

影响植物富硒因素的研究进展

朱薇¹,杨守祥^{1*},刘庆²

1. 山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271018
2. 青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266000

摘要: 本文从植物自身因素、富硒方式和土壤等方面综述了影响植物富硒的因素及其机理, 为今后更好开展植物富硒研究提供科学合理的参考。

关键词: 植物; 富硒; 影响因素; 研究进展

中图分类号: S565.201

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)04-0636-05

Advances of Factors Influencing Selenium Enrichment in Plants

ZHU Wei¹, YANG Shou-xiang^{1*}, LIU Qing²

1. College of resources and environments/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2. College of resources and environments/Qingdao Agricultural University, Qingdao 266000, China

Keywords: Plant; Selenium-enriched; influence factor; advances

硒(Selenium)是一种氧族非金属元素,自1817年,瑞典的贝采利乌斯从硫酸厂的铅室底部的红色粉状物质中制得硒这种元素^[1],从此人们就开始对硒进行研究。硒也是人和动物必需的14种微量元素之一,具有抗氧化作用、抗癌作用、提高人体免疫能力、预防心血管疾病、拮抗作用,能抵抗人体内有害金属元素的毒性等重大功能^[2,3]。

硒是一种很特殊的微量元素,人体和动物对硒的缺乏、适量和过多中毒三者之间的差异微小^[4],所以缺乏和过量都会引起多种疾病,如硒的缺乏可以造成大骨节病和克山病等疾病,这些生病者的血硒含量明显低于正常人群,发病区环境中硒含量偏低^[5]。虽然硒对人体健康能产生有益作用,然而过量的硒却对人体产生有害作用,由于硒的合适剂量与中毒剂量之间的范围很小,因此硒的毒性需要引起重视^[6],如在一些研究报告中角蛋白结构改变,胃肠道问题和感觉异常人群中都是由于硒的过多而中毒^[7]。何激进报道中指出对一般成人来讲,最适宜推荐的成人摄入量为每日50~25 μg^[8]。人和动物所需的硒元素主要来源于植物中的有机硒。有研究表明,植物体内具有硒黄酮、硒多糖、硒核酸、硒肽、硒类胡萝卜素等人体必需的营养物质^[9]。由于动物和人类不能直接吸收土壤中的有机态硒,但可吸收植物体中所含有的有机态硒,因此,利用植物可吸收和富集有机态硒的能力,对影响植物富硒效果的研究不断深入。

1 植物自身对富硒效果的影响

1.1 植物类型

植物对硒的富集程度取决于该植物的种类,种类不同,其富集程度各异。根据对硒的富集能力的不同可将植物分为硒积聚植物、次生硒积聚植物和非硒积聚植物^[10]。硒积聚植物(大于1000 mg·kg⁻¹)比如有玉蕊科的巴西坚果、豆科的双槽紫云英和十字花科的 *Stanleya pinnata*,其中双槽紫云英叶中硒浓度最高达6000 mg·kg⁻¹,*Stanleya pinnata*分布于美国西部,地上部分的硒浓度最高达1130 mg·kg⁻¹;次生硒积聚植物(常在50~1000 mg·kg⁻¹)如黄芪属植物;非硒积聚植物(小于50 mg·kg⁻¹)根据目前研究发现,自然界中的绝大多数的植物都属于这一类。

1.2 植物器官

通过许多试验研究表明,同一植物不同器官由于代谢差异富硒量也存在着较大的差异性,Rosenfield I 等^[11]测定茶树不同部位富硒量呈梯度分布由高到低依次为:果壳>老枝>嫩叶>嫩枝>根系>种子。许春霞等^[12]也研究表明,茶树不同部位的富硒量呈梯度分布由高到低依次为:根>2年生枝>新叶>老叶。有研究指出同一植物的不同部位富集硒的能力不同,通常富硒量非食用部位大于可

收稿日期:2014-09-10

修回日期:2014-09-26

基金项目:农业公益性行业科研专项:优质高效富硒农产品关键技术与示范(201303106)

作者简介:朱薇(1990-),女,硕士,主要研究方向:农业资源利用. E-mail:zhuwei849377028@163.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:ysx63@163.com

