植物营养与肥料学报 2003,9(3):353～358
Plant Nutrition and Fertilizer Science

硒对小白菜生长和养分吸收的影响

李登超[1,2], 朱祝军[1*], 徐志豪[3], 钱琼秋[1]
(1 浙江大学农业与生物技术学院,浙江杭州 310029;2 浙江林学院,浙江临安 311300;
3 浙江省农业科学院园艺研究所,浙江杭州 310021)

摘要: 以小白菜为材料,研究了硒对植株生长和养分吸收的影响。结果表明,当营养液中加入低浓度硒(Se≤1.0 mg/L)时促进了小白菜的生长,增加了产量;加高浓度硒(Se≥2.5 mg/L)时则抑制了小白菜的生长。加硒后增加了小白菜地上部可溶性总糖、还原糖含量;降低了蔗糖和淀粉的含量;低浓度硒增加了粗纤维含量,而高浓度硒则降低了其含量;Se≤1.0 mg/L 的硒处理降低了植株地上部总蛋白质的含量,但随着硒浓度的进一步增加(Se >1.0 mg/L)植株体内的总蛋白质含量逐渐升高,并大于对照。加硒后增加了小白菜地上部游离氨基酸总量和 N、Ca、Mg、Mn、Zn 含量,降低了 P、K、S 元素的含量;与对照相比,加硒后增加了小白菜地下部 N、S 元素的含量,降低了 P、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn 元素的含量,但对 K 元素的影响不大。无论是小白菜地上部还是地下部,体内硒的含量均与营养液中硒的浓度呈显著的正相关。植物地上部硒的含量以有机态硒为主,有机硒转化率均在 80% 以上。

关键词: 亚硒酸盐; 硒; 小白菜; 生长; 养分吸收
中图分类号: S634.3; S143.7　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2003)03-0353-06

Effects of selenium on the growth and nutrient absorption of pakchoi

LI Deng-chao[1,2], ZHU Zhu-jun[1], XU Zhi-hao[3], QIAN Qiong-qiu
(*1 College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang Univ., Hangzhou 310029, China;*
2 Zhejiang Forestry Univ., Linan 311300, China; 3 Insitute of Horticulture, Zhejiang AAS, Hangzhou 310021, China)

Abstract: Effects of selenium on the growth and nutrient absorption in pakchoi (*Brassica campestris* ssp. chinensis L.) were studied. The results showed that the plant growth was promoted at lower selenite concentration, while it was inhibited at higher selenite concentration. The contents of soluble sugar and reducing sugar in shoots of pakchoi were increased, while those of the sucrose and starch were decreased. The content of cellulose was increased at lower selenite concentrations, but decreased at higher selenite concentrations. The content of protein was decreased at the treatment (Se≤1.0 mg/L), but it was increased gradually with the increase of selenite concentration in the solution. The content of total free amino acids was higher than control. The contents of N, Ca, Mg, Mn, Zn in shoots of pakchoi treated with selenite were increased, while those of P, K, S were decreased. Compared to the control, the contents of N, S in roots of plant were increased while those of P、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn were decreased at the treatment, but the K content was hardly affected. The content of selenium in either shoots or roots of the plant was positively correlated with the selenite concentration in the solution. Most of the selenium form in plant was organic selenium and the organic selenium invert rates were above 80 percent in all treatments.

Key words: selenite; selenium; pakchoi; growth; nutrient absorption

硒作为人体必需的微量元素,具有保护心脏、防治克山病和大骨节病、提高肌体免疫力、防癌抗癌、抗肿瘤、延缓衰老、颉颃某些重金属元素等多种生物学功能[1]。早在 80 年代,土壤学家就指出,由于土壤母质和土壤形成过程中或形成后硒的迁移,致使硒在土壤中呈明显的带状分布,且低硒区域面积远

收稿日期:2002-06-13
基金项目:浙江省自然科学基金项目(398216)资助。
作者简介:李登超(1976—),男,山东高唐人,硕士,主要从事蔬菜生理生化方面的研究。* 通讯作者

