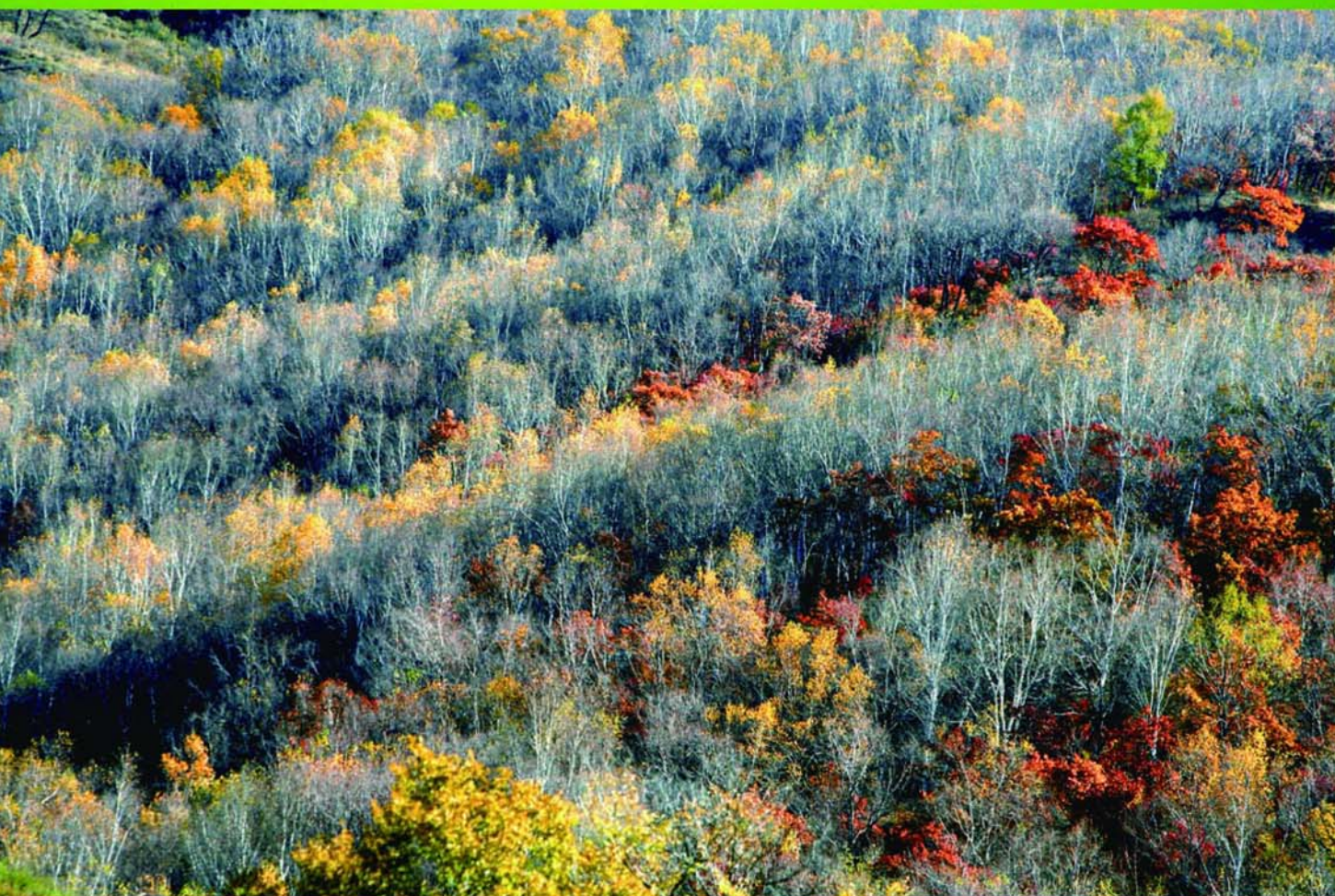


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

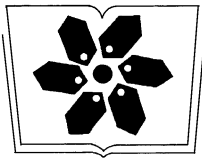
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 16 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较·····	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟·····	郎莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响·····	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响·····	吴坤,吴中红,邵付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较·····	蒋和平,郑青松,朱明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响·····	庞秋颖,陈思学,于涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响·····	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析·····	杜军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长·····	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价·····	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响·····	张征田,庞振凌,夏敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构·····	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例·····	张斌,袁晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数 (FAII) 评价长江口沿岸碎波带健康状况·····	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析·····	朱国平,吴强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价·····	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡·····	王小彬,王燕,代快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量·····	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源·····	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响·····	马晶,孙建,张涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较·····	吕进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化·····	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征·····	韩路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略·····	乔琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响·····	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系·····	邵璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析·····	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法·····	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展·····	周传斌,戴欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻 PAL 多基因家族的差异表达·····	方长甸,王清水,余彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究·····	王迪,陈丕茂,马媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征·····	董凯凯,王惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析·····	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究·····	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N ₂ O 排放及影响因子·····	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)



封面图说: 在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

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

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.

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.

