

客土覆盖对降低放射性锶在作物中积累的效应

史建君¹, 孙志明¹, 陈晖², 王寿祥¹, 陈传群¹ (1. 浙江大学原子核农业科学研究所, 农业部核农学重点开放实验室, 杭州 310029, E-mail: jjsjshi@zju.edu.cn; 2. 浙江工程学院信息电子学院, 杭州 310033)

摘要: 采用模拟污染物的同位素示踪技术研究了客土覆盖对降低大豆和白菜(尤其是作物的可食用部分)中⁸⁹Sr积累的效应。结果表明客土覆盖能有效降低大豆和后茬白菜对⁸⁹Sr的吸收和积累, 当客土覆盖深度为 9cm 时, 豆籽、豆壳、豆秸和豆根中⁸⁹Sr比活度分别下降了 82.8%、56.4%、38.7%和 66.5%, 后茬白菜下降了 68.8%; 作物中吸收积累的⁸⁹Sr比活度随客土覆盖深度的增加而下降, 实验数据线性回归分析表明两者间呈显著线性负相关。

关键词: 放射性锶; 客土覆盖; 作物; 吸收和积累; 降低率

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)04-03-01 26

Effect of Covering with New Soil on Reducing the Accumulation of Radiostrontium in Plant

Shi Jianjun¹, Sun Zhiming¹, Chen Hui², Wang Shouxiang¹, Chen Chuanqun¹ (1. Key Lab. of Nuclear Agricultural Science, the Ministry of Agricultural, Institute of Nuclear Agricultural Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, E-mail: jjsjshi@zju.edu.cn; 2. College of Informatics and Electronics, Zhejiang Institute of Science and Technology, Hangzhou 310033)

Abstract: Effects of covering with new soil on reducing the accumulation of ⁸⁹Sr by soybean and Chinese cabbage (especially in the edible part of crop) were studied on simulated pollutants by using the isotope-tracer techniques. The results showed that the absorption and accumulation of ⁸⁹Sr in the soybean and Chinese cabbage could be decreased significantly by covering soil polluted ⁸⁹Sr with new soil. The specific activity of ⁸⁹Sr in bean seed, bean hull, bean straw, bean root and Chinese cabbage were reduced by 82.8%, 56.4%, 38.7%, 66.5% and 68.8% respectively when the depth of covering with new soil reached 9cm. The specific activity of absorption and accumulation ⁸⁹Sr in the crop decreased with depth of the new soil profile. The specific activity of ⁸⁹Sr in the crop follows a negative linear relation with depth of the new soil profile by analyzing the experiment data with linear regression method.

Keywords: radiostrontium; covering with new soil; crop; absorption and accumulation; reduce ratio

核事故情况下释放的核裂变产物中,⁸⁹Sr(⁹⁰Sr)是对环境可能产生危害的关键核素,在骨组织内可达到相当高的浓度^[1]。沉降在土壤中的放射性锶可以通过植物根系的吸收进入到植物体内,并通过食物链最终进入人体造成潜在的内照射危害。虽然有关⁸⁹Sr(⁹⁰Sr)在土壤、动植物中的行为研究已有不少报道^[2~5],但是有关降低作物对放射性锶的吸收和积累,主要研究在土壤中添加同位素载体或化学性质相似的同族元素对降低作物吸收放射性锶的有效性^[6~10],而深耕(在放射性锶的研究方面已有报道^[11])和覆盖新土等农业措施对降低放射性锶在作物中的积累尚未见报道。本试验采用模拟方法在受放射性锶污染的土壤上覆盖客土,

探索在我国的土壤、气候条件下降低大豆和后茬青菜对放射性锶吸收和积累的效应,为受核污染(潜在的核事故)的农田治理提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

所用同位素的化学形态为⁸⁵⁺⁸⁹SrSO₄,为固体粉末,由中国原子能研究院提供,放化纯度大于 95%,使用前用浓度为 5 mol·L⁻¹的 HCl 转化成合适比活度的⁸⁹⁺⁸⁵SrCl₂水溶液。供试土壤

