

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

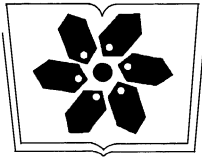
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 **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 5 期 2013 年 3 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制..... 王晶苑,张心昱,温学发,等 (1337)
- 工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展..... 梁淑敏,许艳萍,陈 裕,等 (1347)
- 最佳管理措施评估方法研究进展..... 孟凡德,耿润哲,欧 洋,等 (1357)
- 灌木年轮学研究进展..... 芦晓明,梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局..... 王艳兵,德永军,熊 伟,等 (1375)
- 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响..... 裴 斌,张光灿,张淑勇,等 (1386)
- 湖北石首麋鹿昼间活动时间分配..... 杨道德,李竹云,李鹏飞,等 (1397)
- 三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响..... 杨 桦,杨 伟,杨春平,等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征..... 徐佳奕,徐兆礼 (1413)
- 滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解..... 郭绪虎,肖德荣,田 昆,等 (1425)
- 安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌,刘 坤,周守标 (1433)
- 湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇,郭逍宇,赵 霏 (1443)
- 三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子..... 王兆国,王传宽 (1456)
- 不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应..... 周 洁,张志强,孙 阁,等 (1465)
- 不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛莘莘,高玉葆,何兴东 (1475)
- 藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英,胡 锋,罗大庆 (1482)
- 铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征..... 朱永恒,沈 非,余 健,等 (1495)
- 环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 ... 马 驿,彭金菊,王 芸,等 (1506)
- 基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志,高 颖,朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案..... 苏泳娴,张虹鸥,陈修治,等 (1524)
- 不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴,何丙辉,湛 芸 (1535)
- 京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究..... 孟 丹,王明玉,李小娟,等 (1545)
- 窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素..... 雷泳南,张晓萍,张建军,等 (1559)
- 模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局..... 李明月,王 健,王振兴,等 (1569)
- 铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇,李鹏飞,曾从盛,等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响..... 闫 宁,王晓清,王志丹,等 (1584)

佛手低温胁迫相关基因的差异表达..... 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)

美洲棘蓟马对不同蔬菜寄主的偏好性..... 朱 亮,石宝才,官亚军,等 (1607)

茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)

造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响..... 王 焱,席本野,崔向东,等 (1626)

基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率..... 赵 晨,王 远,谷学明,等 (1636)

研究简报

太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征..... 周 彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)

基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)

薇甘菊萎蔫病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响..... 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

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/stxb201208291220

赵晨,王远,谷学明,赵卉卉,吴尧萍,朱晓东,陆根法. 基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率. 生态学报, 2013, 33(5): 1636-1644.

Zhao C, Wang Y, Gu X M, Zhao H H, Wu Y P, Zhu X D, Lu G F. Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1636-1644.

基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率

赵 晨, 王 远*, 谷学明, 赵卉卉, 吴尧萍, 朱晓东, 陆根法

(南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210023)

摘要: 采用水足迹理论分析江苏省 2000—2010 年水资源的真实利用情况, 同时从投入产出的角度出发, 选取农业用水量、工业用水量、生活用水量、COD 排放总量、固定资产投资总额和从业人员数作为投入指标, GDP 和粮食产量作为产出指标, 运用数据包络分析中的 C^2R 和 BC^2 模型对这 11a 间江苏省的水资源利用效率进行评价。研究表明: 2010 年江苏省的水足迹为 778.28 m^3 , 总体呈缓慢上升趋势。农业用水、工业用水和虚拟水贸易是江苏省水资源利用中的主要组成部分。11a 间 DEA 有效年份占 64%, 投入冗余和产出不足均为 0, 即投入和产出达到最优状态。在 DEA 无效年份中存在冗余, 存在资源浪费和污染高排放的情况。可以通过 DEA 投影结果对其进行改进, 实现资源的最优配置。

关键词: 水资源; 水足迹; 数据包络分析; 利用效率

Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach

ZHAO Chen, WANG Yuan*, GU Xueming, ZHAO Huihui, WU Yaoping, ZHU Xiaodong, LU Genfa

State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210046, China

Abstract: This paper attempts to employ water footprint approach to analysis the real use situation of water resource in Jiangsu Province, and established C^2R and BC^2 models of data envelopment analysis (DEA) from the input-output perspective, which incorporates agricultural water, industrial water, domestic water, total COD discharge, fixed asset investment and labor as input indicators, and GDP and food production as output indicators to evaluate the water resources use efficiency of Jiangsu Province from the year 2000 to 2010. The results have shown that the water footprint of Jiangsu is 778.28 m^3 , indicating a slowly rising trend. In addition, the agricultural water, industrial water and the virtual water trade are major parts of water resource use in Jiangsu Province. The effective year of DEA accounts for 64% during the 11 years, and the redundant inputs as well as the insufficient output is zero value, which means that the input-output has achieved the optimal state. While the redundant input in the invalid years of DEA have shown the extra pollution and resources allocation is unreasonable, which can be theoretically resolved to arrive at the optimal equilibrium point through the analysis of the DEA projection.

