

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

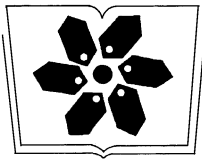
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用.....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106120777

杨谨, 陈彬, 刘耕源. 基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例. 生态学报, 2012, 32(13): 4007-4016.

Yang J, Chen B, Liu G Y. Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4007-4016.

基于能值的沼气农业生态系统 可持续发展水平综合评价 ——以恭城县为例

杨 谨, 陈 彬*, 刘耕源

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100875)

摘要:近年来,农村传统的粗放式发展模式对资源和环境造成了巨大的压力,严重阻碍农村的可持续发展进程,为此,国家在农村大力推行以沼气为重点的农村生态建设,加快建立以沼气为纽带的可持续农业发展模式。因此,对沼气农业生态系统的可持续性进行评价对农村能源生态建设和沼气工程的推广具有重要意义。本文选取广西恭城瑶族自治县沼气农业生态系统作为案例,将种植业、养殖业和生态旅游作为一个复合生态系统,应用能值分析方法将不同能质的能量折算为统一的能值单位,分析了复合农业生态经济系统的可持续发展现状,通过能值分析发现案例区域恭城县沼气农业生态系统具有以下特点:(1)与传统农业生态系统相比,有机肥所占比重较大;(2)水果生产为当地主导产业,生态旅游有了初步发展;(3)农业的快速发展使人民具有较高物质生活水平;(4)科技水平相对落后,生产率低;(5)沼气替代传统能源,大大减小了环境压力。通过对恭城县农业生态系统发展中的问题进行识别,提出相应政策建议,能够对其未来的发展模式提供参考,对沼气农业生态系统的推广具有重要意义。

关键词:沼气;可持续发展;能值分析;农业生态系统;恭城县

Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county

YANG Jin, CHEN Bin*, LIU Gengyuan

State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Nowadays, traditional extensive agricultural economic growth mode has exerted great pressure on natural resources and the environment and hindered the sustainable development of rural areas. In this context, the government attempts to promote biogas-based agricultural ecosystem construction and establish a biogas-linked agricultural ecosystem to solve the problems encountered. As the demonstration area, Gongcheng has already formed a "Three in One" biogas-linked agricultural ecosystem, and the industrial chain is expanding to include tourism and manufacturing. Thus, it is of great importance to evaluate the sustainability of Gongcheng biogas-linked agricultural system. The aim of this study is to assess the efficiency and sustainability of the biogas-linked agricultural ecosystem in Gongcheng, Guangxi through emergy-based ecological analysis. The emergy-based indicators of this integrated system are calculated and compared with those of other agro-ecosystems in China. Results show: (1) The total emergy input of biogas-linked agro-ecosystem in 2009 was 2.86×10^{21} sej, in which the proportions of renewable subsidiary resources from economy, nonrenewable resources from free

基金项目:世界银行贷款中国新农村生态家园富民工程项目;国家高技术研究发展计划(863 计划)重点项目(2009AA06A419);教育部新世纪优秀人才(NCET-09-0226)

收稿日期:2011-06-12; 修订日期:2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenb@bnu.edu.cn

environment, nonrenewable purchases and renewable resources from free environment were 34.8%, 10.3%, 45.5%, 9.33%, respectively; (2) The proportions of cropping, breeding, forestry and eco-tourism of the total emergy output were 45.45%, 23.22%, 4.09%, and 18.29%, respectively; (3) The emergy used per person in 2009 in Gongcheng biogas-linked agro-ecosystem was 1.13×10^{16} sej/person, much higher than 8.31×10^{15} sej/person of the whole China in 2000 and 1.28×10^{15} sej/person of Jiangxi province in 2005; (4) The emergy intensity of Gongcheng agro-ecosystem in 2009 was 1.33×10^{12} sej/m², much higher than 8.99×10^{11} sej/m² of China in 2000 and 2.44×10^{11} sej/m² of Jiangxi province in 2005; (5) The emergy yield ratio of Gongcheng biogas-linked agro-ecosystem was 0.94, lower than 2.08 of China in 2000, 4.17 of Jiangsu province in 2001 and 1.25 of Guangdong province in 2003; (6) Emergy load ratio was 1.27 in Gongcheng in 2009, which was lower than the average level of 2.72 in China in the year of 2000; (7) Emergy sustainable index in 2009 was 0.74, which was at the same level with those of China and Guangdong province. By comparison, the biogas-linked agricultural ecosystem is proved to be sustainable with less pressure on the environment. It has the following advantages over the traditional agricultural ecosystems: (1) The organic fertilizer accounts for a larger proportion in biogas-linked agro-ecosystem; (2) Fruit industry has become the leading industry fueling local economic development and ecotourism begins to take off; (3) Rapid agricultural development brings about relatively higher living standards; (4) Science and technology as well as the productivity remain at a relatively backward level; (5) Biogas replaces the role of traditional energy and greatly relieves environmental pressure. According to the results obtained, in order to maintain the existing advantages and take pressures off natural resources and the environment, measures to promote the development of biogas-linked agro-ecosystem are then proposed. Therefore, this study is meaningful in guiding the development of future biogas-linked agricultural ecosystem in Gongcheng.

