

镉氮交互作用对小白菜生长及其体内镉累积的影响

李艳梅^{1,2}, 刘小林³, 袁霞^{1,2}, 张兴昌^{1,2*}, 高建伦⁴

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 榆林市农业科学研究所, 陕西 榆林 719000; 4. 陕西省黄龙县气象局, 陕西 黄龙 715700)

摘要: 采用温室盆栽试验, 研究了镉氮交互作用对小白菜植株的干重和镉累积的影响。结果表明: 在试验范围内, 土壤施氮显著改善小白菜植株的生长状况, 土壤镉污染水平对小白菜植株地上部分和根系干重的影响差异不显著。土壤镉污染显著导致镉在植株体内的累积, 镉污染水平对小白菜植株镉浓度和镉累积量的影响差异显著。施氮条件下植株镉浓度的变化趋势因土壤镉污染水平不同而异, 施氮在促进生长的同时, 在一定程度上也促进了植株对镉的吸收和累积。植株地上部镉累积明显大于根系镉累积, 且土壤外源镉污染水平下小白菜植株没有表现出镉毒害症状, 说明小白菜植株地上部具有耐镉并累积镉的特性。

关键词: 小白菜; 土壤镉污染; 氮肥; 镉浓度; 镉累积量; 生物量

中图分类号: S643.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)06-0110-04

镉是对植物毒性较强的一种重金属。近年来, 随着工业生产的迅速发展, 铅锌铜的矿山开采和冶炼厂的废水、尘埃和废渣, 以及电镀、电池、颜料、塑料稳定剂、涂料工业废水, 以及农田上使用磷肥使大量的镉进入土壤生态系统。环境中的镉大约有70%累积在土壤中^[1]。大量研究表明, 土壤镉污染对叶菜类蔬菜的品质影响最大, 当土壤镉含量达到1 mg/kg时, 已很难生产出镉含量符合卫生标准的叶菜产品^[2]。小白菜作为大众化的蔬菜, 为人类提供必需的营养元素。农田受镉污染后, 镉会通过蔬菜转移富集到人体和动物体, 对人和动物产生毒害作用^[3]。特别是有些蔬菜在植株表现出镉毒害症状之前, 其体内镉的含量可能已经超过食用安全标准^[4], 从而对人类健康构成潜在威胁^[5~7]。

氮肥是农业生产中最为常用的肥料, Grant等的研究表明施用氮肥通过改变土壤条件而影响土壤镉的植物有效性^[8]。但目前关于氮肥对镉的植物有效性影响的研究结果不尽一致^[9,10]。研究氮镉相互作用对于镉污染土壤的治理以及食品安全的保障具有重要意义。本研究以黄绵土为供试土壤, 分析了盆栽试验条件下镉、氮交互作用对小白菜生长和体内镉含量的影响, 以期进一步揭示镉、氮交互作用下小白菜对镉污染的响应机理, 为蔬菜镉污染防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤为黄绵土, 采自陕西安塞县。土壤部分特性: pH(1:2.5) 8.1; 有机质 0.8 g/kg, 碱解氮 0.04 g/kg, 速效磷 0.02 g/kg。供试植物为小白菜〔品种为四季小白菜(*Brassica Chinensis*)〕。试验中磷钾肥为磷酸二氢钾和硫酸钾, 氮肥为尿素, 镉为分析纯 CdCl₂·2.5H₂O。

1.2 试验方法

试验于2007年3月26日~5月10日在植物生长培养室进行, 试验采取模拟蔬菜一次性受重金属镉污染的盆栽方式进行。2 kg风干土放入聚乙烯塑料盆, 设4个水平的镉处理(0、5、15和35 mg/kg)和4个水平的氮处理(0、50、150和300 mg/kg)共计16个处理, 每个处理重复3次。磷肥和钾肥按0.10 g/kg P₂O₅和0.10 g/kg K₂O的标准作为底肥, 施入的钾肥(以硫酸钾形式施入)按基本剂量100 mg K/kg减去施入的磷肥(以磷酸二氢钾形式施入)含的钾量来补足。在生长期用去离子水浇灌到田间水平。每盆播10粒小白菜种子, 出芽后间至5株。

