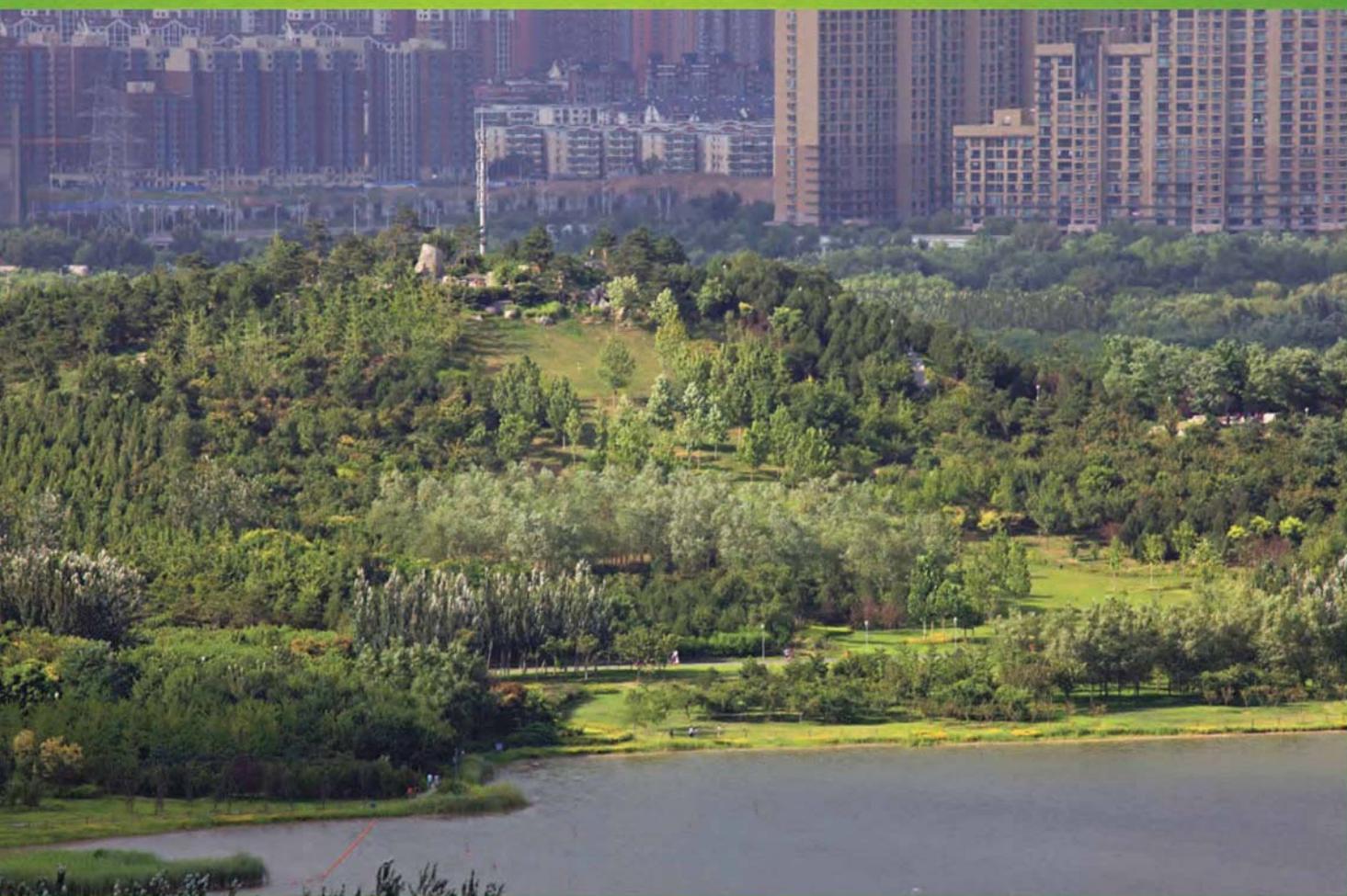


ISSN 1000-0933

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/stxb201212071764

刘晶茹, 吕彬, 张娜, 石焱. 生态产业园的复合生态效率及评价指标体系. 生态学报, 2014, 34(1): 136-141.

