

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

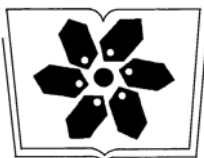
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第10期 Vol.34 No.10 **2014**

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 34 卷 第 10 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 景观可持续性与景观可持续性科学..... 赵文武,房学宁 (2453)
- 生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 朱文博,王 阳,李双成 (2460)
- 湿地植物根表铁膜研究进展..... 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)
- 水生生态环境中捕食信息素的生态学效应..... 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)
- 脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 潘 扬,罗 芳,鲁长虎 (2490)

个体与基础生态

- 中亚热带天然林土壤 CH_4 吸收速率对模拟 N 沉降的响应 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)
- 塔里木盆地南缘早生芦苇生态特征与水盐因子关系..... 贡 璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)
- 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)
- 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应..... 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)
- 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性..... 王 伟,张月玲,苏建伟,等 (2539)
- 高浓度 O_3 及太阳辐射减弱对冬小麦 PS II 光合活性及光能耗散的影响 孙 健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)
- 蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 黄秋斌,张 颖,刘凤英,等 (2559)
- 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究..... 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)
- 抗真菌转基因水稻生态适合度评价..... 李 伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)
- 花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)
- 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成..... 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)
- 年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响..... 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)
- [树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 杨志宏,吴庆明,杨 渺,等 (2617)
- 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 李 锐,李 娜,刘 佳,等 (2629)
- 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能..... 刘雨芳,王秀秀,李 菲,等 (2638)

种群、群落和生态系统

- 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响..... 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)
- 不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化..... 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析	李然然,章光新,张 蕾 (2663)
闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性.....	曾志华,杨民和,余晨兴,等 (2674)
环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响.....	郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变.....	杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价.....	李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
中国南方 3 种主要人工林生物量和生产力的动态变化.....	杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
杉木人工林土壤真菌遗传多样性.....	何苑擘,周国英,王圣洁,等 (2725)
科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应.....	张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律.....	申家朋,张文辉 (2746)
景观、区域和全球生态	
南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应.....	刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响.....	徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)
资源与产业生态	
基于 GIS 的山西省矿产资源规划环境影响评价	刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例	赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)
学术信息与动态	
全球土地计划第二次开放科学大会 (GLP 2 nd Open Science Meeting) 会议述评	段宝玲,卜玉山 (2796)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 36 * 2014-05	



封面图说: 鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90% 以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

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

DOI: 10.5846/stxb201306091530

赵丹丹, 刘俊国, 赵旭. 基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例. 生态学报, 2014, 34(10): 2787-2795.

Zhao D D, Liu J G, Zhao X. A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2787-2795.

基于效益分摊的水电水足迹计算方法 ——以密云水库为例

赵丹丹, 刘俊国*, 赵 旭

(北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083)

摘要: 随着中国经济的飞速发展, 可再生能源的开发利用已经被提到重要的议事日程, 其中水力发电是重中之重。但水力发电过程也消耗大量的水资源, 使得水电水足迹的核算成为当前水足迹研究热点。多功能水库同时具有发电、供水、防洪、旅游、水产等多种生态系统服务功能。传统水足迹核算方法往往将水库的水足迹等同于水电水足迹, 忽略了水库的多功能性, 因而高估了水电的水足迹。对传统水电水足迹的核算方法进行了改进, 考虑到水库不同的生态系统服务功能, 加入了水电效益分摊系数这一指标, 将水电水足迹从水库水足迹中分离出来。以华北最大水库北京密云水库为例, 采用传统的方法和改进的方法计算了密云水库 1988—2004 年水电水足迹。研究结果显示: 倘若不考虑效益分摊, 按照传统的方法, 密云水库 1988—2004 年平均水电水足迹为 $897 \text{ m}^3/\text{GJ}$; 按照效益分摊的方法计算得到的平均水电水足迹为 $127 \text{ m}^3/\text{GJ}$, 仅为不考虑效益分摊情况下计算的水电水足迹的 14%。水力发电是密云水库初期建设的主要目的, 但自 1998 年之后发电量逐年减少, 近年来基本不发电。传统方法下的 2004 年单位水电水足迹为 $4529.5 \text{ m}^3/\text{GJ}$, 为单位水电水足迹最大的年份; 但应用改进方法后该年的单位水电水足迹仅为 $67.3 \text{ m}^3/\text{GJ}$, 反而成为单位水电水足迹最小的年份。考虑效益分摊更能够体现水电水足迹的真实情况, 为多功能水库水电水足迹核算提供了新的思路和方法。

关键词: 水足迹; 水库; 水电; 分摊系数; 蒸发

A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China

ZHAO Dandan, LIU Junguo*, ZHAO Xu

School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Globally, freshwater is a limited resource for human development. Social and economic development must consider water resources for sustainable development. With China's rapid economic development, renewable energy has been pushed to the forefront of the development agenda, and hydroelectricity is the most important renewable energy. However, hydroelectricity also consumes a lot of water, hence, it is important to assess the impact of hydroelectricity on the environment and water resources, so many researchers have focused their attention on calculation of the water footprint. This is an indicator of the amount of water used to produce goods and services. It provides a reasonable and broad perspective for consumers and producers to help understand their relationship with freshwater systems. The water footprint concept help policymakers and stakeholders to enact more rational policies for water resources management. According to the available global literature, there are three main methods used to calculate the water footprint of hydroelectricity: Gross water consumption, Net water consumption and Water balance. The dominant calculation method uses the gross evaporation from

