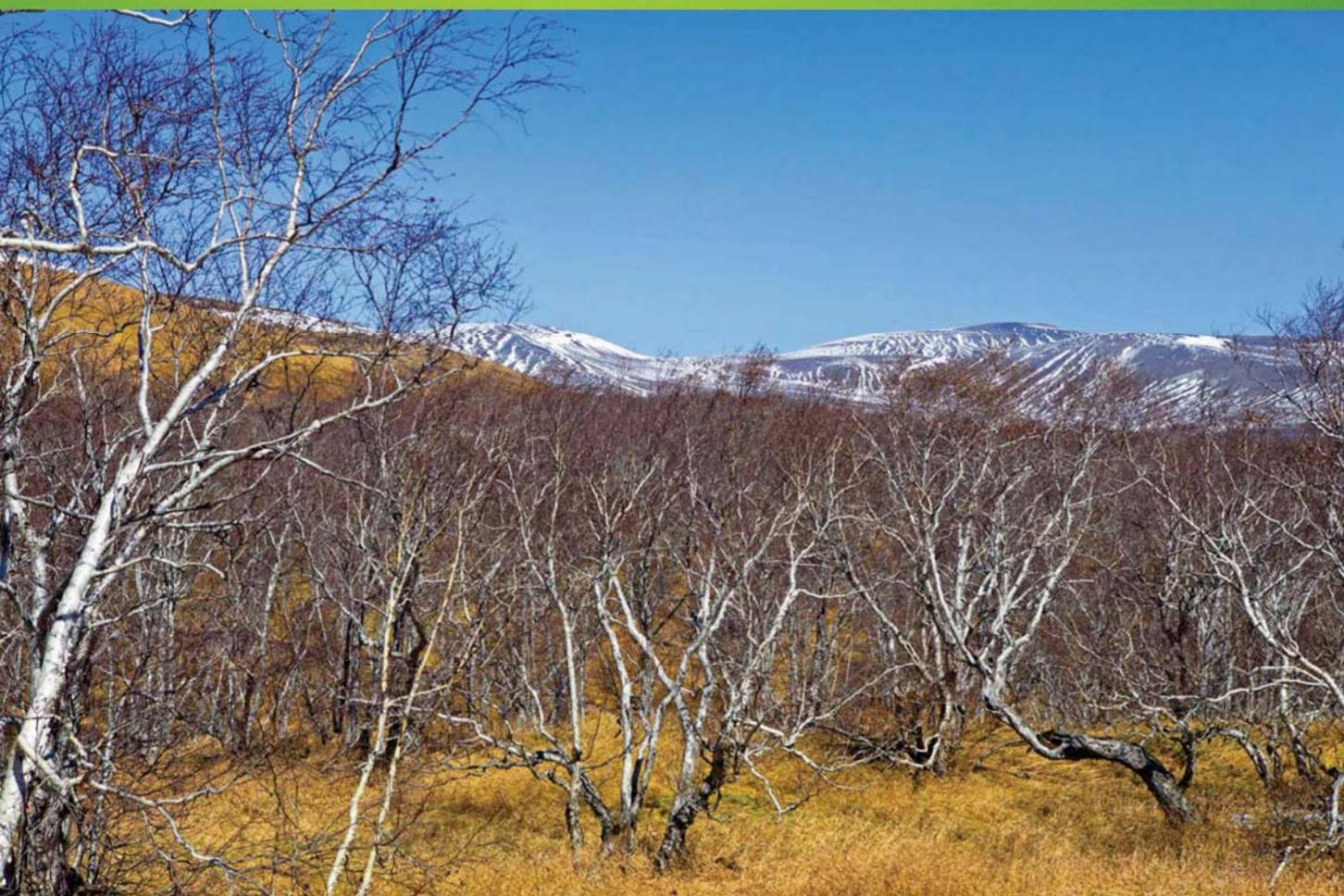


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第12期 Vol.33 No.12 **2013**

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33卷第12期 2013年6月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

森林低温霜冻灾害干扰研究综述..... 李秀芬,朱教君,王庆礼,等 (3563)

碱蓬属植物耐盐机理研究进展..... 张爱琴,庞秋颖,阎秀峰 (3575)

个体与基础生态

中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测..... 徐琳,陈效速,杜星 (3584)

长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化..... 胡启鹏,郭志华,孙玲玲,等 (3594)

油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析..... 李明,王树香,高宝嘉 (3602)

施氮对木荷3个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响..... 张蕊,王艺,金国庆,等 (3611)

围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响..... 王若梦,董宽虎,何念鹏,等 (3622)

干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应..... 段爱国,张建国,何彩云,等 (3630)

生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响..... 黄杰勋,莫建民,李非里,等 (3639)

3个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应..... 吴芹,张光灿,裴斌,等 (3648)

冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系..... 张永平,张英华,黄琴,等 (3657)

不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响.....

..... 彭斌,李潘林,周楠,等 (3668)

根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响..... 陶先萍,罗宏海,张亚黎,等 (3676)

光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响..... 王文林,王国祥,万寅婧,等 (3688)

植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定..... 徐亚军,赵龙飞,陈普,等 (3697)

不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择..... 肖云丽,印象初,刘同先 (3706)

性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响..... 曾宾宾,邵明勤,赖宏清,等 (3712)

种群、群落和生态系统

基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价..... 袁菲,张星耀,梁军 (3722)

洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价..... 李建军,刘帅,张会儒,等 (3732)

景观、区域和全球生态

川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应..... 徐宁,王晓春,张远东,等 (3742)

2001—2010年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系.....

