

^{133}Cs 和 ^{88}Sr 在蚕豆苗中的蓄积及其辐射损伤效应

张晓雪¹ 王丹^{1,2} 李卫锋¹ 徐长合¹ 钟钊芝¹

¹ (西南科技大学生命科学与工程学院 绵阳 621010)

² (核废物与环境安全国防重点学科实验室 绵阳 621010)

摘要 通过水培试验研究了蚕豆苗对不同浓度 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 的蓄积及其辐射损伤效应。本实验利用原子吸收方法测定蚕豆苗对 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 的蓄积量,研究了 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 在蚕豆苗各部位的分布及其生理影响。结果表明:在 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 所设不同浓度下,蚕豆苗地上部和根部的 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 蓄积量均随浓度梯度升高而增加,表现出根部含量>地上部含量, ^{133}Cs 含量> ^{88}Sr 含量。随着时间的推移,蚕豆苗对溶液中 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 蓄积量表现出先骤升后趋于平稳的趋势;随核素浓度的上升,根系活力均表现为先增强后减弱的趋势;蚕豆苗叶片中的丙二醛含量增加,叶片中丙二醛含量变化均较根系的大。 ^{88}Sr 处理组中的可溶性糖含量高于 ^{133}Cs 处理组。

关键词 蚕豆苗, 铯, 锶, 蓄积, 损伤效应

中图分类号 X591, Q948.116

核工业的发展、核技术的广泛应用以及其他工业、矿山开采,农业、能源、军事、交通、医疗卫生等领域内的放射性同位素应用,使人类周围生态环境的放射性核素本底值不断增加^[1]。放射性核素飘浮在大气中,随着雨水落到地面,严重地污染农业和生态环境,并通过食物链进入人体,危害人们的健康^[2]。在代价利益优化分析的前提下,放射性核素污染的生物修复技术成为近年的研究热点^[3-5]。最为常见的放射性污染物包括放射性核素 ^{238}U 、 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Po 、 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 ^{89}Sr 、 ^{137}Cs 等^[6],其中尤以 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 最为普遍。 Cs 属于碱金属, ^{133}Cs 是 ^{137}Cs 的稳定性同位素,与 ^{137}Cs 有相似化学性质。植物对 ^{133}Cs 的吸附情况也有相关报道^[7]。 Sr 属于碱土金属, ^{88}Sr 是 ^{90}Sr 的稳定性同位素,与 ^{90}Sr 具有相似化学性质。通过放射性污染植物修复技术能达到清除核素、修复或治理环境的目的。不同植物对核素的吸附能力和胁迫响应是不同的,所以植物种类的选择非常重要。

蚕豆 (*Vicia faba* Linn), 豆科巢菜属一年生或越年生草本, 又称胡豆、佛豆、川豆、倭豆、罗汉豆, 为粮食、蔬菜和饲料、绿肥兼用作物。Zhu 等^[8]研究了水培蚕豆的外部钾离子浓度及其植株年龄对放射性核素 ^{137}Cs 的吸收情况, 发现钾离子和

^{137}Cs 的流动率是由植株的叶片、茎、根以及总生物量决定。郑世英等^[9]对镉胁迫蚕豆抗氧化活性及丙二醛含量进行了研究。但是关于蚕豆苗对核素铯、锶的蓄积及损伤效应的研究, 目前国内外报道较少。本试验研究了不同浓度的 ^{133}Cs 、 ^{88}Sr 对蚕豆苗生理生化指标的影响, 以及蚕豆苗对 ^{133}Cs 、 ^{88}Sr 吸收蓄积特征, 为进一步研究 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 对植物的影响提供科学依据和理论基础。

1 试验材料与方法

1.1 材料

试验采用水培方式, 地点为四川绵阳西南科技大学生命科学实验楼。供试植物为蚕豆(成葫15), 购于绵阳市云川种子公司。 ^{133}Cs 的施加形式为 $^{133}\text{CsCl}$, ^{88}Sr 的施加形式为 $^{88}\text{SrCl}_2$, 均为分析纯试剂。

1.2 材料培养与污染处理方法

用 0.5%NaClO 处理试验种子 20 min, 然后置于光照培养箱内(白天/黑夜: 16 h/ 8 h, 28℃/ 25℃)萌发。待幼苗长至五六片叶子时移至装有营养液的 2 L

西南科技大学重点项目核辐射环境下的生物稳定性与变异及其机理研究(No. 07XJGZB05)、西南科技大学青年基金科研项目(No. 08zx315208zx3152)资助