1.3 样品的采集、处理和测定

播种45 d后收获地上部, 用去离子水冲洗干净, 用吸水纸将水吸干后105℃杀青30 min, 然后

收稿日期: 2008-03-17
基金项目: 教育部创新团队支持计划; 国家科技支撑计划(2006BAD09)
作者简介: 李艳梅(1983—), 女, 陕西志丹人, 硕士, 主要从事重金属污染防治方面的研究。E-mail: liyanmei0101@163.com。
* 通信作者: 张兴昌(1965—), 男, 陕西武功人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事环境科学研究。E-mail: zhangxc@ms.iswc.ac.cn。

70℃烘至恒重,称干重。按每 150 mg 植物干样 10 ml 混合酸(硝酸:高氯酸=4:1)的比例加酸消解,然后用去离子水稀释至 25 ml 容量瓶中。消解液中的镉用 AA320 原子吸收分光光度计测定。

2 结果与分析

2.1 镉、氮交互作用下小白菜生长量的变化

在试验范围内,镉污染水平对不同氮素营养条件下黄绵土壤上生长的小白菜的生长影响不大,小白菜植株地上部分和根系的干重在不同的镉污染水平之间差异不显著 ($P>0.05$) (图 1, 图 2)。50 mg/kg 的施氮量能显著改善小白菜植株的生长状况 ($P\leq 0.05$),地上部干重较不施氮增加 1.89 倍,根

系干重较不施氮增加 1.29 倍。随施氮量的进一步提高,干重增加的趋势有所减弱。除 15 mg/kg 的镉污染水平外,小白菜地上部干重均随氮素水平的增加而增加,在施氮水平达最大时,干重也达最大值。除 5 mg/kg 的镉污染水平外,小白菜根系干重均在 150 mg/kg 的施氮水平时达最大值。施氮水平 300 mg/kg,镉污染水平 35 mg/kg 时,小白菜地上部分的干重达最大值 7.71 g/pot; 施氮水平 150 mg/kg,无镉污染时,小白菜根系的干重达最大值 0.60 g/pot。可见镉污染水平的增加未对小白菜植株的生长产生明显影响,这可能是土壤颗粒对镉离子的吸附减弱了镉对小白菜生长的影响。

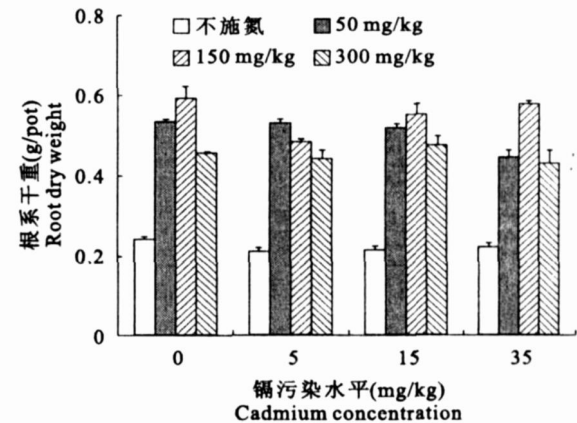
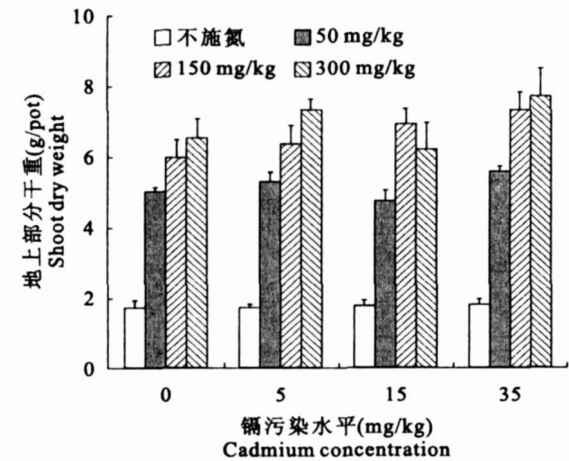