Key Words: biogas; sustainable development; emergy analysis; agricultural ecosystem; Gongcheng

我国农村正处于经济快速发展时期,但在由于发展理念与发展模式的落后,出现了许多阻碍农村可持续发展进程的问题,如农林牧副渔结构不合理,科技化水平不高以及农村环境质量恶化等,尤其是传统低效高耗用能模式对资源和生态环境产生了重大而长久的负面影响,严重制约农村地区的社会进步和经济发展。为解决农村能源利用带来的巨大环境压力,改变长期依赖于煤炭、秸秆和薪柴的用能模式,我国在农村大力开展以沼气为重点的农村能源生态建设,2010年,中央投资52亿元补助建设农村沼气,新增沼气用户320万户,其中大中型沼气工程1000处以上,着力提高沼气使用率和“三沼”利用率。2011年,我国继续支持发展农村沼气,计划年末农村沼气户数达到4325万户,比上年增加325万户。因此,对以沼气为纽带的农业生态系统的可持续性进行评价对农村能源生态建设和沼气工程的推广具有重要的理论支撑意义。

目前用于研究系统可持续发展水平的方法主要有指标体系评价法、能量分析法和能值分析法。其中,指标体系评价法通过建立一套反映农业生态系统社会、经济和环境等各个方面现状的全面的指标体系,确定指标权重并计算农业生态系统可持续发展综合得分。如FAO依据PSR框架制定了农业可持续发展的评估指标体系^[1];欧共体采用联合国可持续发展委员会(UNCSD)建议的人均耕地、土地利用变化、农业能源、化肥和农药的使用5个指标来监测农业状况^[2];美国环境保护署EPA从90个相对独立指标中筛选出16个指标进行农业环境的先期评价最后选出作物生产力、土地生产力、灌溉水量与水质、农业化学品使用和土地利用5个指标进行试验性评价^[3]。但是运用指标法评估可持续发展水平主观性较大,选取指标的可信度和可行性仍值得商榷。与指标体系评价法相比,能量分析虽然较为客观,但是,现代的农业生态系统是一种包含各种人工、自然资本存量的复杂系统^[4],系统不仅包括各种自然输入,如太阳能、风能以及地球转动能等;还包括各种辅助人工能的输入来完成农业生产活动。这些能量由于性质不同不能相加,这对全面研究农业生态系统的能量流动带来了很大的障碍。能值分析不仅能够克服能量分析无法解决的不同能质的能量不可比较和加减的难题,而且把农业系统作为复合的生态经济系统来分析,重视研究系统的自然属性和经济特征及其相互关系,是

典型的系统分析。因此,运用能值分析法能够对农业生态系统的生态、经济各个方面的效益以及可持续发展水平进行更加系统和全面的分析。

基于能值理论的这一特点,Brown 和 Ulgiati 提出了能值可持续指标 *ESI*,将其定义为系统能值产出率与环境负载率之比^[5],来评价一个系统的可持续发展水平,之后,陆宏芳又提出了评价系统可持续发展能力的新能值指标(*EISD*),并将其应用于珠江三角洲基塘农业生态工程建设^[6]。在此基础上,国内外许多学者对农业生态系统的可持续发展水平进行了评价。La Rosa 等应用能值分析评估了西西里岛橙子生产的资源利用、生产力、环境影响和可持续性^[7];de Barros 等对瓜德罗普岛的六个不同的香蕉生产系统应用能值分析进行评估,并通过经济分析发现经济增长与环境质量呈现负相关^[8];Cavalett 等对巴西由谷物生产、养猪和养鱼构成的小型农业生态系统进行了能值分析并对能值指标进行了计算^[9];Zhang 等对内蒙古的种植和放牧农业进行了能值分析,并且在传统指标体系的基础上,提出了土壤成本、自支持强度和自支持导向几个新的指标来评价农业系统荒漠化和内部循环程度^[10];Jiang 等核算了中国 2004 年农业资源开发的现状并与 2000 年进行了比较,给出了较详细的能值计算方法^[11];陆宏芳等回顾讨论了农业生态系统能量分析研究的历史和进展并着重讨论了能值分析方法对传统能量分析方法的新发展^[12];陆宏芳等还提出能值投入产出平衡计算的算法和能值效益率(*EBR*)、能值本地影响率(*LCR*)等一系列生态经济评价指标并对顺德市农业生态经济系统进行了动态研究^[13];此外,白瑜等对广东省的农业生态系统进行了能值分析并与全球平均水平进行了比较^[14];王卓晗等应用能值研究方法对深圳市海上田同旅游区的芦花湖和农家小院两个观光农业系统进行了生态经济分析,从系统和子系统两个层面,进行了能值产出、环境负载、可持续发展能力的评价与比较^[15];在沼气工程建设方面,Zhou 等^[16]和 Wei 等^[17]还对沼气建设过程进行了能值分析。

综合前人研究可知,很多研究只是对农业生态系统中的一个子系统如种植系统进行能值分析,针对沼气工程的研究也只是对工程建设本身的各种资源进行能值分析。本文将种植-养殖-沼气-生态旅游作为一个整体从系统角度采用能值分析法对恭城县以沼气为纽带的农业生态系统 2009 年的可持续发展水平进行评价,以反映农业生态系统的结构、功能以及效率。本文第一部分介绍了恭城县以沼气为纽带的农业生态系统的组成结构及发展现状;第二部分对能值分析方法以及能值指标体系进行了介绍,并基于可得数据计算了系统的能值投入与产出。第三部分,根据第二部分建立的能值指标体系,对以沼气为纽带的农业生态系统的可持续发展水平进行评估,分析沼气建设对可持续发展水平的影响,最后给出了本研究的主要结论和建议。

1 研究区域介绍

恭城县位于广西东北部,桂林市东南面,东与富川瑶族自治县及湖南江永县交界,南与钟山、平乐毗邻,西接阳朔、灵川县,北临灌阳县。属喀斯特地形丘陵地区。境内年平均气温 19.7℃,≥10℃ 年活动积温 5718.6—6382.6℃;年均降雨量 1439.7 mm,年均日照时数 1653.7 h,雨热同步,干湿季节明显,四季分明,属中亚热带季风气候区,全年无霜期 319 d。全县国土总面积 214900hm²,耕地面积 18212 hm²,其中水田面积 11727.3 hm²、旱地面积 6484.7 hm²;林地面积 165200 hm²;养殖水面面积 880 hm²;农村土地流转 280 hm²。全县辖 3 镇 6 乡 117 个行政村,2009 年末全县农业人口 25.2616 万人。

