

干旱区内陆艾比湖流域景观格局时空 变化及生态安全评价

张 飞^{1,2,4}, 塔西甫拉提·特依拜^{1,2}, 曹 鑫³, 丁建丽^{1,2,4}, 张严俊^{1,2,4}, 姜红涛^{1,2,4}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学

绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 北京师范大学 全球变化与

地球系统科学研究院, 北京 100875; 4. 新疆大学 智慧城市与环境建模普通高校重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: [目的] 为了探讨艾比湖流域近 10 a 间景观格局及生态安全的动态变化。[方法] 运用 RS 和 GIS 技术,并结合景观指数和生态弹性度对该流域生态安全进行了综合评价。[结果] (1) 近 10 a 来,艾比湖流域土地利用变化剧烈,说明景观格局持续受社会经济发展两方面矛盾的巨大压力;(2) 2001 年斑块个数为 2 560 个,而 2009 年增加至 3 476 个,说明该流域生态环境整体呈破碎化趋势。景观破碎度由 2001 年的 0.054 0 增加为 2009 年的 0.073 3,说明其景观趋于不稳定,生态安全性降低;(3) 2001—2009 年生态弹性度呈“Λ”型变化趋势,先由 2001 年的 1.20×10^7 增加为 2005 年的 1.57×10^7 ,然后再降为 2009 年的 1.49×10^7 ,但总体是趋于增大的趋势。[结论] 从整体上综合考虑,2001—2009 年艾比湖流域土地利用的景观生态安全度降低。

关键词: 土地利用/土地覆被; 景观指数; 生态安全; 生态弹性度; 艾比湖流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0249-07

中图分类号: P901

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.046

Spatial and Temporal Change of Landscape Pattern and Ecological Security Assessment of Ebinur Lake Watershed in Inland Arid Region

ZHANG Fei^{1,2,4}, Tashpolat · Tiyip^{1,2}, CAO Xin³,

DING Jianli^{1,2,4}, ZHANG Yanjun^{1,2,4}, JIANG Hongtao^{1,2,4}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology Under Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046,

China; 3. College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

4. Key Laboratory of Smart City and Environmental Modeling, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

Abstract: [Objective] To analyze the spatial and temporal change of landscape pattern and ecological security in the Ebinur Lake watershed in the past 10 years. [Methods] RS and GIS technology were used, and landscape ecological indexes and ecological resilience were combined to comprehensively evaluated the ecological security of the study area. [Results] (1) In the past 10 years, land use/cover had a dramatic change due to socio-economic development. The increasing farmland and decreasing natural vegetation of grassland and woodland resulted in instability of local ecosystem; (2) In 2001, the total number of patches (N_p) were 2 560, and it increased to 3 476 in the end of 2009, meanwhile, fragmentation index increased from 0.054 0 to 0.073 3, this indicated that the ecological environment was further fragmented and became more ecologically unstable; (3) Ecological resilience(ECO_{res}) showed a “Λ” shaped trend(inversed “V”) from 2001 to 2009. The ECO_{res} index has increased from 1.200×10^7 in 2001 to 1.568×10^7 in 2005, and then decreased to 14.86×10^6 in 2009. As a whole, ECO_{res} index showed an increasing trend. This increase was owing to the

收稿日期:2013-12-12

修回日期:2014-01-28

资助项目:国家自然科学基金项目“变化环境下干旱区内陆艾比湖流域景观格局演变与水资源的作用机理研究”(41361045); 国家自然科学基金项目“干旱区湖泊流域陆面过程及人类活动适应性:以艾比湖为例”(41130531); 新疆维吾尔自治区青年博士科技人才培养项目(2013731002); 教育部省部共建重点实验室开放课题(XJDX0201-2012-01); 教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队项目(IRT1180)

第一作者:张飞(1980—),男(汉族),陕西省凤翔县人,博士,副教授,主要从事干旱区资源与环境遥感应用研究。E-mail:zhangfei3s@163.com。

通信作者:塔西甫拉提·特依拜(1958—),男(维吾尔族),新疆维吾尔自治区伊犁市人,博士,教授,主要从事遥感技术及其应用研究。E-mail:tash@xju.edu.cn。

rapid expansion of farmland and gradually declination of woodland, grassland and other natural vegetation coverage. Ecological resilience was changing into unstable status because of the simple ecosystem layout and negative influence of human activities. [Conclusion] As a whole, landscape ecological security of land use/cover was lowered in the Ebinur Lake watershed from 2001 to 2009.

Keywords: land use/land cover; landscape index; ecological security; ecological resilience; Ebinur Lake watershed

景观是指在一定区域范围内,由不同生态系统类型所组成的异质性地单元,是研究景观单元的类型组成、空间配置及其生态学过程相互作用,强调空间格局、生态学过程和尺度之间的相互作用^[1]。景观格局是指由自然或人为形成的,一系列大小、形状各异,排列不同的景观镶嵌体在景观空间的排列,既是景观异质性的具体表现,同时又是包括干扰在内的各种生态过程在不同尺度上作用的结果。景观格局动态变化分析是景观生态学研究的核心问题^[2]。

景观格局指数是浓缩的景观格局信息,是反映景观结构组成、空间配置特征的量化指标,能从中反映景观空间异质性的成因及其生态学含义^[3-4],是进行生态环境研究的重要特征^[5-6]。景观指数作为一个新的领域被引入生态研究,从而进一步探索空间格局与过程的关系^[7-8]。