Liu J R, Lü B, Zhang N, Shi Y. Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 136-141.

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, 石焱

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:生态产业园的建设在国内取得了丰富的成果,已成为我国循环经济建设 and 可持续发展的重要载体之一。与国外不同,我国的生态产业园最终将演化为生态城市,其功能也从工业生产功能发展为融生产、生活和生态为一体的复合功能。生态效率是评价一个研究对象投入产出效益的量化工具,将生态效率的理念融入生态产业园,从园区作为区域可持续发展的载体、作为生态城市演化的一个特定阶段的视角,提出了复合生态效率的概念,构建了园区复合生态效率评价指标体系,并以郑州经济技术开发区为例,说明了复合生态效率指标在产业园中的应用。

关键词:生态效率;生态产业园;指标体系

Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency

LIU Jingru*, LÜ Bin, ZHANG Na, SHI Yao

Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Industrial ecosystem is a kind of Social-Economic-Natural Complex Ecosystem (SENCE). Development of industrial ecosystem is one of the most popular methods being implemented in the industrial world for sustainable development. Eco-industrial Park (EIP) provides a specific practice for the medium level of industrial ecosystem and serves as an effective mode to achieve sustainable development of economy, society and environment in China. In recent years, EIP has been developed very fast in China. Up to September, 2012, there are 45 national EIPs authorized by Ministry of Environmental Protection, Ministry of Commerce and Ministry of Science and Technology. Most of these EIPs are national economic and technical development zone and national high-tech industrial development zone. These development zones are important carriers of Chinese urbanization process. Therefore, the dynamic processes of Chinese EIPs are quite different from other countries, where the functions of EIPs in China is not only industrial production, but a Social-Economic-Natural Complex function, and its final evaluation shape of EIPs will be eco-cities.

In this paper, we developed a special definition of complex eco-efficiency based on SENCE theory to measure the development status of Chinese EIPs. The accurate measurement of the complex eco-efficiency of EIP industrial eco-system in China will help to understand the overall operation conditions and the importance of various factors on the improvement of the complex eco-efficiency, which is convenient for setting up feedback mechanism timely and promoting the comprehensive, coordinated and sustainable development of EIPs. We first discussed the structure, functions and processes of complex industrial ecosystem briefly, then the development of evaluation indicator system in detail. An evaluation indicator system for complex eco-efficiency of EIP on a frame of structure-function-process was developed based on the theoretical review. The

基金项目:自然科学基金面上资助项目(71173209);自然科学基金重点资助项目(71033005)

收稿日期:2012-12-07; 修订日期:2013-12-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liujingru@cees.ac.cn

indicator system was divided into five layers and three sub-groups. There were totally 25 technological indicators among which 23 were quantitative, 2 were qualitative. 6 structural indicators, 15 functional indicators and 4 process indicators were included in three sub-groups. Zhengzhou national economic and technical development zone was selected for case study to explain how to collect data and information on EIP level and how to make a systematic assessment of these indicators. The focus of this paper was to explain that these indicators were easily accessible and useful.

In 2006, the Ministry of Environmental Protection issued a series of national standards for EIPs. Although they divided EIPs into sector-specific EIPs, sector-integrate EIPs and venous industry based EIPs, the indicators of these three types are similar. Except for economic development indicators, most of these indicators are related to environmental pollution control and environmental management. These indicators are useful on factory level of EIPs, but not useful when we take EIP as a whole ecosystem. In this paper, we tried to develop indicators which are more ecologically and systematically, based on our understanding of EIPs as a complex ecosystem and a special evolution process of eco-cities.