..... 穆少杰,李建龙,周伟,等 (3752)

地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响..... 侯明行,刘红玉,张华兵,等 (3765)

毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征..... 周淑琴,荆耀栋,张青峰,等 (3774)

贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的5.5 kaB. P. 以来的气候变化..... 杜荣荣,陈敬安,曾艳,等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应·····	李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)
秦岭南北近地面水汽时空变化特征·····	蒋冲,王飞,喻小勇,等 (3805)
露天矿区景观生态风险空间分异·····	吴健生,乔娜,彭建,等 (3816)
基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较·····	孔艳,江洪,张秀英,等 (3825)

资源与产业生态

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析·····	潘丹,应瑞瑶 (3837)
舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估·····	宋科,赵晟,蔡慧文,等 (3846)
不同基因型玉米间混作优势带型配置·····	赵亚丽,康杰,刘天学,等 (3855)
气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响·····	陈伟,熊晶,陈懿,等 (3865)

城乡与社会生态

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益·····	张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)
-----------------------------	----------------------

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

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/stxb201207080953

潘丹, 应瑞瑶. 中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析. 生态学报, 2013, 33(12): 3837-3845.

Pan D, Ying R Y. Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3837-3845.

中国农业生态效率评价方法与实证 ——基于非期望产出的 SBM 模型分析

潘 丹^{1,*}, 应瑞瑶²

(1. 江西财经大学鄱阳湖生态经济研究院, 南昌 330013; 2. 南京农业大学经济管理学院, 南京 210095)

摘要:生态效率是衡量经济与资源环境协调发展的重要指标。基于将农业面源污染作为非期望产出的考量,在对传统 DEA 模型进行修正的基础上,采用非径向、非角度的 SBM 模型对中国 30 个省份的农业生态效率进行了测算,并给出了农业生态效率的改善途径。研究表明:1998—2009 年中国农业生态效率虽然呈现缓慢上升态势,但整体仍处于较低水平,除北京、上海、海南、重庆外,其余省市都需要改变投入和产出来优化农业生态效率;资源的过度消耗和环境污染物的过量排放是农业生态效率损失的主要原因。提高资源利用效率、降低资源消耗量和环境污染物的排放量是农业生态效率改善的重要途径。

关键词:农业生态效率;非期望产出;SBM 模型

Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model

PAN Dan^{1,*}, YING Ruiyao²

1 Institute of Poyang Lake Eco-economics, Jiangxi University of Finance & Economics, Nanchang 330013, China

2 College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Agricultural eco-efficiency which combines both economic and environmental performance is an effective tool for agricultural sustainability analysis. Taking China's 30 provinces as case regions, We applied a SBM model of DEA to measure the agricultural eco-efficiency from 1998 to 2009. The SBM model of DEA is non-radical, non-oriented and considers the agricultural non-point source pollution as an undesirable output in the calculating process which is different from the other existing models. Fertilizer, animal, labor, machine, sown area and water consumption were considered as input indicators, provincial agricultural output value and agricultural non-point source pollution were considered as desirable output indicator and undesirable output indicator respectively. The main results are summarized as follows: (1) Agricultural eco-efficiency in China during 1998—2009 is 0.499 which is very low, this implies China's agricultural economic rapid growth is at the expense of natural resources destruction and agriculture environmental pollution, the coordination task of agricultural economic growth and environmental protection and resource saving is very difficult in China; (2) Agricultural eco-efficiency of Beijing, Shanghai, Chongqing, Hainan is equal to one, this demonstrates that these four provinces have efficiency of resources utilization and environment protection for their agricultural economy, but the agricultural eco-efficiency of the other 26 provinces are below one showing that most provinces in China have inefficiency of resources utilization and environment protection for their agricultural economy; (3) Moreover, in order to promote agricultural eco-efficiency in these 26 provinces, the inputs optimization and outputs optimization were designed based on optimization principles. The optimization results show that agricultural output value (agricultural desirable output) has no congestion in all provinces, so the agricultural eco-inefficiency is mostly attributed to inputs and undesirable output. China has enormous

基金项目:教育部人文社科规划基金项目(11YJA790192);国家社会科学基金重大项目(11&ZD155);国家自然科学基金项目(41261110)

收稿日期:2012-07-08; **修订日期:**2013-03-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: blesspanda@163.com

potential on the reduction of agricultural non-point source pollution and on the decrease of resource inputs to improve the agricultural eco-efficiency. The eco-efficiency optimization provides deeper insights into the causes of eco-inefficiency and gives further implications on resource and environment protection strategies in China. Our results also showed that the SBM model could be used as a useful tool to reflect the eco-efficiency in a defined region and help governments at various levels to find the most optimized solutions in improving their eco-efficiencies.

Key Words: agricultural eco-efficiency; undesirable output; SBM model

改革开放以来,中国的农业经济以近 6% 的速度保持了 30 多年的持续高速增长,并取得了巨大成就,但是在发展过程中也付出了巨大的资源和环境代价。《第一次全国污染源普查公报》数据显示,2007 年中国农业化学需氧量、总氮和总磷的排放量分别为 1324.09 万吨、270.46 万吨和 28.47 万吨,占各自污染总排放量的 43.7%、57.2% 和 67.4%。亚洲开发银行估计:中国农业资源环境破坏所造成的直接经济损失占全国 GDP 的 0.5%—1%,同时由于过量施肥和施用农药,中国每年约有包括农产品在内的 74 亿美元出口商品因绿色壁垒而受阻^[1]。在此背景下中国政府认识到这种趋势的不可持续性,明确提出了资源节约型和环境友好型的“两型农业”理念,要求形成一种可持续的农业经济发展模式。因此,如何在保证农业经济快速发展的同时减少资源浪费和降低环境污染,实现资源节约、环境保护和农业经济增长的三者统筹协调发展是“十二五”期间中国农业经济所面临的最紧迫任务。1990 年 Schaltegger 和 Stum 首次提出生态效率概念,随后生态效率成为衡量可持续发展的重要分析工具^[2]。提高农业生态效率也因此成为促进我国农业经济与资源环境协调发展的重要切入点。

