

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

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 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

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/stxb201204260595

赵锐锋, 姜朋辉, 赵海莉, 樊洁平. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析. 生态学报, 2013, 33(14): 4436-4449.

Zhao R F, Jiang P H, Zhao H L, Fan J P. Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4436-4449.

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析

赵锐锋*, 姜朋辉, 赵海莉, 樊洁平

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要:在遥感和 GIS 技术支持下, 基于 1975—2010 年长时间序列遥感影像, 选取斑块密度指数 (PD)、景观内部生境面积指数 (IA)、斑块平均面积指数 (MPS)、斑块形状破碎化指数 (FS_1 、 FS_2) 等具有典型生态意义的景观指数模型, 系统分析了黑河中游湿地景观的破碎化过程, 并结合灰色关联分析、主成分分析等方法, 探讨了影响研究区湿地景观破碎化过程各驱动因子。结果表明: 近 35 年来, 研究区湿地景观破碎化主要表现为斑块平均面积的萎缩, 斑块密度的上升以及斑块形状破碎化指数的增大。整个研究时段内, 研究区湿地斑块平均面积减少了 48.95hm^2 , 斑块密度的上升 0.006 个/ hm^2 ; 导致黑河中游湿地景观破碎化发生和发展的驱动力包含自然和人文两个方面。自然因子对湿地景观破碎化进程的影响则主要体现在气温和降水上, 而且气温对湿地景观破碎化进程的影响程度明显大于降水。但在 1975—2010 年间的这一较小时间尺度上, 人类活动对湿地景观破碎化的贡献率明显高于自然因子, 人类活动能力的增强以及影响范围的不断扩大是引发黑河中游湿地景观破碎化的主因。

关键词:黑河中游; 湿地景观; 破碎化过程; 景观指数; 驱动力

Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis

ZHAO Ruifeng*, JIANG Penghui, ZHAO Haili, FAN Jieping

Geography and Environment College of North West Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China

Abstract: Heihe River is one of the most important inland rivers in the northwest arid district of our country. Wetlands that distributed along the middle Heihe River Basin has a great significance to the eco-environment safety of northwestern regions in our country. It plays a key role in preventing the Tengger Desert and Badain Jaran Desert to be a whole. However, it had been destructed by human activities and climate change deeply in recent years. So the research of the wetlands in Heihe River is urgently needed. Based on satellite images of 1975, 1987, 1992, 2001 and 2010, the paper chose some typical landscape index models, such as patch density, landscape internal habitat area index, mean patch size, FS and so on, to analyze the wetland landscape fragmentation process and its drivers of the middle Heihe River Basin between 1975 and 2010, combining with grey relational analysis, principal component analysis and other analytical methods. The results indicated that fragmentation process of wetland landscape in the middle reaches of the Heihe River mainly expressed as the shrinkage of internal habitat area and mean patch size, the increase of fragmentation index and the enlargement of FS in the past 35 years. In the entire period of study, the mean patch size of the wetlands in middle Heihe River Basin decreased 48.95hm^2 corresponding to the patch density raised $0.006\text{Ind}/\text{hm}^2$. In terms of patch shape fragmentation index, it mainly expressed as the increasing of mean patch shape fragmentation index and area-weighted mean shape fragmentation index. Especially the values of the mean patch shape fragmentation index and area-weighted mean shape fragmentation index

基金项目:国家自然科学基金项目(41261047, 41201196); 教育部博士点基金项目(20106203120004); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划骨干项目(NWNU-LKQN-11-11)资助

收稿日期: 2012-04-26; 修订日期: 2012-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoruifeng@126.com

increased from 0.524, 0.269 to 0.556 and 0.276 between 1992 and 2010. So it can draw a conclusion that wetland landscape fragmentation has been the main manifestations of wetland degradation in the study area throughout the study period. The dominant driving force which led to the middle reach of the Heihe River wetland landscape fragmentation and development is human factors. Natural factors on the process of wetland landscape fragmentation have a certain influence. Yet the contribution of human activities on the wetland landscape fragmentation was significantly higher than the natural factors in a smaller time scale. The increased capacities as well as the expanding influence sphere of human activities act as the main cause of the middle reach of the Heihe River wetland landscape fragmentation. In addition, natural factors also have some influence on the process of wetland landscape fragmentation. Furthermore, the impact of natural factors on the process of wetland landscape fragmentation is mainly reflected in the temperature and precipitation. Comparing with precipitation, in the natural context of arid environments just like the study area, the temperature plays a significantly greater actor in the process of wetland landscape fragmentation.

Key Words: wetlands landscape; fragmentation process; landscape indices; middle reach of the heihe river; driving forces

湿地是地球上水陆相互作用形成的独特生态系统,多指位于水陆交错地带,且占据一定的水域和陆域,或常年或季节性被浅水淹没的区域^[1]。作为全球生态系统的重要组成部分,湿地在降解污染物、调蓄洪水、净化水质、调节气候、维持生物多样性和区域生态安全等方面发挥着无可替代的作用,具有极其重要的生态、经济、社会以及科研价值和意义^[2-3]。近年来,在自然和社会经济因素的双重驱动下,全球范围内的多数湿地资源已然消亡,现存湿地也多呈现出不同程度的景观破碎化现象,生态与系统完整性受到严重的威胁^[4-6],因此,重视湿地景观破碎化过程和驱动力研究,有助于很好的理解湿地生态系统的演变规律,为湿地生态系统保护和恢复提供科学依据。解析湿地破碎化过程及驱动力已成为当前湿地科学急需解决的关键科学问题之一^[7]。

景观破碎化是指景观由单一、均质和连续的整体趋向于复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体,它直接影响着景观中生物多样性、能量流动、物质循环等生态特征与过程^[8],是导致湿地生态系统退化、生物多样性功能减弱甚至丧失的主要原因^[7]。干旱区湿地是干旱区生态景观格局安全的重要结点和关键区域,它承担着区域水资源、生物资源、矿产和能源资源的供应以及为人类提供生存和发展用地的重任^[9-10],并对绿洲萎缩、河岸林锐减、草场退化、荒漠化具有一定的抑制作用。同时,受干旱区特殊的地理环境的影响,对区域环境要素改变和人类活动的扰动非常敏感,一旦破坏则很难恢复^[11]。黑河中游湿地位于我国西北内陆干旱地区,是自然形成的多类型、多层次的复杂生态系统,湖泊、沼泽、滩涂等星罗棋布,是我国候鸟三大迁徙的西部路线之一,也是全球8条候鸟迁徙通道之一的东亚—印度通道的中转站,更是遏制巴丹吉林沙漠南下扩张的天然生态屏障,在黑河流域乃至河西走廊生态平衡中发挥着重要作用^[12]。然而,多年来延续的气候变暖导致黑河中游区地表水补给日趋减少,地下水持续下降,河水断流,湖泊干涸,从而致使该区域湿地由于缺少水源补给而逐渐缩小。此外,工农业发展需水量以及污水排放量的急剧增加使得黑河中游湿地补给水源的数量与质量锐减,各湿地类型间的能量与物质循环难以正常维持,致使黑河中游湿地大面积减少,破碎化加重,生态系统及其功能严重退化^[13],进而导致北部巴丹吉林沙漠逐渐南移,大片草原和绿洲面临着被吞噬的威胁,危及黑河流域的生存和发展,影响河西走廊乃至整个西北地区的生态安全。

目前,国内对湿地景观破碎化的研究范围主要集中在三江平原、青藏高原、东部沿海区等^[14-16],而针对西北干旱区内陆河流域湿地景观破碎化的研究还较为薄弱^[17]。对于黑河流域,众多研究学者从土地利用、水文、植被、气候变化等方面进行了系统的研究,取得了丰硕的成果^[18-22]。此外,有关黑河景观格局变化的研究也取得了显著进展^[23-24]。然而涉及黑河流域湿地景观变化的研究却十分匮乏,尤其针对湿地破碎化的研究几乎为空白。而且在有关湿地景观变化驱动力的众多研究中,多数研究或单独分析人类活动的作用,或仅仅探讨自然因素的影响,而将自然因素和人类活动影响综合在一起定量分析其影响的研究尚不多见。

