

Vasculature of the hive: heat dissipation in the honey bee (*Apis mellifera*) hive

Rachael E. Bonoan • Rhyan R. Goldman •
Peter Y. Wong • Philip T. Starks





Introduzione

- Insetti **eusociali**: insetti sociali il cui livello di cooperazione è così estremo da consentire di classificare la colonia come un **SUPERORGANISMO**
 - In un superorganismo **ogni individuo della colonia è analogo a una singola cellula** e ogni casta è analoga a un sistema di organi (Wheeler 1910; Anderson e McShea 2001; Tautz 2008; Hölldobler e Wilson 2009).
 - In questi animali, il nido ha funzione di pelle e scheletro del superorganismo, creando il microhabitat adatto alla colonia e consentendo quindi lo sviluppo della vita sociale, la conservazione del cibo, **l'allevamento e lo sviluppo della prole**.
 - Il nido deve quindi essere protetto e mantenuto attraverso specifici comportamenti detti: **meccanismi omeostatici sociali** (Wilson 1971).
-



Introduzione

La temperatura del nido degli insetti sociali è infatti particolarmente rilevante per consentire lo **sviluppo della prole**.

Tra le strategie di **mitigazione** del calore adottate dagli insetti sociali, rientra primariamente la scelta della posizione del nido (Jones e Oldroyd 2006; Heinrich 1979).

Quando le temperature raggiungono valori troppo elevati, si possono osservare due strategie:

- Spostamento della prole verso aree più protette (es. formiche e termiti). (Wheeler 1910; Wilson 1971; Korb 2003; Hölldobler e Wilson 2009)
 - **Regolazione attiva** della temperatura del nido (es. api mellifere e vespe sociali). (Wilson 1971; Prange 1996)
-

Meccanismi di termoragolazione

Api e vespe sociali, non potendo spostare la prole, utilizzano **diverse strategie di regolazione** attiva della temperatura del nido:

- Riscaldamento per contrazione dei muscoli toracici (Heinrich 1980, 1985; Bujok et al. 2002; Kleinhenz et al. 2003)
- Clustering (Simpson 1961; Kronenberg e Heller 1982; Stabentheiner et al. 2003)
- Raffreddamento per evaporazione (Wilson 1971; Prange 1996)
- Ventilazione e diffusione acqua (Heinrich 1979, 1980, 1985; Prange 1996).
- **heat shielding** (Starks e Gilley 1999; Siegel et al. 2005; Starks et al. 2005)

L'importanza della termoragolazione nelle api

- Le api operaie di una colonia possono sopportare temperature fino a 50°C. (Coelho 1991)
- Per un corretto sviluppo larvale/pupale, la prole deve rimanere tra 32 e 36°C con temperatura ottimale di 34.5+/-1.5°C. (Kronenberg e Heller 1982; Jones et al. 2005; Tautz 2008)
- L'importanza del mantenimento della temperatura è quindi fondamentale per la colonia ma non è così rigorosa in tutte le aree dell'alveare: risorse come il miele ed il polline non necessitano di grande stabilità termica

