

# 水培条件下十种植物对<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs的吸收和富集

张晓雪<sup>1</sup>, 王丹<sup>2</sup>, 张志伟<sup>2</sup>, 徐长合<sup>1</sup>, 钟钊芝<sup>1</sup>

(1. 西南科技大学 生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621000; 2. 核废物与环境安全国防重点学科实验室, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 对营养液栽培 1 个月后的 10 种植物用<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs进行处理, 1 周后收获并分析其对<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs的富集能力。结果表明:<sup>88</sup>Sr在 10 种植物的地上部含量顺序为苕子>孔雀草>蚕豆>豌豆>金盏菊>瓜叶菊>油菜>地被菊>大豆>石竹, 孔雀草和蚕豆的地上部<sup>88</sup>Sr含量大于根系, 其余植物富集的核素<sup>88</sup>Sr大部分都积累在根部。<sup>133</sup>Cs在 10 种植物的地上部含量顺序为孔雀草>金盏菊>瓜叶菊>地被菊>石竹>油菜>豌豆>苕子>蚕豆>大豆, 石竹和地被菊地上部<sup>133</sup>Cs的富集系数大于 1。说明它们能把吸收的<sup>88</sup>Sr或<sup>133</sup>Cs较多地运输到地上部, 其体内可能存在良好的运输机制, 有待进一步研究。

**关键词:** 绿肥; 花卉; <sup>88</sup>Sr; <sup>133</sup>Cs; 富集

中图分类号: Q 948.116 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2009)10-0065-03

由于核工业的发展和核技术的广泛应用, 以及其它工业、农业、能源、军事、交通、医疗卫生等领域内的活动, 放射性核素污染已成为当今难以治理的重要环境问题之一。放射性核素衰变产生的射线是污染的根源。随着短寿命核素的“死亡”, 形成长期污染的主要是一些长寿命裂变产物和核材料, 如<sup>3</sup>H、<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr、<sup>239</sup>Pu及U等<sup>[1]</sup>。20世纪80年代以来, 植物修复技术成为科学家研究的热点, 植物修复技术与传统的化学修复、物理和工程修复等技术相比, 具有投资和维护成本低、操作简便、不造成二次污染、利用太阳能、安全、生态协调及美化环境等优点, 被称之为绿色修复, 越来越受青睐<sup>[1-3]</sup>。绿肥作物可以丰富土壤中的营养物质, 直接增加土壤养分, 还可提高磷酸盐和某些微量元素的有效性, 改良土壤物理性状, 提高土壤保水保肥性能。花卉资源相当丰富、潜力巨大, 进行土壤修复的同时, 也能够美化环境, 花卉属观赏性植物, 不会进入食物链, 可减少对人体的危害, 该试验所选的绿肥和花卉植物均是西南地区生长广泛, 生物量大, 以种子进行繁殖, 具有一定抗性的植物种类。现选用 5 种豆科绿肥和 5 种菊科花卉植物研究其吸收和富集<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs 2种核素的能力, 筛选对<sup>88</sup>Sr

和<sup>133</sup>Cs富集能力强的植物, 为研究富集<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs积累及超积累植物提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试植物为 4 科 10 种绿肥和花卉(表 1), 蚕豆、豌豆、苕子、大豆、油菜种子购于绵阳云川种子公司, 石竹、地被菊、孔雀草、瓜叶菊、金盏菊种子购于四川德阳东方花卉有限公司。

表 1 选择植物的学名和科属

名称 Species	学名 Formal name	科属 Family
蚕豆 Broadbean	<i>Vicia faba</i> Linn	豆科巢菜属 Leguminosae
苕子 Hairy vetch	<i>Vicia dasyarpa</i> Teno re	豆科巢菜属 Leguminosae
大豆 Soybean	<i>Glycine max</i> (L.) Merr	豆科大豆属 Leguminosae
豌豆 Pea	<i>Pisum sativum</i> Linn	豆科豌豆属 Leguminosae
油菜 Rape	<i>Brassica campestris</i> L	十字花科芸苔属 Brassicaceae
石竹 Camation	<i>Dianthus chinensis</i> L	石竹科石竹属 Caryophyllaceae
地被菊 Blackeyed Susan	<i>Tagetes patula</i>	菊科菊属 Asteraceae
瓜叶菊 Sanccio hybridus	<i>Cineraria cruenta</i>	菊科瓜叶菊属 Asteraceae
金盏菊 Calendula	<i>Calendula of ficialis</i>	菊科金盏菊属 Asteraceae
孔雀草 Maidenhair	<i>Tagetes patula</i>	菊科万寿菊属 Asteraceae

