

EFFECTS OF NITROGEN FERTILIZER INPUT ON THE COMPOSITION OF MINERAL ELEMENTS IN CORN GRAIN

EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE NITROGENADO EN LA COMPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS EN LOS GRANOS DE MAÍZ

Rui Yu-kui^{1*}, Jiang Shi-ling², Zhang Fu-suo¹, Shen Jian-bo¹

¹College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, P.R. China. ²Department of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada R3T 2N2. (ruiyukui@163.com).

ABSTRACT

Excessive and inappropriate application of industrial N fertilizer can result in severe environmental and ecological problems, but whether the input of N fertilizer could affect the composition of mineral elements in corn has not been reported. Effects of input of N fertilizer on the composition of mineral elements (Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na, and Mg), in corn grain were investigated by ICP-MS (inductive coupling plasma-mass spectrometry). Se, I, Mn, Fe, Zn, Cr, K and Ca were significantly lower in the treatments with N fertilizer compared to a control without N fertilizer. There was a significant negative correlation (R) between four mineral elements and N fertilizer input: I, -0.71; Zn, -0.65; Ca, -0.75; K, -0.89. Therefore appropriate reduction of N fertilizer input cannot only prevent environmental problems from excessive application of industrial N fertilizer, besides it might reduce the problem of malnutrition induced by mineral elements deficiency.

Key words: Corn grain, ICP-MS, plant nutrition, trace elements, urea.

INTRODUCTION

Mineral elements play many important roles in human health (Zeng and Zhao, 2007). Obtaining mineral elements for the human body principally depends on food; thus, content of mineral elements in farm products is a key index to appraise the quality of the latter.

Nitrogen (N) fertilizer, which is necessary to biosynthesize amino acids and carbohydrates in plants used to feed animals and humans, has played a significant role in increasing crop yield and solving malnutrition problems. Production and application of N fertilizers have increased, resulting in an excess of them in China (Sun *et al.*, 2006; Ju *et al.*, 2004). Excessive and inappropriate application of industrial N

RESUMEN

La aplicación excesiva e inapropiada de fertilizante comercial nitrogenado (N) puede ocasionar graves problemas ambientales y ecológicos; sin embargo, no se ha reportado si la aplicación de fertilizante N puede afectar la composición de los elementos minerales en el maíz. Los efectos de la aplicación de fertilizante N en la composición de los elementos minerales en los granos de maíz (Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na, y Mg) se analizaron mediante espectrometría de masas con plasma acoplado por inducción (ICP-MS, por sus siglas en inglés). Se, I, Mn, Fe, Zn, Cr, K y Ca fueron significativamente inferiores en los tratamientos con fertilizante N comparado con un control sin fertilizante N. Hubo una correlación (R) negativa significativa entre cuatro elementos minerales y fertilizantes N: I, -0.71; Zn, -0.65; Ca, -0.75; K, -0.89. Por tanto, la reducción apropiada de la adición de fertilizante N puede no sólo evitar problemas ambientales debidos a la aplicación excesiva de fertilizante comercial N, sino que además podría disminuir la desnutrición causada por la deficiencia de elementos minerales.

Palabras clave: Granos de maíz, ICP-MS, nutrición de plantas, elementos traza, urea.

INTRODUCCIÓN

Los elementos minerales tienen muchas funciones importantes en la salud humana (Zeng y Zhao, 2007). El cuerpo humano obtiene elementos minerales principalmente de los alimentos; así, el contenido de elementos minerales en los productos agrícolas es un factor clave para evaluar la calidad de estos últimos.

El fertilizante nitrogenado (N) necesario para la biosíntesis de aminoácidos y carbohidratos de plantas utilizadas para alimentar animales y humanos, ha sido fundamental en el aumento del rendimiento del cultivo y en la solución de la desnutrición. La producción y la aplicación de fertilizantes N ha aumentado, provocando un exceso de éstos en China (Sun *et al.*, 2006; Ju *et al.*, 2004). La aplicación excesiva e inapropiada de

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: March, 2008. Approved: August, 2008.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 43: 21-27. 2009.

fertilizer can result in severe environmental and ecological problems. For example, nitrate pollution in groundwater (Ju *et al.*, 2006; Thorburn *et al.*, 2003), eutrophication of coastal waters (Paerl, 2006) and greenhouse gases emissions that contribute to global warming (Scheer *et al.*, 2008). In addition, its influence on nutrient composition in farm products has received more attention (Fabio *et al.*, 2007; Li and Guo, 2007).

