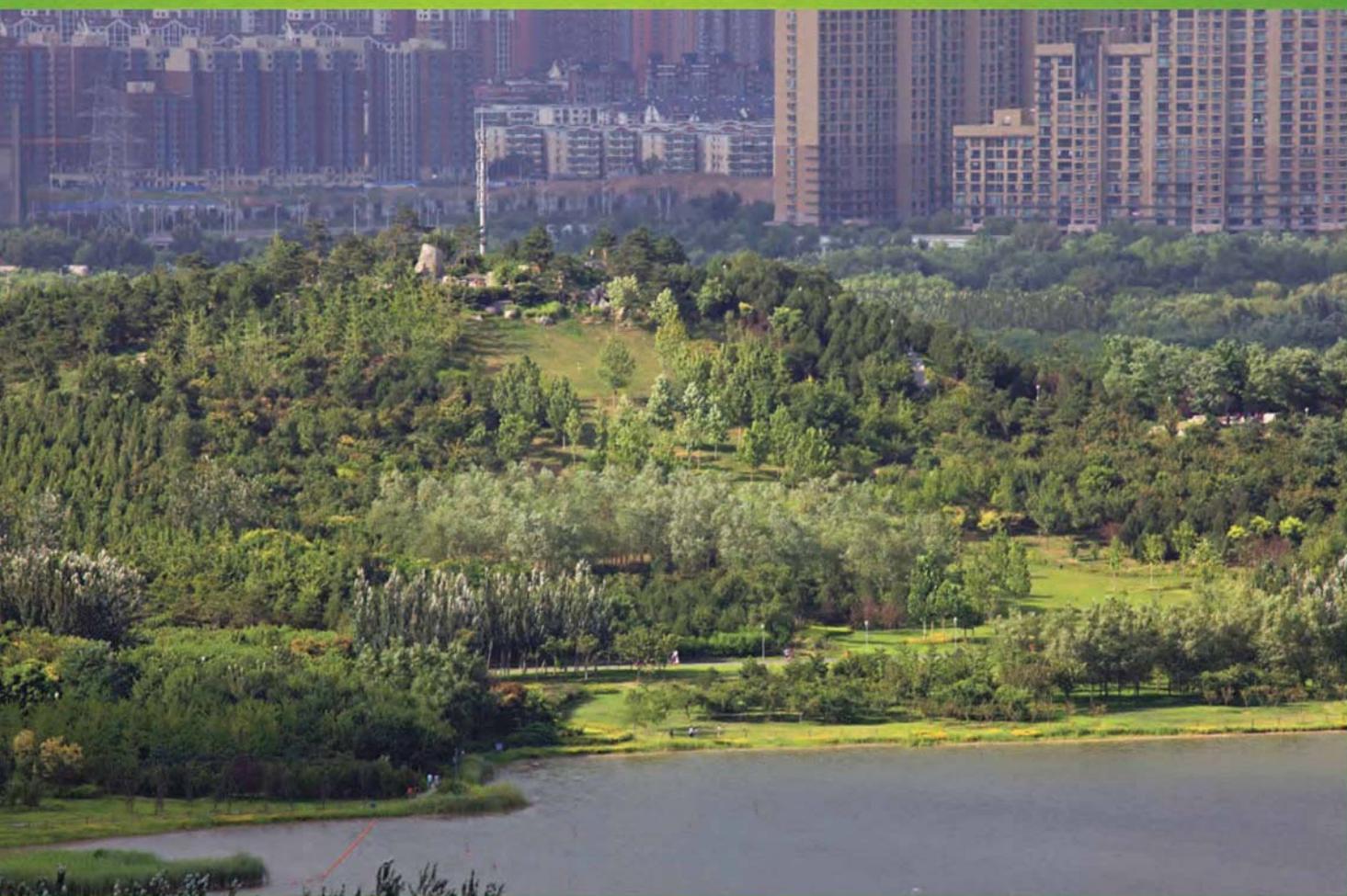


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

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 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目 次

卷首语: 复杂与永续.....	(I)
前沿理论与学科综述	
城市复合生态及生态空间管理	王如松,李 锋,韩宝龙,等 (1)
海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展	石洪华,王晓丽,郑 伟,等 (12)
城市生态系统灵敏度模型评述	姚 亮,王如松,尹 科,等 (23)
城市生活垃圾代谢的研究进展.....	周传斌,徐琬莹,曹爱新 (33)
个体与基础生态	
胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析.....	石洪华,沈程程,李 芬,等 (41)
渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性	周 然,覃雪波,彭士涛,等 (50)
生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展	覃雪波,孙红文,彭士涛,等 (59)
种群、群落和生态系统	
密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ...	王大尚,李屹峰,郑 华,等 (70)
长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估	郑 伟,沈程程,乔明阳,等 (82)
海岛陆地生态系统固碳估算方法	王晓丽,王 媛,石洪华,等 (88)
景观、区域和全球生态	
区域生态文明建设水平综合评估指标	刘某承,苏 宁,伦 飞,等 (97)
基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价	杨建强,朱永贵,宋文鹏,等 (105)
1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析	刘大海,陈小英,徐 伟,等 (115)
基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究	徐惠民,丁德文,石洪华,等 (122)
我国环境功能评价与区划方案	王金南,许开鹏,迟妍妍,等 (129)
资源与产业生态	
生态产业园的复合生态效率及评价指标体系	刘晶茹,吕 彬,张 娜,等 (136)
我国农业生态效率的时空差异.....	程翠云,任景明,王如松 (142)
内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式	陈玉碧,黄锦楼,徐华清,等 (149)
基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例	陈东景,郑 伟,郭惠丽,等 (154)
再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用	陈卫平,吕斯丹,张炜铃,等 (163)
基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例.....	麻德明,石洪华,丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

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/stxb201304280869

陈东景, 郑伟, 郭惠丽, 付元宾. 基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例. 生态学报, 2014, 34(1): 154-162.