远大于高硒和硒毒区域面积。因此,由于土壤-植物系统的硒匮乏而导致的人体硒缺乏或潜在缺乏在我国甚至全球都较为普遍和严重[2]。随着对硒的生理作用的不断认识和提高,硒的营养学问题愈来愈引起人们的重视。目前,国内外关于富硒产品的开发很热,包括食品、饮料、肥料、药品和化妆品等,但存在诸如富硒载体不适当、富硒途径不合理、富硒指标失控等问题[3]。

据统计,我国绝大部分地区人们日常生活膳食硒供应量为 29 μg,远未达到我国营养学会规定的 50 μg 的标准[4]。一般蔬菜中除大蒜含硒量较高外,大多数蔬菜的含硒量均很低,因此蔬菜中提高硒含量的潜力很大。富硒植物特别是富硒蔬菜的研究开发,不仅可以通过食物链的方式达到人体长期补硒的目的,而且可以通过自身的生理代谢将毒性大、人体利用率低的无机态硒转化为毒性小、人体利用率高的有机态硒如硒蛋白、硒代氨基酸等[5],从而使人体补硒更经济、安全、有效。本研究的目的是通过溶液培养小白菜,来研究不同浓度的硒素对其生长和养分吸收的影响,从而为生产中合理施硒提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2000 年在浙江大学园艺系实验温室中进行。基质为珍珠岩,供试作物小白菜(*Brassica. campestris ssp. chinensis* L.),品种为矮抗青,由杭州市良种引进公司提供。小白菜于 10 月 5 日播种,出苗后浇 1/4~1/2 稀释的营养液,11 月 1 日定植于营养液中,基础营养液按朱祝军等配方[6],其组成成分如下(mmol/L):$Ca(NO_3)_2$ 3.0;KNO_3 4.0;KH_2PO_4 1.0;$MgSO_4$ 1.0;$MnCl_2$ 3.6×10^{-3};H_3BO_3 4.5×10^{-2};$CuCl_2$ 8×10^{-4};$ZnCl_2$ 1.5×10^{-3};$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ 1.4 $\times10^{-5}$;Fe-EDTANa_2 9.0×10^{-2}。11 月 8 日进行处理,设 0、0.1、0.5、1.0、2.5、5.0 mg/L 6 个硒(Se)处理,以 Na_2SeO_3 形式加入。每桶 4 株,4 次重复,随机排列。12 月 27 日一次性采收小白菜,采收前分别称其鲜重,50~55℃ 烘箱中烘干后,分别记录其干重,干样磨细后备用。

1.2 分析测定方法

可溶性总糖、蔗糖和还原糖分别采用蒽酮比色法、间苯二酚比色法和 3,5-二硝基水杨酸比色法测定[7];淀粉采用高氯酸水解后蒽酮比色法测定[8];粗纤维素采用碘量法测定[9];蛋白质参照考马斯亮蓝 G-250 染色法测定[10];游离氨基酸总量采用水合茚三酮比色法测定[11]。

氮的测定:精确称取 0.25g 粉碎过筛的小白菜干样,浓 H_2SO_4-H_2O_2 消煮,定容至 50mL,过滤后取清液用扩散法测定[12];无机元素的测定:精确称取 0.5g 粉碎过筛的小白菜干样于消煮管底部,加入 7mL 混合酸(HNO_3:$HClO_4$ = 5:2),放置过夜后,置多功能消化器上消煮,100℃ 消煮 0.5 h,180~200℃ 继续消煮 2 h,至消煮液清亮,然后冷却至室温,再加 10 mL 10% HCl,于消化器上继续消化 10 min,取出冷却后转移至 50 mL 容量瓶中,定容,过滤后待测。P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、B、Zn、Cu 等元素采用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)测定[13]。无机硒和有机硒的测定参照尚庆茂等[14]方法;硒元素的测定参照刘胜杰等[15]方法,采用 2,3-二氨基萘(DAN)荧光分光光度法测定。

2 结果与分析

2.1 硒对小白菜生长的影响

由表 1 可知,与未加硒处理相比,低浓度硒(Se ≤1.0 mg/L)促进了小白菜的生长,增加了产量,其中以加 Se 0.5 mg/L 处理长势最好,比对照增加了 15.33%;高浓度硒(Se≥2.5 mg/L)则抑制了小白菜的生长,加 Se 2.5、5.0 mg/L 分别比对照减少了 4.94%和 32.79%。说明适量硒对小白菜有增产效果,而浓度过高则会对小白菜生长产生抑制,降低产量。