图 1 镉氮交互作用下小白菜地上部分干重的变化

图 2 镉氮交互作用下小白菜根系干重的变化

Fig.1 Changes in shoot dry weight of pakchoi under the interactive effects of cadmium contamination and nitrogen application

Fig.2 Changes in root dry weight of pakchoi under the interactive effects of cadmium contamination and nitrogen application

2.2 镉、氮交互作用下小白菜镉浓度的变化

小白菜植株地上部和根系的镉浓度均随土壤镉污染水平的增加而显著增加 ($P<0.05$),各镉污染水平之间对植株体内镉浓度的影响差异显著 ($P<0.05$)。此外,植株体内镉浓度随施氮量的变化趋势因镉污染水平不同而异(图 3, 图 4)。植株地上部分的镉浓度在 5 mg/kg 和 35 mg/kg 的土壤镉污染水平时,随施氮量的增加而增加;在土壤无镉污染时先增加后减少;在 15 mg/kg 的土壤镉污染水平时随施氮量的增加表现出增加—减少—增加的趋势。根系镉浓度在不同的土壤镉污染水平下均随施氮量的增加先减少后增加。总体上来说,施氮提高了小白菜植株体内的镉浓度,植株地上部镉浓度在施氮 50、150 和 300 mg/kg 时比不施氮分别提高 21.1%、22.7% 和 44.6%。根系镉浓度在施氮 150 和 300 mg/kg 时比不施氮分别提高 3% 和 26%,说明施氮

在一定程度上增加植株体内镉浓度,促进植株对镉的吸收和累积。这一结果与 Grant 等^[11]的研究结果类似。此外,不同氮素水平下,小白菜植株地上部镉浓度均高于根系镉浓度(图 3, 图 4),表明小白菜地上部对镉的富集能力强于根系。

2.3 镉、氮交互作用下小白菜镉累积量的变化

小白菜植株地上部和根系的镉累积量均随土壤镉污染水平的增加而增加 ($P\leq 0.05$)。在本研究的土壤镉污染水平范围内,小白菜植株地上部镉累积量平均提高 5.11 倍,根系镉累积量平均提高 23.39 倍。小白菜植株地上部镉累积量随土壤施氮水平的增加逐渐增加;根系镉累积量在较高的土壤镉污染水平时,随施氮量的增加先增加后减小 (图 5, 图 6)。与不施氮相比,施氮使植株地上部镉累积量平均增加 3.29 倍,根系镉累积量平均增加 1.43 倍。植株地上部镉累积量在最大镉污染水平与最大施氮

水平的一组处理中达最大值 589.27 $\mu\text{g}/\text{pot}$, 根系镉累积量在最大镉污染水平与 150 mg/kg 施氮水平的一组处理中达最大值 44.56 $\mu\text{g}/\text{pot}$ 。小白菜地上部镉累积量明显高于根系镉累积量, 如不施氮, 50、

150、300 mg/kg 施氮水平下地上部镉累积量分别为根系镉累积量的 2.27、4.05、3.53 和 4.49 倍, 表明小白菜植株地上部具有耐镉并且积累吸收镉的特性。

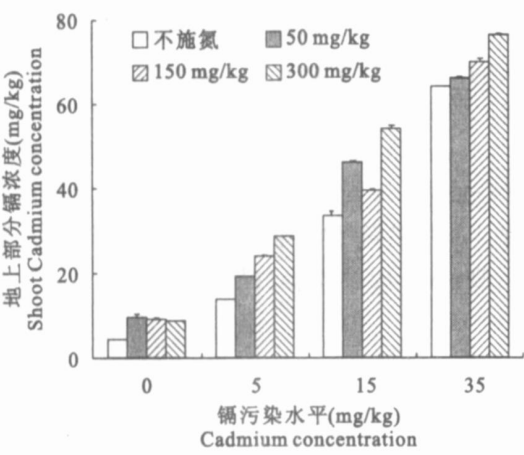


图 3 镉氮交互作用下小白菜地上部分镉浓度的变化
Fig.3 Changes in shoot cadmium concentration of pakchoi under the interactive effects of cadmium contamination and nitrogen application