Chen D J, Zheng W, Guo H L, Fu Y B. Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 154-162.

基于物质流分析方法的生态海岛建设研究 ——以长海县为例

陈东景^{1,*}, 郑 伟², 郭惠丽¹, 付元宾³

(1. 青岛大学国际商学院, 青岛 266071; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061;

3. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023)

摘要: 建设生态海岛是海岛生态经济系统实现可持续发展的重要途径。运用物质流分析方法对长海县的物质输入与输出状况进行计算, 并用物质消耗强度、废物排放强度和环境负荷强度 3 个指标衡量了该海岛县生态效率的变化, 分析了技术进步对海岛生态经济系统生态压力变化的贡献状况。结果表明, 2003—2009 年间, 长海县物质输入总量、物质输出总量和环境负荷总量呈增长态势; 生态效率明显提高; 技术进步对减轻海岛生态经济系统生态压力的贡献没有抵消经济增长所产生的生态压力的增加量。为了减少物质输入和废物输出, 减轻经济活动对海岛生态系统产生的压力, 建立创新型管理机制有效促进技术进步, 不断提高生态效率具有特别重要的作用。

关键词: 物质流分析; 生态效率; 可持续发展; 生态海岛; 长海县

Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County

CHEN Dongjing^{1,*}, ZHENG Wei², GUO Huili¹, FU Yuanbin³

1 International Business College of Qingdao University, Qingdao 266071, China

2 The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration People's Republic of China, Qingdao 266061, China

3 National Marine Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration People's Republic of China, Dalian 116023, China

Abstract: Material flow analysis (MFA) has widely been used in the field of sustainable development research, but it was hardly applied in the sustainability valuation of marine islands eco-economic system. Marine islands eco-economic system is a critical component of the large marine eco-economic system. The construction of ecological marine islands is an important approach to establish marine islands eco-economic system in the course of sustainable development.

Taking four indices as measurement, namely the direct material input (DMI), total material requirement (TMR), domestic direct material output (DMO) and total direct material output (TMO), the material input and output of Changhai County during 2003—2009 has been analyzed in this paper based on material flow analysis (MFA). According to these four basic indices, material input intensity, waste emission intensity and environmental pressure intensity are calculated to analyze the County's ecological efficiency. The contribution of technological progress to reducing the ecological pressure of these marine islands is also considered through elasticity coefficient of ecological pressure and contribution rate of technological progress.

The first result shows that material input quantity, waste emission quantity and environmental pressure quantity have

基金项目: 国家海洋 908 专项资助项目 (908-ZC-II-01); 国家海洋公益性行业科研专项资助项目 (200805082); 教育部人文社会科学研究资助项目 (12YJZJH009)

收稿日期: 2013-04-28; 修订日期: 2013-09-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cdongji@sina.com

increased rapidly during 2003—2009. The direct material input (DMI) presents rising tendency, up from 1.12 million ton in 2003 to 1.85 million ton in 2009, and the average annual growth rate is 8.8%; total material requirement (TMR) increases faster than DMI, with the average annual growth rate at about 9.7%. However, the growth rates of two indices of material output, namely domestic direct material output (DMO) and total direct material output (TMO), whose average annual growth rates are 12.60% and 12.53% respectively, reflect that waste emission growth are the fastest-growing indices. Fresh water is the largest input material in DMI, and the average annual proportion is about 34.67%. With more and more material imports during the seven years, the import material share of DMI rises from 12.09% in 2003 to 20.12% in 2009. Waste gas and waste water emission are main parts of DMO, whose average annual proportions of DMO are 54.77% and 42.64% respectively.

The second result shows that ecological efficiency of the marine islands county has been greatly improved during the construction of ecological marine inlands since 2003. Material use intensity declines from 7.06 ton per ten thousand yuan in 2003 to 5.24 ton per ten thousand yuan in 2009, and the average annual decreasing rate is 4.85%. Average annual decreasing rates of waste emission intensity and environmental pressure intensity are 1.53% and 3.31% respectively, which are slower than that of material use intensity. This indicates that the sustainable development capability of the marine islands eco-economic system has been improving continuously.

The third result shows that the contribution of technological progress to reduce ecological stress hardly neutralizes the increasing amount of ecological pressure caused by economic growth during the same period. The decrease amount of resources use resulting from material use intensity reduction only accounts for 38.65% of the increase amount of resources use caused by GDP growth. Contribution of waste emission intensity and environmental pressure intensity to relieving ecological stress are 12.16% and 26.35% respectively, both of which are less than that of material use intensity.

In order to slow down material input, waste emission and relieve the pressure from economic activity on marine islands ecological system, it is essential to continue improving ecological efficiency through technological progress based on establishing innovative management mechanism.

Key Words: material flow analysis (MFA); ecological efficiency; sustainable development; ecological marine islands; Changhai County

物质流分析方法(MFA)是一种定量评价生态经济系统可持续发展状态的重要方法^[1]。它遵循质量守恒定律,以重量为单位,由投入到产出追踪物质使用情形,通过分析物质在生态经济系统中的流动特征,对物质的流动方向及流量进行调控,减少资源消耗和废物排放,实现生态经济系统的可持续发展。自从物质流分析方法被介绍到国内以来,学者们主要在区域生态经济系统、特定产业部门和特定产品生命周期评价等领域开展了广泛而深入的研究并取得了重要研究成果。例如,陈效速等对我国1985—1997年的物质输入与输出进行了初步研究^[2];黄和平等对江苏省常州市武进区生态经济系统中物质输入与输出进行了系统分析^[3];徐明和张天柱对1990—2000年我国的化石燃料的输入与输出状况进行了分析^[4];陈伟强等对我国铝的全生命周期进出

