

# 镁缺乏对黄瓜苗期生长及矿质营养吸收的影响

徐雷<sup>1,2,3</sup>, 梁林洲<sup>1</sup>, 董晓英<sup>1</sup>, 沈仁芳<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院南京土壤研究所 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 江西省农业科学院 土壤肥料与资源环境研究所, 江西南昌 330200)

**摘要:** 通过水培试验研究了镁缺乏对黄瓜苗期生长及磷、钾、钙、镁、铜、锰、铁和锌在根和叶片中含量的影响。结果表明: (1) 缺镁显著降低黄瓜根、茎和叶干质量; (2) 缺镁对根部磷含量没影响, 但显著增加叶片中磷含量, 达到 2.11%; 对根和叶片中钾含量没影响; 显著增加根和叶片中钙含量, 叶中钙含量可达 73.7 g/kg; (3) 缺镁显著增加了根和叶片中锰、铁、锌含量, 尤其是根部的锰、铁和叶片中的锰、锌分别为对照的 2 倍以上; 缺镁虽显著增加叶片中铜含量, 但对根部铜含量无显著影响。

**关键词:** 镁缺乏; 黄瓜; 矿质营养

中图分类号: S642.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)05-0899-05

## Effects of Magnesium Deficiency on the Growth and Assimilation of Mineral Nutrition of Cucumber Seedlings

XU Lei<sup>1,2,3</sup>, LIANG Lin-zhou<sup>1</sup>, DONG Xiao-ying<sup>1</sup>, SHEN Ren-fang<sup>1\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Soil and Fertilizer & Resource and Environment, Jiangxi Academy of Agriculture Sciences, Nanchang 330200, China)

**Abstract:** The effects of magnesium (Mg) deficiency on the growth and assimilation of mineral nutrition of cucumber seedlings were studied through hydroponic experiment. The results showed that: under the Mg deficiency stress, (1) the dry weight of cucumber roots, stems and leaves reduced significantly; (2) phosphorus concentration increased conspicuously up to 2.11% in leaves, but had no change in roots; potassium concentration did not change in roots and leaves; calcium concentration increased significantly in roots and leaves, it reached 73.7 g/kg in leaves; (3) the concentration of manganese (Mn), iron (Fe) and zinc (Zn) increased both in roots and leaves, especially for Mn, Fe concentrations in roots and Mn, Zn concentrations in leaves, they were twice as much as or even higher than those in the control treatments, respectively; and copper increased in leaves, but had no change in roots, compared with the control.

**Key words:** manganese deficiency; cucumber; mineral nutrition

镁是植物生长所必需的中量元素之一, 其最重要的生理功能是作为叶绿素的中心原子影响植物光合作用<sup>[1-2]</sup>。镁对很多重要代谢过程和反应起到关键调节作用, 如磷酸化、蛋白合成、韧皮部装载、光合

收稿日期: 2012-05-31 修回日期: 2012-08-30

基金项目: 江苏省自然科学基金重点项目 (BK2010097)、公益性行业 (农业) 科研专项课题 (200903011)、国家自然科学基金青年基金 (41001172) 和中国科学院知识创新工程重大项目课题 (KSCX2-EW-N-08)

作者简介: 徐雷 (1981—), 男, 博士生, 主要从事土壤与植物营养研究; \* 通讯作者: 沈仁芳, 博士, 研究员, 主要从事植物逆境生理、作物养分高效吸收利用机理和土壤养分管理研究。

产物的分配和利用、活性氧产生等<sup>[3-6]</sup>。由于集约化的生产方式下,氮、磷和钾肥的大量施用,镁成为农林业生产中普遍缺乏的矿质营养之一,尤其在酸性土壤上<sup>[7-10]</sup>。植物生长需要多种养分的协同作用,养分间关系极其复杂,ICP 测定技术的发展推动植物离子组学成为研究的热点<sup>[12]</sup>。镁的缺乏必然影响其他多种养分的吸收和作用,然而镁缺乏对植物吸收其他养分的报道很少,且多集中在与钾和钙的竞争作用上<sup>[11,13-14]</sup>。Cakmak<sup>[15]</sup>指出尽管镁的各种关键功能得到很好的了解,但令人奇怪的是镁营养在农业生产和品质中所起作用的研究非常少,可以说是一种被遗忘的元素。黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是一种世界性的重要蔬菜,也是中国种植范围最广、面积最大的蔬菜种类之一<sup>[16]</sup>。FAO(联合国粮食与农业组织)统计资料表明,1996 年以来,我国黄瓜产量居世界首位,超过世界总产量的一半<sup>[17]</sup>。近几年,温室黄瓜尤其是长季节栽培的黄瓜易出现缺镁症状,镁胁迫降低黄瓜的单株产量、单位面积产量和单株瓜数<sup>[18]</sup>。因此开展镁缺乏对黄瓜养分吸收影响的研究很有必要,本试验通过水培方式研究缺镁对黄瓜苗期生长和养分吸收的影响,以期探讨植物镁胁迫生理机制和黄瓜养分管理提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种为江苏露丰,由江苏省农业科学院研发。

