嫩江河岸带景观格局变化对水体恢复的影响

杨久春[1], 张树文[1], 张宇博[2]
(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 吉林大学 软件学院, 吉林 长春 130012)

摘 要: 利用景观生态学原理, 以 1976 年的 Landsat MSS 遥感影像和 1989, 2000, 2005, 2008 年的 Landsat TM/ETM 遥感影像为数据源, 研究了嫩江干流及其 10 km 河岸带不同景观类型以及河岸带整体的景观格局变化对嫩江水体及其恢复的影响。结果表明, 嫩江经过近 30 a 余的演变, 水体面积增加, 景观破碎化程度降低, 河道蜿蜒度明显减小从而不利于嫩江生物多样性恢复。河岸带内耕地景观格局的变化可加剧嫩江水质恶化, 河岸带整体景观格局的演变也不利于嫩江水体自然恢复。但从 2000 年起, 林地景观格局变化在一定程度上将会有利于嫩江水质和生物多样性恢复, 这主要得益于退耕还林还草, 植树造林等一系列政策和生态工程的实施。

关键词: 景观指数; 水体恢复; 遥感与地理信息系统; 河岸带; 嫩江
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2011)03-0239-06 中图分类号: P966, X522

Influence of Landscape Pattern Changes of Nenjiang River Riparian Zone on Stream Restoration

YANG Jiu-chun[1], ZHANG Shu-wen[1], ZHANG Yu-bo[2]
(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun, Jilin* 130012, *China*;
2. *Software College of Jilin University, Changchun, Jilin* 130012, *China*)

Abstract: Taking the buffer zone with the width of 10 km along the main stem of Nenjiang River as astudy area, based on the theories of landscape ecology, the influences on the stream restoration of landscape pattern changes of each individual type and the whole landscape were studied using Landsat images of 1976, 1989, 2000, 2005, and 2008. The results showed that over the past 30 years, area of the water body of Nenjiang River decreased, extent of fragmentation of the landscape decreased, and the degree of meandering of the river decreased, all of which are not in favor of the restoration of biodiversity. The changes in farmland patterns exacerbated the deterioration of the water quality of Nenjiang River, and the changes in the whole landscape configuration did not favor the natural restoration of waters as well. However, since 2000, the changes in the forestland and wetland patterns to some degree favored the biodiversity restoration and water quality improvement of the river, as a result of the implementation of a series of ecological reconstruction policies and projects including returning farmland to forestland and grassland, planting tree and afforestation, protecting wetland.

Keywords: landscape index; stream restoration; RS & GIS; riparian zone; Nenjiang River

河岸带, 由于其特殊的地理位置而具有独特的空间结构和生态功能, 在土壤侵蚀防治、渠道稳定化、生物栖息地保护以及水质改善方面都起着重要的作用[1]。河岸带景观格局的变化能明显影响河流的水量和水质[2-4], 尤其是对非点源污染的影响也非常明显[5-6]。然而随着人类对河流及其周边土地资源开发强度和范围的不断扩大, 大量河岸带的生态环境发生了不同程度的退化[7-8]。因此, 研究河岸带的结构、功能和发展演变特征, 以及不同景观要素对河流水体的影响, 能够为河岸带景观的恢复重建、保护和合理利用提供重要的参考依据, 对于保障流域的供水安全, 满足流域社会经济可持续发展也具有重要意义。本文以嫩江干流 10 km 缓冲区范围作为研究区, 分析景观格局变化与嫩江水体水量和水质的关系, 旨在合理配置和

收稿日期: 2010-09-03 修回日期: 2010-10-25
资助项目: 现代水利科技创新项目"嫩江廊道生态修复研究"; 水利部公益性行业科研专项"东北黑土区水土保持措施效益评估及防治技术"(2010332030)
作者简介: 杨久春(1983—), 女(满族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 助理研究员, 主要从事资源环境遥感研究。E-mail: yangjiuchun@neigae.ac.cn。
通信作者: 张树文(1955—), 男(汉族), 吉林省长春市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土地系统变化研究。E-mail: zhangshuwen@neigae.ac.cn。

