

产业园生态效率评价 ——以九发生态产业园为例

彭涛¹, 李林军^{2,3}, 陆宏芳^{2*}

1. 中国科协发展研究中心, 北京 100045; 2. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要:生态产业园区的发展和评价已成为包括我国在内的全球产业可持续发展研究的热点领域。生态效率指标强调以较少资源投入和较低污染排放生产更多较高质量的产品, 能同时评价经济效益和环境效益, 符合人类可持续发展目标, 现已是指导和评价生态工业园可持续发展建设的有效工具。本文应用生态效率理论和方法, 对 2004 年九发生态产业园的运行情况进行了效率评价和生态功能探讨, 并与同年全国平均生态效率指标进行了对比, 发现九发生态产业园虽然产业链网较完善, 但系统实际运行的生态效率高低不一。其中, 单位原材料产出率和单位废水排放产出率指标明显低于全国平均水平, 表明系统的生态功能发挥不足。因此, 需进一步提高九发生态产业园的资源利用效率和能源使用效率, 从而增加其经济效益和环境效益、促进其可持续发展。

关键词:生态工业园; 生态效率; 生态功能; 九发生态产业园

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 07-1611-06

20 世纪 90 年代以来, 生态产业园或称生态工业园 (Eco-Industrial Parks, EIPs) 开始成为世界工业园区发展领域的主题^[1]。目前在我国, 生态工业园已经成为继经济技术开发区、高新技术开发区之后的第三代产业园区^[2-3]。它的基本理念是, 通过物质循环和能量流动等方式, 把不同的工厂或企业有机组合起来, 使一家工厂的废弃物或副产品成为另一家工厂的原料或能源, 形成物质良性循环、能量梯级利用的生产经营模式, 进行低投入、高效率、低污染的可持续生产^[4-7]。

诞生于 20 世纪 70 年代的丹麦卡伦堡 (Kalundborg) 生态工业园被公认为世界上第一个也是最成功的生态工业园, 它通过“从副产品到原料”的交换, 使得废料再度被利用, 从而减少了资源消耗和环境污染, 同时产生了可观的经济收益^[2, 4, 8, 9]。生态工业园在美国、瑞典、法国、英国、意大利等国家也正迅速发展, 涉及领域有生物能源的开发、废物处理、造纸、发电、钢铁、水泥和石油提炼等不同行业^[1-2, 10-11]。除上述发达国家外, 泰国、印度、印度尼西亚、菲律宾和南非等发展中国家也在积极兴建生态工业园^[2, 11-12]。我国自 1999 年广西贵港生态工业园区作为国家环保总局首个试点园区以来, 辽宁、江苏、山东、天津、新疆、内蒙古、浙江、广东等省市自治区分别开展了生态工业园区建设^[2, 11]。截至 2006 年 8 月, 国家环保总局已论证

通过了 19 个国家生态工业示范园区建设规划^[2, 6]。对于我国已有生态工业园, 虽然内部结构都是比较完善的生态产业链网, 但实际运行的生态效率如何、生态功能是否被充分发挥还难以认定, 需要进行科学的定量评价。已有学者指出, 由于具体指导和评价体系不完善, 我国生态工业园的建设与起步较早的发达国家相比, 理论方法和实践应用差距较大, 仍存在园区建设不标准、生态功能发挥不足、园区的生态效率被忽略等诸多问题^[8, 13-14]。

生态效率评价指标体系被世界经济合作与发展组织 (OECD)、亚太经合组织 (APEC)、欧洲环境署 (EEA) 等国际组织推荐使用^[15-16], 它集经济效益和环境效益目标于一身, 强调以较少资源投入和较低环境影响生产较多更高质量的产品和服务, 契合生态工业园建设宗旨和评估要求, 已成为世界各国和地区可持续发展研究的重要热点之一^[11, 17]。构建适用于生态产业园的生态效率评价体系并用于指导生产实践, 对于我国实现生态产业园建设的标准化, 充分发挥生态产业园的生态功能, 具有重要基础性意义。为此, 本文以九发生态产业园生态效率的评价为例, 构建了相应的生态效率评价体系, 定量计算资源产出率和废弃物产出率, 资以为提高生态产业园区的资源利用效率、减轻其环境影响、促进其可持续发展提供参考依据。