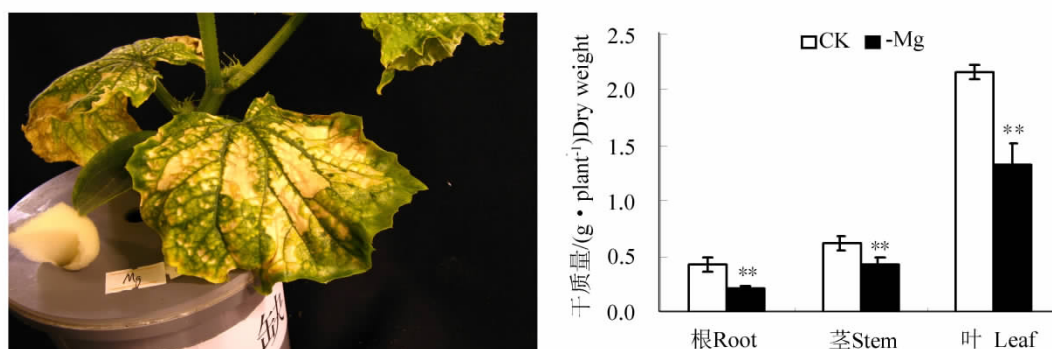
### 1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 试验在中国科学院南京土壤研究所光照生长室进行。种子经体积分数为 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消毒 20 min 后,置于培养皿中催芽至露白,然后移入装有蛭石的穴盘中,待子叶展平后用自来水冲洗净根部的蛭石,移入 PVC 管制成的培养罐中,每罐装有 1.1 L 1/4 强度的山崎营养液,每罐 2 株黄瓜苗,2 d 换 1 次营养液,培养 8 d 后,选择一致的苗开始处理。处理时营养液是以 1/2 强度的山崎营养液为基础,缺镁处理(-Mg)以硫酸钠代替对照(CK)中硫酸镁。营养液用 NaOH 调 pH 至 5.2,每天换 1 次。每个处理重复 4 次,随机排列。

1.2.2 指标测定 处理 8 d 后开始采样,黄瓜苗经自来水冲洗 1 遍后,用去离子水清洗 3 遍,分根、茎(含叶柄)和叶片 3 部分,于烘箱中 105 °C 杀青 30 min,75 °C 烘干至恒重。一定量的样品经硝酸消煮后用 ICP-AES 测定养分元素含量<sup>[19]</sup>。

### 1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS v7.05 统计分析。



\* 和 \*\* 分别代表处理间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

\* and \*\* meant significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively.

图 1 镁缺乏对黄瓜生长的影响

Fig. 1 Effects of magnesium deficiency on the dry weight of cucumber roots, stems and leaves

