

# 钼、硒互作对2茬小白菜钼、硒含量及土壤钼、硒有效性的影响

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2茬连作小白菜的产量和钼、硒含量以及土壤钼、硒有效性的影响。结果表明:钼、硒互作能提高第1茬小白菜的产量,对第2茬小白菜的产量影响不大;钼、硒互作能促进2茬小白菜对钼的吸收和累积,有效态钼在2茬小白菜种前土壤中均保持较高的含量,因此可以满足2茬小白菜富钼的需求;钼、硒互作同时促进2茬小白菜对硒的吸收,但是在第1茬小白菜采收后土壤中的水溶态硒和交换态硒的含量出现大幅降低,因此只能满足第1茬小白菜富硒的需求。

**关键词** 钼; 硒; 连作; 产量; 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)06-0075-06

硒和钼是人体所必需的微量元素,人体摄入的硒不足会导致大骨节病、肌综合症、肝脏疾病以及心血管疾病<sup>[1-2]</sup>;人体摄入的钼不足会导致心肌缺血坏死等多种疾病,而摄入足量的钼则可以预防多种癌症<sup>[3]</sup>。中国土壤微量元素分布图显示出中国大面积的耕作土壤存在钼、硒同时缺乏的状况<sup>[4-5]</sup>,人体通过正常饮食获得的钼和硒就有所不足。钼和硒具有很多土壤化学及生物学共性,已有的研究多关注于钼与硫、钼与磷、硒与硫、硒与磷的相互关系,而对于钼与硒关系的研究则缺乏系统性的报道<sup>[6-10]</sup>。

钼和硒均是以阴离子酸根形态被植物吸收利用,二者在土壤中的有效性均会受到土壤pH值的影响。碱性土壤中钼的有效性较高,而酸性土壤中钼酸根离子易被土壤胶体所吸附,其有效性较低<sup>[11]</sup>。碱性土壤中硒的有效性较高,中性及酸性土壤中硒的有效性较低,可能是中性和酸性土壤中硒与铁形成难溶的氧化物或是水合氧化物,而在碱性土壤中硒主要是以溶解度较高的硒酸盐形态存在<sup>[12]</sup>。植物对微量元素的需要量较少,施用后的当季利用率不高,尤其是在酸性土壤中施用钼、硒是否具有一定的后效还不清楚。草酸-草酸铵提取态钼被广泛地用来定量土壤中对植物有效性较高的那部分钼,而水溶态和交换态的硒则被认为是对植物有

效性较高的那部分硒,富啡酸态的硒在碱性土壤中有一定的有效性,但是在酸性土壤中有效性较低<sup>[13]</sup>。笔者通过连作的方式来监测酸性缺钼、缺硒土壤上上述有效形态钼、硒含量的变化,考察钼、硒配施对连作条件下植物富钼及富硒的效果,借以探索在大田生产中能否通过一次性施用钼、硒以达到多茬富钼及富硒的效果,进而填补钼、硒后效研究的空缺,为大田生产提供科学的理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试小白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis*)品种为“四月蔓”,供试场地为华中农业大学微量元素研究中心盆栽场,采用聚乙烯盆作为种植容器,每盆盛土6 kg。供试土壤为采自武汉市新洲区的酸性黄棕壤,有机质2.06%,碱解氮72.37 mg/kg,速效磷(Olsen-P)31.38 mg/kg,速效钾48.86 mg/kg,pH值4.6,有效钼含量0.09 mg/kg,有效硒含量11.52 μg/kg。大量元素肥料用量为N:0.2 g/kg,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:0.15 g/kg,K<sub>2</sub>O:0.2 g/kg,肥源分别为尿素、磷酸二氢铵和氯化钾;微量元素肥料为每千克土加入1 mL缺钼阿农营养液(1 000倍),所有肥料在播种前配成溶液一次性施入土壤,生长

收稿日期: 2012-12-04

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2010PY025,2011PY150)和研究生科技创新专项(2011ZC024)

