

基于 GIS 和 Fragstats 的城市绿地景观格局动态变化研究

——以新疆乌鲁木齐市为例

其格乐很^{1,2}, 何秉宇^{1,2*}, 黄玲³ (1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 智慧城市与环境建模自治区高校重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046)

摘要 选取乌鲁木齐市中心城区(天山区、沙依巴克区、水磨沟区、高新区)为研究靶区,以 2008、2013、2017 年的 Landsat 遥感影像为数据源,运用 Envi、ArcGIS 以及 Fragstats 景观格局分析软件,对 2008—2017 年研究区生态类型格局面积变化及转移矩阵进行分析,并选取 7 个景观特征指标,即绿地斑块面积、斑块个数、斑块密度、平均斑块面积、斑块形状指数、斑块类型占景观面积比例、斑块聚集度,进行了定性与定量分析。结果表明:城市绿地景观转入量主要来自裸地及农田,绿地面积从 2008 年的 90.38 km² 增加至 113.34 km²,2017 年绿地面积相较 2013 年增加了 22.96 km²,面积所占比例增加了 2 个百分点。研究区绿地景观破碎化程度总体呈上升趋势,其中高新区绿地面积较小,斑块个数最多,斑块密度最大,破碎化程度最高,绿地生态功能较弱。绿地斑块形状及绿地景观结构的复杂性总体呈现增加的趋势,城市绿地景观受人类活动影响明显,其中因水磨沟区部分山区绿地景观连通性较强、破碎度小,城市绿地聚集度最大。针对这些问题提出绿地优化建议,为研究区城市绿地景观优化及生态环境的改善提供参考,同时为乌鲁木齐市创建“国家生态园林城市”这一目标提供一定理论依据与决策支持。

关键词 GIS;城市绿地;景观格局;景观破碎化;乌鲁木齐市

中图分类号 TU 985 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)15-0072-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.15.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Dynamic Change of Urban Greenbelt Landscape Pattern Based on GIS and Fragstats—A Case Study of Urumqi, Xinjiang

QIGELHEN^{1,2}, HE Bing-yu^{1,2}, HUANG Ling³ (1. College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. Key Laboratory of Universities in Intelligent City and Environmental Modeling Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang, 830046; 3. College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

Abstract Taking Tianshan District, Saybagh District, Shuimogou District and Gaoxin District of Urumqi City as the research objects, with all data based on Landsat remote sensing images of 2008, 2013 and 2017, using Envi, ArcGIS and Fragstats landscape pattern analysis software, this paper analyzed the change and transfer matrix of landscape pattern area of the study area from 2008 to 2017, and selected seven landscape characteristic indicators, namely green patch area, patch number, patch density, average patch area, patch shape index, proportion of patch type to landscape area and patch aggregation degree. The results showed that the amount of green space landscape transfer mainly comes from unused land and farmland. The area of green space has increased from 90.38 km² to 113.34 km². Compared with 2013, the area of green space increased by 22.96 km² in 2017, and the proportion of green space increased by 2 percent points. The fragmentation degree of green space landscape in the study area is generally on the rise. The green space area in the new urban area is smaller, the number of patches is the largest, the density of patches is the largest, the degree of fragmentation is the highest, and the ecological function is weak. The complexity of patch shape and landscape structure of green space shows an increasing trend. Urban green space landscape is obviously disturbed by human activities. Because of the strong connectivity and small fragmentation of landscape in some areas of Shuimogou District, urban green space aggregation is the largest. In this study, the green space optimization suggestions were put forward to provide reference for urban green space landscape optimization and ecological environment improvement in the study area. At the same time, it also provided some theoretical basis and decision support for the goal of establishing “National Ecological Garden City” in Urumqi.

Key words GIS; Urban green space; Landscape pattern; Landscape fragmentation; Urumqi City

城市绿地是城市规划区范围内,以植被形态存在的最易被城市居民感知的自然元素,也是衡量城市居民生活环境质量的重要标准之一,其布局的合理与否也直接影响着城市生态效益、社会效益、经济效益以及城市的可持续发展^[1-3]。我国城市绿地系统的研究起步于 20 世纪 50 年代,以借鉴前苏联的理论及经验为基础,城镇化发展虽快,城市绿化发展却较为缓慢。1992 年国务院颁布《城市绿化条例》,同年,国家建设部发起《国家生态园林城市》创建活动。2002 年建设部颁布《城市绿地分类标准》。3S 技术在此期间开始广泛应用于城市绿地研究中。2010 年建设部颁布了《城市园林绿化评价标准》。2017 年国务院对《城市绿化条例》进行修订。我国城市绿地系统建设从借鉴前苏联经验的摸索阶段逐步迈

向正规化标准化的快速发展阶段^[4-5]。

城市绿地景观格局方面的研究,从早期的基于绿地普查数据报告的研究到如今较为常见的运用 3S 技术,诸如进行 NDVI 波段合成、目视解译等多种遥感地理信息技术的普及,以及针对景观格局研究中普遍运用的,如 Patch Analyst、Fragstats 等景观分析软件的运用,使得城市绿地景观格局方面的研究在不断革新的同时也在不断发展新的方法及技术^[6-10]。对于城市景观格局的研究,如哈孜亚·包浪提将^[11]对城市景观格局动态变化以及驱动力进行研究;冯珊珊等^[12]对粤港澳大湾区的不透水面进行景观生态学分析研究。对于城市绿地景观的研究,如刘亚文等^[13]运用 3S 技术对吐鲁番高昌区近 27 年的绿洲空间变化特征及驱动力进行研究;高鹏^[14]基于 ArcGIS 遥感影像解译建立城市绿地信息系统,对城市生态可持续发展提出建议;周亚东等^[15]基于 GIS 和 Fragstats 技术对森林景观格局破碎化程度及城市建设扩张模式进行研究分析;刘凌霄^[16]基于景观格局指数对城镇景观

