

阿什河流域绿色河流廊道景观格局解析及功能评价

梁雄伟, 王立, 马放, 李哲, 汪根, 姜晓峰
(哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 以阿什河为例,利用 Landsat 8 OLI 卫星影像对阿什河流域绿色河流廊道景观格局进行解析,同时采用综合评价法对绿色河流廊道质量进行评价,并结合 R 语言对绿色河流廊道质量与环境因子进行相关性分析,找出限制绿色河流廊道功能提升的瓶颈因素。结果显示,阿什河流域内的绿色河流廊道呈现出明显的空间异质性,在中上游的丘陵地区,绿色廊道分布密集、面积广泛、空间连续性高,中下游绿色河流廊道缺失、离散破碎化程度高、面积明显不足。流域中下游现有的绿色河流廊道的空间格局状况与其功能需求不匹配,限制阿什河流域中下游绿色廊道功能低下的主要原因为廊道宽度不够、面积不足、空间连接度差,绿色河流廊道功能质量急需提升。

关键词: 阿什河; 绿色河流廊道; 景观格局; 健康评价

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)11-0049-07

Analysis and Evaluation of Green River Corridor Landscape Pattern in Ashihe River Basin

LIANG Xiong-wei, WANG Li, MA Fang, LI Zhe, WANG Gen, JIANG Xiao-feng
(State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: This paper introduced a case study based on the Ashe River, used Landsat 8 satellite image to interpret the landscape pattern of the green river corridor, applied the comprehensive evaluation method to evaluate the quality of the green river corridor, and analyzed the correlation by R language. The green river corridor in the Ashihe River Basin has demonstrated strong spatial heterogeneity, in the upper reaches in the highland region, green corridor areas were extensively and intensively distributed with high spatial continuity; in the middle and lower basin, high degree of fragmentation was observed in green corridor areas, which also were discretized and insufficient. The existing spatial pattern of the green river corridor in the middle and lower basin could not match current functional requirements. The green river corridor function in the lower reaches of the Ashihe River Watershed was limited by the insufficient width and area, and the poor spatial connectivity. The green river corridor function is in need of immediate improvement.

Key words: Ashihe River; green river corridor; landscape pattern; health assessment

在景观生态学中,河流廊道是指河流本身及沿河流分布而不同于周围基质的植被带,而绿色河流

廊道是相对于河流本体以外的沿河流分布的绿色植被带,是河流廊道的重要组成和功能单元^[1~3]。目

前国内绿色河流廊道普遍存在局部缺失、空间离散及破碎化、功能面积不足、空间分布格局与其功能需求不匹配等问题。急需科学的方法对绿色河流廊道的空间结构进行定量解析,并对其功能进行有效评价,建立绿色河流廊道的健康评价体系。

阿什河是松花江右岸一级支流,目前水质状况为劣V类,面源污染是其主要污染形式。绿色河流廊道受损严重、空间布局不合理是导致面源污染无法进行有效截留、河流水质严重恶化的重要原因之一。

国务院在2015年4月召开的国务院常务会议上,审议并正式发布了《水污染防治行动计划》(“水十条”),提出“全力保障水生态环境安全”的行政命令^[4]。基于此,笔者尝试对阿什河绿色河流廊道空间格局进行解析,并对其格局对应的生态功能需求的匹配性进行评价,通过R语言分析找出限制阿什河流域绿色河流廊道质量提高的瓶颈因素,以期为该流域及相似条件流域绿色河流廊道的合理布局及水质改善提供科学指导。

1 研究方法

1.1 研究区域河流廊道的解析

基于ArcGIS平台,应用SWAT模型,对阿什河流域进行划分。根据绿色河流廊道的定义,应用ENVI工具对Landsat 8卫星影像进行解译,为了更好地区分缓冲带与农田,选用5月末的卫星影像,此时农作物还没变绿,而滨岸缓冲带中植被已经变绿,见图1。用于解译的卫星图片日期为2013年5月18日,从美国地质调查局网站下载的Landsat 8 OLI

数据^[5]。通过卫星图片拼装[见图1(a)]及流域边界剪切[见图1(b)],通过应用监督分类初步解译出绿色河流廊道大体结构[见图1(c)],将ENVI解译出的栅格数据转换成Shapefile格式载入Arcmap中进行人工目译矫正。人工目译矫正用到Arcmap自带卫星影像(精度为6 m)[见图1(d)],考虑到5月绿色河流廊道部分植被还未生长出来,借助谷歌地球中的卫星图片(精度为3 m),调整到不同年份影像,对比进行人工解译及验证,最后在ArcGIS中解译出阿什河流域绿色河流廊道空间分布[见图1(e)]。

