

用 ^{141}Ce 示踪研究小麦对稀土的吸收速率和积累规律

李德成¹, 黄圣彪^{1, 2}, 彭安¹ (1. 中国科学院生态环境研究中心环境水化学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘要:应用 ^{141}Ce , 采用水培的方法研究冬小麦对稀土元素的吸收和分配规律及铈在水-植物界面间的传输速率. 结果表明, 在实验期内, 冬小麦幼苗中铈的浓度随培养时间的延长而增加, 随培养液中铈浓度的提高而增加; 铈在冬小麦各器官中的浓度, 根部的远大于在茎叶中的; 吸收速率是较高浓度处理的要高于较低浓度处理的, 并且在不同培养期中的吸收速率是不相同的. 对冬小麦的吸收速率随时间的变化规律进行了拟合, 给出了定量描述公式.

关键词:小麦; ^{141}Ce ; 吸收速率; 积累规律

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)02-04-0074

The Absorbed Rate and Distribution Rule of Rare Earth Elements in Wheat by ^{141}Ce as Tracer

Li Decheng¹, Huang Shengbiao^{1, 2}, Peng An¹ (1. SKLEAC, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

Abstract: The study on absorption, distribution rules and transportation rates of cerium in the interface of water-wheat by ^{141}Ce in culture solution were carried out. The results showed that the concentrations of cerium in wheat seedling were gradually increased during the experiment, and so did the same after increasing the concentration of cerium adding in the culture solution. The concentrations of cerium in roots of winter wheat were significantly high than that in tops (stem & leave). The absorption rates of cerium in wheat with different treatments of cerium were distinct. The quantitative formulas, which describe the rule of absorption rate and culture time, was given resulting from the fit of the experimental data.

Key words: wheat; ^{141}Ce ; absorption rate; concentration; distribution

我国稀土在农业上的应用研究从 70 年代初至今已有近 30 年的历史^[1~3]. 稀土应用于农作物的种类, 对各种农作物的增产、抑菌、抗病和改善农产品品质的效果研究比较充分, 同时稀土应用于农作物的作用机理和生理效应也进行了探讨. 然而稀土农用的环境化学行为及生态、毒理效应的研究报道较少.

目前, 关于作物对稀土元素的吸收、分布和积累的研究已有大量报道^[4~10], 关于植物对稀土元素的吸收速率和稀土元素在植物体内传输的研究也有文章发表. 但是稀土农用后对环境、

生态及人类健康带来影响如何有必要继续研究.

本文研究的目的是通过 ^{141}Ce 示踪, 采用水培的办法研究苗期的冬小麦对稀土的吸收和分配规律, 了解稀土在溶液-植物介质间的传输过程, 为建立稀土在环境介质中的迁移模型提供基础数据, 最终为稀土农用的风险性评价及预测提供科学理论依据.

基金项目: 国家自然科学基金资助重大项目(29890280)
作者简介: 李德成(1966~), 男, 博士生.
收稿日期: 2000-06-19

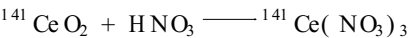
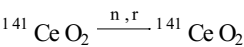
1 材料和方法

1.1 种子处理和幼苗培养

精选的冬小麦(品七)种子用 10 %的 H₂O₂ 表面消毒 30 min,清水洗净后,用饱和 CaSO₄ 溶液浸泡 4h 后转移到用饱和 CaSO₄ 溶液浸透的纱布上,覆以黑色塑料薄膜在 20℃下催芽,待胚根露出后播种到用饱和 CaSO₄ 溶液湿润的石英砂中,20℃下暗处萌发 3d,之后,置于温室 内培养 20d(2 叶 1 心),挑选生长整齐的幼苗移入 pH 为 6.0 的不同处理的营养液中,体积为 2.0L.每盆移入 30 株,用电动气泵昼夜连续通气.每 3d 补充 1 次营养液.幼苗生长在昼夜温度 20℃~15℃,6 只日光灯(60 W)光照 14h·d⁻¹的生长室中.

