

基于生态服务功能价值的会仙岩溶湿地生态补偿研究

李 晖^{1,2,3,4}, 蒋忠诚^{1,2}, 尹 辉⁵, 王 月^{3,4}, 李建鸿⁶, 喻崎雯^{1,2}

(1. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 2. 国土资源部 岩溶生态系统与石漠化治理重点开放实验室, 广西 桂林 541004; 3. 广西师范大学 环境与资源学院, 广西 桂林 541004; 4. 珍稀濒危动植物生态与环境保护省部级共建教育部重点实验室, 广西 桂林 541004; 5. 惠州学院 旅游系, 广东 惠州 516007; 6. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘 要:借鉴条件调查法(CVM)中有关受偿意愿(WTA)和支付意愿(WTP)的基本原理及调查方法,调查了解会仙湿地周边居民的生态受偿意愿和桂林市市区居民对会仙湿地的生态支付意愿。运用市场价值法、影子价格法、替代花费法、条件价值法等方法对湿地生态系统的主要生态服务价值进行了核算。结果表明:(1) 会仙岩溶湿地生态服务价值为 512 484 929.2 元/年,平均 39 180 元/(hm² · a);(2) 适宜的生态补偿值为 16 144.5 元/(hm² · a)。(3) 适宜的生态补偿的方式应该为现金补偿、政策补偿和智力和技术补偿。

关键词:生态服务功能; 岩溶湿地; 生态补偿; 会仙

中图分类号:X32

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)01-0267-05

Study on Eco-compensation of Huixian Karst Wetland Based on Ecosystem Service Function Value

LI Hui^{1,2,3,4}, JIANG Zhong-cheng^{1,2}, YIN Hui⁵, WANG Yue^{3,4}, LI Jian-hong⁶, YU Qi-wen^{1,2}

(1. *Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi 541004, China*; 2. *Key Laboratory of Karst Ecosystem and Treatment of Rocky Desertification, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China*; 3. *School of Environment & Resources, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China*; 4. *Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, China, Guilin Guangxi 541004, China*; 5. *Tourism Department, Huizhou University, Huizhou, Guangdong 516007, China*; 6. *School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China*)

Abstract:Based on the basic principle and method of the willingness to pay (WTA) and willingness to pay (WTP) of condition survey, Huixian wetland surrounding residents willingness to accept and Guilin residents in urban areas of Huixian wetland ecological willingness payment have been investigated. Values of main ecological services of wetland ecosystem are calculated by using the market value method, the shadow price method, replacement cost method and contingent value method. The results show that: (1) annual karst wetland ecosystem service value is 512 484 929.2 yuan with an average of 39 180 yuan/(hm² · a); (2) based on the relation of ecological compensation and social development level, the most suitable value is 14 144.5 yuan/(hm² · a); (3) the most appropriate ecological compensation way should be cash compensation, policy compensation and intellectual and technical compensation.

Key words:ecological service function; karst wetland; ecological compensation; Huixian

近年来,我国湿地科学研究得到了较快发展,尤其是 2003 年以来,在湿地与全球环境变化、湿地遥感、地理信息系统与湿地景观生态制图等领域的研究

已处在学科国际前沿^[1-2]。随着湿地生态环境问题的日益突出,湿地的生态功能日益受到人们的重视,我国学者也逐渐展开围绕湿地的生态补偿研究。会仙

收稿日期:2013-04-24

修回日期:2013-05-26

资助项目:国家自然科学基金项目(41261005);广西自然科学基金项目(2013GXNSFBA019222);桂林市科学研究与技术开发项目(20110120-6, 20120122-2, 20120125-1);广西师范大学教育发展基金会教师成长基金(JS2012009, JS2012012);中国地质科学院岩溶生态系统与石漠化治理重点开放实验室项目(KERDC201202);广西教育厅科研项目(201106LX070, 201203YB028, 2013YB040);岩溶地质研究所所控项目(121237128100212);广西人文社科发展研究中心“科学研究工程”课题(QNZD13011)