食用部位。Hamiltan等^[13]对17种蔬菜进行了不同部位富硒量的差异试验,结果表明:蔬菜的非食用部分富硒量大于可食用部位富硒量,硬花甘兰、洋葱、豌豆、西班牙菜和瑞士牛皮菜的食用部分富硒量大于 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。李瑜等^[14]在对马铃薯不同器官的研究结果表明,马铃薯不同器官对硒的吸收富集能力也不同,其富集量由高到低依次为:茎>叶>根>块茎,马铃薯的茎干部位对硒的吸收富集能力较强,硒元素主要富集在马铃薯的茎干部位。同时也进一步证明了通常植物富硒量非食用部位大于可食用部位这一规律。植物体不同部位对不同形态硒的吸收也存在差别。植物根系可以吸收硒酸盐和亚硒酸盐两种不同形态的无机硒,在等量Se供应时,对硒酸盐的吸收能力是对亚硒酸盐的8倍;植物根系吸收亚硒酸盐时不需要能量,而吸收硒酸盐时需要能量^[15]。

1.3 不同基因型

影响植物富硒量的首要内部因素是植物品种,同一地区不同基因型的富硒量差异很大。李瑜等人^[14]研究不同马铃薯基因型,研究表明:不同品种(系)马铃薯的富硒量具有很大不同,品系‘0602-65’的富硒量明显高于其他品种;不同品种(系)马铃薯对硒的吸收富集能力差异较大,品系‘0602-65’对硒的富集能力最强,其次为品系‘09012-74’。沙济琴等^[20]研究福建闽东、闽南、闽北3大茶区茶叶鲜叶的富硒量,结果表明:在立地条件、鲜叶采摘期和采摘标准相同的情况下,不同基因型茶树鲜叶富硒量间的差异明显,表明茶树基因型是决定其鲜叶富硒量的基本因素。

2 土壤对富硒效果的影响

通常情况下,不是土壤中所有的硒都能被植物吸收富集利用,能被植物吸收富集利用的硒为土壤有效硒。土壤全硒只能作为土壤硒的容量指标,而土壤中的有效硒通常可以全面正确反映土壤供硒水平,只有土壤的供硒水平高,植物的富硒效果才好。硒的有效性与土壤中硒的形态、地带性差异、质地、pH、氧化还原电位(Eh)、有机质含量等因素有关^[21]。

2.1 土壤中硒的形态

Hamdy等^[22]根据硒在不同试剂中的溶解度顺序,对土壤中硒的形态分级:(1) K_2SO_4 溶解的硒(速效态),包括硒酸盐、亚硒酸盐及有机硒化合物;(2)同位素交换态和 NH_4OH 溶解的硒(潜效态),前者指可能吸附在水合氧化铁上的亚硒酸盐,后者指未知组成的有机硒化合物;(3) HCl 溶解的硒, HNO_3 溶解的硒和残余硒(包括元素硒和重金属硒化合物)。硒的分级与植物富硒的有效性具有很大的相关性。硒从植物根系运转到植株效果取决于植物吸收硒的形态。与植物吸收富集硒相关性较大硒的形态主要是硒酸盐、亚硒酸盐和有机态硒,对这三种不同形态的硒而言,植物吸收运转硒的速率从高到底依次为:硒酸盐>有机态硒>亚硒酸盐^[23]。Arvy等^[24]也曾证明,豆类植物根系所吸收的硒酸盐在3h内有50%运转到植株,而吸收的亚硒酸盐则大部分留在根部,只有小部分运转到植株。

2.2 土壤的地带性差异

我国的硒资源地带性分布极不均匀,我国从东北向西南涉及约15个省(市)和自治区,包括东北三省、河北、山东、四川、云南等形成一条明显的地带性缺硒区域,从西北干旱地区经中部干旱地区至东南沿海,我国土壤硒含量呈高一低一高马鞍型分布,而我国存在的两个天然富硒区分别是湖北省恩施州和陕西省紫阳县,特别是恩施鱼塘坝地区有着独立成矿的硒矿床。王美珠等^[25]研究表明,我国湖北省恩施的富硒区是由于这个地区富硒岩层中在古生代二叠纪硅质页岩、含炭硅质页岩的存在和陕西省紫阳是由于寒武—奥陶纪硅质页岩、含炭硅质页岩等岩层带存在决定其高的富硒性。我国富硒地区根据自身土壤特点因地制宜地生产的天然的富硒食品如:湖北恩施和陕西紫阳的富硒茶、安徽石台县的富硒矿泉水、安徽巢湖生产的“富硒香米”。硒的地带性分布差异决定了生长在不同地带性的土壤上的植物的富硒效果的差异。

