



4 TOXICIDAD DE MANGANESO EN PLANTAS DE ARÁNDANOS EN LA ZONA NORTE

Angélica Salvatierra G.
asalvatierra@inia.cl
Karina Ruiz C.
kbruiz@gmail.com
Carlos Sierra B.
csierra@inia.cl

4.1 Introducción

En los primeros huertos establecidos en la región de Coquimbo, se observaba una sintomatología visual de pecas en el envés de las hojas que se manifestaban en pleno verano, especialmente en O'Neal y rara vez en Misty. Según literatura y coincidentes con los análisis foliares efectuados, esta sintomatología se asociaba a altos niveles de manganeso. A modo de ejemplo, en un huerto experimental de arándanos, ubicado en el sector de Las Cañas en el valle de Choapa, en el verano la concentración foliar de manganeso en el cv. O'Neal alcanzó 1000 ppm (Sierra *et al.*, 2006). Estas concentraciones están fuera del rango foliar establecido como adecuado (Eck, 1988).

Los suelos del norte tienen naturalmente altos contenidos de manganeso total y también niveles moderadamente altos de manganeso disponible. Por otra parte, también algunos sustratos tales como el aserrín de pino y el capotillo de arroz contienen este elemento, que puede quedar disponible cuando se aplican prácticas de manejo, como la acidificación de sustrato o un mal manejo del agua de riego. Es importante destacar que los factores del suelo que aumentan la disponibilidad de manganeso son: pH bajo ó, exceso de humedad en el suelo e incremento de la temperatura del suelo.

Cuando el pH disminuye por efecto de la acidulación del agua de riego, o por efecto natural, producto de la mineralización de la materia orgánica, el manganeso aumenta su solubilidad en la solución suelo dejándolo disponible para las raíces de las plantas. Por otra parte, el efecto del exceso de humedad, genera condiciones que promueven la reducción en el suelo lo que favorece el paso del manganeso oxidado Mn^{+3} a Manganeso reducido Mn^{+2} que es más soluble, fenómeno similar ocurre en el caso del hierro.

En cuanto a la temperatura, en verano el sustrato-suelo puede alcanzar niveles de temperatura mayores de 24°C (Reichmann, 2002), lo que puede promover la liberación de manganeso disponible en el suelo coincidente con el momento de mayor absorción por la planta debido a la alta transpiración que ocurre en esta época. Por lo tanto, la intoxicación de las plantas de arándanos por manganeso ocurre normalmente en la época del estío. Otro aspecto a considerar es que los distintos cultivares presentan distinta selectividad radicular para absorber



manganeso. A diferencia de otros iones tóxicos, como el aluminio que sube escasamente por el xilema y por lo tanto se acumula en las raíces, produciendo toxicidad a este nivel, el manganeso asciende con facilidad por el xilema y se acumula en las hojas maduras.

Se reconoce en la literatura que los factores que pueden mitigar la toxicidad por manganeso son la materia orgánica y la competencia con otros cationes como el potasio,

Las aplicaciones de materia orgánica forma uniones débiles complejando al manganeso, se ha observado que al agregar materia orgánica al suelo se produce un aumento del contenido de manganeso entre un 10 al 55 %. Sin embargo, esta relación depende del tipo de materia orgánica aplicada.

Si bien, los arándanos, se definen como plantas acumuladoras de manganeso (Eck, 1988; Korkac, 1988), las variedades, dependiendo de su origen genético, responden en forma diferente, a un exceso de manganeso.

A la fecha, los pocos estudios sobre toxicidad de manganeso en arándanos señalan que con niveles foliares superiores a 1200 ppm, dependiendo de la especie, se ven más o menos afectados en su crecimiento, sin detectar una sintomatología visual extrema más allá que clorosis (Korkac, 1988; Tamada, 1997; Spiers, 1978).

Morikawa y Saigusa (2004) encontraron en Bluecrop (*V. corymbosum*) células epidermales con alto nivel de Sílice, planteándose como hipótesis que esto sea un mecanismo de tolerancia a metales, relacionándolo con los contenidos de manganeso presentes en las hojas. A nivel nacional, Bañados, 2009, relacionó una concentración de manganeso foliar de 470 mg/kg con un desarrollo anormal de brotes en el cv. O'Neal, bajo condiciones de campo en la zona Central.

