

# 太原市近 15 年城市景观格局时空变化及其驱动力

马晓勇, 党晋华, 李晓婷, 赵娜

(山西省环境科学研究院, 山西 太原 030027)

**摘要:** [目的] 探讨不同尺度下太原市城市景观格局的时空变化特征, 以期解释城市化进程中景观格局演变的时空规律、评估社会经济发展对其的影响提供重要的科学依据。[方法] 基于 2000—2015 年 3 期时间序列的 Landsat TM 遥感影像获得一级景观类型的太原市土地利用覆盖空间数据, 利用 Fragstats 3.4 软件计算景观格局特征指数, 研究太原市全市域和主城区的城市景观格局时空变化特征, 并利用 SPSS 软件系统剖析了影响太原市景观格局的驱动作用。[结果] ① 15 年间, 林地、耕地和草地始终是全市域的主要景观类型, 分别占总面积的比例由 33.60%, 31.80% 和 27.47% 变化为 35.18%, 27.97% 和 25.49%。城乡、工矿、居民用地的面积明显增加, 占总面积的比例由 5.86% 增长为 10.27%, 其中耕地和草地是城市化用地扩张的主要来源; 主城区土地利用的强度呈逐年增加的趋势, 城乡、工矿、居民用地占总面积的比例由 21.65% 增长为 33.82%, 成为主城区的主要景观类型, 而城乡、工矿、居民用地占用耕地的数量比全市域更加明显。② 在全市域尺度上, 景观格局指数变化表现为耕地、林地的斑块破碎化程度高, 景观蔓延度下降, 景观多样性增加; 而主城区尺度上城乡、工矿、居民用地斑块破碎化程度显著升高, 景观蔓延度呈先下降后上升的趋势, 但景观多样性却呈先上升后下降的趋势。[结论] 太原市全市域和主城区尺度上的城市景观格局特征存在一定的差异性, 社会经济的发展、政策因素以及城市规划与发展理论的阶段性调控作用是影响其演变的主要驱动力。

**关键词:** 城市景观格局; 景观格局指数; 全市域; 主城区; 驱动力

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)04-0308-09

**中图分类号:** P901

**文献参数:** 马晓勇, 党晋华, 李晓婷, 等. 太原市近 15 年城市景观格局时空变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 308-316. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.049. Ma Xiaoyong, Dang Jinhua, Li Xiaoting, et al. Spatial-temporal changes and driving forces of urban landscape pattern in Taiyuan City in last 15 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 308-316.

## Spatial-temporal Changes and Driving Forces of Urban Landscape Pattern in Taiyuan City in Last 15 Years

MA Xiaoyong, DANG Jinhua, LI Xiaoting, ZHAO Na

(Shanxi Research Academy of Environmental Sciences, Taiyuan, Shanxi 030027, China)

**Abstract:** [Objective] To discuss the spatial-temporal variations of urban landscape pattern in Taiyuan City in different scales, and expected to provide an important scientific basis for explaining the spatial-temporal pattern of landscape pattern evolution in the process of urbanization and evaluating the impact of social-economic development. [Methods] The research was based on 3 time series of Landsat TM remote sensing images from 2000 to 2015. We used the spatial distribution of land use in level 1 of landscape types, and used Fragstats 3.4 software to calculate the landscape pattern characteristic index in Taiyuan City, studied the temporal and spatial variation of the urban landscape pattern in the whole city and the main urban area of Taiyuan City. And then we analyzed the driving effect of landscape pattern in Taiyuan City used SPSS software system. [Results] ① In the past 15 years, woodland, cultivated land and grassland have always been the main landscape types in the whole city. The proportion has changed from 33.60%, 31.80% and

收稿日期: 2018-02-13

修回日期: 2018-04-03

资助项目: 山西省科技攻关项目“汾河上中游流域生态系统健康状况研究”(20150313001-2)

第一作者: 马晓勇(1976—), 男(汉族), 山西省文水县人, 博士, 高级工程师, 主要从事生态环境保护与生态遥感方面的研究。E-mail: hkysh-tygs@sohu.com。

通讯作者: 赵娜(1991—), 女(汉族), 山西省武乡县人, 硕士, 工程师, 主要从事植被恢复技术与生态遥感方面的研究。E-mail: nku\_zhaona@126.com。

