植物营养与肥料学报 2005,11(3):363 - 368
Plant Nutrition and Fertilizer Science

施氮、钾和钼对菠菜不同生长阶段硝态氮积累影响研究初报

柳 勇[1], 何江华[1*], 杜应琼[2], 夏运生[1], 魏秀国[1], 朱立安[1]
(1 广东省生态环境与土壤研究所,广东省农业环境综合治理重点实验室,广东广州 510650;
2 广东省农业科学院蔬菜所农业部蔬菜质量检验测试中心,广东广州 510640)

摘要: 采用盆栽试验研究了肥料(氮、钾、钼)互作对菠菜不同生长阶段硝态氮积累的影响。结果表明,施肥对菠菜硝态氮积累的影响整体表现为:柄 > 叶,老叶 > 新叶;与生长前期相比,收获期各部位中硝态氮含量均有下降趋势。不施氮条件下,施钼极显著或显著地降低了菠菜生长前期和收获期叶片中硝态氮含量,降幅分别为 19.3% 和 21.4%;施氮条件下,施钼仅显著降低了菠菜生长前期叶片中硝态氮含量,降幅达 21.2%。在本试验条件下,单施钼比钼钾配施更有利于降低菠菜叶片中硝态氮的含量;钾与钼营养的相互效应,以及钾与钼之间如何平衡,似乎是影响施钼效果的关键。

关键词: 氮钾钼配施; 菠菜; 硝态氮积累
中图分类号: S636.106　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2005)03-0363-06

Effects of N, K and Mo application on the nitrate accumulation at different growth stages of spinach

LIU Yong[1], HE Jiang-hua[1*], DU Ying-qiong[2], XIA Yun-sheng[1], WEI Xiu-guo[1], ZHU Li-an[1]
(*1 Guangdong Institute of Ecology, Environmental and Soil Sciences, Key Laboratory of Guangdong for Comprehensive Administration of Agricultural Environment, Guangzhou 510650, China;*
2 The Vegetable Quality Inspect and Test Center of Vegetable Institute of Guangdong AAS, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Application of chemical fertilizer, especially over-fertilization, conduced to the accumulation of nitrate nitrogen easily in the leaves and petioles of spinach . Literatures reported that K and Mo application could improve NRase activity of leaf which resulted in the reduction of nitrate content. However, the interactive effects of Mo and K on the accumulation of nitrate nitrogen in vegetables, and how to balance application of Mo and K was little known. Whereas, pot culture experiment was conducted to study the effects of fertilization (N, K and Mo combined application) on contents of nitrate nitrogen in the leaves and petioles at different growth stage of spinach. The objective of this study is exploring the optimal condition under which nitrate content decreased with Mo application. The results showed that the nitrate contents differed with positions. Nitrate content in petioles is the highest, followed with old leaves and young leaves. Compared with growing prophase of spinach, the contents of nitrate nitrogen in different position trended to decrease at harvest. Without the nitrogen application, the nitrate contents in spinach leaves were dramatically decreased by Mo application. The decreasing amplitudes were 19.3% at growth prophase and 21.4% at harvest, respectively. With the nitrogen application, the nitrate nitrogen contents in spinach leaves were only dramatically decreased by Mo application at growth prophase, the decreasing amplitude was 21.2%. However, Mo or K application could not significantly decrease the contents of nitrate nitrogen in spinach petioles. Single Mo application is more propitious to decrease the nitrate nitrogen contents in spinach

收稿日期: 2004-06-08　　**修改稿收到日期**: 2004-09-20
基金项目: 广东省自然科学基金(010152,032007); 广东省农业攻关项目(2002C20510); 广东省重大专项(A205); 广东省农科院发展基金项目(2003-发展-14)资助。
作者简介: 柳勇(1976—),男,湖北京山人,硕士,助理研究员,主要从事植物营养生理与污染控制方面的研究。* 通讯作者

leaves than Mo and K combined application. The interaction of Mo and K and how to balance fertilization maybe is key point which influence the effects of Mo application.

