

## LAS ABEJAS OBRERAS (*APIS MELLIFERA* L.) SON CAPACES DE APROVECHAR EL ALMIDÓN COMO COMBUSTIBLE PARA EL VUELO Y LOS ZÁNGANOS NO

N. HRASSNIGG, R. BRODSCHNEIDER, P. FLEISCHMANN<sup>1</sup>, K. CRAILSHEIM

*Institut für Zoologie an der Karl-Franzens-Universität in Graz, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz, AUSTRIA*

*E-mail: norbert.hrassnigg@uni-graz.at, Tel.: ++43 (0)316 380 5617; Fax: ++43 (0)316 380 9875*

*<sup>1</sup>Institut für Biomedizinische Technik, Technische Universität Graz, Krenngasse 37, A-8010 Graz, AUSTRIA*

### Resumen

*Cuando muestras de obreras viejas, recogidas en una estación de alimentación, recibieron una solución bimolar de glucosa, adicionada de un equivalente de almidón soluble de glucosa 1-molar, ampliaron su período de vuelo en un 24 %. Los zánganos en vuelo, alimentados con las mismas cantidades de azúcar y almidón, no ampliaron sino, todo lo contrario, redujeron significativamente el tiempo de vuelo en 23,6 %, respecto al período en que se les había alimentado con una solución de glucosa bimolar pura. Ninguna de las dos dietas influyó en la velocidad media ni de las obreras ni tampoco de los zánganos. Nuestros resultados indican que las abejas obreras pueden aprovechar el almidón durante el vuelo y las abejas macho no. Es la prueba de que la amilasa enzimática, encontrada en las glándulas hipofaríngeas de las obreras mayores, aumenta su eficacia en el aprovechamiento de los carbohidratos complejos y evidencia el importante papel de las mismas en la elaboración del alimento, dentro del sistema social altamente evolucionado de la sociedad de las abejas.*

**Palabras clave:** zángano / metabolismo del vuelo / almidón / enzima / digestión

### Introducción

En las abejas, la altamente evolucionada división del trabajo supone la realización de numerosas funciones, que cambian con la edad, entre ellas la digestión. Las obreras en edad de atender a la cría consumen la mayor parte del polen acarreado a la colonia por las pecoreadoras, elaborando la jalea proteica (alimento de la cría) en sus glándulas especializadas. Esta es distribuida a la cría, a otras obreras, a los zánganos y a la reina (CRAILSHEIM, 1992; CRAILSHEIM et al., 1992; HRASSNIGG y CRAILSHEIM, 1998a, b). Las obreras muestran una elevada eficacia en la digestión del alimento ingerido, que consta de néctar y polen. Ello queda reflejado en la producción de enzimas tales como sacarosa (SIMPSON et al., 1968) o amilasa, en las glándulas hipofaríngeas, que digieren los carbohidratos, y asimismo en la presencia de los enzimas proteolíticos en el intestino, utilizados básicamente para la degradación de las proteínas del polen (MORITZ y CRAILSHEIM, 1987). La producción de estos enzimas depende en buena medida de la actividad de las obreras. En las abejas jóvenes (nodrizas), las glándulas hipofaríngeas producen mayormente jalea proteica, pero las abejas de más edad (pecoreadoras) modifican su actividad de síntesis, produciendo en especial enzimas de digestión de los hidratos de carbono (HALBERSTADT, 1980; KUBO et al., 1996). La amilasa y la sacarosa degradan los hidratos de carbono complejos, simplificándolos en sus monómeros, mientras que la glucosa-oxidasa contribuye a la buena conservación de la miel, al producir pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno. Estos carbohidratos también se encuentran en la miel almacenada en los panales.

El género masculino está falto de glándulas hipofaríngeas (SNODGRASS, 1956). Los zánganos no están implicados en el proceso de recolección y almacenamiento de las provisiones de la colonia. Su principal cometido - y el único, que sepamos, es producir esperma y aparearse con la reina. Para cumplir este cometido, son voladores resistentes (GMEINBAUER y CRAILSHEIM, 1993). Ellos obtienen la energía necesaria para estos vuelos de la miel que ingieren de las provisiones con que cuenta la colonia.