基金项目: 国家国际科技合作专项资助(2012DFA91530); 国家自然科学基金项目(41161140353, 91025009, 51009005); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(TD-JC-2013-2)

收稿日期: 2013-06-09; 网络出版日期: 2014-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: junguo.liu@gmail.com

freshwater reservoirs divided by the annual power production. In previous studies, the water consumption from a reservoir is often completely attributed to hydroelectricity, but this apparently overestimates the water footprint (WF) of hydroelectricity, especially for reservoirs with multiple functions. The multi-function reservoir provides many ecosystem services, such as water supply, irrigation, flood control, and fishery, so the traditional water footprint counting method will produce doubling counting. We used a new approach, the cost allocation method, to quantify the water footprint of hydroelectricity (WF_h) by separating it from the reservoir footprint using an allocation coefficient (η) based on the ratio of hydropower income to the total economic benefit of the reservoir. Such an approach was used to study data from 1988 to 2004 for the case area of the Miyun reservoir, a multi-function reservoir, and the largest reservoir in the North China plain. More than 60% of the economic benefit was from flood control and water supply, and less than 40% of the economic value was from irrigation, electricity and fishery. The results show that, from 1988 to 2004, the average product water footprint of hydroelectricity (PWF_h) in the Miyun reservoir was $897 \text{ m}^3/\text{GJ}$, according to the traditional calculation method. However, based on the improved method, the average PWF_h was only $127 \text{ m}^3/\text{GJ}$, just 14% of the traditional method. Initially, the primary purpose of the Miyun reservoir was for hydroelectric generation, but since 1998, the amount of electricity generated has decreased. Using the traditional calculation method, the PWF_h in 2004 was $4529.5 \text{ m}^3/\text{GJ}$, the largest amount for all the years considered, yet, according to the improved cost allocation method, the PWF_h was $67.3 \text{ m}^3/\text{GJ}$, the smallest among all the years considered. It is easy to obtain data using the cost allocation method and it has good operability. Application of the improved method will be propitious in the assessment of the market value of economic benefits. The allocation coefficient (η) combines the environmental indicator with the economic indicator, and the approach based on the allocation coefficient is more objective and accurate for the assessment of WF_h . The cost allocation method will further the application of the water footprint in hydroelectric power generation. Most reservoirs have a varying surface area over time, as a result of changes in water volume during the year and between years, thus, it is necessary to maintain temporal and spatial consistency when collecting economic data. Hydropower has long been considered a clean, renewable energy and has been actively promoted in many countries. This study indicates that the WF of hydropower should be integrated into the environmental impact assessment system for a more comprehensive understanding of hydropower projects in future. The cost allocation method can assess the influence of hydroelectricity in one reservoir and will provide the basis for water price. It will also foster new ideas about how to accurately calculate the water footprint of hydroelectricity.

Key Words: water footprint; reservoir; hydroelectricity; allocation coefficient; evaporation

IPCC 关于可再生能源的专题报告^[1]标志着可再生能源取代化石能源的行动取得了里程碑式的进展。水力发电是最备受关注的可再生能源,具有低碳、环境友好等诸多优点。但是水力发电过程同时消耗了另一项重要资源,即水资源。水力发电约占全球发电量的 21%。水力发电所产生的水资源消耗同样也会加剧水资源短缺问题^[2-6]。

水资源已经成为人类可持续发展的重要限制因素。社会和经济的发展,必须考虑水资源的可持续开发利用。水足迹是由荷兰屯特大学 Hoekstra 教授于 2002 年提出的一个新概念,指一个国家、一个地区或一个人,在一定时间内消费的所有产品和服务所需要的水资源数量^[7]。水足迹通过识别人类生产

和消费行为对水资源的消耗和污染,来衡量人类对地区水资源和水环境的影响。水足迹为理解消费者和生产者与淡水系统之间的关系提供了更加合理和广阔的视角^[8-9]。

水足迹的概念近年来开始用于衡量能源生产过程中直接和间接消耗的水资源情况^[2-3,10]。Glecik、Herath、Mekonnen^[5-6,11]等人采用水电站的蒸发耗水量衡量水力发电所产生的水足迹(以下简称“水电水足迹”)。研究结果表明,不同地区的不同水电站其水电水足迹存在很大的差异,最小的仅有 $0.01 \text{ m}^3/\text{GJ}$ ^[11],最大的却达到了 $846 \text{ m}^3/\text{GJ}$ ^[6]。但目前水电水足迹的研究仍处于初级阶段^[3-6,11-18]。而且以往研究往往将水库的水足迹等同于水电水足迹,忽略

了多功能水库的水足迹在不同生态服务功能之间的分摊,因而不可避免的高估了水电水足迹。

中国是水力发电大国。过去的 50 年,中国的水电发展迅速,装机容量达到 145 GW,是世界水电装机容量最多的国家^[19]。2008 年,国家发展和改革委员会公布的电能发展政策中,特别关注可再生能源的发展,尤其是水电,到 2020 年,总装机容量力争达到 300 GW^[20]。2012 年底国务院颁布的《中国能源政策白皮书》中要求,到 2020 年非化石能源占一次能源消费比重将达到 15% 左右,其中一半以上将来自于水电。可见水电在电力行业的地位日益提升。定量评估水力发电所伴生的环境与水资源问题已经刻不容缓。本文基于已有研究,对水电水足迹^[6]计算方法进行了订正,加入水电效益分摊系数这一因子,使得水电水足迹计算更为合理。并选取我国密云水库作为研究案例,对其 1998—2004 年间的水电水足迹进行了核算。