本研究以黑河中游湿地为研究对象,应用遥感和地理信息系统等现代手段以及景观格局指数法、灰色关联分析、主成分分析等综合研究方法,对黑河中游湿地景观破碎化过程及驱动力进行系统深入的研究,为黑河流域湿地资源的保护利用与恢复以及区域生态环境的可持续发展提供理论支撑和决策参考。

1 研究区概况

黑河中游区(98°57′—100°52′E,38°39′—39°59′N),行政区划上包括张掖市所属的甘州区、高台县、临泽县,南临祁连山,北依合黎山,黑河贯穿全境,自西南流向东北(图1)。属于温带荒漠气候,年均降水量50—250mm,年均蒸发量2000—3500mm,地带性植被为温带小灌木、半灌木荒漠植被。受河流和人类活动影响,山前冲积扇下部和河流冲积平原分布有栽培农作物和林木,呈现以人工植被为主的景观。土地类型主要为耕地、草地和戈壁。土壤属灰棕荒漠土与灰漠土分布区。2010年区域GDP为14.7×10⁵万元,年末总人口为82.55万人。

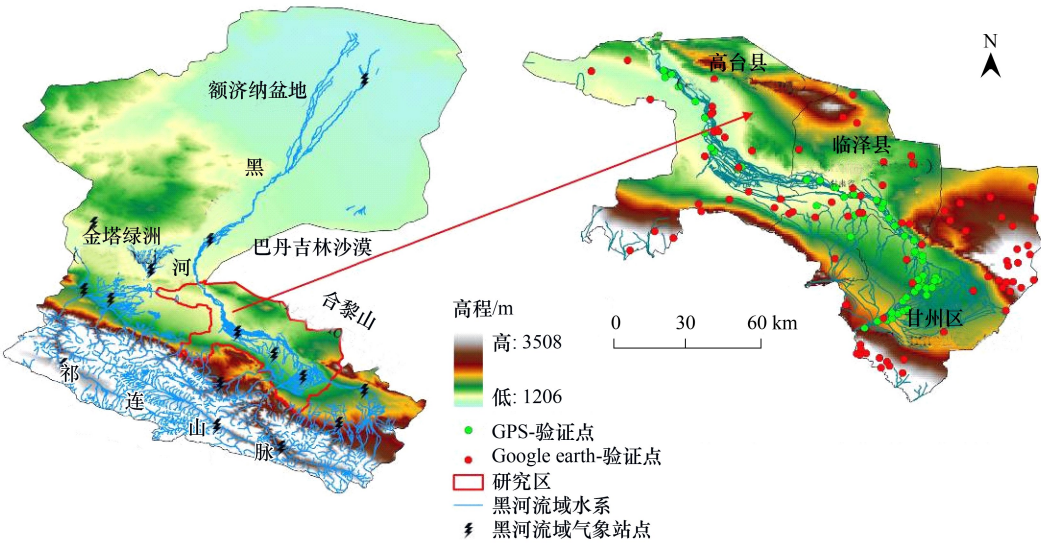


图1 研究区在黑河流域的位置示意图

Fig.1 Location of the study area in the Heihe River basin

2 研究方法

2.1 数据源

本文获取近35年黑河中游区湿地景观信息的数据源主要为遥感影像(表1)。驱动力分析所需的气象数据、水文数据和社会经济统计数据主要来源于中国气象数据共享网、黑河上游、中游分界点莺落峡水文站和中游、下游分界点正义峡水文站1956—2005年间观测的年径流量数据、《甘肃60年》和张掖市1984—2010年的统计年鉴资料。

表1 研究区景观信息的数据源表

Table 1 Data sources for landscape information of research district

年份 Year	数据源类型 Data source types	遥感影像 Remote sensing image
1975	MSS	143/33, 1975. 10. 07; 145/32, 1975. 10. 09; 144/33, 1976. 07. 04
1987	TM	133/33, 1987. 08. 15; 134/33, 1987. 10. 09; 134/32, 1989. 09. 28
1992	TM	133/33, 1992. 09. 05; 134/33, 1992. 08. 27; 134/32, 1991. 09. 02
2001	ETM	133/33, 1999. 07. 07; 134/33, 2001. 07. 03; 134/32, 2001. 08. 20
2010	ETM	134/33, 2010. 08. 05; 133/33, 2010. 08. 14; 134/32, 2010. 08. 21

2.2 遥感数据的解译与精度验证

利用 ERDAS IMAGINE 9.2 对遥感图像进行图像校正、图像拼接、图像增强和图像裁剪等预处理。根据研究区景观信息特征,在借鉴国内外现有湿地景观分类研究成果的基础上^[17, 25],结合实际研究需要,将黑河中游景观类型划分为:耕地、草地、林地、湿地、居民工矿用地和未利用地 6 个一级类型,河流湿地、湖泊湿地、水库坑塘湿地、河滩湿地和沼泽湿地等 21 个二级类。然后运用相关分析法,利用与湿地类型有密切关系的间接解译标志,同时结合地形图、Google earth 高清影像以及野外验证工作,从已识别的间接解译标志推断出湿地类型的属性位置及分布范围,建立合适的解译标志。最后,在 ARCGIS9.3 软件支持下,参考研究区 1:50000 地形图进行人机交互式判读,目视解译得到 1975 年、1987 年、1992 年、2001 年、2010 年研究区湿地景观空间分布数据。精度的验证则通过结合野外 GPS 验证点、Google earth 以及相关的各类历史图集资料,采用位置精度评价,计算得出 1975 年、1987 年、1992 年、2001 年、2010 年的遥感影像整体解译精度分别为 77.67%、80.74%、77.92%、80.57%、81.18%,平均解译精度达 79.62%。分类效果较好,能够满足大尺度研究需要。

2.3 分析方法

当前,国内外学者在景观破碎化分析的方法选择上多倾向于采用景观破碎化指数进行定量分析。本研究选取斑块平均面积(MPS)、斑块内部生境面积(IA)、斑块密度(PD)、斑块平均形状破碎化指数(FS_1)和面积加权平均形状破碎化指数(FS_2)等景观破碎化指数,结合转移矩阵模型对黑河中游湿地的景观破碎化过程进行综合分析,各指数计算公式和生态学意义参见文献^[14, 26-27]。采用灰色关联法和主成分分析法等相结合的方法进行黑河中游湿地景观破碎化驱动力分析。

3 结果与分析

3.1 湿地景观的破碎化过程

由图 2 可知,1975—2010 年,黑河中游湿地的斑块平均面积逐年减小,缩减幅度高达 42.12%,且尤以 1975—1987 年、2001—2010 年两时段内缩减幅度最为显著,分别高达 22.56% 和 19.35%。与此相反,湿地景观的斑块密度、斑块平均形状破碎化指数(FS_1)和面积加权平均形状破碎化指数(FS_2)却呈现出逐年增大趋势,尤其在 20 世纪 90 年代和 21 世纪初的十几年内,这一变化更为明显。其中,斑块密度指数增加了 17.90%,斑块平均形状破碎化指数(FS_1)和面积加权平均形状破碎化指数(FS_2)则分别由 1992 年的 0.524、0.269 增加到 2010 年的 0.556、0.276。

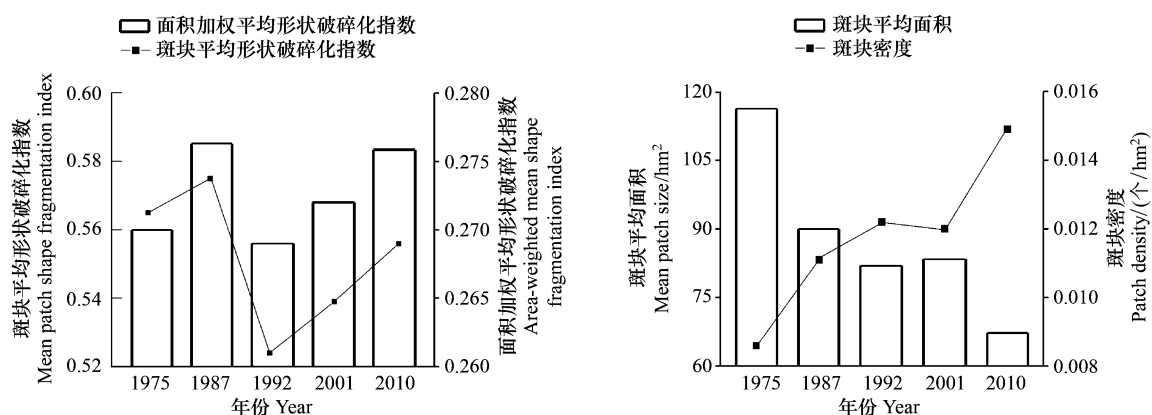


图 2 黑河中游湿地的景观指数变化

Fig. 2 The landscape indices changes of wetlands in the middle reaches of Heihe River

