

1987

EFFECTS OF BARLEY YELLOW DWARF
VIRUS ON THE BIOLOGY OF THE BIRD
CHERRY-OAT APHID, *Rhopalosiphum padi* (L.)

J. E. Araya
Universidad de Chile

John E. Foster
University of Nebraska-Lincoln, john.foster@unl.edu

Follow this and additional works at: <http://digitalcommons.unl.edu/entomologyfacpub>

 Part of the [Entomology Commons](#)

Araya, J. E. and Foster, John E., "EFFECTS OF BARLEY YELLOW DWARF VIRUS ON THE BIOLOGY OF THE BIRD CHERRY-OAT APHID, *Rhopalosiphum padi* (L.)" (1987). *Faculty Publications: Department of Entomology*. 585.
<http://digitalcommons.unl.edu/entomologyfacpub/585>

This Article is brought to you for free and open access by the Entomology, Department of at DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln. It has been accepted for inclusion in Faculty Publications: Department of Entomology by an authorized administrator of DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln.

TRABAJOS DE INVESTIGACION

ACCION DEL VIRUS DEL ENANISMO AMARILLO DE LA CEBADA
(BYDV) EN LA BIOLOGIA DEL PULGON DE LA AVENA,
Rhopalosiphum padi (L.)¹

JAIIME E. ARAYA²

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile³

JOHN E. FOSTER⁴

U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service

RESUMEN

Se compararon diversos parámetros del ciclo de vida del áfido *Rhopalosiphum padi* (L.), mantenido en laboratorio a $18 \pm 1^\circ$ C en secciones de hojas de trigo y avena, sanas e infectadas con el virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV, raza PAV).

Los áfidos sobre trigo infectado tuvieron vida adulta y total más corta ($P \leq 0,05$) que en trigo sin el virus (17,9 y 21,4 días de vida adulta y 23,7 y 27,5 días de vida total, respectivamente). La infección con BYDV en trigo (cvs. 'Abe' y 'Caldwell') aumentó ($P \leq 0,05$) la capacidad reproductiva del áfido de un total de 73,9 a 78,1 ninfas y 5,9 a 6,5 ninfas por día durante el período reproductivo. Al utilizar avena (cvs. 'Clintland 64' y 'Porter') no se detectaron diferencias significativas en los parámetros estudiados.

ABSTRACT

EFFECTS OF BARLEY YELLOW DWARF VIRUS ON THE BIOLOGY OF THE BIRD
CHERRY-OAT APHID, *Rhopalosiphum padi* (L.)¹

Diverse parameters of the life cycle of *Rhopalosiphum padi* (L.), maintained on leaf sections of healthy or BYDV (PAV strain)-infected wheat and oat plants, were compared in the laboratory at $18 \pm 1^\circ$ C. The aphids reared on infected wheat leaf sections had a shorter lifespan and adult life ($P \leq 0.05$) than on uninfected wheat (23.7 and 27.5 days for lifespan, and 17.9 and 21.4 days for adult life, respectively). The BYDV-infection on wheat (cvs. 'Abe' and 'Caldwell') increased ($P \leq 0.05$) the reproductive ability of the aphid from 73.9 to 78.1 nymphs per female (5.9 to 6.5 nymphs per day during the reproductive period). No significant differences were detected when using oats (cvs. 'Clintland 64' and 'Porter').

INTRODUCCION

El trigo es uno de los cultivos de mayor impor-

tancia en el mundo (Reitz, 1967). En Chile, el trigo ha aumentado en superficie en las últimas temporadas y se proyecta un mayor desarrollo. Uno de los factores limitantes del rendimiento son diversas plagas y enfermedades, entre las que destacan varias especies de áfidos y el virus del enanismo amarillo de la cebada (Barley Yellow Dwarf Virus, o BYDV), que estos insectos transmiten (Oswald y Houston, 1953a, 1953b).

Uno de los áfidos importantes en cereales es el pulgón de la avena, *Rhopalosiphum padi* (L.) (Ara-

¹Hemiptera: Aphididae. Trabajo presentado al XXXVI Congreso Anual de la Sociedad Agronómica de Chile. Valdivia, Chile, 12-16 nov., 1985.