口规模及结构进行了详细研究^[5]。虽然我国有关物质流分析的各层面的研究文献较多^[6],但是运用物质流分析方法对生态海岛建设进行研究的成果还鲜有报道。

海岛是一个与大陆有着紧密联系的生态经济系统,它的科学开发和保护对实现海洋经济的可持续发展具有极其重要的作用^[7]。以进入21世纪逐渐开展的生态示范区、生态县、生态市和生态省建设为背景,以保护脆弱的海岛生态系统,实现海岛社会经济可持续发展为目的的生态海岛建设在我国沿海地区陆续展开。为了加强对海岛的科学保护和合理开发利用,我国在2010年颁布并施行了《中华人民共和国海岛保护法》,我国首部《全国海岛保护规划》也于2012年4月正式发布实施,这将极大地推动我国生态海岛的建设进程。海岛生态经济系统与外界

有着大量的物质输入与输出关系,并且其内部也存在着活跃的物质输入、储存和输出活动。因此,应用物质流分析方法对海岛生态经济系统的物质输入与输出状况进行分析,并计算生态效率的变化,有助于分析海岛经济活动对生态环境产生的影响,客观了解生态海岛建设的成效。本文以我国海岛县——长海县为例开展研究,分析该海岛县在建设生态海岛过程中的物质输入与输出特征及其生态效率变化,为提高海岛生态经济系统可持续发展能力提供科学信息和决策参考。

1 研究区概况

长海县位于黄海深处,下辖岛礁众多,是我国唯一的海岛边境县。该县立足于本地实际情况,以捕捞、养殖、水产品加工、旅游、港贸作为五大支柱产业,实施“渔业立县、工业强县、旅游兴县”三大战略,以实现“惠民、富民、兴海岛”为发展目标。相比大部分海岛地区,长海县经济比较发达,2000—2004年连续5a进入全国综合实力百强县之列。但是,由于严重受到岛上陆地空间资源狭小、淡水资源匮乏、生态系统脆弱等因素的制约,再加上人们对海岛的不合理开发,长海县承受的生态压力日渐增大,长海县经济发展势头出现下滑趋势,并在2006年退出全国综合实力百强县之列。

长海县经济始终是第一产业占主导地位,其中又以渔业为主,历年渔业产值均占到长海县经济总产值的60%以上。由于岛上诸多因素限制,第二、三产业发展相对缓慢,在岛内经济总产值中所占比重较小。2009年,长海县三次产业构成比例为68.1:12.3:19.6^[8]。

在认识到海岛生态系统脆弱,海域增养殖压力逐渐超过生态环境的承载能力,海岛生态经济系统面临前所未有的生态环境压力之后,长海县2002年就制定了生态岛建设总体规划致力于生态海岛建设。经过数年的建设,2007年初长海县被原国家环保总局考核命名为“国家级生态示范区”,2008年初编制的《长海生态县建设规划》通过原国家环保总局专家组评审。依据生态足迹理论研究的结果显示,虽然在2003—2008年间长海县基本处于生态承载力大于生态足迹而呈现生态盈余的状态,但是生态盈余由0.63 hm²/人均下降到0.193 hm²/人均的事实

表明,长海县在建设生态海岛的进程中面临比较严峻的潜在生态压力^[9]。

2 计算方法与数据收集及其处理

2.1 计算方法

2.1.1 基本指标

直接物质输入(DMI),指直接进入该区域生产过程所直接消耗的本地物料和由区域外输入的物料,可分为化石类能源(煤炭、柴油、汽油、天然气等)、矿物原料(矿石、沙等)、生物质(如木材、谷物等)和气体物质(化石燃料燃烧、工业过程以及生物呼吸作用消耗的O₂、植物光合作用消耗的CO₂等)。

物质总需求(TMR),即输入到该区域的物质总量,是直接物质输入和隐藏流的总和。隐藏流是指没有进入市场和生产过程的固体物料,属于非直接物质投入,例如土壤开挖,生物质的采取等。虽然隐藏流并不直接服务于生产和消费,但是对自然环境却产生了生态压力,所以又称为生态包袱^[6]。

区域内直接物质输出(DMO),指直接排放到生态系统的物质,一般可分为固体废弃物、废水和废气三大类。

直接物质输出(TMO),指区域内直接物质输出量再加上物质的出口数量。

2.1.2 生态效率指标

计算生态效率的一般公式为:生态效率=产品与服务的价值/环境影响,即单位环境影响的产出价值^[10-11]。为了便于运用IPAT模型进行分析,本文采用该公式的倒数来表示生态效率。主要采用以下3个指标来衡量长海县生态经济系统的生态效率:物质消耗强度,用DMI/GDP表示;废物排放强度,用DMO/GDP表示;环境负荷强度,用(TMR+TMO)/GDP表示。这3个指标的值越大,生态效率越低;反之,则生态效率就越高。

2.1.3 拓展研究指标

生态压力弹性系数,用直接物质输入量、区域内直接物质输出量 and 环境负荷量的变化率与地区生产总值(GDP)增长率的百分比表示,分别被称为物质消耗弹性系数、废物排放弹性系数和环境负荷弹性系数。当这三类弹性系数处于(0,1)之间时,表明经济增长的速度大于环境压力的增加速度,单位经济增长的资源与环境代价不断降低,生态效率不断提

