ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第34卷 第10期 Vol.34 No.10 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

（SHENGTAI XUEBAO）

第 34 卷 第 10 期　　2014 年 5 月　（半月刊）

目　　次

前沿理论与学科综述

景观可持续性与景观可持续性科学…… 赵文武，房学宁（2453）

生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 …… 朱文博，王　阳，李双成（2460）

湿地植物根表铁膜研究进展…… 刘春英，陈春丽，弓晓峰，等（2470）

水生生态环境中捕食信息素的生态学效应…… 覃光球，卢豪良，唐振柱，等（2481）

脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 …… 潘　扬，罗　芳，鲁长虎（2490）

个体与基础生态

中亚热带天然林土壤 CH_4 吸收速率对模拟 N 沉降的响应 …… 陈朝琪，杨智杰，刘小飞，等（2498）

塔里木盆地南缘旱生芦苇生态特征与水盐因子关系…… 贡　璐，朱美玲，塔西甫拉提·特依拜，等（2509）

黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级…… 张淑勇，夏江宝，张光灿，等（2519）

亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应…… 余再鹏，万晓华，胡振宏，等（2529）

施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性…… 王　祎，张月玲，苏建伟，等（2539）

高浓度 O_3 及太阳辐射减弱对冬小麦 PSⅡ光合活性及光能耗散的影响 ……
…… 孙　健，郑有飞，吴荣军，等（2548）

蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 ……
…… 黄秋斌，张　颖，刘凤英，等（2559）

有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究…… 张兴娟，薛绪掌，郭文忠，等（2567）

抗真菌转基因水稻生态适合度评价…… 李　伟，郭建夫，袁红旭，等（2581）

花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 …… 杜照奎，李钧敏，钟章成，等（2589）

南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成…… 刘华雪，柯常亮，李纯厚，等（2599）

年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响…… 袁芳凯，李言阔，李凤山，等（2608）

[树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 …… 杨志宏，吴庆明，杨　渺，等（2617）

低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 …… 李　锐，李　娜，刘　佳，等（2629）

空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能…… 刘雨芳，王秀秀，李　菲，等（2638）

种群、群落和生态系统

气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响…… 李言阔，钱法文，单继红，等（2645）

不同退耕年限下莱子湖湿地土壤磷素组分特征变化…… 刘文静，张平究，董国政，等（2654）

查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析 …… 李然然,章光新,张　蕾 (2663)
闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性…… 曾志华,杨民和,佘晨兴,等 (2674)
环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响…… 郑　颖,温仲明,宋　光,等 (2682)
衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变…… 杨　宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价…… 李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
中国南方 3 种主要人工林生物量和生产力的动态变化…… 杜　虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
杉木人工林土壤真菌遗传多样性…… 何苑皞,周国英,王圣洁,等 (2725)
科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应…… 张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律…… 申家朋,张文辉 (2746)

景观、区域和全球生态

南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应…… 刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响…… 徐建文,居　辉,刘　勤,等 (2765)

资源与产业生态

基于 GIS 的山西省矿产资源规划环境影响评价 …… 刘　伟,杜培军,李永峰 (2775)
基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例 …… 赵丹丹,刘俊国,赵　旭 (2787)

学术信息与动态

全球土地计划第二次开放科学大会(GLP 2nd Open Science Meeting)会议述评 …… 段宝玲,卜玉山 (2796)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 36 * 2014-05

封面图说:鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90%以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

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

DOI: 10.5846/stxb201301020008
李伟,郭建夫,袁红旭,李玥仁,黄永相,刘月廉,蒋世河.抗真菌转基因水稻生态适合度评价.生态学报,2014,34(10):2581-2588.
Li W,Guo J F,Yuan H X,Li Y R,Huang Y X,Liu Y L,Jiang S H.Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice.Acta Ecologica Sinica,2014,34(10):2581-2588.

抗真菌转基因水稻生态适合度评价

李　伟[1],郭建夫[1,*],袁红旭[2],李玥仁[3],黄永相[1],刘月廉[1],蒋世河[1]
(1. 广东海洋大学农学院, 湛江　524088;2. 湛江师范学院生命科学与技术学院,湛江　524048;
3. 福建省农业科学院中心实验室, 福州　350003)

摘要:在田间自然条件下,通过两年两季单独种植(非竞争)和混合种植(竞争)试验,分析比较抗真菌转基因水稻 E121-2-1 和 E122-2-9 与其非转基因受体亲本 E32 和常规稻粤香占在农艺性状、繁殖能力、花粉活力、种子活力、种子库持久力和自生性等适合度成分上的差异,评价抗真菌转基因水稻的生态适合度。结果表明,在竞争情形下,E121-2-1 和 E122-2-9 的株高、千粒重和每穗总粒数在两年均显著降低或在其中一年显著降低,E121-2-1 和 E122-2-9 农艺性状的竞争能力总体上低于 E32 和粤香占。E121-2-1 和 E122-2-9 的净替代率在竞争态势下两年均呈下降趋势,其中 E121-2-1 在其中一年下降显著,而 E32 和粤香占的净替代率随不同年份升高或下降,但变化不显著。E121-2-1 和 E122-2-9 的花粉萌发率、种子发芽势两年均显著低于 E32 和粤香占,种子发芽率和田间自生苗率在其中一年显著低于 E32 和粤香占,种子库持久力与 E32 和粤香占相比两年均无显著差异。只有 E121-2-1 和 E122-2-9 种子的休眠期两年均显著高于对照 E32 和粤香占。结果说明转四价抗真菌基因水稻 E121-2-1 和 E122-2-9 的生态适合度优势不强,其种群在自然界中的生存竞争和延续能力不会超越非转基因水稻。

