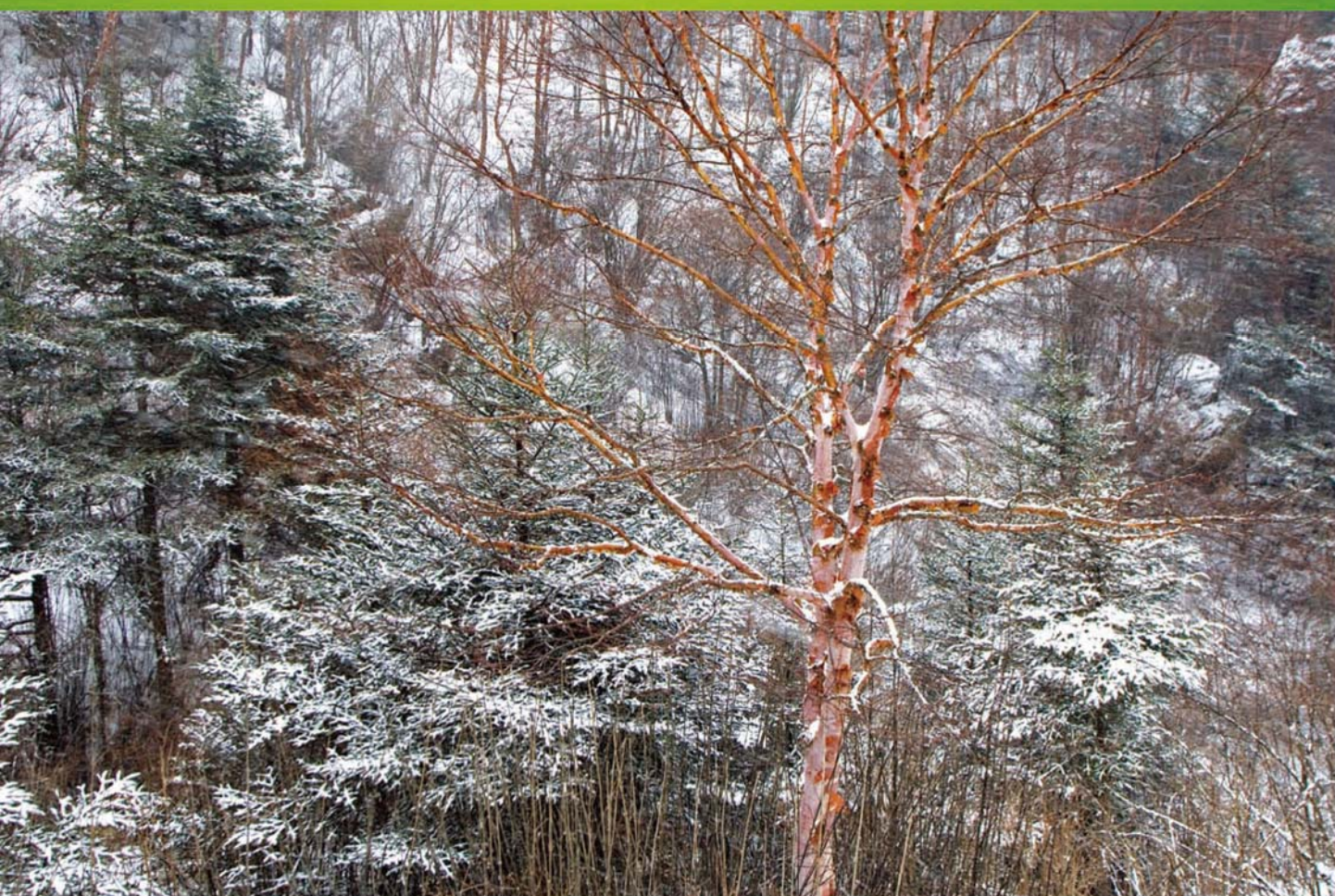


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

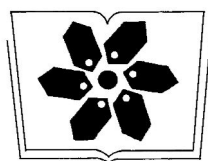
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第8期 Vol.34 No.8 **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 8 期 2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 海洋浮游纤毛虫生长率研究进展..... 张武昌,李海波,丰美萍,等 (1897)
- 城市森林调控空气颗粒物功能研究进展..... 王晓磊,王 成 (1910)
- 雪地生活跳虫研究进展..... 张 兵,倪 珍,常 亮,等 (1922)

个体与基础生态

- 黄河三角洲贝壳堤岛叶底珠叶片光合作用对 CO_2 浓度及土壤水分的响应.....
..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (1937)
- 米槠人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征.....
..... 康根丽,杨玉盛,司友涛,等 (1946)
- 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态..... 王宝琦,刘志理,戚玉娇,等 (1956)
- 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响 平 川,王传宽,全先奎 (1965)
- 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征 程立平,刘文兆,李 志 (1975)
- 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响..... 张香凝,孙向阳,王保平,等 (1984)
- 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响..... 赵 顺,黄秋娴,李玉灵,等 (1994)
- 漓江水陆交错带典型立地根系分布与土壤性质的关系..... 李青山,王冬梅,信忠保,等 (2003)
- 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系..... 田 媛,塔西甫拉提·特依拜,李 彦,等 (2012)
- 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响..... 陶巧静,付 涛,项锡娜,等 (2020)
- 岩溶洞穴微生物沉积碳酸钙——以贵州石将军洞为例..... 蒋建建,刘子琦,贺秋芳,等 (2028)
- 桂东北稻区第七代褐飞虱迁飞规律及虫源分析..... 齐会会,张云慧,蒋春先,等 (2039)

