

文章编号 :1673-1689(2006)05-0049-06

菜心富硒规律及其对营养成分的影响

莫海珍^{1,2}, 张 愨¹, 李秀玲¹

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214036 2. 河南科技学院, 河南 新乡 453003)

摘 要: 选用菜心作为富硒的研究对象, 采用不同质量浓度的亚硒酸钠进行喷施处理, 测定总硒和有机硒的含量以及不同的富硒浓度对菜心植株产量和各营养成分的影响。结果显示: 喷施低浓度硒可以增进菜心品质而高浓度硒则抑制了菜心植株的正常生长和生理代谢。在富硒菜心中, 75% 以上的硒以有机硒的形式存在, 体内的无机硒主要以 6 价硒存在, 6 价硒占总无机硒的 94% 以上; 硒可以明显的提高菜心叶绿素、蛋白质、维生素 C 和氨基酸的含量, 但可溶糖的含量降低。

关键词: 菜心; 富硒; 营养成分; 影响

中图分类号: S 37

文献标识码: A

Brassica chinensis Enriched Selenium Regularity and Its Effect on Nutrient Content

MO Hai-zhen^{1,2}, ZHANG Min¹, LI Xiu-ling¹

(School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: Tsai-tai (*Brassica chinensis*) was used as a model to investigate the mechanism of selenium enrichment in this research. The effect of different NaSeO₃ spray concentration and frequency on the content of total and organic selenium, the output and nutrient content of Tsai-tai were determined. The results showed that the Tsai-tai property could be enhanced with low spray density of NaSeO₃, but the growth and physiological metabolism were inhibited with high spray density of NaSeO₃. In Tsai-tai, more than 75% selenium exists in the form of organic selenium. For inorganic selenium, Se VI was key component and the content was more than 94%. With Selenium spraying, chlorophyll, protein, VC and amino acid in Tsai-tai increased but the concentration of soluble sugar decreased.

Key words: Tsai-tai (*Brassica chinensis*); enriched selenium; nutrient; effect

硒(Se)作为一种生态环境中重要的微量元素, 具有抗衰老、抗癌和解毒等作用, 被世界卫生组织和中华医学会定为 21 世纪继碘、锌后必补的第三大微量营养保健元素。我国通过补硒治疗预防克山病、大骨节病、肝癌已获得重大进展。研究同时发现, 衰老过程、炎症、动脉粥样硬化、肿瘤的化

致癌、辐射致癌、癌基因表达等均与硒的摄入不足有关^[1-3]。

在我国大陆除云南、陕西和湖北少数富硒地区外, 约占 72% 的地区属于缺硒或轻度缺硒地区。要想改变缺硒的现状, 要么改变土壤, 要么让缺硒人群补硒, 显然在一个广袤的区域里改变土壤的结构

收稿日期: 2005-09-19; 修回日期: 2005-12-23.

基金项目: 江苏省农业攻关项目(BE2004353).

作者简介: 莫海珍(1972-), 女, 河南洛阳人, 农产品加工与贮藏博士研究生。

是人力难以企及的。因而最便捷、最经济有效的方法,只有口服定量补硒。目前,补硒剂主要有两类,一是直接服用无机硒,二是多食用富有机硒的产品。无机硒一般只用作药品来预防和治疗硒缺乏疾病。而有机硒补剂产品在毒理安全性、生理活性上具有优越性,再加上我国目前最广泛的硒源食物是含硒植物性食物,且植物性食物中硒的利用率比动物性硒要高35%~65%。因此,研究开发安全有效的天然植物硒资源是解决缺硒区居民补硒关键的问题。当前研究的较多的有富硒茶和富硒酵母,但是有机硒多存在于茶渣里面,饮用茶水并不能从真正意义上达到补硒的功效。而富硒酵母,其较为昂贵的价格限定了消费群体,难以被广大普通消费者所接受。所以,开发经济、方便,适合长期食用的富硒蔬菜食品更为适宜。这对于解决缺硒地区的硒营养问题,提高人类的健康水平,都具有极其重要的社会经济意义^[3-6]。