Key words: N, K and Mo combined application; spinach; nitrate accumulation

人体摄入的硝态氮有80%以上来自所吃的蔬菜,特别是叶菜类;蔬菜中硝态氮的过量累积给人体健康带来潜在危害。广东省叶类蔬菜硝态氮累积情况十分严重[1-2];国外报道,菠菜硝态氮含量最高已达3760 mg/kg[3]。造成蔬菜硝态氮累积的因素很多,既有蔬菜种类、品种因素,又有外界环境条件因素(土壤和肥料、温度和光照等),其中氮营养是最主要的外在影响因素[4-5]。

平衡养分供应,是控制蔬菜体内硝态氮含量的关键。如合理的氮磷钾配比可以降低硝态氮在蔬菜体内的积累[6]。有研究表明,施用钼肥对硝酸还原酶有激活作用,使蔬菜特别是叶类蔬菜体内的硝态氮含量下降[7-8]。蔬菜地土壤缺钼在我国华南地区比较普遍,施钼显得十分紧迫而且必要;但长期以来,蔬菜钼肥的施用存在很大的盲目性。而且Mo和N、K配施降低蔬菜硝态氮的应用条件还不十分清楚,导致施钼效果不稳定,甚至结论相反[9]。菠菜是一种易于富集硝态氮的喜硝叶类蔬菜,栽培不当将极易使硝态氮在体内大量积累而危及人体健康。基于以上问题,本课题采用盆栽试验进行了肥料(氮、钾、钼)互作对菠菜不同生长阶段硝态氮积累影响的初步研究,旨在探讨钼降低菠菜硝态氮含量在施肥上的应用条件。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试土壤为广州增城市镇龙镇大涵村潮土(成土母质为河流冲积物),其理化性状为:有机质26.9 g/kg;碱解N 139.49 mg/kg;速效P 12.07 mg/kg;速效钾K 44.28 mg/kg;有效Mo 0.182 mg/kg;pH(H_2O)4.40。供试蔬菜为广东省农业科学研究院蔬菜研究所提供的尖叶菠菜(*Spinacia oleracea* L.)。试验采用塑料盆钵,内衬聚乙烯塑料薄膜,每盆装土(过2mm筛)3.0 kg。

试验设3个因子,每因子2水平,即不施N与施N 0.4 g/kg(用$NaNO_3$作肥源);不施K_2O与施K_2O 0.3 g/kg(用KCl作肥源);不施Mo与施Mo 0.15 mg/kg(用$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$作肥源)。共6个处理,分别为:1)对照(CK),2)N,3)NK,4)Mo,5)NMo,6)NKMo。每处理4次重复。Mo肥(4、5、6号处理)于菠菜播种前施入;N、K肥(2、3、5、6号处理)于菠菜出现4~5片真叶后施入。所有处理均施P_2O_5 0.20 g/kg、MgO 0.04 g/kg作底肥,以过磷酸钙、$MgSO_4 \cdot 7H_2O$为肥源与土壤混匀,并加入无钼阿农溶液1mL/kg。所用肥源均为分析纯化学试剂。于2002年11月11日播种,苗齐后定苗。其它管理措施按常规。

1.2 测定项目与方法

分别在出苗后第30d(生长前期)和第45d(收获期)两次取鲜样测定叶片和叶柄中硝态氮含量。新鲜样品经洗净、晾干后,将叶片和叶柄分别混匀。新长成的4片叶(含心叶)为新叶,其他叶为老叶。提取硝态氮并参照卢其明等[10]方法测定其吸光度,按$\triangle A = A_{210} - A_{275}$计算。硝态氮测定所用紫外分光光度计型号为上海棱光S53。

先采用Grubbs法剔除组内数据中的异常值($P = 0.05$);再采用SPSS11.5 for windows软件进行统计学检验。硝态氮含量结果为3或4次重复的平均值,各处理代号用菠菜部位(叶、柄、老叶、新叶)+处理号表示,如L1...、P1...、OL1...、YL1...。

两个样本平均数间的比较,采用t检验法。多个样本平均数间的比较,先用Levene法进行方差齐性检验,若方差齐,则采用方差分析,并用Duncan检验法;若方差不齐,则采用Kruskal-Wallis检验法(H检验),并用Nemenyi法秩和检验,对每两个样本进行比较。$P < 0.05$为差异显著,$P < 0.01$为差异极显著,分别用*和**表示。

2 结果与分析

2.1 施肥对菠菜不同生长阶段硝态氮积累的影响

施肥对菠菜生长前期和收获期硝态氮积累的影响(图1)看出,施氮、钾和钼对叶片和叶柄中硝态氮积累的影响为施氮造成各部位硝态氮含量升高,施钾则会降低硝态氮的含量,而这种趋势在生长前期尤为明显(收获期老叶和新叶除外)。与生长前期相比,菠菜在收获期时各部位中硝态氮含量均有下降的趋势。在氮钾施用量相同的情况下,施钼则降低了菠菜不同生长阶段叶片和叶柄中硝态氮的含量。硝态氮的积累规律整体表现为:柄>叶。进一步比较植株收获期不同成熟度叶片(叶龄)中的硝态氮含