种群、群落和生态系统

- 鄱阳湖区灰鹤越冬种群数量与分布动态及其影响因素..... 单继红,马建章,李言阔,等 (2050)
- 雪被斑块对川西亚高山两个森林群落冬季土壤氮转化的影响..... 殷 睿,徐振锋,吴福忠,等 (2061)
- 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局 陈 云,王海亮,韩军旺,等 (2068)
- 2012 年夏季挪威海和格陵兰海浮游植物群落结构的色素表征 王肖颖,张 芳,李娟英,等 (2076)
- 云南花椒园中昆虫群落特征的海拔间差异分析..... 高 鑫,张立敏,张晓明,等 (2085)
- 人工湿地处理造纸废水后细菌群落结构变化..... 郭建国,赵龙浩,徐 丹,等 (2095)
- 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例 张 华,张 兰,赵传燕 (2102)

景观、区域和全球生态

- 秦岭重点保护植物丰富度空间格局与热点地区…………… 张殷波,郭柳琳,王 伟,等 (2109)
- 太阳辐射对黄河小浪底人工混交林净生态系统碳交换的影响…………… 刘 佳,同小娟,张劲松,等 (2118)
- 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配 …………… 杨玉姣,陈云明,曹 扬 (2128)
- 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势…………… 田大伦,李雄华,罗赵慧,等 (2137)

资源与产业生态

- 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估 …………… 吴燕明,吕高明,周 航,等 (2146)

城乡与社会生态

- 北京市主要建筑保温材料生命周期与环境经济效益评价 …………… 朱连滨,孔祥荣,吴 宪 (2155)
- 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响…………… 宋英石,李 锋,王效科,等 (2164)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 冷杉红桦混交林雪——冷杉是松科的一属,中国是冷杉属植物最多的国家,约 22 种 3 个变种。冷杉常常在高纬度地区至低纬度的亚高山至高山地带的阴坡、半阴坡及谷地形成纯林,或与性喜冷湿的云杉、落叶松、铁杉和某些松树及阔叶树组成针叶混交林或针阔混交林。冷杉具有较强的耐阴性,适应温凉和寒冷的气候,土壤以山地棕壤、暗棕壤为主。川西、滇北山区的冷杉林往往呈混交状态,冷杉红桦混交林为其中重要的类型。雪被对冷杉林型冬季土壤氮转化影响的研究对揭示高山森林对气候变化的响应及其适应机制提供重要的理论支持。

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/stxb201306171720

张华, 张兰, 赵传燕. 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例. 生态学报, 2014, 34(8): 2102-2108.

Zhang H, Zhang L, Zhao C Y. Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 2102-2108.

极端干旱区尾间湖生态需水估算 ——以东居延海为例

张 华*, 张 兰, 赵传燕

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要:以东居延海为研究对象, 利用遥感技术目视解译 ETM 影像, 提取东居延海 2002—2012 年各月湖面面积。通过水文保证率法确定不同保证率下的湖面面积, 结合额济纳旗气象站观测的风速、相对湿度、气温、水汽压、降水量等气象数据估算湖泊蒸发耗水量和湖泊降水补给量, 根据湖泊渗漏系数估算湖泊渗漏量, 最后运用水平衡原理构建湖泊生态需水模型, 估算了东居延海在湖面面积保证率为 50%、75%、95% 时各月月均和年均生态需水量, 其中年均生态需水量分别为 1.78×10^8 、 1.60×10^8 、 $1.03 \times 10^8 \text{ m}^3$, 约占莺落峡年均径流量的 9.66%、8.66%、5.59%, 约占正义峡年均径流量的 16.27%、14.60%、9.42%, 约占狼心山年均径流量的 30.81%、27.65%、17.84%。

关键词:东居延海; 生态需水; 湖面蒸发; 渗漏量; ETM 影像

Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai

ZHANG Hua*, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan

College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: With population growth, industrialization and expansion of irrigated agriculture, in some areas over-exploitation of lake resources, and disruption of the balance of lake ecosystems, have caused problems within lakes such as drying, shrinkage and serious water pollution. This can lead to degradation of the ecological environment around the lake, land desertification, and salinity intensification. Therefore, it is critical to maintain the balance of lake ecosystems. In this paper taking East Juyanhai as the study area we use remote sensing technology and visual interpretation of ETM images of the lake area, and extract data for each month from 2002 to 2012. We determined the lake area using the hydrological guarantee rate method, and used meteorological data on wind speed, relative humidity, air temperature, vapor pressure, and precipitation from the Ejinaqi weather station. We determined the lake leakage coefficient, and constructed a lake ecological water requirement model by applying the water balance principle, conducting preliminary estimates for each month, and determining the annual average ecological water requirement for different guarantee rates in East Juyanhai.

The results were as follows: in January to March each year, the lake area in East Juyanhai remained unchanged. In April, the lake area began to decrease. The lake area reached a minimum in July, and the lake area gradually increased in August. After October, the lake area remained stable. The evaporation water consumption of East Juyanhai was highest from May to August, and maximum evaporation was in June. The average annual evaporation of water consumption under the

基金项目:国家自然科学基金资助项目(91025015); 甘肃省青年科技基金计划(1107RJYA063); 西北师大青年教师科研能力提升计划骨干项目(NWNU-LKQN-11-12)

收稿日期: 2013-06-17; 修订日期: 2013-11-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanghua@nwnu.edu.cn

guarantee rates of 50%, 75%, 95% was $1.7910 \times 10^8 \text{ m}^3$, $1.6072 \times 10^8 \text{ m}^3$, and $1.0373 \times 10^8 \text{ m}^3$, respectively. The leakage of East Juyanhai was reasonably low; the average annual leakage under the guarantee rates of 50%, 75%, 95% was $15.0788 \times 10^4 \text{ m}^3$, $13.5314 \times 10^4 \text{ m}^3$, and $8.7334 \times 10^4 \text{ m}^3$, respectively. Precipitation was mainly concentrated in June to October, and the average annual precipitation recharge under the guarantee rates of 50%, 75%, 95% was $118.1083 \times 10^4 \text{ m}^3$, $105.9882 \times 10^4 \text{ m}^3$, $68.4062 \times 10^4 \text{ m}^3$, respectively. The average annual ecological water requirement of East Juyanhai under the guarantee rates of 50%, 75%, 95% was $1.7807 \times 10^8 \text{ m}^3$, $1.5980 \times 10^8 \text{ m}^3$, and $1.0314 \times 10^8 \text{ m}^3$, respectively; accounted for about 9.66%, 8.66, and 5.59%, respectively, of the average annual runoff of Yingluoxia; about 16.27%, 14.60%, and 9.42%, respectively, of the average annual runoff of Zhengyixia; and about 30.81%, 27.65%, 17.84%, respectively, of the average annual runoff of Langxinshan.