表 1 硒对小白菜生长的影响(g/pot)

Table 1 Effects of selenium on the growth of pakchoi

硒浓度 (Se mg/L)	地上部 Shoot 鲜重 Fresh weight	地上部 Shoot 干重 Dry weight	地下部干重 Root dry weight	总干重 Total dry weight
0	249.10±42.55ab	11.01±1.88ab	1.81±0.18ab	12.83±1.92b
0.1	267.46±43.59a	12.54±1.84a	1.83±0.24ab	14.25±1.88a
0.5	287.32±45.18a	12.63±1.99a	1.89±0.33ab	14.52±2.11a
1.0	263.41±39.01a	12.58±1.86a	2.01±0.17a	14.58±2.24a
2.5	232.57±36.63ab	11.51±0.96ab	1.96±0.32ab	13.47±1.76ab
5.0	160.42±36.73b	11.10±0.92ab	1.87±0.31ab	12.97±1.25b

注:每列中不同小写字母表示差异达到 0.05 显著水平,下同。

Note: Different small letters in each column means significant at 0.05 level, same as follows.

2.2　硒对小白菜地上部碳水化合物含量的影响

加硒增加了小白菜可溶性总糖、还原糖含量，降低了蔗糖含量，但降低了小白菜淀粉的含量。低浓度硒（Se≤1.0 mg/L）增加了小白菜体内粗纤维含量，而高浓度硒（Se≥2.5 mg/L）则降低了其含量（表2）。

表 2　硒对小白菜地上部干物碳水化合物含量的影响

Table 2　Effect of selenium on the contents of carbohydrate compounds in pakchoi shoots dry matter

硒浓度 (Se mg/L)	可溶性总糖(mg/g) Total soluble sugar	还原糖(mg/g) Reducing sugar	蔗糖(mg/g) Sucrose	淀粉(mg/g) Starch	粗纤维素(%) Crude fiber
0	155.65±7.23d	62.41±0.64c	62.93±3.90a	49.23±2.47a	9.50±0.18ab
0.1	181.20±7.3c	63.85±1.17c	55.04±4.06a	43.89±2.08a	9.92±0.13a
0.5	189.64±1.29c	63.33±1.09c	58.40±3.45a	45.67±2.45a	9.85±0.15a
1.0	192.86±5.72c	63.85±0.78c	58.91±5.41a	43.67±2.95a	9.85±0.15ab
2.5	240.24±10.47b	72.09±1.72b	58.11±3.18a	44.79±2.98a	8.91±0.40bc
5.0	293.07±10.73a	82.40±1.44a	54.60±2.62a	46.87±2.88a	8.31±0.3c

2.3　硒对小白菜地上部总蛋白质和游离氨基酸总量的影响

与对照相比，低硒处理（Se≤1.0 mg/L）降低了植株总蛋白质的含量，但随着硒浓度的进一步增加（Se>1.0 mg/L）植株体内的总蛋白质含量逐渐升高，并大于对照。加硒后增加了小白菜体内游离氨基酸总量，随着硒浓度的升高，植株体内的游离氨基酸总量表现为先升后降的趋势，其中以 Se 0.5 mg/L 处理时达到最高，比对照增加了 20.22%（图 1）。

