

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **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 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一,它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧,延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中,海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下,来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升,给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时,山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布,翠峰直插云霄,森林茂密苍郁,溪流碧澄清澈,奇花异葩繁多,风景美如画卷,气势壮丽非凡。

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

DOI: 10.5846/stxb201105240681

杜加强, 舒俭民, 张林波. 基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究. 生态学报, 2012, 32(11): 3404-3413.

Du J Q, Shu J M, Zhang L B. Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3404-3413.

基于植被降水利用效率和 NDVI 的 黄河上游地区生态退化研究

杜加强^{1,2,*}, 舒俭民^{1,2}, 张林波^{1,2}

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

摘要:提出了一种植被降水利用效率和 NDVI 变化趋势分析相结合识别生态退化、生态恢复区域的方法。利用黄河上游地区 1982—2006 年的 AVHRR NDVI 数据及同期 16 个气象站的降水量数据为基础数据源, 计算每个像元的降水利用效率及其变化趋势, 结合 NDVI 变化辨识生态退化和生态恢复的区域范围。结果表明, 研究区域 80% 处于生态恢复阶段, 恢复现象较为明显的区域主要位于东南部; 生态退化显著的区域主要集中在玛多县县城、扎陵湖、鄂陵湖附近和龙羊峡库区周边。该结果与黄河上游地区草地退化的现状基本吻合, 表明该方法可靠性较强, 可以作为评估区域生态退化或生态恢复的方法。植被降水利用效率与 NDVI 变化趋势相结合的方法可以避免仅使用降水利用效率可能产生的误判。研究可为黄河上游地区开展生态恢复工程, 合理规划和调整生态建设布局提供科学依据。

关键词:降水利用效率; 归一化植被指数 (NDVI); 生态退化; 生态恢复; 识别; 黄河上游地区

Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin

DU Jiaqiang^{1,2,*}, SHU Jianmin^{1,2}, ZHANG Linbo^{1,2}

1 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2 State Environment Protection key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, Beijing 100012, China

Abstract: The accurate identification of areas of ecosystem degradation and an objective evaluation of the effects of ecological restoration projects is necessary for ecological management and planning at the landscape scale. Ecological degradation and ecological restoration are dynamic equilibrium processes, while degradation must be considered relative to the pristine state of the ecosystem, and need to be analyzed from a time series perspective. Satellite remote sensing is widely used in ecological monitoring and assessment, as it provides extensive coverage, good spatial and temporal continuity and a long time-series dataset. This paper proposes a method for the identification of areas of ecosystem degradation and ecosystem recovery using long time-series satellite remote sensing and precipitation data, which are integrated into trend analyses of the precipitation use efficiency (PUE) and a normalized difference vegetation index (NDVI). The PUE is calculated as the ratio of cumulative NDVI to precipitation. Significantly reduced PUE and NDVI values indicate that ecological degradation is occurring, while increasing PUE and NDVI values indicate ecological recovery. This method was applied to the headwater catchment of the Yellow River basin in China using Advanced Very High Resolution Radiometer NDVI data from 1982 to 2006 and meteorological data from the same time period. The annual PUE value was calculated using the cumulative NDVI and precipitation in the growing season for each pixel. A comparative analysis of the trends in PUE and NDVI was

基金项目:国家自然科学基金项目(41001055); 中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助项目(2009KYYW10)

收稿日期:2011-05-24; **修订日期:**2011-10-31

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

undertaken to detect areas of ecosystem degradation and restoration. The results show that: (i) The average PUE and NDVI values across the region increased slightly, and the area undergoing ecosystem rehabilitation during 1982—2006 comprised more than 80% of the study area. (ii) The degraded area, with significantly negative trends in the PUE and NDVI values, mainly occurred in the region surrounding Maduo County, Zaling and Eling lakes and Longyangxia Reservoir. Significant ecosystem recovery was found in southeast part of the study area, where strong positive trends were identified in the PUE and NDVI values. (iii) The areas with ecosystem degradation and restoration detected in this study were consistent with the current grassland degradation situation in the headwater catchment of the Yellow River basin, indicating that this method is reliable and could be applied to the evaluation of the regional ecosystem. (iv) The PUE value is partially dependent on changes in the precipitation, so false ecosystem degradation or ecosystem recovery trends may be identified caused by rapid increases and decreases, respectively, in the precipitation rate. For example, a decrease PUE in Xining City was partly caused by increased precipitation. Evaluating the trends in both PUE and NDVI may avoid the errors caused by using PUE as the only factor when evaluating ecosystem degradation and recovery. This method is simple, feasible, usable and practical, and the required data are easily accessible. This method allows ecosystem changes to be studied at the landscape scale, and can be used for a preliminary investigation prior to a large scale survey of ecological degradation or restoration. The results of this study suggest that evaluating the temporal change in PUE and NDVI may provide a useful large-scale indicator of landscape degradation or recovery at decadal time intervals. We recommend the broad-scale application of this method, using temporal trends in the PUE and NDVI. This study provides a scientific basis for the planning and regulation of ecological reconstruction in the headwater catchment of the Yellow River basin, China.