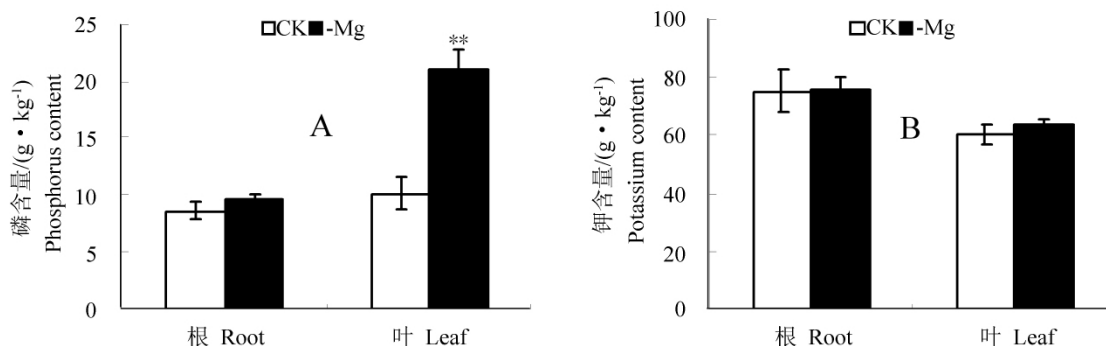
## 2 结 果

### 2.1 镁缺乏对黄瓜生长的影响

镁缺乏处理下,黄瓜出现缺镁症状,首先表现在老叶,老叶叶脉间失绿,叶片出现波浪形褶皱,后期坏死,严重抑制黄瓜的生长(图 1)。植株干质量的数据显示镁缺乏导致黄瓜根茎叶干质量都显著降低(图 1)。

## 2.2 镁缺乏对黄瓜植株养分含量的影响

2.2.1 镁缺乏对黄瓜植株磷和钾含量的影响 由图2可知,镁缺乏导致黄瓜叶片中磷含量显著增加,达到干质量的2.11%,但根部磷含量无显著变化;镁缺乏对黄瓜根和叶中的钾含量均无影响。



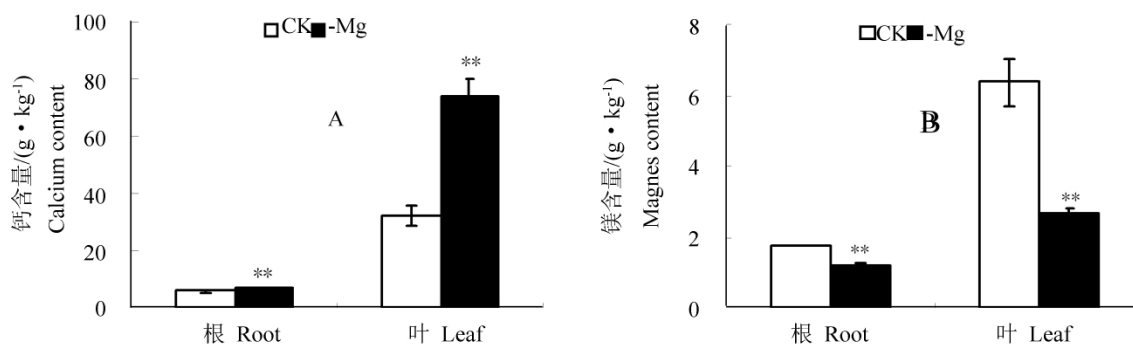
\* 和 \*\* 分别代表处理间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

\* and \*\* meant significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively.

图2 镁缺乏对黄瓜植株磷和钾含量的影响

Fig.2 Effects of magnesium deficiency on phosphorus and potassium concentrations in cucumber roots and leaves

2.2.2 镁缺乏对黄瓜植株钙和镁含量的影响 图3显示,镁缺乏显著增加了黄瓜根部和叶片中钙含量,尤其是叶片中钙含量增加了1倍多,达到73.7 g/kg;而镁缺乏导致黄瓜根部和叶片的镁含量均显著降低,叶片镁含量降低幅度较大,为2.72 g/kg,不到对照的一半。



\* 和 \*\* 分别代表处理间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

\* and \*\* meant significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively.