4.2 Experiencias en la zona norte

De acuerdo a los antecedentes que se tenían en las plantaciones de la zona norte, y con el fin de determinar el efecto tóxico y la sintomatología así como también la forma de mitigar este elemento en la solución suelo, se realizaron tres ensayos cuyos resultados se presentan a continuación.

4.2.1 Efecto de altas concentraciones de Mn al establecimiento de O'Neal

El primer ensayo fue en plantas de la variedad O'Neal en macetas con un sustrato inerte de perlita, las cuales se sometieron a diferentes concentraciones de manganeso a meses del establecimiento hasta la primera producción. Los demás nutrientes fueron aplicados a través de una solución nutritiva completa.

La concentración foliar de manganeso aumentó en la medida que aumentaba



la aplicación de manganeso (Cuadro 4.1). Sin embargo, a pesar que el Mn sobrepasó el valor máximo de 350 ppm de acuerdo al estándar foliar establecido, el crecimiento expresado como la longitud y la producción no se vieron afectados, aunque esta última tendería a disminuir, un 40 % menos que el tratamiento testigo en la medida que la concentración foliar de Mn aumenta.

Cuadro 4.1. Concentración foliar, crecimiento vegetativo y rendimiento para dosis crecientes de manganeso en cv. O'Neal en macetas con sustrato perlita.

Variable	Fecha de muestreo	Tratamientos (μ moles de Mn)			
		0	10	145	1165
Concentración foliar (ppm)	Noviembre de 2006	75	135	465	785
Longitud total de brotes (cm.)	Enero 2007	1445 a	1412 a	1489 a	1465 a
Rendimiento (g/planta)	Sep- Diciembre 2006	370 a	302 a	306 a	218 a

Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias significativas según Duncan ($p < 0.05$)

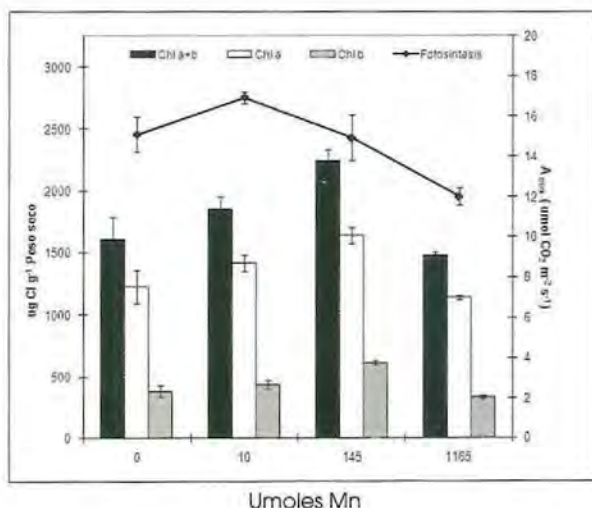


Figura 4.1. Contenido de clorofilas y Fotosíntesis en hojas bajo diferentes concentraciones de manganeso en Enero de 2007.



A nivel fisiológico, se observó que los niveles de fotosíntesis (Asimilación máxima, A máx.) de los tratamientos con alta concentración de Mn, disminuyen con respecto a las plantas sin o con bajo nivel de este elemento aplicado a través del riego. Se observa que al incrementar el Mn sobre 10 μ moles en una solución, se produce una disminución de la fotosíntesis. El mismo efecto se observa en el contenido de clorofilas que se ve afectado negativamente debido a la más alta concentración de Mn, 1165 μ moles. (Figura 4.1). Este mismo efecto ha sido observado en otras especies, como tabaco, trigo, arroz, abedul, olmo y *Acer spp.* (Li, *et al.*, 2010)

Sintomatologías visuales asociadas a un crecimiento anormal o toxicidad, como describió Bañados (2009) en cv. O'Neal creciendo bajo condiciones de campo, no se observaron en estas plantas que crecían bajo cubierta, durante el periodo de evaluación.