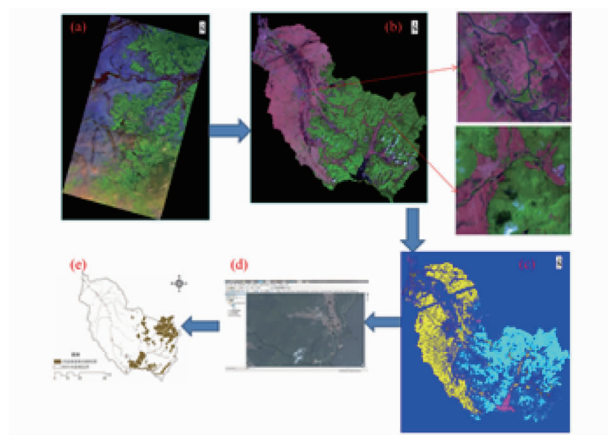


图1 绿色河流廊道解析过程

Fig. 1 Analysis process of green river corridor

1.2 绿色河流廊道综合评价体系构建

本文仅从地表水体水质控制方面来评价阿什河流域内的绿色河流廊道。绿色河流廊道分类标准^[6]见表1。

表1 绿色河流廊道分类标准

Tab. 1 Classification standard of green river corridor

项 目		4 级	3 级	2 级	1 级
结构 稳定性	坡度/(°)	坡角 < 15	15 ≤ 坡角 < 30	30 ≤ 坡角 < 45	坡角 ≥ 45
	岩土类型	坚硬的岩类	胶结好的半坚硬岩类	胶结较好的半坚硬岩类	软岩类及松散的土壤
景观 适宜性	宽度 W/m	$W > 200$	$100 < W \leq 200$	$30 < W \leq 100$	$W \leq 30$
	连通性/%	$C > 90$	$80 < C \leq 90$	$70 < C \leq 80$	$C \leq 70$
	耕地占用率 G/%	$G < 20$	$20 \leq G < 40$	$40 \leq G < 60$	$G \geq 60$
生态 健康性	植被组成	乔木	灌木	草植被	草稀少
	生物多样性	$H > 1.5$	$0.8 < H \leq 1.5$	$0.2 < H \leq 0.8$	$H \leq 0.2$
生态 安全性	水质	I、II类	III类	IV类	V类
	人口密度 R/ (万人·km ⁻²)	$R < 0.005$	$0.005 \leq R < 0.01$	$0.01 \leq R < 0.025$	$R \geq 0.025$

注: 级别越高系统越稳定,除污效果越好。

关于表1的几点说明:

① 连通性是评价河流廊道的一个重要指

标^[7]。采用Fragstats软件聚散性指标中的斑块类型连接度(C)进行评价,如公式(1)所示。

$$C = \left[\frac{\sum_{i=1}^n C_{ijk}}{n_i(n_i - 1)} \right] \quad (1)$$

式中: C_{ijk} 为在用户指定临界距离之内与斑块类型*i*相关的斑块*j*与*k*的连接状况; n_i 为景观中斑块类型*i*的斑块数量。连接度就等于某类型斑块中所有斑块之间的节点数目(斑块*j*与*k*连接时, $C_{ijk}=1$;反之, $C_{ijk}=0$)除以所有可能的节点数目,最后乘以100%转化为百分比。

② 耕地占用率*G*指河流两岸一定宽度中耕地所占比例,本文选取耕地两岸4 km 范围。

③ 生物多样性指数反映生态系统的稳定性,采用 Shannon Weaver 指数表示。

$$H = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{m_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{m_i}{N} \right) \quad (2)$$

式中: H 为生物多样性指数; N 为单位面积样品中收集到的生物总个数; m_i 为单位面积样品中第*i*种生物的个数; S 为生物种类数。

④ 根据流域内卫星图片解译出的人口居住面积,应用网格分析估算出人口数目^[8]。

利用管理学软件 Super Decisions 对以上指标进行加权计算。

2 结果与讨论

2.1 基于不同地理空间属性的土地功能分区

在 GIS 平台上,应用 SWAT 模型,基于地形、土壤、土地利用方式的异质性,HRU(控制单元)与 DEM 将流域划分成 5 个空间异质性单元,分别位于流域上游、中上游、中游、中下游及下游,对应土地面积分别为 1 156.35、528.45、427.06、714.99、714.94 km²,其地理属性及空间布局如图 2 所示。