张木,博士研究生,研究方向:植物微量元素营养机理. E-mail: zhangmu1123@126.com

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

期内用去离子水浇灌,并用玻璃钢棚防止雨水淋洗。

## 1.2 试验设计

试验设 3 个钼水平(0、0.15、0.3 mg/kg)和 3 个硒水平(0、0.2、0.4 mg/kg),完全交互试验设计,共 9 个处理,分别为  $Mo_0 Se_0$ 、 $Mo_0 Se_{0.2}$ 、 $Mo_0 Se_{0.4}$ 、 $Mo_{0.15} Se_0$ 、 $Mo_{0.15} Se_{0.2}$ 、 $Mo_{0.15} Se_{0.4}$ 、 $Mo_{0.3} Se_0$ 、 $Mo_{0.3} Se_{0.2}$ 、 $Mo_{0.3} Se_{0.4}$ (下标表示各处理所对应的钼、硒水平)。钼和硒分别以钼酸铵  $(NH_4)_2 MoO_4 \cdot 4H_2O$  和亚硒酸钠  $Na_2 SeO_3$  为肥源,在第 1 次播种前配成溶液施入土壤。所有肥料在施入土壤后,放置 2 周,待土壤干后,每盆土壤上下混匀。第 1 茬小白菜采收后,分别把各自处理的 4 个重复混均重新装盆,重新施入上述大量元素肥料后进行第 2 茬种植,不再添加钼肥和硒肥,进行钼、硒连作后效研究,每盆定苗 8 株。第 1 茬种植时间为 2012 年 3 月 12 日,采收时间为 2012 年 4 月 25 日;第 2 茬种植时间为 2012 年 5 月 3 日,采收时间为 2012 年 6 月 4 日。

## 1.3 测定方法

分别收集第 1 茬小白菜播种前已施加各种营养液后(施肥后 2 周)的土样,第 2 茬小白菜种前土样及第 2 茬小白菜采收后的土样进行有效钼和各有效形态硒含量的分析。土壤有效钼采用草酸-草酸铵浸提,取浸提液于坩埚中,先在电炉上低温小心蒸干而后在 525 °C 进行 8 h 灰化处理,最后采用催化极谱法进行测定<sup>[14]</sup>。土壤中水溶态硒、交换态硒及富啡酸态硒分别采用去离子水、0.1 mol/L  $KH_2 PO_4$  及 0.1 mol/L  $Na_4 P_2 O_7$  连续浸提,每步浸提 2 次,浸提液经硝化处理后采用原子荧光光谱法测定<sup>[15]</sup>。

2 茬小白菜采收后的植物样品洗净烘干,进行钼、硒含量的测定。植物钼含量的测定:称取约 0.3 g 的植物样品于坩埚中,先在电炉上低温碳化至无烟,而后放于马福炉中 525 °C 灰化 8 h,再采用催化极谱法测定<sup>[16]</sup>。植物硒含量的测定:称取植物样品约 0.5 g 于三角瓶中,加入 10 mL 体积比为 4:1 的硝酸和高氯酸的混合液,在电热板低于 200 °C 硝化至大量白烟出现且溶液剩余 2 mL 左右时取下,再加入 10 mL 稀盐酸溶液继续加热至溶液清亮并伴有白烟,取下转移定量至 25 mL,溶液中硒含量采用原子荧光光谱法测定<sup>[17]</sup>。

## 1.4 数据处理

用 Excel 2003 进行数据处理,SPSS 进行方差分析,各因素主效应及交互效应采用  $F$ -test 法,处理平均值采用 Duncan-test ( $P < 0.05$ ) 进行多重比

