

钼硒互作对小白菜产量及营养品质的影响

张木 胡承孝 赵小虎 孙学成 谭启玲

华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070

摘要 通过盆栽试验研究钼、硒互作对小白菜产量、钼硒含量累积量和营养品质的影响。结果表明,钼、硒互作能提高小白菜的产量、钼硒含量累积量、Vc和可溶性糖含量及可溶性蛋白含量,以及降低小白菜硝酸盐含量。试验结果说明钼、硒互作对促进小白菜钼硒养分吸收以及提高蔬菜营养品质均表现出显著的交互效应,在大田生产中可以通过钼、硒配施的方式来提高小白菜的钼、硒含量及品质。

关键词 钼; 硒; Vc; 可溶性糖; 可溶性蛋白; 小白菜

中图分类号 S 625.5.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)03-0072-05

硒是人体必需的营养元素,缺硒可导致大骨节病、克山病以及诱发糖尿病。人体摄入适量的硒可以促进排毒、抗衰老以及提高机体免疫力、预防心血管病及癌症^[1-3]。钼对人体机能也有着重要的作用,缺钼会导致心血管疾病,适当提高人体的钼水平可预防癌症。对克山病多发区的研究发现,克山病人不但体内缺硒而且缺钼,可能是钼与硒在人体内有一系列的耦连作用^[4]。因此,生产钼、硒富积的作物对改善人体钼、硒营养有着非常重要的作用^[5]。施用钼、硒不但能提高作物的钼、硒营养水平,而且还能改善作物的营养品质,如施用钼肥可以提高小白菜的Vc^[6]、可溶性糖和可溶性蛋白含量^[7-8];研究也表明施用硒肥对作物品质的提升也有着较好的作用^[9-12]。

中国约2/3的土地缺硒,且中国人均硒日摄入量仅为26.63 μg,远低于中国营养学会和国际硒学会推荐的硒日摄入量50~60 μg^[13]。数据表明^[14],华东、华中、华南以及沿长江流域均存在大面积的土壤缺钼状况,而这些地区又是我国粮食、蔬菜的主产区。因此,在这些地区进行钼、硒配合施用不但能改善作物钼营养,而且能提高人体钼、硒摄入量。硒在农业生产上的应用涉及到各种作物,对硒与其他养分元素关系的研究也多集中于硒与硫、硒与磷以及硒与其他一些重金属元素^[15-16]。对于钼的研究虽较为深入,但在与其他一些元素关系上的研究大多集

中于钼与磷、钼与硫以及钼与其他一些重金属元素的研究^[17-18],钼与硒之间交互作用的研究则鲜见报道。钼与硒都是通过磷酸盐和硫酸盐转运子进入植物体内^[19-20],且都是以酸根离子的形态被植物吸收,在土壤中都是随土壤pH值的下降而降低有效性,这些共同的行为特征为研究二者之间的交互效应奠定了理论基础。笔者以小白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*)为研究对象,考察钼、硒互作对作物产量及品质的提升的影响以及是否存在交互效应,为提高蔬菜营养品质及改善人体钼、硒营养提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料和试验设计

供试小白菜品种为“上海青”,采用盆栽模拟试验。试验土壤为酸性黄棕壤,其中有机质2.06%,碱解氮72.37 mg/kg,速效磷31.38 mg/kg,速效钾48.86 mg/kg,pH 4.6,有效钼0.09 mg/kg。盆栽模拟试验每盆盛土6 kg,设3个钼水平(0、0.15、0.30 mg/kg)和3个硒水平(0、0.2、0.4 mg/kg),肥源分别为钼酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 和亚硒酸钠 Na_2SeO_3 。采用完全交互试验设计,共9个处理,每个处理4次重复。大量元素肥料用量为N 0.2 g/kg、 P_2O_5 0.15 g/kg、 K_2O 0.2 g/kg,肥源依次为尿素、磷酸二氢铵和氯化钾;微量元素肥料为每千克土壤加

收稿日期: 2012-06-20

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2010PY025、2011PY150)、华中农业大学研究生科技创新专项(2011ZC024)

张木,博士研究生,研究方向: 植物营养机理。E-mail: zhangmu1123@126.com

通讯作者: 胡承孝,博士,教授,研究方向: 植物微量元素机理。E-mail: hucx@mail.hzau.edu.cn

入 1 mL 的缺钼阿农营养液(1 000 倍),所有肥料在播种前均配成营养液一次性施入土壤,整个生长期以去离子水浇灌,并有玻璃钢棚防止雨水淋洗。小白菜于 2010 年 9 月 9 日播种,10 月 15 日收获。在测定产量后,取部分鲜样保存于冰箱中,并及时进行品质分析,剩余鲜样洗净、烘干用于养分测定。