作者简介 其格乐很(1995—),女,内蒙古鄂尔多斯人,硕士研究生,研究方向:区域污染控制与环境影响评价。*通信作者,副教授,从事区域污染控制与环境影响评价研究。

收稿日期 2019-02-13

格局规划以及优化提出建议及理论依据。

新疆是“丝绸之路经济带”核心区,乌鲁木齐市是新疆的首府城市,是“核心区”的核心,承担着“一带一路”倡议落实的巨大责任。随着经济迅猛发展,城市化进程不断加快,乌鲁木齐市景观结构及绿地系统空间格局发生了巨大的变化。该研究运用地理信息技术以及景观生态学原理,研究乌鲁木齐市中心城区(天山区、沙依巴克区、水磨沟区、高新区)近 10 年绿地景观格局变化及趋势,为乌鲁木齐市绿地系统布局优化,生态文明建设提供科学的参考依据。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

乌鲁木齐地处中国西北部的天山中段北麓、准噶尔盆地南缘。乌鲁木齐市是世界上距离海洋最远的大型内陆绿洲城市,地形三面环山,东南高西北低,城市呈现出东西较窄、南北狭长的分布。全市面积为 14 216.3 km²,辖 7 区 1 县,常住人口数量为 2 444.67 万。该研究选取乌鲁木齐市中心城区(天山区、沙依巴克区、水磨沟区、高新区)作为研究区。

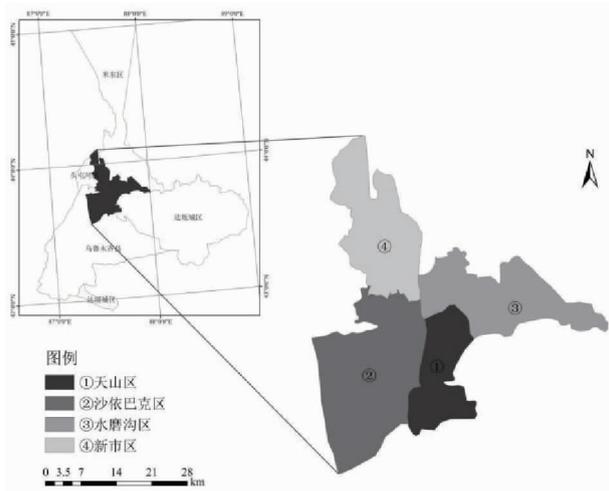


图 1 研究区概况

Fig. 1 Research area map

1.2 数据来源与预处理

选用 2008 年 Landsat 5 和 2013 年、2017 年 Landsat 8 遥感影像数据,均从美国 USGS 网站和地理空间数据云网站获取,影像精度为 30 m,研究区无云,图像质量较好。为避免季节变化引起的差异,影像均选自植被覆盖良好的 7 月及 8 月。

表 1 遥感影像数据

Table 1 Remote sensing imageries

序号 No.	影像来源 Image source	行列号 Row number	日期 Date	空间分辨率 Spatial resolution//m
1	TM	142/30	2008-08-07	30
2	OLI_TIRS	142/30	2013-07-04	30
3	OLI_TIRS	142/30	2017-08-16	30

1.3 研究方法

1.3.1 数据处理。

在 ArcGIS 10.2 中采用世界 1984_UTM_49N 坐标系,对 3 期的影像进行几何校正、辐射定标、大气校

正、图像融合等预处理。OLI_TIRS 影像经过与全彩色波段进行图像融合,合成 15 m 分辨率的影像数据,利用 Envi 5.3 监督分类法及目视解译法,依据我国土地利用现状分类系统,分别提取绿地、建设用地、农田、水域、裸地 5 个景观生态类型进行研究分析。在 ENVI classic 中通过 confusion matrix 工具对 3 期影像的分类结果进行精度验证,Kappa 系数均为 0.9 以上。

表 2 景观生态类型分类

Table 2 Classification of landscape ecological types

序号 No.	生态类型 Ecological type	生态类型描述 Ecological type description
1	绿地	公园绿地、生产绿地、附属绿地、防护绿地、附属绿地等
2	建设用地	住宅及公共设施用地,能源、交通、水利、通信等基础设施用地等
3	农田	农业生产用地
4	水域	河流、湖泊、水库、沟渠等
5	裸地	盐碱地、沙地等未被人为利用的土地

1.3.2 数据处理方法。

(1)城市景观生态类型转换矩阵。城市景观生态类型转换矩阵可较为全面的反映研究区域内,各城市景观之间的转换方向及转换数量,能较好的表现城市景观格局的时空演化过程。数学模型如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}$$

利用 ArcMap 10.2.2 中空间叠加运算的方法对监督分类好的 3 期遥感影像进行叠加运算,求出 3 个时间点期间的城市生态类型转移矩阵。

表 3 景观指数公式及生态含义

Table 3 Formula of landscape index and its ecological implications

景观指数 Landscape index	公式 Formula	生态意义 Ecological significance
NP	$NP = N_i$	表示斑块总的数量,描述景观异质性的同时,其值大小与景观破碎度呈正相关性
CA	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij}$	表示该类型景观的总面积
PLAND	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A}$	该斑块类型在整个景观面积的占比
PD	$PD = \frac{N_i}{A}$	反映景观异质性及破碎度,值越大破碎度越高
MPS	$MPS = \frac{CA}{NP}$	反映景观破碎度,其值越小破碎度越高
LSI	$LSI = \frac{E}{\min E}$	反映斑块边界形状特征,其值越大,形状越复杂,受人类活动干扰程度越高
AI	$AI = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right) / p_i \right]$	反映斑块团聚程度,其值为 0 时,斑块破碎度达到最大,一定程度上反映复杂度的同时可揭示受人类对景观的干扰程度