De esta experiencia se concluyó que las plantas en el establecimiento se afectaban fisiológicamente con una concentración foliar de 500 a 700 ppm de Mn. Este nivel de Mn está fuera del rango adecuado establecido, no obstante el crecimiento y rendimiento no fueron afectados. Esto se explica porque si bien las plantas fueron sometidas a una alta concentración de manganeso suministrado a través de la solución nutritiva de riego; el pH y la conductividad eléctrica de la solución de riego, junto a factores ligados al ambiente como temperatura del aire, oxigenación y temperatura de sustrato y, la intensidad de luz no fueron limitantes al crecimiento y desarrollo de la planta, por lo tanto el manganeso no causó daño productivo. Además, bajo las condiciones experimentales, el sustrato perlita evitó su acumulación impidiendo así una mayor absorción de manganeso y el posible desbalance nutricional con otros nutrientes. Esto ayudaría a explicar el escaso efecto tóxico observado.

4.2.2 Relación de radiación sobre el efecto de manganeso en O'Neal

A partir de los resultados anteriormente descritos se realizó, en La Serena un segundo ensayo donde las plantas fueron sometidas a dos condiciones: bajo cubierta de polietileno y al aire libre, creciendo esta vez en un sustrato de suelo de la zona y perlita en maceta, regado con una solución nutritiva con todos los elementos y con concentraciones crecientes de Mn.

Como se mencionó anteriormente, las plantas de arándanos acumulan Mn, por lo tanto en la medida que este elemento está disponible en alta concentración, el Mn foliar aumenta. En este ensayo la concentración foliar fue mayor, alcanzando valores por sobre los 2000 ppm en aquellos tratamientos con la dosis más alta de Mn (Figura 4.2).

A nivel fisiológico esto significó un comportamiento distinto según la condición de las plantas y la dosis de Mn suministrada. En aquellas plantas manejadas bajo cubierta el contenido de clorofilas (a, b, a+b) no se vio alterado en la medida que

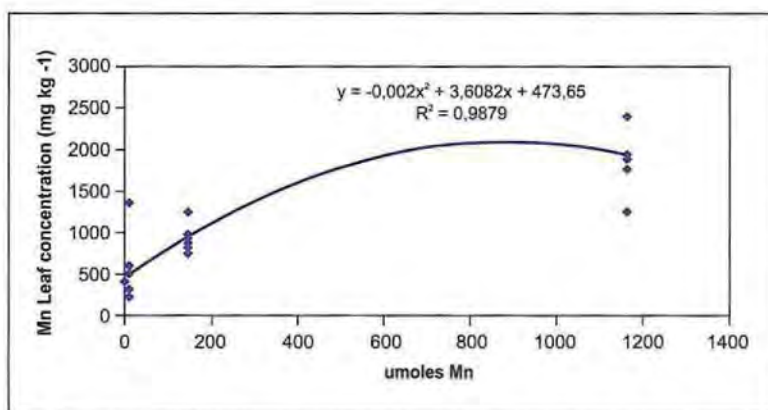


Figura 4.2. Relación entre la dosis de Manganeso de solución de riego y la absorción foliar de este elemento por cv. O'Neal.

la concentración de Mn se incrementaba y, la fotosíntesis se vio fortalecida. Mientras que aquellas que estaban expuestas al aire libre el contenido de clorofilas y la tasa fotosintética disminuyeron a dosis creciente de Mn según se indica en la Figura 4.3.

Bajo estas condiciones, se observó una interacción negativa entre las altas concentraciones de Mn y la condición al aire libre, disminuyendo la producción a 800 g/ planta versus 1200 g/ planta creciendo bajo cubierta (Cuadro 4.2).

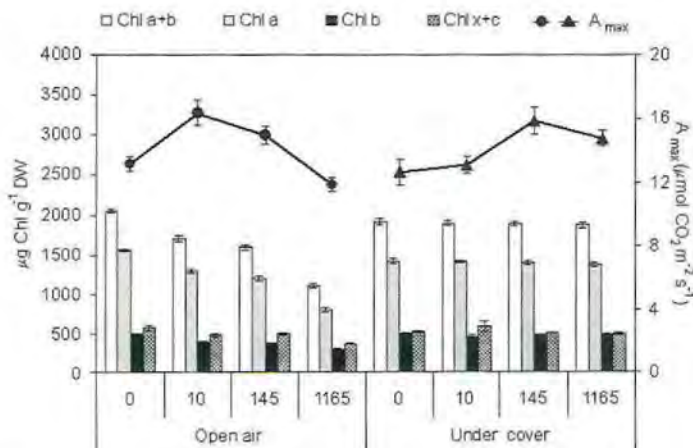


Figura 4.3. Contenido de clorofilas y tasa fotosintética en plantas O'Neal bajo dos condiciones ambientales y dosis creciente de Manganeso.