作者简介:李晖(1981—),男,河南南阳人,博士研究生,副教授,主要从事湿地生态恢复与石漠化治理等方面的研究。E-mail:lh1029@126.com

通信作者:王月(1980—),女,辽宁沈阳人,副教授,主要研究方向为湿地生态环境恢复与水土保持。E-mail:wangyue800312@163.com

岩溶湿地在全国乃至全球热带亚热带中低海拔岩溶区是独一无二的^[3]。然而,湿地目前的保护措施仍无法有效抑制会仙岩溶湿地生态系统退化的趋势。同时,由于当地居民缺乏对会仙湿地的保护意识和迫于生计破坏湿地的行为,如围垦、乱扔生活垃圾、捕捞等使得近年来会仙湿地生态环境不断恶化,湿地面积日益减少,珍贵的濒危动植物资源不断减少^[4]。作为环境保护的重要手段,生态补偿可以调整会仙湿地环境利益与经济利益的分配关系,确保经济与环境之间、区域之间、城乡之间的协调发展,因此明确生态补偿标准,建立高效合理可行的生态补偿机制已成为保护会仙湿地的迫切需要。

表 1 主要生态服务功能价值表现及其评估方法

服务功能	价值表现	具体表现	评估方法
供给功能	物质生产价值	供水、农产品、水产品	市场价值法
	污染防治净化价值	净化生活污水和工业污水	市场价值法
调节功能	调节气候的价值	植物通过光合作用,吸收二氧化碳,放出氧气	碳税法
	调蓄洪水功能价值	调蓄洪水、储备大量的水资源在干旱季节提供生产生活用水。	影子工程法
文化功能	休闲旅游价值	提供度假、休闲、观光、游览、康复、运动、娱乐	旅游成本法
	文化科研价值	湿地生态系统、多样的动植物群落、濒危物种等在科研中都有重要地位,它们为教育和科学研究提供了对象、材料和试验基地	旅行费用法
支持功能	生物栖息地功能价值	湿地生态系统复杂,生境物种丰富度高,适于各类生物栖息	生态价值法

2 会仙湿地生态服务价值评估

2.1 供给功能(物质生产)价值评估

由于会仙镇没有相关的统计资料,因此本文在计算会仙湿地物质生产价值时借用谢高地等人得出的中国陆地湿地生态系统物资生产价值功能的单位面积价值为 266 元/(hm²·a)^[6]。同时依据蔡德所等^[7]对会仙的遥感观测所得的会仙湿地有物资生产能力的湿地包括岩溶湿地、人工湿地和水工用的、耕地、林地共计 10 362.71 hm²。因此,计算得到会仙湿地物质生产价值为 2 756 480.9 元。

表 2 中国陆地湿地生态系统单位面积生态服务价值 元/(hm²·a)

功能	气体调节	气候调节	水源涵养	废物处理	食物生产	原材料	休闲娱乐	土壤形成与保护	生物多样性保护
价值	1539	15351	13715	16087	266	62	4911	1513	2212

2.2.2 调节气候功能价值评估 湿地调节气候的价值采用碳税法。计算湿地的植被固定 CO₂ 的价值可以根据光合作用方程式 6CO₂+12H₂O=6(CH₂O)+6O₂+6H₂O,求出生产 1 g 干物质所需吸收 CO₂ 量。主要计算公式有:

年固定 CO₂ 量=年植物生产量×1.62。根据 CO₂ 分子式和原子量,C/CO₂=0.2729,则有:年固定纯 C 量=固定 CO₂ 量×0.2729

1 评估方法

随着人们对生态服务功能价值问题的认识和了解的不断深入,研究方法也在不断发展。湿地生态服务功能效益不同,其评估技术的方法也不一样,国际上目前尚未形成统一、规范、完善的湿地生态服务价值评估标准。某种湿地效益可用不同的评估方法,而同一评估方法也可能适用于多个湿地,对于湿地效益的选取,应选择效益最突出的类型,而对于评估方法的选取,应视其可行性和可操作性来进行^[5]。基于以上原则,桂林会仙岩溶湿地各种生态服务功能价值的评估方法见表 1。

2.2 调节功能价值评估

2.2.1 污染防治净化价值评估 湿地降解污染物、净化水源价值的估算通常用替代法,即根据污水处理厂净化主要污染物的总花费和湿地对主要污染物的去除率来估算湿地降解污染物的价值。本文在计算研究区降解污染物的功能时采用谢高地等人的研究成果(表 2)^[6],他得出中国陆地湿地生态系统废物处理功能的单位面积价值为 16 087 元/(hm²·a)。

