

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

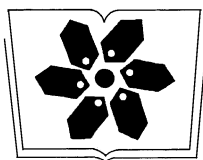
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **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 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因子.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊, 红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根, 红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面, 以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气, 故称呼吸根。在中国, 红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海, 它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带, 往往潮差越大, 红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201103100286

庞爱萍, 孙涛. 基于生态需水保障的农业生态补偿标准. 生态学报, 2012, 32(8): 2550-2560.

Pang A P, Sun T. A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2550-2560.

基于生态需水保障的农业生态补偿标准

庞爱萍, 孙 涛*

(北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 面向流域农业需水和生态需水间的矛盾问题和协调发展的要求, 提出了基于生态需水保障的农业生态补偿标准计算方法。其中考虑农业用水定额计算基于生态需水保障的农业用水短缺, 引入水分生产函数模型建立保障生态需水量产生的农业用水短缺与产量损失间的关系, 根据不同季节作物产量响应系数的变化, 定量确定具有时间和等级差异性的农业生态补偿标准。以保障黄河口生态需水引起的山东引黄灌区农业损失补偿标准分析为实例, 计算了冬小麦和夏玉米种植户不同等级的生态补偿标准。结论认为, 农业生态补偿标准需根据不同的来水过程及生态需水等级确定, 面积稳定和保障功能显著的粮食作物应作为补偿标准计算的依据。

关键词: 生态需水; 生态补偿标准; 农业用水; 黄河

A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation

PANG Aiping, SUN Tao*

State Key Laboratory of Water Environment Simulation School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Conflicting water requirements may exist between agricultural and natural ecosystems. In order to relieve conflicts, we have proposed a method of determining standards for ecological compensation by giving priority to environmental flows in water allocation. Agricultural water quota was considered in the calculation of agricultural water shortage. A water production function model was introduced to determine the relationship between agricultural water shortages and production losses. The ecological compensation standard for agricultural areas was determined by multiplying production losses by the unit crop price. Due to the seasonality of the runoff process and environmental flows, the ecological compensation standard showed annual and seasonal variation. We calculated the ecological compensation standard for summer corn and winter wheat irrigation stakeholders in the Shandong irrigation district, after ensuring environmental flows in the Yellow River Estuary. The amount of agricultural water usage was more than the water quota between June and September. This meant that securing a high level of environmental flow had no influence on summer corn production. However, water conflict during the growth stage of winter wheat caused a 1611.77 kg/hm² reduction in yield, accounting for 31.70% of maximum production. The calculated annual average economic compensation was 1826.92 Yuan/hm² for winter wheat irrigation stakeholders in the Shandong irrigation district of the Yellow River between 1998 and 2005.

The agricultural water shortage exhibited annual and seasonal variation due to the combined influences of environmental flow and runoff. In general, the higher the environmental flow, the more likely an agricultural water shortage. The level of the agricultural water shortage was $0 - 10 \times 10^8 \text{ m}^3$, $0 - 20 \times 10^8 \text{ m}^3$, and $20 - 70 \times 10^8 \text{ m}^3$, when minimum, medium,

基金项目: 国家自然科学基金项目(51079005, 50709003); 长江学者和创新团队发展计划(IRT0809)

收稿日期: 2011-03-10; **修订日期:** 2011-07-19

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

and maximum levels of environmental flow were ensured.

Economic compensation showed similarly obvious differences after ensuring a certain level of environmental flow. The scope of the economic compensation was 0—1600, 0—3100, and 1000—9000 Yuan/hm² when minimum, medium, and maximum environmental flows were ensured. Economic compensation also showed annual and seasonal variation due to the combined influences of environmental flow, runoff, and crop yield response factors. It is advisable to determine the environmental flow level after fully considering the amount of runoff.

Variation in the runoff process and environmental flow requirements should be taken into account when determining different levels of ecological compensation. The selection of typical crops will influence the calculation of economic compensation. We selected winter wheat and summer corn as examples, as these have the largest planting areas in the Shandong irrigation district. The water resource value was 1.16 Yuan/m³ after ensuring the maximum environmental flow; lower than in other domestic cases but higher than in foreign studies. Foreign studies have calculated economic compensation in a cost-minimizing fashion. The crop with the lowest unit of water value has been used as the starting point. However, this is not the only criterion for crop selection. Typical food crops, which have a stable planting area and significant water needs, are suitable for use in determining standards for ecological compensation in agricultural areas.

Key Words: Environmental flows; Ecological compensation standard; agricultural water use; The Yellow River

近些年来,社会经济持续发展进程中不合理的水资源利用对水生态系统健康造成的严重威胁逐步引起重视^[1]。与此同时随着人口的增长,人类将更加依赖于粮食生产和粮食安全,保障农业生产用水依然是流域水资源配置的重点^[2]。如何科学协调农业用水和生态用水之间的矛盾已成为流域水资源管理中面临的热点问题^[3]。社会经济与生态环境保护协调发展的目标要求下,单纯考虑经济发展目标或生态保护目标均可能造成资源分配不合理的问题。近些年来快速发展的生态补偿研究采用经济分析方法对不同类型资源分配模式的效应进行统一核算,成为协调环境保护与经济发展矛盾^[4-5]和解决流域水资源冲突的有效手段^[6-10]。王浩等^[11]针对我国水资源利用的矛盾问题,提出按现状用水固化农业水权,通过水权转让发展高效节水农业,使农民得到补偿的思路。生态补偿标准研究是进一步实践生态补偿中面临的关键问题和难点^[12-13],它直接关系到生态补偿的科学性、可行性和实施效果^[14]。目前国内外生态补偿标准研究多基于生态服务价值的评估进行,由于不同类型生态服务功能价值评估多属于非市场价值,使得生态补偿标准计算面临着生态服务功能重叠^[15]、核算标准不统一^[16]和补偿主客体难以有效确定等难题^[17],研究方法及其计算结果的广泛适用性受到限制。