第一作者: 张晓雪, 女, 1984 年 10 月出生, 目前为西南科技大学在读硕士研究生, 2010 年毕业, 研究方向为低放核素的植物修复研究

通讯作者: 王丹, E-mail: wangdan@swust.edu.cn

收稿日期: 初稿 2009-07-17, 修回 2009-08-27

塑料桶中,桶面盖有有孔的泡沫板,每孔1株,每桶10株,三天更换一次营养液,培养1个月。1个月月后,用 ^{88}Sr 和 ^{133}Cs 处理蚕豆苗,进行吸收试验。 ^{88}Sr 和 ^{133}Cs 处理液以Hoagland营养液为基础,加入0.5 mmol/L、1 mmol/L、5 mmol/L和10 mmol/L的 ^{88}Sr 或 ^{133}Cs ,每个处理3次重复。把处理材料分为两部分,一部分在处理后的8 h, 12 h, 24 h, 120 h和168 h各取1 mL处理液,测定处理液中剩余的 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 含量;另一部分在处理7 d后,分别取相同部位的组织,分别进行叶片和根系的活力、丙二醛和可溶性糖含量的测定。

1.3 试验方法

1.3.1 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 含量的测定 取出的蚕豆苗用去离子水洗净后,将根和地上部分开,在75℃下于烘箱中烘至恒重。烘干后的幼苗,分别称重,研磨,再采用 HNO_3 和 HClO_4 法消化、最后运用火焰原子吸收光谱法对溶液、植物根和地上部的 ^{88}Sr 和 ^{133}Cs 含量分别进行测定,每个样品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。

1.3.2 生理指标的测定 丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定^[10];可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[11],根系活力测定采用TTC还原法^[12]。试验所用的主要仪器:高速冷冻离心机为Allegra 64R(美国,Beckman Coulter);紫外、可见分光光度计为普析通用T6系列(中国,北京普析通用仪器有限责任公司)。试验结果为三次重复的平均值。

1.4 数据分析

数据分析采用Microsoft Excel 2003(美国,Microsoft)和Origin7.0作图软件(美国,Microcal)。

2 结果与分析

2.1 蚕豆苗蓄积铯、锶能力分析

2.1.1 不同时间蚕豆苗对铯、锶蓄积率测定 蚕豆苗对单一核素铯、锶的吸收试验结果表明,随着时间

的推移,溶液中的 ^{133}Cs 、 ^{88}Sr 浓度逐渐降低(见图1和图2),去除效率也逐渐下降。在0~24 h,随着时间的变化,溶液中的 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 浓度表现出显著的急剧下降,24 h后溶液中 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 浓度基本不发生显著变化。铯、锶处理浓度不同,去除效率也不相同,浓度越高,去除效果越好。处理168 h后,当 ^{133}Cs 的浓度为10 mmol/L时,剩余率最低为31.49%,当 ^{88}Sr 的浓度为10 mmol/L时,剩余率最低为36.65%。 ^{88}Sr 的剩余率比 ^{133}Cs 更高,说明蚕豆苗对 ^{133}Cs 吸收能力高于对 ^{88}Sr 的吸收能力。

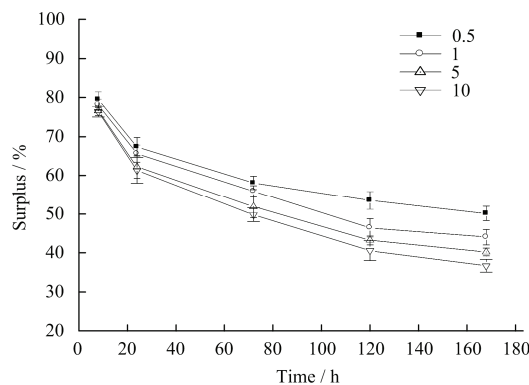


Fig.1 The concentration of ^{133}Cs in solutions after incubating grown plantlets for different time period

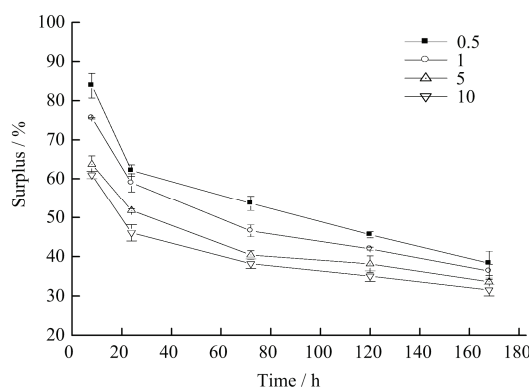


Fig.2 the concentration of ^{88}Sr in solutions after incubating grown plantlets for different time periods