Es sabido que las abejas son capaces de digerir el almidón, pero, por ahora, no está claro si este proceso es lo suficientemente rápido como para sostener el metabolismo del vuelo. Tampoco se sabe si los zánganos pueden digerir el almidón o si lo pueden aprovechar para el vuelo. De modo que se suscita la pregunta de si las obreras y los zánganos de la abeja melífera son realmente capaces de aprovechar el almidón en el metabolismo del vuelo.

### Material y métodos

Al efecto del estudio del metabolismo del vuelo, obreras y zánganos fueron preparados para volar en el carusel ya descrito por HRASSNIGG y CRAILSHEIM (1999). Si se utiliza almidón en el metabolismo del vuelo de las abejas, la administración de un excedente de almidón en solución de glucosa debería dilatar el tiempo de vuelo y/o el número de idas y vueltas de las abejas durante el vuelo dentro del jaulón.

Se tomaron muestras de obreras en una estación de alimentación cercana a la colonia, después de haberles administrado una solución 1-molar de sacarosa. Los zánganos se recogieron en los cuadros laterales de una colonia, donde suelen encontrarse los zánganos adultos. Se preparó a las abejas para prenderlas al brazo de un carusel. Al principio, se estimuló a los insectos para volar sin que la alimentación

suplementaria los obligara a gastar sus reservas de energía (azúcar). Después, se los alimentó con cantidades bien definidas de soluciones de glucosa o glucosa-almidón, y se les estimuló a volver a volar. Cada viaje de las abejas quedó registrado en la computadora y el tiempo total de vuelo fue cronometrado también manualmente, de manera que para los cálculos ulteriores sólo se tomó en consideración el período activo de vuelo.

Después del primer vuelo, a las obreras y los zánganos se les administró 10 µl de solución de glucosa pura (2 M), y se les estimuló a volar después de un reposo de 5 minutos. Ya agotados, se los retiró del brazo del carusel y se los alimentó con una solución de glucosa-almidón (concentración de la glucosa - 2 M y la del almidón, calculada como glucosa anhidra - 1 M). Para el experimento utilizamos glucosa pura y almidón soluble (según Zulkowsky) de Merck. La cantidad de almidón se calculó para sus monómeros, como glucosa anhidra (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), con el peso molecular de 162 g. Aumentamos la cantidad de almidón en 10 %, al efecto de compensar el agua físicamente ligada a éste.

## Resultados

El período de vuelo de las obreras en el carusel fue 19 % más largo que el de los zánganos, tras haberseles administrado la misma cantidad de glucosa (10 µl, 2 M) (Figura 1).

Al administrarse a los zánganos solución de glucosa pura (10 µl, glucosa 2 M), éstos volaron significativamente más que cuando se les alimentó con glucosa más almidón (10 µl, glucosa 2 M y 1 M glucosa anhidra). Así, el período de vuelo de los zánganos, a los que se les administró adicionalmente almidón, se redujo en 23,6 % (Figura 1).

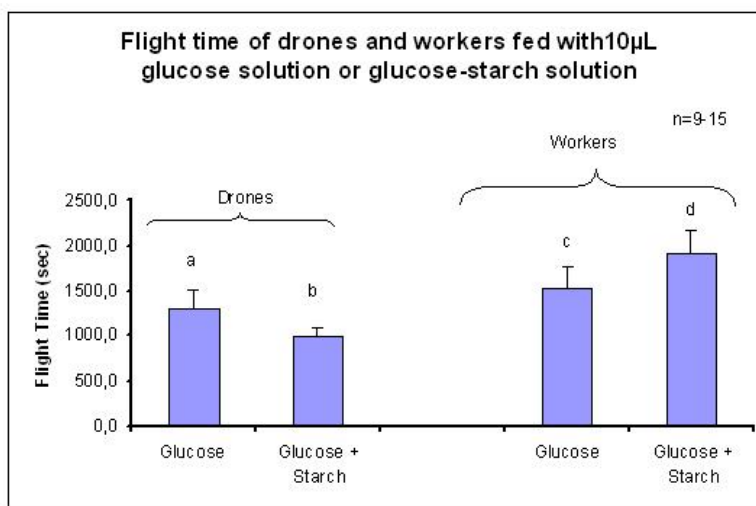


Figura 1 - Tiempo total de vuelo de los zánganos y las obreras, alimentados con una solución bimolar de glucosa o con 10 µl de una solución bimolar de glucosa más almidón, lo que equivale a una solución de glucosa 3-molar. Letras idénticas encima de las columnas indican la falta de diferencias estadísticamente significativas (ANOVA;  $P < 0,05$ ).