近些年来,随着生态需水定量分析研究的快速发展^[18-19],结合经济分析手段协调生态用水和生产、生活用水的研究逐步引起重视^[20]。生态需水考虑维持生态系统健康所需要的水量,其具有等级性和时间差异性等特点。Qureshi 等^[21]在澳大利亚墨累流域(Murray Basin)水资源管理中,研究了保障生态用水产生的农业机会成本。Jones 等^[22]考虑到多因素共同的影响,通过构建随机动力过程模型分析了灌溉农业用水转移到生态用水产生的农业经济损失。Sisto 计算了保障莫斯科北部 Rio Conchos 流域下游 Chihuahua 沙漠生态需水造成的农业损失补偿标准^[23]。Malano 和 Davidson^[24]以印度 Krishna 流域和澳大利亚 Murray-Darling 流域为例,提出了农业用水和生态用水的权衡分析框架,其中采用残差法研究了农业用水短缺的经济损失量。在我国,用水矛盾的经济损益分析主要针对农业和工业等生产、生活用水部门之间展开,通过水权转让的方式协调生产、生活用水之间矛盾的应用较为广泛。郑垂勇等^[25]采用模糊综合评价法测算水资源价值,分析各产业用水比重的变化,测算被挤占的农业用水量,应用补偿额度测算模型对广州市农业水权补偿额度进行了测算。赵文举等^[26]运用信息经济学、微观经济学及产权经济学的观点分析了农业水资源短缺问题,提出了帕累托最优的激励方案,通过建立水权交易市场、建立灌区和农户相应的激励机制,解决农业水资源短缺问题。

本研究针对生态系统服务功能损失定量评估的难题,面向农业用水与生态用水协调发展的目标,考虑生

态需水过程等级差异性和时间差异性的特点,提出基于生态需水保障的农业生态补偿标准计算方法,以保障黄河口生态需水影响下山东引黄灌区农业损失为实例,特别结合来水过程差异、生态需水等级差异以及典型农作物选择对生态补偿标准的影响分析,提出不同等级的生态补偿标准,为有效缓解流域水资源利用矛盾和实现流域经济发展和生态保护协调发展提供支持。

1 基于生态需水保障的农业生态补偿标准计算方法

基于生态需水保障的农业生态补偿标准计算方法在保障下游不同等级生态需水过程要求的基础上,考虑国家农业用水定额,根据不同农作物用水短缺下的经济损失,计算具有不同时空差异特征的生态补偿标准。计算方法分为基于生态需水保障的农业用水短缺损失评估和生态补偿标准计算两部分。

1.1 基于生态需水保障的农业用水短缺损失

基于生态需水保障的区域农业用水短缺综合考虑下游生态需水要求和国家农业用水定额要求,在明确区域下游控制断面以下生态系统需水量基础上,结合水量平衡原理,提出基于生态需水保障的农业用水短缺计算式如下:

$$W_s = \begin{cases} W_a - W_0 & W_a > W_0 \\ 0 & W_a \leq W_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, W_s 为区域农业用水短缺(亿 m^3), W_a 为灌区内农业用水定额(亿 m^3), W_0 为区域农业用水量(亿 m^3), 可根据区域水量平衡分析确定,

$$W_0 = W_u + W_p - W_d - W_g - W_e \quad (2)$$

式中, W_u 为区域上游径流量(亿 m^3), W_p 为降水量(亿 m^3), 包括上、下游断面间流域降水量和农业灌区降水量, W_d 为城镇生活引水量(亿 m^3), W_g 为工业引水量(亿 m^3), W_e 为下游生态需水量(亿 m^3)。基于生态需水保障的农业用水短缺计算体现了保障一定等级生态需水情况下,不能满足国家规定农业用水定额要求的农业用水短缺量。

不同水平年流域径流过程的变化以及生态需水等级和季节的差异性,使得基于生态需水保障的农业用水短缺损失同样具有显著的等级和时空差异性。考虑灌溉用水不足对产量的影响,Stewart 等人提出水分生产函数模型^[27]如式(3)所示:

$$q_m^j - q^j = k_y q_m^j \left(\frac{ET_j - ET_a}{ET_j} \right) \quad (3)$$

式中, q_m^j 为无水分胁迫下作物最大产量(t/hm^2), j 为作物类型, q^j 为作物实际产量(t/hm^2), k_y 为作物产量响应系数, ET_a 为作物实际蒸散发(mm), ET_j 为作物潜在蒸散发(mm), 通过作物系数法来确定^[28]:

$$ET_j = ET_0 \times K_c \quad (4)$$

式中, ET_0 参考作物蒸散发($mm/月$), K_c 为作物系数。

式(3)中 $ET_j - ET_a$ 为单位面积实际用水短缺,对应农业产量损失 $q_m^j - q^j$ 。令 W_s/S_j 代表基于生态需水保障的单位面积农业用水短缺,其中 S_j 为作物的种植面积(hm^2),得到基于生态需水保障的农业产量损失计算如式(5)所示:

$$q_s^j = k_y q_m^j \frac{W_s}{ET_j S_j} \quad (5)$$

作物产量响应系数 k_y 体现不同作物产量对用水短缺的响应关系。针对作物不同生长阶段灌溉不足造成的农业产量损失差异,国内外学者建立了各阶段相加模型和相乘模型^[29]。其中相加模型认为作物总的产量损失等于各阶段产量损失之和,适合于半干旱和半湿润等地区的籽粒产量计算^[30],相应提出考虑不同阶段灌溉用水短缺的农业产量损失为:

$$q_s^j = q_m^j \sum_{k=1}^n \left[k_{ky} \left(\frac{W_{ks}}{ET_{kj} S_j} \right) \right]_k \quad (6)$$

式中, k 为作物生长阶段, n 为总的作物生长阶段, k_{ky} 为 k 阶段作物产量相应系数, W_{ks} 为 k 阶段控制断面上游农业用水短缺(亿 m^3), ET_{kj} 为 k 阶段作物潜在蒸散发(mm)或作物需水量。

