

文章编号:1000-8551(2005)05-375-04

水稻对 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 的吸收和积累动态

孙桂莲¹ 史建君² 陈 晖²

(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, 浙江 杭州 310029;

2. 浙江理工大学理学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:用同位素示踪技术研究水稻对 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 的吸收和积累动态,及其在水稻田中的行为特性。结果表明:通过水稻根系和浸于水中的茎秆下部吸收的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子会向上部组织输送并形成积累趋势;在上部组织中,叶和茎秆上部的 ^{14}C 比活度随时间呈逐渐上升的趋势,而穗中的比活度于14d达最大值(271.9Bq/g)后又呈下降趋势;茎秆下部由于直接浸于水中,表现出对 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子的快速吸收、吸附,此后随时间呈下降趋势,根部表现出上升过程迟后于茎秆下部,其 ^{14}C 比活度也低于茎秆下部。上部组织(穗、叶和茎秆上部)中 ^{14}C 的百分含量随时间上升,而下部组织(茎秆下部和根)则相反,至试验后期(21~35d),其百分含量基本持平(约各占50%), ^{14}C 从下部组织向上部组织输送的特征非常明显。

关键词: $^{14}\text{CO}_3^{2-}$; 水稻; 吸收; 积累

ABSORPTION AND ACCUMULATION DYNAMICS OF $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ IN RICE

SUN Gui-lian¹ SHI Jian-jun² Chen Hui²

(1. Institute of Nuclear Agricultural Sciences, Zhejiang University/ Key Laboratory of Nuclear Agricultural Science, the Ministry of Agriculture, Hangzhou, Zhejiang, 310029; 2. College of Science, Zhejiang University of Sciences, Hangzhou, Zhejiang, 310018)

Abstract: Dynamics of absorption and accumulation of $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ in rice were studied by isotope-tracer technology in order to study the behavior of $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ in rice paddy. The results showed that: $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ ions absorbed by roots and lower part of stems (LPS) in water were transferred to upper part of rice plant (UPR), and presented a tendency of accumulation. In UPR, the specific activity of ^{14}C in leaves and upper part of stems (UPS) slowly increased with time while it in tassels tended to decrease after reaching the maximum (271.9Bq/g) at the 14th day. $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ ions were absorbed quickly in LPS dipping in water, and then slowly declined. Compared with LPS, the increasing tendency in roots was slowly and the specific activity of ^{14}C was also lower as roots embed in soil. The percentage of ^{14}C in UPR (tassels, leaves and UPS) was increscent with time, but reversed in LPR. During the late stage of experiment (21~35d), percentage in both UPR and LPR were almost equal, about 50% respectively. The characteristic of ^{14}C transferred from LPR to UPR was greatly evident.

Key words: $^{14}\text{CO}_3^{2-}$; rice; absorption; accumulation

^{14}C 是核电站的主要放射性气态流出物,核电站运行中生成的 ^{14}C 主要以气载排放物进入环境。根据有关报道,核电站的运行可能会引起地域性 ^{14}C 的增加^[1]。进入环境的气载 ^{14}C 主要以二氧化碳形式存在,在大气稀释过程中可能被生活在烟云经过地区的居民和动物直接吸入而造成内照射,还可通过

收稿日期:2004-11-22

基金项目:国家自然科学基金(20477040)

作者简介:孙桂莲(1979-),女,山西禹城人,硕士生,从事核电站放射性排放物的环境行为和放射生态学研究,Email:sfalp@163.com。史建君为通讯作者,Email:jjshi@zju.edu.cn

光合作用被吸收并参与植物的新陈代谢;烟云中所载带的一部分 $^{14}\text{CO}_2$ 遇大气中的水汽和尘埃中的金属离子结合成碳酸盐,在其输运过程中自然沉降或随降雨最终进入地表和水体,有可能通过陆生植物和水生动植物摄取或吸收而进入食物链,对公众的健康和安全形成潜在的危害。有关核电站放射性排出物 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs (^{134}Cs)、 ^{95}Zr 等核素的生态环境中的迁移和积累等行为前人已作了较多研究^[2~6]。但有关 ^{14}C 在生态环境中的行为特性研究尚未见报道。本试验采用模拟方法研究了水稻对 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 的吸收和积累动态。

