

陕北红碱淖流域水量变化及其影响因素定量分析

刘萍萍, 甘文字, 张瑞芳, 谭良玺

(西安交通大学环境科学与工程系, 710049, 西安)

摘要: 通过概化计算得到陕北红碱淖流域 1998~2004 年的水量补给和消耗, 建立了流域水量平衡模型, 使用 Mat-lab 软件建立了多因素线性回归模型, 定量分析了红碱淖流域水量失衡的影响因素. 研究表明: 1998~2004 年红碱淖流域年平均补给水量为 $1.06 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年平均耗水量为 $1.69 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年平均水量净消耗为 $0.63 \times 10^8 \text{ m}^3$. 自然因素是影响红碱淖流域水量失衡的主要因素. 降水量每变化 1 mm, 对应于水量补给变化约为 $1.01 \times 10^4 \text{ m}^3$, 流域年平均温度波动 1°C , 导致的水量变化约为 $1.24 \times 10^4 \text{ m}^3$, 年平均风速波动 1 m/s, 造成水量变化约为 $1.34 \times 10^4 \text{ m}^3$. 流域内农业灌溉是人为因素方面的主要耗水部分, 年均约为 $0.45 \times 10^8 \text{ m}^3$. 由于自然因素的不可控性以及红碱淖流域社会经济的发展, 要缓解流域水量失衡状况, 必须采取有效措施减少人为因素造成的流域耗水量.

关键词: 红碱淖流域; 水量平衡模型; 影响因素; 定量分析

中图分类号: P333.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)01-0119-06

Quantitative Analysis on Water Volume Change and Impacting Factors for Hongjiannao Watershed in Northern Shaanxi Province

LIU Pingping, GAN Wenyu, ZHANG Ruifang, TAN Liangxi

(Department of Environmental Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Water supply and consumption of Hongjiannao watershed during 1998-2004 were calculated with generalized methods and a water balance model was established. A multiple regression model was set up and the impacting factors of water volume change were quantitatively analyzed with the Mat-lab software. The results indicated that the annual water supply was $1.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ and the annual water consumption was $1.69 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the watershed. Natural factors were the main driving force to the water imbalance in Hongjiannao Lake watershed. The annual average temperature variation of 1°C and the annual average wind velocity variation of 1 m/s would cause the water volume change in the watershed of $1.24 \times 10^4 \text{ m}^3$ and $1.34 \times 10^4 \text{ m}^3$, respectively. Moreover, the precipitation variation of 1 mm would lead to around $1.01 \times 10^4 \text{ m}^3$ of the Lake's water supply change. As a major water consumption of human activities, the annual average irrigation consumed about $0.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ water. It seems that some approaches should be adopted to reduce water consumption caused by human activities.

Keywords: Hongjiannao watershed; water balance model; impacting factor; quantitative analysis

湖泊水量的变化是其所在流域水量平衡的综合结果, 对气候变化和人类活动影响具有高度敏感性, 对整个流域环境的变化具有很好的综合指示作

用^[1-4], 尤其是在干旱、半干旱生态脆弱地区. 目前, 流域水资源演变规律的研究包括流域水资源演变规律和趋势以及水资源演变驱动因子分析2个方面.

很多学者针对西北地区气候与人为对湖泊水位的影响研究表明,气候暖干(湿)化与绝大多数湖泊缩水(扩大)有明显的相关关系,是湖泊水位变化的决定因素^[5-8],只有很少部分的湖泊变化受人为活动影响较明显^[9-10].但是,基于定性分析或单因素相关性分析等方法,在水量失衡的认识上存在较大的不确定性^[11].因此,定量分析人类活动和气候变化对湖泊水量变化的影响,对于流域水资源可持续利用具有重要的意义.红碱淖流域位于陕北风沙滩区,是我国西北荒漠区典型的内陆封闭流域湖泊.近年来,该流域的水量失衡状况不容乐观^[12].然而,红碱淖流域内气象、地质、水文方面的资料基本上处于空白状态,无法辨析水量失衡的具体原因.因此,本文根据流域补给源和排泄源建立了水量平衡模型,采用概化和平均的方法计算流域各年的水量消耗、水量补给和水量变化值,采用多因素回归模型定量分析流域水量失衡的影响因素,为西北地区脆弱生态环境的保护和区域可持续发展提供决策支持.

