

碘放射性核素在土壤-蔬菜系统中的转移系数*

罗达玲 李冕丰 翁森汉 张增 余君岳
(中山大学物理学系, 广州 510275) (香港城市大学)

摘要 人工引入核电站排放的关键核素 ^{131}I , 采用 γ 能谱和总 β 计数两种方法确定核素在土壤-蔬菜系统中的转移系数. 测得核素不同迁移时间、不同生长期的蔬菜、以及土壤中不同核素浓度等各种情况下的转移系数. 给出转移系数的频数分布及变异性. γ 能谱法测得的 ^{131}I 在广东土壤-蔬菜系统中转移系数的观察值范围为 $1.28 \times 10^{-2} \sim 2.10 \times 10^{-1}$, 几何平均值为 5.05×10^{-2} , 几何标准偏差为1.96. 实验中观察到蔬菜棵株大小、不同气候条件等因素对转移系数的影响.

关键词 碘放射性核素, 转移系数, 土壤-蔬菜系统, γ 能谱法

分类号 X591

核电站排放的碘放射性核素主要有 ^{131}I 、 ^{129}I 和 ^{133}I 三种. ^{131}I 对生态环境的影响一直受到人们的关注, 虽然 ^{131}I 的半衰期不长(8.4 d), 但产额高, 其短期危险度不可忽视. 核电站以气体形式向大气中排放出碘放射性核素, 通过扩散、沉积附着于土壤表面, 从土壤向植物转移后进入生物圈, 通常人们以食用植物农产品为主, 并且动物的产品也间接来自植物, 因此, 在陆地生态系统研究中, 放射性核素在土壤-植物系统中的迁移系数是最重要的基本参量. 以Ng等人^[1,2]研究为基础, 美国核管理委员会(NRC)等给出了一些核素的转移系数^[3]. Ng进一步研究指出^[4], 土壤-植物转移因子与植物类型、土壤类型及环境因素等密切相关. 1986年苏联切尔诺贝利核电站事故发生后, 一些研究结果也说明了这点^[5,6]. 本实验以 ^{131}I 为示踪剂, 研究土壤-蔬菜转移系数随核素迁移时间的变化, 以及蔬菜生长期, 土壤中核素浓度、气候环境等对转移因子的影响. 并对不同条件下测得的转移系数进行统计学处理, 给出具有代表性的参数值, 为进一步建立和应用广东核电站排放的放射性核素迁移模式提供基本参量及实验依据.

1 实验方法

1.1 放射性核素引入方式 本实验选用广东白菜作为研究的生物基体, 它与广东多种地面生长的绿叶蔬菜(如菜心、芥兰、苋菜等)的生长期、产量(kg/m^2)等特点相近, 具有一定的代表性.

收稿日期: 1994-09-23

* 广东省自然科学基金和香港城市大学研究基金资助项目

考虑到¹³¹I 的半衰期不长, 施入¹³¹I 前, 先经播种、育苗, 选取裸株大小相近的菜苗盆栽置于室外, 所用土壤为粗质砂土. 待菜苗生长一段时间后, 再将稀释后的¹³¹I 溶液施入土壤表层, 未施¹³¹I 的对照组菜与试验组菜处于相同的生长条件.

1.2 样品的采集及处理 将定时采集的菜株切除根部, 取可食部分洗净, 晾干, 称重后, 在 40~60℃ 下烘干, 然后粉碎再称重, 计算出鲜干比, 封装待测. 对部分样品同时进行了炭化、灰化处理. 比较干样和灰样的测量结果表明, 采用灰样可使测量灵敏度稍有提高, 但灰化过程中核素有少量损失. 本实验基本上采用干样进行测量. 样品取菜株根部土壤约 20 g, 压碎, 除去砂粒和植物残渣后, 研磨风干, 再经 100 目过筛, 封装待测.