1.2 供试核素

¹⁴¹Ce(NO₃)₃ 按如下反应式制备:



根据实验设计,用¹⁴¹Ce(NO₃)₃ 和 Ce(NO₃)₃ 配制成实验需要的浓度和比活度.¹⁴¹Ce 溶液的活度由美国 Canberra 公司生产的 HPGe-3018-AccuSpec.8192 多道分析器刻度,相对误差 ± 3 %.

1.3 营养液组成

营养液的组成(mmol·L⁻¹):K₂SO₄ 0.75;MgSO₄ 0.65;KCl 0.1;Ca(NO₃)₂ 2.0;EDTA-Fe 0.1;MnSO₄ 1×10⁻³;H₃BO₃ 1×10⁻²;

CuSO₄ 1×10⁻⁴;ZnSO₄ 1×10⁻³;(NH₄)₆Mo₇O₂₄ 5×10⁻⁶.为了避免在营养液中生成磷酸铈沉淀,植物所需要的营养元素磷以 0.2 %的 KH₂PO₄ 定期喷施.实验设 1 个对照,3 个处理组,即营养液中 Ce³⁺ 的浓度分别为 20、40 和 80μg/ml,试液比活度均为 0.4875μCi·ml⁻¹.3 次重复.

1.4 样品的处理和测定

分别在小麦移栽 7、14、21、28、35、42 和 49d 取样,麦苗取出后,分别用水 5 %的 EDTA、3 %的柠檬酸钠和水洗净,之后,将样品分根和茎叶剪开,烘干,分别称重,剪碎.用 BHI 216 低本底 α、β 测量仪测定放射性活度,根据小麦样品的重量,计算小麦样品的根、茎叶和整株小麦中铈的含量.

2 结果与讨论

2.1 冬小麦对铈的吸收

国内外学者的大量研究证明,稀土元素对植物生长能起一定的调节或刺激作用,是促进植物生长的有益元素^[11,12].尽管稀土元素不是植物生长所必需的营养元素,但植物可以通过根部吸收稀土元素.从表 1 中可以看出,冬小麦各器官在不同时间里铈的浓度是不同的,即随着移栽时间的推移,铈在冬小麦的茎叶、根和全株中的浓度是不断增加的.另外,培养液中铈的处理浓度不同,小麦在不同时间里,其茎叶、根和植物中铈的浓度也不同.随铈在培养液中浓度的提高,冬小麦的茎叶、根及全株

表 1 冬小麦各器官中 Ce 的浓度随时间的变化(干重)¹⁾/mg·kg⁻¹

Table 1 Ce concentration in wheat organs in different time

器官	处理 /μg·ml ⁻¹	移栽的时间/d						
		7	14	21	28	35	42	49
茎叶	20	5.49±0.23	8.25±0.66	19.49±2.08	23.55±2.94	27.3±1.53	44.58±4.21	65.44±5.79
	40	5.56±0.41	10.73±1.13	38.36±4.85	61.16±7.22	76.55±7.71	94.84±7.26	222.36±18.34
	80	7.63±0.85	12.82±1.25	90.42±7.93	102.92±9.11	161.42±11.35	259.95±8.23	511.68±39.89
根	20	296±36	350±24	452±37	645±71	655±51	742±71	833±79
	40	711±65	755±63	1710±151	1715±159	1805±146	1908±43	2073±191
	80	1719±203	2232±166	2270±182	2531±237	2715±269	3535±59	3554±249
全株	20	301±28	358±25	471±40	669±62	682±53	786±75	899±63
	40	716±49	766±64	1749±135	1776±181	1881±117	2003±50	2295±189
	80	1727±182	2245±245	2361±187	2634±240	2876±238	3795±67	4066±359

1)表中数据为算术平均值±标准偏差.

中铈的浓度也随之增加.说明在一定范围内增加稀土浓度将导致冬小麦对其吸收量的增加.

2.2 铈在冬小麦中的分布

植物可以通过根部吸收稀土元素,并能通过输导组织将其运到植物的地上部各器官中.