### 1.2 材料培养与污染处理方法

试验种子用 0.5% NaClO 消毒 20 min 后, 于光照培养箱内(白天/黑夜: 16h/8h, 28℃/25℃)萌发。待幼苗长至 2~3 片叶子移栽至装有营养液的塑料盆钵中, 盆面覆盖钻有孔的泡沫板, 每孔 1 株, 每盆 10 株, 每 3 d 换 1 次营养液, 培养 1 个月。1 个月后将营养液更换为<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs处理液进行吸收试验。<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs处理液以Hoagland营养液为基础, 调整<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs的浓度均为 1 mmol/L, 3 次重复, 处理 7 d 后收获植株并分析。

第一作者简介: 张晓雪(1984), 女, 在读硕士, 研究方向为低放核素的植物修复研究。E-mail: zxx\_1025@126.com。

通讯作者: 王丹(1962), 女, 重庆涪陵人, 教授, 研究方向为园艺植物遗传育种, 现为西南科技大学生命科学院院长。E-mail: wangdan@swust.edu.cn。

基金项目: 西南科技大学重点资助项目(07XJGZB05); 西南科技大学青年基金资助项目(08zx315208zx3152)。

收稿日期: 2006-06-10

### 1.3 分析方法

取出的植物用去离子水洗净后,将根和地上部分分开,在75℃下于烘箱中烘至恒重。烘干后的植物,分别称重,研磨,采用HNO<sub>3</sub>和HClO<sub>4</sub>法消化、火焰原子吸收光谱法对溶液及植物根、地上部中<sup>88</sup>Sr和<sup>133</sup>Cs含量分别进行测定,各样品3次重复。所采用的仪器为美国PE公司AA700火焰原子吸收光谱仪。

Sr的分析条件:波长460.7 nm;灯电流13 mA;光谱通带0.2 nm;助燃气为空气,16 L/min;燃气为乙炔,7.8 L/min;测量方式为AAS;背景扣除方式为赛曼方式。Cs的分析条件:波长852.1 nm;灯电流10 mA;光谱通带0.2 nm;助燃气为空气,17 L/min;燃气为乙炔,2 L/min;测量方式为AAS;背景扣除方式为赛曼方式。

## 2 结果与分析

### 2.1 <sup>88</sup>Sr在10种植物体内的含量和分布

不同植物对稳定核素<sup>133</sup>Cs和<sup>88</sup>Sr的富集能力是不同的。从表2中可以看出,<sup>88</sup>Sr在10种植物的地上部含量顺序为苕子>孔雀草>蚕豆>豌豆>金盏菊>瓜叶菊>油菜>地被菊>大豆>石竹,苕子地上部<sup>88</sup>Sr的含量为1.48 mg/g,是10种植物中含<sup>88</sup>Sr量最高的。

表2 不同植物体内<sup>88</sup>Sr的含量与分布

Table 2 The content and distribution of <sup>88</sup>Sr in the different plants

植物种类 Species	器官 Organ	<sup>88</sup> Sr 含量 Content of <sup>88</sup> Sr / mg · g <sup>-1</sup>
苕子 Hairy vetch	地上部(S)Leaf and shoot(S)	1.48
	根(R)root(R)	1.65
	S/R	0.90
孔雀草 Maidenhair	地上部(S)Leaf and shoot(S)	1.31
	根(R)root(R)	0.65
	S/R	2.03
蚕豆 Horsebean	地上部(S)Leaf and shoot(S)	1.10
	根(R)root(R)	0.90
	S/R	1.22
豌豆 Pea	地上部(S)Leaf and shoot(S)	0.64
	根(R)root(R)	0.89
	S/R	0.72
金盏菊 Calendula	地上部(S)Leaf and shoot(S)	0.57
	根(R)root(R)	2.61
	S/R	0.22
瓜叶菊 Senecio hybridus	地上部(S)Leaf and shoot(S)	0.54
	根(R)root(R)	1.25
	S/R	0.43
油菜 Rape	地上部(S)Leaf and shoot(S)	0.39
	根(R)root(R)	0.87
	S/R	0.45
地被菊 Blackeyed Susan	地上部(S)Leaf and shoot(S)	0.39
	根(R)root(R)	0.76
	S/R	0.50
大豆 Soybean	地上部(S)Leaf and shoot(S)	0.32
	根(R)root(R)	0.74
	S/R	0.44
石竹 Camation	地上部(S)Leaf and shoot(S)	0.25
	根(R)root(R)	1.04
	S/R	0.24