1.3 转移系数的测量方法 由于¹³¹I 是 β 射线 (0.61MeV) 和 γ 射线 (0.364MeV) 的发射体, 本实验同时采用总 β 和 γ 能谱两种方法测定转移系数. 用流气式正比计数器为探测器的 LB-1000 型低本底 α/β 计数装置测定样品的总 β 计数. 用 NaI (TI) 闪烁体多道脉冲分析器 γ 能谱系统测定¹³¹I 的 γ 特征峰的峰面积. 对蔬菜和相应的土壤取等量样品同时进行测量, 并经扣除本底和干鲜比等校正后, 计算出核素浓度比 [pci (kg 鲜植物)⁻¹/pci (kg 干土壤)⁻¹], 土壤—蔬菜的转移系数是指平衡状态下的浓度比.

2 结果与讨论

2.1 核素浓度比随核素迁移时间的变化 由于转移系数是指处于平衡条件下的参数, 首先必须了解¹³¹I 从土壤向植物转移过程中, 参数随迁移时间的变化情况, 迁移时间是指施入¹³¹I 至采样的时间间隔. 其结果列于表 1.

表 1 ¹³¹I 经不同迁移时间土壤-白菜的浓度比

Tab. 1 The soil - vegetable concentration ratios to various migration periods of ¹³¹I

迁移时间 (t/h)	2.5	7.0	24	62.4	72.5	97	121	145
浓度比 总 β 法	4.65	4.08	4.12	3.18	6.38	6.09	5.77	6.12
($\times 10^{-2}$) γ 能谱法	1.66	3.97	4.14	4.06	7.90	6.90	5.75	6.3

从表 1 的结果看出, 对本实验系统和所采用的核素引入方式, 迁移时间超过 72 h, 系统可认为已处于平衡状态.

2.2 不同生长期的蔬菜的转移系数 实验对已有生长期为 55~70 d 的 6 组白菜同时施入相同浓度的¹³¹I 溶液, 再生长 11.4 d 后, 同时采集样品测定转移系数, 其结果列于表 2. 从结果中观察到白菜生长期增加转移系数有减小的趋势.

表 2 ¹³¹I 从土壤向不同生长期的白菜的转移系数

Tab. 2 The transfer factors for ¹³¹I from soil to various growth periods of vegetables

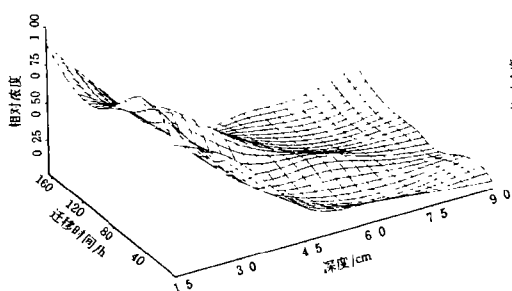
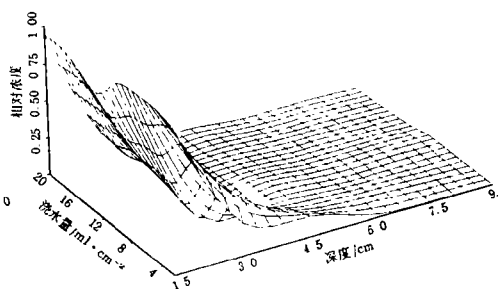
总生长期/d	66.4	69.4	72.4	75.4	77.4	81.4
转移系数 总 β 法	2.72	2.00	1.90	2.24	1.20	1.00
($\times 10^{-2}$) γ 能谱法	3.30	2.88	2.65	2.23	1.70	1.28

2.3 土壤中核素浓度不同时的转移系数 为研究核素浓度对转移系数的影响,将生长期相同、棵株大小相近的白菜分为6组,分别用 $1\ \mu\text{Ci} - 40\ \mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I 溶液稀释至等量的溶液(500 mL),同时施入6组白菜的土壤表层,隔天采样一次,多次采样测得的转移系数取平均值列于表3. 本实验未观察到土壤核素浓度对转移系数的影响.