1 研究方法概述

1.1 通用的水电水足迹计算方法

一件产品的水足迹指用于生产该产品的整个生产供应链中的耗水量之和^[8-9]。水足迹通常包括三部分:绿水足迹、蓝水足迹和灰水足迹^[8-9]。绿水足迹指产品对绿水资源(土壤水)的消耗;蓝水足迹指产品对蓝水(地表水和地下水)资源的消耗;灰水足迹是与污染有关的指标,定义为以自然本底浓度和现有的环境水质标准为基准,将一定的污染物吸收同化所需要的淡水的体积^[8]。水库或水电站只消耗地表水(蓝水),不消耗土壤水(绿水);另水库或水电站灰水产生量也相对较少,以往研究往往不考虑其灰水足迹^[6]。

目前国际上主要有 3 种核算水电水足迹的方法:总蒸发耗水法、净蒸发耗水法和水量平衡法,其中总蒸发耗水法的应用最为广泛。总蒸发耗水法指产生单位能量所需要消耗的总的水库蒸发量,等于某一水库的总的年蒸发量除以水库的年发电量。该方法最先由 Gleick^[11]在计算美国加利福尼亚州水电耗水问题时使用,随后, Torcellini^[13]、Pasqualetti^[14]、Gerbens-Leens^[3]、Mekonnen^[6]等人用此种方法计算美国、新西兰甚至全球的水电水足迹。

净蒸发耗水法将水库建造前的地表蒸发量考虑

在内,认为计算发电耗水时应该把这部分蒸发量扣除掉。因此净蒸发耗水法实际是指产生单位能量所消耗的水库净蒸发量。该方法由 Herath 等^[5]于 2010 年计算新西兰水电站耗水量时提出,2012 年 Yesuf^[17]用此方法计算了埃塞尔比亚地区的水电水足迹,2013 年 Demeke^[18]用此种方法计算了澳大利亚、土耳其等国家的水电站耗水量。

水量平衡法则是将水库看作一个闭合流域,将水库水量的输入输出都考虑在内,输入水量通常指水库水面上方的大气降水,输出水量则为水库的水面蒸发。二者的差值代表水库特定时间内的水量变化,再除以相应时间内的发电量就等于单位发电量的消耗水量。此种方法由 Herath 等^[5]于 2010 年提出,2012 年 Arndy^[15]用这种方法计算了挪威地区的水电站耗水量。

水电耗水量的计算目前国内研究较少,且以定性描述为主。孙旭成等^[21]针对小型水电站运行调度新技术,对提高单位发电量的耗水率做了初步的研究。张祎等^[22]估算了葛洲坝蓄水后的逐年月的蒸发量。但目前尚不存在专门针对水电水足迹的研究。

1.2 基于效益分摊的水电水足迹计算方法

目前通用的水足迹计算方法往往将水库水足迹等同于水电水足迹。严格的讲,该方法只适用于水库只有单一的生态系统服务功能,即水力发电的情况,但不适用于多功能用途的水库。水库往往具有发电、供水、防洪、娱乐、水产品等多种类别的生态系统服务功能^[20]。采用传统的计算方法不可避免的会高估水电水足迹。因此,对能够同时产生多种类别的产品以及生态系统服务功能的研究对象,有必要按照不同的类别对其总体水足迹进行分摊。具体公式如下:

$$WF = \sum_{i=1 \sim n} WF_i = \sum_{i=1 \sim n} \eta_i \times WF \quad (\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n = 1) \quad (1)$$

式中, WF 为总体水足迹, WF_i 为第 i 项生态系统服务功能所需要的水足迹, η_i 为分摊系数,即根据统一的核算标准所确定的分摊权重。

以上改进方法的关键是分摊系数的确定。而一种可行的办法是按照各项生态系统服务功能价值比例,即按照各类别所产生的经济效益比例,对总体水足迹进行分摊。即通过各项生态系统服务能够转化

成为价值这一统一的标准实现水足迹的分摊。根据这一改进方法计算水电水足迹的具体过程为:首先计算水库提供的各项生态系统服务功能所产生的经济效益;相应得到发电这一服务功能产生的经济效益占水库总体经济效益的比例,该比例定义为水电效益分摊系数;然后将总蒸发耗水与水电效益分摊系数相乘得到水力发电的水足迹,即将水电水足迹从水库水足迹中分离出来。