Key Words: water resources; water footprint; data envelopment analysis; utilization efficiency

水是人类及一切生物赖以生存的必不可少的重要物质, 是工农业生产、社会经济发展和环境改善不可替代的极为宝贵的自然资源。中国是一个水资源储量非常丰富的国家, 淡水总量为 28000 亿 m^3 , 占全球水资源

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40701063)

收稿日期: 2012-08-29; 修订日期: 2013-01-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ywang@nju.edu.cn

的 6%, 仅次于巴西、俄罗斯和加拿大, 居世界第 4 位。但由于人口众多, 人均水资源占有量仅有 2200m^3 , 仅为世界平均水平的四分之一、美国的五分之一, 在世界上名列 121 位。且由于中国目前处于经济的转型发展时期, 还是以粗放型的发展方式为主, 日趋严重的水污染降低了水体的使用功能, 进一步加剧了水资源短缺的矛盾。因此, 更有效率的利用有限的水资源, 使其创造出更大的社会经济价值就成为了必须要关注的紧迫问题。

国内外很多学者就水资源利用效率的问题进行了深入的研究, 从国外的研究进展来看, 有些学者围绕农业资源高效可持续利用, 对农业水资源利用效率进行了评价^[1-9]; 有些学者研究了工业用水效率的问题, 指出运用工业水循环利用技术可以提高工业用水效率^[10-11]; 还有学者研究了城市水资源的利用效率^[12]; 从国内的研究进展来看, 由于中国是一个农业大国, 因此很多学者关注了农业水资源的利用效率问题^[13-15]; 更多的学者从城市、省级或者全国层面上研究了水资源的利用效率^[16-20]。以上学者在进行水资源利用评价的时候, 大多是基于各个用水部门用水量即实体水的统计, 缺乏对于蕴含在产品和服务内部的水资源即虚拟水的考虑。如果将虚拟水计算在内, 水资源利用效率的评价结果会大大不同。本文结合水足迹理论识别江苏省 2000—2010 年间水资源的真实利用情况, 并运用数据包络分析方法评价其利用效率, 为江苏更加合理高效的利用水资源提供建议。

1 研究方法

水足迹理论最早是由荷兰学者 Hoekstra 提出的, 该理论能够更真实的反应某一区域水资源的真实消费情况。数据包络分析方法 (DEA) 可以避免人为主观因素的影响, 对于各种复杂情况的评价结果更具有客观有效性, 并且可以对结果进行排序与调整。本文结合水足迹理论和数据包络分析方法来评价江苏省水资源的利用效率。

1.1 水足迹理论

水足迹 (WF) 被定义为一定区域内人口消费的产品和服务所使用的水资源总量^[21]。水足迹不仅包括了人类社会发展所消耗的实体水, 还包括了蕴藏在产品和服务内的虚拟水资源, 能够真实的表现出区域水资源的利用量。

由于贸易的存在, 一个国家或地区的水足迹等于该国家或地区所生产产品和服务的总用水量与虚拟水进出口量的代数和, 主要有 2 部分构成, 表达式为:

$$\text{WF} = \text{IWF} + \text{EWF} \quad (1)$$

式中, WF 为一个国家或地区的水足迹; IWF 表示生产该国家或地区当地居民所消费的所有产品和服务的区域内水资源需求总量, 即内部水足迹; EWF 表示由其他地区生产并被本地区居民所消费的产品和服务所消耗的水量, 即外部水足迹。

$$\text{IWF} = \text{AWU} + \text{IWU} + \text{DWU} + \text{EWU} + \text{VWE} \quad (2)$$

式中, AWU 为农产品需水量; IWU 为工业需水量; DWU 为居民生活水量; EWU 为生态用水量; VWE 表示产品虚拟水的出口量。

$$\text{EWF} = \text{VWI} - \text{VWE}_{\text{re}} \quad (3)$$

式中, VWI 表示进口产品虚拟水量; VWE_{re} 表示向其他国家或地区输出的进口产品再出口量。

农产品需水量由农作物需水量和动物产品虚拟水含量两部分组成, 在计算农作物需水量的时候, 本文采用修正的标准彭曼 (Penman-Monteith) 公式计算气候因素影响下的参考农作物需水 ET_0 (mm/d):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273}(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (4)$$

式中, Δ 是饱和水汽压与温度相关曲线的斜率; R_n 是作物表面的净辐射; G 是土壤热通量; γ 是湿度计常数; T 为平均空气温度; U_2 是 2m 高的风速; e_a 是饱和水汽压; e_d 是实测水汽压; $(e_a - e_d)$ 是饱和水汽压与实测水汽压的差额。