从表 1 和表 2 中能够看出:铈在冬小麦的根和茎叶中的浓度是不同的,在各个处理中,根部的浓度远高于茎叶中的.这一结论与邝炎华等^[13]报道的铈在水稻中的分配规律是一致的.已有研究表明,稀土元素不能透过质膜,大部分吸着、沉积在细胞壁上,从而阻止了稀土元素向茎叶的运输^[14].在培养 49 d 时,3 个处理(20、40 和 $80\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) 中根部铈的浓度分别是茎叶中的 12.62、9.31 和 7.86 倍.从表 2 中还可看出:随着培养液中铈的浓度的提高,不仅导致植株中铈的浓度的提高,而且使铈在植株各部位的浓度及其占全株的比例发生了变化.当浓度从 $20\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 升高到 $40\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 时,铈在根部的浓度占全株浓度的比例降低了 2.35%,而铈在茎叶中的浓度占全株浓度的比例相应地增加了 2.35%;同样,当浓度从 $20\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 升高到 $80\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 时,铈在根部的浓度占全株浓度的比例降低了 3.94%,而铈在茎叶中的浓度占全株浓度的比例增加了 3.94%.这表明增加稀土的使用浓度提高了其在冬小麦地上部的积累.

表 2 Ce 在冬小麦各器官中的浓度和分配(移栽 49d 后) / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 2 The concentrations and distribution of Ce in wheat organs after transplanted for 49d					
处理 / $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$	根	茎、叶	全株	根中 Ce 占全株比 / %	茎叶中 Ce 占全株比 / %
20	833	65.4	899	92.66	7.34
40	2073	222.4	2295	90.31	9.7
80	3554	511.7	4066	88.72	11.28

2.3 冬小麦对铈的吸收速率

冬小麦的根对铈的吸收速率,以及在不同的培养时间根部吸收的铈通过输导组织向地上运输的速率见图 1 和图 2.由图 1 看出冬小麦根部对铈的吸收速率的情况是:在 $20\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 处理组中,吸收速率在实验过程中的变化不大,

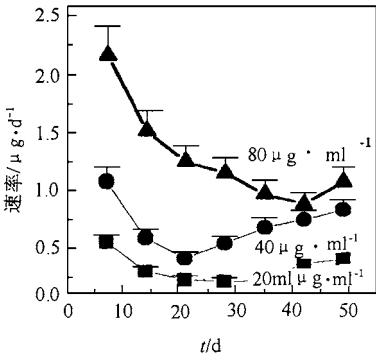


图 1 水培冬小麦根部对铈的吸收速率
Fig.1 The rate of uptake Ce by wheat root

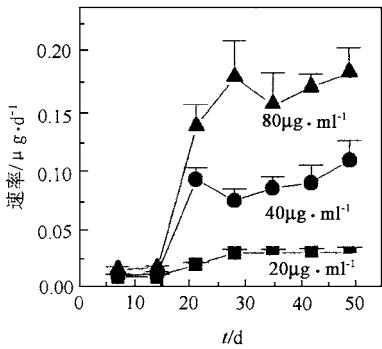


图 2 水培冬小麦地上部对铈的吸收速率
Fig.2 The rate of uptake Ce by wheat tops

即在 7 d ~ 21 d 里,吸收速率稍有下降,之后趋于不变,从 35 d ~ 49 d,吸收速率略有上升;在 $40\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 和 $80\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的处理组中,吸收速率的变化情况与 $20\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 处理组的基本相似,即速率由第 7 d 逐渐降低,然后趋于平稳,至试验后期又略有上升.但较高浓度处理的吸收速率要明显高于较低浓度处理的吸收速率.从图 2 看出,由根部吸收的铈向地上部运输的速率在整个实验过程中的变化是比较明显的. $20\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的处理组中,铈向冬小麦地上部传输的速率是平稳的上升,而在 $40\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 和 $80\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的处理组中,在 7 d ~ 14 d 时间里,传输速率基本不变,然后迅速升高, $40\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的处理组的速率在 21 d 时达到最高,之后稍有下降,至 28 d 时,速率又开始逐渐升高; $80\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的处理在 28 d 时,传输速率达到最高,之后的变化与

40 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的处理相似. 铈由根部向地上部传输的速率除在 7~14d 外, 也表现出高浓度的要高于低浓度的.