²Profesor Asociado de Entomología, Departamento de Sanidad Vegetal. Actualmente Postdoctoral Research Associate, Department of Entomology, Purdue University, W. Lafayette, Indiana 47907, USA.

³Casilla 1004, Santiago, Chile.

⁴Research Leader, Small Grain Insects & Weed Control Unit. Professor, Department of Entomology, Purdue University, W. Lafayette, Indiana 47907, USA.

ya y Foster, 1983). Este insecto causa daños en una gran variedad de plantas hospederas, incluyendo varias gramíneas, en primavera y verano (Robinson y Hsu, 1963), tanto por su alimentación directa como por transmitir BYDV (Stern, 1967; Kolbé y Linke, 1974). En países de clima frío el pulgón de la avena inverna sobre *Prunus* spp. (Leather y Dixon, 1982; Araya, 1985).

El daño e importancia económica de *R. padi* convierten en una necesidad el estudio de su biología, relaciones con BYDV y desarrollo de métodos de manejo. La resistencia de plantas a insectos puede constituir un método económico y persistente de manejo de esta plaga, manteniendo armonía con el medio ambiente, además de ser compatible con otras medidas de control (Chen, 1982). En forma ideal, variedades resistentes podrían proveer un control completo y permanente de las principales plagas en el mundo. Sin embargo, niveles adecuados de resistencia sólo están disponibles en relativamente pocos cultivares (Adkisson, 1980). En relación a *R. padi*/BYDV, sólo se ha obtenido resistencia moderada (Roberts y Foster, 1983; Araya, 1985), la que, sin embargo, puede ser combinada con otros métodos de control.

Los efectos fisiológicos de BYDV en áfidos vectores fueron estudiados por Miller y Coon (1964). El consumo de oxígeno de áfidos [*Sitobion avenae* (F.)], mantenidos en plantas infectadas durante tres semanas, se redujo en 13,6%, comparado con el de áfidos en plantas libres de virus. Áfidos virulíferos vivieron durante 30,0-31,5 días, comparados con 28,0 días para aquéllos criados en hojas sanas. El período reproductivo y la progenie fueron de 17,5-19,0 y 15,0 días, y 46 y 40 ninfas, respectivamente.

La infección de plantas por virus origina un aumento en la concentración de aminoácidos, con lo que los áfidos se desarrollan más rápidamente y producen más ninfas. Aparentemente, los áfidos no serían afectados negativamente al alimentarse en plantas infectadas por virus o como portadores de estos agentes fitopatógenos microscópicos (Dixon, 1973). Pareciera entonces que, al menos en el corto plazo, los áfidos tendrían mucho que ganar al transmitir virus de plantas (Kennedy, 1951). Así, las poblaciones de *Metopolophium dirhodum* (Walker) y *S. avenae* fueron significativamente mayores en trigo, avena y cebada infectados con BYDV por Ajayi y Dewar (1983) que en plantas sanas, aunque las diferencias fueron, probablemente, causadas por atracción de áfidos alados hacia plantas infectadas debido a un cambio en su coloración. Tratamientos con nitrógeno en cereales durante la primavera en Italia, han tenido efecto en la fecun-

didad de *R. padi* y *M. dirhodum* (Suss y Colombo, 1982). La fecundidad de *R. padi* aumentó en plantas de avena infectadas con BYDV por Markkula y Laurema (1964), al aumentar la concentración de aminoácidos. Sin embargo, la reproducción de *S. avenae* y *M. dirhodum* permaneció inalterada.

