

氚水在大豆-土壤系统中的迁移与分布

史建君¹, 陈传群¹, 王寿祥¹, 孙志明¹, 王继延² (1. 浙江大学核农所农业部核农学重点开放实验室, 杭州 310029, E-mail: jjsjshi@zju.edu.cn; 2. 华东师范大学数学系, 上海 200062)

摘要:采用模拟污染物的同位素示踪技术研究氚水在大豆-土壤模拟生态系统中的迁移、分布规律。通过为期 50d 的模拟试验,测定了植物和土壤样品中 2 种形态氚(自由水氚和结合态氚)的比活度。结果表明:引入土壤中的氚水,不仅在系统各分室间转移和分配,而且迅速向系统外逃逸;氚水中的氚以自由水氚和结合态氚形态存在于大豆植株和土壤中;大豆植株中的自由水氚比活度于 6h 时即达最大值(根 $19.4\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$;茎叶 $12.3\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$),随后便逐渐下降,而结合态氚呈缓慢增加;大豆根中的总氚比活度开始时高于茎叶中的比活度,而后趋于平衡,表层土中 2 种形态氚基本呈逐渐下降。运用示踪动力学分室模型原理对实验数据拟合得:土壤中的比活度 $C_s = 88.37e^{-11.847t} + 7.38e^{-0.030t}$;大豆植株中的比活度 $C_p = 10.30(e^{-0.030t} - e^{-11.847t})$ 。

关键词:氚水;放射生态学;大豆;示踪动力学

中图分类号:X591 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)01-03-0117

The Transference and Distribution of Tritium Water in the Soybean Soil System

Shi Jianjun¹, Chen Chuanqun¹, Wang Shouxiang¹, Sun Zhiming¹, Wang Jiyan² (1. Key Laboratory of Nuclear Agricultural Science, the Ministry of Agriculture, Institute of Nuclear Agricultural Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China E-mail: jjsjshi@zju.edu.cn; 2. Department of Mathematics East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract: The isotope trace techniques of simulation contamination were applied to explore the rule of transference and distribution of tritium water in a simulated soybean-soil ecosystem. The activity ratio of two forms of tritium in plant and soil sample were measured by 50 days simulation experiment. The results showed that when tritium water was entered the soil, it not only was transferred to other compartments in the system, but also vaporized into atmosphere rapidly. Both free water tritium and bound tritium were found in the soybean and the soil. The activity ratio of free water tritium reduced after reaching the maximum ($19.4\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ in root, $12.3\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ in stem and leaf) at 6th hour in the soybean. The bound tritium increased slowly. The activity ratio of total tritium in soybean root was upper than those in stem and leaf in the earlier stage, they reach equipoise each other in the later stage. The activity ratio of two tritium in the surface soil reduced continuously. The compartment model of tracer kinetic was applied to imitate the experimental data. The activity ratio of soil $C_s = 88.37e^{-11.847t} + 7.38e^{-0.030t}$ and the activity ratio of soybean $C_p = 10.30(e^{-0.030t} - e^{-11.847t})$ were gained.

Key words: tritium water; radioecology; soybean; tracer kinetic

氚水在农业生态系,尤其是作物体中行为的研究国内外研究报道甚少^[1-5],在大豆中行为的动态研究尚未见报道。然而,随着核电事业的快速发展,它对环境可能产生的影响已不容忽视。因此研究氚水在环境中的行为是一项亟待开展的工作,以期评价它在农业生态环境中的行为提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 氚水与土壤

氚水由中国原子能研究院同位素研究所提供,放射性比活度为 $5.5536 \times 10^7\text{Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$,放射化学纯度大于 95%,使用前稀释 10 倍得 $5.5536 \times 10^6\text{Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的

基金项目:国家自然科学基金(39870150)和浙江省自然科学基金(398032)资助项目

作者简介:史建君(1960~),男,副研究员,主要从事放射生态学研究。

收稿日期:2000-02-14

氚水.供试土壤(小粉土)采自浙江大学实验农场,pH 值 6.0,有机质 1.90%,粘粒(小于 0.001 mm)12.5%.

1.2 试验方法

试验在 1 m × 1 m × 0.3 m 的模拟生态池(2 只重复)内进行.每池内装小粉土 290 kg(湿土,含水量 21.74%),于 04-19 播种(大豆华春 18 号),每池 5 × 5 穴,每穴 3 ~ 4 粒,出苗后每穴留 2 株.

于 06-01 向土壤表面均匀喷洒比活度为 $8.6775 \times 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{ml}^{-1}$ 的氚水 3200 ml,约合土壤中的平均比活度 $95.75 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$.于引入氚水后 0.25、1、4、9、16、23、31、41、50 d 采样.

1.3 采样

每池随机取大豆 3 株,根部用清水冲洗后吸去表面水,然后分根部、茎叶、果实,分别剪碎装入 100 ml 梨形蒸馏瓶中称量后待处理.用半筒式取土器每池随机取全土柱 2 条,均等分割为 5 段,分别装入 100 ml 梨形瓶中.梨形瓶皆及时用塞子塞紧,以防蒸发损失.