较。表格中  $F(Mo)$  表示施钼效应, $F(Se)$  表示施硒效应, $F(Mo \times Se)$  表示钼、硒交互效应。

## 2 结果与分析

### 2.1 钼、硒互作对 2 茬小白菜鲜质量的影响

施钼和施硒对第 1 茬小白菜的鲜质量均有显著影响,对第 2 茬小白菜的鲜质量则没有显著影响;但是钼、硒互作对 2 茬小白菜鲜质量的影响均未表现出显著的交互效应(表 1)。施钼能显著提高第 1 茬小白菜 3 个硒水平上小白菜的鲜质量,但是随着施钼量的进一步增加,小白菜鲜质量呈现出先增加而后降低的趋势;施硒对第 1 茬小白菜 3 个钼水平的鲜质量均有着提高作用。

表 1 钼、硒互作对小白菜鲜质量的影响<sup>1)</sup>

Table 1 Interactive effect of Mo and Se on fresh weight of Chinese cabbage g/盒

处理 Treatment	第 1 茬 First crop	第 2 茬 Second crop
$Mo_0 Se_0$	135.84 d	67.09 a
$Mo_0 Se_{0.2}$	140.97 cd	67.85 a
$Mo_0 Se_{0.4}$	145.71 bcd	73.81 a
$Mo_{0.15} Se_0$	151.80 bc	69.88 a
$Mo_{0.15} Se_{0.2}$	165.75 a	74.74 a
$Mo_{0.15} Se_{0.4}$	169.98 a	78.51 a
$Mo_{0.3} Se_0$	144.25 bcd	78.97 a
$Mo_{0.3} Se_{0.2}$	153.30 b	73.39 a
$Mo_{0.3} Se_{0.4}$	147.13 bcd	74.60 a
$F(Mo)$	26.30 **	1.80
$F(Se)$	7.05 **	1.02
$F(Mo \times Se)$	1.40	0.76

1) 小写字母不同表示差异显著性  $P < 0.05$ , \* 和 \*\* 分别表明  $F$  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  $P < 0.01$  level.

The same as below.

### 2.2 钼、硒互作对 2 茬小白菜钼、硒含量及累积量的影响

施钼、施硒对第 1 茬小白菜钼含量及累积量均有显著影响,钼、硒互作对小白菜钼含量及累积量也表现出显著的交互效应(表 2)。施钼显著提高第 1 茬小白菜的钼含量及累积量,而施硒对施钼处理小白菜钼含量及累积量也有显著提升作用。施硒、施钼对第 1 茬小白菜硒含量均有显著影响;施硒对第 1 茬小白菜硒的累积量有显著影响,施钼对硒的累积量则没有显著影响;钼、硒互作对第 1 茬小白菜硒的含量及累积量均没有表现出显著的交互效应。施硒能显著地提高第 1 茬小白菜硒含量及累积量,施钼对第 1 茬小白菜硒含量也有一定的提高作用。

施钼、施硒对第 2 茬小白菜钼含量有显著影响, 施钼对小白菜钼累积量也有显著影响, 施硒则对钼累积量没有显著影响, 钼、硒互作对小白菜钼含量的影响表现出显著的交互效应, 但是对第 2 茬小白菜钼累积量的影响并没有表现出显著的交互效应; 施钼能显著地提高第 2 茬小白菜钼的含量及累积量,

施硒对小白菜钼含量有着一定的提高作用。施钼、施硒对第 2 茬小白菜硒含量及累积量均有显著影响, 并且钼、硒互作对小白菜硒含量及累积量也有显著的交互效应; 施硒能显著地提高第 2 茬小白菜硒含量及累积量, 施钼显著地提高高硒水平下小白菜硒的含量及累积量。

表 2 钼、硒互作对 2 茬小白菜钼、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 during the two successive planting periods