基金项目: 国家科技部支撑项目(2009BAD6B07)

作者简介: 彭涛(1976年生), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为生态环境政策研究。E-mail: aoeng_pt@163.com

*通信作者: 陆宏芳, 女, 研究员, 博士, 研究方向为系统生态学与生态经济。E-mail: luhf@scbg.ac.cn

收稿日期: 2010-06-18

1 研究对象概况

九发生态产业园隶属山东九发食用菌股份有限公司,于 1998 年成立并上市,主要经营食用菌、果蔬、罐头、饮料、水产品、复合肥、包装物料、生物药品的生产销售及进出口业务。其中,食用菌生产因其工厂化、立体化、规模化、标准化和产业化模式,成为全国食用菌行业的龙头;双孢蘑菇系列产品先后获得国家“绿色食品”标志和美国 FDA 认可,其 95% 以上的产品出口到欧盟、美国、日本和东南亚等 30 多个国家和地区,被国务院发展研究中心市场经济研究所列为“中华之最”^[18]。

九发生态产业园,历经多年发展形成了以食用菌生产、加工为核心的产业复合共生系统,按照功能和作用不同,可划分为能源系统、物质综合利用系统、水系统等三大子系统(图 1)。九发生态产业园各共生单元通过废弃物流、产品流和能量流交换建立了产业生态联系,其主要链接为①煤矿→热电分公司→建材厂;热电分公司为其它各分公司和居民区供应电能和蒸汽,并为果蔬汁分公司供应纯净水。②农业种植→畜禽养殖→双孢菇、真姬菇生产→复合肥→农业种植;双孢菇、真姬菇生产→复合肥→胡萝卜基地→果蔬汁分公司→奶牛养殖厂;包

装材料分公司为双孢菇生产、真姬菇生产和果蔬汁分公司提供包装材料等多条生态产业链。③自来水厂→食用菌、果蔬汁生产→污水处理厂→农业生产系统。九发生态产业园各条链之间通过物质、能量、信息的流动和共享,彼此交错、横向耦合,使整个共生体形成了网状结构,是一个比较完善的以种植业、养殖业和加工业相结合的产业共生生态系统。

2 研究方法

生态效率(Eco-efficiency)是由德国学者 Schaltegger 和 Sturm 在 1990 年首次提出^[19],并在世界可持续发展商业理事会(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)的积极推动下不断发展完善。它被广泛接受的定义指为满足人类不断提高的生活质量需求、生产、提供具有价格优势的产品与服务,并使其资源利用强度和对生态环境的影响限定在至少与地球可承载能力相一致的水平^[13,20-21]。生态效率概念的直观表达式,也是目前被普遍接受的计算公式为^[21-23]:

$$\text{生态效率(资源生产率)} = \frac{\text{经济社会发展(价值量)}}{\text{资源环境消耗(实物量)}} \quad (1)$$

WBCSD 认为产品与服务的生产如要达到生态效率,需要满足七个要素条件:原材料投入最小

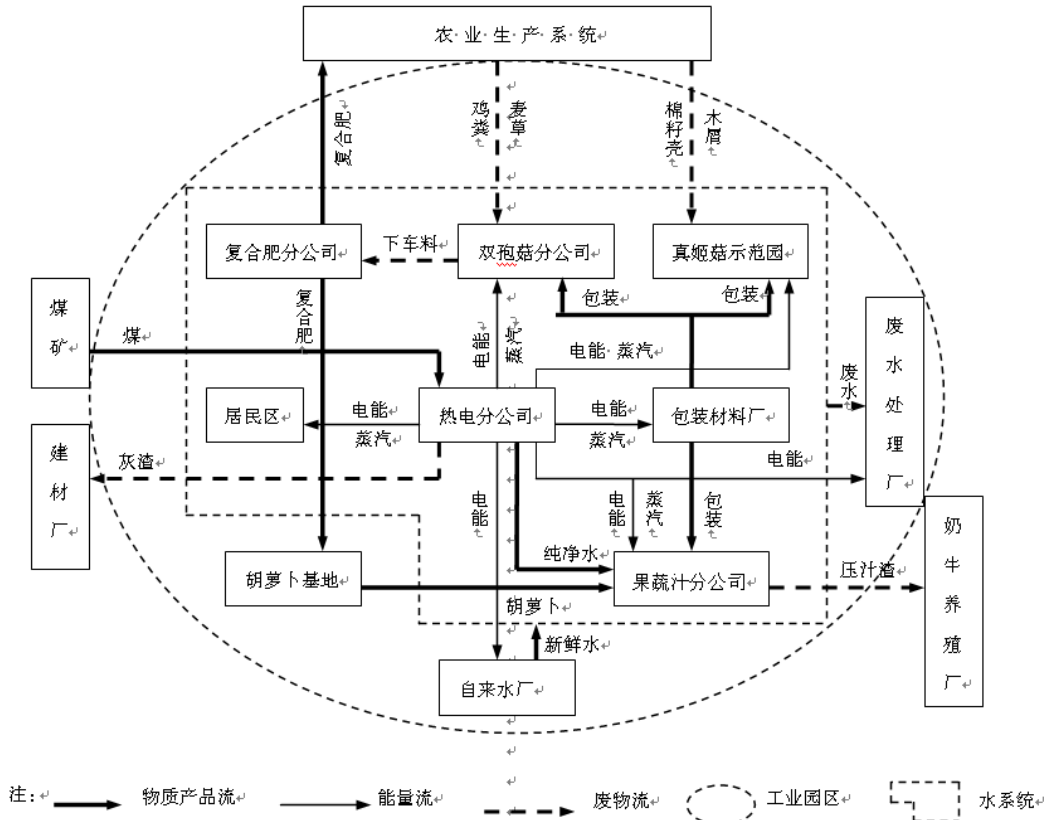


图 1·九发生态产业园简图
Fig. 1. Brief System Network of Jiufu Industrial Park

化；能源投入最小化；有毒物质扩散最小化；增加原材料的循环利用程度，最大限度地利用可再生能源；延长产品的使用寿命；增加产品与服务的价值含量。这七个要素的确定旨在为实现减少自然资源使用、减少环境影响、增加产品或服务价值三大目标^[20-21]。对生态产业园区而言，就是要求用更少的资源和能源生产更多更高质量的产品和服务，并且对环境产生的影响最小，实现经济效益和环境效益的双赢^[20,24]。

为此，在借鉴已有研究指标体系的基础上^[25-28]，本文采用生态效率计算的普适公式(1)，并对评估指标设置如下(九发产业生态系统输入与输出要素见表1)：

生态产业园输入端资源产出率评估指标：①单位土地的产值；②单位能耗的产值；③单位水耗的产值；④单位物耗的产值。这4个指标用于评估生态工业园输入资源产出率，分别代表土地生产力、能源生产力、水生产力和物质生产力。

输出端废弃物产出率评估指标为：⑤单位废气的产值；⑥单位废水的产值；⑦单位固体废物的产值。这3个指标用于评估生态工业园输出废弃物的产出率，分别代表废气排放生产力、废水排放生产力和固体废弃物排放生产力。