Key Words: precipitation use efficiency; NDVI; ecosystem degradation; ecosystem recovery; identify; the headwater catchment of the Yellow River basin

生态退化是目前全球所面临的重大环境问题,严重威胁着经济的可持续发展和人类的生存^[1-2]。中国是世界上生态退化最为严重的国家之一^[3-4],生态退化已引起了社会各界的广泛关注,并成为当前生态研究的热点之一^[5-6]。尽管生态退化的定义和内涵尚无统一的认识,但其主要包括沙漠化、荒漠化、生物多样性损失、生态功能破坏、水域生态退化等表现形式^[2,7-8],本质上是生物生产力、恢复能力随时间演替而降低、衰退的一个过程和状态^[1,8-9]。有关生态退化区域的空间分布仍存在争议,阻碍了进一步的深入研究^[1,10]。面对具有全球影响的生态退化问题,生态恢复成为必然选择^[3,11]。中国是较早开展生态恢复实践和研究的国家之一^[3],已经批准和实施了大批保护与生态恢复工程。但这些恢复工程生态效果的监测与评价,却缺乏相应的成熟方法^[3,12]。在景观尺度上,科学地识别生态退化范围、客观地评价生态恢复工程效果,是全面掌握生态系统状况、及时发现生态退化趋势、为完善生态恢复工程提供反馈信息的前提和基础。生态退化与生态恢复均是一个动态平衡的过程^[9,13],具有地域性和相对性^[8],需要从时间序列角度进行研究。卫星遥感数据以其覆盖范围广、时空连续性好^[14]、数据序列长等特点,为研究大尺度生态变化提供了可能。

水分是决定干旱和半干旱地区植被组成、分布及其生长状态的主要因素^[1,15];归一化植被指数(NDVI)则是评估植被状况最有效的参数之一^[14,16],国内外学者围绕着植被与降水量的关系开展了大量研究和实践应用^[1,4,10-11,14-29]。植被降水利用效率(Precipitation Use Efficiency, PUE)是在植被水分利用效率的基础上发展而来^[27,29],提供了景观尺度生态功能的直接测量^[18]。对于相同的降水量,退化景观比非退化景观产生更多的径流,生成更少的生物量^[1,10,18,23,27,29],即生态退化可能引起单位降水量植被生产力的降低^[1],得到减少的PUE。野外场地实验也证实了退化草地具有减少的PUE^[20-21]。PUE被认为能够去除降水波动而导致的植被生产力的年际波动,是反映生态退化的潜在指标^[1,15,17-18,22,27]。该方法的主要不足是PUE与降水量具有很强的相关性^[1,28],降低了作为生态退化指标的可靠性,仅采用PUE来评价生态退化/生态恢复可能将降水量大量增加或减少导致的PUE降低或增加误读为生态退化或生态恢复。国内已有文献介绍了PUE的理论基

础^[27],但应用实例相对较少。本文以黄河上游地区为研究区域,采用 PUE 和 NDVI 变化趋势分析相结合的方法,评估区域 1982—2006 年的生态退化/生态恢复状况,识别生态退化区域,验证该方法的可行性,并为该区域合理规划和开展生态恢复项目、调整工程格局提供依据。

1 研究区域和研究方法

1.1 区域概况

本文研究区域包括黄河流域民和以上集水区域,面积 17.91 万 km²,地理位置为 95.33°—103.54°E, 31.61°—38.67°N。研究区域多年平均的年均气温变化范围为-15—10℃,降水量为 250—760 mm;区域地形复杂,地势总体上西高东低,西部玛多县等地海拔在 4200 m 以上。土壤为草甸土、草毡土、黑毡土、寒钙土、褐土等。植被类型主要包括温带典型草原、高寒草甸、高寒草原以及荒漠草原,少量灌木、森林等,以草地为主。

由于自然条件严酷、气候恶劣,研究区域生态系统结构相对简单,系统内物质、能量和信息流动缓慢,生态系统十分脆弱和敏感。研究区域是黄河流域重要的水源供给区,包括多处三江源自然保护区的核心区,区域生态系统的严重退化,将影响到包括黄河中下游广大地区在内的整个黄河流域。

1.2 研究方法

PUE 一般采用植被净初级生产力或地上净初级生产力与降水量来计算。NDVI 与 NPP 具有较强的相关性^[1,4,18,24-26],特别是生长季累积 NDVI,在估算 NPP 方面较为可靠^[18],故采用生长季累积 NDVI 代替 NPP 计算 PUE^[1,4,18,25-27]。研究区域生态系统水分的获取和消耗主要发生在生长季,采用生长季累积 NDVI 与生长季降水量的比值来计算 PUE,记为 PUE_{NDVI}。由于 PUE_{NDVI} 受到降水量波动的影响^[28],采用 NDVI 变化趋势对 PUE_{NDVI} 的判定结果进行约束是有必要的。为了定量描述气候要素和 NDVI、PUE_{NDVI} 的变化趋势,采用线性回归系数来表征气候和植被要素的变化趋势;采用要素与年份的相关系数来确定变化是否显著。以 PUE_{NDVI} 变化趋势为主要评价标准,以 NDVI 变化趋势为辅助手段来识别生态退化或生态恢复区域。

1.3 数据来源

NDVI 数据来自 NASA 戈达德航天中心 GIMMS 组(Global inventory modeling and mapping studies, GIMMS)数据集,资料时间跨度为 1982 年 1 月—2006 年 12 月,空间分辨率为 8 km,时间分辨率是 15 d,采用最大值合成法获得月 NDVI 值。GIMMS NDVI 数据具有较高的精度和质量^[30],保障了数据的有效性,并具有时空上的连续性,得到了广泛的关注和大量应用。气象资料来源于中国气象科学数据服务网,选用研究区域内 16 个气象站点和区域周边 12 个站点的资料,通过 IDW 插值方法获得年降水量的空间分布。

2 研究结果与分析

2.1 降水量变化

图 1 是研究时段降水量的年际变化趋势。黄河上游 87.58% 的地区降水量呈减少趋势,广泛分布在中部和南部,显著性水平达到 0.05 的区域主要位于达日县、玛沁县和久治县之间,东南部地区减少幅度相对较大;西宁市、海东等地区降水量呈增加趋势,显著性水平达到 0.05 的区域主要位于西宁市附近。由此可见,除西宁市及其周边地区外,黄河上游地区降水量以减少趋势为主。