菜心(*Brassica chinensis* var.)是一种以花薹为主食部分的叶菜,是江浙等地区广为大众日常消费的新鲜蔬菜,并且由于菜心属于十字花科类的植物,是对硒具有较强吸收能力和耐受能力的累积硒植物,因而,本文选择菜心作为主要富硒对象,研究叶面喷施富硒对菜心硒的富集转化及其对营养成分的影响。

1 材料与方法

1.1 菜心富硒处理

试验在浙江海通食品有限公司试验基地进行。对菜心的喷施浓度处理如下:亚硒酸钠溶液配制含硒质量浓度分别为50、100、150、200、300 mg/L,喷施面积为6 m²,喷施溶液体积为400 mL。每个处理重复3次。对菜心的喷施次数处理如下:喷施一次、两次、三次。喷施间隔为24 h,喷施质量浓度均为100 mg/L。每处理重复3次。CK为喷施等量纯水的对照。

喷施时间选择在菜薹形成期,距离采摘前7~10 d,喷施时间为下午15:00左右,阴天^[5,7-9]。

1.2 分析测定方法

1.2.1 总硒的测定方法 按照国家标准 GB/T 12399—1996 中的2,3-二氨基萘(DAN)荧光分光光度法测定。

1.2.2 有机硒的测定方法 4价硒的测定:取一定量样品于三角烧瓶中,加入去离子水置于50℃水

浴中振荡浸提2 h后,过滤,用去离子水多次洗涤滤渣,与原先的滤液合并并定容到100 mL容量瓶中,调节pH值至1.5~2.0,采用DAN测定硒含量,所得值为4价硒含量。

6价硒的测定:样品加硝酸和高氯酸加热消化后,加入去离子水定容至100 mL容量瓶中,取等体积样液加入具塞三角瓶中,一份直接用氨水调节pH值后测定硒含量,另一份加入体积分数为10%的盐酸溶液,95℃水浴振荡加热0.5 h后,取出冷却,再用氨水调节pH值后测定硒含量。两者之差为六价硒含量^[2,5,10]。

有机硒含量 = 总硒 - 4价硒 - 6价硒

1.2.3 叶绿素的测定 采用分光光度法测定。

1.2.4 维生素C的测定 2,6-二氯酚法。

1.2.5 蛋白质的测定 凯氏定氮法。

1.2.6 氨基酸的测定 6 mol/L HCl 真空水解样品24小时,安捷伦1100液相色谱分析氨基酸组成。

1.2.7 可溶糖的测定 高效液相色谱法。

2 结果与分析

2.1 质量浓度对产量和鲜根重的影响

从表1可以看出,随着硒溶液浓度的增大,相应的植株产量和鲜根重呈减产趋势,喷施硒质量浓度小于100 mg/L时菜心产量和鲜根重与对照差异不显著, $P > 0.05$ 。当富硒质量浓度大于150 mg/L时,菜心产量和鲜根重与对照组相比差异显著, $P < 0.05$ 。尤其当喷施质量浓度为300 mg/L时,所得植株产量只有对照植株产量的44%, $P < 0.01$,鲜根重只有对照植株的48%, $P < 0.01$,并且植株矮小,叶片发黄。说明适当质量浓度的硒处理不会造成菜心植株的减产,但高硒喷施会严重抑制菜心植株和根的正常生长发育。

表1 喷施质量浓度对产量及鲜根重的影响

Tab.1 Effect of spray density on output and root weight

Se/(mg/L)	100 g 植株产量/g	100 g 植株鲜根重/g
0	1 257 ± 246	247 ± 32
50	1 066 ± 125	250 ± 25
100	978 ± 302	244 ± 22
150	718 ± 135	173 ± 18
200	572 ± 74	136 ± 16
300	557 ± 92	118 ± 19