基于生态效率的辽宁省循环经济分析

韩瑞玲^{1,2}, 佟连军^{1,*}, 宋亚楠^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:生态效率与循环经济相辅相成。基于区域生态效率评价是考量区域循环经济的重要内容, 又基于目前对于循环经济与生态效率结合的实证研究相对较少, 因此, 以生态效率理论为基础, 对我国最早开展循环经济的试点省份——辽宁省的循环经济发展作以综合衡量。通过生态效率度量模型与循环经济度量模型, 以辽宁省 1990—2008 年数据为基础, 运用基于熵权的 TOPSIS 方法, 分别计算了 19a 间辽宁省各年的资源效率、环境效率、生态效率, 进而综合评价了辽宁省循环经济发展轨迹。研究表明: 在 19a 间, 辽宁省生态效率总体呈现波动上升态势, 经历了传统经济发展模式—末端治理模式—循环经济模式的转变; 19a 间, 辽宁省循环经济发展状态总体上处于循环性不断增强的状态, 即经济发展的同时, 环境压力不断减小。研究证明了辽宁省 2002 年实行循环经济以来取得了明显成效, 对全国尤其是东北地区发展循环经济, 走新型工业化道路具有重要的示范意义。

关键词:生态效率; 循环经济; TOPSIS; 辽宁省

Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency

HAN Ruiling^{1,2}, TONG Lianjun^{1,*}, SONG Yanan^{1,2}

1 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Eco-efficiency and circular economy are complement for each other. They have much in common in methodology, development goals, guiding ideology and implementation level. Eco-efficiency evaluation is an important content of regional circular economy. As current empirical research on the combination of eco-efficiency and circular economy is scarce, this paper takes eco-efficiency theory as the basis and makes a comprehensive measurement on the circular economy of Liaoning Province—the earliest experimental province that adopted circular economy in China. Liaoning, as one of the old industrial bases in northeastern China, its industrial foundation is solid, but environment pollution is serious. So, Liaoning Province is typical to be selected as the research object. Firstly, according to the data of Liaoning Province from 1990 to 2008 and using TOPSIS method which is based on Entropy weight, we choose two indicator categories of resource consumption and environment quality to calculate the resource efficiency, environmental efficiency and eco-efficiency of Liaoning Province during 19 years. Secondly, taking resource efficiency and environment efficiency as indicators and using eco-efficiency model, Liaoning Province economic development mode is measured. It is discovered that during the 19 years, Liaoning Province has experienced the changes of economic development mode from “material increasing” traditional mode (1990—1992) to end-of-pipe treatment mode (1993—2002) to “material decreasing” circular mode (2003—2008). It is mainly manifested in the aspects of decrease in resource consumption, increase in resource recycling rate, start of clean production and decrease of industrial waste, etc. The result proves that Liaoning has stepped in the circular economic development orbit formed by end-of-pipe treatment mode. Its economic development mode makes a comparatively big leap and eco-

基金项目:国家自然科学基金(41071086); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-342-2); 青年科学基金资助项目(40901065)

收稿日期:2010-09-13; **修订日期:**2011-04-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tonglj@neigae.ac.cn

efficiency continues to increase. Thirdly, taking the social service amount, and eco-efficiency as indicators and circular economic model as measurement, the state of circular economic development in Liaoning Province is comprehensively evaluated. It is found that the whole situation of circular economy is circularly stronger, i. e. the economy is developing while the environment pressure is decreasing. Specifically, the ecological efficiency of Liaoning Province has experienced two significant drops in year 1992 and 1996 respectively. In the two years, Liaoning Province was in the weakened state of circular economy, that is, consumption rate of resources and environment was faster than improvement of social service amount. The eco-efficiency of Liaoning slid slightly during years from 1999 to 2003 while it was in the circularity reinforcement state of circular economy which means social service amount was increasing and the load of resources and environment was increasing as well. This research proves that Liaoning Province has got a significant achievement after experimental implement of the circular economy since 2002, and circular economic reform has shown evident effect, which sets a good example for the whole country, especially for Northeast China to develop circular economy and take on the new-type of industrialization.

Key Words: eco-efficiency; circular economy; TOPSIS; Liaoning Province

循环经济理念于 20 世纪 90 年代在国际上形成,1998 年引入我国并广为流行^[1]。循环经济要求以“减量化、再利用、再循环”(3R)为社会经济活动的行为准则,实现“低开采、高利用、低排放”,以最大限度提高资源利用率并减少污染物排放,提升经济运行质量和效益^[2]。生态效率是一种衡量经济与环境之间协调发展的重要指标,其通过对社会经济产品或服务的价值与环境影响的比值关系,要求从更少的自然资源中获得更多的福利^[3],即实现环境影响最小化,经济价值最大化^[4]。

循环经济与生态效率有着共同点:从方法论来看,循环经济和生态效率都强调既要发展经济,也要减少环境影响;从发展目标来看,二者都要求在提高人们福利或生活质量的同时,减少资源消耗和污染排放;从指导思想来看,循环经济的 3R 原则与生态效率的 7 个要素本质相同;从实现层次来看,二者都有微观(企业)、中观(区域)、宏观(社会)3 个层次。发展循环经济的目的是要更有效地提高生态效率,而生态效率则是对循环经济的一种具体表现。

国内外已有的成果大多是针对于循环经济或者生态效率本身进行的研究,且都比较成熟。对于循环经济,多是从区域^[5]、产业^[6-7]、发展模式^[8-9]等角度进行探讨,且以中国国内研究为主。对于生态效率,国内外学者都有涉及,包括生态效率的理论研究^[10]、实践研究^[11]、方法研究^[12]及其对区域的作用研究^[13]。对于循环经济与生态效率的关系研究总体较少,且以定性理论研究为主。以诸大建为代表,其指出提高生态效率是发展循环经济的本质要求,并设计了生态效率指标体系;还提出适合中国发展循环经济的 C 模式^[14];以上海为例研究了我国发展循环经济的 3 个基本维度,即产业结构、空间建设、产品功能^[15]。其他学者也有涉及,Per Mickwitz 等指出生态效率指标可作为区域循环经济发展的重要衡量指标^[16]。刘华波以生态效率为基础,建立了我国循环经济评价指标体系^[17]。