水库水足迹计算公式为:

$$WF = 10 \times E \times A \quad (2)$$

式中, WF 为水库水足迹 (m^3/a); E 为水面蒸发 (mm/a); A 为水库水面面积 (hm^2); 10 为将 mm 转化成 m^3 的比例常数。

水电效益分摊系数 η_h 定义为一个水电站年发电效益 (R_h) 占水库总效益 (R) 的比例:

$$\eta_h = \frac{R_h}{R} \quad (3)$$

水电水足迹 WF_h 可用如下公式计算

$$WF_h = WF \times \eta_h \quad (4)$$

单位水电水足迹,即单位发电量消耗的水量,计算方法如下:

$$PWF_h = \frac{WF_h}{EG} \quad (5)$$

式中, PWF_h 为单位水电水足迹 (m^3/GJ); WF_h 为水电水足迹 (m^3/a); EG 为水库或者水电站年发电量 (GJ/a)。

对于水库各项服务功能效益,本文采用能值的方法进行计算^[24-25]:首先确定某种服务功能所需要的能量;然后确定相应功能的能值转化率,也就是单位某种能量所含太阳能值之量,从而获得某种服务功能的总太阳能值量;最后用太阳能值总量除以相应的能值货币比(单位货币能购买能值量,数量上等于一个国家的年能值利用总量除以当年的 GNP),从而获得某种服务功能的能值货币价值,也就是该种服务功能的经济价值^[24-26]。

2 应用实例

本文以北京市密云水库为例,定量计算 1988—2004 年密云水库水电水足迹状况。

2.1 研究区概况

密云水库位于北京市郊区密云县城北部山区,

距首都北京约 100 km,水库大坝位置为东经 $116^{\circ}50'17''$,北纬 $40^{\circ}29'13''$ 。水库兴建于 1958 年 9 月,1959 年汛期拦洪,1960 年 9 月基本建成,目前仍在正常运行。水库最高蓄水位 159.9 m,水库最大蓄水量为 43.75 亿 m^3 ,防洪库容 18.97 亿 m^3 ,兴利库容 20.41 亿 m^3 ,最大水面面积 188 km^2 ,是华北地区第一大水库^[27]。主要入库河流为潮河和白河。水库位于温带大陆季风气候,年均气温 $6-10^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量为 500—700 mm,年内分配很不均匀,7、8 月份降水占全年的 70%,且多以暴雨形式出现。

密云水库以供水、灌溉为主,兼具发电、渔业和旅游的多功能水库。水力发电是密云水库初期建设的主要目的。密云水库是以水定电,即供水时发电,不供水时停止发电,自建成以来,1960—1997 年累积发电 27.87 亿 kWh,为密云县以及周边县市提供电力。自 1998 年之后,由于发电水头超标、机械设备老化等问题,密云水电厂发电量逐年减少,2006 年以后,基本不发电。

2.2 密云水库水电水足迹

2.2.1 效益分摊系数 η 的确定

首先确定密云水库包括供水、防洪、发电、渔业和旅游等 5 项主要生态系统服务功能^[28]。1998 年—2004 年水电效益分摊系数,根据水力发电量数据,结合能值方法进行核算。其它各项服务功能以及 1998 年之前的水电效益系数,根据胡艳霞、周连第^[28]等按照能值方法计算的生态系统服务价值进行核算。最终计算结果如表 1 所示。可以看出,1998 年之前,水库供水所产生的生态系统服务功能价值最大,其次是防洪和发电。1998 年之后发电价值逐年减少,到 2004 年仅占总价值的 1%。

2.2.2 密云水库水足迹

选取密云水库白河站点^[29]观测数据,统计水库 1985—2004 年各年平均水面蒸发量,结果如附表 1 所示。结合曹荣龙、房孝铎、宫兆宁^[30-32]等人的研究,确定水库水面面积。水库水足迹结果如表 2 所示。由于水库蒸发量和水面面积受当年水文条件影响较大,水库水足迹介于 $81.5-237.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 。1988—2004 年最大水库水足迹相当于最小水足迹的 3 倍。本研究按照丰、平、枯特征年对水库水足迹进行区分。根据密云水库多年降雨量与径流系数表^[33],按照水文情报预测规范 (GB/T22482—

2008)^[34]要求,获得 1985—2004 年水库各年水库丰枯情况,计算结果见附表 2。结合实际情况,选取 11 个年份做为水库平、丰、枯 3 种特征年代表年份,将水库水足迹按照不同特征年进行分类,并取平均值,得到丰、平、枯年份各自平均水足迹(图 1)。从图 1 看出,丰水年与枯水年相比,其水库水足迹明显较大,这主要是因为丰水年水面蒸发比枯水年增加约 30%以上。由于在研究年中只有 1 年是平水年,其结果的代表性还有待商榷。

表 1 水库各项功能效益分摊系数表
Table 1 Allocation efficient about reservoir functions

年代 Year	供水 Water supply	防洪 Flood control	发电 Hydroelectricity value	渔业 Fishery value	旅游 Travel value
1988	0.55	0.15	0.16	0.04	0.09
1990	0.55	0.15	0.16	0.05	0.09
1991	0.53	0.15	0.17	0.05	0.09
1992	0.52	0.15	0.16	0.05	0.10
1994	0.52	0.15	0.16	0.05	0.10
1996	0.50	0.16	0.17	0.06	0.11
1998	0.50	0.16	0.16	0.05	0.13
1999	0.51	0.16	0.14	0.05	0.13
2000	0.54	0.17	0.10	0.06	0.13
2001	0.57	0.18	0.05	0.06	0.14
2002	0.58	0.18	0.03	0.06	0.15
2003	0.59	0.18	0.02	0.06	0.15
2004	0.53	0.21	0.01	0.07	0.17

表 2 密云水库水足迹表
Table 2 Water Footprint and Product Water Footprint of hydroelectricity in Miyun reservoir