Aunque la hipótesis de que una infección por virus de una planta hospedera favorece la reproducción de los insectos vectores (Kennedy, 1951; Markkula y Laurema, 1964; Dixon, 1973), otros investigadores (Gill y Metcalfe, 1977) observaron colonias más pequeñas de *R. maidis* (Fitch) sobre cebada infectada con BYDV que en plantas sanas, aunque estos autores utilizaron variedades con resistencia al insecto. En forma similar, Laurema *et al.* (1966) notaron una menor fecundidad de *R. padi* en avena con virus del enanismo estéril de la avena (Oat Sterile Dwarf Virus, OSDV) o con virus del mosaico estriado del trigo (European Wheat Striate Mosaic Virus, EWSMV), aunque ambos virus causaron un aumento en la concentración de aminoácidos libres en las plantas. La fecundidad de *S. avenae* en avena con OSDV fue ligeramente reducida al comienzo del estudio, aunque posteriormente fue mayor que en avena sana. El ciclo de vida de *R. padi* fue reducido en plantas con EWSMV pero no en plantas con OSDV. El ciclo de vida de *S. avenae* fue más largo en plantas con OSDV y más corto en plantas con EWSMV. En otro estudio, Bremer (1965) no observó diferencias en la progenie de *R. padi* sobre plantas de avena sanas o con BYDV.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el ciclo de vida de *R. padi* sobre plantas de trigo y avena sanas e infectadas con BYDV, de manera de iniciar el análisis de las relaciones epidemiológicas entre uno de los áfidos causantes de daño en cultivos de cereales y el agente fitopatógeno.

MATERIALES Y METODOS

El ciclo de vida de *R. padi* se estudió en laboratorio (U.S.D.A., A.R.S., Small Grain Insects and Weed Control Research Unit, Purdue University, Indiana), utilizando plantas de trigo cvs. 'Abe' (CI 15375; susceptible a BYDV) y 'Caldwell' (CI 17897; tolerante a BYDV), y de avena cvs. 'Clinton 64' (CI 7639; susceptible a BYDV) y 'Porter' (CI 19412; tolerante a BYDV). Información sobre estos cultivares puede ser encontrada en los artículos de Day *et al.* (1983) y Roberts *et al.* (1983). Las plantas, sanas o infectadas con BYDV (raza PAV), fueron mantenidas en cámaras separadas de crecimiento a $18 \pm 1^\circ \text{C}$ y fotoperíodo de

14:10 horas de luz:oscuridad (Chen, 1982). Los tratamientos fueron los siguientes:

a) *Trigo*

1. Abe infectado con BYDV, raza PAV.
2. Caldwell infectado con BYDV, raza PAV.
3. Abe sin BYDV.
4. Caldwell sin BYDV.

b) *Avena*

1. Clintland 64 infectada con BYDV, raza PAV.
2. Porter infectada con BYDV, raza PAV.
3. Clintland 64 sin BYDV.
4. Porter sin BYDV.

Se efectuaron ocho repeticiones. Cada una consistió en cinco semillas por cultivar sembradas en maceteros de plástico de 19 cm de diámetro con suelo estéril. Luego de la emergencia las plántulas fueron raleadas dejando tres por macetero. Las plántulas de los tratamientos 1 y 2 de cada especie fueron infestadas en el estado de una-dos hojas desarrolladas, con *R. padi* portadores de BYDV (raza PAV) criados en laboratorio. Para lograr 100% de transmisión y uniformidad en la infección, se utilizaron cinco áfidos portadores por plántula (Tetrault *et al.*, 1963), los que fueron mantenidos sobre ellas durante 96 horas, al cabo de las cuales fueron eliminados con un aerosol de piretrina. Posteriormente, un trozo de hoja de una planta de cada tratamiento fue colocado en placa Petri con papel filtro humedecido, e infestado por medio de un pincel con una ninfa no portadora de BYDV de un día de desarrollo, obtenida desde hembras partenogénicas (Kudzagamage, 1980; Araya, 1985). Plantas infectadas y sanas fueron mantenidas separadamente para cambiar los trozos de hojas con y sin el virus cada 48 horas a los áfidos de los tratamientos respectivos. El método de adquisición de BYDV por áfidos al alimentarse sobre trozos de hojas infectadas fue anteriormente utilizado por Rochow (1958).