综上,对于循环经济与生态效率结合的实证研究相对较少。区域生态效率评价是考量区域循环经济的重要内容^[18]。本文以生态效率理论为基础,对辽宁省循环经济发展作以综合衡量。辽宁省是我国沿海老工业基地省份,2002 年 8 月成为我国最早开展循环经济的试点省份。对辽宁省进行实证研究,不仅能够完善循环经济与生态效率结合的理论研究,还对其他资源型省份的循环经济发展具有借鉴意义。

1 指标选取与模型构建

1.1 生态效率与循环经济度量模型

本文借鉴生态效率已有的研究成果,将生态效率分成资源效率和环境效率,通过改进的生态效率模型^[19]和循环经济度量模型^[20],反映经济与资源环境的关系,从而判定辽宁省的循环经济发展轨迹。

根据世界经济合作与发展组织(OECD)提出的生态效率概念模型,即:

$$E = S/I \quad (1)$$

式中, S 为社会服务量, 可用人口数、年产值(如 GDP)和年工业增加值表示; I 为生态负荷, 反映资源利用水平和污染物排放情况; E 为生态效率。如果社会服务量的增长倍数大于同期内生态负荷的增大倍数, 那么生态效率就会增加。生态负荷包括资源负荷和环境负荷, 相应的生态效率可分为资源效率和环境效率, 用符号 R 和 P 表示:

$$R = \text{社会服务量} / \text{资源消耗量}$$

$$P = \text{社会服务量} / \text{污染物排放量}$$

在量化环境效率和资源效率的基础上, 借鉴已有研究成果改进如下的生态效率度量模型(图 1), 图中度量模型是在标准化环境效率和资源效率的基础上提出的, 由曲线 $EEF = \sqrt{x^2 + y^2}$ 和直线 $x = 0.5, y = 0.5$ 构成。曲线 $EEF = \sqrt{x^2 + y^2}$ 表示生态效率的走势, 曲线离原点越远, 生态效率值就越高。环境效率和资源效率值位于 $[0, 1]$ 之间, 生态效率值位于 $[0, \sqrt{2}]$ 之间。直线 $x = 0.5, y = 0.5$ 将 $[0, 1]$ 之间的正方形分成 A, B, C, D 等 4 个区域。

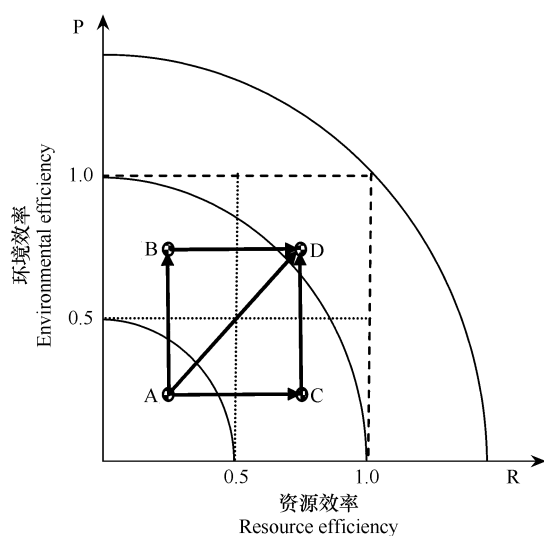


图 1 生态效率度量模型^[19]

Fig. 1 Measure model of eco-efficiency

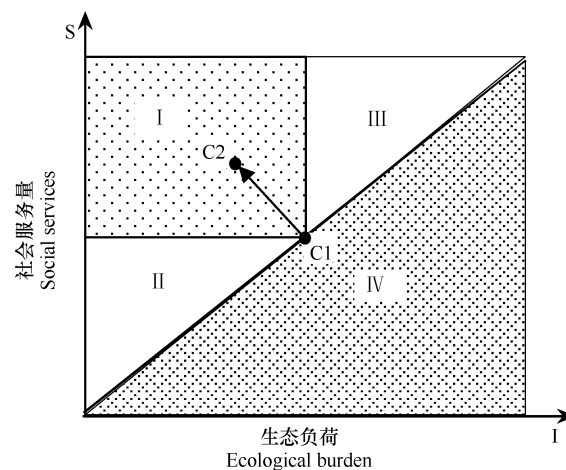


图 2 循环经济度量模型^[20]

Fig. 2 Measure model of circular economy

图 1 中, A 区域表征“增物质化”的传统发展模式, 生态效率较低, 资源消耗严重。B 区域和 C 区域分别表征末端治理模式和源头削减模式, 生态效率中等, 但存在较大程度的资源消耗和环境污染。D 区域表征“减物质化”的循环经济发展模式, 生态效率较高, 资源消耗要与环境污染都处于可控制的合理范围内。区域间不同的发展轨迹代表了不同的涵义。ABD 是中国传统发展轨迹, 即无害化→减量化, 不利于区域可持续发展。ACD 属于减量化→无害化发展轨迹, 通过减少利用资源以降低污染物排放, 降低环境污染, 属于减物质化的经济发展模式, 国外城市多属于此发展轨迹。AD 则是“穿越环境高山”的经济发展模式, 属于资源化发展轨迹, 是区域发展的理想化模式^[21]。

