

RESPUESTA DEL CRISANTEMO A LA APLICACIÓN FOLIAR DE METANOL Y FUENTE DE NITRÓGENO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

Chrysanthemum Response to Foliar Methanol Application and Nitrogen Source in Nutrient Solution

J. Pineda-Pineda^{1‡}, F. Sánchez del Castillo², A. M. Castillo-González², A. Vázquez-Alarcón¹,
E. Contreras-Magaña² y E. del C. Moreno-Pérez²

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la respuesta del cultivo de crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum*) cv Indianápolis a la aplicación de diferentes fuentes de nitrógeno (NO_3^- , NH_4^+ , $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) en la solución nutritiva y aspersiones foliares (0, 5 y 10% v/v) de metanol como fuente de carbono, en condiciones de radiación ($> 550 \text{ watt m}^{-2}$) y temperaturas altas (30-35 °C) y humedad relativa baja ($< 60\%$). Las variables que se midieron fueron altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de hoja, tallo y flor; peso seco de hoja, tallo y flor; diámetro de flor, vida de anaquel de las flores y concentración foliar de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre (Cu). Sólo para la concentración de P en hoja se presentó interacción entre las fuentes de N y la aplicación foliar de metanol. No se observó respuesta a metanol cuando se utilizó urea en la solución nutritiva, pero el NH_4^+ y NO_3^- o la combinación de ambos con 5% de metanol disminuyeron (10-15%) la concentración de P y lo aumentaron (20-25%) con 10% de metanol. La combinación 50% NO_3^- + 50% NH_4^+ en la solución nutritiva incrementó la concentración de P (35%), K (5%), Ca (24%), Zn (86%), Cu (36%) y Mn (332%) en el follaje. La aplicación foliar (5 ó 10% v/v) de metanol aumentó la concentración de N (54%), P (13%) y K (6%), pero disminuyó la de Ca (54%), Mg (7%) y Cu (27%). Sin embargo, en crecimiento sólo se observaron efectos negativos para peso fresco de hoja, tallo y total (hoja + tallo + flor) y peso seco de hoja por la aplicación foliar de metanol al 5%.

¹ Departamento de Suelos, ² Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

[‡] Autor responsable (pinedapjoel@yahoo.com.mx)

Recibido: diciembre de 2005. Aceptado: diciembre de 2009.

Publicado en Terra Latinoamericana 28: 129-137.

Palabras clave: nutrición, hidroponía, nitrato, amonio, urea, alcohol.

SUMMARY

This work was conducted to evaluate the effect of nitrogen sources (NO_3^- , NH_4^+ , $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) in combination with three levels (0, 5, and 10% v/v) of foliar methanol application as a source of C on the growth of chrysanthemum (*Dendranthema x grandiflorum*) cv. Indianapolis under conditions of high temperature (30-35 °C), radiation $> 550 \text{ watt m}^{-2}$ and low relative humidity ($< 60\%$). The variables measured were plant height, stem and flower diameter; leaf, stem and flower fresh weight; leaf, stem and flower dry weight; flower shelf-life and leaf nutrient concentration of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), and manganese (Mn). Of the tested variables, only P concentrations in leaves showed interaction between N sources and foliar methanol application. P in leaves did not respond to methanol when nutrient solution contained urea, but NH_4^+ and NO_3^- or both in combination with 5% methanol reduced P concentration (10-15%) and with 10% methanol increased it (20-25%). The combination 50% NO_3^- + 50% NH_4^+ (ammonium nitrate) increased the concentration of P (35%), K (5%), Ca (24%), Zn (86%), Cu (36%), and Mn (332%) in leaves, while foliar methanol application (5 or 10% v/v) increased N (54%), P (13%) and K (6%), but reduced Ca (54%), Mg (7%), and Cu (27%) concentration. In plant growth, negative effects were observed only with foliar solution of 5% methanol which affected leaf, stem and total fresh weight (leaf + stem + flower) and leaf dry weight.

Index words: nutrition, hydroponics, nitrate, ammonium, urea, alcohol.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los suelos, si se aplica urea o amonio estos se transformarán a NO_3^- por la hidrólisis y nitrificación (Havlin *et al.*, 2005), pero en medios hidropónicos esta transformación es mínima, por lo que la fuente de N producirá diferencias en la respuesta de la planta debido a la forma química (NO_3^- , NH_4^+ , $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) disponible. Estas moléculas son fácilmente absorbidas, pero con efectos fisiológicos y metabólicos diferentes (Bidwell, 1993; Resh, 1996) y se observan cambios en el pH de la rizósfera (Marschner, 1995), en el contenido de carbohidratos y aminoácidos tanto en la raíz como en follaje (Raab y Terry, 1995) y en la absorción y transporte de otros nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- y Cl^-) (Mengel y Kirkby, 2001). También el sitio de asimilación y el consumo de energía es diferente; el NH_4^+ se incorpora rápidamente a la síntesis de compuestos orgánicos nitrogenados (glutamina, asparagina y otros aminoácidos) en la raíz gastando 5 mol de ATP por cada mol de NH_4^+ , mientras que la mayor parte del NO_3^- se transporta hacia las hojas donde ocurre la asimilación con un consumo de 15-16 mol de ATP (Salsac *et al.*, 1987). Si la planta absorbe urea ocurrirá una hidrólisis para formar NH_4^+ ya sea en la raíz o en las hojas, dependiendo de la presencia de la enzima ureasa (Haynes, 1986).