关键词:转基因水稻;抗真菌基因;生态适合度;生存竞争力;安全性评价

Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice

LI Wei[1],GUO Jianfu[1,*],YUAN Hongxu[2],LI Yueren[3],HUANG Yongxiang[1],LIU Yuelian[1],JIANG Shihe[1]
1 *Agricutural College*, *Guangdong Ocean University*, *Zhanjiang* 524088,*China*
2 *Life Science and Technology School*, *Zhanjiang Normal University*, *Zhanjiang* 524048,*China*
3 *Central Laboratory*, *Fujian Academy of Agricultural Sciences*, *Fuzhou* 350003, *China*

Abstract: In order to assess the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice lines, E121-2-1 and E122-2-9, their fitness component-related traits such as agronomic traits, reproductive capability, pollen viability, seed viability, seed bank persistence and volunteer possibility were analysed by comparison to those of the untransformed counterparts E32 and the conventional variety Yuexiangzhan during all of them were grown under a natural paddy field for two different cropping seasons of two consecutive years, according to the design of non-competition (monocultures) and competition (E121-2-1 or E122-2-9 mixtures with E32 and Yuexiangzhan) respectively. The results showed that the plant height, 1000-grain weight and number of spikelets per panicle of E121-2-1 and E122-2-9 under competitions were significantly lower than those under non-competitions in two years or one of two years, the competitiveness of agronomic traits of E121-2-1 and E122-2-9 were substantially inferior to that of E32 and Yuexiangzhan. The net replacement rates of E121-2-1 and E122-2-9 under competitions were decreased in two years, especially that of E121-2-1 decreased significantly in one of two years, but no significant differences were observed for the net replacement rates of E32 and Yuexiangzhan between competitions and non-competitions even though their net replacement rates increased or decreased according to different years. In contrast to E32 and Yuexiangzhan, E121-2-1 and E122-2-9 were statistically with lower rates of pollen germination, seed germinating

基金项目:农业部转基因生物新品种培育重大专项(2009zx08011-029B);广东海洋大学校选基金项目(0812324)
收稿日期:2013-01-02;　　**网络出版日期**:2014-02-20
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: gjf6292@126.com

energy, seed germination and volunteer in two years or one of two years, with longer periods of seed dormancy and with approximative abilities of seed bank persistence in two years. It was concluded that E121-2-1 and E122-2-9 had no advantages in ecological fitness, and they would not exceed their non-transgenic counterparts in survivability and sustainability of population under a natural conditions.

Key Words: Transgenic rice; anti-fungal genes; ecological fitness; survival competitiveness; safety assessment

适合度是指特定基因型个体在同种生物群体中生存和繁殖后代的能力,转基因作物的生态适合度则是转基因作物在自然生态条件下的生存竞争能力,与转基因作物的生长势、繁殖能力、种子库持久能力以及再生能力等性状的表现相关[1-2]。当转基因作物表现生态适合度优势时,该转基因作物就具有较强的生存竞争能力,就有可能对环境生物产生侵害作用,破坏生物多样性,或通过外源基因逃逸方式改变非转基因作物或近缘野生种的生态适合度,从而给生态环境带来风险[1]。因此,对转基因作物开展生态适合度的评价,是其释放到环境前一项不容忽视的工作内容。已有许多学者从生态适合度的角度,评价了转基因油菜[3-5]、转基因大豆[6-8]、转基因棉花[9-10]和转基因水稻[2,11-12]等作物的生存竞争能力,研究表明某些抗除草剂转基因大豆和抗病转基因棉花具有明显的生存竞争优势[8-9],抗除草剂转基因油菜甚至有杂草化的风险[4];但也有某些转基因大豆、棉花和水稻等作物的生存竞争能力和入侵性并没有加强[7,10,12],甚至比非转基因品种更弱[6,11]。显然,外源基因导入对转基因作物的适合度和竞争能力的影响随不同的作物品种类型、转化的外源基因类型以及环境条件而异,评价转基因作物的适合度和生存竞争力,必须依据“个案评判”的原则进行。我国已培育出了一系列抗病、抗虫、抗除草剂的转基因水稻,但只有少数研究涉及抗虫和抗除草剂转基因水稻的生态适合度[2,11-12],尚未见有关抗真菌转基因水稻生态适合度的研究报道。本研究利用过表达水稻几丁质酶基因和转化苜蓿 β-1,3-葡聚糖酶基因以及大麦核糖体失活蛋白基因的四价抗真菌转基因水稻品系为研究材料,评价抗真菌转基因水稻的生态适合度,为抗真菌转基因水稻环境释放的生态安全性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻材料

供试转基因水稻 E121-2-1、E122-2-9 是中山大学采用基因枪法导入水稻酸性几丁质酶基因(*RAC*22)、水稻碱性几丁质酶基因(*RCH*10)、目蓿 β-1,3-葡聚糖酶基因(*β-Glu*)和大麦核糖体失活蛋白基因(*B-RIP*)于优良恢复系 E32 获得的四价抗真菌转基因水稻品系。E121-2-1、E122-2-9 及其受体亲本 E32 由中山大学提供,以 E32 和另一优良常规水稻品种粤香占作对照。