2.2 NDVI 变化

1982—2006 年生长季 NDVI 变化趋势见图 2。生长季 NDVI 呈增加趋势的区域主要分布在东南部的红原县、久治县、玛沁县、河南县、玛曲县和达日县的部分地区,显著性水平多达到了 0.05;而在黄河源区的曲麻莱县、玛多县以及区域中部的兴海县、共和县、同德县、贵南县、同仁县和尖扎县等地区,NDVI 则主要呈减少趋势,显著性水平达到 0.05 的区域主要集中在兴海、共和县黄河干流两侧以及玛多县的部分地区,表明这些区域的植被覆盖在近 30a 来处于减少状态。研究区域生长季 NDVI 呈增加趋势的地区占到总面积的 80%,显著性水平达到 0.05 的区域占总面积的 40%,显著性水平达到 0.01 的区域占 26%;显著性水平达到 0.05 的减少区域仅占 2.37%。因此,从 8 km 的空间尺度、年际时间尺度分析,研究区域植被覆盖明显减小的区域相对较小,而呈明显增加的区域较大。

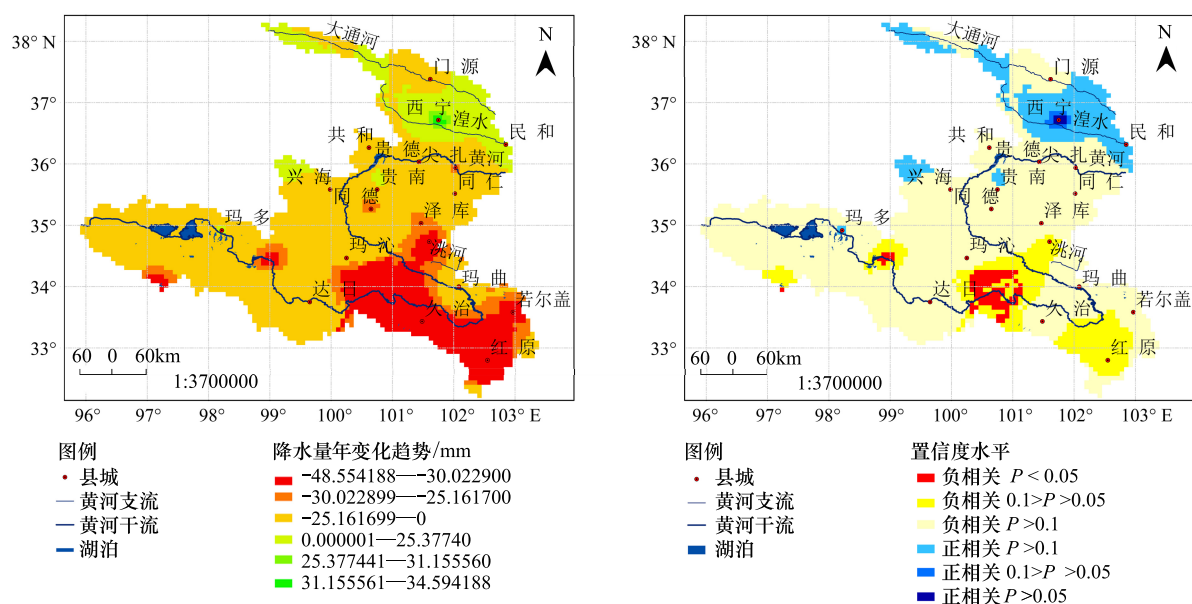


图1 研究区域 1981—2006 年降水量的变化趋势及其与年份相关系数的显著性水平

Fig.1 Trend of annual precipitation and its significance level with the year during 1981—2006 in study area

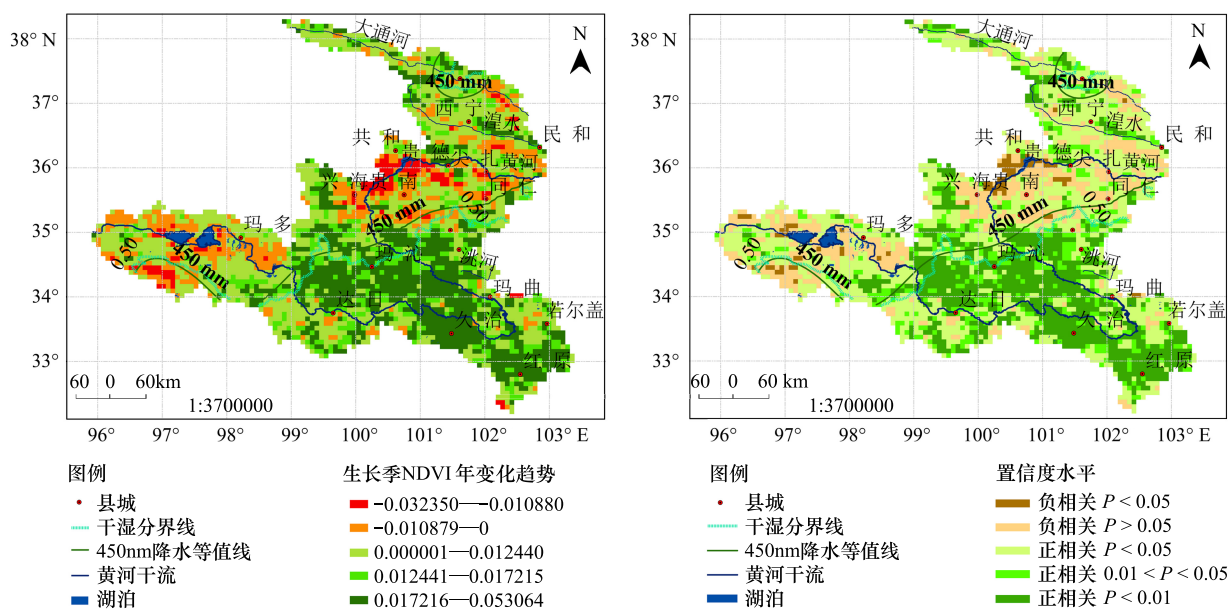


图2 生长季 NDVI 变化趋势及其与年份相关系数的显著性水平

Fig.2 Trend of NDVI change in growing season and its significance level with the year