这些变化指示出,研究区湿地逐渐由研究初期大面积斑块体占主导、空间上连续分布的格局趋于景观破碎化。此外,受不同历史背景条件下人类活动对各湿地景观类型的干扰程度存在差异以及各研究时段内自然条件波动变化的影响,不同阶段内湿地景观破碎化进程虽然表现出不同的演变趋势,但景观破碎化依旧是研

究区景观格局变动的主旋律,短期内这一主导方向不会有所变化。

3.2 湿地景观类型的破碎化过程

3.2.1 河流湿地景观破碎化过程

从各景观指数层面分析,流域内河流湿地的内部生境面积、斑块平均面积均处于逐渐萎缩的态势,斑块形状破碎化指数不断增加(图3)。尤其自1975年以后,黑河中游河流湿地内部生境面积缩小了3702.96 hm²,缩减幅度高达59.86%。斑块平均面积由1975年的7183.06 hm²骤减至1987年的1229.84 hm²,变化幅度更是高达82.88%。2000年实施分水之后,黑河部分河段出现断流,河道被分割为若干条,河流湿地的斑块形状破碎化指数也由0.9237、0.9463上升为0.9390和0.9555。究其主因在于黑河中游区为全国重要的商品粮生产基地,耗水量占流域耗水量的85%以上,是黑河的主要耗水区和径流利用区,80年代耗水量比40年代末期至70年代增加了 $2.0 \times 10^8 - 2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右^[28],而21世纪初启动的黑河分水更是进一步引起了黑河中游水量的锐减^[29],河流湿地缺乏充足的补给水源,导致河流湿地面积退缩,进而出现景观破碎化现象。

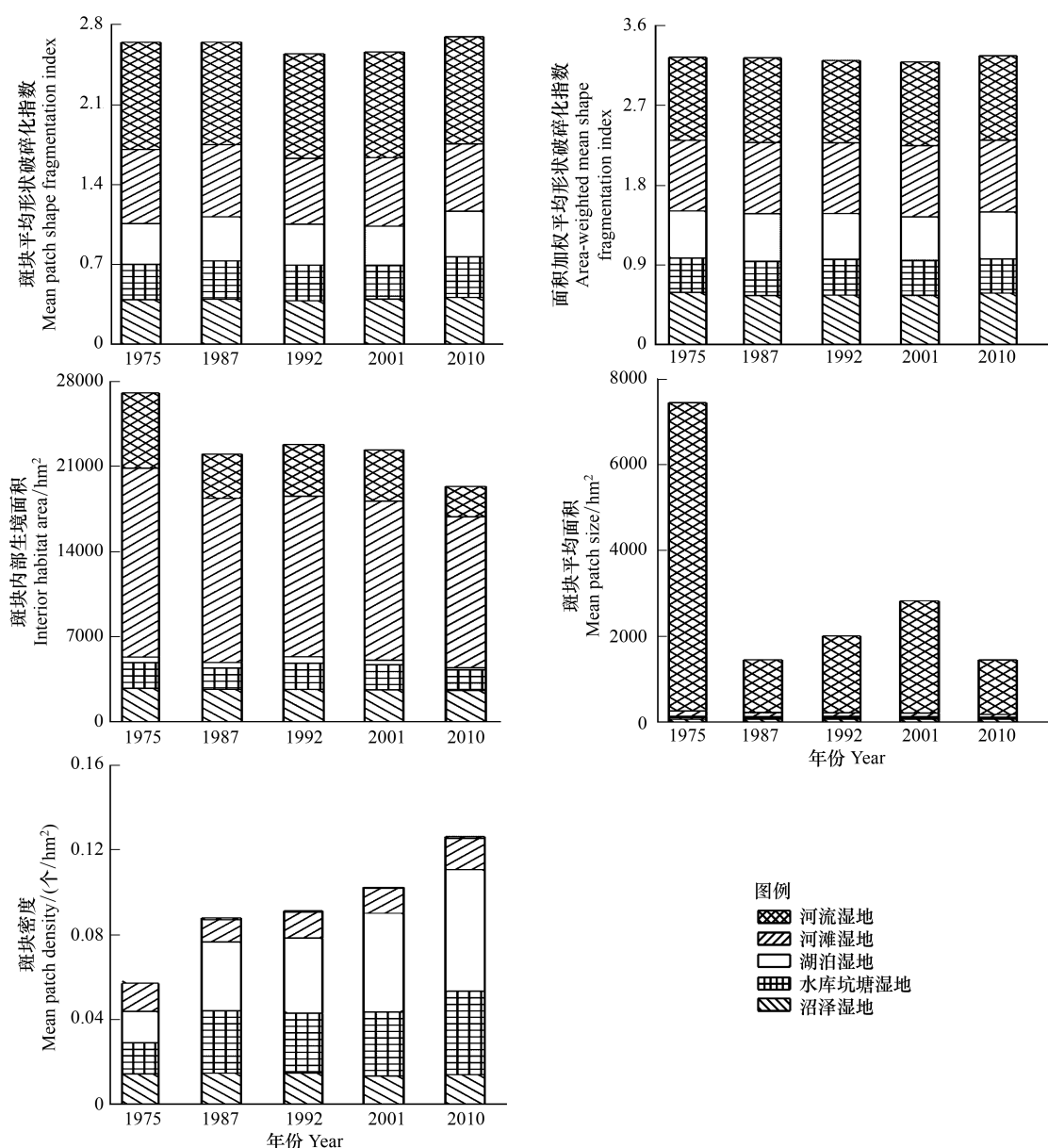


图3 黑河中游各湿地类型的景观指数

Fig.3 The landscape indices of every wetland types in the middle reach of Heihe River

3.2.2 湖泊湿地景观破碎化过程

湖泊湿地作为干旱区较易受到人为和自然因素干扰的景观,其斑块景观格局变化动态较大。从斑块形状破碎化指数方面分析(图3),1975—1987年,湖泊湿地的斑块形状破碎化指数由0.3554、0.5330增至0.3862、0.5383,斑块形状朝不规则方向变化;1987年以后至2001年,随着斑块形状破碎化指数的降低,呈现规则化发展;但在2001—2010年间,又转向于表现为不规则变化。然而就湖泊湿地的斑块密度指数、内部生境面积和斑块平均面积而言,其景观格局变化趋势十分明显。其中,斑块密度自研究初期的0.0147个/hm²持续增长至2010年的0.0394个/hm²,增幅高达72.94%,而内部生境面积和斑块平均面积在1975—2010年的35年间分别减少了63.71%、41.65%(图3)。据此可知,虽然在人文和自然因素的综合作用下,湖泊湿地景观变化表现出一定的波动性,但是其最终演变趋势仍归于景观的破碎化。

3.2.3 河滩湿地景观破碎化过程

80年代以来,改革开放和西部大开发带来的工农业的快速发展,研究区土地、水等资源需求日益膨胀^[30]。河滩湿地作为河流与陆地生态系统进行物质、能量、信息交换的重要过渡带^[31],距水源较近的优越空间位置使得其成为耕地开垦的主要来源,在过去的35a间,研究区河滩湿地的斑块平均面积和内部生境面积分别减少了45.91%、20.06%,1975年河滩地总面积的20.06%被开发为其他用地,斑块密度由1975年的0.0133个/hm²上升至2010年的0.0147个/hm²(图3),河滩湿地的生态系统结构和过程遭到严重破坏。斑块平均面积和内部生境面积的缩小、斑块密度指数的增大表明研究区河滩湿地景观已由连续、完整转向分散、破碎化。

