



การตอบสนองของผีเสื้อแพนซีบางชนิด (Lepidoptera: Nymphalidae: *Junonia*) ต่อสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้น

The Responses of Some Pansy Butterfly Species (Lepidoptera: Nymphalidae: *Junonia*) on Warmer Temperature

กรองกาญจน์ บัญชรมาศพรหม¹ และ สราวุธ คลอวุฒิมันตร์^{1*}

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

*Corresponding Author; E-mail: faassvk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ภาวะโลกร้อนทำให้สภาพอากาศในประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งมีอิทธิพลต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ โดยเฉพาะสัตว์เลือดเย็น ซึ่งส่งผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพที่ลดลง และการทำงานที่ผิดปกติในระบบนิเวศ งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการตอบสนองต่อสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นของผีเสื้อแพนซี 3 ชนิด ได้แก่ ผีเสื้อแพนซีมยุรา (*Junonia almana*), ผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ (*J. iphita*) และผีเสื้อแพนซีสีตาล (*J. lemonias*) การทดลองทำโดยเลี้ยงผีเสื้อที่อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 °C เพื่อเปรียบเทียบอัตราการอยู่รอด ระยะเวลาในการเจริญ น้ำหนัก และขนาดของผีเสื้อ อัตราการอยู่รอดของผีเสื้อแพนซีทั้งสามชนิดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และที่อุณหภูมิ 40 °C ผีเสื้อทุกชนิดไม่สามารถอยู่รอดได้ ระยะเวลาในการเจริญของผีเสื้อทุกชนิดที่แต่ละอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Tukey's HSD test, $p < 0.0001$) และใช้เวลาให้น้อยที่สุดที่ 30 °C ที่อุณหภูมิจาก 25 ถึง 30 °C รูปแบบการตอบสนองของผีเสื้อทั้ง 3 ชนิดไม่ต่างกัน ยกเว้นน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นของผีเสื้อแพนซีสีตาล ผีเสื้อแพนซีตาลไหม้มีขอบเขตความทนทานต่ออุณหภูมิได้ต่ำที่สุดคือ 30 °C ดังนั้นความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ภายใต้ภาวะโลกร้อนของผีเสื้อแพนซีตาลไหม้จึงสูงกว่าผีเสื้อชนิดอื่นที่ศึกษา การตอบสนองต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ต่างกันของผีเสื้อชนิดต่าง ๆ ในสกุลเดียวกันแสดงให้เห็นว่ามีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องศึกษาข้อมูลเหล่านี้ในผีเสื้อ และสัตว์กลุ่มอื่น ๆ เพื่อให้มีข้อมูลเพียงพอต่อการวางแผนบริหารจัดการและอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพภายใต้ภาวะโลกร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

Global warming is caused of warmer climate in Thailand which may affect to the survivorship of living organisms, particularly cold-blooded animals. Global warming effects may cause of biodiversity loss and ecosystem malfunction. This study was focused on the responses of some pansy butterfly species under warmer temperature *i.e.* *Junonia almana*, *J. iphita* and *J. lemonias*. In experiments, the butterflies were reared at temperature 25, 30, 35 and 40 °C according to compare survivorship, development time, weight and size of butterflies. Survivorship of three butterfly species was decreased with warmer temperature and no butterfly survived at 40 °C. The development time of all butterfly species at all temperature were different significantly (Tukey's HSD test, $p < 0.0001$) and the shortest development time were at 30 °C condition. At temperature from 25 to 30 °C, response pattern of three butterfly species were not difference except *J. lemonias* which had increased in dry weight. *J. iphita* had lowest tolerance to temperature which was 30 °C. Thus, the extinction risk under warmer climate of *J. iphita* may higher than other species. The idiosyncratic responses to warmer temperature in congeneric species indicated that this is emergency topic to study this information of the butterflies and other animals, which increase sufficient information for management and conservation of biodiversity under warmer climate effectively.

คำสำคัญ: ผีเสื้อแพนซี ภาวะโลกร้อน อัตราการอยู่รอด ระยะเวลาการเจริญ

Keywords: *Junonia*, Global warming, Survivorship, Development time

บทนำ

ภาวะโลกร้อนสร้างผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ จากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงขึ้นในปัจจุบัน สิ่งมีชีวิต อาจตอบสนองต่อสภาวะที่เปลี่ยนไปในหลายรูปแบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงขอบเขตการแพร่กระจาย การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนเพศในประชากร อัตราการอยู่รอดลดลง และการสูญพันธุ์ (McCarty, 2001) ผลกระทบดังกล่าวล้วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหลากหลายทางชีวภาพ และเกิดความเสียหายกับระบบนิเวศทั้งด้านโครงสร้างและการทำงาน (Hooper et al., 2005)

การทำนายผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ โดยเฉพาะสัตว์เลือดเย็นในเขตร้อนจะได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวมาก (Dillon et al., 2010) เนื่องจากเมแทบอลิซึมมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอย่างใกล้ชิด สัตว์ในเขตร้อนจะได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นแม้เพียงเล็กน้อยเนื่องจากสัตว์ในเขตร้อนมักอยู่ในภาวะที่ใกล้เคียงกับภาวะที่เหมาะสมที่สุดอยู่แล้ว (Deutsch et al., 2008) การตอบสนองของผีเสื้ออาจเกิดได้ทั้งการเปลี่ยนแปลงขอบเขตการกระจาย การลดขนาดประชากร หรือแม้แต่สูญพันธุ์ (Franco et al., 2006;

Thomas et al., 2006; Poyry et al., 2009; Thomas, 2010)

ผีเสื้อจัดเป็นตัวชี้วัดความหลากหลายทางชีวภาพที่ดี เนื่องจากมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ การใช้พื้นที่ และมลพิษ (Brereton et al., 2011) สามารถสังเกตได้ง่ายในภาคสนาม ทั้งยังสัมพันธ์กับความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตบางกลุ่ม (Feest et al., 2011)

การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตในเขตร้อนเกิดขึ้นค่อนข้างสูงและเร็ว (Dillon et al., 2010) แต่การศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผีเสื้อและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในเขตร้อนยังคงมีน้อยแตกต่างจากการศึกษาในเขตอบอุ่น และเขตหนาวซึ่งมีรายงานการวิจัยเป็นจำนวนมาก การประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศไทยจึงยังคงต้องการข้อมูลเกี่ยวกับการตอบสนองต่ออุณหภูมิของสิ่งมีชีวิตในเขตร้อนเพิ่มเติม โดยเฉพาะในปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มของอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2557 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งประเทศตลอดปีสูงกว่าค่าปกติ (ค่าเฉลี่ยในคาบปี 2524-2553 ประมาณ 27 °C) ถึง 0.4 °C และสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในปี 2556 ถึง 0.1 °C (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุทยานวิทยา, 2558)

ผีเสื้อแพนซีสกุล *Junonia* เป็นผีเสื้อที่พบได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทย (จารุจินต์ และเกรียงไกร, 2544) ส่วนใหญ่เป็นผีเสื้อที่พบได้ง่าย (common species) ยกเว้นผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ และแพนซีฟ้าที่พบได้ไม่บ่อย (uncommon species) (Ek-Amnuay, 2012) จากการศึกษาของ Klorvuttimontara (2010) ผีเสื้อแต่ละชนิดในสกุลนี้ถูกทำนายว่าตอบสนองต่อภูมิอากาศในทิศทางที่แตกต่างกันโดยอาจเพิ่มขอบเขตการกระจายได้ถึงร้อยละ 17 ของพื้นที่ปัจจุบัน และ

อาจลดลงถึงร้อยละ 52 จากผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นจากปี 2000 ถึง 3.7 °C ในช่วงปลายศตวรรษ ผีเสื้อในสกุลนี้จึงถูกเลือกเป็นจุดเริ่มต้นการศึกษาผลภาวะโลกร้อนต่อผีเสื้อของประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นต่ออัตราการอยู่รอด และอัตราการเจริญของผีเสื้อบางชนิดในสกุลแพนซี

วิธีการวิจัย

การเลี้ยงผีเสื้อ

การศึกษาผีเสื้อเลือกใช้ผีเสื้อแพนซี 3 ชนิด ได้แก่ ผีเสื้อแพนซีมยุรา (*J. almana*), ผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ (*J. iphita*) และ แพนซีสีตาล (*J. lemonias*) ทำการจับผีเสื้อพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์มาเลี้ยงในกรงขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และ สูง 2 เมตร ภายในเรือนเพาะชำของภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผีเสื้อแต่ละชนิดเลี้ยงแยกกรง ภายในกรงมีพืชให้น้ำหวานสำหรับผีเสื้อตัวเต็มวัย และต้นต้อยติ่งเพื่อให้แม่ผีเสื้อวางไข่

ทำการตรวจและเก็บไข่ผีเสื้อทุกวัน นำไข่ที่เก็บได้มาฟักในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ไข่จะถูกนำไปใส่กล่องพลาสติกที่รองพื้นกล่องด้วยวัสดุรองพื้นที่ขึ้น และปิดฝากล่อง

เมื่อไข่ฟักเป็นตัวหนอน คัดหนอนผีเสื้อ 30 ตัวสำหรับการศึกษา 1 ช่วงอุณหภูมิ และเลี้ยงแยกในกล่องพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 9.4 ซม. สูง 8.4 ซม.) กล่องละ 1 ตัว หนอนผีเสื้อจะถูกเลี้ยงที่ 30 °C ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) และที่อุณหภูมิอื่น ๆ ที่ต่ำกว่า

และสูงกว่าเป็นช่วงอุณหภูมิ 5 °C ได้แก่ที่ 25, 35 และ 40 °C ทำการเลี้ยงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