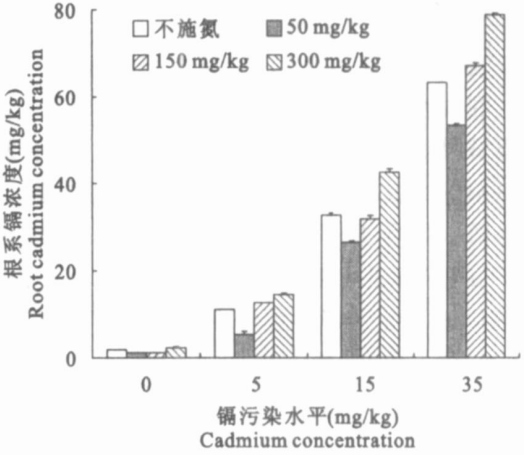


图 4 镉氮交互作用下小白菜根系镉浓度的变化
Fig.4 Changes in root cadmium concentration of pakchoi under the interactive effects of cadmium contamination and nitrogen application

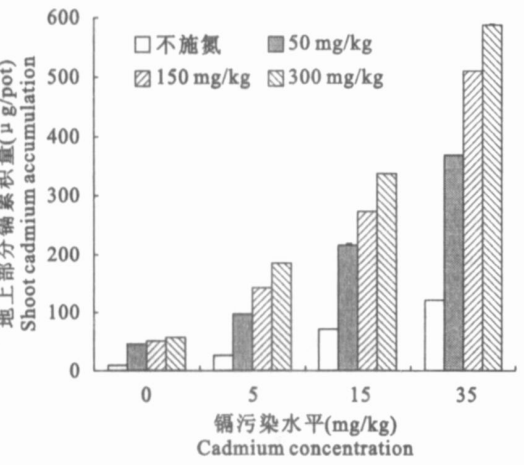


图 5 镉氮交互作用下小白菜地上部分镉累积量的变化
Fig.5 Changes in shoot cadmium accumulation of pakchoi under the interactive effects of cadmium contamination and nitrogen application

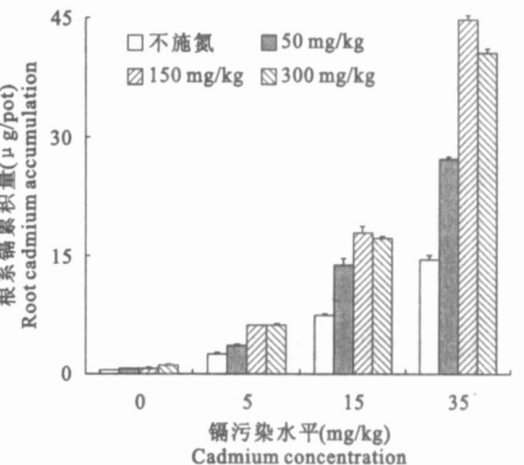


图 6 镉氮交互作用下小白菜根系镉累积量的变化
Fig.6 Changes in root cadmium accumulation of pakchoi under the interactive effects of cadmium contamination and nitrogen application

3 讨论

3.1 镉、氮交互作用对小白菜生长的影响

在本研究中, 土壤无论是处于低浓度镉污染还是高浓度的镉污染, 小白菜生长量的变化都不大, 同时从小白菜整个生育期生长状况的观察来看, 植株生长较好, 土壤处于高浓度镉污染时的植株未表现出外在的伤害症状。这主要是由于土壤缓冲性能较

