

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第14期 Vol.31 No.14 2011

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第14期 2011年7月 (半月刊)

## 目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性.....	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化.....	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例.....	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析 .....	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法.....	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化.....	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型.....	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位.....	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响.....	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征.....	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布.....	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用.....	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
铜在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应 .....	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估 .....	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系.....	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响.....	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素.....	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响.....	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响.....	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选.....	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式.....	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法 .....	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型 .....	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应.....	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
<b>专论与综述</b>	
鸟类分子系统地理学研究进展 .....	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优化选择方法 .....	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素.....	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子.....	张吉忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测.....	余晨兴,全 川 (4126)
<b>研究简报</b>	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价 .....	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态.....	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例.....	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异 .....	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 33 \* 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

翁伯琦, 姜照伟, 王义祥, 黄元仿. 镨在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应. 生态学报, 2011, 31(14): 3973-3979.

Weng B Q, Jiang Z W, Wang Y X, Huang Y F. Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3973-3979.

## 镧在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应

翁伯琦<sup>1,\*</sup>, 姜照伟<sup>2</sup>, 王义祥<sup>1</sup>, 黄元仿<sup>3</sup>

(1. 福建省农业科学院农业生态研究所, 福州 350013; 2. 福建省农业科学院水稻研究所, 福州 350019;  
3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要:**利用稀土镧肥种植牧草南非马唐,采用含镧牧草栽培杏鲍菇和以菇渣作为有机肥种植牧草进行连续性试验,研究镧在草-菇-土系统中的分配与生物富集情况。结果表明:施镧处理的南非马唐和杏鲍菇各器官的镧元素含量均高于不施镧处理,其中镧在牧草南非马唐中的分布为根>叶>茎,镧在杏鲍菇中的分布为菌盖>菌柄;外源镧进入土壤以后,南非马唐不同器官的镧元素生物富集系数均随着镧施入量的增加而增大,其中以根的镧生物富集系数最大,介于 0.443—0.580 之间。除高剂量( $M_4$ )处理外,叶和茎的镧生物富集系数不同处理间无显著差异,但根出现明显变化;含镧牧草栽培杏鲍菇和菇渣种植南非马唐后,不同器官的镧含量无显著增加,说明镧残留在草-菇-土系统中迁移转化效率降低。

**关键词:** 镨; 草-菇-土系统; 循环; 生物富集; 南非马唐; 杏鲍菇

## Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system

WENG Boqi<sup>1,\*</sup>, JIANG Zhaowei<sup>2</sup>, WANG Yixiang<sup>1</sup>, HUANG Yuanfang<sup>3</sup>

1 Agricultural Ecology Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China

2 Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350019, China

3 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China

**Abstract:** Rare earth elements (REE) and their compounds have been widely applied in agronomic and medical fields for many years. The bioinorganic chemical research of REE in the past few years indicates that REE play important roles in the promotion of photosynthesis, root absorption, and regulation of hormone and nitrogen metabolism. There was an increasing interest in the bioaccumulation processes of rare earth elements (REEs) due to the wide application of REEs in a variety of non-nuclear industries and agriculture, resulting in possible environmental contamination. Investigations into the bioaccumulation characteristics of REEs have been carried out in recent years as sensitive techniques such as inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and neutron activation analysis (NAA) have became available. Despite extensive studies on REE uptake and transport in plants, few studies have been carried out on the REE fractionation in the soil plant system via laboratory experiments. However, little attention has been paid to the REE fractionation and migration in the multi-link food chain. In this study, three cultivation experiments were carried out, including the pot experiments of *Digitaria smutsii* cultivation with La fertilizer and mushroom residue fertilizer, and the experiment of *Pleurotus eryngii* cultivation using La-applied forages as medium. The distribution and biological concentration of lanthanum (La) in the forage-mushroom-soil system were discussed. The results showed that the trend of La adsorption of *D. smutsii* were root > leaf > stem. La concentration in all organs of forage increased with the increase of La application rate. La relative content of

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD89B13); 福建省农业科学院创新团队项目(STIF-Y01)资助