การเลี้ยงจะให้ใบต้อยตั้งอย่างเกินพอ ตลอดเวลาเพื่อป้องกันความผิดปกติจากภาวะขาดอาหารและทำให้หนอนผีเสื้อเข้าดักแด่ก่อนเวลา บันทึกข้อมูลการเจริญของหนอนผีเสื้อทุกวันจนผีเสื้อพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย

ข้อมูลที่บ้านทิกได้แก่ ขนาดและน้ำหนักของผีเสื้อตัวเต็มวัย ขนาดของผีเสื้อที่พิจารณา ได้แก่ ความยาวลำตัว (ความยาวสุดของช่วงอกและท้อง) ความกว้างอก (ความกว้างสุดของช่วงอก) ความกว้างท้อง (ความกว้างสุดของช่วงท้อง) ลักษณะทั้งสามถูกเลือกเนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่แสดงบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิต โดยเฉพาะช่วงอกที่มีบทบาทต่อการบิน และช่วงท้องที่สะสมไขมันเพื่อการบิน และการสร้างไข่ ส่วนน้ำหนักของผีเสื้อเลือกใช้น้ำหนักแห้งเนื่องจากสามารถแสดงมวลชีวภาพของผีเสื้อได้ชัดเจนกว่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของผีเสื้อทำการชั่งน้ำหนักของผีเสื้อด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.01 มิลลิกรัม (Precisa รุ่น 40SM-200A) ภายหลังการอบด้วยเตาอบลมร้อนที่ 60 °C เป็นเวลา 4 วัน และเก็บในภาชนะทำแห้ง (desiccator) จนตัวอย่างเย็น

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อลักษณะต่าง ๆ ของผีเสื้อทำโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ หากลักษณะของผีเสื้อแต่ละช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจะเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อผีเสื้อแต่ละชนิดระหว่างแต่ละอุณหภูมิโดยใช้ Tukey's HSD test และใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายแนวโน้มของการตอบสนอง

ของผีเสื้อต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น การวิเคราะห์ทำโดยใช้โปรแกรม R 3.1.0

ผลการวิจัย

อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่ออัตราการอยู่รอดระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญ และลักษณะต่าง ๆ ของผีเสื้อแพนซีทั้งสามชนิด ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นอุณหภูมิที่ผีเสื้อทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการอยู่รอดจนเป็นตัวเต็มวัยได้สูงที่สุด เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30 °C ผีเสื้อจะมีอัตราการอยู่รอดลดลง โดยเฉพาะหนอนของผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ ตายหมดที่อุณหภูมิ 35 °C และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 40 °C ไม่มีหนอนผีเสื้อชนิดใดที่มีชีวิตอยู่ถึงวัย 3 (ตารางที่ 1, รูปที่ 1)

ตารางที่ 1 อัตราการอยู่รอดของผีเสื้อแพนซี (ร้อยละ) จนเป็นตัวเต็มวัยภายใต้ อุณหภูมิต่าง ๆ

ชนิดผีเสื้อ	อุณหภูมิ (°C)			
	25	30	35	40
แพนซีมยุรา	66.67	73.33	16.67	0.00
แพนซีตาลไหม้	53.33	66.67	0.00	0.00
แพนซีสีตาล	73.33	90.00	40.00	0.00

ผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาในการเจริญ

หนอนผีเสื้อที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกันใช้ระยะเวลาในการเจริญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทุกชนิด โดยค่าระดับนัยสำคัญสำหรับผีเสื้อแพนซีมยุรา และแพนซีสีตาลโดย One way ANOVA เท่ากับ $<2 \times 10^{-16}$, และ $<2 \times 10^{-16}$ ตามลำดับ ส่วนผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ (ที่ 25 และ 30°C) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (t-test, $p = 1.75 \times 10^{-9}$) และเมื่อเปรียบเทียบแต่ละคู่ช่วงอุณหภูมิด้วย Tukey's HSD

test พบว่าแต่ละช่วงอุณหภูมิหนอนผีเสื้อใช้ระยะเวลาในการเจริญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทุกชนิด ($p < 0.05$) โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ในการเจริญของหนอนผีเสื้อมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 2) จนถึงที่อุณหภูมิ 30 °C หนอนผีเสื้อใช้ระยะเวลาในการเจริญน้อยที่สุด ที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 °C จะส่งผลให้หนอนผีเสื้อใช้เวลานานขึ้น (ตารางที่ 3)