2.3 土壤pH值与氧化还原电位

植物的富硒效果与土壤硒的有效性有关,而土壤硒的有效性与硒的价态具有很大的关联性,pH值和氧化还原电位是土壤硒价态变化的最主要的两个影响因素。一般来说,土壤中硒的有效性随pH值升高而增加,硒的有效性也随之增加,pH值升高能够提高硒的有效性原因是:一是降低了土壤对亚硒酸盐的吸附力,水溶性硒含量增高,二是碱性条件更有利于亚硒酸盐转化为硒酸盐,硒有效性也同时增加,这就是为什么容易发生硒中毒的土壤多为碱性土的原因^[26]。硒的价态还与硒的氧化还

原电位相关,所以影响土壤中硒的有效性是硒的氧化还原电位。一般来说,土壤中硒的无机态主要是亚硒酸盐和硒酸盐,在还原条件下,氧化态硒被还原成硒的氯化物,硒的生物有效性降低;在氧化条件下,硒酸盐比例变大,硒的有效性提高^[27]。

2.4 土壤质地和有机质

土壤的质地对土壤中的硒有不同的表现,一般沙质土壤中植物富硒能力强于粘质土壤,粘土颗粒可以对硒具有强力的吸附力,不易被植物吸收富集,表现出较差的富硒性^[28]。

土壤有机质直接影响土壤中有机态硒的含量。在有机质含量高的土壤中,其全硒量一般也较高,但硒的有效性不一定高,Gustafs 等^[29]研究认为,在有机质含量越高的土壤中硒的有效性越低。由于有机物—金属复合体提供的吸硒基因能够固定土壤中的硒,致使高有机质土壤中硒的有效度远远小于低有机质土壤。但另一方面,陈代中等^[30]指出,由于大量的硒在枯枝落叶层中存在,而土壤有机质主要来源于植物残体的腐烂分解和合成产物,因此土壤有机质含量的多少就直接控制着土壤有效硒的含量。到底土壤有机质处于哪个范围能有效的提高植物的富硒效果至今也没有公认明确的标准。

2.5 土壤中其它因素

土壤中的其它因素如土壤中的水分、酶活性、微生物、其它元素等也影响着土壤中硒的有效性及植物的富硒性。一般农业上在含硫量较高的地区多施用亚硒酸盐的效果会更好,在于硫酸根离子主要对植物吸收硒酸盐离子起竞争性抑制作用,而对亚硒酸盐离子无抑制作用^[31]。有研究增加邻乙酰丝氨酸的含量,可以提高植物吸收硒酸盐的能力^[32]。

3 施硒方式对植物富硒效果的影响

由于动物和人类不能直接吸收土壤中的有机态硒,但可吸收植物体中的有机态硒,因此,可以充分利用植物的吸收、富集能力,为人类健康服务。研究表明富硒方式的不同对植物富硒效果的影响也不同,目前主要采用的富硒方式有:土壤施硒、叶面施硒、浸种(拌种)、高压注射。各种富硒方法对不同的植物会有不同的富硒效果,在植物富硒过程中不宜一概而论,应针对不同的植物种类实施相应的富硒方法,同时还要注意如果方法使用不当,会对植物富硒效果产生负面影响。

3.1 土壤施硒

土壤施硒把硒肥直接撒施土壤中,一般作基肥使用可以起到提高植物体内富硒的含量,是一种简单、方便、持久而稳定的传统方法。杜振宇等^[33]在对土壤施硒可显著提高萝卜体内的含硒量;外源硒增加了萝卜的有机硒含量,但随着土壤施硒量的增加,有机硒转化率却逐渐下降,表明土壤施硒过高不利于有机硒的转化。盆栽试验结果表明,在供应等量硒条件下,施硒酸盐处理植物的含硒量比亚硒酸盐处理高8倍。因此,在农业生产上多施用亚硒酸盐^[34],可避免产生中毒植物。硒施入土壤后,大部分被土壤二、三氧化物迅速吸附固定^[35],其中可溶态的硒含量较少;另外,院金谒等^[36]研究指出,土壤中施入适量的硒既增加大蒜鳞茎含硒量,提高有机硒含量,又在一定程度上增加产量,并且能保证人、畜安全的硒用量。因此,在土壤施硒中,要想达到最佳的富硒效果,关键是要把握好适宜的硒用量。