Se efectuaron observaciones diarias para anotar períodos prerreproductivos y reproductivos, de vida adulta y duración del ciclo de vida, registrando también los promedios de progenie (promedio de ninfas por día producidas por una hembra durante los primeros cinco días del período reproductivo (Kudzagamage, 1980) y de ninfas por día durante el período reproductivo, y número total de ninfas producidas). Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza (ANDEVAs) separados para cada cultivo y pruebas de Student-Neuman-Keuls.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los Cuadros 1 y 2 resumen ANDEVAs separados para los resultados obtenidos en trigo y avena para diversos parámetros del ciclo de vida de *R. padi* en condiciones de laboratorio. Los resultados expresados en días (Cuadro 1) fueron transformados logarítmicamente para ajustarlos a una distribución normal. Como los promedios presentados fueron obtenidos después de dichas transformaciones y mediante cálculos con varias aproximaciones a cifras con un decimal, se aprecian algunas pequeñas desviaciones en el Cuadro 1, cuando, por ejemplo, se restan períodos prerreproductivos de las duraciones del ciclo de vida para obtener períodos de vida adulta. Los resultados sobre capacidad reproductiva de *R. padi* (Cuadro 2) tenían distribución normal, por lo que no debieron ser transformados.

En trigo, en los tratamientos infectados con el virus, raza PAV, el período reproductivo de *R. padi* no fue afectado significativamente por los cultivos utilizados, contrariamente a lo que sucedió en los tratamientos no infectados, en que Abe tuvo un período reproductivo más corto que Caldwell. La infección con el virus, apreciada mediante comparación de los promedios de tratamientos infectados y no infectados, no afectó a la duración del período reproductivo (Cuadro 1). La producción promedio de progenie no fue afectada por los cultivos ni por la infección (Cuadro 2).

En cuanto al período de vida adulta y duración del ciclo de vida (Cuadro 1), no hubo diferencia significativa entre las 4 combinaciones; no obstante, al comparar los promedios respectivos, se pudo comprobar que hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre material de trigo con y sin infección con BYDV, con una vida más corta para aquellos áfidos mantenidos en trozos de hojas de trigo infectadas con BYDV que sobre trigo sin virus. Estos ciclos de vida de *R. padi* más cortos al utilizar trigo con BYDV podrían ser ajustados a una respuesta tipo "antibiosis", causada por la infección con el virus en el insecto vector, al asimilar dicha respuesta a la clasificación de Painter (1951) de tipos de resistencia a insectos en plantas. Sin embargo, una vida relativamente más corta podría indicar, en este caso, un desarrollo más dinámico del insecto, lo que estaría reflejado en el aumento de la capacidad reproductiva de *R. padi* en trigo infectado con BYDV (Cuadro 2).

El aumento de la capacidad reproductiva de *R. padi* en el presente estudio, corrobora la hipótesis tradicional de que una infección por virus de una planta hospedera favorece la reproducción de los insectos vectores.

CUADRO 1. Efectos de la infección de cultivares de trigo y avena con BYDV (raza PAV), en algunos parámetros del ciclo de vida de *Rhopalosiphum padi* en laboratorio¹

Cultivar	Infección con BYDV	Período prerreproductivo (días)	Período reproductivo (días)	Período de vida adulta (días)	Duración del ciclo de vida (días)
a) Trigo					
Abe	Infectada con Raza PAV	5,6a	12,8ab	18,3a	24,0a
Caldwell		5,7a	12,1a	17,6a	23,4a
Abe	Sin infección con virus	6,0a	11,9 b	20,4a	26,5a
Caldwell		6,2a	12,7a	21,4a	28,6a
b) Avena					
Clintland 64	Infectada con Raza PAV	5,7a	10,8a	14,6a	20,4a
Porter		5,8a	10,6a	15,7a	21,0a
Clintland 64	Sin infección con virus	5,9a	10,7a	14,3a	20,3a
Porter		5,4a	11,1a	14,6a	20,3a

¹Resultados en la misma columna seguidos por letras distintas son diferentes significativamente ($P \leq 0,05$). Los resultados obtenidos en trigo y avena fueron analizados en ANDEVAs separados; más de dos promedios fueron diferenciados con pruebas Student-Neuman-Keuls ($P \leq 0,05$).