其次, 以作物系数 K_c 对 ET_0 进行调整获得单位面积该农作物需水量 W_c (m^3/hm^2):

$$W_c = K_c ET_0 \quad (5)$$

本文的作物系数 K_c 为联合国粮农组织 (FAO) 推荐的作物系数 K_c (部分作物系数缺失, 采用相近作物系数代替)。动物产品生产用水包括活体动物虚拟水含量和宰杀加工用水两部分, 前者包括动物整个生长过程中消耗的饲料的虚拟水含量、饮用水、圈舍清洁用水和加工饲料的用水量。其大小取决于动物的品种、饲养系统、饲料消耗量以及饲养地的气候条件。由于计算需要很多数据难以获得, 所以一般采用 Chapagain 和 Hoekstra 有关中国动物产品虚拟水的计算结果^[22-23]。

本文中的工业用水量、生活用水量和生态用水量的相关数据从历年的水资源公报上获得。因进出口贸易中各商品种类繁多, 为简化计算, 虚拟水贸易中农林牧渔业与工业产品虚拟水含量分别为各自万元产值用水量与贸易量相乘得到, 由于缺乏数据, 本文忽略了进口产品再出口的虚拟水量。

1.2 数据包络分析 (DEA)

数据包络分析 (DEA) 是管理学、运筹学与数学经济学交叉研究的一个领域, 由美国运筹学家 Charnes, Cooper 和 Rhodes^[24] 于 1978 年提出, 该方法的原理主要通过保持决策单元 (DMU) 的输出或者输入不变, 借助于数学规划和统计数据确定相对有效的生产前沿面, 将各个决策单元投影到 DEA 的生产前沿面上, 并通过比较决策单元偏离 DEA 前沿面的程度来评价它们的相对有效性。

DEA 中最具代表性的模型有 C^2R , BC^2 , C^2WH 和 C^2W 等多个模型。其中 C^2R 模型为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min [\theta - \varepsilon (\sum_{r=1}^t s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^-)] \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- - \theta x_{i0} = 0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ \lambda_j \geq 0 \\ s_i^- \geq 0 \\ s_r^+ \geq 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

式中, λ_j 为相对于 DMU_i 重新构造的一个有效 DMU 组合中第 j 个决策单元 DMU 的组合比例; n 为决策单元 DMU 的个数; m 和 t 分别为投入指标 (消耗的资源) 和产出指标 (输出的成效); x_{ij} 为第 j 个决策单元对第 i 种类型投入的投入量; y_{rj} 为第 j 个决策单元对第 r 种类型产出的产出量; s_i^- , s_r^+ 为松弛变量, 分别代表投入冗余和产出不足; ε 为一阿基米德无穷小量, 可取 $\varepsilon = 10^{-6}$; θ 为该决策单元 DMU 的有效值, 即投入相对于产出的相对效率。

C^2R 模型的经济含义为:

(1) 当 $\theta=1$, 并且 $s_i^- = s_r^+ = 0$ 时, 称 DMU DEA 有效, 其形成的有效前沿为规模收益不变, 且 DMU 为规模且技术有效。

(2) 当 $\theta < 1$ 时, 称为 DMU DEA 无效, 或者是技术无效, 或者是规模无效; 若 $\sum \lambda_i = 1$, 则 DMU_j 是技术有效的, 否则 DMU_j 是技术无效的。令 $K = 1/\theta \sum_{j=1}^n \lambda_j$, 当 $K=1$ 时, 称 DMU 规模有效; 当 $K < 1$ 时, 规模收益递增, 反之递减。

(3) 若 DMU 无效, 可以通过 DMU 在相对有效平面上的投影来改进非 DEA 有效的决策单元, 令 $x_0^* = \theta x_0 - s_i^-$, $y_0^* = y_0 + s_r^+$, 则 (x_0^*, y_0^*) 为 (x_0, y_0) 生产有效前沿面上的投影, 即相对于原来的 n 个 DMU 是有效的。

C^2R 模型可以用来衡量整体效率, 但是无效率时, 可能是技术因素造成的也可能是规模因素造成的。在 C^2R 模型的基础上增加了凸性假设 $\sum \lambda_j^* = 1$, 并将 θ 改为 σ , 就得到 BC^2 模型, 使用 BC^2 模型可以评价各决