2.3 PUE_{NDVI} 变化

计算研究区域每一个像元的 PUE_{NDVI} 及其变化趋势,结果见图3。研究区域的 PUE_{NDVI} 总体上呈略有增加趋势,占总面积的 81.99%。 PUE_{NDVI} 有所减少的区域主要位于玛多县县城及扎陵湖、鄂陵湖附近,兴海、贵南和共和三县之间的共和盆地,以及湟水河流域、大通河出青海省段等,减少趋势多未达到 0.05 的显著性水平,显著性水平达到 0.05 的区域主要位于兴海与共和之间以及西宁市周边少数地区,所占面积不足总面积的 1%;增加趋势达到 0.05 显著性水平的区域主要集中在研究区域的东南部,约占总面积的 21.41%,特别是红原县、久治县、达日县和玛沁县部分地区,增加趋势达到了 0.01 的显著性水平,约占总面积的 6.88%。

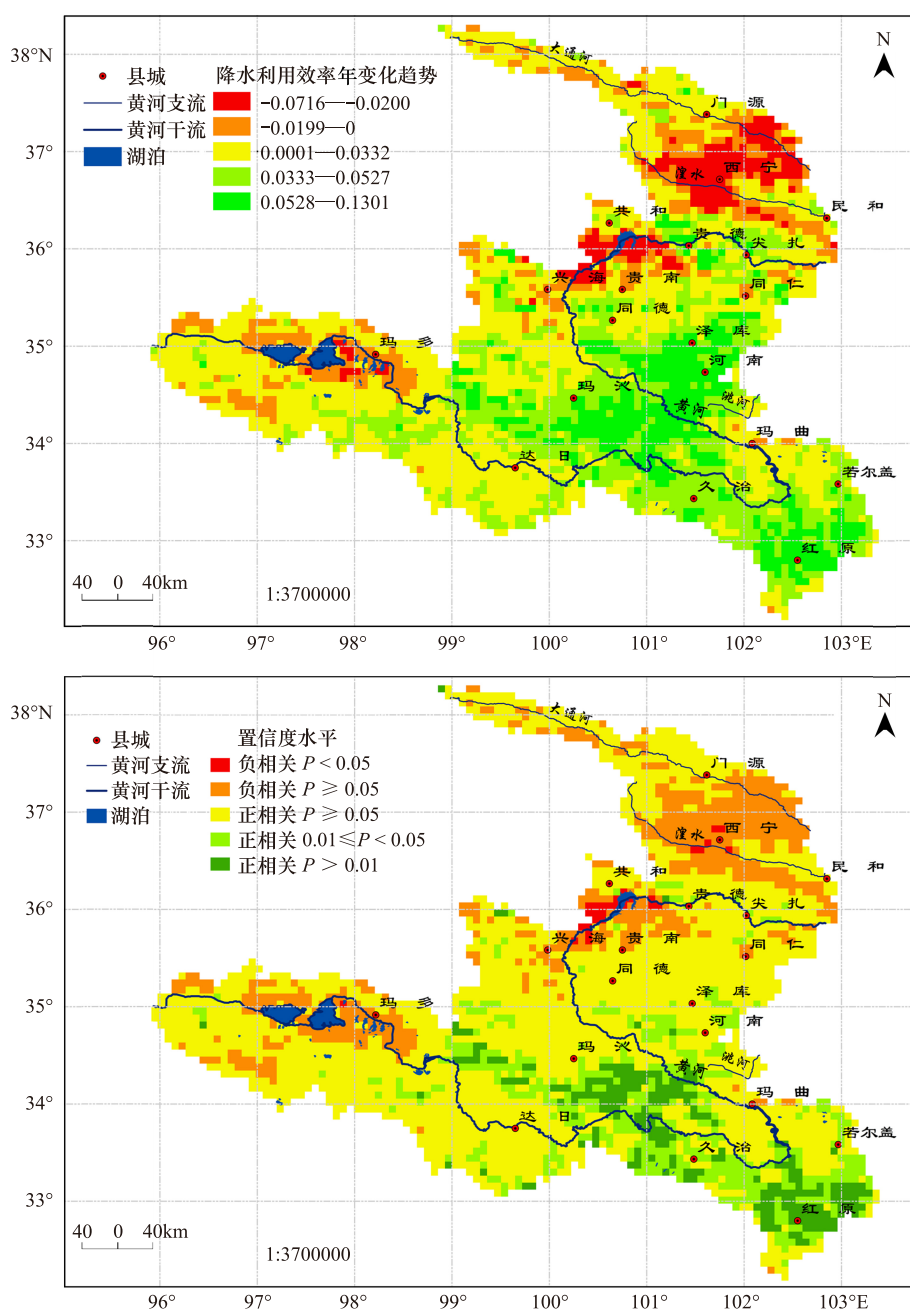


图3 研究区域植被降水利用效率变化趋势及其与年份相关系数的显著性水平

Fig. 3 Trend of precipitation use efficiency and its significance level with the year

2.4 PUE_{NDVI} 与降水量的关系

一般认为 10 km 是气象站数据的有效范围,可避免数据的空间自相关^[16,26]。统计 16 个气象站点附近 10 km 范围内各栅格的生长季降水量、 PUE_{NDVI} ,点绘 25 a 来 PUE_{NDVI} 与生长季降水量的关系。图 4 反映出降水利用效率随降水量的增加而减少的趋势(显著性水平 $P < 0.001$)。

选取 PUE_{NDVI} 增加和减少典型的两个气象站:红原站和玛多站,其 PUE_{NDVI} 、NDVI 和降水量的变化趋势分别见图 5 和图 6。由图可知,由于降水量的年际波动较大,导致降水利用效率也呈现大幅波动的状态。在降水量较低的年份,降水利用效率通常较高(红原站 1997 年、2002 年和 2006 年,玛多站 1988 年);降水量较高时,降水利用效率通常相对较低(红原站 1983 年、1998—1999 年,玛多站 1989 年、2004—2005 年)。