1 研究区概况

红碱淖流域位于 109°31′~110°04′E、38°53′~39°20′N,流域面积约为 1 500 km²,包括陕西省神木县尔林兔镇、中鸡镇,内蒙古自治区伊金霍洛旗新街镇和台格苏木 4 个镇.流域内居民约为 45 000 人,主要产业为畜牧业.当地多年平均降水约为 400 mm,年平均温度为 9.5℃,年平均风速为 2.3 m/s.流域内主要生长有沙生地带性植被,沙地基本固定.在干旱的风沙区,红碱淖对当地气候调节、水量调蓄起到了重要作用,同时也是当地重要的湿地和旅游景点.红碱淖湖面海拔高度为 1 200 m,东西最宽处为 10 km,南北最长处为 12 km,湖岸线长 43.7 km,最大水深为 12 m.1970 年,该湖泊面积基本稳定在 60 km²,水量约为 4.9 亿 m³.20 世纪 90 年代,尤其是 1995 年后湖面面积不断缩小,水量不断减少.面积由 1986 年的 56 km² 下降为 2004 年的 41 km²,近 20 年来减少了约 27%.水量则由 4.9 亿 m³ 下降至 3.5 亿 m³,减少了约 28%.2006 年红碱淖面积接

近 40 km²,水量为 3.2 亿 m³^[13].

2 研究方法

基于流域资料短缺、研究空白的状况,本文主要通过收集整理流域 1998~2004 年的居民人口、大牲畜数量、耕地面积、气候等相关数据,选择流域内补给量、耗水量计算方法,分析流域产流特征,建立红碱淖水量平衡模型和因素模型,研究各因素对流域水量变化的影响.

2.1 流域补给计算

红碱淖流域补给的来源主要包括流域降水入渗补给,降雨形成的地表径流补给和湖面直接降水补给.①流域降水入渗和地表径流补给.由于红碱淖流域 7 条季节性入湖小河流上均无水文站,也缺乏水文资料,根据唐克旺等人的计算方法,红碱淖流域每年的补给全部来自该封闭型流域降水的转化,转化系数即产水系数为 0.17^[12].流域年平均降水量采用伊金霍洛旗和神木 2 个气象站降水量的平均值来表征.②湖面直接降水对红碱淖的补给指降水直接降在红碱淖湖面上的水量.

红碱淖流域补给计算公式见表 1.

2.2 流域耗水计算

(1)农业用水.红碱淖流域的农业用水分为耕地灌溉用水和畜牧业用水 2 部分.取红碱淖流域内最典型耕种的玉米面积作为灌溉面积^[12],农田灌溉综合需水定额为 4 200 m³/hm²^[14];红碱淖流域畜牧业主要包括牛和羊 2 类,根据 2 类牲畜的日均耗水量来计算流域每年畜牧业的平均耗水量.

(2)居民生活用水.流域内居民通过饮用或其他途径消耗的水量,一般用耗水率计算^[15].

(3)流域植被蒸腾耗水.红碱淖流域代表性植物为沙柳,其年均蒸腾强度 E_m 为 277.624 mm^[16].在主要植被类型没有发生变化的情况下,影响红碱淖流域各年植被蒸腾量的主要因素为流域的植被覆盖度 f .本文采用归一化植被指数(NDVI)来反映流域的植被覆盖度,计算流域各年的植被蒸腾量^[17].