3 九发生态产业园生态效率核算

根据生态效率指标体系计算数据要求，整理汇总2004年九发生态产业园各自然输入要素相关数据如表2所示。其中，产业园的建设用地包含各个分公司的厂房和办公建设用地，不计胡萝卜基地的面积。能源总用量是消耗的原煤、油料、燃料用木材和外源供电通过折标系数^[29]折算成标准煤后加和得到。生态用水总量不包括生产如饮料等产品时所用水，基于它们不会产生环境影响。原材料消耗指除能源、水以外的其他原材料用量，主要包括麦秸草、鸡粪、棉籽壳、石灰石、肥料、马口铁、箱板纸、塑料和化学药品等，而不包括双孢菇、真姬菇、胡萝卜以及部分包装物料等系统内生产的材料投入。废气、废水排放是指未经末端处置的排放产

表2 九发生态产业园资源输入要素值与废弃物输出要素值

Table 2 Natural input and waste discharge factors of Jiufa Eco-industrial Park

| 输入要素类别 | 序号 | 具体输入要素 | 单位 | 数量 |
|--------|----|---------|-----------------|-----------|
| 输入端 | 1 | 建设用地 | hm ² | 238.5 |
| | 2 | 能源消耗总量 | t(标准煤) | 21 686.9 |
| | 3 | 用水总量 | m ³ | 814 483.7 |
| | 4 | 原材料消耗 | t | 51 995.5 |
| 输出端 | 5 | 废气排放总量 | t | 184.3 |
| | 6 | 废水排放总量 | t | 173 080.3 |
| | 7 | 固体废弃物排放 | t | 15 774.8 |
| 经济产出 | 8 | 系统总产值 | 万元 | 17 488.7 |

生量。固体废弃物排放指不能在系统内利用的固体废弃物，主要有锅炉灰渣、真姬菇养殖废弃物、果蔬汁压榨渣等。

根据表2计算的生态效率指标值如表3所示。

4 结果与分析

4.1 指标没有全都好于全国水平

为考察九发生态产业园各自然输入要素的生态效率表现特征，特将之与全国平均水平^[28]相比较，如表3和图2所示。在输入端方面，九发生态产业园的用水产出率、建设用地产出率分别为0.02万元·m⁻³、73.34万元·hm⁻²，显著高于其相应全国平均水平；能源消耗产出率0.81万元·t⁻¹，略高于其全国平均水平；而原材料消耗产出率是0.34万元·t⁻¹，仅为2002年全国平均水平的0.67。在输出端方面，废气排放产出率为94.89万元·t⁻¹，固体废弃物排放产出率1.11万元·t⁻¹，分别为全国平均水平的1.29倍和2.36倍；废水排放产出率为0.10万元·t⁻¹，仅为全国平均水平的0.30。

由此可见，在资源节约上，九发生态产业园单位经济产出的建设用地面积、能源消耗和水资源利用，低于全国平均水平；在污染物排放造成环境负荷方面，单位经济产出的废气排放、固体废弃物排放低于全国平均排放水平。但单位经济产出的原材料消耗、废水排放量都高于全国平均水平，说明该产业生态系统的资源利用效率和污染物治理方面

表1 生态产业园区生态效率指标中的资源输入要素与废物输出要素

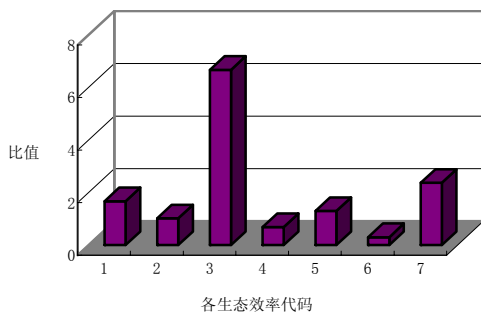
Table 1 Natural input and waste discharge factors in eco-efficiency indicators of eco-industrial parks