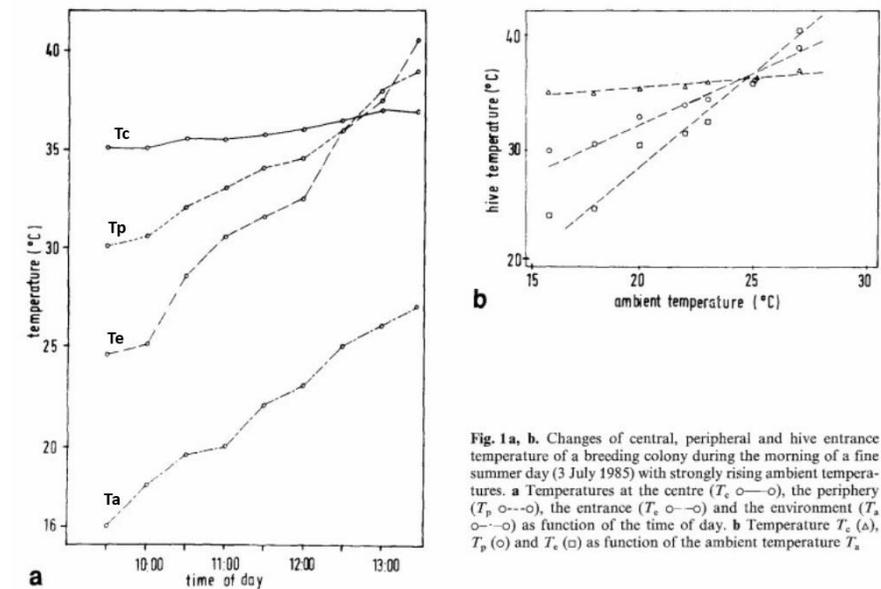


Fig. 1a, b. Changes of central, peripheral and hive entrance temperature of a breeding colony during the morning of a fine summer day (3 July 1985) with strongly rising ambient temperatures. a Temperatures at the centre (T_c ○—○), the periphery (T_p ○---○), the entrance (T_e ○—○) and the environment (T_a ○---○) as function of the time of day. b Temperature T_c (Δ), T_p (○) and T_e (□) as function of the ambient temperature T_a .

Heat shielding

- **Heat shielding:** le giovani api operaie proteggono la prole dal calore, assorbendolo e poi dissipandolo attraverso comportamenti come il volo o il rigurgito di nettare. Gli individui si orientano posizionando il lato ventrale verso la fonte di calore e la risposta (numero di operaie che attuano il comportamento) dipende dal contesto, dall'intensità del calore, la sua posizione e la densità della prole. (Starks e Gilley 1999; Siegel et al. 2005)
- Questo studio ha quindi indagato se il comportamento omeostatico sociale «heat shielding» responsabile (in parte) del mantenimento della temperatura del nido di *Apis mellifera* comporti un movimento termico **privo di schema** o **con schema**.

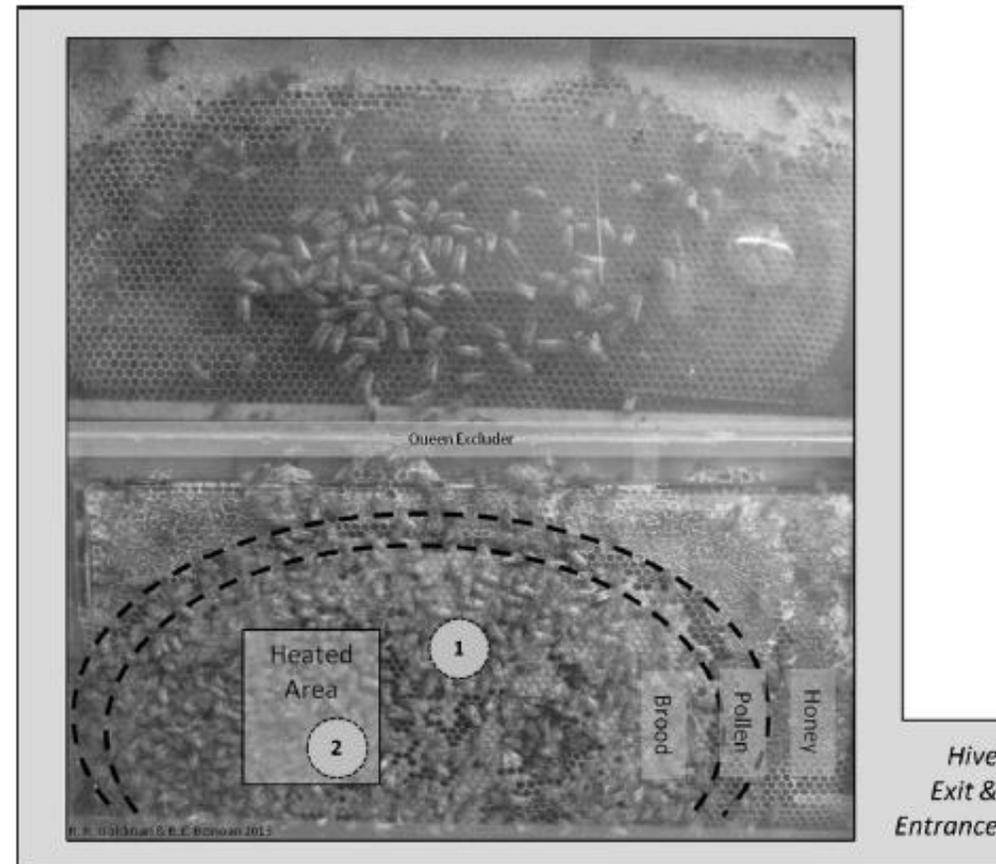
Ovvero: **c'è una tendenza direzionale nelle api riscaldate?**