收稿日期:2010-05-05; 修订日期:2010-07-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: boqiweng@yahoo.com.cn

roots in La application treatments rose significantly, increasing by 10.76%—31.37% compared with the control. The yield of *P. eryngii* fruitbodies with the La application treatment increased by 16.10% compared with that of the no-La application treatment, but there was no significant difference between them. The trend of La adsorption of *P. eryngii* were pileus > stipe. There was no significant difference in the La concentration of *P. eryngii* between the La application treatment and the control. La concentration in fruitbodies were 0.7 mg/kg or so, lower than the critical limit of rare plant food standards in China (2 mg/kg). The results also showed that the bioaccumulation coefficients of La by *D. smutsii* increased with increasing La dose, and that the bioaccumulation coefficient of root was the highest, ranging between 0.443 and 0.580. Except for the high-dose La treatment ( $M_4$ ), there was no significant difference about the bioaccumulation coefficients of La by leaf and stem among the other treatments, but that of root obviously varied. The results of *P. eryngii* cultivation with La-applied forage showed that there was no significant difference about the bioaccumulation coefficients of La by pileus and stipe. But La bioaccumulation coefficients of the control were 2.45—2.61 times of that of the La application treatment. This explained that the La bioavailability in forage was lower to *P. eryngii*. The results of *D. smutsii* cultivation with residues showed that there were no significant difference about La bioaccumulation coefficients among different treatments. This study revealed that reuse efficiency of exogenous La gradually decreased after several biological cycles. Only a small amount of lanthanum was absorbed by living organisms, most of the La elements still remained in the environment.

**Key Words:** lanthanum; forage-mushroom-soil system; recycling; bioaccumulation; *Digitaria smutsii*; *Pleurotus eryngii*

稀土元素具有对动植物生理生化反应的“激活”和“类激素”作用,因而在农业生产中得到广泛应用,但是稀土在环境中的积累以及沿生态系统食物链迁移时引发的环境安全问题也随之产生<sup>[1]</sup>。据报道,使用稀土元素的农业作物已有100多个品种、林木30余种、牧草20余种<sup>[2]</sup>。稀土元素能增强食用菌对培养料内无机氮的吸收、转化和利用,促进菌丝生长,增强食用菌对培养基中碳源物质的降解作用和提高产量,故在食用菌生产上也得以应用<sup>[3]</sup>。但目前有关稀土农用效果的研究多集中于农用稀土施用后农作物产量和品质以及植株对土壤养分吸收的变化<sup>[4]</sup>,很少关注稀土在生态系统系统中的累积及迁移规律<sup>[5]</sup>。

杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)又名刺芹侧耳、杏仁鲍鱼菇,属侧耳科侧耳属<sup>[6]</sup>。该菇肉质肥厚,味道鲜美,质地脆嫩细腻,有杏仁香味<sup>[7]</sup>。20世纪90年代我国就开始有关杏鲍菇的生物学特性及栽培技术等方面的研究<sup>[8-10]</sup>。目前在我国的福建、浙江和上海等省市均有杏鲍菇栽培<sup>[11-12]</sup>。但在实际栽培中,因杏鲍菇菌丝生长慢和分解力较弱,导致菌袋污染率较高和产量低;另外,杏鲍菇栽培产生的大量菌渣被随意丢弃或堆放,造成资源浪费和环境污染<sup>[13]</sup>。为此,本研究通过稀土镧肥种植禾本科牧草南非马唐后,利用吸收稀土元素镧的牧草栽培食用菌,探讨菇类对植物体(牧草)内镧的吸收利用规律及其影响效应;同时,将菇渣返回用作牧草生长有机肥,研究镧的迁移动态与残留状况,分析镧元素的循环利用效率及其安全性,旨在为镧的合理施用和“草-菌-渣”循环模式研究提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)由福建省农业科学院食用菌开发利用研究中心提供菌种。禾本科牧草南非马唐(*Digitaria smutsii*)由福建省农业科学院农业生态研究所提供种苗。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 镧肥施用试验

试验于2005年在福建省农业科学院农业生态研究所进行。南非马唐(*Digitaria smutsii* CV. Premier)于2005年4月22日移栽,每盆定株3丛。盆子规格:直径27 cm,高33 cm,装土10 kg。土壤为山地红壤,取自福州北郊,其基本理化性状为:土壤田间持水量28.2%,有机质11.0 g/kg,pH 5.04,全氮0.039 mg/kg,碱解氮35.01 mg/kg,速效磷4.71 mg/kg,速效钾69.86 mg/kg。试验共设5个处理,分别为CK<sub>1</sub>(0 mg/L LaCl<sub>3</sub>)外,M<sub>1</sub>