低浓度的硒对农作物的生长有促进作用,而高浓度的硒对作物的生长有抑制作用在很多文献中

均有报道。施和平发现液体培养时低浓度硒有促进番茄幼苗生长的作用;高于 $0.5 \mu\text{g/g}$ 硒抑制生长,浓度越高抑制越强^[11]。Liu 研究显示合适的硒添加量可以促进水稻生长而过量则造成伤害,产量降低,尤其是根^[12]。Simojoki 研究施硒处理对生菜根系的影响发现硒处理不改变胚轴的形态,但是主根和侧根的长度和面积在中间硒添加量时最低,而硒最大添加量时根的体积最大^[13]。Carvalho 研究了硒对4种农作物番茄、草莓、萝卜和生菜产量的影响,发现高浓度的硒对于产量有降低作用,并对植物种子有抑制作用^[14]。而 Kopsell 对白菜硒处理生长试验中认为叶子鲜重和干重没有明显差别,但会降低 B、P、Fe 的含量,而 Se、S、K 含量随硒含量增加而增加^[15]。段咏新发现在 1 mmol/L 硒浓度范围内,硒浓度的提高促进大蒜的生长,与对照组相比,叶色浓绿,长势高且粗壮,但浓度超过 1 mmol/L 时增重逐渐减少,硒浓度超过 5 mmol/L 时,出现抑制现象^[16]。胡秋辉对大豆叶面喷施亚硒酸钠,发现当质量浓度小于 400 mg/L 对产量无显著影响,亚硒酸钠质量浓度大于 600 mg/L ,大豆产量显著下降^[8]。

2.2 质量浓度对硒含量的影响

2.2.1 喷施浓度对菜心植株总硒和有机硒含量的影响

从图1可以看出,随着喷施硒浓度的增加,菜心植株吸收的硒量随着环境中硒浓度的增高而增大,当施硒质量浓度在 $0 \sim 200 \text{ mg/L}$ 范围内,喷施硒浓度和植株中总硒和有机硒具有线性相关关系,总硒和喷施硒浓度的线性方程为 $y = 0.9691x - 1.3102$, $R^2 = 0.9355$;有机硒和喷施硒浓度的线性方程为 $y = 0.7823x - 1.0797$, $R^2 = 0.9287$ 。当达到最大含硒水平 $3.8909 \mu\text{g/g}$ 后,菜心植株富集硒的能力反而开始下降,高浓度的硒抑制了植株对环境中硒的进一步吸收和生物转化。

植物对硒的吸收和累积能力将植物分为3类:累积植物,如十字花科的萝卜、油菜等,对硒的吸收能力和耐受能力都很强。而中度含硒植物和低度含硒植物,对硒的富集转化能力较低^[1]。菜心属于硒的累积植物,经过喷施处理后菜心的总硒含量可达 $3.5 \sim 4 \mu\text{g/g}$,有机硒含量分别基本保持在 $75 \sim 85\%$ 的范围内,说明菜心植株将外界环境中的无机硒转化为有机硒的能力是比较高的。

经测定上述菜心无机硒中 Se^{6+} 占无机硒量的绝大部分,其含量为无机硒的 $94\% \sim 97\%$ 。这一点可由 Arvy 等人的研究发现来解释,即植物是通过主

动耗能的形式吸收硒酸盐,吸收亚硒酸盐则是不需能的被动吸收形式^[17]。并且 Asher 等用 ^{75}Se 示踪法和色谱法证实植物体内转移的硒示硒酸根形态,以亚硒酸盐供给植物,在根部被吸收并转化为硒酸盐和其他硒化物向地上部运输至叶片,在那里由无机硒转化为有机硒。同时,研究显示,一般植物吸收6价硒的能力比4价硒高8倍^[18]。

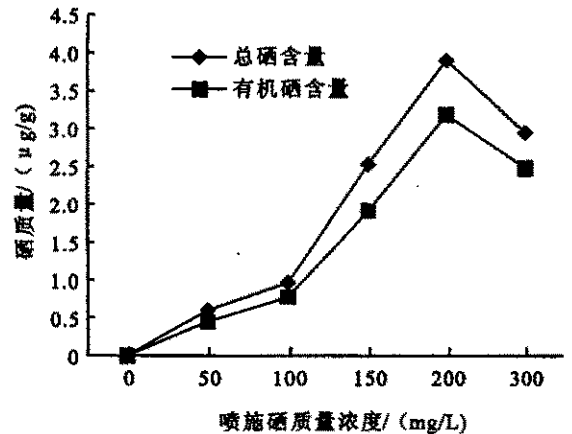


图1 硒溶液质量浓度菜心植株总硒和无机硒含量变化

Fig. 1 The content of total and inorganic selenium in *Brassica chinensis* with different spray quantity