(4)流域各年土壤(陆面)的蒸发耗水.陆面蒸发

表 1 红碱淖流域补给计算

流域补给	计算公式	参数意义
降水入渗和地表径流补给	$I=RA\times0.17\times10^{-9}$	I 为流域产流量, $I=10^8\text{ m}^3$; R 为流域年平均降水量, mm; A 为流域面积, $A=1\,500\text{ km}^2$.
湖面直接补给	$P_d=RA_L\times10^{-9}$	P_d 为湖面直接降水补给量, $P_d=10^8\text{ m}^3$; A_L 为湖面面积, km^2 .

量主要受供水条件和气候因素的综合影响,在流域土壤蒸发视为定值的情况下,通过简化土壤的蒸发模型,流域土壤(陆面)蒸发耗水量主要由裸地度 $(1-f)$ 决定^[18].

(5)湖面蒸发耗水量.根据流域年平均蒸发量折算为湖面的年蒸发量来计算湖泊年蒸发水量,从 20 cm 直径的蒸发皿折算到大面积水域蒸发的转换系数为 0.468 4^[19].

红碱淖流域耗水计算方法见表 2.

2.3 水量平衡模型

红碱淖流域是一个封闭型流域,流域补给、耗水以及原有的地下水资源形成了一个封闭的水量平衡体系(见图 1).根据流域的补给和耗水建立红碱淖流域的水量平衡模型如下

$$\Delta W = I + P_d - E_{lake} - E_{land} - E_{plant} - Q_1 - Q_2 - Q_3$$

(1)

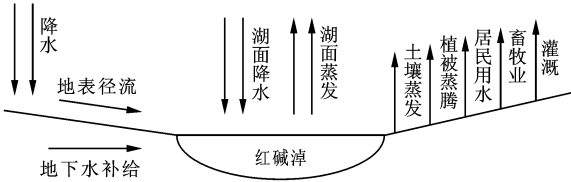


图 1 红碱淖水量平衡示意图

2.4 建立因素模型

根据流域水量变化的影响因素建立了流域水量变化的因素模型,通过多元线性回归得到因素模型的近似估计.利用流域自然和人为因素变量,建立相应的计量模型,采用 OLS 方法估计模型选择的因素是否呈现统计上的显著性.模型设定为

$$\ln \Delta W = \alpha + \beta_1 \ln N + \beta_2 \ln N_B + \beta_3 T + \beta_4 U + \beta_5 R + \beta_6 \ln S_1 + \xi$$

(2)

式中: N 表示流域内人口数,作为流域社会因素的一个代理变量; N_B 表示流域内羊的数量,作为流域经济因素的一个代理变量(该值为折算值,在社会经济调查中,草地的生态经济效益一般采用羊单位^[20],此处根据大牲畜的日耗水量把其数量折算为相应的羊数量); T 表示流域年平均温度; U 表示流域各年的平均风速; ξ 表示误差项.

3 结果与讨论

3.1 流域补给变化

流域降水数据采用红碱淖流域内的伊金霍洛旗和神木 2 个气象站降水量的平均值来表征该流域的年平均降水量(见表 3).