( $250\text{ mg/L LaCl}_3$ )、 $M_2$ ( $500\text{ mg/L LaCl}_3$ )、 $M_3$ ( $750\text{ mg/L LaCl}_3$ )、 $M_4$ ( $1000\text{ mg/L LaCl}_3$ )。每个处理重复3次,所有处理均施尿素 $1.49\text{ g/盆}$ ( $N 120\text{ kg/hm}^2$ )、过磷酸钙 $2.86\text{ g/盆}$ ( $P_2O_5 60\text{ kg/hm}^2$ )、氯化钾 $0.48\text{ g/盆}$ ( $K_2O 50\text{ kg/hm}^2$ )。于牧草分蘖期(2005年8月16日)进行土施处理,每盆1次性施入各处理相应浓度的 $\text{LaCl}_3$ 溶液 $1\text{ L}$ 并浇水至整盆土壤湿润,75 d后收割。

### 1.2.2 杏鲍菇栽培试验

杏鲍菇的栽培配方为:棉籽壳38.5%、草粉33%、麦麸25%、白糖1%、 $\text{CaCO}_3$ 1%、石灰1%、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 0.3%、 $\text{MgSO}_4$ 0.2%, $\text{pH } 7.0\text{--}7.5$ 。试验选用上述试验的南非马唐草粉作为杏鲍菇的栽培料,共设2个处理: $A$ ,施镧南非马唐草粉; $B$ ,不施镧南非马唐草粉。2个处理培养料中镧含量分别为 $3.64\text{ mg/kg}$ 和 $1.32\text{ mg/kg}$ 。栽培时先将培养料搅均匀,含水量调至65%,每种培养料各装12袋,每袋装干料250 g,高压灭菌,按2%接种量接种。培养菌丝温度为 $25\text{--}28\text{ }^\circ\text{C}$ ,待菌丝走满袋后移入栽培室,温度控制在 $12\text{--}16\text{ }^\circ\text{C}$ 。当杏鲍菇菌盖直径为4—5 cm时采收,置于 $75\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干箱内烘干后,粉碎备用。

### 1.2.3 菇渣肥料试验

利用上述2种栽培杏鲍菇处理的菇渣作为肥料,栽种禾本科牧草南非马唐。菇渣施用量为每盆50 g,另设不施菇渣为对照( $CK_2$ ),共计3个处理,每个处理重复3次。南非马唐于2006年3月30日移栽,每盆定株3丛。每盆施尿素 $1.49\text{ g}$ ( $N 120\text{ kg/hm}^2$ )、过磷酸钙 $2.86\text{ g}$ ( $P_2O_5 60\text{ kg/hm}^2$ )、氯化钾 $0.48\text{ g}$ ( $K_2O 50\text{ kg/hm}^2$ )。于2006年8月1日收割。样品采回后,分解为茎、根、叶和荚,先在 $105\text{--}110\text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青2 h,然后在 $75\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干至恒量,称量。

### 1.3 测定项目与方法

样品置于 $6\text{ mol/L HCl}$ 溶液中于 $110\text{ }^\circ\text{C}$ 水解24 h,利用氨基酸分析仪(日立835-50型,日本)测定氨基酸含量<sup>[14]</sup>;样品在玛瑙研钵中研成粉末状后,准确称取 $0.5000\text{ g}$ 置于消煮管中,用 $\text{HNO}_3$ 和 $\text{HClO}_4$ 混合液消解,最后将消解后样品定量转移到容量瓶中,加入 $20\text{ }\mu\text{L/mL Re}$ 内标液制成待测样品,用电感耦合高频等离子体原子发射光谱仪( ICP2AES,英国)测定稀土元素镧含量<sup>[15]</sup>。全氮采用半微量凯氏法,全磷采用钒钼黄比色法,全钾采用四苯硼酸钠重量法。

### 1.4 数据处理

南非马唐不同器官对La的生物富集系数由La在各器官中La浓度除以土壤中的La浓度进行计算。所有数据均采用Excel 2003和SPSS软件中的单因素方差分析(one-way ANOVA)进行统计分析,采用最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 施镧肥对南非马唐镧含量和分配的影响