CUADRO 2. Efectos de la infección de cultivares de trigo y avena con BYDV (raza PAV) en la capacidad reproductiva de *Rhopalosiphum padi* en laboratorio¹

Cultivar	Infección con BYDV	Promedio de progenic ²	Promedio de ninfas por día durante el período reproductivo (Tasa reproductiva)	Número total de ninfas producidas
a) Trigo				
Abe	Infectada con Raza PAV	8,2a	6,1 b	77,3a
Cadwell		7,8a	6,5a	78,1a
Abe	Sin infección con virus	6,6a	6,1 b	71,9a
Caldwell		7,0a	5,9 b	73,9 b
b) Avena				
Clintland 64	Infectada con Raza PAV	7,7a	7,0a	75,0a
Porter		7,9a	6,9a	72,3a
Clintland 64	Sin infección con virus	7,5a	7,0a	75,1a
Porter		6,7a	6,9a	75,3a

¹Resultados en la misma columna seguidos por letras distintas son diferentes significativamente ($P \leq 0,05$). Los resultados obtenidos en trigo y avena fueron analizados en ANDEVAs separados; más de dos promedios fueron diferenciados con pruebas Student-Neuman-Keuls ($P \leq 0,05$).

²Primeros 5 días del período reproductivo.

En esta investigación, el período reproductivo más largo de *R. padi* ocurrió en trigo Caldwell sin virus, seguido por trigo Abe con BYDV (Cuadro 1). Las otras dos combinaciones, trigo Abe sin virus y trigo Caldwell infectado con BYDV, fueron similares a Abe infectado, pero diferentes a Caldwell sin virus. La mayor tasa reproductiva ocurrió en trigo Caldwell infectado, con un promedio de ninfas por día durante el período reproductivo distinto de los de las demás combinaciones cultivares x infección con BYDV (Cuadro 2).

Al investigar los efectos de BYDV en sus áfidos vectores, Gildow (1980) notó una tendencia en *R. padi* a producir más individuos alados sobre plantas infectadas con el virus que en plantas sanas, y sugirió que esto podría deberse a la mayor concentración de aminoácidos en las plantas enfermas.

Los promedios generales para duraciones de los períodos prerreproductivo y reproductivo, vida adulta, ciclo de vida, número total de ninfas, promedio de progenie y promedio de ninfas por día durante el período reproductivo (a través de los cultivares de trigo e infección por BYDV) fueron de 5,9; 12,4; 19,6; 25,6 (días); 76,0; 7,4 y 6,2 (ninfas), respectivamente. Las observaciones de Kuroli (1984) sobre la ontogénesis de *R. padi* dieron 8,2 a 9,6 días de desarrollo ninfal a 21° C, con un promedio de 17,7 días de vida adulta. Estos períodos son similares a los obtenidos en el presente estudio y las pequeñas diferencias podrían deberse, en parte, a las diferentes temperaturas utilizadas. Kuroli (1984) también indicó que el número de ninfas producidas varía entre 27 y 93. Adams y Drew (1964) observaron que *R. padi* produjo un promedio de 59 ninfas. Los ciclos de vida de *R. padi*, *R. maidis* y *S. avenae* promediaron 28,8 días en diversas gramíneas (avena, cebada, trigo y *Poa* sp.) en invernadero, aunque con grandes variaciones entre plantas hospederas. Cuando *R. padi* fue criado por Villanueva y Strong (1964) a 13, 23, 26 y 30° C, cada hembra produjo un promedio de 30, 42, 50 y 10,9

ninfas, respectivamente. Una generación duró entre 21,7 días a 13° C y 5,2 días a 26° C.