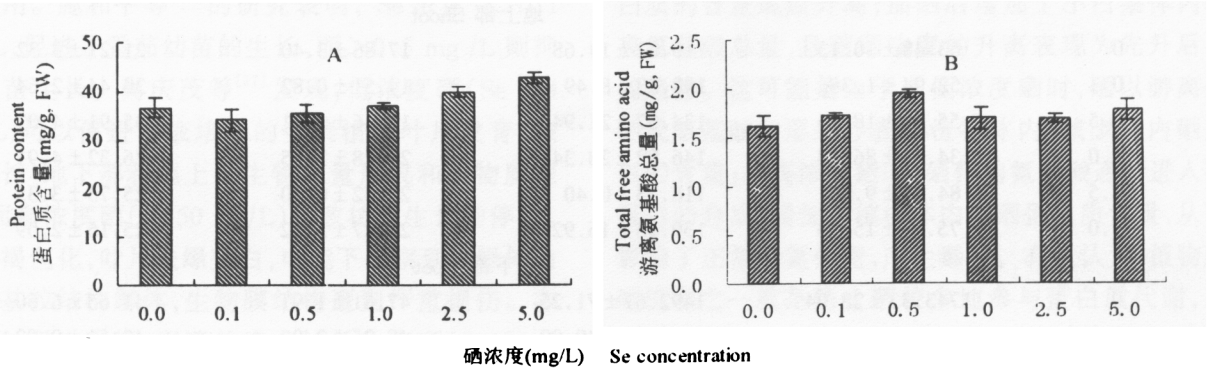

图 1　硒对小白菜地上部总蛋白质（A）和游离氨基酸总量（B）的影响

Fig.1　Effects of selenium on the contents of protein（A）and total free amino acid（B）in pakchoi shoot

2.4　硒对小白菜矿质营养元素含量的影响

2.4.1　硒对小白菜不同部位大量元素含量的影响

表 3 看出，加硒后小白菜地上部 N、Ca、Mg 含量增加，而 P、K、S 含量降低。与未加硒处理相比，加硒后增加了小白菜地下部 N、S 元素的含量，降低了 P、Ca、Mg 元素的含量，适量硒增加小白菜地下部 K 元素的含量，但在高浓度硒时对 K 的影响不大。

2.4.2　硒对小白菜不同部位微量元素含量的影响

加硒增加了小白菜地上部 Mn、Zn 元素的含量。在低硒（Se≤0.5 mg/L）时降低了小白菜地上部 Fe、B 元素的含量，但随着硒浓度的进一步增加（Se≥1.0 mg/L），二者在地上部的含量明显增加；低浓度硒可以增加小白菜根部 B 元素的含量，高浓度硒则降低了 B 在根部的含量。与对照相比，加硒后均降低了小白菜地下部 Fe、Mn、Zn 元素的含量（表 4）。

2.5　硒对小白菜不同部位硒含量的影响

图 2 看出，小白菜地上部和地下部硒含量均随营养液中硒浓度的增加而明显增加，地下部的硒含量约为地上部硒含量的 20 倍。相关统计表明，二者呈显著的正相关。地上部硒含量与营养液中硒浓度的相关方程为：$y = 8.586x + 1.1587$，$R^2 = 0.9932$；小白菜地下部硒含量与营养液中硒浓度的相关方程为：$y = 141.8x + 42.427$，相关系数为 $R^2 = 0.9718$。

表3 硒对小白菜不同部位大量元素含量的影响(%)

Table 3 Effect of selenium on the contents of macroelements in different parts of pakchoi

Se浓度(mg/L)	N	P	K	Ca	Mg	S
			地上部 Shoot			
0	4.74±0.16	0.54±0.06	5.73±0.11	0.64±0.01	0.18±0.01	0.93±0.10
0.1	4.81±0.13	0.42±0.01	5.69±0.15	0.68±0.02	0.19±0.01	0.81±0.03
0.5	4.82±0.10	0.40±0.03	5.61±0.29	0.68±0.03	0.23±0.04	0.85±0.08
1.0	4.82±0.20	0.50±0.04	5.49±0.07	0.72±0.02	0.27±0.02	0.86±0.05
2.5	5.38±0.27	0.48±0.01	4.51±0.13	0.72±0.02	0.28±0.01	0.85±0.01
5.0	4.96±0.11	0.47±0.01	5.26±0.18	0.71±0.02	0.28±0.03	0.83±0.02
			地下部 Root			
0	3.38±0.17	2.93±0.22	4.23±0.24	0.90±0.01	0.40±0.03	1.20±0.06
0.1	3.45±0.11	2.23±0.05	4.34±0.11	0.84±0.02	0.37±0.02	1.28±0.04
0.5	3.64±0.07	2.61±0.32	4.34±0.23	0.90±0.03	0.37±0.03	1.29±0.11
1.0	3.88±0.08	2.34±0.14	4.40±0.13	0.81±0.01	0.30±0.03	1.26±0.09
2.5	3.67±0.08	2.03±0.10	4.22±0.08	0.82±0.02	0.34±0.01	1.22±0.04
5.0	4.11±0.15	2.08±0.07	4.22±0.01	0.78±0.01	0.25±0.01	1.21±0.02