| 输入要素类别 | 序号 | 具体输入要素 | 选用指标 |
|----------------------|----|---------|----------------------------------|
| 输入端——自然环境作为资源来源 | 1 | 土地 | 土地使用：建设用地，包括交通运输用地、水利设施用地 |
| | 2 | 能源 | 能源消耗：初级能源消耗总量 |
| | 3 | 水 | 水消耗：用水总量 |
| | 4 | 原材料 | 原材料消耗：包括园区购入的工业原料、建筑材料、金属矿物、生物质等 |
| 输出端——自然作为废弃物和污染物的排放池 | 5 | 废气排放 | 二氧化硫排放量：包括工业二氧化硫排放量和生活二氧化硫排放量 |
| | 6 | 废水排放 | 废水排放量：包括工业废水和生活污水 |
| | 7 | 固体废弃物排放 | 园区生产排放 |
| 经济产出 | 8 | 系统总产值 | 园区GDP |

表 3 2004 年九发生态产业园与全国的生态效率
Table 3 Eco-efficiency indicators of Jiufa Eco-industrial Park and China in 2004

| 输入要素类别 | 序号 | 具体输入要素 | 单位 | 九发生态产业园 | 全国 |
|--------|----|------------|--------------------------|---------|-------|
| 输入端 | 1 | 建设用地产出率 | 万元·hm ⁻² | 73.34 | 44.10 |
| | 2 | 能源消耗产出率 | 万元·t ⁻¹ (标准煤) | 0.81 | 0.80 |
| | 3 | 用水产出率 | 万元·m ⁻³ | 0.02 | 0.003 |
| | 4 | 原材料消耗产出率 | 万元·t ⁻¹ | 0.34 | 0.50* |
| 输出端 | 5 | 废气排放产出率 | 万元·t ⁻¹ | 94.89 | 73.60 |
| | 6 | 废水排放产出率 | 万元·t ⁻¹ | 0.10 | 0.34 |
| | 7 | 固体废弃物排放产出率 | 万元·t ⁻¹ | 1.11 | 0.47* |

*2002 年数据



1. 建设用地产出率; 2. 能源消耗产出率; 3. 用水产出率; 4. 原材料消耗产出率; 5. 废气排放产出率; 6. 废水排放产出率; 7. 固废排放产出率。

图 2 九发生态产业园生态效率指标与全国平均水平比值

Fig.2 Ratio of eco-efficiency of jiufa industrial park to the mean value of China

还有待提高, 需要进一步优化。

4.2 涉农行业特点突出

九发生态产业园的原材料消耗产出率为 0.34 万元·t⁻¹, 仅为 2002 年全国平均水平的 0.67 倍, 表明其单位经济产出的原材料消耗过多。原因在于该产业园是农产品加工行业, 所需的原材料包含占有较大重量的麦草、鸡粪、棉籽壳、果蔬和石灰石等, 且生产的产品附加值较低, 从而导致原材料消耗产出率较低。

废水排放产出率比全国平均水平低 0.24 万元·t⁻¹, 仅为全国水平的 0.30, 表明九发生态产业园单位经济产出的废水产生量过大, 循环利用水的效率不高。究其原因, 该产业园农产品加工用水, 主要是清洗和蒸煮大量用水, 但未经再次利用, 从而产生了较多的废水。区别于工业废水的是, 农产品加工行业废水中主要污染物是 COD、BOD, 很少含有工业废水中的有毒物质。

固体废弃物排放产出率高于全国平均水平 0.64 万元·t⁻¹, 是全国平均水平的 2.36 倍, 表明九发生态产业园单位经济产出的固体废弃物产生量较少, 这也是符合农产品加工行业特点的。农产品加工主要是改进其食用特性, 而不改变其性质和质地, 这就决定了该行业只产生较少的固体废弃物。就该产业

园而言, 除去发电产生的灰渣, 其余部分都是些有机物质, 包括真姬菇废弃料、废菇柄和果蔬压榨渣, 几项相加占全部废弃物的 29.78%, 这些物质一是可以很快在自然界中降解, 二是可以较为容易地加以利用, 是良好的饲料和肥料。