规划河岸带尺度景观要素格局以利于水体恢复,为嫩江河岸带景观的保护、恢复和合理利用提供参考。

1 研究区概况

嫩江发源于大兴安岭伊勒呼里山中段南侧,自北向南流经黑龙江省嫩江县、内蒙古自治区莫力达瓦达斡尔族自治旗、黑龙江省齐齐哈尔市、吉林省镇赉县等,最后在吉林省扶余县三岔河与第二松花江汇合流入松花江。嫩江全长 1 370 km,流域面积 2.94×10^5 km^2。嫩江河源区位于中国大兴安岭林区,具有很强的涵养水源功能,为嫩江及松花江流域提供了丰富的水资源。根据河道比降等物理特性和周边地理环境特征可将嫩江流域分为上游、中游和下游。从河源至嫩江县为嫩江上游,全长 661 km,河谷狭窄,坡度较大,两岸多山地,有森林覆盖,且沿江两侧分布有大面积沼泽地;从嫩江县至尼尔基镇为嫩江中游,全长 122 km,是山地向平原的过渡地段,两岸阶地不对称,右岸是丘陵山区,有森林覆盖,左岸阶地较平坦开阔,多为农田;由尼尔基镇至三岔河为嫩江下游,全长 589 km,河流进入平原地带,河道蜿蜒曲折,两岸滩地延展很宽,广泛分布着湿地和牛轭湖,拥有扎龙、莫莫格、向海等国家级湿地自然保护区[9]。由于嫩江流域跨越纬度较大,加之地势起伏,因此,嫩江流域南北气候差异明显。总体上,嫩江流域地处温带大陆性季风气候区,季节变化明显,年平均气温为 -1.1~4.4℃,年降水量为 400~600 mm,降水主要集中于每年的 5—9 月。

2 数据和方法

2.1 数据来源及处理

嫩江河岸带提取。首先,基于来自美国宇航局(NASA)和国家测绘局(NIMA)联合测量的 SRTM/DEM(shuttle radar topography mission—digital elevation model)数据(http://glcf.umiacs.umd.edu/data/srtm),利用 ArcGIS 9.x Hydrology 模块提取嫩江干流河道信息,然后进行矢栅格式转换,最后采用 Buffer 命令生成嫩江干流 10 km 缓冲区,以嫩江干流及其 10 km 河岸带范围为研究区。

嫩江河岸带和水体景观数据以 1976 年的 Landsat MSS 遥感影像,1989, 2000, 2005 和 2008 年 5—9 月的 Landsat TM/ETM 遥感影像为数据源。数据处理过程如下[10]:(1) 在 MGE 环境下,对各期遥感影像进行精纠正,精度控制在 1 个象元以内,以确保景观类型变化信息的定位准确性;(2) 对各期影像进行增强处理,以利于景观类型信息的解译;(3) 在 ArcGIS 9.x 软件环境下,根据全国资源环境遥感时空信息平台土地资源专题数据详细标准,采用人机交互解译方式,分别提取得到 1976, 1989, 2000, 2005 和 2008 年共 5 期土地利用/覆被数据集。各期数据均通过"国家级基础资源环境遥感动态信息服务体系建立"项目总体组抽样率为 10%的检查,数据总体精度在 90% 以上[11];(4) 在 ArcGIS 9.x 下采用 Clip 命令,裁切出研究区范围内 5 期土地利用/覆被数据;(5) 根据野外调查和研究需要,将研究区 25 种土地利用/覆被类型归纳为耕地、林地、草地、水体、建设用地、裸地和沼泽地 7 种景观类型,进一步采用 dissolve 命令获取相应的 1976, 1989, 2000, 2005, 和 2008 年 5 期景观类型数据集。

嫩江干流水文数据来自江桥水文站和大赉水文站。水文数据包括两站 1956—2007 年的多年平均年径流量、年含沙量和年输沙量[11]。两站数据分别代表嫩江上中游和下游水文情势变化情况。水质评价资料为 1999—2003 年和 2007 年优于Ⅲ类水质河长占嫩江评价河长百分比评价结果[11-12]。

2.2 景观指数选取及计算方法

景观指数能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置方面的特征[13]。在前人研究[14-16]的基础上,选取具有典型生态意义的景观类型水平和景观水平的景观指数,采用 Fragstats 3.3 软件进行统计值计算。在景观类型水平上,以面积(斑块类型面积 CA)、形状(斑块形状指数 LSI)及破碎度(斑块数量 NP 和斑块密度 PD)反映各种景观类型格局的变化及其指示的生态效应;在景观水平上,以优势度(最大斑块指数 LPI)和多样性(香农多样性指数 SHDI)反映嫩江河岸带和水体景观整体格局的变化及其指示的生态效应。景观格局变化以景观指数动态度 w_n(%)定量表达,其计算公式[17]为:

$$w_n=[(w_{n,t+1}-w_{n,t})/w_{n,t}]/T\times100\%$$

式中:n={CA, LSI, NP, PD, LPI, SHDI};t——研究时期,$t+1$ 为 t 后一时期;T——时间段。

经过矢栅转换效率计算发现,若要使计算效率较高同时保证性状和面积损失较小,栅格大小最适宜为 90 m。因此,本研究将 5 期景观类型矢量数据转换为 90 m 大小的 Grid 格式,然后采用 Fragstats 3.3 计算景观指数,最后以 4 个时段的景观指数动态度比较来反映各种景观类型以及景观整体的空间格局变化。

3 结果与分析

3.1 水体景观的变化

3.1.1 水体景观格局的变化 从表 1 可以看出,1976—2008 年期间,与其它景观类型比较,水体景观

的波动幅度较大。1976—2008 年期间水体面积增加了 25 458.41 hm^2, 其中增加面积的 95.34% 是由于 2007 年尼尔基水库蓄水所致。研究区 5 个时期景观的对比显示(附图 8), 1989—2005 年期间部分河道附近的浅滩消失, 取而代之的是耕地或草地等其它类型景观, 导致水体面积减少。在此期间, 水体的斑块数量和斑块密度显著降低, 表明水体的破碎化程度在下降。1976—2008 年期间水体的景观形状指数先增加后减少, 表明水体形状趋于规则, 河道蜿蜒性降低, 水体景观受干扰程度加强。这 30 a 多间, 嫩江沿岸修筑了大量的水利工程, 对水库周围河道进行平直和加固处理, 修筑防洪堤坝, 导致嫩江干流蜿蜒性降低, 特别是在"98 洪水"之后。然而弯曲的河流拥有更复杂的动物和植物群落, 是水体自净化的主要贡献者[18], 河道的平直化和规则化将会改变深潭与浅滩交错、急流与缓流交替的格局, 导致生物栖息地质量下降, 异质性降低, 引起水生生态系统不同程度的退化[19]。不过, 这些工程在一定程度上增加了水体的连通性, 降低了水体的破碎化程度。

3.1.2　嫩江干流水文情势和水质变化　1956—2007 年嫩江干流多年平均年含沙量在不断增加(见表 2); 多年平均年输沙量和多年平均年径流量在 2000 年之前明显增加, 在 2001—2005 年期间明显减少, 2006—2007 年又开始增加。

表 1　1976—2008 年嫩江河岸带和水体景观指数动态度　　%

时段	景观指数	景观类型							河岸带和水体整体景观
		林地	沼泽地	草地	建设用地	水体	耕地	裸地	
1976—1989 年	CA	-0.63	-1.43	1.78	1.40	2.57	0.42	2.38	0.00
	NP	17.46	2.14	18.82	0.81	5.29	26.83	8.37	10.14
	PD	17.50	2.12	18.80	0.80	5.26	26.92	8.43	10.14
	LPI	-3.09	-5.97	-4.91	0.81	-1.74	0.58	-0.06	-5.00
	LSI	2.96	-0.60	-4.40	0.59	0.34	3.82	2.87	2.17
	SHDI	—	—	—	—	—	—	—	0.26
1989—2000 年	CA	-0.53	0.45	-1.86	0.29	-1.35	1.33	-0.39	0.00
	NP	-1.72	-0.97	-5.57	-0.29	-2.46	-2.05	-2.62	-3.04
	PD	-1.71	-0.97	-5.57	-0.29	-2.46	-2.05	-2.58	-3.04
	LPI	2.37	9.23	5.26	0.47	1.37	1.41	0.04	6.04
	LSI	-0.32	0.86	-3.06	-0.25	-0.24	-0.10	-0.97	-0.68
	SHDI	—	—	—	—	—	—	—	-0.25
2000—2005 年	CA	0.10	-1.00	-0.81	0.42	-0.16	0.81	0.02	0.00
	NP	-0.17	-0.62	0.35	0.15	-0.45	-0.66	-0.35	-0.21
	PD	-0.18	-0.59	0.36	0.16	-0.43	-0.65	-0.33	-0.21
	LPI	0.00	-1.40	-2.82	0.03	0.26	1.01	0.00	-1.40
	LSI	-0.23	-0.26	0.15	0.11	-0.57	-0.85	-0.15	-0.41
	SHDI	—	—	—	—	—	—	—	-0.12
2005—2008 年	CA	-0.37	-0.46	-1.12	-0.42	7.60	-0.32	0.23	0.00
	NP	0.16	0.44	-0.09	-0.88	-0.94	0.69	-0.30	-0.12
	PD	0.15	0.37	-0.08	-0.89	-0.95	0.73	-0.56	-0.12
	LPI	0.03	-0.14	-1.19	1.13	0.00	0.08	0.00	-0.14
	LSI	0.03	-0.19	-0.25	-0.66	-2.99	-0.04	0.05	-0.30
	SHDI	—	—	—	—	—	—	—	0.31

