

MODELIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DISPERSIÓN DE *MONOCHAMUS GALLOPROVINCIALIS* EN DOS PINARES DE CASTILLA Y LEÓN

Gonzalo Álvarez Baz¹, Iñaki Etxebeste Larrañaga¹, Estela Sánchez Husillos¹, Ana B. Martín Hernández², Gema Pérez Escolar² y Juan A. Pajares Alonso¹

¹Instituto de Universitario de Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid-INIA. Avd. Madrid s/n. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: gonzalbaz@gmail.com

²Centro de Sanidad Forestal de Calabazanos. Junta de Castilla y León. Polígono industrial de Villamuriel de Cerrato s/n. 34190-VILLAMURIEL (Palencia, España).

Resumen

Monochamus galloprovincialis es un perforador secundario que ha alcanzado relevancia como vector de *Bursaphelenchus xylophilus*, el nematodo de la madera del pino. El conocimiento preciso del comportamiento y rango de dispersión de este insecto es necesario para un adecuado manejo en los programas de control y erradicación del nematodo. Se han llevado a cabo dos bioensayos de dispersión mediante el método de marcado, liberación y recaptura de insectos en dos pinares diferentes durante 2009 y 2010. Se dispusieron 28 y 56 trampas multiembudos, cebadas con una mezcla de feromona sexual de *M. galloprovincialis* y volátiles cairomonales, en un dispositivo en círculos concéntricos o en malla regular, cubriendo una distancia de hasta 500 m y hasta 760 m, respectivamente. Las trampas fueron muestreadas semanalmente durante las 15 semanas. Se liberaron 174 y 350 insectos adultos marcados de los que se recuperaron 60 (34,48%) y 102 (29,14%) respectivamente. Ambos experimentos mostraron que la mayoría de los insectos muestran una dispersión moderada o baja, aunque el 8,48% y 6,86% fueron recapturados a 500 y 760 m respectivamente. El tiempo transcurrido hasta la recaptura se prolongó hasta los 91 y 84 días en cada experimento. Los datos obtenidos han permitido ajustes altos de los modelos de dispersión de Taylor y de Hartstack & Witz.

Palabras clave: *Bursaphelenchus xylophilus*, Nematodo del pino, Marchitamiento del pino, Modelo de Taylor, Modelo de Hartstack & Witz

INTRODUCCIÓN

El nematodo de la madera del pino *Bursaphelenchus xylophilus*, causante de la enfermedad del marchitamiento de los pinos, es originario de Estados Unidos, donde está considerado un patógeno de debilidad. *B. xylophilus* necesi-

ta ser transmitido por insectos del género *Monochamus*, que lo inoculan durante su alimentación de maduración en los ramillos o en la oviposición (MAMIYA & ENDA, 1972). La introducción y expansión de este nematodo en los pinares asiáticos durante el siglo XX ha causado graves daños en Japón (FUTAI, 2008),

China (ZHAO, 2008), Taiwan y Corea (SHING, 2008).

En Europa se confirmó por primera vez la introducción del nematodo en la península de Setúbal, Portugal, en 1999 (MOTA et al., 1999). En 2001 se confirmó que el vector de *B. xylophilus* en Portugal era *M. galloprovincialis* (SOUSA et al., 2001). Durante los años posteriores, el marchitamiento de los pinos se expandió gradualmente alrededor del área inicial, pero en 2008 se reportaron numerosos focos por el centro del país. Ese mismo año se detectó el primer foco del nematodo del pino en España, en la provincia de Cáceres seguido por un segundo caso en 2010 en Pontevedra. El tercer y último foco detectado en España se presentó de nuevo en la provincia de Cáceres en 2012. En dichos focos se están llevando a cabo las medidas de erradicación contempladas por los planes de contingencia de acuerdo con la directiva europea reguladora.