4.3 产业生态系统功能有待加强

虽然九发生态产业园的系统结构看起来是一个比较完善的生态产业链网, 但通过生态效率指标体系的计算分析, 可以发现关键的能源消耗产出率、原材料消耗产出率和废水排放产出率指标略高于或者明显低于全国平均水平, 系统的生态功能还是发挥不足。

产业生态系统的能源消耗产出率仅仅高出全国平均水平 0.01 万元·t⁻¹(标准煤), 且只包含直接消耗的能源, 没有计算物品运输中的能源消耗, 因而实际能源消耗产出率有可能会低于全国平均水平。造成这种状况的原因在于园区中的热电厂, 虽然它替代了原来的 4 台小锅炉、起到了能量集约的作用, 但由于系统内部的热电需求低、只能热电分产, 加之机组小, 造成发电、供热的标准煤耗远高于正常水平, 从而使得整个系统的能源消耗产出率并不理想。

作为生态产业链网, 双孢菇、真姬菇和胡萝卜等是属于系统内部生产, 没有计入到原材料投入, 但系统原材料消耗产出率仍然只为全国平均水平的 67%, 表明该系统的资源利用效率低, 产品的附加值不高。因此, 需要进行重大的技术革新, 以增强资源利用效率和增加产品的附加值, 从而提高系统的资源生产力和经济效益。

系统废水排放产出率仅为 0.10 万元·t⁻¹, 远低于全国平均水平。据测算, 九发生态产业园主要用水是胡萝卜种植和双孢菇生产加工, 分别占总用水量的 30.6%和 34.5%, 但前者不产生废水, 因此双孢菇生产加工是产业生态系统中污水的最大制造者。九发集团在双孢菇培育技术上非常先进, 到达 25 kg·m⁻²(鲜菇), 但公司对节水和污水净化处理技术的重视程度不够, 这就导致系统总体上利用水的功能

不足，需切实加以改进。

5 结论

虽然九发生态产业园的系统产业结构较为完善，但其生态效率的核算结果却不尽如人意：输入端的原材料消耗产出率低于全国平均水平，能源消耗产出率与全国平均水平相当；输出端的废水排放产出率也低于全国平均水平。尽管部分原因在于九发生态产业园属农产品加工业的行业特点，但很大原因还是由于产业园区的生态功能特性并未得到充分发挥造成的。因此，生态产业园区建设不能只关注产业链网的搭建，还要深入分析系统的具体运行过程，综合评估其环境效益和经济效益。

生态工业园已成为我国第三代产业园，是我国走新型工业化道路的重要载体之一，目前大规模的推广建设，其成果需要科学的检验手段。生态效率指标集经济效益和环境效益于一体，简洁深刻，能够揭示系统表象下的内在生态效率的高低和生态功能的实现情况，可以作为指导和评价生态工业园区建设及运行的有效工具。

已有生态效率指标在核算各类自然输入要素总量时，大多采用质量直接相加的办法，而不同类别的自然要素输入产生的效用不同，尤其在能源和原材料输入效用，这种差异更为明显。因此，需要研究采用科学的折算方法将各类自然输入要素转化成同一标准后再进行加和，进而真实反映自然资源的产出情况。