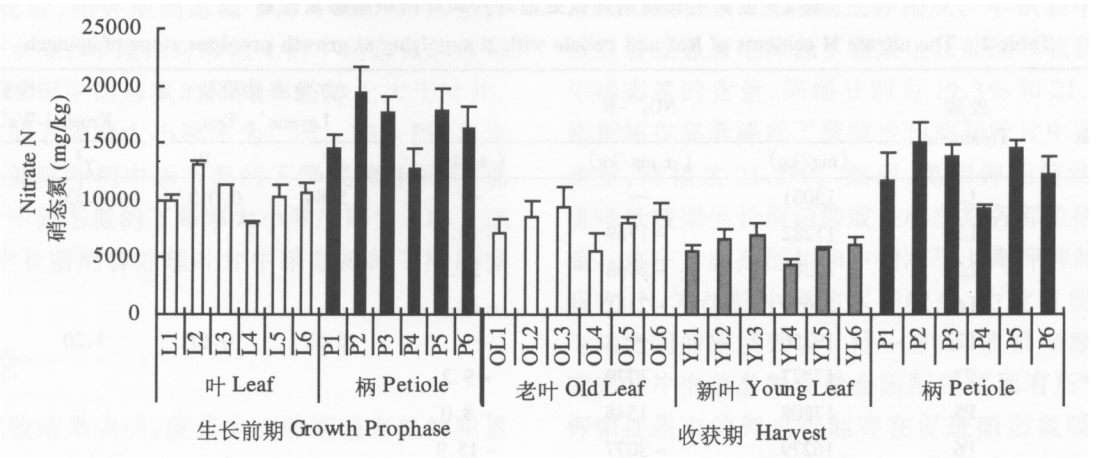

图 1　施肥对菠菜各生长阶段硝态氮积累的影响

Fig.1　The effects of fertilization on the nitrate N accumulation at different growth stage of spinach

(L—叶 Leaf；P—柄 Petiole；OL—老叶 Old leaf；YL—新叶 Young leaf)

量发现，同一处理表现为老叶 > 新叶。

2.2　不同氮水平下施钼、钾对菠菜生长前期硝态氮积累的影响

2.2.1　无氮处理　表 1 可见，菠菜在出苗后进入第 30d 时，不施氮的两个处理(L1 与 L4)叶片中硝态氮含量差异达极显著水准，而叶柄中差异不显著。叶片中硝态氮的下降率明显大于叶柄。说明施钼极显著地降低了叶片中的硝态氮含量；叶柄中硝态氮含量虽有降低趋势，但未达到显著水准。

表 1　菠菜生长前期无氮处理叶片和叶柄中硝态氮含量

Table 1　The nitrate N contents in leaf and petiole without N supplying at growth prophase stage of spinach

部位 Position	处理 Treatment	NO_3^- - N (mg/kg)	(± mg/kg)	(± %)	t 检验 T-test t	P
叶片 Leaf	L1	9892	—	—	5.81	0.005**
	L4	7986	- 1906	- 19.3		
叶柄 Petiole	P1	14437	—	—	1.51	0.182
	P4	12693	- 1744	- 12.1		

2.2.2　施氮处理　菠菜生长前期施氮各处理叶柄中硝态氮含量经 F 检验与采用 Kruskal-Wallis 法检验的结果一致，各处理间差异未达到显著水准(表 2)。说明各处理对叶柄中硝态氮积累的影响均无显著差异。硝态氮的下降率大小顺序为：P6 > P3 > P5。

采用 Kruskal-Wallis 检验法及 Nemenyi 法进行两两比较施氮各处理叶片硝态氮含量，经 H 检验可知，只有 L5 与 L2 间的硝态氮含量差异达显著水准($P = 0.044$)，L6、L3 与 L2 间均无显著差异。说明配施钼显著地降低了叶片中的硝态氮含量，降幅为 21.2%；氮钼钾或氮钾配施对降低叶片中硝态氮含量的作用都不十分明显。硝态氮的下降率大小顺序为：L5 > L6 > L3。同样，叶片中硝态氮的下降率整体上大于叶柄。

