

# 硒超富集植物的研究概况

邵树勋<sup>1,3</sup>, 郑宝山<sup>2</sup>, 王明仕<sup>2</sup>, 苏宏灿<sup>4</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 4. 湖北省恩施州妇幼保健院, 湖北恩施 445000

**摘 要:** 硒超富集植物是研究植物中硒的循环代谢生物化学的最佳材料, 可用于提取有效的抗癌药物和修复生态环境硒污染。近年来, 国际上对硒超富集植物的研究越来越重视, 在硒超富集植物的调查、生物化学以及修复环境污染方面做了大量的研究工作。而迄今为止, 我国没有发现硒超富集植物的报道。本文简要介绍了国外已发现的硒超富集植物, 及其生物化学和修复硒污染环境等方面的最新研究概况。

**关 键 词:** 硒超富集植物; 生物化学; 植物修复; 黄芪

重金属超富集植物(hyperaccumulator)及植物修复技术(phytoremediation)是当前国际上研究的热点。重金属超富集植物是指能够超量吸收和积累重金属的植物, Brook 等在 1977 年首先提出 hyperaccumulator 这一概念, 用来定义含 Ni 浓度大于 1000  $\mu\text{g/g}$ (干重)的植物。最近几年, 我国在重金属超富集植物的调查和研究方面也取得了很大的突破, 据报道, 目前已发现有 Au、Ge、Mn、Zn 等 12 种超富集植物<sup>[1]</sup>, 但有关硒超富集植物的研究尚未见报道。

硒超富集植物就是能够超量吸收积累硒, Se 浓度大于 1000  $\mu\text{g/g}$ (干重)的植物。因为硒超富集植物可用于提取抗癌的硒化合物、开发富硒保健食品, 以及修复硒污染的土壤和水体, 具有重要的应用价值。国外学者在硒超富集植物的调查、生物化学以及修复生态环境污染等方面做了大量的研究工作<sup>[2~4]</sup>, 但我国在此领域的研究尚为空白。我国分布有典型的发生过人畜硒中毒湖北恩施和陕西紫阳发高硒地区, 因为硒超富集植物具有十分重要的应用价值, 所以在我国开展硒超富集植物的调查研究大有可为。

## 1 硒超富集植物的特征和调查历史

早在上世纪三四十年代, 美国学者 Beath 等<sup>[2]</sup>在美国西部的富硒地区就发现生长在富硒土壤上的

一些豆科植物黄芪(*Astragalus*)含 Se 量超过 1000  $\mu\text{g/g}$ , 后来在这一地区(包括加拿大和墨西哥)进一步调查发现了黄芪属的 13 种植物和鸡冠花属植物(*Stanleya pinnata*)皆超富集硒。Rosenfeld 和 Beath<sup>[5]</sup>根据植物蓄积硒的能力大小, 划分出原生硒蓄积植物(Primary Se accumulator)、次生硒蓄积植物(Secondary Se accumulator)和非蓄硒植物(Non-Se accumulator)三种类型。原生硒蓄积植物即现在所谓的硒超富集植物(Se hyperaccumulator), 生长在高硒土壤中, Se 含量可高达上千 ppm, 包括黄芪属(*Astragalus sp.*), 鸡冠花属(*Stanleya sp.*)、假含羞草属(*Neptunium sp.*)等; 次生硒蓄积植物即现在所谓的硒指示植物(Se indicator species), Se 含量可高达几百 ppm, 包括紫苑属(*Aster sp.*)、滨藜属(*Atriplex sp.*)等植物; 非蓄硒植物即使生长在富硒土壤中, 硒含量也不会太高, 一般不会超过 30  $\mu\text{g/g}$ , 大部分杂草和农作物属于此类。从上可看出, Beath 所指的硒蓄积植物包括了硒超富集植物和硒指示植物两种类型, 皆属于耐硒植物。Shrift<sup>[6]</sup>在委内瑞拉发现一种玉蕊科植物(*Lecythis ollaria*), 其坚果中的 Se 含量超过 18000  $\mu\text{g/g}$ 。Peterson 等<sup>[7]</sup>在澳大利亚昆士兰州发现的一种豆科植物假含羞草属植物(*Neptunia amplexicauli*)含 Se 超过了 2000  $\mu\text{g/g}$ 。20 世纪末 Catherine<sup>[8]</sup>在美国科罗拉多州 Fort Carson 地区调查发现了胶草属

收稿日期: 2006-04-20 收到

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40473048); 国家自然科学基金重点资助项目(40473088)

第一作者简介: 邵树勋(1965-), 男, 副研究员, 博士研究生, 主要从事环境地球化学研究。

Curly-cup Gumweed(*Grindelia squarrosa*)、Princes Plume(*Stanleya pinnata*)、Silver Sage(*Artemisia capa*)、以及 Milkvetch(*Astragalus sp.*)等多种 Se 含量皆超过 1000  $\mu\text{g/g}$  的硒超富集植物。