基金项目:浙江省“九五”重点科技项目(961103084)

作者简介:史建君(1961~),男,副研究员,硕士生导师,主要从事环境科学与放射生态学研究。

收稿日期:2001-05-08

小粉土,采自浙江大学农业与生物技术学院实验农场,使用前经粉碎,去除石块、植物根系等杂物。土壤的主要理化性质为: pH(水浸,水土比 = 5/1) 6.0, pH(盐浸) 5.5, 有机质 $19.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 交换性总酸 $0.05 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 交换性钙 $11.8 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 交换性镁 $1.5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 粘粒 12.5%。大豆种子(品种为 S881-9-2),由浙江大学农业与生物技术学院农学系提供。

1.2 实验方法

在 $\phi 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 的盆钵中装 4.0 kg 均匀拌有 $7.4 \times 10^6 \text{ Bq}$ (1999-07-20,下同)的 $^{85+89}\text{Sr}$ 的小粉土(以下简称本土),然后以不同量的客土覆盖其表面,覆盖量分别为 0(CK)、0.5、1.0、2.0 和 5.0 kg ;即设 5 种处理,每种处理 3 个重复。测得相应的覆盖土层深度为 0、1、2、4 和 9 cm 。土壤(包括客土)均按 $0.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的用量均匀拌入 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 KH_2PO_4 作基肥,每盆种大豆种子 4 粒,出苗后保留 2 株。

1.3 采样和制样

于大豆成熟后一次性收获,取样。采样方法为:先取大豆地上部,随即每盆种白菜 2 株,然

后谨慎取出豆根(避免底土上翻),用清水洗净。大豆地上部分豆籽、豆壳和豆秸,经称量,烘干后置于 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 的马福炉中灰化 8 h 。白菜于栽种后 6 周收获,分地上部和根 2 部分,并按与大豆相同的方法制样。

1.4 测量

由于在 $^{85+89}\text{SrSO}_3$ 制剂中, ^{85}Sr 作电子俘获衰变,半衰期为 65 d ,其次级效应为几组不同能量的特征 X 射线, ^{89}Sr 作 β 衰变,半衰期为 51 d ,主要放出最大能量为 1.463 MeV ($> 99\%$) 的 β 射线^[12]。因此,GM 计数器测得的活度值可以认为全由 ^{89}Sr β 粒子所贡献,故下面将不考虑 ^{85}Sr 。取 0.2 g 植物灰样置于测量皿中用 GM 计数器测其活度,每种样品 3 个重复。测量的相对标准误差控制在 5% 以内,测量结果经探测效率、本底和衰变校正后换算成 ^{89}Sr 的比活度。

2 结果与分析

2.1 客土覆盖对降低大豆吸收放射性锶的效应

客土覆盖量(或覆盖深度)对降低 ^{89}Sr 在大豆中积累的效应列于表 1。可见,在被放射性锶污染的土壤表面覆盖一定量的客土能有效降低

表 1 大豆各部位中 ^{89}Sr 的比活度及积累 ^{89}Sr 的降低率

Table 1 The specific activity of ^{89}Sr in each part of the soybean and reduce ratio of accumulation ^{89}Sr

| 客土覆盖深度 /cm | 豆籽 | | 豆壳 | | 豆秸 | | 豆根 | |
|---------------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|
| | 比活度 / $\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ | 降低率 /% |
| 0(CK) | 97.8 | 0 | 303.9 | 0 | 479.0 | 0 | 222.7 | 0 |
| 1 | 84.2 | 13.9 | 262.0 | 13.7 | 465.8 | 2.8 | 195.5 | 12.2 |
| 2 | 45.8 | 53.5 | 243.0 | 20.0 | 459.5 | 4.8 | 157.2 | 29.4 |
| 4 | 20.9 | 76.9 | 201.0 | 33.9 | 325.1 | 32.1 | 113.0 | 49.2 |
| 9 | 16.8 | 82.8 | 132.4 | 56.4 | 293.4 | 38.7 | 74.6 | 66.5 |