表4 硒对小白菜不同部位微量元素含量的影响(μg/g. DW)

Table 4 Effects of selenium on the contents of microelements in different parts of pakchoi

Se浓度 (mg/L)	Fe	Mn	B	Zn
		地上部 Shoot		
0	63.48±10.13	110.62±14.68	17.86±3.40	21.21±3.32
0.1	52.94±1.38	148.83±8.49	14.51±0.82	30.44±2.64
0.5	55.43±18.96	134.37±21.94	17.46±3.01	35.91±4.02
1.0	134.43±86.93	146.92±28.34	25.28±2.95	26.32±4.91
2.5	84.14±9.90	118.73±0.40	28.52±0.30	25.73±3.35
5.0	75.67±15.73	139.13±16.92	25.27±2.42	25.15±2.09
		地下部 Root		
0	1743.33±28.04	1492.67±71.25	47.61±1.91	41.65±6.60
0.1	1664.33±40.15	1322.00±49.00	48.25±2.09	40.51±0.93
0.5	1723.67±54.98	1283.00±57.33	48.94±6.56	35.29±3.29
1.0	1661.33±53.14	1243.67±54.05	51.33±3.91	33.73±6.17
2.5	1363.67±38.28	909.90±47.38	41.57±1.68	20.72±4.05
5.0	1525.33±34.65	1154.00±34.04	38.95±0.83	23.45±2.03

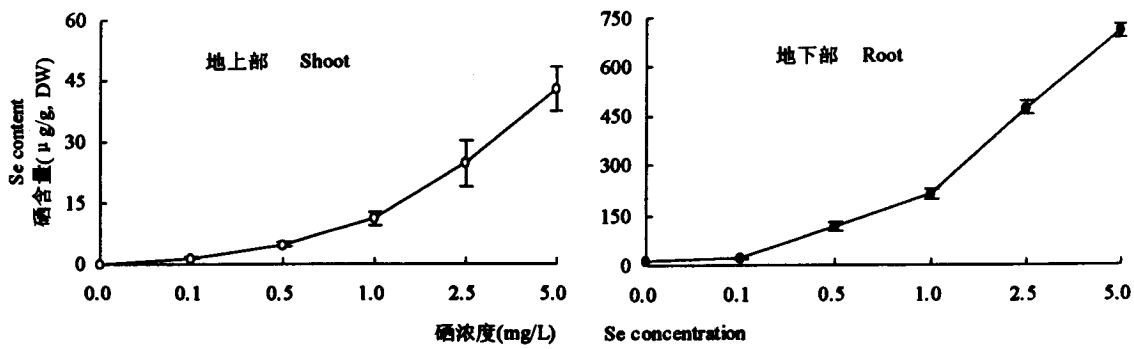

图2 硒对小白菜不同部位硒含量的影响

Fig. 2 Effect of selenium on Se contents in different parts of pakchoi

2.6 硒对小白菜地上部硒含量及形态分析

由表 5 可知，加硒后明显增加了植株体内硒的含量，且硒的含量以有机硒为主，无机硒只占少部分，方差分析表明，差异达显著水平。有机硒的转化率均在 80% 以上，说明小白菜植株有高效转化无机硒为有机硒的能力。

表 5　硒对小白菜地上部硒含量影响及形态分析

Table 5　Analysis of selenium on the contents of Se and its form in shoots of pakchoi

Se 浓度 (mg/L)	地上部硒含量 Se content in shoot(μg/g)			转化率(I/II) Invert rate (%)
	无机硒 Inorganic Se	有机硒(I) Organic Se	总硒(II) Total Se	
0	0.0030e	0.0123f	0.0153f	80.35
0.1	0.2849d	1.2983e	1.5832e	82.00
0.5	0.6274cd	4.1959d	4.8233d	86.99
1.0	1.0021c	10.1450c	11.1471c	91.01
2.5	2.9623b	21.6865b	24.6488b	86.34
5.0	4.0443a	36.8231a	42.8674a	89.02

