

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 22 期 Vol.32 No.22 **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



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 22 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目 次

CO ₂ 浓度和温度升高对噬藻体 PP 增殖的联合作用	牛晓莹,程 凯,荣茜茜,等 (6917)
1956—2009 年内蒙古苏尼特左旗荒漠草原的降水格局	陈 军,王玉辉 (6925)
两个污水处理系统的能值与经济综合分析	李 敏,张小洪,李远伟,等 (6936)
退化草地阿尔泰针茅种群个体空间格局及关联性	赵成章,任 珩 (6946)
地表覆盖栽培对雷竹林凋落物养分及其化学计量特征的影响	刘亚迪,范少辉,蔡春菊,等 (6955)
福州酸雨区次生林中台湾相思与银合欢叶片的 12 种元素含量	郝兴华,洪 伟,吴承祯,等 (6964)
“雨花露”水蜜桃主要害虫与其捕食性天敌的关系	柯 磊,施晓丽,邹运鼎,等 (6972)
大兴安岭林区 10 小时时滞可燃物湿度的模拟	胡天宇,周广胜,贾丙瑞 (6984)
陕北风沙区不同植被覆盖下的土壤养分特征	李文斌,李新平 (6991)
南方型杨树人工林土壤呼吸及其组分分析	唐罗忠,葛晓敏,吴 麟,等 (7000)
黑河下游土壤水盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系	鱼腾飞,冯 起,刘 蔚,等 (7009)
树木胸径大小对树干液流变化格局的偏度和时滞效应	梅婷婷,赵 平,倪广艳,等 (7018)
外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响	于文清,刘万学,桂富荣,等 (7027)
基于 Landsat TM 的热带精细地物信息提取的模型与方法——以海南岛为例	王树东,张立福,陈小平,等 (7036)
雪被去除对川西高山冷杉林冬季土壤水解酶活性的影响	杨玉莲,吴福忠,杨万勤,等 (7045)
不同土壤水分处理对水稻光合特性及产量的影响	王唯逍,刘小军,田永超,等 (7053)
木蹄层孔菌不同居群间生长特性、木质素降解酶与 SRAP 标记遗传多样性	曹 宇,徐 晔,王秋玉 (7061)
加拿大一枝黄花入侵对土壤动物群落结构的影响	陈 雯,李 涛,郑荣泉,等 (7072)
间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响	张向前,黄国勤,卞新民,等 (7082)
接种 AM 真菌对玉米和油菜种间竞争及土壤无机磷组分的影响	张宇亭,朱 敏,钱岩相注,等 (7091)
大亚湾冬季不同粒级浮游生物的氮稳定同位素特征及其与生物量的关系	柯志新,黄良民,徐 军,等 (7102)
太湖水华期间有毒和无毒微囊藻种群丰度的动态变化	李大命,叶琳琳,于 洋,等 (7109)
锌胁迫对小球藻抗氧化酶和类金属硫蛋白的影响	杨 洪,黄志勇 (7117)
基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究	邱寿丰,朱 远 (7124)
能源活动 CO ₂ 排放不同核算方法比较和减排策略选择	杨喜爱,崔胜辉,林剑艺,等 (7135)
基于生境等价分析法的胶州湾围填海造地生态损害评估	李京梅,刘铁鹰 (7146)
县级生态资产价值评估——以河北丰宁县为例	王红岩,高志海,李增元,等 (7156)
专论与综述	
丛枝菌根提高宿主植物抗旱性分子机制研究进展	李 涛,杜 娟,郝志鹏,等 (7169)
城市土壤碳循环与碳固持研究综述	罗上华,毛齐正,马克明,等 (7177)
基于遥感的光合有效辐射吸收比率(FPAR)估算方法综述	董泰锋,蒙继华,吴炳方 (7190)
光衰减及其相关环境因子对沉水植物生长影响研究进展	吴明丽,李叙勇 (7202)
浮游动物化学计量学稳态性特征研究进展	苏 强 (7213)
研究简报	
2010 年两个航次獐子岛海域浮游纤毛虫丰度和生物量	于 莹,张武昌,张光涛,等 (7220)
基于熵值法的我国野生动物资源可持续发展研究	杨锡涛,周学红,张 伟 (7230)
残落物添加对农林复合系统土壤有机碳矿化和土壤微生物量的影响	王意锟,方升佐,田 野,等 (7239)
人工湿地不同季节与单元之间根际微生物多样性	陈永华,吴晓芙,张珍妮,等 (7247)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-11



封面图说: 水杉农田防护林中的小麦熟了——水杉曾广泛分布于北半球,第四纪冰期以后,水杉属的其他种类全部灭绝,水杉却在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存,成为旷世奇珍,野生的水杉是国家一级保护植物。由于水杉耐水,适应力强,生长极为迅速,其树干通直挺拔,高大秀颀,树冠呈圆锥形,姿态优美,自发现后被人们在中国南方广泛种植,不仅成为了湖边、道路两旁的绿化观赏植物,更成为了农田防护林的重要树种。此图中整齐划一的水杉防护林像忠实的哨兵一样,为苏北农村即将成熟的麦田站岗。

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

DOI: 10.5846/stxb201110171545

李敏, 张小洪, 李远伟, 肖 鸿, 漆 辉, 邓仕槐. 两个污水处理系统的能值与经济综合分析. 生态学报, 2012, 32(22): 6936-6945.

Li M, Zhang X H, Li Y W, Xiao H, Qi H, Deng S H. Emergy and economic evaluations of two sewage treatment systems. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22): 6936-6945.

两个污水处理系统的能值与经济综合分析

李 敏, 张小洪, 李远伟, 肖 鸿, 漆 辉, 邓仕槐*

(四川农业大学农业环境工程重点实验室, 成都 611130)

摘要: 运用改进的能值评价指标和经济指标对构建的两个污水处理综合系统(“污水处理厂处理+脱水污泥填埋”及“污水处理厂处理+脱水污泥填埋+中水回用”)进行了环境可持续性和经济竞争力的综合分析。改进的能值指标(能值产出率 SEYR、环境负载率 SELR、环境可持续发展指数 SESI 和能值受益率 SEBR)是在考虑研究对象废物及产物能值对环境影响的基础上提出的, 更好地反映了系统的特征。结果表明, 中水回用系统的增加有利于提升系统的环境可持续发展能力; “污水处理厂处理+脱水污泥填埋+中水回用”系统较“污水厂处理+脱水污泥填埋”系统的经济竞争力差, 但却拥有更强的可持续发展能力, 有利的经济政策能够刺激其更好的推广运用。

关键词: 污水处理; 能值分析; 经济评价; 可持续性

Emergy and economic evaluations of two sewage treatment systems

LI Min, ZHANG Xiaohong, LI Yuanwei, XIAO Hong, QI Hui, DENG Shihuai*

Provincial Key Laboratory of Agricultural Environmental Engineering, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