策单元的纯技术效率, BC^2 模型下的 DEA 有效, 是技术有效, 但不一定是规模有效。

令 $s = \theta / \sigma$, 则 s 为规模效率。 $s = 1$, 纯规模有效; $s < 1$, 则纯规模无效^[24]。

C^2R 模型和 BC^2 模型二者配合使用, 便可评价每个 DMU 的综合效率, 纯技术效率和规模效率。

2 实证分析

2.1 研究区概况与数据来源

江苏省位于我国东部沿海中心, 全省土地面积为 12.4 万 km^2 , 海域面积为 13.6 万 km^2 。全省河网密布, 有大小湖泊 290 多个, 水面面积达到 17300 km^2 , 占全省总面积的 17%, 为全国水面积比重之最^[25]。江苏省水资源总量相对丰富, 2010 年水资源总量为 383.5 亿 m^3 , 但由于人口密集, 人均水资源占有量仅为 489.9 m^3 , 且水污染问题较为严重。江苏虽然是一个水资源总量相对丰富的省份, 但人均占有量却十分不足, 水资源短缺已成为制约江苏社会经济可持续发展的重要因素。

数据来源主要包括: 联合国粮农组织 CROPWAT 需水量计算软件及 CLIMWAT 数据库, 国际虚拟水研究成果中的中国动物产品虚拟水含量计算成果^[22-23], 江苏省历年水资源公报、《江苏省统计年鉴 (2001—2011)》、《中国环境统计年鉴》、《中国统计年鉴》。

2.2 江苏省水足迹计算结果

从图 1 中可以看出, 江苏省历年的水足迹从 2000 年的 699.82 亿立方米增长到 2010 年的 778.28 亿 m^3 , 虽然在某些年份出现的下降, 但总体上呈上升趋势, 年均增长 7.1 亿 m^3 。江苏省的人均水足迹从 2000 年到 2010 年整体变化不大, 基本在 900—1000 $m^3 \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 高于中国西北四省的人均水足迹 865 $m^3 \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[26], 低于中国上海的人均水足迹 1366 $m^3 \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[27], 也低于全球人均水足迹 1240 $m^3 \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 与世界发达国家的人均水足迹, 如美国 2480 $m^3 \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 和加拿大 2049 $m^3 \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[28] 还有一定的差距。可见人均水足迹的水平与经济的发展程度有着一定的关系, 经济越发达的地区其人均水足迹也就相对较高。

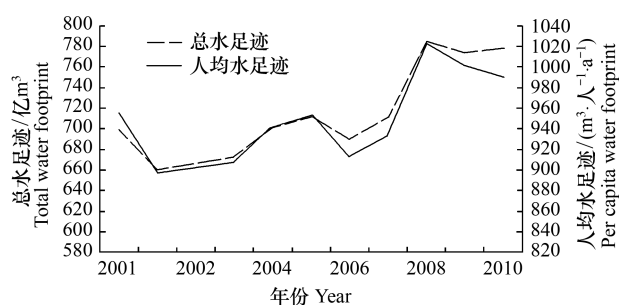


图 1 江苏省历年总水足迹与人均水足迹

Fig. 1 The total water footprint and per capita water footprint of Jiangsu Province

从图 2 中可以看到, 农产品需水量历年均为江苏省水足迹最大的部分, 11a 间从 547.71 亿 m^3 增长到 601.23 亿 m^3 , 总体变化不大, 呈缓慢上升趋势, 年均增加 4.9 亿 m^3 ; 工业用水量呈现先增加后减小的变化趋势, 最大值出现在 2007 年, 工业需水量历年均低于农产品需水量, 为江苏省水足迹中第二大的组成部分, 平均占到总水足迹的 25%。生活用水量和生态用水量在历年水足迹中所占比例较小, 且总体变化趋势不大, 平均占到 4.6% 和 1.6%。虚拟水贸易为江苏历年水足迹的第三大组成部分, 虚拟水进口量从 2000 年的 63.19 亿 m^3 增长到 2010 年的 184.39 亿 m^3 , 增长了 192%, 虚拟水出口量从 97.64 亿 m^3 增长到 238.34 亿 m^3 , 增长了 144%。

3.3 江苏省水资源利用效率评价

3.3.1 指标选取

本文以 2000—2010 年江苏省的农业用水量, 工业用水量、生活用水量, COD 排放总量, 固定资产投资总额, 从业人员数作为投入指标, 此几项指标综合反应了江苏水资源供给能力, 进而影响其水资源利用效率, 其中水资源利用结构和利用量等指标一定程度反应出区域水资源供给等资源禀赋因子; 以 GDP 和粮食产量作为产出指标, 具体的投入产出数据说明如下:

(1) 农业用水量 农业是水资源消耗最大的部门, 本文的农业用水量是利用水足迹理论计算得到, 可以更真实的反应农业的水资源利用情况。

(2) 工业用水量 工业生产过程中需要一定量水的参与, 主要用于冷凝、稀释和溶剂等作用。一方面, 在

水资源的利用过程中通过不同的途径进行消耗;另一方面,又以废水的形式排入自然界,参与正常水循环^[27]。因此选取农业需水量和工业用水量的加和生产用水量作为投入指标,反应生产活动中水资源的利用情况。