La asimilación del NH_4^+ por el sistema enzimático GS-GOGAT para formar glutamina y glutamato, requiere un suministro de compuestos carbonados, tanto en la raíz como en las hojas. En la raíz se requiere carbono directamente como α -oxoglutarato (el cual se produce por metabolismo de sacarosa a través de la glicólisis y ciclo de Krebs) e indirectamente para la generación de poder reductor (ferredoxina) en los plastidios. En las hojas, las triosas-fosfato (de la fotosíntesis) a través de la glicólisis y ciclo de Krebs forman también α -oxoglutarato, el cual podría ser el factor limitante para la asimilación de NH_4^+ (Monselise y Kost, 1993). Se considera también, que cuando se suministra urea y se hidroliza para formar NH_4^+ se libera CO_2 y al parecer no hay diferencia en la incorporación y distribución de carbono proveniente de la urea y el CO_2 de la atmósfera (Bidwell, 1993).

Raab y Terry (1995) encontraron en remolacha (*Beta vulgaris* L.) un incremento en la actividad de las enzimas del metabolismo del N (GS-GOGAT), de la glicólisis y ciclo de Krebs (piruvato deshidrogenasa) cuando se reemplazó al nitrato por amonio en la solución

nutritiva, lo que se relacionó con mayor cantidad de aminoácidos libres, tanto en raíz (ácido aspártico, ácido amino-butírico, glutamina, ácido glutámico, serina y glicina) como en hojas (glutamina, arginina, serina, ácido glutámico), así como una disminución en la cantidad de almidón, sacarosa y maltosa en el follaje. De esta manera, el consumo de carbono fijado durante la asimilación de NH_4^+ , podría disminuir apreciablemente la cantidad de carbohidratos almacenados en el tejido (Raab y Terry, 1995).

Con relación al metanol, se ha encontrado que tiene influencia sobre algunos procesos fisiológicos y componentes del rendimiento en vegetales. Nonomura y Benson (1992a, 1992b) indican que en condiciones de temperatura y luminosidad alta y humedad relativa baja, el uso del metanol ayudó al crecimiento e incrementó los rendimientos en plantas con ruta fotosintética C_3 . En algodón (*Gossypium hirsutum* L.), la aplicación foliar de metanol al 30% incrementó la turgencia de las hojas, se logró un aumento en peso de 15% y el capullo maduró 2 semanas antes que el testigo. En jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.), la ganancia de crecimiento en plantas asperjadas 3 veces con metanol fue de 10%, las plantas mostraron mayor número de entrenudos, los tallos y las hojas presentaron de 25-50% mayor grosor, la fructificación empezó 5 a 10 días antes y los frutos incrementaron en promedio 10 a 12% su contenido de azúcar. En rosa (*Rosa* spp L.) la aplicación foliar de metanol promovió el desarrollo de follaje y más tallos por planta, adelantando en promedio 15 días el tiempo de cosecha. En col (*Brassica oleracea capitata* L.), aplicaciones foliares de metanol al 20%, aumentaron la turgencia, mientras que los testigos se marchitaron. Los mismos tratamientos pero aplicados en condiciones invernales (temperaturas frías, baja radiación y lluvias frecuentes, alta humedad relativa), no tuvieron ningún efecto.

En varios cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) aplicaciones de metanol (50%, v/v) disminuyeron la tasa de transpiración en 36% en el cv. Julie, 46% en Graham y 38% en Atkins, lo que aumentó la eficiencia de uso del agua; así mismo, los brotes florales de plantas tratadas con metanol fueron más largos en Graham y Atkins e incrementaron el número de flores en Graham (Shongwe y Nkrumah, 1996).

Yuncong *et al.* (1995) obtuvieron incrementos en el número de vainas por planta, peso y rendimiento de grano de soya (*Glycine max* L.) con aplicaciones de solución foliar de metanol al 25 y 50%.

En contraparte, otros estudios no han mostrado efectos de la aplicación de metanol. McGiffen *et al.* (1995) no encontraron diferencias en crecimiento y rendimiento de limón (*Citrus limon* L.), pasto (*Agrostis palustris* Hunds.), lechuga romanita (*Lactuca sativa* L.), zanahoria (*Daucus carota* L.), maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), chícharo (*Pisum sativum* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.) asperjados con solución al 0, 10, 20 y 30% de metanol; incluso en algunos casos (maíz, chícharo y rábano) la concentración al 30% dañó seriamente al follaje y disminuyó el rendimiento. Tampoco Albretch *et al.* (1995) observaron efecto de metanol a concentraciones de 20 y 40% en trigo, cebada (*Hordeum vulgare* L.) y chícharo.

En algunos experimentos (Nonomura y Benson, 1992a; 1992b) se observó, que con varias aplicaciones de metanol se producían deficiencias de N y concentraciones mayores de 10% con frecuencia fueron fito-tóxicas, efectos que se disminuyeron agregando urea (0.1%), urea-fosfato (0.1%) y glicina (0.1%) a la solución foliar. Se hipotetizó que la glicina ayuda al metabolismo rápido del metanol vía síntesis de serina y otros aminoácidos (McGiffen y Manthey, 1996). Además, Nonomura y Benson (1992a, 1992b) indican que el metabolismo del metanol eficientiza el uso del agua debido a que puede ser utilizado para la síntesis de azúcares lo que a su vez cambia el potencial osmótico de la hoja, dando por resultado mayor turgencia y conductancia estomática, condición que aumenta la tasa de asimilación de CO_2 e inhibe la fotorespiración, reduciendo de esta manera el desperdicio de energía y compuestos orgánicos previamente sintetizados por la planta y generando mayor crecimiento vegetal.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta del crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum*) cv. Indianápolis a la aplicación foliar de metanol y diferentes fuentes de N (NO_3^- , NH_4^+ , $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) en la solución nutritiva, en condiciones de radiación y temperaturas altas y humedad relativa baja, las cuales podrían influir en el metabolismo del metanol como fuente de carbono para la asimilación del N.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero, ubicado en Texcoco, edo. de México, durante los meses de marzo-mayo en los que prevaleció alta radiación

(> 550 watt m^{-2}), temperatura diurna de 30-35 °C y humedad relativa promedio de 60%.