表 2 红碱淖流域耗水计算

流域耗水	计算公式	参数意义
耕地灌溉用水	$Q_1 = S_1 P \times 10^{-8}$	Q_1 为流域灌溉耗水量, 10^8 m^3 ; S_1 为流域内农业灌溉面积, hm^2 ; P 为西北地区农田灌溉的综合需水定额.
畜牧业用水	$Q_2 = (N_c P_c \times 365 + N_s P_s \times 365) \times 10^{-8}$	Q_2 表示流域年均畜牧业耗水量, 10^8 m^3 ; N_c 和 N_s 分别表示大牲畜和羊的数量,头; P_c 和 P_s 分别代表单位大牲畜和单头羊的日均耗水量, $\text{L}/(\text{只} \cdot \text{d})$; 计算的天数取 365 天.
居民生活用水	$Q_3 = NW \times 365 \times 10^{-8}$	Q_3 表示流域内居民生活耗水量, 10^8 m^3 ; N 为流域内居民人口数; W 为人均生活耗水率, $\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$.
流域植被蒸腾耗水	$E_{\text{plant}} = f E_m A / A_s \times 10^{-9}$	E_{plant} 为植被蒸腾量, 10^8 m^3 ; f 表示红碱淖流域的植被覆盖度; E_m 为植被的年蒸腾强度, mm ; A 为流域面积, $1\,500 \text{ km}^2$; A_s 为植被的单位植株的覆盖面积, m^2 .
流域各年土壤蒸发耗水	$E_{\text{land}} = VA(1-f) \times 10^{-9}$	E_{land} 表示土壤的蒸发耗水量, 10^8 m^3 ; V 为土壤的蒸发量, mm/a .
湖面蒸发耗水量	$E_{\text{lake}} = E_0 \phi_s$	E_{lake} 为湖面蒸发量, 10^8 m^3 ; E_0 为红碱淖流域的年平均蒸发量, 10^8 m^3 ; ϕ_s 为湖面蒸发校正系数, $\phi_s = 0.468\,4$.

表 3 红碱淖流域年平均降水量

年份	神木年降水量/mm	伊金霍洛旗年降水量/mm	流域年平均降水量/mm
1998	443.8	468.2	456.0
1999	251.7	217.3	234.5
2000	251.3	206.4	228.9
2001	413.8	341.9	377.9
2002	364.1	464.8	414.5
2003	491.3	203.1	347.2
2004	427.4	365.8	396.6

根据相关遥感数据解译,分别得到 1997、1999、2000、2002、2004 年的红碱淖湖面面积数据^[21],其他 3 年的数据通过插值法获得,从而得到 1997~2004 年红碱淖面积的变化情况(见图 2)。由图 2 可知,红碱淖的湖面面积逐年减少,2002 年之后湖面面积逐渐趋于稳定,目前湖面面积约为 40 km²。

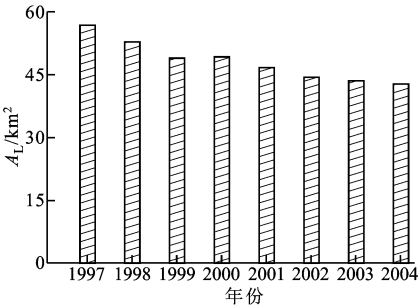


图 2 1997~2004 年红碱淖的湖面面积

根据表 1 的计算公式,得到红碱淖流域的水量补给情况(见图 3)。由图 3 可知,1998~2004 年红碱淖流域年补给水量主要来源于红碱淖流域的产水补给,多年平均产流量为 $0.894\ 9\times10^8\text{ m}^3$,各年产水补给因降水量的变化有较大差异。其中,1999 年和 2000 年流域产流量分别为 $0.598\times10^8\text{ m}^3$ 和 $0.584\times10^8\text{ m}^3$,比多年的平均产流量减少 33%和 35%,最大流域产流量出现在 1998 年,为 $1.163\times10^8\text{ m}^3$,比多年的年平均产流量增加 30%。湖面降水补给变化趋势与流域产水补给趋势基本一致,受到湖面面积和降水的双重影响,多年平均补给为 $0.164\ 2\times10^8\text{ m}^3$ 。

3.2 流域耗水变化

由图 4 可知:红碱淖流域多年平均耗水量为 $1.69\times10^8\text{ m}^3$;流域内年均居民生活耗水量为 $0.006\ 6\times10^8\text{ m}^3$,相对比较稳定;流域内年均耕地