1.2 试验内容及方法

1.2.1 转基因水稻的农艺性状和繁殖能力

试验分别于 2009 年晚季和 2010 年早季在广东海洋大学农业生物技术研究所试验田进行(农业转基因生物安全审批书为农基安办字 2009-T072)。2009 年晚季于 7 月 20 日播种,8 月 10 日移栽。2010 年早季于 3 月 15 日播种,4 月 10 日移栽。E121-2-1、E122-2-9 与 E32 和粤香占分别采取非竞争处理和竞争处理两种方法,非竞争处理按每品系(种)单独播种和插植,竞争处理为各品系(种)秧苗混合插植,分 2 种混合插植小区:(1)E121-2-1+ E32 +粤香占,(2)E122-2-9+ E32 +粤香占。混合插植小区各行插植方式为:第 1 行按 E121-2-1(E122-2-9)- E32-粤香占顺序,第 2 行按 E32-粤香占-E121-2-1(E122-2-9)顺序,第 3 行按粤香占-E121-2-1(E122-2-9)-E32 顺序,如此重复交替进行,以保证每单株四周均为竞争对象。非竞争处理和竞争处理均为随机区组排列,3 次重复,每季每小区面积为 30m^2。单株插植,株行距 15cm×20cm。

非竞争处理和竞争处理均按每小区每品系(种)随机选取 15 个单株,考察抽穗日数、株高、分蘖数、总叶片数、千粒重、总穗数、每穗总粒数、结实率以及净替代率等性状。净替代率指后代产生的种子数/播种种子数,用于衡量品种(系)的繁殖能力[9,13]。本文净替代率=总穗数×每穗总粒数×结实率。

1.2.2 转基因水稻的花粉活力

在水稻抽穗扬花期于竞争处理各小区中分别随机选取 E121-2-1、E122-2-9、E32 和粤香占各 10 个单

株,每株选取穗上部 5 个成熟颖花的花药于载玻片上,滴加 2—3 滴培养基,28℃恒温培养 1h 后,随机镜检 3 个视野,记录花粉粒总数和萌发的花粉粒数,以花粉萌发率衡量花粉活力,花粉萌发率=萌发的花粉粒数/花粉总粒数×100%。培养基配方和花粉萌发标准参照张彬等的方法进行[14]。

1.2.3　转基因水稻的种子活力、种子休眠天数和种子库持久力

2009 年晚季和 2010 年早季收获的转基因水稻和对照种种子,分别进行如下项目检测。

(1)种子活力:种子收获后晒干,1 个月后用 0.1mol/L 硝酸溶液浸种 24h 以消除休眠的影响,然后置于有湿润滤纸的培养皿中催芽,3d 后计数发芽的种子数,至第 7 天止,测定发芽势和发芽率。发芽势=第 4 天发芽种子数/测定种子数×100%,发芽率=第 7 天发芽种子数/测定种子数×100%。每品系(种)每处理 100 粒种子,3 次重复。发芽期间的温、湿度管理和测定方法同 GB/T3543 发芽试验方法。以种子发芽势和发芽率衡量种子活力。

(2)种子休眠天数:种子收获后置于室温中,从第 1 天起即用清水浸种催芽,测定发芽率,前期每隔 7d 测定 1 次,后期视发芽率情况每隔 3—5d 测定 1 次,发芽处理和测定方法同(1)。种子休眠天数=种子发芽率达 80%时间点-种子采收时间点。

(3)种子库持久力:将各品系(种)种子用 200 目尼龙网袋封装好埋于深度为 20cm 的干土中,6 个月和 12 个月后将种子取出用清水浸种检测发芽率,发芽处理和测定方法同(1)。

1.2.4　转基因水稻的自生能力

在 1.2.1 项竞争性试验的各小区田块中进行。每小区在水稻收获后于 5 个月内隔月调查一次自生苗情况,对出现的自生苗取样并拨除,利用分子标记进行基因型鉴定。计算自生苗转基因植株检出率和自生苗转基因植株检出率,自生苗转基因植株检出率=转基因植株自生苗数/总自生苗数×100%,自生苗常规稻植株检出率=常规稻植株自生苗数/总自生苗数×100%。

1.3　数据统计分析

数据计算利用 Excel 2000 与 SPSS 统计分析软件完成,百分数经反正弦转换,通过 t 测验(LSD 法)分别比较 E121-2-1 和 E122-2-9 与 E32 及粤香占在各性状上的差异显著性。

2　结果与分析

2.1　转基因水稻与非转基因水稻主要农艺性状和繁殖能力的竞争力

农艺性状的试验结果见表 1。在非竞争状态下,E121-2-1 和 E122-2-9 与其亲本 E32 在抽穗日数、株高和千粒重等农艺性状上存在显著的差异,表明外源抗性基因导入受体亲本后,导致部分非目标的农艺性状发生显著的变化。E121-2-1 和 E122-2-9 与粤香占在部分农艺性状上也存在显著的差异,这主要是基因型差异造成的。在竞争状态下,E121-2-1 和 E122-2-9 与 E32 及粤香占相比,在主要农艺性状上的差异表现趋势与非竞争状态下基本相同。从同一性状竞争与非竞争的差异结果看,E121-2-1 和 E122-2-9 部分农艺性状明显受到竞争因素的影响,其中,株高受到的影响最显著,E121-2-1 和 E122-2-9 的株高在竞争态势下显著变矮;其次是千粒重,E121-2-1 在两年和 E122-2-9 在其中一年的竞争试验中千粒重均显著降低;另外,E121-2-1 和 E122-2-9 的每穗总粒数也分别在一年的竞争试验中显著减少。对照种粤香占只有株高和千粒重在一年的竞争试验中显著降低,对照亲本 E32 的农艺性状在竞争状态下基本没有受到显著的影响。这一结果表明,在竞争状态下,E121-2-1 和 E122-2-9 的生长更容易受到影响,其农艺性状的竞争能力总体上比不上其受体亲本 E32,也比不上常规品种粤香占。