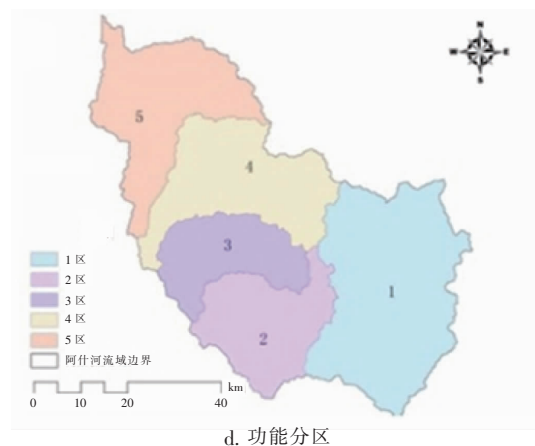
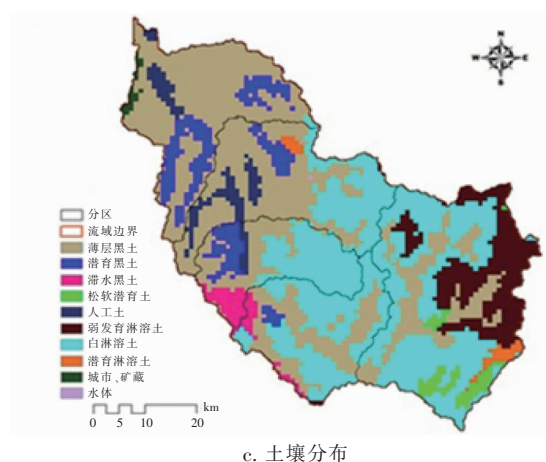
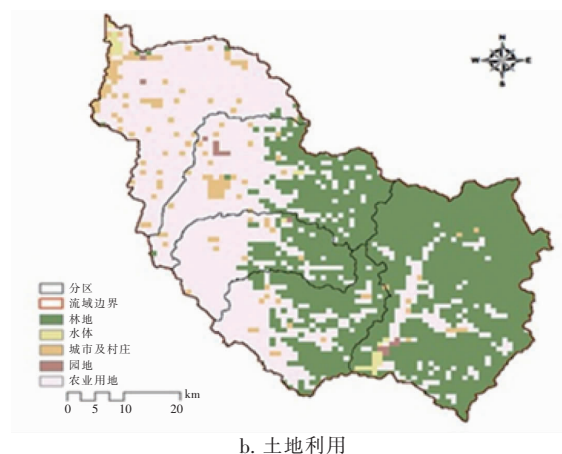
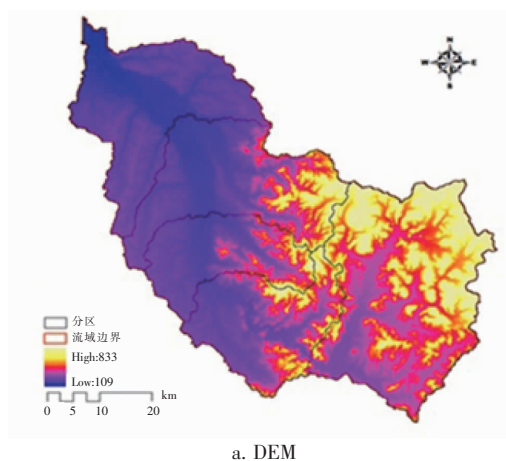


图2 流域区域划分

Fig.2 Partitions of Ashihe River Basin

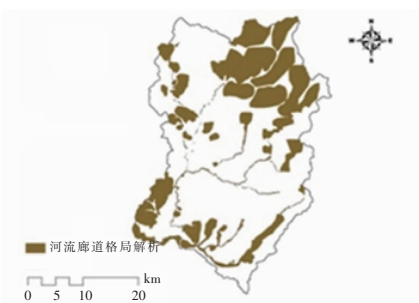
结果表明,阿什河流域空间地理因素呈现出典型的空間异质性。阿什河上游地势陡峭、海拔较高[如图 2(a)所示],属于山区丘陵地带,土地利用方式以林地为主[如图 2(b)所示],中下游地势低而平坦,多为基本农田。流域内上游多为淋溶土,土壤