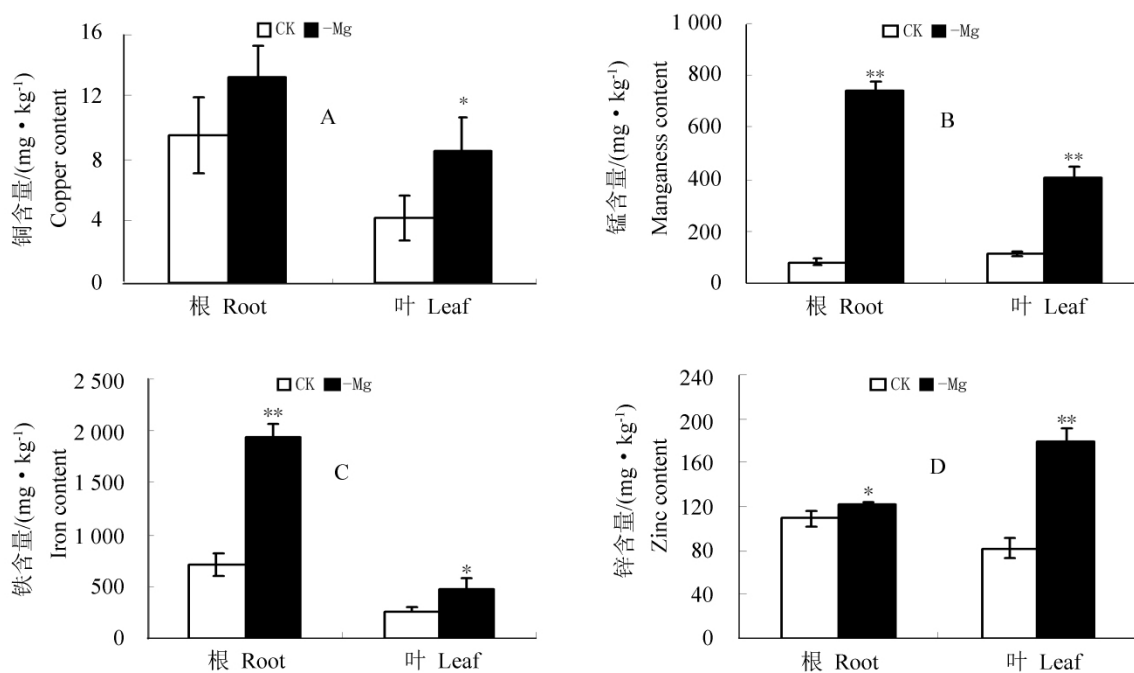
图3 镁缺乏对黄瓜植株钙和镁含量的影响

Fig.3 Effects of magnesium deficiency on calcium and magnesium concentrations in cucumber roots and leaves

2.2.3 镁缺乏对黄瓜植株铜、锰、铁和锌含量的影响 镁缺乏对黄瓜植株微量元素含量的影响见图4。镁缺乏导致黄瓜叶片中铜、锰、铁和锌含量都显著增加,尤其是锰和锌;而根部除了铜含量差异不显著外,其他3种元素含量都显著增加,尤其是锰和铁含量。锰在根部和叶片中的含量分别是742和408 mg/kg,约为对照的9和4倍。铁在根部和叶片的含量分别为1949和482 mg/kg,约为对照的3和2倍。锌在叶片的含量是180 mg/kg,为对照的2倍多。

## 3 讨论

尽管大量研究表明镁对ATP酶、磷酸酶和一些激酶的活性至关重要,从而影响植物磷素代谢<sup>[5]</sup>,然而镁和磷之间的关系仍存在争议。一些研究表明磷镁之间正相关: Fageria<sup>[20]</sup>研究发现缺镁导致水稻对磷的吸收速率降低,根和地上部磷浓度降低。Hermans等<sup>[21]</sup>的研究结果是缺镁降低拟南芥根和叶中的磷含量。Cai等<sup>[22]</sup>则发现缺镁降低水稻根部磷含量,但对地上部磷含量没影响。而另外一些研究则支持两者负相关的观点: Yuan和Sayre<sup>[23]</sup>发现镁缺乏增加玉米叶片中磷含量。隋方功等<sup>[24]</sup>研究表明缺镁增加夏谷上部叶片磷含量。Tewari等<sup>[4]</sup>的结果是缺镁导致桑树幼叶中磷含量显著增加。而Lavon等<sup>[25]</sup>发现缺镁对粗皮柠檬叶片中磷含量无显著影响,表明镁和磷之间缺乏直接的相关性。王敏艳等<sup>[26]</sup>对3



\* 和 \*\* 分别代表处理间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

\* and \*\* meant significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively.

图 4 镁缺乏对黄瓜植株铜、锰、铁和锌含量的影响

Fig. 4 Effects of magnesium deficiency on micronutrients concentrations in cucumber roots and leaves

种菊科花卉营养研究结果显示, 缺镁增加万寿菊植株磷含量, 而对金盏菊和孔雀草磷含量没影响。磷镁之间关系的差别不仅体现在因植物种类不同而不同, 而且同种植物不同品种间也存在不同。王秀荣<sup>[27]</sup>研究发现缺镁导致 2 个大豆品种根部磷浓度增加, 但巴西 10 号地上部磷浓度增加, 本地 2 号地上部磷浓度降低。本试验结果为镁缺乏显著增加黄瓜叶片磷浓度, 与镁和磷负相关的观点相符。镁缺乏导致黄瓜叶片磷含量达到 2.11%, 远超一般认为的 1% 的磷毒害标准<sup>[28]</sup>, 意味着镁缺乏可能导致磷毒害。