根据区域经济发展的生态效率轨迹, 可度量区域循环经济发展。S 代表社会服务量, I 代表生态负荷(图 2), 设 C1 为区域 t 时刻的发展状态, C2 为 $(t + \Delta t)$ 时刻的发展状态, 根据 C2 相对 C1 所处的不同位置来判断区域循环经济发展程度(表 1)。

1.2 指标选取

通常表征资源消费的指标有能源消费量、水资源消费量、工业原料消费量、粮食消费量等, 其中最主要的是能源和水资源; 表征环境质量的污染物指标则通常采用“三废”排放产生量。因此, 本着数据的可获得性、

连续性、可比性等原则,本文选择的资源消费指标有:能源消费总量、工业能源用量、生活能源用量、用电总量、工业用电总量、生活用电总量、用水总量、生活用水总量;环境指标有:工业废水排放总量、石油类排放总量、工业废水排放达标量、工业废气排放总量、工业固体废弃物产生量、工业废物综合利用量、工业 SO_2 排放总量、工业烟尘排放总量、工业粉尘排放总量。

表 1 循环经济度量模型解释

Table 1 Interpretation of circular economy's measure model

区域 Area	生态效率 Eco-efficiency	区域影响 Regional influence	循环经济状态 Circular Economy State
I	$E(t) < E(t+\Delta t), S(t) < S(t+\Delta t), I(t) > I(t+\Delta t)$	社会服务量增加且资源环境负荷减小	循环性增强区域
II	$E(t) < E(t+\Delta t), S(t) > S(t+\Delta t), I(t) > I(t+\Delta t)$	牺牲社会服务量发展而保护资源环境	循环性次增强区域
III	$E(t) < E(t+\Delta t), S(t) < S(t+\Delta t), I(t) < I(t+\Delta t)$	社会服务量增加,资源环境负荷也增加	循环性次增强区域
IV	$E(t) > E(t+\Delta t), S, I$ 大小不固定	资源环境消耗快于社会服务量提高水平	循环性减弱区域

当选取的指标涉及社会服务总量指标时,计算相应的效率时以 GDP 表示社会服务量;在涉及工业指标时以工业 GDP 表示社会服务量,此时的生态效率含义为:单位资源消耗/废物排放所产生的(工业)GDP;而在涉及民用指标时采用人口数量表示社会服务量,其生态效率的含义为:单位资源/废弃物所能支撑的人口数量。

1.3 研究方法

本文运用熵权法与 TOPSIS 统计分析方法^[22-23]计算资源效率和环境效率的得分。

1.3.1 熵权法

由于在信息系统中的信息熵是信息无序度的度量,所以,信息熵越大,信息的无序度越高,其信息的效用值越小;反之,信息熵越小,信息的无序度就越低,其信息的效用值就越大。熵值法就是利用评价指标的固有信息来判别指标的效用价值,从而在一定程度上避免了主观因素带来的偏差,其给出的指标权重值比德尔菲法和层次分析法等主观赋权法有较高的可信度。

(1) 构建判断矩阵:

$$A = (a_{ij})_{m \times n}$$

(2) 对判断矩阵进行归一化处理,得到归一化矩阵 B 。

(3) 根据熵的定义,确定评价指标的熵 H_i :

$$H_i = -\frac{1}{\ln m} \left(\sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right), \text{其中}, f_{ij} = b_{ij} / \sum_{j=1}^m b_{ij}$$

当 f_{ij} 为 0 或 1 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$, 不切合实际,需要对 f_{ij} 加以修正,故将其定义为:

$$f_{ij} = 1 + b_{ij} / \sum_{j=1}^m (1 + b_{ij})$$

(4) 计算评价指标的熵权 W :

$$W = (\omega_i)_{1 \times n}, \text{其中}, \omega_i = 1 - H_i / n - \sum_{i=1}^n H_i$$

(5) 求出各指标权重集 $R = (r_{ij})_{m \times n}$:

$$R = B \times W$$

1.3.2 TOPSIS 方法

TOPSIS 方法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, 逼近理想解排序法) 借助多属性问题的理想解和负理想解对评价对象进行排序。理想解 Q^+ 是一个虚拟的最优解,其各个指标值都达到评价对象中的最优值;而负理想解 Q^- 是虚拟的最差解,其各个指标都达到评价对象中的最差值。在 n 维空间中方案集 Q 中的各备选方案 Q_i 与 Q^+ 和 Q^- 的距离进行比较,靠近 Q^+ 又远离 Q^- 的方案就是方案集 Q 中的最佳方案。

(1) 根据上文熵权法求出的权重集 R , 确定理想解 Q^+ 和负理想解 Q^- :

$$Q^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+), Q^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-),$$

其中, $r_j^+ = \max\{r_{ij} | i=1, 2, \dots, m\}$, $r_j^- = \min\{r_{ij} | i=1, 2, \dots, m\}$ 。

(2) 计算各方案与 Q^+ 和 Q^- 的距离 S_i^+ 和 S_i^- :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2}, S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2}$$

(3) 计算各方案与理想解的相对接近度(即评价指数):

$$C_i = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-)$$

$C_i \in [0, 1]$, 且某方案的 C_i 越大, 该方案越好。

本文根据 TOPSIS 方法原理, 求出辽宁省资源效率和环境效率的理想解和负理想解及其相对接近度, 根据相对接近度大小, 对各解的优劣进行排序, 从而确定 1990—2008 年 19a 间辽宁省生态效率的变化情况。