2.3　不同氮水平下施钼、钾对菠菜收获期硝态氮积累的影响

2.3.1　无氮处理　同样采用 t 检验比较了收获期对照和施钼处理不同部位间硝态氮含量的差异显著性。表 3 结果表明，菠菜在出苗后第 45d 时，两个处理新叶中(YL1 与 YL4)硝态氮含量之间差异达显著水准，而老叶和叶柄中(OL1 与 OL4；P1 与 P4)差异均不显著。施钼显著地降低了新叶中的硝态氮含量，降幅达 21.4%；老叶和叶柄中硝态氮含量均有所下降，老叶中硝态氮的降幅甚至高于新叶，但处理间差异经统计检验仍然未达到显著水准。对老叶数据进行观测后发现，其重复之间变异程度较大，由此导致检验结果(差异显著性)与计算结果(下降率)不符。总而言之，老叶、新叶、叶柄三者硝态氮的下降

表2 菠菜生长前期施氮处理叶片和叶柄中硝态氮含量

Table 2 The nitrate N contents of leaf and petiole with N supplying at growth prophase stage of spinach

部位 Position	处理 Treatment	NO_3^--N (mg/kg)	($\pm$ mg/kg)	($\pm$ %)	方差齐性检验 Levene's Test t'	P	H检验 Kruskal-Wallis Test χ^2	P
叶片	L2	13051	—	—	5.84	0.012*	9.53	0.023*
Leaf	L3	11282	-1769	-13.6				
	L5	10283	-2768	-21.2				
	L6	10670	-2381	-18.2				
叶柄	P2	19356	—	—	0.53	0.671	3.20	0.362
Petiole	P3	17577	-1779	-9.2				
	P5	17808	-1548	-8.0				
	P6	16279	-3077	-15.9				

表3 菠菜收获期无氮处理叶片和叶柄中硝态氮含量

Table 3 The nitrate N contents of leaf and petiole without N supplying at harvest stage of spinach

部位 Position	处理 Treatment	NO_3^--N (mg/kg)	($\pm$ mg/kg)	($\pm$ %)	t检验 T-test t	P
老叶	OL1	6573	—	—	1.37	JZ]0.230
Old leaf	OL4	5116	-1457	-22.2		
新叶	YL1	5181	—	—	3.02	0.029*
Young leaf	YL4	4072	-1109	-21.4		
叶柄	P1	10750	—	—	1.60	0.184
Petiole	P4	8589	-2161	-20.1		

率差别不大。

2.3.2 施氮处理 采用方差分析比较菠菜收获期施氮各处理老叶、新叶和叶柄的硝态氮含量,经F检验可知,处理间差异均未达到显著水准(表4)。表明施氮下配施钼、钾肥对各部位硝态氮积累的影响都不明显。但由于各处理叶柄中差异接近0.05的显著水准,因此将处理间差异分解后再行方差分析时发现,就施钼、钾各自的效应看来,施钾有利于降低叶柄中硝态氮含量。施氮钾与施氮(P3-P2)比较,施钾使硝态氮降幅达9.2%;施氮钼钾与施氮钼

表4 菠菜收获期施氮各处理叶片和叶柄中硝态氮含量

Table 4 The nitrate N contents of leaf and petiole with N supplying at harvest stage of spinach

部位 Position	处理 Treatment	NO_3^--N (mg/kg)	($\pm$ mg/kg)	($\pm$ %)	方差齐性检验 Levene's Test t'	P	F检验 Duncan Test F	P
老叶	L2	7891	—	—	1.84	0.193	0.80	0.522
Old leaf	L3	8786	895	11.3				
	L5	7404	-487	-6.2				
	L6	7951	60	0.8				
新叶	L2	6175	—	—	3.26	0.068	1.57	0.280
Young leaf	L3	6399	224	3.6				
	L5	5307	-868	-14.1				
	L6	5572	-603	-9.8				
柄	P2	19356	—	—	2.69	0.093	3.57	0.060
Petiole	P3	17577	-1779	-9.2				
	P5	17808	-1548	-8.0				
	P6	16279	-3077	-15.9				

(P6-P5)比较，施钾使硝态氮下降了 8.0%，且差异均达显著水准；单施钼对降低叶柄中硝态氮的作用不明显。叶柄中硝态氮的下降率整体上大于叶片，其硝态氮的下降率大小顺序为：P6 > P3 > P5(与生长前期各处理叶柄中硝态氮的下降规律相同)；老叶和新叶中硝态氮的下降率大小顺序则为：L5 > L6 > L3(与生长前期各处理叶片中硝态氮的下降规律相同)。