流失风险值高,而下游多为黑土,土壤肥沃,土壤元素含量背景值高[如图2(c)所示]。综合其地理空间要素的空间分布特征及属性,并结合其土地利用现状与需求,将流域划分为5个功能区域,如图2(d)所示。

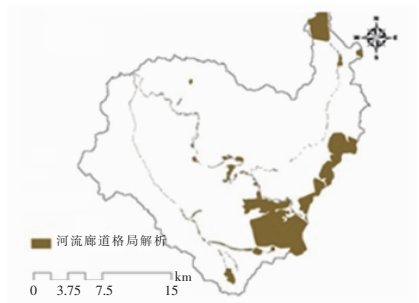
2.2 绿色河流廊道景观格局解析与功能评价

2.2.1 格局解析

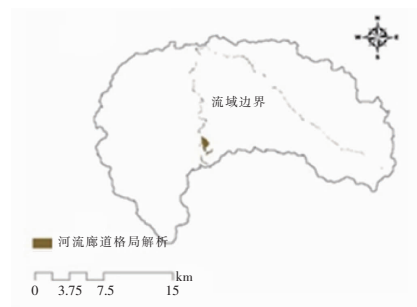
阿什河流域绿色河流廊道空间分布格局解析如图3所示。可以看出,阿什河流域内绿色河流廊道呈现出典型的空问异质性,为有效展示绿色河流廊道的空问分布细节特征,对5个功能区进行了图形分解。结果表明,流域中上游地带,对应流域内1区和2区,绿色河流廊道分布密集、面积广泛、功能较充足;在流域的中下游地带,对应流域内3、4、5区,绿色河流廊道在河流两岸缺失、宽度不够、面积明显不足。



a. 1区解析结果



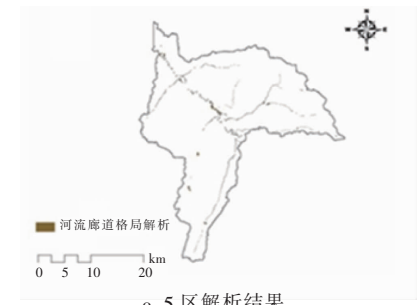
b. 2区解析结果



c. 3区解析结果



d. 4区解析结果



e. 5区解析结果

图3 绿色河流廊道解析结果

Fig. 3 Analysis results of green river corridor landscape

绿色河流廊道是面源污染进入水体的关键屏障,不仅受到宽度和功能面积的显著影响,空间连接性及在区域内所占比例都将影响其功能的发挥。应用 ArcGIS 及 Fragstats 对5个分区中绿色河流廊道进行分析,分析区域中河流长度、河流廊道面积、平均宽度、绿色河流廊道在区域中所占比例及连接度,结果如表2所示。

表2 绿色河流廊道景观格局解析结果

Tab. 2 Analysis results of green river corridor landscape

项 目	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区
河流长度/km	214.08	95.618 6	61.461 7	206.460 1	183.161 8
河流廊道面积/km ²	341.486 1	54.143 1	1.440 371	16.045 3	5.110 7
平均宽度/km	0.797 57	0.283 12	0.011 71	0.038 86	0.013 96
所占比例/%	29.531 3	10.245 7	0.337 3	2.244 1	0.714 8
连接度/%	87.466 1	89.803 9	79.753 7	72.570 5	69.483 9

绿色河流廊道的面积从1区到5区总体呈递减趋势,最大值为341.486 1 km²(1区),最小值为

1.440 371 km²(3区),4区略有增长,为16.045 3 km²,5区降低到5.110 7 km²,说明阿什河流域绿色

河流廊道分布极不均匀。平均宽度与面积的趋势一样,平均宽度在1区中最大,达到0.797 57 km,最小值为3区的0.011 71 km,2区的平均宽度为0.283 12 km,4区的平均宽度为0.038 86 km,5区中的平均宽度为0.013 96 km。绿色河流廊道在区域内所占比例也与其面积变化趋势相同,1区最高为29.531 3%,2区下降,3~5区为0.3%~2.3%,绿色河流廊道面积骤然降低。连接度在69%与90%之间,2区连接度最大,连接度在3、4、5区骤然下降,绿色河流廊道在中下游破碎化程度逐渐加大。