1.2 测定方法

维生素 C 的含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定;可溶性糖采用蒽酮比色法测定^[21];硝酸盐采用流动注射分析仪测定^[22]。植株钼含量采用催化极谱法测定^[23]。植株内硒的测定采用硝酸高氯酸消化,盐酸还原,原子荧光氢化物发生法测定^[24]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据处理和绘图,各因素主效应分析采用 *F*-test 法,处理平均值的多重比较采用 Duncan-test ($P < 0.05$)法。数据表格中下标表示钼和硒处理水平,*F*(Mo)表示方差分析中施钼的主效应,*F*(Se)表示施硒的主效应,*F*(Mo×Se)表示钼、硒的交互效应。

2 结果与分析

2.1 钼、硒互作对小白菜产量的影响

施钼对小白菜产量有显著的影响(表 1)。在 3 个硒水平上施用 0.15 mg/kg 钼均能提高小白菜的产量;随着施钼量的进一步增加,在 0.2 与 0.4 mg/kg 2 个硒水平上产量有所下降。施硒对小白菜产量也有着显著的影响,在 0、0.15 mg/kg 2 个钼水平上,施硒能显著地提高小白菜的产量,但在 0.3 mg/kg 钼水平上施用硒肥时小白菜产量略有降低。

表 1 钼、硒互作对小白菜产量的影响¹⁾

Table 1 Interactive effects of Mo and Se on

fresh weight of Chinese cabbage g/盆

硒水平/(mg/kg) Se levels	钼水平 Mo levels			均值 Mean
	0 mg/kg	0.15 mg/kg	0.3 mg/kg	
0.0	151.2±2.4 d	166.9±3.9 bc	168.3±4.0 bc	162.1
0.2	161.5±3.6 cd	187.5±3.7 a	161.0±3.3 cd	170.0
0.4	167.1±3.4 bc	178.1±3.3 ab	165.6±6.3 bc	170.3
均值 Mean	159.90	177.50	165.00	
<i>F</i> (Mo)	3.62*			
<i>F</i> (Se)	12.64**			
<i>F</i> (Mo×Se)	2.39			

1)小写字母不同表示差异显著性 $P < 0.05$, * 和 ** 分别表示 *F* 值检验显著性 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$,下同。Lowercase letter means the significant level at $P < 0.05$,and * or ** indicates *F*-test significant at the $P < 0.05$ or 0.01 level. The same as below.

试验中钼、硒单独施用对小白菜产量有着显著地影响,但二者配合施用对小白菜产量并没有表现出显著的交互效应。

2.2 钼、硒互作对小白菜钼、硒含量及累积量的影响

施钼能显著地提高小白菜体内的钼含量和累积量(表 2)。在不施钼时,施硒对小白菜钼含量和累积量没有显著的影响。在施钼时,施硒能促进小白菜对钼的吸收,其含量及累积量均有显著的增加。钼、硒互作对小白菜钼含量的影响存在显著的交互效应;施硒能显著地提高小白菜硒含量及累积量,施钼对小白菜硒含量也有一定的提升作用,但是钼、硒交互对小白菜硒含量及累积量影响不显著。

表 2 钼、硒互作对小白菜钼、硒含量及累积量的影响

Table 2 Interactive effects of Mo and Se on Mo and Se contents and accumulations of Chinese cabbage

处理 Treatment	钼含量/ (mg/kg)	硒含量/ (mg/kg)	钼累积量/ (μg/株)	硒累积量/ (μg/株)
	Mo content	Se content	Mo accumulation	Se accumulation
Mo ₀ Se ₀	0.078 f	0.091 d	0.071 e	0.082 c
Mo ₀ Se _{0.2}	0.090 f	0.200 c	0.098 e	0.216 b
Mo ₀ Se _{0.4}	0.088 f	0.307 a	0.087 e	0.303 a
Mo _{0.15} Se ₀	0.328 e	0.092 d	0.330 d	0.093 c
Mo _{0.15} Se _{0.2}	0.392 c	0.216 bc	0.399 c	0.222 b
Mo _{0.15} Se _{0.4}	0.363 d	0.311 a	0.335 d	0.287 a
Mo _{0.3} Se ₀	0.522 b	0.085 d	0.487 b	0.080 c
Mo _{0.3} Se _{0.2}	0.577 a	0.230 b	0.547 a	0.218 b
Mo _{0.3} Se _{0.4}	0.583 a	0.322 a	0.519 a	0.286 a
<i>F</i> (Mo)	2 516.76**	3.55*	1 413.08**	0.60
<i>F</i> (Se)	23.94**	1 065.00**	20.85**	512.04**
<i>F</i> (Mo×Se)	4.30**	2.43	2.34	0.91