Key Words: ecological efficiency; ecological industrial park; indicator

中国正在面临着快速的工业化和城市化,经济发展与环境保护、生态建设之间的矛盾是主要矛盾之一^[1]。20世纪90年代,生态产业园(EIP)的概念引入中国,在国家环境保护部等政府部门的推动下,开始了生态产业园区规划与建设的系统性探索工作。经过20多年的实践发展和理论探讨,生态产业园区的建设在国内取得了丰富的成果^[2-3],已成为我国循环经济建设 and 可持续发展的重要载体之一。

1 生态产业园——一类典型的复合生态系统

产业生态系统是一类以高强度能流、物流、信息流、资金流、人口流为特征,不断进行新陈代谢,具备生产、流通、消费、还原、调控等功能,经历着孕育、发展、繁荣、熟化、衰落、再兴等演化历程的社会-经济-

自然复合生态系统(图1)^[4-5],由人(生产者、流通者、服务者、还原者和调控者)、资源(自然资源、加工资源、技术资源、金融资本和基础设施)与环境(生产环境、区域环境、市场环境、政策环境和社会环境)组成。

生态产业园是指在一定地区范围内集聚的企业依据循环经济理念、工业生态学原理和清洁生产要求而建设建立的一种新型产业园^[6-7]。生态产业园是一类典型的复合生态系统,这里的“生态”是产业和产业、产业和社会、产业和环境间横向耦合、纵向闭合、区域融合、社会整合的系统关系和革新过程。这里的“产业”是从摇篮到坟墓再到摇篮的物质循环、能量转换、信息集成,是一种多功能生产方式和网络型循环产业;这里的“园区”是“红色空间”(产业、人居和公共设用地)、“灰色空间”(废弃地和交通用地)、“绿色空间”(城市绿地、农地和林地)和“蓝色空间”(城市河渠、湖泊、湿地、岸带)的有机组合;是实体空间(园区实际占用和规划占用土地以及园区外围的生态服务用地)和虚拟空间(园区产业向外部拓展所占用或共生的非连续空间),物态空间(资源、环境、市场)和生态位空间(生态利导和限制因子、生态优势和劣势、生态基础设施和服务功能)的系统整合^[5]。

2 生态产业园的复合生态功能

生态产业园是 Marian Chertow 等人基于对卡伦堡等模式的观察而提出的概念,他们认为演化成熟的生态产业园应该是一种稳定的、多样性丰富的工

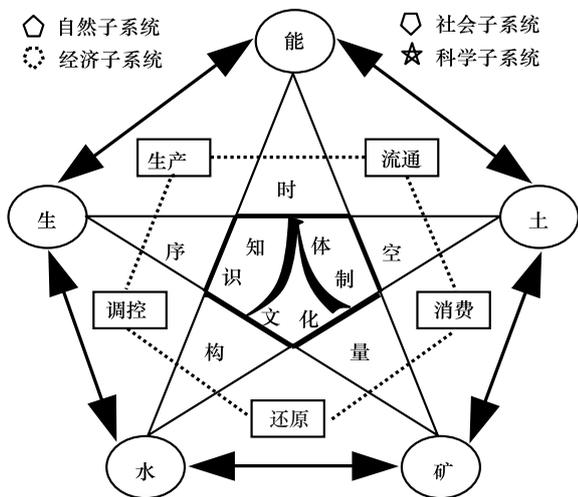


图1 产业生态系统示意图
Fig.1 Framework of Industrial Ecosystem

业共生系统^[8-10]。国内外生态产业园的内涵及发展模式有很大不同,我国的生态产业园建设已成为推动旧城生态改造和新区生态建设及带动区域城镇化和乡村工业化发展的重要载体,多数生态产业园区最终将发展为生态新城^[11],这是由于我国传统的产业园区主要建立在母城周边,随着城市化扩张,很多园区将逐渐发展为城市的新区^[12],其功能也渐渐的由工业生产功能为主向集生产、生活和生态为一体的复合功能转变。因此,新的生态产业园区在规划建设理念上,已不能再简单的强调产业共生链网的建立,而是要从复合生态系统的角度去进行评价、规划、设计和管理,需要平衡考虑生态产业园的产业生态子系统、自然生态子系统和社会生态子系统的协同进化关系。