3.2 叶面施硒

由于叶面喷施方便操作、快捷高效、无污染,减少土壤对硒固定对施硒效果造成的影响,显著提高硒的利用效率。Ylaranta^[37]对苹果树采取土壤表面施硒、叶面施硒、土壤深层施硒三种处理研究,结果表明是叶面喷施对苹果含硒量增加更显著。冯两蕊等^[38]叶面喷施不同浓度硒溶液有助提高生菜的产量,与对照相比,各处理均有不同程度的提高,喷硒浓度1 mg/L、2 mg/L、4 mg/L、8 mg/L其增产幅度分别18.8%、22.9%、29.2%、19.0%,并随着喷硒浓度的增大,生菜产量呈递增趋势,在喷施浓度为4 mg/L时,产量达到峰值,然后随喷施浓度增大而呈降低趋势。随生长期的延长和喷施次数增加,植物的含硒量也随之增加。在叶面施硒中,一定要注意施硒的浓度过高或过低都会影响到富硒的最佳效果,在叶面施硒过程中还要注意施硒的时间、部位和次数。

3.3 浸种

郝玉怀等^[39]研究报道谷子播种前,用 75、150、225、300 g/hm² 亚硒酸钠浸种,结果显示收获谷

子籽粒的含硒量与亚硒酸钠用量呈极显著的正相关。国外有人按 50 g/hm² 的量将亚硒酸钠加入泥炭苔藓中。再将它涂到紫花苜蓿和黑麦种子上, 结果使植物含硒量提高到适当水平。紫花苜蓿 3 次收获物和黑麦草前 2 次收获物的含硒量均超过 0.1 ppm。Gissel-Niel-sen^[40] 研究表明, 浸种处理所需的硒量, 比叶喷要多 20 倍左右。浸种其缺点在于浸种不易操作, 且浸种与土壤施硒均易污染环境, 因此, 在生产中其应用受到限制。

3.4 高压注射

周淑霞等^[41]通过叶面喷施、土施和树干注射补施亚硒酸钠提高红富士苹果的含硒量。结果表明, 果实套袋前和除袋后各喷1次10 mg/kg的亚硒酸钠, 可明显提高红富士苹果的含硒量, 树干注射相同浓度的亚硒酸钠, 与叶面喷施效果相同。李俊霜^[42]在采收前15~45 d, 用高压树干注射法向枣树干按 100 kg鲜重(此重量为枣果鲜重, 用干周法测定)注入0.1~2 mg/kg亚硒酸钠或硒酸钠水药液20~60 mL, 注入深度为20 mm, 可使枣果的硒含量达0.39 mg/kg。在高压注射施硒中, 也要和叶面施硒一样一定要注意施硒的浓度过高或过低都会影响到富硒的最佳效果, 还要注意施硒的时间、部位和次数。

3.5 施硒浓度

一般而言, 适量浓度的硒可以促进植株生长, 提高产量及品质, 但过量硒对植株有毒害作用。李登超等^[43]用水培的方法, 在营养液中添加低浓度硒 ($\leq 0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 培养菠菜和白菜, 促进了植株的生长, 提高了产量; 但当营养液中加高浓度硒 (菠菜, $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 白菜 $\geq 0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 时则抑制了植株的生长, 降低了产量。在土壤中添加低浓度 Se^{4+} ($< 3.81 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和 Se^{6+} ($< 1.45 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 可促进4种蔬菜的(小白菜、芥菜、生菜和菠菜)根和茎的生长, 增加其生物量; 高浓度 Se^{4+} ($> 29.91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和 Se^{6+} ($> 2.04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 却抑制了供试蔬菜的生长, 对蔬菜的根和茎产生明显的抑制作用^[44]。

3.6 施硒时期

同一植物在不同的生长时期由于其内在的生理机制的不同, 在采用同一富硒方式的处理后表现出不同的富硒效果。张愨等^[16]在不同生长时期蔬菜采用相同的喷硒方式却产生不同的效果, 对青椒、茄子、黄瓜、生菜和小葱5种蔬菜进行叶面喷硒, 喷施效果依次表现为结果期 $>$ 开花期 $>$ 苗期。唐巧玉等^[17]的富硒研究表明, 大豆在花期和结荚期, 根中的富硒量低于苗期的根部富硒量, 这是因为根部生物量的增加而导致的相对含量下降, 以及由于植株从营养生长到生殖生长的转变, 使更多根部的硒被运送到了地上部器官。史芹等^[18]研究叶面喷硒提高小麦籽粒硒含量的试验中, 比较孕穗期、灌浆前期、中期和后期的施硒效果发现, 以灌浆前期喷施效果最佳。唐玉霞等^[19]的研究发现, 小麦抽穗期至灌浆初期叶面喷硒效果最佳, 喷硒浓度以每公顷用量750 kg, 浓度为40 mg/L为宜。