Abstract: The pressure arising from continuous increase in productivity on the ambient environment and the concomitant pollution threat call for integrated and more efficient environmental protection systems. Sewage treatment systems are technological means to handle the pollution resulting from the production activities, and environmental sustainability and economic viability are two important assessment parameters. Based on the traditional emergy analysis indicators (emergy yield ratio EYR, environmental loading ratio ELR, environmental sustainability index ESI and emergy benefit ratio EBR), the improved emergy indices (SEYR, SELR, SESI and SEBR, respectively) were proposed for assessing two integrated sewage treatment systems after considering effects of the waste and the product in this study. In addition, three economic evaluation indicators (the net income NI, the profitability ratio PR and economic investment ratio per unit sewage IR) were also exploited to evaluate and compare two constructed integrated sewage treatment systems (i. e., ‘sewage treatment plant + dewatered sludge landfilling’ and ‘sewage treatment plant + reclaimed water reuse + dewatered sludge landfilling’). Emergy evaluation and economic analysis are complementary approaches, with emergy evaluation focusing on the environmental support and effects of a production system while economic analysis method paying more attention to the market value of the products. Hence, a combination of them allows to gain a better understanding of overall performance of a sewage treatment ecosystem in terms of both environment and economy. The systems considered here were integrated with livestock sewage treatment systems, as the systems not only included the sewage treatment plant, but also were composed of treated water and dewatered sludge disposal options. This may give a whole picture of the ecological economic performance of the treatment of livestock sewage. The results showed that, system 2 (‘sewage treatment plant + reclaimed water reuse +

基金项目: 四川省教育厅重点项目(09ZA064, 09ZZ018); 国家自然科学基金项目(41101475)

收稿日期: 2011-10-17; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shdeng8888@163.com

dewatered sludge landfilling') has a much greater environmental sustainability index than system 1 ('sewage treatment plant+dewatered sludge landfilling') suggesting the former is much more sustainable, and that incorporation of a reclaimed water reuse system is a valuable way for promoting the sustainability of a sewage treatment system since the reuse system of reclaimed water not only produced new water resources from reclaimed water but also saved the cost for discharging treated water which is charged according to the relative regulations. System 2 is less competitive than system 1 as NI of system 1 is higher (2.4620×10^6 Yuan/a), PR and IR of system 1 are 1.38 and 0.72 times of system 2, respectively. System 2 is a more environmentally benign system, however, it's not competitive in terms of economy. Thus, economic policy supports should be made available for popularization of system 2 which may include charge for direct waste discharge of untreated or insufficiently treated sewage, and economic compensation for reclaimed water reuse.

Key Words: sewage treatment; emergy analysis; economic evaluation; sustainability

随着集约化工农业生产的不断推进,污水产量急剧增长,已经远远超出了环境的负载能力。污水的直接排放将会造成水体富营养化、溶解氧缺乏、水传染病、恶臭等一系列环境危害,为了尽量避免和减少水体污染,污水处理已经成为生产活动的必要环节。能值理论^[1]首创于20世纪80年代,其在衡量直接物质输入(能量、材料)的同时考虑了间接环境资源(信息、服务等)投入对系统的影响。统一的衡量尺度(太阳能值)让不同质、量的能量具有了可比性(即打破了“能量壁垒”)^[2]。能值分析理论被广泛地应用于评价国家或地区的不同规模的农业生态系统^[3-4]、工业生态系统^[5-6]及自然生态系统^[7]的研究中。Björklund^[8]、Siracusa^[9]和Vassallo^[10]等用能值评价方法探讨了不同工艺的污水处理系统对环境的影响,但他们只分析了单独的以污水处理工艺为核心的污水处理系统的环境影响,没有将污水处理过程中一般来说必不可少的处理水处理和污泥处理处置过程纳入系统中进行整体分析。张小洪^[11-13]等将污水处理、脱水污泥和处理水处理处置结合起来,构建了“污水处理生态系统”并运用能值方法对其系统的环境可持续性进行了探讨,但未探讨其经济学特性。对于“污水处理生态系统”而言,经济竞争力同样重要,经济竞争力的高低在很大程度上决定了该种处理方式的推广度高低。本文以四川农业大学污水处理厂为例结合处理水处理及脱水污泥处理系统构建了两个污水处理综合系统,结合能值和经济的理论方法对它们的环境可持续性与经济竞争力进行了分析,从不同的侧面综合探讨了不同污水处理系统的环境影响。

1 研究对象

四川农业大学污水处理厂主要对其教学科研园区内种植业区和养殖业区产生的畜禽废水进行处理达标排放,处理厂位于四川省雅安市雨城区,占地面积6000 m²,项目总投资约160万元,于2004年开始投入使用,日处理能力为300 m³,处理后污水达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准。

该污水处理系统采用了“厌氧+好氧+人工湿地+生物氧化塘”的处理模式,污水处理达标后直接排放至附近的濛江河,污泥则用于农业利用。为了综合考虑污水处理、处理后污水(即处理水)及脱水污泥对环境的影响,本文将它们整合起来构建了两个污水处理综合系统:系统1,畜禽废水经污水处理厂处理达标后直接排放,脱水污泥进行填埋处理;系统2,污水经污水处理厂处理后进入中水回用处理厂深度处理后回用,脱水污泥进行填埋处理。在这里之所以选择以填埋的方式进行污泥处理主要是基于两方面的考虑:首先,本例中的污泥为畜禽废水处理污泥,重金属和病原菌含量相对较高,容易引起病原体扩散和重金属污染^[14-15],污泥农用容易带来一系列的环境问题,其施用技术也不够成熟,还有待进一步改进;其次,污泥填埋作为主要的污泥处置方式之一普遍地应用于脱水污泥的处理处置中,具有代表性。

2 研究方法

2.1 能值分析

能值是指在产生某种产品或服务过程中直接或间接需要的另一种能量的总和^[1],它体现了产品(服务)在生产过程中所耗电量的历史积累。太阳能值常被用作能值计量的统一单位,用 sej 表示。产生单位产品

(服务)所需要的太阳能值称为该产品(服务)的太阳能值转换率^[16],它体现了能量的能质等级^[17],某一特定产品的太阳能值可以通过其数量乘以相应的太阳能值转换率得到。能值理论能够将同一或不同系统的能量流、物质流、信息流统一到太阳能值的基础上,比较分析其环境影响及发展可持续性。

2.1.1 能值评价指标

本文将处理水处理系统(即中水回用系统)以及脱水污泥处理系统作为子系统纳入污水处理综合系统中,有别于传统的污水处理厂系统。为了使能值评价指标能更好地反映系统特征,文章在传统能值考虑因素的基础上融入了废物和系统产品(处理水、中水)的环境影响,对传统能值指标进行了相应的改进。有关传统能值指标的描述可参见文献^[2,18],现将改进后的能值指标描述如下:

(1)能值产出率 SEYR:能值产出率是指系统的产出能值和购买能值的比值,反映了单位辅助能值投入的产出能值量,用于评价系统的能值产出效率以及系统对当地自然资源的利用效率。文中的污水处理综合系统中,污水作为废物能值输入系统,对系统产生影响;系统的主要产出物有两种:一是处理水,当它不经中水处理系统处理直接排入附近河流时,将导致环境负荷增加和排污费的缴纳,降低了系统的产出率,应给予考虑;二是处理后污水经中水处理后的回用水,这部分水进行回用后能产生一定的经济效益,增加了系统的产出率,该部分产品的能值也应纳入系统产出中。改进后的能值产出率 SEYR 表达式如下:

$$SEYR = (W + N + R + F_N + F_R + P_1 - P_2) / (F_R + F_N) \quad (1)$$

式中, W 表示废物(污水、污泥等)输入能值; N 表示本地不可更新自然资源输入能值; R 表示本地可更新自然资源输入能值; F_N 为购买的不可更新资源输入能值; F_R 为购买的可更新资源输入能值; P_1 为回用水产生的经济货币能值; P_2 为处理水直接外排所缴纳排污费相当的货币能值。

通过比较 SEYR 的大小能够反映不同系统间生产效率和市场竞争力的关系,SEYR 越大表明系统投入单位购买能值获得的能值产出量越大,系统的竞争力就越大,反之,SEYR 越小表示该系统的能值产出效率越低,系统的竞争力相对不足。

(2)环境负载率 SELR:环境负载率为不可更新资源输入能值与可更新资源输入能值的比值,描述了系统在自身的生产运行过程中对本地环境生态系统带来的影响,常用于评价系统对周围生态系统的环境压力。在污水处理综合系统中,当处理水直接排放时,会对接受处理水的河流带来一定的环境负荷。这部分被纳入了 SELR 中,改进后的 SELR 表示如下:

$$SELR = (N + F_N + E_T) / (R + F_R) \quad (2)$$

式中, E_T 为处理水的废物能值,用于表示其对周围环境的影响。SELR 表明了由于不可更新资源消耗和废物排放对环境带来的负面影响,SELR 越大表示系统对周围环境的压力越大,SELR 小表示系统在运行时对周围环境造成的压力较小,是对环境比较友好的生产方式,此时,当地有相对充足的时间和空间对环境影响进行稀释。

(3)环境可持续发展指数 SESI:环境可持续发展指数为能值产出率和环境负载率之比,它是一个复合指标,反映了在一定的环境负荷下系统的产出效率,综合评价了系统可持续发展的两个方面,可用于评价系统的可持续发展性能。SESI 的表达式如下:

$$SESI = SEYR / SELR \quad (3)$$

式中,SESI 的相对大小反映了系统可持续发展性的高低,SESI 大的系统的可持续发展能力高于 SESI 较小的系统。

(4)能值受益率 SEBR^[19]:SEBR 是在考虑周围环境能值变化情况下的系统能值产出率,较好地反映了单位辅助能投入下系统产生的环境能值变化对其生态经济效益的影响,其计算表达式为:

$$SEBR = (Y + \Delta Q) / (F_R + F_N) \quad (4)$$

式中, Y 为系统的能值产出; ΔQ 为由系统产生的环境能值的增加量,系统 1 中, ΔQ 为处理水直接排放导致的环境能值损失,用 E_T 表示,为负值,系统 2 中, ΔQ 为回用水的货币能值(即 P_1),是正值。SEBR 大的系统

的生态经济效益好于 SEBR 小的系统。

2.2 经济分析

与能值分析充分考虑了环境对系统的贡献不同,经济分析更侧重于从市场经济的角度反映系统的可行性。本文使用收益率 PR 、投资率 IR 及净收入 NI 3 个指标探讨了污水处理综合系统的经济学特征。

(1) 收益率 PR PR 是指系统的经济产出和投入的比值,反映了系统的经济产出效率和市场竞争力。

$$PR = (M_1 + M_2 - M_3) / M_F \quad (5)$$

式中, M_1 为系统回用水产生的经济收益; M_2 为污水不处理直接排放缴纳的排污费; M_3 为处理水不经中水回用系统排放应缴纳的排污费; M_F 为系统的经济投入。依据《排污费征收标准管理办法》^[20], 可得 M_2 、 M_3 的值分别为 2.53×10^6 元/a 和 1.22×10^4 元/a。 PR 的大小能够反映系统生产效率的高低, PR 大表明系统的经济产出率高, 市场竞争力强, 同理, PR 小则表示系统的生产效率较低, 市场竞争力不足。

(2) 投资率 IR IR 是指系统处理单位废水的货币投入, 体现了系统对经济投入的利用能力。

$$IR = M_F / Q \quad (6)$$

式中, Q 表示系统的污水处理量, m^3 。投资率低的系统对投入资金的要求较低, 但系统的运行可能需要更多其他方面(如环境服务)的支持。 IR 反映了系统处理单位废水的资金消耗, IR 大说明系统处理单位废水所需的资金投入就大, IR 小系统处理单位废水的资金投入就相对较小, 显然, 在不考虑处理水达标状况的情形下, IR 小的系统更具有市场竞争力。

(3) 净收入 NI 指系统的经济收益和投入的差值。

$$NI = M_1 + M_2 - M_3 - M_F \quad (7)$$

NI 的大小显示了系统总的收益情况, $NI > 0$ 表示系统的经济收入为正值, 系统有盈利; $NI < 0$ 表示系统的经济收入为负值, 系统处于亏损状态。 NI 大的系统更容易得到青睐。

2.3 方案介绍及数据来源

本文的研究涉及两个污水处理系统: 系统 1, “污水厂处理+脱水污泥填埋”。该系统的污水首先经污水处理厂处理, 处理水达标(《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 一级标准) 后直接排放至附近的滇江河, 污泥脱水后运入填埋场进行填埋处理。系统 2, “污水厂处理+脱水污泥填埋+中水回用”。该系统的污水首先经污水厂处理, 处理水进入中水回用处理厂处理后回用, 污泥脱水后运入填埋场填埋处理。污水处理厂的原始数据来自于实地的调查收集, 中水回用系统(即中水回用处理厂)、脱水污泥填埋及能值转换率数据通过资料收集获得, 来自相关的参考文献。

3 结果分析

3.1 能值分析

通过调查、测定、计算, 收集得到与系统相关的物质、能量、信息及货币流的资料。分类整理后, 参照 Odum^[1] 介绍的“能量系统语言”图例绘制出系统 1 和系统 2 的能值流系统图, 分别如图 1、图 2 所示。系统的能值流可以归为 5 大类: 废物流输入 W 、本地可更新资源输入 R 、本地不可更新资源输入 N 、购买的可更新资源输入 F_R 、购买的不可更新资源输入 F_N 。系统 2 因为加入了中水回用系统, 因此表达在能值流系统图中(图 2) 有比系统 1(图 1) 更多的物质输入(如聚合氯化铝、二氧化氯)。

表 1 和表 2 分别给出了系统 1 和系统 2 的能值分析表。其中需要指出的是, 在能值分析中, 雨水和风都被看作是太阳能的副产物, 为了避免重复计算, 只将它们三者的最大值计入能值输入总量中^[21]。