利用景观指数描述景观格局具有使数据获得一定统计性质,便于比较分析不同尺度上的空间格局等优点,长期以来一直是景观生态学研究热点问题。而遥感和地理信息系统技术的发展与应用也成为景观格局与动态分析的基本手段,与其他方法紧密结合以提供能充分反映景观结构特征和时空动态变化的模型^[9]。

遥感使快速、准确地获取大规模空间数据成为可能,与地理信息系统技术相结合大大拓宽了监测和研究范围,为区域尺度上的景观监测与评价提供了有效手段。景观格局变化通过对区域生态系统能量流动和物质循环的影响,对区域生物多样性、生态系统功能等众多方面都产生影响,并与区域生态安全状况的变化紧密联系。

由于景观格局可以准确地显示出各种生态影响的空间分布和梯度变化特征,也为景观生态安全研究奠定了重要的理论基础^[10-11]。基于景观格局与过程的生态安全分析成为生态安全研究的一个重要方面^[12-14]。

Galicia 等^[15]在研究墨西哥国家公园生态系统保护时得出,在 20 世纪 70 年代至 90 年代末,由于森林砍伐、开垦、放牧和城市化过程,对区域尺度的生物多样性保护和生态安全构成严重威胁。Gao 等^[16]通过计算景观指数对珠江三角洲不同时期景观格局变化进行了分析,在此基础上结合投影寻踪方法评价了研

究区的景观生态安全状况。吴健生等^[17]在吸收以往考虑生物多样性服务方法的基础上,结合斑块的连通性和生境质量分析,构建生态安全格局源地的识别方法,为景观生态安全格局理论发展和城市生态保护实践提供参考。汤萃文等^[18]以景观类型空间邻接长度、数目和影响面积等作为景观生态安全评价指标,定量分析林区内各景观类型植被退化风险大小及受农田开垦的威胁程度。

景观格局变换对生态安全的影响是多方面的,目前主要是通过对不同土地利用格局下的生态安全进行评价^[19]。虽然景观格局演变研究在生态系统状况评价、对生态过程的解释、区域生态安全的构件等诸多方面取得了大量的研究成果和实践经验^[20-21],但与中国其他地区相比,西部内陆干旱地区研究较少,特别是平原荒漠区,亟需加强这方面的工作。西部干旱地区是中国人地关系矛盾较为突出、尖锐的区域,严酷的自然环境决定了生态系统十分敏感,而脆弱的生态环境及突出的生态问题已成为制约西部地区经济发展的瓶颈,是首要考虑和解决的问题^[22]。因此,本文以干旱区内陆湖艾比湖流域为研究靶区,借鉴景观生态学理论和生态弹性力理论开展艾比湖流域的景观格局变化以及生态安全评价等方面的研究,为艾比湖流域及干旱区内陆湖泊流域土地资源合理利用,生态环境问题的治理和改善,社会经济和生态环境的协调与可持续发展提供科学的理论依据。

1 研究区概况、数据源及研究方法

1.1 研究区概况

艾比湖流域位于 $43^{\circ}38' - 45^{\circ}52' N$, $79^{\circ}53' - 85^{\circ}02' E$ 之间,流域地跨博尔塔拉蒙古自治州的博乐市、温泉县和精河县,塔城地区的乌苏和托里县南部,伊犁直属的奎屯市和克拉玛依的独山子区。流域面积 $5.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,是准噶尔西部的低洼地和水盐汇集中心,远离海洋,常年多风沙天气,蒸发量大,降水稀少,年平均气温 $6.6 \sim 7.8^{\circ}C$,年降水量 $116.0 \sim 169.2 \text{ mm}$ 。艾比湖流域是一个典型的干旱区生态环境退化区,目前有限的水资源使艾比湖流域人类生产生活用水与生态用水间的矛盾日益突出,过度放牧引发草场退化,地下水严重超采,地表裸露、疏松、干燥,

成为沙尘暴和浮尘天气的沙源地,土壤沙化、侵蚀现象严重。

受西风环流以及蒙古高压和西伯利亚冷空气的影响,艾比湖流域表现为典型的中温带干旱大陆气候,以干旱少雨、气温变化剧烈为特征,生态系统极不稳定,具有很强的敏感性与脆弱性,对于艾比湖的生态安全构成了极大威胁,严重影响区域社会经济的正常发展^[23]。

1.2 数据来源与预处理

本研究数据来源于美国国家航空航天局 NASA 的 EOS/MODIS 数据 (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search>),选择 2001,2005 和 2009 年 MOD12 Q1 土地利用标准分类产品,空间分辨率为 1 km×1 km。运用 MCTK(MODIS conversion toolkit)将获取的 MOD12 Q1 数据产品进行 Bow-tie 形变处理,选用傅里叶变换法进行噪声去除,同时以 1:100 000 的地形图为标准地理空间,对影像进行几何校正处理,最后利用艾比湖流域边界矢量图剪裁艾比湖流域 MODIS 栅格图像数据。