1.2 农业用水短缺损失的生态补偿标准

基于生态需水保障的农业生态补偿体现了生态用水与农业用水矛盾情况下,牺牲部分农业灌溉用水来保障流域生态健康的过程。其中补偿主体为生态服务受益者不明确或涉及范围较广的情况下的政府或公共组织^[31],客体为农业用水短缺的受损农户。相应生态补偿的补偿客体明确。根据农业用水短缺的产量损失以及农业产品价格,提出基于 k 阶段生态需水保障的农业经济损失为:

$$v_k^j = q_{ks}^j Q_k^j \quad (7)$$

式中, v_k^j 为作物 j 在 k 阶段单位面积农业产量损失的经济损失(元/ hm^2), q_{ks}^j 为作物 j 在 k 阶段单位面积农业产量损失(t/hm^2), Q_k^j 为作物 j 在研究水平年的 k 阶段单位质量的价格(元/ t)。

根据水分生产函数相加模型,考虑不同季节以及不同作物经济损失,提出基于生态需水保障的农业生态补偿标准计算如式(8)所示。

$$V = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m v_k^j s^j \quad (8)$$

式中, V 表示生产受到影响的农户得到的生态补偿(元), m 代表不同的作物, s^j 代表每户作物 j 的种植面积。

2 案例研究

针对黄河下游农业灌溉与生态需水间日益突出的矛盾,以保证黄河口生态需水产生的黄河下游山东灌区农业损失计算为例,分析基于生态需水保障的农业生态补偿标准计算方法的应用。山东引黄灌区是从高村水文站到入海口之间以黄河干流水量为灌溉水源的灌区,是我国重要的经济发展带和粮棉油产区。山东省引黄灌区工程建设始于1950年,灌溉面积仅为16万 hm^2 ,随着引黄灌溉面积的稳步发展,引黄水量逐年递增,1990年代因黄河上游来水量偏少,引黄量有所减少,年均引水量为 $72.8 \times 10^4 m^3$ 。1998—2005年均引黄灌溉面积为191.59万 hm^2 ,其中冬小麦和夏玉米采用轮作方式,占灌区面积的92.3%。本文结合山东省冬小麦和夏玉米的生长期,将冬小麦生育期分为播种-越冬期(10—12月)、越冬-返青期(1—2月)、返青-收获期(3—5月)3个阶段,夏玉米为全育期(6—9月)。

2.1 基于生态需水保障的农业用水短缺损失

Sun等采用生态目标整合的方法计算了黄河口不同等级和时间差异的生态需水量^[32],本研究参照其研究成果,明确了黄河口生态需水量(图1)。一般认为生态需水可分为最小、适宜和最大3个等级,其中最小生态需水量是指为保证特定发展阶段的生态系统结构稳定,保护生物多样性以及确保水资源功能正常发挥所必须的、一定质量的最小水量;适宜生态需水量综合考虑目标物种生存繁衍对生态系统各方面特性的要求,当流量持续小于这个数值时,将导致生物繁殖条件的破坏,减少生物量,进而降低生物完整性;最大生态需水维持生态系统整体动态平衡,通过影响河流造床输沙、水文连通性、河流生境等多个方面,影响河流生态系统的健康。低于最小生态需水量或者最大生态需水量,将不可避免的导致生态系统的退化。生态需水的时间差异性主要体现在生态系统对水资源的需求存在年内差异,因此生态需水量存在逐月的变化。

根据式(1)和式(2)计算农业用水短缺 W_{ks} ,其中黄河河口生态需水量参考Sun等提出的黄河口生态需水计算结果^[32]确定。其中综合考虑黄河口不同类型生态需水目标要求,通过将生态需水划分为消耗性需水和非消耗性需水,以加和性和最大值原则计算了河口生态环境需水年度总量及年内时间变化规律。研究结果表明,黄河口最小、适宜和最理想等级生态需水年度总量分别为 134.22×10^8 , $162.73 \times 10^8 m^3$ 和 $274.9 \times 10^8 m^3$ 。最低等级生态需水主要满足河口蒸发消耗需水及盐度平衡需水的要求。最高等级生态需水中,泥沙输运需水比例相对最高。

降雨量根据山东省气象站1998—2005年山东省黄河流域和引黄灌区内逐月降雨数据确定,农业用水定额参照山东省水利厅《山东省农业灌溉用水定额(试行)》确定,上游断面径流量考虑1998—2005年间高村站

多年平均实测数据,工业和城镇生活平均引黄水量根据 1998—2005 年《山东省统计年鉴》确定为每月 0.41 亿 m^3 。图 2 给出了保障黄河口最高等级生态需水条件下,山东省引黄灌区冬小麦和夏玉米不同生长阶段的农业用水短缺 W_{ks} 、农业用水量 W_0 和农业用水定额 W_a 。

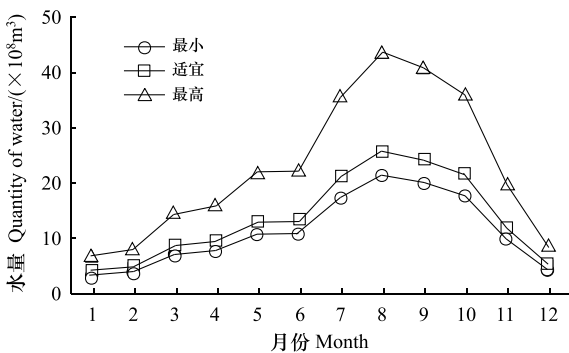


图 1 黄河口不同等级的生态需水量

Fig.1 Different level of environmental flows for the Yellow River Estuary

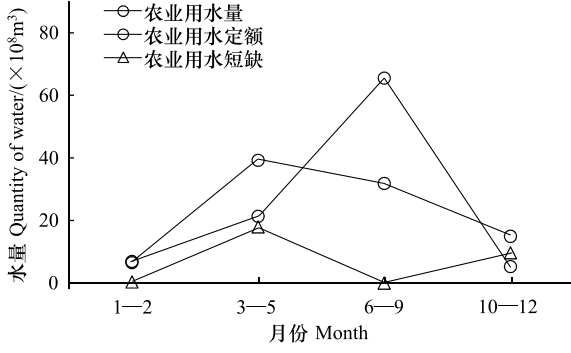


图 2 基于生态需水保障的农业用水短缺量

Fig.2 Agricultural water shortage based on a priority of environmental flows

计算结果表明,1998—2005 年多年平均水文条件下,保障最高等级生态需水的年度农业用水短缺为 27.92 亿 m^3 ,年内各月间 6—9 月份用水大于农业用水定额,可不考虑农业用水短缺问题。农业用水短缺主要集中在 3—5 月和 10—12 月。

