

Spiders as an alternative predator to control aphids in agroecosystem

Puntharika Khongruang

Ph.D. Program in Zoology, Department of Biology, Faculty of Science,
Chulalongkorn University

Corresponding author : puntha_kh@hotmail.com

Received
03/10/2023

Reviewed
12/11/2023

Revised
29/12/2023

Accepted
29/12/2023

Abstract

Aphid outbreaks in economic crops worldwide pose a significant challenge to crop production. Many previous studies have focused on biological control of pests to reduce reliance on pesticides. Spiders have been considered as potential predators for controlling diverse pest populations in agroecosystems, including aphids. However, studies on the effectiveness of spiders in suppressing aphids are limited compared to other insect pests. This article reviews the efficacy of spiders as aphid predators in agroecosystems, presenting the role of spiders in the agroecosystem, the advantages, and limitations of using spiders as biological control agents for aphid controls, and explores the augmentation of spiders in conjunction with biological control strategies.

Keyword : Prey; Natural enemy; Pest; Pesticide

แมงมุม : ตัวห้าทางเลือกในการควบคุมเพลี้ยอ่อนในระบบนิเวศเกษตร

ปุนทริกา คงเรือง

หลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาสัตววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้นิพนธ์หลัก : puntha_kh@hotmail.com

บทคัดย่อ

การระบาดของเพลี้ยอ่อนในพืชเศรษฐกิจเป็นปัญหาสำคัญของการปลูกพืชทั่วโลก เพื่อส่งเสริมให้เกิดการลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชในแปลงเกษตร งานวิจัยจำนวนมากจึงให้ความสนใจศึกษาการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธี แมงมุมจัดเป็นหนึ่งในศัตรูธรรมชาติกลุ่มตัวห้าที่มีบทบาทสำคัญต่อประชากรแมลงศัตรูพืชหลายกลุ่มในระบบนิเวศเกษตรรวมทั้งเพลี้ยอ่อน อย่างไรก็ตามการตีบทบาทยังมีการศึกษาในวงจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับแมลงศัตรูพืชกลุ่มอื่น ในบทความนี้ได้นำเสนอความเป็นไปได้ในการใช้แมงมุมเพื่อควบคุมเพลี้ยอ่อนในระบบนิเวศเกษตร โดยกล่าวถึงบทบาทของแมงมุมในระบบนิเวศเกษตร ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของแมงมุมในการเป็นศัตรูธรรมชาติ และแนวทางการเพิ่มจำนวนแมงมุมตามหลักการการควบคุมโดยชีววิธี

คำสำคัญ : เหยื่อ; ศัตรูธรรมชาติ; แมลงศัตรูพืช; สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

บทนำ

เพลี้ยอ่อน (aphids) เป็นแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายจำนวนมากในพืชไร่ พืชสวน และพืชผัก เพลี้ยอ่อนถูกจัดอยู่ในวงศ์ Aphididae อันดับ Hemiptera ทั่วโลกมีการค้นพบเพลี้ยอ่อน 4,000 ชนิด ในจำนวนนี้มีเพลี้ยอ่อนที่เป็นศัตรูของพืชปลูก 450 ชนิด (Blackman and Estop, 2000) เพลี้ยอ่อนสามารถสร้างความเสียหายต่อพืชโดยตรง โดยการใช้ปากแหลมขนาดเล็กเจาะเข้าไปยังท่อลำเลียงอาหารตามส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ยอด ลำต้น ใบ ดอก และผล แล้วดูดกินสารอาหารของพืช ส่งผลให้ส่วนดังกล่าวมีลักษณะย่น หักหงอ เปลี่ยนสี หรือเจริญเติบโตช้าลง (Benzina, Harizia, Elouissi, Canelo, & Bonal, 2023) หากเพลี้ยอ่อนเข้าทำลายพืชในปริมาณมากอาจส่งผลให้พืชหยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด (Sushila, Denodia, Teotia, & Kumari, 2023) นอกจากนี้เพลี้ยอ่อนยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชทางอ้อมโดยการเป็นพาหะนำโรคพืช พบว่ามากกว่า 50% ของเชื้อไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคในพืชและแพร่เชื้อผ่านแมลง มีเพลี้ยอ่อนเป็นแมลงพาหะ (Hull, 2013) การระบาดของเพลี้ยอ่อนในพืชเศรษฐกิจมักเกิดจากสาเหตุหลักคือการปลูกพืชชนิดเดียวกันในพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อตอบสนองต่อการผลิตสินค้าเกษตรจำนวนมาก (Goggin, 2007) นอกจากรูปแบบการปลูกพืชดังกล่าวความสามารถในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเพลี้ยอ่อนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งเสริมการระบาดของเพลี้ยอ่อน เพลี้ยอ่อนสามารถออกลูกอย่างรวดเร็วและหลายครั้งโดยเฉพาะเพลี้ยอ่อนในพื้นที่เขตอบอุ่นและเขตร้อน ส่งผลให้ประชากรของเพลี้ยอ่อนเพิ่มขึ้นในระยะเวลาอันสั้น (Zepeda-paulo et al., 2010) นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายประชากรของเพลี้ยอ่อนยังเพิ่มโอกาสการระบาดในพืชใกล้เคียง พบว่าการเคลื่อนย้ายประชากรของเพลี้ยอ่อนเกิดขึ้นเมื่อเพลี้ยอ่อนระยะตัวเต็มวัยมีปีก (alate) ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงที่ประชากรเพลี้ยอ่อนมีประชากรหนาแน่นหรือพืชอาหารที่กินอยู่เริ่มมีคุณภาพต่ำ เพลี้ยอ่อนระยะนี้สามารถเคลื่อนที่โดยอาศัยลมเพื่อไปยังพืชอาหารใหม่ที่อยู่ใกล้เคียงหรือไกลออกไปหลายกิโลเมตรได้ (Loxdale, Hardie, Halbert, Footitt, Kidd, & Carter, 1993) เมื่อพบภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่นพืชอาหารคุณภาพสูง เพลี้ยอ่อนจะออกลูกอย่างรวดเร็วและเข้าทำลายพืชดังกล่าวได้ทันที จากลักษณะเด่นของเพลี้ยอ่อนในการเป็นแมลงศัตรูพืชทั้งหมดนี้ ทำให้เราสามารถพบการระบาดของเพลี้ยอ่อนได้ตั้งแต่ช่วงต้นฤดูปลูก และก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชได้ตลอดฤดูปลูก (Bianchi and Werf, 2004)