强, 吸附了相当数量的镉离子, 减弱了其对植物的毒害; 另一方面, 本研究选用的小白菜为芸苔属植物, 芸苔属植物含有重金属吸收和积累的基因^[12, 13], 一些芸苔属植物在植株表现出重金属毒害之前, 其实体内重金属含量已超过食用安全标准^[4]。因此, 本试验土壤的外源镉水平没有使小白菜植株表现出镉毒害症状。

3.2 镉、氮交互作用对小白菜镉吸收的影响

小白菜植株地上部镉的浓度和累积量随土壤镉污染水平的增加而增加,而且在不同镉污染水平下均随施氮水平的增加而增加。这说明施氮在一定程度上增加植株体内镉浓度,促进小白菜对镉的吸收和累积,这与 Grant 等^[11]的研究结果一致。这可能是氮肥的施用增加了植物根系的吸收能力,促进了植物体对镉的吸收。根系镉浓度在 50 mg/kg 的施氮水平时降到最低,镉累积量在 150 mg/kg 的施氮水平时达到最大值。50 mg/kg 的施氮水平因其能够显著地促进生长,在增加了根系生长量的同时稀释了根系内镉溶液的浓度。150 mg/kg 的施氮水平作为对根系生长较为适合的施氮水平,没有对根系产生营养元素过剩的毒害,且产生了较大的生物量,因此吸收积累了大量的镉离子。

目前,关于氮素营养对植物体内镉含量影响的研究结果还不一致^[9,10],主要是因为植株体内镉含量除了与外源镉浓度有关外,还与植物因素如种类、品种、植物部位^[14~16]有关,而培养介质、施肥种类^[9,10]、施肥水平和土壤溶液中不同离子之间的相互作用影响植物对土壤中镉的吸收和累积。小白菜植株地上部镉浓度与根系镉浓度差别不大,但镉累积量却是根系的 2.27~4.49 倍,主要是地上部生物量远远大于根系生物量,而且小白菜具有重金属吸收和积累基因,具有较强的向地上部分转运重金属的能力。此外,小白菜在高镉污染水平下仍能够保持较好生长,还与黄绵土质地、有机质含量、化学组成、土壤环境 pH、Eh、水热条件、生物学特性、微生物及酶的活性、施入氮肥的种类等有关。

参 考 文 献:

[1] 夏立江,王宏康.土壤污染及其防治[M].上海:华东理工大学出版社,2001.57—57.
[2] 丁爱芳,潘根兴.南京城郊零散菜地土壤与蔬菜重金属含量及健康风险分析[J].生态环境,2003,12(4):409—411.

[3] 赵美萍,邵敏.环境化学[M].北京:北京大学出版社,2005.200—200.
[4] 黄雅琴,杨在中.蔬菜对重金属的吸收积累特点[J].内蒙古大学学报(自然科学版),1995,26(5):608—614.
[5] Alfvén T, Elinder C G, Carlsson M D, et al. Low level cadmium exposure and osteoporosis[J]. Journal of Bone and Mineral Research, 2000, 15(8): 1579—1586.
[6] Järup L, Hellström L, Alfvén M D, et al. Low level exposure to cadmium and early kidney damage; the OSCAR study[J]. Occupational and Environmental Medicine, 2000, 57(10): 668—672.
[7] Olsson I M, Eriksson J, Oborn I, et al. Cadmium in food production systems—a health risk for sensitive population groups[J]. Ambio, 2005, 34(4~5): 344—351.
[8] Grant C A, Bailey L D, McLaughlin M J, et al. Management factors which influence cadmium concentrations in crops [A]. McLaughlin M J, Singh B R. Cadmium in Soils and Plants[C]. Holland: Kluwer Academic Publishers, 1999. 158—173.
[9] Gavi F, Basta N T, Raun W R, et al. Wheat grain cadmium as affected by long-term fertilization and soil acidity[J]. Journal of Environmental Quality, 1997, 26(1): 265—271.
[10] Landberg T, Greger M. Influence of N and N supplementation on Cd accumulation in wheat grain[A]. 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements[C]. Uppsala, 2003. 90—91.
[11] Grant C A, Buckley W T, Bailey L D, et al. Cadmium accumulation in crops[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1998. 78(1): 1—17.
[12] Pandey N, Sharma C P. Effect of metal CO^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage[J]. Plant Science, 2002, 163(4): 753—758.
[13] 郑爱珍,刘传平,沈振国,等.镉对青菜白菜生长的影响[J].北方园艺,2005,(2):42—43.
[14] Bogess S F, Willavize S, Koeppe D E, et al. Differential response of soybean cultivars to soil cadmium[J]. Agronomy Journal, 1978, 70(5): 756—760.
[15] Moreno-Caselles J, Moral R, Perez-Espinosa A, et al. Cadmium accumulation and distribution in cucumber plant[J]. Journal of Plant Nutrition, 2000, 23(2): 243—250.
[16] Obata H, Umebayashi M. Effects of cadmium on mineral nutrient concentrations in plants differing in tolerance for cadmium[J]. Journal of Plant Nutrition, 1997, 20(1): 97—105.

