

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

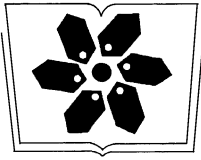
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **2012**

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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 5 期 2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机肥腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201101220112

刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 吕浩荣, 林晓燕, 李煜. 采用本土蔬菜种子替代水堇评价污泥有机肥腐熟度. 生态学报, 2012, 32(5): 1510-1518.

Liu S S, Xu T F, Wu Q T, Lü H R, Lin X Y, Li Y. Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1510-1518.

采用本土蔬菜种子替代水堇评价污泥有机肥腐熟度

刘颂颂^{1,2}, 许田芬¹, 吴启堂^{1,*}, 吕浩荣², 林晓燕¹, 李煜¹

(1. 华南农业大学 资源环境学院, 农业部生态农业重点开放实验室, 广东省高校土壤环境与废物资源农业利用重点实验室, 广州 510642;

2. 东莞市林业科学研究所, 东莞 523106)

摘要: 旨在筛选出对城市污泥毒性物质敏感、与国际通用的水堇种子相似、可用于评价处理后的城市污泥有机肥的植物毒性的本土植物种子。试验采用我国常见的 5 个科的 17 种蔬菜种子, 检测了不同腐熟度的城市污泥堆肥以及经植物处理的城市污泥产品的种子发芽系数, 同时以水堇 (*Lepidium sativum* L.) 种子发芽系数为标准作比较分析。结果表明, 对于未腐熟的污泥堆肥, 油青四九菜心 (*Brassica parachinensis* Bailey)、青江白菜 (*Brassica campestris* Pekinensis)、京丰一号甘蓝 (*Brassica oleracea* L.) 等种子对污泥植物毒性较敏感, 与水堇种子较相似。对于植物处理后的污泥产品, 青江白菜和京丰一号甘蓝与水堇种子又有明显差异, 只有油青四九菜心与进口水堇种子对污泥腐熟度的响应未表现出明显差异。而且油青四九菜心种子发芽系数与水堇之间的直线相关系数 R^2 达到 0.7465, 水堇种子发芽系数 0.5 时对应于的该菜心种子发芽系数为 0.53, 因此较适合代替目前广泛用于检测污泥有机肥腐熟度的进口水堇种子。

关键词: 城市污泥; 堆肥; 腐熟度; 种子发芽系数; 本土蔬菜种子

Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids

LIU Songsong^{1,2}, XU Tianfen¹, WU Qitang^{1,*}, LÜ Haorong², LIN Xiaoyan¹, LI Yu¹

1 Key Laboratory on Eco-Agriculture of Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Soil Environment and Waste Reuse in Agriculture of Guangdong High Education Institutions, College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Dongguan Research Institute of Forestry, Dongguan 523106, China

Abstract: Cress (*Lepidium sativum* L.) seed germination test is an internationally recognized method for evaluating the maturity of biosolids. However the cress seed is not available in China and needs import from foreign countries. In order to screen out vegetable seeds native in China and sensitive to the phyto-toxicity of treated municipal sewage sludge, 17 species of vegetable seeds from 5 families were used to test the germination index of composted or phyto-treated sewage sludge in comparison with the cress seed. The preliminary tests with non-matured sludge composts, which were co-composted with wood chips for 12, 26 and 40 days, showed that there were significant difference between the seeds of 6 species and the cress seed towards to the sludge composts according to the paired T-test, while the seeds of *Brassica parachinensis* Bailey (Cultivar: Youqing Sijiu), *Brassica campestris* Pekinensis and *Brassica oleracea* L. (Cultivar: Jingfeng-1) were rather sensitive to the phyto-toxicity, rather similar to the cress seed and classified in a same group according to the cluster analysis of the germination indexes. Further tests with phyto-treated sludges including matured and non-matured samples showed that *B. campestris* and *B. oleracea* were significantly different to the cress, only *B. parachinensis* did not exhibit

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAD89B14); 国家水专项东江项目第二课题 (2009ZX07211-002-5); 广东省科技计划项目 (2009A020101005); 东莞市财政局资助项目 (2003-2010)

收稿日期: 2011-01-22; 修订日期: 2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuqitang@scau.edu.cn

significant difference to the cress seed. The germination indexes of *B. parachinensis* were significantly correlated ($R^2 = 0.7465$) with those of the cress. When the cress seed germination index is 0.50, which signifies fairly matured of the compost sample, the corresponding value of *B. parachinensis* was 0.53, the two values were rather similar. Therefore, this native vegetable seed can replace the cress seed for evaluating the maturity of the biosolids.