1 材料和方法

1.1 同位素、土壤和水稻

$\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ 由中国原子能研究院同位素研究所提供。小粉土取自浙江杭州华家池浙江大学实验农场,经风干、粉碎,去除石块等杂物,主要理化性状为:pH(水浸)6.0,pH(盐浸)5.5,有机质 19.0 g/kg,交换性总酸 0.5 mmol/kg,交换性钙 118.0 mmol/kg,交换性镁 15.0 mmol/kg,粘粒(<0.001mm) 12.5 g/kg。早稻品种嘉育 293 由浙江大学实验农场提供。

1.2 试验方法

在 1m×1m×0.3m 的模拟生态池中装入风干的小粉土 300kg,加适量水湿润至饱和持水量后再加水 70L(水层深度约 7cm),静置 1 周后于 4 月 29 日插秧,每池 5 行,每行 6 丛,每丛 5 株。间隔加水以保持田表水深度基本恒定。于始穗期(6 月 17 日)引入比活度为 $6.67 \times 10^5 \text{Bq/ml}$ 的 $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ (^{14}C 模拟沉降物)水溶液 50ml,均匀滴注在供试水泥池中,并用玻璃棒谨慎搅拌,使之均匀分布,引入时田表水的平均比活度约为 $5.11 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ^[7,8]。

1.3 采样

于 $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ 引入后第 1、4、7、14、21、28 和 35 天采样,随机选取水稻 3 丛,根系清水冲洗后用吸水纸吸去表面水,然后将植株分为根、茎秆下部(根部以上 10cm 段)、茎秆上部、叶和穗 5 部分,分别称重后于 60℃ 烘干。

1.4 氧化燃烧法制样

将烘干后的水稻样品磨碎混合均匀后,称取 100mg 置于 OX-600 型生物氧化燃烧仪上 850℃ 下燃烧 3min,用含乙醇胺的闪烁液收集燃烧产生的 $^{14}\text{CO}_2$,通氧量和清洗氮气的通气量皆约 350ml/min,用于燃烧和携带植物组织燃烧时释放的 $^{14}\text{CO}_2$ 。燃烧前接收管中装 8ml 闪烁液,样品燃烧后,将其倒入测样瓶中,并用 2ml 闪烁液冲洗一次,一并加入测样瓶中,最后再加入乙二醇乙醚 2ml。闪烁液配方为:5g PPO、0.5g POPOP、二甲苯 600ml、乙醇胺 150ml、乙二醇乙醚 150ml 和甲醇 100ml。

1.5 放射性测量

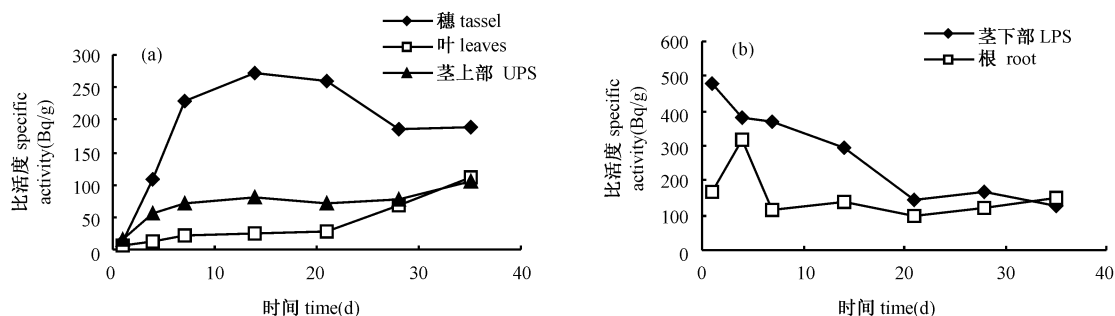
上述所有样品的放射性测量皆在 Wallac 1400DSA 液闪仪上测定,测量误差控制在 5% 以内,测量结果经扣除本底和氧化燃烧效率校正,换算成样品的鲜样(或干样)比活度。 ^{14}C 在水稻 i 部位的分布百分比由 $(C_i m_i / C_t m_t) \times 100\%$ 计算得到,其中 C_i 和 m_i 分别为 i 部位的 ^{14}C 比活度和质量。