由表 1 和表 2 可知, 系统 1 的能值输入主要来自畜禽废水输入 W 和本地可更新资源输入 R , 分别占能值输入总量的 78.67% 和 17.63%; 其次为购买的可更新资源能值输入 F_R (2.03%)、购买的不可更新能值输入 F_N (1.67%) 及本地不可更新资源输入 N (0.01%)。系统 2 的输入能值也主要源于 W 和 R , 分别占总输入的 77.96% 和 18.04%, 其次为 F_R (2.12%)、 F_N (1.88%) 和 N (0.01%)。这体现出了本文两个污水处理系统依赖于废物能值以及本地更新能值, 同时辅以购买能值及本地不可更新能值的特点, 这与 Vassallo^[10] 和

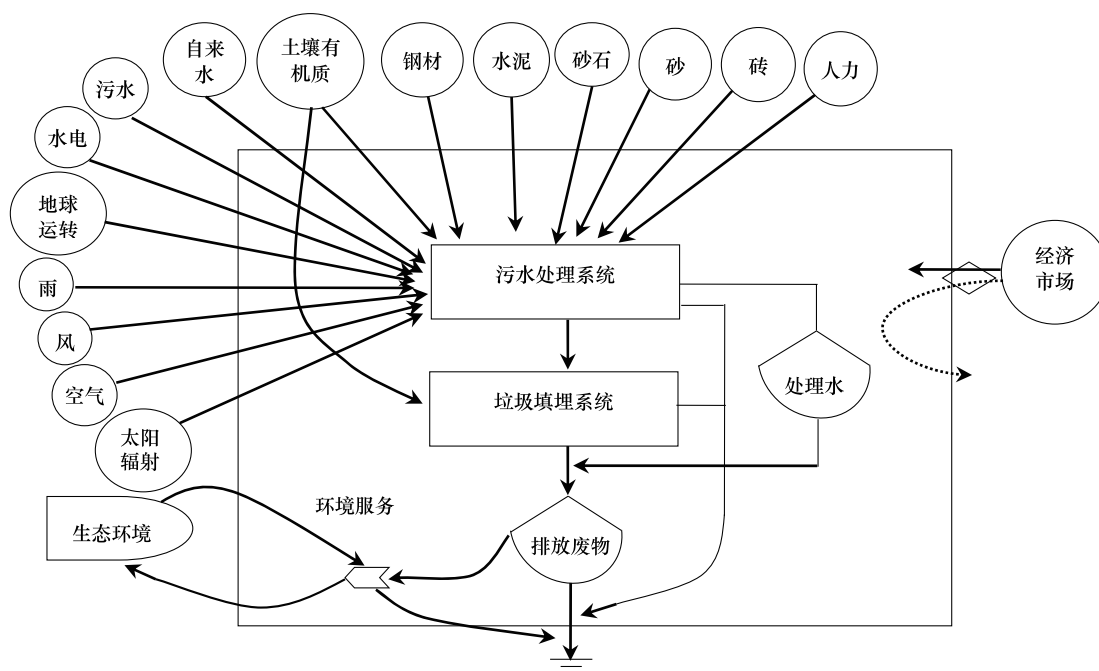


图1 系统1的能值流系统图

Fig. 1 Diagram of energy flows in system 1

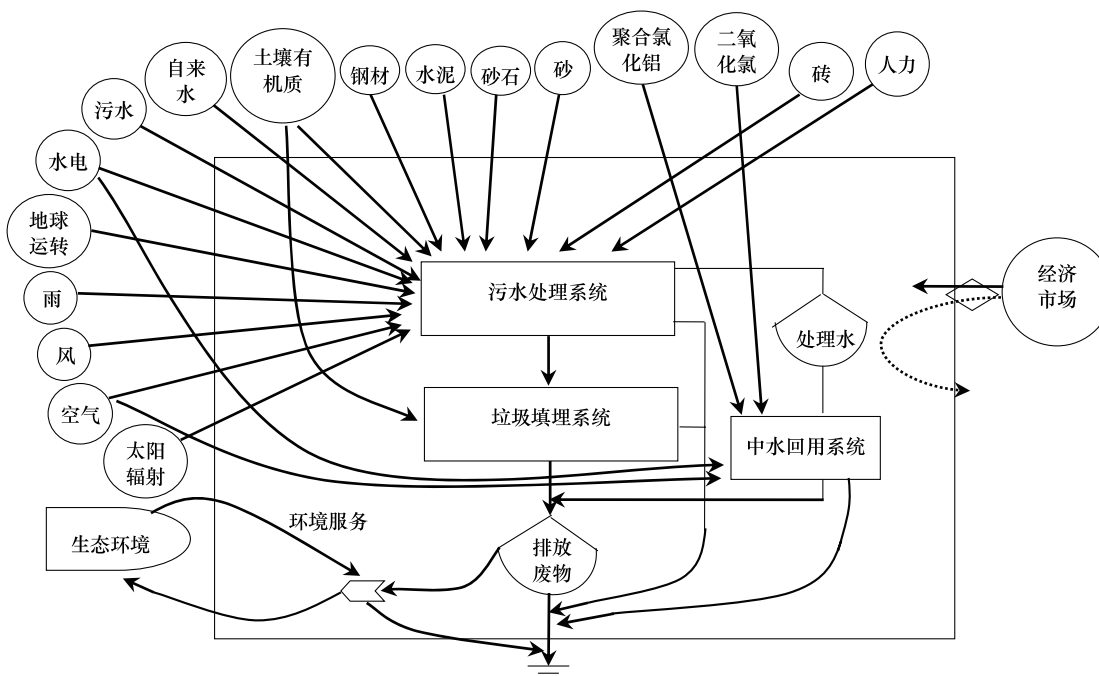


图2 系统2的能值流系统图

Fig. 2 Diagram of energy flows in system 2

Zhang^[28]等人的研究结果相一致。

根据系统1、2的能值分析表及公式(1)—(3)能够得到系统1和系统2的能值流(表3)及能值评价指标(表4)。系统1和2具有相同的废物输入能值和本地不可更新资源输入能值,系统2较系统1有更大的本地可更新资源能值输入及购买能值输入,这是由于系统2附加的中水回用系统产生的能值消耗所导致的,系统2的 R 、 F_N 和 F_R 分别为系统1的1.03、1.14和1.05倍。这表明中水回用系统的能值消耗体现在对本地可更