(3)生活用水量 生活用水包括居民用水、公共用水(含建筑业用水、第三产业用水和流动人口用水)。

(4)COD 排放总量 化学需氧量包括工业废水排放和生活污水排放,是水体的主要污染物,过多的污染物会降低水资源的利用效率,因此选取 COD 排放量作为投入指标。

(5)固定资产投资总额 由于水资源本身作为一种自然资源,其必须与社会资源共同利用才能带来产出,因此选取固定资产投资作为投入指标。

(6)从业人员数 本文从消费的角度来考虑水资源的利用情况,而人是消费的主体,选取从业人员数作为投入指标可以反映全社会劳动力对水资源的消费情况。

(7)GDP 水资源作为一项经济资源能带来经济的产出,所以选取 GDP 作为产出指标之一。

(8)粮食产量 农业是水资源消耗最大的部门,而粮食产量是农业产出的主要指标,因此选取粮食产量衡量水资源在农业方面的利用情况。

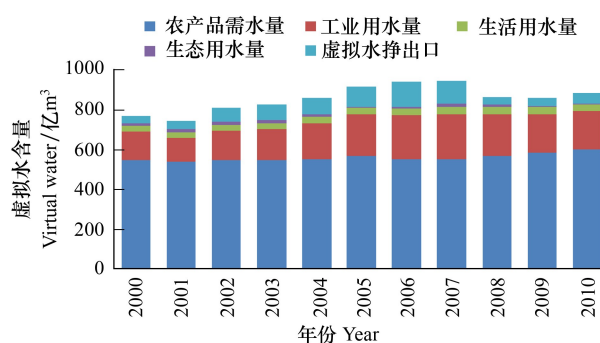


图2 江苏省历年水足迹构成

Fig. 2 The consist of water footprint in Jiangsu Province

表1 江苏省2000—2010年投入产出指标

Table 1 Index of input and output in Jiangsu Province from 2000 to 2010

年份 Year	农业用水量 Agricultural water /亿 m ³	工业用水量 Industrial water /亿 m ³	生活用水量 Domestic water Domestic water /亿 m ³	COD 排放总量 /万 t	固定资产投资总额 Fixed asset investment /亿元	从业人员数 Labor /万人	GDP /亿元	粮食产量 Food production /万 t
2000	547.71	142.41	29.54	65.38	1844.45	4418.14	5266.98	3106.63
2001	540.08	118.67	30.01	83.10	2026.32	4436.45	5801.65	2942.05
2002	548.74	145.53	30.86	78.40	2354.01	4472.84	6478.37	2907.05
2003	547.53	155.80	31.70	76.70	3156.53	4499.97	7360.91	2471.85
2004	551.36	182.62	32.30	85.40	3843.78	4537.07	8446.68	2829.06
2005	568.61	207.90	33.29	96.60	4544.71	4578.75	9671.45	2834.59
2006	552.64	220.30	34.02	93.00	5147.57	4628.95	11112.50	3096.03
2007	553.44	225.30	34.73	89.10	6020.41	4677.88	12768.26	3132.24
2008	569.05	209.40	35.30	85.10	6994.94	4700.96	14389.83	3175.49
2009	583.79	194.60	35.95	82.17	8898.98	4726.54	16181.36	3230.10
2010	601.23	191.85	34.00	78.80	10206.22	4754.68	18236.39	3235.10

3.3.2 模型运行结果分析

将表1的数据代入到C²R模型中求解,得到2000到2010年江苏省水资源利用效率 θ 值和各DMU的松弛变量值,经整理结果如表2所示。将表1的数据代入BC²模型进行计算,得到2000到2010年间江苏省水资源利用的纯技术效率值 σ ,见表3第三列。表3的数据是将各年的综合效率、纯技术效率、规模效率和规模效益进行总结后得到的。

由表2可见2000—2010年期间,DEA有效的年份为2000、2001、2002、2007、2008、2009年和2010年,综合效率值 θ 都为1,且松弛变量 s_i^- , s_r^+ 值均为0,表明这七年间投入和产出达到了最佳状态。其余年份综合效率值都小于1,但无效年份的综合效率都达到了0.9以上,说明江苏省水资源的整体利用效率处在一个较高

的水平上。无效年份在投入和产出方面都存在冗余,说明这些年份在水资源的利用过程中存在利用效率不足的情况, s_1^- 、 s_2^- 、 s_3^- 、 s_4^- 和 s_6^- 值不为0,说明农业用水、工业用水、生活用水以及从业人员数相对于输出而言出现了过剩,且存在废水中COD排放过多的情况,而 s_5^- 值为0,表明固定资产投资却没有出现剩余。所以江苏省在水资源和劳动力方面出现投入过多且COD排放过多的情况,而在利用,管理资金的效率方面达到了最优。