การใช้สารเคมีกำจัดแมลงเป็นหนึ่งในวิธีควบคุมเพลี้ยอ่อนที่ได้รับความนิยมสูงสุดเนื่องจากประสิทธิภาพการควบคุมและความสะดวกในการใช้งาน อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มักนำมาซึ่งต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น จนอาจส่งผลให้ประสพภาวะขาดทุนในการผลิตสินค้าเกษตร นอกจากนี้การใช้สารเคมีกำจัดเพลี้ยอ่อนอย่างต่อเนื่องอาจเหนี่ยวนำให้เกิดการพัฒนาความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงในเพลี้ยอ่อน ทำให้ต้องใช้สารเคมีปริมาณมากขึ้นในการควบคุมเพลี้ยอ่อนเมื่อเวลาผ่านไป หรืออาจจำเป็นต้องใช้สารเคมีสูตรใหม่จึงจะสามารถควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนได้ (Overton, Ward, Hoffmann, & Umina, 2023)

ปัจจุบันความนิยมในการเลือกบริโภคสินค้าเกษตรที่ปลอดภัยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหรือสารเคมีทางการเกษตรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นของตลาดสินค้า

เกษตรอินทรีย์ การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีถูกนำมาประยุกต์ใช้ในควบคุมแมลงศัตรูพืช ร่วมกับกลยุทธ์อื่นๆ เพื่อผลิตสินค้าเกษตรที่ยั่งยืนและปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Rashedi, Rajabpour, Rasekh, & Zandi-Sohani, 2019) การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีโดยการใช้ตัวห้ำ (predator) เป็นหนึ่งในกรรมวิธีที่ได้รับความนิยมในวงกว้าง เนื่องจากตัวห้ำมีจุดเด่นคือเป็นแมลงที่กินแมลงชนิดอื่นเป็นอาหารในปริมาณมาก และกินโดยไม่คำนึงระยะการเจริญของเหยื่อ ทำให้สามารถนำมาใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืชหลายกลุ่มรวมทั้งเพลี้ยอ่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Wyss, Villiger, & Müller-Schärer, 1999; Costamagna and Landis, 2007; Diehl, Sereda, Wolters, & Birkhofer, 2013) ตัวอย่างตัวห้ำของเพลี้ยอ่อน ได้แก่ ตัวงเต่า แมลงช้างปีกใส แมลงวันดอกไม้ แมงมุม และมวน เป็นต้น (Rosenheim, Wilhoit, & Armer, 1993; Schoeny, Lauverney, Lambion, Mazzia, & Capowiez, 2019)

แมงมุม เป็นตัวห้ำที่มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมแมลงศัตรูพืชหลายชนิดในระบบนิเวศเกษตร (Figure1) (Michalko, Pekár, & Entling, 2019) อย่างไรก็ตามความสามารถของแมงมุมในการควบคุมเพลี้ยอ่อนที่ถูกพูดถึงในบางงานวิจัยยังให้ข้อสรุปไม่แน่ชัด เนื่องจากแมงมุมเป็นตัวห้ำที่ไม่ได้กินเหยื่อเป็นอาหารแค่กลุ่มเดียว ตรงกันข้ามแมงมุมเป็นตัวห้ำที่กินอาหารหลากหลายกลุ่ม (generalist predator) การขาดซึ่งความจำเพาะระหว่างชนิดของเหยื่อและตัวห้ำประเภทนี้ ทำให้ความหนาแน่นของเหยื่ออาจไม่ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดประชากรของตัวห้ำ และนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่ามีความเป็นไปได้ที่ตัวห้ำกลุ่มนี้จะไม่สามารถควบคุมเหยื่อหรือแมลงศัตรูพืชในพื้นที่ได้เสมอไป (Hassell 1978; Gavish-Regev, Rotkopf, Lubin, & Coll, 2009) นอกจากนี้งานวิจัยบางส่วนแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของแมงมุมในการเป็นตัวห้ำเพื่อนำมาใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืช นอกจากนี้บทบาทด้านลบของแมงมุมถูกกล่าวถึงในบางงานวิจัย โดยพบว่าแมงมุมอาจลดประสิทธิภาพของศัตรูธรรมชาติกลุ่มอื่นๆ ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช ในปัจจุบันประสิทธิภาพของแมงมุมในการควบคุมเพลี้ยอ่อนยังมีการศึกษาที่จำกัด และทำการศึกษเฉพาะในพืชเศรษฐกิจบางกลุ่มเท่านั้น (Chapman, Schmidt, Welch, & Harwood, 2013; Mishra & Rastogi, 2023) ทำให้การนำแมงมุมไปใช้ในการเป็นตัวห้ำเพื่อควบคุมเพลี้ยอ่อนตามแนวคิดการควบคุมโดยชีววิธียังมีข้อถกเถียง ในบทความนี้นำเสนอความเป็นไปได้ในการใช้แมงมุมเป็นตัวห้ำเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืชในระบบนิเวศเกษตรโดยเน้นเพลี้ยอ่อน ผ่านการทบทวนวรรณกรรมก่อนหน้าที่ศึกษาผลของแมงมุมต่อเพลี้ยอ่อน ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของการใช้แมงมุมเป็นตัวห้ำเพื่อควบคุมเพลี้ยอ่อนและแมลงศัตรูพืชอื่นๆ รวมทั้งแนวทางในการเพิ่มจำนวนแมงมุมเพื่อนำมาใช้เป็นศัตรูธรรมชาติในการควบคุมเพลี้ยอ่อนโดยชีววิธี