La dispersión local y regional del nematodo depende fundamentalmente de la dispersión de los insectos vectores y del transporte de productos madereros infectados (TOGASHI & SHIGESADA, 2006). Aunque la dispersión de las especies asiáticas de *Monochamus* está bien documentada (YOSHIMURA et al., 1999; TAKASU, 2009; TOGASHI & SHIGESADA, 2006; TOGASHI, 1990; SHIBATA, 1986), hasta la actualidad apenas se ha abordado su estudio en las especies europeas (EVANS, 2007). La información relativa a las distancias de dispersión y a la proporción de la población dispersante a determinadas distancias es una herramienta de vital importancia en la elaboración de una estrategia para controlar la enfermedad (TURCHIN & THOENY, 1993). Uno de los métodos más empleados en el estudio del comportamiento de dispersión de insectos es la liberación y recaptura de ejemplares previamente marcados (ZOLUBAS & BYERS, 1995). En este artículo se presentan los resultados de dos experimentos encaminados a describir el comportamiento de dispersión de *M. galloprovincialis* en dos masas forestales diferentes, mediante el método de marcado, liberación y recaptura. Se trató de ajustar los datos del primer caso a los modelos de dispersión elaborados por TAYLOR (1980) y HARTSTACK & WITZ (1981).

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante los periodos de vuelo de *M. galloprovincialis* en 2009 y 2010 se realizaron dos experimentos en una masa madura de *P. pinaster* en Tabuyo del Monte (León) y en una masa mixta de *P. sylvestris* y *P. nigra* en Villota del Páramo (Palencia) respectivamente. Ambas masas presentaban buen estado sanitario, habiendo presencia moderada de material hospedante (tales como ramas o pies muertos) en la primera de ellas y siendo éste mucho más escaso en la segunda.

En el primer ensayo se dispusieron 28 trampas de embudo múltiple repartidas en cuatro anillos concéntricos, situados a 50 (4 trampas), 100 (4), 250 (8) y 500 (12) metros del centro. De forma complementaria a las 28 trampas descritas se colocaron otras 14 trampas más cuya distancia al punto de liberación osciló entre los 1.500 y 6.200 metros. Las trampas fueron cebadas con atrayentes cairomonales para *M. galloprovincialis* (SEDQ, SA) más el cebo feromonal de *M. galloprovincialis* (PAJARES et al., 2010). Las trampas fueron además provistas de una pastilla insecticida DDVP (ECONEX SL) para evitar el escape de los insectos capturados. Tanto los atrayentes como el insecticida fueron renovados a las 6 semanas. Los insectos necesarios para el experimento fueron obtenidos bajo condiciones de laboratorio a partir de material colonizado en campo. Desde la emergencia hasta su liberación, los insectos adultos fueron mantenidos en tarros de vidrio bajo fotoperiodo controlado de 15 horas de luz y 9 de oscuridad y temperatura de 25°C y 20°C respectivamente. Un total de 174 insectos adultos sin alimentación previa fueron marcados con etiquetas de uso apícola y liberados al poco de su emergencia en el centro de dichos anillos, en cuatro tandas espaciadas por intervalos de una semana. Las trampas fueron revisadas semanalmente durante las 15 semanas posteriores a la liberación.

En el ensayo realizado en 2010 se utilizó un dispositivo en forma de malla regular de 56 trampas de embudos múltiples, de forma que cada trampa ocupaba el centro de una parcela de 200x200 m. Las trampas dispuestas según este patrón cubrieron una distancia al punto de liberación de entre 70,50 m y 761,57 m. En cada una de las 4 parcelas más próximas al punto de liberación se dispuso otra trampa más a una distan-

cia igual a la cuarta parte de la diagonal de la parcela. Las trampas fueron cebadas con el atrayente comercial GALLOPROTECT 2D (SEDQ SA) y tratadas con una sustancia antiadherente para evitar el escape de los insectos capturados sin causarles muerte, de manera que pudieran ser reliberados en cada muestreo, minimizando así el efecto sumidero de las trampas atractivas. Los botes colectores de las trampas fueron provistos semanalmente de un par de ramillos de pino como alimento. Los cebos fueron reemplazados cada cinco semanas.

La obtención, mantenimiento y marcado de los insectos se efectuó similarmente al ensayo de 2009. Se marcaron y liberaron 350 ejemplares adultos en cuatro tandas semanales. Las trampas fueron muestreadas semanalmente durante las 15 semanas posteriores a su liberación, reliberando todos los insectos adultos capturados vivos.