27.47% to 35.18%, 27.97% and 25.49% respectively. The area of urban-rural, industrial-mining and residents land increased significantly. The proportion increased from 5.86% to 10.27%, among which cultivated land and grassland were the main sources of the expansion of urbanization land. Land use intensity in the main urban area showed an increasing trend. The proportions of urban-rural, industrial-mining and residents land increased from 21.65% to 33.82%, became the main landscape types in the main urban areas, and the proportion of arable land decreased from 27.04% to 37.54%, the amount of cultivated land occupied by urban-rural, industrial-mining and residents land was more visible than that of the whole city. ② In the whole city scale, The patch fragmentation of cultivated land and woodland is high, the landscape contagion decreased, landscape diversity increased. In the main urban area scale, however, urban-rural, industrial-mining and residents land fragmentation degree increased, landscape contagion increased after an initial decrease, but the landscape diversity decreased after an initial increasing trend. [Conclusion] Urban landscape pattern in the whole city are different definitely with which in the main urban area of Taiyuan City. Social-economic development, policy factors, and the phasing regulation role of urban planning and development theory are main driving forces of the evolution of urban landscape pattern in Taiyuan City.

**Keywords:** urban landscape pattern; landscape pattern index; whole city; main urban area; driving forces

景观空间格局是指大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列<sup>[1]</sup>,是景观异质性的重要体现,也是各类生态变化处于不同尺度下产生的结果<sup>[2]</sup>。随着人类活动的增强、工业化和城市化进程的加快,城市景观格局特征越来越复杂<sup>[3]</sup>,呈现出“高度破碎化”的显著特征<sup>[4]</sup>,致使原本自然景观由连续的地带性分布变为不连续的混合斑块镶嵌体<sup>[5]</sup>,直接影响生态系统的结构、功能和动态<sup>[6]</sup>,甚至造成城市生物多样性减少和栖息地破坏<sup>[7-8]</sup>、环境污染<sup>[9]</sup>、热岛效应<sup>[10]</sup>等一系列的生态环境问题。这些问题的出现已经成为制约城市健康发展的重要因素,也将成为我国今后建设小康社会、实现区域可持续发展所面临的重大挑战<sup>[8]</sup>。目前我国正处于城市化进程中,人类对建设用地的需求还将持续增长,城市景观格局还将受到日益增强的干扰,系统研究城市化过程中景观格局的时空变化特征及其驱动力,不仅成为理解中国快速城市化生态环境效应的先导环节<sup>[11]</sup>,还能为城市管理部门制定可持续的土地规划策略以及生态城市的建设提供科学依据。

自《太原市城市总体规划(1998—2010年)》以来,城市建成区面积不断扩张,城乡景观格局也发生着激烈的变化。单一景观尺度下,对城市景观格局动态研究的研究有诸多文献报道,但在城市景观中,不同尺度下的格局可能完全不同,也可能自相似<sup>[4]</sup>。近年来,以太原市为例的研究成果不多,王满等<sup>[12-13]</sup>分别以太原市杏花岭区和娄烦县两期的土地利用现状为基础,定量分析了其景观格局的动态变化特征;刘艳红等<sup>[14]</sup>以太原市1986,1995,2001年3个时相的TM/ETM数据为基础,分析了城市化过程中绿地景

观格局及其与热环境的变化特征;雒峰等<sup>[15]</sup>以太原市2006,2015年TM遥感影像为数据源,分析了太原市城区绿地景观格局动态变化特征。但均未对太原市整体的景观格局特征进行分析,也未从不同尺度来比较分析太原市景观格局的动态变化特征,更未进一步分析引起太原市景观格局变化的驱动因素。近期,国务院批复的《太原市城市总体规划(2011—2020年)》对太原市未来的规划有了新定位,全市域的景观变化和主城区的景观变化可能存在很大差异。因此,本文选取太原市全市域和主城区两个不同尺度的区域为研究对象,利用GIS,SPSS及景观生态学的方法,比较和分析2000—2015年太原市不同尺度下城市景观格局特征的差异性,并进一步探讨其城市景观格局变化的驱动力,以期解释城市化进程中景观格局演变的时空规律、评估社会经济发展对其的影响提供重要的科学依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