เนื้อหา

1. บทบาทและความสำคัญของแมงมุมในระบบนิเวศเกษตร

แมงมุม (spiders) จัดอยู่ในอันดับ Araneae และถูกจัดจำแนกแล้วประมาณ 75,000 ชนิดทั่วโลก (Dharmaraj, Gunasekaran, & Rajkumar, 2019) เราสามารถพบแมงมุมได้เกือบทุกระบบนิเวศบนบก นอกจากนี้แมงมุมยังเป็นศัตรูธรรมชาติที่มีความชุกชุมมากที่สุด และมีความหลากหลายชนิดมากที่สุดในระบบนิเวศเกษตร (Hesselberg, Boyd, Styrsky, & Gálvez, 2023) แมงมุมกินอาหารได้หลากหลาย

กลุ่ม โดยมีอาหารหลักคือแมลงในอันดับ Diptera, Hymenoptera และ Coleoptera (Michalko & Pekár, 2016) งานวิจัยจำนวนมากสนใจศึกษาบทบาทของแมงมุมในการควบคุมแมลงศัตรูพืชในระบบนิเวศเกษตร (Diehl et al., 2013; Michalko et al., 2019) Ghafoor and Mohamood (2011) สนับสนุนว่าการใช้แมงมุมในการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธีเป็นหนึ่งในกลยุทธ์ที่สำคัญที่จะช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดแมลง

2. บทบาทของแมงมุมต่อการควบคุมเพลี้ยอ่อนในงานวิจัยก่อนหน้า

บทบาทของแมงมุมต่อการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนในระบบนิเวศเกษตรถูกยืนยันจากงานวิจัยก่อนหน้า การทดสอบทางอิมมูโนวิทยาและอนุจุลชีววิทยาในแมงมุมกลุ่มสร้างใยและแมงมุมกลุ่มล่าเหยื่อที่เก็บจากพื้นที่ศึกษา ให้ผลทดสอบบวกกับดีเอ็นเอเพลี้ยอ่อนในตัวแมงมุม เป็นการยืนยันความสามารถในการเป็นตัวห้ำของแมงมุมต่อเพลี้ยอ่อน (Harwood, Sunderland, & Symondson, 2004; Harwood, Sunderland, & Symondson, 2005) นอกจากนี้งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเพลี้ยอ่อนและแมงมุมในภาคสนามพบว่าจำนวนเพลี้ยอ่อนจะสูงขึ้นเมื่อความชุกชุมของแมงมุมในพื้นที่ลดลง (Schmidt, Thewes, Thies, & Tschamtkke, 2004; Rand & Tschamtkke, 2007) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลของความหนาแน่นของเหยื่อต่ออัตราการกินของแมงมุม 2 วงศ์ย่อยที่มีพฤติกรรมการกินเหยื่อแตกต่างกัน ได้แก่ Linyphiinae และ Erigoninae พบว่าเมื่อจำลองความหนาแน่นของเพลี้ยอ่อนให้สูงขึ้น จะส่งผลให้อัตราการกินของแมงมุมในวงศ์ Linyphiinae เพิ่มขึ้น โดยแมงมุมกลุ่มดังกล่าวมีพฤติกรรมการกินเหยื่อโดยการสร้างใยดักเหยื่อบริเวณที่เหยื่อเคลื่อนที่ผ่าน นอกจากนี้ยังพบว่าแมงมุมเพศเมียกินเพลี้ยอ่อนมากกว่าแมงมุมเพศผู้อีกด้วย (Harwood et al., 2004)

3. ข้อได้เปรียบของการใช้แมงมุมเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืช

งานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของตัวห้ำในการควบคุมประชากรของเหยื่อขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยมีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวห้ำได้แก่ วงชีวิต การใช้แหล่งอาศัยย่อย (microhabitat use) (Marc, Canard, & Ysnel, 1999) ชนิดเหยื่อที่ชอบ (Haddad, Louw, & Dippenaar-Schoeman, 2004) การมีอยู่ของเหยื่อทางเลือก (Lester and Harmsen 2002; Harwood et al., 2004; Madsen et al. 2004) และความสามารถในการเคลื่อนที่ของเหยื่อและตัวห้ำ (Rosenheim and Corbett 2003; Rosenheim et al. 2004) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปัจจัยดังกล่าวพบว่าแมงมุมเป็นตัวห้ำที่มีจุดเด่นหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับตัวห้ำกลุ่มอื่น ดังนี้

1) แมงมุมใช้กลยุทธ์ที่หลากหลายในการล่าเหยื่อ แตกต่างจากตัวห้ำกลุ่มอื่นที่มีกลยุทธ์การล่าเหยื่อเพียงรูปแบบเดียว (Uetz & Smith, 1999; Höfer & Brescovit, 2001) งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่ากลยุทธ์การล่าเหยื่อที่หลากหลายของแมงมุมมีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูพืช (Marc et al., 1999; Hibbert & Buddle, 2008) แมงมุมแต่ละกลุ่มมีกลยุทธ์การล่าเหยื่อที่แตกต่างกันและจำเพาะกับประเภทของเหยื่อ (Michalko & Pekár, 2016) แมงมุมกลุ่มนั่งและรอจับเหยื่อ เช่น แมงมุมในวงศ์ Agelenidae เชี่ยวชาญในการจับเหยื่อที่เคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว แตกต่างจากแมงมุมกลุ่มไล่ตามเหยื่อ เช่น แมงมุมในวงศ์ Lycosidae เชี่ยวชาญในการจับเหยื่อที่อยู่นิ่ง (Kuusk & Ekbohm, 2012; Sweeney, Cusack, Armagost, O'Brien, Keiser, & Pruitt, 2013) นอกจากนี้แมงมุมกลุ่มสร้างใย