1.3 研究方法

1.3.1 景观类型划分 MODIS 土地覆盖产品数据是基于国际地圈生物圈计划(international geosphere-biosphere program,IGBP)体系的土地覆盖数据产品 18 种地物景观类型,通过监督决策树分类方法将其分为 6 种不同的地物景观覆盖类型,分别为水体、林地、灌木、草地、农用地和裸地^[24]。最后,对解译结果进行随机抽样,并作野外实地精度检验,水体分类精度最高达到 96%,农用地为 90%,灌木为 92%,林地为 88%,裸地为 95%,草地最低为 85%,满足本研究需求。

1.3.2 景观指数的选择 由于景观指数种类众多,而很多景观格局指数之间存在信息重复。本文通过借鉴一些学者的研究成果^[25],结合干旱区艾比湖流域实际特点,从景观类型(class)水平和景观(landscape)水平两个层次选取相应的景观指数进行分析,在景观类型水平上选取斑块个数(N_p)、平均斑块面积(AREA_MN)、斑块密度(P_D)、面积加权平均维度(AWMPFD)、面积加权形状指数(AWMSI)5 类景观指数;在景观水平上选用蔓延度(C)、景观破碎度(F)、散布与并列指数(IJI)、香农均匀度指数(SHED)、香农多样性指数(SHDI)5 类景观指数。

1.3.3 生态安全评价 生态安全评价是按照自然生态系统本身为人类服务功能的状况和保障人类社会经济与农业可持续发展的要求,对生态环境因子及生态系统整体,对照一定的标准,进行的生态安全状况

评估。目前,生态安全研究的方法主要有综合指数法、生态承载力法、模型模拟法和景观分析法等^[26],其中景观分析法是宏观尺度生态安全研究的主要方法之一。

景观生态安全是以生态系统和区域尺度之间的景观尺度来研究人类活动与自然胁迫对生态安全的影响状况。而且,冉圣宏等^[27]指出干旱区绿洲是由生态系统和经济系统相互交织,相互作用,相互耦合而成,生态弹性力是描述脆弱生态区状态的综合性变量,比较适合评价干旱区绿洲生态系统。因此,本文根据景观格局变化结果,并借助高吉喜^[28]所提出的生态弹性力理论分析艾比湖流域景观生态安全变化,生态弹性力的概念、意义、内涵以及判断方法可参考文献^[28—30]。

生态系统的生态弹性限度大小可用下述模型量化地表示:

$$ECO_{RES} = D_i \sum S_i \cdot P_i = (-\sum S_i \log_2 S_i) \sum S_i \cdot P_i \quad (1)$$

式中: ECO_{RES} ——生态弹性度大小; S_i ——地物 i 的覆盖面积(hm^2); P_i ——地物 i 的弹性分值; D_i ——多样性指数。由于在生态系统中,地面覆盖不一定是植被,因此公式(1)中 S_i 为不同地物的面积,而非植被面积; p_i 为某种地物覆盖的弹性分值,可通过覆盖度、生产力或专家评分的方法确定;生态系统的弹性限度大小除取决于地物的覆盖类型与等级状况外,还取决于地物类型的多样性。

2 结果与分析

2.1 土地利用/覆被时空变化分析

根据土地景观类型分类结果,对 2001—2009 年艾比湖流域土地利用/覆被的数量和结构进行统计分析(附图 20)。2001—2009 年艾比湖流域各土地类型数量发生了较大变化,草地共减少了 636 955.45 hm^2 ,是面积变化最大的地类,减少幅度占 2001 年草地面积的 18.66%。

水体的面积在 2001—2009 年共增加了 9 560.77 hm^2 ,2001—2005 年(图 1a)水体面积减少了 56 542.24 hm^2 ,主要原因是艾比湖湖面的萎缩,其后 2005—2009 年,水体面积增加了 66 103.01 hm^2 ,主要原因是由于天山北坡的积雪面积扩大;林地面积在 2001—2009 年(图 1b)共减少 63 122.12 hm^2 ,减少了 44.46%,林地主要分布于天山北坡,破坏十分严重;裸地面积由原来的 360 405.39 hm^2 增加至 650 806.64 hm^2 ,增加了 80.58%,说明景观格局由人为作用影响愈来愈明显,该地区生态安全受到严重威胁。

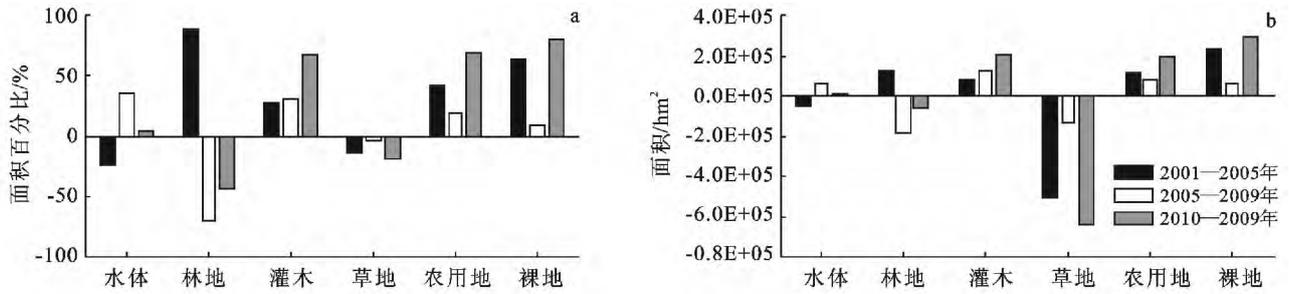


图 1 2001, 2005 和 2009 年艾比湖流域土地利用面积变化

2.2 景观格局时空变化分析

景观生态格局变化主要是指景观结构单元的组成成分、多样性、形状和空间格局随时间的变化。景观斑块的类型、形状、大小、数量和空间组合及景观功能质量的差异、各种干扰因素相互作用的结果,又影响着整个区域的生态过程和边界效应^[31]。本文借助景观格局指数分析方法,对艾比湖流域生态格局进行定量分析。