Maryland 等<sup>[9]</sup>对富硒植物的人工栽培试验研究表明,原生硒蓄积植物(硒超富集植物)在溶液栽培的条件下,其  $[\text{Se/S}]_{\text{plant}}/[\text{Se/S}]_{\text{solution}}$  (鉴别系数  $DC_i$ ) 大于 1,植物中含 Se 可达上千 ppm;次生硒蓄积植物(硒指示植物)能吸收土壤中的大部分可利用硒,  $DC_i$  小于 1,植物组织中含硒可达上百 ppm;非蓄积硒植物:一般含硒少于 25 mg/g,即使生长在富硒土壤,植物硒叶不高于 100 mg/kg。

## 2 已发现的硒超富集植物

迄今为止,以 1000  $\mu\text{g/g}$  为硒超量积累植物的

临界标准,笔者搜索到的国内外文献报道的硒超富集植物(表 1),其中包括豆科黄芪属(*Astragalus sp.*)、十字花科鸡冠花属(*Stanleya sp.*)、假含羞草属(*Neptunia sp.*)、胶草属(*Grindelia squarrosa*)、蒿属银鼠尾草(*Artemisia capa*)、紫草属(*Lithospermum incisum*)等属中的植物。其中黄芪属中的硒超富集植物最多,达二十多种<sup>[10~12]</sup>。还有一些可吸收累积硒含量可达几百 ppm 的硒富集植物,它们在开发富硒保健食品和植物修复污染方面也有广泛的应用,这些植物主要包括紫苑属(*Aster sp.*)、滨藜属(*Atriplex sp.*)、草木犀属(*Melilotus sp.*)和云苔属(*Brassica sp.*)等;上述硒超富集植物主要分布在北美、澳大利亚及委内瑞拉。与镍的超富集植物一样,硒超富集植物分布在不同的科、属中,推测不同的硒超富集植物可能独立进化而来。

表 1 硒的超富集植物及植物中的硒含量

硒超富集植物	产地	Se/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	资料来源
二沟黄芪( <i>Astragalus bisulcatus</i> )		最大可达 4750	Catherine <sup>[8]</sup>
<i>A. racemosus</i>			
窄叶黄芪( <i>A. pectinatus</i> )			
<i>A. grayi</i>	美国	>2000	Beath 等 <sup>[10~12]</sup>
<i>A. osterhoutii</i>			
派特逊氏黄芪( <i>A. pattersonii</i> ),			
<i>Haplopappus condensata</i> , <i>H. fremontii</i> ,	美国	>2000	Beath 等 <sup>[10~12]</sup>
<i>Machaeranthera parryi</i> , <i>M. venusta</i>	美国	>2000	Beath 等 <sup>[10~12]</sup>
假含羞草 <i>Neptunia amplexicaulis</i>	澳大利亚	>2000	Peterson <sup>[7]</sup>
鸡冠花 <i>Stanleya pinnata</i>	美国	3100 (Heads/seeds) 980 (leaves)	Catherine <sup>[8]</sup>
卷苞胶草 <i>Grindelia squarrosa</i>	美国科罗拉多	1500	Catherine <sup>[8]</sup>
<i>Leptunia amplexicauli</i>	委内瑞拉	18000	Shrift <sup>[6]</sup>
<i>Artemisia capa</i>	美国科罗拉多	1560(leaves)	Catherine <sup>[8]</sup>
<i>Lithospermum incisum</i>	美国科罗拉多	1980	Catherine <sup>[8]</sup>
		800(female head)	
灰毛滨藜 <i>Atriplex canescens</i>	美国科罗拉多	730(female leaves) (550)Male head	Catherine <sup>[8]</sup>
<i>Haplopappus multiaulis</i>	美国科罗拉多	796	Catherine <sup>[8]</sup>

## 3 硒超富集植物的生物化学

有关超富集硒植物在生物化学方面的研究是近年来国际上研究的热点,国外学者做了大量工作。研究<sup>[13]</sup>表明,硒蓄积植物中的硒主要以可溶性氨基酸形式储存在植物组织中,而非硒蓄积植物有机硒多以蛋白质化合物形态存在,硒甲基化是导致硒蓄积植物超富集硒的原因之一,所以硒超富集植物中硒的储存方式不同于一般植物。张意强等<sup>[14]</sup>利用离子交换色谱-氢化法原子吸收光谱分离分析了硒超富集植物鸡冠花(*Stanleya pinnata*)水抽提物中硒的形态,表明该植物抽提物中的可溶性硒化合物,其

中硒氨基酸占 78%~85.5%; Se(VI) 占 7.5%~19.6%;非氨基酸硒含量少于 7%。最新研究发现,黄芪属(*Astragalus*)、芸苔属(*Brassica*)和草木犀属(*Melilotus*)等硒蓄积植物中富含特别有效的抗癌硒化合物甲硒基半胱氨酸(MSeC),其中美国西南部发现的一种黄芪黄芪(*Astragalus bisulcatus*)叶子中 MSeC 可高达 0.6%(干重)<sup>[3]</sup>。黄芪等硒超富集植物中存在一种耐硒的转甲基酶(SMT),硒蓄积植物超常吸收富集硒的能力与 SMT 有关<sup>[16]</sup>。Brown 和 Ahri<sup>[15]</sup>专门对硒蓄积植物吸收硒的特征进行了研究。硒蓄积植物黄芪吸收硒的实验研究表明,植物吸收转运硒的方式与硫非常相似。