表2 C²R模型求解结果
Table 2 The results of C²R model

决策单元 Decision making units(DMU)	θ	s_1^-	s_2^-	s_3^-	s_4^-	s_5^-	s_6^-	s_1^+	s_2^+
2000年	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2001年	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2002年	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2003年	0.9479	1.7059	0	0.5286	0	0	44.1574	0	329.2317
2004年	0.9392	2.6420	3.9306	0.0511	3.8566	0	0	0	0
2005年	0.9454	18.1161	14.2228	0.2132	11.4192	0	0	0	31.1819
2006年	0.9911	0	12.9540	0.3311	8.1373	0	0	0	0
2007年	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2008年	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2009年	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2010年	1	0	0	0	0	0	0	0	0

表3 江苏省水资源利用的综合效率、纯技术效率以及规模效率

Table 3 The overall efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency in Jiangsu Province

决策单元 Decision making units(DMU)	综合效率 Overall efficiency(θ)	纯技术效率 Pure technical efficiency(σ)	纯规模效率 Scale efficiency(s)	$\sum \lambda_i$	$K = \frac{1}{\theta} \sum_{j=1}^n \lambda_j$	规模效益 Scale value
2000年	1	1	1	1	1	规模恰当
2001年	1	1	1	1	1	规模恰当
2002年	1	1	1	1	1	规模恰当
2003年	0.9479	0.9993	0.9486	0.9361	0.9876	规模递增
2004年	0.9392	0.9956	0.9433	0.9357	0.9963	规模递增
2005年	0.9454	0.9928	0.9523	0.9418	0.9962	规模递增
2006年	0.9911	0.9977	0.9934	0.2112	0.2131	规模递增
2007年	1	1	1	1	1	规模恰当
2008年	1	1	1	1	1	规模恰当
2009年	1	1	1	1	1	规模恰当
2010年	1	1	1	1	1	规模恰当

从表3可以看出,在综合效率有效的年份,其纯技术效率值 σ 均为1,达到纯技术有效,所有综合效率值小于1的年份,其纯技术效率值 σ 均小于1,纯技术无效;说明个资源之间的组合并没有达到最优状态,要素的投入结构需要进一步改善;从纯规模效率的层面来看,所有综合效率值小于1的年份,纯规模效率值 s 均小于1,为纯规模无效。在DEA有效的7a处于规模收益恰当的阶段,已经达到最佳的规模收益点;而在非DEA有效的年份中,2003到2006年为规模收益递增,表明继续扩大生产规模,增加资源的投入,以获得更大的产出。

对表3中非DEA有效的年份在有效平面上进行投影调整,得到的结果见表5。这些年份中,江苏省在农业用水、工业用水、生活用水、固定资产投资和从业人员数的投入上存在冗余且水体中污染过多,可以通过相应的减少每项的投入来达到水资源的有效利用。从平均节约(削减)率来看,COD可削减的程度最多,达到

10.68%,其次是工业用水量,为8.12%,其余指标需要节约的程度相当。因此,节约工业用水量,降低废水COD排放量就是江苏省今后在水资源利用需要重点考虑的问题。农业是水资源消耗最大的部门,应适当降低农业用水比例,发展农业节水技术。淘汰耗水大,污染严重的工业产业链,提高工业用水效率。同时优化固定资产投资,提高从业人员节水意识。

表4 DEA 投影的调整结果

Table 4 The adjustment of the DEA projection results

年份 Year	农业用水可节约量 Agricultural water savings /亿 m ³	工业用水可节约量 Industrial water savings /亿 m ³	生活用水可节约量 Domestic water savings /亿 m ³	COD 可削减量 COD reductions /万 t	固定资产投资 可节约量 Fixed assets investment savings /亿元	从业人员可 节约人数 Labor savings/万人
2003	30.2131	8.1117	2.1791	3.9934	164.3441	278.4469
2004	36.1141	15.0173	2.0120	9.0411	233.3510	275.4400
2005	49.1250	25.5604	2.0286	16.6872	247.8415	249.6978
2006	4.8845	14.9011	0.6318	8.9593	45.4971	40.9133
平均节约 (削减)率/% The average savings (reduction)rate	5.40	8.12	5.26	10.68	4.40	4.65

3 结论与建议

3.1 结论

(1)2000 到 2010 年,江苏省水足迹呈上升的趋势,年均增长 7.1 亿 m³,农业和工业是江苏省水资源消耗最大的两个部门。

(2)从整体上看,江苏省 2000—2010 年水资源的利用效率基本上保持在一个较高的水平上,DEA 有效的年份占 64%,无效的年份占 36%,并且在 DEA 无效的年份中,其水资源的利用效率都保持在 0.9 以上,达到较高的水平。