恭城县沼气农业生态系统的结构如图 1 所示,不仅包括传统农业中的种植业和养殖业,还包括依托沼气农业生态系统发展起来的生态旅游。近年来,由于大力发展沼气建设,恭城县年节柴 22.62 万 t,相当于 12.92 万 t 标准煤,每年可保护 4.87 万 hm² 的森林免遭砍伐;沼气建设还从一定程度上促进了种植业的发展,由于沼液沼渣作为优质有机肥代替了传统的化肥使用,从而节省了农民开支,使农作物增产,并且对农田的土壤环境具有重要意义;通过沼气发酵后牲畜粪肥效提高,促进了水果的单产增加、品质改善、成本降低,目前,恭城县已形成“养殖-沼气-果园”的良性循环模式,截止到 2010 年全县水果种植面积已达 29200hm²,总产量达 68.4 万 t;通过创新建设管道沼气,恭城县积极探索养殖发展、沼气利用、环境保护“三赢”的模式,积极引导群众建设大型猪场,并配套建设大型沼气池,目前已有 9 个村走上了规模养殖、集中供气的路子,2010 年新扩建年出栏 500 头生猪养殖小区 32 个、年出栏 2 万羽肉鸡养殖小区 202 个;此外,依托大岭山、红岩等一批“富裕

生态家园”新村和“三庙一馆”古建筑,把生态田园风光与文化古迹、民俗风情结合起来,不断完善旅游基础设施,各“富裕生态家园”示范点发展独具特色的生态旅游,把资源优势转化为经济优势,增加了农民收入,促进农村第三产业的蓬勃发展。

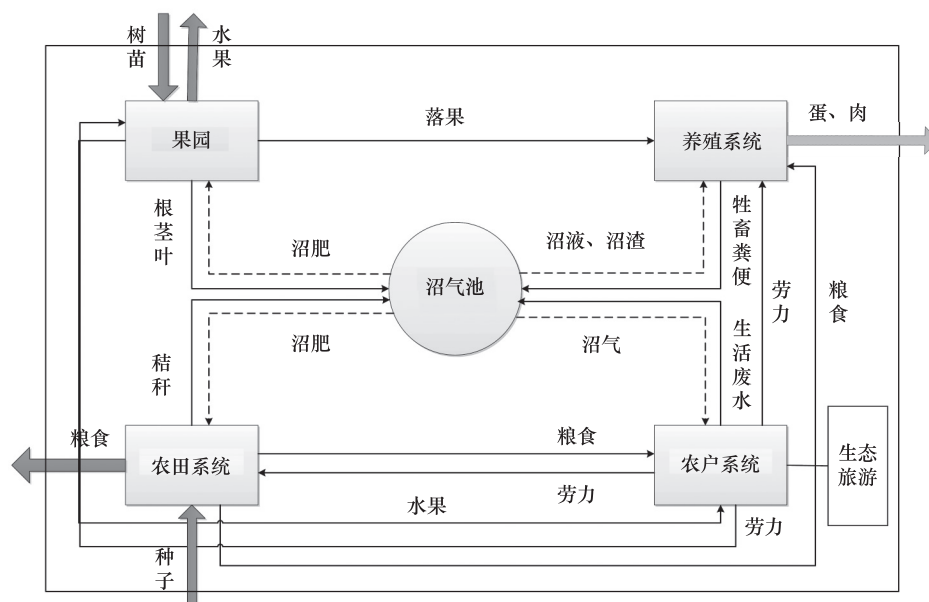


图1 恭城县农业生态系统结构图

Fig. 1 Structure of agriculture ecosystem in Gongcheng

2 农业生态系统可持续发展水平能值分析方法

2.1 沼气农业生态系统能值分析步骤

沼气农业生态系统能值分析的步骤主要有:(1)通过收集沼气农业生态系统的自然地理和社会经济资料以及实际调查,客观全面的整理和归纳沼气农业生态系统的能量流、物质流和信息流的相关资料;(2)分析所得资料,确定沼气农业生态系统边界、系统的主要能量来源,列出系统各组分的过程和相互关系,运用能量符号及生态系统图解方法绘制系统能值图解,系统各组分及能源由上到下、由左至右按能值转换率依次增高的顺序排列;(3)编制能值分析表。能值分析表应该至少包括项目名称、包含能量、太阳能值转换率、太阳能值几项;(4)对总系统和各子系统生态流进行集结和综合,依据研究需要,选择建立能值分析指标体系(如净能值产出率、环境负荷率、能值使用强度、可持续发展指数等),对沼气农业生态系统进行定量分析评价。

本文根据能值分析的步骤和要求,并结合恭城县农业生态系统的实际情况,采用恭城县2009年农业统计数据,构建了恭城县农业生态系统的能值图,如图2所示。恭城县农业生态系统是以沼气为纽带连接起来的种植-养殖-生态旅游一体化的发展模式,沼气作为连接枢纽将整个农业生态系统紧密的联系在一起。在该农业生态系统中,能值投入分为两类:一是直接来源于自然界的可更新环境资源(如太阳能、雨水势能、雨水化学能、地球循环能、和风能等)和不可更新环境资源(主要是指表土净损失),这类能值是从自然界无偿得到,称为无偿能值。二是来源于人类社会的人工辅助能值,包括不可更新工业辅助能值和可更新有机能值,前者如化肥、燃油、农药、农膜和农业机械、建筑材料等,后者如劳力、种子、有机肥等。

2.2 可持续发展能值分析指标

目前,用于能值分析指标众多,各个指标及其所代表的含义如表1所示。根据研究需要,本文重点分析了能值投资率、能值产出率、环境负荷率、能值密度、人均能值等指标来描述农业生态系统可持续发展现状与水平。