(2) 绿地景观指数提取及计算方法。景观格局指数能够量化的表征景观空间结构特征的同时,也是衡量景观随时间变化的重要指标。绿地景观格局变化的定量分析可以从景观指数变化上来反映。将 ArcMap 10.2.2 中进行图像处理后的景观生态类型矢量数据转化为栅格数据,利用景观格局分析软件 Fragstats 4.2 计算景观格局指数。该研究遵循因地制宜的原则,结合各景观指标的代表作用,选取了斑块个数(NP)、斑块类型面积(CA)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(MPS)、斑块形状指数(LSI)、斑块类型占景观面积比例(PLAND)、斑块聚集度(AI)等7个景观指标。

2 结果与分析

2.1 景观构成及其变化特征

通过解译遥感影像,对2008—2017年乌鲁木齐市中心城区景观生态类型分布情况进行提取,并对其动态变化进行分析。

2.1.1 生态类型面积及比例变化

对影像进行解译、分类及分类后处理,获得各景观生态类型面积及比例变化如图2和表4。近10年,乌鲁木齐市4个城区生态类型有较大变化,主要表现为建设用地向四周不断扩张,城市绿地逐渐增加,农田景观急剧减少,裸地面积呈现先增加后减少的趋势。

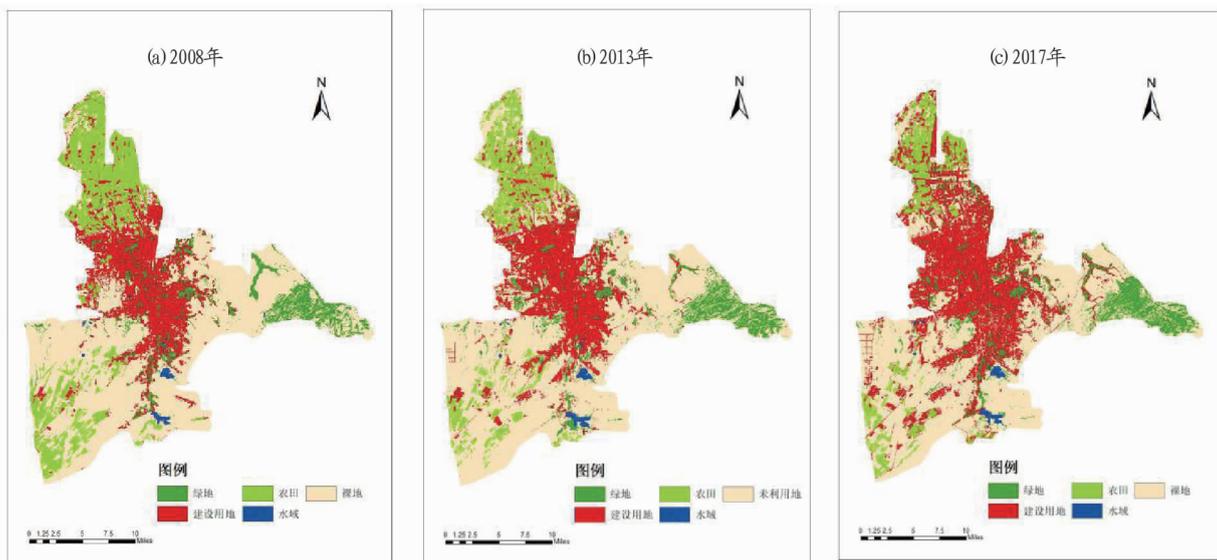


图2 2008、2013、2017年研究区景观生态类型分布

Fig. 2 Distribution of landscape ecological types in the study area in 2008, 2013 and 2017

结合图2及表4可以看出,研究区建设用地在2013—2017年骤增,从2013年的243.74 km²增加至2017年的342.70 km²,比例由21.0%增加至29.6%,这可能与过去5年乌鲁木齐市城市化进程加快,社会经济快速发展具有紧密联系;城市绿地从2008年的90.38 km²增加至2017年的113.34 km²,2017年绿地面积相较2013年增加了22.96 km²,面积所占比例增加了2个百分点。乌鲁木齐市4个城区绿地面积从原先的快速增加已经逐渐趋于稳定增长;裸地面积呈现先增加后减少的波动,需要说明的是,农田景观有绿色农

作物时,在影像上解译为绿地,如没有绿色农作物则被解译为裸地,介于农作物收割等存在人为干扰存在,其次2013年的影像月份与其他两期不同,可能存在一定差异。2008—2017年,研究区农田面积呈下跌式的减少,农田逐渐转化为建设用地及裸地,城市快速扩张导致城中村的快速减少,农村转化为城市,导致了农田面积呈下跌式减少的这一现象。最后,随着城市公共设施的完善及游憩场地的不断改善,乌鲁木齐市4个城区水域面积呈现缓慢增长的趋势,从2008年的6.39 km²增长至7.64 km²。

表4 2008—2017年研究区生态类型面积及比例变化

Table 4 Tabulation of landscape ecological types and proportion within the study area in 2008—2017

生态类型 Ecological type	2008年		2013年		2017年	
	面积 Area km ²	所占比例 Proportion//%	面积 Area km ²	所占比例 Proportion//%	面积 Area km ²	所占比例 Proportion//%
绿地 Green space	90.38	7.8	94.26	8.1	113.34	9.8
建设用地 Construction land	223.06	19.3	243.74	21.0	342.70	29.6
农田 Farmland	213.54	18.5	141.32	12.2	90.18	7.8
水域 Waters	6.39	0.6	7.88	0.7	7.64	0.7
裸地 Bare land	624.01	53.9	670.91	57.9	604.03	52.2