The results showed that: under the minimum guaranteed rate, to maintain the East Juyanhai lake area (23.94 km^2), prevent the lake from shrinking, and ensure the surrounding environment is not severely degraded, the minimum ecological water requirement is $1.03 \times 10^8 \text{ m}^3$; under the appropriate guaranteed rate, to maintain the East Juyanhai lake area (37.09 km^2) and initially improve the surrounding ecological environment, the minimum ecological water requirement is $1.60 \times 10^8 \text{ m}^3$; under the ideal guaranteed rate, to maintain the East Juyanhai lake area (41.33 km^2) and ensure that the surrounding ecological environment is greatly improved, the minimum ecological water requirement is $1.78 \times 10^8 \text{ m}^3$.

This research can provide the basis for rational allocation of Heihe River Basin's water resources. According to the results on ecological water requirements at different guarantee rates, management schedules for East Juyanhai's water resources must account for the relative proportions of upper, middle and lower runoff to ensure the rational allocation of water resources in the Heihe River Basin. The results of the study are also a valuable reference for the restoration and reconstruction of East Juyanhai's surrounding vegetation.

Key Words: East Juyanhai; ecological water requirement; evaporation of the lake; leakage; ETM images

湖泊是陆地上重要的水体,主要通过入湖河川径流、湖面降水和地下水而获得水量,具有生态系统良性循环、改善局部气候、抑制沙尘暴和维护生物多样性等多种功能。近年来,人类对湖泊资源的超载开采和不合理利用而导致湖泊不断干枯、萎缩和水质污染,从而造成湖泊周边植被退化、生物多样性减少、土地沙漠化等生态环境问题。因此,迫切需要研究湖泊生态需水,协调人类与湖泊资源的关系,以实现水资源科学配置和持续利用。

国外学者较早意识到保障湖泊生态需水的重要性,并对许多湖泊进行了研究。David 等认为,湖泊水量必须保持在一定范围内,才能保证湖泊生态系统结构和功能的健康^[1]。Abbaspour 等以伊朗的乌尔米耶湖为例,通过确定生态、水质和水量 3 个环境变量指标,研究了湖泊生态需水量^[2]。Wharton 通过建立数值模型,对维持珊顿公园 Jualbup 湖一定水位的需水量进行了预测^[3]。墨累-达令流域管理局对巴望达令河上游麦宁迪湖的环境需水进行评估,以应对新的环境问题和实施环境调水方案^[4]。目前国

内学者对湖泊生态需水的研究包括乌梁素海^[5,6]、卧龙湖^[7]、南四湖^[8]、洞庭湖^[9]、红碱淖湖^[10]、鄱阳湖^[11]、乌古伦湖^[12]、艾比湖^[13]等。这些研究大多集中在湿润半湿润地区,干旱区内陆河尾间湖生态需水研究较少。

黑河下游为生态需水研究的热点区域,已有的研究集中在以植被类型或生态系统类型为单元估算蒸散量,进一步计算整个区域的生态需水^[14-16]。东居延海作为黑河下游重要的水资源库,其水量的多寡对维系下游的生态系统的良性循环,遏制沙尘暴,改善盐碱化和荒漠化具有重要作用,但尚未有学者对其生态需水进行研究。目前,国内外对湖泊生态需水的概念、内涵还没有形成统一的定义。本文估算的东居延海生态需水是指维持东居延海适宜的水域面积,防止湖泊萎缩和严重退化,保护和恢复周边区域生态环境所必需消耗的水量,主要是湖泊水面蒸发和湖泊渗漏。本研究能为实现黑河流域水资源合理配置和维持东居延海湖泊生态功能提供依据,为制定流域生态恢复方案提供科学参考。

1 研究区概况

黑河在狼心山分为东西两河,分别注入尾间湖东居延海(苏古淖尔)、西居延海(噶顺淖尔)和天鹅湖等。本文研究区为东居延海,经纬度位置 $42^{\circ}10' - 42^{\circ}20' \text{ N}$, $101^{\circ}12' - 101^{\circ}19' \text{ E}$,行政区划上隶属于内蒙古自治区额济纳旗(图1),位于巴丹吉林沙漠西北边缘。终年受蒙古气团控制,属温带大陆性极端干旱气候。光热充足、蒸发量大、降水稀少。根据额济纳旗气象站 1961—2011 年气象资料,多年平均气温 8.9°C ,极端最高气温 40.6°C ,极端最低气温 -35.3°C ,日温差一般为 $14 - 17^{\circ}\text{C}$,最高达 34°C 。多年平均降水量 35.1 mm ,年内降水量 $60 - 70\%$ 集中在 7—9 月,多年平均蒸发量 3317.1 mm 。

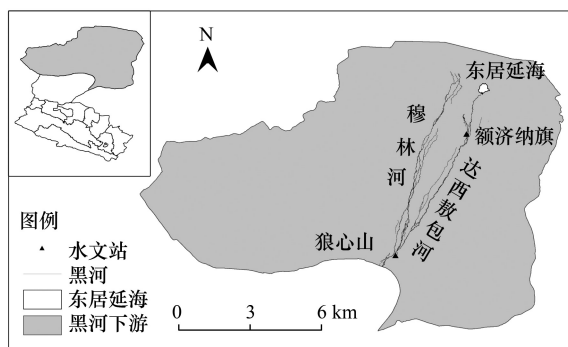


图1 东居延海地理位置示意图

Fig.1 The geographical position of East Juyanhai

东居延海是额济纳绿洲生态系统最重要的支撑点,1927—1932 年中瑞考察队测量水域面积在 30 km^2 以上,北部最大水深 4.12 m ,1958 年航片测算水域面积为 35.5 km^2 ^[17]。但自 20 世纪 60 年代以来,由于黑河中游地区耗水量增加,补给下游额济纳旗的黑河水量不断减少,造成下游绿洲荒漠化迅速发展,生态环境急剧退化,最终导致 1992 年东居延海彻底干涸。2000 年开始对黑河流域进行水资源统一调度,2002 年,经过调度的黑河水到达东居延海,水域面积最大达到 23.5 km^2 。到 2012 年,由 ETM 影像获得的东居延海水域面积最高达到 55.96 km^2 ,已经连续 8 年不干涸,周边生态环境得到较大改善。