Materiali e metodi

- 7 alveari di osservazione a due telai in plexiglas con colonie di api mellifere attive + 1 alveare controllo
 - In ogni alveare la regina veniva confinata ad un solo telaio (con escludiregine) garantendo che la covata venisse deposta in un solo telaio.
 - Periodo di 7 giorni di acclimatemento a 20°C con somministrazione di soluzione 100 mL 1:1 di acqua e glucosio.
 - Durante questo periodo è stato **censito il numero di api**, stimate in un intervallo tra 1000 e 2500 api adulte e sono stati **mappati i favi** per identificare le aree con covata opercolata e non, miele opercolato e non, polline e celle vuote
-

Fig. 1 Diagram of the experimental setup and photo of the interior hive structure. Each hive contained two frames separated by a queen excluder. The characteristic pattern of hive structure is made clear by the dashed lines. After surveying all seven experimental hives, the area selected for heating was to the left center of the brood area. This particular area was selected as it had similar brood densities across all hives. For the purposes of temperature collection, one thermocouple (1) was situated on the Plexiglas that was to be covered with the insulation. The second thermocouple (2) was situated in the brood comb of the heated window so that internal temperatures before, during, and immediately following heating could be recorded



Materiali e metodi

Raccolta dati

- I dati sulla temperatura interna sono stati raccolti prima, durante e subito dopo il riscaldamento.
- Per riscaldare la finestra sperimentale non isolata, è stata utilizzata una lampada da teatro con una lampadina a infrarossi da 250 W, preriscaldata per 5 minuti, posizionata a 50 cm dalla finestra.
- **L'alveare di controllo è stato riscaldato** a temperature simili a quelle della covata ($31,1 \pm 4,7$ °C) mediante due piccoli tappetini riscaldanti elettrici, simulando un ambiente di alveare attivo. Una volta raggiunta la stabilità termica, l'alveare di controllo è stato sottoposto al protocollo di riscaldamento sopra descritto
- Il numero di api che si comportavano da "heat shielders"—ovvero quelle con il lato ventrale del corpo a contatto con il Plexiglas riscaldato—è stato contato prima e subito dopo ogni periodo di riscaldamento