太原市位于山西省境中央,太原盆地的北端,濒临汾河,地理坐标为111°30′—113°09′E,37°27′—38°25′N。太原市现辖6个市辖区、3个县,代管1个县级市,区域轮廓呈蝙蝠形,东西横距约144 km,南北纵约107 km,全市面积为6 904.52 km<sup>2</sup>,其中主城区面积约1 416.28 km<sup>2</sup>。区域海拔最高点为2 702 m,最低点为749 m,相对高差1 953 m,地形以山地、丘陵为主,东、西、北三面环山,中南部为汾河冲击扇平原,整个地形北高南低呈簸箕形。太原属北温带大陆性气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温9.6℃,1月份最冷,平均温度6.8℃,7月份最热,平

均温度 23.5 ℃。年均降水量 580.2 mm,主要集中在 7,8,9 月,占全年降雨量的 65%~75%。太原工业发展迅速,是一个以冶金、机械、化工、煤炭为主的重工业城市,在快速的城市化进程中,随着城市景观格局的变化产生了一系列城市生态环境问题<sup>[14]</sup>。

### 1.2 数据来源及处理

研究所使用的覆被分类系统和 DEM 数据均来源于 2000,2010,2015 年 3 个时期空间分辨率为 30 m 的 Landsat TM 影像数据和高分辨率的高分 1,2 号遥感影像在 Erdas 9.2 和 ArcGIS 10.0 中进行监督分类和目视修改,获得太原市各地类土地利用类型,进行实地验证后,对解译结果进行精度判定与修正,确保覆被数据的精确度<sup>[16]</sup>,将景观类型分为耕地、林地、草地、水域、城乡、工矿、居民用地以及未利用地等,获得不同时期景观类型分类图后,在 ArcGIS 10.0 中进行计算和分析。

太原市全市域和主城区内地区总人口、农业人口、地区生产 GDP 总值、第一、二、三产业值、城镇从业人员、固定资产投资等基础数据全部来源于 2001,2011,2016 年 3 a 的山西统计年鉴。

### 1.3 研究方法

1.3.1 景观类型构成及变化分析 采用 ArcGIS 10.0 软件分别统计太原市全市域和主城区不同类型景观的面积,计算 2000,2010,2015 年不同景观类型的面积比例。为了解不同景观类型之间的转化情况,通过对研究区 2000,2010,2015 年 3 a 的景观类型数据的叠加,计算出 2000—2015 年太原市全市域和主城区各景观类型的转移矩阵。

1.3.2 景观格局分析 采用 Fragstats 3.4 软件,从类型水平和景观水平两个层次对太原市全市域和主城区的景观格局进行分析。在类型水平上选取的指数有斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI);在景观水平上选取香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、蔓延度指数(CONTAG)、分布聚合性指数(AI),共计 8 个指标<sup>[1,12]</sup>。

1.3.3 驱动力分析 景观格局变化驱动力研究为问题导向型,还未形成固定的研究方法。城市景观动态变化的驱动因子主要包括自然和人文两方面的因素,在较小的时空尺度下,比较稳定的自然因子对景观格局变化起到约束作用,而经常变化的人为驱动因子则是景观变化的直接驱动力<sup>[17]</sup>。本研究采用定量和定性的综合方法,从社会经济因素、政策因素、城市规划与发展理念等方面来分析景观格局变化的驱动力。参照其他学者的研究<sup>[1,18]</sup>,选取该地区 2000,2010,2015 年 3 个年份 10 个区/县的总人口( $X_1$ )、农业人口( $X_2$ )、地区生产 GDP 总值( $X_3$ )、第一、第二、第三产业值( $X_4$ — $X_6$ )、城镇从业人员( $X_7$ )、固定资产投资( $X_8$ )等 8 个指标,在 SPSS 21.0 软件中,利用主成分分析法筛选引起景观格局变化的因素。

## 2 结果与分析

### 2.1 景观类型构成及变化

2.1.1 景观类型构成 对比全市域尺度上的景观类型分布格局图(附图 8)以及景观类型构成(表 1)可以发现,2000 年太原市主要景观类型为林地、耕地和草地,分别占总面积的 33.60%,31.80%和 27.47%,合计 92.87%;2015 年其主要景观类型仍为林地、耕地和草地,但三者的比例有所变化,分别占总面积的 35.18%,27.97%和 25.49%,合计 88.64%。2000—2015 年,全市域各景观类型的面积发生了不同程度的改变,其中变化最为明显的是城乡、工矿、居民用地,占总面积的比例由 5.86%增至 10.27%,总量增加 4.41%,且 2010 年之后的增长速度为 2010 年之前增长速度的 9 倍;耕地、草地的比例大幅减少,尤其是耕地的比例呈单调的下降趋势,由 31.80%下降到 27.97%,总量减少 3.83%,耕地、草地成为城乡、工矿、居民用地扩展的主要来源;林地的比例在 2010 年之前变化较小,随着城市对环境改善的需求增加,林地面积在 2010—2015 年期间呈上升趋势,由 33.94%增至 35.18%,总量增加 1.24%。