2 数据与模型

2.1 数据

遥感数据为 2002—2012 年各月的 Landsat 7 ETM+影像,来源为美国地质勘察局(United States

Geological Survey, USGS),轨道号为 133—31,影像云量小于 30%,该数据具有较好的时间连续性。先对遥感影像进行简单几何校正与配准预处理,采用目视解译法提取湖泊多边形面域,利用 ArcGIS 9.3 对其进行投影,再计算出湖泊面积。2003 年 5 月 31 日以后,获取的数据由于 Landsat 7 ETM+机载扫描行校正器(SLC)故障有条带,本文利用文献 18 的方法对数据条带进行修复,修复后的影像误差小,精度高^[18]。

气象数据采用距东居延海最近的额济纳旗气象站 2002—2012 年各月平均风速、相对湿度、气温、水汽压、降水量,来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。因湖内平均风速比陆地约大 $2 - 3 \text{ m/s}$,湖内静风率比陆地约少一半以上,所以湖面风速采用气象站风速加 3 的处理方法,即 $W = W' + 3W'$ 为地面平均风速(m/s)^[19]。

莺落峡是黑河上游与中游的界限,正义峡是中游与下游的界限,黑河在狼心山分为东河与西河,这几个水文站点是黑河干流的控制性站点。因此采用莺落峡、正义峡和狼心山 2002—2012 年径流量数据分析其与东居延海生态需水的关系。该数据来源于黑河流域管理局。

2.2 生态需水估算模型

东居延海属于尾间湖,根据水量平衡原理,其生态需水量应保证补充湖泊水面蒸散的耗水量和湖泊渗漏需水量,故东居延海生态需水量等于水面蒸发耗水量、湖泊渗漏量与降水补给量之差,计算式如下:

$$V(t) = E(t) + Q(t) - P(t) \quad (1)$$

式中, $V(t)$ 为 t 时段内湖泊生态需水量(m^3); $E(t)$ 为 t 时段内湖泊水面蒸发耗水量(m^3); $Q(t)$ 为 t 时段内湖泊渗漏需水量(m^3); $P(t)$ 为 t 时段内湖泊降水补给量(m^3)。

2.2.1 湖泊面积

运用月保证率设定法,计算不同保证率下湖泊面积。

首先,将 ETM 影像解译获得的东居延海 2002—2012 年各月湖面面积,按照由大到小的顺序排列;其次,对湖面面积进行分组,确定组数、组距和各组的频数,计算各组的频率;然后,根据湖泊结构和功能选择适宜的保证率(50%、75%、95%);最后,计算不

同保证率下对应的月及多年平均情况下的各月湖泊面积^[20]。

2.2.2 湖面蒸发耗水量

水面蒸发量计算式如下:

$$E(t) = E_a \cdot A(t) \quad (2)$$

式中, E_a 为单位面积水面蒸发量 (mm/d); $A(t)$ 为 t 时段内湖泊的面积 (m^2)。

其中, E_a 是运用李万义建立的水面蒸发量计算模型来确定, 模型如下^[21]:

$$E_a = [0.1 + 0.24(1 - U^2)^{0.5}](e_0 - e_{150})W^{[0.85W/(W+2)]} \quad (3)$$

式中, e_0 为水面饱和水汽压 (hpa); e_{150} 为水面上空 1.5 m 处水汽压 (hpa); W 为水面以上 1.5 m 处风速 (m/s); U 为相对湿度, 以小数计。

饱和水汽压 e_0 可按马格努斯 (Magnus) 经验式计算^[20]:

$$e_{0\text{水}} = 6.11 \times 107.45t / (235 + t) \quad (4)$$

$$e_{0\text{冰}} = 6.11 \times 109.5t / (265 + t) \quad (5)$$

式中, $e_{0\text{水}}$ 为气温为 t 时对应的水面饱和水汽压 (hpa); $e_{0\text{冰}}$ 为气温为 t 时对应的冰面饱和水汽压 (hpa)。

将式(4)或(5)代入(3)式, 得到水面蒸发计算模型的具体表达式如下:

$$E_a = [0.1 + 0.24(1 - U^2)^{0.5}](6.11 \times 10^{7.45t/(235+t)} - e_{150})W^{[0.85W/(W+2)]} \quad (6)$$

$$\text{或 } E_a = [0.1 + 0.24(1 - U^2)^{0.5}](6.11 \times 10^{9.5t/(265+t)} - e_{150})W^{[0.85W/(W+2)]} \quad (7)$$

东居延海冬季寒冷, 湖水每年从 11 月中旬开始结冰, 1 月形成稳定的冰盖, 次年 3 月中旬出现浮冰。因此, 1 月、2 月和 12 月采用式(5)计算饱和水汽压, 其他月份采用式(4)计算饱和水汽压。所以, 3—11 月的湖泊水面蒸发量用式(6)进行计算, 12—翌年 2 月的湖泊水面蒸发量用式(7)进行计算。