3 讨论

本试验结果表明，菠菜生长前期硝态氮的积累规律与赵护兵等[11]的研究结果非常一致，即菠菜体内硝态氮含量因器官而异，其分布以叶柄最高，而叶片最低。但是，菠菜等叶类蔬菜的硝态氮含量主要取决于硝态氮的吸收、还原转化和作物的生长[12]。随着生长的后延，植物根系对硝态氮的吸收能力有所下降[9]；菠菜植株进入收获期后，可能由于不同成熟度叶片光合强度不同(新叶中光合强度大于老叶)，导致硝酸还原酶活性存在差异[13]，必将影响植株各部位硝态氮的还原转化能力，造成老叶中更易于积累硝态氮。此外，稀释效应是本试验中收获期硝态氮含量降低的重要原因之一[5,12]。

大量研究结果表明，过量施用氮肥是叶类蔬菜硝态氮累积的主要来源[5,12]；而钾作为硝态氮在植株体内运输的伴随离子，可加速硝态氮由根部向地上部分的转移并且有利于诱导硝酸还原酶的合成，通过促进植株体内硝态氮的还原转化以及蛋白质的合成，降低硝态氮的累积[11]。本试验中施钾会缓解菠菜生长前期因施氮导致的硝态氮上升，氮钾配施可分别使施氮处理叶片和叶柄中硝态氮含量下降(降幅分别达 13.6%和 9.2%)；收获期叶柄中硝态氮检验结果也表明，氮配施钾能显著降低菠菜叶柄中硝态氮的含量，降幅为 9.2%。然而，有关钾对蔬菜体内硝态氮的影响也有不同的报道，如 Breimer[14]研究表明，菠菜中硝态氮含量会随施钾量增加而增高。本试验中菠菜收获期施氮钾处理的老叶和新叶中硝态氮含量在施氮的基础上也有所上升(升幅分别为 11.3%和 3.6%)，这可能是由于钾促进了硝态氮的吸收并迅速积累到叶片中，但统计检验均未达到显著水准。因此可以认为，氮钾配施能使菠菜体内因施氮而造成的硝态氮积累得到一定的控制。

钼作为植物体内硝酸还原酶的组分，对氮代谢产生的影响极大，它影响着植株体内硝态氮的转化。研究表明[15]，缺钼植物因硝酸还原酶活性下降会导致硝态氮积累；施钼则正好相反。本试验中单施钼极显著或显著地降低了菠菜生长前期和收获期叶片中硝态氮的含量，降幅分别为 19.3%和 21.4%；氮钼配施仅显著降低了菠菜生长前期叶片中硝态氮的含量，降幅达 21.2%。然而，氮钼钾配施均不能显著降低菠菜生长前期抑或是收获期各部位硝态氮含量。这一方面是低钼和中钼水平上高钾抑制了钼的吸收[16]，本试验中钾的水平较高，由此可能产生钾与钼之间的颉颃效应；另一方面，收获期施氮钾处理的叶片中硝态氮含量会因配施氮而有所上升，氮钾钼处理中的钾也可能存在促进硝态氮吸收的作用，若吸收多于还原则导致收获期施氮钾钼处理叶片中硝态氮的积累。因此，氮钼配施比氮钼钾配施更有利于降低菠菜叶片中硝态氮的含量，在氮钾的基础上施钼又正好会缓解菠菜收获期因施氮钾导致的硝态氮上升。可见，氮钼配施对降低菠菜叶片中硝态氮含量的效果最好，氮钼钾配施次之，氮钾配施最差。钾与钼营养的相互效应，以及钾与钼之间如何平衡，似乎是影响施钼效果的关键所在。至于如何调解大量元素与微量元素之间平衡的矛盾，还需进一步的试验。

参 考 文 献：

[1] 杜应琼，王富华，李乃坚，等．广东省蔬菜硝酸盐含量的调查与分析[J]．生态环境，2004，13(1)：19-22.
Du Y Q, Wang F H, Li N J *et al*. Investigation and analysis of nitrate contents of vegetables in Guangdong[J]. Ecol. Environ., 2004, 13(1): 19-22.

[2] 夏运生，何江华，万洪富．广东省农产品污染状况分析[J]．生态环境，2004，13(1)：109-111.
Xia Y S, He J H, Wan H F. Analysis of the status of farm produce pollution in Guangdong province[J]. Ecol. Environ., 2004, 13(1): 109-111.

[3] Fytianos K, Zarogiannis P. Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece[J]. Bull. Environ. contam. toxicol., 1999, 62: 187-192.