3.2.4 沼泽湿地景观破碎化过程

研究区沼泽湿地分布广泛,水源由降水或地下水补给而形成^[32]。因而,降水和地下水的变化会直接影响到沼泽湿地的水分补给,进而导致沼泽湿地景观扩张或萎缩。近35年来,研究区降水量趋于减少,气温波动上升^[33],70—80年代,由于各种大规模开发导致地下水系统补给量减少了2.168亿m³/a,1986年以来的土地用变化更进一步导致地下水储存量减少了0.545亿m³/a^[34]。对应于该时期降水和地下水的变化,1975—1992年间,研究区沼泽湿地内部生境面积和平均斑块面积分别缩减了6.37%、3.42%(图3),斑块密度指数由0.0143个/hm²增加到0.0148个/hm²(图3)。进入21世纪之后,人们虽然增强了对沼泽湿地的认识与保护,在一定时期内使得沼泽湿地有所恢复。但是沼泽湿地景观破碎化仍在持续。2001—2010年,研究区沼泽湿地的内部生境面积和平均斑块面积分别减少了2.57%、4.33%,斑块形状破碎化指数(FS_1 、 FS_2)由0.3961、0.5542分别上升至0.4081、0.5792(图3),沼泽湿地的景观破碎化进程仍在继续。

3.2.5 水库坑塘湿地景观破碎化过程

近几十年来,随着黑河中游社会经济的快速发展,引用地表水和开采地下水的量迅速上升,修建的水库数量也迅速增加^[35],从而使得水库坑塘湿地的斑块密度增大。水库坑塘湿地的斑块密度自研究初期的0.0148个/hm²持续增长至2010年的0.0574个/hm²(图3)。然而,灌溉面积的持续增加,降水量的减少以及气温的不断上升使得水库坑塘内的湿地面积日渐减少。整个研究时段内,水库坑塘湿地的斑块平均面积和内部生境面积分别减少了34.64%、19.67%,斑块平均形状破碎化指数由0.3120增加为0.3581(图3),这显示研究区水库坑塘湿地景观整体趋于破碎化。

3.3 湿地景观空间格局演变

由图4可知研究区不同时期湿地景观的空间分布结构特征。20世纪70年代中期,甘州、临泽、高台三县境内湖泊、沼泽、河滩地星罗棋布,湿地类型多样,沙漠、戈壁、湿地、绿洲相映生辉,“四面芦苇三面水”、“甘州不干水池塘”等民谚正是对这一时期湿地广布景象的生动阐述。该阶段各湿地景观类型在空间分布上表现为:河滩湿地大面积的连接成片分布,沼泽湿地、湖泊湿地和水库坑塘湿地罗列于黑河主干道两岸,各湿地类型间或彼此邻近分布,或相互连为一体。1975年之后,尤其自1987年以来,河流湿地急剧萎缩,河滩地被大规模地转为其他用地,斑块密度大幅上升至。靠近河流分布的湖泊、沼泽、水库坑塘湿地则因河流湿地和自身

面积的萎缩发生相对位移,河流两岸的湿地景观逐渐演变为河滩湿地、耕地、未利用地等景观交织分布。各湿地类型在空间结构特征和分布上逐渐由之前完整且彼此相连的大斑块体破碎化为相互分离的小斑块个体,如湖泊、沼泽湿地等正渐渐演变为耕地、未利用地等其他用地类型上的小型斑块镶嵌体。

此外,利用马尔科夫转移矩阵对黑河中游区湿地变化过程进行空间统计,构建各湿地类型与其他用地类型的转移矩阵(表2),分析可知:1975—2010年间,湿地空间转换的主要表现为河滩湿地类型向耕地、草地的转化以及河流湿地和河滩湿地间的相互转化。整个研究时段内,仅河滩湿地转为耕地的平均面积达到 $0.06 \times 10^4 \text{ hm}^2$,而转为草地的平均面积更是高达 $0.12 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。河滩湿地与河流湿地间的转化为湿地空间转换的另一主要表现形式,该部分平均面积达到 $0.11 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。湿地的这一空间转换过程使得湿地的完整性进一步被瓦解,之前绵延一体的湿地景观逐渐被耕地、草地等其他景观所分割。

表2 黑河中游各景观类型之间的转移矩阵($\times 10^4 \text{ hm}^2$)

Table 2 The transition matrix between every landscape types in the middle reaches of Heihe River ($\times 10^4 \text{ hm}^2$)

年份 Year	景观类型 Landscape Type	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1975—1987	A	15.33	0.01	0.4	0.05	0.3	0.01	0.1	0.04	0.65	0.01
	B	0.02	1.6	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0.02
	C	1.67	0.01	14.4	0.03	0.12	0	0.17	0.02	0.43	0.02
	D	0.02	0	0.02	0.36	0.06	0	0	0	0.02	0
	E	0.04	0	0.06	0.22	1.35	0	0.01	0.01	0.03	0
	F	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0.01	0
	G	0.11	0	0.03	0	0	0	1.52	0	0.09	0
	H	0.01	0	0.02	0	0.02	0	0	0.14	0.01	0
	I	1.83	0	0.24	0.05	0.08	0	0.14	0.03	65.22	0.02
	J	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.26
1987—1992	A	14.49	0.03	0.65	0.03	0.11	0.01	0.23	0.05	0.52	0.01
	B	0.03	1.34	0.33	0	0	0	0.01	0	0	0
	C	1.35	0.28	15.25	0.02	0.11	0	0.14	0.01	0.35	0.01
	D	0.04	0	0.03	0.3	0.14	0	0	0	0.02	0
	E	0.12	0	0.1	0.11	1.28	0	0.01	0	0.03	0
	F	0.01	0	0.01	0	0	0.04	0.01	0	0.01	0
	G	0.21	0.01	0.09	0	0.01	0	1.21	0	0.04	0
	H	0.04	0	0.02	0	0.03	0	0	0.13	0.03	0
	I	0.61	0	0.36	0.03	0.04	0	0.14	0.01	66.59	0
	J	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.32
1992—2001	A	14.29	0.03	0.33	0.01	0.02	0.01	0.2	0.02	0.33	0.01
	B	0.02	1.41	0.32	0	0	0	0.01	0	0.02	0
	C	0.89	0.27	16.48	0.07	0.19	0.01	0.1	0.02	0.6	0.01
	D	0.03	0	0.01	0.36	0.12	0	0	0	0	0
	E	0.16	0	0.06	0.1	1.29	0	0	0.02	0.04	0
	F	0.01	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0
	G	0.17	0.01	0.06	0	0.01	0	1.23	0	0.03	0
	H	0.04	0	0.01	0	0.01	0	0	0.17	0.01	0
	I	0.5	0	0.24	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	66.76	0
	J	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.29
2001—2010	A	13.03	0	0.3	0.06	0.23	0.01	0.05	0.03	1.42	0.01
	B	0.05	1.71	0.19	0	0.01	0.01	0.01	0	0.17	0
	C	1.05	0.06	17.88	0.07	0.13	0.01	0.18	0.02	1.84	0.01
	D	0.01	0	0.02	0.26	0.04	0	0	0	0.06	0
	E	0.17	0	0.02	0.13	1.19	0	0	0.03	0.06	0.01
	F	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0
	G	0.13	0	0.09	0	0	0	1.25	0	0.42	0
	H	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0	0.14	0.03	0.01
	I	0.78	0.01	0.1	0	0.07	0.01	0.03	0.02	63.57	0.01
	J	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.26

A: 草地 Grassland; B: 居民工矿用地 Resident and Industry Land; C: 耕地 Farmland; D: 河流湿地 River; E: 河滩湿地 Bottomland; F: 湖泊湿地 Lakes; G: 林地 Woodland; H: 水库坑塘湿地 Reservoir and Ponds; I: 未利用地 Unutilized Land; J: 沼泽湿地 Marsh