镁与钾和钙之间关系的研究较多, 三者间离子竞争关系得到多数研究者的认可, 然而缺镁条件下植物组织钾和钙含量的变化仍然存在不同。Ding 等<sup>[13]</sup>发现缺镁抑制水稻对钾的吸收。但 Cai 等<sup>[22]</sup>则发现缺镁降低水稻根部钾浓度, 对地上部钾浓度没影响。Hermans 等<sup>[21]</sup>发现缺镁降低拟南芥根和叶中钾含量, 但根和叶中钙含量增加。而 Hariadi 和 Shabala<sup>[29]</sup>的研究结果是缺镁初期会增加蚕豆叶片钾含量, 但后期降低钾含量, 对蚕豆叶片钙浓度没有影响。王敏艳等<sup>[26]</sup>对 3 种菊科花卉营养研究发现, 缺镁增加金盏菊钾含量, 降低其钙含量, 其他 2 种花卉的钾和钙都没显著变化。隋方功等<sup>[24]</sup>的研究表明缺镁对夏谷钾和钙含量没影响。Lavon 等<sup>[25]</sup>的研究结果是缺镁增加粗皮柠檬叶片中钾含量, 降低钙含量。王秀荣等<sup>[27]</sup>对 2 个大豆品种缺素研究发现, 缺镁增加巴西 10 号根部钾含量, 降低本地 2 号地上部钙含量。本试验的结果是镁缺乏对黄瓜根和叶中钾含量没影响, 但显著增加了根和叶中钙含量。以上研究结果表明镁与钾和钙三者之间并非仅存在离子竞争关系, 可能也受到生理代谢调节等其他作用的影响。

已有研究表明镁缺乏对植物组织中铜、锰、铁和锌含量的影响也并不一致。申燕等<sup>[11]</sup>研究表明镁胁迫不同程度的降低橘橙各部位锌含量。缺镁增加 2 个大豆品种根部铁含量, 但对地上部无影响<sup>[27]</sup>。缺镁增加了拟南芥根和叶的铁和铜含量, 锌含量在根部降低而在叶片增加<sup>[21]</sup>。镁缺乏导致桑树叶片中锰、铁和锌含量增加, 对铜含量没影响<sup>[4]</sup>。缺镁对拟南芥叶片和根铁浓度无影响, 增加叶片锰浓度, 但对根部锰浓度无影响, 根部锌浓度降低, 叶增加<sup>[30]</sup>。在本试验中, 缺镁显著增加了叶片中铜、锰、铁、锌浓度和根部锰、铁、锌浓度, 而对根部铜浓度无显著影响(图 4), 表明这些微量元素含量的增加可能主要是由于它们受镁离子竞争作用降低的缘故。

