



การวิเคราะห์พฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้าหลายมิติและการสร้างแบบจำลองภาพ
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกับดักกาวในการควบคุมแมลงหวี่ในฟาร์มนกกระทา

Multistimuli Behavior Analysis and Visual Modeling
to Optimize Sticky Traps for Drosophila Control in Quail Farms

อันดามัน สุรบถ^{1*}, วุฒิกัทร ดิเรกรุ่งเรือง¹

ชื่อที่ปรึกษา: ขุนทอง คล้ายทอง¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชนาวิทยาลัย ปทุมธานี 51 หมู่ 6 ตำบลบ่อเงิน อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140

*อีเมลล์: khunthong.kla@gmail.com

บทคัดย่อ

แมลงหวี่ (*Drosophila melanogaster*) เป็นแมลงศัตรูร้ายกาจและพาหะนำเชื้อที่สำคัญในฟาร์มนกกระทา ส่งผลต่อสุขอนามัยของโรงเรือน สวัสดิภาพสัตว์ และประสิทธิภาพการผลิตไข่ เนื่องจากมูลนกและเศษอาหารเอื้อต่อการหมักและการเกิดสารระเหยที่ดึงดูดแมลงหวี่อย่างต่อเนื่อง ขณะที่การใช้สารเคมีกำจัดแมลงอาจก่อให้เกิดสารตกค้าง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงต่อสัตว์เศรษฐกิจ โครงการนี้จึงมุ่งพัฒนากับดักกาวแบบหลายมิติ โดยอาศัยความเข้าใจเชิงกลไกด้านการรับรู้และพฤติกรรมของแมลงหวี่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความจำเพาะ และความยั่งยืนในการควบคุมแมลง การศึกษาเริ่มจากการประยุกต์แบบจำลองการรับรู้ภาพเชิงสเปกตรัม โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงของวัสดุกับความไวของเซลล์รับแสงในดวงตาแมลงหวี่ เพื่อนำไปออกแบบสี ลวดลาย และความต่างเชิงสีและความสว่างให้สอดคล้องกับกลไกการมองเห็น พร้อมศึกษาผลของรูปร่าง ขนาด และสิ่งเร้าทางกลิ่นจากสารระเหยที่เกี่ยวข้องกับการหมัก เพื่อพัฒนากับดักที่กระตุ้นการตอบสนองหลายประสาทสัมผัสร่วมกัน ประสิทธิภาพของกับดักได้รับการทดสอบทั้งในสภาพควบคุมและภาคสนาม โดยใช้แผนการทดลองแบบสลับตำแหน่งเพื่อลดอคติ ผลการทดลองพบว่า กับดักรูปวงกลม พื้นที่ผิว 200 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเสริมสิ่งเร้าทางกลิ่น สามารถดักจับแมลงได้ 641.67 ± 27.15 ตัวต่อวัน สูงกว่ากับดักทั่วไป 3.74 เท่า และมีสัดส่วน *D. melanogaster* ร้อยละ 44.2 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการชีววิทยาประสาทสัมผัสกับการออกแบบเชิงกายภาพสามารถพัฒนากับดักกาวให้เป็นเครื่องมือควบคุมแมลงแบบแม่นยำ ลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุน และสนับสนุนการจัดการฟาร์มอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: แมลงหวี่, พฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้าหลายมิติ, แบบจำลองภาพ, นกกระทา