生态效率是指通过提供能满足人类需要和提高生活质量的竞争性定价商品与服务,同时使整个生命周期的生态影响与资源强度逐渐降低到一个至少与地球的估计承载能力一致的水平^[3]。具体到农业领域而言,农业生态效率则是指在保证农产品数量和质的前提下,尽量减少环境污染和资源消耗,即提倡一种以“适量、优质、减污、节源”的理念方针的现代生态农业发展模式^[4]。由此可见,农业生态效率要求以较少的资源消耗和较低的环境破坏来生产更多的产品,较好地符合可持续发展理念。目前学者们已经对企业^[5-6]、产品^[7]、行业^[8]、区域^[9-10]等层次的生态效率展开了大量研究,这其中选择合适的生态效率评估方法成为研究的热点。现有文献中生态效率的评价方法主要包括单一指标法、指标体系法以及 DEA 模型方法^[11]。单一指标法虽然较为简单但无法区分不同的环境影响,适合于单个项目的分析;指标体系法可以综合反映出社会、经济、自然各子系统的发展水平和协调程度,但在指标选取和权重赋值上存在较大的主观性;DEA 模型则能很好地减少确定权重时的主观因素,因而被学者们广泛应用于生态效率的实证研究中。

然而,传统的 DEA 模型在评价生态效率时没有考虑投入和产出的松弛问题,且可能会由于径向及角度的选择而带来生态效率的测算偏差。理论和实践均表明,生态效率的测算偏差不仅会扭曲对经济增长绩效的评价,而且会使基于生态效率的政府决策发生偏误,导致资源环境的进一步恶化。为克服这一缺陷,Tone 提出了非径向、非角度的(SBM)模型来测算生态效率^[12]。因此,本研究将借鉴此模型,采用线性规划技术,对 1998—2009 年中国 30 个省份的农业生态效率及其空间分布特征进行分析,并给出农业生态效率的改善途径,以为实现资源节约、环境保护和经济增长三者协调发展的可持续农业增长模式提供科学借鉴。

1 研究方法和数据

1.1 研究方法

1.1.1 传统的生态效率评价方法:DEA 方法

DEA 方法是由 Charnes 和 Cooper 提出的一种评价决策单元相对效率的方法^[13]。由于该方法无需事先设定模型的具体形式和估计参数,避免了人为确定权重对测算结果的主观影响,因而在生态效率的研究中得到了广泛应用。假设有 K 个决策单元,每个决策单元有 N 种投入 X 、 M 种期望产出 Y 和 I 种非期望产出 U ,则

农业生态效率的 DEA 评价模型可以表示为:

$$\begin{aligned}
& \text{Min} \theta \\
& \text{s. t. } \sum_{k=1}^K z_k x_{nk} \leq \theta x_{n0}, n = 1, 2, \dots, N; \sum_{k=1}^K z_k y_{mk} \leq \theta y_{m0}, m = 1, 2, \dots, M \\
& \sum_{k=1}^K z_k u_{ik} \geq u_{i0}, i = 1, 2, \dots, I; \sum_{k=1}^K z_k = 1; z_k \geq 0; \theta \leq 1
\end{aligned} \tag{1}$$

式中, θ 为要计算的生态效率值,其取值范围在 0 和 1 之间,当 $\theta = 1$ 时表示决策单元生态效率完全有效; x_{n0} , y_{m0} , u_{i0} 分别表示决策单元的投入、期望产出和非期望产出值向量; z'_k 表示决策单元 $k = 1, \dots, K$ 的权重, z'_k 和为 1 以及非负表示为可变规模报酬的 DEA 模型,若去掉和为 1 的约束,则表示不变规模报酬的 DEA 模型。

1.1.2 改进的生态效率评价方法:非径向、非角度的 SBM 模型

上述 DEA 模型存在一个致命的弱点:其本质上仍属于径向的和角度的 DEA 度量方法。径向 DEA 度量方法会造成投入要素的“拥挤”或“松弛”问题。当存在投入或产出的非零松弛时,径向 DEA 模型会高估评价对象的生产率。而角度的 DEA 模型仅关注投入角度或者产出角度的某一个方面,因此计算的生产率结果并不准确。

如图 1 所示,图中显示的是两种投入 (X_1, X_2) 和一种产出 (Y) 的生产率测算情况。其中 C 点和 D 点的生产率为 1,为生产有效率点,EE' 为 C 点和 D 点所构成的生产前沿面,而 A' 和 B' 点为无效率点。按照径向 DEA 的度量方法, A' 和 B' 点的效率分别为 $\frac{OA}{OA'}$ 和 $\frac{OB}{OB'}$, 位于生产前沿面 EE' 上的点 A 和点 B 是 A' 和 B' 点对应的有效率参照点。然而,比较 A 点和 C 点,可以发现:在保证生产率为 1 的前提下, A 点的生产可以通过减少 CA 的 X_2 投入量而和 C 点生产同样的产出 Y。因此, A 点并不是真正有效率的点,因为存在着投入要素 X_2 的松弛。同样的情况存在于 B 点。当扩展到多投入多产出时,产出角度的松弛也会发生。