2.1.2 景观生态类型转换矩阵

由表5可知,2008—2017年城市绿地的转入量主要来自裸地,其次是农田以及建设用

地,转入面积分别为40.05、12.64、10.66 km²。2008年起乌鲁木齐市为创建国家生态园林城市,逐步扩大建城区绿化面

积,使得城市绿地在整个城市规划建设中变得尤为重要。裸地逐渐种植植被转换为城市绿地、部分农田由种植农作物改为种植树苗、花圃等,使得农田转出为绿地的面积增加;部分工厂用地进行厂区绿化改造,因而建设用地转出为城市绿地的面积增加。整个转换矩阵中,转换最为剧烈的是裸地转出为建设用地。说明乌鲁木齐市作为丝绸之路经济带核心城市,社会经济稳步增长的同时,城市化进程迅猛提高。分析图 2 可以看出,裸地主要分布于建成区外的城市边缘地区。沙依巴克区原红光山景区部分地面硬化及增加旅游景区后,

绿地面积急剧减少,转出为建设用地,雅玛里克山旅游风景区绿地景观面积有明显增加。高新区建成区绿地面积增长较为明显,农田景观面积减少也较为明显。首先,经过实地勘察可知,部分农田景观转换为裸地可能与人工收割时间不同以及其他人为干扰因素导致影像识别不到绿色农作物,因而将农田解译为裸地。其次,城市化进程加速,经过对周边城中村的开发建设,使得城中村部分农田转换为建设用地,因而高新区建设用地转入面积增加。

表 5 研究区景观生态类型转移矩阵

Table 5 Transfer matrix of landscape ecological types in the study area

km²

生态类型 Ecological type	2017 年				
	绿地 Green space	建设用地 Construction land	农田 Farmland	水域 Waters	裸地 Bare land
2008 年					
绿地	50.07	22.17	0.80	0.01	17.17
建设用地	10.66	174.19	1.22	0.10	36.68
农田	12.64	50.13	77.36	0.00	73.17
水域	0.13	0.50	0.00	5.66	0.09
裸地	40.05	95.28	10.64	1.88	475.68

2.2 绿地景观格局分析 参照景观生态学原理,在绿地景观斑块特征、绿地景观斑块破碎度、绿地景观聚集度等 3 个方面定量分析乌鲁木齐市 4 个城区绿地景观格局。

2.2.1 绿地景观斑块特征分析。由表 6 可知,2008—2017 年乌鲁木齐市天山区、沙依巴克区、水磨沟区绿地景观斑块总面积(CA)、景观面积比(PLAND)、斑块个数(NP)均逐步增加,其中水磨沟区是 4 个区中绿地总面积增加、景观面积比以及斑块个数变化均为最大的城区。水磨沟区绿地面积

增加了 893.7 hm²;景观面积比增加了 3.234%;斑块数增加了 547 个。高新区绿地斑块总面积、景观面积比以及斑块数均呈现先减少后增加的趋势,主要原因是高新区在研究区 4 个城区中农田景观面积占比最高,为城市绿化提供的苗木、花圃、草圃等生产绿地被归类于农田景观,同时由于农田景观耕种的农作物种类受人为干扰,生态类型分类时也存在一定误差。

表 6 研究区绿地斑块类型的景观格局指数

Table 6 Landscape pattern index of green space in the study area

区域 Area	年份 Year	CA hm ²	PLAND %	NP 个	PD 个/hm ²	LSI	MPS hm ²	AI %
天山区 Tianshan District	2008	1 191.420 0	6.857 3	205	1.179 3	20.793 1	5.899 6	82.765 4
	2013	1 197.382 5	6.890 4	374	2.152 2	26.978 4	3.201 6	88.274 4
	2017	1 345.837 5	7.747 1	497	2.860 9	29.289 8	2.707 9	88.364 9
沙依巴克区 Saybagh District	2008	961.020 0	2.232 2	384	0.891 9	25.391 3	2.502 7	76.126 5
	2013	1 339.245 0	3.107 5	539	1.250 7	32.022 5	2.484 7	84.230 5
	2017	1 478.115 0	3.430 1	680	1.578 0	39.360 6	2.173 7	84.963 5
水磨沟区 Shuimogou District	2008	5 885.910 0	21.276 4	335	1.211 0	28.656 3	17.569 9	89.131 6
	2013	6 159.397 5	22.262 3	810	2.927 6	43.567 9	7.684 2	91.805 7
	2017	6 779.610 0	24.510 0	882	3.188 7	43.756 5	7.606 6	92.232 0
高新区 Gaixin District	2008	983.610 0	3.558 2	637	2.304 3	27.990 5	1.544 1	73.817 4
	2013	730.057 5	2.638 2	609	2.200 8	32.108 0	1.198 8	81.598 1
	2017	1 731.375 0	6.257 4	2 075	7.499 3	50.960 4	0.834 4	81.917 9

2.2.2 绿地景观斑块破碎化分析。结合乌鲁木齐 4 个城区绿地景观斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(MPS)可分析其绿地景观破碎化程度。斑块个数越多且斑块密度越大,绿地破碎化程度越高。斑块密度小则表明斑块较为集中,破碎度小。当斑块密度小且斑块平均面积大时,绿地景观呈现较为集中的团状式。反之,斑块密度越大斑块平均面积越小,绿地景观破碎程度越高。2008—2017 年研究

区绿地景观总体呈破碎度逐渐增加的趋势。

结合图 3 及表 6 可知,天山区、沙依巴克区、水磨沟区斑块个数以及斑块密度逐年增加,绿地景观连通性降低,绿地趋于破碎化。乌鲁木齐市 4 个城区斑块平均面积逐年减少,其中现阶段的高新区平均斑块面积最小,斑块密度最大,因而在 4 个城区中斑块破碎度最高。综合考虑得出,乌鲁木齐市 4 个城区绿地景观破碎度现状从大到小依次为高新区、水