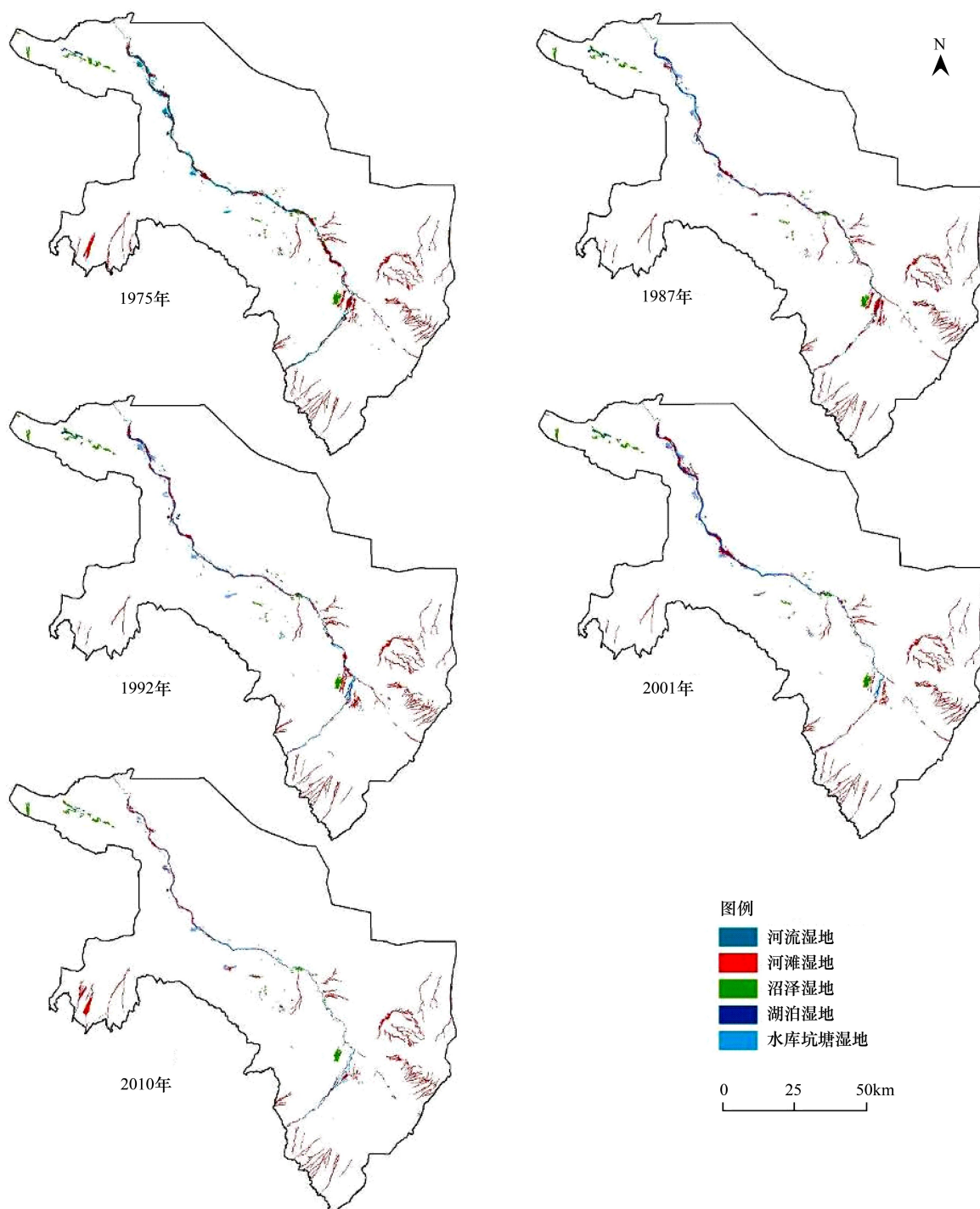


图4 不同时期黑河中游湿地分布

Fig.4 The distribution of wetlands in the middle reaches of the Heihe River in different years

4 湿地景观破碎化驱动力分析

导致景观破碎化的驱动力一般可归纳为自然因素和人文因素两方面,此二者的共同作用是景观破碎化现象发生的重要条件^[36]。

4.1 湿地景观破碎化驱动力的定性分析

4.1.1 自然因素

(1) 气温和降水对湿地景观破碎化的驱动分析

气候条件对湿地资源的影响主要表现在降水和温度两个方面^[37]。降水是湿地水源补给的重要来源之一,温度则是湿地水量流失的重要影响因素。分析图 5 可知,1975—2010 年间,黑河中游区气温和降水的总体变化趋势为:气温的显著上升和降水量的波动增加。这一气候变化趋势势必引起湿地水文及土壤温度升高,将影响湿地的能量平衡^[38],从而加速研究区湿地景观破碎化进程。将气温和降水分别与对应时期的湿地景观指数一一对应进行灰色关联分析^[39],由湿地景观破碎化指数和年平均气温、年均降水量间的灰色关联分析结果(表 3)可知,年平均降水量与湿地景观破碎化指数的灰色关联系数均明显低于年平均气温。由此可见,气温变化对研究区湿地景观破碎化的影响明显高于降水量,气温的波动上升是导致研究区湿地景观破碎化的主要自然因素。

表 3 黑河中游湿地各景观指数与气象因子的灰色关联系数

Table 3 Grey relational coefficients between wetland landscape indices and meteorological factors

	湿地斑块数量 <i>NP</i>	湿地平均 斑块面积 <i>MPS</i>	湿地面积 <i>CA</i>	湿地最大 斑块面积 <i>LPA</i>	景观斑块形状 破碎化指数 <i>FS₁</i>	景观斑块形状 破碎化指数 <i>FS₂</i>
年平均气温 Annual temperature	0.6571	0.5422	0.5896	0.5451	0.6516	0.7316
年均降水量 Annual precipitation	0.6105	0.5076	0.5423	0.5260	0.5803	0.6471

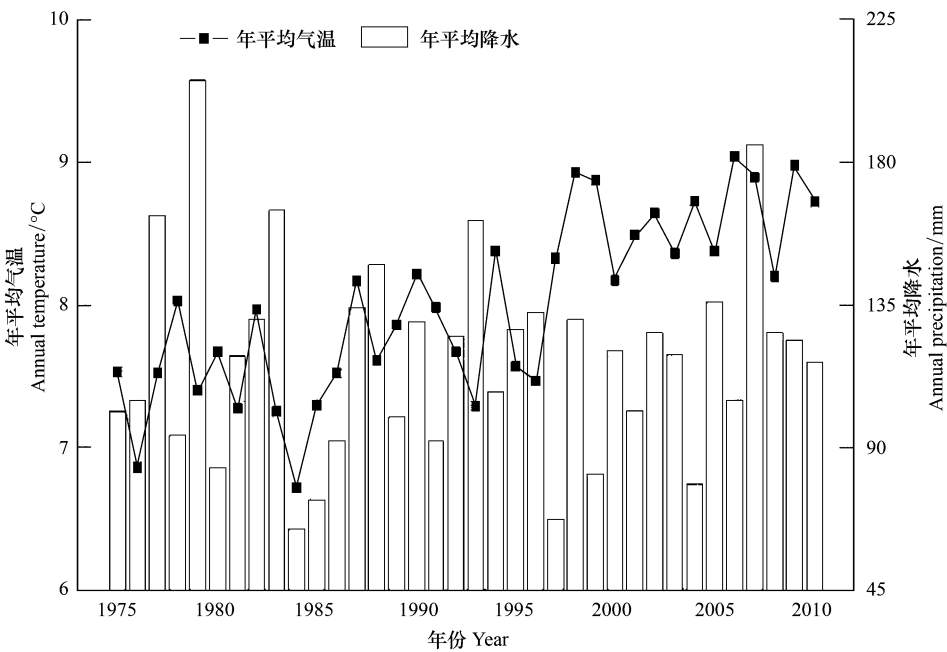


图 5 黑河中游年平均降水量和年平均气温变化趋势

Fig. 5 The change of annual precipitation and temperature in the middle reach of Heihe River