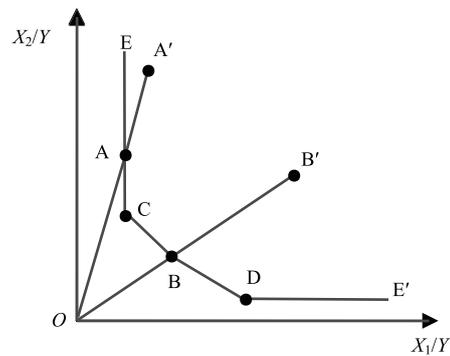


图 1 传统 DEA 测算模型中的投入松弛问题
Fig. 1 Input slacks in the traditional DEA model

为克服径向和角度 DEA 模型的缺陷, Tone 提出非径向、非角度的 SBM 模型,其基本形式为^[12]:

$$\begin{aligned}
\text{Min} \rho &= \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_n^x / x_{n0}}{1 + \frac{1}{M + I} \left(\sum_{m=1}^M s_m^y / y_{m0} + \sum_{i=1}^I s_i^u / u_{i0} \right)} \\
& \text{s. t. } \sum_{k=1}^K z_k x_{nk} + s_n^x = x_{n0}, n = 1, 2, \dots, N; \sum_{k=1}^K z_k y_{mk} - s_m^y = y_{m0}, m = 1, 2, \dots, M \\
& \sum_{k=1}^K z_k u_{ik} + s_i^u = u_{i0}, i = 1, 2, \dots, I; \sum_{k=1}^K z_k = 1; z_k \geq 0; s_n^x \geq 0; s_m^y \geq 0; s_i^u \geq 0
\end{aligned} \tag{2}$$

式中, s_n^x 和 s_i^u 分别表示投入和非期望产出的过剩(冗余),而 s_m^y 代表期望产出的不足; ρ 为要计算的生态效率值,其取值范围在 0 和 1 之间。当 $\rho = 1$ 时,表示生产单元完全有效率,此时 $s_n^x = s_i^u = s_m^y = 0$,不存在投入和非期望产出的过剩以及期望产出的不足;当 $\rho < 1$ 时,表示生产单元存在效率损失,可以通过优化投入量和产出量来改善生态效率。

从式(2)中可以看出:不同于传统的 DEA 模型,SBM 模型将投入和产出的松弛量 (s_n^x 、 s_i^u 、 s_m^y) 直接放入目标函数中,从而可以直接测量松弛所带来的与最佳生产前沿相比较的无效率,这一方面解决了传统 DEA 模

型中投入和产出松弛性的问题,剔除松弛所造成的非效率因素;另一方面也解决了非期望产出存在下的生产率评价问题。同时非径向、非角度的 SBM 模型具有无量纲性和非角度的特点,能够避免量纲不同和角度选择的差异带来的偏差和影响,比起其他模型更能体现生产率评价的本质。

SBM 模型不仅能测算出各个决策单元的生态效率值,还能得出特定决策单元与最优决策单元相比较的期望产出不足率和投入、非期望产出冗余率,从而为各地区提供相应的生态效率改善方向。当生产单元存在效率损失时(即 $\rho < 1$)时,基于松弛变量 s_n^x 、 s_i^u 、 s_m^y ,参照 Cooper 等的研究,可以将生态效率损失的来源分解为^[14]:

(1) 投入冗余 $IE_x = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_n^x/x_{n0}$, 表示投入要素的可缩减比例;

(2) 期望产出不足 $IE_y = \frac{1}{M+I} \sum_{m=1}^M s_m^y/y_{m0}$, 表示期望产出(农林牧渔业产值)的可扩张比例;

1.2 数据和变量

由于农业生态效率综合反映了资源节约、环境保护和农业经济增长这三者统筹协调发展的情况,因此本文在农业生态效率的评价指标选取上也主要考虑了这 3 种因素。参照以往的相关研究,本文选择土地、劳动力、役畜、化肥、机械、水资源等作为农业资源消耗指标^[15];农业经济活动所产生的环境影响主要是指环境污染物的排放(农业面源污染等标排放量),借鉴 Chung 等的思路,本文将环境污染作为一种非期望产出处理^[16];农业经济增长变量用农林牧渔业总产值表示,并通过 1998 年农林牧渔业总产值指数进行调整。变量具体设计见表 1。

表 1 农业生态效率投入产出指标

Table 1 Input and output indicators of agricultural eco-efficiency

指标 Indicator	变量 Variable	变量说明 Variable description
投入 Inputs	土地投入 Land	农作物播种及水产养殖面积/km ²
	劳动投入 Labor	农林牧渔业从业人员/万人
	化肥投入 Fertilizer	化肥使用折纯量/万 t
	机械投入 Machine	农业机械总动力/万 kW
	役畜投入 Animal	农用役畜数量/头
	水资源投入 Water	农业用水总量/亿 m ³
期望产出 Desirable outputs	农业经济增长 Agriculture growth	农林牧渔总产值/亿元
非期望产出 Undesirable outputs	农业面源污染 Agricultural non-point source pollution	农业面源污染等标排放量/km ³