3 讨论

由于受到气候的强烈影响,负的 NDVI 变化趋势并非意味着生态退化,正的趋势也不完全意味着生态改善^[25]。而降水利用效率的动态变化则可能提供景观及其以上空间尺度生态退化或恢复的直接测量^[18-19],但由于 PUE_{NDVI} 的计算一定程度上依赖于降水量的变化趋势,在给定的生态系统内, PUE 随着年降水量的增加而降低^[31]。因此存在出现降水量快速增加或减少而引起伪“生态退化”或“生态恢复”的可能。结合 PUE_{NDVI} 和 NDVI 的变化趋势则有可能克服上述不足。若仅根据 PUE_{NDVI} 判断,研究区域西部的玛多县县城和扎陵湖、鄂陵湖附近区域,兴海县沿黄河到共和县地带,西宁市周边地区存在生态退化,而研究区域东南部的红原县、久治县则存在明显的生态恢复。对照生长季 NDVI

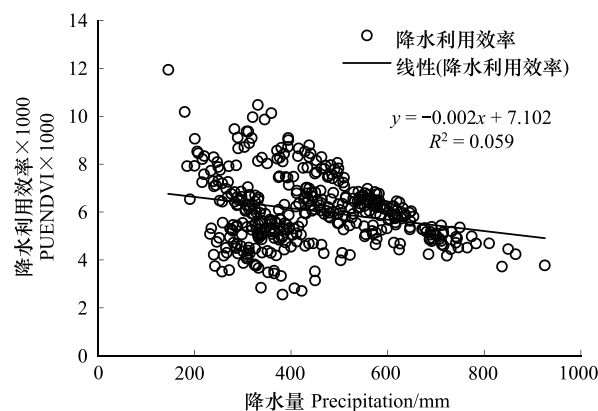


图4 研究区域气象站点的 PUE_{NDVI} 与降水量的关系

Fig.4 Relationship of precipitation use efficiency and annual precipitation for all weather stations

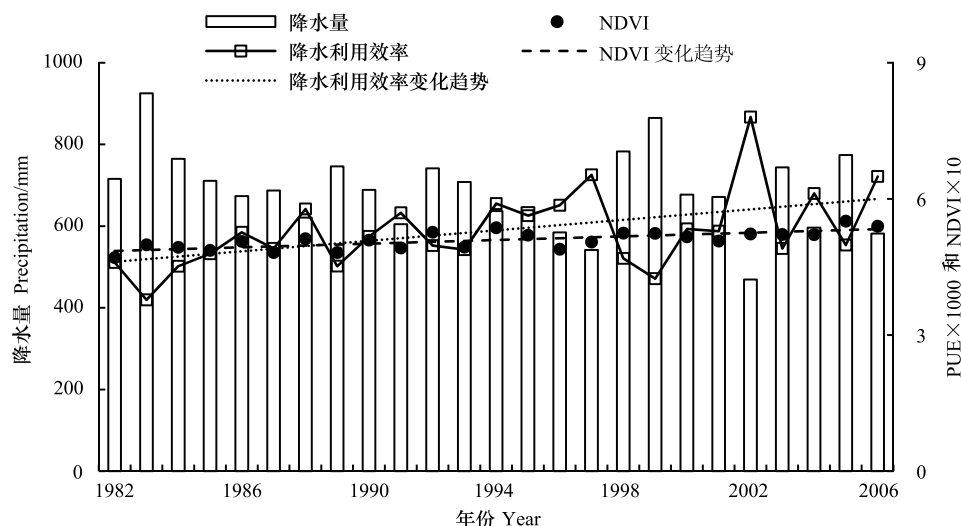
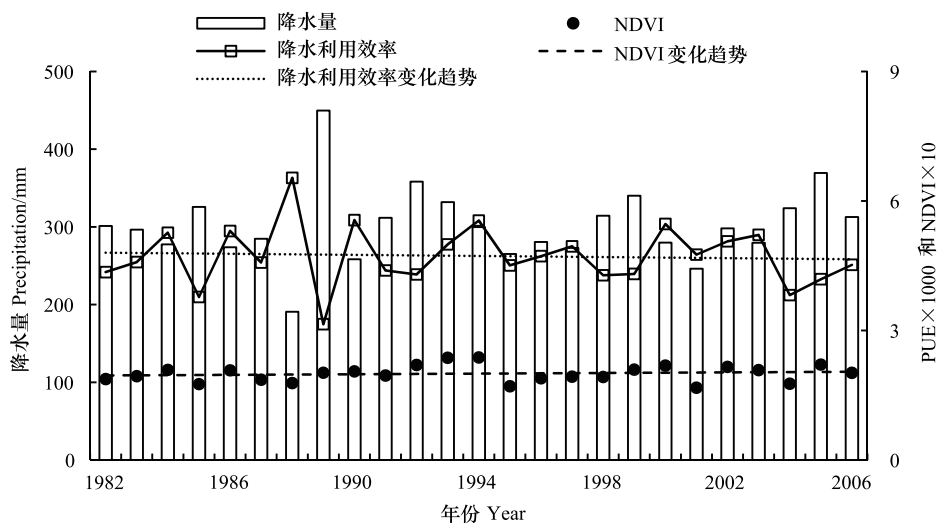


图5 红原站降水量、 PUE_{NDVI} 、NDVI 变化趋势

Fig.5 Trends of precipitation, PUE_{NDVI} and NDVI for the Hongyuan weather station

变化趋势(图2),玛多县和龙羊峡库区对应区域的 NDVI 均呈显著或接近显著的减少趋势,从侧面说明这些区域极有可能存在植被退化。相关文献显示,对于玛多县草地退化基本上形成了统一的认识^[32-33],高寒草地呈沙化、退化的空间范围与图2极相似,呈西北—东南走向^[33-34];龙羊峡库区周边的贵南县、共和县和兴海县也出现了不同程度的草地退化、沙化以及荒漠化现象^[35-38],造成植被降水利用效率的降低。尽管缺乏西宁市及其周边近30a来生态退化的相关研究,但通过 NDVI 变化趋势分析(图2)可知,西宁市及其周边区域 NDVI 主要呈增加趋势,NDVI 值有所减少的区域较少,与年份的相关系数大多小于-0.20,相对较为稳定^[39],且区域降水量略有增加(图1),因此,降水利用效率的略有降低是降水量增加导致的。研究区域东南部 NDVI 呈显著增加趋势(图2),而降水量则呈减少趋势(图1),表明区域植被覆盖状况良好,NDVI 未受到降水量减少的影响,即该区域处于生态恢复过程,但究竟是由于气温升高还是生态工程引起,则有待于进一步探讨。