Key Words: municipal sewage sludge; compost; maturity; germination index; vegetable seeds native in China

随着我国城市污泥的快速增长^[1-3],合理处置污水厂污泥已成为非常紧迫的任务^[4-6]。污泥堆肥化处理后再生土地利用是污泥无害化和资源化的重要途径之一,能较好地克服污泥含水率高、不易燃烧、直接填埋造成的二次污染等弊端^[7]。腐熟度是衡量堆肥成熟程度的参数^[8-16],未腐熟的堆肥施入土壤后,对土壤及土壤微生物会产生一系列影响,最终将影响植物的生长^[17-28]。种子发芽指数(germination index, GI)是一种常用的评价堆肥腐熟度的指标,可靠性较好,对实际的应用有很好的指导作用^[29]。国际上用水堇(*Lepidium sativum*, L)种子进行种子发芽指数试验,但在我国由于水堇需要进口,价格较高,从而给堆肥试验研究及生产应用带来了许多不便。本文以堆肥处理和植物处理后的污泥为实验对象,选用我国常见本土蔬菜种子与水堇种子作对比试验,以种子发芽指数作为判断腐熟度的指标,试图筛选出可以代替进口水堇种子的中国本土植物种子,从而更好地进行污泥有机肥腐熟度检测与评价,使城市污泥更好地应用于农林业。

1 材料与方法

1.1 供试种子

实验用蔬菜种子分属 5 个科、17 种,其中油青四九菜心、特选黑叶小白菜、青江白菜种子购自广东省农业科学研究院蔬菜研究所、其余的购自东莞市细村农贸市场,水堇种子购自法国。具体实验种子名称见表 1。

表 1 实验种子的名称

Table 1 Names of the vegetable seeds tested in the experiments

科 Families	品种数 Number	种名 Species	拉丁名 Latin names
(1) 十字花科 Cruciferae	9	油青四九菜心	<i>Brassica parachinensis</i> Bailey
		特选黑叶小白菜	<i>Brassica chinensis</i> L.
		青江白菜	<i>Brassica campestris</i> ssp. <i>pekinensis</i>
		冠星青江白菜	<i>Brassica campestris</i> ssp. <i>pekinensis</i>
		矮脚青江白菜	<i>Brassica campestris</i> ssp. <i>pekinensis</i>
		澳洲 50 天甜菜心王	<i>Brassica parachinensis</i> Bailey
		马耳冬瓜萝卜	<i>Rahpanus sativus</i> L.
		大阪光头正菜(甘蓝)	<i>Brassica oleracea</i> L.
		京丰一号(甘蓝)	<i>Brassica oleracea</i> L.
(2) 葫芦科 Cucurbitaceae	1	粤秀一号黄瓜	<i>Cucurbita moschata</i> Duch. ex Poir
(3) 菊科 Compositae	3	莴笋头(二白皮)	<i>Cucurbita moschata</i> Duch. ex Poir
		色拉菜	<i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>capitata</i> L.
		茼蒿	<i>Chysanthemum segetum</i> L.
(4) 茄科 Solanaceae	3	番茄新星 101	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.
		粤椒一号	<i>Capsicum annuum</i> L. var. <i>grossum</i> Sendt.
		红丰紫长茄	<i>Solanum melongena</i> L.
(5) 苋科 Amaranthaceae	1	小圆叶白油苋菜(台种精选 356)	<i>Amaranthus mangostanus</i> L.
合计 Sum	17		

1.2 供试污泥产品

1.2.2 原污泥

污泥取自东莞市市区污水处理厂,主要理化性质见表 2。

表 2 实验污泥的重金属和养分含量及其它性质

Table 2 Total heavy metal and nutrient contents and other characteristics of the studied sludge

	测定值 Value		测定值 Value
Zn/(mg/kg)	902.60±27.3	Cu/(mg/kg)	1621.00±91.3
Cd/(mg/kg)	2.22±0.41	Pb/(mg/kg)	128.10±3.00
N/(g/kg)	26.62±0.75	P/(g/kg)	15.60±0.73
K/(g/kg)	13.70±1.59	有机质 OM/(g/kg)	329.80±9.69
pH	5.76±0.02		

算术平均值±标准偏差.

1.2.2 污泥堆肥

按污泥:木糠(南洋楹 *Albizia falcataria* 木糠)重量比=3:1 进行混合,3—5 d 人工翻堆 1 次,在堆肥 12、26、40 d 取 3 种腐熟程度不同的污泥堆肥,用于植物种子的初步筛选实验。

1.2.3 污泥植物处理

以污泥作种植基质,进行田间试验,设置玉米+东南景天、玉米、东南景天 3 种植方式处理污泥,同时以不种植植物作对照,每个处理设置 3 个重复,每个重复或小区面积为 10 m×1.4 m。玉米选用“会单 4 号”(Zea mays var. huidan-4),由中国种子集团公司生产,在培养箱内用蒸馏水 25 °C 下催芽后在荫棚中点播育苗,苗高 5 cm 时种植。东南景天(*Sedum alfredii* H)是超富集重金属植物,取自浙江衢州古老铅锌矿,植物移至东莞市林业科学研究所育苗棚,在装有营养土的育苗板上扦插繁殖,培育新苗 5 cm 高,供试验用。只种植玉米处理的玉米种植规格为 28 cm×40cm(9 株/m²);只种植东南景天的景天种植规格为 15 cm×15cm(45 株/m²);玉米+景天处理,按以上玉米与景天种植数量间套种(9 株+45 株/m²)。连续种植 2 季植物,每季在收获东南景天 2 d 后收获玉米,第一和第二季分别在 120 d 和 360 d 收获玉米,同时各处理分别以多点取样的方式采集处理后的污泥,置于塑料袋密封后在 0—4 °C 冰箱储存备用。