Increasing the yield and improving the quality of crops have been the challenges for sustainable agriculture. A high input of N fertilizer can increase the yield and improve the composition of proteins and amino acids in farm products. However, whether the input of N fertilizer could improve the composition of mineral elements in corn has not been reported.

In order to study effects of input of N fertilizer on the composition of mineral elements in corn grain, different N fertilizer inputs in soil were used. Besides, concentration of Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na, and Mg were determined in seed after harvesting. The relationship of nutritional level and the N fertilizer input is discussed.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Corn seeds

The corn seeds, Denghai 3719, were produced and donated by Shandong Denghai Seeds Co., Ltd.

Fertilizers

The N fertilizer used was urea, total N no less than 46.4%, produced by PetroChina Ningxia Petrochemical Company Beijing xilu No. 1338 (Yinchuan city, Ningxia province, P.R. China). The P fertilizer was superphosphate, no less than 16% P₂O₅, produced by Yunnan Honglin Chemicals Co., Ltd (Kaiyuan city, Yunnan Province, P. R. China). The K fertilizer was KCl, no less than 60% K₂O, produced by Ural Potassium fertilizer joint-stock company (Berezniki city, Perm State, Russia). The Zn fertilizer was ZnSO₄, no less than 95% ZnSO₄, produced by Shandong Zouping Zhenzhong Chemicals Co., Ltd (Zouping city, Shandong province P. R. China).

Field management

Experiments were carried out in a field at Shangzhuang experimental station, China Agricultural University, Beijing. The corn variety was Denghai 3719, sown on April 25, 2007, and harvested on September 20, 2007. Density was 100 000 plants per km². Four treatments were applied to the same P, K and Zn fertilizer and each treatment was repeated four times. Properties of soil are found in Hu's *et al* paper (2006).

fertilizante N comercial puede ocasionar graves problemas ambientales y ecológicos. Por ejemplo, contaminación de aguas subterráneas por nitratos (Ju *et al.*, 2006; Thorburn *et al.*, 2003), eutrofización de aguas costeras (Paerl, 2006) y emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global (Scheer *et al.*, 2008). Además, su influencia en la composición de nutrientes en productos agrícolas ha recibido más atención (Fabio *et al.*, 2007; Li y Guo, 2007).

Aumentar el rendimiento y mejorar la calidad de los cultivos han sido los desafíos para la agricultura sostenible. Una alta aplicación de fertilizante N puede aumentar el rendimiento y mejorar la composición de proteínas y aminoácidos en los productos agrícolas. Sin embargo, todavía no se ha reportado si la aplicación de fertilizante N puede mejorar la composición de los elementos minerales en el maíz.

Para estudiar los efectos de la aplicación de fertilizante N en la composición de los elementos minerales del grano de maíz, se usaron diversas aplicaciones de fertilizante N en el suelo. Además, se determinó la concentración de Se, Mo, I, Mn, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na, y Mg en las semillas después de la cosecha. Se discute la relación entre el nivel nutricional y el fertilizante N.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material

Semillas de maíz

Shandong Denghai Seeds Co., Ltd. produjo y donó las semillas de maíz, Denghai 3719.

Fertilizantes

El fertilizante N usado fue la urea, N total no menos de 46.4%, producido por PetroChina Ningxia Petrochemical Company Beijing xilu No. 1338 (Ciudad de Yinchuan, Provincia de Ningxia, R.P. de China). El fertilizante P fue el superfosfato, no menos de 16% P₂O₅, producido por Yunnan Honglin Chemicals Co., Ltd (Ciudad de Kaiyuan, Provincia de Yunnan, R. P. de China). El fertilizante K fue KCl, no menos de 60% K₂O, producido por Ural Potassium fertilizer joint-stock company (Ciudad de Berezniki, Estado de Perm, Rusia). El fertilizante Zn fue ZnSO₄, no menos de 95% ZnSO₄, producido por Shandong Zouping Zhenzhong Chemicals Co., Ltd (Ciudad de Zouping, Provincia de Shandong, R. P. de China).