La solución nutritiva se elaboró con fertilizantes comerciales tomando en cuenta la concentración (mg L^{-1}) de soluciones nutritivas cuyo uso se ha generalizado para diferentes cultivos (N:250, P:75, K:250, Ca:300, Mg:75, S:300, Fe:2.5, Mn:1, Zn:0.25, Cu:0.25, B:0.5, Mo:0.15) (Resh, 1996). El pH de la solución se ajustó a 6 usando ácido sulfúrico y clorhídrico.

Se evaluaron 12 tratamientos (factorial 4 x 3) que se formaron por la combinación de 4 fuentes de N ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$, NO_3^- , NH_4^+ , $\text{NO}_3^-+\text{NH}_4^+$, las cuales fueron suministradas con urea, nitrato de calcio, sulfato de amonio y nitrato de amonio, respectivamente) con 3 niveles de aplicación foliar de metanol: 0, 5 y 10% v/v).

Para la distribución de los tratamientos en el invernadero, se usó una cama de 1.2 x 12 m y considerando a lo largo un gradiente de temperatura se empleó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental consistió de 2 macetas de plástico de 19 L de capacidad con 5 plantas cada una y se utilizó sustrato de origen volcánico (tezontle) con tamaño de partículas entre 1-10 mm. Se utilizó solución nutritiva sin recirculación. El requerimiento de riego se determinó usando el promedio diario de agua evapo-transpirada de 4 unidades experimentales. El trasplante se llevó a cabo usando esquejes de crisantemo cv. Indianápolis con 15 - 18 días de enraizados.

La aplicación de metanol se hizo por medio de una aspersión foliar diluida en agua. Se efectuaron aspersiones foliares cada 10 días desde que la planta tenía 20-25 cm de altura hasta la etapa de formación de botón floral (50% de botones visibles), dando en total 5 aplicaciones.

Las variables respuesta que se midieron en cada unidad experimental al final del ciclo fueron: a) altura de planta (cm), b) diámetro de tallo (cm), c) diámetro de flor (cm), d) vida de anaquel de las flores (días), e) peso fresco (g) de hoja, tallo y flor; f) peso seco (g) de hoja, tallo y flor; g) contenido de nutrimentos en el tejido, determinados a partir de una digestión húmeda di-ácida ($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}$ relación 4:1) por el método de microkjeldhal (N), azul de molibdato (P), absorción atómica (Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, y Cu) y flamometría (K). Con los valores de las distintas variables medidas se efectuó un análisis de varianza y una prueba de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el análisis de varianza, sólo la concentración de P en el follaje fue afectado por la interacción entre fuentes de N y aplicación foliar de metanol (Figura 1). Se observó que la mayor concentración de P (0.76%) en el follaje ocurrió en la combinación 50% NO_3^- + 50% NH_4^+ (nitrato de amonio) con solución foliar de metanol al 10%, y la menor concentración (0.46%) de P se encontró en hojas de plantas asperjadas con la combinación de metanol al 5% y fertilizadas con NO_3^- o NH_4^+ , mientras que la combinación de urea y metanol no afectó su concentración en el follaje.

Las diferencias encontradas en el resto de las variables se explican sólo por efecto de la fuente de N o de la aplicación foliar de metanol.

Crecimiento

Para las variables altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), diámetro de flor (DF), peso fresco de flor (PFF), peso fresco total (PFTT), peso seco de tallo (PST) y peso seco de flor (PSF) no se encontraron diferencias estadísticas significativas debido al efecto de las fuentes de N. Sin embargo, para la vida postcosecha (VP), peso fresco de hoja (PFH), peso fresco de tallo (PFT), peso seco de hoja (PSH) y peso

seco total (PSTT) el nitrato de amonio (50% NO_3^- + 50% NH_4^+) fue significativamente superior al sulfato de amonio (100% NH_4^+), lo que esta de acuerdo con lo observado en otros experimentos (King *et al.*, 1995; Raab y Terry, 1995) donde se han evaluado diferentes fuentes de N, concluyendo que los cultivos disminuyeron su crecimiento cuando se usaron altas proporciones de NH_4^+ en el medio de crecimiento y los mejores resultados se obtuvieron cuando se combinó al NO_3^- con NH_4^+ .

También se observó (Cuadro 1) que el crisantemo puede utilizar adecuadamente la urea ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$), ya que produjo efectos similares al nitrato (normalmente la fuente más utilizada), contrario a lo que reporta Resh (1996) y Havlin *et al.* (2005) quienes sugieren sólo utilizar nitrato y excluir al amonio y urea de la solución nutritiva porque pueden ser tóxicos. Al respecto, Harper (1984) menciona que existen plantas que pueden metabolizar completamente la urea como única fuente de N.