年份 Year	年份特征 Year feature	蒸发量 Evaporation /(mm/a)	水面面积 Water surface area/km ²	η	水库水足迹 Reservoir WF/10 ⁶ m ³	水电水足迹 Hydropower WF/10 ⁶ m ³	发电量 Hydroelectric generation/ 10 ⁸ kWh	单位水电水足迹 (不考虑 η) PWF Product water footprint/ (m ³ /GJ)	单位水电水足迹 (考虑 η) PWF _h
1988	平水年	1409.3	115.8	0.16	163.2	26.9	0.74	613.5	101.0
1990	丰水年	1264.1	188.0	0.16	237.7	38.8	0.74	893.4	145.8
1991	丰水年	1348.2	154.6	0.17	208.4	34.8	0.74	783.6	131.0
1992	枯水年	1373.0	147.2	0.16	202.1	33.3	0.74	759.8	125.1
1994	丰水年	1314.3	173.3	0.16	227.8	37.5	0.74	856.3	141.0
1996	丰水年	1197.5	166.0	0.17	198.8	34.4	0.74	747.3	129.3
1998	丰水年	1229.9	154.4	0.16	189.9	30.0	0.70	753.6	118.9
1999	枯水年	1355.6	143.7	0.14	194.8	28.1	0.60	901.7	130.0
2000	枯水年	1441.2	120.0	0.10	172.9	17.5	0.40	1201.0	121.3
2002	枯水年	1421.4	107.2	0.03	152.4	4.2	0.10	4232.6	115.6
2004	枯水年	1363.4	59.8	0.01	81.5	1.2	0.05	4529.5	67.3

2.2.3 密云水库水电水足迹

水电水足迹计算结果见表 2。1988—2004 年平均水电水足迹为 127 m³/GJ。倘若不考虑效益分摊,按照传统的方法,将水库水足迹等同于水电水足迹,

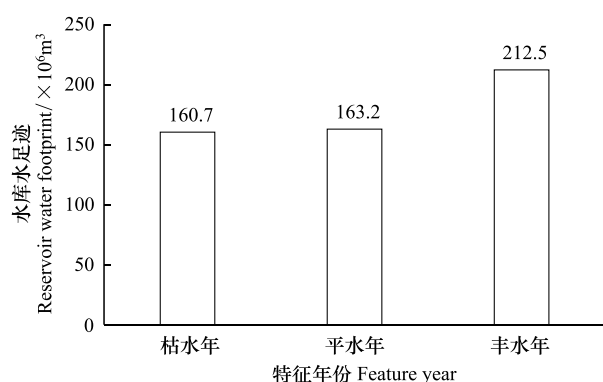


图1 不同特征年份水足迹比较

Fig.1 Comparison between different feature years

则水电水足迹为 $897.2 \text{ m}^3/\text{GJ}$, 是考虑效益分摊以后的水电水足迹的 7 倍。不考虑效益分摊明显会导致水电水足迹的高估。不考虑效益分摊的最大水电水足迹(1990 年)为 $237.7 \times 10^6 \text{m}^3$, 但考虑效益分摊后水电水足迹仅为 $38.8 \times 10^6 \text{m}^3$ 。不考虑效益分摊的最小水电水足迹(2004 年)为 $81.5 \times 10^6 \text{m}^3$, 但考虑效益分摊后水电水足迹仅为 $1.2 \times 10^6 \text{m}^3$, 仅为不考虑效益分摊时的 1%。

倘若不考虑效益分摊, 按照传统方法计算的单位水电水足迹在 1998 年以前变化不明显, 但 1998 年以后有明显增大。这是因为自 1998 年以后, 密云水库发电量逐步减少, 导致单位水库水足迹有明显增大的趋势。1998—2004 年最小值为 $613.5 \text{ m}^3/\text{GJ}$ (1988 年), 最大值达到 $4529.5 \text{ m}^3/\text{GJ}$ (2004 年), 平均水足迹为 $897 \text{ m}^3/\text{GJ}$ 。而按照改进方法计算的单位水电水足迹变化幅度较小, 在 $50\text{—}150 \text{ m}^3/\text{GJ}$ 之间波动, 单位水电水足迹最小为 $67.3 \text{ m}^3/\text{GJ}$ (2004 年), 最大为 $145.8 \text{ m}^3/\text{GJ}$ (1990 年), 平均水足迹为 $127 \text{ m}^3/\text{GJ}$ 。2004 年发电量发电仅有 500 万 kWh, 相应的分摊系数仅有 0.05。传统方法下单位水电水足迹最大的年份(2004 年), 应用改进方法后该年的单位水电水足迹反而成为最小。考虑效益分摊更能体现水电水足迹的真实情况。

3 讨论与结论

本文提出如下问题: 水库通过耗水而产生包括水电在内的多种生态系统服务功能的情况下水电水足迹应如何计算? 传统水足迹计算方法将水库水面的蒸发消耗量视为水电水足迹^[3-6, 11-16, 18]。本文通过引入分摊系数这一概念, 对多功能水库各项功能