2.2.3 渗漏量

湖泊渗漏需水量为湖泊的渗漏系数与湖泊面积乘积^[22], 其表达式为:

$$Q(t) = k \cdot A(t) \quad (8)$$

式中, k 为隔水岩层 (亚粘土层) 渗漏系数, 经验值为 0.01 (mm/d)^[23]。

2.2.4 降水补给量

$$P(t) = p \times A(t) \quad (9)$$

式中, p 为单位面积降水量 (mm)。

3 东居延海生态需水估算

3.1 不同保证率下湖面面积计算

湖泊面积保证率是指在某一时段内, 湖面面积大于或小于某一界限的频率的总和, 用于说明该种状况出现的可靠程度。图 2 为 ETM 影像解译获得的东居延海 2002—2012 年各月湖面实际面积, 选择 50% 为理想保证率, 75% 为适宜保证率, 95% 为最小保证率^[24], 按 2.2.1 方法计算出保证率分别为 50%、75%、95% 的各月湖面面积 (表 1)。

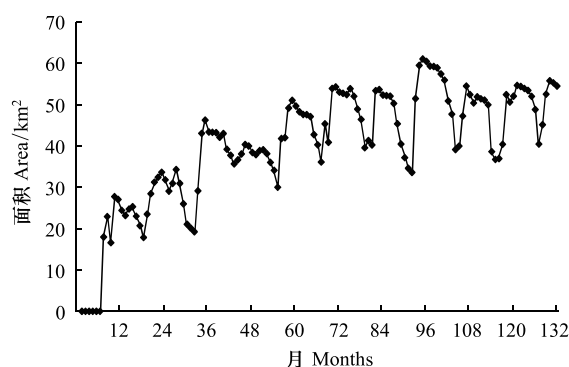


图 2 东居延海 2002—2012 年各月湖面实际面积

Fig.2 The actual surface area of each month from 2002 to 2012 of East Juyanhai

3.2 蒸发耗水量计算

依据气象数据, 由式(3)—(6)或(7)计算出东居延海 2002—2012 年各月月均蒸发量, 再由式(2)得到不同保证率的各月月均蒸发量 (图 3)。

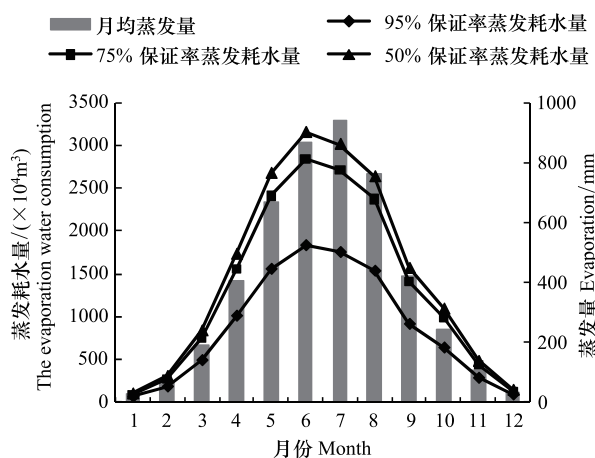


图 3 东居延海 2002—2012 年各月月均蒸发量和不同保证率的各月月均蒸发耗水量

Fig.3 The average monthly evaporation from 2002 to 2012 and the evaporation water consumption under different guarantee rates of East JuYanHai

3.3 渗漏量计算

于湖面面积,由表 1 和式(8)得到东居延海在不同保
因东居延海是浅水湖泊,湖底面积可近似地等 证率下月均、年均渗漏量(表 2)。

表 1 东居延海不同保证率下各月湖面面积
Table 1 The surface area of each month under different guarantee rates of East Juyanhai

保保证率/% Guarantee rates	面积 Area /km ²						
	1 月 Jan	2 月 Feb	3 月 Mar	4 月 Apr	5 月 May	6 月 Jun	7 月 Jul
50	44.1127	44.5336	44.6669	43.1829	40.2870	36.4798	32.2325
75	39.5859	39.9636	40.0832	38.7515	36.1529	32.7363	28.9248
95	25.5493	25.7931	25.8703	25.0107	23.3335	21.1285	18.6685

保证率/% Guarantee rates	面积 Area /km ²					
	8 月 Aug	9 月 Sep	10 月 Oct	11 月 Nov	12 月 Dec	全年 Annual
50	34.7256	37.5723	45.7825	46.8811	45.5597	41.3347
75	31.1622	33.7167	41.0844	42.0703	40.8845	37.0930
95	20.1125	21.7612	26.5164	27.1527	26.3874	23.9403

表 2 东居延海在不同保证率下的渗漏量
Table 2 The leakage of under different guarantee rates of East JuYanHai

保保证率/% Guarantee rates	渗漏量 Leakage /10 ⁴ m ³						
	1 月 Jan	2 月 Feb	3 月 Mar	4 月 Apr	5 月 May	6 月 Jun	7 月 Jul
50	1.3675	1.2469	1.3847	1.2955	1.2489	1.0944	0.9992
75	1.2272	1.1190	1.2426	1.1625	1.1207	0.9821	0.8967
95	0.7920	0.7222	0.8020	0.7503	0.7233	0.6339	0.5787

保证率/% Guarantee rates	渗漏量 Leakage /10 ⁴ m ³					
	8 月 Aug	9 月 Sep	10 月 Oct	11 月 Nov	12 月 Dec	全年 Annual
50	1.0765	1.1272	1.4193	1.4064	1.4124	15.0788
75	0.9660	1.0115	1.2736	1.2621	1.2674	13.5314
95	0.6235	0.6528	0.8220	0.8146	0.8180	8.7334

3.4 降水补给量计算

式(9)计算出东居延海在不同保证率下降水补给量
利用额济纳旗气象站观测的月降水量计算出 (表 3)。
2002—2012 年各月月均降水量和年均降水量,再由

表 3 东居延海在不同保证率下的湖面降水补给量
Table 3 The precipitation of different guarantee rates of East JuYanHai