Tiempo de vuelo de los zánganos y las obreras, alimentados con 10 µl de solución de glucosa o con solución de glucosa-almidón  
 Flight time = tiempo de vuelo (seg.); drones = zánganos; workers = obreras; n = 9-15; glucose = glucosa;  
 glucose + starch = glucosa + almidón

Las obreras alimentadas con la misma cantidad de glucosa y almidón prolongaron el tiempo de vuelo en 24,2 %, respecto a las alimentadas con glucosa sola. No se encontró ninguna diferencia significativa en el período total de vuelo al alimentarse a las obreras con 10 µl de una solución 3-molar de glucosa o 10 µl de un solución que contenía 2 M de glucosa y 1 M de glucosa anhidra.

La distancia recorrida en vuelo por las obreras alimentadas con glucosa (10 µl, 2 M) fue significativamente más corta que la recorrida por las obreras alimentadas con glucosa más almidón (10 µl, glucosa 2 M y 1 M de glucosa anhidra), que fue de  $1\,665,0 \pm 199,1$  m (n = 11) y, respectivamente,  $2\,249,4 \pm 331,1$  m (n = 15) (prueba U,  $P < 0,001$ ). Los mismos regímenes de alimentación hicieron volar a los zánganos, con glucosa, una distancia de  $1\,727,0 \pm 357,3$  m (n = 9), y con glucosa más almidón una distancia significativamente más corta, de  $1\,380,7 \pm 153,1$  m (n = 9) (la prueba U,  $P < 0,05$ ). Mientras que las obreras y los zánganos alimentados con la solución de glucosa pura volaron distancias casi iguales ( $P = 0,70$ ), los zánganos volaron una distancia significativamente más corta, al administrárseles también almidón ( $P < 0,001$ ).

Nuestros resultados demuestran que el patrimonio enzimático de las obreras las hace aptas para aprovechar no sólo los azúcares sino también el almidón para su intenso metabolismo del vuelo, no siendo así para los zánganos, que evidenciaron un rendimiento de vuelo incluso más reducido después de ingerir almidón.

## Discusiones

El almidón no es un elemento principal en la nutrición de la abeja melífera. Está presente en el polen, en cantidades dispares, puesto que para *Zea mays* está documentado un contenido relativamente alto de almidón, de 22,4 % (STANLEY y LINSKENS, 1985). Se estima que una colonia de abejas melíferas consume, término medio, 80 kg de miel y 20 kg de polen anualmente (SEELEY, 1985). Suponiendo para el polen un contenido medio de almidón del 10 % sobre el peso seco, resulta una cantidad adicional de 2,0 kg de glucosa anhidra, equivalente a aproximadamente 2,6 kg de miel. Es posible que sea ésta una sobrevaloración, suponiendo que el almidón presente en el polen es digerido y absorbido. Comparado con la cantidad total de carbohidratos (82,6 kg: miel más almidón), el equivalente energético del almidón sólo constituye una parte estimada de 3,1 %. Parece relativamente poco y probablemente lo será todavía menos si se piensa que las plantas entomófilas producen menos almidón que las aerófilas (cf. STANLEY y LINSKENS, 1985). De manera que podemos especular con que la amilasa de las obreras de abejas melíferas no sólo es importante para aumentar la reserva energética, sino que también desempeña un importante papel en el proceso general de digestión del polen.

