

Influence of temperature on host location by vibrational sounding in two pupal parasitoids

Doctoral Thesis

Author(s):

Kroder, Stefan

Publication date:

2006

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005205861>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 16615

**Influence of temperature on host location
by vibrational sounding in two pupal parasitoids**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences ETH Zurich

Stefan Kroder

Dipl. Biol., University of Freiburg i.Br.
born 19 June 1974
Freiburg i.Br., Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. S. Dorn, examiner
Dr. J. Samietz, co-examiner

1. Summary

Ambient temperature is a fundamental abiotic factor influencing in particular small poikilothermic animals like insects. It holds the potential to affect physiological processes as well as key processes in interspecific interactions. Host location of insect parasitoids is of crucial importance in parasitoid-host relationships in which both sides have established different strategies in a competitive co-evolution. In relationships with host pupae concealed in plant substrate, short-range host location of parasitoids largely relies on mechanosensory cues, as available visual and chemical cues are limited. Some species of the hymenopteran families Ichneumonidae and Orussidae have evolved a certain host location mechanism – the so-called vibrational sounding – that allows the wasps to detect host pupae under substrates like plant material or something similar. This mechanism is used as a kind of echolocation in which self-produced vibrations are transmitted onto the substrate and perceived by subgenual organ in the tibiae. Temperature dependence is especially likely in mechanosensory host location mechanisms since they depend on physical activity of the insect as well as on physical features of the substrate media. The goal of the present study was to investigate the influence of temperature on vibrational sounding during close-range host location.

In the first part of the thesis, the temperature effect was tested on the success of mechanosensory host location. At different ambient temperatures, females of the temperate species *Pimpla turionellae* (L.) and tropical species *Xanthopimpla stemmator* (Thunberg) (Hym.: Ichneumonidae) were exposed to plant-stem models containing a mechanosensory cue – excluding visual and chemical cues. The temperature ranges in which the parasitoids use vibrational sounding reflect the thermal conditions of the species' habitats. The females of the temperate species responded positively to mechanosensory cue from 6 to 32°C, and of the tropical species from 22 to 34°C with optima at 18-20°C and 32°C, respectively. The precision of ovipositor insertions due to vibrational sounding was relatively high over the entire range in *X. stemmator* and only declined at extremely low and high temperatures in *P. turionellae*. At higher

temperatures, the tropical species detected the mechanosensory host mimic more precisely. The results suggest that the use of vibrational sounding is adapted to the temperatures of the climatic origins. The reliability of this mechanism is thermally affected as responsiveness and searching activity decrease below and above of the temperature optimum and precision diminishes at the extremes.

The temperature dependence of vibrational signals was measured by a laser-Doppler vibrometer in further experiments. Vibrations produced and transmitted onto a plant-stem model by the temperate species *P. turionellae* were analyzed in the time and frequency domain. The time parameters did not change between ambient temperatures from 8 to 26°C, while the frequency and intensity were inversely affected as both increased with decreasing temperature. The wasps seem to deal easily with producing signals with high quality despite of thermal changes. The inverse shift of frequency and intensity is supposed to compensate a negative influence of lowered temperature on the receiving receptors. This would represent a further kind of “temperature-coupling” system to keep the functioning of short-range host location. The constant durations of time parameters and the increase in frequency parameters of self-produced vibrations further suggest a possible balance of body temperature in a changing thermal environment. Therefore, body temperatures of *P. turionellae* were recorded using real time infrared thermography, and wasps were simultaneously observed in their behaviour. Differences between females with and without vibrational searching behaviour were examined for their significance. Discrepancies of body temperatures to ambient surface temperatures were also compared between different thermal environments. Although there was no evidence for thermoregulation in searching females, pausing, i.e. non-searching females showed a significant regulation of body temperatures. Further, the wasps more often interrupted their searching behaviour at suboptimal temperatures. Vibrational sounding seems to interfere with endothermic mechanisms because low-level thermoregulation is only present in non-searching females. It is supposed that the searching parasitoids regularly pause during vibrational sounding to regulate body temperatures.