保保证率/% Guarantee rates	降水量 Precipitation /10 ⁴ m ³						
	1 月 Jan	2 月 Feb	3 月 Mar	4 月 Apr	5 月 May	6 月 Jun	7 月 Jul
50	2.2858	0.5668	3.3703	4.3968	8.4969	18.0078	19.4567
75	2.0513	0.5086	3.0245	3.9456	7.6250	16.1599	17.4601
95	1.3239	0.3283	1.9520	2.5465	4.9213	10.4298	11.2690

保证率/% Guarantee rates	降水量 Precipitation /10 ⁴ m ³					
	8 月 Aug	9 月 Sep	10 月 Oct	11 月 Nov	12 月 Dec	全年 Annual
50	20.5828	16.4635	20.6854	0.9376	2.8578	118.1083
75	18.4707	14.7741	18.5627	0.8414	2.5646	105.9882
95	11.9212	9.5354	11.9806	0.5431	1.6552	68.4062

3.5 生态需水量

漏量、降水补给量代入(1)式中,得到东居延海不同
将保证率为 50%、75%、95%的蒸发耗水量、渗 保证率的各月月均和年均生态需水量(表 4)。

表 4 东居延海生态需水量计算结果

Table 4 The ecological water requirement calculations of East Juyanhai

保证率/% Guarantee rates	生态需水量 Ecological water requirement /10 ⁸ m ³						
	1 月 Jan	2 月 Feb	3 月 Mar	4 月 Apr	5 月 May	6 月 Jun	7 月 Jul
50	0.0111	0.0316	0.0847	0.1744	0.2687	0.3157	0.3015
75	0.0099	0.0283	0.0760	0.1565	0.2412	0.2833	0.2706
95	0.0064	0.0183	0.0491	0.1010	0.1556	0.1828	0.1746

保证率/% Buarantee rates	生态需水量 Ecological water requirement /10 ⁸ m ³						
	8 月 Aug	9 月 Sep	10 月 Oct	11 月 Nov	12 月 Dec	全年 Annual	
50	0.2636	0.1566	0.1085	0.0492	0.0152	1.7807	
75	0.2366	0.1405	0.0973	0.0441	0.0136	1.5980	
95	0.1527	0.0907	0.0628	0.0285	0.0088	1.0314	

4 结论与讨论

东居延海自 2002 年 7 月恢复水域以来,虽然有两次干涸,但湖面面积总体在不断扩大(图 2)。东居延海地区蒸发强烈,年均湖面蒸发耗水量大(图 3),在保证率为 50%、75%、95% 下的年均蒸发耗水量分别为 1.79×10^8 、 1.61×10^8 、 1.04×10^8 m³,年均渗漏量分别为 15.08×10^4 、 13.53×10^4 、 8.73×10^4 m³(表 2),年均降水补给量分别为 118.11×10^4 、 105.99×10^4 、 68.41×10^4 m³(表 3),年均生态需水量分别为 1.78×10^8 、 1.60×10^8 、 1.03×10^8 m³(表 4)。

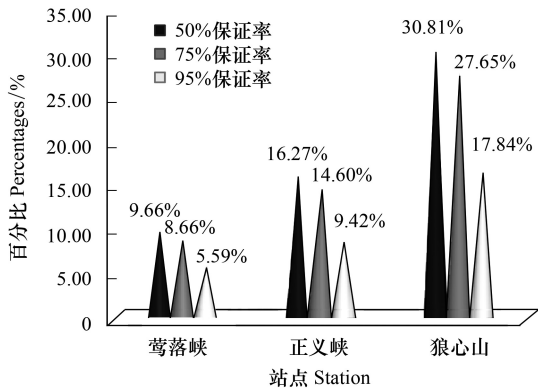


图 4 东居延海年均生态需水量与各水文站年径流量的百分比

Fig. 4 The annual ecological water requirement of East Juyanhai with percentages of the annual runoff of each hydrological station

根据莺落峡、正义峡、狼心山年径流资料,得到各水文站 2002—2012 年年均径流量分别为 18.44×10^8 、 10.95×10^8 、 5.78×10^8 m³。东居延海在保证率为 50%、75%、95% 下的年均生态需水量分别约占莺落峡年均径流量的 9.66%、8.66%、5.59%,约占正义峡年均径流量的 16.27%、14.60%、9.42%,约占狼心山

年均径流量的 30.81%、27.65%、17.84%(图 4)。

生态需水量估算结果表明:在最小保证率 95% 下,维持东居延海 23.94 km² 的湖泊面积,使湖泊不再萎缩,周边生态环境不严重退化的最小生态需水量为 1.03×10^8 m³;在适宜保证率 75% 下,维持东居延海 37.09 km² 的湖泊面积,使其周边生态环境得到初步改善的生态需水量为 1.60×10^8 m³;在理想保证率 50% 下,维持东居延海 41.33 km² 的湖泊面积,使其周边生态环境得到较大改善的生态需水量为 1.78×10^8 m³。黑河径流量对东居延海及额济纳绿洲有直接的影响,东居延海及其周边生态环境对黑河径流量存在依赖关系。因此,在不同时期,应根据东居延海生态需水量占黑河流域上、中、下游径流量的比例合理分配水资源。

本文利用遥感技术目视解译 ETM 影像提取东居延海 2002—2012 年各月湖面面积,通过水文保证率法确定不同保证率下的湖面面积,结合额济纳旗气象站观测的气象数据计算湖泊蒸发耗水量和降水补给量,根据湖泊渗漏系数估算湖泊渗漏量,并运用水平衡原理构建湖泊生态需水模型,对东居延海的生态需水量进行了初步估算。能够为实现黑河流域水资源的科学管理、合理配置和持续利用提供科学依据,对恢复和重建东居延海周边植被具有一定的参考价值。

References:

[1] Tilley D R, Badrinarayanan H, Rosati R, Son J. Constructed wetlands as recirculation filters in large-scale shrimp aquaculture. Aquacultural Engineering, 2002, 26(2): 81-109.