净能值产出率为系统产出能值与经济反馈能值之比。能值产出率是衡量系统产出对经济贡献大小的指

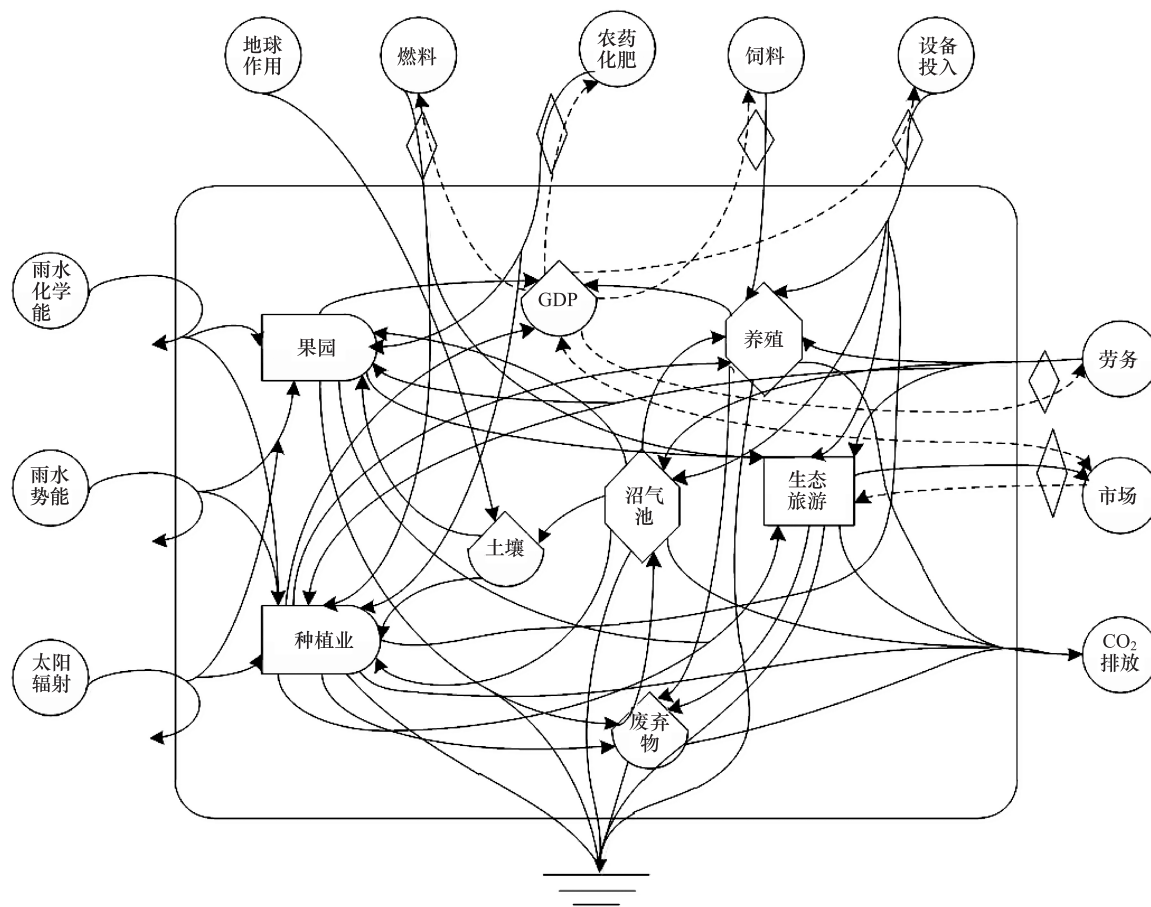


图2 农业生态系统能值图

Fig. 2 Emergy system diagram of biogas-linked agriculture ecosystem

标,即衡量系统生产效率的一种标准^[18]。对沼气农业生态系统而言,如果生产过程产出的能值远大于投入的能值,则该农业系统的净能值产出率高,表明系统具有较高的生产效率,通过较少的投入能向外界输出较大的能值量,经济效益相对较高。

环境负荷率主要用来反映系统循环过程对环境的影响大小。通过各种不可更新工业辅助能值和系统内消耗的不可更新的环境资源的能值相加的和与可更新的环境资源能值的比率来得到。在沼气农业生态系统中,环境负荷率的值越大,表明该系统所承受的环境压力也比较大。环境负荷率较大表示该系统的生态环境面临巨大的压力,并且可能造成不可逆转的功能退化等,若该值较小,则反映了该系统的生态环境是可持续发展的并且仍有开发潜力。

人均值使用量指能值总利用量与系统内人口总数之比,这一指标通常用来反映农民的生活质量,由于能值的计算将环境资源投入包含在内,与人均农民收入相比,将该指标与全国平均水平进行比较,更能反映出该地区的物质生活水平。

能值密度主要用来反映经济发展水平。一般来说,能值密度越大,经济发展水平越高,农业生态系统的能值密度往往低于城市生态系统。

能值可持续指标是系统能值产出率与环境负载率之比。如果沼气农业生态系统净能值产出率高而环境负荷率又相对较低,则它是可持续的,反之是不可持续的。

3 结果分析与讨论

根据图2 农业生态系统能值图,表2 建立的农业生态系统能值分析表,该表包含了整个农业生态系统的

各种投入和产出,并将这些组分量化为统一的能值单位,从而分析和评价系统的各种状态和行为。本文中能值的投入和产出均按照 Odum 在 2000 年修改的 15.83×10^{24} sej/yr 的基准进行折算。