เช่น แมงมุมในวงศ์ Linyphiidae จะสร้างใยในตำแหน่งที่ขัดขวางเส้นทางที่เหยื่อมักมีการเคลื่อนที่ผ่าน และสามารถจับเหยื่อได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับแมงมุมกลุ่มอื่นๆ จึงจัดเป็นแมงมุมกลุ่มสำคัญที่มีความสำคัญในการควบคุมปริมาณแมลงศัตรูพืชหลายกลุ่ม รวมทั้งเพลี้ยอ่อน เนื่องจากมักพบเพลี้ยอ่อนระยะตัวเต็มวัยมีปีกจำนวนมากบนใยของแมงมุมกลุ่มสร้างใยดังกล่าว ที่ทำรังขวางเส้นทางการเคลื่อนที่ของเพลี้ยอ่อน เป็นการยืนยันว่าแมงมุมกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อน โดยเฉพาะในช่วงที่เพลี้ยอ่อนมีการเคลื่อนย้ายประชากรไปยังพืชอาหารแหล่งใหม่ (Harwood, Phillips, Sunderland, & Symondson, 2001; Harwood, Sunderland, & Symondson, 2003)

2) แมงมุมเป็นศัตรูธรรมชาติกลุ่มแรกที่มีมักเข้าไปในพื้นที่และเพิ่มจำนวนในพื้นที่การเกษตรใหม่ (Öberg & Ekblom, 2006; Royauté & Buddle, 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าแมงมุมมีบทบาทในการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนที่อยู่ในระดับต่ำในช่วงต้นฤดูปลูก (Birkhofer et al. 2008; De Roince et al. 2013; Schmidt et al., 2004) โดยปกติแล้วการพบแมงมุมในพื้นที่แสดงให้เห็นถึงความชุกชุมของสิ่งมีชีวิตที่มีลำดับชั้นการกิน (trophic level) ต่ำกว่า ในขณะที่แมงมุมยังทำหน้าที่เป็นอาหารที่สำคัญแก่สัตว์ในลำดับชั้นการกินที่สูงขึ้นไปอีกด้วย (Mrzljak & Wiegler, 2000) นอกจากนี้ยังพบว่าแมงมุมที่เข้ามาในพื้นที่การเกษตรมีการเคลื่อนย้ายมาจากพื้นที่โดยรอบ ดังนั้นการคงไว้ซึ่งพื้นที่ที่ยังไม่ถูกรบกวนรอบพื้นที่การเกษตร จึงช่วยส่งเสริมการคงอยู่ของประชากรแมงมุมในพื้นที่การเกษตรตลอดทั้งปี (Miliczky & Horton, 2005; Sackett, Buddle, & Vincent, 2009) และส่งผลดีต่อการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปีเช่นกัน งานวิจัยเพื่อศึกษาผลของการปลูกพืชที่ไม่ใช่พืชอาหาร (non-crop plants) ในไร่พริกต่อชุมชนของแมงมุมในพื้นที่ พบว่าการปลูกพืชที่ไม่ใช่พืชอาหารเพิ่มความชุกชุมของแมงมุมในพื้นที่ เปลี่ยนแปลงสัดส่วนโครงสร้างการหากินของแมงมุม และดึงดูดแมงมุมให้เข้าไปในพื้นที่มากขึ้น (Amaral, Venzon, dos Santos, Sujii, Schmidt, & Harwood, 2016) นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพของแมงมุมในการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนต่อไป เมื่อเปรียบเทียบกับตัวห้ำที่ใช้อย่างแพร่หลายอย่างด้วงเต่า พบว่าด้วงเต่าเข้ามาใช้พื้นที่การเกษตรได้ช้ากว่าแมงมุม โดยจะเข้ามาในพื้นที่เมื่อมีความหนาแน่นของเพลี้ยอ่อนสูงถึงระดับหนึ่งเท่านั้น และการเข้าใช้พื้นที่ของด้วงเต่านี้ไม่สัมพันธ์กับชนิดของพื้นที่โดยรอบพื้นที่เกษตร (Almdal & Costamagna, 2023) ความสามารถในการเข้าใช้พื้นที่อย่างรวดเร็วของแมงมุมทำให้แมงมุมเป็นศัตรูธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้ควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนในช่วงต้นของฤดูการปลูกพืช นอกจากนี้การศึกษาแมงมุมในสวนแอปเปิ้ลพบว่า มีแมงมุมหลายกลุ่มทำหน้าที่ร่วมกันในการควบคุมปริมาณเพลี้ยอ่อน โดย *Philodromus* spp. เป็นแมงมุมที่มีบทบาทมากที่สุดในการควบคุมเพลี้ยอ่อนในช่วงต้นฤดูปลูกซึ่งเป็นช่วงที่ถูกรบกวนจากยารฆ่าแมลงในระดับต่ำ Lefebvre, Franch, Olivares, Ricard, Mandrin, & Lavigne, 2017)

3) แมงมุมมีความยืดหยุ่นในการกินอาหารทำให้สามารถดำรงชีวิตและพบในพื้นที่ได้ต่อเนื่อง แม้ในพื้นที่ประสบภาวะขาดแคลนอาหาร หรือมีอาหารคุณภาพไม่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของแมงมุม โดยปกติแมงมุมแต่ละชนิดมักแสดงความชอบที่จำเพาะต่อประเภทของเหยื่อ (Michalko, Mifková, & Pekár, 2021; Gajski et al., 2023) อย่างไรก็ตามแมงมุมสามารถกินเหยื่อได้หลากหลายกลุ่ม โดยหากเหยื่อที่ชอบเป็นพิเศษไม่ถูกพบหรือมีน้อยในพื้นที่ แมงมุมจะเปลี่ยนมาเลือกกินเหยื่อที่มีคุณค่าทาง

โภชนาการสอดคล้องกับที่ร่างกายต้องการขณะนั้น และมีมากในพื้นที่ขณะนั้น กระบวนการนี้เป็นความสามารถในการปรับสมดุลสารอาหาร (nutrient balancing) ของแมงมุม (Pekár, Mayntz, Ribeiro, & Herberstein, 2010) ทำให้แมงมุมสามารถดำรงอยู่ในพื้นที่อาศัยได้นาน แม้ในบางช่วงเวลาอาจมีจำนวนเหยื่อไม่เพียงพอหรือมีเหยื่อคุณภาพต่ำ