[2] Abbaspour M, Nazaridoust A. Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach. International Journal of Environmental Studies, 2007, 64(2):

- 161-169.
- [3] Rockwater Pty Ltd. Water Requirements for Maintaining Level of Lake Jualbup. Western Australia: Rockwater Pty Ltd, 2005.
- [4] MDBA (Murray-Darling Basin Authority). Assessment of the environmental water requirements for the Barwon-Darling River upstream of Menindee Lakes. Canberra: Murray-Darling Basin Authority, 2012.
- [5] Wang X K, Zhao T Q, Ouyang Z Y, Fan X Y. Researches on ecological water demand of Wuliangsuhai Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2124-2129.
- [6] Wang Y M, Li W Q, Chang J X, Wan F, Huang Q. Study on ecological filling water volume of Wuliangsuhai Lake. *Journal of Northwest A and F University*, 2011, 39(8): 224-228.
- [7] Wang T L, Yang P Q, Zhou L F, Zhou L L. The research on minimum ecological water requiremen for Wolong Lake in Liaoning province. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(6): 191-193.
- [8] Xu Z X, Wang H, Dong Z C, Tang K W. Minimum ecological water requirement for Nansi Lakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(7): 784-788.
- [9] Xie Y H, Li F, Chen X S. Study on the minimum ecological water demand for the Dongting Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(1): 64-70.
- [10] Tang K W, Wang H, Liu C. Preliminary study of Hongjiannao Lake's variation and ecological water demand. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(3): 304-309.
- [11] Liu H Y, Wang Y W, Guan X Z. Research on suitable ecological water level in Poyang Lake wetland: a case study in Xingzi Hydrological Station. *Journal of Nanchang Institute of Technology*, 2012, 31(3): 46-50.
- [12] Liang L L, Wang F, Wang D X, Wang H. Research on the lowest ecological water level and ecological water quantity of Ulungur Lake. *Advances in Water Science*, 2011, 22(4): 470-478.
- [13] Liu Y Q, Wang X F, Wu Y. Study on the lowest ecological water level of Aiby Lake. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 2008, 22(10): 111-114.
- [14] Wang G X, Zhang Y, Liu G M, Cheng Y F, Hu H C. Water demand evaluation of riverside ecosystem in arid inland river basin: the case of Heihe River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2467-2476.
- [15] Zhao W Z, Chang X L, He Z B, Zhang Z H. Research of the vegetation ecological water requirement of Egina oasis. *Science In China Ser. D Earth Sciences*, 2006, 36(6): 559-566.
- [16] Jia Y H. Study on the Spatial Distribution of Ecological Water Requirement in the Groundwater-fluctuating Belt of the Lower Reaches of Heihe River [D]. *Journal of Lanzhou University*, 2008: 18-32.
- [17] Chen L, Yang E, Li L, Bao H Z. The ecological function and value of East Juyanhai wetland. *The People of Yellow River*, 2011, 33(2): 84-85.
- [18] Qian L X, Li S F, Cui H S, Zhang Y L. Image quality evaluation of Landsat 7 ETM SLC-OFF based on a single image local regression model retrieved. *Geography and Geo-Information Science*, 2012, 28(5): 21-24.
- [19] Yang P, Cao S K, Meng C H, Wang C Y. Calculation of Qinghai Lake evaporation. *Journal of Qinghai Normal University: Natural Science Edition*, 2010, 26(3): 75-79.
- [20] Cui B S, Zhao X, Yang Z F. Eco-hydrology-based calculation of the minimum ecological water requirement for lakes. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1788-1795.
- [21] Li W Y. A study on the generalized model of water surface evaporation. *Journal of Hydrology*, 2000, 20(4): 13-17.
- [22] Liu J L, Yang Z F. A study on the calculation methods of the minimum eco-environmental water demand for lakes. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(5): 604-609.
- [23] Qiao M Y, Sun L, Guo Y C, Wang Q, Zhang H L. A study on groundwater deficit problems and countermeasures of Egina basin. *Inner Mongolia Water Resources*, 2005, (1): 12-15.
- [24] Li Y. Calculation of minimum ecological water requirement of Yangzong Lake. *Yangtze River*, 2010, 41(9): 32-34.

参考文献:

- [5] 王效科, 赵同谦, 欧阳志云, 范秀英. 乌梁素海保护的生态需水量评估. *生态学报*, 2004, 24(10): 2124-2129.
- [6] 王义民, 李五勤, 畅建霞, 万芳, 黄强. 乌梁素海生态补水量研究. *西北农林科技大学学报*, 2011, 39(8): 224-228.
- [7] 王铁良, 杨培奇, 周林飞, 周林林. 辽宁省卧龙湖最小生态需水的研究. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 191-193.
- [8] 徐志侠, 王浩, 董增川, 唐克旺. 南四湖湖区最小生态需水研究. *水利学报*, 2006, 37(7): 784-788.
- [9] 谢永宏, 李峰, 陈心胜. 洞庭湖最小生态需水量研究. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(1): 64-70.
- [10] 唐克旺, 王浩, 刘畅. 陕北红碱淖湖泊变化和生态需水初步研究. *自然资源学报*, 2003, 18(3): 304-309.
- [11] 刘慧英, 王永文, 关兴中. 鄱阳湖湿地适宜生态需水位研究——以星子站水位为例. *南昌工程学院学报*, 2012, 31(3): 46-50.
- [12] 梁犁丽, 王芳, 汪党献, 王浩. 乌伦古湖最低生态水位及生态缺水水量. *水科学进展*, 2011, 22(4): 470-478.
- [13] 刘永泉, 王晓峰, 吴颜. 艾比湖最低生态水位研究. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(10): 111-114.
- [14] 王根绪, 张钰, 刘桂民, 程雨菲, 胡宏昌. 干旱内陆流域河道外生态需水量评价——以黑河流域为例. *生态学报*, 2005, 25(10): 2467-2476.
- [15] 赵文智, 常学礼, 何志斌, 张智慧. 额济纳荒漠绿洲植被生态需水量研究. *中国科学 D 辑 (地球科学)*, 2006, 36(6): 559-566.
- [16] 贾艳红. 黑河下游地下水波动带生态需水量空间分布研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2008: 18-32.
- [17] 陈丽, 杨二, 李莉, 鲍宏喆. 东居延海湿地生态功能与价值. *人民黄河*, 2011, 33(2): 84-85.
- [18] 钱乐祥, 李仕峰, 崔海山, 张好琳. 基于单一影像局部回归模型修复的 Landsat 7 ETM SLC-OFF 图像质量评价. *地理与地理信息科学*, 2012, 28(5): 21-24.
- [19] 杨萍, 曹生奎, 孟彩虹, 王翠云. 青海湖水面积蒸发量计算. *青海师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 26(3): 75-79.
- [20] 崔保山, 赵翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水计算. *生态学报*, 2005, 25(7): 1788-1795.
- [21] 李万义. 适用于全国范围的水面蒸发量计算模型的研究. *水文*, 2000, 20(4): 13-17.
- [22] 刘静玲, 杨志峰. 湖泊生态环境需水量计算方法研究. *自然资源学报*, 2002, 17(5): 604-609.
- [23] 乔茂云, 孙林, 郭雨春, 王庆, 张惠兰. 额济纳盆地地下水亏缺问题及其对策探讨. *内蒙古水利*, 2005, (1): 12-15.
- [24] 李英. 云南阳宗海最小生态需水水量分析. *人民长江*, 2010, 41(9): 32-34.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.8 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Growth rates of marine planktonic ciliates; a review ZHANG Wuchang, LI Haibo, FENG Meiping, et al (1897)
- Research status and prospects on functions of urban forests in regulating the air particulate matter
..... WANG Xiaolei, WANG Cheng (1910)
- A review of snow-living Collembola ZHANG Bing, NI Zhen, CHANG Liang, et al (1922)