由表1可以看出,稀土元素镧在南非马唐植株中浓度的大小顺序为根>叶>茎,各器官中La浓度均存在显著性差异,且均随着稀土镧施用量的增加而增大,其中根部镧浓度增加最为明显,比对照增加了 $10.76\text{--}31.37\%$ ,并在较高施用浓度处理中根稀土元素镧浓度增加达到显著水平。但南非马唐叶的镧浓度各处理间无显著性差异,茎部镧浓度只有 $M_4$ 处理与对照的差异达显著性水平。

用镧元素在植物各部位的相对含量(即植物各部位中镧元素绝对总含量在整株中的分配比例)来描述镧元素的分配行为,而地上部的相对含量可反映稀土元素向地上部的转移率。由表1可以看出,无外加稀土元素的对照处理中,84%的La积累于根系中,叶和茎各积累约8%的La。施镧处理根积累La的比例略有提高,为 $84.88\text{--}85.57\%$ ,其中 $M_2$ 和 $M_3$ 处理与对照间的差异达到显著性水平;叶和茎各积累7%—8%的La,施镧处理叶中La相对含量与对照间的差异均达到显著性水平。除了 $M_4$ 处理外,茎中La相对含量与对照间无显著性差异。

### 2.2 镧植株残留对杏鲍菇镧含量和分配的影响

由表2可以看出,施镧牧草培养料栽培杏鲍菇的子实体产量高于不施镧牧草料处理,其中施镧处理杏鲍

菇子实体产量比不施镧处理提高16.10%,但差异未达显著水平。由表2还可以看出,杏鲍菇子实体中镧浓度在各处理中变化不大,并且低于《植物性食品稀土限量卫生标准》规定的允许稀土元素浓度(2 mg/kg),可以认为是安全的。

表1 施镧对南非马唐植株镧含量的影响

Table 1 Effect of La fertilizer on La content of *Digitaria smutsii*

处理 Treatment	植株部位					
	根 Root		叶 Leaf		茎 Stem	
	La 浓度 /(mg/kg) La concentration	La 相对含量/% La relative content	La 浓度 /(mg/kg) La concentration	La 相对含量/% La relative content	La 浓度 /(mg/kg) La concentration	La 相对含量/% La relative content
CK1	52.07Ac	84.34b	5.48Ba	7.80a	2.83Cb	7.86b
M1	57.67Ac	84.88b	5.66Ba	7.05b	3.25Cb	8.06b
M2	60.20Abc	85.57a	5.74Ba	6.58b	3.38Cb	7.85b
M3	64.03Aab	85.57a	5.94Ba	6.58b	3.57Cb	7.86b
M4	68.40Aa	84.90b	6.25Ba	6.35b	4.38Ca	8.74a

\* 不同大小写字母表示各器官和各处理间在0.05水平上差异显著

表2 镧植株残留对杏鲍菇子实体产量和镧含量的影响

Table 2 Effects of La residue in plant on fruit body yield of *Pleurotus eryngii*

处理 Treatment	产量/(g/盆) Yield	菌柄镧浓度/(mg/kg) La content of Stipe	菌盖镧浓度/(mg/kg) La content of Pileus
施镧 La application	34.91a	0.57Ba	0.72Aa
不施镧 Control	30.07a	0.54Ba	0.64Aa

### 2.3 镧菇渣残留对南非马唐镧含量和分配的影响

由表3可以看出,镧菇渣残留对各处理南非马唐干物质重均有不同程度的影响。与对照相比,施镧处理和不施镧处理南非马唐叶片干物质重分别增加了3.51%和34.89%;茎干物质重分别增加了13.91%和26.32%;根干物质重分别增加了8.14%和28.05%,但各处理间的差异不显著。南非马唐植株各部位镧浓度为根>叶>茎,与施镧肥实验结果一致。用菇渣作肥料种植南非马唐,其施镧菇渣处理南非马唐植株镧含量比不施镧菇渣处理略有提高,但各处理南非马唐植株各部位镧含量与对照的差异不显著,说明菇渣镧浓度对南非马唐植株镧含量的影响很小。