处理	钼含量/(mg/kg)		每株钼累积量/ $\mu\text{g}$		硒含量/(mg/kg)		每株硒累积量/ $\mu\text{g}$	
	Mo content		Mo accumulation per plant		Se content		Se accumulation per plant	
	第 1 茬 First crop	第 2 茬 Second crop	第 1 茬 First crop	第 2 茬 Second crop	第 1 茬 First crop	第 2 茬 Second crop	第 1 茬 First crop	第 2 茬 Second crop
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0</sub>	0.107 e	0.136 f	0.104 e	0.072 d	0.100 e	0.035 e	0.097 d	0.018 e
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0.2</sub>	0.121 e	0.158 ef	0.128 e	0.086 d	0.225 d	0.075 d	0.237 c	0.040 d
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0.4</sub>	0.131 e	0.175 e	0.133 e	0.088 d	0.423 c	0.116 c	0.429 b	0.058 c
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0</sub>	0.448 d	0.463 c	0.435 d	0.252 c	0.105 e	0.041 e	0.101 d	0.022 e
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0.2</sub>	0.480 cd	0.523 b	0.554 c	0.303 b	0.236 d	0.070 d	0.273 c	0.040 d
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0.4</sub>	0.488 c	0.400 d	0.497 cd	0.249 c	0.448 b	0.157 a	0.458 ab	0.098 a
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0</sub>	0.741 b	0.780 a	0.713 b	0.437 a	0.117 e	0.030 e	0.112 d	0.017 e
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0.2</sub>	0.763 b	0.793 a	0.779 b	0.471 a	0.238 d	0.074 d	0.244 c	0.044 d
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0.4</sub>	0.951 a	0.794 a	0.970 a	0.486 a	0.470 a	0.132 b	0.480 a	0.081 b
F(Mo)	2 126.39**	1 863.45**	464.64**	352.70**	10.79**	6.03**	2.40	14.76**
F(Se)	39.50**	6.85**	12.87**	2.66	1 938.61**	280.02**	394.24**	254.2**
F(Mo×Se)	20.77**	9.60**	7.19**	1.31	2.06	5.62**	1.08	11.43**

2.3 钼、硒互作对土壤有效钼含量的影响

施钼对第 1 茬小白菜施肥后播种前土壤、第 2 茬小白菜种植前土壤及第 2 茬小白菜收获后土壤有效钼含量均有显著影响, 施硒仅对第 2 茬小白菜收获后土壤有效钼含量有一定程度的影响, 施钼对其他各时期土壤有效钼含量并没有表现出显著地影响(表 3)。施钼显著地提高各茬小白菜土壤有效钼的含量, 但整个连作过程中土壤有效钼含量呈现出下降的趋势。

表 3 钼、硒互作对 2 茬种植小白菜土壤有效钼含量的影响

Table 3 Interactive effects of Mo and Se on soil available Mo content during the two successive planting periods mg/kg

处理 Treatment	第 1 茬种前 Before the first crop	第 2 茬种前 Before the second crop	第 2 茬种后 After the second crop
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0</sub>	0.094 c	0.093 e	0.050 c
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0.2</sub>	0.088 c	0.085 e	0.054 c
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0.4</sub>	0.093 c	0.091 e	0.050 c
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0</sub>	0.141 b	0.111 d	0.097 b
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0.2</sub>	0.146 b	0.131 c	0.106 b
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0.4</sub>	0.137 b	0.130 c	0.104 b
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0</sub>	0.180 a	0.172 a	0.129 a
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0.2</sub>	0.181 a	0.157 b	0.144 a
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0.4</sub>	0.191 a	0.159 b	—
F(Mo)	408.85*	313.24**	196.14**
F(Se)	0.27	0.30	4.27*
F(Mo×Se)	2.11	8.03**	2.61

2.4 钼、硒互作对土壤有效硒含量的影响

含量均有显著影响, 施钼对交换态及富啡酸态硒含量有显著影响, 而钼、硒互作仅对富啡酸态硒含量表现出显著的交互效应(表 4)。施硒能显著地提高第 1 茬小白菜种植前土壤各种形态硒的含量, 施钼仅能显著地提高第 1 茬小白菜种植前土壤富啡酸态硒的含量。

施硒对第 2 茬小白菜种植前各形态硒含量均有显著影响, 施钼对富啡酸态硒含量有显著影响, 钼、硒互作在对富啡酸态硒含量的影响上表现出显著的交互效应。施硒显著提高第 2 茬小白菜种植前土壤水溶态、交换态及富啡酸态硒的含量, 施钼则对施硒处理的土壤富啡酸态硒含量有着一定程度的降低作用。