2.3 钼、硒互作对小白菜 Vc 和可溶性糖及可溶性蛋白含量的影响

单施钼及钼、硒互作对小白菜 Vc 含量均有显著的影响(表 3)。施用 0.15 mg/kg 的钼能在 3 个硒水平上显著地提高小白菜 Vc 含量,随施钼量的进一步提高,在 0、0.2 mg/kg 的 2 个硒水平上 Vc 含量又呈现出下降的趋势。在 0.15、0.3 mg/kg 2 个钼水平上施硒能提高小白菜 Vc 的含量,但只在 0.3 mg/kg 钼水平上,Vc 含量才得到显著的提升。

施钼及钼、硒互作对小白菜可溶性糖含量有着显著的影响(表 4)。随着施钼量的提高,3 个硒水平上的小白菜可溶性糖含量均呈现出先增加而后降低的趋势,最大值均出现在 0.15 mg/kg 的钼水平上。但是施硒对小白菜可溶性糖的含量并没有明显的影响,仅在 0.15 mg/kg 的钼水平上略有增加。

施钼及钼、硒互作对小白菜可溶性蛋白含量有着显著的影响(表 5)。施用 0.15 mg/kg 的钼在 3 个

硒水平上均能提高小白菜可溶性蛋白的含量,但在 0、0.2 mg/kg 2 个硒水平上进一步增施钼,可溶性蛋白又表现出略有降低的趋势。施硒对提高小白菜可溶性蛋白的含量也有一定的促进作用,仅在 0、0.3 mg/kg 2 个钼水平上对可溶性蛋白的含量有所促进。

表 3 钼、硒互作对小白菜 Vc 含量的影响

Table 3 Interactive effects of Mo and Se on Vc content of Chinese cabbage

硒水平/(mg/kg) Se levels	钼水平 Mo levels			均值 Mean
	0 mg/kg	0.15 mg/kg	0.3 mg/kg	
0	483.5±2.5 cd	511.1±5.6 bc	444.0±3.7 e	479.5
0.2	448.8±10.5 de	533.0±31.0 ab	485.8±20.1 cd	489.2
0.4	414.0±5.3 e	520.0±22.9 abc	554.5±30.8 a	496.1
均值 Mean	448.8	521.4	494.7	
F(Mo)	35.95**			
F(Se)	0.21			
F(Mo×Se)	17.59**			

表 4 钼、硒互作对小白菜可溶性糖含量的影响

Table 4 Interactive effects of Mo and Se on soluble sugar content of Chinese cabbage

硒水平/(mg/kg) Se levels	钼水平 Mo levels			均值 Mean
	0 mg/kg	0.15 mg/kg	0.3 mg/kg	
0	0.40±0.00 cd	0.42±0.01 bc	0.48±0.02 a	0.43
0.2	0.41±0.02 cd	0.47±0.01 ab	0.40±0.01 cd	0.43
0.4	0.36±0.01 d	0.46±0.01 ab	0.43±0.01 bc	0.42
Mean	0.39	0.45	0.44	
F(Mo)	16.62**			
F(Se)	3.09			
F(Mo×Se)	7.39**			

表 5 钼、硒互作对小白菜可溶性蛋白含量的影响

Table 5 Interactive effects of Mo and Se on soluble protein content of Chinese cabbage

硒水平/(mg/kg) Se levels	钼水平 Mo levels			均值 Mean
	0 mg/kg	0.15 mg/kg	0.3 mg/kg	
0	13.31±0.20 e	16.65±0.86 a	14.72±0.46 cd	14.89
0.2	14.67±0.53 cd	15.34±1.01 bc	14.92±0.59 bc	14.98
0.4	13.58±0.20 de	15.87±0.53 abc	16.15±1.00 ab	15.20
均值 Mean	13.85	15.95	15.26	
F(Mo)	18.15**			
F(Se)	1.89			
F(Mo×Se)	4.55**			