注: CA 为景观类型面积; NP 为斑块数量; PD 为斑块密度; LPI 为最大斑块指数; LSI 为景观形状指数; SHDI 为香农多样性指数。

表 2　1956—2007 年嫩江干流多年平均年径流量、年含沙量和年输沙量

水文站	多年平均年径流量/ 10^8 m^3				多年平均年含沙量/(kg·m^{-3})				多年平均年输沙量/ 10^4 t			
	1956—1979	1980—2000	2001—2005	2006—2007	1956—1979	1980—2000	2001—2005	2006—2007	1956—1979	1980—2000	2001—2005	2006—2007
江桥	199.30	238.22	142.60	193.51	0.076	0.094	0.155	0.323	140.78	239.99	248.88	332.90
大赉	212.57	243.42	124.51	152.80	0.063	0.065	0.092	0.162	124.00	182.00	127.50	134.30
平均	205.94	240.82	133.56	173.16	0.070	0.080	0.124	0.243	132.39	211.00	188.19	233.60

1999—2002 年期间, 嫩江水质在不断下降(图 1), 优于 Ⅳ类水质的河长所占比例由 1999 年的 55% 减少到 2002 年的 22%, 水质恶化; 2003 年开始, 嫩江水质有所好转, 优于 Ⅳ类水质的河长所占比例上升到 28.17%, 到 2007 时达到 37.92%。

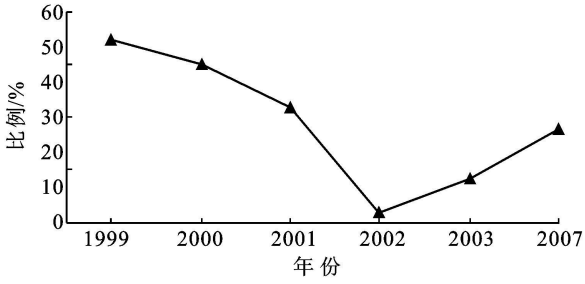


图 **1** **1999 — 2007** 年嫩江水质优于 Ⅳ类的河长所占比例

3.2 河岸带景观格局变化及其对水体恢复的影响

作为河岸带景观中的重要廊道, 水体理化性质的变化是多方面因素共同作用的结果, 不同的景观要素对水体恢复起到促进或抑制等不同的作用[20]。嫩江河岸带各类型景观在近 30 a 间都发生了复杂的变化(见附图 8), 但是占优势地位的景观要素始终是林地、耕地和沼泽地。因此, 本研究主要分析这 3 类景观的格局变化对水体的影响。

3.2.1 林地景观格局变化及其对水体恢复的作用 相比其它河岸带植被, 河岸带林地不仅具有较高的地上和地下生物量, 生长年限也较长, 使得其对非点源和点源污染都能实现更有效的控制[1], 林地对保护河岸带生物多样性, 维持水生生态系统的健康稳定具有十分重要的作用。

嫩江河岸带林地景观在 4 个时段发生明显变化(见表 1)。研究区林地经历了大面积减少→略有增加→再次减少的变化过程, 与 1976 年相比, 至 2008 年, 林地面积共减少 7.10×10^4 hm^2。1976—2000 年, 林地面积由 5.14×10^5 hm^2 减少到 4.46×10^5 hm^2, 近 80% 的面积减少量发生在 1989—2000 年期间。在 1976—1989 年期间, 林地景观的斑块数量和斑块密度明显增加, 景观形状变得更加复杂, 而在 1989 年之后斑块数量、斑块密度和景观形状都在减小, 表明林地景观主要是在 1976—1989 年期间变得十分破碎。直到 1989 年之后, 林地景观破碎化程度有所缓解, 但这在很大程度上是林地大面积减少的结果, 并不能说明林地景观连通性增加, 另外也反映了早期人类无序的不规则采伐活动对林地的干扰。2000—2005 年间, 随着退耕还林、植树造林等生态工程的实施, 林地景观面积恢复了 2 163.46 hm^2, 形状趋于规则化, 其原因是出现了一些在原有的有规则的耕地斑块上人工种植的林地。2005—2008 年主要是由于尼尔基水库淹没/破坏, 林地面积减少了 4 919.83 hm^2。