类别按照其生态系统服务功能价值比进行分摊, 从而得到基于效益分摊系数的水足迹, 为水电水足迹核算提供了新的思路。

水力发电所提供的电力服务功能, 其直接受益者是水电开发者。通过效益分摊法, 发电效益占水库总效益比例越高, 产生的水足迹越大。由于水库提供的各项生态服务功能获益方不同, 通过效益分摊法有利于明确水资源消耗的责任人, 在未来的水库水资源定价与收费管理中具有一定的参考价值。但同时我们也认识到, 效益分摊的方法选择和数据获得不可避免的存在主观和不确定因素, 从而使得分摊结果不唯一。对此本文的目的只是提供一种可行的方法。而在具体操作中, 这一问题可以通过利益方参与、谈判共同确定分摊系数来解决。

此外, 有三方面问题还需要继续进行更为深入的研究。(1) 本研究仅限于计算水库水面蒸发耗水产生的水足迹, 不包括水库发电供应链上的水足迹, 例如在水库建造、运营、维护期间时产生的水足迹, 未来水库水足迹研究应该将这部分水足迹加入, 从而更全面量化水力发电全过程的水足迹。(2) 绝大多数水库库容会随时间而不断变化, 从而导致水库面积会有年内和年际的变化, 而且水电站的发电量也存在年际和年内的波动, 因此收集水库库容、面积及发电量数据时要统一时段和年份, 以保证计算结果的一致性。计算水电水足迹的年内变化也是很有价值的研究。(3) 对于水足迹的时间序列研究, 如何考虑累积影响也是一个重要的课题。对于密云水库等一些水库来说, 发电是初期水库建设的最主要驱动力, 尽管后由于上游来水减少等原因导致发电量减少, 但其对生态环境的影响却是巨大而深远的。如何将以上累积影响反映到分摊系数当中, 还值得进一步研究。

水力发电一直被认为是一种清洁的可再生能源, 许多国家把水力发电作为国家主要电力来源。但是水力发电同样存在着诸如蒸发耗水量大、水库淹没周边陆地导致生物多样性降低、库区移民安置困难等环境和社会问题。因此在未来的水库管理中, 不仅要考虑可见的水资源消耗(如水库的入流和出流), 同时也要考虑诸如“蒸发耗水”等不可见的水资源的消耗, 采取措施降低水库的蒸发损失量, 提高水库运行效率。

References:

- [1] Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Seyboth K, Matschoss P, Kadner S, Zwickel T, Eickemeier P, Hansen G, Schlömer S, Stechow C V. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2011.
- [2] Fthenakis V, Kim H C. Life-cycle uses of water in US electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14 (7): 2039-2048.
- [3] Gerbens-Leenes P W, Hoekstra A Y, van der Meer T. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics*, 2009, 68(4): 1052-1060.
- [4] Gleick P H. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. Oxford: Oxford University Press, Inc., 1993.
- [5] Herath I, Deurer M, Horne D, Singh R, Clothier B. The water footprint of hydroelectricity: a methodological comparison from a case study in New Zealand. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(14): 1582-1589.
- [6] Mekonnen M M, Hoekstra A Y. The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16(1): 179-187.
- [7] Hoekstra A Y. Virtual water trade: proceedings of the international expert meeting on virtual water trade // *Value of Water Research Report Series No12*. vol. 1- 100. Netherlands, Delft: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2003.
- [8] Liu J G, Zeng Z, Zhao Q B, Ma K, Zang C F. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Beijing: Science Press, 2012: 1-3.
- [9] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, Mekonnen M M. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London, UK: Earthscan, 2011.
- [10] Mekonnen M M, Hoekstra A Y. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption. *Value of Water Research Report Series No. 50*. In. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE, 2011.
- [11] Gleick P H. Environmental consequences of hydroelectric development: the role of facility size and type. *Energy*, 1992, 17 (8): 735-747.
- [12] Gleick P H. Water and energy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 1994, 19(1): 267-299.
- [13] Torcellini P A, Long N, Judkoff R. *Consumptive water use for US power production*. Washington, DC: National Renewable Energy Laboratory, 2003.
- [14] Pasqualetti M, Kelley S. *The water costs of electricity in Arizona*. Phoenix, Arizona: Arizona State University School of Geographical Sciences, 2008.
- [15] Arnøy S. *Water Footprint Approaches in Life Cycle Assessment: State-of-the-Art and a Case Study of Hydroelectric Generation in the Høyanger Area*. Norwegian University of Life Sciences (UMB), 2012.
- [16] Tefferi M E A. *The effect of Ethiopian hydropower reservoirs on Blue Nile River flow regime*. Norwegian University of Science and Technology, 2012.
- [17] Yesuf M B. *Impacts of Cascade Hydropower Plants on the flow of the River System and Water level in Lake Turkana in Omo-Ghibe Catchment*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2012.
- [18] Demeke T A, Marencé M, Munett A E. *Evaporation from reservoirs and the hydropower water footprint*. In: 16- 18 April; Africa, Addis Ababa, Ethiopia 2013.
- [19] Huang H L, Yan Z. Present situation and future prospect of hydropower in China. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(6/7): 1652-1656.
- [20] *The Medium and Long-term Plan of Renewable Energy Source Development*. Beijing: The National Development and Reform Committee, 2007.
- [21] Sun X C, Sun M R, Zhang X J, Wang J Z, Lu S J. *Study on New Technologies of Small Hydropower Operation Scheduling*, 2002.
- [22] Zhang Y, Niu L H, Fan Y. Calculation and analysis of the amount of water evaporation in Gezhouba reservoir after impoundment. *Hydrology*, 2000, 20(3): 33-35.
- [23] Ministry of water resources. *Small hydropower development in China In*. Beijing: Ministry of Water Resources, 2012.
- [24] Odum H T, Nilsson P. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley, 1996.
- [25] Odum H T, Wang F C. *Emergy Analysis of Environmental Value*. Florida: University of Florida, 1987.
- [26] Ulgiati S, Odum H, Bastianoni S. Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling*, 1994, 73(3/4): 215-268.
- [27] Wang J. *Research on the Mechanism of the Distribution and Transportation and the Bearing Capacity of the Total Phosphorus in Miyun Reservoir [D]*. Changchun: Jilin University, 2006.
- [28] Hu Y X, Zhou L D, Yan M C, Dong X B, Wu Z Q, Wei C S. The valuation and compensation policies suggestions of main capitals and services of Miyun reservoir. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(4): 497-506.
- [29] Gao H L. *Spatial and temporal variation of water surface evaporation in Miyun Reservoir*. Beijing Waterworks, 2010, (5): 28-30.
- [30] Cao R L, Li C J, Liu L Y, Wang J H, Yan G J. *Extracting Miyun reservoir's water area and monitoring its change based on a revised normalized different water index*. *Science of Surveying and Mapping*, 2008, 33(2): 158-160.