在明确基于生态需水保障的农业用水短缺的基础上,根据式(6)计算单位面积农作物产量损失,其中公式(4)潜在蒸散发 ET_j 计算中的参考作物蒸散发 ET_0 和主要作物的作物系数 K_c 根据《中国主要作物需水量与灌溉》数据资料整理得到^[33],其中 ET_0 取华北平原各省的平均值。不同季节冬小麦和夏玉米作物产量响应系数 k_y 参照世界粮食组织(FAO)给出的不同作物产量响应系数成果^[34]。表 1 给出了冬小麦和夏玉米在不同生长阶段的作物产量相应系数 k_{ky} 、农业用水短缺 W_{ks} 和潜在蒸散发 ET_{kj} 。

表 1 冬小麦和夏玉米在不同生长阶段的参数

Table 1 Parameters for winter wheat and summer corn in different growth stages

阶段 Growth stages		1—2 月 Jan. —Feb.	3—5 月 Mar. —May.	6—9 月 Jun. —Sep.	10—12 月 Oct. —Dec.
作物产量响应系数 k_{ky} Crop yield response factors	冬小麦 Winter wheat	0.6	0.5	0	0.2
	夏玉米 Summer corn	0	0	1.25	0
潜在蒸散发 ET_{kj}/mm Potential evapotranspiration	冬小麦 Winter wheat	28.09	301.94	0	102.22
	夏玉米 Summer corn	0	0	547.85	0

冬小麦和夏玉米的单位面积最大产量 q_m^j 以及种植面积 S_j 根据 1998—2005《山东省统计年鉴》得到(表 2)。

图 3 给出了基于最高生态需水保障的山东引黄灌区冬小麦和夏玉米各生育阶段的产量损失 q_{ks}^j 。1998—2005 年多年平均水文过程条件下,6—9 月农业用水大于农业用水定额,保障河口最高等级生态需水不会对夏玉米的生长造成缺水影响,但冬小麦会减产 1611.77 kg/hm^2 ,相对水量充足条件下最大产量的减产率达到 31.70%。

表 2 冬小麦和夏玉米的单位面积最大产量和种植面积

Table 2 Maximum yield and planting area for winter wheat and summer corn

作物 Crop	q_m^j /(kg/hm ²)	S_j /(10 ⁴ hm ²)	与灌区总面积的比例 The ratio to the total area/%
冬小麦 Winter wheat	5084	176.8	92.3
夏玉米 Summer corn	5789	176.8	92.3

2.2 基于生态需水保障的农业生态补偿标准

根据中国粮食网统计数据,1990—2005 年间冬小麦和夏玉米的价格比较稳定^[35]。1990—2000 年《山东省统计年鉴》冬小麦与夏玉米的价格 Q_k^j 分别为 1133.52 元/t 和 1000.68 元/t。结合图 2 作物各生长阶段产量损失 q_{ks}^j ,根据式(7)得出各阶段基于生态需水保障的冬小麦和夏玉米经济损失(图 4)。

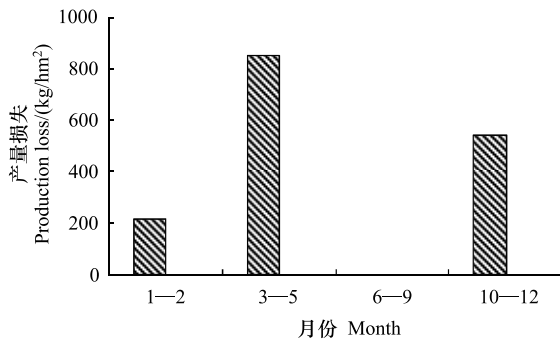


图 3 冬小麦和夏玉米的产量损失

Fig. 3 Agricultural loss for winter wheat and summer corn

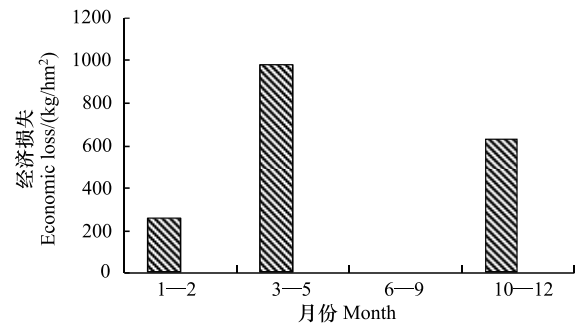


图 4 冬小麦和夏玉米的经济损失

Fig. 4 Economic loss for winter wheat and summer corn

根据水分生产函数相加模型,将不同生长阶段造成经济损失累加的总经济损失作为生态补偿标准制定的依据。考虑国家规定农业用水定额条件下,基于 1998—2005 年平均水文条件,确定保障河口最高等级生态需水产生的山东省灌区内冬小麦种植户总生态补偿标准为 1826.92 元/hm²。

3 讨论

3.1 径流过程及生态需水差异对生态补偿标准的影响

基于生态需水保障的农业生态补偿标准受径流过程和生态需水的共同影响,相应使得农业用水短缺存在显著的年际间和季节间的差异。图 5 给出了 1998 年至 2005 年间来水量(包括降雨量和高村站径流量)的变化。来水总量存在年度差异,2003—2005 年的来水总量明显高于 1999—2002 年,来水总量的最大值(2003 年)和最小值(2002 年)之间相差 1.68 倍。同时来水量还存在年内差异,最大来水量出现在 6—9 月份,其次是 3—5 月份,最小值出现在 1—2 月份,1998—2005 年平均径流过程下,1—2 月、3—5 月、6—9 月和 10—12 月份来水量分别为 22.17、75.25、205.51 和 71.52×10⁸ m³。