Con relación al efecto de la aplicación foliar de metanol no hubo diferencias significativas para las variables altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de flor, vida postcosecha, peso seco de tallo y peso seco de flor (Cuadro 2); pero se observó una disminución significativa en peso fresco de hoja, peso fresco de tallo, peso fresco total y peso seco de hoja cuando se aplicó la solución foliar al 5% de metanol. Las plantas que se asperjaron con solución al 10%

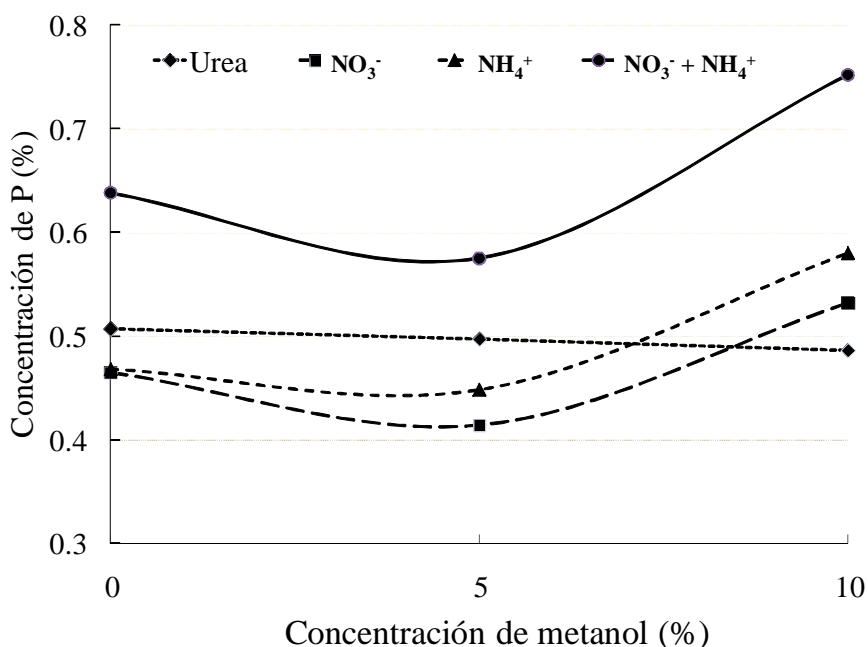


Figura 1. Efecto de la aplicación foliar de metanol y fuentes de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en las hojas de crisantemo cv. Indianápolis.

Cuadro 1. Efecto de la fuente de nitrógeno en la solución nutritiva sobre algunas variables de crecimiento evaluadas al momento de la cosecha en plantas de crisantemo cv. Indianápolis.

Tratamiento	AP	DT	DF	VP	PFH	PFT	PFF	PFTT	PSH	PST	PSF	PSTT
	----- cm -----			días	----- g -----			g planta ⁻¹	----- g -----			g planta ⁻¹
Urea	93.17a	0.73a	12.97a	29.40ab	57.25ab	39.99a	42.75a	140.00a	8.96a	10.43a	5.15a	24.54ab
NO ₃	93.82a	0.74a	13.11a	30.12ab	52.37bc	37.49ab	43.14a	133.01a	8.75a	10.58a	5.29a	24.63ab
NH ₄	93.12a	0.77a	13.18a	28.69b	46.72c	32.94b	36.65a	116.32a	7.51b	9.26a	4.71a	21.49b
NO ₃ +NH ₄	94.08a	0.78a	13.25a	30.868a	60.818a	42.77a	43.05a	146.65a	9.21a	10.52a	5.12a	24.85a
DMS	8.062	0.083	0.503	2.037	7.029	5.512	6.885	15.34	1.145	1.725	0.797	3.18
CV	7.886	10.05	3.49	6.219	11.805	13.122	15.164	10.434	12.13	15.418	14.347	12.142

Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales. CV = coeficiente de variación. DMS = diferencia mínima significativa (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). AP = altura de planta, DT = diámetro de tallo, DF = diámetro de flor, VP = vida poscosecha, PFH = peso fresco de hoja, PFT = peso fresco de tallo, PFF = peso fresco de flor, PFTT = peso fresco total, PSH = peso seco de hoja, PST = peso seco de tallo, PSF = peso seco de flor, PSTT = peso seco total.

de metanol respondieron de manera similar que las no tratadas con metanol, situación que coincide con lo reportado por Albretch *et al.* (1995) quienes tampoco encontraron efecto de la aplicación foliar de metanol en trigo, cebada y chícharo aun cuando se varió la concentración de metanol en la solución (0, 20 y 40%), número de aplicaciones (2 y 4), composición de la solución foliar (sólo metanol, metanol + urea + Fe-EDTA) y aplicación en diferente etapa fenológica (desarrollo vegetativo y antesis).

Contenido Nutricional en el Follaje

En las Figuras 2 y 3 se muestran los resultados del contenido nutricional en el follaje. De acuerdo con el análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), las fuentes de nitrógeno tuvieron efecto con diferencias significativas para P, K, Ca, Zn,

Cu y Mn (Figura 2); mientras que la aplicación foliar de metanol causó diferencias significativas para N, P, K, Ca, Mg y Cu (Figura 3).

Nitrógeno. En la Figura 3 se observa el efecto positivo del metanol sobre la concentración de N en el follaje, el cual se incrementó en aproximadamente 50% con relación al tratamiento sin metanol. Según Nonomura y Benson (1992a, 1992b) el metabolismo del metanol proporciona a la planta esqueletos carbonados (azúcares) que sirven de base para la incorporación de N en aminoácidos.