(1) 由表 1 可以看出,在景观类型水平上,2001—2009 年,除水体斑块个数减少以外,其他所有景观斑块个数都有增大的趋势,斑块数共增加了 927 个,增加速率为 103 个/a,其中 2001—2005 年增大速率较快,共增加了 891 个,增加速率为 178 个/a,而 2005—2009 年增加趋于平缓,共增加了 210 个,增加速率为 42 个/a。近 10 a 间灌木斑块个数增加最快,

增加了 399 个,其次是裸地,增加了 307 个,说明艾比湖流域景观破碎化程度总体呈增大趋势。斑块密度指数明显增加,由 2001 年的 0.054 增加到 2009 年的 0.073 3,增加了 35.74%,说明 2001—2009 年艾比湖流域景观斑块面积变小,破碎化程度加剧。平均斑块面积由 2001 年的 19 910.85 hm² 减小到 2009 年的 11 265.25 hm²,减少了 8 645.6 hm²,占 2001 年平均斑块面积的 43.42%,说明景观的破碎化程度加深,这与斑块密度指数得出的结论一致。

面积加权平均分维度反映了人类活动对景观格局的影响,受人类活动干扰小的自然景观的分数维值高,而受人类活动影响大的人为景观的分数维值低。面积加权形状指数除了灌木都在增大,说明各景观形状趋于规则和简单,人为活动对景观生态格局变化造成的影响愈来愈加显著。

表 1 2001—2009 年艾比湖流域景观类型水平指数

景观指数	年份	水体	林地	灌木	草地	农用地	裸地	合计
N_p	2001	183	253	844	207	531	542	2 560
	2005	128	297		1 320 382	520	738	3 385
	2009	172	268		1 243 369	575	849	3 476
AREA_MN	2001	1 296.16	561.16	361.00	16 487.26	540.32	664.95	19 910.85
	2005	1 411.37	902.84	293.92	7 611.53	781.25	802.96	11 803.87
	2009	1 434.64	294.22	409.22	7 522.79	837.82	766.56	11 265.25
AREA	2001	237 197.59	141 972.87	304 686.19	3 412 863.52	286 085.59	360 405.39	4 743 211.15
	2005	180 655.35	268 143.57	387 976.91	2 907 604.65	406 248.18	592 582.49	4 743 211.15
	2009	246 758.36	78 850.75	508 661.33	2 775 908.07	482 226.00	650 806.64	4 743 211.15
P_D	2001	0.003 9	0.005 3	0.017 8	0.004 4	0.0112	0.011 4	0.054 0
	2005	0.002 0	0.006 3	0.027 8	0.008 1	0.011 0	0.015 6	0.070 8
	2009	0.003 6	0.005 7	0.026 2	0.007 8	0.012 1	0.017 9	0.073 3
AWMPFD	2001	1.039 5	1.231 5	1.133 5	1.133 4	1.345 2	1.071 1	6.954 2
	2005	1.039 7	1.228 6	1.133 3	1.133 6	1.345 9	1.071 9	6.953 0
	2009	1.039 3	1.228 1	1.133 4	1.133 6	1.347 8	1.072 3	6.954 5
AWMSI	2001	6.450 1	10.978 3	9.095 6	21.045 1	56.198 1	4.596 6	108.363 8
	2005	6.617 6	11.005 4	9.064 7	21.223 2	57.882 5	4.604 7	110.398 1
	2009	6.524 4	11.177 2	9.069 9	22.005 9	59.341 1	4.611 3	112.729 8

注: N_p . 斑块个数; AREA_MN. 平均斑块面积(hm²); AREA. 景观类型总面积(hm²); P_D . 斑块密度(1/100 hm²); AWMPFD. 面积加权平均分维度; AWMSI. 面积加权形状指数。

(2) 由表 2 可以看出,在景观水平上,近 10 a 间,研究区破碎度指数由 2001 年的 0.054 0 增加到 2009 年的 0.073 3,说明区域景观破碎化程度随着时间不断提高,干扰促使景观异质性加强,景观趋于不稳定,生态安全性逐渐降低,SHDI,SHEI 和 IJI 这 3 项为负向指标,对生态系统的安全性起负向作用。从 2001—2009 年,散布与并列指数先增大后减小,总体呈减小,反映了艾比湖流域不同景观类型之间相邻接的几率减小,且相邻接的景观类型也越来越少。多样性指数是土地利用类型的多样性和复杂性的度量,多样性指数的高低反映了土地利用类型的多少以及各类型所占比例的变化。均匀度指数描述不同的土地利用类型分配的均匀程度。近 10 a 内景观的多样性指数和均匀度指数分别由 1.033 5 和 0.576 8 增加到 1.279 7 和 0.714 2,说明该区的景观异质性在增大,景观类型有向多元化方向发展的趋势,区域景观格局愈来愈受多数斑块所控制。同时还可以看出,景观的多样性增加,且均匀度增强。景观多样性及破碎化程度增加,也反映了土地利用越来越丰富。蔓延度为正向指标,对生态系统的安全性起正向作用。蔓延度指数反映景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度。取值范围:0<蔓延度<100。当景观类型中以少数大斑块为主或同一类型斑块高度连接时,聚集度值较大,反之较小。艾比湖流域蔓延度由 2001 年的 10.85 减少到 2009 年的 10.71,变化幅度较大,表明该流域景观聚集度适中且小斑块数量有所增加,空间连接性下降,空间分布趋向稳定。该流域景观总体特征的这些变化显然是人类对景观干扰不断加强的结果,特别是