2 结果与分析

2.1 水稻对 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 吸收和积累动态

实验结果显示,水稻各部位均检测到了 ^{14}C 的存在,说明通过水稻根系和浸于水中的茎秆下部吸收的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子会向上部组织输送并形成积累趋势,见图 1(a,b)。在上部组织中,叶和茎秆上部的 ^{14}C 比活度随时间呈逐渐上升的趋势(图 1a),积累特征明显。由于试验期间正处于水稻的抽穗灌浆期,营养生长减缓,生殖生长加速,从而致使 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子在叶和茎秆中表现出积累速度比较缓慢,后期(21~35d)叶中的 ^{14}C 比活度有加速上升的趋势,主要原因是试验后期水稻叶片的含水量下降,从而导致单位鲜重中干物质含量的提高,浓缩 ^{14}C 的含量。

穗中的 ^{14}C 比活度比叶和茎秆上部的比活度高得多,且在初始阶段(1~14d)上升很快,在 14d 达最

图 1 ^{14}C 在水稻中的分布和积累动态 (鲜重)Fig. 1 Distribution and accumulation of ^{14}C in rice (fresh weight)

UPS: upper part of stem; LPS: lower part of stem. The same as following figures.

大值 (271.9 Bq/g) 后又呈下降趋势, 分析其原因主要是 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子引入时正值抽穗灌浆期, 同化产物大量输送至穗部, 致使穗部的 ^{14}C 比活度呈快速增加。随着时间的推移, 水中的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子由于逐渐转化为 $\text{H}_2^{14}\text{CO}_3$ 而形成 $^{14}\text{CO}_2$ 气体散逸^[9], 水中的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子已经很少, 从而致使输送至穗部的同化产物中的 ^{14}C 含量降低, 对初始阶段 (1~14d) 积累的 ^{14}C 形成稀释, 使穗部的 ^{14}C 比活度呈下降趋势。

水稻茎秆下部和根部的 ^{14}C 比活度于第 1 天和第 4 天已达最大值 (477.4 Bq/g 和 318.8 Bq/g), 此后总体上呈下降趋势 (图 1b)。茎秆下部由于直接浸于水中, 表现出对 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子的快速吸收、吸附, 此后随时间呈下降趋势, 主要由以下两方面的因素造成: 其一, 随着时间的延长, 水中的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子下降, 水体对吸附在茎秆下部的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子的解吸作用超过了茎秆下部对水体中 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子的吸附作用, 总体上表现出吸附在茎秆下部的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子由于解吸而重新进入田表水中; 其二, 茎秆下部吸收的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子向上部组织输送, 从而致使其 ^{14}C 比活度下降。根部由于深入水稻土中, 未与田表水发生直接接触, 因此表现出上升过程迟后于茎秆下部, ^{14}C 比活度也低于茎秆下部。

$^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子在水稻中的分布与积累特性与放射性金属离子 (^{89}Sr 、 ^{95}Zr 和 ^{137}Cs) 有很大的不同, ^{89}Sr 主要积累在稻根和稻草中, 穗中的含量比较低^[10]; ^{95}Zr 主要蓄积在地下部和浸于水中的茎秆下部, 上部组织几乎为 0^[4]; 而 ^{137}Cs 几乎均匀分布 (根和稻草中略高一些)^[11,12]。