Fósforo. Se observó que los tratamientos que incluyeron la combinación 50% NO₃⁻ + 50% NH₄⁺ (nitrato de amonio) (Figura 2) y aplicación foliar de metanol (5-10) (Figura 3) incrementaron la concentración de fósforo en el tejido, nutrimento que está involucrado en la síntesis de compuestos orgánicos (α -oxoglutarato, triosas-fosfato) que ayudan al metabolismo de N (Raab y Terry,

Cuadro 2. Efecto de la aplicación foliar de metanol sobre algunas variables de crecimiento evaluadas al momento de la cosecha en plantas de crisantemo cv. Indianápolis.

Metanol	AP	DT	DF	VP	PFH	PFT	PFF	PFTT	PSH	PST	PSF	PSTT
%	----- cm -----			días	----- g -----			g-planta ⁻¹	----- g -----			g planta ⁻¹
0	92.63a	0.743a	13.17a	30.14a	58.66a	39.98a	41.60ab	140.25a	9.13a	10.34a	5.01a	24.48ab
5	91.96a	0.768a	12.97a	29.55a	50.12b	35.12b	38.39b	123.63b	7.80b	9.59a	4.89a	22.28b
10	95.04a	0.764a	13.24a	29.61a	54.09ab	39.80a	44.19a	138.09a	8.89a	10.66a	5.32a	24.87a
DMS	6.338	0.065	0.395	1.596	5.526	4.334	4.510	12.060	0.900	1.360	0.627	2.500
CV	7.88	10.047	3.49	6.22	11.80	13.122	15.164	10.434	12.13	15.42	14.34	12.14

Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales. CV = coeficiente de variación. DMS = diferencia mínima significativa (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). AP = altura de planta, DT = diámetro de tallo, DF = diámetro de flor, VP = vida poscosecha, PFH = peso fresco de la hoja, PFT = peso fresco de tallo, PFF = peso fresco flor, PFTT = peso fresco total, PSH = peso seco de hoja, PST = peso seco de tallo, PSF = peso seco de flor, PSTT = peso seco total.

1995) o bien contribuyendo al metabolismo de metanol en las hojas, por las bacterias metilo-tróficas que degradan metanol para producir CO_2 , ATP y NADH_2 , según lo demostraron Holland y Polacco (1994).

Potasio. La Figura 2 muestra que el tratamiento con NO_3 y la combinación $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ favorecieron

la absorción de K, lo que es congruente con lo observado en otros experimentos (Marschner, 1995). En la Figura 3 se observa un aumento en la concentración de K al aplicar metanol al 5 y 10%. De acuerdo con Nonomura y Benson (1992a) e Idso *et al.* (1995), aplicaciones foliares de metanol en algodón, col y naranja,