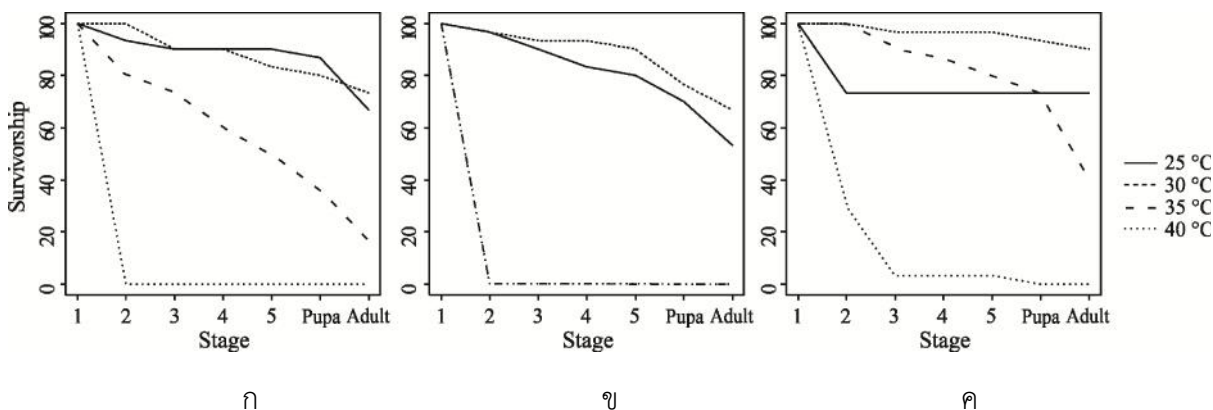
ผลของอุณหภูมิต่อน้ำหนัก

น้ำหนักแห้งของผีเสื้อแพนซีทั้งสามชนิดที่เติบโตภายใต้อุณหภูมิต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งผีเสื้อแพนซีมยุรา และ แพนซีสีตาล (One way ANOVA) โดยค่าระดับนัยสำคัญสำหรับผีเสื้อแพนซีมยุรา และ แพนซีสีตาลเท่ากับ 0.0298 และ 0.00208 ตามลำดับ ส่วนผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ (ที่ 25 และ 30 °C) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Tukey's HSD test, $p = 0.00149$) และเมื่อเปรียบเทียบแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วย Tukey's HSD test พบว่าน้ำหนักแห้งของผีเสื้อส่วนใหญ่มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Tukey's HSD test, $p < 0.05$) มีเพียงแพนซีมยุรา (25 และ 30 °C) และ แพนซีสีตาล (25 และ 35 °C) ที่น้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งจากอิทธิพลของอุณหภูมิต่อผีเสื้อแพนซีมยุรา และผีเสื้อแพนซีสีตาลไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผีเสื้อแพนซีตาลไหม้มีน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4)

ผลของอุณหภูมิต่อลักษณะทางกายภาพ

ความยาวลำตัวของผีเสื้อที่เจริญเติบโตภายใต้ อุณหภูมิต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในผีเสื้อแพนซีมยุรา และผีเสื้อแพนซีสีตาล (One way ANOVA, $p > 0.05$) (ตารางที่ 5) และอุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่มีความสัมพันธ์กับความยาวลำตัว (Tukey's HSD test, $p > 0.05$) ส่วนผีเสื้อแพนซีตาลไหม้อุณหภูมิ 30 °C ทำให้ความยาวลำตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 25 °C (Tukey's HSD test, $p = 0.0001704$, ตารางที่ 5)



รูปที่ 1 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการอยู่รอดของผีเสื้อแพนซีมยุรา (ก) แพนซีตาลไหม้ (ข) และ แพนซีสีตาล (ค)

ตารางที่ 2 ระยะเวลาเฉลี่ย (Mean \pm SD) ในการเจริญจนสมบูรณ์ของผีเสื้อแพนซีชนิดต่าง ๆ ต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น (ค่าในตารางแสดงหน่วยเป็นวัน) ระดับความเชื่อมั่นแสดงด้วยเครื่องหมาย * * คือ 0.05 ** คือ 0.01 *** คือ 0.001

ชนิดผีเสื้อ	อุณหภูมิ (°C)			สมการถดถอย
	25	30	35	
แพนซีมยุรา	27.3 \pm 2.00	19.4 \pm 1.53	21.6 \pm 1.67	$y = 48.9253 - 0.9135X$ ($p = 5.75 \times 10^{-9***}$)
แพนซีตาลไหม้	33.4 \pm 2.00	22.6 \pm 1.81	N/A	$y = 73.5000 - 1.6050X$ ($p = 1.747 \times 10^{-9***}$)
แพนซีสีตาล	26.8 \pm 1.60	18.1 \pm 1.19	20.2 \pm 2.29	$y = 45.1935 - 0.8072X$ ($p = 5 \times 10^{-10***}$)

ตารางที่ 3 ค่านัยสำคัญจากการเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างอุณหภูมิโดยวิธี Tukey's HSD test ค่าระดับความเชื่อมั่นแสดงด้วยเครื่องหมาย * * คือ 0.05 ** คือ 0.01 *** คือ 0.001