表3 菇渣对南非马唐干物质重和镧含量的影响

Table 3 Effects of mushroom residue on dry matter of *Digitaria smutsii*

处理 Treatment	植株部位 Plant organs					
	叶 Leaf		茎 Stem		根 Root	
	干物质重 /(g/盆) Dry matter weight	La 浓度 /(mg/kg) La content	干物质重 /(g/盆) Dry matter weight	La 浓度 /(mg/kg) La content	干物质重 /(g/盆) Dry matter weight	La 浓度 /(mg/kg) La content
CK2	21.35Ba	3.22Ba	30.20Aa	1.40Ca	16.58Ca	41.00Aa
施镧 La application	22.10B a	3.31Ba	34.40Aa	1.45Ca	17.93Ca	43.50Aa
不施镧 Control	28.80Ba	3.27Ba	38.15Aa	1.43Ca	21.23Ca	42.50Aa

### 2.4 南非马唐和杏鲍菇对镧元素的生物富集系数

元素在环境中的生物迁移是一个复杂的过程,其迁移强弱不仅受内部元素特性及外部环境的影响,在很大程度上还受生物的生理、生化和遗传、变异作用的制约<sup>[16]</sup>。生物富集系数可反映植物相对环境中稀土元素含量变化,能直观地说明稀土元素在土壤-植物系统中的迁移。通过3个连续性实验来探讨镧在草-菇-土系统

中循环利用情况(图1)。施镧肥试验中,南非马唐植株各部位稀土元素镧的生物富集系数大小不一,根的镧生物富集系数在0.443—0.580,叶在0.047—0.053,茎在0.024—0.037之间变动(表4)。不同部位的镧生物富集系数的大小顺序为根>叶>茎,这也反映了植株不同部位稀土元素镧含量的变化。除M<sub>4</sub>处理外,施稀土元素镧对叶和茎的镧生物富集系数的大小无显著影响,但根出现了明显变化。含镧牧草栽培杏鲍菇试验中,杏鲍菇不同部位对镧元素的生物富集系数无显著变化,但不施镧处理的生物富集系数是施镧处理的2.45—2.61倍(表5)。菇渣肥料试验中,不同试验处理南非马唐各部位对镧元素的生物富集系数均无显著性差异。

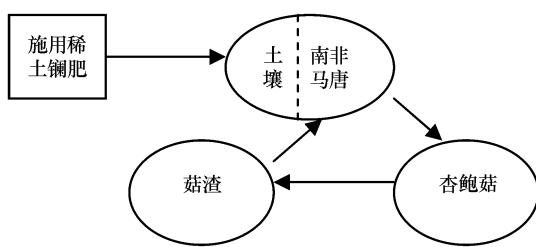


图1 镧在草-菇-土系统中的循环图

Fig.1 Cycle graph of lanthanum in forage-mushroom-soil system

表4 镧肥试验南非马唐各器官的镧元素生物富集系数

Table 4 Bioaccumulation coefficient of La in *Digitaria smutsii* with La fertilizer treatments

处理 Treatment	南非马唐 <i>D. smutsii</i>		
	根 Root	叶 Leaf	茎 Stem
CK1	0.443 Ac	0.047 Ba	0.024Cb
M1	0.49 Abc	0.048 Ba	0.028Cb
M2	0.511 Aabc	0.049 Ba	0.029Cab
M3	0.544 Aab	0.050 Ba	0.030 Cab
M4	0.580 Aa	0.053 Ba	0.037 Ca

表5 不同镧残留试验处理南非马唐和杏鲍菇对镧元素的生物富集系数

Table 5 Bioaccumulation coefficient of La in *Digitaria smutsii* and *Pleurotus eryngii* with different experiment treatments

处理 Treatment	杏鲍菇 <i>P. eryngii</i>		南非马唐 <i>D. smutsii</i>		
	菌柄 Stipe	菌盖 Pileus	根 Root	叶 Leaf	茎 Stem
CK2	-	-	0.352b	0.028a	0.012a
施镧 La application	0.157b	0.198b	0.375a	0.029a	0.012a
不施镧 Control	0.409a	0.485a	0.366a	0.028a	0.012a