磨沟区、沙依巴克区、天山区。其中高新区斑块个数为2 075个,是4个城区绿地景观斑块个数最多的。该区绿地面积仅次于天山区绿地面积,在4个城区中位于第三,而其绿地过于零碎化导致大型斑块较少,中小型斑块居多,区内主要以

居住区绿地、道路绿地、工业用地等附属绿地以及街旁绿地、小区游园等中小型绿地居多。水磨沟区因其行政区划范围内含连片的山脉绿地,固其斑块面积基数较大,最大斑块面积最大,从而导致平均斑块面积最大。

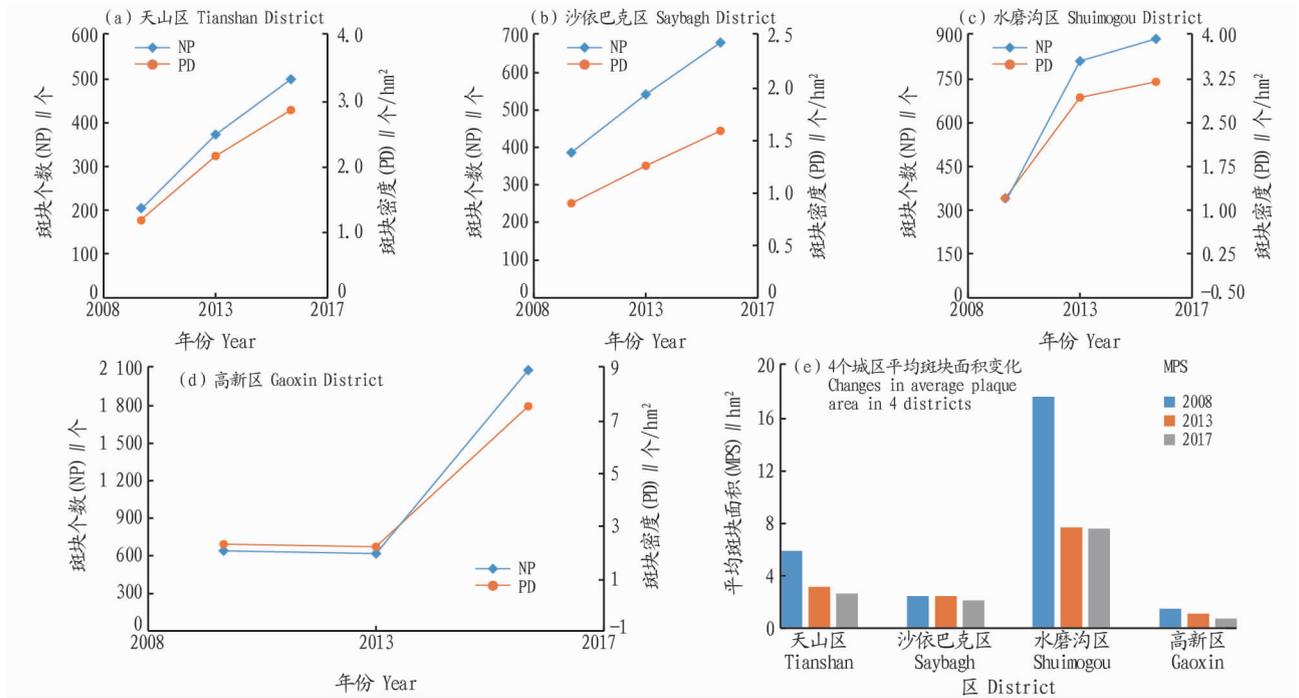


图3 研究区破碎度相关景观指数变化

Fig. 3 Change of landscape index related to fragmentation in the study area

2.2.3 绿地景观斑块聚集度。斑块形状指数 (LSI) 反映斑块形状特征的不规则度以及复杂程度,而斑块聚集度 (AI) 表现斑块的团聚程度,揭示景观空间结构的复杂性,一定程度