表 1 系统 1 的能值与经济分析表

Table 1 Energy and economic analysis table of system 1

项目名称 ^a Item ^a	原始数据 ^b Raw data ^b /(unit/a)	能值转换率 ^c Transformity ^c /(sej/unit)	太阳能值 Solar emergy /(sej/a)	百分比 Ratio	货币 Money /(元/a)	百分比 Ratio
输入 Input						
废物流(W) Waste(W)						
1 畜禽污水 Livestock sewage	$7.04 \times 10^{11} \text{ J}$	$6.12 \times 10^{6[22]}$	4.31×10^{18}	78.67%	0.00	0.00%
本地可更新资源(R) Local renewable resources (R)						
2 太阳辐射 Sunlight	$2.11 \times 10^{13} \text{ J}$	1.00	2.11×10^{13}			
3 空气 Air	$1.16 \times 10^{10} \text{ g}$	$8.31 \times 10^{7[5]}$	9.64×10^{17}	17.60%	0.00	0.00%
4 风 Wind	$5.27 \times 10^9 \text{ J}$	$2.35 \times 10^{3[23]}$	1.24×10^{13}			
5 雨水 Rain	$4.31 \times 10^{10} \text{ J}$	$2.93 \times 10^{4[23]}$	1.26×10^{15}	0.02%	0.00	0.00%
6 地球运转 Earth cycle	$1.14 \times 10^{10} \text{ J}$	$5.57 \times 10^{4[24]}$	6.35×10^{14}	0.01%	0.00	0.00%
小计 Subtotal			9.66×10^{17}	17.63%	0.00	0.00%
本地不可更新资源(N) Local nonrenewable resources(N)						
7 土壤有机质 Soil loss	$4.07 \times 10^9 \text{ J}$	$7.11 \times 10^{4[23]}$	2.89×10^{14}	0.01%	0.00	0.00%
购买的可更新资源(F_R) Purchased renewable resources (F_R)						
8 自来水 Water	$5.63 \times 10^6 \text{ g}$	$1.07 \times 10^{6[5]}$	6.02×10^{12}	0.0001%	7.88	0.01%
9 水电 Hydroelectricity	$2.67 \times 10^{10} \text{ J}$	$1.29 \times 10^{5[2]}$	3.44×10^{15}	0.06%	3.72×10^3	6.67%
10 人力 Human labor	$9.20 \times 10^9 \text{ J}$	$1.17 \times 10^{7[22]}$	1.08×10^{17}	1.97%	1.92×10^4	34.43%
小计 Subtotal			1.11×10^{17}	2.03%	2.29×10^4	41.12%
购买的不可更新资源(F_N) Purchased nonrenewable resources (F_N)						
11 钢材 Steel	$3.50 \times 10^6 \text{ g}$	$3.97 \times 10^{9[25]}$	1.39×10^{16}	0.25%	1.23×10^4	22.06%
12 水泥 Cement	$7.27 \times 10^6 \text{ g}$	$1.89 \times 10^{9[25]}$	1.37×10^{16}	0.25%	2.15×10^3	3.86%
13 砂石 Gravel	$3.18 \times 10^7 \text{ g}$	$9.60 \times 10^{8[25]}$	3.05×10^{16}	0.56%	1.62×10^3	2.91%
14 砂 Sand	$1.74 \times 10^7 \text{ g}$	$9.60 \times 10^{8[25]}$	1.67×10^{16}	0.30%	1.16×10^3	2.08%
15 砖 Bricks	$3.33 \times 10^6 \text{ g}$	$1.89 \times 10^{9[25]}$	6.29×10^{15}	0.11%	5.93×10^2	1.06%
16 投资 Investment	$1.82 \times 10^3 \text{ \d	$5.57 \times 10^{12[6]}$	1.01×10^{16}	0.18%	1.50×10^4	26.92%
小计 Subtotal			9.13×10^{16}	1.67%	3.28×10^4	58.88%
总输入 Total input			5.48×10^{18}		5.58×10^4	
输出 Output						
17 处理水 Treatment water	$6.93 \times 10^{11} \text{ J}^e$	$3.73 \times 10^{6[8]}$	2.58×10^{18}			

a:假定企业的生命周期为30a; b:填埋处理系统的数据源自文献^[26]; c:采用的能值基准为 $15.20 \times 10^{24} \text{ sej/a}^{[27]}$; d:基于2003年不变价,人民币和美元间的汇率为8.28元人民币/\$ (2003); e:据文献^[8],处理水所含能量 $=300 \times 365 \text{ m}^3 \times 1.00 \times 10^6 \text{ g/m}^3 \times 4.91 \text{ J/g} + 100 \text{ mg/L} \times 1.00 \times 10^{-3} \text{ g/mg} \times 3.4 \text{ kcal/g} \times 4186 \text{ J/kcal} \times (300 \times 365 \times 1000) \text{ L} = 6.93 \times 10^{11} \text{ J}$

表 2 系统 2 的能值与经济分析表

Table 2 Energy and economic analysis table of system 2

项目名称 ^a Item ^a	原始数据 ^b Raw data ^b /(unit/a)	能值转换率 ^c Transformity ^c /(sej/unit)	太阳能值 Solar emergy /(sej/a)	百分比 Ratio	货币 Money /(元/a)	百分比 Ratio
输入 Input						
废物流 Waste(W)						
1 畜禽污水 livestock sewage	$7.04 \times 10^{11} \text{ J}$	$6.12 \times 10^{6[22]}$	4.31×10^{18}	77.96%	0.00	0.00%
本地可更新资源 Local renewable resources (R)						
2 太阳辐射 Sunlight	$2.11 \times 10^{13} \text{ J}$	1.00	2.11×10^{13}			
3 空气 Air	$1.20 \times 10^{10} \text{ g}$	$8.31 \times 10^{7[5]}$	9.95×10^{17}	18.00%	0.00	0.00%
4 风 Wind	$5.27 \times 10^9 \text{ J}$	$2.35 \times 10^{3[23]}$	1.24×10^{13}			
5 雨水 Rain	$4.31 \times 10^{10} \text{ J}$	$2.93 \times 10^{4[23]}$	1.26×10^{15}	0.02%	0.00	0.00%

续表

项目名称 ^a Item ^a	原始数据 ^b Raw data ^b /(unit/a)	能值转换率 ^c Transformity ^c /(sej/unit)	太阳能值 Solar energy /(sej/a)	百分比 Ratio	货币 Money /(元/a)	百分比 Ratio
6 地球运转 Earth cycle	1.14×10 ¹⁰ J	5.57×10 ⁴ [24]	6.35×10 ¹⁴	0.01%	0.00	0.00%
小计 Subtotal			9.97×10 ¹⁷	18.04%	0.00	0.00%
本地不可更新资源 Local nonrenewable resources (<i>N</i>)						
7 土壤有机质 Soil loss	4.07×10 ⁹ J	7.11×10 ⁴ [23]	2.89×10 ¹⁴	0.01%	0.00	0.00%
购买的可更新资源 Purchased renewable resources (<i>F_R</i>)						
8 自来水 Water	5.63×10 ⁶ g	1.07×10 ⁶ [5]	6.02×10 ¹²	0.0001%	7.88	0.01%
9 水电 Hydroelectricity	7.28×10 ¹⁰ J	1.29×10 ⁵ [2]	9.39×10 ¹⁵	0.17%	1.01×10 ⁴	13.07%
10 人力 Human labor	9.20×10 ⁹ J	1.17×10 ⁷ [22]	1.08×10 ¹⁷	1.95%	1.92×10 ⁴	24.84%
小计 Subtotal			1.17×10 ¹⁷	2.12%	2.93×10 ⁴	37.91%
购买的不可更新资源 Purchased nonrenewable resources (<i>F_N</i>)						
11 钢材 Steel	3.50×10 ⁶ g	3.97×10 ⁹ [25]	1.39×10 ¹⁶	0.25%	1.23×10 ⁴	15.91%
12 水泥 Cement	7.27×10 ⁶ g	1.89×10 ⁹ [25]	1.37×10 ¹⁶	0.25%	2.15×10 ³	2.78%
13 砂石 Gravel	3.18×10 ⁷ g	9.60×10 ⁸ [25]	3.05×10 ¹⁶	0.55%	1.62×10 ³	2.10%
14 砂 Sand	1.74×10 ⁷ g	9.60×10 ⁸ [25]	1.67×10 ¹⁶	0.30%	1.16×10 ³	1.50%
15 砖 Bricks	3.33×10 ⁶ g	1.89×10 ⁹ [25]	6.29×10 ¹⁵	0.11%	5.93×10 ²	0.77%
16 投资 Investment	2.51×10 ³ \$ ^d	5.57×10 ¹² [6]	1.40×10 ¹⁶	0.25%	2.08×10 ⁴	26.86%
17 聚合氯化铝 Polyaluminium Chloride	1.64×10 ⁶ g	4.27×10 ⁹ [28]	7.00×10 ¹⁵	0.13%	3.28×10 ³	4.24%
18 二氧化氯 ClO ₂	3.83×10 ⁵ g	4.27×10 ⁹ [28]	1.64×10 ¹⁵	0.03%	6.13×10 ³	7.93%
小计 Subtotal			1.04×10 ¹⁷	1.88%	4.80×10 ⁴	62.09%
总输入 Total input			5.53×10 ¹⁸		7.73×10 ⁴	
输出 Output						
19 回用水 Reclaimed water	1.10×10 ¹¹ g				1.64×10 ⁴ ^e	