Manejo de campo

Los experimentos se desarrollaron en un campo de la estación experimental de Shangzhuang, de la China Agricultural University, Beijing. La variedad de maíz fue la Denghai 3719, sembrada el 25

Fertilization scheme

For the four treatments, P fertilizer, K fertilizer and micronutrient were the same: 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ (superphosphate), 80 kg K₂O ha⁻¹ (KCl), 15 kg Zn ha⁻¹ (ZnSO₄). The difference was the N fertilizer input (Table 1).

Treatment 1 (control, TR 1): no N fertilizer during the growth period of corn.

Treatment 2 (optimized treatment, TR 2): fertilizing according to the needs of the plants to obtain the best ratio of yield to input and for detecting results of N fertilizer in soil.

Treatment 3 (TR 3): N fertilization time was the same as TR2, but the fertilizer input was 30% more.

Treatment 4 (TR 4): N fertilization time was the same as TR2, but the fertilizer input was 30% less.

Field observation

The seedlings emerged on May 6, additional seedlings were planted on May 10, irrigations (45 mm) were carried out June 15-16 and July 16, maize worm was controlled with Furadan on June 21-22, manual weeding was carried out on June 22-35. There were two rains: June 30-31 and July 13.

Detecting methods

Samples were treated as described by Rui *et al.* (2007) and Rui *et al.* (2006). Briefly, 0.5 g of corn grain powder, fixation from six ears was weighed and placed into quartz crucibles for digestion with 1.5 mL HNO₃ and 0.5 mL H₂O₂. The digestion procedure was as follows: 150 °C for 15 min at 500 W; 200 °C for 20 min at 800 W; 100 °C for 10min at 400 W power. The solution was diluted to 10 mL after digestion. The diluted solutions were analyzed for Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na and Mg using ICP-MS (ELAN DRCII, PE company, USA).

Parameters for inductively coupled plasma (ICP)

Parameters for ICP were those of Huang method (Huang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2002): 1200 W; flow rate of cooling gas (Ar), 15.0 L min⁻¹; flow rate of supplemental gas (Ar), 1.80 L min⁻¹; flow rate of carrier gas (Ar), 0.95 L min⁻¹. Parameters of mass spectrometry: vacuum of analysis chamber, 5.89×10⁻⁶ Tor r; impulse voltage, 1200 V. Parameters for detection: resolution (10% peak height); 0.8 amu (Nor), 0.6 amu (H); retention period, 100 ms; times of replication, 5; times of circulation, 10; mode of analysis, scanning of mass, period of analysis, 72 s; rate of sample, 1mL min⁻¹.

Table 1. Fertilization scheme of N fertilizer (kg ha⁻¹).
Cuadro 1. Esquema de fertilización de fertilizante N (kg ha⁻¹).

	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4
Basal fertilizer	0	65	84.5	45.5
Topdressing (12th June)	0	95	123.5	66.5

de abril de 2007, y cosechada el 20 de septiembre de 2007. La densidad fue 100 000 plantas por km². Se aplicaron cuatro tratamientos al mismo fertilizante P, K y Zn, y cada uno se repitió cuatro veces. Las propiedades del suelo pueden consultarse en el artículo de Hu *et al.* (2006).

Esquema de fertilización

El fertilizante P, el fertilizante K, y el micro-nutriente fueron los mismos: 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ (superfosfato), 80 kg K₂O ha⁻¹ (KCl), 15 kg Zn ha⁻¹ (ZnSO₄). La diferencia fue la aplicación de fertilizante N (Cuadro 1).

Tratamiento 1 (testigo, TR, 1): Sin fertilizante N durante el periodo de crecimiento del maíz.

Tratamiento 2 (tratamiento optimizado, TR 2): Fertilización conforme a las necesidades de las plantas para obtener la mejor proporción de rendimiento a consumo, así como para detectar resultados del fertilizante N en el suelo.

Tratamiento 3 (TR 3): El tiempo de fertilización N fue el mismo que en TR2, pero la aplicación de fertilizante fue 30% más.

Tratamiento 4 (TR4): El tiempo de fertilización N fue el mismo que en TR2, pero la aplicación de fertilizante fue 30% menos.

Observación de campo

Las plántulas brotaron el 6 de mayo y plántulas adicionales se plantaron el 10 de mayo; los riegos (45 mm) se realizaron del 15-16 de junio y el 16 de julio; el gusano de maíz se controló con Furadan del 21-22 de junio; el desyerbe manual se hizo del 22-35 de junio. Hubo lluvias: 30-31 de junio y el 13 de julio.