由图 1 和图 2 比较可以看出, 在同一浓度的处理中, 根部的吸收速率要显著的高于地上部的. 正是由于这一结果, 从图 3 中能够看出, 整株冬小麦对铈的吸收速率的变化情况与根部的非常相似, 说明冬小麦对稀土元素铈的吸收速率的大小取决于冬小麦的根部对其吸收的能力, 同时也表明, 冬小麦对稀土元素铈的吸收速率随培养液中铈的浓度的提高而明显地提高. 为了定量地说明不同试验处理浓度下, 冬小麦

麦苗对铈的吸收速率(y)与时间(x)的关系, 用一元三次方程对试验数据进行拟合, 给出了定量描述公式, 拟合的相关指数均达到了极显著水平, 拟合结果见表 3.

参考文献:

- 1 高小霞. 稀土对农业增产作用的研究. 中国稀土学会第三届学术年会论文集. 北京: 中国稀土学会, 1994, 8, 20~28.
- 2 汪华源. 我国稀土农用专题文献研究. 稀土, 1998, 19(2): 68~72.
- 3 郭伯生. 稀土在生物领域中应用研究进展. 稀土, 1999, 20(1): 64~68.
- 4 吴兆明, 汤锡珂, 高小霞等. 稀土元素对农业增产作用的研究. 1. 稀土元素在植物体内的含量和分布规律初探. 中国稀土学报, 1983, 1(1): 70~75.
- 5 雷少琼, 赵秉熙, 孙鹏年等. 用 ^{141}Ce , ^{141}Nd 研究稀土元素在小麦体内的分布及其存在状态. 安徽农学院学报, 1986, (增刊): 6~10.
- 6 朱永懿, 陈景坚, 宋桂芝. 小麦对稀土元素吸收、分布及积累规律的研究. 中国稀土学报, 1987, 5(2): 61~65.
- 7 孙家美, 李凡庆. 根施稀土后 La 在大豆幼苗体内分布状况的初步研究. 稀土, 1990, 11(3): 32~34.
- 8 刘书娟, 王立军, 章申等. 长期喷施稀土对土壤-植物(小麦)系统中系统元素分布、积累及运移的影响. 应用生态学报, 1997, 8(1): 55~58.
- 9 王芹, 孙昊, 王华婷等. 2 种形态稀土在水稻幼苗体内的富集规律研究. 环境科学, 1997, 18(6): 50~52.
- 10 谢晓梅, 徐洛, 蔡继宝等. La 在大豆幼苗根中的分布. 稀土, 1999, 20(1): 61~63.
- 11 胡勤海, 叶兆杰. 稀土元素的植物生理效应. 植物生理学通讯, 1996, 32(4): 296~300.
- 12 郭伯生, 熊炳昆, 胡朝浦等. 稀土在农牧业中的应用概况和研究工作最新进展. 稀土, 1993, 15(6): 37~43.
- 13 邝炎华, 邓志群. 应用 ^{141}Ce 示踪研究水稻对铈的吸收和分配规律. 环境科学, 1981, 2(1): 40~44.
- 14 Brown P H et al. Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. 1990, (13): 423~453.

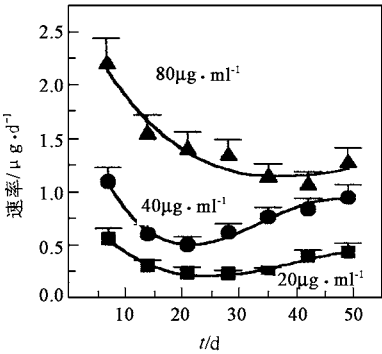


图 3 水培冬小麦对铈的吸收速率

Fig. 3 The rate of uptake Ce by wheat

表 3 冬小麦对铈的吸收速率与时间的拟合方程

Table 3 The quantitative formulas of the uptake Ce rate by winter wheat with time

处理/ $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$	方程	相关指数(R^2)
20	$y = -2 \times 10^{-5} x^3 + 0.0021 x^2$	0.9633
	$-0.0718 x + 0.9633$	
40	$y = -5 \times 10^{-5} x^3 + 0.0053 x^2$	0.9729
	$-0.1556 x + 1.9203$	
80	$y = -2 \times 10^{-5} x^3 + 0.0024 x^2$	0.9408
	$-0.1107 x + 2.7941$	