3 生态产业园复合生态效率的内涵

生态效率具有多种定义,核心是考察研究对象的投入产出效益,其中的“投入”主要指经济活动过程中的资源能源消耗和环境负荷,“产出”主要指经济活动产生的价值。既有基于单一指标的分析^[13-14],也有多指标的综合评价^[15-16]。作为复合生

态系统的生态产业园,其核心目标是实现生产、生活和生态复合生态效率的快速提升及自然、经济、社会三个子系统的协调发展,而不能仅仅关注物质利用效率的最大化及末端排放的最小化^[17]。本文提出的复合生态效率的评价对象是产业生态系统(图1),是包含了社会、经济和自然三个子系统、生产、生活和生态三种主要功能的产业复合生态系统,通过构建反映复合生态系统结构、过程与功能的指标体系,评价各子系统的可持续发展水平,并通过指标整合的方法,综合评价复合生态系统所提供的自然、经济与社会生态效益。生态产业园的复合生态效率指标既要能反映园区整体运行功效,又能反映其内部的结构、功能的状态和变化特征。

4 生态产业园复合生态效率的评价指标——以郑州经济技术开发区为例

本文构建的生态产业园复合生态效率评价指标体系如表1所示,共25个技术指标,其中结构性指标有6个,功能指标共15个,过程指标4个,功能指标较多,因为本指标体系重在突出生态产业园的复合生态功能效用。

表1 生态产业园复合生态效率评价指标体系

Table 1 Indicators of complex eco-efficiency of EIP

	状态指标 State Indicator	变量指标 Variable Indicator	技术指标 Technical Indicator	指标说明 Explanation
结构性指标 Structural indicator	自然子系统	绿化结构	园区绿化覆盖率	绿地面积/园区面积
			土地覆盖类型多样性	香浓-威纳指数
	社会子系统	人口知识结构	员工受教育程度	据员工的平均受教育年限判定
			服务业从业人口比例	服务业就业人口/总就业人口
产业子系统	生态产业链结构	主导产业优势度(CR4)	前四位主导产业市场份额占有率	
功能性指标 Functional indicator	生产功能	资源生产力	单位原材料产出 GDP	GDP/原材料消耗
			单位能源产出 GDP	GDP/能源消耗
			单位水资源产出 GDP	GDP/水资源消耗
			单位土地面积 GDP	GDP 总量/园区面积
	供给功能	社会生态服务	基础设施完善程度	主要用城市交通网络的覆盖能力表示
			自然生态服务	自然生态系统具有的调节气候、涵养水源、净化空气等功能的价值量
	消费功能	空间占有	园区生态足迹	将生物资源消费和能源消费账户折算到具有可比性的生物生产性土地面积
	还原功能	废物循环利用	工业用水循环利用率	循环利用的水量/(新鲜水耗+循环用水量)
			工业固废综合利用率	工业固废利用量/(工业固废产生量+往年贮存量)
		环境治理	能源梯级利用	能源梯级利用	定性分析指标
工业废气处理率				工业废气处理量/产生量
		工业废水处理率	达标排放污水量/工业废水产生量	

续表

	状态指标 State Indicator	变量指标 Variable Indicator	技术指标 Technical Indicator	指标说明 Explanation
			生活污水集中处理率	达标排放污水量/生活污水排放量
			生活垃圾无害化处理率	生活垃圾无害化处理量/产生量
	缓冲功能	生态系统缓冲	生态用地比例	湿地及绿化生态用地面积/园区土地面积
过程性指标	物质代谢	物质流动	直接物质投入(DMI)	园区内部物质输入与进口物质输入之和
Process			物质总排出(TMO)	园区内产品外部输出、废物总排放及内部物质输入之和
indicators			物质交换利用率	内部物质输入/物质总输入
	信息反馈	信息流动	信息平台共享度	主观、定性评价

