

小麦、黑麦和油菜幼苗对土富集迁移规律的研究

胡 忻¹, 陈逸君², 戴乐美², 王晓蓉^{1*}

(1. 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学环境学院, 江苏 南京 210093, E-mail: ekxr@nju.edu.cn
2. 南京大学现代分析中心, 江苏 南京)

摘 要:选择小麦(*troticum aestivum* L.)、黑麦(*Secale Cereale* L.)、油菜(*Brassica rapa* L.)作为试验作物,研究其对稀土镧迁移累积的时间效应和浓度效应。结果表明:(1)镧能在3种作物中迅速累积。随着试验液镧浓度的增加,作物中镧的积累量也增加,但与镧的暴露浓度不呈现线性相关性。(2)积累效应主要发生于暴露早期。随着暴露的延长,作物体内的镧含量逐渐稳定。(3)镧在3种作物中的积累具有明显的种属特异性。油菜中的镧积累量远高于小麦和黑麦中,但3种作物的茎叶和根中的镧积累量的比值差异较大,其中小麦远高于其它两种作物,表明小麦对镧的输送作用比其他两种作物强。

关键词:镧; 迁移; 转化; 小麦; 黑麦; 油菜

中图分类号:X835 文献标识码:A 文章编号:1000-0267(2002)02-

Bioaccumulation and Transformation of Rare – Earth Lanthanum in Wheat (*Troticum aestivum* L.), Rye(*Secale Cereale* L.) and Rape(*Brassica rapa* L.) Seedlings

HU Xin¹, CHEN Yi-jun², DAI Le-mei², WANG Xiao-rong¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Department of Environmental Science; 2. Center of Material Analysis of Nanjing University, Nanjing University, Nanjing 210093, P. R. China)

Abstract: Wheat (*Troticum aestivum* L.), rye(*Secale Cereale* L.) and rape(*Brassica rapa* L.) were selected as test plants to study bioaccumulation and transformation of rare earth lanthanum under exposure of time and concentration. The results showed: 1) Lanthanum could be accumulated in three crops very rapid. The content of La in three crops increased with the enhancement of La in test solution, although it didn't show linear correlation with the addition of La. 2) The accumulation mainly occurred in forepart exposure. With the exposure going on, the concentration of La in the plants became constant. 3) The accumulation of La in the crops had obviously generic specialty. The difference of La concentration in three crops was very significantly. The ratio of La in shoot and root for the three crops showed that wheat was higher than the rest two, while the accumulation of La in shoots of wheat was much more liable than that in the rest two.

Keywords: lanthanum; transformation; bioaccumulation; wheatrie; rape

稀土微肥的广泛施用已取得了一定的经济效益,然而稀土元素的生理及毒理效应尚不清楚,一些文献报道关于稀土对作物生长的影响的结论相互矛盾。如La抑制小麦根生长^[1];Diatleff等(1998)报道叶面及根部施用稀土元素结果对 *Zea Mays* 和 *mungbean* 生长有害^[2];然而 He and Loh (2000) 研究报道镧、铈促进 *Ara-bidopsis thaliana* 芽分化及繁殖生长^[3]; Meehan 等(1993)报道镧铈增加小麦产量^[4];盆栽实验施用高达 100 mg · kg⁻¹硫酸铈促进 *Phaseolus radiatus* and *Bras-sica pekinensis* 根和茎叶生长^[5]。同时,研究表明稀土

元素能沿食物链传递^[6]。目前对稀土农用有两种相矛盾的观点:(1)谨慎施用,不要步铜铅污染之后尘^[6];(2)有益无害,可广泛施用^[7]。由于稀土施用效果受到土壤理化性质影响,如土壤 pH、Eh、有机物含量、土壤 CEC 等因素影响,盆栽试验及野外试验结果相差较大。本文采用室内水培方法,以镧作代表,研究油菜、小麦和黑麦3种作物的时间富集迁移效应和浓度富集迁移效应。由于培养液营养元素浓度及稀土元素的含量可以精确控制,作物的生长条件一致,试验结果可准确地反映作物的迁移富集基本机理。

1 材料和方法

1.1 作物幼苗培育

以小麦(*troticum aestivum* L.)、黑麦(*Secale Cereale*

收稿日期: 2001-05-09
基金项目:江苏省自然科学基金(BK990340);国家自然科学基金
(29890280-1)资助
作者简介:胡 忻()
* 通讯联系人

L.)、油菜 (*Brassica rapa* L.) 为试验作物。其种子用 2% 的 NaClO 浸泡 30 min 后用蒸馏水清洗干净, 然后置于 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 恒温光照培养箱中。3 d 后小麦和黑麦发芽, 而油菜 5 d 后发芽。小麦苗和黑麦苗转移到 Hongland 培养液培养 2 周, 油菜苗转移到 Hongland 培养液培养 3 周。整个试验在温室中进行, 光暗比为 12 h/12 h。