反映繁殖能力的净替代率结果见表 2。从转基因水稻与对照种的比较结果看,在 2009 年晚季,E121-2-1 和 E122-2-9 在非竞争状态下均显著高于粤香占,在 2010 年早季,E121-2-1 在非竞争及竞争状态下均显著低于 E32,其余情况下 E121-2-1 和 E122-2-9 与两个对照种差异不显著。从竞争与非竞争的比较结果看,在竞争状态下,E121-2-1 和 E122-2-9 均呈降低趋势,且 E121-2-1 在 2010 年早季降低显著,对照 E32 和粤香占在 2009 年晚季增高,在 2010 年早季降低,但增高或降低均不显著。总体上,相对于 E32 和粤香占,E121-2-1 和 E122-2-9 的繁殖能力易受竞争的影响而下降。

表 1 非竞争状态和竞争状态下转基因水稻及其对照品种主要农艺性状的表现

Table 1 Performance of the major agronomic traits of transgenic rice and control varieties under non-competition and competition conditions

年份及季节 Years and seasons	水稻材料 Rice materials	抽穗日数 Days to heading/d		株高 Plant heigh/cm		分蘖数 No. of tillers per plant		总叶片数 No. of leaves per plant	
		非竞争 Non-competition	竞争 Competition	非竞争 Non-competition	竞争 Competition	非竞争 Non-competition	竞争 Competition	非竞争 Non-competition	竞争 Competition
2009 年晚季	E121-2-1	75.7±1.2*	76.0±2.2*★	121.6±6.2*★	117.1±3.6*★#	10.9±2.8	10.8±3.0	47.7±11.9	45.8±16.5★
Late season of 2009	E122-2-9	77.7±1.2*★	77.3±2.5*★	117.9±4.6*★	111.0±3.7*★#	9.8±2.5	10.0±2.6	39.4±12.0★	45.4±12.5★
	E32(CK)	81.0±1.2	81.0±2.8 81.6±2.8	126.6±3.9	129.8±5.2 130.1±5.3	10.3±2.8	9.8±2.4 10.0±2.7	45.6±14.2	44.2±15.7 46.6±12.2
	粤香占(CK) Yuexiangzhan(CK)	74.3±0.6	75.0±2.6 74.6±2.5	107.2±3.8	108.6±4.2 108.2±4.4	11.7±3.2	11.8±3.1 11.1±3.2	56.6±20.0	58.7±20.0 55.4±15.9
2010 年早季	E121-2-1	85.3±1.5*★	84.8±2.5*★	106.4±5.0*★	91.6±6.1*#	10.3±2.5	10.0±1.6	33.7±15.5*★	37.1±5.2
Early season of 2010	E122-2-9	85.7±1.2*★	85.3±2.1*★	103.9±8.5*★	95.9±7.1*★#	11.4±3.5	10.2±3.2	38.8±13.5	42.5±12.5
	E32(CK)	89.0±1.0	91.2±2.6 92.0±2.4	112.3±5.5	106.7±6.7 110.1±7.5	10.8±3.2	12.2±2.2 11.0±2.9	43.9±10.1	45.2±10.6 45.9±12.0
	粤香占(CK) Yuexiangzhan(CK)	82.7±1.5	82.5±2.1 82.3±2.1	94.7±7.3	86.3±7.9# 87.6±5.9#	11.2±2.9	10.9±1.8 11.6±2.4	43.8±12.4	44.5±8.7 47.6±11.3

年份及季节 Years and seasons	水稻材料 Rice materials	千粒重 1000-grain weight/g		总穗数 No. of panicles per plant		每穗总粒数 No. of spikelets per panicle		结实率 Seed setting rate/%	
		非竞争 Non-competition	竞争 Competition	非竞争 Non-competition	竞争 Competition	非竞争 Non-competition	竞争 Competition	非竞争 Non-competition	竞争 Competition
2009 年晚季	E121-2-1	26.5±1.2*★	24.5±1.8*★#	9.1±2.1	8.4±2.4	169.8±19.6★	173.7±24.9★	84.6±5.9*★	86.2±5.9*★
Late season of 2009	E122-2-9	25.1±0.9*★	25.2*★±1.0	7.9±2.3	8.3±2.4	182.3±13.3*★	160.2±28.9*★#	87.9±2.7	88.1±4.6
	E32(CK)	27.9±1.7	28.7±1.1 29.7±0.8#	8.1±1.6	8.0±2.6 8.2±2.0	166.6±16.8	165.7±20.5 176.8±16.7	89.3±4.1	90.6±3.8 89.2±4.5
	粤香占(CK) Yuexiangzhan(CK)	19.7±1.0	20.3±1.4 19.9±1.0	8.1±1.4	9.0±2.3 8.5±2.3	135.1±15.5	137.5±23.1 144.8±27.9	88.9±5.0	89.5±5.0 87.4±5.8
2010 年早季	E121-2-1	23.7±0.9*★	22.8±1.4*★#	8.3±2.0	7.6±1.6	145.8±21.2*	135.4±15.1*#	77.4±6.7★	75.1±6.3*★
Early season of 2010	E122-2-9	23.7±1.3*★	21.6±0.7*★#	8.9±2.1	7.9±2.0	144.5±30.1*	141.9±23.1	78.6±6.1	77.4±5.2
	E32(CK)	24.8±0.7	25.7±0.8 25.4±0.9	8.7±2.1	8.1±1.4 8.0±2.2	167.5±30.8	159.8±18.4 157.1±27.1	78.9±6.0	80.2±5.8 79.7±4.2
	粤香占(CK) Yuexiangzhan(CK)	19.3±1.3	18.3±0.5# 18.0±0.6#	8.1±2.2	7.4±1.4 7.8±1.9	147.0±20.6	136.4±21.0 139.0±22.3	81.0±5.9	81.7±5.3 79.9±4.5