2.2.2 喷施次数对硒含量的影响 从表2可见,喷施次数对植株体内吸收的硒含量有较大的影响,喷施两次得到的硒含量约是喷施一次得到的硒含量的2倍,差异显著 ($P < 0.05$),而喷施次数为3次时得到的硒含量与喷施两次得到的硒含量相比差异不显著 ($P > 0.05$)。由于喷施次数的增加相当于变相的浓度富集,因此在施硒处理时,可选择较低浓度,分两次喷施可起到良好的富硒效果,而喷施溶液中硒浓度的降低可起到避免环境污染的作用。

表2 喷施次数对菜心硒含量的影响

Tab. 2 Effect of spray frequency on *Brassica chinensis* selenium content

喷施次数	总硒含量/($\mu\text{g/g}$)
1	0.965 ± 0.114
2	1.967 ± 0.402
3	2.257 ± 0.335

注:喷施质量浓度均为 100 mg/L 。

但菜心植株中硒的含量到达一定程度后反而会降低,说明在硒的吸收和转化过程中存在饱和效应和反馈抑制作用^[9]。Zhu 研究了菠菜的硒处理试验,认为在菠菜中吸收硒的过程中存在正向反馈机

制,因为叶子中硒质量浓度并不和营养液中硒质量浓度成比例^[19]。

2.3 质量浓度对营养成分的影响

2.3.1 外施不同硒质量浓度对菜心植株叶绿素含量的影响 从图2可看出,随着喷施亚硒酸钠溶液浓度的增大,植株出现先增绿后失绿的现象,当喷硒浓度为100 mg/L时,叶绿素含量达到最高值,每100 g植株为30.4 mg,是普通对照菜心23.3 mg的1.30倍,表明适当的硒有助于菜心植株的光合作用和生长代谢。在大蒜培养中也发现富硒处理的大蒜与对照组相比,植株叶色浓绿^[16]。硒在低浓度时也能提高螺旋藻叶绿素a的含量^[20]。

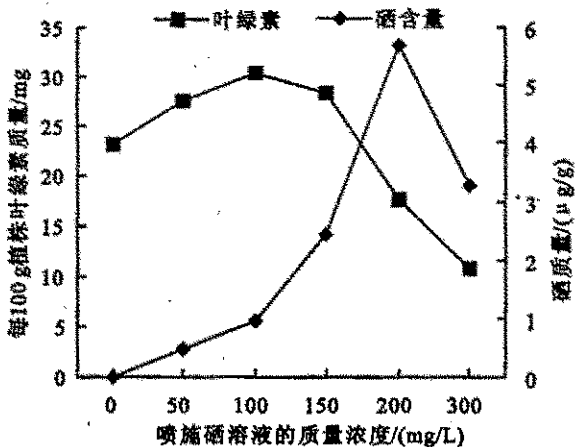


图2 硒溶液质量浓度对叶绿素含量的影响

Fig.2 Effect of spray density the chlorophyll content

2.3.2 外施不同硒质量浓度对菜心植株维生素C含量的影响 图3显示了喷硒质量浓度与植株体内维生素C含量的关系,维生素C含量随喷硒质量浓度的增加而增大,50 mg/L硒质量浓度处理与对照相比差异不显著,而当硒浓度大于100 mg/L时差异显著($P < 0.05$),从Se100 mg/L到Se150 mg/L这一浓度变化使得其维生素C含量增大为对照植株的1.21倍。这可能是因为硒能够通过含硒酶(谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px))和非含硒酶化合物两个途径,对植株细胞内过氧化氢和脂质过氧化物起清除作用,起到保护维生素C的作用^[19,16]。