表 1 沼气农业生态系统能值指标

Table 1 Emergy indices of biogas-linked agriculture ecosystem

能值指标 Emergy indices	表达式 Expression	能值指标 Emergy indices	表达式 Expression
可更新环境资源能值 Renewable resources from free environment	RR	可更新有机能值/总能值 Renewable subsidiary resources from economy/ Total emergy inputs	RP/U
不可更新环境资源能值 Nonrenewable resources from free environment	NR	工业辅助能值/购买能值 Nonrenewable purchases/ Purchased emergy	$NP/(NP+RP)$
工业辅助能值投入 Nonrenewable purchases	NP	有机能值/购买能值 Renewable subsidiary resources from economy/ Purchased emergy	$RP/(NP+RP)$
可更新有机能值 Renewable subsidiary resources from economy	RP	净能值产出率 Emergy yield ratio	$Y/(NP+RP)$
环境资源能值投入 Resources from free environment	$RR+NR$	能值投入率 Emergy investment ratio	$(NP+NR)/(RR+RP)$
购买能值总投入 Purchased emergy	$RP+NP$	能值自给率 Emergy self-sufficiency rate	$(RR+NR)/U$
总能值投入 Total emergy inputs	$U = RR+NR+ RP+ NP$	环境负荷力 Emergy load ratio	$ELR = (NP+NR)/(RR+RP)$
购买能值/总能值 Purchased emergy/ Total emergy inputs	$(RP+NP)/U$	人均能值 Emergy used per person	$U/Population$
不可更新环境资源能值/总能值 Nonrenewable resources from free environment/ Total emergy inputs	NR/U	能值密度 Emergy desity	$ED = U/Area$
工业辅助能值/总能值 Nonrenewable purchases/ Total emergy inputs	NP/U	可持续发展指标 Emergy sustainable index	$ESI = EYR/ELR$

表 2 恭城县农业生态系统能值投入产出表

Table 2 Emergy inputs and outputs analysis of agriculture ecosystem in Gongcheng

项目 Items	原始数据 Data	太阳能值转换率 Solar transformity	参考文献 References	太阳能值(sej) Solar emergy
可更新环境资源投入(RR) Renewable resources from free environment				
太阳能 Sunlight	9.07×10^{18} J	1.00sej/J	[19]	9.07×10^{18}
风能 Wind, kinetic energy	1.23×10^9 J	2.45×10^3 sej/J	[20]	0.00
雨水化学能 Evapotranspiration, chemical energy	1.53×10^{16} J	3.02×10^4 sej/J	[19]	4.62×10^{20}
雨水势能 Runoff, geopotencial energy	2.27×10^{16} J	1.76×10^4 sej/J	[20]	4.00×10^{20}
地球转动能. Earth cycle	2.15×10^{15} J	5.80×10^4 sej/J	[20]	1.25×10^{20}
小计 Subtotal				9.96×10^{20}
不可更新环境资源投入(NR) Nonrenewable resources from free environment				
表土净损失 Soil loss	1.42×10^{15} J	2.08×10^5 sej/J	[19]	2.96×10^{20}
不可更新工业辅助能投入(NP) Nonrenewable purchases				
氮肥 Nitrogenous fertilizer	2.56×10^{10} g	2.41×10^{10} sej/g	[21]	6.16×10^{20}
磷肥 Phosphate fertilizer	1.15×10^{10} g	2.20×10^{10} sej/g	[21]	2.53×10^{20}
钾肥 Potash fertilizer	9.03×10^9 g	1.74×10^9 sej/g	[21]	1.57×10^{19}
复合肥 Compound fertilizer	1.80×10^{10} g	2.80×10^9 sej/g	[18]	5.03×10^{19}