(英文摘要下转第 118 页)

Verifying experiment on optimized formula of nutrient solution for *Ipomoea aquatica* Forsk based on the quality of water in Yinchuan

LI Jian-she^{1,2}, CHENG Zhi-hui², LIU Ju-lian¹, SUN Quan¹

(1. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The comprehensive effects of N, P, K and Ca concentrations on growth, yield, quality, and total N, P and K content of *Ipomoea aquatica* Forsk were verified by means of Deep Flow Technique (DFT) under energy saving greenhouse condition. The results showed that the combination of four optimized factors promoted the growth, root activity, yield, quality, and N, P, K content of *Ipomoea aquatica* Forsk as compared with control. The optimal ration of N, P, K and Ca to achieve highest yield of individual *Ipomoea aquatica* Forsk was 9.0, 0.5, 4.5 and 4.0 mmol/L respectively. This ration was verified because the growing trend, root vigor, yield, quality and total N, P and K content of *Ipomoea aquatica* Forsk were superior to CK.

Keywords: *Ipomoea aquatica* Forsk; DFT; nutrient solution optimization; model verification

(上接第 113 页)

Interactive effects of nitrogen application and cadmium contamination on Pakchoi growth and Cd accumulation

LI Yan-mei^{1,2}, LIU Xiao-lin³, YUAN Xia^{1,2}, ZHANG Xing-chang^{1,2}, GAO Jian-lun⁴

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University¹, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Yulin Agricultural Science Research Institute, Yulin, Shaanxi, 719000, China;

4. Meteorological Bureau of Huanglong County, Yanan, Shaanxi, 715700, China)

Abstract: Soil Cd pollution has negative effect on eco-environment as well as agricultural production. Loess soil was used to investigate the interactive effects of nitrogen application and cadmium contamination on dry weight and cadmium content in the shoot and root of Pakchoi in a greenhouse pot experiment. The results showed that Pakchoi growth status was significantly improved with the increase of nitrogen to loess soil in all cadmium treatments, while Pakchoi's dry weight was not significantly affected by soil cadmium contamination in any nitrogen treatments. Cadmium concentration and accumulation in the shoot and root were significantly increased with the increase of cadmium, changes in cadmium concentration in the shoot and root of Pakchoi with the increase of nitrogen was different with cadmium treatments, Pakchoi growth as well as cadmium accumulation was increased with the increase of nitrogen application. Cadmium accumulation in shoot of Pakchoi was greater than that in root of Pakchoi and there are not obvious toxic symptom appeared in the plant of Pakchoi, it indicated that the shoot of Pakchoi has the characteristic of both tolerating and accumulating cadmium from the soil. The results may be instructive in providing theoretical foundation for the prevention of cadmium contamination in vegetables.

Keywords: Pakchoi; soil cadmium contamination; nitrogen; cadmium concentration; cadmium accumulation; biomass