Cuadro 4.2. Efecto de la interacción dosis de Mn en la solución de riego y condición ambiental sobre el rendimiento (g/planta) de cv. O'Neal

TRAT Mn (µmoles)	CONDICIONES			
	Aire Libre		Bajo cubierta	
	Rendimiento (g/planta)			
0	1077 a	A	847 b	A
10	1022 a	A	938 ab	A
145	821 a	B	1205 a	A
1165	863 a	B	1201 a	A

Letras minúsculas distintas en la columna indican que hay diferencias entre dosis para cada condición. Letras mayúsculas distintas en la misma fila indican que hay diferencias entre condiciones para cada dosis. Test Duncan $p < 0.05$

La mayor producción observada en plantas creciendo con altos niveles de Mn bajo cubierta, puede ser explicado por lo observado en Marzo de 2008, es decir las plantas bajo invernadero, independientemente de las dosis de Mn, mantienen mayores tasas de asimilación de CO_2 hacia fines de la temporada cuando las plantas comienzan a entrar en receso y guardar reservas. Mientras que en las plantas al aire libre y sometidas a una alta concentración de Mn, parámetros de asimilación de CO_2 (A max) se ve disminuido (Figura 4.4), lo cual podría afectar finalmente la cantidad de reservas para la temporada siguiente de crecimiento. Asimismo, se observó que las plantas bajo cubierta entraron en receso en forma más tardía que las plantas al aire libre, por lo tanto producirían mayor cantidad de reservas que irían a suplir las demandas de carbohidratos para el crecimiento de los frutos en los primeros estadios, cuando se está en ausencia aún de hojas nuevas. Esto mejoraría el tamaño de los frutos y por ende la producción por planta bajo cubierta. Sobre el cultivo del arándano, la presencia de una malla sombreadora o atenuante de la intensidad lumínica, la cual es característica de ambientes áridos y con escasa cobertura vegetal, podría ser una alternativa para mejorar la productividad del arándano en la zona norte, dado que bajo cubierta las plantas encuentran un mejor micro-ambiente donde expresar toda su potencialidad.

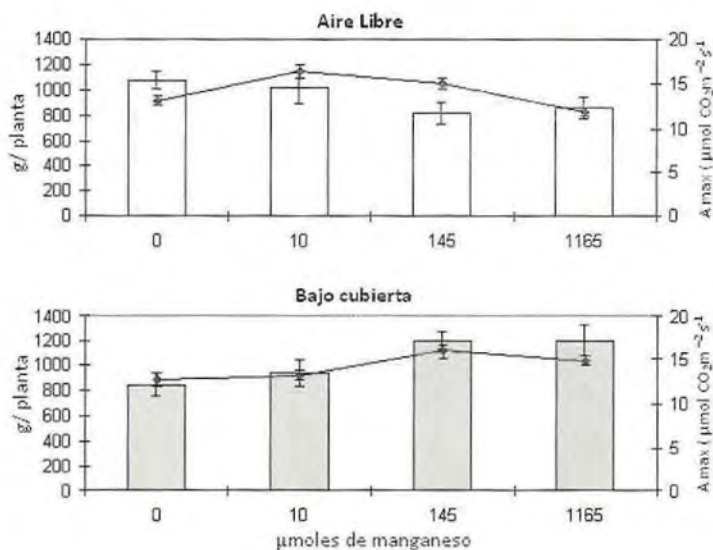


Figura 4.4. Producción (g/planta) versus Fotosíntesis (Asimilación máxima de CO₂ m⁻² s⁻¹) de plantas cv. O'Neal sometidas a dosis crecientes de manganeso y a dos condiciones ambientales.

Una sintomatología visual típica que indica un exceso de Mn son las pecas o puntos necrosados en el envés de las hojas (Figura 4.5).