3 讨论

硒对农作物的效应存在剂量效应，适量硒浓度可以促进植株生长，增加产量，但过量硒对植株有毒害作用。施和平等[16]的研究表明，Se 浓度 < 0.1 mg/L，促进了番茄幼苗的生长，而 >0.5 mg /L 则抑制幼苗生长。尚庆茂等[17]发现，低浓度硒(Se 0.4 mg/L)可以促进溶液培养的生菜植株叶片发育、根系伸长、地下部和地上部生物产量形成和干物质积累；而高浓度硒(Se 50 mg/L)导致植株生长的停滞，根系褐色化，叶片失绿变白，电镜下观察到叶绿体内部的基粒结构解体，生物膜结构遭到严重损伤。本试验结果也表明，当营养液中加低浓度硒(Se≤1.0 mg/L)时促进了植株的生长，而加高浓度硒(Se≥2.5 mg/L)则抑制了植株的生长，其中以加 Se 0.5 mg/L 浓度小白菜生长最佳。

硒对植物碳水化合物代谢的影响，可能因植物种类、栽培品种及生长发育的时期而异。小白菜加硒处理后增加了体内可溶性糖、还原糖含量，降低了蔗糖含量。许云等[18]研究，硒处理 24h 后，小麦幼苗体内的可溶性糖含量随硒浓度的升高而显著增加，且存在剂量效应；但硒处理 1 周和 2 周后，小麦体内的糖含量均降低。杨兰芳等[19]研究也发现，喷硒后可以提高烤烟烟叶还原糖和总糖的含量，且在同一喷硒量下，烟叶总糖含量是前期 > 前中期 > 中期。这与本试验结果基本一致。

目前认为，硒至少以两种方式参与蛋白质的代谢，一是无机硒进入植物体后很快转化为 Se-Cys、Se-Met 等多种氨基酸，以原料形式直接参与蛋白质的合成；另一是作为 tRNA 的组成成分，转运氨基酸以合成蛋白质[5]。本试验发现，低浓度硒降低了植株蛋白质的含量，但随着硒浓度的增加，植物体内蛋白质的含量逐渐升高；加硒后增加了小白菜体内游离氨基酸总量，且随硒浓度的升高表现为先升后降的趋势。这可能是由于在低浓度硒时，硒以游离的硒代氨基酸的形式存在于植物体内，减少体内硒蛋白的含量；在高浓度硒时，硒代的氨基酸逐渐进入硒蛋白的合成，增加了植株体内的硒蛋白质含量，从而影响了正常的氮代谢，产生毒性。有人认为，植物耐硒机制之一就是防止硒较多地参与蛋白质代谢，从而避免硒引起的生理毒性。史衍玺等[20]报道，土壤施硒浓度为 Se 0、1.5、3.0、6.0 mg/L 下，小白菜体内含有的人体必需氨基酸总量分别为 6.72%、7.45%、7.46%、6.98%，与对照相比，增加幅度分别为 10.9%、11.0%、3.9%；尚庆茂等[5]发现，硒素营养降低了奶油生菜、红叶生菜茎叶中的游离氨基酸含量，提高了散叶生菜茎叶中的游离氨基酸含量，说明硒对蛋白质的作用大小因品种而异。

一般认为，在硒的生理浓度范围内，施硒可以促进植物对 S、P、K、Ca、Mg、Mn、Cu、Zn、Mo 等元素的吸收，而在硒毒情况下，植物对营养元素的吸收值降低[3]。Arvy 等[21]证实，在植物体内，Se 和 Mn、Zn、Co、P、Mo 等元素的浓度呈正相关，而和 Fe、Al、As 等元素呈负相关。尚庆茂等[5]报道，增加营养液中的硒素水平，促进了生菜对 P 的吸收，抑制了对 K、Na、Ca、Mg 等元素的吸收，其影响程度为红叶生菜

>玻璃生菜>奶油生菜。我们的试验结果同样表明,加硒后对小白菜地上部和地下部的元素影响不同。加硒后增加了小白菜地上部N、Ca、Mg、Mn、Zn元素的含量,降低了P、K、S元素的含量;与对照相比,加硒后增加了小白菜地下部N、S元素的含量,降低了P、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn元素的含量,但对K元素的影响不大。由此可见,加硒后能改变植物体内的元素组成,其影响程度因植物种类、植物品种、植物不同部位而异。目前,硒与重金属的颉颃作用,已经得到确认。但硒与植物一般的矿物元素间的关系报道的较少,因此这方面的工作还需要更进一步地深入。