上述的投入产出指标数据均来源于历年的《中国统计年鉴》、《中国农业年鉴》、《中国农村统计年鉴》、《改革开放三十年农业统计资料》和《中国渔业年鉴》等,并经计算整理组成 1998—2009 年中国大陆 30 个省市(西藏、香港、台湾、澳门除外)的面板数据集。其中农业面源污染等标排放量是作者参照陈敏鹏等^[17]以及梁流涛^[18]等采用清单分析方法计算得到,具体计算公式如下:

$$E = \sum_i EU_i \rho_i (1 - \eta_i) C_i \quad (3)$$

$$EI = E/S \quad (4)$$

式中, E 为农业面源污染排放量,主要包括化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)三类; EU_i 为单元 i 指标统计数; ρ_i 、 η_i 和 C_i 分别为单元 i 污染物的产污强度系数、利用效率系数和污染物排放系数。 EU_i 数据可从历年相关统计年鉴中获得,各产污强度系数、利用效率系数和排污系数等参数值则是作者经过广泛的文献调研并借鉴第一次全国污染源普查领导小组办公室发布的《污染源普查农业源系数手册》取得。式(4)中 EI 表示农业面源污染等标排放量,为农业面源污染排放量 E 和相应的污染物排放评价标准 S 的比值。根据 GB3838—2002 中的Ⅲ类水质标准, COD、TN、TP 污染物的排放评价标准分别为 20、1mg/L 和 0.2mg/L。

2 农业生态效率测算结果分析

2.1 农业生态效率的时间分布

以 DEA-SOLVER PRO 软件为计算平台,使用 SBM 模型测算得到中国 1998—2009 年的农业生态效率情况,结果见图 2。

图 2 数据表明:(1)1998—2009 年间中国农业生态效率整体呈现出波动中缓慢上升的态势,1998—2003 年期间农业生态效率出现波动中下降的态势,2003 年以后农业生态效率开始稳步上升。农业生态效率在 2003 年之后出现稳步攀升现象的原因可能在于:2003 年之前我国农业资源环境管制相对较弱,农业发展中自然资源和生态破坏较为严重;2003 年之后,国家和各级地方政府加大了对农业资源环境的管制力度,陆续出台了《水污染防治法》(2008)、《畜禽养殖业污染防治技术政策》(2010)等具体的农业资源环境管制措施,从而在一定程度上扭转了全国农业生态效率下降的趋势;(2)1998—2009 年间中国农业生态效率的均值为 0.499,这一方面说明中国的农业生态效率整体处于较低水平,我国农业并没有实现经济增长和资源环境保护的协调发展,另一方面也意味着我国的农业发展还存在较大的资源节约和环境保护空间。

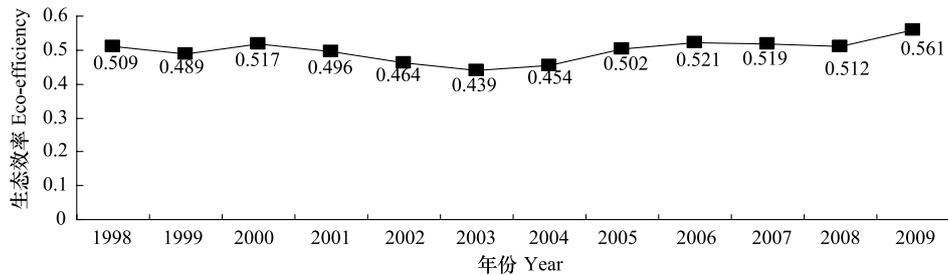


图 2 1998—2009 年中国农业生态效率变动趋势

Fig. 2 Agricultural eco-efficiency in China from 1998 to 2009

2.2 农业生态效率的空间分布

根据计算结果,1998—2009 年中国 30 个省市农业生态效率均值的排序如图 3 所示。

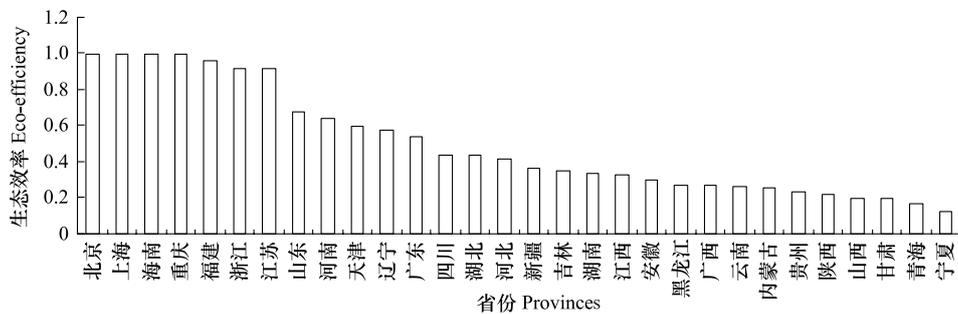


图 3 中国 30 个省市的农业生态效率

Fig. 3 Agricultural eco-efficiency in China in 30 provinces

(1)30 个省市中只有北京、上海、海南、重庆 4 个地区的农业生态效率值为 1,这说明相对于其他地区而言,这 4 个地区的投入产出已达到最优水平,在农业发展的同时有效地兼顾了资源和环境的保护。其余 26 个省市的农业生态效率都处于较低水平,属于农业生态效率非有效地区,需要改变投入和产出来推动农业生态效率达到有效状态。

(2)福建、江苏、浙江、河南、天津、山东、辽宁以及广东等 8 省市的农业生态效率值处于全国平均水平以上,四川、河北、安徽、湖北、吉林、湖南、江西、黑龙江、新疆、陕西、云南、广西、山西、内蒙古、贵州、甘肃、青海以及宁夏等 18 个省市的农业生态效率值处于全国平均水平以下。可见,农业生态效率较高的省份大多集中在东部地区,中西部地区的农业生态效率较低。这说明,目前我国东部省份在农业发展过程中更加注重资源和

环境的保护,农业经济发展方式较为持续,而中西部地区在农业发展过程中带来了大量的资源消耗和严重的环境污染,农业经济发展方式较为粗放。在大力提倡“两型农业”建设的今天,中西部地区的农业部门应该全面协调、统筹发展,兼顾经济效益和资源环境效益。