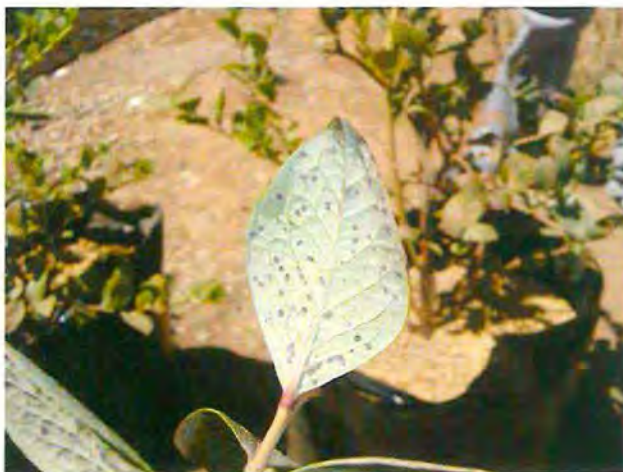


Figura 4.5. Sintomatología visual, pecas al envés de hojas, asociada a toxicidad de Manganeso



4.2.3 Formas de Mitigación de Manganeso

Bajo las condiciones de la zona Norte los niveles foliares más frecuentes de manganeso son variables y generalmente están bajo los 500 ppm. Sin embargo, hay antecedentes de huertos donde en determinado momento este nivel se sobrepasa largamente (Sierra, *et al.*, 2006). Probablemente esta alza repentina de la absorción de Mn por las plantas esté ligada a una condición de mal manejo especialmente en lo que se refiere a una falta de oxigenación por exceso de riego o una excesiva acidificación.

Resultados de un ensayo en el cultivar Misty, el cual generalmente presenta concentraciones menores de Mn en sus hojas nos demuestra que el color de maceta (por efecto sobre la temperatura del suelo) influye en la acumulación de Mn y el rendimiento, más allá de la aplicación de potasio en sus dos formas como sulfato de potasio o como extracto húmico, éste último también es un compuesto orgánico que aplicado en grandes cantidades tiene la capacidad de evitar la mayor disponibilidad del Mn en el sustrato (Cuadro 4.3).

Las plantas expuestas a la radiación de Vicuña, y establecidas en un sustrato de capotillo de arroz y suelo, el cual contenía Mn disponible promedio de 50 mg/kg, presentaron una concentración foliar de Mn generalmente mayor que en aquellas plantas establecidas en macetas blancas. En esas condiciones al aplicarse potasio, en cualquiera de sus formas (sulfato de potasio o extracto húmico), los rendimientos no variaron y los rangos de Mn se mantuvieron dentro del rango adecuado establecido en el estándar foliar. Mientras que en las macetas negras, se observó que el potasio al parecer cumple un rol de mitigación ya que los niveles de Mn foliar en esos tratamientos, son iguales a los de maceta blanca, manteniéndose dentro de un rango moderado, excepto el tratamiento testigo en maceta negra. Sin embargo, los rendimientos disminuyen con respecto al de la maceta blanca, pero esto no se relaciona con la concentración foliar de Mn observado. Esto podría explicarse por otro efecto adverso cual es la temperatura del sustrato, la cual afectaría el crecimiento de raíces y también del crecimiento de brotes, afectando finalmente la producción.

Los mayores rendimientos de fruta por planta se logran con las macetas blancas y mulch, más de 800 g/planta de fruta.

En cuanto a las temperaturas de sustrato, como se menciona en el capítulo 6 se puede observar que en horas de mayor temperatura, las diferencias son notables entre una maceta blanca y una negra.



Cuadro 4.3: Rendimiento de Misty (g/ planta) y concentración foliar de Mn (ppm) de plantas var. Misty establecidas en macetas blancas y negras.

Tratamiento	Color de maceta	Peso Total g/planta	Mn ppm
Testigo	blanca + mulch	825,4 a	340 b
Extracto Húmico		868,4 a	293 b
Sulfato K		874,6 a	295 b
Sulfato K + Extracto Húmico		755,7 abc	221 b
Testigo	negra	642,4 bcd	529 a
Extracto Húmico		697,2 abc	373 ab
Sulfato K		597,8 abc	353 b
Sulfato K + Extracto Húmico		449,2 d	285 b
C.V. (%)		20,24	26,6
Pr <0,05		0,0007	0,03

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas según test de Tukey $p < 0,05$