表 1 太原市 2000—2015 年全市域景观类型构成

斑块类型	构成比例/%				2000—2010 年 均变化/%	2010—2015 年 均变化/%
	2000	2010	2015	2000—2015		
耕地	31.80	30.64	27.97	-2.68	-0.12	-0.54
林地	33.60	33.94	35.18	1.24	0.03	0.25
草地	27.47	27.56	25.49	-2.07	0.01	-0.41
水域	1.23	1.17	1.07	-0.10	-0.01	-0.02
城乡、工矿、居民用地	5.86	6.66	10.27	3.62	0.08	0.72
未利用地	0.04	0.03	0.02	-0.01	0.00	0.00

对比主城区尺度上的景观类型分布格局图(附图 8)以及景观类型构成变化(表 2)可以发现,2000 年太原市主城区面积最大的景观类型为耕地,其次为城乡、工矿、居民用地,二者分别占总面积的 37.54%和 21.65%;而 2015 年主城区面积最大的景观类型为城乡、工矿、居民用地,其次为耕地,二者分别占总面积的 33.82%和 27.04%,说明主城区城市化进程较快,耕地成为城乡、工矿、居民用地扩展的主要来源。主城区是太原快速城市化的典型区域,随着其社会经济的发展,土地利用强度逐年加大。表 2 分析结果表明,主城区城乡、工矿、居民用地的增长在研究时段内一直保持较高的增长率,总量增加 8.96%,与全市域的增长趋势类似,在 2010 年之后的增长速度要明显

快于 2010 年之前,约为 2010 年之前增长速度的 5.6 倍;与之对应的耕地、草地的比例则明显下降,总量分别减少 7.15%和 5.61%,随着城市化进程的加快,城市耕地、草地都呈现出明显缩小的变化趋势<sup>[1,5,18]</sup>;林地总量在 2010 年之后呈现明显的增加趋势,占总面积的比例由 19.93%增至 23.66%,总量增加 3.74%;水域景观类型保持了下降的趋势,与相关研究类似<sup>[18]</sup>,即随着城市化进程的加快,城市水体都呈现缩小的变化趋势。

整体而言,相比 2000 年,2015 年城乡、工矿、居民用地的比例增加了近 9%,相应的耕地景观类型的比例下降了约 7%,城乡、工矿、居民用地的耕地占比相比全市域而言更为显著。

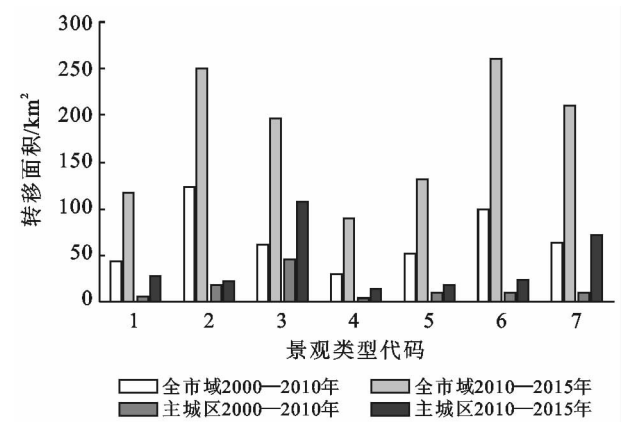
表 2 太原市 2000—2015 年主城区景观类型构成

斑块类型	构成比例/%				2000—2010 年 年均变化/%	2010—2015 年 年均变化/%
	2000	2010	2015	2000—2015		
耕地	37.54	34.20	27.04	−7.15	−0.33	−1.43
林地	19.93	19.92	23.66	3.74	0.00	0.75
草地	18.61	19.11	13.50	−5.61	0.05	−1.12
水域	2.10	1.79	1.91	0.12	−0.03	0.02
城乡、工矿、居民用地	21.65	24.86	33.82	8.96	0.32	1.79
未利用地	0.17	0.12	0.06	−0.06	−0.01	−0.01