施钼、施硒对第 2 茬小白菜种植后土壤各形态硒含量均有显著影响, 且钼、硒互作在对土壤交换态硒及富啡酸态硒含量的影响上表现出显著的交互效应。施硒能显著地提高第 2 茬小白菜种植后水溶态、交换态及富啡酸态硒的含量, 施钼对水溶态硒及交换态硒的含量有着一定程度的增加作用, 对富啡酸态硒含量则表现出先降低而后增加的趋势。总体上看, 随着 2 茬小白菜种植时间的延长, 水溶态硒含量呈现出不断降低的趋势, 交换态硒呈现出先降低而后又有所增加的趋势, 富啡酸态硒则呈现出不断增加的趋势。

施钼对第 1 茬小白菜种植前土壤各有效形态硒

表 4 钼、硒互作对 2 茬小白菜土壤有效硒含量的影响

Table 4 Interactive effects of Mo and Se on soil available Se content during the two successive planting periods  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 

处理 Treatment	第 1 茬种前 Before the first crop			第 2 茬种前 Before the second crop			第 2 茬种后 After the second crop		
	水溶态 Water soluble	交换态 Exchangeable	富啡酸态 Fulvic acid	水溶态 Water soluble	交换态 Exchangeable	富啡酸态 Fulvic acid	水溶态 Water soluble	交换态 Exchangeable	富啡酸态 Fulvic acid
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0</sub>	6.64 e	4.88 d	22.16 f	4.71 cd	5.35 c	81.49 e	1.38 e	8.83 d	117.63 e
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0.2</sub>	13.83 c	6.52 c	56.47 e	5.85 bcd	6.50 ab	172.06 c	3.57 cd	23.87 c	220.90 c
Mo <sub>0</sub> Se <sub>0.4</sub>	26.17 ab	8.59 b	187.15 c	6.75 ab	7.41 a	245.88 a	5.01 ab	35.98 b	381.46 b
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0</sub>	6.18 e	5.33 d	61.96 e	4.48 d	5.33 c	99.94 de	1.94 e	8.99 d	138.49 e
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0.2</sub>	13.52 cd	6.76 c	155.40 d	5.92 bc	6.73 ab	150.14 c	4.36 bc	28.40 c	177.87 d
Mo <sub>0.15</sub> Se <sub>0.4</sub>	25.30 b	8.63 b	232.70 b	7.67 a	6.28 bc	202.59 b	5.73 a	52.26 a	368.19 b
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0</sub>	6.99 e	5.32 d	71.22 e	4.75 cd	5.40 c	86.25 e	1.48 e	4.92 d	132.52 e
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0.2</sub>	12.24 d	6.68 c	184.88 c	5.94 bc	5.86 bc	111.35 d	3.40 d	30.08 bc	234.20 c
Mo <sub>0.3</sub> Se <sub>0.4</sub>	27.05 a	9.62 a	320.85 a	7.80 a	6.65 ab	229.93 a	5.68 a	46.70 a	413.18 a
F(Mo)	1.04	5.33*	201.88**	0.64	1.73	7.37**	3.97*	9.12**	10.16**
F(Se)	1 243.42**	257.82**	713.59**	30.84**	17.20**	236.36**	119.01**	256.60**	684.81**
F(Mo×Se)	2.93	2.37	20.58**	0.65	2.03	8.91**	0.71	5.71**	4.87**

### 3 讨 论

本研究表明,钼、硒互作对第 1 茬小白菜产量有一定的提升作用,对第 2 茬小白菜产量提升作用不明显。钼、硒互作可以促进 2 茬小白菜对钼、硒的吸收,施钼有较高的后效,可以满足 2 茬作物富钼的需求,而施硒仅能满足第 1 茬小白菜富硒的需求。施钼可以满足 2 茬小白菜富钼的需求是因为钼在 2 茬小白菜种前都具有较高的有效性,施硒仅可以满足第 1 茬小白菜富硒的需求是因为硒在第 1 茬小白菜种植后有大量的硒向低有效性的方向转化。