对照种(CK)在竞争处理下的第 1 行数据来自 E121-2-1+E32+粤香占竞争小区,与 E121-2-1 比较,第 2 行数据来自 E122-2-9+E32+粤香占竞争小区,与 E122-2-9 比较;*表示与 E32 差异达 5%显著水平,★号表示与粤香占差异达 5%显著水平,#号表示竞争处理与非竞争处理差异达 5%显著水平

表 2　转基因水稻及其对照品种的净替代率

Table 2　Net replacement rates of transgenic rice and control varieties

水稻材料 Rice materials	2009 年晚季 Late season of 2009		2010 年早季 Early season of 2010	
	非竞争 Non-competition	竞争 Competition	非竞争 Non-competition	竞争 Competition
E121-2-1	1285.5±254.9★	1253.4±390.8	955.6±356.6*	733.8±173.5*#
E122-2-9	1261.7±363.0★	1167.9±409.8	1008.1±331.6	862.1±221.8
E32(CK)	1222.8±344.3	1226.6±419.8	1177.3±435.0	1036.5±218.5
		1294.9±319.3	988.2±351.1	
粤香占(CK)	958.3±112.2	1117.6±376.1	954.7±268.1	826.3±182.0
Yuexiangzhan(CK)		1079.8±382.6		860.4±225.5

2.2　转基因水稻与非转基因水稻花粉活力的竞争力

在抽穗扬花期,通过人工培养基检测竞争性小区转基因水稻与非转基因水稻的花粉萌发率,结果见表 3。在两年两季的试验中,E121-2-1 和 E122-2-9 的花粉萌发率均显著低于对照 E32 和粤香占,表明 E121-2-1 和 E122-2-9 的花粉活力明显弱于其非转基因亲本 E32 和常规品种粤香占。

表 3　转基因水稻及其对照品种的花粉萌发率

Table 3　Pollen germination rates of transgenic rice and control varieties

水稻材料 Rice materials	2009 年晚季 Late season of 2009	2010 年早季 Early season of 2010
E121-2-1	35.5±4.2*★	32.9±3.6*★
E122-2-9	39.7±2.5*★	36.0±3.5*★
E32(CK)	45.7±4.3	43.7±3.8
	46.3±4.5	45.1±4.3
粤香占(CK)	43.6±4.4	41.1±3.5
	42.8±4.1	43.4±3.9

2.3　转基因水稻与非转基因水稻种子休眠时长、种子活力和种子库持久力的比较

从种子的休眠和萌发特性看(表 4),E121-2-1 和 E122-2-9 在 2009 年晚季采收的种子休眠天数高达 75 天和 74 天,比 E32 和粤香占相应延长了 30 多天,差异非常显著。E121-2-1 和 E122-2-9 在 2010 年早季采收的种子,休眠天数比上年缩减了 20 多天,但与同期采收的 E32 和粤香占种子相比,休眠时间仍然显著延长。E121-2-1 和 E122-2-9 的发芽势在两年试验中均显著低于对照 E32 和粤香占。E121-2-1 和 E122-2-9 的发芽率在 2009 年晚季较低,只有 70%左右,显著低于 E32 和粤香占,而在 2010 年早季,E121-2-1、E122-2-9、E32 和粤香占的发芽率均高达 96%左右,不存在显著的差异。总体来看,E121-2-1 和 E122-2-9 的种子休眠时间比 E32 及粤香占显著加长,种子发芽势以及发芽率等种子活力指标不及对照 E32 及粤香占。

表 4　转基因水稻及其对照品种种子的休眠和萌发表现

Table 4　Performance of seed dormancy and seed germination of transgenic rice and control varieties

水稻材料 Rice materials	种子休眠天数/d Days of seed dormancy		种子发芽势/% Seed germinating energy		种子发芽率/% Seed germination rates	
	2009 年晚季 Late season of 2009	2010 年早季 Early season of 2010	2009 年晚季 Late season of 2009	2010 年早季 Early season of 2010	2009 年晚季 Late season of 2009	2010 年早季 Early season of 2010
E121-2-1	75.0±5.0*★	53.0±1.7*★	34.7±3.3*★	63.0±2.8*★	69.2±3.3*★	95.5±3.9
E122-2-9	74.0±1.7*★	49.0±1.7*★	41.7±2.0*★	67.7±3.0*★	72.5±2.0*★	97.7±0.8
E32(CK)	41.0±1.7	24.0±1.7	56.8±1.6	90.5±1.3	80.3±1.6	96.2±1.6
粤香占(CK)	43.0±1.7	31.0±1.7	65.8±2.4	89.7±1.9	82.3±1.8	96.7±1.2

从种子库的持久能力看(表 5),2009 年晚季收获的种子深埋(20cm)6 个月后,E121-2-1 和 E122-2-9 的种子发芽率比对照 E32 和粤香占略高,差异不显著。种子深埋 12 个月后,发芽率下降明显,E121-2-1 和 E122-2-9 与对照相比没有明显差异。2010 年早季收获的种子深埋 6 个月后,种子发芽率低于上