1.3 分析方法

1.3.1 种子发芽指数测定

先用 100—105 °C 干燥法测定污泥或其处理物的含水量(干燥后的样品不得用于后续试验)。再根据含水量准确称取相当于 10.00 g 干样的鲜样,加入 100 mL 蒸馏水,往复振荡 2 h 后,室温下浸提 12 h,用慢速滤纸过滤,制得滤液。在直径为 9 cm 表面皿中放入滤纸,加入 5 mL 堆肥滤液,均匀放置 10 粒试验种子。每个试验重复 3 次。同时作对照实验,即用双蒸馏水代替堆肥滤液。将表面皿置于 25 °C 恒温箱中暗培养 48 h,测定种子的发芽率、芽根长。发芽系数的计算公式为:

$$\text{种子发芽系数(GI)} = \frac{\text{实验组种子发芽率} \times \text{实验组发芽种子平均根长}}{\text{对照组种子发芽率} \times \text{对照组发芽种子平均根长}}$$

1.3.2 污泥理化性质分析

污泥的含水量、有机质、全 N、全 P、pH 值均采用常规分析测定方法,参照《土壤农业化学分析法》^[30]。污泥的全钾、全锌、全铜、全镉、全铅采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消煮-原子吸收测定法,参照国家标准方法(GB/T 17138—1997)。

1.5 数据的处理分析

数据用 Excel 2003 整理和作图、SAS 8.1 软件^[31]对数据进行方差分析(ANOVA)、多重比较、配对 T 检验(Paired T-test)和聚类分析。

2 结果与讨论

2.1 17 种本土蔬菜种子在未腐熟污泥堆肥滤液中的发芽系数及其比较

用 3 种未腐熟污泥堆肥滤液对水蓼及 17 种本土蔬菜种子测得的发芽系数平均值见表 3。结果表明,3 种污泥堆肥的水蓼种子 GI 均<0.50。Zucconi 等^[22]提出水蓼种子发芽系数 GI(Germination Index) 大于 0.50

(或 50%) 时, 堆肥达到基本腐熟。这说明 3 种堆肥均没有腐熟。17 种本土蔬菜种子对未腐熟污泥堆肥的反应相差明显, 十字花科蔬菜种子的发芽系数与水堇较接近, 而茄科、葫芦科蔬菜种子发芽系数很低, 属于太敏感。按 17 种蔬菜种子与水堇的发芽系数的配对 T 检验结果 (P 值), 可将供筛选种子分为 3 组 (表 3): (1) 相似性极高组 ($P > 0.50$), 共有 4 个种: 油青四九、京丰一号 (甘蓝)、冠星青江白菜、青江白菜, 说明这 4 种种子对堆肥毒性的响应与水堇相似。(2) 相似性较高组 ($0.5 > P > 0.05$), 共有 10 个种: 矮脚清江白菜、色拉菜、澳洲 50 天甜菜心王、小圆叶白油菟菜、茼蒿、特选黑叶小白菜、番茄新星 101、粤秀一号黄瓜、马耳冬瓜萝卜、大阪光头正菜 (甘蓝), 表明这 10 个种的种子发芽系数与水堇种子发芽系数相似性一般。(3) 不相似组 ($P < 0.05$), 共有 3 个种: 粤椒一号、红丰紫长茄、莴笋头 (二白皮), 配对 T 检验说明这 3 种种子对污泥堆肥植物毒性的响应与水堇存在显著差异, 不相似。

聚类分析结果表明 (图 1), 与水堇不同类别的有大阪光头甘蓝、茼蒿和特选黑叶小白菜, 其余可归为一大类, 均与水堇具有一定的相似性, 而油青四九菜心、京丰一号甘蓝和青江白菜为更加接近的一组, 结合前述的配对 T 检验结果, 选定这 3 种蔬菜种子作进一步的试验筛选。