综上,阿什河流域内的绿色河流廊道呈现出不同的空间异质性,在中上游的丘陵地区,绿色廊道分布密集、面积广泛、空间连续性高,中下游则缺失、离散破碎化程度高、面积不足,现有绿色河流廊道的空间格局状况与阿什河流域缓冲带功能需求不匹配。

2.2.2 功能评价

基于阿什河流域内绿色河流廊道的空间格局解析,针对不同的功能需求,采用综合评价法对其进行功能评价,其结果如表3所示。

表3 指标的计算结果

Tab.3 Calculation result of each index

项 目	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区
结构稳定性	坡度	3 级	4 级	4 级	4 级
	岩土类型	4 级	4 级	2 级	3 级
景观适宜性	宽度	4 级	4 级	1 级	2 级
	连通性	3 级	3 级	2 级	2 级
	耕地占用率	4 级	4 级	2 级	1 级
生态健康性	植被组成	4 级	3 级	3 级	3 级
	生物多样性	4 级	2 级	2 级	2 级
生态安全性	水质	4 级	2 级	2 级	1 级
	人口密度	4 级	3 级	2 级	1 级

前人研究结果表明,层次分析法(AHP)赋权的

指标之间相互独立,而网络层次分析法构建的是既存在递阶式层次又存在内部循环和相互支配的网络结构。这是因为在实际的决策问题当中,系统中各个元素相互影响相互依赖,从而出现了复杂交错的网络结构,ANP是在AHP的基础上建立的,比AHP更科学^[9]。结合前人工作经验及本研究实际特征,采用管理学软件Super Decisions进行ANP分析,对上面9个指标进行科学赋权,结果如下:结构稳定性的权重为0.218 54,其中坡度的权重为0.031 168、岩土类型的权重为0.031 274;景观适宜性的权重为0.383 49,其中宽度的权重为0.233 149、连通性的权重为0.143 931、耕地占用率的权重为0.031 297;生态健康性的权重为0.124 78,其中植被组成的权重为0.031 102、生物多样性的权重为0.239 228;生态安全性的权重为0.273 19,其中水质等级的权重为0.245 26、人口密度的权重为0.012 325。

结果表明,阿什河流域中上游,1区与2区的绿色河流廊道表现出理想与良好状态,在阿什河流域的中下游,3、4、5区的绿色河流廊道表现为一般状态。基于绿色河流廊道的评价结果,对照其服务功能等级的需求^[6]进行匹配度和健康等级分析,结果见表4。从表4可以看出,中上游地区,对应研究区域内的1区和2区,绿色河流廊道的健康等级理想或良好,能够满足该区域对应的服务功能需求,现有空间格局与其功能需求相匹配,可以进一步进行管理和保持维护;中下游地区,对应研究区域内3、4、5区的评价结果为一般,其空间分布格局与其功能需求不匹配,不能满足现有绿色河流廊道的服务功能需求,具有泥沙流失、面源污染难以有效截留的环境风险,急需有效的技术手段提升绿色河流廊道的功能质量。

表4 绿色河流廊道的评价结果

Tab.4 Evaluation result of green river corridor

项 目	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区
计算结果	3.831 837	2.816 328	1.863 757	1.836 298	1.459 218
评价结果	理想	良好	一般	一般	一般
服务功能等级	生物多样性	水源涵养	泥沙截留	污染物截留与净化	污染物截留与净化
健康等级	理想	良好	一般	一般	一般
匹配与否	是	是	否	否	否