其中具有污染防治净化功能的湿地有岩溶湿地、人工湿地与水工用地共 13 078 hm²。因而,研究区内湿地的净化价值为 210 385 786 元。

释放 O₂ 的量=植物生物量×1.2
湿地植物不同于陆生植物,为了准确地计算湿地中的生物量,根据掌握的数据,将会仙湿地生物量分为水域、耕地和林地三部分分别计算其生物量。

根据韦锋^[8]对会仙湿地的生物调查可知,会仙湿地的湿地生物共分为 4 个植被型和 33 个群系类型。会仙湿地的植物群落以挺水植物群落和沉水植物群落为主;多为单优群落,多样性水平不高。本文用韦

锋计算的 15 个样方数据中的总生物量的平均值 794.166 67 g/m² 作为会仙湿地水域的平均生物量。会仙湿地的水域包括岩溶湿地、人工湿地与水工用地共 15 34.31 hm²,则会仙湿地水体部分生物总量 12 184.979 t;会仙湿地耕地部分灌溉水田面积占 70%,水稻田平均生物量 9 941 666.7 g/hm²,因此水稻田生物量为 36 886 t;会仙湿地陆地生物为亚热带常绿阔叶林,平均生物量为 19.26 t/(hm²·a),林地面积为 4 333.7 hm²,因此会仙湿地的林地生物量为 83 467.1 t。

根据目前国际上通用的碳税率标准和我国的实际情况,我国造林成本为 250 元/t^[9]。为了便于与国际标准进行比较,本文采用碳税率法和造林成本法的平均值(称为碳—林法价格),取值为 638 元/t(美元基准价为 683.340);释放 O₂ 的价值采用影子工程法进行估算,按照工业制氧现价 400 元/t 核算,吸收 CO₂ 的价值为 37 383 494.94 元,释放 O₂ 的价值为 6 361.83 万元,则调节气候的价值为上述二者的和,即 10 100.17 万元。

2.2.3 涵养水源功能价值评估 湿地土壤特有的生态结构能够吸纳大量降水渗漏,涵养保留过境的江河水,维持广大区域水资源总量的稳定与平衡,调蓄洪水等。会仙湿地涵养水源价值计算采用的方法是影子工程法,计算公式如下:

$$V_2 = D \times S \times p_i \tag{1}$$

式中:V₂——涵养水源的价值量;D——湿地多年平均水深度;S——湿地面积;p_i——修建 1 m³ 水库库容的平均价格。

根据 2006 年 11 月—2007 年 11 月期间对会仙湿地的观测结果,会仙湿地水位变幅较大,其中地表水变幅为 1.2~3.20 m,地下水位变幅为 0.76~2.20 m。受水位波动影响,湿地内水域分布年内差别较大,水源补给以雨水补给为主,枯水期以地下水补给为主。会仙湿地平均水深为 2.2 m,会仙湿地水域面积约 2 721.01 hm²,根据储存这么多洪水需要的库容量所需要的工程造价来求得调蓄洪水的价值,国内目前建设 1 m³ 库容投入成本为 0.67 元/m³^[10]。因此,计算求得会仙湿地调蓄洪水的价值为 40 107 687.4 元。

2.3 文化功能价值评估

2.3.1 休闲旅游价值评估 由于会仙湿地尚未开发成规范的旅游场所,因此本文使用支付意愿法来计算休闲旅游价值,即湿地的休闲旅行价值等于人们对湿地旅行的支付意愿。本文将人们去湿地旅行的意愿以问题形式纳入调查表中,通过问卷调查,将得出的结果进行统计分析。计算公式如下^[11]:

$$T = T_f + T_e + T_t + T_o \tag{2}$$

式中:T_f——旅游门票花费;T_e——旅途花费;T_t——旅游时间花费,运用机会工资成本代替,一般为实际工作工资 40%。根据问卷调查的结果,计算游客平均月收入,计算单位时间的工资和机会工资成本;T_o——其他花费(包括在旅游过程中的购物、食宿和摄影等花费)。

通过统计问卷得出桂林市市民去会仙湿地旅游平均花费为 89.12 元/次,再加上旅游时间花费:被调查者单位时间收入(56.86 元/d)的 40%与旅游时间(1.33 天)的乘积,得到个人人均旅游时间花费 22.7 元/a。因此,桂林市居民旅游成本约 111.82 元/a。与桂林市区总人口数 80 万人相乘,得到会仙湿地的旅游休闲总价值为 8 945.6 万元/a。