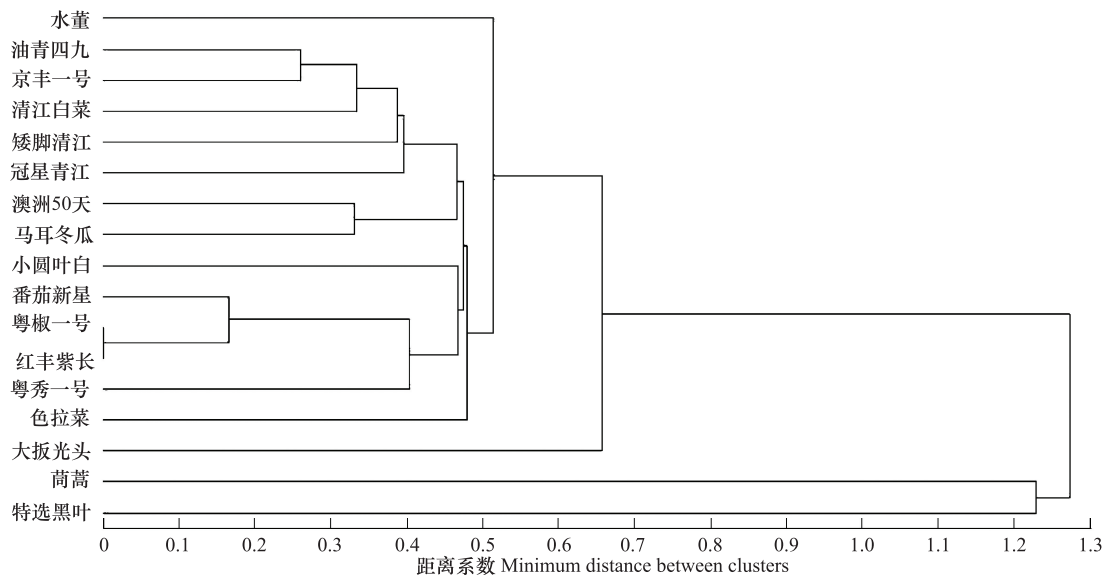


图 1 污泥堆肥滤液上水堇及 17 种蔬菜种子的发芽系数的聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of the germination indexes of the cress and 17 vegetables in the water-extracts of sludge composts.

2.2 采用植物处理 120 d 后的污泥测定 3 个蔬菜及水堇种子的发芽系数

采用植物处理 120 d 后的污泥滤液比较油青四九、京丰一号甘蓝、青江白菜 3 种蔬菜及水堇种子的发芽系数 (GI 值) (表 4)。结果表明, 水堇种子 GI 均 < 0.50 , 表明这 4 种污泥均没有达到腐熟。油青四九、青江白菜两种种子发芽系数与水堇均没有显著差异 ($P > 0.05$), 说明这 2 种种子对该类型污泥滤液的响应与水堇无显著差异; 京丰一号甘蓝与水堇对 4 种污泥滤液的响应差异达到极显著 ($P = 0.0002$), 即与水堇不相似。

2.3 采用植物处理 360 d 后的污泥测定 3 个蔬菜及水堇种子的发芽系数

采用植物处理 360 d 后的污泥滤液测定比较了油青四九、京丰一号甘蓝、青江白菜 3 种蔬菜及水堇种子的发芽系数 (GI 值) (表 5)。4 种污泥滤液的水堇 GI 在 0.728—0.942 之间, 其中, 玉米+景天及玉米处理两组的水堇 GI > 0.80 , 说明这两组污泥已腐熟; 东南景天及无植物对照的 GI 在 0.60—0.80 间, 表明这两组污泥较腐熟。油青四九菜心、京丰一号甘蓝与水堇对 4 种污泥处理滤液的响应没有显著差异 ($P > 0.05$); 但青江白菜与水堇对 4 种污泥处理滤液的响应有显著差异 ($P = 0.032$)。由此可见, 油青四九菜心与京丰一号甘蓝两种种子对经 360 d 植物处理后的污泥滤液的响应与水堇较为相似。然而, 油青四九菜心对不同植物处理的样品的大小顺序与水堇有差异, 京丰一号甘蓝的测定结果整体偏低, 说明国内蔬菜种子对污泥有机肥的反应与水

表 3 水藪及 17 种蔬菜种子在污泥堆肥滤液上的发芽系数
Table 3 Germination index of cress and 17 vegetable seeds towards sludge composts