4 展望

结合当前的研究进展, 今后在以下几个方面需进一步开展研究工作。

(1) 综上所述, 由于硒的有益剂量和毒性剂量范围极其狭隘, 缺乏和过量都会对人体产生有害作用, 因此硒的适宜范围是必须首要考虑的。有人建议我国应参照美国的含硒食品标准即营养水平 0.05~0.10 $\mu\text{g}/\text{g}$, 危险水平 2.0 $\mu\text{g}/\text{g}$, 中毒水平 5.0 $\mu\text{g}/\text{g}$, 尽快制定我国的含硒标准。

(2) 在当前人群普遍缺硒的情况下, 如何合理、安全地满足人体所需, 保证人类健康是当前所要迫切解决的问题。研究表明, 通过食物链转化, 从中获取适量硒营养是一条安全、价廉、可行的途径。因此在农业生产中通过施肥途径提高农产品的含硒量, 进而开发富硒食物具有广阔的应用前景。

(3) 目前关于提高植物器官中硒含量的研究主要集中在叶面喷施等栽培技术方面, 通过植物对硒的有效吸收, 今后我们应充分利用现代化技术, 有效开发富硒植物, 通过富硒植物的转化作用将无机硒转化为有机硒, 开发植物硒资源, 为人体补硒提供条件。

(4) 在土壤-植物生态系统中, 硒不直接作用于植物, 而是通过食物链经一系列复杂的生物化学过程实现^[45]。植物富硒能力主要受到植物自身的遗传基因、土壤环境、富硒的方式等方面影响。这些方面的影响是相互作用、紧密联系的, 对于这些影响因素的内在机制规律目前研究的仍不完全清楚, 不仅需要进一步加强其影响因素的内在机制的研究和试验, 而且更要对硒在土壤和植物体内迁移与转化、硒在食物链中的迁移与转化等方面进行更加深入的探讨与研究。