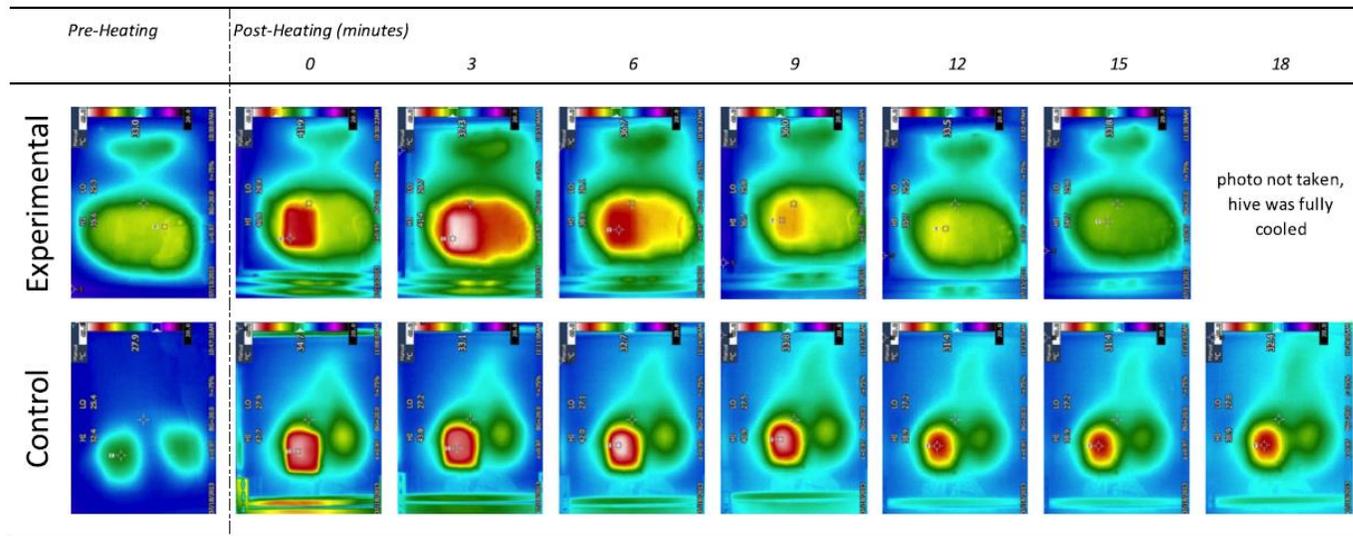


Fig. 2 Comparison of representative experimental and control infrared images taken pre- and post-heating. These images are in the same orientation as in Figure 1. The *color green* indicates the presence of bees in the experimental hive and the heating pads in the control hive. *Red* and *white areas* indicate temperatures above 37 °C. In the experimental hive, the *red*

area grew significantly larger within 3 min of cooling and disappeared within 9 min. In contrast, the high heat area in the control hive gradually decreased in size and still persisted after 18 min of cooling. Such differences indicate that workers effectively cooled the hive by absorbing the heat moving it into the periphery

Risultati

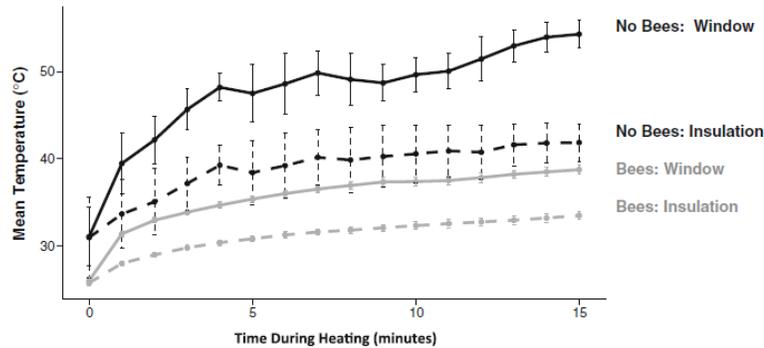


Fig. 3 Mean change in internal temperature for insulated and uninsulated regions of the observation hives. For both control ($n=2$) and experimental hives ($n=14$), the temperature increase was more gradual under the insulation than under the heated window ($p<0.001$). The heat gain in the experimental hive was significantly smaller than the gain in the control hive ($p<0.001$). Since the control hive lacked workers, these data demonstrate that the workers are responsible for regulating temperature changes within the hive. Data were taken from seven experimental hives and one empty control hive. Two trials were done for each hive. *Error bars* represent one standard error