高;当弹性系数等于 1 时,生态效率保持原来的水平;当弹性系数大于 1 时,生态效率不断下降。

生态压力降低的技术进步贡献率,用技术进步引致的物质消耗量、废物排放量和环境负荷量的降低量与 GDP 增长量引致的物质消耗量、废物排放量和环境负荷量的增长量的百分比表示。这里分别用物质消耗强度、废物排放强度和环境负荷强度代表技术进步状况。当贡献率数值处于(0,1)之间时,表明技术进步引起的生态压力的下降量不足以抵消经济增长所引起的生态压力的增加量,从而引起生态压力的不断增加;当贡献率数值等于 1 时,表明技术进步引起的生态压力的下降量刚好抵消经济增长所引起的生态压力的增加量,生态压力维持不变;当贡献率数值大于 1 时,则意味随着 GDP 的不断增长,生态压力却不断下降。

从以上设定的指标来看,生态效率不断提高,生态压力弹性系数不断下降,生态压力降低的技术进步贡献率不断提高,是进行生态海岛建设的内在要求。

2.2 数据收集及其处理

2.2.1 数据来源

原始数据主要来源于《长海县统计年鉴》(2003—2009)和《长海县史志资料》(2003—2009)以及实地考察收集到的当地相关政府部门提供的渔业、工业和第三产业统计年报等资料。考虑到经济数据的可比性,以 2005 年为基期,对历年的 GDP 进行了不变价格调整。

2.2.2 输入数据收集与处理

固体物质包括生物物质和非生物物质两大类。生物物质输入量可以从农作物、林牧作物以及水产品等的产量考虑,数据获取相对容易。为避免重复,以农作物或其他作物为食的畜牧类产品不再被统计在内。长海县矿产资源稀少,岛内非生物类化石燃料和矿物质基本上靠从岛外进口供给。

计算进入系统中的气体数量时,只考虑 O_2 和 CO_2 的输入量,前者核算了化石燃料燃烧和生物呼吸作用过程中的耗氧量,后者主要核算植物光合作用中 CO_2 的消耗量。化石燃料燃烧耗氧量根据其质量,通过化学反应与 O_2 的需要比例计算;生物呼吸耗氧量分别从人和家畜、家禽的呼吸耗氧量估算,其他

野生动物的呼吸耗氧量忽略不计。人类呼吸耗氧量通过食物消耗量间接估算,家禽和家畜的耗氧量根据每种动物的年呼吸耗氧量与该类动物的数量乘积得到^[2]。

由于我国没有对物质隐藏流的实测数据,只能对其进行估算。在计算长海县矿产资源和建筑材料的隐藏流时,采用了台湾学者林锡雄提出的国内自产隐藏流的估计方法^[12]。

由于长海县缺少对地表水和地下水利用的统计,在计算水的输入量时用县自来水供应总量代替。

2.2.3 输出数据收集与处理

固体废弃物主要包括生活垃圾、工业固体废弃物以及农业生产中流失的化肥等。之所以将流失的化肥作为固体废弃物,是因为化肥施入农田后,容易转化为污染物流入到生态系统中^[2]。

输出端废气主要包括化石燃料燃烧以及生物呼吸作用产生的 CO_2 ,绿色植物光合作用产生的 O_2 以及工业废气。化石燃料燃烧产生的 CO_2 数量的计算方法与其耗氧量的计算方法相同;人类呼吸排放的 CO_2 数量,用摄入食物总量乘以 0.338 来计算;动物呼吸作用排放的 CO_2 量,根据与耗氧量之间的比例来计算;工业废气主要计算 SO_2 、工业烟尘等的排放量^[2]。

污水排放量可以从长海县的历年统计年鉴中直接获得,主要由生活废水和工业废水两部分组成。

3 计算结果与分析

3.1 输入与输出的总量分析

3.1.1 输入层面

2003—2009 年间,长海县生态经济系统的 DMI 持续上升,从 2003 年的 1.12×10^6 t 增加到 2009 年的 1.85×10^6 t,以平均每年 8.8% 的速度增长(图 1); TMR 更是以年均 9.71% 的速度增长,这表明长海县在生产和生活过程中对生态系统产生的压力不断增加。从 TMR 和 DMI 的差值,即隐藏流不断增加的趋势来看,伴随长海县经济发展而产生的生态包袱也在不断增加。这些隐藏流主要是伴随着从岛外输入长海县的能源和非能源矿物质产生的,这反映了长海县的经济发展与外界联系非常紧密,并且可能对外界生态环境产生比较大的影响。

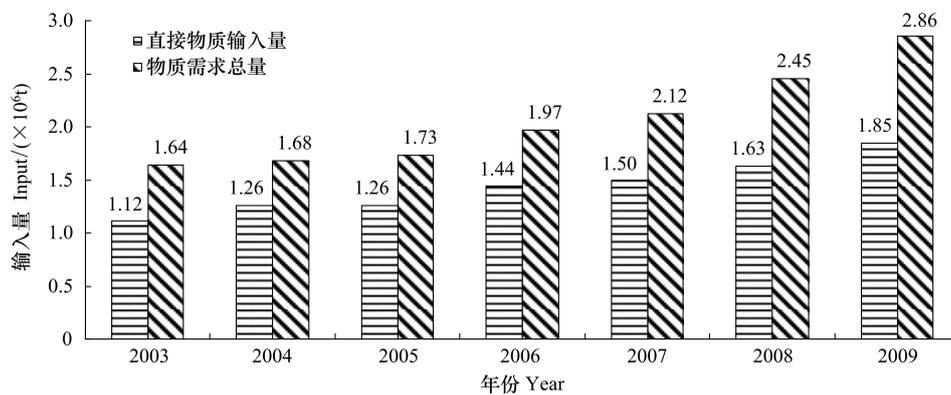


图1 长海县物质输入(2003—2009)