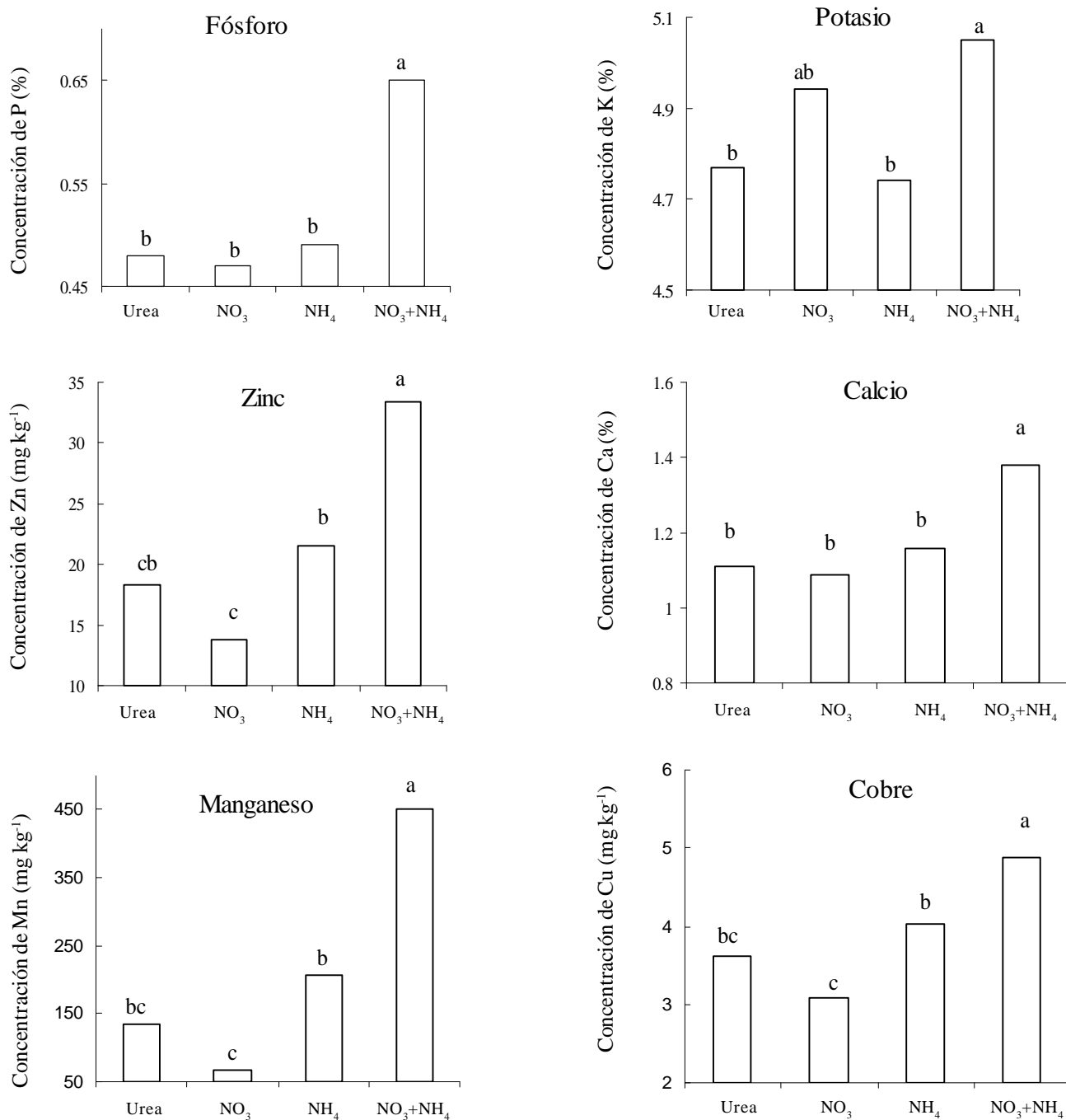


Figura 2. Efecto de la fuente de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo, potasio, calcio, zinc, manganeso y cobre, en el follaje de crisantemo cv. Indianópolis.

incrementaron la turgencia del tejido foliar, la que podría estar relacionada con mayor concentración de en el tejido como la observada en este experimento. Una función del K es controlar la apertura y cierre de estomas (Salisbury y Ross, 1996), lo que modifica la conductancia estomática, entrada y salida de CO₂

y agua, concentración interna y asimilación de CO₂, así como eficiencia en el uso del agua; parámetros que con frecuencia han sido modificados cuando se aplica metanol (Nonomura y Benson, 1992a; 1992b; Idso et al., 1995; Shongue y Nhruman, 1996), sobre todo en ambientes con baja humedad relativa, radiación

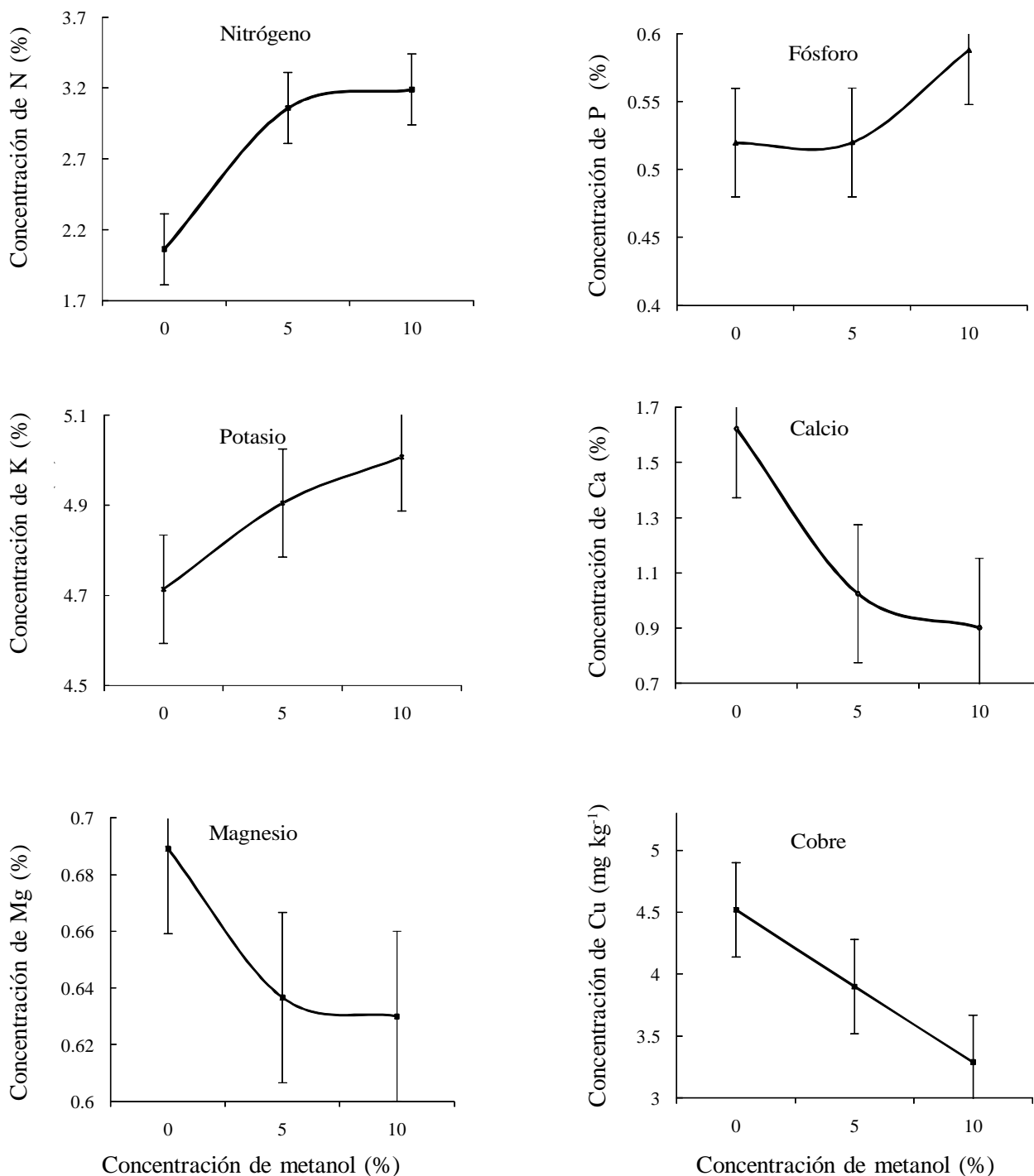


Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de metanol sobre la concentración de fósforo, potasio, calcio, zinc, magnesio y cobre en el follaje de crisantemo cv. Indianápolis.

y temperatura altas, donde se han reportado respuestas positivas a la aplicación de metanol (McGiffen y Manthey 1996; Nonomura y Benson, 1992a).