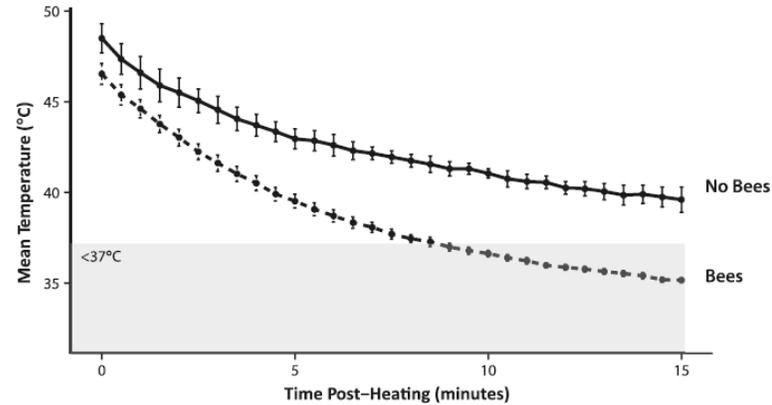


Fig. 5 Mean change in surface temperature of the heated section of brood comb during the 15-min cool down period. Immediately after heating (time=0), the control hive ($n=2$) had a significantly higher mean temperature than the experimental hive ($n=14$; $p=0.005$). After only 10 min of cooling, the experimental hives were able to reach a safe temperature ($<37^\circ\text{C}$) as highlighted by the *shaded gray area*. In contrast, the control hive did not reach safe temperatures until after the 15-min cooling period (data not shown). Data were taken from seven experimental hives and one empty control hive with comb. Two trials were done for each hive. *Error bars* represent one standard error

Risultati

Risultati

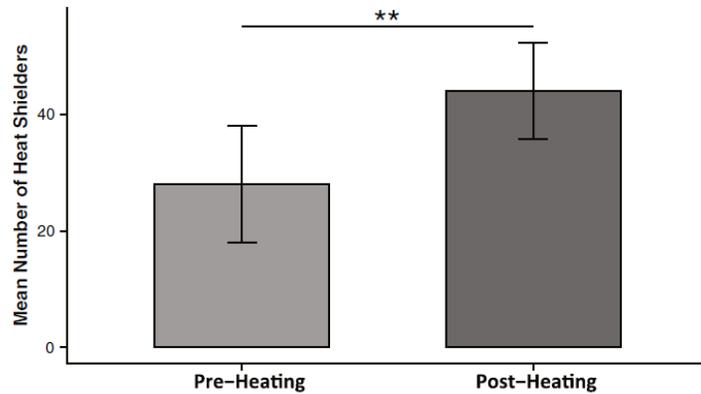


Fig. 4 Mean number of heat shielders before ($n=14$) and after heating ($n=14$). There were significantly more heat shielders observed after heating than before heating ($p=0.01$) indicating the heat shielding occurred. Data are from seven observation hives, two trials each

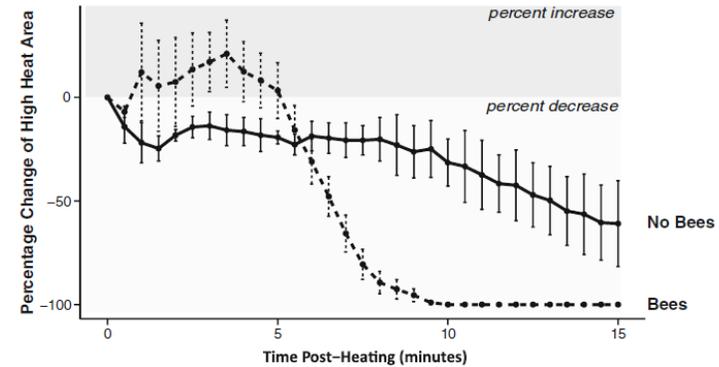


Fig. 6 The average percentage change in the area of the heated region for experimental ($n=434$) and control ($n=62$) hives over time. The heated region was defined as the *red area* above $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (see Online Resource 1) for each generated heat map. The percent increase in the experimental hives demonstrates a dramatic increase in the high heat area within the first 5 min; this pattern was not observed in the control hive. The high heat area within the experimental hives—but not the control hive—then rapidly decreased until the high heat region disappeared and the hives were cooled to safe levels ($<37\text{ }^{\circ}\text{C}$). Data were from seven observation hives and one control hive with comb, two trials were done for each hive. *Error bars* represent one standard error

Conclusioni

- Oltre all'osservazione del fenomeno stesso ed alla sua efficienza, le immagini termiche mostrano che l'area si espande in tutte le direzioni a partire dal punto di riscaldamento nell'alveare, evidenziando un movimento radiale delle api verso la periferia dell'alveare, ovvero **verso le aree meno termoregolate** come le riserve di miele e polline.