### 3 结论与讨论

长期以来,关于稀土农用的食品安全性问题存在不同观点<sup>[17]</sup>,但鉴于稀土元素摄入的长期性及其本身的蓄积性,稀土元素沿生态系统食物链的迁移可能引发生态毒理学效应<sup>[1]</sup>。已有研究表明,肝脏是稀土元素的主要聚集点,稀土元素不仅能引起肝脏生理生化和形态的改变,而且当稀土元素进入肝细胞后,可与多种蛋白质分子发生相互作用,影响多种酶活性,从而损害肝脏<sup>[18]</sup>。因此,国家对食品中稀土元素含量制定了严格的限量卫生标准。本试验结果表明,施镧牧草料培养的杏鲍菇子实体镧含量在0.7 mg/kg左右,低于我国植物性食品中的稀土限量卫生标准(GB 13107—1991)规定的允许稀土元素含量(2 mg/kg)。

国内外学者有关植物稀土元素吸收规律的研究多数偏重于自然条件下植物体内稀土元素含量,很少涉及土施稀土后田间作物体内稀土元素的吸收与运移<sup>[19]</sup>。已有研究认为,大多数植物中稀土元素含量较低,平均含量为0.0025%—0.057%,且植物体内稀土的分布模式可很好地反映与之相关的土壤中稀土分布模式<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,南非马唐和杏鲍菇各器官的镧含量均处在较低水平,其中镧在牧草南非马唐中的分布为根>叶>茎,镧在杏鲍菇中的分布为菌盖>菌柄,这与多数研究结果相一致<sup>[15,19]</sup>。

土壤是植物中稀土的主要来源,但同其它微量元素一样,土壤中稀土元素的总量不能作为判断对植物供给能力的指标,只有生物有效态对植物才是有效的。本研究发现,随着施入稀土元素浓度的增加,南非马唐吸收稀土元素的富集系数逐渐增大,说明外源稀土进入土壤以后,不仅增加土壤中稀土的总含量,同时也提高了稀土元素的生物可利用性。本研究还结果发现,含镧菇渣处理和不含镧菇渣处理的南非马唐根部对La的生物富集系数显著高于对照处理,说明植物对镧元素的富集特点因生长环境的不同而存在明显差异。已有研究表明,土壤中的有机质是影响稀土在植物体内富集的因素之一<sup>[21]</sup>。菇渣有机残体进入土壤后,改变介质的pH值和氧化还原环境,进而对稀土元素的活动性和分异作用产生某种程度的影响<sup>[22]</sup>。

目前有关稀土元素在土壤-植物系统中的形态、分布、迁移转化和归宿等环境化学行为已有一些研究<sup>[19,23]</sup>,但关于稀土在两个以上多环节生态食物链中分配和迁移转化的研究还很少。本研究结果表明,随着稀土镧施用量的增加,南非马唐不同部位的稀土元素镧含量也增加。其中根部最明显,比对照增加了10.76%—31.37%。除高剂量( $M_4$ )处理外,不同施镧处理南非马唐叶和茎部位对镧的生物富集系数无显著差异,但根出现了明显的变化,说明植株对镧元素的吸收与运移具有选择性。但施镧处理的杏鲍菇子实体和菇渣种植后的南非马唐植株各部位的镧含量与不施镧处理差异不大,说明外源添加镧经过多次生物利用后,只有少量的镧被生物机体吸收,绝大部分的镧元素仍残留于环境中。有关镧在牧草南非马唐、杏鲍菇子实体以及菇渣中的存在形态及其变化有待深入研究。