#### 3.1 钼、硒互作对小白菜的增产效应

食用小白菜的生长期一般为 1~2 个月,在生产中也多在该期间内采收,生长时间过长其品质会大幅降低。试验中 2 茬小白菜的生长时期和收获时间不同,但均处于最佳的采收期内,与实际生产中的连作情况相似。施钼和施硒对第 1 茬小白菜鲜质量有显著的提高作用,原因在于钼是硝酸还原酶的成分,而硝酸还原酶是植物体内氮素代谢过程中不可缺少的酶<sup>[18]</sup>;硒能通过增强植物的抗氧化能力、促进根系生长以及提高叶绿素的合成水平等方式刺激植物的生长<sup>[19]</sup>。第 2 茬小白菜试验结果表明,尽管钼、硒互作的后效对鲜质量并没有显著的影响,但是施钼对各种硒水平上小白菜鲜质量的影响仍表现出提升的趋势,说明施钼对第 2 茬小白菜鲜质量仍有着增加的潜力。施硒对第 2 茬小白菜鲜质量并没有表现出任何影响,可能是随着第 1 茬作物的吸收,对植物有效性最高的部分水溶态硒含量大幅降低所致。同时可以看出,如果并非处在某种植物必需微量元素极度缺乏的环境中,单纯依靠施用微量元素来获

得增产,其效果是有限的,而对于并非植物体所必需的营养元素硒则更是如此。

#### 3.2 钼、硒互作对 2 茬小白菜钼、硒吸收均有促进作用

钼和硒均以阴离子酸根形态被植物吸收,钼以钼酸根离子的形态被植物吸收,而硒则以硒酸根或者亚硒酸根离子形态被植物吸收。硒主要是通过硫酸盐和磷酸盐转运子消极地被植物吸收转运,钼不但能通过自身专一的转运蛋白积极地被植物吸收利用,也能通过硫酸盐和磷酸盐转运子消极地被植物吸收<sup>[20-21]</sup>。从吸收转运子的角度看,二者存在拮抗效应,但在实际生产中发现,二者之间也有着协同效应,如胡华锋等<sup>[22]</sup>研究发现施用适量的硒能明显的促进紫花苜蓿对钼的吸收;Arvy 等<sup>[23]</sup>发现施硒能促进白三叶草对钼的吸收。本试验中,施用钼、硒也表现出相互促进吸收的趋势,可能是试验中施用低浓度的钼可以促进缺钼土壤中小白菜的生长、增加植物体的能量循环、稳定根膜结构,同时促进钼自身专一的转运蛋白的表达,减少通过硫酸盐和磷酸盐转运子来吸收的路径,降低与硒的竞争效应。因为钼对生长的刺激作用所带动的对硒的吸收占据主导地位,竞争效应居次要地位,所以表现出施钼促进硒的吸收。硒对促进植物钼的吸收主要是通过促进根系生长、增加根系吸收表面积实现的<sup>[24]</sup>。研究<sup>[25]</sup>指出,在营养液栽培时,钼和硒的有效性很高,二者之间的竞争效应会占主导地位,此时对生长促进所带动的对养分的吸收可能就不占优势地位。

营养学会推荐的每日硒摄入量应为 60~75  $\mu\text{g}$ ,钼的日摄入量按年龄段区划范围约为 60~500  $\mu\text{g}$ <sup>[26]</sup>。为防止人体缺硒,食物中硒含量最少应达到