2.1.2 铯和锶在蚕豆苗体内的吸收特性 由表1可见,蚕豆苗的地上部和根部 ^{133}Cs 含量均随浓度升高而增加,当 ^{133}Cs 浓度为10 mmol/L时,地上部和根部 ^{133}Cs 含量均为最大,最大值分别为5.70 mg/g和8.64 mg/g。 ^{88}Sr 处理下,地上部和根部的最大值也出现在 ^{88}Sr 浓度为10 mmol/L时,最大值分别为2.58 mg/g和6.37 mg/g。植物富集比系数(BAR)等于植物地上部吸收核素的含量与植物根部吸收核素的含量比值。BAR能反应出铯和锶在植物体内的运输和分配情况。BAR越大说明Cs或Sr通过植物根系吸收后向植物地上部位迁移的能力越大。如表

1, 根系中 ^{133}Cs 或 ^{88}Sr 含量均高于地上部含量。这说明 ^{133}Cs 或 ^{88}Sr 被吸收后主要蓄积于根系内, 在一定程度上阻止了 ^{133}Cs 或 ^{88}Sr 对地上部植株的胁迫。

相同处理浓度下, 蚕豆苗对 ^{133}Cs 的蓄积量明显高于 ^{88}Sr 的蓄积量, 表明了蚕豆苗对核素铯和锶的蓄积特性不相同。

Table1 The accumulation and distribution of ^{133}Cs , ^{88}Sr in *Vicia faba* Linn

Concentration /mmol·L ⁻¹	^{133}Cs			^{88}Sr		
	Roots Up-take/mg·g	Above-ground up-take/mg·g ⁻¹	BAR	Roots up-take/mg·g ⁻¹	Above-ground Uptake/mg·g ⁻¹	BAR
0.5	1.13±0.08	0.43±0.55	0.38	0.66±2.03	0.04±0.89	0.07
1	3.93±0.26	1.88±1.07	0.48	1.21±0.88	0.19±0.61	0.16
5	6.95±0.37	3.61±0.28	0.52	4.75±0.72	1.38±3.02	0.29
10	8.64±1.30	5.70±0.56	0.54	6.37±1.25	2.58±1.66	0.41

2.1.3 蚕豆苗对铯、锶的蓄积效应 植物总生物量是衡量植物富集能力的重要指标之一。如果植物的吸收能力很强, 但其生物量较小, 其利用价值也不高。通过对蚕豆苗体内 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 总含量与总生物量的测定, 得到图 3 和图 4。图 3 表示 ^{133}Cs 处理对蚕豆苗总生物量的影响, 从图中可以看出, 对照的总生物量最高, 其余处理的总生物量均低于对照。可见, 所设浓度的 ^{133}Cs 均抑制了蚕豆苗的生长, 蚕豆苗 ^{133}Cs 蓄积总量随处理浓度递增而升高, 处理 1 含量最低, 为 1.06 mg/g, 处理 4 含量最高, 达到了 10.85 mg/g。可见高浓度处理下, ^{133}Cs 在蚕豆苗体内的蓄积量会增加, 当 ^{133}Cs 的浓度为 10mmol/L 时, 其对蚕豆苗生物量的影响不明显。

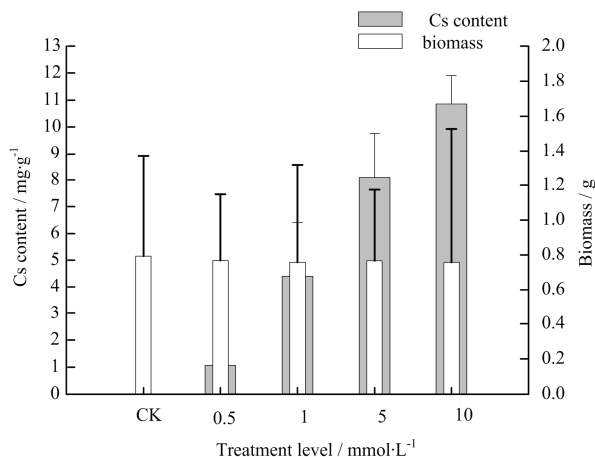


Fig.3 The relation between the total biomass of broadbean and the ^{133}Cs content for different treatments