2.3 绿色河流廊道功能提升的限制因素分析

利用R语言工具对绿色河流廊道质量、平均宽度、形状指数、分区面积、河流长度、廊道面积、廊道

最大及最小面积、廊道平均面积、区域内人口、生物多样性、绿色河流廊道的斑块结合度以及水质进行相关性分析,旨在找出影响绿色河流廊道功能提升

的瓶颈因素。结果如图4所示,蓝色越深表明正相关性越大,红色越深表明负相关性越大。

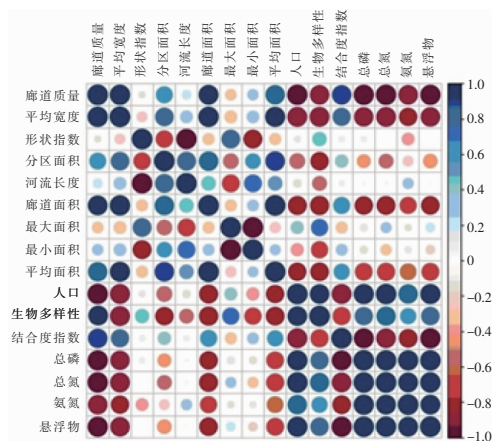


图4 R语言分析结果

Fig. 4 Analysis result by R language

2.3.1 正相关因素分析

由图4可以得到,与绿色河流廊道呈正相关的因素相关性排序为:平均宽度(0.971 4) > 生物多样性(0.910 6) > 结合度指数(0.885 7) > 廊道面积(0.874 2) > 平均面积(0.872 3) > 分区面积(0.657 5) > 河流长度(0.202 5) > 最小面积(0.289 0)。下面将从关联度最高的3个因素进行讨论,即绿色河流廊道的平均宽度、生物多样性及结合度指数。

绿色河流廊道功能与其平均宽度相关性显著,相关性系数为0.971 4。河流廊道的宽度是河流廊道的一个重要指标,其宽度与河流廊道除污关系密切。至今,还没有得到一个统一的绿色河流廊道的有效宽度。在美国西北太平洋地区,普遍使用30 m的河岸植被廊道作为缓冲区的最小值。华盛顿州海岸线管理法案规定,位于河流60 m范围内或100年一遇河漫滩范围内,以及与河流相关的湿地都应该受到保护,而且保护范围越大越好。当绿色河流廊道宽度 > 30 m 时,能有效降低温度、增加河流生物食物供应、有效去除污染物。当宽度 > 80 m 时,可以较好地控制沉积物及土壤元素流失,美国各级政府和组织对绿色河流廊道宽度规定值的变化较大,从20 ~ 200 m 不等。Haycock 等研究英国南部绿色河流廊道时发现绿色河流廊道的氮吸收能力主要发生在面源污染物质刚进入时,作为乔木的杨树在绿色河流廊道去除面源污染物质中氮时表现得更为明显,氮的截留作用主要发生在廊道边缘5 m左右的

区域^[10]。Shan 等应用SWAT以及REMM工具计算了中国三峡水库的绿色河流廊道宽度,指出最佳宽度为58 m,需要96 m的宽度才能满足未来的需要^[11]。从表2可以看出绿色河流廊道的平均宽度在1区最大,达到797.57 m,最小值为3区的11.71 m,2区的平均宽度为283.12 m,4区的平均宽度为38.86 m,5区的平均宽度为13.96 m。在阿什河流域中下游,绿色河流廊道宽度不足是其质量低下的主要因素。

生物多样性与绿色河流廊道功能相关性显著,相关性系数为0.910 6。绿色河流廊道具有复杂多变的生境特征,如水文、土壤、地形、光照、温度、湿度等小气候因子的时空变异性,使得其在生物多样性保护方面具有重要作用。生物多样性与绿色河流廊道的功能相关性较显著,国内外研究已证实^[12,13]。

斑块结合度指数反映的是景观中斑块之间的连续度与聚合度的情况,斑块结合度指数越高则景观中斑块之间的连续度与聚合度就越高^[14]。各分区斑块结合度指数见图5。绿色河流廊道质量与斑块结合度指数之间的相关性系数为0.885 7,表明绿色河流廊道的结合程度与绿色河流廊道质量相关性显著。由图5可知,1区与2区的斑块结合度较高,均大于90,3、4、5区的斑块结合度降低,处于60 ~ 80之间,阿什河流域中下游的斑块结合度偏低,需要提高。而绿色河流廊道质量与廊道的形状没有明显相关性。