参考文献：

- [1] COHEN R., TAD M.G., MICHELLE B. Designing eco-industrial parks: the North American experience [EB/OL]. 1997[2001-11-30]. <http://teclim.ufba.br/jsf/ecodesign/dsgn0205.PDF>.
- [2] 罗宏, 孟伟, 冉圣宏. 生态工业园区：理论与实证[M]. 北京：化学工业出版社, 2004.
LUO Hong, MENG Wei, RAN Shenghong. Eco-industrial Parks: Theory and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [3] 李同升, 韦亚权, 周华. 生态工业园及其规划设计探讨[J]. 经济地理, 2005, 25(5): 647-650.
LI Tongsheng, WEI Yaquan, ZHOU Hua. Eco-industrial parks and its research of planning and designing[J]. Economic Geography, 2005, 25(5): 647-650.
- [4] LOWE E., 耿勇. 工业生态学和生态工业园[M]. 北京：化学工业出版社, 2003.
LOWE E., GENG Yong. Industrial Ecology and Eco-industrial Parks[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [5] 商华, 武春友. 基于生态效率的生态工业园评价方法研究[J]. 大连理工大学学报：社会科学版, 2007, 28(2): 25-29.
SHANG Hua, WU Chunyou. Assessment of eco-industrial parks based on eco-efficiency[J]. Journal of Dalian University of Technology: Social Sciences, 2007, 28(2): 25-29.
- [6] 彭涛, 吴文良, 夏训峰, 等. 工业共生效益分析：以九发工业园为例[J]. 生态经济：学术版, 2007, 1: 172-175.
PENG Tao, WU Wenliang, XIA Xunfeng, et al. Profitability analysis of industrial symbiosis: taking Jiufa Industrial Park as an example[J]. Ecological Economics: Science, 2007, 1: 172-175.
- [7] 肖婵娟, 张宏武. 生态工业园的生态效率评价：以天津泰达生态工业园为例[J]. 天津商业大学学报, 2009, 29(1): 26-30.
XIAO Chanjuan, ZHANG Hongwu. Evaluation of eco-industrial park's eco-efficiency: case study of TEDA Eco-industrial Park in Tianjin City[J]. Journal of Tianjin University of Commerce, 2009, 29(1): 26-30.
- [8] 张思锋, 李灿. 生态工业园的生态效率评价体系构建及应用[J]. 新西部, 2008, 10: 83-86.
ZHANG Sifeng, LI Can. Construction and application of eco-efficiency indicators of eco-industrial parks[J]. New West, 2008, 10: 83-86.
- [9] 段宁, 孙宁, 魏晓琳. 关于推进我国生态工业园区建设的思考和建设[J]. 环境保护, 2002, 2: 40-42.
DUAN Ning, SUN Ning, WEI Xiaolin. Thinking and suggestion on promoting the construction of ecological industrial park[J]. Environment Protection, 2002, 2: 40-42.
- [10] RAYMOND C., COHEN R. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences[J]. Journal of Cleaner Production, 1998, 6: 181-188.
- [11] 邓南圣, 吴峰. 工业生态学：理论与应用[M]. 北京：化学工业出版社, 2002.
DENG Nansheng, WU Feng. Industrial Ecology: theory and application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [12] 杨咏. 生态工业园区述评[J]. 经济地理, 2000, 20(4): 31-35.
YANG Yong. Commentary of eco-industrial park[J]. Economic Geography, 2000, 20(4): 31-35.
- [13] 吕彬, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3898-3906.
LU Bin, YANG Jianxin. Review of methodology and application of eco-efficiency[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [14] 蔡小军, 张清娥, 王启元. 论生态工业园悖论、成因及其解决之道[J]. 科技进步与对策, 2007, 24(3): 41-45.
CAI Xiaojun, ZHANG Qing'e, WANG Qiyuan. Study on the paradox, reason and its solution of eco-industrial parks[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2007, 24(3): 41-45.
- [15] MOLL S., GEE D. Making sustainability accountable: eco-efficiency, resource productivity and innovation[J]. Copenhagen: EEA, 1998: 1-37.
- [16] OECD. Eco-efficiency[J]. Paris: OECD, 1998: 7-22.
- [17] 李名升, 佟连军. 基于能值和物质流的吉林省生态效率研究[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6239-6247.
LI Mingsheng, TONG Lianjun. Eco-efficiency of Jilin Province based on emergy and material flow[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6239-6247.
- [18] 山东九发食用菌股份有限公司 [EB/OL]. [2010-07-16]. <http://www.cn-ferment.com/Company/jiufa.aspx>.
Shandong Jiufa Edible Fungi Co. Ltd[EB/OL]. [2010-07-16]. <http://www.cn-ferment.com/Company/jiufa.aspx>.
- [19] STEFAN S., ANDREAS S. Okologische Rationalitat. In: Die Unternehmung Nr4, 1990: 273-290.