种子 Seeds	科 Families	不同时期污泥堆肥种子发芽系数 Seeds GI of sludge compost after different times			与水藪配对 T-检验的 P 值 P values of paired T-test	组别 Groups
		12d	26d	40d		
水藪 <i>L. sativum</i>		0.346±0.027abc	0.167±0.121b	0.353±0.036cde		相似性
油青四九菜心 <i>B. parachinensis</i> Youqingsiji	十字花科 Cruciferae	0.121±0.037cde	0.256±0.157b	0.643±0.064bc	0.764	极高组
京丰一号甘蓝 <i>B. oleracea</i> Jingfeng-1	十字花科 Cruciferae	0.163±0.027cde	0.283±0.160b	0.725±0.086b	0.590	(4种)
冠星青江白菜 <i>B. pekinensis</i> Guanxingqingjiang	十字花科 Cruciferae	0.243±0.147abcd	0.279±0.064b	0.504±0.145bcd	0.569	
青江白菜 <i>B. pekinensis</i> Qingjiang	十字花科 Cruciferae	0.225±0.054bcde	0.238±0.079b	0.765±0.173ab	0.519	
矮脚青江白菜 <i>B. pekinensis</i> Aijiaopingjiang	十字花科 Cruciferae	0.245±0.144abcd	0.261±0.207b	0.644±0.113bc	0.489	相似性
色拉菜 <i>L. sativa</i> var. <i>capitata</i> L.	菊科 Compositae	0.314±0.295abc	0.185±0.084b	0.55±0.091bcd	0.470	较高级
澳洲 50d 甜菜心王 <i>B. parachinensis</i> Australia-50	十字花科 Cruciferae	0.329±0.042abc	0.192±0.156b	0.725±0.086b	0.411	(4种)
小圆叶白油苋菜 <i>A. mangostanus</i> Xiaoyuanyebaiyou	苋科 Amaranthaceae	0.018±0.031de	0.053±0.056b	0.382±0.151cde	0.315	
茼蒿 <i>C. segetum</i>	菊科 Compositae	0.470±0.311a	1.948±0.745a	0.621±0.297bc	0.305	
特选黑叶小白菜 <i>B. chinensis</i> Texuanbeiyue	十字花科 Cruciferae	0.403±0.067ab	2.006±1.05a	1.035±0.432a	0.241	
番茄新星 101 <i>L. esculentum</i> Xinxing-101	茄科 Solanaceae	0.000±0.000e	0.136±0.236b	0.000±0.000f	0.149	
粤秀一号黄瓜 <i>C. moschata</i> Yuexiuyihao	葫芦科 Cucurbitaceae	0.000±0.000e	0.000±0.000b	0.29±0.222def	0.146	
马耳冬瓜萝卜 <i>R. sativus</i> Maerlong	十字花科 Cruciferae	0.400±0.040ab	0.461±0.048b	0.645±0.044bc	0.115	
大阪光头正菜甘蓝 <i>B. oleracea</i> Dabanguangtougou	十字花科 Cruciferae	0.177±0.158bcde	0.110±0.191b	0.113±0.195ef	0.101	
粤椒一号 <i>C. annuum</i> Yuejiaoyihao	茄科 Solanaceae	0.000±0.000e	0.000±0.000b	0.000±0.000f	0.042	不相似组
红丰紫长茄 <i>S. melongena</i> Hongfenzhi	茄科 Solanaceae	0.000±0.000e	0.000±0.000b	0.000±0.000f	0.042	(3种)
莴笋头(二白皮) <i>C. moschata</i> Erbaipi	菊科 Compositae	0.000±0.000e	0.000±0.00b	0.113±0.195ef	0.040	

发芽系数数据为平均值±标准偏差;带有相同字母的同一列平均值间方差分析无显著差异($P=0.05$)

表 4 植物处理 120 d 后的污泥滤液中水堇及 3 种蔬菜种子的发芽系数

Table 4 Germination index of different seeds in the sludge water-extracts for different plant treatments after 120 days

	玉米+东南景天 Corn+ <i>Sedum alfredii</i>	玉米 Corn	东南景天 <i>Sedum alfredii</i>	不种植物 No plants	与水堇配对 T-检验的 P 值 P values of paired T-test
水堇 Cress	0.435±0.132	0.488±0.225	0.417±0.372	0.337±0.297	—
油青四九 <i>B. parachinensis</i> Sijiu	0.461±0.125	0.507±0.138	0.423±0.368	0.416±0.371	0.142
青江白菜 <i>B. pekinensis</i> Qingjiang	0.670±0.143	0.711±0.387	0.575±0.473	0.981±0.695	0.066
京丰一号 <i>B. oleracea</i> Jingfeng-1	0.685±0.130	0.711±0.192	0.629±0.448	0.591±0.546	0.0002

平均发芽系数数据为平均值±标准偏差

表 5 植物处理 360 d 后的污泥滤液中水堇及 3 种蔬菜种子的发芽系数

Table 5 Germination index of different seeds in the sludge water extracts for different plant treatments after 360 days

	玉米+东南景天 Corn+ <i>Sedum alfredii</i>	玉米 Corn	东南景天 <i>Sedum alfredii</i>	不种植物 No plants	与水堇配对 T-检验的 P 值 P values of paired T-test
水堇 Cress	0.942±0.168	0.835±0.200	0.728±0.186	0.743±0.133	—
油青四九 <i>B. parachinensis</i> Sijiu	0.909±0.030	0.734±0.110	0.849±0.234	0.820±0.190	0.733
青江白菜 <i>B. pekinensis</i> Qingjiang	1.165±0.208	0.904±0.120	1.010±0.059	1.105 ±0.262	0.032
京丰一号 <i>B. oleracea</i> Jingfeng-1	0.817±0.161	0.820±0.229	0.762±0.035	0.646±0.075	0.260

平均值±标准偏差

堇种子还是有某些差别,只能选出基本相似的种子。

2.4 应用本土蔬菜种子评价污泥腐熟度标准的建立

分别将油青四九菜心、青江白菜、京丰一号甘蓝 3 种蔬菜种子在不同污泥滤液(12、26、40 d 堆肥滤液及植物处理 120 d 和 360 d 后的污泥滤液)上发芽系数与相应水堇发芽系数作线性回归方程(图 2—图 4),分别得到: $y=0.8933x+0.0876, R^2=0.7465$; $y=1.0076x+0.2285, R^2=0.6033$; $y=0.5963x+0.3139, R^2=0.5503$ 。这表明相似度顺序为油青四九菜心>青江白菜>京丰一号甘蓝。