景观的破碎化与斑块形状的简单化,因为在短短的近 10 a 间,自然条件的变化是比较微小的。

表 2 2001—2009 年艾比湖流域景观指数

年份	SHDI	SHEI	CONTAG	IJI	F
2001	1.033 5	0.576 8	10.85	70.649 5	0.054 0
2005	1.262 0	0.704 3	10.74	71.377 9	0.071 4
2009	1.279 7	0.714 2	10.71	70.591 7	0.073 3

注:SHDI. 香农多样性指数; SHEI. 香农均匀度指数; CONTAG. 蔓延度(%); IJI. 散布与并列指数(%); F. 景观破碎度。

2.3 生态安全评价

对艾比湖流域生态弹性强度有影响的土地覆盖类型可分为 3 大类型。第 I 类为重要型,该类型对研究区生态弹性度有控制和决定意义,对该类型管理和维护得好,可提高区域生态弹性度。主要包括林地和农用地;第 II 类为中间型,该类型对稳定生态系统和提高区域生态弹性度有积极作用,但如果利用的不好,则很容易退化而使区域生态弹性度降低,主要包括水体、灌木和草地。第 III 类为威胁型,因为研究区降水稀少、蒸发特别强烈,土壤下部的盐分极易随水分蒸发上升至地表,形成盐碱地。该类型对生态弹性度贡献很小,甚至严重退化,是生态治理和调整的重点。这种类型主要包括盐碱地、裸地和荒漠。由于各类生态系统的环境功能是不同的,其弹性分值 P_i 也不同。本文根据日本专家通过调查各类生态系统功能,并结合艾比湖流域景观的实际特点依次为林地、农用地、水体、灌木、草地和裸地建立生态弹性度分值(表 3)。

表 3 艾比湖流域生态弹性度 P_i 值分类

分类	类型	土地覆盖类型	弹性分值	有关说明
I	重要型	林地	8.5	在维护生态系统弹性度有控制和决定意义
		农用地	6.0	对局地气候可以起到增湿和改善微生物循环的作用。对该类型管理和维护得好,可提高区域生态弹性度
II	中间型	水体	4.0	必须加强管理和有效的维护,如利用不好,则容易使区域生态弹性度降低
		灌木	3.5	必须慎重利用,加强维护,对区域生态性起边缘作用
		草地	2.0	必须慎重利用,加强维护,对区域生态性起边缘作用
III	威胁型	裸地	0.0	对区域生态弹性度贡献很小,甚至严重退化,是生态治理和调整的重点

利用公式(1),计算得出如下结论。(1) 2001—2009 年生态弹性度呈现“Λ”型(即倒“V”字型)变化趋势(图 2)。即先由 2001 年的 1.200×10^7 增加为 2005 年的 1.568×10^7 ,然后再降为 2009 年的 1.486×10^7 ,原因是由于艾比湖流域位于干旱地区,其景观类型主要以生态系统脆弱,弹性分值较低的草地和裸地为主,而林地等生态系统复杂,服务功能高的景观

较少。(2) 研究区生态弹性度整体上趋于增大趋势,说明艾比湖流域的生态安全呈上升趋势,也说明该流域生态系统对扰动和压力的缓冲与调节能力增强。2001—2005 年,增加较快,2005—2009 年增加幅度区域平缓,弹性度的总体变化和农用地总体变化趋势是一致的,可以得出研究区弹性度的增加主要是由于农用地面积的增加,而农用地这一景观类型是一种生态

系统较为单一,脆弱的景观类型,所以在人为的影响下,艾比湖流域生态环境仍较为脆弱,艾比湖流域景观指数也很好的验证这一点。因此,干旱区流域生态弹性力是人类活动和自然变化对土地干扰结果的综合反映,土地利用/覆盖类型的变化可以反映出人类对环境的影响。

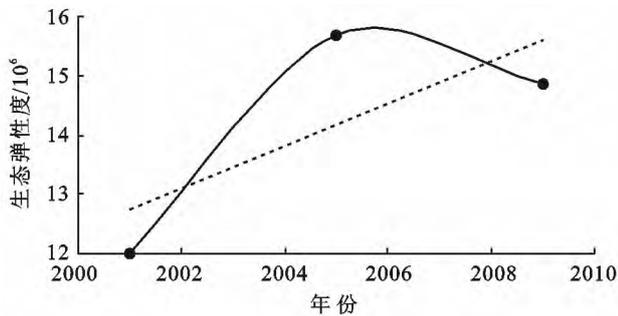


图 2 2001, 2005 和 2009 年艾比湖流域生态弹性度

3 结论

在干旱地区社会经济不断发展的背景下,生态安全问题一直是一个不断发展和无法规避的问题。本文运用 RS 和 GIS 方法,分析艾比湖流域近 10 a 来土地利用/覆被和景观格局时空变化,并结合生态弹性力理论对该流域生态安全状况进行研究。