水稻干物质中 ^{14}C 比活度的分布和变化动态如图 2(a, b) 所示, 变化动态与鲜样相似。

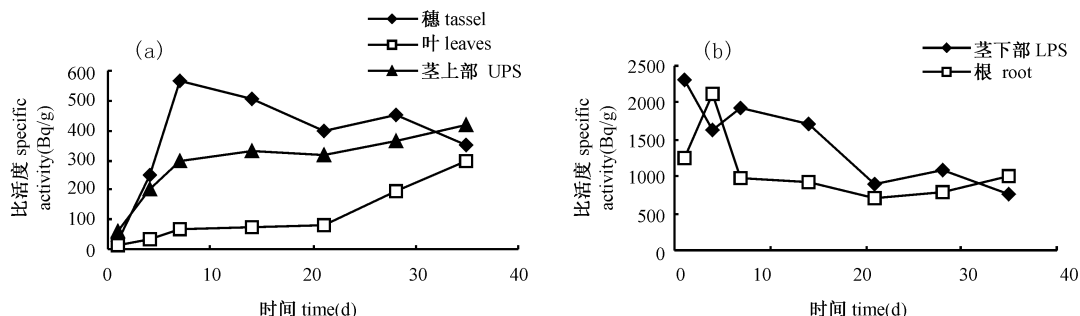


图 2 在水稻中的分布和积累动态 (干重)

Fig. 2 Distribution and accumulation of ^{14}C in rice (dry weight)

2.2 ^{14}C 在水稻中的分布百分比

以整株水稻中 ^{14}C 的含量为 100%, 计算水稻各部位中 ^{14}C 含量的百分比变化动态作图 (图 3a, b)。由图 3a 可见, 茎秆下部的百分含量最高, 在初始阶段 (1~14d), 其含量占 50% 以上, 随着时间的推移, 呈逐渐下降趋势。叶和茎秆上部的百分含量则随时间逐渐增加, 穗于第 7d 达最大值基本保持恒定。这一分布变化特征充分表明茎秆下部从田表水中吸收的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子会向上部组织 (穗、叶和茎秆上部) 迁移。

图 3b 是 ^{14}C 在水稻上部组织和下部组织(茎秆下部和根)中的分布百分比变化动态,上部组织中 ^{14}C 的百分含量随时间上升,而下部组织则相反,至试验后期(21d ~ 35d),其百分含量基本持平(约各占 50%), ^{14}C 从下部组织向上部组织输送的特征非常明显。