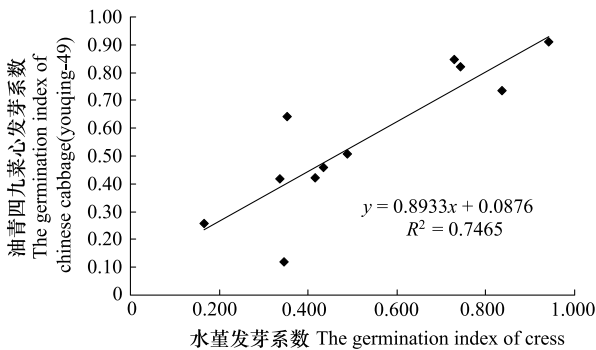


图 2 油青四九菜心发芽系数与水堇种子发芽系数的回归方程

Fig. 2 Linear regression between the germination index of *Brassica parachinensis* and that of cress towards to different treated sludges

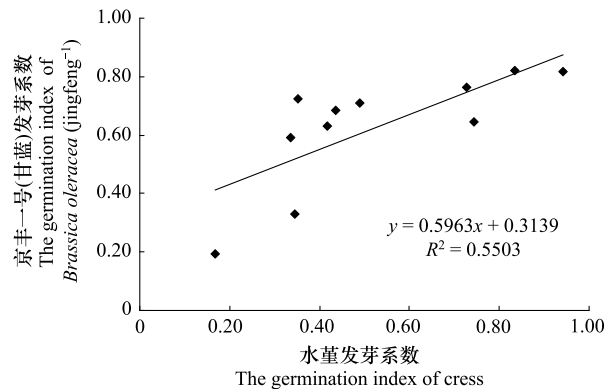


图 3 京丰一号甘蓝发芽系数与水堇种子发芽系数的回归方程

Fig. 3 Linear regression between the germination index of *Brassica oleracea* L. (Cultivar: Jingfeng-1) and that of cress towards different treated sludges

堆肥的腐熟度可用水堇的 GI 来评价^[22],其标准为:GI<0.50,未腐熟;0.50—0.60,基本腐熟;0.60—0.80,较腐熟;>0.80,腐熟。由以上回归方程可以计算出 3 种蔬菜种子评价堆肥腐熟度的标准,如表 6。由此

说明,3种蔬菜种子中,油青四九菜心与水堇基本一致,青江白菜、京丰一号甘蓝对未腐熟污泥的反应比水堇更不敏感。因此,油青四九菜心较适合代替进口水堇种子用于检验污泥有机肥的腐熟度。

国际上常用水堇种子进行种子发芽试验表征污泥堆肥的腐熟度,国内不少研究也采用此种方法,但是实际生产中很少使用,不少研究没有进口水堇种子,使用其它植物种子^[32-33],然而这些种子没有经过对比试验,不够合理也不具有可比性。本研究得出的油青四九菜心种子,对污泥有机肥的反应较接近于水堇种子,而且种子大小也与水堇种子相差不大,应当具有一定的应用参考价值。

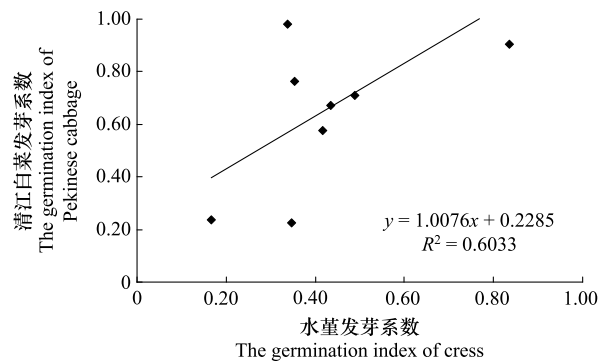


图4 清江白菜发芽系数与水堇种子发芽系数的回归方程
Fig. 4 Linear regression between the germination index of *Brassica campestris Pekinensis* and that of cress towards different treated sludges

表6 水堇和3种蔬菜种子评价堆肥腐熟度的标准比较

Table 6 Comparison of the germination index among cress and 3 vegetable seeds in testing the maturity of composts

	种子发芽系数 Germination index (GI)			
	未腐熟 Non-matured	基本腐熟 Basic matured	较腐熟 Relatively matured	腐熟 Mature
水堇 Cress	<0.50	0.50—0.60	0.60—0.80	>0.80
油青四九 <i>B. parachinensis</i> Sijiu	<0.53	0.53—0.62	0.62—0.80	>0.80
青江白菜 <i>B. pekinensis</i> Qingjiang	<0.73	0.73—0.83	0.83—1.03	>1.03
京丰一号 <i>B. oleracea</i> Jingfeng-1	<0.61	0.61—0.67	0.67—0.79	>0.79