1.4 自由水氚和吸湿性水氚提取

自由水氚和吸湿性水氚采用恒温蒸馏法提取,方法如下:在 100 ml 梨形瓶中装入待提取的样品(湿土约

30 g,植物约 20 g),然后在 130 °C 油浴(液状石蜡)上蒸馏 $8 \sim 10 \text{ h}^{[6]}$,吸取馏出水 0.8 ml 注入装有 8 ml 闪烁液和 2.5 ml 乙二醇乙醚的测样瓶中.馏出水量由蒸馏前后样品的重量差得到.闪烁液配方为:7 g PPO + 0.5 g POPOP + 乙二醇乙醚 300 ml + 二甲苯 700 ml.

1.5 结合态氚和结晶水氚的提取

在 OX-400 型生物氧化仪上燃烧获得大豆植株中的结合态氚和土壤中的结晶水氚.方法如下:称取一定量的蒸渣(植物 0.200 g,土壤 1.000 g)于 850 °C 下燃烧 3 min,通氧量及清洗氮气的通气量皆约 $350 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$;接收液为上述闪烁液.

1.6 测量

上述所有测量皆在 Wallac 1400 DSA 液闪仪上测定,测量误差控制在 5% 以内.

2 结果与分析

2.1 氚水在大豆-土壤系统中的迁移与分布动态

氚水在大豆-土壤系统中的动态变化如表 1 所示.

(1) 由表 1 可见,引入表土中的氚水迅速向大豆迁

表 1 氚水在大豆-土壤系统中的迁移与分布动态¹⁾

时间/d	大豆中的氚比活度(鲜样)/ $\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$			土壤中的氚比活度(湿土)/ $\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$				
	根	茎叶	果实	1 ~ 5 cm	5 ~ 10 cm	10 ~ 15 cm	15 ~ 20 cm	20 ~ 25 cm
0.25	19.4 (0.33)	12.3 (0.47)	/	50.2 (0.60)	7.65 (0.18)	0.11 (0.09)	0.13 (0.16)	0.15 (0.16)
1	12.5 (0.38)	9.15 (0.62)	/	38.4 (0.47)	15.8 (0.29)	1.19 (0.27)	0.36 (0.11)	0.15 (0.18)
4	7.00 (0.62)	5.86 (0.78)	/	13.6 (0.33)	13.8 (0.25)	3.67 (0.18)	0.42 (0.13)	0.15 (0.22)
9	4.57 (0.58)	5.42 (0.56)	4.82 (0.45)	7.50 (0.33)	9.58 (0.40)	3.50 (0.16)	0.77 (0.18)	0.15 (0.18)
16	4.20 (0.89)	4.16 (0.94)	2.51 (0.96)	5.88 (0.25)	6.01 (0.27)	4.27 (0.20)	1.38 (0.27)	0.87 (0.47)
23	2.40 (0.45)	3.63 (0.87)	1.93 (0.78)	3.01 (0.16)	3.29 (0.25)	2.80 (0.20)	2.34 (0.25)	1.51 (0.16)
31	1.80 (0.83)	3.93 (0.76)	0.72 (1.45)	1.17 (0.36)	1.78 (0.20)	2.21 (0.22)	2.27 (0.27)	1.91 (0.25)
41	2.12 (1.78)	2.32 (1.07)	0.53 (1.12)	1.38 (0.22)	2.27 (0.29)	2.29 (0.22)	2.48 (0.22)	2.10 (0.09)
50	2.84 (1.92)	1.12 (2.27)	0.11 (2.12)	1.17 (0.16)	1.78 (0.09)	2.21 (0.20)	2.27 (0.25)	1.91 (0.04)

1) 表中数据为自由水氚或吸湿性水氚,括号内的数据为结合态氚或结晶水氚

移,并以自由水氚和结合态氚形式存在,结合态氚的存在表明氚水中的氚与生物组织中的氢发生了交换.引入氚水后 6 h,大豆根和茎叶中的总氚(自由水氚和结合态氚之和)比活度便分别达到 $19.7 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $12.8 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$,然后逐渐降低.由于氚水的生物学性质类似于普通水,大豆通过根的摄取而迅速进入植株,又由于挥发及向土壤深层迁移,使得表土中的氚水比活度逐渐降

低,向植株的转移速率相应减小,使得氚水在植株中迅速积累到最大值后又呈逐渐下降.

(2) 关于土壤(湿土),表土(1 ~ 5 cm)中的总氚(吸湿性氚和结晶水氚)比活度随时间呈下降趋势;次表层土壤(5 ~ 10 cm)在达峰值(1 d)后随时间逐渐减少;深层土壤(10 ~ 20 cm)开始时随时间逐渐增加,至 16 d 达到最大值后又逐渐降低;底层土壤(20 ~ 25 cm)趋势与深

层土壤相似,但迟至 41 d 才到达最大值.这是因为氙水引入表土后,由于不断向深层迁移、植物吸收以及自然蒸发,使得表土中的氙水比活度也随之下降,而深层及底层的比活度反而增加,达峰值后又趋下降.