嫩江河岸带林地主要分布于嫩江上游以及中游的西岸(见附图 8), 下游地区的林地面积较小, 分布零散。林地对嫩江上游、中游和下游水体恢复的作用是不同的。嫩江上游河岸带的耕地面积较小, 居民点不多, 林地的作用主要是涵养水源, 防止水土流失, 而在嫩江下游河岸带, 工农业较发达, 城市化显著, 河岸带林地景观的作用以截留来自耕地的农药和杀虫剂等, 以及来自城市的生活污水和工业废水等为主。1976—2008 年期间, 嫩江上游和中游河岸带林地面积在减少(图 2), 林地景观分布破碎化, 由此导致其水土保持和水资源涵养能力降低, 这也许是嫩江含沙量和输沙量增加的重要原因。另外, 嫩江 2 个水文站的平均年径流量变化趋势恰好与各时段内林地景观格局特征的变化趋势相反, 一定程度上反映了林地景观变化对河流径流量的影响。

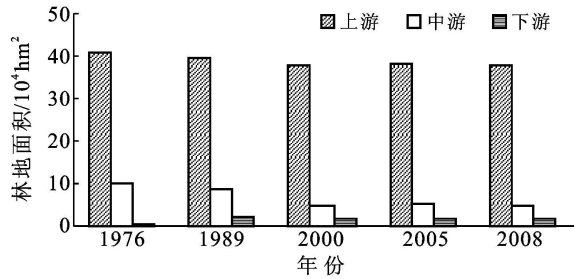


图 **2** 嫩江河岸带林地面积变化

总体上, 在 2000 年以前嫩江干流径流量、含沙量、输沙量在增大, 水质情况未得以改善与林地面积减少、破碎化程度增加相对应, 林地景观的变化十分不利于水体自然恢复, 但是自 2000 年起在不考虑由于尼尔基水库修建导致大面积破坏/淹没林地的情况下, 林地景观变化对减少嫩江径流量和输沙量有积极作用, 且有利于其水质的恢复。

3.2.2 耕地景观变化及其对水体恢复的作用 近 30 a 间, 耕地始终是嫩江河岸带中面积最大的景观类型, 并且其面积在不断增加。耕地面积由 1976 年的 539 401.29 hm^2 增加至 2008 年的 687 001.75 hm^2, 在河岸带景观面积中占 35.97%。1976—1989 年期间耕地破碎化程度明显增加, 空间分布变得零散, 反映出新增耕地并不是原有耕地的向外扩张; 另一方面, 耕地的流失导致原有连片的耕地变得破碎。随着大面积无序地, 零散地开垦耕地, 受人类干扰较强烈的耕地的形状也变得不规则。1989 年之后, 随着保护耕地意识的增强, 特别是 2000 年前后退耕还林还

草等生态工程的实施, 在前一时段开垦的、不合理分布的耕地大部分退耕, 耕地景观趋于连片分布, 形状规则化。2005—2008 年期间由于生态保护相关政策的影响, 新开垦的耕地十分分散, 耕地景观呈现破碎化趋势。

耕地面积的增加必将带来农药、化肥使用量的增加, 而使用农药、化肥所造成的面源污染是引发水质退化的主要原因之一[21-22]。同时, 由图 3 可知, 新增耕地主要来源于嫩江上游和中游河岸带的林地和草地以及下游河岸带的沼泽地和草地。嫩江河岸带上游和中游林地、草地的破坏将导致其水源涵养能力下降, 因而增加河岸带水土流失的危险性, 并有可能导致河道冲刷加剧, 河道稳定性降低, 对河流水体含沙量、输沙量以及径流量增加产生直接负面效应; 在下游河岸带大面积开垦沼泽地和草地, 将导致其对污染物过滤、拦截能力下降, 这也是水体水质恶化的重要原因之一, 并且沼泽地的减少能直接影响到廊道生态系统多样性, 不利于嫩江廊道生物多样性的保持。