4) แมงมุมจับเหยื่อและฆ่าเหยื่อทันที แม้อาจไม่กินเหยื่อดังกล่าวภายหลัง พบว่าแมงมุมอาจไม่สามารถบ่งบอกคุณภาพของเหยื่อก่อนจับกิน ทำให้โดยส่วนมากเมื่อแมงมุมอยากกินเหยื่อ จะเข้าจับเหยื่อและฆ่าเหยื่อทันที โดยปราศจากการพิจารณาคุณภาพของเหยื่อ ในกรณีที่แมงมุมฆ่าเหยื่อแล้วพบว่าเหยื่อที่คุณภาพต่ำ แมงมุมอาจจะทิ้งเหยื่อดังกล่าวไปโดยไม่กิน หรือหากแมงมุมเริ่มกินเหยื่อที่ฆ่าแล้วพบภายหลังว่าเป็นเหยื่อคุณภาพต่ำ แมงมุมจะใช้เวลาในการกินเหยื่อคุณภาพต่ำดังกล่าวสั้นกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการกินเหยื่อที่มีคุณภาพสูง จากลักษณะที่แมงมุมจำเป็นต้องฆ่าเหยื่อก่อนนี้ ส่งผลต่อการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนทางอ้อม (Riechert & Lockley, 1984; Greenstone, 1999; Wyss, Niggli, & Nentwig, 1995) นอกจากนี้แมงมุมกลุ่มชักใยเพื่อจับเหยื่อ ที่สร้างใยขนาดใหญ่จำนวนมากเพื่อจับเหยื่อ จัดเป็นตัวห้ำที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนและแมลงศัตรูพืชหลายกลุ่ม เนื่องจากไม่ว่าเหยื่อจะถูกดักและตายในใยแมงมุมทั้งสิ้นไม่ว่าเหยื่อจะอยู่ในระยะการเจริญใดก็ตาม (Samu and Biro 1993; Riechert 1999; Sunderland 1999)

4. ข้อจำกัดของการใช้แมงมุมเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืช

งานวิจัยจำนวนมากรายงานประสิทธิภาพของแมงมุมในการลดจำนวนประชากรแมลงศัตรูพืช (Lang, 2003; Schmidt et al., 2004; Lefebvre et al., 2017) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของแมงมุมในระบบนิเวศเกษตรแต่ละพื้นที่อาจแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวห้ำและเหยื่อ (predator-prey interaction) อาหารทางเลือก (alternative prey) และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (environmental conditions) ปัจจัยข้างต้นมักส่งผลต่อนิเวศวิทยาการกิน (trophic ecology) ของแมงมุม อันเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของแมงมุมในการควบคุมแมลงศัตรูพืชในพื้นที่นั้นๆ การใช้แมงมุมเป็นตัวห้ำเพื่อควบคุมเพลี้ยอ่อนรวมทั้งแมลงศัตรูพืชอื่นๆ อาจเผชิญข้อจำกัด ดังนี้ การกินกันเองระหว่างผู้ล่า (intraguild predation) พบว่าแมงมุมสามารถกินตัวห้ำชนิดอื่นๆ กินแมงมุมด้วยกันเอง (cannibalisms) และกินแตงเบียนบางชนิดได้ (Brodeur & Rosenheim, 2000; Snyder & Ives, 2001) โดยปกติประชากรแมงมุมจะเข้าสู่ภาวะสมดุลทั้งจากข้อจำกัดของแหล่งที่อยู่ และจากการกินกันเองของแมงมุม มีรายงานว่า มากกว่า 50,000 ชนิดของแมงมุมทั่วโลกสามารถกินพวกเดียวกันเองได้ ดังนั้นการลดลงของแมงมุมและศัตรูธรรมชาติกลุ่มอื่นๆ ด้วยสาเหตุนี้ อาจส่งผลเสียต่อการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อนซึ่งเป็นแมลงศัตรูพืชที่ออกลูกได้อย่างรวดเร็ว และเพิ่มโอกาสการระบาดในระบบนิเวศเกษตร (Snyder & Wise, 2001; Snyder & Ives, 2001) ประการถัดมาคือการเพิ่มขึ้นของเหยื่อทางเลือก (alternative prey) ในพื้นที่ อาจรบกวนประสิทธิภาพของแมงมุมในการควบคุมปริมาณเพลี้ยอ่อน ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มขึ้นของแมลงหางดีด ทำให้แมงมุมกลุ่ม *Pardosa* กินแมลงหางดีดมากขึ้น และอาจส่งผลให้แมงมุมเลือกกินเพลี้ยอ่อนน้อยลง เป็นต้น (Kuusk and Ekblom, 2010) นอกจากนี้ใน

งานวิจัยบางส่วนแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของศัตรูพืชธรรมชาติชนิดอื่นในการควบคุมแมลงศัตรูพืชอาจถูกรบกวนหรือลดลงจากแมงมุม (Lang, 2003; Schmidt-Entling & Siegenthaler, 2009)

5. แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของแมงมุมตัวห้ำเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืชในระบบนิเวศเกษตร

เพื่อลดข้อจำกัดบางประการของแมงมุมในการควบคุมเพลี้ยอ่อนในระบบนิเวศเกษตร การเพิ่มความหลากหลายและความชุกชุมของแมงมุมในพื้นที่การเกษตรเป็นวิธีการที่นิยมทำการศึกษามากที่สุด ตัวอย่างปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความหลากหลายและความชุกชุมของแมงมุมในพื้นที่ มีดังนี้ (1) การจัดการพื้นที่การเกษตรให้เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของแมงมุม การจัดการพื้นที่การเกษตรทั้งก่อนและหลังปลูกเป็นปัจจัยแรกที่ส่งผลต่อความหลากหลายและความชุกชุมของแมงมุมในพื้นที่ พบว่าแมงมุมได้รับผลกระทบโดยตรงจากการไถพรวนพื้นที่ การงดการไถพรวนดินให้น้อยที่สุดส่งผลต่อสมดุลภายในดิน ทำให้เกิดความหนาแน่นของวัชพืชและเศษหญ้ามากขึ้น ส่งผลต่อความหนาแน่นของโครงสร้างพืชพรรณ ทำให้เหมาะสมกับการเพิ่มจำนวนและอยู่อาศัยของแมงมุม (Holland & Reynolds, 2003; Holland, 2004; Diehl et al. 2013) นอกจากนี้การลดการรบกวนพื้นที่และเพิ่มความซับซ้อนของพืชพรรณช่วยรักษาความหลากหลายของแมงมุมกลุ่มสร้างใยและส่งผลเพิ่มความสามารถในการควบคุมปริมาณเพลี้ยอ่อนของแมงมุม (Tamburini, De Simone, Sigura, Boscutti, & Marini, 2016) (2) การปลูกพืชที่มีปริมาณของน้ำหวานและละอองเรณูของดอกไม้จำนวนมากในพื้นที่การเกษตร น้ำหวานและละอองเรณูจากดอกสามารถเป็นแหล่งอาหารทดแทนให้แก่แมงมุมในช่วงต้นฤดูปลูกที่ยังมีความหนาแน่นของเพลี้ยอ่อนในระดับต่ำ ส่งผลให้เกิดการดึงดูดให้แมงมุมเข้ามาใช้และเพิ่มจำนวนในพื้นที่เกษตรมากขึ้น งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความชุกชุมของแมงมุมสัมพันธ์ต่อการมีอยู่ของพืชดอกที่ปลูกเพิ่มขึ้นในพื้นที่การเกษตร และส่งผลลดจำนวนประชากรเพลี้ยอ่อนบนพืชปลูก (Alioghli, Fathi, Razmjou, & Hassanpour, 2022; Scarlato, Bao, Rossing, Dogliotti, Bertoni, & Bianchi, 2023) (3) การลดหรือหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีทางการเกษตรในพื้นที่ปลูก งานวิจัยในแปลงเกษตรปลอดสารกำจัดศัตรูพืชพบความชุกชุมของแมงมุมสูงกว่าแปลงประเภทอื่น (Lefebvre et al., 2017) ดังนั้นการลดหรือหลีกเลี่ยงการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสารเคมีทางการเกษตรอื่นๆ อาจส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพของแมงมุมในการควบคุมเพลี้ยอ่อน

บทสรุป

ประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยอ่อนของแมงมุมถูกกำหนดจากความสัมพันธ์ระหว่างแมงมุมเหยื่อ อาหารทางเลือก และสภาพแวดล้อมในระบบนิเวศเกษตรนั้น งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ศึกษาประสิทธิภาพของแมงมุมในการเป็นตัวห้ำทั้งจากภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ยืนยันประสิทธิภาพของแมงมุมในการควบคุมประชากรเพลี้ยอ่อน เนื่องจากแมงมุมเป็นตัวห้ำที่มีคุณลักษณะเด่นในการใช้เป็นตัวศัตรูธรรมชาติ ได้แก่ การมีกลยุทธ์ที่หลากหลายในการล่าเหยื่อ การเป็นตัวห้ำที่มักเข้าใช้พื้นที่การเกษตรเป็นกลุ่มแรก ความสามารถในการอยู่ในพื้นที่การเกษตรได้เป็นระยะเวลานานเนื่องจากความยืดหยุ่นของชนิดอาหารที่กิน และการโจมตีเหยื่อโดยไม่คำนึงถึงคุณภาพเหยื่อ อย่างไรก็ตามทิศทางการพัฒนาของแมงมุมในงานวิจัยบางส่วนยังไม่ได้ข้อสรุปแน่ชัด เนื่องจากข้อจำกัดบางประการของแมงมุมที่อาจส่งผล

รบกวนให้ประสิทธิภาพในการเป็นตัวห้ำของแมลงมูมเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น การกินกันเองของผู้ล่า และการเพิ่มขึ้นของเหยื่อทางเลือก เป็นต้น



Figure 1 Lynx spider (Family: Oxyopidae), one of the most abundant spider families in agroecosystems which have been reported to play a role in aphid predation.

References

- Alioghli, N., Fathi, S. A. A., Razmjou, J., & Hassanpour, M. (2022). Does intercropping patterns of potato and safflower affect the density of *Leptinotarsa decemlineata* (Say), predators, and the yield of crops? *Biological Control*, 175, 105051.
- Almdal, C. D., & Costamagna, A. C. (2023). Annual crops contribute more predators than perennial habitats during an aphid outbreak. *Insects*, 14(7), 624.
- Amaral, D. S. S. L., Venzon, M., dos Santos, H. H., Sujii, E. R., Schmidt, J. M., & Harwood, J. D. (2016). Non-crop plant communities conserve spider populations in chili pepper agroecosystems. *Biological Control*, 103, 69-77.
- Benzina, S., Harizia, A., Elouissi, A., Canelo, T., & Bonal, R. (2023). Effects of winter pruning intensity on the interactions between the apple tree and rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130(6), 1239-1250.
- Bianchi, F. J. J. A., & Werf, W. v. d. (2004). Model evaluation of the function of prey in non-crop habitats for biological control by ladybeetles in agricultural landscapes. *Ecological Modelling*, 171(1), 177-193.
- Birkhofer, K., Gavish-Regev, E., Endlweber, K., Lubin, Y. D., Von Berg, K., Wise, D. H., & Scheu, S. (2008). Cursorial spiders retard initial aphid population growth at low densities in winter wheat. *Bulletin of Entomological Research*, 98(3), 249-255.
- Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2000). *Aphids on the world's crops: an identification and information guide*: John Wiley & Sons Ltd.
- Brodeur, J., & Rosenheim, J. A. (2000). Intraguild interactions in aphid parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 97(1), 93-108.
- Chapman, E. G., Schmidt, J. M., Welch, K. D., & Harwood, J. D. (2013). Molecular evidence for dietary Selectivity and pest suppression potential in an epigeal spider community in winter wheat. *Biological Control*, 65(1), 72-86.
- Costamagna, A. C., & Landis, D. A. (2007). Quantifying predation on soybean aphid through direct field observations. *Biological Control*, 42(1), 16-24.
- De Roince, C. B., Lavigne, C., Mandrin, J. F., Rollard, C., & Symondson, W. O. C. (2013). Early-season predation on aphids by winter-active spiders in apple orchards revealed by diagnostic PCR. *Bulletin of entomological research*, 103(2), 148-154.