a:假定企业的生命周期为30年;b:填埋处理系统的数据源自文献^[26],中水回用系统的数据源自文献^[29];c:采用的能值基准为15.20×10²⁴sej/a^[27];d:基于2003年不变价,人民币和美元间的汇率为8.28元人民币/\$ (2003);e:回用水的价格按2004年雅安市收取的污水处理费价格(0.15元人民币/m³)计算

新资源以及购买资源的利用上,对当地的不可更新资源不具有依赖性,同时中水回用系统的加入没有导致能值利用总量的大幅增加。

表3 两个污水处理系统的能值流

Table 3 Summary energy flows for the two sewage ecosystems

项目名称 Item	<i>W</i> (sej/a)	<i>N</i> (sej/a)	<i>R</i> (sej/a)	<i>F_N</i> (sej/a)	<i>F_R</i> (sej/a)	总输入 total input (sej/a)
系统1 system 1	4.31×10 ¹⁸	2.89×10 ¹⁴	9.66×10 ¹⁷	9.13×10 ¹⁶	1.11×10 ¹⁷	5.48×10 ¹⁸
系统2 system 2	4.31×10 ¹⁸	2.89×10 ¹⁴	9.97×10 ¹⁷	1.04×10 ¹⁷	1.17×10 ¹⁷	5.53×10 ¹⁸

W:废物流 Waste,*N*:本地不可更新资源 Local nonrenewable resources,*R*:本地可更新资源 Local renewable resources,*F_N*:购买的不可更新资源 Purchased nonrenewable resources,*F_R*:购买的可更新资源 Purchased renewable resources

表4给出了两个系统的能值指标的数值,系统2的可持续发展指数远大于系统1,表明其具有更好的环境可持续性,是更具有可持续发展能力的处理系统。这是与实际情况相符合的,中水回用系统的增加使原来的“处理水”变成了可继续利用的“水资源”,在减少环境负荷的同时还增加了可用水资源的总量,对周围环境具有明显的益处。这反映在系统2环境负载率(SELR)的降低上,尽管系统2有中水回用增加的能值收入,但其能值产出率SEYR仍小于系统1,其原因在于系统2增加的中水回用水和减少的排污费的货币能值收入低于中水回用系统需要的能值投入。同时,系统2的能值收益率(SEBR)大于系统1表明其系统的生态经济效益好于系统1。

表 4 两个污水处理系统的能值评价指标

Table 4 Energy indices for the two sewage treatment systems

项目名称 Item	SEYR	SELR	SESI	SEBR
系统 1 system 1	27.02	2.49	10.87	14.29
系统 2 system 2	25.08	0.09	268.43	25.08

SEYR:能值产出率 Energy yield ratio of integrated sewage treatment systems, SELR:环境负载率 Environmental loading ratio of integrated sewage treatment systems, SESI:环境可持续发展指数 Environmental sustainability index of integrated sewage treatment systems, SEBR:能值受益率 Energy benefit ratio of integrated sewage treatment systems

3.2 经济分析

表 5 列出了系统 1 和 2 输入的货币流。系统的废物输入以及本地资源消耗都是“免费”的,不需要向环境支付费用,其货币流量为 0 元/a。系统的货币输入来自于购买资源的输入,其中不可更新资源需要的经济投入多于可更新资源,系统 1 和系统 2 的不可更新资源经济投入分别占总投入的 58.88% 和 62.09%。系统 2 在增加了中水回用系统后,相应的经济投入总量较系统 1 年均增加 2.15 万元,为系统 1 的 1.39 倍。假定按照处理设备 30a 的寿命计算,在一个生命周期内系统 2 将比系统 1 多支付 64.50 万元,显然,系统 2 的生存需要更强有力的经济支持来维持。

虽然系统 2 的总收益大于系统 1(系统 2 有回用水的经济收入),但就净收益而言(表 6),系统 1 仍略高于系统 2,为 2.4620×10^6 元/a,但两者差异不明显。系统 1 的收益率 PR 是系统 2 的 1.38 倍,投资率 IR 为系统 2 的 71.83%,这表明系统 1 处理单位污水的经济投入低,并且单位经济投入获得的经济利益高,因此从市场经济的角度看,系统 1 比系统 2 更具有竞争力。

表 5 两个污水处理系统的货币流

Table 5 Summary currency flows for the two sewage ecosystems

项目名称 Item	W/(元/a)	N/(元/a)	R/(元/a)	F_N /(元/a)	F_R /(元/a)	总输入 Total input/(元/a)
系统 1 system 1	0.00	0.00	0.00	3.28×10^4	2.29×10^4	5.58×10^4
系统 2 system 2	0.00	0.00	0.00	4.80×10^4	2.93×10^4	7.73×10^4

表 6 两个污水处理系统的经济评价指标

Table 6 Economic indicators for the two sewage treatment systems

项目名称 Item	PR	IR /(元/ m^3)	NI /(元/a)
系统 1 system 1	45.15	0.51	2.4620×10^6
系统 2 system 2	32.78	0.71	2.4569×10^6

PR :收益率 Profitability ratio, IR :投资率 Economic investment ratio per unit sewage, NI :净收入 Net income