Métodos de detección

Las muestras se trataron conforme a Rui *et al.* (2007) y Rui *et al.* (2006). En resumen, 0.5 g de polvo de grano de maíz, una fijación de seis mazorcas se pesó y colocó en crisoles de cuarzo para su digestión con 1.5 mL HNO₃ y 0.5 mL H₂O₂. El método de digestión fue el siguiente: 150 °C por 15 min a 500 W; 200 °C por 20 min a 800 W; 100 °C por 10 min a 400 W de potencia. La solución se diluyó a 10 mL después de la digestión. Las soluciones diluidas se analizaron para Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na y Mg mediante ICP-MS (ELAN DRCII, PE company, USA).

Parámetros para plasma acoplado por inducción (ICP)

Los parámetros usados para ICP fueron los del método de Huang (Huang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2002): 1200 W; velocidad del flujo de gas de enfriamiento (Ar), 15.0 L min⁻¹; velocidad del flujo de gas adicional (Ar), 1.80 L min⁻¹; velocidad del flujo de gas transportador (Ar), 0.95 L min⁻¹. Parámetros de espectrometría de masas: Vacío de la cámara de análisis, 5.89×10⁻⁶ Tor r; voltaje de aceleración, 1200 V. Parámetros de detección: Resolución (10% altura máxima); 0.8 amu (Nor), 0.6 amu (H); periodo de retención, 100 ms; tiempos de réplica, 5; tiempos de circulación, 10; modo de análisis,

Statistical analysis

Data was analyzed by one-way analysis of variance using SPSS 11.5 for Windows and Excel. The data presented is the mean of three replications.

RESULTS

Composition of mineral elements in corn grains

Elements analyzed were Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na and Mg (Table 2). Elements detected at the ng g^{-1} level were: Se, Mo, I and Cr; elements at the $\mu\text{g g}^{-1}$ level were: Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, K, Na and Mg. Concentration ranges for Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na and Mg, were: 24.04 to 32.58 ng g^{-1} , 588.48 to 942.46 ng g^{-1} , 5.56 to 31.52 ng g^{-1} , 2.06 to 6.91 $\mu\text{g g}^{-1}$, 13.04 to 43.49 $\mu\text{g g}^{-1}$, 2.32 to 3.75 $\mu\text{g g}^{-1}$, 11.93 to 23.95 $\mu\text{g g}^{-1}$, 12.21 to 20.36 $\mu\text{g g}^{-1}$, 243.87 to 411.62 ng g^{-1} , 3069.60 to 3907.36 $\mu\text{g g}^{-1}$, 2.81 to 21.48 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 879.65 to 1265.22 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Differences in mineral elements composition from N fertilizer input

The contents of the 12 elements detected in corn grain were different among treatments. Thus, these 12 elements could be classified into five groups: a) Se and I, with the highest contents in corn grain for zero N fertilizer (TR1), and the contents in optimized treatment (TR2) were higher than in TR3 and TR4; b) Mn, Fe, Zn, Cr, and Mg, with the highest contents for zero N fertilizer (TR1); c) Mo, which was lowest for zero N

Table 2. Contents of 12 mineral elements in corn grains. Values are means (n=3).

Cuadro 2. Contenido de 12 elementos minerales en los granos de maíz. Los valores son las medias (n=3).

Elements	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	Unit
Se	32.58a	30.78a	26.21b	24.04b	ng g^{-1}
Mo	701.32c	850.32a	792.83a	778.80b	ng g^{-1}
I	26.50a	13.06b	9.86c	8.54c	ng g^{-1}
Mn	6.44a	3.07b	4.17b	2.20c	$\mu\text{g g}^{-1}$
Fe	38.11a	21.93c	28.50b	15.11d	$\mu\text{g g}^{-1}$
Cu	2.87a	3.00a	2.80a	2.80a	$\mu\text{g g}^{-1}$
Zn	18.33a	13.60b	14.33b	13.27b	$\mu\text{g g}^{-1}$
Ca	18.19a	16.56b	13.30c	16.01b	$\mu\text{g g}^{-1}$
Cr	384.48a	299.42b	348.93ab	288.96b	ng g^{-1}
K	3673.16a	3520.60a	3367.10a	3554.23a	$\mu\text{g g}^{-1}$
Na	5.99b	5.92b	6.56 b	a13.38	$\mu\text{g g}^{-1}$
Mg	1027.40a	945.79ab	1007.68a	938.94ab	$\mu\text{g g}^{-1}$

Different letters after numerical values indicate significant differences (LSD, $p \leq 0.05$).

escaneo de masas, periodo de análisis, 72 s; flujo de la muestra, 1mL min^{-1} .