续表

项目 Items	原始数据 Data	太阳能值转换率 Solar transformity	参考文献 References	太阳能值 (sej) Solar emergy
农药 Pesticide	$7.35 \times 10^8 \text{ g}$	$1.48 \times 10^{10} \text{ sej/g}$	[21]	1.09×10^{19}
柴油 Diesel	$4.25 \times 10^{14} \text{ J}$	$1.11 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[19]	4.72×10^{19}
农用设备投入 Agricultural equipment input	$4.15 \times 10^9 \text{ g}$	$6.70 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[22]	2.78×10^{19}
农膜 Agricultural film	$5.88 \times 10^{10} \text{ g}$	$3.20 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[23]	1.88×10^{20}
农业用电 Agricultural electricity	$4.07 \times 10^{11} \text{ J}$	$2.69 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[19]	1.09×10^{17}
沼气建设沙石投入 Sands input of biogas pool construction	$1.46 \times 10^{10} \text{ g}$	$1.97 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[23]	2.88×10^{19}
沼气建设钢筋投入 Steel input of biogas pool construction	$3.18 \times 10^7 \text{ g}$	$4.13 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[17]	1.31×10^{17}
沼气建设塑料薄膜 Plastic film of biogas pool construction	$9.16 \times 10^4 \text{ g}$	$3.20 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[23]	2.93×10^{14}
沼气建设水泥投入 Cement input of biogas pool	$3.18 \times 10^9 \text{ g}$	$1.97 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[17]	6.26×10^{18}
养殖业用电 Breeding electricity	$4.56 \times 10^{10} \text{ J}$	$2.69 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[19]	1.22×10^{16}
养殖业建筑材料投入 Building materials of breeding	$1.92 \times 10^{10} \text{ g}$	$1.97 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[23]	3.78×10^{19}
饲料 Feed	$2.87 \times 10^9 \text{ g}$	$2.80 \times 10^9 \text{ sej/g}$	[18]	8.03×10^{18}
林业用电 Forestry electricity	$1.23 \times 10^{10} \text{ J}$	$2.69 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[19]	3.31×10^{15}
旅游业设备投入 Tourist equipment input	$3.80 \times 10^{13} \text{ \$}$	$3.80 \times 10^5 \text{ sej/ \$}$	[24]	1.45×10^{19}
小计 Subtotal				1.30×10^{21}
可更新有机能投入 (RP) Renewable subsidiary resources from economy				
养殖业劳力 Breeding labor	2.78×10^{12}	$3.80 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[18]	1.06×10^{18}
旅游业服务 Tourism services	3.17×10^{12}	$3.80 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[18]	1.21×10^{18}
沼气维护劳力 Biogas maintainance labor	1.47×10^{14}	$3.80 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[18]	5.58×10^{19}
林业劳力 Forestry labor	1.83×10^{12}	$3.80 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[18]	6.96×10^{17}
种植业劳力 Farm labor	$2.59 \times 10^{14} \text{ J}$	$3.80 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[18]	9.84×10^{19}
种子 Seeds	$1.01 \times 10^{14} \text{ g}$	$7.86 \times 10^4 \text{ sej/J}$	[25]	7.97×10^{18}
树苗 Sapling	$4.81 \times 10^6 \text{ J}$	$4.94 \times 10^{12} \text{ sej/ \$}$	[17]	2.38×10^{19}
有机肥 Organic fertilizer	$2.90 \times 10^{15} \text{ J}$	$2.70 \times 10^4 \text{ sej/J}$	[17]	7.84×10^{19}
小计 Subtotal				2.67×10^{20}
总投入 Total inputs (U)				2.86×10^{21}
产出 Yield				
大米 Rice	$6.94 \times 10^{14} \text{ J}$	$8.70 \times 10^4 \text{ sej/J}$	[26]	6.04×10^{19}
豆类 Beans	$5.20 \times 10^{13} \text{ J}$	$1.29 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[26]	6.69×10^{18}
玉米 Corn	$2.24 \times 10^{14} \text{ J}$	$1.01 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[26]	2.27×10^{19}
花生 Peanuts	$1.93 \times 10^{12} \text{ J}$	$1.30 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[26]	2.50×10^{17}
蔬菜 Vegetables	$1.38 \times 10^{14} \text{ J}$	$2.70 \times 10^4 \text{ sej/J}$	[18]	3.73×10^{18}
水果 Fruits	$1.51 \times 10^{15} \text{ J}$	$3.81 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[26]	5.76×10^{20}
猪肉 Pork	$3.64 \times 10^{13} \text{ J}$	$3.36 \times 10^6 \text{ sej/J}$	[27]	1.22×10^{20}
羊肉 Mutton	$7.51 \times 10^{10} \text{ J}$	$3.36 \times 10^6 \text{ sej/J}$	[27]	2.52×10^{17}
牛肉 Beef	$2.10 \times 10^{13} \text{ J}$	$6.72 \times 10^6 \text{ sej/J}$	[28]	1.41×10^{20}
禽蛋 Eggs	$2.29 \times 10^{13} \text{ J}$	$3.36 \times 10^6 \text{ sej/J}$	[28]	7.71×10^{19}
水产品 Fishery products	$2.56 \times 10^{11} \text{ J}$	$3.36 \times 10^6 \text{ sej/J}$	[19]	8.59×10^{17}
原木 Log	$5.36 \times 10^{14} \text{ J}$	$5.38 \times 10^4 \text{ sej/J}$	[19]	2.88×10^{19}
薪柴 Firewood	$4.24 \times 10^{14} \text{ J}$	$7.39 \times 10^4 \text{ sej/J}$	[19]	3.13×10^{19}
沼气 Biogas	$5.32 \times 10^{14} \text{ J}$	$2.48 \times 10^5 \text{ sej/J}$	[16]	1.32×10^{20}
旅游收入 Tourism incomes	$4.59 \times 10^7 \text{ \$}$	$5.87 \times 10^{12} \text{ sej/ \$}$	[29]	2.69×10^{20}
总产出 Total yield (Y)				1.47×10^{21}

从表 2 可知,恭城县农业生态系统能值总流量为 $2.86 \times 10^{21} \text{ sej}$,其中可更新环境资源,不可更新环境资

源,不可更新的工业辅助能值,可更新的有机能值分别占总能值流量的 34.8% ,10.3% ,45.5% ,9.33% ;不可更新的工业辅助能值投入最大,可更新的能值投入居次。恭城县农业系统的年度表土层肥力损失约占总能值投入的 10.3% 。这反映了恭城农业系统的产出对土壤的自然肥力仍有较大依赖,同时,工业辅助能值的投入对农业生态系统的产出也具有较大影响。这些辅助能投入主要包括电力、化肥和种植业、养殖业等的机械投入。尤其是各种化肥的投入,占到了整个能值投入的 32.6% ,农用化肥的大量使用会对农村环境产生巨大压力,然而,与传统农业生态系统相比,该系统有机肥(沼液、沼渣)的投入份额较大,达到 7.73% ,反映了沼气建设对传统化肥使用的替代作用。在未来的可持续发展进程中,如何减少化肥使用量,更加合理的利用沼液和沼渣对传统化肥进行替代将成为恭城县农业生态系统未来发展中亟待解决的问题。

由产出部分的数据可知恭城县农业生态系统的结构和比例,其中,种植业的比例为 45.45% ,养殖业为 23.22% ,林业生产为 4.09% ,旅游业比重为 18.29% 。种植业仍占很大的份额,在种植业系统中,水果的比重占 86% ,说明恭城县大力发展水果产业并已使其成为当地种植业的主导产业。目前,恭城县已形成“养殖-沼气-果园”的良性循环模式,提高了农民建沼气池、种水果的积极性。此外,与普通农业生态系统不同的是,恭城县生态旅游在整个农业生态系统中占有较大比重,体现了恭城县正冲破三位一体的发展模式,将产业链逐步延伸到生态旅游。

根据表 2 所示的能值分析结果,得到各个反映农业生态系统经济与环境状况的指标以及系统可持续发展水平(表 3)。

表 3 沼气农业生态系统主要可持续发展指标

Table 3 Energy sustainable development indices of agriculture ecosystem

指标名称 Items	表达式 Expressions	指标值 Values
人均能值用量 Energy per person	$U/\text{Population}$	$1.13 \times 10^{16} \text{ sej/人}$
能值密度 Energy density	U/Area	$1.33 \times 10^{12} \text{ sej/m}^2$
净能值产出率 Energy yield ratio	$Y/(NP+RP)$	9.37×10^{-1}
环境负荷率 Energy load ratio	$(NP+NR)/(RR+RP)$	1.27
可持续发展指标 Energy sustainable index	EYR/ELR	7.40×10^{-1}