3 农业生态效率的改善方向

3.1 农业生态效率损失的原因

根据 SBM 模型,当农业生态效率值 <1 时,松弛量 s_n^x 、 s_i^u 、 s_m^y 的大小可以反映农业生态效率损失的原因。本文将 1998—2009 年我国各地区各投入变量松弛量 s_n^x 除以对应的投入指标值得到投入冗余率,将农业面源污染松弛量 s_i^u 除以相应的农业面源污染值得到农业面源污染冗余率,将农业产值松弛量 s_m^y 除以相应的农业产出值得到农业产出不足率,计算结果如表 2 所示。

表 2 农业生态效率投入和产出的优化结果

Table 2 Inputs and outputs optimization of agricultural eco-efficiency in each province

省份 Province	投入冗余率 Inputs slack/%						产出冗余率 Outputs slack/%	
	化肥 Fertilizer	役畜 Animal	劳动力 Labor	机械 Machine	土地 Land	水资源 Water	农业面源污染 Non-point source pollution	农林牧渔产值 GDP
天津	-32.34%	-66.51%	-24.13%	-47.30%	-32.78%	-14.58%	-5.01%	0.00%
河北	-51.35%	-35.99%	-59.09%	-73.18%	-59.02%	-25.62%	-36.85%	0.00%
山西	-71.56%	-92.22%	-81.01%	-81.18%	-81.70%	-35.73%	-38.38%	0.00%
内蒙古	-53.60%	-95.19%	-60.48%	-65.17%	-80.49%	-71.96%	-31.84%	0.00%
辽宁	-24.93%	-71.34%	-38.99%	-22.02%	-43.09%	-19.27%	-11.81%	0.00%
吉林	-56.66%	-91.17%	-48.55%	-42.45%	-68.93%	-30.71%	-31.48%	0.00%
黑龙江	-54.06%	-76.38%	-58.97%	-54.10%	-83.78%	-71.48%	-36.22%	0.00%
江苏	-8.70%	-6.83%	-8.36%	-8.02%	-6.40%	-3.95%	-31.02%	0.00%
浙江	-3.48%	-6.92%	-12.33%	-8.66%	-7.86%	-5.77%	-25.66%	0.00%
安徽	-62.98%	-44.53%	-74.23%	-60.59%	-70.28%	-30.26%	-40.19%	0.00%
福建	-7.01%	-1.36%	-9.68%	-0.85%	-2.96%	-2.30%	-33.21%	0.00%
江西	-48.17%	-87.68%	-70.65%	-46.50%	-71.63%	-61.15%	-30.80%	0.00%
山东	-34.19%	-19.35%	-39.04%	-41.56%	-34.36%	-8.47%	-45.74%	0.00%
河南	-31.87%	-18.97%	-37.45%	-34.97%	-32.05%	-3.98%	-49.89%	0.00%
湖北	-65.55%	-74.63%	-60.70%	-36.06%	-68.58%	-41.97%	-42.46%	0.00%
湖南	-47.65%	-61.62%	-76.22%	-49.05%	-67.54%	-56.56%	-44.96%	0.00%
广东	-25.41%	-48.91%	-57.43%	-19.11%	-24.18%	-40.73%	-28.62%	0.00%
广西	-57.54%	-87.31%	-76.69%	-48.17%	-67.00%	-66.16%	-28.14%	0.00%
四川	-41.97%	-53.92%	-74.12%	-18.41%	-62.82%	-14.84%	-43.06%	0.00%
贵州	-56.70%	-96.08%	-88.91%	-56.39%	-81.21%	-42.32%	-33.97%	0.00%
云南	-56.75%	-93.07%	-84.83%	-53.58%	-74.99%	-54.73%	-18.97%	0.00%
陕西	-71.79%	-84.80%	-81.02%	-54.32%	-75.84%	-36.18%	-20.36%	0.00%
甘肃	-60.60%	-96.93%	-82.71%	-70.48%	-80.10%	-74.42%	-9.66%	0.00%
青海	-34.11%	-97.91%	-83.11%	-77.05%	-74.87%	-78.10%	-1.62%	0.00%
宁夏	-74.89%	-98.66%	-77.81%	-81.10%	-82.48%	-90.94%	-11.00%	0.00%
新疆	-53.97%	-94.49%	-40.98%	-52.49%	-66.13%	-90.53%	-4.58%	0.00%
全国	-45.69%	-65.49%	-57.98%	-46.26%	-57.73%	-41.26%	-28.29%	0.00%
东部	-23.43%	-32.15%	-31.13%	-27.58%	-26.33%	-15.09%	-27.24%	0.00%
中部	-54.81%	-68.40%	-63.47%	-50.61%	-68.06%	-41.48%	-39.30%	0.00%
西部	-56.19%	-89.83%	-75.07%	-57.72%	-74.59%	-62.02%	-20.32%	0.00%

(1)北京、上海、重庆、海南的农业生态效率值为1,为生态效率有效地区;因此,本表不包含这4个地区;(2)按照冗余率大小进行排序,黑色表示对农业生态效率损失影响的最主要要素,深灰色为第二影响要素,浅灰色为第三影响要素;(3)东部地区包括河北、天津、广东、江苏、辽宁、山东、浙江、福建7省1市;中部地区包括安徽、河南、黑龙江、吉林、湖北、湖南、江西、内蒙古、山西9省;西部地区包括广西、贵州、云南、四川、西藏、宁夏、青海、甘肃、陕西、新疆10省

(1)从生产过程看,各省农林牧渔总产值的冗余率都为零,而投入要素和农业面源污染都存在一定的冗余。这说明农业产出不足并不是我国农业生态效率损失的原因,导致我国农业生态效率损失的原因主要集中