4.3 Conclusiones

El manganeso es un elemento que presenta una gran disponibilidad potencial en los suelos de la región, especialmente aquellos de origen granítico. Además, algunos sustratos presentan una mayor concentración de manganeso total y disponible. Esto sumado a los factores de manejo puede promover una intoxicación de las plantas por este elemento. La disponibilidad de manganeso está directamente relacionada con las pautas de manejo a implementar y con la absorción por parte de las plantas lo cual dependerá de la variedad, sin embargo estas plantas se caracterizan por ser acumuladoras de manganeso. A la fecha hay indicadores que las plantas manifestarían un efecto negativo sobre el crecimiento y la producción por lo que se sugiere evaluar los factores críticos que afectan la disponibilidad de manganeso como tipo de sustrato, temperatura del sustrato, pH, exceso de humedad y las características de la variedad en relación a este elemento. Las formas de mitigar el manganeso presente en el sustrato es a través de un buen manejo en relación a un control optimizado de riego y fertilización. En zonas con excesiva radiación se debe considerar el color de las macetas, el uso de mulch, malla sombreadora y el tipo de sustrato.



4.4 Referencias consultadas

- Ballington, J. R., C.M. Mainland, S.D. Duke, A.D. Draper and G.J. Galletta. 1990. O'Neal southern highbush blueberry. Hortscience 25(6): 711-712
- Bañados, M.P., F. Ibáñez, and A.M. Toso. 2009. Manganese toxicity induces abnormal shoot growth in 'O'Neal' Blueberry. Acta Hort. (ISHS) 810:509-512.
- Crawford, T.W. Jr., Stroehlein, J. L. and Kuehl, R. O. 1989. Manganese and rates of growth and mineral accumulation in cucumber. Journal of the American Society for Horticultural Science. 114, 300-306.
- Eck, P. 1988. Blueberry Science. 284 p. Rutgers University Press. EE.UU.
- Elamin, O. M. and Wilcox, G. E. 1986a. Effect of magnesium and manganese nutrition on muskmelon growth and manganese toxicity. Journal of the American Society for Horticultural Science. 111, 582-587.
- Elamin, O. M. and Wilcox, G. E. 1986b. Effect of magnesium and manganese nutrition on watermelon growth and manganese toxicity. Journal of the American Society for Horticultural Science. 111, 588-593.
- Fecht-Christoffers, M. and Hans-Meter B. 2003. Effect of manganese toxicity on the proteome of the leaf apoplast in cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant Physiol. 133 (4):1935-1946.
- Foy, C. D., Weil, R. R. and Coradetti, C. A. 1995. Differential manganese tolerances of cotton genotypes in nutrient solution. Journal of Plant Nutrition. 18: 685-706.
- Horst, W., J. Maier, P., Naumann A.; Wissemeyer, A.H. 1999. The physiology of manganese toxicity and tolerance in *Vigna unguiculata* (L.) J. Planta Nutr. Soil Sci. 162: 263-274
- Korcak, R.F. 1988. Response of Blueberry species to excessive Manganese. J. Amer. Hort. Sci. 113(2):189-193.
- Lyrene, P. 1997. Misty Southern highbush blueberry. Hortscience 32(7):1297-1298.
- Li, Q., S.C Li, H.X. Jlang, N. Tang, L. T. Yang, Z.H. Li, Y. Li, G.H. Yang. 2010. Effects of manganese-excess on CO₂ assimilation, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport of leaves, and antioxidant systems of leaves and roots in *Citrus grandis* seedlings. BMC Plant biology 2010, 10:42.



- Macfie, S. M. and Taylor, G. J. 1992. The effects of excess manganese on photosynthetic rate and concentration of chlorophyll in *Triticum aestivum* grown in solution culture. *Physiologia Plantarum*. 85: 467-475.
- Reichmann, S. M. 2002. The responses of plants to metal toxicity: A review focusing on copper, manganese and zinc. Paper N°14. Published by The Australian minerals & energy environment foundation. ISBN 1-876205-13-X.
- Sierra, C., A. Salvatierra y F. Meza. 2006. Estado nutricional de variedades de arándano en el Choapa. *Tierra Adentro* (Chile). (70): 32-34.
- Tamada, T. 1997. Effect of manganese, copper, zinc and aluminium application rates on the growth and composition of Woodard rabbiteye blueberry. *Acta Horticulturae* 446: 497-506.