(1) 2001—2009 年艾比湖流域土地利用/覆盖类型在时间、空间上发生了较为明显的变化,景观格局由于人为作用影响愈来愈明显。

(2) 近 10 a 来,景观破碎化程度明显提高,破碎度指数由 2001 年的 0.054 0 增加到 2009 年的 0.073 3,说明区域景观破碎化程度随着时间不断提高,干扰促使景观异质性加强,景观趋于不稳定,生态安全性逐渐降低。蔓延度指数由 2001 年的 10.85 减少到 2009 年的 10.71,变化幅度较大,表明该流域景观聚集度适中且小斑块数量有所增加,空间连接性下降。由于多样性指数,均匀度指数为负向指标,对生态系统的安全性起负向作用,所以这两个指数的增加就意味着生态安全性的降低。

(3) 利用生态弹性度对艾比湖流域生态安全进行评价,得出研究期间艾比湖流域总体上的土地生态安全状况呈下降趋势。本研究是基于景观尺度进行的评价研究,通过流域景观格局动态变化与生态安全评价相结合,可以更有利于对人类活动造成的生态安全响应进行动态评价与预测。

(4) 此次所研究的问题仅是景观生态的基础,还有很多问题有待于进一步的深入研究和探讨。① 本文重点在于探讨干旱区艾比湖流域的景观格局变化,

对景观的功能、生态过程以及规划涉及较少。格局决定功能,功能反过来又影响格局,只有将二者有机联系才能更好对景观生态有一个充分的了解,这些工作还有待日后进一步地深入学习和研究。② 本研究限于影像资料的精度问题,在分类上比较粗浅,如能更细化,尤其是对绿洲区,则分析结果对当地的决策意义会更大。③ 本文只对艾比湖流域生态安全做了现状评价,应进一步进行动态评价与预警研究,以期更好的为干旱区流域生态保护提供理论依据。

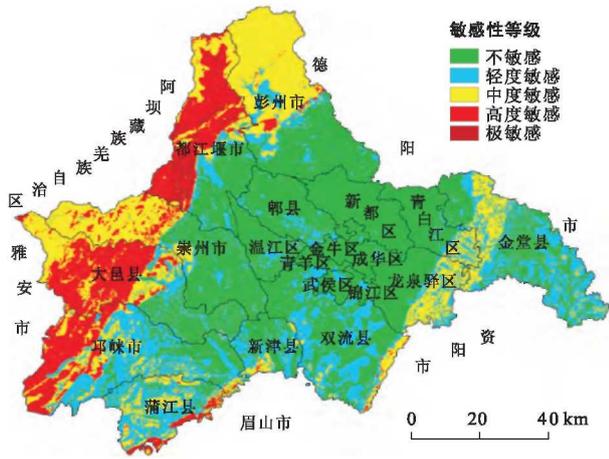
[参 考 文 献]

- [1] Wu Jianguo, Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis[J]. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4): 355-365.
- [2] 刘冰,李清飞,宋轩,等. 平顶山地区景观格局动态特征及驱动力分析[J]. *中国环境监测*, 2013, 29(3): 158-163.
- [3] Turner M G. Landscape ecology in North America: past, present, and future [J]. *Ecology*, 2005, 86(8): 1967-1974.
- [4] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题[J]. *地理科学*, 2003, 23(3): 264-270.
- [5] Turner M G. Landscape ecology: what is the state of the science? [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2005, 36: 319-344.
- [6] Krummel J R, Gardner R H, Sugihara G, et al. Landscape patterns in a disturbed environment [J]. *Oikos*, 1987, 48(3): 321-324.
- [7] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern [J]. *Landscape Ecology*, 1988, 1(3): 153-162.
- [8] MacGarigal K, Marks B J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure [R]. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Portland, 1995.
- [9] Dalle S P, de Blois S, Caballero J, et al. Integrating analyses of local land-use regulations, cultural perceptions and land-use/land cover data for assessing the success of community-based conservation [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222(1): 370-383.
- [10] 韩振华,李建东,殷红,等. 基于景观格局的辽河三角洲湿地生态安全分析[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 701-705.
- [11] 张金屯,邱扬,郑凤英. 景观格局的数量研究方法[J]. *山地学报*, 2000, 18(4): 346-352.
- [12] 曾丽云,韦素琼. 基于景观格局的福州 LUCC 与生态安全响应[J]. *福建师范大学学报:自然科学版*, 2011, 27(4): 138-142.
- [13] 肖笃宁,陈文波,郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354-358.