图 6 给出了不同年份(1998 年至 2005 年间)保障不同等级生态需水后农业用水短缺差异。总体来讲,保障的生态需水等级越高,对农业用水短缺造成的影响就越大,保障最低、适宜和最高等级生态需水后,农业用水短缺分别在 0—10×10⁸ m³、0—20×10⁸ m³ 和 20—70×10⁸ m³。

一般的,生态需水保障的等级越高,对农业用水的影响越大。这一关系同时受到来水过程年度差异的显著影响。2005 年年度径流总量为 421.85 亿 m³,为 2001 年的 1.36 倍。保障不同等级的生态需水农业用水短

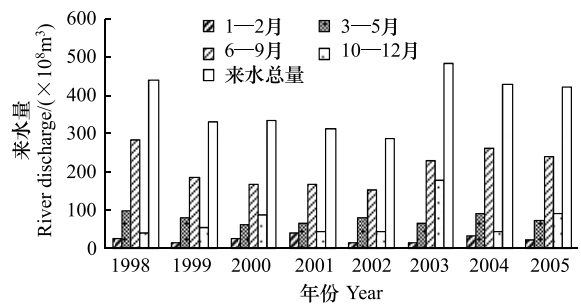


图 5 不同年份来水量

Fig. 5 River discharge in different year

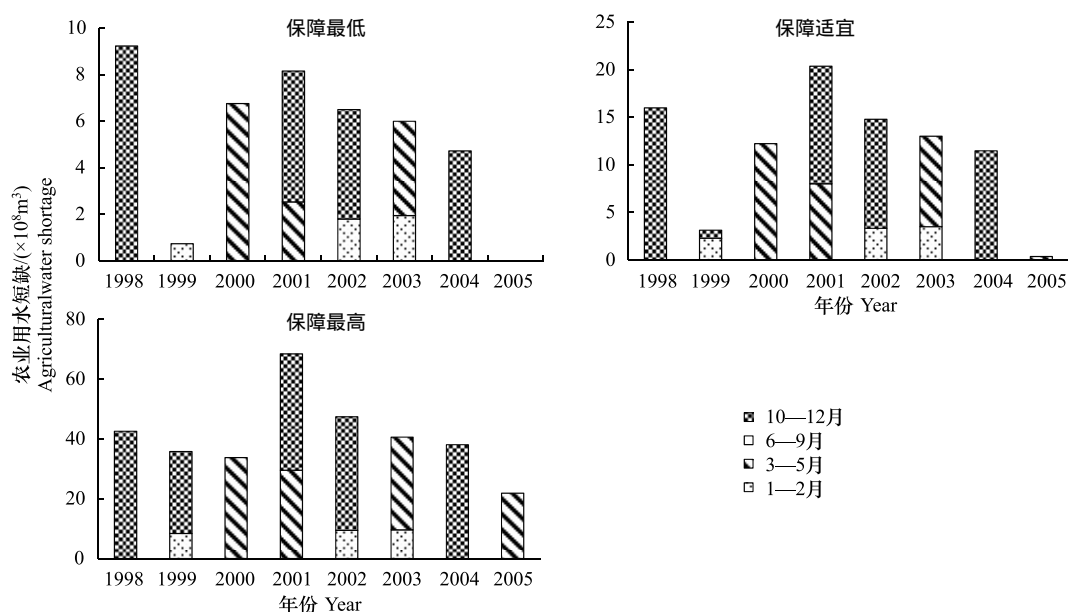


图6 不同年份保障不同等级生态需水的农业用水短缺

Fig. 6 Agricultural water shortage for maintaining environmental flows in different year

缺最小值均出现在2005年,保障适宜和最高等级生态需水后的农业用水短缺最大值出现在2001年。值得注意的是,来水过程的季节性差异也直接影响着农业用水短缺。6—9月份间普遍不存在农业用水短缺,而10—12月间农业用水短缺相对明显,特别是在1998和2004年间,10—12月间相应径流量仅占年径流量的15.14%和12.47%,保障最低、适宜和最高等级的生态需水后,这两年的农业用水短缺全部集中在10—12月份。1999年和2000年来水总量相差0.40%,1999年1—2月份来水量仅为2000年同期来水量的2.25%,成为当年农业用水短缺的集中期,3—5月份来水量为80.52亿 m^3 ,满足相应季节农业需水的要求。而2000年3—5月间来水量为59.18亿 m^3 ,相应造成该季节保障最低和适宜等级生态需水后农业用水短缺达到6.75和12.21亿 m^3 。径流过程的季节差异性造成1999和2000年保障最低和适宜等级生态需水基础上的农业用水短缺分别相差9.15倍和3.89倍。

图7给出了不同年份保障不同等级生态需水的农业生态补偿标准,与农业用水短缺相对应,保障不同等级的生态需水后的农业生态补偿标准存在很大的差别,保障的等级越高,对农业的影响越大,相应农业生态补偿标准越高。保障最低、适宜和最高等级生态需水后的农业生态补偿标准分别在0—1600, 0—3100和1000—9000元/ hm^2 。