2.3.3 外施不同硒质量浓度对菜心植株蛋白质和氨基酸含量的影响 从图4中可看出,随着喷施硒质量浓度的增加,当其质量浓度低于100 mg/L的时候,蛋白质和氨基酸的含量显著提高,硒质量浓度100 mg/L时菜心的蛋白质和氨基酸含量分别是对照普通菜心的1.45倍和1.54倍;当质量浓度从100 mg/L上升到150、200 mg/L的时候,其相应的蛋白质和氨基酸含量呈缓慢降低趋势;而当质量浓度增大到300 mg/L的时候,蛋白质和氨基酸含

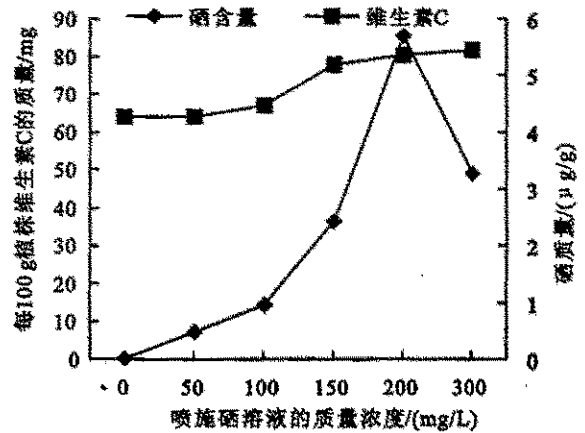


图3 硒溶液质量浓度对维生素C含量的影响

Fig.3 Effect of different selenium density on VC content 量呈急剧下降趋势。这一趋势与吴永尧在富硒水稻和与赵镭在富硒灵芝中的研究结果是一致的,即低含硒量可以提高菜心植株中蛋白质和氨基酸的含量,而高含硒量则会使蛋白质和氨基酸含量比对照增加的趋势减缓^[2,21]。段咏新对大蒜进行硒处理也发现蛋白质含量提高11%~20%,DNA、RNA含量也有提高^[16]。乔玉辉报导,较低浓度50 mg/L诱导钝顶螺旋藻硝酸盐还原酶活力,有利于蛋白质的合成^[20]。而Belokobylsky对绿藻细胞研究认为培养液中添加硒和铬会影响细胞的生长动力生物量,但不改变形态和蛋白质含量^[22]。

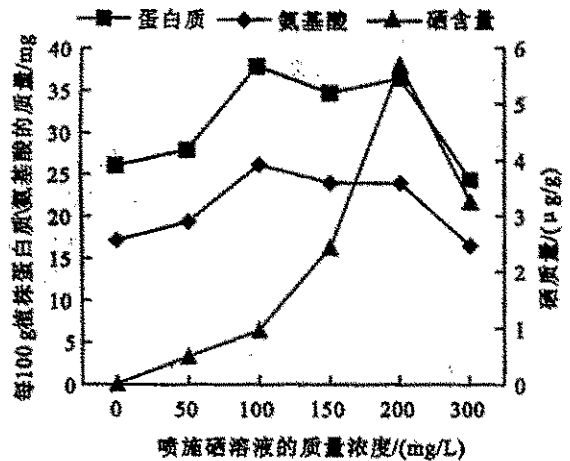


图4 硒溶液浓度对蛋白质和氨基酸含量的影响

Fig.4 Effect of different selenium concentration on the contents of protein and amino acid

从表3可看出,硒对氨基酸的组成没有显著影响,施硒对总氨基酸含量的影响也是随外施浓度的增加,先成上升后下降的趋势,但施硒并不影响植株体内其他各种氨基酸的组成配比。

硒有促进蛋白质合成的作用,一方面硒以硒代含硫氨基酸如Se-Cys, Se-Met形式直接参与蛋白质合成,减少了游离氨基酸中Cys和Met的含量。

另一方面,硒是植物体内一种 tRNA 核糖核酸链的组成成分,具有转运氨基酸的功能,从而对其他氨基酸也有影响^[1,20]。

表 3 喷施不同质量浓度硒溶液对氨基酸含量的影响(干基)

Tab.3 Effect of spray density variables on amino acid content (dry basis)