表3 土壤中 ^{131}I 浓度不同的转移系数Tab. 3 The transfer factors for ^{131}I at various levels of concentration in soil

相对浓度因子	1	2.5	5	10	20	40
转移系数 总 β 法	2.81 ± 1.46	7.60 ± 1.55	6.11 ± 0.86	3.70 ± 0.94	5.49 ± 2.92	6.98 ± 2.13
($\times 10^{-2}$) γ 能谱法	3.59 ± 1.65	7.76 ± 1.81	6.21 ± 1.38	3.45 ± 0.87	5.79 ± 2.89	7.67 ± 2.22

2.4 ^{131}I 在土壤中深度分布的研究 图1给出了 ^{131}I 的相对浓度随迁移时间和深度的变化. 图2给出相对浓度随深度和浇水量的变化. 第一种情况每天浇水一次,随着时间的增加 ^{131}I 在土壤中有明显的向下迁移;第二种情况只浇水一次,浇水量对 ^{131}I 在土壤中的迁移影响不大. 从两种分布图中看出,在蔬菜根部所在的土壤层(1.5~3.0 cm) ^{131}I 浓度均无明显变化,不会影响土壤-蔬菜转移系数.

图1 ^{131}I 在土壤中的深度分布随核素迁移时间的变化Fig. 1 Depth distribution of relative concentration of ^{131}I in soil varies nuclide migration periods图2 ^{131}I 在土壤中的深度分布随浇水量的变化Fig. 2 Depth distribution of relative concentration of ^{131}I in soil varies with flux of water

2.5 转移系数受气候条件、蔬菜棵株大小等因素的影响 表4归纳了3次实验结果的平均值. 结果表明核素的迁移明显与气候条件有关. 第一次实验在冬季气温低、湿度也小,所测得的转移系数最小. 第三次实验,6月份已进入夏季,并遇上反常的雨季,由于温度和湿度的增加会增加根部从土壤对核素的摄入量,因而使转移系数增加. 第二次实验中,B、C两组白菜的平均棵重为本实验其它组白菜的 $1/4 \sim 1/3$,其转移系数的平均值明显高于其他组. 表2中所列转移系数随白菜生长期增加有减小的趋势,也与白菜棵株增大有关. 实验结果表明,植物基体的大小明显影响转移系数值.

表 4 各次实验所得¹³¹I 在土壤-蔬菜系统转移系数 (算术平均值)

Tab. 4 The soil - vegetable transfer factors (arithmetrio mean) for ¹³¹I in every experiment

实验 次序	季 节 平均温度 相对湿度	样 品 数	转 移 系 数 (×10 ⁻²)				
			总 β 法		γ 能 谱 法		
			范 围	算术平均值	范 围	算术平均值	
第 1 次	冬 13.3℃, 69%	11	1.00~4.20	2.31±0.89	1.28~4.50	2.76±0.92	
第 2 次	春 21.9℃ 84%	A 组	8	1.69~6.38	4.86±1.48	1.66~7.90	4.78±2.18
		BC 组	12	6.38~21.7	12.3±5.40	6.65~21.0	11.7±5.05
第 3 次	夏 29.3℃, 85%	20	1.00~10.0	5.32±2.52	1.89~10.6	5.64±2.60	

2.6 各种条件下测得的转移系数给出¹³¹I 在土壤-蔬菜系统中转移系数的频数分布 如图 3 所示. 总的频数分布及不计第二次实验的 B、C 组小株白菜的频数分布均为正偏态分布. 采用几何平均值和几何标准差分别表示数据的平均水平和数据的变异性较为合适. 计算结果列于表 5.