年同样处理,E121-2-1 和 E122-2-9 与对照的发芽率基本持平,而此期收获的种子深埋 12 个月后,E121-2-1 和 E122-2-9 与对照的发芽率均为 0。上述结果说明,虽然 E121-2-1 和 E122-2-9 种子的休眠时间很长,但其种子库的特久力并没有相应增强。

表 5 转基因水稻及其对照品种种子地表埋藏不同时间后的发芽率

Table 5 Seed germination rates of transgenic rice and control varieties after buried in different periods

水稻材料 Rice materials	2009 年晚季 Late season of 2009		2010 年早季 Early season of 2010	
	6 个月 Six months	12 个月 Twelve months	6 个月 Six months	12 个月 Twelve months
E121-2-1	24.1±1.2	6.1±0.8	13.5±2.1	0.0
E122-2-9	24.5±1.3	5.8±0.9	15.5±1.3	0.0
E32(CK)	22.2±1.6	5.0±0.7	14.0±1.8	0.0
粤香占(CK)	21.5±1.0	4.5±0.5	12.6±2.0	0.0

2.4 转基因水稻与非转基因水稻的自生性

本项研究调查了 E121-2-1+E32+粤香占,E122-2-9+E32+粤香占等竞争性小区水稻自生苗情况(表 6)。两年两季水稻收获后保留的各竞争处理小区均出现自生苗,E121-2-1 和 E122-2-9 的自生苗率均低于对照 E32 和粤香占,但只在 2009 年晚季差异显著。试验表明 E121-2-1 和 E122-2-9 的自生性没有比非转基因亲本 E32 和常规稻粤香占强,在某些年份季节甚至明显弱于 E32 和粤香占。

表 6 转基因水稻及其对照品种的自生苗率

Table 6 Volunteer rates of transgenic rice and control varieties

年份及季节 Years and seasons	小区自生苗数 No. of volunteer plant per block	E121-2-1	E122-2-9	E32(CK)	粤香占(CK) Yuexiangzhan (CK)
2009 年晚季	27.7	19.2±1.3 *★	—	42.1±2.3	38.7±3.6
Late season of 2009	32.3	—	18.4±2.5 *★	44.1±3.4	37.5±3.8
2010 年早季	47.0	30.0±2.6	—	35.1±1.4	34.9±3.3
Early season of 2010	42.0	—	31.3±5.6	32.9±2.8	35.8±6.3

3 讨论

抗病虫转基因作物生态适合度的改变既与外源抗性基因的导入及其引发的非预期变异有关[15-16],又与病虫害的选择压力有关[2,11]。一般而言,抗病虫转基因作物对病虫害的耐受性增强,可获得更好的环境适应能力[17-18],若与此同时,抗病虫转基因作物的生长和繁殖等非目标性状发生了正向的变化,如生长势旺盛,结实率、种子产量和种子发芽率高,种子生存能力强,就获得较强的生态适合度优势和生存竞争能力,容易对生态环境造成侵入性破坏[1,12]。本研究的抗真菌转基因水稻与其非转基因亲本相比,部分主要农艺性状发生了显著的变化,这与前人在水稻[19-20]、棉花[21]和大豆[22]等转基因作物上的研究结果相类似。本研究没有监测到稻田发生明显的真菌性病害,在缺少真菌病害选择压力下,抗真菌转基因水稻适合度成分中的农艺性状在与其非转基因亲本和常规稻粤香占的竞争中不占优势,某些性状如株高,千粒重,每穗总粒数等反而下降。反映个体繁殖能力的净替代率在竞争中也呈下降的趋势。这说明抗真菌转基因水稻农艺性状和繁殖力的竞争能力没有比对照品种强,这与 Chen 等[11]和张富丽等[2]评价抗虫转基因水稻,以及崔荣荣等[12]评价抗除草剂转基因水稻生态适合度和生存竞争能力的结论相类似。

转基因作物种群的延续和替代能力是衡量其适合度和生存竞争能力的重要指标,除与净替代率有关外,还与花粉活力、种子活力、种子库持久力和自生能力等诸多因素有关[7,13]。魏兴华等[23]和崔荣荣等[12]研究表明抗病、抗虫和抗除草剂等转基因水稻

的花粉活力与其受体亲本基本一致,但谢小波等[24]认为携带 *cry1Ab* 转基因的水稻花粉在竞争中处于劣势。本研究结果表明,抗真菌转基因水稻的花粉活力明显低于受体亲本和常规稻对照种,是否是由于携带外源基因的花粉活力下降所致,需要做进一步的鉴定。本研究转基因水稻的种子发芽势显著低于受体亲本和常规稻对照种,种子发芽率在其中一年也显著低于受体亲本和常规稻对照种,这可能与转基因水稻种子的休眠特性过强,破除种子休眠的难度加大有关。虽然转基因水稻种子休眠期比受体亲本和常规稻对照种显著延长,但种子库的持久力并没有显著增强,这使得田间出现的转基因水稻自生苗率没有比对照种显著增加,在个别年份还显著降低。总体上,在本研究中,抗真菌转基因水稻在花粉活力、种子活力、种子库持久力和自生能力等方面也没有明显高于非转基因对照种,部分性状指标比对照种还显著减弱,这表明其种群的延续和替代的竞争能力不会强于非转基因水稻。