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza unidireccional con SPSS 11.5 para Windows y Excel. Los datos que se muestran son la media de tres réplicas.

RESULTADOS

Composición de los elementos minerales en los granos de maíz

Los siguientes elementos analizados fueron: Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na y Mg (Cuadro 2). Los elementos detectados en el nivel ng g^{-1} fueron: Se, Mo, I y Cr; en el nivel mg g^{-1} : Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, K, Na y Mg. Los rangos de concentración en Se, Mo, I, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Cr, K, Na y Mg, fueron: 24.04 a 32.58 ng g^{-1} , 588.48 a 942.46 ng g^{-1} , 5.56 a 31.52 ng g^{-1} , 2.06 to 6.91 $\mu\text{g g}^{-1}$, 13.04 to 43.49 $\mu\text{g g}^{-1}$, 2.32 to 3.75 $\mu\text{g g}^{-1}$, 11.93 to 23.95 $\mu\text{g g}^{-1}$, 12.21 to 20.36 $\mu\text{g g}^{-1}$, 243.87 to 411.62 ng g^{-1} , 3069.60 to 3907.36 $\mu\text{g g}^{-1}$, 2.81 to 21.48 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 879.65 to 1265.22 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Diferencias en la composición de los elementos minerales por la aplicación de fertilizante N

El contenido de los 12 elementos detectados en el grano de maíz fue distinto entre los tratamientos. Así, estos 12 elementos podrían clasificarse en cinco grupos: a) Se e I, con el mayor contenido en grano de maíz para fertilizante N cero (TR1), y el contenido en el tratamiento optimizado (TR2) fue más alto que en TR3 y TR4; b) Mn, Fe, Zn, Cr, y Mg, con el mayor contenido para fertilizante N cero (TR1); c) Mo, que fue el menor para fertilizante N cero (TR1), y el más alto para TR2 y TR3; d) Cu y K, sin diferencias entre tratamientos; e) Na, con el mayor contenido para TR4. De los datos anteriores, el contenido de Se, I, Mn, Fe, Zn, Ca, y Cr en los granos de maíz de TR1 fue significativamente mayor que en los otros tratamientos (Cuadro 2).

DISCUSIÓN

El consumo adecuado de elementos minerales es necesario porque éstos cumplen una función fundamental en el metabolismo y el mantenimiento del funcionamiento tisular (Shenkin, 2006). Actualmente en muchos países y regiones la falta de elementos minerales necesarios para la salud humana es severa (Barclay et

fertilizer (TR1), and highest for TR2 and TR3; d) Cu and K, which was not different between treatments; e) Na, with the highest content for TR4. From the above data, the contents of Se, I, Mn, Fe, Zn, Ca and Cr in corn grains from TR1 were significantly higher than for the other treatments (Table 2)

DISCUSSION

Mineral elements play a key role in metabolism and maintenance of tissue function; therefore, an adequate intake is necessary to sustain metabolism and tissue function (Shenkin, 2006). Today, many countries and areas are still severely short of mineral elements required for human health (Barclay *et al.*, 2003). So far, the prevailing solutions are fortification (Reilly, 1996) and transgenic biotechnology (Goto *et al.*, 1999), but both of them are faced with the food safety problem. On this regard, Jiang *et al.* (2007) reported that most of the other mineral element contents in rice are significantly correlated, but there are few reports about the relationship between mineral contents with N fertilizer input in corn.

In our study, we analyzed the effects of N fertilizer input on the content of twelve mineral elements. It was found a significant negative correlation (R) between four mineral elements and N fertilizer input: I, -0.71; Zn, -0.65; Ca, -0.75; K, -0.89. These elements are deficient in food in many parts of the world. These elements were 38% to 210% higher in TR1 than in the other treatments with N fertilizer (Figure 1), which agrees with reports by Ray *et al.* (2007), Müller *et al.* (2007) and Zimmermann and Hurrell (2007).