PUE 与降水量、植被生产力之间的关系研究主要可以分为两类:一类是静态的,研究多年平均值沿某一梯度的空间变化;一类是动态的,针对特定生态系统类型,探讨长时间序列动态变化关系。本文主要讨论后者。研究表明,区域的干旱程度越高,无效降水的比率越高, PUE_{NDVI} 值越小,即 PUE_{NDVI} 值随着降水量的增加

图6 玛多站降水量、 PUE_{NDVI} 、NDVI 变化趋势Fig. 6 Trends of precipitation, PUE_{NDVI} and NDVI for the Maduo weather station

而增加^[19,26-27]。而本文研究结果却与此相反(图4),降水利用效率随降水量的增加而减小,这一结果与黄土高原、内蒙古有关研究相同^[26,31],与另外一些研究结果不一致^[19,26-27]。原因是由于水分利用率与供水量的关系并非单一的增值曲线^[19,40],而是呈凸抛物线型,特别是干旱地区,降水利用效率起初随降水量增加而增加,在降水量增加到一定水平时反而呈不增加或减少趋势。之所以出现不同的研究结果,主要是由于不同研究的降水量分别位于各自拐点的两侧。另外一个可能的原因是由于黄河源区和黄土高原地形陡峭,地表径流强烈,降水量的增加并没有显著地增加植被可利用的水量^[1]。为了验证该判断,绘制了研究区域年均降水量大于550 mm的5个气象站25 a的降水利用效率与降水量的关系,包括若尔盖站、玛曲站、红原站、河南站和久治站,结果见图7。在降水量达到一定水平后,植被对水分的敏感性降低,降水利用效率随降水量增加而减小,且减小的趋势逐渐变缓。从研究区域年均降水量最低的贵德站的统计结果可以看出(图7),研究区域各站基本都位于引起降水利用效率变化拐点的右侧,要确定该拐点需要在更精确的空间尺度、更小的时间尺度观测资料的基础上深入研究。

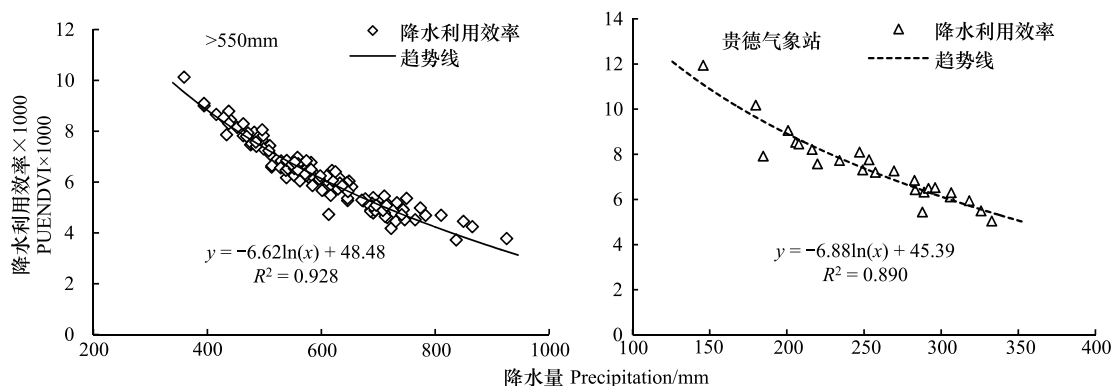
图7 研究区域降水量大于550mm和贵德气象站点的 PUE_{NDVI} 与降水量的关系

Fig. 7 Relationship of precipitation use efficiency and annual precipitation for weather stations of greater than 550mm precipitation and the Guide weather station

由于与降水量具有较强的相关性,因此在降水量较高的年份,尽管具有较高的NDVI,仍然得到了较低的 PUE_{NDVI} ,而在降水量非常低的年份反而得到较高的 PUE_{NDVI} (图5和图6)。 PUE_{NDVI} 趋势分析能够明显地区

分 PUE_{NDVI} 减少和增加的趋势,但无法去除降水量快速增加或减少的影响。结合 NDVI 变化趋势,则可以相对明确发生生态退化或改善的区域。 PUE_{NDVI} 与 NDVI 变化趋势相结合方法的不足是无法识别中小湿地萎缩、植被种类变化等退化类型,也无法确定生态退化或改善的主要原因。

4 结论

景观尺度的生态系统管理,需要该尺度上生态功能的持续而可靠的测量^[18]。开展大范围的生态调查无疑是确定生态状况的最优方法,但该方法不仅需要耗费大量人力、财力,也因缺乏评估标准而难以准确划定退化和恢复区域的边界,同时一旦区域差异较大以点带面的调查方法也会存在偏差^[12];生态退化或生态恢复效果评价及相应监测工作是一个长期、反复的过程,利用研究期始末前后对比的研究方法缺乏对于整个研究期生态过程的持续跟踪评价^[3]。充分利用现有的长期遥感观测资料,采用一种简单方法在宏观尺度上识别发生退化或恢复的区域,再辅助进行地面监测、高分辨率遥感调查,无疑更具有操作性和经济性。本文在 PUE 方法的基础上提出了利用 PUE_{NDVI} 和 NDVI 变化趋势相结合的方法作为识别景观尺度生态退化、生态恢复的方法,并进行了实例研究,主要研究结论如下:

(1)科学地识别生态退化、恢复区域,是开展区域生态建设工程、有效进行生态管理的前提和基本条件。黄河上游地区的研究表明,本文提出方法的计算结果与黄河上游地区草地退化和草地恢复的现状基本吻合, PUE_{NDVI} 与 NDVI 变化趋势相结合的方法具有在宏观尺度评估区域生态退化或生态恢复的潜力。该方法所需数据易于获取、计算简单,具有较强的操作性和实用性,可以作为大尺度生态退化和生态恢复的判断指标和生态调查的前期指标。

(2)相比较于 20 世纪 80 年代初期,黄河上游地区约 80% 的区域处于生态恢复的过程,恢复现象较为明显的区域主要位于东南部;生态退化显著的区域主要集中在玛多县县城及扎陵湖、鄂陵湖附近,以及兴海、贵南和共和三县之间。

(3)研究可为黄河上游地区开展生态恢复工程、合理规划和调整生态建设布局提供科学依据,结合地面调查确定生态退化类型后,将有望使生态调查中的有限经费发挥更大的作用。

References:

- [1] Wessels K J, Prince S D, Malherbe J, Small J, Frost P E, van Zyl D. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Journal of Arid Environments*, 2007, 68(2):271-297.
- [2] Liu G H, Fu B J, Chen L D, Guo X D. Characteristics and distributions of degraded ecological types in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1):13-19.
- [3] Wu D D, Cai Y L. Evaluation of ecological restoration effects in China: a review. *Progress in Geography*, 2009, 28(4):622-628.
- [4] Bai Z G, Dent D. Recent land degradation and improvement in China. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2009, 38(3):150-156.
- [5] Zhang K F, Li X W, Zhang D X, Peng J F, Chen J, Yu Z R. Spatial-temporal dynamic change of land resource degradation in China. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2006, 27(6):1244-1251.
- [6] Wang Y G, Zhang Q H, Zhang F. Current research status and prospects of ecological degeneration and restoration at the juncture of Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(6):703-706.
- [7] He X D, Cong P F, Dong Z B, Gao Y B, Zhou Q X. Review on global ecological degradation in the last 30 years of 20th century. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(2):283-289.
- [8] Zhang J E, Xu Q. Basic content and structure of ecological degradation. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1997, 17(6):46-53.
- [9] Zhang J E, Xu Q. Eco-mechanics analysis and quantitative expression for degradation of ecosystem, *Progress in Geography*, 2003, 22(3):251-259.
- [10] Wessels K J, Prince S D, Frost P E, van Zyl D. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(1):47-67.
- [11] Yu X B. Ecological degradation and policy implication for ecological restoration in China. *Resources Science*, 2002, 24(1):72-76.
- [12] Zhuo L, Cao X, Chen J, Chen Z X, Shi P J. Assessment of grassland ecological restoration project in Xilin Gole grassland. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5):471-480.

- [13] Bao W K, Chen Q H. The degraded processes and features of ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(2):36-42.
- [14] Guo N, Zhu Y J, Wang J M, Deng C P. The relationship between NDVI and climate elements for 22 years in different vegetation areas of northwest China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2):319-327.
- [15] Zhou H J, Wang J A, Yue Y J, Li R. Research on spatial pattern of human-induced vegetation degradation and restoration: a case study of Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9):4847-4856.
- [16] Wang J, Rich P M, Pricek P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(11):2345-2364.
- [17] Prince S D, De Colstoun E B, Kravitz L L. Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology*, 1998, 4(4):359-374.
- [18] Holm A M, Cridland S W, Roderick M L. The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85(2):145-158.
- [19] Hu Z M, Yu G R, Fan J W, Zhong H P, Wang S Q, Li S G. Precipitation-use efficiency along a 4500-km grassland transect. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19(6):842-851.
- [20] O'Connor T G, Haines L M, Snyman H A. Influence of precipitation and species composition on phytomass of a semi-arid African grassland. *Journal of Ecology*, 2001, 89(5):850-860.
- [21] Illius A W, O'Connor T G. On the relevance of nonequilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. *Ecological Applications*, 1999, 9(3):798-813.
- [22] Nicholson S E, Tucker C J, Ba M B. Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the West African Sahel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, 79(5):1-15.
- [23] Holm A M, Loneragan W A, Adams M A. Do variations on a model of landscape function assist in interpreting the growth response of vegetation to rainfall in arid environments? *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(1):23-52.
- [24] Wessels K J, Prince S D, Zambatis N, Macfadyen S, Frost P E, van Zyl D. Relationship between herbaceous biomass and 1-km² Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI in Kruger National Park, South Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(5):951-973.
- [25] Bai Z G, Dent D L, Olsson L, Schaepman M E. Global Assessment of Land Degradation and Improvement. 1. Identification by Remote Rending. Report 2008/01. Wageningen: ISRIC-World Soil Information, 2008.
- [26] Qi Q, Wang T M, Kou X J, Ge J P. Temporal and spatial changes of vegetation cover and the relationship with precipitation in Jinghe watershed of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(2):246-253.
- [27] Gao Z H, Li Z Y, Ding G D, Li L Y. New approach for desertification assessment by remote sensing based upon rain use efficiency of vegetation. *Science of Soil and Water Conservation*, 2005, 3(2):37-41.
- [28] Cao X, Gu Z H, Chen J, Liu J, Shi P J. Analysis of human-induced steppe degradation based on remote sensing in Xilin Gole, Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(2):268-277.
- [29] Hu Z M, Yu G R, Wang Q F, Zhao F H. Ecosystem level water use efficiency: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3):1498-1507.
- [30] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, Slayback D A, Pak E W, Mahoney R, Vermote E F, Saleous N E. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset, compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(20):4485-4498.
- [31] Bai Y F, Wu J G, Xing Q, Pan Q M, Huang J H, Yang D L, Han X G. Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia Plateau. *Ecology*, 2008, 89(8):2140-2153.
- [32] Zhang S, Shao Q Q, Liu J Y, Xu X L. Grassland cover change near the source of the Yellow River: case study of Madoi County, Qinghai Province. *Resources Science*, 2008, 30(10):1547-1554.
- [33] Zeng Y N, Feng Z D. Spatial and temporal changes of desertification in the headwater area of the Yellow River using remote sensing. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5):529-536.
- [34] Yang J P, Ding Y J, Chen R S. NDVI reflection of alpine vegetation changes in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3):467-478.
- [35] Han H H, Yang T B, Wang Y S. Dynamic analysis of land use and landscape pattern changes in Guinan County, Qinghai, in the past 30 years. *Progress in Geography*, 2009, 28(2):207-215.
- [36] Qie Y F, Yan C Z, Song X, Duan H C. Remote sensing monitoring on dynamics of desertified lands in Yellow River source region in last 30 years. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(3):405-409.
- [37] Sha Z J, Ma H Z, Li L Q, Zhou D J, Cao G C, Ou L Y, Yang H Z. Landuse and landcover changing course in Longyangxia Reservoir region of Gonghe Basin from 1987 to 1999. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(1):20-26.