农业生态补偿标准也存在年际差异和年内差异,这种差异性在不同的生态需水等级保障下呈现相似的规律,以保障适宜等级的生态需水后的农业生态补偿标准为例,2002、2003和2005年农业用水短缺顺次减少,分别为14.78、12.99和0.35亿 m^3 ,相应2002年补偿标准最高,为3050.09元/ hm^2 ,补偿标准的最小值出现在2005年,仅为18.89元/ hm^2 。此外,受农业用水短缺的季节性差异的影响,农业生态补偿标准呈现出复杂特点,1999年总的农业用水短缺仅为3.14亿 m^3 ,但由于缺水主要集中在1—2月份,占总缺水量的72.45%,这一阶段农业缺水对冬小麦的影响最大,产量响应系数为0.6,相应造成农业生态补偿标准达1638.94元/ hm^2 。相比之下,2001年总缺水量为20.35亿 m^3 ,高于其它年份的缺水量,然而该年度农业用水短缺主要集中在10—12月份,此阶段农业缺水对冬小麦的影响最小(产量响应系数为0.2),对应生态补偿标准为1219.60元/ hm^2 ,仅为2002年计算结果的39.96%。综合而言,生态补偿标准受来水过程和生态需水保障等级的共同影响,考虑自然来水量的变化,确定需要保障的生态需水等级和目标,可成为确定农业缺水损失的基础。

3.2 典型农作物选择

典型作物的选取会影响到生态补偿标准的计算。表3给出了本文保障黄河河口生态需水后山东灌区农

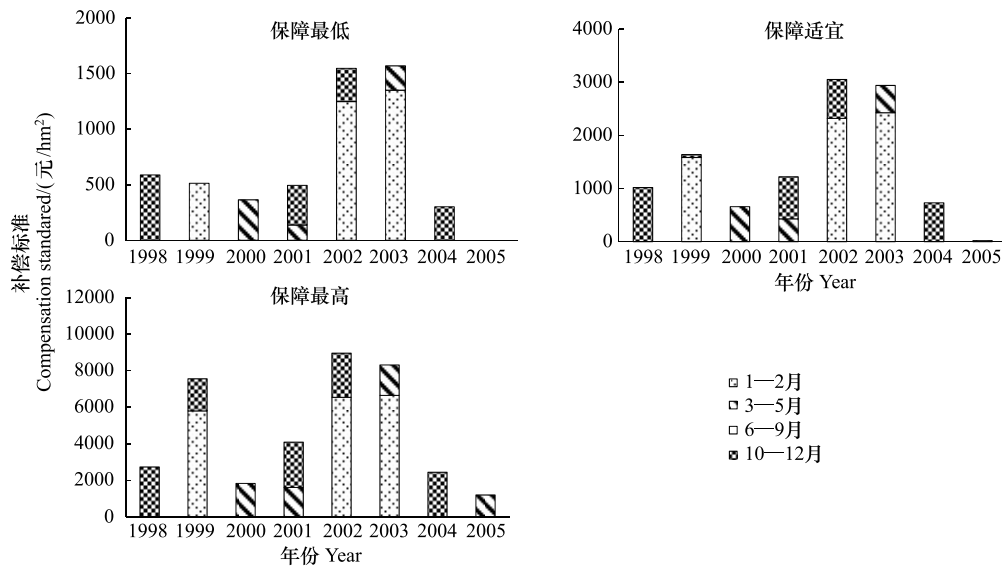


图 7 不同年份保障不同等级生态需水的农业生态补偿标准

Fig. 7 Ecological compensation standard for maintaining medium environmental flows in different year

A、B 和 C 分别代表保障最低、适宜和最高等级生态需水的农业生态补偿标准

业生态补偿标准与相关文献实例中生态补偿标准之间的比较。各案例的生态补偿标准转化为单位水资源价值(农业生态补偿总额与基于生态需水保障的农业用水短缺的比值),并按照多年平均的美元汇率 8.28 进行统一。

表 3 典型生态补偿标准案例对比

Table 3 Comparative analysis for typical watershed ecological compensation standard

典型案例 Typical case	情景 Scenario	水资源价值/(元/m ³) Water value	文献来源 Reference
Rio Conchos	湿润 Wet year	0.45	[23]
	干旱 Dry year	0.51	
Murray-darling	平均 Average	1	[24]
	有目标 Targeted	0.56	
天津 Tianjin	2000	1.27	[36]
北京 Beijing	2000	1.42	
南水北调 South-to-North Water Transfer	2010	1.18	[37]
本案例 This case	平均 Average	1.16	
			本文研究 This study

本研究中选择冬小麦和夏玉米作为农业生态补偿标准计算依据,1998—2005 年保障最高等级生态需水后水资源价值为 1.16 元/m³。在密云水库库区补偿机制的探讨中,2000 年天津市地表水水资源价值为 1.27 元/m³,北京市地表水水资源价值约为 1.42 元/m³,随着时间的推移、物价的上涨,京、津调用密云水库库区水资源所付出的水资源价值还会不断的提高^[37];2010 年南水北调中线工程陕西水源区的水资源价值为 1.18 元/m³^[37],根据个体合理性原则,即各参与分担的地区所承担的补偿额度不应大于其从其他途径可能获得的收益水平即机会成本,否则会导致补偿的不可实施^[37],本案例与国内案例相比具有很强的可比性。

国际上相关案例主要选择水资源价值相对较低的作物计算生态需水保障的农业损失。其中,莫斯科北部的 Rio Conchos 流域基于 Chihuahua 沙漠生态需水的农业经济补偿的研究中^[23],优先考虑占用耗水量比较大、水资源价值较低的高粱、大豆、玉米和苜蓿的灌溉用水,整体的补偿标准在湿润年为 0.45 元/m³;澳大利亚的 Murray-Darling 流域研究中^[24],同样优先考虑采用水资源价值较低区域的作物用水进行生态需水的保障时,