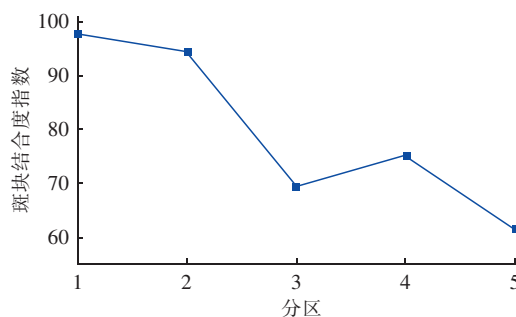


图5 各分区斑块结合度指数

Fig. 5 Cohesion of each partition

2.3.2 负相关因素分析

由图4可知,河流中的总磷、总氮、氨氮、悬浮物和绿色河流廊道质量呈显著的负相关,相关系数大小排序为:总氮(1-0.975 11) > 总磷(1-0.961 91) > 悬浮物(1-0.946 11) > 人口(1-0.900 31) > 氨氮(1-0.877 71)。表明,绿色河流廊道是农业面源

污染通往地表水体的天然屏障,能有效地减少及阻隔面源污染物对地表水体的影响。而绿色河流廊道的功能缺失将严重导致各种形式的面源污染问题加剧,二者呈显著负相关关系。

显著相关因素中,人口是影响绿色河流廊道功能的另一重要因素。由于人类活动的干扰,使绿色河流廊道面积逐渐减少。由图4可知,绿色河流廊道质量与人口数量呈负相关。有学者认为,人口对流域内景观格局有重要影响,景观的分离度与人类活动强度成反比。但也有研究者认为,人口对生态环境演化的作用,通过一系列间接因子作用于最终的环境后果。人口与其他影响因子之间存在着互相的作用和反馈,它们共同作用于生态环境,不存在人口对生态环境的直接作用,或者独立的作用。

3 结论与建议

① 阿什河流域内的绿色河流廊道呈现出不同的空间异质性,在中上游的丘陵地区,绿色河流廊道分布密集、面积广泛、空间连续性高,中下游绿色河流廊道缺失、离散破碎化程度高、面积明显不足。

② 阿什河流域中下游现有的绿色河流廊道的空间格局状况与阿什河流域缓冲带功能需求不匹配,现有的绿色河流廊道质量需提升。

③ 限制阿什河流域中下游绿色河流廊道功能低下的主要原因为宽度不够、空间连接度不够。

针对阿什河流域绿色河流廊道景观格局存在的问题,结合“保障水生态环境安全”建设目标,今后阿什河流域绿色河流廊道建设过程中应注意以下几点:①重点关注阿什河流域中下游绿色河流廊道的建设,增加廊道宽度至最佳宽度;②优化阿什河流域绿色河流廊道的网络结构,保证绿色河流廊道在空间上的连续性及其具有完善的绿色河流廊道系统。

参考文献:

- [1] 车生泉. 城市绿色廊道研究[J]. 城市规划, 2001, (11): 44-48.
- [2] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [3] Hooke J, Chen H. Evidence of increase in woody vegetation in a river corridor, Northwest England, 1984-2007[J]. Journal of Maps, 2016, 12(3): 484-491.
- [4] 刘伟江, 王东, 文一, 等. 我国地下水污染修复试点对策建议——对《水污染防治行动计划》的解读[J]. 环境保护科学, 2015, (3): 12-15.
- [5] 徐涵秋, 唐菲. 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义[J]. 生态学报, 2013, 33(11): 3249-3257.
- [6] 夏继红, 严忠民. 生态河岸带综合评价理论与修复技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [7] 周华荣, 肖笃宁. 塔里木河中下游河流廊道景观生态功能分区研究[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 16-20.
- [8] 陈振拓. 服务于地震应急的人口数据格网化方法研究[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2012.
- [9] 唐小丽, 冯俊文. ANP 原理及其运用展望[J]. 统计与决策, 2006, (12): 138-140.
- [10] Haycock N E. Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter[J]. J Environ Qual, 1993, 22(2): 273-278.
- [11] Shan N, Ruan X H, Xu J, et al. Estimating the optimal width of buffer strip for nonpoint source pollution control in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. Ecol Model, 2014, 276: 51-63.
- [12] 郭二辉, 孙然好, 陈利顶. 河岸植被缓冲带主要生态服务功能研究的现状与展望[J]. 生态学杂志, 2011, 30(8): 1830-1837.
- [13] 韩路, 王海珍, 于军. 河岸带生态学研究进展与展望[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 879-886.
- [14] 赵志轩, 张彪, 金鑫, 等. 海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1925-1935.



作者简介: 梁雄伟(1985-), 男, 湖北随州人, 博士研究生, 研究方向为面源污染修复理论与技术。

E-mail: liangxiongwei007@163.com

收稿日期: 2016-12-14