2.4 钼、硒互作对小白菜硝酸盐含量的影响

施钼能降低小白菜硝酸盐的含量(图 1)。随施钼量的增加,小白菜硝酸盐含量呈现出降低的趋势,在 0.3 mg/kg 钼水平上达到最低值。施硒对小白菜硝酸盐含量的降低也有一定的影响,在 3 个钼水平上均表现出降低作用。值得注意的是,虽然施钼

和施硒对小白菜硝酸盐含量的降低有一定的作用,但是在试验中并未表现出显著的效果。

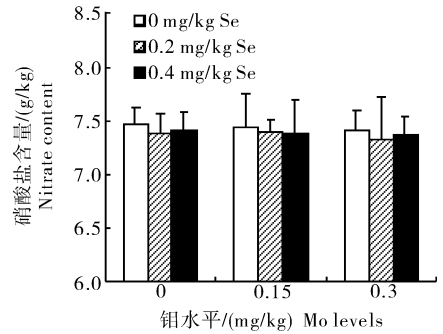


图 1 钼、硒互作对小白菜硝酸盐含量的影响

Fig. 1 Interactive effects of Mo and Se on nitrate content of Chinese cabbage

3 讨论

3.1 钼、硒互作对小白菜有增产效应

研究表明,施钼能提高油菜^[25]、小麦^[26]、大豆^[27]的产量。本试验中施钼对小白菜有增产作用,这与钼是植物所必需的营养元素有关,钼参与植物体内碳、氮、硫的代谢,缺钼影响植物体正常的代谢过程,对植物的生长有着明显的抑制作用。研究表明,虽然硒不是植物体必需的营养元素,但适量的硒能提高叶绿素的含量,增强植物的抗氧化作用,施用硒肥在小麦、玉米及大豆上都获得增产^[28]。本试验中施硒对小白菜产量的提高也有着较好的作用,钼、硒配合施用对产量的增加也起到了一定的作用。

3.2 钼、硒互作能促进小白菜对钼和硒的吸收累积

钼和硒主要通过硫酸盐和磷酸盐转运子进入植物体内,因此植物对钼和硒的吸收存在着拮抗作用。研究表明,钼、硒之间也存在着促进作用,如胡华锋^[29]的研究表明施用适宜浓度的硒可以促进植物对钼的吸收。本试验也有着相似的结果,施硒促进了小白菜对钼的吸收。研究表明,当硒在植物体内的含量为 0.004~0.200 mg/kg 时,对植物是有益元素,可以很好地促进植物的生长,提高其生长代谢水平,从而促进对其他养分元素的吸收^[30]。本试验中植物体内硒含量多集中于该区间,试验结果也表明施用硒肥促进了小白菜对钼的吸收。同时,低浓度的硒还能促进小白菜根系的生长,提高根系表面积和有效吸收面积,促进根系对养分的吸收^[31]。因此,低浓度时硒对植物生长的促进效应所带动的对钼的吸收要大于硒对钼吸收的直接拮抗作用。施钼

对小白菜吸收硒的影响也较为相似,本试验中土壤缺钼较为严重,导致植物体内钼营养水平较低,严重影响植物体内碳、氮及硫的代谢,而硒主要是通过硫的代谢途径参与植物体的代谢循环。试验中施用钼肥促进植物体对硒的吸收,主要源于促进植物体的代谢作用,而这种作用要远大于低浓度钼、硒之间的拮抗作用。当钼、硒浓度相对较高时,两者之间的拮抗作用就会取得优势地位。因此,笔者认为钼、硒互作之所以能促进小白菜对钼、硒的吸收主要是对生长的促进作用所致。

3.3 钼、硒互作能促进小白菜营养品质的提升

钼能促进蔬菜品质的提升,本试验中施钼提高了小白菜 Vc、可溶性糖和可溶性蛋白的含量。研究表明,钼可以提高抗坏血酸过氧化物酶、单脱氢抗坏血酸还原酶以及脱氢抗坏血酸还原酶的活性,进而促进抗坏血酸的氧化还原和循环再生,因此钼是蔬菜提高 Vc 的必需元素^[32]。也有研究表明,施硒能较好地提高小白菜的抗氧化作用,降低植物体内自由基含量,进而可以减少植物体通过抗坏血酸途径来清除自由基所消耗的抗坏血酸量^[33]。本试验中可溶性糖含量有一定程度的提高,这可能与钼促进光合作用、加强碳水化合物合成与代谢有关。施硒对可溶性糖的提高程度没有施钼显著,但是对其增加也有所帮助,与尚庆茂等^[34]的研究结果基本相似。钼在植物体内重要的功能之一是参与氮素的代谢,直接影响着蛋白质的同化路径,试验中可以明显地看出施钼显著地提高可溶性蛋白的含量,这与孙学成等^[35]的结论相似。硒能提高叶绿素的含量,直接影响到可溶性蛋白合成原料的供应,对可溶性蛋白的提高也略有影响。钼、硒在提高小白菜品质方面存在着显著的交互作用。