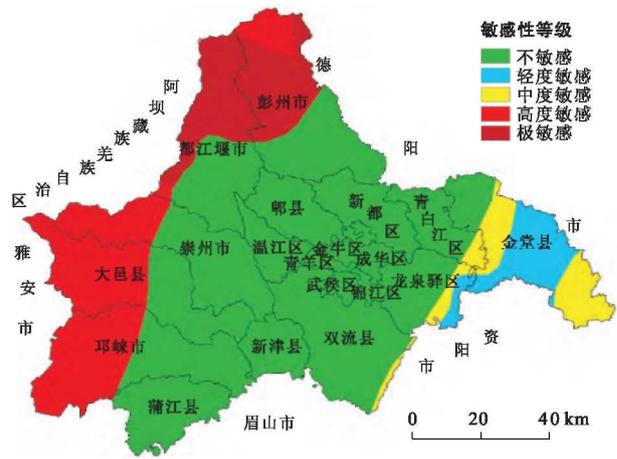
- [14] 魏彬,杨校生,吴明,等.生态安全评价方法研究进展[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(5):572-579.
- [15] Galicia L, García-Romero A. Land use and land cover change in highland temperate forests in the Izta-Popo National Park, Central Mexico[J]. Mountain Research and Development, 2007,27(1):48-57.
- [16] Gao Yao, Wu Zhifeng, Lou Quansheng, et al. Landscape ecological security assessment based on projection pursuit in Pearl River Delta [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012,184(4):2307-2319.
- [17] 吴健生,张理卿,彭建,等.深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J].生态学报,2013,33(13):4125-4133.
- [18] 汤萃文,张忠明,苏研科,等.石羊河上游林区景观空间邻接特征及生态安全分析[J].干旱区地理,2013,36(2):311-317.
- [19] Nash M S, Heggem D T, Ebert D, et al. Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009,156(1/4):343-360.
- [20] 关文彬,谢春华,马克明,等.景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径[J].生态学报,2003,23(1):64-73.
- [21] 李康.西部大开发中的生态安全问题[J].环境科学研究,2001,14(1):1-3.
- [22] 岳德鹏,王计平,刘永兵,等. GIS 与 RS 技术支持下的北京西北地区景观格局优化[J].地理学报,2007,62(11):1223-1231.
- [23] 谢霞,塔西甫拉提·特依拜.艾比湖流域绿洲化与荒漠化过程时空演变研究[J].中国沙漠,2013,33(1):38-45.
- [24] 陈明星,陆大道,张华.中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J].地理学报,2009,64(4):387-398.
- [25] 陈东景,徐中民.西北内陆河流域生态安全评价研究:以黑河流域中游张掖地区为例[J].干旱区地理,2002,25(3):219-224.
- [26] 吉冬青,文雅,魏建兵,等.流溪河流域土地利用景观生态安全动态分析[J].热带地理,2013,33(3):299-306.
- [27] 冉圣宏,曾思育,薛纪渝.脆弱生态区适度经济开发的评价与调控[J].干旱区资源与环境,2002,16(3):1-6.
- [28] 高吉喜.可持续发展理论探索:生态承载力理论、方法与应用[M].北京:中国环境科学出版社,2001:22-27.
- [29] 张宝秀,熊黑钢,徐长春.新疆于田绿洲生态弹性度与景观环境分析[J].水土保持研究,2008,15(6):112-114.
- [30] 刘冰.平顶山景观变化对其生态安全的影响[D].郑州:郑州大学,2007.
- [31] Farina A. Principles and methods in landscape ecology: Towards a science of the landscape [M]. London: Chapman, 2006.

(上接第 8 页)

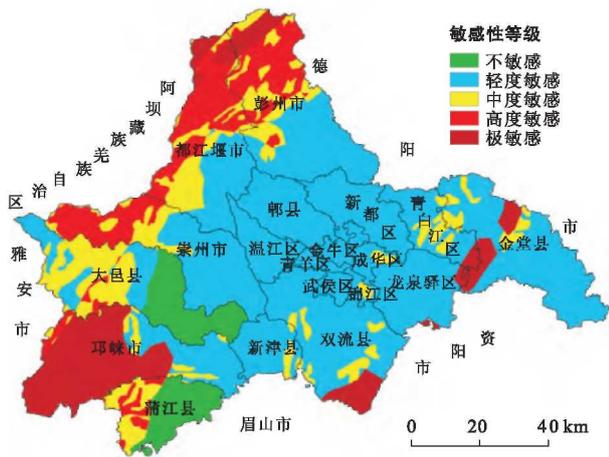
- [9] 甘卓亭,叶佳,周旗,等.模拟降雨下草地植被调控坡面土壤侵蚀过程[J].生态学报,2010,30(9):2387-2396.
- [10] 赵护兵,刘国彬,曹清玉,等.黄土高原丘陵区不同土地利用方式水土流失及养分保蓄效应研究[J].水土保持学报,2006,20(1):20-24.
- [11] 索安宁,李金朝,王天明,等.黄土高原流域土地利用变化的水土流失效应[J].水利学报,2008,39(7):767-772.
- [12] 谢颂华,曾建玲,杨洁,等.南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J].农业工程学报,2010(9):81-86.
- [13] 王健,吴发启,孟秦倩.农业耕作措施蓄水保土效益试验研究[J].水土保持通报,2004,24(5):39-41.
- [14] 李子君,于兴修.冀北土石山区坡面尺度径流特征及其影响因素[J].农业工程学报,2012,28(17):109-116.
- [15] 姜娜,邵明安.黄土高原小流域不同坡地利用方式的水土流失特征[J].农业工程学报,2011,27(6):36-41.
- [16] 方海燕,蔡强国,李秋艳.黄土丘陵沟壑区坡面产流能力及影响因素研究[J].地理研究,2009(3):583-591.
- [17] Mah M G C, Douglas L A, Ringrose-Voase A J. Effects of crust development and surface slope on erosion by rainfall[J]. Soil Science, 1992,154(1):37-43.
- [18] 蔡新广.石匣小流域水土保持措施蓄水保土效益试验研究[J].资源科学,2004,26(1):144-150.