(2) 水文动态变化对湿地景观破碎化的驱动分析

由于位于水陆交错地带,且占据一定的水域和陆域,因而湿地受水文动态变化的影响十分显著,它是促成湿地植被和土壤的决定性因素^[40]。水文正是通过对湿地植被和土壤特征的决定性影响进而左右着湿地景观格局的变化。分析图 6 可知,1956 年以来伴随气温的上升,高山冰雪融化速度加快,冰雪融水量增加,莺落峡的来水量呈波动增加趋势。正义峡却因受中游工农业发展过程中大量汲取黑河水而导致径流量的下降趋势明显。然而 2000 年黑河中游分水之后,正义峡的年径流量明显增加。在这一阶段内,由于黑河中游水量减少幅度最为显著,因而其对黑河中游湿地景观格局的影响也最为明显。对应于该时期黑河中游湿地景观破碎化进程不难发现,由于正义峡下泄量的增加致使黑河中游地区地下水位明显下降,湿地的补给水源大幅减少,2001—2010 年间,黑河中游湿地的斑块平均面积缩减了 19.35%,而斑块密度和斑块平均形状破碎化指数

(FS_1) 和面积加权平均形状破碎化指数 (FS_2) 却呈现出逐年增大趋势,湿地景观破碎化现象凸显。

4.1.2 人文因素

黑河中游湿地地区地处干旱区环境背景下,长期受自然环境的制约,自然条件的变更对湿地景观破碎化的影响毋庸置疑。但以人口增加和社会经济水平发展为代表的人文因素对湿地景观破碎化的驱动尤为突出。近 35 年来,黑河中游区人口从研究初期的 58.67 万人迅猛增加至 82.55 万人,增幅为 28.93%,相应的农民人均收入水平更是提高了 66.28 倍之多(图 7)。人口的大量增加,经济的飞速发展带来的是耕地、居住地以及消费品等需求量的大规模上涨。为满足这一需求增加量,1975—2010 年间,研究区整个研究时段内,林地、草地、湿地大面积地转化为耕地和居民工矿用地。由黑河中游各景观类型之间的转移矩阵(表 2),分析可知:

1975—2010 年的近 35 年间,黑河中游湿地流失量较大。特别是在 1992—2010 年的十几年内,各类型湿地流失总面积由 1992—2001 年的 $0.39 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 2001—2010 年的 $0.43 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其中,1992—2001 年间,约有 $0.24 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 湿地转为耕地,仅此类流失方式就占了该时期湿地流失总面积的 55.81%。1975—1987 年该数据为 65.52%,1987—1992 年为 30.61%,2001—2010 年更是达到 76.92%。据此可知,湿地转为耕地的总面积在湿地流失总面积中所占比例呈逐渐上升趋势。所以,人类活动是导致黑河中游湿地景观破碎化最直接和主要的驱动因子。

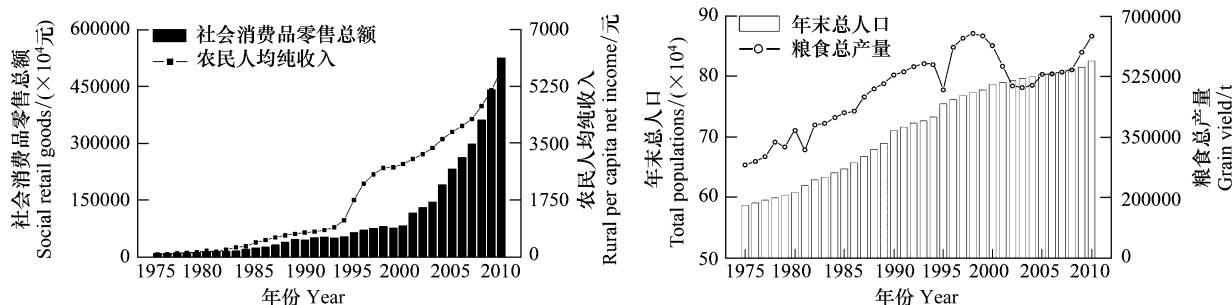


图 7 1975—2010 年黑河中游区社会经济发展变化状况

Fig. 7 The development and change in the middle reaches of Heihe River during 1975—2010 years

4.2 湿地景观破碎化驱动力的定量分析

文章根据主成份分析法的相关原理和要求,选取国内生产总值、第一产业生产总值、第二产业生产总值、财政收入、财政支出、年末总人口数、粮食产量、全社会固定资产投资总额、社会消费品零售总额、农民人均纯收入、年平均气温、年降水量等 12 个因子进行湿地景观破碎化的驱动力分析。

首先,对现有的自然和社会经济数据进行标准化处理,利用 SPSS 软件对所选的指标进行标准化处理和 KMO 检验,由 KMO 检验结果值为 0.741, Bartlett 检验显著性 0.000 知可以对上述指标进行主成分分析。旋转前后各因子的特征值、贡献率和累积贡献率如表 4 所示。分析结果共筛选了两个主成分,特征值大于 1 的累计贡献率约为 87.353%,符合分析要求。然后计算出因子载荷矩阵,并应用方差最大正交旋转法 (Varimax) 对因子载荷矩阵进行旋转,以便于加强关系紧密的因子的负荷,由此得出旋转之后的主成分载荷矩阵(表 5)。

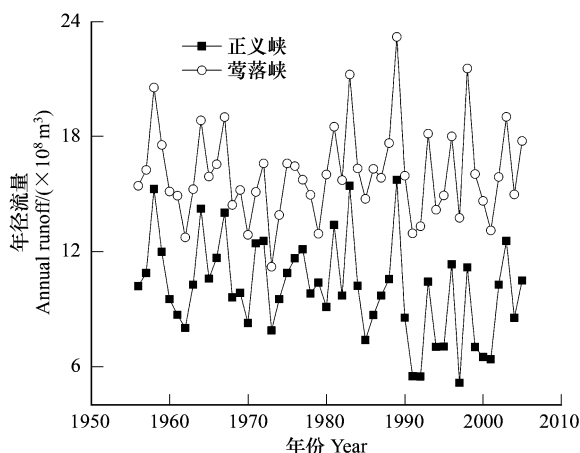


图 6 黑河中游年径流量变化趋势

Fig. 6 The change of annual runoff in the middle reach of Heihe River

表 4 特征值及主成分贡献率

Table 4 Eigenvalues and contribution of principle components

因子 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取和平方载入 Extraction sums of squared loadings			旋转和平方载入 Rotation sums of squared loadings		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	9.200	76.665	76.665	9.200	76.665	76.665	6.704	55.865	55.865
2	1.283	10.689	87.353	1.283	10.689	87.353	3.779	31.488	87.353
3	0.967	8.062	95.415						
4	0.262	2.181	97.596						
5	0.148	1.231	98.828						
6	0.086	0.716	99.544						
7	0.025	0.209	99.753						
8	0.015	0.124	99.876						
9	0.011	0.096	99.972						
10	0.003	0.021	99.993						
11	0.001	0.007	100.000						
12	0.000	0.000	100.000						

A: 特征值 Eigenvalues; B: 变量贡献率 Rate of target contribution; C: 累积贡献率 Accumulative contribution rate

表 5 旋转因子载荷矩阵

Table 5 Rotated component matrix

指标 Indices	主成分 1 Component1	主成分 2 Component2
国内生产总值 GDP	0.910	0.405
第一产业产值 Primary Industrial Output	0.849	0.512
第二产业产值 Second Industrial Output	0.934	0.333
财政收入 Revenue	0.687	0.648
财政支出 Expenditure	0.938	0.214
年末人口总数 Total Population	0.421	0.872
粮食产量 Grain Yield	0.314	0.893
全社会固定资产投资总额 Total Investment	0.952	0.258
社会消费品零售总额 Total Retail Sales	0.930	0.343
农民人均纯收入 Rural Per Capita Net Income	0.799	0.572
年平均气温 Annual Temperature	0.415	0.793
年均降水量 Annual Precipitation	0.276	-0.281