3.4 钼、硒互作能降低小白菜硝酸盐含量

本试验中,无论是施钼还是施硒,小白菜硝酸盐含量均有所降低,但均未达到显著水平,说明钼、硒互作促进了硝酸盐的代谢循环,只是该促进效应并不明显。从小白菜硝酸盐含量的变化可以看出,在本试验条件下,硝酸盐累积量相对较高。这种情况与盆栽模拟试验的条件有关,本试验中氮肥为 0.2 mg/g 而每盆盛土 6 kg,相对于每株小白菜的氮肥量较高,此时硝酸盐的累积量会远超钼、硒能调节的硝态氮的转化量。研究表明^[36],同样施用 0.2 mg/g 的氮肥,每盆盛土 2.5 kg,相同的小白菜品种其硝酸盐累积量为 2.5 g/kg,仅为本试验小白菜硝

酸盐含量的 1/3。这可能是本试验中施用钼、硒对硝酸盐含量的降低作用不显著的原因。

研究结果表明,钼、硒互作能提高小白菜的产量,促进小白菜对钼、硒 2 种微量元素的吸收与累积,提高了小白菜 Vc、可溶性糖及可溶性蛋白的含量,一定程度上降低了小白菜体内的硝酸盐含量,改善了小白菜的品质。钼、硒互作在小白菜营养品质的提升以及钼、硒含量的增加方面均起到了很好的协同作用。

参 考 文 献

- [1] LIU Q, WANF D J, JIANG X J, et al. Effects of the interactions between selenium and phosphorus on the growth and selenium accumulation in rice (*Oryza sativa*) [J]. Environmental Gechemistry and Health, 2004, 26: 325-330.
- [2] ARINOLA O G, CHARLES-DAVIES M A. Micronutrient levels in the plasma of nigerian females with breast cancer [J]. Afr J Biotechnol, 2008, 7(11): 1620-1623.
- [3] 熊又升, 袁家富, 佘国涵. 硒在农业生物学中的特殊地位分析 [J]. 湖北农业科学, 2011(2): 266-269.
- [4] 李广元, 任瑛云. 克山病区儿童钼代谢 [J]. 地方病通报, 1986, 10(1): 180.
- [5] 刘红恩, 胡承孝, 孙学成, 等. 钼对油菜生长发育的影响 [J]. 湖北农业科学, 2011(7): 1305-1308.
- [6] NIE Z J, HU C X, SUN X C, et al. Effects of molybdenum on ascorbate-glutathione cycle metabolism in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*) [J]. Plant Soil, 2007, 295: 13-21.
- [7] ZHANG M, HU C X, ZHAO X H, et al. Molybdenum improves antioxidant and osmotic-adjustment ability against salt stress in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*) [J]. Plant Soil, 2012, 355: 375-383.
- [8] 吴正景, 赵师成, 曹敏, 等. 喷施亚硒酸钠对香椿种芽生长与品质的影响 [J]. 湖北农业科学, 2011(19): 4004-4006.
- [9] 李登超, 朱祝军, 徐志豪. 不同硫水平下硒对小白菜生长及养分含量的影响 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29(4): 402-406.
- [10] 杨文秀, 王萍, 杨晓宇, 等. 叶面施硒对油菜产量及品质的影响 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2010, 31(3): 88-90.
- [11] 雷红灵, 吴金龙. 硒对恩施碎米荠叶片光合色素及非酶抗氧化物的影响 [J]. 湖北农业科学, 2011(24): 5157-5159.
- [12] 刘红恩, 胡承孝, 聂兆君. 酸性黄棕壤中钼磷配施对甘蓝型油菜苗期碳氮代谢的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2012(1): 62-68.
- [13] 王晋民, 蔡甲福. 不同硒处理对大蒜含硒量及产量和品质的影响 [J]. 园艺园林科学, 2006, 22(4): 342-344.
- [14] 中国土壤普查办公室. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [15] LEE S, WOODARD H J, DOOLITTLE J J. Effect of phosphate and sulfate fertilizers on selenium uptake by wheat