2 基于生态效率的循环经济分析

辽宁省作为我国重化工业基地, 其资源、能源消耗和污染物排放强度均处于较高水平。1990 年前后, 辽宁省工业废物排放量连续多年居全国第一位; 2001 年, 辽宁省万元产值水耗是国内先进水平的 3 倍, 万元产值消耗是发达国家的 4 倍^[24]。在传统经济发展模式下, 资源的过度开采和环境的不断破坏, 影响了辽宁经济和社会进步。因此, 发展循环经济对辽宁省老工业基地振兴具有重要意义。

2001 年, 辽宁省委、省政府作出决策要开展循环经济试点建设。2002 年, 国家环保总局正式批复辽宁省在全国率先开展循环经济试点工作, 并由辽宁省政府编制了《辽宁省发展循环经济试点方案》, 提出“3+1”循环经济模式, 即利用小循环、中循环、大循环和资源再生产业发展循环经济。辽宁省循环经济试点工作围绕老工业基地振兴这一中心目标, 重点推进了循环经济型企业、生态工业园区、城市资源循环型社会和资源再生产业基地建设。本文从生态效率角度出发, 对辽宁省循环经济的试点成效进行评价。

2.1 资源效率和环境效率

基于上文提到的生态效率公式, 首先对辽宁省资源效率和环境效率予以评价。本文数据资料主要来源于 1991—2007 年《辽宁年鉴》, 1993—2009《辽宁统计年鉴》, 1991—2009 年《中国能源统计年鉴》等统计资料。将原始数据进行处理, 消除价格影响因素后代入式(1)中进行计算, 可得各种指标的资源效率与环境效率。18 个指标在 1990—2008 年均均有不同程度增长, 各指标增长倍数见图 3。

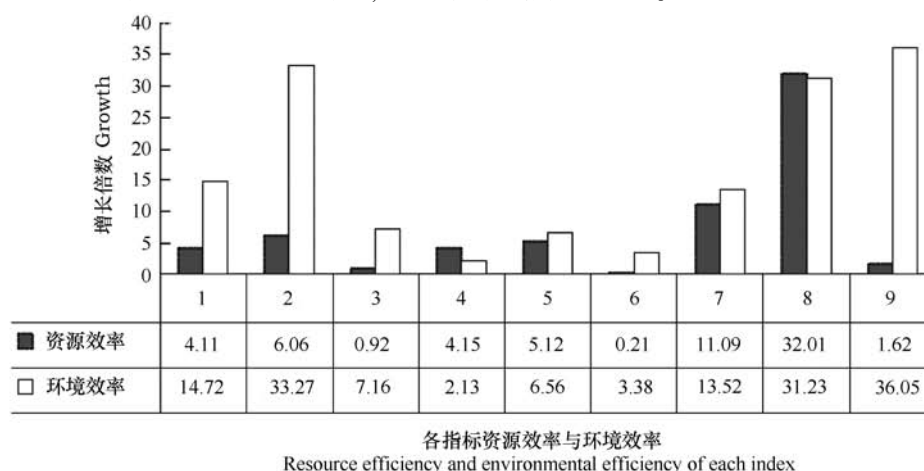


图3 辽宁省1990—2008年资源效率与环境效率各指标增长倍数

Fig. 3 Growth of resource efficiency and environmental efficiency indicators in Liaoning Province from 1990 to 2008

本文以 $X_1—X_9$ 表示资源效率各指标, 分别为: 总能源效率(元/t 标准煤)、工业能源效率(元/t 标准煤)、生活能源效率(元/t 标准煤)、总用电效率(元/kWh)、工业用电效率(元/kWh)、生活用电效率(元/kWh)、总用水效率(元/m³)、工业用水效率(元/m³)、生活用水效率(元/m³); 以 $Y_1—Y_9$ 表示环境效率各指标, 分别为: 工业废水效率(元/t)、石油类排放效率(亿元/t)、工业废水达标效率(万元/t)、工业废气效率(元/万 m³)、工业废物效率(元/t)、工业废物综合利用效率(万元/t)、工业 SO₂ 排放效率(万元/t)、工业烟尘效率(万元/t)、工业粉尘效率(万元/t)。

1990—2008 年,辽宁省社会服务量 3 个指标:GDP、工业总产值、人口数量分别增长了 11.67 倍、12.95 倍、0.08 倍。

资源效率评估主要包括能源、水和电的消耗 3 个方面。1990—2008 年,辽宁省能源消耗总量、用电总量、用水总量分别增长了 1.47、2.06、0.14 倍。从资源效率各指标看,除工业用水效率、生活用水效率外,其他各资源消耗的增长速度小于经济增长速度,基本上实现了经济增长与资源消耗的“脱钩”^[25],说明随着经济结构的调整,生产资源消耗效率明显提高;工业用水效率、生活用水效率同期分别增长了 31.01、0.62 倍,高于经济增长速度,未来还应提高用水效率,加大工业循环用水的频率,并积极提高城市中水的重复利用率。