3 结论

本研究选取了17种我国的蔬菜种子,采用排除法选取与国际通用的水堇相似的植物种子,用于测定污泥有机肥的腐熟度。经不同时期(12、26、40 d)未腐熟的污泥堆肥的滤液对这些种子的初步筛选,结合配对T检验和聚类分析结果可以排除6种蔬菜种子,而得到与水堇种子发芽系数(GI)相似性较高的3个蔬菜品种:油青四九菜心、京丰一号甘蓝、青江白菜。再经120 d和360 d植物处理后的污泥滤液的测试筛选,分别得出京丰一号甘蓝和青江白菜与水堇具有明显差异,只有油青四九菜心对污泥滤液的响应与水堇均无显著差异。再通过回归方程进一步得出3种本土蔬菜种子在评价堆肥腐熟度方面与水堇种子的相关关系,算出了相对应的腐熟度分级范围,结果也表明油青四九菜心在不同腐熟度污泥滤液中的GI范围与水堇最相似。因此,在所研究的17中蔬菜种子中油青四九菜心最适合代替目前广泛用于检验污泥有机肥腐熟度的进口水堇种子。

References:

[1] Cenni R, Janishch B, Spliethoff H, Hein K R G. Legislative and environmental issues on the use of ash from coal and municipal sewage sludge co-firing as construction material. *Waste Management*, 2001, 21(1): 17-31.

[2] Zhang C, Wang G H, Sun X. Examples of Technology and Engineering About Sewage Sludge Disposal and Treatment. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 1-20.

[3] Ma L M, Chen L, Lü Y, Zhang J F. Effects of sewage sludge application to land on species of heavy metals in soil. *Ecology and Environment*, 2004, 13(2): 151-153.

[4] Ma N, Chen L, He P S, Zhao J F. Study on resource reuse of municipal sewage sludge. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 86-89.

[5] Zhang Q X. Utilization Technology of Sewage Sludge. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.

[6] Wang S W, Su H. Utilization of municipal sludge and land application of sewage. Beijing: Chinese Structural Industry Press, 2007.

[7] Zhan X H, Zhou L X, Huang H Z. The changes of physico-chemical character of dissolved organic matter in composting of municipal sludge. *China Environmental Science*, 2003, 23(4): 390-394.

- [8] Zucconi F, Pera A, Forte M, de Bertoldi M. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, 1981, 22: 54-57.
- [9] Li C Q, Wei Y S, Fan Y B, Wang M J. Advances in study of compost maturity. *Advances in Environmental Science*, 1999, 7(6): 1-12.
- [10] Li Y X, Wang M J, Wang J S. The maturity indexes and standards of organic solid waste composting. *Environmental Science*, 1999, 20(2): 99-103.
- [11] Zhang Z J. *Drainage Engineering*. 4th ed. Beijing: Chinese Structural Industry Press, 2000.
- [12] Huang G F, Zhong L J, Zhang Z D, Wu Q T. Physicochemical changes and maturity evaluation of solid organic waste compost. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 813-818.
- [13] Jiao Z Y, Wu X W. Measurement and evaluation of sludge compost maturity. *China Water and Wastewater*, 2004, 20(7): 28-30.
- [14] Zhang Q, Wu Q T, Huang H Z, Zhou L X. Maturity indices of co-composting sewage sludge with rice straw. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(4): 782-786.
- [15] Zheng Y Q, Chen T B, Kong J S, Gao D, Huang Q F, Luo W. Maturity assessment by oxygen consumption rate in aerobic composting. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(5): 930-935.
- [16] Liu W X, Gu J G, Jiang R B, Hong J P. The maturity evaluating indexes of organic solid waste compost. *Soils and Fertilizers*, 2005, (3): 3-7.
- [17] de Veeschauer D, Verdonck O, van Assche P. Phytotoxicity of refuse compost. *Biocycle*, 1981, 22: 44-46.
- [18] Zucconi F, Forte M, Monaco A, de Bertoldi M. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 1981, 22(4): 27-29.
- [19] Chanyasak V, Hirai M, Kubota H. Changes of chemical components and Nitrogen transformation in water extracts during composting of garbage. *Journal of Fermentation Technology*, 1982, 60: 439-446.
- [20] Solbraa K, Sant M D Selmer-Olsen A R, Gislerod H R. Composting soft and hardwood barks. *Biocycle*, 1983, 24(4): 44-48, 59-59.
- [21] Zucconi F, De Bertoldi M. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. *Elsevier Applied Science*, 1987: 130-501.
- [22] Garcia C, Hernandez T, Costa F. Agronomic value of urban waste and the growth of ryegrass (*Lolium perenne*) in a Calciorthid soil amended with this waste. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1991, 56(4): 457-467.
- [23] Keeling A A, Griffiths B S, Ritz K, Myers M. Effects of compost stability on plant growth, microbiological parameters and nitrogen availability in medis containing mixed garden-waste compost. *Bioresource Technology*, 1995, 54(3): 279-284.
- [24] Shiralipour A, McConnell D B, Smith W H. Phytotoxic effects of a short-chain fatty acid on seed germination and root length of *Cucumis Sativus* cv. 'Poinset'. *Compost Science and Utilization*, 1997, 5(2): 47-52.
- [25] Li C Q, Wei Y S, Fan Y B, Wang M J. The character changes and maturity of sewage sludge aerobic co-composting with various bulking agents. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2001, 22(3): 61-65.
- [26] Huang G F, Wu Q T, Meng Q Q, Huang H Z. Substance changes and maturity evaluation during pig manure composting. *Journal of South China Agricultural University: Natural Science Edition*, 2002, 23(3): 1-4.
- [27] Wang T, Jian Y. Discussion on development model of sludge composting industry in China. *China Environmental Protection Industry*, 2008, (11): 47-49.
- [28] Luo Q D, Huang H Z, Zheng C Y, Huang Y B, Li Y. The indices of swine manure compost maturity. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2009, 38(1): 84-87.
- [29] Huang Y, Chen L, Lin J W. Integrated judgment for the maturity degree of sludge compost using probabilistic neural network. *Ecology and Environment*, 2006, 15(1): 54-57.
- [30] Lu R K. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [31] Hong N, Hou J. *SAS 8. 1*. Beijing: Chemistry Press, 2002.
- [32] Ouyang J X, Shi Z, Cui K L, Zhong H, Liang Y S. Application of compounded microbial inoculants on composting process of excess activated sludge. *China Environmental Science*, 2011, 31(2): 253-258.
- [33] Kang J, Zhang Z Q, Shao M. Effects of the ratios of maize straw to sewage sludge on speciation of Cu and Zn during composting process. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2011, 5(2): 436-442.