2.3.2 文化科研价值评估 湿地是开展科学研究和科普教育的理想场所。会仙岩溶湿地是桂林峰林岩溶长期演化、变迁的特定产物,蕴含着重要的岩溶环境变迁信息,有着重要的科研价值;同时也是良好的科普教育基地。虽然准确估算科研价值非常困难,但作为湿地的一项重要生态功能,其文化科研价值不可忽略。因此,选取我国单位面积湿地生态系统的平均科研价值和 Costanza 等人对全球湿地生态系统科研文化功能价值评估的平均值作为研究区的文化科研价值。根据陈仲新等^[12]对我国生态系统效益的价值的估算,我国湿地生态系统的科研文化价值为 382 元/hm²,Costanza 等人对全球湿地生态系统的文化科研价值为 861 美元/hm²。根据国内学者通常采用的方法,取二者的平均值得到 3 161.4 元/hm²。会仙岩溶湿地总面积为 13 078 hm²,因此会仙湿地文化科研价值为 41 344 789.2 元。

2.4 支持功能(生物栖息地功能)价值评估

生物栖息地功能是指生态系统为野生动物提供栖息、繁衍、迁徙、越冬场所的功能。研究区内湿地生物栖息地功能的估算,采用美国经济生态学家 Costanza 的研究成果,即全球湿地生态系统中单位面积上的湿地功能和自然资本价值来推算。Costanza 估算了每公顷湿地的避难所价值为 304 美元/a^[13],按 6.9 的人民币汇率算约 2 097.6 元/a。因此,研究区湿地的生物栖息地价值为 27 432 412.8 元。

3 结果与分析

3.1 会仙湿地生态服务价值评估结果

通过对上述七种主导服务功能价值的评估,得出会仙湿地总生态服务价值为 512 484 929.2 元/a,平均为 39 186.8 元/hm²,各功能价值比例见表 3。

按照价值量的大小,七种湿地生态服务功能价值依次为污染防治净化水体价值>调节气候价值>休闲旅游价值>文化科研价值>涵养水源价值>生物栖息地保护价值>物质生产价值。其中,污染防治净化水体价值、调节气候价值,休闲旅游价值三种生态服务功能价值处于主要地位,占总价值的 82.51%。根据湿地生态系统的特点和生态功能的价值特征,可为该地区生态补偿机制的建立提供有效的依据。

3.2 会仙湿地湿地服务价值与国内外研究成果的比较

会仙湿地服务价值与国内外研究成果的比较结果见表 4。

表 4 中,比较价值 1:由谢高地^[6]研究得到中国陆地湿地生态系统生态服务价值;比较价值 2:陈仲

新^[12]计算的全国生态系统该服务功能的单位价;比较价值 3:由 Costanza^[13]中湿地该生态服务单位价值转换得到的价值;比较价值 4:由王瑶^[14]计算的山东湿地服务单位价值。

表 3 会仙湿地生态服务功能价值

生态系统服务 类型	价值量/ (元·a ⁻¹)	比例/ %	平均价值/ (元·hm ⁻²)
物质生产价值	2756480.9	0.57	210.77
污染防治净化价值	210385786	43.31	16087
调节气候价值	101001772.9	20.79	7723.03
涵养水源价值	40107687.4	8.26	3066.81
休闲旅游价值	89456000	18.41	6840.19
文化科研价值	41344789.2	8.51	3161.4
生物栖息地保护价值	27432412.8	5.65	2097

表 4 会仙湿地服务价值与国内外研究成果比较

	栖息地	物资生产	污染防治净化	调节气候	涵养水源	休闲娱乐	总价值
比较价值 1/(元·hm ⁻²)	2212	266	16087	15351	13715	4911	—
比较价值 2/(亿元·a ⁻¹)	5.1	59.50	60.16	18.03	100.29	66.2	309.68
比较价值 3/(亿元·a ⁻¹)	304	256	4.177	4.539	3.8	574	1280
比较价值 4/(亿元·a ⁻¹)	98	385	5	3	6	353	750
会仙湿地价值/(亿元·a ⁻¹)	2.7	0.028	21.04	10.10	4.01	8.95	51.25
会仙平均价值/(元·hm ⁻²)	2097	210.77	16087	7723.03	3066.81	6840.19	—