Análisis estadístico

Se verificó la aleatoriedad de la capturas según las diferentes direcciones mediante el test de χ^2 para garantizar que no existía una deriva de la población que alterara la distribución espacial de las recapturas (TURCHIN & THOENY, 1993). Los datos fueron ajustados a dos modelos de distribución, el de TAYLOR (1980): PRC (Percentage recapture rate) = $a \cdot e^{-(a + bx^c)}$, y el de HARTSTACK & WITZ (1981): PRC = $(a \cdot b^2) / (X+b)^2$. Ambos son modelos empíricos desarrollados para ajustar datos de dispersión de insectos a una curva de regresión que han resultado útiles en diversos estudios (ZOLUBAS & BYERS, 1995; SAFRANYIK et al., 1992). Estos

modelos proporcionan información acerca de la distancia del punto de liberación a la que teóricamente sería capturada una determinada proporción de la población liberada.

RESULTADOS

Ensayo de 2009

De los 174 insectos liberados en 2009 se recapturaron 60, lo que supone un 34,48% del total. Esta alta tasa de recaptura obtenida mediante la emisión conjunta de las caimomas ipsdienol, alfa-pineno y 2-metil-3-buten-2-ol con la feromona específica desarrollada para *M. galloprovincialis* apoya los resultados obtenidos por PAJARES et al. (2010) y muestra que resulta un cebo eficaz para el monitoreo y estudio de este insecto. No hubo diferencias significativas en las capturas para las distintas direcciones, confirmando la aleatoriedad direccional desde el centro de liberación.

La Figura 1 muestra la distribución de las capturas en función de la distancia recorrida y el tiempo transcurrido. El 57,62% de los insectos fueron capturados en las trampas del radio de 50 metros, mientras que el 20,34%, 13,56% y 8,48% lo fueron a distancias de 100, 250 y 500 metros respectivamente. La distancia media de dispersión fue de 120,83 m, aunque se capturó un ejemplar en una de las 14 trampas auxiliares a los anillos concéntricos, a 1.500 metros de distancia y transcurridos 84 días desde su liberación. El periodo de dispersión de los insectos osciló entre los 7 y los 105 días, aunque la

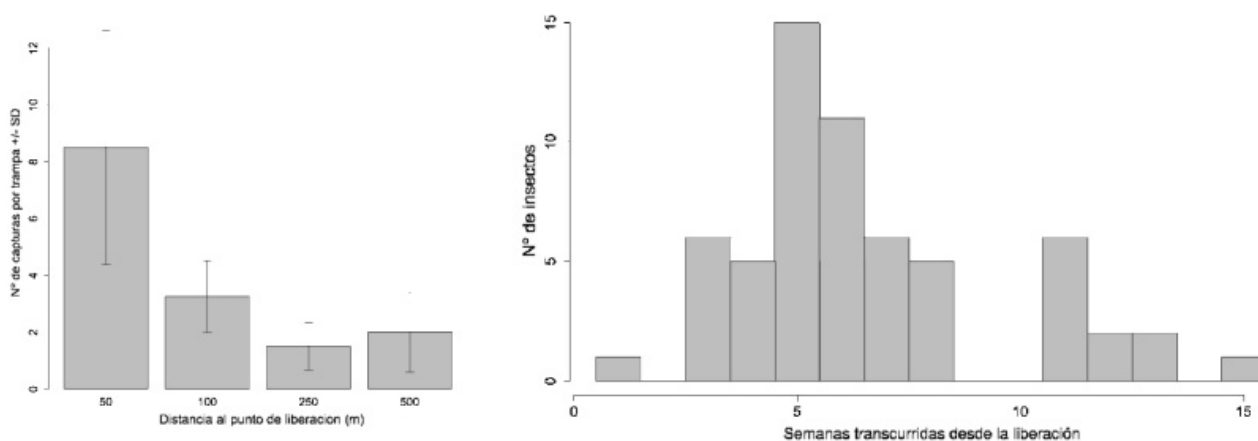


Figura 1. Capturas de *Monochamus galloprovincialis* desde el lugar (izda) y tiempo (dcha) de liberación en 2009

mayoría fueron capturados entre 3 y 6 semanas después de su liberación; si bien 3 de ellos fueron capturados tras 90 días de dispersión, el tiempo medio de dispersión de los insectos recapturados fue de 45,54 días.

Los datos se ajustaron a los modelos propuestos por TAYLOR (1980) y HARTSTACK & WITZ (1981) (Figura 2). La distancia predicha por ambos modelos para recapturar el 95% y 99% de la población liberada es de 197,3 y 531,52 metros respectivamente (Taylor) y de 144,76 y 375,22 metros respectivamente (HARTSTACK & WITZ).