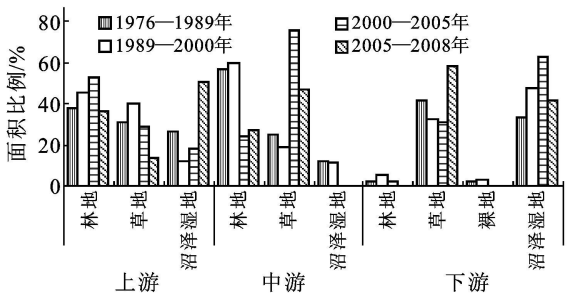


图 **3**　嫩江河岸带新增耕地来源

3.2.3　*沼泽地景观变化及其对水体恢复的作用*

1976—2008 年期间嫩江河岸带沼泽地面积在减少, 30 a 多期间共减少沼泽地 68 957.35 hm^2, 特别是 2000—2005 年期间, 其减少速度明显加快, 平均每年沼泽地面积减少 4 276.38 hm^2。耕地开垦是导致沼泽地减少的主要原因(见图 3)。因此, 沼泽地景观格局的变化与耕地景观格局的变化密切相关。大量研究表明, 沼泽地具有很强的吸附和净化水质的能力[23]。因此, 沼泽地的大面积萎缩及其在景观中优势度的下降, 将会严重影响河岸带生态系统的稳定与健康, 也不利于水体水质的恢复。

从沼泽地景观格局来看(表 1), 1976—1989 年沼泽地景观斑块数量和密度增加, 呈现显著地破碎化趋势; 其最大斑块指数明显减小, 进一步说明沼泽地景观由大斑块破碎化为多个小斑块, 其连通性减弱, 在河岸带景观中的优势度降低; 并且该时期, 沼泽地景观斑块的形状趋于规则化, 这与规则形状的耕地开垦密切相关。1989—2000 年沼泽地景观面积有所增加, 在河岸带景观中的优势度回升, 破碎化趋势也有所好转。2000—2008 年暖干化的气候和人类开垦占用使得嫩江河岸带沼泽地持续减少, 形状愈趋规则。因此, 近 30 a 多嫩江河岸带沼泽地景观格局变化趋势总体上不利于拦截、吸附水体污染物, 也不利于为嫩江干流和河岸带野生动物提供栖息生境。不过, 自 2005 年起, 沼泽地景观的破碎化程度已有所改善, 这将对水体水质和生物多样性恢复起到一定的积极作用。

3.3　嫩江河岸带和水体整体景观格局变化及其对水体恢复的影响

景观镶嵌体空间格局与生态学过程的相互关系一直是景观生态学研究的核心问题。嫩江河岸带景观格局在 1976—1989 年期间, 景观明显破碎化, 连通性显著降低, 但是形状变得复杂(表 1), 这有利于为河岸带生物提供多样性生境, 而从香农多样性指数(SHDI)的变化来看, 嫩江河岸带和水体整体景观呈更加多样化趋势; 1989—2008 年期间景观整体上破碎化程度不断降低, 连接度明显增加, 这对水体恢复可起到一定的促进作用。但由于人类作用的增强, 景观形状变得愈加规则化。另外, 由于占优势的耕地景观的面积持续大幅度增加, 而优势度相当的林地和沼泽地景观的面积不断减少, 土地利用向单一化和非均匀化方向发展, 不利于河岸带生态系统稳定, 也不利于嫩江水体的恢复。

4　结 论

基于景观生态学的理论和方法, 研究了嫩江干流及其 10 km 缓冲区范围内河岸带景观格局的变化, 分析了景观格局变化与嫩江水文和水质参数的关系, 探讨了主要景观类型和景观整体的格局演变对水体恢复的影响。结果表明, (1) 经过近 30 a 余的演变, 嫩江水体面积增加, 水体景观破碎化程度降低, 但其河道趋于平直化, 不利于水体自然状态的保持, 将会对水生生境产生一定的负面影响。这是河岸带生态环境变化和人类干扰共同作用的结果。(2) 林地、耕地和沼泽地是河岸带最重要的景观类型。其中林地和沼泽地面积总体上有所减少, 而自 2000 年起, 随着退耕还林还草、植树造林等一系列政策和生态工程的实施, 林地景观格局变化趋势在一定程度上有利于嫩江水质的恢复; 暖干化的气候变化趋势和人类活动干扰使得沼泽地景观格局呈波动变化, 但自 2005 年起沼泽地景观的破碎化程度开始有所改善, 这将对水体水质和生物多样性恢复起到一定的积极作用。(3) 从嫩江干流和河岸带整体景观格局变化来看, 自 1989