在资源投入和非期望产出两方面。资源消耗过多和环境污染排放过量是现阶段我国农业生态效率低下的主要原因。

(2) 从全国范围来看,农业生态效率损失的主要影响因素依次为役畜投入、劳动力投入和土地投入。役畜投入在我国农业生态效率损失中所占的比重最高,这说明目前我国的农业生产中役畜投入过多。由于我国存在着大量的农村剩余劳动力,劳动力投入构成农业生态效率损失的第二影响因素。土地投入对农业生态效率损失的影响排在第三位,在我国耕地面积日益稀缺的情况下,本不应该出现这样的情况。这说明我国的耕地资源并没有得到高质量的利用,耕地利用效率较低,从而导致土地投入出现较大冗余。这可能与我国小规模的土地经营方式有关,例如李谷成等以及 Chen 等的研究都表明小规模的生产将导致农业生产效率损失^[19-20]。

(3) 分区域来看,不同区域农业生态效率损失的原因有所不同。东部地区农业生态效率损失的主要影响因素依次为役畜投入、劳动力投入和机械投入;中部地区农业生态效率损失的主要影响因素依次为役畜投入、土地投入和劳动力投入;西部地区农业生态效率损失的主要影响因素依次为役畜投入、劳动力投入和土地投入。对比可以发现:东部地区的机械投入对该地区农业生态效率损失的影响较大,这可能与东部地区经济发展水平较高,机械投入过多有关。近年来,随着农机购置补贴等农业机械补贴政策的实施,在充足的资金实力下,东部地区的机械拥有量逐年攀升,从而造成机械的过量投入和利用效率的损失。通过分析农业生态效率损失的原因,可以清楚地了解各区域农业生态效率损失的主要影响因素,从而为农业生态效率的改善途径制定有针对性的政策。

3.2 农业生态效率的改善途径

从表 2 中可以发现,中国农业生态效率改善的潜力主要表现为资源消耗和农业面源污染两个方面。

3.2.1 从资源消耗看,各省市农业生态效率有不同的要素改善方面与潜力

(1) 化肥投入 化肥是农业生产的基本投入,然而过多的化肥投入也会导致农业发展的效率损失。宁夏、陕西、山西、湖北、安徽等省市具有较高的化肥改善潜力,甘肃、广西、云南、贵州、吉林的化肥投入也有一定的改善空间,降低化肥投入或提高化肥利用率对这些地区农业生态效率的改善非常关键;

(2) 役畜投入 几乎所有省份的役畜投入冗余率都很高,形成较高的改善潜力。宁夏、青海、内蒙古等省份的役畜投入冗余率较高。这些地区属于我国重要的畜牧养殖主产区,役畜投入高度集中,从而出现役畜冗余现象。因此减少役畜投入、提高役畜利用率是这些地区农业生态效率提高的重要途径;

(3) 劳动力投入 劳动力投入冗余率较高的省份主要分布在贵州、云南、青海、甘肃、陕西等西部地区。这些地区属于我国的欠发达地区,农村劳动力转移速度较慢,农业从业人员较多,从而出现劳动力投入过剩现象;

(4) 机械投入 机械是农业生产基本的资源投入,然而过多的机械投入是重要的资源浪费形式。山西、宁夏、青海、河北、甘肃、内蒙古等省市的机械投入冗余率较高,形成较大的改善潜力;

(5) 土地投入 土地是农业发展的基本支撑,黑龙江、宁夏、陕西、贵州、内蒙古、甘肃等中西部省份在土地投入上的改善潜力较大。这些地区土地经营规模较小、土地市场化程度较低,从而导致土地利用效率不高,出现土地投入过剩现象;

(6) 水资源投入 水资源是农业发展的基础资源,目前我国各地区的水资源都存在一定的冗余,尤其以宁夏、新疆、青海、甘肃、内蒙古、黑龙江等省份的水资源过量投入表现较为突出,提高水资源利用效率、发展节水型农业技术是这些地区农业生态效率改善的重要途径。

3.2.2 农业面源污染物是农业生产过程的主要污染物,对农业生态效率有重要影响

河南、山东、湖南、四川等省份有很高的农业面源污染减排空间,湖北、安徽、山西、河北、黑龙江等地区的农业面源污染改善潜力也很高。这些省份基本上都属于我国传统意义上的农业大省,为满足不断扩大的人口需求,近年来这些省份的农业产业化程度和集约化程度不断提高,畜禽养殖业发展迅速,从而导致农业面源污

染物排放量逐年增加,出现农业面源污染排放冗余的现象,尤其以人口第一大省河南、农业产业化大省山东和粮食主产大省湖南的农业面源污染物过量排放最为典型。因此,降低这些地区的农业面源污染物排放量是提高其农业生态效率的关键。

4 结论

生态效率是考量经济与资源环境协调发展的重要指标。本文在对传统 DEA 模型进行修正的基础上,采用非径向、非角度的 SBM 模型对中国 1998—2009 年 30 个省份的农业生态效率进行了测算,并给出了基于投入改变与基于产出改变的农业生态效率改善途径。

(1)1998—2009 年中国农业生态效率虽然呈现逐步上升的趋势,但整体水平较低,30 个省市中只有北京、上海、海南、重庆 4 个地区的农业生态效率处于有效状态,在农业发展的同时有效地兼顾了资源和环境的保护,其余省市的农业生态效率都处于非有效状态,需要改变投入和产出来优化生态效率。

(2)从投入产出冗余分析来看,目前中国农业生态效率损失的原因并不在于农业产出不足,而在于资源消耗过多和环境污染排放过多。提高资源利用效率、降低资源消耗量和环境污染排放量是农业生态效率改善的主要途径。