- [31] Fang X D, Wang X Y, Lü J. Remote sensing dynamic investigation of land use change in Miyun County. *Technology and Methodology*, 2007, 24: 84-90.
- [32] Gong Z N, Zhang Y R, Gong H L, Zhao W J. Evolution of wetland landscape pattern and its driving factors in Beijing. *Journal of Geography*, 2011, 66(1): 77-88.
- [33] Wang Z Y. Analysis on storage condition in Miyun reservoir. *Beijing Waterworks*, 2013, (2): 13-15.
- [34] China National Standardization Management Committee. Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting. Beijing: China National Standardization Management Committee, 2008.
- 参考文献:
- [8] 刘俊国, 曾昭, 赵乾斌, 马坤, 藏传富. 水足迹评价手册. 北京: 科学出版社, 2012: 1-3.
- [21] 孙绪成, 孙民荣, 张相菊, 王家忠, 卢世久. 小型水电站运行调度新技术研究. 日照: 莒县青峰岭水库管理处, 2002.
- [22] 张祎, 牛兰花, 樊云. 葛洲坝蓄水以后库区蒸发水量的计算与分析. *水文*, 2000, 20(3): 33-35.
- [27] 王静. 密云水库水体中总磷迁移转化机理及其承载能力研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [28] 胡艳霞, 周连第, 严茂超, 董孝斌, 吴志强, 魏长山. 北京密云水库生态经济系统特征、资产基础及功能效益评估. *自然资源学报*, 2007, 22(4): 497-506.
- [29] 高海伶. 密云水库库区水面蒸发时空变化规律分析. *北京水务*, 2010, (5): 28-30.
- [30] 曹荣龙, 李存军, 刘良云, 王纪华, 阎广建. 基于水体指数的密云水库面积提取及变化监测. *测绘科学*, 2008, 22(2): 158-160.
- [31] 房孝铎, 王晓燕, 吕洁. 密云县土地利用变化遥感动态监测研究. 技术方法研究, 2007, 24: 84-90.
- [32] 宫兆宁, 张翼然, 宫辉力, 赵文吉. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析. *地理学报*, 2011, 66(1): 77-88.
- [33] 王泽勇. 密云水库蓄水现状及成因分析. *北京水务*, 2013, (2): 13-15.
- [34] 中国国家标准化管理委员会. (GB/T 22482—2008) 水文情报预测规范. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2008.

附表 1 白河站逐年各月蒸发量/mm
Appendix 1 Evaporation in Baihe hydrological station

年份 Year	月份 Month												全年 Whole year
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1985	69.2	60.9	111.7	188.6	178.7	232.2	172.3	222.3	117.5	111.1	68.7	56.3	1589.5
1986	74.5	71.5	111.3	160.1	227.6	243.3	139.2	157.3	165.8	98.3	73	46.4	1568.3
1987	32.1	48.5	82.2	115.3	198	108.2	159.4	129.7	138.6	118.7	45.6	33.6	1209.9
1988	37.2	60.9	89	221.2	230.5	197.1	110.5	119.2	114.9	93.9	90.6	44.3	1409.3
1989	7.8	39.8	146	226.4	233.6	209.8	155.9	158.1	111.2	108.3	64.6	34.1	1495.6
1990	27.9	33.6	101	165.9	202.4	202.6	117.6	101.3	103.9	98.9	62	47	1264.1
1991	37.2	47.6	80.2	168.6	209.9	170.8	155.1	169.7	103.9	101.7	69.7	33.8	1348.2
1992	38.6	67.6	103.9	199	210.6	206.1	168.6	118	108.8	80.1	41.7	30	1373
1993	28.3	57.7	114	184	234	229	113	132	136	97	44.2	37.2	1406.4
1994	35.5	45.3	104.2	193.9	194	193.7	116	107.3	130.6	100.8	58.4	34.6	1314.3
1995	54.8	61.8	125.5	213	200	146.9	131.3	105.5	87.9	83.7	74.9	41.3	1326.6
1996	42.4	65.6	104.4	165.6	205.4	174	109.5	80.1	99.2	68.3	46.6	36.4	1197.5
1997	31.6	50.8	106.8	176.9	190	176.5	184.3	141.5	105.2	109.8	56.2	39	1368.6
1998	36	55.3	108.3	124.9	172.2	137.3	126.6	145.6	129.2	98.3	55.4	40.8	1229.9
1999	50.6	74.9	75.5	131.3	169.3	214.8	190.1	150.8	106.1	89.7	60.3	42.2	1355.6
2000	33.5	55.4	122.7	158.6	194	228.8	219.2	133.7	131.3	79.1	45.3	39.6	1441.2
2001	27.1	41.8	119.3	161	245	167	159.6	142.3	121.2	67.5	56.9	40.2	1348.9
2002	46.8	62.9	134.2	159.2	233.7	160.3	170.6	151.1	125.7	92.5	60.7	23.7	1421.4
2003	39	61	75.6	147.6	164.1	175.8	136.6	179.7	86.8	80.6	49.6	46.9	1243.3
2004	42.3	71	110.2	185.3	197.8	215.8	150.9	132.2	111.7	71.6	46.7	27.9	1363.4
平均 Average	39.62	56.695	106.3	172.32	204.54	189.5	149.315	138.87	116.775	92.495	58.555	38.765	1363.75