4 讨论

(1) 污水处理厂的处理水在进行中水循环利用回用后(系统 2),系统的可持续性得到很大的提升。因此,废物的循环利用是提高系统可持续性的有效手段。

(2) 从环境效益的角度看,系统 2 比系统 1 具有更好的可持续发展性和生态经济效益,是更符合环境利益的污水处理模式。但从经济效益的角度看,系统 1 却较系统 2 拥有更强的市场竞争力,是更符合市场经济利益的污水处理模式。显然,为了更好的保护不断恶化的环境和日趋稀少的水资源,系统 2 更值得推崇,但系统 2 的经济竞争力相对较差也是不争的事实,因此系统 2 的实施发展需要更有利的经济政策的支持。

(3) 有必要指出的是,文中两个污水处理综合系统的经济净收益都是在排污企业按规定缴纳排污费的基础上得到的,在这种情况下它们是正值。但如果不严格按照排污收费标准缴费,两个系统的经济收益将明显下降:假设污水不经处理直接排放到河流而未缴纳排污费,系统 1 和系统 2 的净收益都将为负值,分别为 -6.80×10^4 元/a 和 -7.31×10^4 元/a。显然,此时要进行污水可持续性处理的难度必然很大,因此按照相关规定严格执法会对污水处理的可持续发展产生积极的影响。

(4)导致系统2的净收入低于系统1的原因是中水回用水系统创造的经济价值(中水回用收入)低于其系统的投入,中水可作为自来水的替代品用于城市景观、市政所需,但其价格却远低于自来水。因此补贴或提高中水回用水的价格有助于增加系统2的经济收益,增强系统2的经济生存能力。

5 结论

本文在考虑废物和产物能值的基础上改进了传统的能值评价指标,对构建的两个污水处理综合系统进行了能值评价,同时引入经济指标对其进行了经济分析。通过对两个系统的综合分析表明,“处理厂系统+垃圾填埋系统+中水回用系统”的处理模式虽然比“处理厂系统+垃圾填埋系统”处理模式的市场经济竞争力差,但却具有更好的环境可持续发展能力和生态经济效益,有利的经济政策能让其得到更大范围的推广。

References:

- [1] Odum H T. Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making. New York: John Wiley and Sons, 1996.
- [2] Lan S F, Qin P, Lu H F. Emergy Analysis of Ecological Economic System. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [3] Castellini C, Bastianoni S, Granai C, Dal Bosco A, Brunetti M. Sustainability of poultry production using the emergy approach: comparison of conventional and organic rearing systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 114(2/4):343-350.
- [4] 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.
- [5] Wang L M, Ni W D, Li Z. Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP). Resources, Conservation and Recycling, 2006, 48(1):56-70.
- [6] Zhang X H, Jiang W J, Deng S H, Peng K. Emergy evaluation of the sustainability of Chinese steel production during 1998—2004. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(11):1030-1038.
- [7] Zuo P, Wan S W, Qin P, Du J J, Wang H. A comparison of the sustainability of original and constructed wetlands in Yancheng Biosphere Reserve, China: implications from emergy evaluation. Environmental Science and Policy, 2004, 7(4):329-343.
- [8] Björklund J, Geber U, Rydberg T. Emergy analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity by digestion of sewage sludge. Resources, Conservation and Recycling, 2001, 31(4):293-316.
- [9] Siracusa G, La Rosa A D. Design of a constructed wetland for wastewater treatment in a Sicilian town and environmental evaluation using the emergy analysis. Ecological Modelling, 2006, 197(3/4):490-497.
- [10] Vassallo P, Paoli C, Fabiano M. Emergy required for the complete treatment of municipal wastewater. Ecological Engineering, 2009, 35(5):687-694.
- [11] Zhang X H, Jiang W J. Sludge disposal methods' impacts on sewage treatment systems' sustainability. Ecology and Environment, 2008, 17(1):93-98.
- [12] Zhang X H, Jiang W J. The emergy analysis of municipal sewage treatment ecological systems. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5):2300-2308.
- [13] Zhang X H, Jiang W J, Wu J, Zhang T H. Improved energy indices for analysing sewage treatment ecosystems. Resources Science, 2009, 31(2):250-256.
- [14] Niu Y, Chen J H. New development of residual sludge treatment techniques. Journal of China Textile University, 2000, 26(4):100-102, 106-106.
- [15] Huang Y X, Li J, Li G X. Analysis on current treatment and utilization of sludge in China. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(6):765-768.
- [16] 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.
- [17] Lu H F, Shen S R, Chen J, Lan S F. A synthesis evaluation method of economical-ecosystem: emergy theory and analysis method. Ecology and Environment, 2005, 14(1):121-126.
- [18] 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.
- [19] Lu H F, Kang W L, Campbell D E, Ren H, Tan Y W, Feng R X, Luo J T, Chen F P. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. Ecological Engineering, 2009, 35(12):1743-1757.
- [20] National Development and Reform Commission, Ministry of Finance People's Republic of China, General Administration of Environmental Protection of the People's Republic of China, State Economic and Trade Commission of the People's Republic of China. The sewage charges

management regulations. http://zfs.mep.gov.cn/gz/bmgz/qtgz/200302/t20030228_86250.htm [2012-2-7].

- [21] Pizzigallo A C I, Granai C, Borsa S. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86(2):396-406.
- [22] Zhou S Y, Zhang B, Cai Z F. Emergy analysis of a farm biogas project in China: a biophysical perspective of agricultural ecological engineering. *Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2010, 15(5):1408-1418.
- [23] Odum H T, Brown M T, Brandt-Williams S L. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio #1: Introduction and Global Budget*. Gainesville: Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 2000.
- [24] Odum H T. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio #2: Emergy of Global Processes*. Gainesville: Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 2000.
- [25] Zhou J B, Jiang M M, Chen B, Chen G Q. Emergy evaluations for constructed wetland and conventional wastewater treatments. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(4):1781-1789.
- [26] Zhang Y A, Gao D, Chen T B, Zheng G D, Li Y X. Economical evaluation of different techniques to treatment and dispose sewage sludge in Beijing. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2):234-238.
- [27] Brown M T, Ulgiati S. Updated evaluation of exergy and emergy driving the geobiosphere: a review and refinement of the emergy baseline. *Ecological Modelling*, 2010, 221(20):2501-2508.
- [28] Zhang X H, Deng S H, Wu J, Jiang W J. A sustainability analysis of a municipal sewage treatment ecosystem based on emergy. *Ecological Engineering*, 2010, 36(5):685-696.
- [29] Lü B, Pu G B, Yin H J, Sun B. Reclaimed wastewater reuse project of sewage treatment plant in Bishan county. *China Water and Wastewater*, 2010, 26(20):125-128.