In a last experimental part of this thesis, the multisensory use of thermally sensitive vibrational sounding and thermally insensitive vision under optimal and suboptimal conditions were evaluated. Females of *P. turionellae* were tested in choice experiments with plant-stem models containing a visual and a vibrational cue at 8, 18 and 28°C. The relative importance of both cues was comparable at the intermediate temperature of 18°C. At the extreme temperatures of 8 and 28°C, the importance of the vibrational cue decreased in line with its lower reliability while that of the visual cue was maintained. The females switch between the use of multiple and single cues depending on the reliability and temperature dependence of the respective sensory systems. Moreover, the overall precision on the plant-stem models containing both cues did not vary between the tested temperatures, in contrast to the precision on plant-stem models containing only vibrational cue on which precision declined at 8 and 28°C (cf. above). Thus, the use of multisensory orientation not only improves the reliability of host location, it can also maintain the accuracy of host location at a high level even when ambient conditions impair single cues.

2. Zusammenfassung

Die Temperatur ist ein elementarer, abiotischer Faktor, der besonders auf kleine, poikilotherme Tiere wie Insekten einen starken direkten Einfluss hat. Sowohl physiologische Vorgänge als auch wichtige interspezifischer Wechselbeziehungen können durch die Temperatur beeinträchtigt werden. In Parasitoid-Wirts-Beziehungen ist die Wirtsfindung parasitoider Insekten von entscheidender Bedeutung. Beide Seiten der Beziehung haben in Co-Evolution verschiedene diffizile Strategien entwickelt, um sich an die andere Seite anzupassen. Wenn es sich beim Wirtsorganismus beispielsweise um ein in pflanzlichem Substrat verstecktes Puppenstadium handelt, ist der Parasitoid für die Wirtsfindung nach dem Landen auf dem Substrat in hohem Maße auf mechanosensorische Reize angewiesen. Visuelle und chemische Anhaltspunkte sind für den Parasitoiden in diesem Fall nur begrenzt verfügbar. Einige Arten der Familien Ichneumonidae und Orussidae (Hymenoptera) haben dabei einen Wirtsfindungsmechanismus entwickelt, der den Wespen ermöglicht, in Pflanzenmaterial oder ähnlichem verborgene Puppen aufzuspüren. Dieser Mechanismus ist eine Art Echoortung, wobei selbst produzierte Vibrationen auf das Substrat übertragen und mittels des Subgenualorgans an den Tibiaen empfangen werden. Dieser Mechanismus wird entsprechend als Vibrations-Peilung („Vibrational Sounding“) bezeichnet. Temperaturabhängigkeit ist bei mechanosensorischen Wirtsfindungsmechanismen besonders wahrscheinlich, da sie zum einen von der physikalischen Aktivität der Insekten und zum anderen von den physikalischen Eigenschaften des übertragenden Substrats abhängen. Ziel der vorliegenden Studie war, den Einfluss der Temperatur auf die Vibrations-Peilung zu erforschen, die von Parasitoiden zur Wirtsfindung nach der Landung im Mikrohabitat des Wirtes eingesetzt wird.

Im ersten Teil der Arbeit wurde der Temperatureinfluss auf den Erfolg mechanosensorischer Wirtsfindung untersucht. Weibchen der mitteleuropäischen Art *Pimpla turionellae* (L.) und der tropischen Art *Xanthopimpla stemmator* (Thunberg) (Hym.: Ichneumonidae) wurden an Pflanzenstängel-Modellen getestet, die einen mechanosensorischen Reiz enthielten und gleichzeitig visuelle

und chemische Reize ausschlossen. Die Temperaturbereiche, in denen die Tiere die Vibrations-Peilung einsetzen, spiegeln die Temperaturbedingungen ihrer natürlichen Habitate wieder. Die Weibchen der Art aus gemäßigttem Klima reagierten auf den mechanosensorischen Reiz bei Temperaturen von 6 bis 32°C mit einem Optimum bei 18-20°C. Die tropische Art reagierte bei Temperaturen von 22 bis 34°C mit einem Optimum bei 32°C. Ovipositor-Einstiche aufgrund der Vibrations-Peilung erfolgten bei *X. stemmator* über das gesamte Temperaturspektrum mit relativ hoher Treffgenauigkeit. Bei *P. turionellae* ließ die Treffgenauigkeit nur bei extrem niedrigen und hohen Temperaturen nach. Im höheren Temperaturbereich war die tropische Art treffsicherer als die Art aus gemäßigten Zonen. Damit legen die Ergebnisse die Schlussfolgerung nahe, dass die Vibrations-Peilung an die Temperaturverhältnisse der jeweiligen Klimazone einer Art angepasst ist. Die Temperatur beeinträchtigt die Zuverlässigkeit des Mechanismus, indem die Suchaktivitäten unterhalb und oberhalb des Temperaturoptimums nachlassen und die Präzision in extremen Temperaturen degradiert.