(3) 总之,自由水氙(吸湿性氙)的比活度比结合态氙(结晶水氙)比活度高,只有大豆籽和成熟的茎杆中结合态氙比活度超过自由水氙.说明氙水引入系统后,主要以自由水氙(吸湿性水氙)的形态存在.只有少量转变为结合态氙(结晶水氙).

2.2 氙水在大豆-土壤系统中的迁移、消长规律

氙水在大豆-土壤系统中的行为可运用开放二分室模型描述(图 1),令各分室中氙水的量对时间的变化

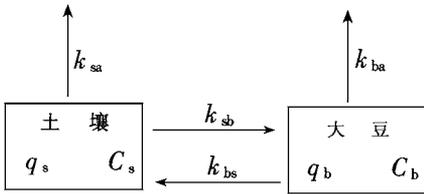


图 1 开放二分室模型

率服从一级速率过程^[7].若以 q_s 、 C_s 、 m_s 和 q_b 、 C_b 、 m_b 分别表示土壤和大豆植株中氙水的总活度、比活度和

质量,则各分室中氙水总活度对时间的变化率为:

$$\frac{dq_s}{dt} = k_{bs} q_b - (k_{sb} + k_{sa}) q_s$$

$$\frac{dq_b}{dt} = k_{sb} q_s - (k_{bs} + k_{ba}) q_b$$

解此微分方程组,并注意到:

$$q_s = m_s C_s, q_b = m_b C_b$$

便得:

$$C_s = \frac{C_s(0)}{\delta - \gamma} [(k_2 - \gamma) e^{-\gamma t} - (k_2 - \delta) e^{-\delta t}]$$

$$C_b = \frac{m_s C_s(0) k_{sb}}{m_b (\delta - \gamma)} (e^{-\gamma t} - e^{-\delta t})$$

式中, $k_1 = k_{sb} + k_{sa}$, $k_2 = k_{bs} + k_{ba}$,

$$\gamma = \frac{1}{2} [k_1 + k_2 + \sqrt{(k_1 + k_2)^2 - 4(k_1 k_2 - k_{sb} k_{bs})}]$$

$$\delta = \frac{1}{2} [k_1 + k_2 - \sqrt{(k_1 + k_2)^2 - 4(k_1 k_2 - k_{sb} k_{bs})}]$$

k_{ij} 为氙水由 i 分室向 j 分室转移的速率常数.运用表 2 数据,经拟合得:

$$C_s = 88.37 e^{-11.847 t} + 7.38 e^{-0.030 t}$$

$$C_b = 10.30 (e^{-0.030 t} - e^{-11.847 t})$$

经方差分析,土壤分室的理论值与实验值的相对标准偏差为 25.5%,大豆分室的相对标准偏差

表 2 大豆-土壤系统中各分室总氙的比活度/ $Bq \cdot g^{-1}$

分室	时间/d									
	0	0.25	1	4	9	16	23	31	41	50
大豆(鲜样)	0	14.15	10.03	6.72	5.93	5.08	4.42	4.62	3.40	3.47
土壤(湿土)	95.75	11.90	11.38	6.50	4.50	3.93	2.75		2.27	2.00

30.1%,表明根据开放二分室模型拟合的曲线与实验点具有较好的一致性.

3 讨论

氙水在引入大豆-土壤系统后,由于蒸发有较大部分(87%以上)进入了空气,其余部分以自由水氙和结合态氙存在于大豆植株,以吸湿性水氙和结晶水氙存在于土壤,其中自由水氙和吸湿性水氙多于结合态氙和结晶水氙,只有大豆籽和成熟的茎杆例外.

氙水在大豆-土壤系统中的行为可以用开放二分室模型描述,经拟合理论值与实验点具有较好的一致性.

如果将植物中氙水比活度与土壤中氙水比活度之比定义为浓集系数,则可食部分大豆籽的 CF 值为 1.12,表明大豆籽对氙水没有富集作用.

参考文献:

- 井上义和.环境トリチウム研究の最近の动向,日本原子力学会志,1989,31(7):791~795.
- Jenner CF. Transport of tritiated water and ^{14}C labeled assimilate into grains of wheat I. Entry of THO through and in association with the stalk of the grain. Australia Journal of Plant Physiology. 1985, 12(6):573~586.
- Jenner CF. Transport of tritiated water and ^{14}C labeled assimilate into grains of wheat. II. Independence of entry of ^{14}C labeled assimilate and THO. Australia Journal of Plant Physiology. 1985, 12(6):587~594.
- Jenner CF. Transport of tritiated water and ^{14}C labeled assimilate into grains of wheat. III. Diffusion of THO through the stalk. Australia Journal of Plant Physiology. 1985, 12(6):595~607.
- 陈传群,王寿祥,张永熙等.氙水在模拟水稻田中的消长动力学.环境科学学报,1994,14(2):206~210.
- 孙志明,张永熙,王寿祥等.农业生物学研究中氙水液闪测样的制备.核农学通报,1993,14(3):143~144.
- 刘昌孝等.药理学概论.北京:中国学术出版社,1984.5~6.