Se/(mg/L)	CK	50	100	150	200	300
Asp	1.953 5	2.185 6	3.019 2	2.803 6	2.718 5	1.899 7
Glu	2.712 2	2.944 8	4.937 8	3.857 3	4.065 1	2.441 1
Ser	0.864 9	0.854 4	1.233 3	1.165 8	1.131 9	0.813 1
His	0.422 5	0.469 8	0.594 3	0.556 6	0.533 4	0.348 5
Gly	1.022 5	1.157 2	1.440 4	1.341 3	1.316 3	1.006 0
Thr	0.841 8	0.990 9	1.199 5	1.173 2	1.222 0	0.866 1
Ala	0.491 3	0.567 0	0.844 3	0.740 6	0.783 4	0.482 6
Arg	2.117 0	2.378 7	2.996 0	2.858 7	2.870 2	2.075 5
Tyr	0.501 5	0.591 9	0.741 2	0.732 9	0.772 9	0.526 6
Cys - s	0.027 1	0.037 3	0.014 0	0.046 2	0.059 3	0.030 1
Val	1.201 9	1.339 0	1.701 4	1.577 2	1.497 1	1.127 0
Met	0.175 6	0.172 7	0.153 9	0.230 3	0.095 2	0.050 1
Phe	0.985 8	1.114 9	1.424 5	1.365 5	1.348 0	0.961 7
Ile	0.846 5	0.947 3	1.180 8	1.104 7	1.012 9	0.785 2
Leu	1.453 3	1.686 8	2.086 3	2.020 4	2.044 7	1.463 7
Lys	0.730 2	0.909 0	1.313 4	1.184 5	1.253 2	0.726 3
Pro	0.764 0	0.996 9	1.229 2	1.119 5	1.198 2	0.814 3
total(g/100g)	17.111 6	19.344 2	26.094 2	23.878 3	23.922 2	16.417 4

3.3.4 外施不同硒质量浓度对菜心植株可溶糖含量的影响 图 5 表明,菜心植株可溶糖含量随硒质量浓度的增大成先下降后上升的趋势,且 Se200 可溶糖含量比普通对照菜心要显著降低 ($P < 0.01$),只有对照的 46.3%,同时 Se50 和 Se300 的可溶糖含量分别是对照样 99.5% 和 93.9%,差异不显著。这一情况与赵镭在富硒灵芝中的研究反差较大^[21]。Turakainen 研究硒对马铃薯碳水化合物积累的影响,发现硒含量较高(Se 0.3 mg/kg)的土壤可推迟匍匐枝和根的成熟,可提高土豆植株淀粉含量,但当收获季节时各处理间无显著差别^[23]。

而当硒质量浓度达到 300 mg/L 时,可溶糖含量反而增加可能是因为过高的 SeO_4^{2-} 和 SeO_3^{2-} 硒离子进入细胞后,引起代谢紊乱,酶促反应失调,大分子糖类和蛋白质的分解加强而合成受抑,蔗糖的合成加快,表现为可溶糖浓度的增加。

硒离子进入植株体内,对植株生长过程中糖和蛋白的合成和代谢机制的影响还需要进行进一步深入的探讨和研究。

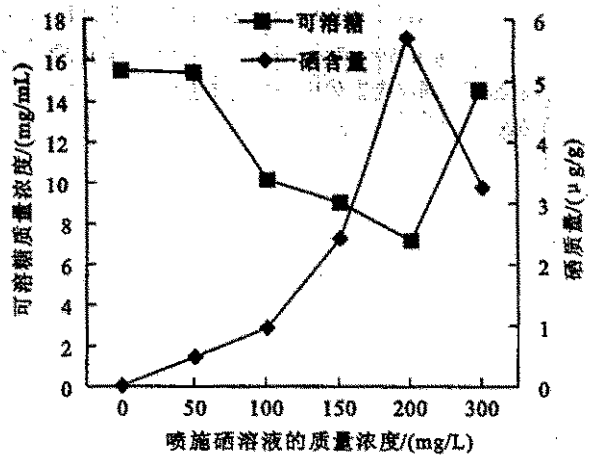


图 5 硒溶液质量浓度对可溶糖含量的影响

Fig.5 Effect of different selenium density on soluble sugar content

3 结 论

1) 外施不同质量浓度的亚硒酸钠溶液对菜心植株体内的总硒含量有较大影响。随外施浓度的

增高,植株体内的硒含量呈现先上升后下降的趋势,峰值出现在 Se200 时。过高的浓度会降低菜心的产量。

2) 富硒菜心植株体内的硒主要以有机硒的形式存在,有机硒占总硒的比例在 75% ~ 85% 范围内。富硒菜心植株体内的无机硒主要以 6 价硒的形式存在,6 价硒占总无机硒量的 94% ~ 98%。