El coeficiente “c” en el modelo de Taylor que mide el efecto de atracción, repulsión o no interacción de los insectos dispersantes obtuvo un valor de 0,43 (atracción), aunque parece más factible que no se deba tanto a la atracción de los insectos entre sí sino de éstos hacia las trampas. En el ajuste del modelo de HARTSTACK & WITZ,

el radio efectivo de la trampa indicado por el coeficiente “b”, entendido como el radio que tendría una hipotética trampa esférica de intercepción que capturara tantos insectos como los que obtienen las trampas cebadas del ensayo (BYERS et al., 1989), fue de 41,69 m.

Ensayo de 2010

En el ensayo realizado en 2010 se recapturaron 102 insectos de los 350 ejemplares liberados, lo que representa un 29,14% del total. El 46,07% de los insectos fueron capturados a 70,5 m de distancia, mientras que el 27,45%; 4,9%; 3,92%; 0,98%; 4,9%; 5,88% y 6,86% lo fue a 141,4 m; 316,22 m; 424,26 m; 509,9 m; 583,1 m; 707,1 m y 761,57 m respectivamente. La distancia media de dispersión fue de 223,46 m. (Figura 3)

Tan sólo un insecto fue capturado 7 días después de su liberación, mientras que la mayor fre-

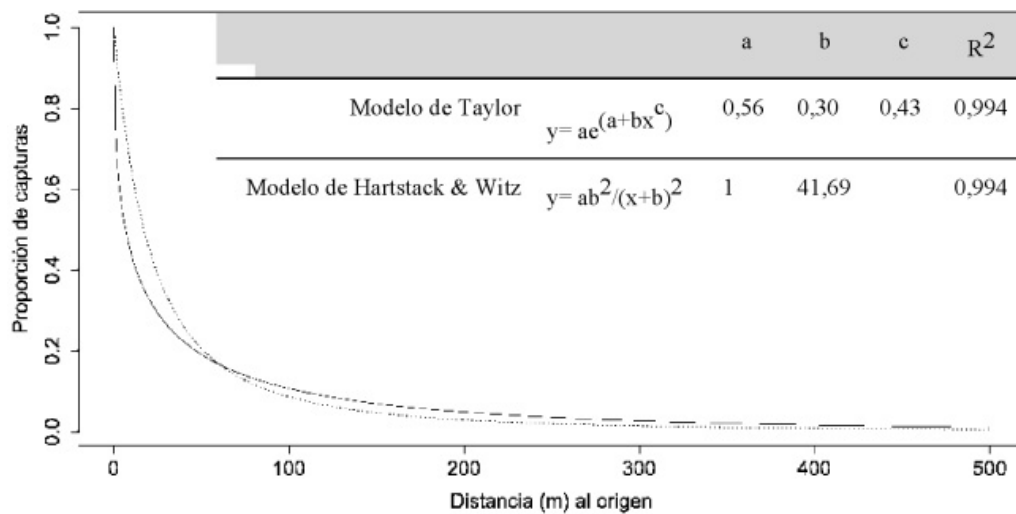


Figura 2. Modelos de Taylor (línea continua) y Hartstack & Witz (línea punteada) ajustados a los datos de 2009

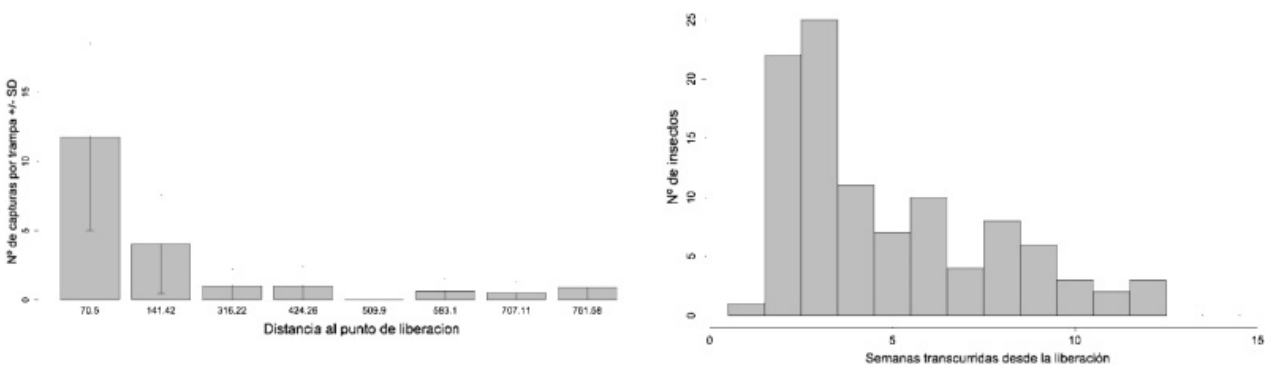


Figura 3. Capturas de *Monochamus galloprovincialis* desde el lugar (izda) y tiempo (dcha) de liberación en 2010