总之,从本文的实证研究可以发现,中国农业部门尤其是中西部地区农业部门的生态效率较低,这一方面说明中国面临着农业经济发展和资源环境保护的艰巨任务,另一方面也表明我国农业发展还存在较大的资源节约和环境保护空间,我国实行资源节约型和环境友好型的“两型农业”的潜力较大。因此,未来农业发展应从可持续发展理念出发,注重资源的保护和污染物排放量的控制,实现资源节约、环境保护和农业经济增长的三者统筹协调发展,避免因资源的过度消耗及污染物的过量排放而导致农业经济发展缓慢。

应指出的是,SBM 模型仅为农业生态效率的改善提供了基本方向。事实上,农业生态效率损失是多方面因素共同作用的结果,进一步对农业生态效率损失的影响因素进行计量分析,将有助于提出更加完备的农业生态效率改善政策建议,这是未来的重要研究方向。

References:

- [1] Rao J, Xu Y Y, Ji R T. Status, forming mechanism and control method of agricultural non-point source pollution in China. *Issues in Agricultural Economy*, 2011(8): 81-87.
- [2] Willard B. The sustainability advantages: seven business case benefits of a triple bottom line. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.
- [3] Verfaillie H A, Bidwell R, Cowe R. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance. World Business Council for Sustainable Development, 2000.
- [4] Wu X Q, Xu Y C, Lu G F. The evaluation of agricultural eco-efficiency: a case of rice pot-experiment. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2481-2488.
- [5] Fernández-Viné M B, Gómez-Navarro T, Capuz-Rizo S F. Eco-efficiency in the SMEs of Venezuela. Current status and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18(8): 736-746.
- [6] Hahn T, Figge F, Liesen A, Barkemeyer R. Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: a methodology and its application to the CO₂-efficiency of German companies. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(10): 1997-2007.
- [7] Van Middelaar C E, Berentsen P, Dolman M A, De Boer I. Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. *Livestock Science*, 2011, 139(1): 91-99.
- [8] Yang W, Jin F, Wang C, Lv C. Industrial eco-efficiency and its spatial-temporal differentiation in China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2012, 6(3): 1-10.
- [9] Zhang B, Huang H P, Bi J. Regional eco-efficiency analysis based on material flow analysis and data envelopment analysis: case study of Jiangsu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2474-2480.
- [10] Han R L, Tong L J, Song Y N. Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16): 4732-4740.
- [11] Yin K, Wang R S, Zhou C B, Liang J. Review of the accounting method and its applications of the domestic and international eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3595-3605.
- [12] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.

- [13] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429-444.
- [14] Cooper W W, Seiford L M, Tone K. *Data Envelopment Analysis*. Boston: Kluwer Academic Publishers, Second Edition. 2007.
- [15] Ying R Y, Pan D. Agricultural total factor productivity in China: a meta-regression analysis. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2012(3): 47-52.
- [16] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51(3): 229-240.
- [17] Chen M P, Chen J N, Lai S Y. Inventory analysis and spatial distribution of Chinese agricultural and rural pollution. *China Environmental Science*, 2007, 26(6): 751-755.
- [18] Liang L T. Study on the evolution temporal and spatial of rural ecological environment. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [19] Li G C, Feng Z C, Fan L X. Is the small sized rural household more efficient? the empirical evidence from Hubei province. *China Economic Quarterly*, 2009, 9(1): 95-124
- [20] Chen Z, Huffman W E, Rozelle S. Inverse relationship between productivity and farm size: the case of China. *Contemporary Economic Policy*, 2011, 29(4): 580-592.

参考文献:

- [1] 饶静, 许翔宇, 纪晓婷. 我国农业面源污染现状、发生机制和对策研究. *农业经济问题*, 2011(8): 81-87.
- [4] 吴小庆, 徐阳春, 陆根法. 农业生态效率评价——以盆栽水稻实验为例. *生态学报*, 2009, 29(5): 2481-2488.
- [9] 张炳, 黄和平, 毕军. 基于物质流分析和数据包络分析的区域生态效率评价——以江苏省为例. *生态学报*, 2009, 29(5): 2473-2480.
- [10] 韩瑞玲, 佟连军, 宋亚楠. 基于生态效率的辽宁省循环经济分析. *生态学报*, 2011, 31(16): 4732-4740.
- [11] 尹科, 王如松, 姚亮, 梁菁. 国内外生态效率核算方法及其应用研究述评. *生态学报*, 2012, 32(11): 3595-3605.
- [15] 应瑞瑶, 潘丹. 中国农业全要素生产率测算结果的差异性研究——基于 Meta 回归分析方法. *农业技术经济*, 2012(3): 47-52
- [17] 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 中国农业和农村污染清单分析与空间特征识别. *中国环境科学*, 2007, 26(6): 751-755.
- [18] 梁流涛. 农村生态环境时空特征及其演变规律研究[D]. 南京:南京农业大学, 2009.
- [19] 李谷成, 冯中朝, 范丽霞. 小农户真的更加具有效率吗? 来自湖北省的经验证据. *经济学*, 2009, 9(1): 95-124.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs
habitat ecological factors LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha
River DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip
irrigation TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi*
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)

- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P. DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of Sha River, Chengdu ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

《生态学报》2013 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,300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 吴文良 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33卷 第12期 (2013年6月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 2013)

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

主编 王如松
主管 中国科学技术协会
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

出版 科学出版社
地址:北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

印刷 北京北林印刷厂
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@espg.net

订购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第8013号
许可证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

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

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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