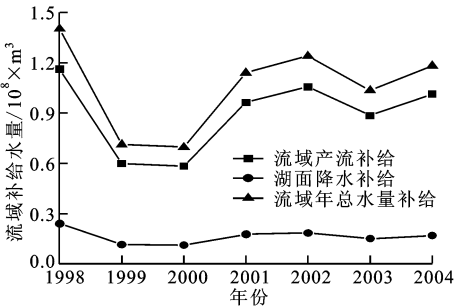


图 3 1998~2004 年红碱淖流域水量补给

灌溉用水量约为 $0.45\times10^8\text{ m}^3$,由于实行了退耕还林还草政策而呈现出下降的趋势。2000 年以来,流域内的畜牧业用水量逐年增大,且增加的幅度较大,畜牧业最高的年耗水量比最低的年耗水量增加近 49%。流域的年均植被蒸腾量为 $0.27\times10^8\text{ m}^3$,呈现逐年上升趋势,主要由于红碱淖流域从 1997 年以来实行退耕还林还草政策,使得流域植被覆盖度呈现增加的趋势,导致流域内植被蒸腾耗水上升。流域年均土壤蒸发量为 $0.440\ 8\times10^8\text{ m}^3$,呈现出逐年下降的趋势。1998~2004 年的平均湖面蒸发量为 $0.444\ 6\times10^8\text{ m}^3$,也呈现出逐年下降的趋势。

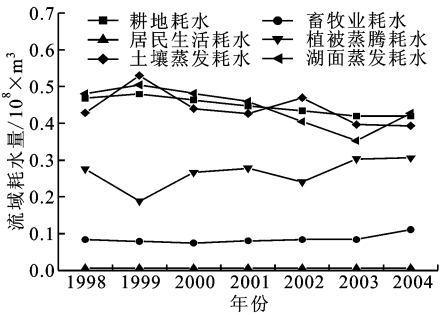


图 4 1998~2004 年红碱淖流域水量消耗

3.3 流域水量状况

将计算的各项水量平衡要素代入流域水量平衡模型,计算结果见图 5。由图 5 可以看出,红碱淖流域各年的流域耗水量大于流域的入水补给量,水量处于负平衡状态。1998~2004 年流域年均水量补给约为 $1.06\times10^8\text{ m}^3$,年均水量消耗约为 $1.69\times10^8\text{ m}^3$,年均水量亏缺为 $0.63\times10^8\text{ m}^3$ 。1999 年和 2000 年红碱淖水量亏缺严重,主要由于流域产水对红碱淖的补给减少,1999 年入湖量减少 $0.565\times10^8\text{ m}^3$,占该年流域水量亏缺总量的 52.5%,2000 年则占到了该年水量亏缺总量的 55.87%。2001 年以来,流域降水的增加使得流域产流补给水量增加,使流域水量失衡状况在一定程度上得到了缓解。但是,自然因素的不确定性及流域内工农业的发展,导致红

碱淖流域的水量失衡状况不容乐观。

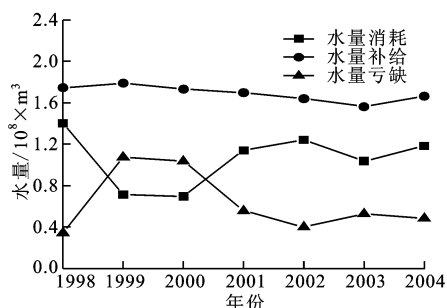


图5 1998~2004年流域水量的变化

3.4 因素模型分析

因素模型的回归结果见下式

$$\ln \Delta W = -77.2781 + 14.4418 \ln N - 0.4043 \ln N_B + 0.2168T + 0.2910V - 0.0064R - 6.8916 \ln S_1 \quad (3)$$

由式(3)回归结果可以看出,在5%置信度下,上述影响因素的系数都是统计显著的。根据回归结果,从流域水量变化来看,社会经济因素和自然因素的变化造成红碱淖流域水量变化的方向基本符合我们的预期:假定流域内其他因素不变,降水量每变化1 mm,对应的流域水量变化约为 $1.01 \times 10^4 \text{ m}^3$;年平均温度每变化 1°C ,对应的流域水量波动约为 $1.24 \times 10^4 \text{ m}^3$;流域年平均风速每变化 1 m/s ,将造成流域水量的变化约为 $1.34 \times 10^4 \text{ m}^3$;人口每增加1%,假定其他因素不变的情况下,将会使流域水量变化约为14.44%;与此对应牲畜数量每增加1%,导致流域水量的变化约为0.40%。从回归计算所得数据的量级上可以看出,红碱淖流域水量变化的主要影响因素是流域的自然因素,这与相关自变量系数的统计显著性是一致的。耕地面积量的变化对流域水量失衡量的变化方向与预期有差异,原因可能在于流域耕地面积波动较小,尚未体现出其影响力,在流域内其他人为影响因素可准确获得的情况下,可以采用其他相应自变量代替耕地面积进行多元回归分析。