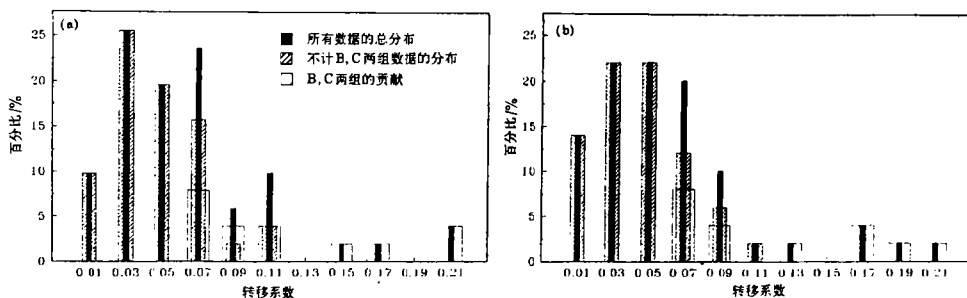


图 3 ¹³¹I 在土壤-植物系统中转移系数的频数分布 (a) γ 能谱法; (b) 总 β 法

Fig. 3 Frequency distribution of soil - vegetable transfer factors for ¹³¹I measured by γ spectrometry (a) and total β counts (b)

表 5 ¹³¹I 土壤-蔬菜转移系数的变异性

Tab. 5 Variability of transfer factors for ¹³¹I in soil - vegetable system

实验 数据组	测量方法	样 品 数	转 移 系 数				
			范 围 (×10 ⁻²)	算术均值 (×10 ⁻²)	标准差 (×10 ⁻²)	几何均值 (×10 ⁻²)	几何 标准差
(I)	总 β 法	50	1.00~21.7	6.12	4.65	4.73	2.07
	γ 能谱法	51	1.28~21.0	6.31	4.41	5.05	1.96
(II)*	总 β 法	39	1.00~10.0	4.37	2.38	3.71	1.83
	γ 能谱法	39	1.28~10.6	4.65	2.48	4.01	1.75

* 数据组 (II) 不包括第二次实验的 B、C 两组小株白菜的实验结果

参加本项工作的还有温光浩、刘小伟、张纯祥; 中山大学大气科学系沈雪萍副教授提供了有关的气象资料, 特此感谢。

参 考 文 献

- 1 Ng Y C, Burton C A, Thomson S E, et al. USAEC Report UCRL - 50163 - Pt 4, Lawrence Radiation Laboratory, NTIS, May 1968
- 2 Ng Y C, Colsher C S, Quinn D J, et al. USDOE Report UCRL - 51939, Lawrence Livermore Laboratory, NTIS, July 1977
- 3 U S NRC. Regulatory Guide 1.109, Calculation of annual doses to man from routine release of reactor effluents for the purpose of evaluating compliance with 10 CFR part 50, Appendix I, October 1977
- 4 Ng Y C. A review of transfer factors for assessing the dose from radionuclides in agricultural products. Nucl Saf, 1982, 23: 57~71
- 5 Jacop P, Muller H, Prohl G, et al. Environmental behaviour of radionuclides deposited after the reactor accident of Chernobyl and related exposures. Radiation and Environmental Biophysics, 1993, 32: 193~207
- 6 Apsimon H M, Wilson J J, Simms K L. Analysis of the dispersal and deposition of radionuclides from Chernobyl across Europe. Proc R Soc Lond, 1989, A425: 365~405

Transfer Factor for Radioiodine in Soil - Vegetable System

Luo Daling Li Mianfeng Weng Senhan T. Cheung K. N. Yu*

Abstract Soil-vegetable transfer factors for radioiodine were measured by γ spectrometry as well as by total β counts method after ^{131}I solution was added to soil surface. The values of transfer factor with various migration periods and concentrations of ^{131}I in soil and with various growth periods of vegetables are determined. The frequency distributions and the variability of transfer factors are presented. From experimental data measured with γ spectrometry, it is shown that the range of observed values is $1.28 \times 10^{-2} \sim 2.10 \times 10^{-1}$ and the geometric mean and geometric standard deviation are 5.05×10^{-2} and 1.96 respectively. Furthermore, it is observed that the values of transfer factors vary with the mass of vegetable and the temperature and relative humidity in various seasons.

Keywords radioiodine, transfer factors, soil - vegetable system, γ - spectrometry

* Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275