从图 4 中可看出, 不同 ^{88}Sr 浓度下的蚕豆苗总生物量趋于下降趋势。处理 3 和处理 4 的总生物量较低, 其中处理 3 最低。其余处理总生物量低于对照总生物量。出现这种情况可能是因为处理浓度过高会抑制蚕豆苗生物量的增加。在 ^{88}Sr 各处理中, 蚕豆苗 ^{88}Sr 蓄积总量随处理浓度递增而升高, 处理 4 的总含量最高, 处理 1 和处理 2 的总含量较低。

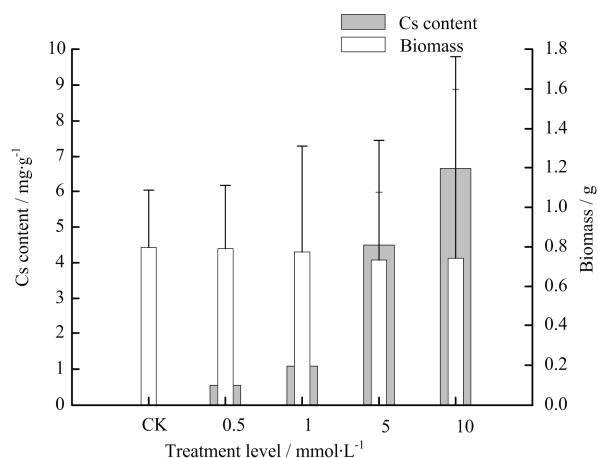


Fig.4 The relation between the total biomass of broadbean and the ^{88}Sr content for different treatments

2.2 铯和锶单一胁迫对蚕豆苗根系活力的影响

根系是植物生命活动的重要器官, 植物利用根系吸收核素, 进而转移到地上部分。根系的强弱会影响植物对核素的吸收。由图 5 可见, 经两种核素处理后, 蚕豆苗的根系活力均发生了显著的变化, 总体都呈先增强后减弱的趋势, 且低浓度的处理 1 和处理 2 范围内均高于对照组。说明在本试验浓度范围内低浓度的核素对蚕豆苗的根系活力具有促进作用, 且 ^{88}Sr 在 0.5 mmol/L 浓度, ^{133}Cs 在 1 mol/L 浓度时, 根系活力达到最大值, 分别为对照的 1.59 倍和 1.51 倍, 但在核素浓度为 10 mmol/L 时, 两种处理的根系活力均低于了对照。说明了蚕豆苗根系对低浓度的核素具有一定的应激能力, 能通过提高代谢作用来缓解两种核素辐射损伤效应, 但随着核素处理浓度的增大, 呼吸代谢已经不能缓解核素所带来的伤害, 核素污染对蚕豆苗根系活力的抑制作用急剧增加, 根系的抵抗力又减少, 使得根系活力减弱。据此推测, 随着核素浓度的进一步加大, 这种效果可能会更加明显, 直到蚕豆苗整个植株的死亡, 这点有待于进一步研究。

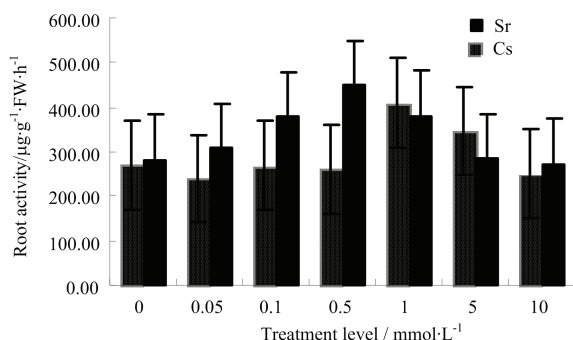


Fig.5 The effects of ^{133}Cs and ^{88}Sr stress on the root activity of broadbean

2.3 铯、锶单一胁迫对蚕豆苗丙二醛含量的影响

从图 6 可以看出,在所设浓度范围内,随核素浓度的上升,蚕豆苗叶片中的丙二醛含量增加,均高于对照。MDA 是膜脂过氧化分解的产物,在一定胁迫强度内,叶片细胞的各种保护机制使得 MDA 含量维持在一定的水平,但胁迫强度超过特定数值后,细胞内代谢失调,自由基蓄积,膜脂过氧化作用加大,MDA 含量升高,说明在所设浓度梯度足以对蚕豆苗叶片产生伤害作用,核素浓度越大,对蚕豆苗的伤害程度也越大。同时也可看出,蚕豆苗叶片浓度对 ^{133}Cs 较为敏感,在相同浓度下, ^{133}Cs 对蚕豆苗叶片细胞造成的伤害大于 ^{88}Sr 。当营养液中核素浓度达到 10 mmol/L 时,蚕豆苗叶片中的 MDA 含量达到最高。而在蚕豆苗的根系中,发现随着核素浓度的上升,根系中的 MDA 含量变化不大,说明两种核素在所设浓度范围内对蚕豆苗根系影响不大,但可认定所选核素对蚕豆苗叶片的伤害是很明显的。