#### References:

- [1] Mao X L. The Macrofungi of China. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2000;477-482.
- [2] Yan M J, Jiang Z H, Cai X X. Analysis on nutrition content of *Pleurotus eryngii*. Edible Fungi, 2002, 24(2): 11-12.
- [3] Jiang Z H, Weng B Q, Xiao S X, Lin Y, Yang P Y. A study on the high yield cultivation technology of *Pleurotus eryngii*. Acta Edulis Fungi, 2002, 9(3): 42-45.
- [4] Gong Z Y, Yu S F, Qu L, Wan L C. Quality analysis of *Pleurotus eryngii* cultivated with different kinds of composts. Acta Edulis Fungi, 2002, 9(2): 46-49.
- [5] Han C H, Li M, Tian J H. A study on *Pleurotus ergngii* utilizing different carbon and nitrogen sources. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26(2): 40-42.
- [6] Liu Y, Chen W L, Lin X M, Wang L Z. Effect of composts with different formulae on the growth of *Pleurotus eryngii*. Acta Edulis Fungi, 2004, 11(2): 37-40.
- [7] Tian J H, Li M, Wang J L, Wu X Y. Study on the screening of culture medium formula for *Pleurotus eryngii*. Journal of Agricultural University of Hebei, 2004, 27(2): 25-28.
- [8] Lan R F, Lin S Q, Lin Y M, Feng S. Biological characteristics of laccase from *Pleurotus eryngii*. Acta Edulis Fungi, 2002, 9(2): 14-16.
- [9] Lin Y Q, Li K B, Lin X S, Huang J C, Yu Y R, He J X. Assessment on the protein nutrient value in fruitbodies of *Pleurotus eryngii* strains Pe5 and Pe6. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2005, 20(1): 34-37.
- [10] Liu S J, Zhou Q. Ecotoxic effects of rare earths in agriculture. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(3): 187-190.
- [11] He Y J, Xue L. Biological effects of rare earth elements and their action mechanisms. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 1983-1989.
- [12] He H Q, Tong Y H, Bao D P, Wang S Z. Yields increase by rare metal's spraying over *Flamulina velutipes* fruitbody. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 1996, 24(3): 265-265, 270-270.
- [13] Liu S J, Wang L J, Zhang S, Gao X J, Wang Y Q, Sun J X, Chen H M, Qu H J. Effect of long term foliage dressing rare earth elements (REEs) on their distribution, accumulation and translocation in soil spring wheat system. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(1): 55-58.
- [14] Xu X K, Wang Z J, Liu Y. Interaction between rare earths and nitrogen and phosphorus in soil-plant system. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 750-752.
- [15] Tang Y X, Li C B, Meng C X. Application of rare earth nitrate on *Pleurotus ostreatus*. Chinese Rare Earths, 1992, 13(1): 50-52.
- [16] Ding S M, Liang T, Wang L J, Sun Q. Characteristics of translocation and fractionation of rare earth elements in soil-wheat system. Journal of Agro-environmental Science, 2003, 22(5): 519-523.
- [17] Lu R, Ni J J. Mechanism of rare earth effect on liver. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2002, 20(3): 193-198.
- [18] Wang L J, Hu A T, Zhou Q S, Liang T, Wang X L, Yan X. Accumulation and fractionation of rare earth elements in soil-rice system. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2006, 24(1): 91-97.
- [19] Xu X K. Research advances in the behavior and fate of rare earth elements in soil-plant systems. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(S1): 315-319.
- [20] Ichihashi H, Morita H, Tatsukawa R. Rare earth elements (REEs) in naturally grown plants in relation to their variation in soils. Environmental Pollution, 1992, 76(2): 157-162.
- [21] Ding Y C, Liu G Q, Wang X R. Environmental chemical behaviors of rare-earth elements in soil and their biological effects. Agro-environmental Protection, 2002, 21(6): 567-569, 576-576.
- [22] Chen B H, Yu S J. Fractionation of rare earth elements and its effecting factors in weathering crusts in south China. Acta Scientiarum Naturalium

Universitatis Sunyatseni, 1998, 37(S2): 92-96.

- [23] Jiang Z W, Weng B Q, Huang Y F, Huang Y B, Ying Z Y. Concentration and distribution characteristics of rare earth elements lanthanum in forages under different dressing methods. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences, 2008, 34(3): 281-288.