cuencia de recaptura fue a las 2 y 3 semanas desde su liberación. Tres de los individuos estuvieron dispersándose durante 84 días, similarmente al ensayo anterior, lo que confirma la alta longevidad que estos insectos pueden alcanzar en condiciones naturales. El tiempo medio de dispersión de los insectos recapturados fue de 33,83 días.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las pautas de dispersión observadas ambos años mostraron similitudes y diferencias. Así, en 2009, en una masa caracterizada por una presencia moderada de material hospedante, *M. galloprovincialis* mostró una dispersión escasa, pues la mayoría de los insectos permaneció en las cercanías del lugar donde fueron liberados (78 % de los insectos fueron capturados a menos de 100 m). Igualmente, en 2010 el 71,5% de ellos sólo se dispersó hasta una distancia de 141,4 m. Sin embargo, mientras que en 2009 los individuos que alcanzaron el radio de 500 m necesitaron al menos 10 semanas, en 2010 algunos insectos alcanzaron los radios más lejanos en 2 semanas. Esta diferencia probablemente esté relacionada con la estructura de la masa y con la menor disponibilidad de material hospedante que obligaría a los insectos a dispersarse más rápidamente. La captura de un individuo a 1.500 m en 2009 sugiere que algunos individuos son capaces de dispersarse a largas distancias, lo que podría estar relacionado con la densidad de la masa, puesto que se ha observado que en *M. alternatus* la proporción que abandona una masa aumenta de forma inversamente proporcional a su densidad (TOGASHI, 1990, 2008).

En ambos ensayos no se obtuvieron recapturas de insectos hasta transcurrida más de una semana (un individuo de 1 semana en 2010), lo cual parece indicar que los adultos recién emergidos de *M. galloprovincialis* no responden a los volátiles utilizados (cairomonas de pinos y escolítidos, feromona agregativa) hasta que no están sexualmente maduros. Similarmente, NAKAMURA (2008) observó en Japón que los adultos de *M. alternatus* inmaduros se dispersaban aleatoriamente mientras que sólo los maduros respondieron a los volátiles emitidos por los pinos.

Tanto el modelo de TAYLOR como el de HARTSTACK & WITZ, con similar excelente ajuste, indica-

ron que la dispersión de estos insectos fue moderada o baja, permaneciendo una alta proporción de ellos relativamente cerca del punto de liberación. Sin embargo, algunos individuos podrían optar por una estrategia diferente alejándose a distancias mucho mayores. En cualquier caso, ambos ensayos evidenciaron la alta longevidad que algunos ejemplares, lo que favorece mayores distancias dispersivas. Los modelos empleados han sido ajustados bajo unas condiciones determinadas de masa. Los resultados obtenidos en ambos ensayos sobre masas diferentes sugieren que factores de la masa como la disponibilidad de material hospedante, la edad de los pies, su densidad o las especies de árboles presentes influirán sobre el patrón de dispersión de *M. galloprovincialis*.

Agradecimientos

Agradecemos su colaboración a Luis Miguel Muñoz, Dionisio Pozo y Tasio Carros de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, a Andrés Álvarez de Tabuyo del Monte y a Gerardo Sánchez de la D.G. de Medio Natural y Política Forestal (MARM). Este trabajo ha sido financiado a través de un convenio de colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

BIBLIOGRAFÍA

- BYERS, J.A.; ANDERBRANDT, O. & LOFQVIST, J.; 1989. Effective attraction radius - a method for comparing species attractants and determining densities of flying insects. *J. Chem. Ecol.* 15: 749-765.
- EVANS, H.F.; 2007. *Plant health risk and monitoring evaluation (PHRAME) final report*. [online]. *PHRAME final report and conclusions*. Disponible en <http://www.forestry.gov.uk/fr/INFD-7XRFX9> [10 May 2011].
- FUTAI, K.; 2008. Pine wilt disease in Japan: from first incidence to the present. *En: F.K. Zhao, B.G. Sutherland Jr & Y. Takeuchi (eds.), Pine Wilt Disease: 5-12*. Springer.
- HARSTACK, A.W. & WITZ, J.A.; 1981. Estimating field populations of tobacco budworm moths (Lepidoptera, Noctuidae) from