环境效率评估主要包括大气污染、水污染和固体废弃物污染 3 个方面。2008 年,辽宁省各项环境指标相比 1990 年,增长效率按增速由小到大进行依次排序为:工业废气效率(2.13 倍)、工业废物综合利用效率(3.38 倍)、工业废物效率(6.56 倍)、工业废水达标效率(7.16 倍)、工业 SO₂ 排放效率(13.52 倍)、工业废水效率(14.72 倍)、石油类排放效率(33.27 倍)、工业烟尘效率(31.23 倍)、工业粉尘效率(36.05 倍)。可见,辽宁省循环经济实施过程中,通过大规模开展清洁生产,以及省内大部分重型企业实现污染物“零排放”等措施实现了区域环境效率的提升。但工业废气效率、工业废物综合利用效率、工业废物效率、工业废水达标效率的增长速度相对于其他环境效率指标并不明显,是今后辽宁省环境污染控制的重点。

2.2 生态效率

基于以上各指标的资源效率与环境效率,运用熵权法求出生态效率各指标的权重(表 2);运用 TOPSIS 统计分析方法,对资源效率与环境效率的各指标分别进行加权求和,求出归一化的资源效率和环境效率,进而求得二者各指标在 1990—2007 年各自的得分值。再根据上文建立的生态效率度量模型,求出最终的生态效率值(图 4),并划分了各生态效率值所属的经济发展模式区域(表 3)。

表 2 辽宁省生态效率分析指标权重
Table 2 The weight of indicators for eco-efficiency analysis

指标 Index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
权重 Weight	0.0334	0.0495	0.0048	0.0173	0.0177	0.0427	0.0747	0.1111	0.0083
指标 Index	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉
权重 Weight	0.0879	0.0335	0.0846	0.0200	0.0400	0.0608	0.0661	0.1165	0.1312

表 3 辽宁省 1990—2008 年生态效率度量
Table 3 Eco-efficiency measurement of Liaoning Province from 1990 to 2008

年份 Year	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
所属区域 Area	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
年份 Year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
所属区域 Area	B	B	B	D	D	D	D	D	D	

辽宁省生态效率总体呈现出波动中缓慢上升的态势(图 4)。1990—2008 年,辽宁省生态效率值由 0.485 增长至 0.767,增长了 0.58 倍。但是由资源效率与环境效率共同作用的生态效率在 1990—2008 年走势存有差别。由图 4 可看出,辽宁省生态效率在 1998 年之前主要与环境效率走势一致,而在 1998 年之后与资源效率基本一致。原因在于,1998 年之前辽宁省环境效率较高,主导了生态效率的高低,说明 1998 年前污染物排放较少,环境质量高。而 1999 年后,资源效率快速提高,直接影响了辽宁省生态效率的变化,说明辽宁省的资源综合利用率的大幅提升。

由表 3 可看出,辽宁省经济发展模式的变化历程:1990—1992 年为传统经济发展模式,1993—2002 年为末端治理模式,2003—2008 年为循环经济模式。辽宁省目前已经步入了由末端治理模式形成的循环经济发展轨道,经济发展模式实现了较大跨越,生态效率不断提高。这说明 2002 年辽宁省成为全国循环经济试点之后,循环经济改革出现了明显成效。未来发展要注重污染物的源头控制,避免因为资源的过度消耗及污染物

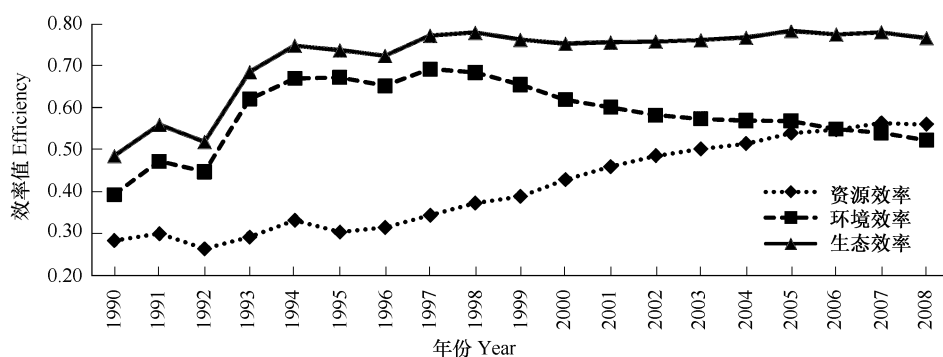


图4 辽宁省生态效率变化趋势

Fig. 4 Changing trend of the eco-efficiency in Liaoning Province

排放过量导致的环境恶化。

2.3 循环经济

生态效率值关联着区域循环经济发展状态。由辽宁省生态效率变化趋势可知,1990—2008年,辽宁省循环经济总体处于循环经济模型的Ⅰ区域——循环性不断增强的区域,即经济发展的同时,环境压力不断减小。具体而言,由于辽宁省生态效率在1992、1996年分别经历了两次明显降低的波动,辽宁省在这两个年份的循环经济均处于Ⅳ区域——循环性减弱区域。1992年,社会服务量、资源效率、环境效率的同时降低造成了生态效率的总体走低;1996年,社会服务量与环境效率有所降低,资源效率提高幅度不大,造成生态效率的总体走低;因此这两个年份的资源环境消耗速度快于社会服务量提高水平。而在1999—2003年,辽宁省生态效率出现了一个小幅度的降低过程,此时,辽宁省循环经济处于Ⅲ区域——循环性次增强区域,社会服务量增加,资源环境负荷也增加。原因在于辽宁省实行末端治理的经济发展模式,工业废水、废气、废物的排放量有所增加,在2003年发展循环经济试点之后,加强了对工业废弃物的整治,同时开始注重清洁生产,所以整体生态效率小幅上升。