综上所述, 镁缺乏对植物吸收矿质元素的影响不一致, 可能与植物种类和品种有关, 也可能受到其他生长条件的影响。本试验中, 镁缺乏导致黄瓜植株的磷、钙、铜、锰、锌和铁浓度都显著增加, 而这些元素增加的原因可能是由浓缩效应导致的, 也可能源于镁缺乏引起的离子竞争或拮抗减弱, 或是镁缺乏导致植株生理代谢失调导致。镁缺乏对植物吸收其他矿质元素影响的机制尚不清楚, 有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants [M]. London: Academic Press, 1995.
- [2] Wilkinson S R, Welch R M, Mayland H F, et al. Magnesium in plants: uptake, distribution, function, and utilization by man and animals [J]. *Metal Ions in Biological Systems*, 1990, 26: 33 – 56.
- [3] Hermans C, Bourgis F, Faucher M, et al. Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves [J]. *Planta*, 2005, 220(4): 541 – 549.
- [4] Tewari R K, Kumar P, Sharma P N. Magnesium deficiency induced oxidative stress and antioxidant responses in mulberry plants [J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 108(1): 7 – 14.
- [5] Shaul O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg [J]. *BioMetals*, 2002, 15(3): 307 – 321.
- [6] Cakmak I, Hengeler C, Marschner H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1994, 45(9): 1245 – 1250.
- [7] 黎娟, 邓小华, 周米良 等. 湘西植烟土壤交换性镁含量及空间分布研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2012, 34(2): 232 – 236.
- [8] Landaman G, Hunter I R, Hendershot W. Temporal and spatial development of magnesium deficiency in forest stands in Europe, North America and New Zealand [M]. In *Magnesium deficiency in forest ecosystems*: Hutt R. F. and Schaaf W, Kluwer Academic Publisher: Dordrecht, The Netherlands, 1997: 23 – 64.
- [9] Wang H, Chu T. Characteristics of magnesium release from Fluvo – Aquic soil and relative availability of magnesium to plants [J]. *Pedosphere*, 2000, 10: 281 – 288.
- [10] Hermans C, Johnson G N, Strasser R J, et al. Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II [J]. *Planta*, 2004, 220(2): 344 – 355.
- [11] 申燕, 肖家欣, 杨慧 等. 镁胁迫对‘春见’橘橙生长和矿质元素分布及叶片超微结构的影响 [J]. *园艺学报*, 2011, 38(5): 849 – 858.
- [12] Williams L, Salt D E. The plant ionome coming into focus [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2009, 12(3): 247 – 249.
- [13] Ding Y, Luo W, Xu G. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice [J]. *Annals of Applied Biology*, 2006, 149: 111 – 123.
- [14] Mengel K, Kirkby E. Principles of Plant Nutrition [M]. 4th edition. International Potash Institute, Worblaufen – Bern, Switzerland, 1987, 481 – 492.
- [15] Cakmak I, Yazici A M. Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production [J]. *Better Crop*, 2010, 94(2): 23 – 25.
- [16] 蒋先明. 蔬菜栽培学各论(北方本) [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 199 – 200.
- [17] 孙玉河. 我国黄瓜生产的现状、问题和发展趋势 [J]. *天津农业科学*, 2003, 9(3): 54 – 56.
- [18] 谢小玉, 刘海涛, 程志伟. 镁对温室黄瓜光合特性的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2009(6): 36 – 40.
- [19] Ippolito J A, Barbarick K A. Modified nitric acid plant tissue digest method [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2000, 31(15/16): 2473 – 2482.
- [20] Fageria N. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions [J]. *Plant and Soil*, 1983, 70(3): 309 – 316.
- [21] Hermans C, Vuylsteke M, Coppens F, et al. Systems analysis of the responses to long – term magnesium deficiency and restoration in *Arabidopsis thaliana* [J]. *New Phytologist*, 2010, 187(1): 132 – 144.
- [22] Cai J, Chen L, Qu H, et al. Alteration of nutrient allocation and transporter genes expression in rice under N, P, K, and Mg deficiencies [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2011: 1 – 8.
- [23] Yuan T L, Sayre J D. The accumulation and distribution of  $^{32}\text{P}$  in various tissues of nitrogen – potassium – calcium – , and magnesium – deficiency corn plants [J]. *The Ohio Journal of Science*, 1959, 59(5): 263 – 268.
- [24] 隋方功, 于春春, 刘培利. 缺素培养对夏谷幼苗吸收磷钾钙镁的影响 [J]. *莱阳农学院学报*, 1992, 9(3): 205 – 210.
- [25] Lavon R, Salomon R, Goldschmidt E E. Effect of potassium, magnesium, and calcium deficiencies on nitrogen constituents and chloroplast components in citrus leaves [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1999, 124(2): 158 – 162.
- [26] 王敏艳, 吴良欢, 俞信英 等. 菊科花卉常见缺素症及植株养分含量变化探讨 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5): 7.
- [27] 王秀荣, 曾秀成, 王文明 等. 缺素培养对大豆养分含量的影响 [J]. *华南农业大学学报*, 2011, 32(4): 31 – 34, 46.
- [28] Jones J B Jr. Phosphorus toxicity in tomato plants: when and how does it occur [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1998, 29: 1779 – 1784.
- [29] Hariadi Y, Shabala S. Screening broad beans (*Vicia faba*) for magnesium deficiency. I. Growth characteristics, visual deficiency symptoms and plant nutritional status [J]. *Functional Plant Biology*, 2004, 31(5): 529 – 537.
- [30] Hermans C, Chen J, Coppens F, et al. Low magnesium status in plants enhances tolerance to cadmium exposure [J]. *New Phytologist*, 2011, 192(2): 428 – 436.