Los ANDEVAs con los resultados obtenidos en avena no revelaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en ninguno de los parámetros estudiados. Los promedios generales para los períodos prerreproductivo y reproductivo, vida adulta, ciclo de vida, progenie total, promedios de progenie y de ninfas por día durante el período reproductivo de *R. padi* en avena fueron de 5,7; 10,8; 14,9; 20,7 (días); 73,8; 7,3 y 6,9 (ninfas), respectivamente, con parámetros algo menores en avena que en trigo. Al utilizar plántulas de avena cv. Clintland 64, Chen (1982) obtuvo períodos prerreproductivos y reproductivos y una progenie total de *R. padi* entre 7,3 y 8,7 días; 1,9 y 4,9 días, y 7,3 a 22,4 ninfas, respectivamente. Kudagamage (1980) anotó períodos prerreproductivos de 6,1 y 7,8 días cuando mantuvo a *R. padi* sobre avena Clintland 64 a 18° C y 14:10 ó 12:12 horas de luz:oscuridad, respectivamente. Los promedios de progenie fueron de 6,3 y 4,6 ninfas, respectivamente. El período ninfal y la progenie total de hembras vivíparas ápteras de *R. padi* en avena observados por Markkula y Myllimaki (1963) fueron 8 días a 15,6° C y 75 ninfas a 13,5° C.

El promedio de progenie parece ser un parámetro inadecuado en estudios sobre el ciclo de vida de *R. padi*, al no presentar diferencias en este trabajo ni en el de Kudagamage (1980), en comparación con otros parámetros que detectaron diferencias en ambos estudios.

Los resultados significativos obtenidos en trigo en esta investigación pueden ocurrir en otros cereales, incluyendo avena. Más estudios son necesarios para aclarar y completar el conocimiento de las relaciones epidemiológicas de las diversas razas de BYDV, cultivares y los diversos áfidos vectores del virus. Estas investigaciones contribuirán, sin duda, en el diseño de métodos eficientes para el manejo de estas importantes plagas de cereales en el mundo.

BIBLIOGRAFIA

1. Adams, J. E., and M. E. Drew. 1964. Grain aphids in New Brunswick. II. Comparative development in the greenhouse of three aphid species on four kinds of grasses. *Can J. Zool.* 42(5): 741-744.
2. Adkisson, P. L. 1980. Resistant varieties in pest management systems. Chapter 11: 233-251 in, F. G. Maxwell, and P. R. Jennings (eds.), *Breeding Plants Resistant to Insects*. J. Wiley & Sons, New York. 683 pp.
3. Ajayi, O., and A. M. Dewar. 1983. The effect of barley yellow dwarf virus on field populations of the cereal aphids, *Sitobion avenae* and *Metopolophium dirhodum*. *Ann. Appl. Biol.* 103(1): 1-11.
4. Araya, J. E. 1985. Studies of biology and control of *Rhopalosiphum padi* (L.) in selected wheat and oat cultivars with seed systemic insecticides. Ph. D. thesis, Purdue University, W. Lafayette, Indiana. 134 pp.
5. Araya, J. E., and J. E. Foster. 1983. A key for