第一主成分中,全社会固定资产投资总额对湿地景观破碎化的影响权重高达 0.952,其他如 GDP、第二产业产值、财政支出等对湿地景观破碎化的影响权重也多达到 0.9 以上,而年平均气温和年降水量对湿地景观破碎化的影响权重却仅为 0.415 和 0.276,这说明第一主成分中人文因子对湿地景观破碎化的影响要远大于自然因子;第二主成分中,粮食产量代表的农业生产对研究区湿地景观破碎化的影响权重最高,达到 0.893。其次为年末总人口,其对湿地景观破碎化的影响权重为 0.872。然而与第一主成分中不同的是年平均气温的影响权重有所提升,达到 0.793。年均降水量的影响权重依旧较低,仅为-0.281。总体来看,第二主成分中人文因子对湿地景观破碎化的影响仍高于自然因子。此外,自然因子的气候因子中,年平均气温对湿地景观破碎化的影响明显高于年均降水量。

5 结论与讨论

(1) 黑河中游湿地景观演变主要体现为河滩湿地类型向耕地、草地的转化以及河流湿地和河滩湿地间的相互转化。近 35 年来,河滩湿地转为耕地的平均面积达到 $0.06 \times 10^4 \text{ hm}^2$,而转为草地的平均面积高达 $0.12 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。此外,河滩湿地与河流湿地间的转化平均面积也达到 $0.11 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

(2)黑河中游区湿地景观格局演变趋势总体表现为景观破碎化。整个研究时段内,黑河中游湿地的斑块密度增长了 43.74%,湿地内部生境面积和平均斑块面积分别缩减了 28.49% 和 42.12%,而且斑块的内部生境面积破碎化指数和斑块形状破碎化指数总体均呈上升趋势。靠近河流分布的湖泊、沼泽、水库坑塘湿地则因河流湿地和自身面积的萎缩发生相对位移,河流两岸的湿地景观逐渐演变为河滩湿地、耕地、未利用地等景观交织分布。

(3)导致黑河中游湿地景观破碎化的各驱动力中人文因子的影响明显大于自然因子。以人口增加和社会经济水平发展为代表的人文因素是推动黑河中游湿地景观破碎化进程的主因,人类活动对景观格局影响的力度与范围的扩大是该区域湿地景观破碎化的最直接驱动因子。此外,气温和降水的波动变化对黑河中游湿地景观破碎化的发生与发展也产生了一定的影响,但并不占主导地位。

湿地景观破碎化主要表现为景观斑块面积由大变小以及伴随斑块面积的减少和地理空间隔离程度的增加产生的景观结构破碎化^[41]。本研究应用景观破碎化指数模型-斑块密度指数(PD)、景观内部生境面积指数(IA)、斑块平均面积指数(MPS)、斑块形状破碎化指数(FS_1 、 FS_2),并结合转移矩阵模型等,尝试从时空角度,由宏观至微观探讨了黑河中游湿地景观破碎化进程。采用灰色关联分析、主成分分析法等,从定性到定量分析了影响黑河中游湿地景观破碎化进程的自然与人文驱动力。结果显示,近 35 年来,黑河中游湿地出现了明显的景观破碎化现象,湿地不断向耕地、草地转化,河滩湿地、沼泽湿地、湖泊湿地等的斑块平均面积和景观内部生境面积指数逐渐缩小,而斑块平均面积指数、斑块形状破碎化指数和斑块密度则不断增加。整体而观,研究区湿地正由大面积连续分布的空间格局趋于萎缩破碎化。究其主因可以归纳为:气温上升带来的蒸发量增加,黑河中游分水等导致的湿地水源补给量的锐减以及人类工农业生产活动对湿地水文、植被、土壤、面积等带来的综合影响。

由于地处生态脆弱区、人类活动热点区以及自然因素影响作用较强区,黑河中游湿地的景观破碎化进程以及导致其发生发展的原因均具有一定复杂性。本文应用景观指数模型、主成分分析法等研究方法,虽然不能从根本上展示黑河中游湿地景观破碎化的进程规律以及各驱动因子对湿地景观破碎化的驱动机制,但在一定程度上揭示了其破碎化的时空进程、导致其发生发展的各驱动因子以及不同驱动因子的作用大小等,这对黑河中游湿地景观研究与保护均具有重要借鉴意义。

References:

- [1] Zhang L, Wang M H, Hu J, Ho Y S. A review of published wetland research, 1991—2008: Ecological engineering and ecosystem restoration. *Ecological Engineering*, 2010, 36(8): 973-980.
- [2] Mitsch W J. Wetland creation, restoration, and conservation: A Wetland Invitation at the Olenky River Wetland Research Park. *Ecological Engineering*, 2005, 24(4): 243-251.
- [3] Mander Ü, Mitsch W J. Pollution control by wetlands. *Ecological Engineering*, 2009, 35(2): 153-158.
- [4] Erwin K L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management*, 2009, 17(1): 71-84.
- [5] Khaznadar M, Vogiatzakis I N, Griffiths G H. Land degradation and vegetation distribution in Chott El Beida wetland, Algeria. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(3): 369-377.
- [6] Judit L, Matthias D, Bernhard S. Effects of habitat fragmentation on population structure and fitness components of the wetland specialist *Suertia perennis* L. (*Gentianaceae*). *Basic and Applied Ecology*, 2002, 3(2): 101-114.
- [7] Liu H Y, Li Y F, Cao X, Hao J F, Hu J N, Zhang N. The current problems and perspectives of landscape research of wetlands in China. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(11): 1394-1401.
- [8] Collinge S K. *Ecology of Fragmented Landscapes*. Maryland: The Johns Hopkins University Press, 2009: 1-358.
- [9] Zhou H R. Prospect on multifunctional landscapes of marshes in arid areas. *Arid Land Geography*, 2005, 28(1): 16-20.
- [10] Mwakaje A G. Wetlands, livelihoods and sustainability in Tanzania. *African Journal of Ecology*, 2009, 47(S1): 179-184.
- [11] Zhao R F, Chen Y N, Zhou H R, Li Y Q, Qian Y B, Zhang L H. Assessment of wetland fragmentation in the Tarim River basin, western China. *Environmental Geology*, 2009, 57(2): 455-464.