补偿标准为 0.56 元/m^3 , 在综合考虑不同区域农业用水损失的情形下, 补偿标准为 1.00 元/m^3 。相对于一定的农业用水短缺状况, 农业种植结构的差异和节水措施的实施将产生不同的经济损失^[2]。区域内另一作物棉花的年潜在蒸散发为 747.19 mm , 生长期主要在 4—10 月份, 用水高峰集中在 7—8 月份。苗期(4—6 月)、蕾期和花铃期(7—8 月)以及吐絮期(9—10 月)相应的产量相应系数分别为 0.2、0.5 和 0.25^[34]。考虑棉花的种植面积为 176.8 万 hm^2 , 根据《山东省统计年鉴》多年统计数据棉花的最大产量为 1286 kg/hm^2 , 多年平均价格 6.6 元/kg , 根据 1998 年至 2005 年平均水文条件, 计算保障适宜生态需水情况下棉花在各生育阶段的产量损失和经济损失结果表明, 在棉花生长期, 基于生态需水保障的农业用水量大于农业用水定额, 相对可大幅减少小麦和玉米轮作种植模式下的农业补偿标准。然而, 山东引黄灌区是我国重要的粮食产区, 冬小麦和夏玉米的种植面积相对比较稳定。综合考虑国家保障粮食安全的目标要求, 面积稳定和保障功能显著的粮食作物更适宜作为补偿标准计算的依据。在农业种植结构调整有限条件下, 农业节水措施的实施则成为有效实现区域生态保护与社会经济协调发展的关键。

4 结论

本研究提出了基于生态需水保障的农业生态补偿标准计算方法, 考虑农业用水定额, 计算基于生态需水保障的农业用水短缺, 通过引入水分生产函数模型建立农业用水短缺与产量损失间的关系, 根据不同季节作物产量响应系数的差异以及不同等级生态需水的要求, 定量确定不同等级农业生态补偿标准。提出的研究方法适用于综合考虑水文过程变化、生态需水等级差异以及农业用水定额对生态补偿标准的影响。

生态补偿标准受来水过程的影响, 根据自然来水量的变化, 确定需要保障的生态需水等级和目标, 应成为确定农业缺水损失及计算补偿标准的基础。面积稳定和保障功能显著的粮食作物缺水损失可成为生态补偿标准计算的依据。一方面与国家保障粮食安全目标一致, 同时避免在水资源短缺情况下, 保障相对较高等级生态需水可能造成不合理农业用水短缺和损失。研究提出的农业生态补偿标准计算方法, 根据初始推荐生态需水以及理论农业需水要求确定, 综合考虑自然来水的变化以及国家规定农业用水定额对生态补偿标准的影响后, 也为进一步权衡分析适宜的生态需水保护目标提供科学依据。

目前中国生态补偿工作还处于酝酿与起步阶段, 生态补偿机制的建立和完善还在探讨和摸索之中, 本文研究关注于生态补偿标准计算方法的探讨, 而在一个流域生态补偿模式中, 补偿主客体的确定、补偿方式等同样是生态补偿措施顺利实施的保障。生态补偿标准的实施也不应只局限在通过现金发放的形式实现。以农业水利设施、农业节水措施的投资建设等形式更能体现可持续发展的战略思想。全面分析利益相关者, 根据补偿原则来清晰界定生态补偿的主体和客体, 才能使生态补偿模式更加完善、可行。

References:

- [1] Binning C, Cork S J, Parry R, Shelton D. Natural Assets: An Inventory of Ecosystem Goods and Services in the Goulburn Broken Catchment. Melbourne: CSIRO Sustainable Ecosystems, 2001: 136-136.
- [2] Khan S, Ahmad A, Malano H M. Managing irrigation demand to improve seasonality of river flows. *Irrigation and Drainage*, 2009, 58(2): 157-170.
- [3] Molden D. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, 2007: 645-645.
- [4] Jones R, Crean J, Aluwihare P, Letcher R. Economic cost of environmental flows in an unregulated river system. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2007, 51(3): 305-321.
- [5] Li X G, Miao H, Zheng H, Ouyang Z Y. Main methods for setting ecological compensation standard and their application. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4431-4439.
- [6] Engel S, Pagiola S, Wunder S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics*, 2008, 65(4): 663-674.
- [7] Claassen R, Cattaneo A, Johansson R. Cost-effective design of agri-environmental payment programs: U. S. experience in theory and practice. *Ecological Economics*, 2008, 65(4): 737-752.