通过比较可知,会仙湿地单位面积服务功能的价值大小排序与比较价值 1 几乎相同,与比较价值 2 相似,但在调节气候价值和涵养水源价值与比较价值 1、比较价值 2 差异较大,休闲娱乐价值高于比较值 1,造成这一差异的原因有:(1) 本文在计算会湿地调节气候价值和涵养水源价值时按湿地类型分类计算,且只计算相关有效面积(如涵养水源只计算水域面积);(2) 由于会仙湿地的水源并不十分丰富,因此在调节气候和涵养水源方面的功能相对其他湿地会弱一点;(3) 会仙湿地是特殊的岩溶湿地,其休闲旅游价值相对较高。

比较价值 3 代表的是国外的湿地生态服务价值。可以看出,会仙湿地生态服务功能总价值低于比较价值 3 所代表的西方水平,这与桂林的城市发展系数和人们对湿地的重视有很大关系,不同的经济背景和文化状态,使得湿地的生态功能价值不同。

3.3 基于生态服务功能价值的生态补偿标准

生态服务价值往往是度量生态补偿量的基础,但由于生态服务的价值量往往很大,目前还没有任何国家的生态补偿是完全用生态服务价值度量的。然而,如果用受偿意愿或支付意愿来度量也许会过低,所以有必要对生态补偿量标准的上限和下限进行进一步的界定。人们对生态价值的认识、重视的程度和为其进行支付的意愿,是随着经济社会发展水平和人民生活水平的不断提高而发展的。根据皮尔生长曲线及

恩格尔系数与发展阶段的关系可以比较准确地描述这种特征^[15],从而界定比较适合的补偿标准。以代表社会发展水平和人民生活水平(贫困、温饱、小康、富裕、极富)的人均国民系数(En)的倒数(1/En)为横坐标,并进行转换,令 $T=t+3$,以 l (皮尔系数中的发展阶段系数)为纵轴。皮尔生长曲线模型的数学表达式为:

$$l=1/(1+e^{-t}) \tag{3}$$

恩格尔系数与发展阶段的对应关系见表 5。结合表 5 与皮尔生长曲线,可以得到生态服务价值与社会发展水平关系(图 1)。

表 5 恩格尔系数与发展阶段的对应关系

发展阶段	贫穷	温饱	小康	富裕	极富裕
恩格尔系数/%	>60	60~50	50~30	30~20	<20
1/En	<1.67	1.67~2.0	2.00~3.30	3.30~5.00	>5.00

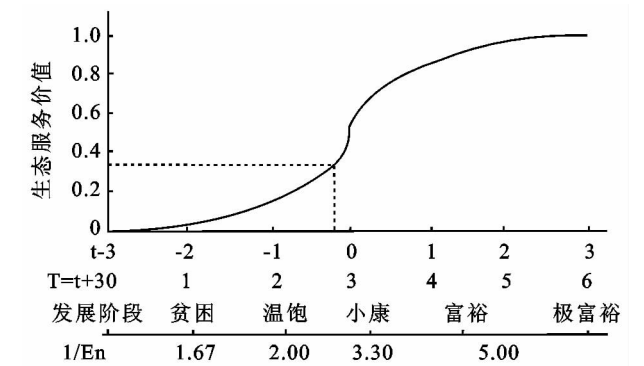


图 1 生态服务价值与社会发展水平关系

根据上述方法,采用桂林市 2009 年统计年鉴数据,桂林市的恩格尔系数为 $En=42.2\%$ 。根据公式(3),求出会仙湿地生态补偿标准系数为 0.347,在补偿下限 3 900 元/($hm^2 \cdot a$)的基础上加上下限和下限差额的 34.7%,因此补偿标准宜定为 16 144.5 元/($hm^2 \cdot a$)。

4 会仙湿地生态补偿方式研究

补偿方式是指补偿主体承担补偿责任的具体形式,从补偿运行模式来看,主要包括政府补偿和市场补偿两大类。根据我国的实际情况,政府补偿是目前开展生态补偿的重要方式,也是目前比较容易启动的补偿方式。政府补偿包括财政转移支付、专项基金、优惠政策、对综合利用和优化环境给予奖励等^[33]。本文认为会仙湿地生态补偿的方式主要应该为:现金补偿,政策补偿与智力和技术补偿。