- [38] Feng J M, Li X H. Dynamic changes of sandy desertification and its causes in the Gonghe Basin during the last 15 years. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(5):129-133.
- [39] Zhang Y L, Ding M J, Zhang W, Liu L S, Wang Z F, Yan J Z, Bai W Q, Zheng D. Spatial characteristic of vegetation change in the source regions of the Yangtze River, Yellow River and Lancang River in China. *Geographical Research*, 2007, 26(3):500-507.
- [40] Huang Z B, Shan L. Research progression on water use efficiency and its physio-ecological mechanism. *Eco-Agriculture Research*, 1998, 6(4):19-23.

参考文献:

- [2] 刘国华, 傅伯杰, 陈利顶, 郭旭东. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. *生态学报*, 2000, 20(1):13-19.
- [3] 吴丹丹, 蔡云龙. 中国生态恢复效果评价研究综述. *地理科学进展*, 2009, 28(4):622-628.
- [5] 张克峰, 李宪文, 张定祥, 彭晋福, 陈健, 宇振荣. 中国土地资源退化时空变化分析. *环境科学*, 2006, 27(6):1244-1251.
- [6] 王应刚, 张秋华, 张峰. 晋陕蒙交界地区生态退化与恢复的研究现状和展望. *生态学杂志*, 2006, 25(6):703-706.
- [7] 何兴东, 丛培芳, 董治宝, 高玉葆, 周启星. 20 世纪末 30a 里全球生态退化状况. *中国沙漠*, 2007, 27(2):283-289.
- [8] 章家恩, 徐琪. 生态退化研究的基本内容与框架. *水土保持通报*, 1997, 17(6):46-53.
- [9] 章家恩, 徐琪. 生态系统退化的动力学解释及其定量表达探讨. *地理科学进展*, 2003, 22(3):251-259.
- [11] 于秀波. 我国生态退化、生态恢复及政策保障研究. *资源科学*, 2002, 24(1):72-76.
- [12] 卓莉, 曹鑫, 陈晋, 陈仲新, 史培军. 锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价. *地理学报*, 2007, 62(5):471-480.
- [13] 包维楷, 陈庆恒. 生态系统退化的过程及其特点. *生态学杂志*, 1999, 18(2):36-42.
- [14] 郭锐, 朱燕君, 王介民, 邓朝平. 近 22 年来西北不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系. *植物生态学报*, 2008, 32(2):319-327.
- [15] 周洪建, 王静爱, 岳耀杰, 李睿. 人类活动对植被退化/恢复影响的空间格局——以陕西省为例. *生态学报*, 2009, 29(9):4847-4856.
- [26] 齐清, 王天明, 寇晓均, 葛剑平. 泾河流域植被覆盖时空演变及其与降水的关系. *植物生态学报*, 2009, 33(2):246-253.
- [27] 高志海, 李增元, 丁国栋, 李林英. 基于植被降水利用效率的荒漠化遥感评价方法. *中国水土保持科学*, 2005, 3(2):37-41.
- [28] 曹鑫, 辜智慧, 陈晋, 刘晋, 史培军. 基于遥感的草原退化人为因素影响趋势分析. *植物生态学报*, 2006, 30(2):268-277.
- [29] 胡中民, 于贵瑞, 王秋风, 赵风华. 生态系统水分利用效率研究进展. *生态学报*, 2009, 29(3):1498-1507.
- [32] 张帅, 邵全琴, 刘纪远, 徐新良. 黄河源区玛多县草地覆被变化分析. *资源科学*, 2008, 30(10):1547-1554.
- [33] 曾永年, 冯兆东. 黄河源区土地沙漠化时空变化遥感分析. *地理学报*, 2007, 62(5):529-536.
- [34] 杨建平, 丁永健, 陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 记录. *地理学报*, 2005, 60(3):467-478.
- [35] 韩海辉, 杨太保, 王艺霖. 近 30 年青海贵南县土地利用与景观格局变化. *地理科学进展*, 2009, 28(2):207-215.
- [36] 郅妍飞, 颜长珍, 宋翔, 段翰晨. 近 30a 黄河源地区荒漠遥感动态监测. *中国沙漠*, 2008, 28(5):405-409.
- [37] 沙占江, 马海州, 李玲琴, 周笃君, 曹广超, 欧立业, 杨海镇. 共和盆地龙羊峡库区 1987—1999 年间土地覆被变化过程. *中国沙漠*, 2005, 25(1):20-26.
- [38] 封建民, 李晓华. 近 15 年来共和盆地土地沙质荒漠化动态变化及原因分析. *水土保持研究*, 2010, 17(5):129-133.
- [39] 张德铨, 丁明军, 张玮, 刘林山, 王兆锋, 阎建忠, 摆万奇, 郑度. 三江源地区植被指数下降趋势的空间特征及其地理背景. *地理研究*, 2007, 26(3):500-507.
- [40] 黄占斌, 山仑. 水分利用效率及其生理生态机理研究进展. *生态农业研究*, 1998, 6(4):19-23.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《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 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 11 (June, 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