各植物的地上部和根系对<sup>88</sup>Sr元素的富集能力和分布情况也不相同。地上部/根系能反映出<sup>88</sup>Sr在各植物体内的运输和分配情况<sup>[4-6]</sup>。由表2可知,<sup>88</sup>Sr处理的地上部与根系的比值:孔雀草>蚕豆>苕子>豌豆>地被菊>油菜>大豆>瓜叶菊>石竹>金盏菊,其中孔雀草与蚕豆地上部与根系的比值均大于1,分别为2.03和1.22。说明它们能把吸收的<sup>88</sup>Sr较多地运输到地上部,其体内可能存在良好的运输机制,有待进一步研究。

### 2.2 <sup>133</sup>Cs在10种植物体内的含量和分布

不同植物对稳定核素<sup>133</sup>Cs的富集能力是不同的。从表3结果可以看出,<sup>133</sup>Cs在10种植物的地上部含量:孔雀草>金盏菊>瓜叶菊>地被菊>石竹>油菜>豌豆>苕子>蚕豆>大豆,孔雀草地上部<sup>133</sup>Cs的含量为2.40 mg/g,是10种植物中含量最高的。

由表3可以看出,<sup>133</sup>Cs处理的地上部与根系的比值顺序为石竹>地被菊>油菜>孔雀草>豌豆>苕子>蚕豆>瓜叶菊>大豆>金盏菊。其中石竹和地被菊地上部与根系的比值都大于1,分别为1.54和1.03,是具有超富集趋势的植物。

表3 不同植物体内<sup>133</sup>Cs的含量与分布

Table 3 The content and distribution of <sup>133</sup>Cs in the different plants

植物种类 Species	器官 Organ	<sup>133</sup> Cs 含量 Content of <sup>133</sup> Cs / mg · g <sup>-1</sup>
孔雀草 Maidenhair	地上部(S)Leaf and shoot (S)	2.40
	根(R)root (R)	2.97
	S/R	0.81
金盏菊 Calendula	地上部(S)Leaf and shoot (S)	2.07
	根(R)root (R)	10.42
	S/R	0.20
瓜叶菊 Senecio hybridus	地上部(S)Leaf and shoot (S)	1.88
	根(R)root (R)	3.12
	S/R	0.60
地被菊 Blackeyed Susan	地上部(S)Leaf and shoot (S)	1.70
	根(R)root (R)	1.30
	S/R	1.30
石竹 Camation	地上部(S)Leaf and shoot (S)	0.85
	根(R)root (R)	0.56
	S/R	1.54
油菜 Rape	地上部(S)Leaf and shoot (S)	0.70
	根(R)root (R)	0.77
	S/R	0.90
豌豆 Pea	地上部(S)Leaf and shoot (S)	0.63
	根(R)root (R)	0.88
	S/R	0.71
苕子 Hairy vetch	地上部(S)Leaf and shoot (S)	0.59
	根(R)root (R)	0.96
	S/R	0.62
蚕豆 Broadbean	地上部(S)Leaf and shoot (S)	0.56
	根(R)root (R)	0.93
	S/R	0.61
大豆 Soybean	地上部(S)Leaf and shoot (S)	0.44
	根(R)root (R)	1.18
	S/R	0.38

### 3 结论与讨论

我国的植物修复技术研究在重金属方面已小有成就, 砷、铜和锌污染土壤的植物修复示范工程正在建立<sup>[7]</sup>。但我国对低放核素植物修复的研究起步较晚, 筛选工作做得不多, 大量的超积累植物还有待发现。放射性核素与重金属有相通之处, 放射性污染植物修复研究可以借鉴已经取得的成果。<sup>137</sup>Cs 和 <sup>90</sup>Sr 是较为广泛的放射性核素污染物。Cs 属于碱金属, <sup>133</sup>Cs 是放射性核素 <sup>137</sup>Cs 的稳定性同位素, 它与 <sup>137</sup>Cs 具有相似的化学性质。植物对 <sup>133</sup>Cs 的吸附情况也有相关报道<sup>[8]</sup>。Sr 属于碱土金属, <sup>88</sup>Sr 是放射性核素 <sup>90</sup>Sr 的稳定性同位素, 它与 <sup>90</sup>Sr 具有相似的化学性质。通过研究 <sup>133</sup>Cs 和 <sup>88</sup>Sr 对植物的影响为进一步研究 <sup>137</sup>Cs 和 <sup>90</sup>Sr 对植物的影响提供理论基础<sup>[9]</sup>。核素 <sup>133</sup>Cs 和 <sup>88</sup>Sr 在植物体内的富集有 2 种情况, 一是大部分积累在根部; 另一种是把根系吸收的核素转移到地上部。在该试验中, <sup>88</sup>Sr 处理试验中苜蓿是吸收 <sup>88</sup>Sr 能力最强的植物, 地上部 <sup>88</sup>Sr 的含量为 1.48 mg/g。孔雀草和蚕豆的地上部中含核素 <sup>88</sup>Sr 量大于根系, 其余植物富集的核素 <sup>88</sup>Sr 大部分都积累在根部。说明孔雀草和蚕豆有把根系吸收的核素转移到地上部的能力, 其余植物富集核素仍积累在根部。<sup>133</sup>Cs 处理的植物中, 孔雀草地上部 <sup>133</sup>Cs 的含量为 2.40 mg/g 是 10 种植物中含量最高的。其中石竹和地被菊地上部与根系的比值都大于 1, 说明二者把根系核素转移到地上部的能力较强, 是具有超富集趋势的植物。通过表 1、2 可