4 结 论

采用概化方法计算得到红碱淖流域1998~2004年的水量状况:流域各年水量补给波动较大,平均为 $1.0590 \times 10^8 \text{ m}^3$;流域各年水量消耗较为稳定,平均约为 $1.6907 \times 10^8 \text{ m}^3$;流域水量处于负平衡状态,年净亏缺水量约为 $0.6317 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

通过因素模型分析结果可知,自然因素中的温

度和风速等的影响是统计显著的,且占主导地位,代表人为因素的人口和畜牧业同样也是流域水量失衡的重要原因。相对自然因素,人为因素造成的耗水量较小。然而,由于自然因素的不可控性,以及红碱淖流域社会经济的发展,要缓解流域水量失衡状况,必须采取有效措施减少因人为因素造成的流域耗水量。

本文的回归分析过程中可供使用的数据偏少,由此造成的偏差是难免的,可以通过搜集更多年份的数据及改进模型因素和模型形式做进一步的研究,得到更佳的因素决定模型。同时,可以把自然因素作为流域水量失衡的背景因素,通过剔除背景因素可以更准确地分析人为因素对流域水量失衡的影响。

参考文献:

- [1] 丁永建,刘时银,叶柏生,等.近50 a中国寒区与旱区湖泊变化的气候因素分析[J].冰川冻土,2006,28(5):623-632.
DING Yongjian, LIU Shiyin, YE Baisheng, et al. Climatic implications on variations of lakes in the cold and arid regions of China during the recent 50 years [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(5): 623-632.
- [2] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,2003,23(2):152-164.
SHI Yafeng, SHEN Yongping, LI Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm wet in northwest China [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152-164.
- [3] 郭锐,张杰,梁芸.西北地区近年来内陆湖泊变化反映的气候问题[J].冰川冻土,2003,25(2):211-214.
GUO Ni, ZHANG Jie, LIANG Yun. Climate change indicated by the recent change of inland lakes in northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 211-214.
- [4] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等.亚洲中部干旱区的湖泊[J].干旱区研究,2005,22(4):424-430.
HU Ruji, JIANG Fengqing, WANG Yajun, et al. Study on the lakes in arid areas of central Asia [J]. Arid Zone Research, 2005, 22(4): 424-430.
- [5] 时兴合,李林,汪青春,等.环青海湖地区气候变化及其对湖泊水位的影响[J].气象科技,2005,33(1):58-62.
SHI Xinghe, LI Lin, WANG Qingchun, et al. Climatic change and its influence on water level of Qinghai Lake [J]. Meteorological Science and Technology, 2005, 33(1): 58-62.