附表 2 密云水库降雨量、径流系数表

Appendix 2 Precipitation and runoff coefficient in Miyun reservoir

年份 Year	降雨量/(mm/a) Precipitation	径流系数 Runoff coefficient	径流量/(mm/a) Runoff	P/%	特征年份 Feature year	多年平均径流量/(mm/a) Multi-year average runoff
1985	443	0.11	48.7	-11.5	枯水年	42.0
1986	613	0.11	67.4	22.4	丰水年	
1987	562	0.12	67.4	22.5	丰水年	
1988	446	0.12	53.5	-2.8	平水年	
1989	471	0.08	37.7	-31.6	枯水年	
1990	571	0.13	74.2	34.8	丰水年	
1991	445	0.14	62.3	13.1	丰水年	
1992	431	0.1	43.1	-21.7	枯水年	
1993	321	0.08	25.7	-53.4	枯水年	
1994	526	0.19	99.9	81.5	丰水年	
1995	417	0.08	33.4	-39.4	枯水年	
1996	483	0.13	62.8	14.0	丰水年	
1997	270	0.09	24.3	-55.9	枯水年	
1998	452	0.14	63.3	14.9	丰水年	
1999	241	0.03	7.2	-86.9	枯水年	
2000	280	0.03	8.4	-84.7	枯水年	
2001	377	0.07	26.4	-52.1	枯水年	
2002	262	0.03	7.9	-85.7	枯水年	
2003	295	0.03	8.9	-83.9	枯水年	
2004	436	0.04	17.4	-68.3	枯水年	

附表 3 水库功能效益表/10⁸ 元

Appendix 3 Function value in Miyun reservoir

年代 Year	供水效益 Water supply value	防洪效益 Flood control value	发电效益 Hydroelectricity value	渔业效益 Fishery value	旅游效益 Travel value	总计 Total
1985	3.8	1	1.1	0.23	0.6	6.77
1986	3.8	1	1.1	0.23	0.6	6.77
1987	3.8	1	1.1	0.27	0.6	6.81
1988	3.7	1	1.1	0.3	0.6	6.68
1989	3.7	1	1.1	0.33	0.6	6.71
1990	3.7	1	1.1	0.36	0.6	6.74
1991	3.5	1	1.1	0.36	0.6	6.58
1992	3.5	1	1.1	0.36	0.7	6.68
1993	3.5	1	1.1	0.36	0.7	6.68
1994	3.5	1	1.1	0.36	0.7	6.68
1995	3.5	1	1.1	0.36	0.7	6.68
1996	3.2	1	1.1	0.36	0.7	6.36
1997	3.2	1	1.1	0.36	0.7	6.36
1998	3.2	1	1	0.34	0.8	6.34
1999	3.2	1	0.9	0.34	0.8	6.24
2000	3.2	1	0.6	0.34	0.8	5.94
2001	3.2	1	0.3	0.34	0.8	5.64
2002	3.2	1	0.15	0.34	0.8	5.49
2003	3.2	1	0.1	0.34	0.8	5.44
2004	2.5	1	0.07	0.34	0.8	4.71

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Landscape sustainability and landscape sustainability science ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)
- A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies
..... ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)
- Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants
..... LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)
- Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)
- Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants
..... PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

- Responses of CH₄ uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China
..... CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)
- Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern
marginal zones of the Tarim Basin, China GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyp, et al (2509)
- Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic
productivity classification ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)
- Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata*
plantations YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)
- Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids
..... WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)
- Combined effects of elevated O₃ concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation
of winter wheat SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)
- Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat
..... HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)
- Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation
..... ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)
- Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)
- A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation
..... DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)
- Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea
..... LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)
- The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes
in Poyang Lake YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)
- The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration
..... YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)
- The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)
- Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and
its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: Alternanthera)
..... LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)
- Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)
- Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)
- Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)
- The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)
- Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)
- Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)
- Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)
- Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)
- Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ZHANG Lamei, LIU Xinping, ZHAO Xueyong, et al (2737)
- Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)
- Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

- A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)
- A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 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

本期责任副主编 祖元刚

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 34 卷 第 10 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 10 (May, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元