年以来,虽然整体景观的破碎化程度不断降低,但是景观形状变得更加规则化,并且土地利用方式变得单一化,这都不利于河岸带生态系统稳定和水体的净化恢复。

今后对嫩江水体恢复对策方面,应该注意保护河岸带林地、沼泽地资源;根据耕地分布的不同立地条件,建立耕地水土保持措施;改善流域尺度的景观格局配置,提高流域的空间异质性;通过宣传教育和政策法规等措施,严格控制河岸带周边地区污水、废水和垃圾的排放。

[参 考 文 献]

[1] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J]. 应用生态学报, 1996, 7(4): 439-448.

[2] Medina V G, Kaufman V S, Monsalve R, et al. The influence of riparian vegetation, woody debris, stream morphology and human activity on the use of rivers by southern river otters in Lontra Provocax in Chile [J]. Oryx, 2003, 37: 422-430.

[3] Cullen P. Land use and declining water quality [J]. Australian Journal of Soil and Water Conservation, 1991, 4: 4-8.

[4] 周睿, 胡玉喆, 熊颖, 等. 岷江上游河岸带土地覆被格局及其生态学解释[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 2-10.

[5] 岳隽, 王仰麟, 李贵才, 等. 深圳市西部库区景观格局与水质的关联特征[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 203-207.

[6] Philippe G F, Hill A R. Landscape controls on the hydrology of stream riparian zones[J]. Journal of Hydrology, 2004, 292: 210-228.

[7] 岳隽, 王仰麟. 国内外河岸带研究的进展与展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(5): 33-40.

[8] 黄凯, 郭怀成, 刘永, 等. 河岸带生态系统退化机制及其恢复研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1373-1382.

[9] 李颖, 田竹君, 叶宝莹, 等. 嫩江下游沼泽湿地变化的驱动力分析[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 686-691.

[10] 张树文, 张养贞, 李颖, 等. 东北地区土地利用/覆被时空特征分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 67-78.

[11] 水利部松辽水利委员会. 松辽流域水资源公报[EB/OL]. (2009-10-14)[2011-02-01]. http://www.slwr.gov.cn/shuiziyuan.

[12] 松辽流域水资源保护局. 松辽流域省界缓冲区水资源质量状况通报[EB/OL]. (2009-10-13). http://www.slwr.gov.cn/shuizhitongbao.

[13] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 17-20.

[14] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反映[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 123-134.

[15] Hargis C D, Bissonette J A, David J L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation [J]. Landscape Ecology, 1998, 13(3): 167-186.

[16] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报, 2005, 5(10): 2764-2775.

[17] 刘纪远, 张增祥, 庄大方. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化遥感信息时空分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 268-271, 268-271.

[18] 董哲仁, 孙东亚. 生态水利工程原理与技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 59-80.

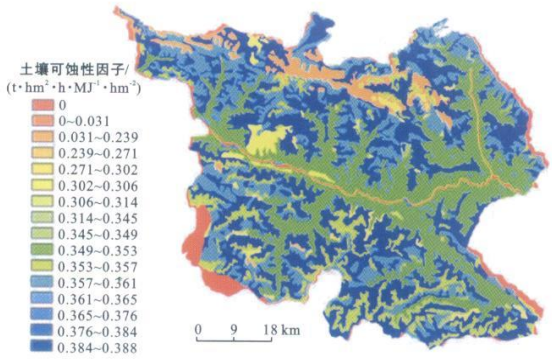
[19] 毛战坡, 王春雨, 彭文启, 等. 筑坝对河流生态系统影响研究进展[J]. 水科学进展, 2005, 16(1): 134-140.

[20] 周婷, 彭少麟, 任文韬. 东江河岸缓冲带景观格局变化对水体恢复的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 231-239.

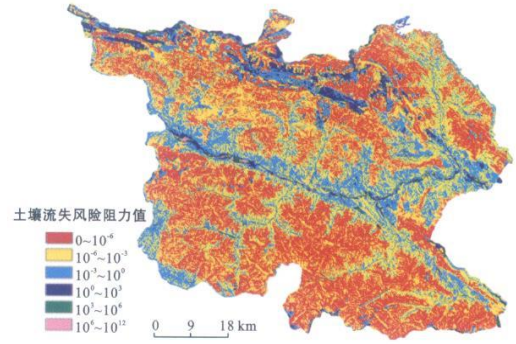
[21] 金洁, 杨京平. 从水环境角度探析农田氮素流失及控制对策[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 579-582.