参考文献:

- [2] 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.
- [11] 张小洪, 蒋文举. 污泥处置方式对污水处理系统可持续性的影响. *生态环境*, 2008, 17(1):93-98.
- [12] 张小洪, 蒋文举. 城市污水处理生态系统能值分析. *生态学报*, 2008, 28(5):2300-2308.
- [13] 张小洪, 蒋文举, 伍钧, 张天洪. 改进的能值指标用于分析污水处理生态系统. *资源科学*, 2009, 31(2):250-256.
- [14] 牛樱, 陈季华. 污泥处理技术进展. *中国纺织大学学报*, 2000, 26(4):100-102, 106-106.
- [15] 黄雅曦, 李季, 李国学. 污泥处理与资源化利用现状分析. *农业环境科学学报*, 2003, 22(6):765-768.
- [17] 陆宏芳, 沈善瑞, 陈洁, 蓝盛芳. 生态经济系统的一种整合评价方法: 能值理论与分析方法. *生态环境*, 2005, 14(1):121-126.
- [20] 中华人民共和国国家发展计划委员会, 中华人民共和国财政部, 中华人民共和国国家环境保护总局, 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 排污费征收标准管理办法. http://zfs.mep.gov.cn/gz/bmgz/qtgz/200302/t20030228_86250.htm [2012-2-7].
- [26] 张义安, 高定, 陈同斌, 郑国砥, 李艳霞. 城市污泥不同处理处置方式的成本和效益分析——以北京市为例. *生态环境*, 2006, 15(2):234-238.
- [29] 吕波, 蒲贵兵, 尹洪军, 孙彬. 璧山县污水处理厂中水回用工程. *中国给水排水*, 2010, 26(20):125-128.

CONTENTS

The combined effects of elevated CO ₂ and elevated temperature on proliferation of cyanophage PP	NIU Xiaoying, CHENG Kai, RONG Qianqian, et al (6917)
Precipitation pattern of desert steppe in Inner Mongolia, Sunite Left Banner: 1956—2009	CHEN Jun, WANG Yuhui (6925)
Emergy and economic evaluations of two sewage treatment systems	LI Min, ZHANG Xiaohong, LI Yuanwei, et al (6936)
Individual spatial pattern and spatial association of <i>Stipa krylovii</i> population in Alpine Degraded Grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6946)
Litter characteristics of nutrient and stoichiometry for <i>Phyllostachys praecox</i> over soil-surface mulching	LIU Yadi, FAN Shaohui, CAI Chunju, et al (6955)
Characteristics of leaf element concentrations of twelve nutrients in <i>Acacia confusa</i> and <i>Leucaena glauca</i> in secondary forests of acid rain region in Fuzhou	HAO Xinghua, HONG Wei, WU Chengzhen, et al (6964)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in “Yuhualu” juicy peach orchard	KE Lei, SHI Xiaoli, ZOU Yunding, et al (6972)
Simulating 10-hour time-lag fuel moisture in Daxinganling	HU Tianyu, ZHOU Guangsheng, JIA Bingrui (6984)
Soil nutrient characteristics under different vegetations in the windy and sandy region of northern Shaanxi	LI Wenbin, LI Xinpeng (6991)
Partitioning of autotrophic and heterotrophic soil respiration in southern type poplar plantations	TANG Luozhong, GE Xiaomin, WU Lin, et al (7000)
Soil water and salinity in response to water deliveries and the relationship with plant growth at the lower reaches of Heihe River, Northwestern China	YU Tengfei, FENG Qi, LIU Wei, et al (7009)
Effect of stem diameter at breast height on skewness of sap flow pattern and time lag	MEI Tingting, ZHAO Ping, NI Guangyan, et al (7018)
Invasion of exotic <i>Ageratina adenophora</i> Sprengel. alters soil physical and chemical characteristics and arbuscular mycorrhizal fungus community	YU Wenqing, LIU Wanxue, GUI Furong, et al (7027)
Models and methods for information extraction of complex ground objects based on LandSat TM images of Hainan Island, China	WANG Shudong, ZHANG Lifu, CHEN Xiaoping, et al (7036)
Effects of snow pack removal on soil hydrolase enzyme activities in an alpine <i>Abies faxoniana</i> forest of western Sichuan	YANG Yulian, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (7045)
Effects of different soil water treatments on photosynthetic characteristics and grain yield in rice	WANG Weixiao, LIU Xiaojun, TIAN Yongchao, et al (7053)
Growth characteristics, lignin degradation enzyme and genetic diversity of <i>Fomes fomentarius</i> by SRAP marker among populations	CAO Yu, XU Ye, WANG Qiuyu (7061)
Effects of the invasion by <i>Solidago canadensis</i> L. on the community structure of soil animals	CHEN Wen, LI Tao, ZHENG Rongquan, et al (7072)
Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils	ZHANG Xiangqian, HUANG Guoqin, BIAN Xinmin, et al (7082)
Influence of mycorrhizal inoculation on competition between plant species and inorganic phosphate forms	ZHANG Yuting, ZHU Min, XIAN Yanxiangwa, et al (7091)
The stable nitrogen isotope of size-fractionated plankton and its relationship with biomass during winter in Daya Bay	KE Zhixin, HUNG Liangmin, XU Jun, et al (7102)
Dynamics of toxic and non-toxic <i>Microcystis</i> spp. during bloom in the large shallow hypereutrophic Lake Taihu	LI Daming, YE Linlin, YU Yang, et al (7109)
Activities of antioxidant enzymes and Zn-MT-like proteins induced in <i>Chlorella vulgaris</i> exposed to Zn ²⁺	YANG Hong, HUANG Zhiyong (7117)
Ecological footprint in Fujian based on calculation methodology for the national footprint accounts	QIU Shoufeng, ZHU Yuan (7124)
The comparison of CO ₂ emission accounting methods for energy use and mitigation strategy: a case study of China	YANG Xiai, CUI Shenghui, LIN Jianyi, et al (7135)
Ecological damage assessment of Jiaozhou Bay reclamation based on habitat equivalency analysis	LI Jingmei, LIU Tieying (7146)
The value assessment of county-level ecological assets: a case in Fengning County, Hebei Province	WANG Hongyan, GAO Zhihai, LI Zengyuan, et al (7156)
Review and Monograph	
Molecular basis for enhancement of plant drought tolerance by arbuscular mycorrhizal symbiosis: a mini-review	LI Tao, DU Juan, HAO Zhipeng, et al (7169)
A review of carbon cycling and sequestration in urban soils	LUO Shanghua, MAO Qizheng, MA Keming, et al (7177)
Overview on methods of deriving fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR) using remote sensing	DONG Taifeng, MENG Jihua, WU Bingfang (7190)
Research progress on influencing of light attenuation and the associated environmental factors on the growth of submersed aquatic vegetation	WU Mingli, LI Xuyong (7202)
The framework of stoichiometry homeostasis in zooplankton elemental composition	SU Qiang (7213)
Scientific Note	
Abundance and biomass of planktonic ciliates in the sea area around Zhangzi Island, Northern Yellow Sea in July and August 2010	YU Ying, ZHANG Wuchang, ZHANG Guangtao, et al (7220)
Research of wildlife resources sustainable development based on entropy method in China	YANG Xitao, ZHOU Xuehong, ZHANG Wei (7230)
Influence of residue composition and addition frequencies on carbon mineralization and microbial biomass in the soils of agroforestry systems	WANG Yikun, FANG Shengzuo, TIAN Ye, et al (7239)
Seasonal changes in microbial diversity in different cells of a wetland system constructed for municipal sewage treatment	CHEN Yonghua, WU Xiaofu, ZHANG Zhenni, et al (7247)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 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 32 卷 第 22 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 22 (November, 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