1.2 非竞争富集浓度效应试验

移植 20 颗试验作物分别置于含有不同浓度镧 $(0.5、5、10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ 200 mL 去离子水中。试验液的 pH 值控制在 5.5 ± 0.2 。同时设置平行样及对照组。所有试样均置于 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 恒温光照培养箱中。在 24 h 连续光照后, 收割样品。在暴露开始起每隔 4 h 从每个烧杯中采集 2 mL 溶液, 测定其中的镧浓度。

收割的样品用蒸馏水洗过后, 小麦和黑麦分为根、茎和叶, 油菜则分为根和茎叶, 烘干, 分别测定镧含量。

1.3 富集时间效应试验

以含有 $5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 镧的无磷培养液为试验液, 每天光照结束前定量叶面喷施 $1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ KH_2PO_4 。其它的处理方法同热力学试验。作物在暴露 12 h、24 h、36 h、48 h、72 h、96 h 时收割。分割根和茎叶两部分, 蒸馏水清洗, 烘干。

1.4 试验作物中镧的测定

收割的样品置于烘箱控制在 $85^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 中烘干, 恒重, 然后置于 25 mL 烧杯, 用浓硝酸 (5 mL) 和浓高氯酸 (0.5 mL) 浸泡 24 h 后电热板加热消化至白烟赶尽, 冷却, 残留物用 7% HCl 溶解, 最终溶液体积为根 5 mL、茎叶 10 mL。ICP - AES 测定。

2 结果和讨论

2.1 暴露浓度效应

2.1.1 3 种作物对 La 富集的影响

表 1 和图 1 显示镧在 3 种作物的茎叶和根中的积累。结果表明, 3 种作物暴露于镧溶液 24 h 后镧积累量远高于野外调查和盆栽试验^[8]。随着试验液镧浓度的升高, 镧在作物中的积累也逐渐增加, 并且根中镧积累量的增加速率大于茎叶。黑麦和小麦中镧积累量顺序为: 根> 茎> 叶。小麦茎和叶中的镧含量高于黑麦茎和叶中的镧含量, 小麦和黑麦茎中镧含量随暴露浓度的升高而明显增大。显然根是植物的主要积累组织, 这和野外试验是一致的。

2.1.2 试验液中镧浓度随暴露时间的变化

表 1 油菜、黑麦、小麦 3 种作物茎叶镧富集 $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{DW})$
Table 1 The content of La in shoots of three crops $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{DW})$

作物及部位	测试液 La 浓度 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		
	1.0	5.0	10.0
黑麦叶片	6.26	6.77	6.84
黑麦茎	19.6	111	90.5
小麦叶片	12.3	23.5	31.3
小麦茎	39.8	283	667.6
油菜茎叶	50.5	58.3	51.0

图 1 小麦、黑麦及油菜根部镧富集量

Figure1 The concentration of La in the roots of wheat, rye and rape

由图 2 可以看出在暴露初期, 镧浓度迅速下降。如果试验溶液的体积在整个试验过程中不变, 则溶液中镧浓度的变化可直接反映作物对镧的积累。实际测量表明试验后试验液的体积变化很小, 故试验液中镧浓度随暴露时间的变化可以作为重要参考。由图 2 同样可以看出在暴露开始镧的积累是很迅速的。在前 4 h 中, 溶液中约有 70% 的镧被吸收, 随着暴露的持续, 单位时间溶液中镧的减少量越来越少, 并且在三个水平上很相似。据报道, 藻类对金属离子的吸收有两步, 首先迅速地吸附于藻细胞的表面, 然后缓慢地扩散进入细胞内部^[9]。我们的试验结果与藻对金属离子的吸收与吸附是一致的。此外, 由图 2 还可以观察到初始暴露浓度为 $10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的试验液最终浓度高于 $5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 初始暴露浓度为 $5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的试验液最终浓度高于 $1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。所以高浓度组在暴露后期试验组镧胁迫仍然很高, 表明其在作物中的积累与暴露浓度不成线形关系。可能是作物对金属离子的抗性阻止

图 2 试验液中 La 暴露浓度随暴露时间变化关系
Figure2 The changes of concentration of La in test solution with the exposing time

金属进入体内。

2.1.3 暴露时间对 3 种作物 La 富集的影响

3 种作物根和茎叶对镧的富集量与暴露时间关系见图 3。可以看出,La 在作物根和茎叶中的积累随暴露时间增加而增大,但积累量与暴露时间并非线性关系,且观察到油菜根和茎叶中镧的积累量明显高于小麦和黑麦。油菜对镧的积累可能主要发生在最初的 12 h。对于小麦和黑麦的茎叶而言,暴露 24 h 时基本达到平衡。这说明,小麦和黑麦中,镧从根到茎叶的输送比油菜慢。同样还看出镧在 3 种作物根中的分布明显高于茎叶。

2.2 3 种作物对镧富集的种属特异性

3 种作物 La 的富集量差异较大,油菜的累积量远高于小麦和黑麦,表明 3 种作物对镧的积累具明显的种属特异性。表 2 列出了浓度效应试验中 3 种作物的茎叶积累量与根积累量的比值($C_{La-茎叶} / C_{La-根}$)。黑麦的 $C_{La-茎叶} / C_{La-根}$ 值最小,当 $C_{La-茎叶} / C_{La-根}$ 值到