Chen 等[11]和张富丽等[2]认为,抗虫转基因水稻的生态适合度与特定虫压下转基因水稻的适合度成本与适合度利益的平衡有关。在低虫压下,维持抗性基因存在的适合度成本可能大于抗性基因表达的适合度利益,此时会相对降低抗虫转基因水稻的生存竞争力;而高虫压可致使适合度利益大于适合度成本,则能有效提高抗虫转基因水稻的生存竞争力。在本研究中,抗真菌转基因水稻总体的生存竞争力不比非转基因水稻强,对生态环境的风险较少,这种情况是根植于本研究田间不发生明显的真菌性病害。鉴于在前期初步的稻瘟病菌株接种试验中,本研究的抗真菌转基因水稻比其受体亲本表现出更好的稻瘟病抗性,而同类的转基因株系也比其受体亲本具有更好的纹枯病抗性[25],这些转基因水稻在真菌病害侵袭下能发挥出良好的抗性,使得其农艺性状和繁殖能力等适合度成分比受体亲本等非转基因水稻相应提高,从而表现出适合度优势,因此,在真菌病害高压力下,抗真菌转基因水稻生态适合度的表现,还需要在真菌病害流行季节做进一步的研究。

References:

[1] Lu B R, Xia H. Environmental biosafety of transgenic plants: research and assessment of transgene escape and its potential ecological impacts. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2011, 23(2): 186-194.

[2] Zhang F L, Liu Y, Tong H J, Yin Q, Tao L, Wang D, Zhou X Q, Chang L J, Song J, Liu W J, Lei S R, Guo L A. Differences in ecological fitness between *Bt* transgenic rice and regular rice under different insect-infestation pressures. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2012, 18(1): 035-041.

[3] Fredshavn J R, Poulsen G S, Huybrechts I, Rudelsheim P. Competitiveness of transgenic oilseed rape. Transgenic Research, 1995, 4: 142-148.

[4] Hall L, Topinka K, Huffman J, Davis L, Good A. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. Weed Science, 2000, 48: 688-694.

[5] Åhman I, Lehrman A, Ekbom B. Impact of herbivory and pollination on performance and competitive ability of oilseed rape transformed for pollen beetle resistance. Arthropod-Plant Interactions, 2009, 3(2): 105-113.

[6] Zhou J Y, Wang C Y, Xu W L. Comparison between transgenic soybean and non-transgenic soybean in resistance to stresses. Journal of Ecology and Rural Environment, 2006, 22: 26-30.

[7] Song X L, Qiang S, Peng Y F. An experimental case of safety assessment of weediness of transgenic glyphosate-resistant soybean (*Glycine mac* (L.) Merri). Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 145-153.

[8] Liu W J, Liu Y, Zhou X Q, Xong J, Yin Q, Wang D, Zhang F L, Lei S R. Impact of competitive environment on growth and yield component of glyphosate tolerant soybean. Soybean Science, 2012, 31(1): 64-72.

[9] Lian L J, Li Y, Wang J, Guo N, Zhang K W. Investigations on survival competitiveness and gene flow of transgenic cotton with betA/Pals gene in the field. Journal of Shandong University (Natural Science), 2009, 44(5): 20-27.

[10] Zhang X H, Tian S L, Zhang T Y, Li J, Qiao Y Y. Studies on the competitive ability of transgenic *cry*1Ac + *cry*2Ab cotton and transgenic *cryl*Ac + EPSPS cotton in wasteland. Journal of Biosafety, 2012, 21(2): 119-124.

[11] Chen L Y, Snow A A, Wang F, Lu B R. Effects of insect-resistance transgenes on fecundity in rice (*Oryza sativa*, Poaceae): a test for underlying costs. American Journal of Botany, 2006, 93(1): 94-101.

[12] Cui R R, Wei Y, Meng P P, Ma Y L, Jin Y, Li Q R, Qiang S, Dai W M, Song X L. Assessment on potential weediness of transgenic glufosinate-resistant rice Minghui86B. Chinese Journal of Rice Science, 2012, 26(4): 467-475.

[13] Zhou J, Wang C Y, Chen J Q. Indexes for assessment of genetically modified plants invasiveness. Rural Eco-environment, 2003, 19(2): 61-64.

[14] Zhang B, Rui W Y, Zheng J C, Zhou B, Yang F, Zhang W J. Responses of pollen activity and seed setting of rice to high

temperature of heading period. Acta Agronomica Sinica, 2007,33(7):1177-1181.

[15] Cellini F, Chesson A, Colquhoun I, Constable A, Davies H V, Engel K H, Gatehouse A M R, Kärenlampi S, Kok E J, Leguay J J, Lehesranta S, Noteborn H P J M, Pedersen J, Smith M. Unintended effects and their detection in genetically modified crops. Food and Chemical Toxicology, 2004, 42: 1089-1125.

[16] Pilson D, Prendeville H R. Ecological effects of transgenic crops and the escape of transgenes into wild populations. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2004, 35: 149-174.

[17] Ferry N, Edwards M G, Gatehouse J, Capell T, Christou P, Gatehouse A M R. Transgenic plants for insect pest control: a forward looking scientific perspective. Transgenic Research, 2006, 15: 13-19.

[18] Ceasar S A, Ignacimuthu S. Genetic engineering of crop plants for fungal resistance: role of antifungal genes. Biotechnology Letters, 2012, 34: 995-1002.

[19] Shu Q Y, Cui H R, Ye G Y, Wu D X, Xia Y W, Gao M W, Altosaar I. Agronomic and morphological characterization of *Agrobacterium*-transformed *Bt* rice plants. Euphytica, 2002, 127: 345-352.

[20] Bashir K, Husnain T, Fatima T, Latif Z, Mehdi S A, Riazuddin S. Field evaluation and risk assessment of transgenic indica basmati rice. Molecular Breeding, 2004, 13: 301-312.

[21] Liu D M, Wu Z X, Liu C L, Li C W, Li F G. Variations of main agronomic traits in transgenenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) lines transformed by pollen-tube pathway method. Cotton Science, 2007, 19(6): 450-454.