- [8] Muñoz-Piña C, Guevara A, Torrese J M, Braña J. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: analysis, negotiations and results. *Ecological Economics*, 2008, 65(4): 725-736.
- [9] Pagiola S. Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics*, 2008, 65(4): 712-724.
- [10] Liu Y L, Hu P. Ecological compensation standard for Xinjiang River basin based on Pareto optimization. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(6): 703-713.
- [11] Wang H, Dang L W, Wang L, Luo Y Z, Xie X M, Yin M W, Liu Y L. Discussion on the construction of water rights system in China. *China Water Resources*, 2006, (1): 28-30.
- [12] Yang G M, Min Q W, Li W H, Zhen L. Scientific issues of ecological compensation research in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4289-4300.
- [13] Lai L, Huang X J, Liu W L. Advances in theory and methodology of ecological compensation. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2870-2879.
- [14] Duan J, Yan Y, Wang D Y, Dong Z J, Dai F Z. Principle analysis and method improvement on cost calculation in watershed ecological compensation. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 221-227.
- [15] Jiang B, Ouyang Z Y, Miao H, Zheng H, Bai Y, Zhuang C W, Fang Y. Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2236-2244.
- [16] Fisher B, Turner K, Zylstra M, Brouwer R, de Groot R, Farber S, Ferraro P, Green R, Hadley D, Harlow J, Jefferiss P, Kirkby C, Morling P, Mowatt S, Naidoo R, Paavola J, Strassburg B, Yu D, Balmford A. Ecosystem services and economic theory: integration for policy-relevant research. *Ecological Applications*, 2008, 18(8): 2050-2067.
- [17] Ran B Q, Xu F R, Zhang C L. Review of research and practice of river basin ecological compensation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(10): 1220-1225.
- [18] Liu X Y, Lian X, Ke S J. Analysis on water demand for ecosystem protection in Yellow River Delta. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(8): 956-965.
- [19] Yang Z F, Liu J L, Sun T, Cui B S. *Environmental Flows in Basins*. Beijing: Science Press, 2006: 3-3.
- [20] Chen X R, Liu S K. Rational volume of ecological water consumption and its calculation model II: Application. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2006, 26(6): 1-5.
- [21] Qureshi M E, Connor J, Kirby M, Mainuddin M. Economic assessment of acquiring water for environmental flows in the Murray Basin. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2007, 51(3): 283-303.
- [22] Jones R, Crean J, Aluwihare P, Letcher R. Economic cost of environmental flows in an unregulated river system. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2007, 51(3): 305-321.
- [23] Sisto N P. Environmental flows for rivers and economic compensation for irrigators. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(2): 1236-1240.
- [24] Malano H M, Davidson B. A framework for assessing the trade-off between economic and environmental uses of water in a river basin. *Irrigation and Drainage*, 2009, 58(S1): 133-147.
- [25] Zheng C Y, Wang J C, Wen Z C, Kong Q Y, Chen H Z. Evaluation methods and demonstration studies of compensation of agricultural water right. *Journal of Economics of Water Resources*, 2008, 26(6): 1-4.
- [26] Zhao W J, Ma X Y, Zhang J X, Kang Y H. Realizing agricultural water-saving based on economic analyses and incentive mechanisms. *China Rural Water and Hydropower*, 2008, (4): 48-50, 53-53.
- [27] Stewart J L, Danielson R E, Hanks R J, Jackson E B, Hagon R M, Pruitt W O, Franklin W T, Rile J P. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. PRWG151-1. Logan: Utah Water Lab, 1977: 191-191.
- [28] Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome: FAO, 1998: 56-56.
- [29] Li Y L, Cui Y L, Li Y H. Advancement of research on crop water-nitrogen production function. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(6): 704-710.
- [30] Zhang H J. Field crop water-yield models and their applications. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(5): 997-1005.
- [31] Pagiola S, Platais G. *Payments for Environmental Services: From Theory to Practice*. Washington DC: World Bank, 2007.
- [32] Sun T, Yang Z F, Cui B S. Critical environmental flows to support integrated ecological objectives for the Yellow River Estuary, China. *Water Resources Manage*, 2008, 22(8): 973-989.
- [33] Chen Y M, Guo G S, Wang G X, Kang S Z, Luo H B, Zhang D Z. *Main Crop Water Requirement and Irrigation of China*. Beijing: Theory and Practice of Rock Mechanics, 1995.
- [34] FAO. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper No 33. Rome: FAO, 1979.

- [35] Zhan S W, Feng Z C, Xiao W. Analysis of the influence of grain price changes on the acreage of grain. *Journal of Inner Mongolia University: Philosophy and Social Sciences*, 2008, 40(5): 54-60.
- [36] Zhang C L. A Study on Compensation Mechanism for Water Resources Restoration [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2003: 114-114.
- [37] Shi S J, Li H E, Lin Q C, Dang Z L. Study on method for calculating eco-compensation fund sharing in inter-basin water transfer projects. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(3): 268-273.

参考文献:

- [5] 李晓光, 苗鸿, 郑华, 欧阳志云. 生态补偿标准确定的主要方法及其应用. *生态学报*, 2009, 29(8): 4431-4439.
- [10] 刘玉龙, 胡鹏. 基于帕累托最优的新安江流域生态补偿标准. *水利学报*, 2009, 40(6): 703-713.
- [11] 王浩, 党连文, 汪林, 罗尧增, 谢新民, 尹明万, 刘玉龙. 关于我国水权制度建设若干问题的思考. *中国水利*, 2006, (1): 28-30.
- [12] 杨光梅, 闵庆文, 李文华, 甄霖. 我国生态补偿研究中的科学问题. *生态学报*, 2007, 27(10): 4289-4300.
- [13] 赖力, 黄贤金, 刘伟良. 生态补偿理论、方法研究进展. *生态学报*, 2008, 28(6): 2870-2879.
- [14] 段靖, 严岩, 王丹寅, 董正举, 代方舟. 流域生态补偿标准中成本核算的原理分析与方法改进. *生态学报*, 2010, 30(1): 221-227.
- [15] 江波, 欧阳志云, 苗鸿, 郑华, 白杨, 庄长伟, 方瑜. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价. *生态学报*, 2011, 31(8): 2236-2244.
- [17] 阮本清, 许凤冉, 张春玲. 流域生态补偿研究进展与实践. *水利学报*, 2008, 39(10): 1220-1225.
- [18] 刘晓燕, 连煜, 可素娟. 黄河河口生态需水分析. *水利学报*, 2009, 40(8): 956-965.
- [19] 杨志峰, 刘静岭, 孙涛, 崔保山. 流域生态需水规律. 北京: 科学出版社, 2006: 3-3.
- [20] 陈兴茹, 刘树坤. 论经济合理的生态用水量及其计算模型(II)-应用. *水利水电科技进展*, 2006, 26(6): 1-5.
- [25] 郑垂勇, 王建成, 温兆昌, 谢伟, 孔庆雨, 陈洪转. 农业水权补偿额度测算方法及实证研究. *水利经济*, 2008, 26(6): 1-4.
- [26] 赵文举, 马孝义, 张建兴, 康银红. 农业节水实现的经济学解析与激励机制. *中国农村水利水电*, 2008, (4): 48-50, 53-53.
- [29] 李亚龙, 崔远来, 李远华. 作物水氮生产函数研究进展. *水利学报*, 2006, 37(6): 704-710.
- [30] 张恒嘉. 几种大田作物水分—产量模型及其应用. *中国生态农业学报*, 2009, 17(5): 997-1005.
- [33] 陈玉民, 郭国双, 王光兴, 等. 中国主要作物需水量与灌溉. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [35] 占邵文, 冯中朝, 肖卫. 浅析粮食价格变动对粮食播种面积的影响. *内蒙古大学学报: 哲学社会科学版*, 2008, 40(5): 54-60.
- [36] 张春玲. 水资源恢复的补偿机制研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2003: 114-114.
- [37] 史淑娟, 李怀恩, 林启才, 党志良. 跨流域调水生态补偿量分担方法研究. *水利学报*, 2009, 40(3): 268-273.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《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 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 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:100071	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