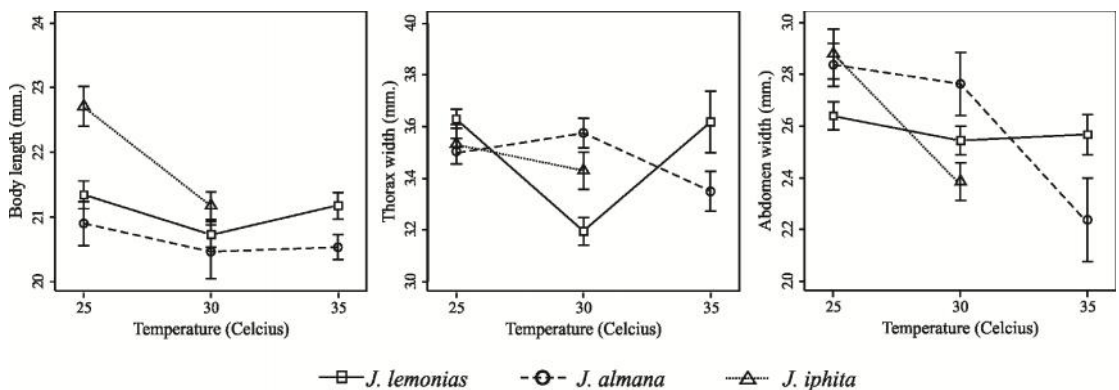
ชนิดผีเสื้อ	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการเจริญ	น้ำหนักแห้ง	ความยาวลำตัว	ความกว้างอก	ความกว้างท้อง
แพนซีมยุรา	25 vs 30	0.000000***	0.9837374	0.6766131	0.6169664	0.8657388
	25 vs 35	0.0000002***	0.0285043	0.9001270	0.4135336	0.0397604*
	30 vs 35	0.0408294*	0.0348405	0.9959149	0.1565494	0.0775426
แพนซีตาลไหม้	25 vs 30	0.000000***	0.0014956*	0.0001704***	0.337054	0.0001966***
	25 vs 35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	30 vs 35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
แพนซีสีตาล	25 vs 30	0.000000***	0.0419486	0.0731643	0.0000032***	0.4566783
	25 vs 35	0.000000***	0.3561027	0.8803864	0.9924595	0.7457266
	30 vs 35	0.001351**	0.0026905**	0.3710053	0.0001431***	0.9691884

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (Mean ± SD) ของผีเสื้อแพนซีชนิดต่าง ๆ ต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น (หน่วยเป็น มิลลิกรัม) ระดับความเชื่อมั่นแสดงด้วยเครื่องหมาย * * คือ 0.05 ** คือ 0.01 *** คือ 0.001

ชนิดผีเสื้อ	อุณหภูมิ (°C)			สมการถดถอย
	25	30	35	
แพนซีมยูรา	172.47±34.08	154.47±26.10	134.06±2.38	$y = 0.0995706 - 0.0012023X$ ($p = 0.05352$)
แพนซีตาลไหม้	179.04±32.37	128.36±28.44	N/A	$y = 0.1534250 - 0.0033820X$ ($p = 0.001496^{**}$)
แพนซีสีตาล	162.44±30.01	170.69±34.46	185.6±17.74	$y = 0.0520377 + 0.0002856X$ ($p = 0.5476$)

อุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่ส่งผลต่อความกว้างอกของผีเสื้อแพนซีมยูรา (One way ANOVA, $p > 0.05$) และของผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ (Tukey's HSD test, $p > 0.05$) แต่ความกว้างอกของผีเสื้อแพนซีสีตาลที่อุณหภูมิต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (One way ANOVA, $p = 7.9 \times 10^{-7}$) ความกว้างอกของผีเสื้อแพนซีสีตาลที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 30 °C น้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (Tukey's HSD test, $p < 0.001$) และความกว้างอกไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น (ตารางที่ 5)

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อความกว้างท้องอย่างมีนัยสำคัญในผีเสื้อแพนซีมยูรา (One way ANOVA, $p = 0.0488$) และแพนซีตาลไหม้ (25-30 °C) (Tukey's HSD test, $p = 0.00019$) ผีเสื้อแพนซีมยูราที่เลี้ยงที่ 35 °C จะมีความกว้างท้องน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C อย่างมีนัยสำคัญ (Tukey's HSD test, $p = 0.039$) รูปที่ 2 และความกว้างท้องมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 5) ในผีเสื้อแพนซีสีตาลอุณหภูมิไม่มีผลต่อความกว้างท้อง (One way ANOVA, $p > 0.05$)



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่อความยาวลำตัว (ซ้าย), ความกว้างอก (กลาง) และ ความกว้างท้อง (ขวา) ของผีเสื้อแพนซี

ตารางที่ 5 ความยาวลำตัว ความกว้างอก ความกว้างท้องของผีเสื้อต่าง ๆ ต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่าระดับความเชื่อมั่นแสดงด้วยเครื่องหมาย * * คือ 0.05 ** คือ 0.01 *** คือ 0.001