郑州国家经济技术开发区 2008 年开展生态工业示范园区建设工作,本文以郑州经开区为例,对复合生态效率的指标、指标数据的来源及对园区发展的指导意义进行分析。

4.1 结构性指标

(1) 园区绿化覆盖率

数据主要来自园区建设局的统计资料,2008—2010 郑州经开区绿化覆盖率分别为 35.6%、36% 和 36.3%。

(2) 土地覆盖类型多样性

根据我国土地利用一级分类,利用 Quikbird 遥感数据,运用 EDRAS 遥感图像处理软件对规划区内土地利用进行遥感解译,分析开发区 8 类土地利用类型的组成结构。采用香浓-威纳指数计算土地覆盖类型多样性指数,2008—2010 年郑州经开区土地覆盖类型的多样性指数分别为 2.46、2.45 和 2.45。

(3) 员工受教育程度

用员工人均受教育年限来表示,数据来自园区统计年报,2008—2010 年分别为 8.47、8.62 和 8.72a。

(4) 服务业从业人员比例来自园区统计资料,2008—2010 年分别为分别为 41.09、42.58 和 44.60。

(5) 主导产业优势度

可以使用 CR4(行业前四名份额集中度)来表示,2008—2010 年郑州经开区 CR4 分别是 45.3, 54.1 和 87.7,产业集聚发展良好。

(6) 企业关联度

企业关联度主要描述企业之间资源交换的紧密程度,反映园区的生态容量和发展水平。通过构建系统群落可达矩阵得出,关联度 C 的计算借鉴自然生态系统生物群落关联度^[18]的计算方法:

$$C = \frac{L}{S(S-1)/2}$$

式中, L 表示群落可达矩阵中非零元素的个数, S 为系统物种种群数量。

根据郑州经开区 9 个种群(1: 装备制造企业; 2: 汽车整车及零部件制造企业; 3: 电子信息企业; 4: 食品制造企业; 5: 热力生产及供应企业; 6: 设备租赁服务企业; 7: 汽车租赁服务企业; 8: 污水处理厂; 9: 园区绿化企业)构成的群落可达矩阵,计算得到企业关联度为 0.36。将园区企业关联度的数据对比贵港、鲁北等国内早期的生态工业园相关数据^[19],郑州经开区的关联度与这两个园区的平均值比较接近,说明郑州经济技术开发区在一定程度上具备自我消解、自我循环的功能。

4.2 功能性指标

(1) 资源生产力

资源生产力包括单位原材料、能源、水资源以及土地面积产出 GDP,相关数据来自企业环评报告和企业调查问卷。

(2) 自然生态系统服务价值量

根据 Costanza^[20]和谢高地^[21]等给出的我国不同生态系统单位面积生态服务价值,结合园区林地、草地、耕地、湿地、河流和荒漠等几类土地利用的面积来核算生态服务功能。

(3) 基础设施完善程度

采用园区道路交通用地占园区建设区面积的比例来反应园区基础设施的完善程度。

(4) 生态空间占用

即生态足迹,是指提供相应人口所消费的全部资源并吸纳其产生的废弃物所需要的生物生产性土地面积。本文将消费分为生物资源的消费和能源消费两部分,然后将其均转化为不同类型的土地面积,

乘以均衡因子转化为等价生产力的土地面积,最后汇总求和即可。2008—2010年郑州经开区人均生态足迹需求分别为2.55、2.69和2.77 hm²/人。

(5) 废物循环利用

主要指工业用水重复利用率和工业固废综合利用率,2008—2010年,工业用水重复利用率从33.1%提到35.5%,固废综合利用率提高从68.2%提高到98.05%。