[22] Cuo Y S, Zhu Y M, Li J, Bai X, Cai H. Investigation and analysis of the main agronomic traits of transgenic soybean with two anti-fungal protein genes. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 29(1): 10-12.

[23] Wei X H, Yuan X P, Yu H Y, Wang Y P, Tang S X, Liao X Y. Effects of Transgenes insertion on pollen vigor and hybrid seed set of rice. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(1): 115-118.

[24] Xie X B, Cui H R, Shen S Q, Wu D X, Xia Y W, Shu Q Y. Studies on the distorted segregation of foreign genes in transgenic rice progenies. Acta Genetica Sinica, 2002, 29(11): 1005-1011.

[25] Guo J F, Huang Y X, Peng X L, Yuan H X, Jiang S H, Xu X P, Zhang J Z. Variation of non-target agronomic traits in the offspring of transgenic rice line E32 by particle bombardmen. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2007, 15(4): 284-289.

参考文献:

[1] 卢宝荣,夏辉.转基因植物的环境生物安全:转基因逃逸及其潜在生态风险的研究和评价.生命科学,2011,23(2):186-194.

[2] 张富丽,刘勇,佟洪金,尹全,陶李,王东,周西全,常丽娟,宋君,刘文娟,雷绍荣,郭灵安. 不同虫压下转 Bt 基因水稻与非转基因水稻生态适合度差异. 应用与环境生物学报,2012,18(1):035-041.

[6] 周军英,王长永,续卫利. 温度、水分和盐度对转基因耐草甘膦大豆种子萌发和幼苗生长的影响.生态与农村环境学报,2006,22(2):26-30.

[7] 宋小玲,强胜,彭于发.抗草甘膦转基因大豆(*Glycine mac* (L.) Merri)杂草性评价的试验实例.中国农业科学,2009,42(1):145-153.

[8] 刘文娟,刘勇,周西全,宋君,尹全,王东,张富丽,雷绍荣. 竞争生长环境对抗草甘膦转基因大豆生长和产量构成的影响. 大豆科学,2012,31(1):64-72.

[9] 连丽君,李莹,王娟,郭宁,张可炜.转 betA/Pals 基因棉花生存竞争力和基因漂流的调查.山东大学学报(理学版),2009,44(5):20-27.

[10] 张兴华,田绍仁,张天玉,李捷,乔艳艳.转 *cry*1Ac+*cry*2Ab 基因棉与转 *cry*1Ac+EPSPS 基因棉荒地的生存竞争能力.生物安全学报,2012,21(2):119-124.

[12] 崔荣荣,韦颖,孟攀潘,马云龙,金媛,李秋然,强胜,戴伟民,宋小玲.抗草铵膦转基因水稻明恢 86B 杂草化潜力评价.中国水稻科学,2012,26(4):467-475.

[13] 周骏,王长永,陈建群. 转基因植物入侵性评价指标初探. 农村生态环境,2003,19(2):61-64.

[14] 张彬,芮雯奕,郑建初,周博,杨飞,张卫建. 水稻开花期花粉活力和结实率对高温的响应特征. 作物学报,2007,33(7):1177-1181.

[21] 刘冬梅,武芝霞,刘传亮,李成伟,李付广.花粉管通道法获得棉花转基因株系主要农艺性状变异分析. 棉花学报,2007,19(6):450-454.

[22] 郭玉双,朱延明,李杰,柏锡,才华.转双价抗真菌基因大豆主要农艺性状的调查与分析.东北农业大学学报,2008,39(1):10-12.

[23] 魏兴华,袁筱萍,余汉勇,王一平,汤圣祥,廖西元. 转基因插入对水稻花粉活力和杂交结实的影响.应用生态学报,2005,16(1):115-118.

[24] 谢小波,崔海瑞,沈圣泉,吴殿星,夏英武,舒庆尧.水稻转基因植株后代中外源基因异常分离的研究.遗传学报,2002,29(11):1005-1011.

[25] 郭建夫,黄永相,彭贤力,袁红旭,蒋世河,许新萍,张建中. 基因枪法转化水稻 E32 后代非目标农艺性状变异的研究. 热带亚热带植物学报,2007,15(4):284-289.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Landscape sustainability and landscape sustainability science ····· ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)

A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies ····· ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)

Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants ····· LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)

Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem ····· QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)

Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants ····· PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

Responses of CH_4 uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China ····· CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)

Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern marginal zones of the Tarim Basin, China ····· GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyip, et al (2509)

Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic productivity classification ····· ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)

Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata* plantations ····· YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)

Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids ····· WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)

Combined effects of elevated O_3 concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation of winter wheat ····· SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)

Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat ····· HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)

Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation ····· ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)

Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice ····· LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)

A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation ····· DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)

Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea ····· LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)

The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes in Poyang Lake ····· YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)

The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration ····· YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)

The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms ····· LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)

Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthacese: Alternanthera) ····· LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake ····· LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)

Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province ····· LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)

Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland ····· LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)

Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ····· ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)

The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ····· ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)

Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China ····· YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)

Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise ····· LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)

Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China ····· DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)

Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil ····· HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)

Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ····· ZHANG Lamei, LIU Xinping, ZHAO Xueyong, et al (2737)

Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region ····· SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region ····· LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)

Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China ····· XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS ····· LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)

A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ····· ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 祖元刚　**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 34 卷　第 10 期　(2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 10 (May, 2014)

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	王如松	**Editor-in-chief**	WANG Rusong
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

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** 90.00 元