2.1.2 景观格局变化 从 2000—2010 年和 2010—2015 年 2 个时段分析太原市全市域和主城区景观格局的转移方向。由表 3 可知,耕地景观类型的缩减面积主要转换为草地和城乡、工矿、居民用地,并在 2010—2015 年期间转移面积最大,分别达到 250.28 和 196.88 km<sup>2</sup>,尤其是耕地向城乡、工矿、居民用地的转移在短短 5 a 内增长了 3 倍多;除耕地向其他景观类型的转换外,草地向耕地、林地的转移也较为激烈,其中草地向耕地的转换最为明显,2010 年之后草地向林地的转换面积为 210.36 km<sup>2</sup>,也呈现出近 5 a 转移速率大幅增长的趋势。总体来看,全市域景观类型的转化主要为耕地向城乡、工矿、居民用地以及草地向林地的转移,并在 2010—2015 年期间转移面积最大(图 1),说明耕地成为太原市城乡、工矿、居民用地扩张的主要来源,且随着城市化进程的发展,人们对生态环境保护的意识增强,大面积植树造林,尤其是在 2010 年之后林地面积大幅度增加。

由表 4 可知,研究时间段内主城区尺度上的景观类型变化主要为耕地向城乡、工矿、居民用地的转移,2010 年之前转移 46.63 km<sup>2</sup>,2010 年之后转移量远大于 2010 年之前,为 107.23 km<sup>2</sup>,说明近 5 a 来太原

市主城区城市化进程明显加快,耕地成为城乡、工矿、居民用地扩张过程中减少最快、最多的景观类型,这与阳文锐的研究结果相吻合<sup>[18]</sup>。



注:景观类型代码:1 耕地转林地;2 耕地转草地;3 耕地转城乡、工矿、居民用地;4 林地转耕地;5 林地转草地;6 草地转耕地;7 草地转林地。

图 1 太原市全市域和主城区主要景观类型变化对比

与全市域尺度相比,主城区尺度上主要景观类型的变化趋势相类似,均呈现 2010 年之后翻倍增长的趋势(图 1)。主城区尺度上耕地与林地、耕地与草地间相互转化的比例较小,且两类景观类型间相互转化

的转化量差别较小;主城区尺度上草地与林地相互转化的差别相对较大,由草地向林地的转移量明显高于林地向草地的转移量,这种现象在 2010 年之后更为明显;主城区尺度上耕地向城乡、工矿、居民用地转移的比例占到全市域的 1/2 以上,是整个研究区面积增

长最快的景观类型,与胡东雪等的研究结果相吻合<sup>[1]</sup>。相比周边地区,主城区经济发展更为迅速,城市化进程更快,土地利用强度更大,人们对城乡、工矿、居民用地的需求量更高,而主城区内土地利用紧张,因而耕地成为主城区内城市化扩张的基本来源。

表 3 太原市 2000—2015 年全市域各时段景观类型转移矩阵 km<sup>2</sup>

时段	景观类型	耕地	林地	草地	水域	城乡、工矿、居民用地	未利用地
2000—2010 年	耕地	1 959.12	43.63	123.79	7.20	61.86	0.02
	林地	30.24	2 233.97	51.53	0.47	3.86	0.02
	草地	100.32	64.36	1 724.57	1.49	6.11	0.03
	水域	9.57	0.63	0.97	71.18	2.31	0.01
	城乡、工矿、居民用地	16.61	0.76	2.21	0.26	384.83	0.02
	未利用地	0.05	0.02	0.05	0.02	0.75	1.92
2010—2015 年	耕地	1 537.66	116.86	250.28	14.26	196.88	0.02
	林地	88.68	2 094.23	130.67	2.96	26.72	0.18
	草地	260.25	210.02	1 370.00	3.39	58.78	0.76
	水域	10.07	1.51	3.85	51.02	14.16	0.00
	城乡、工矿、居民用地	34.35	6.43	5.18	2.12	411.60	0.03
	未利用地	0.03	0.03	0.03	0.03	1.25	0.65