The negative correlation between contents of elements and N fertilizer input might be due to: 1) N fertilizer urea is hydrolyzed into NH_4^+ , which might compete at the absorption point with other cations, including K, Na, Mg, Ca, Zn, Cu, Fe and Mn, so the accumulation of these elements in the kernels diminishes as the fertilization increases (Shi *et al.*, 1999); 2) urea can acidify the soil, which would accelerate the leaching of K, Na, Mg and Ca, reducing their accumulation in the kernels as the fertilization increases (Shi *et al.*, 1999); 3) as soil is acidified by urea, the amount of I and Se as I^- , IO_3^- , SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-} that can be absorbed by the plant, will decrease in soil and the accumulation of these elements in the kernels is reduced (Xie *et al.*, 2007).

CONCLUSIONS

Altogether, an appropriate reduction of N fertilizer input can prevent many environmental problems caused from excessive and inappropriate application of industrial

al., 2003). Hasta ahora, las soluciones que prevalecen son la fortificación (Reilly, 1996) y la biotecnología transgénica (Goto *et al.*, 1999); sin embargo, ambas se enfrentan al problema de la seguridad alimentaria. Al respecto, Jiang *et al.* (2007) reportaron que la mayor parte de los contenidos de otros elementos minerales en el arroz se correlacionan significativamente, pero hay pocos reportes de la relación entre el contenido mineral con la aplicación de fertilizante N en el maíz.

En nuestro estudio analizamos los efectos de la aplicación de fertilizante N en el contenido de 12 elementos minerales. Se encontró una correlación (R) significativamente negativa entre cuatro elementos minerales y la aplicación de fertilizante N: I, -0.71; Zn, -0.65; Ca, -0.75; K, -0.89. Los alimentos en muchas partes del mundo carecen de estos elementos. Estos elementos fueron entre 38% y 210% más altos en TR1 que en los otros tratamientos con fertilizante N (Figura 1), lo que coincide con los reportes de Ray *et al.* (2007), Müller *et al.*, (2007) y Zimmermann y Hurrell (2007).

La correlación negativa entre el contenido de los elementos y la aplicación de fertilizante N puede deberse a que: 1) la urea del fertilizante N se hidroliza a NH_4^+ , lo que podría competir en el punto de absorción con otros cationes, incluyendo K, Na, Mg, Ca, Zn, Cu, Fe y Mn, por lo que la acumulación de estos elementos en estos granos disminuye a medida que la fertilización aumenta (Shi *et al.*, 1999); 2) la urea puede acidificar el suelo, lo que aceleraría la filtración de K, Na, Mg y Ca, reduciendo su acumulación en los granos al tiempo que la fertilización aumenta (Shi *et al.*, 1999); 3) mientras la urea acidifica el suelo, la cantidad de I y Se como I^- , IO_3^- , SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-} que pueden absorberse por la planta, disminuirá en el suelo y la acumulación de estos elementos en los granos se reduce (Xie *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

En general, una reducción apropiada de la aplicación de fertilizante N puede prevenir muchos problemas ambientales causados por la aplicación excesiva e inapropiada de fertilizante N comercial. Además, la desnutrición podría reducirse si se incrementa la composición de elementos minerales, lo cual es más efectivo que la fortificación y la biotecnología de elementos minerales.