以看出, 菊科植物对核素 <sup>133</sup>Cs 和 <sup>88</sup>Sr 具有较强的富集能力, 这与 Broadley<sup>[10]</sup> 说法一致。大部分的菊科植物的富集能力强于豆科植物。

#### 参考文献

- [1] 李桂中, 李健宗, 李锦文. 电力建设与环境保护[J]. 天津大学学报, 1996, 12(1): 50-58.
- [2] Vaňek T, Schwitzgu'ebe J P. Phytoremediation inventory[J]. Czech Republic, 2003, 80(86): 241-249.
- [3] Nriago J O, Pacyna J M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals[J]. Nature, 1988, 26(2): 333.
- [4] Helianthus annuus L. Accumulation of radioiodine from aqueous solution by hydroponically cultivated sunflower[J]. Nature, 2003, 78(8): 134-139.
- [5] Reeves R D. The hyperaccumulation of nickel by serpentine plants. In: Gunn J M, Liange O L, Osmond B, et al. Baker vegetation of ultramafic (serpentine) soil[J]. Andover, Hampshire, UK: Intercept Ltd, 1992, 34(7): 253-277.
- [6] Momi S, Salemaa M, White C, et al. Copper resistance of Calluna vulgaris originating from the pollution gradient of a Cu-Ni smelter in southwest Finland[J]. Environmental Pollution, 2000, 109(1): 211-219.
- [7] 铁铮. 我国植被修复研究获重大进展[N]. 科技日报, 2006-01-26.
- [8] Tsukada H, Hasegawa H, Hisamatsu S, et al. Transfer of <sup>137</sup>Cs and stable Cs from paddy soil to polished rice in Aomori, Japan[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2002, 66(59): 351-363.
- [9] Soudek P, Valenova S, Vavrkova Z, et al. <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2006, 88: 236-250.
- [10] Broadley M R, Willey N J. Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa[J]. Environ Pollut, 1997, 32(3): 11-15.

## Uptake and Accumulation of <sup>88</sup>Sr And <sup>133</sup>Cs in Ten Plants of Green Manure and Flower

ZHANG Xiao-xue<sup>1</sup>, WANG Dan<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-wei<sup>2</sup>, XU Chang-he<sup>1</sup>, ZHONG Mu-zhi<sup>1</sup>

(1. Life Science and Engineering College, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000, China; 2. Defense Nuclear Waste and Environmental Safety of Key Laboratory, Mianyang, Sichuan 621000, China)

**Abstract:** To detect the plants which can accumulate <sup>88</sup>Sr and <sup>133</sup>Cs, the uptake and accumulation of 5 green manures and 5 flowers were investigated under hydroponic conditions. The results were as follows: the concentrations of the leaf and stem of <sup>88</sup>Sr in ten plants: *Vicia dasyaripa* Tenore > *Tagetes patula* > *Vicia faba* Linn > *Pisum sativum* Linn > *Calendula officinalis* > *Cineraria cruenta* > *Brassica campestris* L > *Tagetes patula* > *Glycine max* (L.) Merr > *Dianthus chinensis* L the concentrations of aboveground parts of Maidenhair and Horsebean were greater than that in the roots, the concentrations of <sup>88</sup>Sr of other plants were accumulated in the roots. The concentrations of the leaf and stem of <sup>88</sup>Sr in ten plants: *Tagetes patula* > *Calendula officinalis* > *Cineraria cruenta* > *Tagetes patula* > *Dianthus chinensis* L > *Brassica campestris* L > *Pisum sativum* Linn > *Vicia dasyaripa* Tenore > *Vicia faba* Linn > *Glycine max* (L.) Merr. The bioaccumulation coefficients of <sup>133</sup>Cs in aboveground parts of Pink and Blackeyed Susan were not less than uptake of <sup>88</sup>Sr and <sup>133</sup>Cs was transported above ground parts, the substances in of plants maybe exist the good transporting mechanisms, we need investigate furtherly.

**Key words:** Green manure; Flower; <sup>88</sup>Sr; <sup>133</sup>Cs; Accumulation