## 4 硒污染环境的植物修复

硒污染土壤和水的植物修复,一是在硒污染的土壤或水体中种植生物量大和能超量吸收蓄积硒的硒超富集植物,通过定期收割硒超富集植物从而清除污染土壤和水体中的硒;其二是利用种植易挥发硒的特殊植物吸收释放土壤和水体中的硒。硒超富集植物是修复硒污染土壤和水体的最有效的材料。Bunuelos 等(1990)所做的盆栽实验研究发现,当土壤中加入  $3.5 \mu\text{g/g}$  Se 时,芥菜(*B. Juncea*)的含硒量最高,它可使土壤中的含硒量减少 76%,显著高于其它植物。Wu 等(1993)成功地利用草木樨属植物(*Melilotus indica*)和芥菜(*Brassica juncea*)等硒蓄积植物修复了加利福尼亚州遭受硒严重污染的 Kesterson 自然保护区湿地。Grieve(2001)开展了利用硒蓄积植物和高挥发硒性植物滨藜属(*Atriplex*)、苜蓿(*Melilotus indica* 草木樨属)和芸苔属植物芥菜(*Brassica Juncea*)、盐草属植物(*Distichis spicata* L.)清除湿地硒污染的植物修复技术研究,取得了很好的治污效果。研究发现,硒蓄积植物(滨藜属 *Atriplex hortensis*)因为其超强的耐盐性和富集硒能力,是一种清除盐土硒污染的有效植物。

### 参考文献:

- [1] 涂书新, 韦朝阳. 我国生物修复技术的现状和展望[J]. 地理科学进展, 2004, 23(6):20-3.
- [2] Beath O A. The occurrence of selenium and seleniferous vegetation in Wyoming. II Seleniferous vegetation[J]. Wyoming Agric. Expt. Sta. Bull., 1937, 21:29-64.
- [3] Danielle R E, David E S. Plants, selenium and human health [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2003, 6: 273-279.
- [4] Wu Li. Review of 15 years of research on ecotoxicology and remediation of land contaminated by agricultural drainage sediment rich in selenium[J]. J. Ecotoxicol. Environ. Saf., 2003, 43: 1-13.
- [5] Rosenfeld I, Beath O A. Selenium Selenium: Geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition[M]. New York: Academic Press, 1964.
- [6] Shrift A. Metabolism of selenium by plants and microorganism [A]. Klayman D L, Gunrer W H, eds. Organic selenium compounds, their chemistry and biology[M]. New York: John Wiley and Sons, 1973.
- [7] Peterson P J, Butler C W. Significance of selenocystathionine in an Australian selenium-accumulating plant *Neptunia amplexicaulis*[J]. Nature, 1967, 213: 599-600.
- [8] Catherine P S. Evaluation of selenium terrestrial and wetland soil, plant and waters at Fort Carson, Colorado. [http://www-lib.global.umi.com/dissertations](http://www.lib.global.umi.com/dissertations), 2001.
- [9] Maryland H F, James L F, Planter K E, Songeregger J L. Selenium in seleniferous environments[A]. Jacobs L W, Madison W I, eds. Selenium in agriculture and environment[M]. Soil Science Society of America, 1989. 15-50.
- [10] Beath O A, Gillbert C S, Eppson H F. The use of indicator plants on locating seleniferous areas in western United States [J]. General American Journal of Botany, 1939, 26: 257-269.
- [11] Beath O A, Gillbert C S, Eppson H F. The use of indicator plants on locating seleniferous areas in western United States II, Correlation studies by states[J]. American Journal of Botany, 1939, 26: 296-315.
- [12] Beath O A, Gillbert C S, Eppson H F. The use of indicator plants on locating seleniferous areas in western United States III, Further studies[J]. American Journal of Botany, 1940, 27: 564-573.
- [13] Sathe S K, et al. Chemical form of selenium in soybean lection [J]. J. Agric. Food Chem., 1992, 40: 2084-2091.
- [14] Zhang Y Q, Frankenberger W T Jr. Speciation of selenium in plant water extracts by ion exchange chromatography-hydride generation atomic absorption spectrometry[J]. Sci. Total Environ., 2001, 269: 39-47.
- [15] Molyneux R J, James L F, Panter K E. Chemistry of toxic constituents of locoweed (*Astragalus* and *Oxytropis*) species [A]. Seawright A A, Hegarty M P, James L F, Keeler R F, eds. Plant toxicology [M]. Yerrongpilly Queensland: Queensland Poisonous Plant Committee, 1984. 266-278.
- [16] Brown A S, Ahrift A. Selenium and tolerance in higher plants [J]. Biol. Rev., 1982, 57: 59-84.