อของศัตรูธรรมชาติกลุ่มนี้ (Saksongmuang et al., 2020) สำหรับกลุ่มที่พบน้อย ได้แก่ Tabanidae และ Vespidae มีบทบาทในการช่วยผสมเกสร เป็นเหยื่อในห่วงโซ่อาหาร และบางชนิดเป็นศัตรูธรรมชาติของหนอน และเพลี้ย ซึ่งปริมาณที่พบน้อยสะท้อนถึงสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแมลงกลุ่มนี้ เมื่อพิจารณาพร้อมกับช่วงการเจริญเติบโตของข้าว พบว่าระยะออกทรงมีความหลากหลายของแมลงมากที่สุด รองลงมาคือระยะสุกแก่ ซึ่งสอดคล้องกับช่วงที่แหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยเอื้อต่อแมลง ส่วนระยะแตกกอและกล้าพบบแมลงน้อยกว่า อาจเนื่องจากระบบนิเวศยังไม่ซับซ้อน

ก่อนการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม ที่พบค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (H') ในช่วง 0.395 – 0.515 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของสิ่งมีชีวิต (J') ในช่วง 0.548 – 0.691 สะท้อนถึงความหลากหลายทางชีวภาพที่จำกัด และสิ่งมีชีวิตบางชนิดมีการกระจุกตัวมากกว่าชนิดอื่น (Magurran, 2004) อย่างไรก็ตาม ภายหลังการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรม เห็นได้ชัดว่าความหลากหลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกทริตเมนต์ สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนชนิดและความสม่ำเสมอของประชากรแมลง (Zhang et al., 2020; Magurran, 2004) โดยพบแมลงตัวห้ำ เช่น ตัวเต่าสี่สี (*M. discolor*) ตัวเต่าลายจุด (*H. octomaculata*) และตัวเต่าลายหยัก (*M. sexmaculatus*) ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมศัตรูพืชตามธรรมชาติ (Gurr et al., 2003; Srinivasan & Ganeshan, 2002) แมงมุมตาหกลี้น (O. Javanus) แมงมุมเขียวยาว (*Tetragnatha* sp.) แตนกระดาก (*P. stigma*) และแมลงในวงศ์ Coccinellidae ซึ่งเป็นแมลงศัตรูธรรมชาติของแมลงสี *Leptocoris acuta* (Gurr et al., 2004) สอดคล้องกับค่าดัชนีความหลากหลายของแมลงสีที่สำรวจในทริตเมนต์ที่ 2 (0.019), 3 (0.025) และ 4 (0.024) น้อยกว่าชุดควบคุมในทริตเมนต์ที่ 1 (0.040) คิดเป็น 1.7 เท่า จึงนับได้ว่าการใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมมีบทบาทในการลดปริมาณแมลงสีในนาข้าวได้

จากข้อมูลดังที่กล่าวมา ชี้ให้เห็นว่าการปลูกพืชร่วมสามารถเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ ส่งเสริมให้เกิดการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดในแปลงนาข้าวอย่างสมดุลมากขึ้น ซึ่งมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศเกษตร แนวโน้มนี้อาจเกิดจากการที่การปลูกพืชร่วมบริเวณแปลงนา ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารรองรับแมลงกินพืช แมลงผู้ล่า และแมงมุมที่มีบทบาทเป็นศัตรูธรรมชาติที่หลากหลายมากขึ้น มีบทบาทในการควบคุมศัตรูพืชหรือมีผลกระทบทางอ้อมต่อระบบนิเวศการผลิตข้าว (Heong et al., 1991) ในขณะเดียวกัน ความหลากหลายที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่เพียงส่งผลต่อการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตที่สมดุลของระบบนิเวศ (Magurran, 2004) แต่ยังมีบทบาทในการควบคุมศัตรูพืชตามธรรมชาติ ลดการพึ่งพาสารเคมี และส่งเสริมการจัดการศัตรูพืชแบบยั่งยืน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมส่งเสริมให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศแปลงนาให้มีความสมดุลมากขึ้น โครงสร้างระบบนิเวศมีการฟื้นตัวและมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ซึ่งในกรณีศึกษานาข้าวอัลฮัม เห็นได้ชัดว่าหลังจากประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมแล้ว ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงมีค่าสูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดแมลงและช่วงการเติบโตของข้าว สามารถนำไปใช้วางแผนการจัดการศัตรูพืชเชิงนิเวศได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

อย่างไรก็ตามควรมีการส่งเสริมการประยุกต์ใช้ระบบนิเวศวิศวกรรมในพื้นที่เกษตรอื่น ๆ โดยเฉพาะพื้นที่ที่ประสบปัญหาการระบาดของศัตรูพืช และการใช้สารเคมีสูง เพื่อเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ และลดการพึ่งพาสารกำจัดศัตรูพืช และเพื่อให้เกิดผลในพื้นที่อย่างยั่งยืน ควรเน้นกระบวนการมีส่วนร่วมของเกษตรกรซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาภาคการเกษตรส่งผลให้เกิดความร่วมมือที่เข้มแข็ง มีการจัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนความรู้ และสร้างความสัมพันธ์อันดีในชุมชน สะท้อนถึงมิติทางสังคมที่ส่งเสริมการใช้วิศวกรรมเชิงนิเวศอย่างยั่งยืน