表 4 太原市 2000—2015 年主城区各时段景观类型转移矩阵 km<sup>2</sup>

时段	景观类型	耕地	林地	草地	水域	城乡、工矿、居民用地	未利用地
2000—2010 年	耕地	459.66	5.44	18.57	1.41	46.63	0.01
	林地	3.82	266.29	9.68	0.20	2.22	0.02
	草地	9.29	9.50	240.72	0.12	3.88	0.02
	水域	3.33	0.28	0.36	23.49	2.23	0.01
	城乡、工矿、居民用地	8.25	0.55	1.34	0.11	296.41	0.02
	未利用地	0.01	0.02	0.02	0.02	0.75	1.64
2010—2015 年	耕地	324.02	26.89	21.08	5.13	107.23	0.02
	林地	13.56	231.77	18.60	1.34	16.74	0.07
	草地	23.07	71.82	147.48	1.05	27.01	0.27
	水域	3.43	0.55	1.08	17.90	2.38	0.00
	城乡、工矿、居民用地	18.95	4.00	2.95	1.66	324.52	0.03
	未利用地	0.00	0.03	0.02	0.00	1.18	0.49

2.2 景观格局变化特征分析

2.2.1 类型水平 斑块密度(PD)、边缘密度(ED)和景观形状指数(LSI)可以很好地反映景观的破碎化程度。

从图 2 可以看出,各景观类型在全市域尺度与主城区尺度略有差别,全市域尺度上耕地和草地的 PD、ED 和 LSI 指标均为最大,表明耕地和草地的斑块数量最大,斑块边界较长且不规则,景观破碎化程度较高,城乡、工矿、居民用地的 PD、ED 和 LSI 指标正在逐年上升,景观破碎化程度正在逐年增加;在主城区尺度上城乡、工矿、居民用地和未利用地的 ED 和 LSI

指标显著上升,说明相较于全市域,在主城区的城市化进程更快,其景观破碎化程度更高。从最大斑块指数(LPI)的动态特征来看,在研究时段内,耕地、林地一直是全市域尺度上的优势景观,但城乡、工矿、居民用地的优势度正逐年上升,其最大斑块的比例不断增加,说明在城市化进程中城乡、工矿、居民用地增长的态势;在主城区尺度上,优势景观为耕地和城乡、工矿、居民用地,城乡、工矿、居民用地的 LPI 指标增长趋势十分明显,说明其小型斑块向大型斑块整合,更趋向于大型化和集中化,优势度不断增加,而耕地和草地的最大斑块比例不断减少。