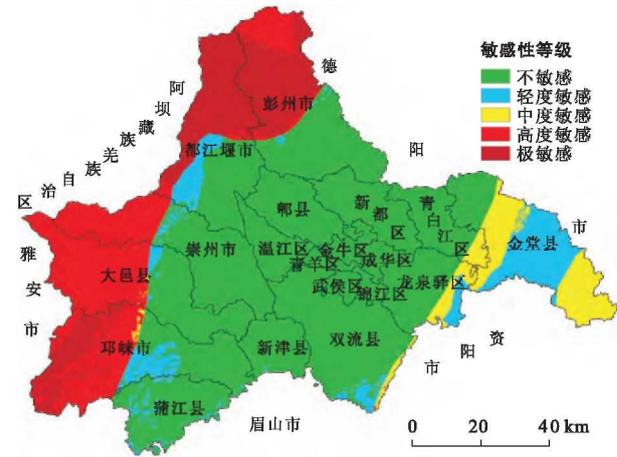
附图16 四川省成都市土壤侵蚀敏感性评价(239页)



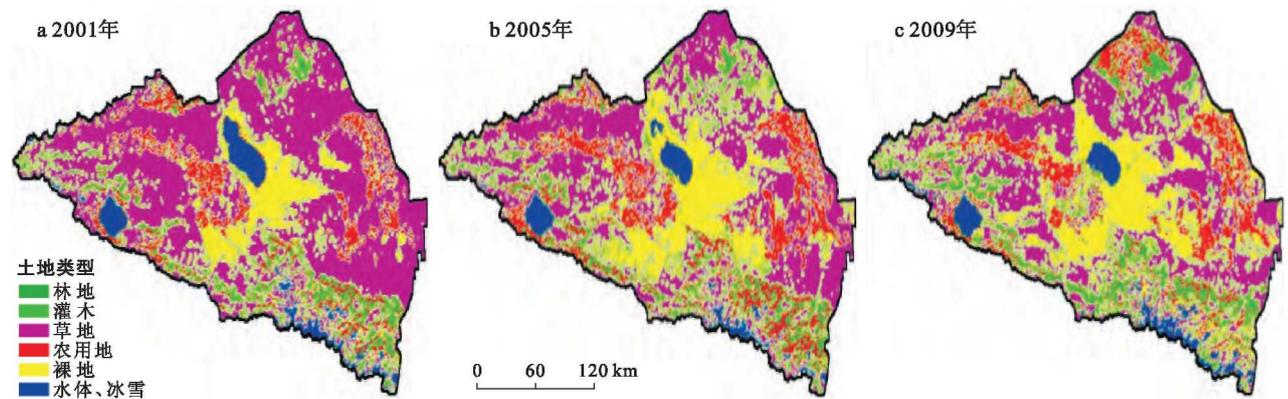
附图17 四川省成都市生境敏感性评价(239页)



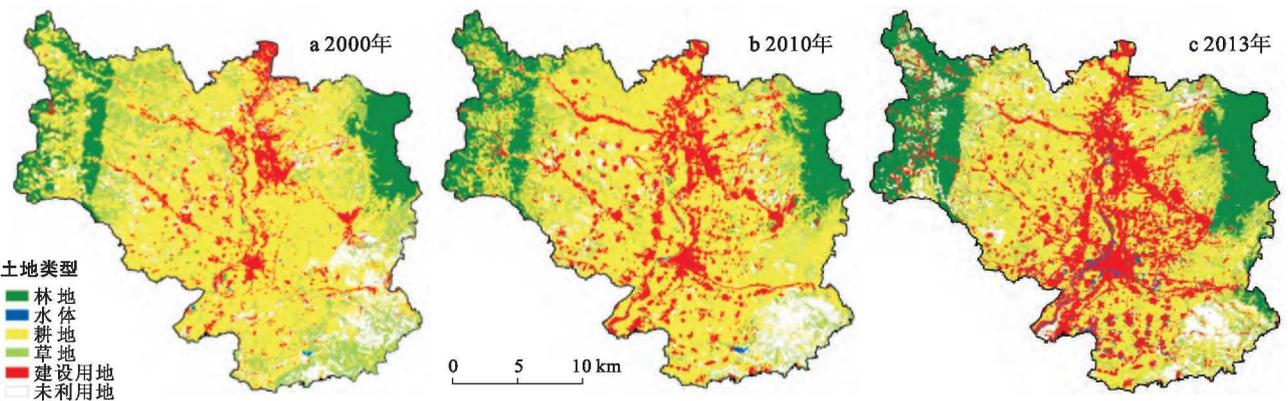
附图18 四川省成都市酸雨敏感性评价(240页)



附图19 四川省成都市生态环境敏感性评价(240页)



附图20 2001, 2005和2009年艾比湖流域景观分类(251页)



附图21 2000—2013年山西省洪洞县土地利用类型分布(264页)