[22] 马永胜, 时秋月, 朱丹丹, 等. 非点源污染对嫩江上游流域水环境的影响[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(6): 842-846.

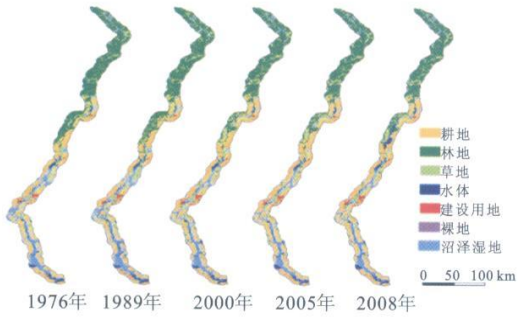
[23] 田自强, 韩梅, 张雷. 西太湖河网区恢复与退化河岸带湿地生态及水环境功能比较[J]. 生态学报, 2007, 27(7): 2812-2822.



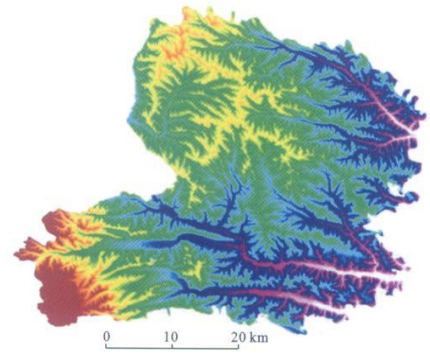
附图6 迭部土壤可蚀性因子插值



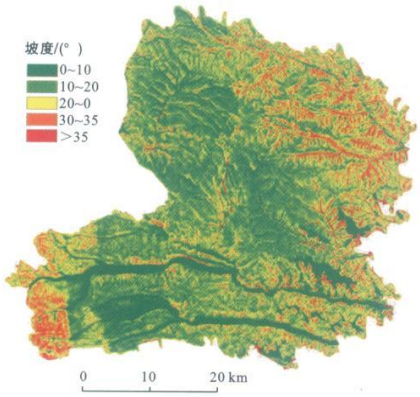
附图7 迭部县土壤流失风险格局



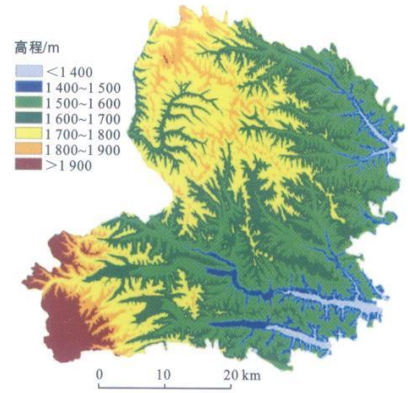
附图8 嫩江河岸带和水体景观分布



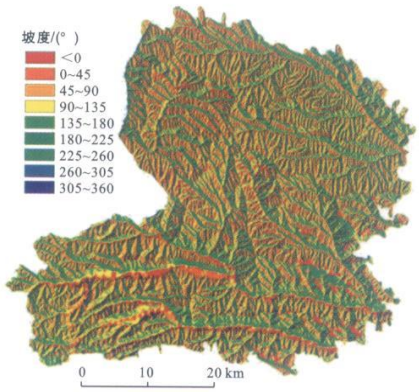
附图9 宁夏回族自治区彭阳县DEM二维影像



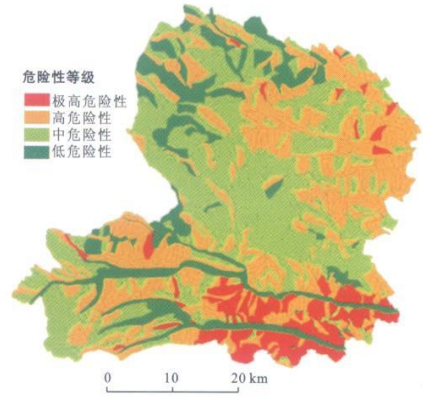
附图10 宁夏回族自治区彭阳县坡度分区



附图11 宁夏回族自治区彭阳县高程分区



附图12 宁夏回族自治区彭阳县坡向分区



附图13 宁夏回族自治区彭阳县地质灾害危险性评价