大豆对放射性锶的吸收和积累,覆盖 1 cm 厚度的客土就可使豆籽、豆壳、豆秸和豆根中 ^{89}Sr 比活度分别下降 13.9%、13.7%、2.8% 和 12.2%,当客土覆盖层厚度达到 9 cm 时,降低率则高达 82.8%、56.4%、38.7% 和 66.5%,效果十分明显。大豆各部位中的 ^{89}Sr 比活度均随客土覆盖深度的增加而降低,其原因主要是在大豆出苗和生长期间,豆根尚未伸展(或只有部分伸展)至含 ^{89}Sr 的本土之中,客土覆盖层深度越大,进入本土的根系就越少,吸收的 ^{89}Sr 也就越少。

回归分析表明,大豆各部位中 ^{89}Sr 比活度 C ($\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$) 与客土覆盖深度 x (cm) 间呈线性负相关,豆籽 $C_1 = 80.8 - 8.64x$, $r = -0.8403$;豆壳 $C_2 = 285.9 - 17.95x$, $r = -0.9809$;豆秸 $C_3 = 476.8 - 22.58x$, $r = -0.9144$;豆根 $C_4 = 203.5 - 15.91x$, $r = -0.9441$ 。

豆秸中 ^{89}Sr 比活度高于其他各部位,食用部位(豆籽)最低,比活度的大小顺序为豆秸 $>$ 豆壳 $>$ 豆根 $>$ 豆籽。若考虑各部位的质量,则表明放射性锶主要积累在大豆的地上部。

覆盖客土对降低大豆各部位中 ^{89}Sr 积累的效果,以豆籽中最为有效,积累降低率的大小排序为豆籽 > 豆根 > 豆壳 > 豆秸。

2.2 客土覆盖对降低后茬白菜吸收放射性锶的效应

客土覆盖对降低 ^{89}Sr 在后茬白菜各部位中积累的效应如表 2 所示。整株白菜中 ^{89}Sr 的比活

表 2 后茬白菜中 ^{89}Sr 的比活度及积累 ^{89}Sr 的降低率

Table 2 The specific activity of ^{89}Sr in Chinese cabbage and reduce ratio of accumulation ^{89}Sr

| 客土覆盖深度 /cm | 地上部 | | 根 | | 整株 | |
|---------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|
| | 比活度 /Bq·g ⁻¹ | 降低率 / % | 比活度 /Bq·g ⁻¹ | 降低率 / % | 比活度 /Bq·g ⁻¹ | 降低率 / % |
| 0(CK) | 36.4 | 0 | 34.9 | 0 | 35.9 | 0 |
| 1 | 34.0 | 6.6 | 27.1 | 22.3 | 33.5 | 6.7 |
| 2 | 23.8 | 34.6 | 21.5 | 38.4 | 23.6 | 34.3 |
| 4 | 18.5 | 49.2 | 13.6 | 61.0 | 18.1 | 49.6 |
| 9 | 11.3 | 69.0 | 10.6 | 69.6 | 11.2 | 68.8 |

度由质量加权计算获得^[13]。表 2 数据表明,在受 ^{89}Sr 污染的土壤表面覆盖客土不仅能降低其在本茬作物(大豆,表 1)中的积累,而且还能够降低后茬白菜对 ^{89}Sr 的吸收。积累,其积累降低率(%)随客土覆盖量(深度)的增加而增大,覆盖 9cm 厚度的客土,白菜对 ^{89}Sr 的吸收可降低 69%左右。回归分析表明,白菜及其各部位中 ^{89}Sr 的比活度 C (Bq·g⁻¹)与客土覆盖深度 x (cm)间呈显著线性负相关,白菜地上部 $C_1 = 33.6 - 2.75x$, $r = -0.9308$;菜根 $C_2 = 29.4 - 2.46x$, $r = -0.8838$;整株白菜 $C = 33.1 - 2.71x$, $r = -0.9305$ 。比较白菜各部位的比活度数据可见,白菜地上部中 ^{89}Sr 比活度略高于菜根,由于地上部的生物量要比菜根大得多,因此放射性锶主要积累在白菜地上部。