人均能值用量和能值密度往往被用来反映人们的生活质量,在农业生态系统中,人均能值量越高,说明农民生活水平越高。从表 3 可以看出,2009 年恭城县以沼气为纽带的农业生态系统中农民的人均能值用量 $1.13 \times 10^{16} \text{ sej/人}$,远远高于 2000 年中国农业生态系统的人均能值 $8.31 \times 10^{15} \text{ sej/人}$ ^[30]①以及江西省 2005 年的 $1.28 \times 10^{15} \text{ sej/人}$ ^[31];反映了沼气建设大大提高了人们的物质生活水平,并且对促进农民增收具有重要意义。在恭城县多年来沼气建设的带动下,农民收入不断增加,到 2009 年全县实现农业总产值 19.41 亿元,农民人均纯收入 4630 元,该指标体现了沼气建设对农民生活水平的带动作用。

恭城县农业生态系统 2009 年的能值密度为 $1.33 \times 10^{12} \text{ sej/m}^2$,也远远高于中国农业生态系统 2000 年的平均能值密度 $8.99 \times 10^{11} \text{ sej/m}^2$ ^[30]和江西省 2005 年的 $2.44 \times 10^{11} \text{ sej/m}^2$ ^[31],说明该农业生态系统利用强度和集约化水平较高,这与恭城县农业生态系统的整体运行水平是相符合的,近年来恭城县农林牧渔业增加值从 2005 年的 9.47 亿元增加到 15.12 亿元,年均增长 6.4% ,处于全区领先水平,尤其是水果种植,截止到 2010 年全县水果种植面积已达 29200hm²,总产量达 68.4 万 t。

该沼气农业生态系统 2009 年的净能值产出率为 0.94,低于全国 2000 年的 2.08 ^[30]②、江苏省 2001 年的

① 由于该文献主要基于 2000 年之前的能值转化系数,而本文采用了 Odum 在 2000 年调整后的转化率,故人均能值用量需要乘以 1.68 进行折算后比较,以下能值密度同上。

② 净能值产出率、环境负荷率和可持续发展水平等指标都是各种类别的能值投入的比例关系,因此与全国农业生态系统平均能值进行比较时,不需要乘以折算系数。

4.17^[32]和广东省2003年的1.25^[14]。说明该沼气农业生态系统的净能值产出率还是处于相对低的水平,表明2009年恭城县沼气农业生态系统对农业辅助能的利用效率较低,处于落后水平,主要是由于该农业生态系统投入能值的技术含量不高且利用率较低,导致农产品的生产成本低,生产者获益小。

环境负载率是评估可持续发展水平的一个重要指标,反映了农业生产活动对农业生态系统的干扰程度,该指标与可持续发展水平成反比。恭城县农业生态系统的环境负载率为1.27,低于全国平均水平2.72^[30]。这说明恭城县的农业对环境的压力较小。由于沼气建设减少了化石燃料和秸秆的燃烧,并且通过沼液和沼渣替代减少了农药化肥的使用量,因此与传统的农业生态系统相比,以沼气为纽带的农业生态系统带来了巨大生态环境效益。

2009年恭城县沼气农业生态系统的系统的可持续指标为0.74,接近于中国农业生态系统2000年的0.77^[30]和广东省2003年的0.73^[14]。可持续发展水平的高低主要是由净能值产出率与环境负荷率决定的,尽管恭城县沼气农业生态系统环境负荷率较低,但是其能值产出率不高严重影响其可持续发展进程。进一步提高沼气生态系统的可持续发展水平需要通过加大科技投入力度和提高生产效率来提高净能值产出率。

4 结论与展望

通过以上分析可知,(1)恭城县工业辅助能,尤其是化肥在能值投入中占有较大份额,但其中有机肥料比重较大,说明通过沼气工程建设产生的沼液和沼渣对传统化肥进行替代,大大提高了有机肥料的使用比例,但是该农业生态系统化肥使用总量依然偏大;(2)种植业能值产出较高说明种植业尤其是水果种植业成为该农业系统的主导产业,生态旅游业所占比重也相对较大,农村服务业发展迅速;(3)恭城县人均能值和能值密度较高,说明沼气建设带动了农民生活水平的提高;(4)能值产出率低,反映了科技水平相对落后,生产率低;(5)通过环境负载率指标反映了由于沼气的替代作用,农业生产对环境的压力较小。

为了保持现有优势并着力解决农业生态系统存在的问题,恭城县未来的可持续发展中应以以下几个方面作为重点:(1)继续推进沼气工程建设,综合利用沼气、沼液和沼渣以实现最大的经济、环境和社会效益;(2)调整农业结构,在进一步保障水果安全高产的前提下加大其他产业的发展力度,加大生态旅游业发展力度,促进农民增收。(3)加快发展加工业,提高农产品附加值,增强农产品的市场竞争力;(4)政府应加大沼气池使用的开发及科技投入力度,提高科技水平,应用新技术、新品种、新方法等创新的措施和理念逐步调活农业产业发展的路子。

基于能值分析方法系统评价农业生态系统的运行过程,是研究农业生态问题的一个新方向。但是农业生态系统评价指标有待于进一步深化,从而进一步反映农业生态系统内部错综复杂的作用关系。

References:

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ministry of Agriculture, Natural Management and Fisheries of the Netherlands. The Den Bosch Declaration and Agenda for Action on Sustainable Agriculture and Rural Development. Report of the Conference. S-Hertogenbosch; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991.
- [2] Stevenson M, Lee H. Indicators of sustainability as a tool in agricultural development: partitioning scientific and participatory processes. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2001, 8(1): 57-65.
- [3] Herrick J E. Soil quality: an indicator of sustainable land management? Applied Soil Ecology, 2000, 15(1): 75-83.
- [4] Costanza R, Daly H E. Natural capital and sustainable development. Conservation Biology, 1992, 6(1): 37-46.
- [5] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. Ecological Engineering, 1997, 9(1/2): 51-69.
- [6] Lu H F, Lan S F, Li L, Peng S L. Studies on emergy indices for evaluating system sustainable development property. China Environmental Science, 2002, 22(4): 380-384.
- [7] La Rosa A D, Siracusa G, Cavallaro R. Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. Journal of Cleaner Production, 2008, 16(17): 1907-1914.
- [8] de Barros I, Blazy J M, Rodrigues G S, Tournébeize R, Cinna J P. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 129(4): 437-449.
- [9] Cavalett O, de Queiroz J F, Ortega E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South

- Brazil. *Ecological Modelling*, 2006, 193(3/4): 205-224.
- [10] Zhang L X, Yang Z F, Chen G Q. Emergy analysis of cropping-grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy Policy*, 2007, 35(7): 3843-3855.
- [11] Jiang M M, Chen B, Zhou J B, Tao F R, Li Z, Yang Z F, Chen G Q. Emergy account for biomass resource exploitation by agriculture in China. *Energy Policy*, 2007, 35(9): 4704-4719.
- [12] Lu H F, Lan S F, Chen F P, Peng S L. Advances in emergy analysis of agro-ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1): 159-162.
- [13] Lu H F, Chen L, Lin Y B, Chen F P, Peng S L. Emergy based ecological economic dynamics of Shunde agriculture system. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(12): 20-24.
- [14] Bai Y, Lu H F, He J H, Ren H. Based-on Emergy analysis for agricultural system of Guangdong province. *Ecology and Environment*, 2006, 15(1): 103-108.
- [15] Wang Z H, Lu H F, Chen G Z, Tan Y W, Luo J T. Emergy synthesis of two tourism agriculture systems on the beach of Shenzhen. *Ecology and Environment*, 2008, 17(6): 2458-2463.
- [16] Zhou S Y, Zhang B, Cai Z F. Emergy analysis of a farm biogas project in China: a biophysical perspective of agricultural ecological engineering. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2010, 15(5): 1408-1418.
- [17] Wei X M, Chen B, Qu Y H, Lin C, Chen G Q. Emergy analysis for 'Four in One' peach production system in Beijing. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(3): 946-958.
- [18] Lan S F, Qin P, Lu H F. *Emergy Analysis of Eco-economic System*. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [19] Odum H T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley, 1996.
- [20] Odum H T. Folio #2: Emergy of global processes. *Handbook of Emergy Evaluation*. Gainesville: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.
- [21] Brandt-Williams S L. Folio #4: Emergy of Florida agriculture. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*. Gainesville: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2002.
- [22] Brown M T, Arding J E. *Transformities working paper*. Gainesville: Center for Wetlands, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 1991.
- [23] Brown M T, Bardi E. Folio #3: Emergy of ecosystems. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*. Gainesville: Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 2001.
- [24] Guan J L. *Emergy Analysis for Eco-Agricultural Tourism of Gongcheng [D]*. Nanning: Guangxi University, 2008.
- [25] Cohen M J, Brown M T, Shepherd K D. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 114(2/4): 249-269.
- [26] Ulgiati S, Odum H T, Bastianoni S. Emergy analysis of Italian agricultural system. The role of energy quality and environmental inputs // Bonati L, Cosentino U, Lasagni M, Moro G, Pitea D, Schiraldi A, eds. *Trends in Ecological Physical Chemistry*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1993: 187-215.
- [27] Odum H T. *Systems Ecology: An Introduction*. New York: Wiley, 1983.
- [28] Odum H T. Self-organization, transformity, and information. *Science*, 1988, 242(4882): 1132-1139.
- [29] Yang Z F, Jiang M M, Chen B, Zhou J B, Chen G Q, Li S C. Solar emergy evaluation for Chinese economy. *Energy Policy*, 2010, 38(2): 875-886.
- [30] Chen G Q, Jiang M M, Chen B, Yang Z F, Lin C. Emergy analysis of Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 115(1/4): 161-173.
- [31] Wu W C, Xu S T. Emergy analysis of agricultural eco-economic systems in Jiangxi Province of China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(31): 15463-15465, 15478-15478.
- [32] Liu J Z, Li P P. Emergy analysis for agroecosystem of Jiangsu province. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2005, 21(1): 30-32.

参考文献:

- [6] 陆宏芳, 蓝盛芳, 李雷, 彭少麟. 评价系统可持续发展能力的能值指标. *中国环境科学*, 2002, 22(4): 380-384.
- [12] 陆宏芳, 蓝盛芳, 陈飞鹏, 彭少麟. 农业生态系统能量分析. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 159-162.
- [13] 陆宏芳, 陈烈, 林永标, 陈飞鹏, 彭少麟. 基于能值的顺德市农业系统生态经济动态. *农业工程学报*, 2005, 21(12): 20-24.
- [14] 白瑜, 陆宏芳, 何江华, 任海. 基于能值方法的广东省农业系统分析. *生态环境*, 2006, 15(1): 103-108.
- [15] 王卓晗, 陆宏芳, 陈桂珠, 谭耀文, 罗金棠. 深圳市滨海湿地两个观光农业系统的能值整合研究. *生态环境*, 2008, 17(6): 2458-2463.
- [18] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. *生态经济系统能值分析*. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [24] 关俊利. 恭城县生态农业旅游能值分析 [D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- [31] 吴伟程, 徐水太. 江西省农业生态经济系统能值分析. *安徽农业科学*, 2009, 37(31): 15463-15465, 15478-15478.
- [32] 刘继展, 李萍萍. 江苏农业生态系统能值分析. *农业系统科学与综合研究*, 2005, 21(1): 30-32.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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 32 卷 第 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

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:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元