- [12] Zhou Q M, Wei D S. Six relations need to be handled properly in the implementation of the Heihe River Basin wetland protection works. *Wetland Science & Management*, 2010, 6(1): 59-60.
- [13] Wang Q Z, Niu Y. Based on AHP to study the ecological function of wetland in Zhangye, Gansu. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(5): 584-589.
- [14] Liu H Y, Lv X G, Zhang S K, Yang Q. Fragmentation process of wetland landscape in watersheds of Sanjiang Plain, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 289-295.
- [15] Suo A N, Zhao D Z, Gao S G. Baseline-based assessment on fragmentation of coastal wetland landscape in Yalujiang estuary. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(3): 6-10.
- [16] Bai J H, Ouyang H, Cui B S, Wang Q G, Chen H. Changes in landscape pattern of alpine wetlands on the Zoige Plateau in the past four decades. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2245-2252.
- [17] Chen H, Zhao Y W. Evaluating the environmental flows of China's Wolonghu wetland and land use changes using a hydrological model, a water balance model, and remote sensing. *Ecological Modelling*, 2011, 222(2): 253-260.
- [18] Li C Z, Yu F L, Liu J, Yan D H, Zhou T. Research on land use/cover change and its driving force in midstream of the Heihe mainstream basin during the past 20 years. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(3): 353-363.
- [19] Xiao H L, Cheng G D, Li C Z, Ren J, Wang S. Eco-hydrological observational experiments of the Heihe river basin and integrated eco-water management research at watershed scale. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(7): 666-670.
- [20] Cheng G D. Integrated Eco-Water-Economic System Management Research of the Heihe River Basin. Beijing: Science Press, 2009.
- [21] Xu S S, Sun G J, Liu H M, Gong X P, Hao Y Y, Zhang L X. The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(9): 2421-2429.
- [22] Li Z L, Wang X J. Shift trend analysis of meteorological time series in the upper and middle reaches of Heihe River Basin. *Geographical Research*, 2011, 30(11): 2059-2066.
- [23] Lu L, Li X, Cheng G D, Xiao H L. Analysis on the landscape structure of the Heihe River Basin, Northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8): 1217-1225.
- [24] Li C Z, Yu F L, Liu J. Dynamic change of landscape and its driving forces in midstream of Heihe mainstream basin after water redistribution. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 5832-5842.
- [25] Cerian G, Jane S, Eric K. Wetland conservation: Change and fragmentation in Trinidad's protected areas. *Geoforum*, 2009, 40(1): 91-104.
- [26] Wang Z M, Huang N, Luo L, Li X Y, Ren C Y, Song K S, Chen J M. Shrinkage and fragmentation of marshes in the West Songnen Plain, China, from 1954 to 2008 and its possible causes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011, 13(3): 477-486.
- [27] You C, Zhou Y B, Yu L F. An introduction of quantitative methods in landscape pattern fragmentation. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(5): 146-151.
- [28] Ren J H, Li W S, Zhang J. Analysis on the historical change of water consumption in the area at the middle reaches of the mainstream of Heihe River. *Arid Zone Research*, 2002, 19(1): 18-22.
- [29] Wei Z, Jin H J, Nan Y C, Yang S Z, Wu J K, Wang S Z. The effect on water environment in middle and downstream area of Heihe River after water allocation. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2007, 26(5): 34-36, 54-54.
- [30] Zhang B, Mao Y C, Liu J F. Analysis driving forces of LUCC in Heihe middle reaches. *Arid Land Geography*, 2006, 29(5): 726-730.
- [31] Xu J Y, He Y X, Zhao T Q, Chen S M, Xu H S. An investigation on the willingness of community residents toward protection or development of riparian wetland resources; A case study in the Kouma section of the Mengjin Yellow River wetland. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(7): 1228-1235.
- [32] Meng H J, Jia Y L, Liu X D, Zhao W J. Distribution characteristics of wetland resources in Heihe River Basin. *Wetland Science*, 2011, 9(1): 90-93.
- [33] Li M J, Shi P J. Climate changing characteristics of Zhangye city in Heihe River Basin during 1968—2005. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(6): 1048-1054.
- [34] Wang G X, Yang L Y, Chen L, Kubota J. Impacts of land use changes on groundwater resources in the Heihe River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 456-466.
- [35] Wang J, Meng J J. Characteristics and tendencies of annual runoff variations in the Heihe River Basin during the past 60 years. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(1): 83-88.
- [36] Li Y L, Qiao M, Yang X L, Zhou S B, Zeng Y J. Analysis on land use/cover change and landscape fragmentation in typical watershed of arid zone in last 30 years — A case of Manasi River watershed, Xinjiang. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(6): 1051-1057.

- [37] Gong Z N, Zhang Y R, Gong H L, Zhao W J. Evolution of wetland landscape pattern and its driving factors in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 77-88.
- [38] Li F X, Chang G G, Xiao J S, Zhou B R, Fu Y. Relationship between wetlands changes and climate change in the Yellow River source region. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(4): 683-690.
- [39] Liu S F, Dang Y G, Fang Z G. *Grey System: Theory and Application*. Beijing: Science Press, 2004.
- [40] Li Y H, Cui B S, Yang Z F. Influence of hydrological characteristic change of Baiyangdian on the ecological environment in wetland. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(1): 62-68.
- [41] Liu H Y, Li Z F, Li X M. Effects of wetland landscape fragmentation on habitats of oriental white storks — A case study on northeastern Sanjiang Plain, China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 817-823.

参考文献:

- [7] 刘红玉, 李玉凤, 曹晓, 郝敬峰, 胡俊纳, 郑因. 我国湿地景观研究现状、存在的问题与发展方向. *地理学报*, 2009, 64(11): 1394-1401.
- [9] 周华荣. 干旱区湿地多功能景观研究的意义与前景分析. *干旱区地理*, 2005, 28(1): 16-20.
- [12] 周全民, 魏德胜. 实施黑河流域湿地保护工程要处理好六大关系. *湿地科学与管理*, 2010, 6(1): 59-60.
- [13] 王清忠, 牛赆. 基于层次分析法的张掖市湿地生态功能研究. *山地学报*, 2007, 25(5): 584-589.
- [14] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎, 杨青. 三江平原流域湿地景观破碎化过程研究. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 289-295.
- [15] 索安宁, 赵冬至, 高树岗. 基于本底格局的鸭绿江口滨海湿地景观破碎化评价. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(3): 6-10.
- [16] 白军红, 欧阳华, 崔保山, 王庆改, 陈辉. 近40年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化. *生态学报*, 2008, 28(5): 2245-2252.
- [18] 李传哲, 于福亮, 刘佳, 严登华, 周婷. 近20年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究. *自然资源学报*, 2011, 26(3): 353-363.
- [19] 肖洪浪, 程国栋, 李彩芝, 任娟, 王赛. 黑河流域生态-水文观测试验与水-生态集成管理研究. *地球科学进展*, 2008, 23(7): 666-670.
- [20] 程国栋等. *黑河流域水-生态-经济系统综合管理研究*. 北京: 科学出版社, 2009.
- [21] 许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 龚雪平, 郝媛媛, 张立勋. 黑河河岸植被与环境因子间的相互作用. *生态学报*, 2011, 31(9): 2421-2429.
- [22] 李占玲, 王小娟. 黑河中上游气象要素单调变化趋势分析. *地理研究*, 2011, 30(11): 2059-2066.
- [23] 卢玲, 李新, 程国栋, 肖洪浪. 黑河流域景观结构分析. *生态学报*, 2001, 21(8): 1217-1225.
- [24] 李传哲, 于福亮, 刘佳. 分水后黑河干流中游地区景观动态变化及驱动力. *生态学报*, 2009, 29(11): 5832-5842.
- [27] 由畅, 周永斌, 于丽芬. 景观破碎化数量分析方法概述. *中国农学通报*, 2006, 22(5): 146-151.
- [28] 任建华, 李万寿, 张婕. 黑河干流中游地区耗水量变化的历史分析. *干旱区研究*, 2002, 19(1): 18-22.
- [29] 魏智, 金会军, 南永超, 杨思中, 吴锦奎, 王树洲. 黑河分水对干中下游水环境的影响. *灌溉排水学报*, 2007, 26(5): 34-36, 54-54.
- [30] 张勃, 毛彦成, 柳景峰. 黑河中游土地利用/覆盖变化驱动力的定量分析. *干旱区地理*, 2006, 29(5): 726-730.
- [31] 许静宜, 贺玉晓, 赵同谦, 陈守民, 徐华山. 河滩湿地资源保护与开发社区意愿调查——以黄河孟津湿地扣马段为例. *自然资源学报*, 2010, 25(7): 1228-1235.
- [32] 孟好军, 贾永礼, 刘贤德, 赵维俊. 黑河流域湿地资源分布特征. *湿地科学*, 2011, 9(1): 90-93.
- [33] 李鸣骥, 石培基. 黑河流域张掖市近38 a以来气候变化特征分析. *中国沙漠*, 2007, 27(6): 1048-1054.
- [34] 王根绪, 杨玲媛, 陈玲, 洼田顺平. 黑河流域土地利用变化对地下水资源的影响. *地理学报*, 2005, 60(3): 456-466.
- [35] 王钧, 蒙古军. 黑河流域近60年来径流量变化及影响因素. *地理科学*, 2008, 28(1): 83-88.
- [36] 李义玲, 乔木, 杨小林, 周生斌, 曾雅娟. 干旱区典型流域近30a土地利用/覆被变化和景观破碎化分析——以玛纳斯河流域为例. *中国沙漠*, 2008, 28(6): 1051-1057.
- [37] 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.
- [38] 李凤霞, 常国刚, 肖建设, 周秉荣, 伏洋. 黄河源区湿地变化与气候变化的关系研究. *自然资源学报*, 2009, 24(4): 683-690.
- [39] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. *灰色系统理论及其应用*. 北京: 科学出版社, 2004.
- [40] 李英华, 崔保山, 杨志峰. 白洋淀水文特征变化对湿地生态环境的影响. *自然资源学报*, 2004, 19(1): 62-68.
- [41] 刘红玉, 李兆富, 李晓民. 湿地景观破碎化对东方白鹳栖息地的影响——以三江平原东北部区域为例. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 817-823.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)

Resource and Industrial Ecology

- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)

Research Notes

- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 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,300 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 骆世明

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 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元