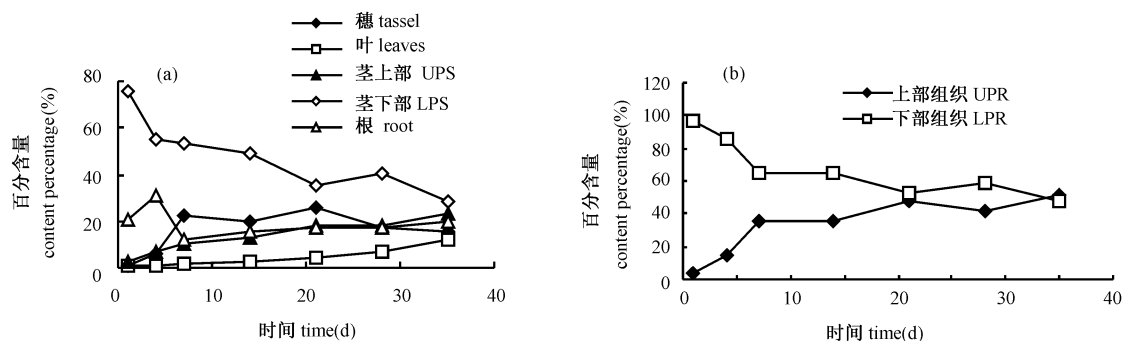


图 3 ^{14}C 在水稻各部位中的百分含量

Fig. 3 Content percentage of ^{14}C in the different parts of rice

UPR: upper part of rice; LPR: lower part of rice

3 小结

在水稻各部位中均检测到了 ^{14}C 的存在。在上部组织中,叶和茎杆上部的 ^{14}C 比活度随时间呈逐渐上升的趋势。穗中的 ^{14}C 比活度比叶和茎杆上部的比活度高得多,且在初始阶段上升很快,在 14d 达最大值后又呈下降趋势。茎杆下部表现出对 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子的快速吸收、吸附,此后随时间呈下降趋势,根部表现出上升过程迟后于茎杆下部, ^{14}C 比活度也低于茎杆下部。上部组织(穗、叶和茎杆上部)中 ^{14}C 的百分含量随时间上升,而下部组织则相反,至试验后期(21 ~ 35d),其百分含量基本持平(约各占 50%), ^{14}C 从下部组织向上部组织输送的特征非常明显。

上述结果表明,通过下部组织吸收的 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 会向水稻上部组织输送,并在叶片和稻穗中积累。运用这一原理,可通过检测水稻叶片的 ^{14}C 含量监测 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 离子在环境中的污染状况。

本文给出了 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 在水稻中的分布和积累状况,特别是 ^{14}C 在穗中具有较高的含量,对稻米的食用安全性有一定的影响,因此必须控制环境中 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 的污染水平,使稻米中的 ^{14}C 含量低于有关的安全标准。同时本文给出的结果为科学评定 $^{14}\text{CO}_3^{2-}$ 在水稻中的迁移、积累状况提供了基础数据,对制定适合我国的有关标准、法规具有参考意义。

参考文献:

- [1] 戴开美, Christopher J E, 等. 核电站附近大气中过量的放射性碳. 中国学术期刊文摘, 1998, 9: 1103 ~ 1104
- [2] Tsumune D, Aoyama M, et al. Numerical simulation of ^{137}Cs and ^{239}Pu , ^{240}Pu concentrations by an ocean general circulation model. Journal of Environmental Radioactivity, 2003, 69 (1-2): 61 ~ 84
- [3] Carini F, Brambilla M, et al. Cesium-134 and strontium-85 in strawberry plants following wet aerial deposition. Journal of Environmental Quality, 2003, 32(6): 2254 ~ 2264
- [4] Shi J J, Guo J F, Chen H. Dynamics of ^{95}Zr in the Rice/Water/Soil System. Applied Radiation and Isotopes, 2002, 56: 735 ~ 740
- [5] Veresoglou D S, Tsiatas J T, et al. Caesium and strontium uptake by two pasture plant species grown in organic and inorganic soils. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1995, 56(1): 37 ~ 42
- [6] Shi J J, Guo J F, Chen H. Distribution and Migration of ^{95}Zr in Marine Ecosystem. Water, Air and Soil Pollution, 2003, 149(1 - 4): 177 ~ 187
- [7] 张仲良, 王化新, 等. ^{14}C -杀螟松在模拟稻 3 鱼生态系统中的残留. 核农学报, 1991, 5 (3): 163 ~ 168
- [8] 谢学民, 王寿祥, 等. 核技术农学应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1989, 70 ~ 73
- [9] 陈寿椿. 重要无机化学反应(第三版). 上海: 上海科学技术出版社, 1994, 1322
- [10] 史建君, 王寿祥. 水稻对放射性铯的吸收及撒洒硅藻土对其行为的影响. 核农学报, 2003, 17(3): 203 ~ 206
- [11] 徐寅良, 陈传群, 等. 水稻对 ^{134}Cs 的吸收和 ^{134}Cs 在水稻 - 土壤中的分配. 核农学报, 1991, 5(1): 19 ~ 24
- [12] 商照荣, 于凤义, 路子显. 秦山、大亚湾核电站周围地区土壤盆栽水稻对 ^{137}Cs 的吸收规律. 辐射防护, 1995, 19(3): 183 ~ 188