(3)造成江苏省水资源利用 DEA 无效的原因既有技术无效的原因又有规模无效的原因,在 DEA 无效的年份,江苏在农业用水,工业用水,生活用水,COD 排放,固定资产投资和劳动力投入方面存在冗余,平均每年分别可以节约或削减 30.08 亿 m³、15.91 亿 m³、1.71 亿 m³、9.67 万 t、172.76 亿元和 211.12 万人。

3.2 建议

(1)江苏省水足迹分析结果显示,农业是耗用水资源最多的部门,所以应该逐步降低农业用水比例,依靠节水技术,提高农业用水效率;调整工业结构,淘汰产业链落后,耗水量大的产业,大力发展信息工程等高新技术产业和金融、旅游等第三产业。

(2)结合规模效益的评价结果,江苏应该合理规划生产要素的投入,减少水资源,资金和劳动力等在生产中的投入比例,鼓励技术创新,提高技术进步在水资源利用中的贡献率。一是通过宏观层面的管理技术创新,主要包括经济结构调整和经济发展方式转变,推动经济发展方式由粗放型增长到集约型增长,从单纯的经济增长到全面协调可持续的增长。调整工业布局,发展低耗水行业,限制高耗水部门,建立“耗水减量化”、“废水资源化”的工业用水模式;二是从具体技术层面上,通过吸收国内外先进的节水技术,提高用水效率。

References:

- [1] Fuller B W. Surprising cooperation despite apparently irreconcilable differences; agricultural water use efficiency and calfed. Environmental Science & Policy, 2009, 12(6SI): 663-673.
- [2] Onishi A, Sato Y, Watanabe T, Fukushima, Cao X, Imura H, Matsuoka M, Morisugi M. Study on sustainable agricultural production and

- agricultural water use efficiency in the Yellow River Basin of China. From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management, 2009: 465-470.
- [3] Singh K. Rational pricing of water as an instrument of improving water use efficiency in the agricultural sector: a case study in Gujarat, India. International Journal of Water Resources Development, 2007, 23(4): 679-690.
- [4] Christian-Smith J, Cooley H, Gleick P H. Potential water savings associated with agricultural water efficiency improvements: a case study of California, USA. Water Policy, 2012, 14(2): 194-213.
- [5] Mcvcar T R, Zhang G L, Bradford A S, Wang, H X, Dawes W R, Zhang L, Li L T. Monitoring regional agricultural water use efficiency for Hebei Province on the North China Plain. Australian Journal of Agricultural Research, 2002, 53(1): 55-76.
- [6] Wallace J S. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agriculture Ecosystems & Environment, 2000, 82(1/3SI): 105-119.
- [7] Deng X P, Shan L, Zhang H P, Turner, N C. Improving agricultural water use efficiency in and and semiarid areas of China. Agricultural Water Mangement, 2006, 80(1/3): 23-40.
- [8] Waraich E A, Ahmad R, Ashraf M Y, Saifullah, Ahmad M. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. Acta Agriculture Scandinavica Section B-soil and Plant Science, 2011, 61(4): 291-304.
- [9] Manneville V, Le Gall A, Dolle J B, Lucbert J. Efficiency of the plan for the control of the pollutions of agricultural origin in france for the recovery of the nitrate quality of waters. Fourrages, 2010(204): 289-296.
- [10] Bindra S P, Muntasser M, El Khweldi M, El Khweldi A. Water use efficiency for industrial development in Libya. Desalination, 2003, 158(1/3SI): 167-178.
- [11] Heeps D P. Efficiency in Industrial municipal and domestic water-use. Australian Water Resources Council Technical Paper, 1977(20): 1-113.
- [12] Aida K, Cooper W W, Pastor J T, Sueyoshi T. Evaluating water supply services in Japan with ram: a range-adjusted measure of inefficiency. Omega-international Journal of Management Science, 1998, 26(6): 785.
- [13] Li D L, Ding J J, Fu Z T, Liu A M. Appraisal method and case study on comprehensive utility efficiency of agricultural resources. Journal of China Agricultural University, 1994, 4(2): 19-22.
- [14] Lei B, Liu Y, Xu D, Jiang W L. Advances in evaluation study on utility of agriculture water utilization. Advances in Water Science, 2009, 20(5): 732-738.
- [15] Liu Y, Du J, Zhang J B. Estimation on utilization efficiency of agricultural water resource in Hubei Province. China Population Resources and Environment, 2007, 17(6): 60-65.
- [16] Qian W J, He C F. China's regional difference of water resource use efficiency and influencing factors. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(2): 54-60.
- [17] Zhang S Q, Zhang X, Yu L X. The evaluation system water use efficiency and effective. Modern Property Management, 2011, 10(2): 89-91.
- [18] Ji Y H, Zhang H W, Jiang L. Water efficiency evaluation of Lanzhou based on data envelopment analysis. Resources & Industries, 2012, 14(1): 49-52.
- [19] Deng H B, Liu T X, Xiong X B, Rong B L. On utilization efficiency of water resources in China based on production function. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010, 30(5): 16-17.
- [20] Sun C Z, Yan D. The evaluation of water resource and socio-economic sustainable using in Dalian based on the DEA model. Journal of Economics of Water Resources, 2008, 26(4): 1-5.
- [21] Wang X H, Xu Z M, Long A H. Estimation of water footprint of China in 2000. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(5): 693.
- [22] Hoekstra A Y, Chapagain A K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management, 2007, 21(1): 35-48.
- [23] Hoekstra A Y, Chapagain A K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Integrated Assessment of Water Resources and Global Change, 2007: 35-48.
- [24] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operational Research, 1979, 3(4): 339.
- [25] Sun C H, Xue L Y. The analysis of water resources' ecological footprint in Jiangsu Province. Journal of Yunnan Normal University(Natural Sciences Edition), 2010, 30(5): 56-61.
- [26] Long A H, Xu Z M, Zhang Z Q. Estimate and analysis of water footprint in northwest China, 2000. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(6): 692-700.
- [27] Deng X J, Xie S Y, Yang S Y, Wang L Y. Application and research of water footprint analysis in Shandong Province. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2008, 3(1): 62-68.