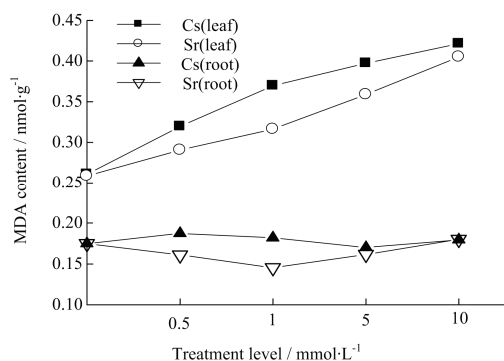


Fig.6 The effects of ^{133}Cs and ^{88}Sr stress on the MDA of broadbean

2.4 铯、锶单一胁迫对蚕豆苗可溶性糖含量的影响

由图 7 可见,在所设浓度范围内,随着核素浓度升高,可溶性糖含量也随之增加。在核素浓度为 10mmol/L 时,达到最大值,分别为对照组的 2.41

倍 (Cs 根), 1.90 倍 (Sr 根), 3.96 倍 (Sr 叶) 和 3.51 倍 (Cs 叶)。可见,蚕豆苗在核素的胁迫下,体内的碳水化合物代谢发生了较大的改变,从而导致了可溶性糖的增加,这种变化随着核素浓度的升高,更加明显。表明核素对蚕豆苗植株的生理生化系统造成了伤害,才使得蚕豆苗为抵制这种伤害,加大了可溶性糖的蓄积。其中, ^{133}Cs 处理的可溶性糖含量低于 ^{88}Sr 处理的可溶性糖含量,尤其是在叶片中。说明,核素 ^{88}Sr 对蚕豆苗可溶性糖含量的影响比核素 ^{133}Cs 更大。

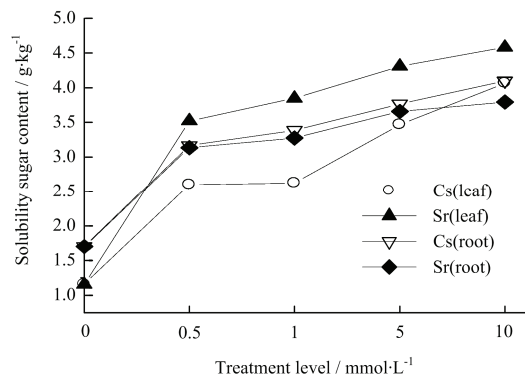


Fig.7 The effects of ^{133}Cs and ^{88}Sr stress on the Solubility sugar of broadbean

3 结论与讨论

植物通过根膜从土壤或水中吸收核素离子或分子,在根组织间传输,最终结合于某些特定部位,从而导致核素在植物组织中的蓄积。植物蓄积核素在体内的分布有两种情况:一种大部分蓄积在植物根部;另一种是把根系吸收的核素大部分转移到地上部。豆科作物具有根瘤菌-固氮体系,其对土壤中核素的吸收能力远比非豆科作物高^[13]。例如本实验中蚕豆苗对铯、锶的吸收主要蓄积在根部,有少量核素被转移到了地上部。这与徐世明等^[14]研究 ^{60}Co 在蚕豆苗各部位的蓄积,根系大于地上部研究相似。Baeza 等^[15]研究了芜菁和蚕豆苗也得出相似结论。 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 处理下蚕豆苗地上部和根部的 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 含量均随浓度梯度升高而增加。随着时间的推移,溶液中 ^{133}Cs 和 ^{88}Sr 浓度在处理 24 h 内,表现出急剧下降,而 24 h 后下降趋势则趋于平稳,这与 Eapen 等^[16]对牛角瓜吸收 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 的研究结果相似。两种核素处理后,蚕豆苗的根系活力均发生了显著的变化,总体都呈现先增强后减弱的趋势,在低浓度时植物根系活力高于对照。蚕豆苗叶片对 ^{133}Cs 较为敏感,在相同浓度下,蚕豆苗富集 ^{133}Cs 后产生了较多的丙二醛,说明 ^{133}Cs 对蚕豆苗叶片细胞造成的伤害大于 ^{88}Sr 。在蚕豆苗的根系中,发