Calcio y Magnesio. Las fuentes de N no influyeron en la concentración de Ca y Mg en el tejido vegetal (datos no presentados), pero se observó claramente (Figura 3) que a mayor dosis foliar de metanol menor concentración de estos elementos en el follaje. La disminución de Ca y Mg fue aproximadamente de 54 y 7%, respectivamente, en comparación a los tratamientos donde no se aplicó metanol.

Zinc, Cobre y Manganeso. La concentración de Zn, Cu y Mn en el tejido presentó una respuesta similar entre fuentes de N (Figura 2), los contenidos más bajos corresponden al tratamiento con NO_3^- y los más altos para los tratamientos 50% NO_3^- + 50% NH_4^+ y 100% NH_4^+ . Marschner (1995) indica que cuando se incluye al NH_4^+ en el medio de crecimiento se favorece la absorción de algunos micronutrientes, ya que la formación de compuestos orgánicos nitrogenados producto del metabolismo del NH_4^+ en la raíz (asparagina, glutamina, histidina) pueden servir como transportadores de micronutrientes hacia la parte aérea. Para Cu se observó una disminución significativa en el follaje con el incremento en la concentración foliar de metanol (Figura 3).

De acuerdo a lo observado en el contenido nutrimental, es claro que urea, NO_3^- y NH_4^+ al 100% no produjeron los mejores resultados, pero sobresale la combinación de 50% NO_3^- + 50% NH_4^+ favoreciendo la absorción de nutrientes, lo que podría estar relacionado con el mejor crecimiento observado (Cuadro 2).

El aumento en el contenido de N, P y K, y disminución de Ca, Mg y Cu por la aplicación foliar de metanol, no tiene una relación clara con las variables de crecimiento evaluadas, ya que no se observó efecto significativo de la solución foliar al 10% de metanol, pero se produjo una disminución en peso fresco de hoja, tallo y total, así como peso seco de hoja, con la solución foliar al 5% de metanol (Cuadro 3). Al respecto, los resultados de experimentos donde se ha evaluado el efecto de la aplicación de metanol también han sido contradictorios. Faver y Gerik (1996) con aplicaciones de metanol en algodón aumentaron la conductancia estomática, la transpiración y el intercambio de CO_2 , pero no se produjo ningún cambio en fotosíntesis. Lee y Rowland (1994) midieron un aumento en la actividad fotosintética de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) pero no encontraron

incrementos significativos en crecimiento y rendimiento de grano. Según Rodríguez *et al.* (1990) la fotosíntesis puede incrementarse debido a que el metanol promueve la unión de la fructosa-1,6-bisfosfatasa a la membrana del tilacoide, pero concentraciones arriba de 24% de metanol tuvieron efectos negativos debido a que se solubilizan los componentes de la membrana.

Otras investigaciones indican que las plantas producen y emiten metanol, especialmente en las primeras etapas de expansión foliar debido a la desmetilación de las pectinas (Fall y Benson, 1996) y aunque no se conoce la cantidad de metanol que es reciclado (Gout *et al.*, 2000) o sale de la hoja por los estomas (Nemecek-Marshall *et al.*, 1995), las plantas metabolizan el metanol convirtiéndolo en CO_2 . Holland y Polacco (1994) demostraron la presencia de bacterias metilo-tróficas facultativas en todas las hojas de 70 plantas estudiadas, las cuales degradan pectinas metiladas liberando metanol, que luego es consumido produciendo CO_2 , ATP y NADH, sugiriendo que estos últimos podrían aumentar el bombeo de K en las células guarda controlando la apertura y cierre de estomas y por lo tanto la concentración interna de CO_2 y eficiencia en el uso del agua. Según McGiffen y Manthey (1996) las células guarda controlan la apertura estomática a través de flujos de K dependientes del pH celular vía síntesis y degradación de iones orgánicos, reacciones que requieren de grandes cantidades de ATP y NADH_2 . En apoyo a lo anterior, Faver y Gerick (1996) y McGiffen y Manthey (1996) mencionan que las bacterias metilo-tróficas oxidan el metanol a formaldehído, ácido fórmico y finalmente a CO_2 , lo que explicaría la mayor conductancia estomática y asimilación de CO_2 después de aplicar metanol. Posteriormente, Gout *et al.* (2000) demostraron que el metanol entra rápidamente a las células vegetales y es asimilado formando 5,10-metilentetrahidrofolato, 5-metiltetrahidrofolato, S-adenosil-metionina (un donador de grupos metilo en numerosas reacciones de transmetilación) y su consecuente utilización para producir serina, metionina y fosfatidil-colina. Además, el metanol indujo la síntesis de un nuevo compuesto celular, identificado como metil- β -D-glucopiranosida con acción aun desconocida. A la fecha no hay información concluyente que explique totalmente, tanto los efectos positivos como negativos que se han observado por la aplicación foliar de metanol.