บทนำ

แมลงหวี่ (*Drosophila melanogaster*) เป็นสิ่งมีชีวิตต้นแบบที่ถูกใช้ศึกษาโครงสร้างการตัดสินใจของสัตว์จากข้อมูลหลายประสาทสัมผัส โดยเฉพาะการรวมสัญญาณจากการมองเห็นและการรับกลิ่น ซึ่งมีบทบาทโดยตรงต่อพฤติกรรมการบินเข้าใกล้ การลงเกาะ และการเลือกแหล่งอาหารหรือแหล่งวางไข่ งานวิจัยด้านกีฏวิทยาและชีววิทยาพฤติกรรมจำนวนมากชี้ให้เห็นว่า แมลงหวี่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าหลายมิติ (multimodal stimuli) ได้ดีกว่าสิ่งเร้าเดี่ยว อย่างไรก็ตาม ความเข้าใจเชิงกลไกว่าการรวมสิ่งเร้าเหล่านี้ส่งผลต่อการตัดสินใจลงเกาะของแมลงอย่างไรในสภาพแวดล้อมจริง เช่น ในฟาร์มนกกระทา ยังมีข้อจำกัด แม้ฟาร์มส่วนใหญ่จะพยายามควบคุมแมลงหวี่ด้วยสารเคมีหรือกับดักกาวทั่วไป แต่ก็ยังเกิดปัญหาเรื่องสารตกค้างและการออกแบบกับดักที่ไม่ได้อิงกับกลไกการรับรู้ของแมลง

วิธีการดำเนินงาน

1 การศึกษาและจัดเตรียมสภาพแวดล้อม วัสดุอุปกรณ์ และสัตว์ทดลอง การดำเนินงานเริ่มต้นด้วยการจัดเตรียมสภาพแวดล้อมสำหรับการทดลองทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและภาคสนาม โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการตัดแผ่นอะคริลิกเพื่อประกอบเป็นกล่องทดลอง (Experimental arena) สำหรับการสังเกตพฤติกรรม ควบคู่ไปกับการเตรียมขวดโหลสำหรับเพาะเลี้ยงแมลงหวี่สายพันธุ์ *Drosophila melanogaster* ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ นอกจากนี้ยังได้เตรียมอุปกรณ์สำคัญสำหรับการถ่ายภาพและวิเคราะห์แสง โดยนำกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมาดัดแปลงแยกชิ้นส่วนเพื่อถอดฟิลเตอร์กรองรังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรด (UV-IR Cut filter) ออก แล้วทำการติดตั้งฟิลเตอร์เฉพาะทางสำหรับบันทึกภาพในสเปกตรัมที่แมลงสามารถมองเห็นได้ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเก็บข้อมูลการสะท้อนแสงตลอดการทดลอง

2. การศึกษาและวิเคราะห์การมองเห็นของแมลงหวี่ด้วยแบบจำลองภาพ (Visual Modeling) ผู้วิจัยนำหลักการแบบจำลองภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์การรับรู้ภาพของแมลงหวี่ โดยเริ่มจากการวัดค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) จากแผ่นตัวอย่างจำนวน 90 สี เพื่อนำข้อมูลสเปกตรัมแสงมาคำนวณในสมการแบบลอการิทึมเพื่อจำลองกระบวนการแปลงสัญญาณของเซลล์รับแสงในตาของแมลงหวี่ จากนั้นจึงทำการประเมินผลโดยใช้แบบจำลองทางสายตาทั้ง Receptor Noise-Limited (RNL) model และ Hexagon model ซึ่งทำให้สามารถคำนวณค่าดัชนีที่

สำคัญต่างๆ เช่น ค่าความแตกต่างของความสว่าง และค่าดัชนีสีตรงข้าม ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกทั้งหมดนี้ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถคัดเลือกสีเป้าหมายที่มีประสิทธิภาพและมีแนวโน้มในการดึงดูดแมลงหวี่ได้ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้เป็นสีหลักในการออกแบบและพัฒนาสร้างกับดักต่อไป