1990—2008年,辽宁省在经济发展与资源消耗、环境保护之间的关系处理上不断完善。资源消耗量减小,资源重复利用率提高,环境污染的程度逐步降低。通过减物质化的循环经济发展道路,在经济发展的同时,降低了环境压力,对全国尤其是东北地区发展循环经济,走新型工业化道路具有重要的示范意义。

3 结论与讨论

本文以生态效率理论为基础,选择1990—2008年相关数据,运用基于熵权的TOPSIS方法,对辽宁省1990—2008年循环经济进行了综合评价。文章将生态效率与循环经济结合,并应用于区域循环经济的实证研究中,对完善循环经济理论研究及其他资源性省份的循环经济发展具有深远影响。文章发现:

(1)1990—2008年辽宁省生态效率呈现波动上升的趋势。1990—2008年,辽宁省资源效率大部分指标增长速度超过社会服务量,基本实现了经济增长与资源消耗的“脱钩”,环境效率整体提高,生态效率在波动中不断上升。1990—1998年,辽宁省环境效率呈现较高程度发展,污染物排放量相对较少;1999—2008年,资源效率快速提高,资源利用率提高。

(2)1990—2008年,辽宁省顺利实现了传统经济发展模式(1990—1992年)——末端治理模式(1993—2002年)——循环经济模式的转变(2003—2008年)。这表明,辽宁省在全国率先实现循环经济以来,成绩卓越,主要表现在:资源消耗降低、资源重复利用率提高、开展清洁生产、工业废弃物大大降低等。

(3)1990—2008年,辽宁省总体处于循环性不断增强的状态,即在经济发展的同时,环境压力不断减小。由于生态效率值关联着区域循环经济状态,生态效率值的波动影响了区域循环经济状态:1992年与1996年,辽宁省循环经济均处于循环性减弱区域,即资源环境消耗速度快于社会服务量提高水平。1999—2003年,辽宁省循环经济处于循环性次增强区域,即社会服务量增加,资源环境负荷也增加。

(4) 辽宁省循环经济的发展需要注意如下问题:未来要注重污染物的源头治理继续实施清洁生产,建立循环经济型企业;开展废弃物综合利用,培育新经济增长点;以城市中水回用为重点,建设资源循环型社会;发展生态工业,实现环境与经济“双赢”;推进循环经济关键技术和静脉产业技术的发展;建立和完善促进循环经济发展的法律法规体系;开展循环经济宣传教育,提高公众参与意识,改变消费观念;发挥产业关联效应,在冶金、石油化工、煤炭、电力行业构建循环经济发展产业链条,等。

References:

- [1] Zhu D J, Qiu S F. Eco-efficiency as the appropriate measurement of circular economy. *China Population, Resources and Environment*, 2006, 16 (5): 1-6.
- [2] Zhou G M, Peng H, Cao F Z. Circular economy and industrial eco-efficiency indicator system. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2003, 16 (6): 201-203.
- [3] Li M S, Tong L J. Eco-efficiency of Jilin Province based on emergy and material flow. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (11): 6239-6247.
- [4] Lu B, Yang J X. Review of methodology and application of eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (11): 3898-3906.
- [5] Jiang G G. Research on Circular Economy Development in Northeast of China. Harbin: Northeast Forestry University, 2006.
- [6] Zhu K S. Researches on the construction of tourism circular economy system. *Areal Research and Development*, 2008, 27 (4): 73-76.
- [7] Xu N Z, Zeng W H, Xue P L, Dong F, Zhou G M. Evaluation method for circular economy performance in industrial parks based on the eco-efficiency and MFA. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20 (3): 44-49.
- [8] Wu D. A Research of Integrated Circular Economy pattern. Dalian: Dalian University of Technology, 2009.
- [9] Ren Y, Chen Y P, Zhou G M, Feng D F. Development patterns of circular economy in China. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15 (5): 137-142.
- [10] Lauwers L. Justifying the incorporation of the materials balance principle into frontier-based eco-efficiency models. *Ecological Economics*, 2009, 68 (6): 1605-1614.
- [11] Bleischwitz R. Cognitive and institutional perspectives of eco-efficiency. *Ecological Economics*, 2003, 46 (3): 453-467.
- [12] Zhang B, Bi J, Fan Z Y, Yuan Z W, Ge J J. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. *Ecological Economics*, 2008, 68 (1/2): 306-316.
- [13] Michelsen O, Fet A M, Dahlsrud A. Eco-efficiency in extended supply chains: a case study of furniture production. *Journal of Environmental Management*, 2006, 79 (3): 290-297.
- [14] Zhu D J, Zhu Y. Study on circular economy from the aspect of eco-efficiency. *China Development*, 2005, (1): 6-11.
- [15] Zhu D J, Zhu Y. Eco-efficiency and circular economy. *Fudan Journal: Social Sciences Edition*, 2005, (2): 60-66.
- [16] Mickwitz P, Melanen M, Rosenström U, Seppälä J. Regional eco-efficiency indicators — a participatory approach. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14 (18): 1603-1611.
- [17] Liu H B, Yang H Z, Gu G W. Thoughts on the establishment of evaluation indicator system of circular economy in China based on eco-efficiency. *Sichuan Environment*, 2006, 25 (2): 78-82.
- [18] Zhang B, Huang H P, Bi J. Material flow analysis and data envelopment analysis based regional eco-efficiency analysis: case study of Jiangsu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (5): 2474-2480.
- [19] Zhang Y, Yang Z F. Eco-efficiency of urban material metabolism: a case study of Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (8): 3124-3131.
- [20] Wang W, Lin J Y, Cui S H, Cao B, Shi L Y. Urban sustainability assessment based on eco-efficiency and its application. *Environmental Science*, 2010, 31 (4): 1108-1113.
- [21] Lu Z W. Study on some aspects of circular economy. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16 (5): 1-5.
- [22] Wu H B, Yue Y. 3PL vendors evaluation project based on entropy right TOPSIS. *Journal of Lanzhou Jiaotong University*, 2008, 27 (1): 88-91.
- [23] Wu X Q, Wang Y, Liu N, Gao Q, Lu G F. Evaluation of circular economy development in industrial park based on eco-efficiency theory and TOPSIS approach. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27 (12): 2203-2208.
- [24] Ge C D. The development of circular economy in Liaoning. *People's Daily: Overseas Edition*, 2004-12-20.
- [25] Huang H P, Bi J, Li X M, Zhang B, Yang J. Material flow analysis (MFA) of an eco-economic system: a case study of Wujin district, Changzhou. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (8): 2578-2586.