上与斑块破碎度呈负相关。景观形状指数及聚集度都具有在一定程度上反映人类活动对景观斑块的干扰程度。

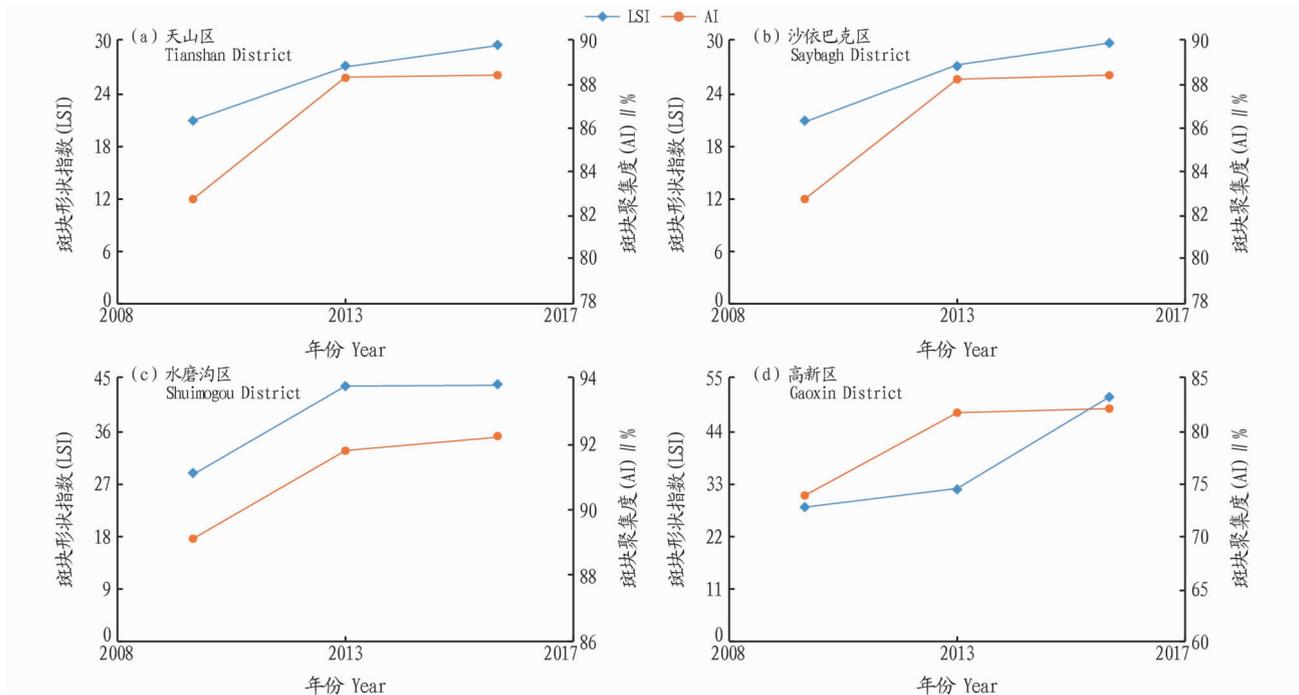


图4 研究区聚集度相关景观指数变化

Fig. 4 Change of landscape index related to aggregation degree in the study area

乌鲁木齐市 4 个城区绿地斑块形状指数呈现逐年增加的趋势,斑块形状指数在表明斑块形状复杂程度的同时,随着城市化及社会经济的增长,反映出乌鲁木齐市 4 个城区绿地景观受人类活动干扰程度也逐年增加。研究区绿地景观斑块聚集度逐渐增加。其中水磨沟区斑块聚集度较高,主要原因是水磨沟区公园绿地、风景区等大型绿地斑块较多,同时,2008—2017 年水磨沟区行政区划范围内东北部连片式的山脉绿地景观状态较为稳定,变化不大。天山区、沙依巴克区、水磨沟区绿地斑块聚集度均呈现 2008—2013 年增长较快的现象,变相地表明 2008—2013 年这 3 个城区破碎度相较于 2013—2017 年增长更快。

3 结论与建议

3.1 结论

(1) 社会经济及城市化进程加速增长是影响城市景观格局变化的主要因素。据 2008—2017 年乌鲁木齐统计年鉴可知,乌鲁木齐市 GDP(生产总值)从 2008 年的 1 020 亿元到 2017 年的 2 700 亿元,生产总值实现成倍式的增长,乌鲁木齐市中心城区(天山区、沙依巴克区、水磨沟区、高新区)建成区也呈现增长趋势,2008—2017 年,天山区建成区面积从 32.79 km² 增至 65.46 km²;沙依巴克区建成区面积从 29 km² 增至 53.3 km²;水磨沟区建成区面积从 32.79 km² 增至 63 km²;新市区建成区面积为 42 km²。10 年来,社会经济快速发展和城市化进程的加快,直接引起了城市各类景观生态格局的剧烈转变。

(2) 城市建设用地面积在 10 年间增加了 119.64 km²,而景观生态类型占比面积由 2008 年的 19.3% 转变为 2017 年的 29.6%,这表明,社会经济快速发展,使得城市不断向外扩张,城市化进程加快的势头愈加剧烈。

(3) 2008—2017 年绿地景观生态类型占比仅从原先的 7.8% 增加至 9.8%,但绿地景观面积有所增加,2017 年绿地景观面积为 113.34 km²,在 10 年间增加了 22.96 km²。城市绿地景观面积占比较小,绿地大部分集中在建成区,而城郊区绿地覆盖率较少,使得对其生态功能评价不能仅从行政区划范围内面积占比作为参考,需要充分考虑建成区及城郊区绿地配比实际情况来进行评价。

(4) 通过对景观生态类型转移矩阵的分析,10 年间城市绿地景观增加主要来自裸地及农田,其次是建设用地,而水域景观基本没有转变成绿地景观。裸地较多地转出为城市绿地是城市建设发展中较好的现象,说明在城市中绿化荒山荒地等举措被实施,城市环境得到改善,城市景观的观赏性价值逐渐提升。

(5) 城市绿地景观整体呈现破碎化程度增加的趋势,其中高新区绿地景观面积不大,却是斑块个数最多斑块密度最大的区域,也是 4 个城区中破碎度最大的区域,主要与 4 个城区发展阶段有关,如天山区、沙依巴克区以及水磨沟区均为老城区,城中居住建筑群及商业建筑群等已形成规模化发展,较难对其进行碎片式的绿化,而高新区作为新的市区,部分区域还在建设阶段,对其绿地系统规划也较晚,碎片式

的绿地建设满足了居民对绿色景观的需求。水磨沟区是城市绿地景观面积及斑块类型占景观面积比最大的城区,主要与其郊区山脉绿地常年不变且面积基数较大有关。高新区城市绿地景观面积先减少后增加与其农田耕作的农作物类别有一定关系。

(6) 绿地景观斑块形状复杂性及景观空间结构复杂性总体上均呈现增加的趋势,也表明城市绿地景观越发的易受人类活动的干扰,其中因水磨沟区郊区山脉附近绿地景观连通性较强、破碎化程度相对较小,城市绿地聚集度最大。