表 2 小麦、黑麦和油菜 3 种作物茎叶与根 La 富集量之比 ($C_{茎叶} : C_{根}$)

Table2 the ratio of La in shoot to root of seedlings in kinetics experiment ($C_{shoots} : C_{roots}$)

作物	暴露时间/h					
	12	24	36	48	72	96
黑麦 ($\times 10^{-3}$)	4.30	6.00	6.07	6.41	6.40	6.18
小麦 ($\times 10^{-3}$)	11.4	15.7	15.1	15.8	16.6	15.5
油菜 ($\times 10^{-3}$)	7.10	8.60	8.88	8.99	9.23	9.23

表 3 黑麦和小麦叶、茎、根镧富集量之比 ($C_{叶} : C_{茎} : C_{根}$)

Table3 The ratio of La in leaves to stems and roots of seedlings in thermodynamics experiment ($C_{leaves} : C_{stems} : C_{roots}$)

作物	测试液 La 浓度/ $mg \cdot L^{-1}$		
	1.0	5.0	10.0
黑麦	0.575: 1.80: 100	0.178: 2.93: 100	0.162: 4.52: 100
小麦	0.980: 3.17	0.621: 7.52: 100	0.562: 12.0: 100

后大量的镧被作物所吸收。随着暴露溶液中镧浓度的增加,作物对镧的积累量也逐渐增加,但随时间的延长积累量趋于稳定。镧在作物中的积累显然具有种属特异性。油菜的茎叶和根对镧的积累远高于小麦和黑麦。小麦对镧的敏感性高于黑麦和油菜。所获得的结果可为稀土元素的农用风险评价提供理论依据。

参考文献:

[1] Kinraide T B, Ryan P R, Kochian L V. Interactive effects of Al^{3+} , H^{+} and other cations on root elongation considered in term of cell – surface electrical potential[J]. *Plant Physiol*, 1992, **99**: 1461 – 1468.

[2] Diatloff, E Asher, C J Smith FW. The effects of rare earth elements on the growth and nutrient of plants[J]. *Materials Science Forum*, 1999, **315**(1 – 3): 354 – 360.

[3] He Yawen, Loh Chiangshiong. Cerium and Lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*[J]. *Plant Science*, 2000, **159**: 117 – 124.

[4] Meehan B, Peverill K, Skroce A. The impact of bioavailable rare earth elements in Australia agricultural soils[A], in: First National Workshop on Soil and Plant Analysis, 1993, 36 – 41.

[5] Velasco J R, Domingo L E, Lansangan A S, Sierra Z N. Cultural studies on coconut Cadang: reaction of plants to the rare earths, thalium and certain soil samples, The Philippine J. Coconut Stud. 1979, **4**: 1 – 13.

[6] 陈祖义. 稀土的生物学效应与农用稀土累积影响[J]. 农村生态环境, 1999, **15**(3): 44 – 48.

[7] 郭伯生. 稀土在生物学领域中应用研究进展[J]. 稀土, 1999, 64 – 69.

[8] 王玉琦, 孙景信, 陈红民, 郭繁清. 中子活化法研究稀土矿区植物体中稀土元素的分布特征[J]. 中国稀土学报, 1997, **15**(2): 160 – 164.

[9] Xue Hanbin, Werner Stumm, Laura Sigg. The binding of heavy metal to algal surfaces[J]. *Water Res*, 1988, **22**(7): 917 – 926.

[10] Marschner Herst. "Mineral Nutrition of Higher Plants" Second Edition 1995 Academic Press, New York.

图 3 镧在小麦、黑麦和油菜茎叶及根富集

Figure 3 The bioconcentration of La in the shoots and roots of wheat, rye and rape

达 6.41×10^{-3} 后,开始下降,且变化较小。尽管油菜的积累量在 3 种作物中最高,但其 $C_{La-茎叶} / C_{La-根}$ 值却低于小麦。由此可见,小麦的敏感性高于油菜和黑麦。表 3 列出了 La 在小麦和黑麦叶、茎、根中积累量的比值,与表 2 中的结果一致。从表 3 还可以看出随外源稀土增加,小麦、黑麦茎镧累积比值升高,而叶的比值降低,表明茎是植物累积的重要器官。表 3 表明富集量相近时,小麦茎和叶积累量会高于黑麦,小麦比黑麦更易受稀土伤害。油菜是双子叶植物,而小麦和黑麦是单子叶植物。双子叶植物根系的阳离子交换容量(CEC)高于单子叶植物^[10]。由于根系的阳离子交换容量与金属离子的积累是直接相关的。因而在同样的培育条件下,油菜对镧的积累量高于小麦和黑麦,而黑麦的抗性高于小麦,故小麦更容易受到伤害。

3 结论

研究表明镧在作物中能迅速积累。在 24 h 暴露