(6) 环境治理

包括工业废气处理率、工业废水处理率、生活污水集中处理率以及生活垃圾无害化处理率四个指标。四个指标来自园区的环境质量报告书。

(7) 生态系统缓冲

借鉴相关研究成果^[22],城市中的生态用地主要包括生产绿地、水域、湿地、以及裸土,即除了人工建筑、交通用地、城乡结合地以及植被过渡地之外的城市土地即为城市生态用地,2008—2010年郑州经开区生态用地比例为69.15%、67.63%和67.63%。

4.3 过程性指标

(1) 物质流动

结合物质流分析方法来辨别园区物质代谢水平,并获取相应的园区尺度的物质流指标。借鉴石垚^[23]提出的EIPS-MFA模型及指标体系,分别用直接物质投入、物质总排出、以及物质交换利用率三个指标来表现园区物质流动情况。

(2) 信息完善程度

结合环保部关于生态工业示范园区建设的要求,郑州经开区已建立了较完善的信息公开制度,包括建立专门的网站及定期公布园区环境信息等。

4.3 综合分析

通过使用层次分析方法,对郑州经开区复合生态效率评价,从结构角度看,现有产业子系统生态产业链条的结构尚且不完善。郑州经开区生态工业园是综合型生态工业园,由不同行业的企业构成,其产业共生网络从理论上来说比较复杂,应围绕不同产业间企业的物质交换来构建,但是从实践上来看,园区的工业行业内部和跨行业形成的企业集群效应并不是很明显,园区“龙头”企业的带动能力较弱,且较多还处于建设期,与当地中小企业配套协作水平不高,产业链条也相对较短。因此,有必要调整产业和产品结构,延伸产业链条,提高产品附加值,实现优

化发展。

其次,从功能角度看,园区在土地资源的管理上存在很多缺陷,导致单位土地面积产出能力较低。作为生态工业园区,在提高园区产业共生能力的同时,园区需要土地维持其最大化的生态系统服务功能,反映到功能层面,即为园区的供给功能有待考量。因此,有必要合理利用园区土地资源,维持一定量的农田和生态用地,提高园区土地的生态服务功能。

5 讨论

国外对于生态产业园评价指标体系的研究主要是借助生命周期分析、物质代谢分析、能值分析等工具和方法,将生态工业园视为一个单纯的工业系统进行评价,国内的学者也分别从园区工业系统的物质流、共生关系的稳定性、多样性等方面开展过相关探讨^[24-25],国家环境保护部发布的关于生态工业园区建设的指标体系最为全面,综合考虑了经济发展、污染控制、资源效率和环境管理,具有重要的实践意义,但仍缺少对区域生态系统层面的考虑。生态产业园是一个复合的产业生态系统,生态效率指标既要能反映园区整体运行功效,又能反映其内部的结构、功能的状态和变化特征。本文利用复合生态系统生态学的理论,从园区作为区域可持续发展的载体、作为生态城市演化的一个特定阶段的视角,构建了园区复合生态效率评价指标体系,每个指标既可以独立分析,以辨识园区发展的长板、短板,也可以利用层次分析等方法整合为一个指数,作为园区发展状态的综合判别标准,指标数据具有很好的可获得性和独立性。本指标体系在郑州经济技术开发区的生态工业示范园区创建中得到应用,并经过证实能有效指导园区的生态建设,综合提高园区的生产、生态和生活功能,统筹考虑园区自然、经济和社会三个子系统的协调发展,实现系统层次复合生态效率的最优。

References:

- [1] Wang J N, Tian R S, Wu S Z, Dong Z F. A road map of the pollutants emission total amount control for China in the "12th Five Year" period. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(8): 70-74.
- [2] Geng Y, Zhao H X. Industrial park management in the Chinese environment. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(14):