Fig.1 Material input of Changhai County from 2003 to 2009

2003—2009 年间,水的输入数量最多,占 DMI 的年均比例为 37.08%; 固体物质的输入数量次之,占 DMI 的年均比例为 34.67%; 气体物质的输入数量最少,占 DMI 的年均比例为 28.25%; 气体物质、固体物质和水的输入数量皆不断增加,但增加数量有所差别: 气体物质输入数量年均增加 1.76×10^4 t, 固体物质输入数量年均增加 4.98×10^4 t, 水的输入数量年均增加 5.5×10^4 t (图 2)。气体物质输入量增加的主要原因是长海县能源消耗数量增加较多, 导致燃烧

过程中对 O_2 的消耗量增加较多; 固体物质输入量增长数量大, 是因为社会经济的快速发展导致长海县对能源、建筑材料等需求数量显著增加, 并且这些物质主要是从岛外进口; 随着长海县社会经济的发展和生活水平的不断提高, 自来水总供给量以年均约 13% 的速率增长, 在直接物质输入总量中的比例不断上升, 2003 年所占比例为 33.18%, 2009 年上升到 37.84%。

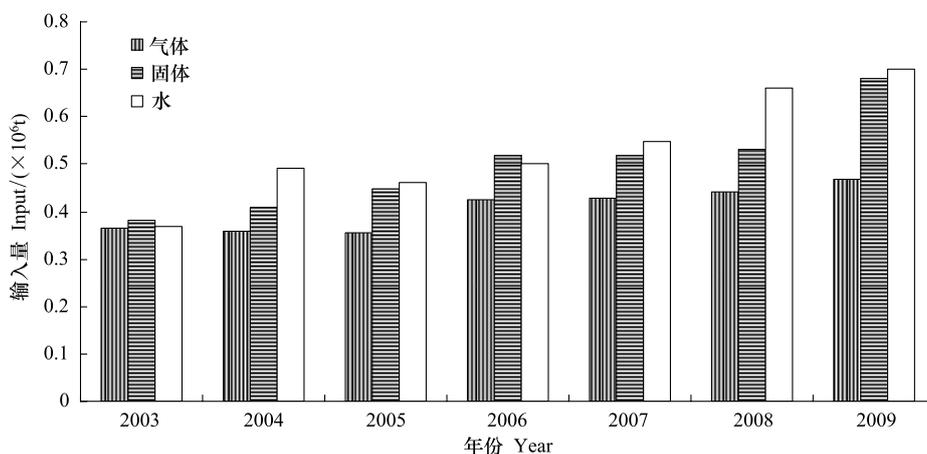


图2 2003—2009 年长海县 DMI 构成

Fig.2 The components of DMI of Changhai County from 2003 to 2009

长海县的物质进口数量不断增加, 由 2003 年的 13.49×10^4 t 增加到 2009 年的 22.44×10^4 t, 年均增幅 8.85% (图 3)。粮食、蔬菜、化石能源、建筑材料等物质的进口在长海县社会经济发展中占有重要地位, 历年进口数量占固体物质输入数量的比例皆在 30% 以上, 2003 年该比例高达 35.33%, 2009 年下降到 32.96%; 物质进口量占 MDI 的比重不断上升, 由

2003 年的 12.09% 上升到 2009 年的 20.12% (图 4)。长海县之所以有如此大比重的物质进口, 是因为海岛经济结构简单以及海岛自身资源供给不足等, 超出岛内物质供给量的生产和生活需求部分的物质只能靠从岛外进口。

3.1.2 输出层面

从长海县物质输出量的整体变化趋势上看,

DMO 以平均每年 12.6% 的速度增长(图 5),这远超 DMI 的年均增加速度。DMO 占当年 DMI 的比重年

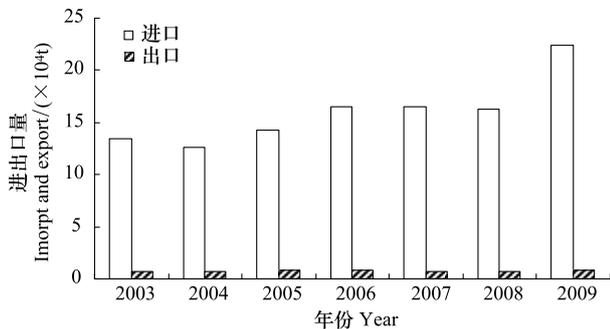


图 3 长海县的物质进口与出口(2003—2009)

Fig.3 Material import and export of Changhai County from 2003 to 2009

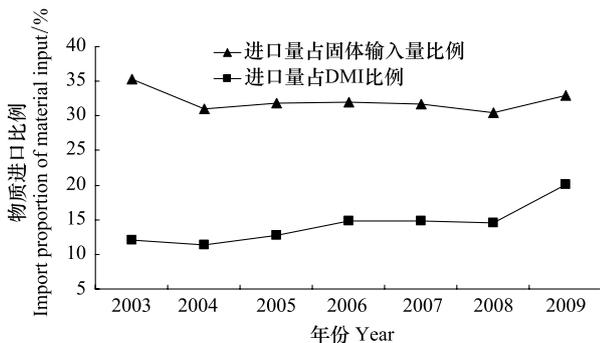


图 4 长海县物质进口量所占比例

Fig.4 The proportion of material import of solid material input and DMI

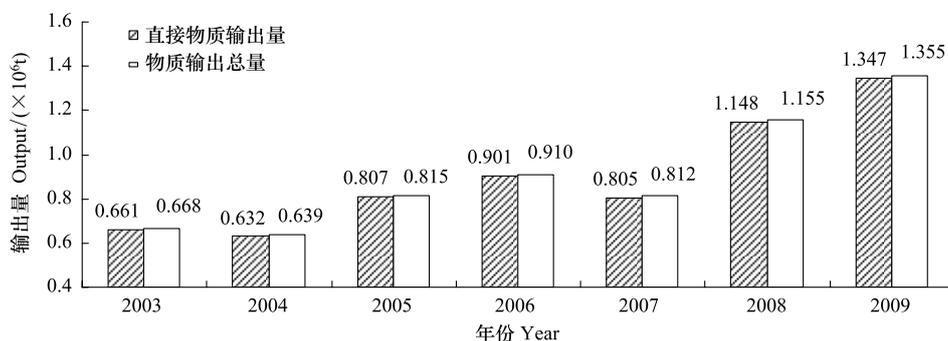


图 5 长海县物质输出(2003—2009)