Sin embargo, las obreras, a distinción de los zánganos, son capaces de aprovechar el almidón en su metabolismo del vuelo, que aumenta su eficacia del vuelo respecto a la de los zánganos. Nuestros resultados muestran asimismo que los zánganos están especialmente adaptados al alimento predigerido que toman de las celdas de los panales de miel, así que ya no necesitan fabricar amilasa para poder digerir el almidón. Esto corresponde al descubrimiento de que los zánganos ingieren cantidades muy pequeñas de polen, hecho reflejado también en la escasa presencia de los enzimas preteolíticos en sus intestinos (SZOLDERITS y CRAILSHEIM, 1993). Si las reinas, que pertenecen a la casta de hembras reproductivas, son o no capaces ellas también de aprovechar el almidón queda por descubrir.

El escaso rendimiento del vuelo de los zánganos en nuestro experimento puede deberse a la adsorción de glucosa en las moléculas del almidón ingerido. En condiciones naturales, antes del vuelo los zánganos se alimentan de miel de las celdas de los panales. De esta manera también ingieren los enzimas producidos por las obreras. No ha sido éste el caso del presente experimento, donde a los zánganos se les alimentó con una solución pura de azúcar o de azúcar-almidón. Así que sería posible, en condiciones naturales, que el almidón ingerido sea aprovechado por los zánganos por medio de los enzimas suministrados a la vez que la miel o del alimento proporcionado por las obreras. Pero esto no haría sino subrayar una vez más la importante función de las obreras en la elaboración del alimento y en apoyar al género masculino.

Nuestros resultados aportan una prueba más de la altamente evolucionada división del trabajo en las colonias de abejas melíferas, donde las obreras no sólo se encargan de recoger el alimento sino también de predigerirlo para otros miembros de la colonia.

## BIBLIOGRAFIA

- Gmeinbauer R., Crailsheim K. (1993), Glucose utilization during flight of honeybee (*Apis mellifera*) workers, drones and queens. *J Insect Physiol* 39: 959-967
- Crailsheim K. (1992), The flow of jelly within a honeybee colony. *J Comp Physiol B* 162: 681-689
- Crailsheim K., Schneider L.H.W., Hrassnigg N., Bühlmann G., Brosch U., Gmeinbauer R., Schöffmann B. (1992), Pollen consumption and utilization in worker honeybees (*Apis mellifera carnica*): Dependence on individual age and function. *J Insect Physiol* 38: 409-419
- Halberstadt K. (1980), Elektrophoretische Untersuchungen zur Sektionstätigkeit der Hypopharynxdrüse der Honigbiene (*Apis mellifera* L.). *Insectes Sociaux* 27: 61-77
- Hrassnigg N., Crailsheim K. (1998a), The influence of brood on the pollen consumption of worker bees (*Apis mellifera* L.). *J Insect Physiol* 44: 393-404
- Hrassnigg N., Crailsheim K. (1998b), Adaptation of hypopharyngeal gland development to the brood status of honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies. *J Insect Physiol* 44: 929-939
- Hrassnigg N., Crailsheim K. (1999), Metabolic rates and metabolic power of honeybees in tethered flight related to temperature and drag (*Hymenoptera: Apidae*). *Entomol Gener* 24: 23-30
- Kubo T., Sasaki M., Nakamura J., Sasagawa H., Ohashi K., Takeuchi H., Natori S. (1996), Change in the expression of hypopharyngeal-gland proteins of the worker honeybees (*Apis mellifera* L.) with age and/or role. *J Biochem* 119: 291-295
- Moritz B., Crailsheim K. (1987), Physiology of protein digestion in the midgut of the honeybee (*Apis mellifera* L.). *J Insect Physiol* 33: 923-931
- Seeley T.D. (1985), Honeybee Ecology. Princeton University Press. Princeton, New Jersey pp202
- Simpson J., Riedel IBM, Wilding N. (1968), Invertase in the hypopharyngeal glands of the honeybee. *J Apic Res* 7: 29-36
- Snodgrass R. E. (1956), Anatomy of the honey bee. Cornell University Press, Ithaca, London
- Stanley R.G., Linskens H.F. (1985), Pollen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Szolderits M.J., Crailsheim K. (1993), A comparison of pollen consumption and digestion in honeybee (*Apis mellifera carnica*) drones and workers. *J Insect Physiol* 39: 877-881