3. การศึกษาและออกแบบลักษณะทางกายภาพรวมถึงสิ่งเร้าของกับดัก การสร้างกับดักที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอาศัยการคัดเลือกคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีอย่างละเอียด โดยผู้วิจัยได้นำสีที่ผ่านการคัดเลือกจากแบบจำลองภาพมาสร้างเป็นกับดักเพื่อเปรียบเทียบกับสีเขียวปกติ พร้อมทั้งออกแบบลวดลายบนผิวกับดักในรูปแบบต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการดึงดูด นอกจากนี้ยังได้ทดสอบหาความแตกต่างระหว่างรูปร่างทางเรขาคณิตและขนาดของพื้นที่ผิวที่เหมาะสมที่สุด ควบคู่ไปกับการคัดเลือกสิ่งเร้าทางกลิ่นโดยใช้สารระเหยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหาค้นหาอาหาร และการวางไข่ของแมลงหวี่ เช่น น้ำส้มสายชูในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เพื่อหารูปแบบและคุณสมบัติของกับดักที่สามารถกระตุ้นพฤติกรรมความสนใจของแมลงเป้าหมายได้อย่างแม่นยำที่สุด

4. การศึกษาประสิทธิภาพของกับดักมัลติโมดัลในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale Testing) ผู้วิจัยได้ทำการบูรณาการสิ่งเร้าที่คัดเลือกไว้เข้าด้วยกันเพื่อสร้างกับดักแบบมัลติโมดัล (Multimodal Trap) ที่ผสมผสานทั้งคุณสมบัติทางสายตาและระบบการปลดปล่อยกลิ่นเข้าไว้ในชุดเดียวกัน จากนั้นนำไปทดสอบพฤติกรรมของแมลงหวี่ด้วยวิธีการทดสอบแบบมีทางเลือก (Choice-test) โดยกระบวนการนี้จะมุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของแมลงในการเลือกเข้าหากับดักระหว่างกับดักแบบโมโนโมดัลที่มีสิ่งเร้าเพียงอย่างเดียวและกับดักแบบมัลติโมดัลที่มีหลายสิ่งเร้า ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสังเกตและบันทึกพฤติกรรมการบินเข้าใกล้ รวมถึงพฤติกรรมการลงเกาะของแมลงอย่างละเอียดเพื่อประเมินความสามารถในการดึงดูดก่อนนำไปใช้งานจริง

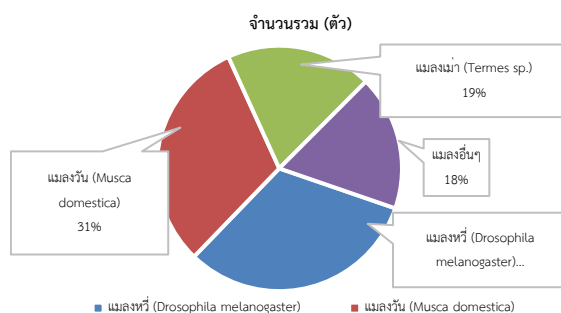
5. การศึกษาประสิทธิภาพและผลกระทบของการใช้กับดักในสภาพแวดล้อมภาคสนาม การทดสอบในภาคสนามดำเนินการ ณ โรงเรือนนกกระทาโดยใช้แผนการทดลองแบบสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Switch-over design) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งครอบคลุมการทดสอบเพื่อหาระดับความสูงในการติดตั้งตั้งแต่ 30 ถึง 180 เซนติเมตร และการจัดวางความหนาแน่นของกับดักที่เหมาะสมที่สุดภายในพื้นที่โรงเรือน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ให้ความสำคัญกับการตรวจสอบผลกระทบต่อสัตว์เลี้ยงโดยทำการวัดปริมาณฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอโรนเพื่อประเมินระดับความเครียดของนกกระทาจากการใช้กับดักกลิ่นน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่องตลอด

ระยะเวลา 7 วัน พร้อมทั้งทำการบันทึกปริมาณแมลงที่ดักจับได้เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและประเมินสัดส่วนความจำเพาะเจาะจงในการดักจับแมลงหัวเป้าหมาย