Fig.5 Material output of Changhai from 2003 to 2009

3.2 生态效率分析

长海县的物质消耗强度由 2003 年的 7.06 t/万元下降到 2009 年的 5.24 t/万元,年均下降幅度高达 4.85%;废物排放强度由 2003 年的 4.19 t/万元下降到 2009 年的 3.82 t/万元,年均下降幅度为

均约为 62.64%,平均每年增加量约 11.43×10^4 t,略小于物质输入量的年均增加量(12.24×10^4 t)。这反映了输入经济系统中的自然物质转化为系统实物资本的数量相对降低,有效转化效率较为低下。TMO 的变化趋势与区域内直接物质输出量的变化趋势相似,年均增加量为 11.46×10^4 t,年均增长速度为 12.53%。TMO 的增加幅度较小的一个重要原因是长海县出口的物质以海洋水产品为主,并且其出口总量较小,占进口物质总量的年均比例仅为 5.3%。

废气和废水排放是 DMO 的两个主要组成部分(图 6)。废气排放量最大,并且在研究期增加最为明显,占 DMO 的比例也最高,年均比例为 54.77%,2009 年更是高达 61.03%。废气主要来源于化石燃料燃烧排放的 CO_2 量、动物和人呼吸作用产生的 CO_2 量以及工业生产和生活中排放的 SO_2 量,其中化石燃料燃烧排放的 CO_2 量所占比例很高,占到废物排放量的一半以上。固体废弃物输出量最少并且在七年间基本保持稳定,其输出量占 DMO 的比例年均仅为 2.69%,在其组成中生活垃圾和工业垃圾输出量相当,农业废物(化肥的施用量)输出量相对较少。居民生活废水和工业废水排放是长海县 DMO 的第二大来源,占 DMO 的年均比例为 42.64%,居民生活废水是主要的废水来源,占到每年废水排放量的 80% 以上,这符合该海岛县工业经济居于次要地位的产业结构特征。

1.53%;环境负荷强度由 2003 年的 14.60 t/万元下降到 2009 年的 11.93 t/万元,年均下降幅度为 3.31%(图 7)。这反映了长海县在经济发展过程中,虽然物质消耗总量、废物排放总量和环境负荷总量均不断增加,但是生态效率不断提高,生态经济系统的

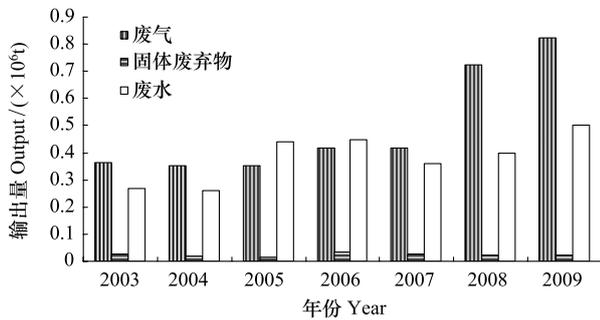


图6 2003—2009年长海县DMO构成

Fig.6 The components of DMO of Changhai County from 2003 to 2009

经济发展能力不断增强。从图7中不难发现,长海县的生态效率变化具有比较明显的阶段性特征:2003—2007年间长海县的物质消耗强度、废物排放强度以及环境负荷强度均呈现比较明显的下降趋势,但是2008年和2009年废物排放强度以及环境负荷强度有所增加,物质消耗强度在2008年下降到最低点后2009年也出现了反弹现象。这说明,如果不能采取科学有效的可持续发展策略,长海县的生态效率持续提高将会面临比较大的反弹压力。

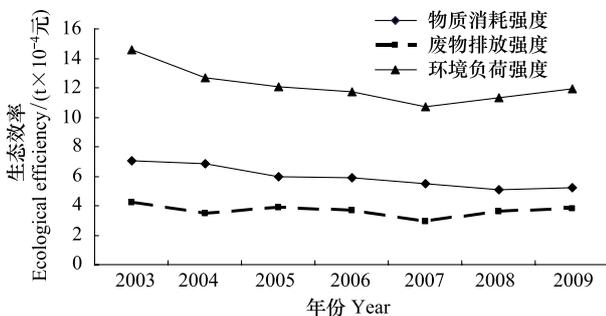


图7 长海县生态效率变化(2005年价格)

Fig.7 The change of ecological efficiency of Changhai County (2005 price)

以GDP衡量经济发展水平,以物质消耗强度代表技术进步状况,设GDP年均增长率为 g ,物质消耗强度年均下降率为 t ,根据IPAT模型可推出^[13-14]:当 $t=g/(1+g)$ 时,物质消耗总量将保持不变;当 $t>g/(1+g)$ 时,物质消耗总量将不断下降,经济活动对生态系统产生的压力不断减小;反之,当 $t<g/(1+g)$ 时,物质消耗总量将不断增加,经济活动对生态系统产生的压力将不断增加^[13-14]。2003—2009年间,长海县的GDP年均增长率 g 为14.34%,由于 $g/(1+$

$g) \approx 0.13$ 远大于物质消耗强度下降的速度4.85%,因此物质消耗总量在7年间呈现不断增加的趋势。根据该原理,比较废物排放强度、环境负荷强度下降速度与GDP增长速度,可以得出相似的结论;不过,因为废物排放强度年均下降速度最小,物质消耗强度年均下降速度最大,所以直接物质输入总量(DMI)增加的相对幅度最小(年均增长率为8.8%),废物排放总量(DMO)增加的相对幅度最大(年均增长率为12.6%)。