- 1289-1294.
- [3] Shi H, Tian J P, Chen L J. China's quest for eco-industrial parks, Part I. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, 16(1): 8-10.
- [4] Ma S J, Wang R S. The Social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4(1): 1-9.
- [5] Wang R S, Zhou T, Chen L, Liu J R, Wang Z. *Industrial Ecology [D]*. Beijing: Xinhua Press, 2006.
- [6] Lowe E A. Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 1997, 5(1/2): 57-65.
- [7] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ 274—2009 Standard for Secotr-integrate Eco-Industrial Parks. Beijing: China Environmental Science Press, 2009.
- [8] Chertow M R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 2000, 25(1): 313-337.
- [9] Boons F, Spekkink W, Mouzakitis Y. The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(9/10): 905-911.
- [10] Lowe E A, Moran S R, Holmes D B, Martin S A. *Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks*. US EPA, 1996.
- [11] Yin X J. *Urbanization Process of Industrial Park-case Study of Beijing Economic Technological Development Area [D]*. Beijing: Beijing University of Technology, 2009.
- [12] Zhang H. Development zone promoting urbanization mode case study of Yangste delta. *Urban Planning Forum*, 2001, (6): 65-69.
- [13] Stigson B. Eco-efficiency: Creating More Value With Less Impact [D]. WBCSD, 2000: 5-36.
- [14] Lü B, Yang J X. Review of methodology and application of eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [15] 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.
- [16] Qin S T. *Evolution and Regulation System of Ecological Industrial Park*. Beijing: Economic Mangement Press, 2012.
- [17] 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.
- [18] Qu S, Wang J F, Li B D. Evaluation of eco-industrial park symbiotic web based on connectance analysis. *Science of Science and Mangement of S & T*, 2007, 28(10): 36-40.
- [19] Peng S, Xia X F, Luo Y, Wu W L. Analysis of enterprise's connection. *Industrial Techonology & Economy*, 2007, 26(2): 77-79.
- [20] Contanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G., Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [21] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zhneg D, Li S C. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196.
- [22] Deng H B, Chen C D, Liu X, Wu G. Conception and function classification of regional ecological land. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [23] Shi Y, Yang J X, Liu J R, Chen B, Wang R S. The exploration of material metabolism based on MFA for Eco-Industrial Parks. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 228-237.
- [24] Yuan J L. Study on assessment indicator system of eco-industrial park. *Environmental Protection*, 2003, (3): 38-40.
- [25] Sun X M, Cui Z J, Zhu L, Liu L. Establishment of indicator set for evaluating operating efficiency of eco-industrial parks. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(1): 124-128.
- 参考文献:**
- [1] 王金南, 田仁生, 吴舜泽, 董战峰. “十二五”时期污染物排放总量控制路线图分析. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(8): 70-74.
- [4] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1): 1-9.
- [5] 王如松, 周涛, 陈亮, 刘晶茹, 王震. *产业生态学基础*. 北京: 新华出版社, 2006.
- [7] 国家环境保护部. HJ 274—2009 中华人民共和国国家环境保护标准: 综合类生态工业园区标准. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [11] 尹希杰. *开发区城市化研究——以北京经济技术开发区为例 [D]*. 北京: 北京工业大学, 2009.
- [12] 张弘. 开发区带动区域整体发展的城市化模式——以长江三角洲地区为例. *城市规划汇刊*, 2001, (6): 65-69.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 秦荪涛. *生态工业园系统的演化与调控*. 北京: 经济管理出版社, 2012.
- [17] 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.
- [18] 曲莎, 王京芳, 厉秉铎. 基于关联度分析的生态工业园共生网络评价. *科学学与科学技术管理*, 2007, 28(10): 36-40.
- [19] 彭涛, 夏训峰, 罗燕, 吴文良. 工业园企业关联度分析. *工业技术经济*, 2007, 26(2): 77-79.
- [21] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [22] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. *生态学报*, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [23] 石焱, 杨建新, 刘晶茹, 陈波, 王如松. 基于MFA的生态工业园区物质代谢研究方法探析. *生态学报*, 2010, 30(1): 228-237.
- [24] 元炯亮. 生态工业园区评价指标体系研究. *环境保护*, 2003, (3): 38-40.
- [25] 孙晓梅, 崔兆杰, 朱丽, 刘雷. 生态工业园运行效率评价指标体系的研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(1): 124-128.

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