4.1 现金补偿

通过问卷调查可知,现金补偿是比较受村民欢迎的补偿方式,有 54.5% 的被调查者把现金补偿作为第一补偿形式,因为现金的灵活性比较高,村民可以随意调配使用。而实物、技术、政策补偿等,因存在一定的不确定性,居民们对此有所顾虑。在现金补偿中涉及的重要问题是按何种方式实行现金补偿。现今我国学者提出的现金补偿形式主要有两种:按户发放现金和按耕地面积发放现金。本文认为按耕地面积发放现金比较合理,而且应该根据不同耕地类型制定不同的补偿标准。

4.2 政策补偿

政策补偿是除现金补偿外最受欢迎的补偿形式,选择政策补偿的占被调查者的 16.5%,而在选择优惠政策补偿的被调查中,超过半数的村民选择了提供更多的惠农政策以及拥有完善的社会保障制度;近 44% 的村民选择了稳定的就业机会,这与当地环境变化密切相关,由于保护区的建立,村民的农田水量逐年下降,耕地的收成也大幅减少,务农的收入已经不能为村民提供稳定的生活保障。

4.3 智力和技术补偿

智力和技术补偿是指补偿者开展技术和智力服务,提供无偿技术咨询和指导,培养(训)受补偿地区或群体的技术人才和管理人才,输送各类专业人才,提高受补偿者生产技能,技术含量和管理组织水平,补偿

主体通过开展技术和教育服务,作为一种补偿手段向受补偿地区或群体普及环保知识,宣传环保意识,使资源使用者和环境破坏者充分认识到自然环境的重要性。在调查中虽然选择智力和技术补偿的人不多,只占总数的 11.6%,但智力和技术补偿却是提高湿地周边居民收入、改善生活环境的有效途径,这一补偿方式是实用而长远的措施,它可以减短生态补偿的年限和减轻政府的财政支出。

参考文献:

- [1] 徐艳艳,徐艳东.国内外湿地研究进展和展望[J].河北渔业,2008(1):3-7,25.
- [2] 吕宪国.湿地生态系统保护与管理[M].北京:化学工业出版社,2004:1-2.
- [3] 李晖,蒋忠诚,马祖陆,等.桂林会仙岩溶湿地健康评价与补偿机制研究[J].中国水土保持,2013(1):61-64.
- [4] 吴应科,莫源富,邹胜章.桂林会仙岩溶湿地的生态问题及其保护对策[J].中国岩溶,2006,25(1):85-88.
- [5] 刘红梅,董双林,陆健健.湿地生态系统评估体系的方法学探讨[J].生态经济:经济版,2007(2):362-362.
- [6] 谢高地,肖玉,鲁春霞.生态系统服务研究:进展、局限和基本范式[J].植物生态学报,2006,30(2):191-199.
- [7] 蔡德所,马祖陆,赵湘桂,等.桂林会仙岩溶湿地近 40 年演变的遥感监测[J].广西师范大学学报:自然科学版,2009,27(2):111-117.
- [8] 韦峰.桂林会仙喀斯特湿地生物多样性及保护研究[D].广西桂林:广西师范大学,2010.
- [9] 辛琨.区域生态系统服务功能形成机制与评价方法研究[D].北京:中国科学院生态研究中心,2001.
- [10] 陈鹏.厦门湿地生态系统服务功能价值评估[J].湿地科学,2006,4(2):101-107.
- [11] 赵景柱,徐亚骏,肖寒,等.基于可持续发展综合国力的生态系统服务评价研究:13 个国家生态系统服务价值的测算[J].系统工程理论与实践,2003,23(1):121-127.
- [12] 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值[J].科学通报,2000,45(1):17-22.
- [13] 彭文甫,周介铭,罗怀良,等.城市土地利用变化对生态系统服务价值损益估算:以成都市为例[J].水土保持研究,2011,18(4):43-51.
- [14] 王瑶.山东湿地生态系统生态功能评估及其生态补偿研究[D].济南:山东大学,2008.
- [15] 倪才英,汪为青,曾珩,等.鄱阳湖退田还湖生态补偿研究(Ⅱ):鄱阳湖双退区湿地生态补偿标准评估[J].江西师范大学学报:自然科学版,2010,34(5):541-546.