In weiteren Experimenten wurde die Abhängigkeit der Vibrationssignale von der Umgebungstemperatur anhand eines Laser-Doppler-Vibrometers gemessen. Vibrationen, die von Parasitoiden der Art *P. turionellae* produziert und auf das Modell übertragen wurden, wurden in zeitlichen Eigenschaften und Frequenzmerkmalen analysiert. In einer Umgebungstemperatur von 8 bis 26°C gab es keine Veränderungen in den Zeitparametern, während die Hauptfrequenz und die zugehörige Intensität sich umgekehrt zur Temperatur veränderten, d.h. Frequenz und Intensität stiegen bei sinkender Temperatur. Offensichtlich sind die Wespen trotz Temperaturschwankungen problemlos fähig, Signale in hoher Qualität zu produzieren. Die inverse Veränderung der Frequenz und der Intensität kompensiert vermutlich einen negativen Einfluss niedriger Temperatur auf die Rezeptoren. Ein solches Phänomen würde ein weiteres System einer „temperaturgekoppelten“ Signalproduktion und -verarbeitung darstellen, wodurch die Funktionalität dieses speziellen Wirtsfindungsmechanismus über eine weite Temperaturspanne aufrechterhalten werden kann. Die gleich bleibende Dauer der Zeitparameter und der inverse Effekt der

Frequenzparameter in den selbst produzierten Vibrationen lassen außerdem auf eine mögliche Stabilisierung der Körpertemperatur trotz variierender Umgebungstemperatur schließen. Daher wurde mit Echtzeit-Infrarot-Thermografie die Körpertemperatur von *P. turionellae* aufgenommen, während gleichzeitig das Verhalten der Wespen beobachtet wurde. Unterschiede zwischen Weibchen mit und ohne vibratorischem Suchverhalten wurden auf ihre Signifikanz geprüft. In gleicher Weise wurden auch Abweichungen der Körpertemperaturen im Verhältnis zur Umgebung unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer verglichen. Weibchen mit Suchverhalten nach Wirten zeigten dabei jedoch keine Anzeichen für Thermoregulation, während pausierende, d.h. nicht suchende Weibchen, eine signifikante Regulation ihrer Körpertemperatur aufwiesen. Überdies unterbrachen die Wespen ihr Suchverhalten öfter bei suboptimalen Temperaturen als bei optimalen. Scheinbar stören sich die Mechanismen der Vibrations-Peilung und der endothermen Regulation der Körpertemperatur und schliessen einander aus, so dass Thermoregulation nur bei nicht suchenden Weibchen nachzuweisen ist. Folglich wird angenommen, dass suchende Parasitoiden immer wieder pausieren, um während der Vibrations-Peilung, die Körpertemperatur zu regulieren.

Im letzten experimentellen Abschnitt der Arbeit wurde die multisensorische Nutzung der temperaturempfindlichen Vibrations-Peilung und der temperaturunempfindlichen visuellen Orientierung unter optimalen und suboptimalen Bedingungen untersucht. Hierzu wurden *P. turionellae* Weibchen in Wahlexperimenten an Modellen getestet, die einen vibratorischen und einen visuellen Reiz enthielten. Solche Experimente fanden bei einer mittleren Temperatur von 18°C und bei extrem niedriger und hoher Temperatur von 8 beziehungsweise 28°C statt. Bei 18°C war die relative Bedeutung beider Reize vergleichbar groß. Jedoch bei 8 und 28°C, wo die Zuverlässigkeit des vibratorischen Reizes nachlässt, sank auch die relative Bedeutung des vibratorischen Reizes, während die Bedeutung des visuellen Reizes unverändert hoch blieb. Die Weibchen wechseln von der Wahrnehmung mehrerer Reize zur Wahrnehmung eines Reizes je nach Zuverlässigkeit und Temperaturempfindlichkeit der betreffenden sensorischen Systeme. Die Gesamtpräzision am Modell mit vibratorischen und visuellen Reiz unterschied sich nicht zwischen den untersuchten Temperaturen, im Gegensatz zu der Präzision an Modellen mit nur einem vibratorischen Reiz, die bei 8 und 28°C abnahm (s. oben). Folglich steigert die multisensorische Orientierung nicht

nur die Zuverlässigkeit der Wirtssuche, sondern hält auch die Genauigkeit auf hohem Niveau, wenn einzelne Reize durch Umweltbedingungen beeinträchtigt werden.