3) 适度的硒处理可提高菜心的叶绿素和维生素 C 的含量,菜心植株蛋白质和氨基酸含量随着硒浓度的增大呈现先增大后降低的趋势,峰值出现在 Se100,说明适当的硒质量浓度可提高菜心植株的蛋白质和氨基酸的含量。

4) 菜心在富硒处理后蛋白和可溶糖等物质代谢的机理尚待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 李应生,李亚男. 硒的生物学功能及植物的富硒机理[J]. 湖北农学院学报,2003,23(6):476-480.
- [2] 赵镭. 灵芝生物富硒灵芝硒蛋白的分离纯化和抗氧化性研究[D]. 2004.
- [3] 左银虎. 环境与植物中硒形态研究进展[J]. 植物学通报,1999,16(4):378-380.
- [4] 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).
- [5] 张愨,丁霄霖. 几种蔬菜的硒结合规律和农艺优化研究[J]. 无锡轻工大学学报,1997,16(4):7-12.
- [6] Camara C, Moreno P, Quijano M A, et al. Stability of total selenium and selenium species in lyophilised oysters and in their enzymatic extracts[J]. **Analytical and Bioanalytical Chemistry** 2002,374(3):466-476.
- [7] 胡秋辉. 低硒土壤茶园茶叶富硒方法及其富硒效应[J]. 南京农业大学学报,1999,22(3):91-94.
- [8] 胡秋辉. 喷施硒对大豆品质和大豆食品硒水平的影响[J]. 中国油料作物学报,2001,23(3):42-45.
- [9] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [10] 轻工业学院. 食品分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,1994. 10.
- [11] 施和平. 番茄幼苗对硒的吸收与硫营养的关系[J]. 核农学报,1993,7(1):61-64.
- [12] Liu Q, Wang D J, Jiang X J, Cao ZH. 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):325-330.
- [13] Simojoki A, Xue TL, Lukkari K, et al. Allocation of added selenium in lettuce and its impact on roots[J]. **Agricultural and Food Science**, 2003, 12(3-4):155-164.
- [14] Carvalho K M, Gallardo-Williams M T, Benson R F, et al. Effects of selenium supplementation on four agricultural crops[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2003, 51(3):704-709.
- [15] Kopsell D A, Randle W M, Mills HA. Nutrient accumulation in leaf tissue of rapid-cycling *Brassica oleracea* responds to increasing sodium selenate concentrations[J]. **Journal of Plant Nutrition**, 2000, 23(7):927-935.
- [16] 段咏新. 硒在大蒜体内的生物富集及其抗氧化作用[J]. 园艺学报,1997,24(4):343-347.
- [17] Arvy M P. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants[J]. **Exp Bot**, 1993, 44:1080-1087.
- [18] Asher C J, Bueler G W, Peterson P J. Selenium transportation system of tomato[J]. **Exp Bot**, 1997, 28:279-291.
- [19] Zhu YG, Huang YZ, Hu Y, Liu YX. Christie, PIInteractions between selenium and iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) in solution culture[J]. **Plant and Soil**, 2004, 261(12):99-105.
- [20] 乔玉辉,商树田. 施硒对钝顶螺旋藻(*Sp. -D*)品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(1):31-34.
- [21] 吴永尧. 不同供硒水平对水稻生长的影响及水稻的富集作用[J]. 湖南农业大学学报, 1998, 24(3):176-179.
- [22] Belokobylsky A I, Ginturi E I, Kuchava N E. Accumulation of selenium and chromium in the growth dynamics of *Spirulina platensis*[J]. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 2004, 259(1):65-68.
- [23] Turakainen M, Hartikainen H, Seppanen MM. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2004, 52(17):5378-5382.

(责任编辑 杨萌)