#### 参考文献:

- [1] 卵晓岚. 中国大型真菌. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000: 477-482.
- [2] 颜明媚, 江枝和, 蔡顺香. 杏鲍菇营养的分析. 食用菌, 2002, 24(2): 11-12.
- [3] 江枝和, 翁伯琦, 肖淑霞, 林勇, 杨佩玉. 杏鲍菇高产栽培工艺的研究. 食用菌学报, 2002, 9(3): 42-45.
- [4] 宫志远, 于淑芳, 曲玲, 万鲁长. 不同培养料栽培杏鲍菇的品质分析. 食用菌学报, 2003, 9(2): 46-49.
- [5] 韩春华, 李明, 田景花. 杏鲍菇菌丝对不同碳氮源利用的研究. 河北农业大学学报, 2003, 26(2): 40-42.
- [6] 刘宇, 陈文良, 林秀敏, 王丽珍. 不同配方培养料对杏鲍菇生长的影响. 食用菌学报, 2004, 11(2): 37-40.
- [7] 田景花, 李明, 王俊玲, 武晓颖. 杏鲍菇菌种培养基配方筛选研究. 河北农业大学学报, 2004, 27(2): 25-28.
- [8] 兰瑞芳, 林少琴, 林玉满, 冯珊. 杏鲍菇漆酶的生物学特性. 食用菌学报, 2002, 9(2): 14-16.
- [9] 林衍铨, 李开本, 林兴生, 黄建成, 余应瑞, 何锦星. 杏鲍菇菌株 Pe5 和 Pe6 子实体蛋白质营养评价. 福建农业学报, 2005, 20(1): 34-37.
- [10] 刘苏静, 周青. 农用稀土的生态毒理学效应. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 187-190.
- [11] 何跃君, 薛立. 稀土元素对植物的生物效应及其作用机理. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1983-1989.
- [12] 何华奇, 童永红, 鲍大鹏, 王声志. 稀土喷施金针菇子实体增产效果. 安徽农业科学, 1996, 24(3): 265-265, 270-270.
- [13] 刘书娟, 王立军, 章申, 高效江, 王玉琦, 孙景信, 陈红民, 曲洪君. 长期喷施稀土对土壤—植物(小麦)系统中稀土元素分布、累积及迁移的影响. 应用生态学报, 1997, 8(1): 55-58.
- [14] 徐星凯, 王子健, 刘琰. 土壤—植物系统中稀土元素与氮磷养分的交互作用. 应用生态学报, 2002, 13(16): 750-752.
- [15] 唐玉霞, 李春勃, 孟春香. 硝酸稀土在平菇上的应用效果. 稀土, 1992, 13(1): 50-52.
- [16] 丁士明, 梁涛, 王立军, 孙琴. 稀土元素在土壤-小麦体系中的迁移和分馏特征. 农业环境科学学报, 2003, 22(5): 519-523.
- [17] 卢然, 倪嘉缵. 稀土对肝脏作用的机制. 中国稀土学报, 2002, 20(3): 193-198.
- [18] 王立军, 胡霭堂, 周权锁, 梁涛, 王秀丽, 阎欣. 稀土元素在土壤-水稻体系中的迁移与吸收累积特征. 中国稀土学报, 2006, 24(1): 91-97.
- [19] 徐星凯. 稀土元素在土壤-植物系统中行为与归宿的研究. 农业环境科学学报, 2005, 24(S1): 315-319.
- [20] Ichihashi H, Morita H, Tatsukawa R. 自然生长的植物稀土元素及其在土壤中的变化. 环境污染, 1992, 76(2): 157-162.
- [21] 丁友超, 刘国庆, 王晓蓉. 稀土元素在土壤中的环境化学行为及其生物效应. 农业环境保护, 2002, 21(6): 567-569, 576-576.
- [22] 陈炳辉, 俞受鳌. 华南风化壳中稀土元素的分异作用及其影响因素. 中山大学学报: 自然科学版, 1998, 37(S2): 92-96.
- [23] 姜照伟, 翁伯琦, 黄元仿, 黄毅斌, 应朝阳. 不同施用条件下稀土元素镧在牧草体内的含量及分布特征. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2008, 34(3): 281-288.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.14 July,2011( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes .....	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River .....	HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains; a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province .....	LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors .....	XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing .....	TANG Xiumei, CHEN Baiping, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain .....	FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim .....	WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island .....	JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i> .....	YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China .....	ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation .....	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt ( <i>Verticillium dahliae</i> Kleb.) .....	ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system .....	WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed .....	YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation .....	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate .....	LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay .....	YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O <sub>3</sub> at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i> .....	WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue .....	GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa ( <i>Medicago polymorpha</i> ) in soil .....	LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River .....	HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages .....	LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse .....	LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province .....	HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
<b>Review and Monograph</b>	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography .....	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods .....	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization .....	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i> .....	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil .....	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
<b>Scientific Note</b>	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River .....	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest .....	ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biologicalsoil crusts;a case study of Gurbantunggut Desert .....	WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes .....	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

\*《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次, 全国排名第 1; 影响因子 1.812, 全国排名第 14; 第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

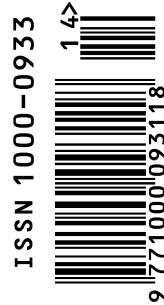
编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 14 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	Edited by Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	Sponsored by Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科学出版社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科学出版社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	Foreign China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号	



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元