3.2 建议

(1) 乌鲁木齐市总体呈现建成区绿地覆盖率较高,城市郊区绿地覆盖率较低,绿地空间布局不均衡,生态功能较弱的现象,应合理规划和布局城市绿地景观格局,消除因分布不均衡导致的城市绿化盲区。适当增加城市郊区绿化面积,优化城市绿地景观格局,使城市绿地更好地服务于大众,发挥大的社会经济效益。

(2) 在绿地建设与规划中应注重道路绿地建设,诸如环城高速以及河滩高速路等市内高速路均分担着较大的车流量,增加其路旁绿化有助于降低整个市区的扬尘量以及噪声量。在不断增加街旁绿地及道路绿地的同时,应加强建成区内荒山荒地的绿化,将建成区内裸地转化为城市绿地。结合路旁绿化及荒山绿化等措施,增加整个城市绿地的连通性,使其生态功能更加完善。

(3) 适当的扩建或增建公园绿地,对原有的大型公共绿地加强保护,规划将部分中小型绿地扩建为大型绿地,发挥大型绿地的规模效应,降低其受人类活动干扰的程度同时,使城市“热岛效应”得到缓解。

(4) 优化城市绿地空间布局的同时,重视绿地植被多样性,并且更加科学化的选择植被,合理搭配不同植被色彩及植被形态,充分结合城市居民精神需要,努力创建一个布局合理、色彩分明、景色优美的生态园林城市。

参考文献

- [1] 陈利顶,孙然好,刘海莲. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1042-1050.
- [2] 李素英,王计平,任慧君. 城市绿地系统结构与功能研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(3): 377-384.
- [3] 玉苏普江·艾麦提. 快速城市化进程中乌鲁木齐市景观格局时空分异特征的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学, 2015.
- [4] 李超,王昊,赵远超,等. 城市景观格局演变的生态环境研究进展[J]. 农业与技术, 2015, 35(17): 71-73.
- [5] 方金萌. 基于 GIS 和 Fragstats 的兰考县绿地景观格局分析与优化研究[D]. 郑州:郑州大学, 2018: 88.
- [6] 何小玲,彭培好,王玉宽,等. 成都市主城区绿地景观格局动态变化研究[J]. 西部林业科学, 2014, 43(5): 30-35.
- [7] 刘铁冬,张佳佳,李羽佳. 基于 GIS 技术的城市绿地景观格局动态变化:以哈尔滨市主城区为例[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(8): 65-68, 74.
- [8] 雷一鸣,陈曦,杨辽,等. 基于 Worldview-2 的乌鲁木齐城区绿地空间格局分析[J]. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1233-1239.
- [9] 沈涛,丁建丽,张玉进,等. 基于遥感的乌鲁木齐市绿地资源信息提取技术研究[J]. 福建林业科技, 2004, 31(2): 31-35.
- [10] 咎少平,朱颖,魏月霞. 乌鲁木齐市已建园林绿地系统现状及其特点分析[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 177-182.
- [11] 哈孜亚·包浪提将,毋兆鹏,陈学刚,等. 乌鲁木齐市景观格局变化及驱动力分析[J]. 生态科学, 2018, 37(1): 62-70.

殖过程中的自然死亡。3种方法标志后乌贼仍保持较高的生长速度,50 d即可达到成体规格,且达到性成熟,各试验组与对照组除少数指标外,在各主要生长性状参数上也无显著差异($P \geq 0.05$);较高的成活率和生长速度在标志后的真蛸(*Octopus vulgaris*)^[18]、银磷乌贼(*Sepioteuthis sepioidea*)^[19]等头足类中也多有发现,其原因可能一方面是由于该研究均以乌贼内壳作为标志靶点,乌贼内壳是由钙及其他有机质构成的乌贼内骨骼系统,将标志物着色或标记到钙质的内壳上可能对乌贼的影响较小;另一方面,也可能与该研究中所采用的标志物损伤力较低有关。茜素络合物、动物体内色素标签为2种无毒的液体染色剂,而玻璃管动物标签为规格较小(1.5 mm×7 mm)的电子标志,这些标志物进入乌贼体内后对乌贼活动、摄食、生长等也均不会产生显著影响。该研究结果表明,3种标志方法均适用于曼氏无针乌贼幼体的标志,在今后乌贼的大规模标志放流中具有较大的潜在应用价值。

然而,相对于2种化学标志法,玻璃管动物标签可能更适于曼氏无针乌贼幼体的标志,这是因为玻璃管动物标签标志后,标签从幼体到成体阶段均清晰可见,且可通过配套的扫描阅读器准确读取玻璃管动物标签编码信息,可实现标记个体的自动化、准确识别;茜素络合物和动物体内色素标签在幼体阶段较为明显,但在成体阶段色素斑块会被增厚的肌肉或皮肤掩盖,因此在实际回捕过程中可能会因标志变淡而发生漏检或错检等情况,因而玻璃管动物标签等电子标志可能具有更大的潜在应用价值。但考虑到玻璃管动物标签可能在价格方面要明显高于茜素络合物和动物体内色素标签,因此在实际标志放流过程中价格因素可能是限制其大规模使用的主要因素,特别是针对部分回捕率相对较低的头足类种类而言,因此如何将玻璃管动物标签等电子标志法和茜素络合物和动物体内色素标签等化学标志法有机结合是今后研究的重点内容。近年来,将多种标志方法结合使用,共同评估增殖放流的整体效果已在澳大利亚拟乌贼(*Sepioteuthis australis*)等^[20]头足类中得到了良好应用,因此可能在今后曼氏无针乌贼大规模标志放流中也具有广阔的潜在应用价值。