—Fin de la versión en Español—



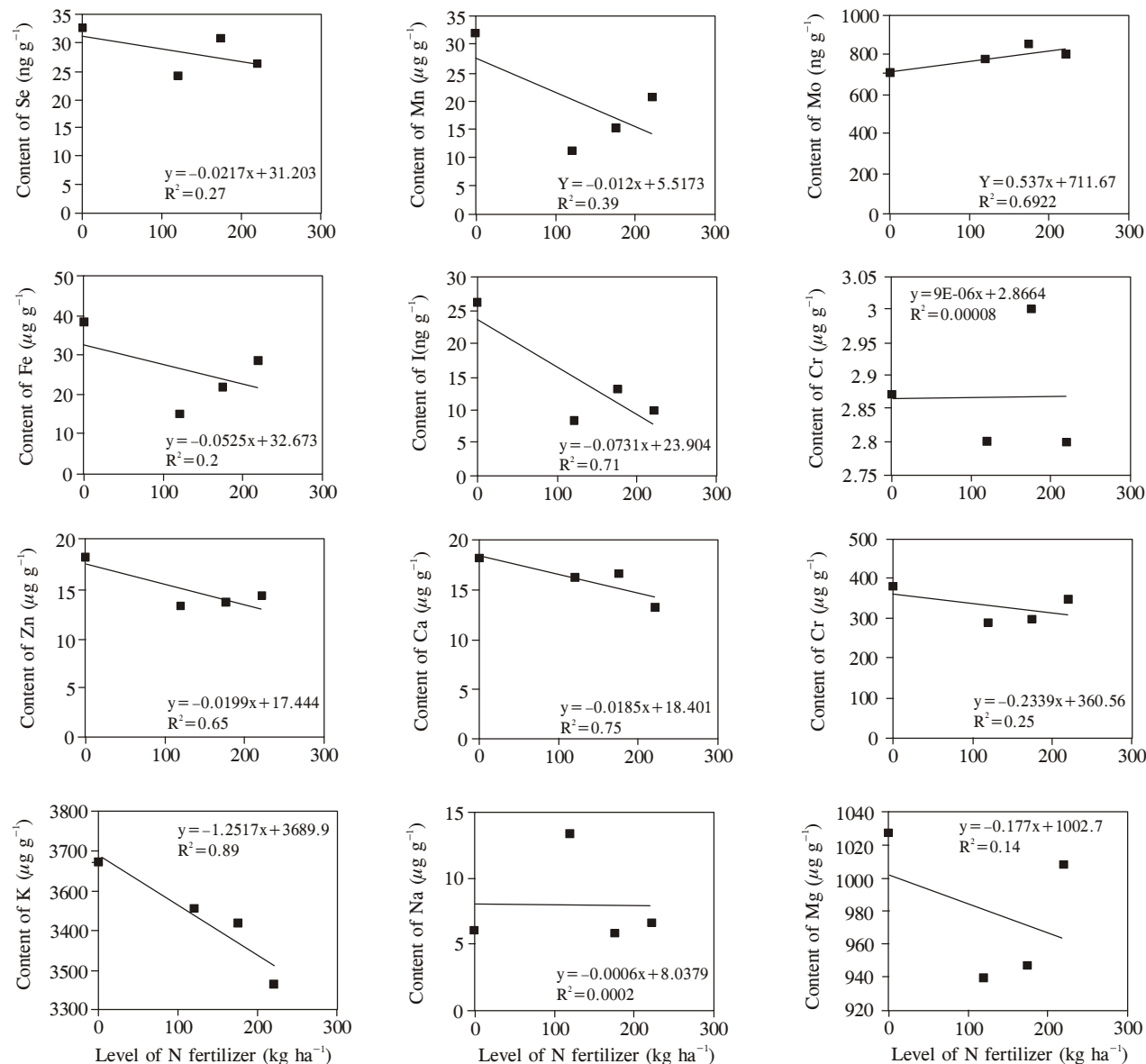


Figure 1. Relationship between contents of twelve mineral elements with the N fertilizer input. Values are means (n=3).
Figura 1. Relación entre el contenido de doce elementos minerales con la aplicación de fertilizante N. Los valores son las medias (n=3).

N fertilizer. Besides, the problem of malnutrition might be reduced by increasing the composition of mineral elements, which is more effective than fortification and biotechnology of mineral elements.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors appreciate the financial support from China National Nature Science Foundation (NO 30571296 and NO 30500352), National Project of Scientific and Technical Supporting Programs in the Eleventh Five-year Plan Period Funded by Ministry of Science & Technology of China (NO 2006BAD25B02) and Program for Changjiang Scholars and Innovative Research Team in University

(NO IRT0511). Thanks are also expressed to Ms. Wang Xiaoyan from Peking University Health Science Center for technical assistance.

LITERATURE CITED

Barclay, D. V., J. Mauron, A. Blondel, C. Cavadini, A. M. Verwilghen, C. Van Geert, and H. Dirren. 2003. Micronutrient intake and status in rural Democratic Republic of Congo. *Nutr. Res.* 23(5): 659-671.

Fabio, S., D. B. Vincenzo, and P. Michele. 2007. Effects of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Sci. Hortic.* 114:225-233.

Goto, F., T. Yoshihara, N. Shigemoto, S. Toki, and F. Takaiwa. 1999. Iron fortification of rice seed by the soybean ferritin gene. *Nat. Biotechnol.* 17:282-286.