CONCLUSIONES

- La interacción entre las fuentes de nitrógeno sólo resultó significativa para la concentración de fósforo en tejido de hoja. No se observó respuesta a metanol cuando se utilizó urea en la solución nutritiva, pero cualquiera de las otras fuentes de nitrógeno con 5% de metanol disminuyeron la concentración de fósforo y lo aumentaron con 10% de metanol.
- La combinación 50% de amonio + 50% de nitrato incrementó la concentración de fósforo, potasio, calcio, zinc, magnesio y cobre en follaje y produjo el mejor crecimiento de crisantemo.
- No se observaron efectos tóxicos al utilizar urea en la solución nutritiva como única fuente de nitrógeno, produciendo resultados similares al nitrato, mientras que el amonio disminuyó significativamente el crecimiento.
- La aplicación de soluciones foliares a 5 y 10% (v/v) de metanol no mejoraron el crecimiento de la planta, pero incrementaron la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en el tejido y disminuyeron la de calcio, magnesio y cobre; aunque, en general, sólo la solución al 5% de metanol disminuyó algunos indicadores del crecimiento de la planta.

LITERATURA CITADA

- Albrecht, S. L., C. L. Douglas, E. L. Klepper, P. E. Rasmussen, R. W. Rickman, R. W. Smiley, D. E. Wilkins, and D. J. Wysocky. 1995. Effects of foliar methanol application on crops yield. *Crop Sci.* 35: 1642-1646.
- Bidwell, R. G. C. 1993. Fisiología vegetal. AGT Editor. México, D.F.
- Fall, R. and A. A. Benson. 1996. Leaf methanol: the simplest natural products from plants. *Trends Plant Sci.* 1: 296-301.
- Faver, K. L. and T. J. Gerick. 1996. Foliar-applied methanol effects on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) gas exchange and growth. *Field Crops Res.* 47: 227-234.
- Gout, E., S. Aubert, R. Bligny, F. Rébeillé, A. R. Nonomura, A. A. Benson, and R. Douce. 2000. Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiol.* 123: 287-296.
- Haynes, R. J. 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil-system. Academic Press. Orlando FL, USA.
- Harper, E. J. 1984. Uptake of organic nitrogen forms by roots and leaves. In: D. R. Hauck (ed.). Nitrogen in crop production. ASA. CSSA. Madison, WI, USA.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 2005. Soil fertility and nutrient management: an introduction to nutrient management. Pearson and Prentice-Hall. Upper Saddle River, NY, USA.
- Holland, M. A. and J. C. Polacco. 1994. PPFMs and other cover contaminants: is there more to plant physiology than just the plant? *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 45: 197-209.
- Idso, S. B., K. E. Idso, R. L. García, B. A. Kimball, and J. K. Hooper. 1995. Effects of atmospheric CO₂ enrichment and foliar methanol application on net photosynthesis of sour oranges tree (*Citrus aurantium*: Rutaceae) leaves. *Am. J. Bot.* 82: 26-30.
- King, J. J., L. A. Peterson and D. P. Stimart. 1995. Ammonium and nitrate uptake throughout development in *Dendranthema x grandiflorum*. *HortScience* 30: 449-503.
- Lee, E. H. and R. A. Rowland. 1994. Field studies of agrimethanol on photosynthesis and yield of snapbeans cv. Top Crop. *Proc. Plant Growth Regul. Soc. Am.* 22:28.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. San Diego, CA, USA.
- McGiffen, M. E., R. L. Green, J. A. Manthey, B. A. Faver, A. J. Downer, N. J. Sakovich, and J. Aguar. 1995. Field test of methanol as a crop yield enhancer. *HortScience* 30: 1225-1228.
- McGiffen, M. E. and J. A. Manthey. 1996. The role of methanol in promoting plant growth: a current evaluation. *HortScience* 31: 1092-1096.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic. Dordrecht, The Netherlands.
- Monselise, E. B and D. Kost. 1993. Different ammonium-ion uptake, metabolism and detoxification efficiencies in two Lemnaceae. A¹⁵N-nuclear magnetic resonance study. *Planta* 189: 167-173.
- Nemecek-Marshall, M., R. C. McDonald, J. J. Franzen, C. L. Wojciechowski, and R. Fall. 1995. Methanol emission from leaves. Enzymatic detection of gas-phase methanol and relation of methanol fluxes to stomatal conductance and leaf development. *Plant Physiol.* 108: 1359-1368.
- Nonomura, A. M. and A. A. Benson. 1992a. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 89:9794-9798.
- Nonomura, A. M and A. A. Benson. 1992b. The path of carbon in photosynthesis: methanol and light. In: N. Murata (ed.). Research in photosynthesis. Kluwer Academic. Dordrecht, The Netherlands.
- Raab, K. T. and N. Terry. 1995. Carbon, nitrogen, and nutrient interaction in *Beta vulgaris* L. as influenced by nitrogen source, NO₃⁻ versus NH₄⁺. *Plant Physiol.* 107: 575-585.
- Shongwe, V. and L. B. Roberts-Nkrumah. 1996. Physiological and growth responses of mango (*Mangifera indica* L.) to methanol and potassium nitrate application. *Acta Hort.* 455: 65-71.
- Resh, M. H. 1996. Hydroponic food production. Woodbridge Press. Santa Barbara, CA, USA.
- Rodríguez A., A., J. J. Lázaro, A. Chueca, R. Hermoso y J. G. López. 1990. Effects of alcohols on the association of photosynthetic fructose-1,6-bisphosphatase to thylakoid membranes. *Physiol. Plant.* 78: 409-413.
- Salsac, L., S. Chaillou, J. F. Morot-Gauldy, C. Lesaint, and E. Jolivet. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant. Physiol. Biochem.* 25: 805-812.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1996. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.
- SAS Institute. 1998. SAS/STAT guide for personal computers. Version 8. Cary, NC, USA.
- Yuncong, L., G. Gupta, J. M. Joshi, and A. K. Siyumbano. 1995. Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. *J. Plant Nutr.* 18: 1875-1880.