4 结论

茜素络合物、动物体内色素标签和玻璃管动物标签均可有效运用于曼氏无针乌贼幼体的标志中。标志后,茜素络合物、动物体内色素标签会在乌贼背部标记处留下明显的椭圆形紫色或蓝色斑块,而玻璃管动物标签会在标记处形成突出的隆起,肉眼清晰可辨,标志后3种标志均可从幼体阶段一直保持至成体阶段,50 d内的标志保存率均接近100%。3种标志对乌贼的活动、生长和存活均无显著影响($P \geq 0.05$)。相对于茜素络合物、动物体内色素标签等化学标志,玻璃管

动物标签等电子标志具有更好的标志效果,在今后曼氏无针乌贼大规模标志放流中具有较大的潜在应用价值。

参考文献

- [1] 董正之. 中国动物志:软体动物门头足纲[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [2] WU C W, CHI C F, HE G Y, et al. Isolation via enrichment and characterization of ten polymorphic Microsatellite loci in the cuttlefish, *Sepiella maindroni* de Rochebruns[J]. Acta Oceanol Sin, 2010, 29(6): 121-124.
- [3] 梁君, 王伟定, 徐汉祥, 等. 曼氏无针乌贼荧光染色标志方法研究[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 864-870.
- [4] 李继姬, 郭宝英, 吴常文. 浙江海域曼氏无针乌贼资源演变及修复路径探讨[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011, 30(5): 381-385, 396.
- [5] JIANG L H, ZHU A Y, WU C W, et al. Tetracycline Immersion tagging of cuttlefish, *Sepiella japonica*, larvae[J]. J World Aquacult Soc, 2014, 45(3): 342-349.
- [6] 郝振林, 张秀梅, 张沛东, 等. 金乌贼荧光标志方法的研究[J]. 水产学报, 2008, 32(4): 577-583.
- [7] SAUER W H H, LIPINSKI M R, AUGUSTYN C J. Tag recapture studies of the chokka squid *Loligo vulgaris* reynaudii d'Orbigny, 1845 on inshore spawning grounds on the south-east coast of South Africa[J]. Fish Res, 2000, 45: 283-289.
- [8] MARKAIDA U, ROSENTHAL J J C, GILLY W. Tagging studies on the Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico[J]. Fish Bull, 2005, 103(1): 219-226.
- [9] FUENTES L, IGLESIAS J, MOXICA C. Marking octopus (*Octopus vulgaris*) paralarvae statoliths with alizarin complexone[J]. J Mar Biol Assoc UK, 2000, 80(3): 553-554.
- [10] AITKEN J P, O' DOR R K, JACKSON G D. The secret life of the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* (Cephalopoda): Behaviour and energetics in nature revealed through radio acoustic positioning and telemetry (RAPT)[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2005, 320(1): 77-91.
- [11] ANDERSON T J, BABCOCK R C. Subcutaneous electromagnetic tagging of benthic octopus: A preliminary evaluation[J]. Mar Freshwater Res, 1999, 50(3): 225-227.
- [12] NAGAWASA K, TAKAYANAGI S, TAKAMI T. Cephalopod tagging and marking in Japan, a review [M]//OKUTANI T, O' DOR R K, KUBODERA T. Recent advances in cephalopod fisheries biology. Tokai: Tokai University Press, 1993.
- [13] SEMMENS J M, PECL G T, GILLANDERS B M, et al. Approaches to resolving cephalopod movement and migration patterns[J]. Rev Fish Biol Fisheries, 2007, 17: 401-423.
- [14] GILLY W F, MARKAIDA U, BAXTER C H, et al. Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2006, 324: 1-17.
- [15] WEARMOUTH V J, DURKIN O C, BLOOR I S M, et al. A method for long-term electronic tagging and tracking of juvenile and adult European common cuttlefish *Sepia officinalis*[J]. J Exp Mar Bio Ecol, 2013, 447: 149-155.
- [16] 平洪领, 王天明, 刘立芹, 等. 光照周期对曼氏无针乌贼(*Sepiella japonica*)繁殖、性类固醇激素系统及生长性能的调控作用[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(3): 577-584.
- [17] 郑小东, 林祥志, 王昭凯, 等. 日本无针乌贼全人工养殖条件下生活史研究[J]. 海洋湖沼通报, 2010(3): 24-28.
- [18] ESTEFANELL J, SOCORRO J, AFONSO J M, et al. Evaluation of two anaesthetic agents and the passive integrated transponder tagging system in *Octopus vulgaris* (Cuvier 1797)[J]. Aquac Res, 2011, 42(3): 399-406.
- [19] ZEEH K M, WOOD J B. Impact of visible implant elastomer tags on the growth rate of captive Caribbean reef squid *Sepioteuthis sepioidea*[J]. Fish Res, 2009, 95(2/3): 362-364.
- [20] PECL G T, TRACEY S R, SEMMENS J M, et al. Use of acoustic telemetry for spatial management of southern calamary *Sepioteuthis australis*, a highly mobile inshore squid species[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2006, 328: 1-15.
- [14] 高鹏, 徐志刚, 黄金华, 等. 基于 ArcGIS 的龙岩市城市绿地信息系统的建立[J]. 江西理工大学学报, 2015, 36(1): 74-80.
- [15] 周亚东, 周兆德. 基于 GIS 与 Fragstats 的海南岛森林景观格局研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(5): 78-83.
- [16] 刘凌霄. 基于 GIS 和 Fragstats 的城市郊区大地景观生态规划研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017: 146.

(上接第 77 页)

- [12] 冯珊珊, 樊风雷. 基于不透水面的粤港澳大湾区景观格局时空变化[J]. 应用生态学报, 2018, 29(9): 2907-2914.
- [13] 刘亚文, 阿不都沙拉木·加拉力丁, 阿拉努尔·艾尼瓦尔, 等. 1989-2016年吐鲁番高昌区绿洲时空格局变化及其驱动因素[J]. 干旱区研究, 2018, 35(4): 945-953.