- [20] BJORN S. Eco-efficiency: Creating more value with less impact[J]. WBCSD, 2000: 5-36.
- [21] World Business Council for Sustainable Development. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance[J]. WBCSD, 2000: 2-30.
- [22] 岳媛媛, 苏敬勤. 生态效率: 国外的实践与我国的对策[J]. 科学学研究, 2004, 22(2): 170-173.
YUE Yuanyuan, SU Jingqin. Eco-efficiency: foreign practice and our measure[J]. Studies in Science of Science, 2004, 22(2): 170-173.
- [23] 诸大建, 朱远. 生态效率与循环经济[J]. 复旦学报: 社会科学版, 2005, 2: 60-66.
ZHU Dajian, ZHU Yuan. Eco-efficiency and circular economy[J]. Fudan Journal: Social Sciences, 2005, 2: 60-66.
- [24] HUPPES G., ISHIKAWA M. Eco-efficiency and its terminology[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9: 43-46.
- [25] HARTMUT H., KARL S., STEFFEN S. Eco-efficiency indicators in German environmental-economic accounting. Federal Statistical Office, Germany, 2001, 19: 41-52.
- [26] 诸大建, 朱远. 从生态效率的角度深入认识循环经济[J]. 中国发展, 2005, 1: 6-11.
ZHU Dajian, ZHU Yuan. Study on circular economy from the aspect of eco-efficiency[J]. Development of China, 2005, 1: 6-11.
- [27] 邱寿丰, 诸大建. 我国生态效率指标设计及其应用[J]. 科学管理研究, 2007, 25(1): 20-24.
QIU Shoufeng, ZHU Dajian. Eco-efficiency indicators for China and their applications[J]. Scientific Management Research, 2007, 25(1): 20-24.
- [28] 诸大建, 邱寿丰. 作为我国循环经济测度的生态效率指标及其实证研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 1-5.
ZHU Dajian, QIU Shoufeng. Eco-efficiency indicators and their demonstration as the circular economy measurement in China. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(1): 1-5.
- [29] 中华人民共和国国家标准[EB/OL]. 综合能耗计算通则. [2008-08-06]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/2008-8/200886103825.htm>.
National Standard of PRC[EB/OL]. Energy consumption calculation rule [EB/OL]. [2008-08-06]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/2008-8/200886103825.htm>.

The eco-efficiency of industrial park: example of Jiufa Eco-industrial Park

PENG Tao¹, LI Linjun^{2,3}, LU Hongfang^{2*}

1. Development Research Center of China Association for Science and Technology, Beijing 10004, China;

2. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Evaluation of the eco-efficiency of industrial parks has become an important research topic to advance the sustainable development of industries, both in China and the world. High eco-efficiency is characterized by a greater yield of high-quality products at the cost of fewer resources used and less pollution produced. Eco-efficiency indices simultaneously evaluate both economic benefit and environment impact and fit in well with the goal of global sustainable development. Eco-efficiency indices can be used as an effective tool for quantifying operational aspects of an eco-industrial park and as a guide to planning sustainable construction of eco-industrial parks. Based on the above definition, this study evaluates the ecological efficiency of Jiufa Eco-industrial Park in 2004 and analyzes its ecological functions, which are compared with the reported mean values for China. The results show that the productivity of raw material consumption and waste water discharge were much less than the corresponding mean values from the whole country. All eco-efficiency indices of processes in the Jiufa Eco-industrial Park did not perform well possibly because its ecological functions have not been developed completely. The efficiency of using resources and primary energy need to increase to improve the the eco-efficiency of operations within the Jiufa Eco-industrial Park. Such a change would increase economic income as well as environmental benefits.

Key words: eco-industrial parks; eco-efficiency; ecological function; Jiufa Eco-industrial Park.