ลักษณะ	ชนิดผีเสื้อ	อุณหภูมิ (°C)			สมการถดถอย
		25	30	35	
ความยาวลำตัว (มม.)	แพนซีมยุรา	20.90±1.51	20.46±1.95	20.53±0.43	$y = 22.20481 - 0.05450X$ ($p = 0.4658$)
	แพนซีตาลไหม้	22.18±1.23	19.28±2.00	N/A	$y = 30.39125 - 0.30717X$ ($p = 0.0001704^{***}$)
	แพนซีสีตาล	21.31±1.00	20.73±1.01	21.18±0.71	$y = 21.94511 - 0.03109X$ ($p = 0.3727$)
ความกว้างอก (มม.)	แพนซีมยุรา	3.51±0.22	3.58±0.27	3.35±0.17	$y = 3.669789 - 0.005221X$ ($p = 0.6392$)
	แพนซีตาลไหม้	3.53±0.31	2.77±0.35	N/A	$y = 4.04625 - 0.02052X$ ($p = 0.3371$)
	แพนซีสีตาล	3.63±0.17	3.20±0.27	3.62±0.71	$y = 3.81146 - 0.01288X$ ($p = 0.2956$)
ความกว้างท้อง (มม.)	แพนซีมยุรา	2.84±0.37	2.76±0.57	2.24±0.36	$y = 4.00117 - 0.04442X$ ($p = 0.04381^*$)
	แพนซีตาลไหม้	2.88±0.38	2.25± 0.43	N/A	$y = 5.35125 - 0.09887X$ ($p = 0.0001966^{***}$)
	แพนซีสีตาล	3.64±0.26	2.54±0.29	2.57±0.27	$y = 2.840537 - 0.008811X$ ($p = 0.3634$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญ อัตราการอยู่รอด และลักษณะทางกายภาพของผีเสื้อแพนซีทั้งสามชนิด เนื่องจากระบบการทำงานต่าง ๆ ภายในร่างกายของผีเสื้อ และอัตราเมแทบอลิซึมของผีเสื้อใช้พลังงานจากอุณหภูมิภายนอกเป็นฐานเหมือนสัตว์เลือดเย็นอื่น ๆ

การตอบสนองของผีเสื้อแพนซีทั้งสามชนิดต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นมีรูปแบบที่คล้ายและแตกต่างกันในระดับของการตอบสนอง อุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นปัจจัยที่ทำให้อัตราการอยู่รอด (รูปที่ 1) และเวลาที่ใช้ในการเจริญลดลง คล้ายกับผีเสื้อหนอนกาฝาก (*Delias*

nigrina) ที่มีระยะเวลาการพัฒนาลดลงถึง 23 วัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 19 °C เป็น 27 °C (Braby and Lyonns, 2003) เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่าจุดที่เหมาะสม อัตราการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะลดลงอย่างรวดเร็ว (Brown and Sibly, 2012) ในการทดลองผีเสื้อแพนซีทุกชนิดตายหมดในช่วงอุณหภูมิ 40 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีชีวิตอยู่รอดได้ (Dillon et al., 2010; Brown and Sibly, 2012) ในผีเสื้อแพนซีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอยู่รอดอาจอยู่ในช่วง 30 °C เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกว่า 30 °C มีผลทำให้ผีเสื้อเริ่มใช้เวลาในการเจริญนานขึ้นและอัตราการอยู่รอดลดลงอย่างรวดเร็ว ผลดังกล่าวอาจเกิดจาก

อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจรบกวนระบบการทำงานในร่างกายของผีเสื้อซึ่งสัมพันธ์กับยีนจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน (energy metabolism) ที่ทำงานต่างกันตามอุณหภูมิ (O'Neil et al., 2014) อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้การสะสมอาหารและสร้างมวลชีวภาพในร่างกายน้อยลงดังที่เกิดกับในผีเสื้อแพนซีมยุรา และแพนซีตาลไหม้ (ตารางที่ 4) ซึ่งมีแนวโน้มที่ทำให้ผีเสื้อมีไขมันสะสมน้อยลง ปริมาณไขมันที่ลดลงจะส่งผลให้การทำกิจกรรมต่าง ๆ ของผีเสื้อ เช่น การเกี่ยวพาราสิต ความทนทาน และ ระยะเวลาในการบินลดลง (Kehl et al., 2015) ในทางตรงข้ามผีเสื้อแพนซีตาลกลับมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลจากความผันแปรภายในประชากร หนอนผีเสื้อที่รอดชีวิตจนเป็นตัวเต็มวัยอาจเป็นกลุ่มที่สามารถทนทานต่ออุณหภูมิสูงและสามารถเติบโตได้ดีซึ่งพบในสัดส่วนที่รอดชีวิตค่อนข้างน้อย อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังทำให้ช่วงชีวิตของผีเสื้อสั้นลง เช่นเดียวกับผีเสื้อชนิดอื่นๆ (Karlsson and Wiklund, 2005; Geister et al., 2008; Franke and Fischer, 2013) ผลกระทบเหล่านี้อาจส่งผลในทางลบต่อการดำรงอยู่ของผีเสื้อแพนซีและผีเสื้อชนิดอื่น ๆ ของประเทศไทยได้

ลักษณะทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนัก) ของผีเสื้อที่ทดลองส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในอนาคตภายใต้ภาวะโลกร้อนการดำรงอยู่และการทำงานเชิงนิเวศ (ecological function) ของผีเสื้อในสกุลนี้อาจลดลง ในแพนซีมยุรา และแพนซีตาลไหม้มีช่วงท้องที่เล็กอาจทำให้ปริมาณไขมันสะสมได้น้อยลงและมีผลต่อกิจกรรมต่าง ๆ เช่นกัน ในขณะที่ผีเสื้อแพนซีตาลน่าจะได้รับผลกระทบน้อยกว่าเนื่องจากทั้งช่วงอกและช่วงท้องมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจน

จากผลการทดลองผีเสื้อแต่ละชนิดตอบสนองต่ออุณหภูมิในระดับที่แตกต่างกัน ผีเสื้อแพนซีตาลไหม้ซึ่งจัดเป็นผีเสื้อที่พบไม่บ่อยสามารถทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้น้อยที่สุด และเป็นผีเสื้อที่มีแนวโน้มการสูญพันธุ์สูง เนื่องจากการทำนายของแบบจำลองการกระจาย คาดหมายว่าพื้นที่การกระจายอาจลดลงมากกว่าร้อยละ 50 ภายใต้ภาวะโลกร้อนในอีก 50 ปีข้างหน้า (Klorvuttimontara, 2010) ผีเสื้อแพนซีมยุราและแพนซีตาลเป็นผีเสื้อที่พบบ่อย และแบบจำลองทำนายว่ามีความสัมพันธ์กับภูมิอากาศน้อยมากแต่ก็ได้รับผลโดยมีอัตราการอยู่รอดลดลงเช่นกัน ซึ่งคล้ายกับผลการศึกษาโดย Stefanescu et al. (2011) ที่พบว่าแนวโน้มการลดลงของประชากรผีเสื้อที่พบไม่บ่อยและมีความเฉพาะต่อถิ่นที่อยู่และภูมิอากาศเกิดสูงกว่าผีเสื้อที่พบได้บ่อย ในอนาคตสัดส่วนของผีเสื้อชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทยอาจเปลี่ยนแปลงโดยชนิดที่มีความเฉพาะต่อถิ่นที่อยู่อาจพบได้น้อยลง

การดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาจเปลี่ยนไปภายใต้ภาวะโลกร้อนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศไทยในอนาคต สิ่งมีชีวิตที่มีความจำเพาะต่อสภาวะแวดล้อมในปัจจุบัน โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตเฉพาะถิ่น อาจไม่สามารถอยู่รอดได้ในอนาคต (Ohlemuller et al., 2008; Dirnbock et al., 2011) ทั้งสิ่งมีชีวิตที่พบบ่อยหรือชนิดพันธุ์รุกรานอาจมีการขยายขอบเขตการกระจายกว้างขึ้น (Thomas, 2010) ผลกระทบต่อเนื่องอาจทำให้การทำงานของระบบนิเวศและนิเวศบริการต่าง ๆ (ecosystem services) ลดประสิทธิภาพลงและส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ในที่สุด (Schneiders et al., 2012)

อย่างไรก็ตามการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตอบสนองของผีเสื้อต่ออุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญ การศึกษาในช่วงอุณหภูมิที่ละเอียดมากขึ้น และศึกษาในผีเสื้อชนิดอื่น ๆ จะช่วยให้การประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อความหลากหลายทางชีวภาพในเขตร้อนได้ชัดเจนและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

สรุปผลการวิจัย

อุณหภูมิมีผลต่อการตอบสนองของผีเสื้อแพนซีทั้ง 3 ชนิด โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นเกิน 30 °C จะลดอัตราการอยู่รอดและอัตราการเจริญ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกิน 40 °C ผีเสื้อแพนซีทุกชนิดไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง ความยาวลำตัว ความกว้างอก และความกว้างท้องเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นของผีเสื้อทั้ง 3 ชนิดและแต่ละช่วงอุณหภูมิเป็นไปในทิศทางที่แตกต่างกัน ผีเสื้อแพนซีตาลไหม้มีความทนทานต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่ถึง 35 °C และมีน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จึงเป็นผีเสื้อที่มีแนวโน้มจะสูญพันธุ์ภายใต้ภาวะโลกร้อนสูงกว่า ดังนั้นจึงควรได้รับลำดับความสำคัญในการอนุรักษ์ในระดับชนิดที่สูงกว่าผีเสื้อแพนซีมยุรา และผีเสื้อแพนซีสีตาล

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

จารุจินต์ นภิตะภักดิ์ และ เกรียงไกร สุวรรณภักดิ์. (2544). ผีเสื้อ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์พวนา. หน้า 177-180.
ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2558). สภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2557. วารสารอุตุนิยมวิทยา 15(1): 23-32.