- Dharmaraj, J., Gunasekaran, C., & Rajkumar, V. (2018). Diversity and plethora of spider fauna at different habitats of the Nilgiris, Tamilnadu south India. *International journal of recent scientific research*, 9(3A), 24634-24637.
- Diehl, E., Sereda, E., Wolters, V., & Birkhofer, K. (2013). Effects of predator specialization, host plant and climate on biological control of aphids by natural enemies: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 262-270.
- Gajski, D., Mifková, T., Košulič, O., Michálek, O., Serbina, L. Š., Michalko, R., & Pekár, S. (2023). Brace yourselves, winter is coming: the winter activity, natural diet, and prey preference of winter-active spiders on pear trees. *Journal of Pest Science*, 1-14.
- Gavish-Regev, E., Rotkopf, R., Lubin, Y., & Coll, M. (2009). Consumption of aphids by spiders and the effect of additional prey: evidence from microcosm experiments. *BioControl*, 54(3), 341-350.
- Ghafoor, A., & Mahmood, A. (2011). Population dynamics of the araneid fauna from district Gujranwala, Pakistan. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(4), 812-816.
- Goggin, F. L. (2007). Plant–aphid interactions: molecular and ecological perspectives. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(4), 399-408.
- Greenstone, M. H. (1999). Spider predation: how and why we study it. *The Journal of Arachnology*, 27(1), 333-342.
- Haddad, C. R., Louw, S. V. M., & Dippenaar-Schoeman, A. S. (2004). Spiders (Araneae) in ground covers of pistachio orchards in South Africa. *African Plant Protection*, 10(2), 97-107.
- Harwood, J. D., Phillips, S. W., Sunderland, K. D., & Symondson, W. O. C. (2001). Secondary predation: quantification of food chain errors in an aphid–spider–carabid system using monoclonal antibodies. *Molecular Ecology*, 10(8), 2049-2057.
- Harwood, J. D., Sunderland, K. D., & Symondson, W. O. C. (2003). Web-location by linyphiid spiders: prey-specific aggregation and foraging strategies. *Journal of Animal Ecology*, 72(5), 745-756.
- Harwood, J. D., Sunderland, K. D., & Symondson, W. O. C. (2004). Prey selection by linyphiid spiders: molecular tracking of the effects of alternative prey on rates of aphid consumption in the field. *Molecular Ecology*, 13(11), 3549-3560.

- Harwood, J. D., Sunderland, K. D., & Symondson, W. O. C. (2005). Monoclonal antibodies reveal the potential of the tetragnathid spider *Pachygnatha degeeri* (Araneae: Tetragnathidae) as an aphid predator. *Bulletin of Entomological Research*, 95(2), 161-167.
- Hassell, M. P. (1978). *The Dynamics of Arthropod Predator-Prey Systems*. Princeton University Press.
- Hesselberg, T., Boyd, K. M., Styrsky, J. D., & Gálvez, D. (2023). Host plant specificity in web-building spiders. *Insects*, 14(3), 229.
- Hibbert, A. C., & Buddle, C. M. (2008). Assessing the dispersal of spiders within agricultural fields and an adjacent mature forest. *The Journal of Arachnology*, 36(1), 195-198, 194.
- Höfer, H., & Brescovit, A. D. (2001). Species and guild structure of a neotropical spider assemblage (Araneae) from Reserva Ducke, Amazonas, Brazil. *Andrias*, 15, 99-119.
- Holland, J. M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(1), 1-25.
- Holland, J. M., & Reynolds, C. J. M. (2003). The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia*, 47(2), 181-191.
- Hull, R. (2013). *Plant virology*. 5th Edition., Academic press.
- Kuusk, A. K., & Ekbom, B. (2010). Lycosid spiders and alternative food: feeding behavior and implications for biological control. *Biological Control*, 55(1), 20-26.
- Kuusk, A. K., & Ekbom, B. (2012). Feeding habits of lycosid spiders in field habitats. *Journal of Pest Science*, 85(2), 253-260.
- Lang, A. (2003). Intraguild interference and biocontrol effects of generalist predators in a winter wheat field. *Oecologia*, 134(1), 144-153.
- Lefebvre, M., Franck, P., Olivares, J., Ricard, J.-M., Mandrin, J.-F., & Lavigne, C. (2017). Spider predation on rosy apple aphid in conventional, organic and insecticide-free orchards and its impact on aphid populations. *Biological Control*, 104, 57-65.
- Lester, P. J., & Harmsen, R. (2002). Functional and numerical responses do not always indicate the most effective predator for biological control: an analysis of two predators in a two-prey system. *Journal of Applied Ecology*, 39(3), 455-468.