ผลและอภิปรายผล

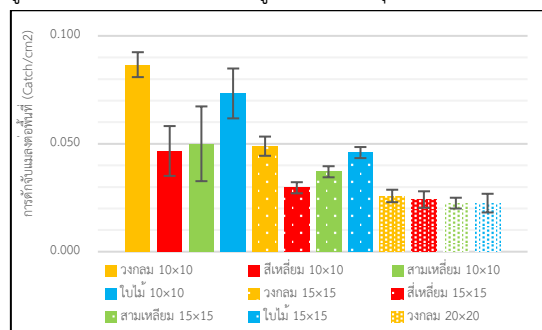
ผลการดำเนินงาน

1. ผลการสำรวจชนิดและสัดส่วนของแมลงในฟาร์มนกกระทา จากการสำรวจและเก็บข้อมูลชนิดของแมลงในฟาร์มนกกระทาเป็นเวลา 7 วัน พบว่ากับดักที่พัฒนาขึ้นมีความจำเพาะต่อแมลงหัว (*Drosophila melanogaster*) โดยพบสัดส่วนของแมลงหัวคิดเป็นร้อยละ 44.2 ของจำนวนแมลงที่ดักจับได้ทั้งหมด

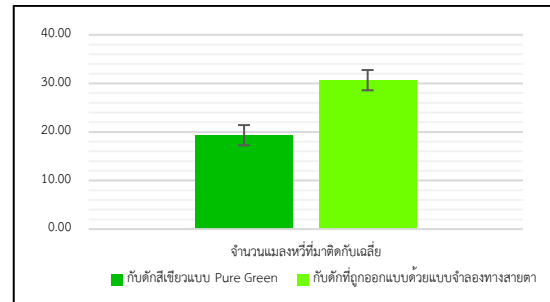


รูปที่ 1 แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนชนิดของแมลงที่พบในฟาร์มนกกระทาจากการสำรวจ 7 วัน

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสิ่งเร้าทางภาพต่อการดึงดูดแมลงหัว จากการทดสอบลักษณะทางภาพพบว่า แมลงหัวมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่สามารถกระตุ้น photoreceptor ในเส้นทางที่แมลงหัวมีความไวสูง โดยเฉพาะในช่วงเส้นทาง Rh6 และ Rh4 (กลุ่มสีเขียวและสีเหลือง) การใช้กับดักที่ออกแบบจากแบบจำลองการรับรู้ภาพ (Visual Modeling) ให้ประสิทธิภาพในการดักจับที่สูงกว่าการใช้สีที่เลือกตามการรับรู้ของมนุษย์ และพบว่ากับดักแบบรูปทรงวงกลมที่มีพื้นที่ผิว 200 ตารางเซนติเมตร เป็นขนาดและรูปร่างที่มีประสิทธิภาพการดึงดูดเหมาะสมที่สุด

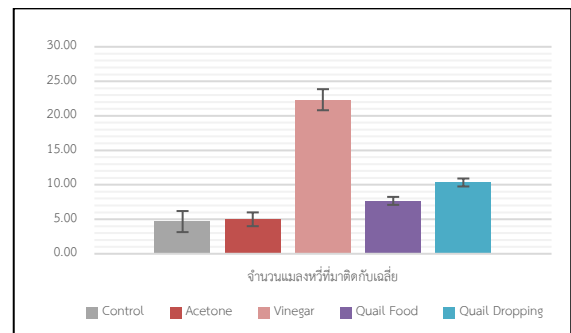


รูปที่ 2 กราฟแสดงจำนวนแมลงหัวเฉลี่ยที่มอดักกับดักในแต่ละสีและรูปร่างที่แตกต่างกัน