有关资料[22]表明,有机硒的生物活性高而毒性远比无机硒低,即无机硒不易被人体吸收利用,且过量食用和在体内积累对人和动物有一定的毒害;另外,有机硒特别是植物中普遍存在的硒蛋氨酸,可在人体中储存,需要时可合成人体必需的硒酶。对植株地上部硒形态的结果表明,小白菜有高度转化无机硒为有机硒的能力,加硒后小白菜有机硒的转化率均在80%以上(表5),说明可以通过人工强化硒素改良蔬菜作物中硒,特别是有机硒的含量,从而达到人体补硒的目的。本试验结果还表明,无论小白菜地上部还是地下部,植株组织中的硒含量均与营养液中硒浓度呈显著的正相关,且植株的地下部硒含量约为地上部中的硒含量的20倍。说明小白菜有高效积累硒的能力,且植物地上部中的硒含量高度依赖于植株地下部对硒的积累。

参考文献:

[1] 吴求亮,杨玉爱,谢正苗,等.微量元素与生物健康[M].贵阳:贵州科技出版社,2000.

[2] 郑达贤,李日邦,王五一.初论世界低硒带[J].环境科学学报,1982,2(3):241-249

[3] 陈铭,刘更另.高等植物的硒营养及在食物链中的作用(二)[J].土壤通报,1996,27(4):185-188.

[4] 杨光圻.膳食硒需要量和安全摄入量范围研究结果述要[J].营养学报,1992,14(3):318-320.

[5] 尚庆茂,高丽红,李式军.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.

[6] 朱祝军, Gerendas J, Sattelmacher B.尿素或Cl^-部分替代NO_3对小白菜生长和硝态氮积累的影响[C].园艺学进展(第二辑).1998.558-562.

[7] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.127-128.

[8] 华东师范大学生物系植物生理教研组.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,1984.145-150.

[9] 何照范,张迪清.保健食品化学及其检测技术[M].北京:中国轻工业出版社,1998.169-170.

[10] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding[J]. Anal. Biochem.,1976, 72: 248-254.

[11] 王文平.植物样品中游离氨基酸总量测定方法的改进[J].北京农学院学报,1998,13(3):9-12.

[12] 沈冬莲,徐慧珍.土壤农化分析常规分析法[M].北京:科学出版社,1984.

[13] 张振贤.大白菜矿质元素吸收与分配规律研究[J].园艺学报,1993,20(2):150-154.

[14] 尚庆茂,李平兰,高丽红.水培生菜对硒的吸收与转化[J].园艺学报,1997,24(3):255-258.

[15] 刘胜杰,孙树庄,周瑞华,等.生物样品、水及土壤中痕量硒的荧光测定法 二、粮食和蔬菜中痕量硒的荧光测定法[J].营养学报,1985,7(2):142-147.

[16] 施和平,张英聚,刘振声.番茄对硒的吸收、分布和转化[J].植物学报,1993,35(7):541-546.

[17] 尚庆茂,李式军.高浓度硒对生菜的毒害效应[A].中国园艺学会首届青年学术研讨会论文集[C].北京:农业出版社,1994,511-513.

[18] 许云,刘俊华,王子健,等.硒和环境中富里酸对小麦幼苗糖代谢的影响[J].环境科学学报,1998,18(4):401-405.

[19] 杨兰芳,丁瑞星.叶面施硒对烤烟生化品质的影响[J].湖北农业科学,2000,(1):51-53.

[20] 史衍玺,杜振宇,马丽,等.不同施硒方式下小白菜对硒的吸收与累积特征[J].土壤通报,1998,29(5):299-231.

[21] Arvy M P, Thiersault M, Doireau P *et al*. Relationships between selenium, micronutrients, carbohydrates and alkaloid accumulation in Catharanthus Roseus cells[J]. J. Plant Nutrition, 1995, 18(8):1535-1546.

[22] 徐辉碧.生物微量元素-硒[M].武汉:华中工业出版社,1983.