参考文献

- [1] Schwarz K, Foltz CM. Selenium as an integral part of factor against dietary necrotic liver degeneration[J]. J Am Chem Soc, 1957,70(32):92-93
- [2] Hamilton SJ. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain[J]. Science of the Total Environment, 2004,326(1-3):1-31
- [3] Tapiero H, Townsend DM, Tew KD, *et al.* The antioxidant role of selenium and seleno-compounds[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2003,57(4):134-144
- [4] Rayman MP. The importance of selenium to human health[J]. Lancet, 2000,356(9225):233-241
- [5] Combs GF. Selenium in global food systems[J]. British Journal of Nutrition, 2001,85(5):517-547
- [6] Fordyce FM, Zhang GD, Green K, *et al.* Soil, grain and water chemistry in relation to human selenium-responsive diseases in Enshi District[J]. Appl Geochem, 2000,15(1):117-132
- [7] Lemire M, Philibert A, Fillion M, *et al.* No evidence of selenosis from a selenium-rich diet in the Brazilian Amazon[J]. Environment International, 2012,40(2):128-136
- [8] 曾 静,罗海吉.微量元素硒的研究进展[J].微量元素与健康研究,2003,20(2):52-56
- [9] 梅光泉,应惠芳.微量元素硒与植物有机硒化合物[J].微量元素与健康研究,2003,20(6):59-61
- [10] 苏晓云.中国硒资源的开发与利用[M].北京:气象出版社,1994
- [11] Rosenfield I. Selenium[M]. New York:Acad Press,1964:61
- [12] 许春霞,李向民,肖水绥,等.土施硒肥与茶叶含硒量和产量的关系[J].西北农业学报,1996,5(1):171-175
- [13] Hamilton JW, Benth OA. Amount and chemical form of selenium in vegetable plants[J]. Journal Agricultural Food Chemistry, 1964,12(4):371-374
- [14] 李 瑜,张百忍,刘运华,等.马铃薯对硒的吸收及生物富集规律[J].中国马铃薯,2013,27(6):359-361
- [15] Shrift A, Ulrich JM. Transport of selenate and selenite into Astragalus roots[J]. Plant Physiol, 1969,44(6):893-896
- [16] 张 懋,丁霄霖,秦 昉,等.几种蔬菜的硒结合规律和农艺优化研究[J].无锡轻工业大学学报,1997,16(4):7-12
- [17] 唐巧玉,吴永尧,周毅峰,等.大豆对硒的富集动态的研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(2):424-426
- [18] 史 芹,高新楼.同时期喷施富硒液对小麦籽粒硒含量及产量的影响[J].山地农业生物学报,2011,30(6):562-564
- [19] 唐玉霞,王慧敏,吕英华,等.冬小麦硒素吸收积累特性及叶面喷硒效应的研究[J].华北农学报,2010,25(S):198-201
- [20] 沙济琴,郑达贤.茶树鲜叶含硒量影响因素分析[J].茶叶科学,1996,16(1):25-30
- [21] 陈 铭,刘更另.高等植物的硒营养及食物链中的作用(二)[J].土壤通报,1996,27(4):185-188
- [22] Hamdy AA, Gissel-Nielsen G. Fractionation of soil selenium[J]. Zeitschrift für Pflanzenmaehr und Bodenkunde, 1976(6):697-703
- [23] 陈大清.植物硒同化的研究进展及其耐硒突变体的筛选[J].氨基酸和生物资源,2004,26(2):65-70
- [24] Arvy MP. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants(*Phaseolus vulgaris*)[J]. J Exp Bot, 1993,44(6):1083-1087
- [25] 王美珠.茶叶含硒量的研究[J].浙江农业大学学报,1991,17(3):250-254
- [26] 杨兰芳.土壤中的硒[J].湖北民族学院学报:自然科学版,2000,18(1):43-46
- [27] 刘小明,李泽琴,沈 松,等.土壤中硒的生物可利用性研究进展[J].江西农业学报,2012,24(9):120-123
- [28] Hamdy AA, Gissel-Nielsen G. Fixation of selenium by clay minerals and iron oxides[J]. Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 1977,140(1):63-70
- [29] Gustafsson JP, Johnsson L. Selenium retention in the organic matter of Swedish forest soils [J]. European Journal of Soil Science, 1992,43(3):461-47
- [30] 陈代中,任尚学,李继云,等.陕西地区土壤中的硒[J].土壤学报,1984,21(3):247-257
- [31] 董广辉,陈利军,武志杰,等.植物硒素营养及其机理研究进展[J].应用生态学报,2002,13(11):1487-1490
- [32] Davidian JC, Hatzfield Y, Cathala N, *et al.* Sulfate uptake and transport in plants. In: Brunold C, Rennenberg H, De Kok LJ, *et al.* Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants[M]. Molecular, Biochemical and Physiological Aspects. Bern:Paul Haupt, 2000:1-19
- [33] 杜振宇,史衍玺,王清华,等.土壤施硒对萝卜吸收转化硒及品质的影响[J].土壤学报,2004,36(1):56-60
- [34] 宋 琦.水稻土中微量元素的管理[J].国外农学:土壤肥料,1984(4):4-9
- [35] 赵美芝.土壤和粘土矿物对亚硒酸盐的吸附与解析[J].土壤学报,1991,28(2):139-145
- [36] 院金谒,王 朴,刘正兴,等.土壤施硒对大蒜生理特性、含硒量及产量的影响[J].新疆农业大学学报,2010,33(1):19-22
- [37] Ylärinta T. Effects of liming and the addition of sulphate and phosphate on the selenium content of Italian rye grass[J]. Annales Agriculturae Fenniae, 1990,29(2):141-149
- [38] 冯两蕊,杜慧玲,王日鑫,等.叶面喷施硒对生菜富硒量及产量与品质的影响[J].山西农业大学学报, 2007,27(3):291-294
- [39] 伊虎英,郝玉怀,鱼宏斌,等.硒肥对硒区谷子籽粒含硒量及产量的影响[J].土壤通报,1991,22(1):47
- [40] Davis AM. Selenium uptake in Astragalus and Lupinus species[J]. Agronomy Journal, 1986(78):727-729
- [41] 周淑霞,王 勇.提高红富士苹果含硒量的方法[J].落叶果树,2004(6):48-49
- [42] 李俊霜.富硒枣的栽培管理[J].河北果树,2003(3):45-46
- [43] 李登超,朱祝军,韩秋敏,等.硒对菠菜、小白菜生长及抗氧化活性的研究[J].上海交通大学学报:农业科学版,2003,21(1):5-8
- [44] 段曼莉.4 种蔬菜对不同价态外源硒吸收、转运和生物有效性差异的研究[D].陕西:西北农林科技大学,2011:50-51
- [45] 赵春梅,曹启民,唐群锋,等.植物富硒规律的研究进展[J].热带农业科学,2010,30(7):82-86