[4] 沈明珠，翟宝杰，东惠茹．蔬菜硝酸盐累积的研究Ⅰ．不同蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量评价[J]．园艺学报，1982，9(4)：41-48.
Shen M Z, Zhai B J, Dong H R. Studies on nitrate accumulation in vegetable crops Ⅰ. Evaluations of nitrate and nitrite in different vegetables[J]. Acta Hort. Sin., 1982, 9 (4) : 41-48.

[5] 王朝辉，田霄鸿，李生秀．叶类蔬菜的硝态氮累积及成因研究[J]．生态学报，2001，21(7)：1136-1141.
Wang Z H, Tian X H, Li S X. The cause of nitrate accumulation in leaf vegetables[J]. Acta Ecol. Sin., 2001, 21(7): 1136-1141.

[6] 李会合，王正银．施肥对叶类蔬菜硝酸盐含量的影响[J]．磷肥与复肥，2001，16(3)：65-67.
Li H H, Wang Z Y. Effect of fertilization on nitrate content in foliage

greens[J]. Phosph. Comp. Fert., 2001, 16(3): 65-67.

[7] 李止正,安林昇. 钼和6-BA对缺钼番茄叶片中硝酸还原酶活性恢复的影响[J]. 植物生理学通讯,1982,(6):31-34.
Li Z Z, An L S. The Effects of molybdenum and 6-BA on the recovery of nitrate reductase activation of tomato leaves of Mo-deficiency[J]. Plant Physiol. Commun., 1982, (6): 31-34.

[8] 郑相穆,谷丽萍,周阮宝,周嘉槐. 钼对降低普通白菜叶片中硝态氮的作用(简报)[J]. 植物生理学通讯,1995,31(2):95-96.
Zheng X M, Gu L P, Zhou R B, Zhou J H. Decreasing in the nitrate nitrogen of common Chinese cabbage by molybdenum[J]. Plant Physiol. Commun., 1995, 31(2): 95-96.

[9] 陈明华,林光. 配施铜、钼微肥对小白菜品质影响的研究[J]. 福建农业科技,1998,(3):13-14.
Chen M H, Lin G. The Study on the effect of copper and molybdenum combined application on quality of common Chinese cabbage[J]. Fujian Agri. Sci. Tech., 1998, (3): 13-14.

[10] 卢其明,陈敏,廖宗文. 紫外分光光度法测定蔬菜硝态氮的改进[J]. 华南农业大学学报,1997,18(4):104-106.
Lu Q M, Chen M, Liao Z W. Improvement of determination of nitrate nitrogen in vegetable with UV-spectrophotometry[J]. J. South China Agric. Univ., 1997, 18(4): 104-106.

[11] 赵护兵,王朝辉,李生秀. 菠菜不同器官硝态氮与钾素的含量及关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(4):43-46.
Zhao H B, Wang Z H, Li S X. Contents of nitrate-N and K in different organs of spinach and its relationship[J]. J. Northwest Sci.-Tech. Univ. Agric. For.(Natural Sci.Ed.), 2001, 29(4): 43-46.

[12] 王朝辉,李生秀,田霄鸿. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(1):22-28.
Wang Z H, Li S X, Tian X H. Influence of nitrogen rates of nitrate accumulation in vegetables[J]. Plant Nutr. and Fert. Sci., 1998, 4(1): 22-28.

[13] 郑相穆,谷丽萍,周阮宝,周嘉槐. 大棚栽培下普通白菜叶片中硝态氮的积累(简报)[J]. 植物生理学通讯,1995,31(1):32-34.
Zhen X M, Gu L P, Zhou R B, Zhou J H. Nitrate nitrogen accumulation of common Chinese cabbage cultivated in plastic shading[J]. Plant Physiol. Commun., 1995, 31(1): 32-34.

[14] Breimer T. Environmental factors and cultural measures affecting the nitrate in spinach[J]. Fert. Res., 1982, 3: 191-192.

[15] Vunkova-Radeva R, Schiemann J, Mendel R R *et al*. Stress and activity of molybdenum-containing complex in winter wheat seeds[J]. Plant Physiol., 1988, 87: 533-535.

[16] 陶其骧,刘光荣,李祖章,罗奇祥. 红壤旱地的钾、钼营养对花生产量与品质影响的探讨[J]. 江西农业大学学报,1995,17(2):149-154.
Tao Q X, Liu G R, Li Z Z, Luo Q X. A study on the effects of K and Mo nutrients on yield and quality of peanut in red upland[J]. Acta Agric. Univ. Jiangxiensis, 1995, 17(2): 149-154.