2.3 讨论

比较表 1、表 2 数据不难看出,白菜各部位中 ^{89}Sr 的比活度明显低于大豆。其原因,一是白菜含有较多的水份,干物质含量较大豆少,且生长迅速,生物稀释大;二是尽管白菜较大豆需要较多的水份,种植白菜的土壤含水量高于大豆土壤(含水量大有利于 ^{89}Sr 迁移),但白菜根系较大豆根系为浅,致使菜根只能吸收表层土中的

^{89}Sr ,尤其是覆盖客土后,深入本土的白菜根系更少,其三还与作物的生物学特性有关(白菜对钙的需求较大豆少)。

覆盖客土后,白菜各部位吸收 ^{89}Sr 的降低率高于大豆各部位的降低率(除豆籽外),表明对于不同种类的作物采用客土覆盖防治放射性锶污染的效果有所不同,应根据不同作物特性,尤其是作物根系的深浅,采用适宜的覆盖层厚度。

3 结论

采用在受放射性锶污染的土壤表面覆盖客土,可有效降低大豆和后茬白菜对放射性锶的吸收和积累;大豆和后茬白菜中放射性锶的比活度与客土的覆盖深度呈显著线性负相关。

大豆和后茬白菜吸收的放射性锶主要积累在作物的地上部,表明被植物根系吸收的放射性锶易于向上部组织输送,其在生物系统中比较容易流动。

参考文献:

- Whicker F W, Schultz V. Radioecology: Nuclear Energy and the Environment. Volume I. Florida: CRC Press, Inc., 1982. 136.
- 朱永懿, 裴同才. ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{144}Ce 在土壤-植物系统中的行为. 中国环境科学, 1991, 11(4): 266 ~ 270.
- Yasuda H, Uchida S, Muramatsu Y et al. Sorption of manganese, cobalt, zinc, strontium, and cesium onto agricultural soils statistical analysis on effects of soil properties. Water, Air, and Soil Pollution, 1995, 83: 85 ~ 96.
- 陈舜华, 钟创光, 赵小奎等. 两种淡水腹足类动物对 ^{90}Sr 的浓集与分布的生物学特性. 核农学报, 2001, 15(1): 45 ~ 50.
- 李宽良, 周俊, 于乃秀等. 锶、钴、铯溶质的竞争吸附与迁移动态机理. 环境科学学报, 1994, 14(3): 330 ~ 334.
- Алекеев ЮВ. Влияние фосфогипса меля на поступление ^{89}Sr в растения из почв. Агрархимия, 1983, 4: 109 ~ 112.
- 王寿祥, 张永熙, 胡秉民等. 交换钙对 ^{89}Sr 在蔬菜-土壤系统中行为的影响[J]. 核农学报, 1992, 13(1): 36 ~ 39.
- 王寿祥, 张永熙, 陈传群等. 交换钙对 ^{89}Sr 在小麦和大豆中积累的影响. 浙江农业大学学报, 1993, 19(4): 433 ~ 436.
- 陈传群, 张永熙, 王寿祥等. 钙对锶在马铃薯与水稻中积累的影响. 浙江农业大学学报, 1995, 21(1): 102 ~ 104.
- 张永熙, 陈传群, 王寿祥等. 硅藻土和膨润土对锶-89的吸附. 浙江农业大学学报, 1996, 22(6): 656 ~ 657.
- 朱永懿, 杨俊诚, 陈景坚等. 施肥和翻耕措施对减少水稻吸收 ^{137}Cs 的效应. 核农学报, 1998, 12(3): 165 ~ 170.
- 核素图表编制组. 核素常用数据表. 北京: 原子能出版社, 1977. 116 ~ 117.
- 王寿祥, 张永熙, 胡秉民等. ^{89}Sr 在模拟水稻田中的动力学行为. 生态学报, 1992, 12(4): 310 ~ 314.