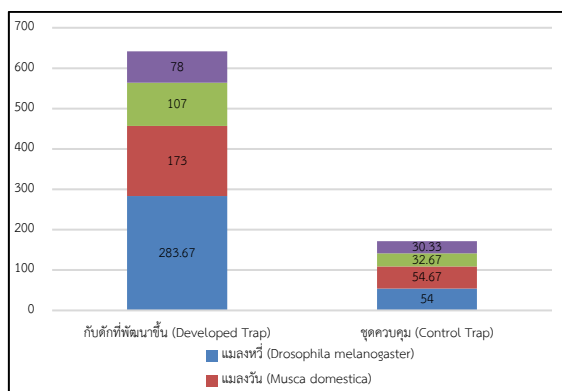
รูปที่ 3 กราฟแสดงจำนวนแมลงหัวเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างกับดักสีเขียวแบบ Pure Green และกับดักที่ออกแบบด้วยแบบจำลองทางสายตา

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสิ่งเร้าทางกลิ่นต่อการดึงดูดแมลงหัว การทดสอบเปรียบเทียบการใช้สารกำเนิดกลิ่นที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 0% ถึง 5% พบว่าความเข้มข้นของสารกำเนิดกลิ่นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับประสิทธิภาพในการดึงดูดแมลงหัว โดยสิ่งเร้าทางกลิ่นจะทำหน้าที่สำคัญในการนำทางแมลงในระยะไกล (Long-range) เพื่อให้เข้ามามีความจำเพาะกับกับดัก ก่อนที่แมลงจะเปลี่ยนมาใช้สายตาในการระบุตำแหน่งการลงเกาะในระยะใกล้



รูปที่ 4 กราฟแสดงจำนวนแมลงหัวเฉลี่ยที่มอดักกับดักในสารกำเนิดกลิ่นแต่ละชนิดและระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

4. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกับดักกวางแบบหลายมิติ (Multimodal Trap) ในภาคสนาม เมื่อนำกับดักที่บูรณาการทั้งสิ่งเร้าทางภาพและทางกลิ่นไปทดสอบการใช้งานจริงในฟาร์มนกกระทา พบว่ากับดักกวางที่ออกแบบจากแบบจำลองภาพและเสริมด้วยสิ่งเร้าทางกลิ่นสามารถดักจับแมลงหัวได้เฉลี่ย 641.67 ± 27.15 ตัวต่อวัน ซึ่งให้ผลลัพธ์สูงกว่ากับดักกวางทั่วไปที่ดักจับได้เพียงเฉลี่ย 171.67 ± 12.42 ตัวต่อวัน หรือคิดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพสูงถึง 3.74 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 5 กราฟแสดงจำนวนแมลงหวี่ที่ติดกับดักเฉลี่ยเปรียบเทียบกับระหว่างกับดักทั่วไป (Unimodal) และกับดักแบบหลายมิติ (Multimodal) ที่พัฒนาขึ้น