- pheromone trap catches. *Environ. Entomol.* 10: 908-914.
- MAMIYA, Y. & ENDA, N.; 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera-Cerambycidae). *Nematologica* 18: 159.
- MOTA, M.M.; BRAASCH, H.; BRAVO, M.A.; PENAS, A.C.; BURGEMEISTE, W.; METGE, K & SOUSA, E.; 1999. First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. *Nematology* 1: 727-734.
- NAKAMURA, K.; 2008. Vector-Host Tree Relationships and the Abiotic Environment. In: F.K. Zhao, B.G. Sutherland Jr & Y. Takeuchi (eds.), *Pine Wilt Disease*. Springer.
- PAJARES, J.A.; ÁLVAREZ G.; IBEAS, F.; GALLEGO, D.; HALL, D.R. & FARMAN, D.I.; 2010. Identification and Field Activity of a Male-Produced Aggregation Pheromone in the Pine Sawyer Beetle, *Monochamus galloprovincialis*. *J. Chem. Ecol.* 36: 14.
- SAFRANYIK, L.; LINTON, D.A.; SILVERSIDES, R. & MCMULLEN, L.H.; 1992. Dispersal of released mountain pine beetles under the canopy of a mature lodgepole pine stand. *J. Appl. Entomol.-Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie* 113: 441-450.
- SHIBATA, E.; 1986. Dispersal movement of the adult Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera, Cerambycidae) in a young pine forest. *Appl. Entomol. Zool.* 21: 184-186.
- SHING, S.; 2008. Pine wilt disease in Korea. In: F.K. Zhao, B.G. Sutherland Jr & Y. Takeuchi (eds.), *Pine Wilt Disease*: 26-32. Springer.
- SOUSA, E.; BRAVO, M.A.; PIRES, J.; NAVES, P.; PENAS, A.C.; BONIFACIO, L. & MOTA, M.M.; 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) associated with *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera; Cerambycidae) in Portugal. *Nematology* 3: 89-91.
- TAKASU, F.; 2009. Individual-based modeling of the spread of pine wilt disease: vector beetle dispersal and the Allee effect. *Popul. Ecol.* 51: 399-409.
- TAYLOR, R.A.J.; 1980. A family of regression equations describing the density distribution of dispersing organisms. *Nature* 286: 53-55.
- TOGASHI, K.; 1990. A Field Experiment on Dispersal of Newly Emerged Adults of *Monochamus alternatus* (Coleoptera, Cerambycidae). *Researches on Population Ecology* 32: 1-13.
- TOGASHI, K.; 2008. Vector-Nematode Relationships and Epidemiology in Pine Wilt Disease. In: F.K. Zhao, B.G. Sutherland Jr & Y. Takeuchi (eds.), *Pine Wilt Disease*. Springer.
- TOGASHI, K. & SHIGESADA, N.; 2006. Spread of the pinewood nematode vectored by the Japanese pine sawyer: modeling and analytical approaches. *Popul. Ecol.* 48: 271-283.
- TURCHIN, P. & THOENY, W.T.; 1993. Quantifying dispersal of southern pine beetles with mark recapture experiments and a diffusion-model. *Ecol. Appl.* 3: 187-198.
- YOSHIMURA, A.; KAWASAKI, K.; TAKASU, F.; TOGASHI, K.; FUTAI, K. & SHIGESADA, N.; 1999. Modeling the spread of pine wilt disease caused by nematodes with pine sawyers as vector. *Ecology* 80: 1691-1702.
- ZHAO, B.G.; 2008. Pine wilt disease in China. In: F.K. Zhao, B.G. Sutherland Jr & Y. Takeuchi (eds.), *Pine Wilt Disease*: 18-25. Springer.
- ZOLUBAS, P. & BYERS, J.A.; 1995. Recapture of dispersing bark beetle *Ips typographus* L (Col, Scolytidae) in pheromone-baited traps - regression-models. *J. Appl. Entomol.-Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie* 119: 285-289.