- (*Triticum aestivum*) [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2011, 57(5):696-704.
- [16] MORA M L, PINILLA L, ROSS A, et al. Selenium uptake and its influence on the antioxidative system of white clover as affected by lime and phosphorus fertilization [J]. *Plant Soil*, 2008, 303:139-149.
- [17] AIHENDAWI R A, KIRKBY E A, PILBEAM D J. Evidence that sulfur deficiency enhances molybdenum transport in xylem sap of tomato plants [J]. *J Plant Nutr*, 2005, 28:1347-1353.
- [18] TOGAY Y, TOGAY N, DOGAN Y. Research on the effect of phosphorus and molybdenum applications on the yield and yield parameters in lentil [J]. *Afr J Biotechnol*, 2008, 7(9):1256-1260.
- [19] RAMOS S J, RUTZKE M A, HAYES R J, et al. Selenium accumulation in lettuce germplasm [J]. *Planta*, 2011, 233:649-660.
- [20] TOMATSU H, TAKANO J, TTAKAHASHI H, et al. An *Arabidopsis thaliana* high-affinity molybdate transporter required for efficient uptake of molybdate from soil [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104:18807-18812.
- [21] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994:150-151.
- [22] 陈灿云, 张志军, 梁高亮, 等. 连续流动分析仪测定环境水样中硝酸盐氮和亚硝酸盐氮[J]. *理化检验-化学分册*, 2004, 40(10):613-614.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008:141-147.
- [24] 中国国家标准化管理委员会. 21729—2008 茶叶中硒含量的检测方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [25] LIU H E, HU C X, SUN S C, et al. Interactive effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on photosynthetic characteristics of seedlings and grain yield of *Brassica napus* [J]. *Plant Soil*, 2010, 326:345-353.
- [26] 甘巧巧, 孙学成, 胡承孝, 等. 施钼对不同钼效率冬小麦叶片呼吸作用相关酶的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1):113-117.
- [27] 马庶晗. 锰硼钼肥对大豆产量和品质的影响[J]. *农业科技通讯*, 2011(5):71-73.
- [28] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 2版. 北京: 中国农业大学出版社, 1994:124-128.
- [29] 胡华锋. 硒在土壤—苜蓿—饲料—蛋鸡系统中的迁移效应及其机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学资源与环境学院, 2011.
- [30] 果秀敏, 牛君仿, 方正, 等. 植物中硒的形态及其生理作用[J]. *河北农业大学学报*, 2003, 26(S1):142-147.
- [31] 唐巧玉, 吴永尧, 周大寨, 等. 硒对大豆根系活力的影响[J]. *河南农业科学*, 2005(7):42-43.
- [32] 聂兆君, 胡承孝, 孙学成, 等. 钼对小白菜抗坏血酸氧化还原的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5):976-981.
- [33] 雷红灵, 陆海波, 蔡金洲, 等. 硒对藤茶抗氧化酶活性及有效成分的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2010, 29(3):321-325.
- [34] 尚庆茂, 高丽红, 李武军. 硒素营养对水培生菜品质的影响[J]. *中国农业大学学报*, 1998, 3(3):67-71.
- [35] 孙学成, 胡承孝, 谭启玲, 等. 施用钼肥对冬小麦游离氨基酸、可溶性蛋白质和糖含量的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2002, 21(1):40-43.
- [36] 张木, 胡承孝, 孙学成, 等. 叶面喷施微量元素和氨基酸对小白菜产量及品质的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2011, 30(5):613-617.

Effects of co-applying Mo and Se on yield and quality of Chinese cabbage

ZHANG Mu HU Cheng-xiao ZHAO Xiao-hu SUN Xue-cheng TAN Qi-ling

Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Pot experiments were conducted to investigate the effects of co-application of molybdenum (Mo) and selenium (Se) on the yield, the uptaking of Mo and Se, and the quality of Chinese cabbage. The results showed that co-application of Mo and Se could increase the yield of Chinese cabbage. The concentrations and accumulations of Mo and Se, contents of Vc, contents of soluble sugar and soluble protein of Chinese cabbage were increased. But the content of nitrate of Chinese cabbage was decreased. The interaction between Mo and Se had a significant influence on the uptaking of nutrition and the quality of Chinese cabbage. Co-application of them was useful for producing Mo-riched and Se-riched Chinese cabbage.

Key words molybdenum; selenium; vitamin C; soluble sugar; soluble protein; Chinese cabbage
(责任编辑: 陆文昌)