สรุปผล

จากการศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้าหลายมิติ และการสร้างแบบจำลองภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกับดักกาวในการควบคุมแมลงหวี่ในฟาร์มนกกระทา พบว่ารูปแบบกับดักที่เหมาะสมที่สุดคือกับดักกาวรูปทรงวงกลมขนาดพื้นที่ผิว 200 ตารางเซนติเมตร ที่ออกแบบสีและลวดลายด้วยแบบจำลองการรับรู้ภาพเชิงสเปกตรัม (Visual Modeling) ให้สอดคล้องกับความไวของเซลล์รับแสงของแมลงหวี่ ควบคู่กับการเสริมสิ่งเร้าทางกลิ่นที่เป็นสารระเหยจากกระบวนการหมัก ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบภาคสนาม พบว่ากับดักนี้มีความจำเพาะต่อแมลงหวี่ (*Drosophila melanogaster*) โดยดักจับได้สูงถึงร้อยละ 44.2 ของแมลงทั้งหมด และมีประสิทธิภาพการดักจับเฉลี่ย 641.67 ± 27.15 ตัวต่อวัน ซึ่งสูงกว่ากับดักกาวทั่วไปถึง 3.74 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้จึงแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการความรู้ด้านชีววิทยา ประสาทสัมผัสเข้ากับการออกแบบกับดัก สามารถเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมแมลงเป้าหมาย ช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีกำจัดแมลง และเป็นแนวทางการจัดการศัตรูสัตว์เลี้ยงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารัตนราชวิทยาลัยปทุมธานีสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ นายปิยะวัฒน์ สุขบางนพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และนครินทร์นกรกระหาฟาร์ม และโครงการ YSC ที่จัดโดย สวทช. สำหรับคำปรึกษา ทุนสนับสนุน เชื้อแมลงหวี่ อุปกรณ์ และพื้นที่ทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Becher, P. G., Flick, G., Rozpędowska, E., et al. (2012). Yeast, not fruit volatiles mediate *Drosophila melanogaster* attraction, oviposition and development. *Functional Ecology*, 26(4), 822-828. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2012.02006.x>
- Cockrem, J., Satterlee, D., Candy, E., & Castille, S. (2012). Fecal corticosterone metabolites and plasma corticosterone in Japanese quail selected for low or high plasma corticosterone responses to brief restraint. *Domestic Animal Endocrinology*, 42(4), 249-255. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2012.01.002>
- Dearden, A. E., Wood, M. J., Frend, H. O., Butt, T. M., & Allen, W. L. (2023). Visual modelling can optimise the appearance and capture efficiency of sticky traps used to manage insect pests. *Journal of Pest Science*, 97, 469. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01604-w>
- Frye, M. A., Tarsitano, M., & Dickinson, M. H. (2003). Odor localization requires visual feedback during free flight in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Experimental Biology*, 206, 843-855.
- Gilbert, C., & Kuenen, L. P. S. (2008). Multimodal integration: visual cues help odor-seeking fruit flies. *Current Biology*, 18(7), R295-R297.
- Heuskin, S., Verheggen, F. J., Haubruge, E., Wathelet, J. P., & Lognay, G. (2011). The use of semiochemical slow-release devices in integrated pest management strategies. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 15(3), 459-470.
- Holt, P. S., Geden, C. J., Moore, R. W., & Gast, R. K. (2007). Isolation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis from houseflies found in rooms containing challenged hens. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(19), 6030-6035. <https://doi.org/10.1128/AEM.00803-07>
- Partan, S., & Marler, P. (2005). Issues in the classification of multimodal communication signals. *The American Naturalist*, 166(2), 231-245. <https://doi.org/10.1086/431246>
- Pellegrini, S., Busso, J., Lèche, A., & Marin, R. (2015). Effects of diet, time since defecation, and drying process on corticosterone metabolite measurements in Japanese quail. *Poultry Science*, 94(5), 1068-1074. <https://doi.org/10.3382/ps/pev072>
- Santer, R. D., & Allen, W. L. (2023). Optimising the colour of traps requires an insect's eye view. *Pest Management Science*, 80(3), 931-934. <https://doi.org/10.1002/ps.7790>
- Stewart, F. J., Baker, D. A., & Webb, B. (2010). A model of visual-olfactory integration for odour localisation in free-flying fruit flies. *Journal of Experimental Biology*, 213(11), 1886-1900. <https://doi.org/10.1242/jeb.026526>



Troschianko, J., & Stevens, M. (2015). Image calibration and analysis toolbox - a free software suite for objectively measuring reflectance, colour and pattern. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(11), 1320-1331. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.12439>

Van Breugel, F., & Dickinson, M. H. (2014). Plume-tracking behavior of flying *Drosophila* emerges from a set of distinct sensory-motor reflexes. *Current Biology*, 24(3), 274-286. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.12.023>

Vorobyev, M., & Osorio, D. (1998). Receptor noise as a determinant of colour thresholds. *Proceedings of the Royal Society B*, 265(1394), 351-358. <https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0302>

จำนวนหน้าต้องไม่เกิน 6 หน้ากระดาษ