- Hu, K. L., B. G. Li, Y. Z. Lv, Z. Q. Duan, Z. Z. Li, G. T. Li, and D. F. Sun. 2006. Spatial variation of physico-chemical properties in Shangzhuang experimental station of China Agricultural University. *J. China Agr. Univ.* 11(6):27-33.
- Huang, Z. Y., Q. Zhang, K. Hu, J. L. Wu, and P. Y. Yang. 2003. Determination of ultra-trace Au, Pd and Pt in geochemical samples by co-precipitation ICP/MS. *Spectrosc. Spect. Anal.* 23(5):962-964.
- Jiang, S. L., J. G. Wu, Y. Feng, X. E. Yang, and C. H. Shi. 2007. Correlation analysis of mineral element contents and quality traits in milled rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 55(23):9608-9613.
- Ju, X. T., X. J. Liu, F. S. Zhang, and M. Roelcke. 2004. Nitrogen fertilization, soil nitrate accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China. *Ambio* 33:300-305.
- Ju, X. T., C. L. Kou, F. S. Zhang, and P. Christie. 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environ. Pollut.* 143:117-125.
- Li, H. H., and D. Guo. 2007. Effect of different nitrogen fertilizer level on yield and quality of lettuce. *North. Hortic.* 10:4-6.
- Liu, H. S., N. F. Wang, B. Xue, H. E. Xu, and S. M. Yan. 2002. Determination of Ultra-trace rare earth elements in biological samples by inductively coupled plasma mass spectrometry. *J. Chinese Mass Spectrosc.* 23(2):96-99.
- Müller, O., M. Garenne, H. Becher, A. Sie, and B. Kouyaté. 2007. Malnutrition, zinc deficiency, and malaria in Africa. *The Lancet* 369(9580):2155-2156.
- Paerl, H. W. 2006. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. *Ecol. Eng.* 26:40-54.
- Ray, J. W., K. Jürgen, and A. H. Don. 2007. Technological issues associated with iodine fortification of foods. *Trends Food Sci. Tech.* doi:10.1016/j.tifs.2007.08.002, In Press.
- Reilly, C. 1996. Too much of a good thing? The problem of trace element fortification of foods. *Trends Food Sci. Tech.* 7(4):139-142.
- Rui, Y. K., H. X. Zhang, J. Guo, K. L. Huang, B. Z. Zhu, and Y. B. Luo. 2006. Heavy metals content in transgenic soybean oil from Beijing market. *Agro Food Ind. Hi-Tech.* 17(2):35-36.
- Rui, Y. K., J. Guo, K. L. Huang, Y. H. Jin, and Y. B. Luo. 2007. Application of ICP-MS to the detection of heavy metals in transgenic corn. *Spectrosc. Spect. Anal.* 27(4):796-798.
- Scheer, C., R. Wassman, K. Kienzler, N. Ibragimov, and R. Eschanov. 2008. Nitrous oxide emissions from fertilized, irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in the Aral Sea Basin, Uzbekistan: Influence of nitrogen applications and irrigation practices. *Soil Biol. Biochem.* 40: 290-301.
- Shenkin, A. 2006. The key role of micronutrients. *Clin. Nutr.* 25(1): 1-13.
- Shi, J. Q., R. X. Ding, Y. Z. Liu, and Y. H. Sun 1999a. Acidification of soil by urea and fallen tea leaves. *J. Tea Sci* 19(1):7-12.
- Shi, J. Q., R. X. Ding, and L. Pan. 1999b. Influence of urea and fallen tea leaves on element leaching in uncropped soils. *J. Tea Sci.* 19(2):125-130.
- Sun, Z. M., Z. J. Wu, L. J. Chen, and Y. G. Liu. 2006. Research advances in nitrogen fertilization and its environmental effects. *Chinese J. Soil Sci.* 37(4):782-786.
- Thorburn, P., J. S. Biggs, K. L. Weier, and B. A. Keating. 2003. Nitrate in groundwaters of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. *Agr. Ecosyst. Environ.* 94:49-58.
- Xie, L. L., H. X. Weng, C. L. Hong, and A. L. Yan 2007. Uptake of bok-choy and *Ipomoea aquatica* Forsk to iodine species. *Plant Nutri. and Fertilizer Sci.* 13(1): 123-128.
- Zeng, Z., and Y. Q. Zhao. 2007. Lack of microelements to the effects of children's health. *Stud. Trace Elem. Health* 24(6):14-16.
- Zimmermann, M. B., and R. F. Hurrell. 2007. Nutritional iron deficiency. *The Lancet* 370(9586):511-520.