6. เอกสารอ้างอิง

- Alegbejo, MD., Raji, BA., Abubakar, IU., & Banwo, OO. (2006). Rice yellow mottle virus disease: A new disease of rice in Zamfara, Nigeria. *International Rice Research Notes*, 31(39), 30–39.
- Chalermnan, Y. (2013). The application of eco-engineering approaches for managing rice pests in organic black jasmine rice production at Ban Thung Yai, Nikhom Phatthana Subdistrict, Bang Rakam District, Phitsanulok Province. *Journal of Community Development and Quality of Life*, 1(2), 63–70.
- Chandrasekar, K., Muthukrishnan, N., & Soundararajan, RP. (2017). Ecological engineering cropping methods for enhancing predator, *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) and suppression of planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) in rice-weeds as border cropping system. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 2387-2391.
- Chiangwattana, N., Pattawatang, P., Kotcharerk, J., & Anawong, J. (2021). Ecological engineering on rice to develop sustainable means to reduce crop losses due to brown plant hopper outbreaks. Seminar of Upper and Lower Northern Rice Research Centers, February 14–16, 2021. Phrae: Nakorn Phrae Tower Hotel. (in Thai)
- Evans, EW., Comont, RF., & Rabitsch, W. (2011). Alien arthropod predators and parasitoids: interactions with the environment. *BioControl*, 56, 395-407.
- Gurr, GM. (2009). Prospects for ecological engineering for planthoppers and other arthropod pests in rice. *Planthoppers: New threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia*, 371-388.
- Gurr, GM., Liu, J., Read, DM., Catindig, JLA., Cheng, JA., Lan, LP., & Heong, K. L. (2011). Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. *Annals of Applied Biology*, 158(2), 149-176.
- Gurr, GM., Lu, Z., Zheng, X., Xu, H., Zhu, P., Chen, G., Yao, X., Cheng, J., Zhu, Z., Catindig, J. L., Villareal, S., Chien, HV., Cuong, LQ., Channoo, C., Chiangwattana, N., Lan, LP., Hai, LH., Chaiwong, J., Nicol, HI., Perovic, DJ., Wratten, SD., & Heong, KL. (2016). Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. *Nature Plants*, 2, 1-4.
- Gurr, GM., Wratten, SD., & Altieri, MA. (2004). *Ecological engineering for pest management*. Victoria: CSIRO Publishing.
- Gurr, GM., Wratten, SD., & Luna, JM. (2003). Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 4(2), 107–116.
- Heong, KL., Aquino, GB., & Barrion, AT. (1991). Arthropod community structure of rice ecosystems in the Philippines. *Bulletin of Entomological Research*, 81(4), 407–416.
- Horgan, FG., & Kudavidanage, EP. (2020). Use and avoidance of pesticides as responses by farmers to change impacts in rice ecosystems of southern Sri Lanka. *Environmental Management*, 65(6), 787-803.
- Horgan, FG., Ramal, AF., Villegas, JM., Jamoralin, A., Pasang, JMV., Hadi, BAR., Mundaca, EA., & Crisol-Martínez, E. (2024). Rice bund management by Filipino farmers and willingness to adopt ecological engineering for pest suppression. *Agriculture*, 14(8), 1-21.
- Intawat, B. (1994). *Laboratory manual of agricultural entomology*. Bangkok: Rung Wattana Printing House. (in Thai)
- Keswani, SV. (2024). Spider fauna abundance and natural pest controller in rice agroecosystem: A review. *The Rubrics Journal of Interdisciplinary Studies* 6(3), 554–560.

- Krisanapong, S., Amara, W., Sukanya, K., Sayomporn, P., Piyanuch, T., & Duangkamon, R. (2014). Cost reduction in rice production. Bangkok: Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Leksawat, P. (2001). External morphology and classification of insects. Chiang Mai: Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University. (in Thai)
- Magurran, AE. (2004). Measuring biological diversity. New Jersey: Blackwell Publishing.
- Ricehoppers. (2010). Sampling protocols for studying ecological engineering for rice pest suppression in irrigated tropical rice [Online]. Retrieved December 1, 2024, from <https://ricehopper.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/11/revised-sampling-protocol-21dec.pdf>
- Saksongmuang, V., Miyashita, T., Maneerat, T., & Bumrungsri, S. (2020). Population dynamics and prey composition of *Tetragnatha* spiders (Araneae: Tetragnathidae) in semi-organic rice fields, Songkhla Province, southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 42(4), 725–733.
- Satun Provincial Office of Agriculture and Cooperatives. (2024). Satun Province Basic Information [Online]. Retrieved April 1, 2025, from <https://www.opsmoac.go.th/satun-dwl-files-461991791387> (in Thai)
- Settele, J., Biesmeijer, J., & Bommarco, R. (2008). Switch to ecological engineering would aid independence. *Nature*, 456(7222), 570–570.
- Shannon, CE., & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois: University of Urbana.
- Sparks, TC., & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122–128.
- Srinivasan, K., & Ganeshan, G. (2002). Role of *Menochilus sexmaculatus* in the biological control of rice pests. *Journal of Biological Control*, 16(1), 21–26.
- Tasen, W. (2018). Basic techniques in forest entomological survey and research. Bangkok: Faculty of Forestry, Kasetsart University. (in Thai)
- Wäckers, FL., Romeis, J., & van Rijn, P. (2007). Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 301–323.
- Yele, Y., Chander, S., Suroshe, SS., Nebapure, S., Tenguri, P., & Sundaran, A. P. (2023). Ecological engineering in low land rice for brown plant hopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) management. *PeerJ – the Journal of Life and Environmental Sciences*, 11, 1–21.
- Zhang, R., Yang, Y., Zhang, J., & Zhang, J. (2020). Application of Shannon–Wiener index to measure the diversity of insects in rice ecosystems. *Ecological Indicators*, 113, 106253.