- identification of some economically important species of cereal aphids (Homoptera: Aphididae). Purdue University Agric. Exp. Stn. Bull. N° 429. 11 pp.
6. Bremer, K. 1965. Characteristics of the barley yellow dwarf virus in Finland. *Ann. Agric. Fenn.* 4(2): 105-120.
 7. Chen, B. H. 1982. Cereal host interaction with the bird-cherry oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (L.). M. S. thesis, Purdue University, W. Lafayette, Indiana. 96 pp.
 8. Day, K. M., H. W. Ohm, F. L. Patterson, O. W. Luetkemeier, J. J. Roberts, C. L. Harms, G. E. Shaner, D. M. Huber, D. H. Scott, and J. E. Foster. 1983. Performance and adaptation of small grains in Indiana. Purdue University Agric. Exp. Stn. Bull. N° 423. 24 pp.
 9. Dixon, A. F. G. 1973. Biology of aphids. The Institute of Biology's Studies in Biology N° 4. Publ. by Edward Arnold Ltd., The Camelot Press Ltd., London. 58 pp.
 10. Gildow, F. W. 1980. Increased production of alated by aphids reared on oats infected with barley yellow dwarf virus. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 73(3): 343-347.
 11. Gill, C. C., and D. R. Metcalfe. 1977. Resistance in barley to the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis*. *Can. J. Plant Sci.* 57(4): 1063-1070.
 12. Kennedy, J. S. 1951. A biological approach to plant viruses. *Nature*, London 168(4282): 890-894.
 13. Kolbe, W., and W. Linke. 1974. Studies of cereal aphids: their occurrence, effect on yield in relation to density levels and their control. *Ann. Appl. Biol.* 77 (1): 85-87.
 14. Kudagamage, C. 1980. Plant resistance studies of cereals and *Rhopalosiphum padi* (L.). M. S. thesis, Purdue University, W. Lafayette, Indiana. 123 pp.
 15. Kuroli, G. 1984. Laboratory investigation of the ontogenesis of oat aphids (*Rhopalosiphum padi* L.). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 97(1): 71-76.
 16. Laurema, S., M. Markkula, and M. Raatikainen. 1966. The effect of virus diseases transmitted by the leafhopper *Javesella pellucida* (F.) on the concentration of free amino acids in oats and in the reproduction of aphids. *Ann. Agric. Fenn.* 5(2): 94-99.
 17. Leather, S. R., and A. F. G. Dixon. 1982. Secondary host preferences and reproduction of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi*. *Ann. Appl. Biol.* 101(2): 219-228.
 18. Markkula, M., and S. Laurema. 1964. Changes in the concentration of free amino acids in plants induced by virus diseases and the reproduction of aphids. *Ann. Agric. Fenn.* 3(4): 265-271.
 19. Markkula, M., and S. Myllimaki. 1963. Biological studies of cereal aphids, *Rhopalosiphum padi* (L.), *Macrosiphum avenae* (F.), and *Acyrtosiphum dirhodum* (Wlk.) (Hom., Aphididae). *Ibid.* 2(8): 33-43.
 20. Miller, J. W., and B. F. Coon. 1964. The effect of barley yellow dwarf virus on the biology of its vector the English grain aphid, *Macrosiphum graminum*. *J. Econ. Entomol.* 57(6): 970-974.
 21. Oswald, J. W., and B. R. Houston. 1953a. Host range and epiphytology of the cereal yellow dwarf virus. *Phytopathology* 43(6): 309-313.
 22. Oswald, J. W., and B. R. Houston. 1953b. The yellow dwarf virus disease of cereal crops. *Ibid.* 43(12): 128-136.
 23. Painter, R. H. 1951. *Insect Resistance in Crop Plants*. Macmillan, New York. 520 pp.
 24. Reitz, L. P. 1967. World distribution and importance of wheat. Chapter 1: 1-18 in, K. S. Quisenberry, and L. P. Reitz (eds.), *Wheat and Wheat Improvement*. Agronomy N° 13, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 560 pp.
 25. Roberts, J. J., and J. E. Foster. 1983. Effect of leaf pubescence in wheat on the bird cherry oat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 76(6): 1320-1322.
 26. Roberts, J. J., F. L. Patterson, J. E. Foster, and W. J. Hinsman. 1983. Increased productivity of Purdue USDA soft red winter wheat cultivars - a major return from research. Purdue University Agric. Exp. Stn. Bull. N° 424. 13 pp.
 27. Robinson, A. G., and S. Hsu. 1963. Host plant records and biology of aphids on cereal grains and grasses in Manitoba (Homoptera: Aphididae). *Can. Entomol.* 95(2): 134-137.
 28. Rochow, W. F. 1958. The role of aphids in vector specificity of barley yellow dwarf virus. *Plant Disease Rep.* 42(8): 905-908.
 29. Stern, V. M. 1967. Control of the aphids attacking barley and analysis of yield increases in the Imperial Valley, California. *J. Econ. Entomol.* 60(2): 485-490.
 30. Suss, L., e M. Colombo. 1982. Gli afidi dei cereali. *Informatore Fitopatologico* 32(6): 7-12.
 31. Tciraault, R. C., J. T. Schulz, and R. G. Timian. 1963. Effects of population levels of three aphid species on barley yellow dwarf virus transmission. *Plant Disease Rep.* 47(10): 906-908.
 32. Villanueva B., J. R. and F. E. Strong. 1964. Laboratory studies on the biology of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae). *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 57(5): 609-613.