- Braby, M. F. and Lyonns, K. A. (2003). Effect of temperature on development and survival in *Delias nigrina* (Fabircius) (Lepidoptera: Pieridae). Australian Journal of Entomology 42: 138-143.
- Brereton, T., Roy, D. B., Middlebrook, I., Botham, M. and Warren, M. (2011). The development of butterfly indicators in the United Kingdom and assessments in 2010. Journal of Insect Conservation 15(1-2): 139-151.
- Brown, J.H. and Sibly, R.M. (2012). The metabolic theory of ecology and its central equation. In Metabolic Ecology: A Scaling Approach. United Kingdom: John Wiley & Sons. pp. 21-33.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., and Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. PNAS. 105: 6668-6672.
- Dillon, M. E., Wang, G. and Huey, R. B. (2010). Global metabolic impacts of recent climate warming. Nature 467(7316): 704-706.
- Dirnbock, T., Essl, F. and Rabitsch, W. (2011). Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. Global Change Biology 17(2): 990-996.
- Ek-amnuay, P. (2012). Butterflies of Thailand. 2nd ed. Bangkok: Amarin Printing and Publishing. pp. 500-503.
- Feest, A., van Swaay, C., Aldred, T. D. and Jedamzik, K. (2011). The biodiversity quality of butterfly sites: A metadata assessment. Ecological Indicators 11(2): 669-675.

- Franco, A. M. A., Hill, J. K., Kitchke, C., Collingham, Y. C., Roy, D. B., Fox, R., Huntley, B. and Thomas, C. D. (2006). Impacts of climate warming and habitat loss on extinctions at species' low-latitude range boundaries. *Global Change Biology* 12(8): 1545-1553.
- Franke, K. and Fischer, K. (2013). Effects of inbreeding and temperature stress on life history and immune function in a butterfly. *Journal of Evolutionary Biology* 26: 517-528.
- Geister, T.L., Lorenz, M.W., Meyering-Vos, M., Hoffmann, K.H. and Fischer, K. (2008). Effects of temperature on reproductive output, egg provisioning, juvenile hormone and vitellogenin titres in the butterfly *Bicyclus anynana*. *Journal of Insect Physiology* 54(8): 1253-1260.
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J. and Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75(1): 3-35.
- Karlsson, B. and Wiklund, C. (2005). Butterfly life history and temperature adaptations; dry open habitats select for increased fecundity and longevity. *Journal of Animal Ecology* 74(1): 99-104.
- Kehl, T., Bensch, J., Böhm, F., Kniepkamp, B. O., Leonhardt, V., Schwiieger, S. and Fischer, K. (2015). Fat and sassy: factors underlying male mating success in a butterfly. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 155: 257-265.
- Klorvuttimontara, S. (2010). Modelling the effectiveness of protected areas for conserving tropical species under future climate warming. Ph.D., University of York. York. 222.
- McCarty, J. P. (2001). Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15(2): 320-331.
- O'Neil, S. T., Dzurisin, J. D. K., Williams, C. M., Lobo, N. F., Higgins, J. K., Deines, J. M., Carmichael, R. D., Zeng, E. L., Tan, J. C., Wu, G. C., Emrich, S. J. and Hellmann, J. J. (2014). Gene expression in closely related species mirrors local adaptation: consequences for responses to a warming world. *Molecular Ecology* 23(11): 2686-2698.
- Ohlemuller, R., Anderson, B. J., Araujo, M. B., Butchart, S. H. M., Kudrna, O., Ridgely, R. S. and Thomas, C. D. (2008). The coincidence of climatic and species rarity: high risk to small-range species from climate change. *Biology Letters* 4(5): 568-572.
- Poyry, J., Luoto, M., Heikkinen, R. K., Kuussaari, M. and Saarinen, K. (2009). Species traits explain recent range shifts of Finnish butterflies. *Global Change Biology* 15(3): 732-743.
- Schneiders, A., Van Daele, T., Van Landuyt, W. and Van Reeth, W. (2012). Biodiversity and ecosystem services: Complementary approaches for ecosystem management? *Ecological Indicators* 21: 123-133.
- Stefanescu C., Torre, I., Jubany, J. and Páramo, F. (2011). Recent trends in butterfly populations from north-east Spain and Andorra in the light of habitat and climate change. *Journal of Insect Conservation* 15(1): 83-93.

Thomas, C. D. (2010). Climate, climate change and range boundaries. *Diversity and Distributions* 16(3): 488-495.

Thomas, C. D., Franco, A. M. A. and Hill, J. K. (2006). Range retractions and extinction in the face of climate warming. *Trends in Ecology & Evolution* 21(8): 415-416.