现随着核素浓度的上升, 根系中的 MDA 含量与对照相比变化不大, 说明核素胁迫对蚕豆苗根系影响不大。 ^{133}Cs 处理组的可溶性糖含量低于 ^{88}Sr 处理组, 尤其是在叶片中。说明核素 ^{88}Sr 对蚕豆苗的影响比核素 ^{133}Cs 更大。

参考文献

- Zhu Y G, Shaw G. Chemosphere, 2000, **41**(18):121-128
- Shaw G, Bell J N B. J Environ Radioact, 1991, **43**(9): 283-296
- Lasat M M, Fuhrmann M, Ebbs S D, *et al.* Environ Qual, 1998, **27**(13): 165-169
- Lasat M M, Norvell W A, Kochian L V, *et al.* Plant soil, 1997, **195**(26): 99-106
- Nisbet A F, Woodman R F M. Health Physics, 2000, **78**(3): 279-288
- 李桂中, 李健宗, 李锦文, 等. 广西电力工程, 1996, **12**(1): 50-58
LI Guizhong, LI Jianzong, LI Jinwen, *et al.* Guang Xi Electric Power Engineering, 1996, **12**(1): 50-58
- Tsukada H, Hasegawa H, Hisamatsu S, *et al.* J Env Radio, 2002, **65**(59): 351-363
- Zhu Y G, Shaw G, Nisbet A F. *et al.* Environ and Experi Botany, 2002, **47** (12):173-187
- 郑世英, 张秀玲, 王丽艳, 等. 河南农业科学, 2007, **32**(2): 35-37
ZHENG Shiying, ZHANG Xiuling, WANG Yanli. Henan Agri Sci, 2007, **32**(2): 35-37
- 王学奎. 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社, 2006: 169, 282
WANG Xuekui. The principle and technology of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press, 2006: 169, 282
- 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 中国农业出版社, 2001: 72-75
ZOU Qi. The Guidance of Plant Physiological Experiment. China Agriculture Press, 2001: 72-75
- 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 119-120
LI Hesheng, SUN Qun, ZHAO Shijie, *et al.* The Principle and technology of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164-165
- 宋妙发, 强亦忠. 核环境学基础. 北京: 原子能出版社, 1999: 2
SONG Miaofa, QIANG Yizhong. Basis for Nuclear Environment. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 2
- 徐世明, 侯兰欣. 核农学报, 1996, **17**(6): 283-285
XU Shiming, HOU Lanxin. J Nucl Agri sci, 1996, **17**(6): 283-285
- Baeza A, Paniagua J M, Rufo M, *et al.* Environ Pollut, 2002, **85**(19): 325-330
- Eapen S, Singh S, Thorat V, *et al.* Chemosphere. 2006, **65**(8): 2071-2073

Studies on accumulation of ^{133}Cs and ^{88}Sr in *Vicia faba* Linn and irradiation damage effect

ZHANG Xiaoxue¹ WANG Dan^{1,2} LI Weifeng¹ XU Changhe¹ ZHONG Muzhi¹

¹ (College of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

² (Defense Key Discipline Laboratory of the Nuclear Waste and Environmental Security, Mianyang 621010, China)

ABSTRACT The different concentrations of ^{133}Cs and ^{88}Sr accumulated by *Vicia faba* Linn and its irradiation damage effect were studied during cultivation in hydroponic condition. The accumulation of ^{133}Cs and ^{88}Sr was determined by FAAS, the distribution in different organs of *Vicia faba* Linn and physiological effect of ^{133}Cs and ^{88}Sr were investigated. The results show that at low concentration level the ^{133}Cs and ^{88}Sr taken by above-ground and root of *Vicia faba* Linn increase with the increment of their initial concentration and the accumulation relationship of contents is roots>above-grounds and ^{133}Cs > ^{88}Sr . When the plantlets exposed to ^{133}Cs or ^{88}Sr , the accumulated amounts increase rapidly at begin then increase slowly along with the cultured time. With the increment of initial concentration the root activities tend to increase at first and then decrease. It has been found that the MDA contents in leaves increase with the experimental time and are higher than that in root while the contents of soluble sugar of ^{88}Sr treated group are higher than that of ^{133}Cs treated group.

KEYWORDS *Vicia faba* Linn, ^{133}Cs , ^{88}Sr , Accumulation, Damage effect

CLC X591, Q948.116