0.1~0.3 mg/kg,如果低于该水平,就可能会出现缺硒导致的疾病<sup>[27]</sup>;而人体每日的钼需要量要高于硒需要量,因此食物中钼含量也至少要达到0.1~0.3 mg/kg。本试验中第1茬种植的小白菜钼、硒均达到上述水平,可以满足人体需求,在第2茬收获的小白菜中其钼含量达到上述要求,而其硒含量只有高硒处理时才满足富硒要求,但是不能为了后效性而去增加前期硒的施用量,因为研究表明当植物硒含量高于0.5 mg/kg时植物生产力就会降低<sup>[28]</sup>,本试验中第1茬小白菜高硒处理下的小白菜体内硒含量已接近0.5 mg/kg,因此,施用0.4 mg/kg的硒已是最大限度。当施用该最大限度量的硒,才勉强使后茬作物达到富硒标准的最低值。因此,对于生产富硒作物来说,尽量要掌握少量多茬施用的原则,对于钼则可以在前茬施用而后茬暂且不施。

### 3.3 连续种植中钼的有效性要高于同时期硒的有效性

草酸-草酸铵浸提态钼被用于判断土壤是否缺钼的诊断指标,施钼后第1茬小白菜种植前土壤有效钼及第2茬小白菜种前土壤有效钼含量多处于临界值(0.15 mg/kg)附近,并没有表现出严重的缺钼现象,因此可以满足2茬作物的生长,达到生产具有一定钼含量作物的要求。本试验发现,第1茬小白菜种植后土壤有效钼下降程度较小,而第2茬小白菜种植后下降幅度较大,但是第2茬小白菜产量较第1茬低,说明土壤有效钼的降低主要是长期种植所导致的土壤钼有效形态转化所致,植物吸收所带走的部分钼不是导致土壤钼有效性降低的主要原因,该现象的出现与本试验土壤理化性质有关,本试验所用土壤为酸性缺钼黄棕壤。研究<sup>[29]</sup>表明,当酸性土壤施入钼后即使不种植作物,随时间的延长土壤钼有效性也会逐渐降低。在酸性土壤中钼酸根离子易被土壤胶体所吸附,其有效性大幅降低,因此,在本试验中,第2茬小白菜种植后土壤钼有效性的降低幅度大于第1茬小白菜种植后的幅度并不完全是植物吸收所致,而是随着种植时间的延长被土壤固定所致;并且土壤钼有效性的降低并非是随着时间的延长而呈线性降低的,本试验中第1茬小白菜降低幅度较小,而第2茬小白菜降低幅度较大,这与第2茬小白菜种植期间温度较高、土壤干湿交替频繁有很大的关系,该过程会加快土壤钼的固定<sup>[30]</sup>。土壤硒有效性的判断指标是其多种有效形态硒含量,如水溶态、交换态和富啡酸态硒的含量<sup>[31]</sup>。笔者对于土壤有效硒进行监测发现,在第1茬小白菜

播种时,已经有很大部分无机态硒转化为富啡酸态硒,而此形态的硒在试验土壤低pH值的环境中对植物的有效性很低。经过第1茬小白菜的吸收,第2茬小白菜种植时有效性较高的水溶态硒和交换态硒的含量大幅降低,施硒处理和不施硒处理2种形态硒含量甚至没有差别。第2茬小白菜种植后,尽管交换态硒含量有所回升,但水溶态硒含量在进一步下降,且有更多的硒富啡酸态化。硒的当季利用率较低,施硒后会有很大比例的硒转化为难以利用的形态,因此,连作条件下土壤硒的有效性难以保持。

### 参 考 文 献

- [1] LIU Q, WANG 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 Geochemistry and Health*, 2004, 26(2/3): 325-330.
- [2] 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.
- [3] 陈伯扬. 微量元素钼的抗癌作用[J]. *微量元素与健康研究*, 2008, 25(2): 68-69.
- [4] 刘铮, 朱其清, 唐丽华, 等. 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布[J]. *土壤学报*, 1982, 19(3): 209-223.
- [5] CHEN J S, WEI F S, ZHENG C J, et al. Background concentrations of elements in soil of China [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991, 58(1): 699-712.
- [6] ALHENDAWI R A, KIRKBY E A, PILBEAM D J. Evidence that sulfur deficiency enhances molybdenum transport in xylem sap of tomato plants [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2005, 28(8): 1347-1353.
- [7] 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 and Soil*, 2008, 303(1/2): 139-149.
- [8] TOGAY Y, TOGAY N, DOGAN Y. Research on the effect of phosphorus and molybdenum applications on the yield and yield parameters in lentil (*Lens culinaris Medic.*) [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2008, 7(9): 1256-1260.
- [9] LEE S, WOODARD H J, DOOLITTLE J J. Selenium uptake response among selected wheat (*Triticum aestivum*) varieties and relationship with soil selenium fractions [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2011, 56(6): 823-832.
- [10] 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.
- [11] DAS A, CHAKRABORTY R, CERVERA M, et al. A review on molybdenum determination in solid geological samples [J]. *Talanta*, 2007, 71(3): 987-1000.
- [12] 李永华, 王五一. 硒的土壤环境化学研究进展[J]. *土壤通报*,