参考文献:

- [1] 诸大建, 邱寿丰. 生态效率是循环经济的合适测度. *中国人口资源与环境*, 2006, 16 (5): 1-6.

- [2] 周国梅, 彭昊, 曹凤中. 循环经济和工业生态效率指标体系. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 201-203.
- [3] 李名升, 佟连军. 基于能值和物质流的吉林省生态效率研究. 生态学报, 2009, 29(11): 6239-6247.
- [4] 吕彬, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用. 生态学报, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [5] 姜国刚. 东北地区循环经济发展研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- [6] 朱孔山. 旅游循环经济体系构建. 地域研究与开发, 2008, 27(4): 73-76.
- [7] 许乃中, 曾维华, 薛鹏丽, 东方, 周国梅. 工业园区循环经济绩效评价方法研究. 中国人口资源与环境, 2010, 20(3): 44-49.
- [8] 吴荻. 集成型循环经济模式研究. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [9] 任勇, 陈燕平, 周国梅, 冯东方. 我国循环经济的发展模式. 中国人口资源与环境, 2005, 15(5): 137-142.
- [14] 诸大建, 朱远. 从生态效率的角度深入认识循环经济. 中国发展, 2005, (1): 6-11.
- [15] 诸大建, 朱远. 生态效率与循环经济. 复旦学报: 社会科学版, 2005, (2): 60-66.
- [17] 刘华波, 杨海真, 顾国维. 基于生态效率建立我国循环经济评价指标体系的思考. 四川环境, 2006, 25(2): 78-82.
- [18] 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): 2474-2480.
- [19] 张妍, 杨志峰. 城市物质代谢的生态效率——以深圳市为例. 生态学报, 2007, 27(8): 3124-3131.
- [20] 王微, 林剑艺, 崔胜辉, 曹彬, 石龙宇. 基于生态效率的城市可持续性评价及应用研究. 环境科学, 2010, 31(4): 1108-1113.
- [21] 陆钟武. 关于循环经济几个问题的分析研究. 环境科学研究, 2003, 16(5): 1-5.
- [22] 吴海滨, 岳岩. 基于熵权 TOPSIS 法的第三方物流服务商评价方案. 兰州交通大学学报, 2008, 27(1): 88-91.
- [23] 吴小庆, 王远, 刘宁, 高倩, 陆根法. 基于生态效率理论和 TOPSIS 法的工业园区循环经济发展评价. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2203-2208.
- [24] 葛传东. 辽宁发展循环经济见成效. 人民日报: 海外版, 2004-12-20.
- [25] 黄和平, 毕军, 李祥妹, 张炳, 杨洁. 区域生态经济系统的物质输入与输出分析——以常州市武进区为例. 生态学报, 2006, 26(8): 2578-2586.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No. 16 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination	WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of <i>Prunus sibirica</i> L. under different soil water conditions	LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field	QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves	WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujun, et al (4517)
Comparative physiological responses of cadmium stress on <i>Enteromorpha clathrata</i> and <i>Enteromorpha linza</i>	JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
Effects of salt stress on glucosinolate contents in <i>Arabidopsis thaliana</i> and <i>Thellungiella halophila</i> rosette leaves	PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field	GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia	DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
Seed characteristics and seedling growth of <i>Spartina alterniflora</i> on coastal wetland of North Jiangsu	XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model	TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in <i>Pirata subpiraticus</i> (Araneae: Lycosidae) in different habitats	ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current	ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area	ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary	MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
Population age structure of Antarctic krill <i>Euphausia superba</i> off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey	ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province	MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems	WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period	WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake	NI Zhaoxui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi	MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallen) and <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (<i>Helarctos malayanus</i>) in captivity	LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)
Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River	HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, <i>Bretschneidera sinensis</i>	QIAO Qi, QIN Xinsong, XING Fuwu, et al (4709)
Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress	DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency	HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
Review and Monograph	
The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement	CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
Indicators for evaluating sustainable communities: a review	ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
Discussion	
Differential expression of <i>PAL</i> multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions	FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
Scientific Note	
Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay	WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration	DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics	LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
Study on sap flow in forest of <i>Quercus liaotungensis</i> and <i>Populus davidiana</i> by using the TDP method	SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
N ₂ O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

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

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

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元