- Loxdale, H. D., Hardie, J., Halbert, S., Footitt, R., Kidd, N. A. C., & Carter, C. I. (1993). The relative importance of short-and long-range movement of flying aphids. *Biological Reviews*, 68(2), 291-311.
- Madsen, M., Terkildsen, S., & Toft, S. (2004). Microcosm studies on control of aphids by generalist arthropod predators: effects of alternative prey. *BioControl*, 49, 483-504.
- Marc, P., Canard, A., & Ysnel, F. (1999). Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 229-273.
- Michalko, R., Mifková, T., & Pekár, S. (2021). Seasonal dynamics of prey utilization and individual specialization in a generalist spider in a pear orchard. *Biological Control*, 163, 104763.
- Michalko, R., & Pekár, S. (2016). Different hunting strategies of generalist predators result in functional differences. *Oecologia*, 181, 1187-1197.
- Michalko, R., Pekár, S., & Entling, M. H. (2019). An updated perspective on spiders as generalist predators in biological control. *Oecologia*, 189(1), 21-36.
- Miliczky, E. R., & Horton, D. R. (2005). Densities of beneficial arthropods within pear and apple orchards affected by distance from adjacent native habitat and association of natural enemies with extra-orchard host plants. *Biological Control*, 33(3), 249-259.
- Mishra, A., & Rastogi, N. (2023). Does prey characteristics influence web-building plasticity of the ecologically dominant orb-web weaving spider, *Neoscona theisi* (Walckenaer 1841)? *International Journal of Tropical Insect Science*, 43(1), 257-265.
- Mrzljak, J., & Wiegler, G. (2000). Spider colonization of former brown coal mining areas — time or structure dependent? *Landscape and Urban Planning*, 51(2), 131-146.
- Öberg, S., & Ekblom, B. (2006). Recolonisation and distribution of spiders and carabids in cereal fields after spring sowing. *Annals of Applied Biology*, 149(2), 203-211.
- Overton, K., Ward, S. E., Hoffmann, A. A., & Umina, P. A. (2023). Lethal impacts of insecticides and miticides on three agriculturally important aphid parasitoids. *Biological Control*, 178, 105143.
- Pekár, S., Mayntz, D., Ribeiro, T., & Herberstein, M. E. (2010). Specialist ant-eating spiders selectively feed on different body parts to balance nutrient intake. *Animal Behaviour*, 79(6), 1301-1306.

- Rand, T. A., & Tschamntke, T. (2007). Contrasting effects of natural habitat loss on generalist and specialist aphid natural enemies. *Oikos*, 116(8), 1353-1362.
- Rashedi, A., Rajabpour, A., Rasekh, A., & Zandi-Sohani, N. (2019). Interactions between host plant, *Aphis fabae*, and its natural enemies, *Orius albidipennis* and *Lysiphlebus fabarum* in a tritrophic system. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(3), 847-852.
- Riechert, S. E. (1999). The hows and whys of successful pest suppression by spiders: insights from case studies. *Journal of Arachnology*, 387-396.
- Riechert, S. E., & Lockley, T. (1984). Spiders as biological control agents. *Annual review of entomology*, 29(1), 299-320.
- Rosenheim, J. A., & Corbett, A. (2003). Omnivory and the indeterminacy of predator function: can a knowledge of foraging behavior help?. *Ecology*, 84(10), 2538-2548.
- Rosenheim, J. A., Limburg, D. D., Colfer, R. G., Fournier, V., Hsu, C. L., Leonardo, T. E., & Nelson, E. H. (2004). Herbivore population suppression by an intermediate predator, *Phytoseiulus macropilis*, is insensitive to the presence of an intraguild predator: an advantage of small body size?. *Oecologia*, 140, 577-585.
- Royauté, R., & Buddle, C. M. (2012). Colonization dynamics of agroecosystem spider assemblages after snow-melt in Quebec (Canada). *The Journal of Arachnology*, 40(1), 48-58, 11.
- Sackett, T. E., Buddle, C. M., & Vincent, C. (2009). Dynamics of spider colonization of apple orchards from adjacent deciduous forest. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1), 144-148.
- Samu, F., & Biro, Z. (1993). Functional response, multiple feeding and wasteful killing in a wolf spider (Araneae: Lycosidae). *European Journal of Entomology* 90, 471-476.
- Scarlato, M., Bao, L., Rossing, W. A. H., Dogliotti, S., Bertoni, P., & Bianchi, F. J. J. A. (2023). Flowering plants in open tomato greenhouses enhance pest suppression in conventional systems and reveal resource saturation for natural enemies in organic systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 347, 108389.
- Schmidt-Entling, M. H., & Siegenthaler, E. (2009). Herbivore release through cascading risk effects. *Biology Letters*, 5(6), 773-776.

- Schmidt, M. H., Thewes, U., Thies, C., & Tschamtk, T. (2004). Aphid suppression by natural enemies in mulched cereals. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 113(2), 87-93.
- Schoeny, A., Lauvernay, A., Lambion, J., Mazzia, C., & Capowiez, Y. (2019). The beauties and the bugs: A scenario for designing flower strips adapted to aphid management in melon crops. *Biological Control*, 136, 103986.
- Snyder, W. E., & Ives, A. R. (2001). Generalist predators disrupt biological control by a specialist parasitoid. *Ecology*, 82(3), 705-716.
- Snyder, W. E., & Wise, D. H. (2001). Contrasting trophic cascades generated by a community of generalist predators. *Ecology*, 82(6), 1571-1583.
- Sunderland, K. (1999). Mechanisms underlying the effects of spiders on pest populations. *Journal of Arachnology*, 308-316.
- Sushila, Denodia, N., Teotia, U. V. S., & Kumari, S. (2023). Ecology and Diversity of Aphids: A Review. *Ecology, Environment and Conservation*, 29, 436-443.
- Sweeney, K., Cusack, B., Armagost, F., O'Brien, T., Keiser, C. N., & Pruitt, J. N. (2013). Predator and prey activity levels jointly influence the outcome of long-term foraging bouts. *Behavioral Ecology*, 24(5), 1205-1210.
- Tamburini, G., De Simone, S., Sigura, M., Boscutti, F., & Marini, L. (2016). Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control. *Journal of Applied Ecology*, 53(1), 233-241.
- Uetz, G. W., & Smith, E. I. (1999). Asymmetry in a visual signaling character and sexual selection in a wolf spider. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 45(2), 87-93.
- Wyss, E., Niggli, U., & Nentwig, W. (1995). The impact of spiders on aphid populations in a strip-managed apple orchard. *Journal of Applied Entomology*, 119(1-5), 473-478.
- Wyss, E., Villiger, M., & Müller-Schärer, H. (1999). The potential of three native insect predators to control the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea*. *BioControl*, 44(2), 171-182.
- Zepeda-paulo, F. A., Simon, J.-C., Ramirez, C. C., Fuentest-contreras, E., Margaritopoulos, J. T., Wilson, A. C. C., Sorensen, C. E., Briones, L. M., Azevedo, R., Ohashi, D. V., Lacroix, C., Glais, L., & Figueroa, C. C. (2010). The invasion route for an insect pest species: the tobacco aphid in the New World. *Molecular Ecology*, 19(21), 4738-47.