- [6] 高华中,贾玉连.西北典型内陆湖泊近40年来的演化特点及机制分析[J].干旱区资源与环境,2005,19(5):93-96.
GAO Huazhong, JIA Yulian. The evolution characteristics of typical inland lakes in northwest China during the past 40 years and their mechanism [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005, 19(5): 93-96.
- [7] 秦伯强.近百年来亚洲中部内陆湖泊演变及其原因分析[J].湖泊科学,1999,11(1):11-16.
QIN Boqiang. A preliminary investigation of lake evolution in 20-century in inland mainland Asia with relation to the global warming [J]. Journal of Lake Science, 1999, 11(1): 11-16.
- [8] 王润,孙占东,高前兆.2002年前后博斯腾湖水位变化及其对中亚气候变化的响应[J].冰川冻土,2006,28(3):324-329.
WANG Run, SUN Zhandong, GAO Qianzhao. Water level change in Bosten Lake under the climatic variation background of Central Asian around 2002[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(3): 324-329.
- [9] 孙占东,王润,黄群.近20年博斯腾湖与岱海水位变化比较分析[J].干旱区资源与环境,2006,20(5):56-60.
SUN Zhandong, WANG Run, HUANG Qun. Comparison of water level changes during the past 20 years between Daihai and Bosten Lakes [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(5): 56-60.
- [10] 王前进,巴音查汗,马道典,等.艾比湖水面近50a变化成因分析[J].冰川冻土,2003,25(2):224-228.
WANG Qianjin, Bayinchahan, MA Daodian, et al. Analysis on causes of the water level variation of Ebinur Lake in recent 50 years [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 224-228.
- [11] 罗先香,何岩,邓伟,等.三江平原沼泽性河流径流演变的驱动力分析[J].地理学报,2002,57(5):603-608.
LUO Xianxiang, HE Yan, DENG Wei, et al. Driving forces of runoff changes for marshy rivers in Sanjiang Plain [J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(5): 603-608.
- [12] 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[J].自然资源学报,2003,18(3):304-309.
TANG Kewang, WANG Hao, LIU Chang. Preliminary study of Hongjiannao Lake's variation and ecological water demand [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(3): 304-309.
- [13] 李德胜.自然与人为二因子对红碱淖近35年来水量变化影响的量化研究[D].西安:西安交通大学能源与动力工程学院,2007.
- [14] 徐美,黄诗峰,姚永慧.干旱半干旱地区灌溉农业中的遥感应用[J].干旱区研究,2006,23(4):592-597.
XU Mei, HUANG Shifeng, YAO Yonghui. Application of RS in irrigated agriculture in arid and semiarid areas[J]. Arid Zone Research, 2006, 23(4): 592-597.
- [15] 陈红莉,王煜,杨立彬,等.西北地区经济发展及需水量预测[J].人民黄河,2002,24(6):15-37.
CHEN Hongli, WANG Yu, YANG Libin, et al. Prediction of economic development and water demand in the Northwest[J]. Yellow River, 2002, 24(6): 15-37.
- [16] 张国盛,王林和,董智,等.毛乌素沙地主要固沙灌木林地水分平衡研究[J].内蒙古农业大学学报,2002,23(3):1-9.
ZHANG Guosheng, WANG Linhe, DONG Zhi, et al. A study on water balance of main fixed-dune shrubs (arbors) in Mu Us [J]. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry, 2002, 23(3): 1-9.
- [17] 陈云浩,李晓兵,史培军,等.北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J].植物生态学报,2001,25(5):588-593.
CHEN Yunhao, LI Xiaobing, SHI Peijun, et al. Estimating vegetation coverage change using remote sensing data in Haidian District, Beijing [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(5): 588-593.
- [18] 王政友.土壤水分蒸发的影响因素分析[J].山西水利,2003,26(2):26-29.
WANG Zhengyou. Impacting factors analysis on soil's water evaporation[J]. Shanxi Water Resources, 2003, 26(2): 26-29.
- [19] 黄金延.鄂尔多斯盆地沙漠高原区降雨入渗补给地下水研究[D].西安:长安大学环境科学与工程学院,2006.
- [20] 钱拴,毛留喜,侯英雨,等.青藏高原载畜能力及草畜平衡状况研究[J].自然资源学报,2007,22(3):389-397.
QIAN Shuan, MAO Liuxi, HOU Yingyu, et al. Livestock carrying capacity and balance between carrying capacity of grassland with added for age and actual livestock in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(3): 389-397.
- [21] 李文娟.陕北地区生态敏感区动态变化及其驱动机制——以红碱淖湿地为例[D].西安:西安交通大学能源与动力工程学院,2007.

(编辑 王焕雪)