参考文献:

- [2] 张辰, 王国华, 孙晓. 污泥处理处置技术与工程实例. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1-20.
- [3] 马利民, 陈玲, 吕彦, 赵建夫. 污泥土地利用对土壤中重金属形态的影响. *生态环境*, 2004, 13(2): 151-153.
- [4] 马娜, 陈玲, 何培松, 赵建夫. 城市污泥资源化利用研究. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 86-89.
- [5] 赵庆祥. 污泥资源化技术. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [6] 王绍文, 秦华. 城市污泥资源化利用与污水土地处理技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

- [7] 占新华, 周立祥, 黄焕忠. 城市污泥堆肥中水溶性有机物的理化特性变化. 中国环境科学, 2003, 23(4): 390-394.
- [9] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 王敏健. 堆肥腐熟度的研究进展. 环境科学进展, 1999, 7(6): 1-12.
- [10] 李艳霞, 王敏健, 王菊思. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标. 环境科学, 1999, 20(2): 99-103.
- [11] 张自杰. 排水工程(第四版). 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [12] 黄国锋, 钟流举, 张振铤, 吴启堂. 有机固体废弃物堆肥的物质变化及腐熟度评价. 应用生态学报, 2003, 14(5): 813-818.
- [13] 焦仲阳, 吴星五. 污泥堆肥腐熟度的检测与评价. 中国给水排水, 2004, 20(7): 28-30.
- [14] 张桥, 吴启堂, 黄焕忠, 周立祥. 城市污泥与稻草堆肥的腐熟度指标研究. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 782-786.
- [15] 郑玉琪, 陈同斌, 孔建松, 高定, 黄启飞, 罗维. 利用耗氧速率判断好氧堆肥腐熟度的探讨. 环境科学学报, 2004, 24(5): 930-935.
- [16] 刘卫星, 顾金刚, 姜瑞波, 洪坚平. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度评价指标. 土壤肥料, 2005, (3): 3-7.
- [25] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 王敏健. 不同填充料污泥好氧堆肥的性质变化及腐熟度. 环境科学, 2001, 22(3): 61-65.
- [26] 黄国锋, 吴启堂, 孟庆强, 黄焕忠. 猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 23(3): 1-4.
- [27] 王涛, 简映. 中国污泥堆肥产业发展模式的探讨. 中国环保业, 2008, (11): 47-49.
- [28] 罗泉达, 黄惠珠, 郑长焰, 黄毅斌, 李延. 猪粪堆肥的腐熟度指标. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2009, 38(1): 84-87.
- [29] 黄游, 陈玲, 林建伟. 基于概率神经网络的污泥堆肥腐熟度的综合判别. 生态环境, 2006, 15(1): 54-57.
- [30] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [31] 洪楠, 侯军. SAS 8. 1. 北京: 化学出版社, 2002.
- [32] 欧阳建新, 施周, 崔凯龙, 钟华, 梁运珊. 微生物复合菌剂对污泥好氧堆肥过程的影响. 中国环境科学, 2011, 31(2): 253-258.
- [33] 康军, 张增强, 邵淼. 玉米秸秆添加比例对污泥堆肥中 Cu 和 Zn 形态的影响. 环境工程学报, 2011, 5(2): 436-442.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular
mycorrhizal fungi YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert
area CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated
broadleaved mixed forest LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,
China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission fluxes from double-
cropping paddy field TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon
and nitrogen isotope analysis LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river
basin DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 2012

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:1000717	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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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