Autecology & Fundamentals

- Photosynthetic responses to changes in CO₂ concentration and soil moisture in leaves of *Securinega suffruticosa* from shell ridge
islands in the Yellow River Delta, China ZHANG Shuyong, XIA Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (1937)
- Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia
lanceolata* plantation KANG Genli, YANG Yusheng, SI Youtao, et al (1946)
- Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation
..... WANG Baoqi, LIU Zhili, QI Yujiao, et al (1956)
- Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees
..... PING Chuan, WANG Chuankuan, et al (1965)
- Soil water in deep layers under different land use patterns on the Loess Tableland ... CHENG Liping, LIU Wenzhao, LI Zhi (1975)
- Water parameters of the branch of *Larrea tridentata* under different soil drought stress
..... ZHANG Xiangning, SUN Xiangyang, WANG Baoping, et al (1984)
- Effects of shading treatments on photosynthetic characteristics of *Juniperus sabina* Ant. seedlings
..... ZHAO Shun, HUANG Qiuxian, LI Yuling, et al (1994)
- Root distribution in typical sites of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties
..... LI Qingshan, WANG Dongmei, XIN Zhongbao, et al (2003)
- The survival and above/below ground growth of *Haloxylon ammodendron* seedling
..... TIAN Yuan, TASHPOLAT · Tiyp, LI Yan, et al (2012)
- Effects of simulated acid rain on the physiological and ecological characteristics of *Rhododendron hybridum*
..... TAO Qiaojing, FU Tao, XIANG Xina, et al (2020)
- Karst cave bacterial calcium carbonate precipitation: the Shijiangjun Cave in Guizhou, China
..... JIANG Jianjian, LIU Ziqi, HE Qiufang, et al (2028)
- Migration of the 7th generation of brown planthopper in northeastern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and analysis of source
areas QI Huihui, ZHANG Yunhui, JIANG Chunxian, et al (2039)

Population, Community and Ecosystem

- The dynamics and determinants of population size and spatial distribution of Common Cranes wintering in Poyang Lake
..... SHAN Jihong, MA Jianzhang, LI Yankuo, et al (2050)
- Effects of snow pack on wintertime soil nitrogen transformation in two subalpine forests of western Sichuan
..... YIN Rui, XU Zhengfeng, WU Fuzhong, et al (2061)
- Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaolinling
..... CHEN Yun, WANG Hailiang, HAN Junwang, et al (2068)
- Phytoplankton community structures revealed by pigment signatures in Norwegian and Greenland Seas in summer 2012
..... WANG Xiaoying, ZHANG Fang, LI Juanying, et al (2076)
- Analysis of differences in insect communities at different altitudes in *Zanthoxylum bungeanum* gardens, Yunnan, China
..... GAO Xin, ZHANG Limin, ZHANG Xiaoming, et al (2085)
- The bacterial community changes after papermaking wastewater treatment with artificial wetland
..... GUO Jianguo, ZHAO Longhao, XU Dan, et al (2095)

- Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai
..... ZHANG Hua, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan (2102)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain
..... ZHANG Yinbo, GUO Liulin, WANG Wei, et al (2109)
- Impacts of solar radiation on net ecosystem carbon exchange in a mixed plantation in the Xiaolangdi Area
..... LIU Jia, TONG Xiaojuan, ZHANG Jinsong, et al (2118)
- Carbon density and distribution of *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Hilly Loess Plateau
..... YANG Yujiao, CHEN Yunming, CAO Yang (2128)
- Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland
..... TIAN Dalun, Li Xionghua, LUO Zhaozhui, et al (2137)

Resource and Industrial Ecology

- Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan
..... WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, on storage at different age (2146)

Urban, Rural and Social Ecology

- Life cycle assessment and environmental & economic benefits research of important building external insulation materials in Beijing ...
..... ZHU Lianbin, KONG Xiangrong, WU Xian (2155)
- Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*
..... SONG Yingshi, LI Feng, WANG Xiaoke, et al (2164)

《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 杨永兴

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 8 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 8 (April, 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

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology

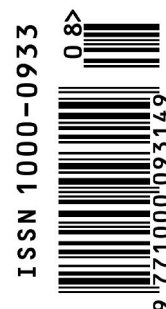
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010) 64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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 90.00 元