- [28] Gu X M, Wang Y, Zhao H H, Zhu X D, Lu G F. Linking between water resources utilization and economic growth in Jiangsu Province. China Environmental Science, 2012, 32(2):351-358.

参考文献:

- [13] 李道亮,丁娟娟,傅泽田,封志明,刘爱民. 农业资源综合利用效率的评价方法及案例分析. 中国农业大学学报, 1994, 4(2): 19-22.
- [14] 雷波,刘钰,许迪,姜文来. 农业水资源利用效用评价研究进展. 水科学进展, 2009, 20(5):732-738.
- [15] 刘渝,杜江,张俊飏. 湖北省农业水资源利用效率评价. 中国人口. 资源与环境, 2007, 17(6): 60-65.
- [16] 钱文婧,贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究. 中国人口. 资源与环境, 2011, 21(2): 54-60.
- [17] 张淑清,张昕,俞黎曦. 水资源利用效率及效益的评价体系. 现代物业(中旬刊), 2011, 10(2): 89-91.
- [18] 吉亚辉,张浩文,姜玲. 基于数据包络分析的兰州市水资源效率评价. 资源与产业, 2012, 14(1): 49-52.
- [19] 邓红兵,刘天星,熊晓波,荣冰凌. 基于生产函数的中国水资源利用效率探讨. 水利水电科技进展, 2010, 30(5): 16-17.
- [20] 孙才志,闫冬. 基于 DEA 模型的大连市水资源-社会经济可持续发展评价. 水利经济, 2008, 26(4): 1-5.
- [21] 王新华,徐中民,龙爱华. 中国 2000 年水足迹的初步计算分析. 冰川冻土, 2005, 27(5): 693.
- [25] 孙成慧,薛龙义. 江苏省水资源生态足迹分析. 云南师范大学学报(自然科学版), 2010, 30(5): 56-61.
- [26] 龙爱华,徐中民,张志强. 西北四省(区)2000 年的水资源足迹. 冰川冻土, 2003, 25(6): 692-700.
- [27] 邓晓军,谢世友,王李云,黄岩. 城市水足迹计算与分析——以上海市为例. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(1): 62-68.
- [28] 谷学明,王远,赵卉卉,王芳,朱晓东,陆根法. 江苏省水资源利用与经济增长关系研究. 中国环境科学, 2012, 32(2): 351-358.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 5 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
- Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
- A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
- Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
- Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
- Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
- Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethytidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
- Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
- The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
- Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
- Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
- Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
- An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
- Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
- Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
- Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
- Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
- Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade	MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment	LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C,N and P distribution of <i>Schima superba</i> seedlings in response to simulated nitrogen deposition	LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields	WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)

Resource and Industrial Ecology

Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of <i>Zizania latifolia</i> Turcz. plants are affected by <i>Ustilago esculenta</i> infection	YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron(<i>Citrus medica</i> L. var. <i>sarcodactylis</i> Swingle)	CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
Hosts preference of <i>Echinothrips americanus</i> Morgan for different vegetables ...	ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants	YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of <i>Populus tomentosa</i> seedlings	WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach	ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)

Research Notes

Characteristics of precipitation distribution in <i>Pinus tabulaeformis</i> plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain	ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing	JIA Baoqun (1654)
Effects of <i>Mikania micrantha</i> wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	WANG Ruilong, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《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,探索自然奥秘,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

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 5 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 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	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
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