- 2002,33(3):230-233.
- [13] 陈雪龙,王晓龙,齐艳萍. 大庆龙凤湿地土壤理化性质与硒元素分布关系研究[J]. 水土保持研究,2012,19(4):159-162.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2008:141-147.
- [15] 朱英,王锬,熊玉祥. 土壤中有效硒的提取和测定方法[J]. 资源环境与工程,2009,23(6):859-862.
- [16] 万耀星,刘雄德,李正艳. 土壤有效钼及植物全钼的示波极谱测定[J]. 土壤通报,1988,19(1):43-46.
- [17] 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.
- [18] MENDEL R R, HANSCH R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002,53(375):1689-1698.
- [19] 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.
- [20] RAMOS S J, RUTZKE M A, HAYES R J, et al. Selenium accumulation in lettuce germplasm [J]. *Planta*, 2011, 233(4):649-660.
- [21] 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(47):18807-18812.
- [22] 胡华锋,介晓磊,刘芳,等. 硒对紫花苜蓿产草量和品质的影响[J]. 草地学报,2008,16(5):501-505.
- [23] ARVY M P. Some aspects of selenium relationships in soils and plants [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1992,23(13/14):1397-1407.
- [24] 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.
- [25] ZHANG M, HU C X, ZHAO X H, et al. Impact of molybdenum on Chinese cabbage response to selenium in solution culture [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2012,58(5):1-9.
- [26] BROADLEY M R, WHITE P J, BRYSON R J, et al. Biofortification of UK food crops with selenium [J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2006,65(2):169-181.
- [27] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京:中国农业大学出版社,1994:124-128.
- [28] 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(Z1):142-147.
- [29] 刘红恩. 甘蓝型油菜钼磷营养互作效应及其机制研究[D]. 武汉:华中农业大学资源与环境学院,2009.
- [30] 张继榛. 影响安徽省土壤中有效钼含量的因素研究[J]. 土壤学报,1994,31(2):153-160.
- [31] 李永华,王五一. 硒的土壤环境化学研究进展[J]. 土壤通报,2002,33(3):230-233.

## Effects of the interaction between Mo and Se fertilizers on the contents of Mo and Se in Chinese cabbage and contents of soil-available Mo and Se during two successive planting periods

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

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

**Abstract** A pot experiment was conducted to determine the effects of application of molybdenum (Mo) and selenium (Se) on the yield, contents of Mo and Se in Chinese cabbage, and contents of soil-available Mo and Se during the two successive planting periods. The results showed that the yield was significantly increased by application of Mo and Se in the first harvest, while yield was not significantly increased by application of Mo and Se in the second harvest. Both application of Mo and Se could prompt the Mo uptaking of Chinese cabbage during the two successive planting periods. Soil-available Mo maintained high level during the two successive planting periods, and application of Mo could meet the needs of producing Mo-rich cabbage during the two successive planting periods. Though both application of Mo and Se could prompt Se uptaking of Chinese cabbage during the two successive planting periods, water-soluble Se and exchangeable Se were decreased after the first harvest and application of Se only could meet the needs of producing Se-rich cabbage in the first harvest.

**Key words** molybdenum; selenium; continuous cropping; yield; Chinese cabbage