上述结果也表明,虽然长海县经济发展中单位GDP物质消耗数量、单位GDP废物排放数量和单位GDP环境负荷数量不断降低,但是由于其下降速度赶不上GDP的增长速度,使技术进步带来的资源消耗、废物排放或环境负荷减少量不足以弥补经济增长带来的资源消耗、废物排放或环境负荷的增加量,必然会导致物质消耗总量、废物排放总量或环境负荷总量不断增加的结果。也就是说,生态效率提高的减量效果全部或部分被经济规模的快速增加所抵消。

3.3 生态压力弹性系数与生态压力降低的技术进步贡献率

结合IPAT模型,将物质消耗、废物排放和环境负荷的变化量当作经济发展和技术进步的因变量,则计算物质消耗或环境负荷的经济增长弹性系数可以大致估算生态效率提高对经济发展的贡献率(表1)。2003—2009年间,物质消耗弹性系数、废物排放弹性系数和环境负荷弹性系数都呈现比较大的波动特点,其中废物排放弹性系数的波动幅度最大;从平均值来看,七年间,长海县GDP年均增长1%,需要的物质消耗量年均增加0.61%,废物排放量增加0.87%,环境负荷总量增加0.74%。特别值得注意的是,2007年三类弹性系数非常低,其中废物排放弹性系数甚至为负数,这与长海县在2007年成功申报“国家级生态示范区”前后,积极推进垃圾和污水处理系统建设,大力宣传资源节约型社会和环境友好型社会建设等密切相关;不过,2008年和2009年三类弹性系数强力反弹的事实至少说明,在建设生态海岛的过程中要建立环境保护的长效机制,保证各项政策与措施的持续和连贯执行,才能使生态海岛建设取得的成绩得到巩固并不断向前推进。

表 1 生态效率提高对物质消耗、废物排放和环境负荷变化的实际贡献

Table 1 The actual contribution of Ecological efficiency improvement to the change of material consumption, waste emission and environmental pressure

年份 Year	生态压力弹性系数 Elasticity coefficient of ecological pressure			生态压力降低的技术进步贡献率/% Contribution rate of technological progress		
	物质消耗 弹性系数 Material use elasticity	废物排放 弹性系数 Waste emission elasticity	环境负荷 弹性系数 Environmental pressure elasticity	物资消耗 强度的贡献 Contribution of material intensity	废物排放 强度的贡献 Contribution of waste intensity	环境负荷 强度的贡献 Contribution of environmental load intensity
2004	0.81	-0.28	0.05	19.17	128.24	95.47
2005	0.03	1.82	0.64	96.92	-81.72	36.43
2006	0.87	0.70	0.78	13.49	29.70	22.11
2007	0.34	-0.93	0.18	66.48	193.39	82.08
2008	0.53	2.50	1.36	46.78	-150.26	-35.56
2009	1.27	1.66	1.60	-27.43	-66.44	-60.24
年平均值 Yearly arerage	0.61	0.88	0.74	38.65	12.16	26.35

与三类弹性系数的变化特点相似,代表技术进步的物质消耗强度、废物排放强度和环境负荷强度变化分别对资源消耗总量、废物排放总量和环境负荷总量变化的贡献度也呈现比较大的波动,只不过它们的变化趋势与对应的三类弹性系数的变化趋势相反;从 7a 平均值来看,物质消耗强度的贡献率为 38.65%,即物质消耗强度下降带来的资源消耗减少量只占到 GDP 增量所带来的资源消耗增加量的 38.65%,这使得该时期内资源消耗量出现了比较明显的增长;废物排放强度的贡献率最低,仅为 12.16%,这也说明了技术进步在废物排放减量化中所起的作用最小,从而导致废物排放总量较大幅度的相对增加;环境负荷强度的年均贡献率为 26.35%,也就是说技术进步在环境负荷减量化中所起的相对作用居于中间水平。要说明的是,三者的贡献率为负数时,表明物质消耗强度(废物排放强度或环境负荷强度)增加使物质消耗(废物排放或环境负荷)总量增加,绝对值代表其引起的总量增加部分占 GDP 增长引致的物质消耗(废物排放或环境负荷)总量增加部分的比例。例如,2009 年物质消耗强度的贡献率为-27.43%,表明物质消耗强度与 2008 年的相比增大了,并导致物质消耗总量的增加量占 GDP 增加引致的物质消耗增加量的 27.43%,从而使物质消耗总量增加的速度超过 GDP 增加的速度。显而易见,2007 年和 2008 年的废物排放强度显著增加导致其对废物排放总量减量化的负贡献率很大(2008 年高

达-150.26%),进而造成 2003 至 2009 年间废物排放强度对废物排放总量减量化的平均贡献率较低的严重后果(表 1)。这也进一步说明,如果要保持长海县经济规模持续快速增长的势头,改善经济发展质量,同时又要减轻对生态经济系统的生态压力,不断促进科技进步,努力降低物质消耗强度、废物排放强度和环境负荷强度,提高生态效率具有非常重要的意义。

4 结语

在生态海岛建设进程中,长海县的直接物质输入总量、物质需求总量、直接物质输出量 and 环境负荷量总体上不断上升,这说明长海县在经济发展水平持续提高的过程中,对生态环境产生的压力也在不断增大。海岛生态经济系统是一个输入型开放系统。长海县的物质进口数量不断增加,物质进口量占直接物质输入量的比重也在不断上升,这反映出长海县经济活动对生态经济系统产生的影响有相当部分发生在海岛以外地区。

2003 年至 2009 年的直接物质消耗强度、废物排放强度和环境负荷强度总体下降的事实表明,长海县在生态海岛建设进程中通过技术进步提高生态效率的效果比较明显。但是,由于技术进步带来的三者下降速度显著落后于当地的经济增长速度,从而导致物质消耗总量、废物排放总量和环境负荷总量仍然呈现不断增加的发展态势。因此,在保持经济

发展水平持续提高的前提下,为了不断降低物质输入和废物输出的增加幅度直至出现零增长,促使长海县生态经济系统向强可持续发展的方向转变,有效促进技术进步是一个关键途径。

2008年至2009年的生态压力弹性系数强力反弹和生态压力降低的技术进步贡献率显著下降的现象表明,建立一种有效促进技术进步进而稳定提高生态效率的创新型管理机制并落到实处生态海岛建设进程中具有特别重要的作用。

海岛被海洋包围的特点造成难以界定一个比较封闭的区域而未能将海洋藻类等海洋生物的需氧量、CO₂的排放量计算在内,根据通常做法用自来水的供应量代替水的输入量,以及由于缺少建筑、能源、工业矿产品等开挖时隐藏流的统计而借鉴其它研究成果估算隐藏流等客观事实,不可避免地会造成长海县物质流分析结果存在一定误差。因此,这3个问题是后续研究中的重要任务,其圆满解决有助于运用物质流分析方法更客观而深入地分析海岛生态经济系统的物质输入和输出特征,为生态海岛建设提供科学合理的对策建议,更好地推动生态海岛建设,实现海岛生态经济系统的可持续发展。

References:

- [1] Tao Z P. Eco-rucksack and Eco-footprint: Sustainable Development from the View of the Weight and Area. Beijing: Economic Science Press, 2003: 199-205.
- [2] Chen X Q, Zhao T T, Guo Y Q, Song S Y. Material input and output analysis of Chinese economic system. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2003, 39(4): 538-547.
- [3] 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.
- [4] Xu M, Zhang T Z. Material flow analysis of fossil fuel usage in the Chinese economy. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 2004, 44(9): 1166-1170.
- [5] Chen W Q, Shi L, Chang X Y, Qian Y. Substance flow analysis of aluminium in China for 1991—2007 (I): trade of aluminium from a perspective of life cycle and its policy implications. *Resources Science*, 2009, 31(11): 1887-1897.
- [6] Huang H P, Bi J, Zhang B, Li X M, Yang J, Shi L. A critical review of material flow analysis (MFA). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 368-379.
- [7] Wu S Y, Liu B Y. Basic Management Information System of Chinese Marine Islands: Marine Islands System, Remote Sensing Information and Service Platform. Beijing: China Ocean Press, 2008: 33-34.
- [8] Bureau of Statistics of Changhai County. *Changhai Yearbook-2009*. 2010: 2.
- [9] Guo H L, Chen D J. Analysis of Changhai County's sustainable development based on ecological footprint. *Ocean Development and Management*, 2010, 27(Suppl.): 34-38.
- [10] Verfaillie H A, Bidwell R. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance [2012-05-15]. http://oldwww.wbcsd.org/web/publications/measuring_eco_efficiency.pdf.
- [11] Lü B, Yang J X. Review of methodology and application of eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [12] Lin S S. Preliminary Study on Material-Flow System and Its Establishment in Taiwan [D]. Taiwan: Chung Yuan Christian University, 2002: 39-44.
- [13] Ehrlich P R, Holdren J P. Impact of population growth. *Science*, 1971, 171(3977): 1212-1217.
- [14] York R, Eugene A R, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 2003, 46(3): 351-365.

参考文献:

- [1] 陶在朴. 生态包袱与生态足迹: 可持续发展的重量及面积观念. 北京: 经济科学出版社, 2003: 199-205.
- [2] 陈效述, 赵婷婷, 郭玉泉, 宋升佑. 中国经济系统的物质输入与输出分析. *北京大学学报: 自然科学版*, 2003, 39(4): 538-547.
- [3] 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.
- [4] 徐明, 张天柱. 中国经济系统中化石燃料的物质流分析. *清华大学学报: 自然科学版*, 2004, 44(9): 1166-1170.
- [5] 陈伟强, 石磊, 常晶宇, 钱易. 1991年—2007年中国铝物质流分析(I): 全生命周期进出口核算及其政策启示. *资源科学*, 2009, 31(11): 1887-1897.
- [6] 黄和平, 毕军, 张炳, 李祥妹, 杨洁, 石磊. 物质流分析研究述评. *生态学报*, 2007, 27(1): 368-379.
- [7] 吴桑云, 刘宝银. 中国海岛管理信息系统基础: 海岛体系、遥感信息、服务平台. 北京: 海洋出版社, 2008: 33-34.
- [8] 长海县统计局编. *长海县统计年鉴-2009*. 2010: 2.
- [9] 郭惠丽, 陈东景. 基于生态足迹方法的长海县可持续发展评价研究. *海洋开发与管理*, 2010, 27(增刊): 34-38.
- [11] 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.
- [12] 林锡雄. 台湾物质流之建置与应用研究初探[D]. 台湾: 中原大学, 2002: 39-44.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.1 Jan., 2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem .....	.....
.....	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste; a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay .....	.....
.....	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay .....	.....
.....	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment .....	.....
.....	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed .....	.....
.....	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve .....	.....
.....	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems .....	.....
.....	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay .....	.....
.....	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985 .....	.....
.....	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society .....	.....
.....	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency .....	.....
.....	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia .....	.....
.....	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis; a case study of Changhai County .....	.....
.....	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation .....	.....
.....	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services; status, problems and perspectives	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	GUO Zhen, HU Dan, LI Yuanzheng, et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	XIAO Qiang, XIAO Yang, OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao, WANG Xinhai (231)

《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,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

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 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 1 (January, 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

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@cspg.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@cspg.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