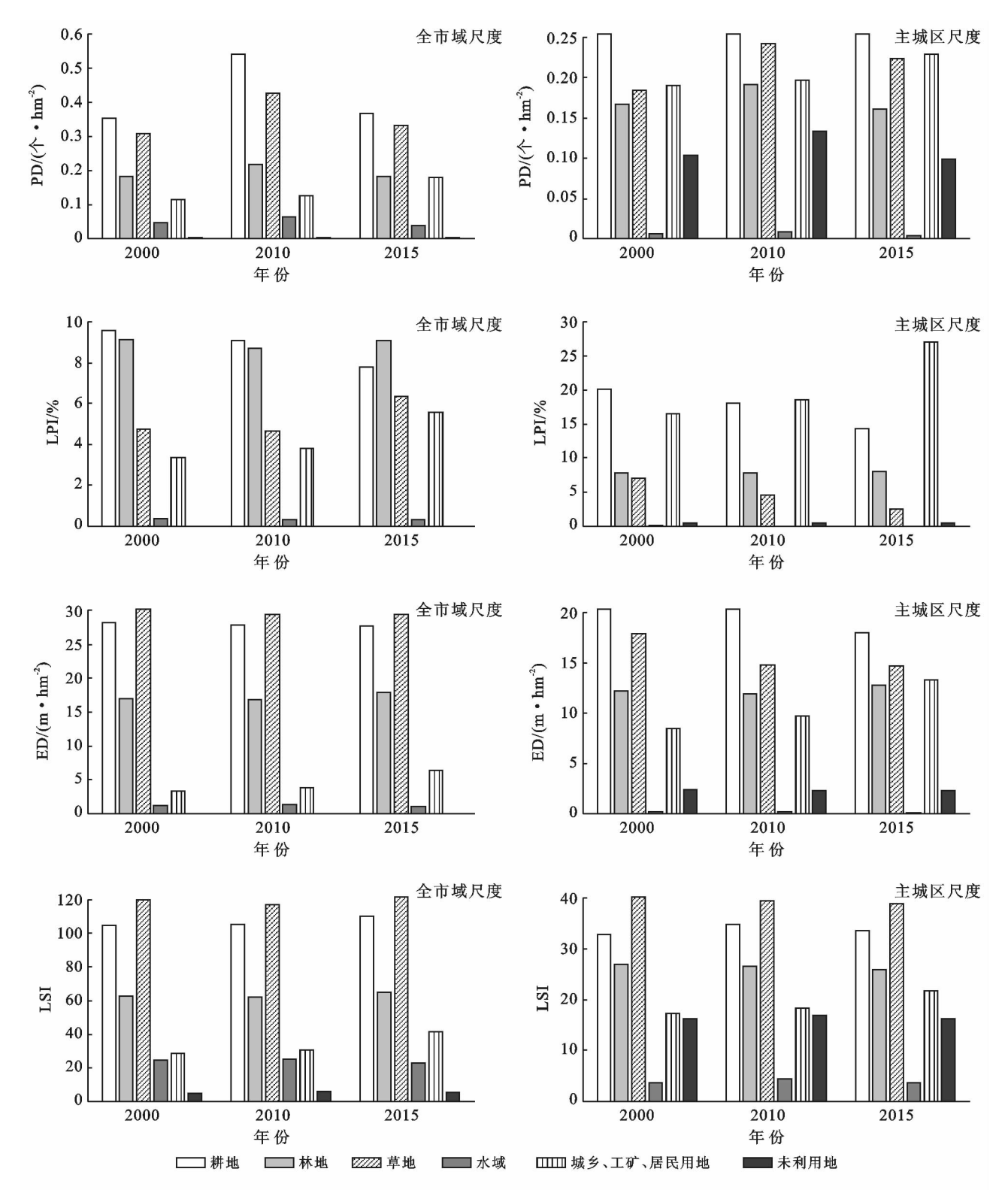


图 2 太原市各类型水平的景观指数变化

2.2.2 景观水平 香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)均为反映景观多样性的指标,但前者强调稀有斑块类型对信息的贡献,反映景观异质性,后者可以与优势度指标相互转换,反映出景观受到一种或少数几种优势拼块类型所支配的程度。近 15 a 间,太原市全市域尺度与主城区尺度的 SHDI 与 SHEI 指数变化趋势相似,均呈现出全市域尺度上先增加后减少而主城区尺度持续增加的趋势(图 3)。整体而言,全市域尺度上 SHDI 和 SHEI 指数均低于主城区尺度,说明相较于全市域尺度,主城区尺度各斑块类型在景观类型所占比例呈均衡化趋势分布。从时间角度而言,全市域尺度上 SHDI 和 SHEI 指数

一直上升,尤以 2010—2015 年上升明显,说明这段时间内太原市土地利用丰富,破碎化程度逐渐增加,各景观类型所占比例呈均衡化趋势分布;而在主城区尺度上,2000—2010 年呈现与全市域尺度相似的趋势,但在 2010—2015 年 SHDI 和 SHEI 指数略有下降,说明主城区尺度上有明显小型斑块向大型斑块整合的趋势,景观逐渐受到一种或少数几种优势拼块类型所支配,景观丰富度呈降低趋势。

蔓延度指数(CONTAG)和分布聚合性指数(AI)均为反应景观斑块类型团聚程度的指标。整体而言(图 3),全市域尺度的 CONTAG 指数高于主城区尺度,而 AI 指数低于主城区尺度,说明相较于全市

域尺度,主城区尺度上景观中存在较多小斑块,且各景观类型斑块的集中程度较高,而全市域尺度上景观中有连通度较高优势斑块类型存在。从时间角度而言,2000—2010 年,全市域尺度和主城区尺度的 CONTAG 和 AI 指数变化相对较小,且呈现相似的趋势,说明这段时间内,不同斑块类型的分散度略有降低;在 2010—2015 年,全市域尺度和主城区尺度的 AI 指数均呈现降低趋势,而 CONTAG 指数却呈现出不同的变化趋势,说明主城区尺度上景观类型斑块的分布更为分散,小斑块逐步向大型斑块整合,景观中的某种优势拼块类型形成了良好的连接性,优势度不断增大。

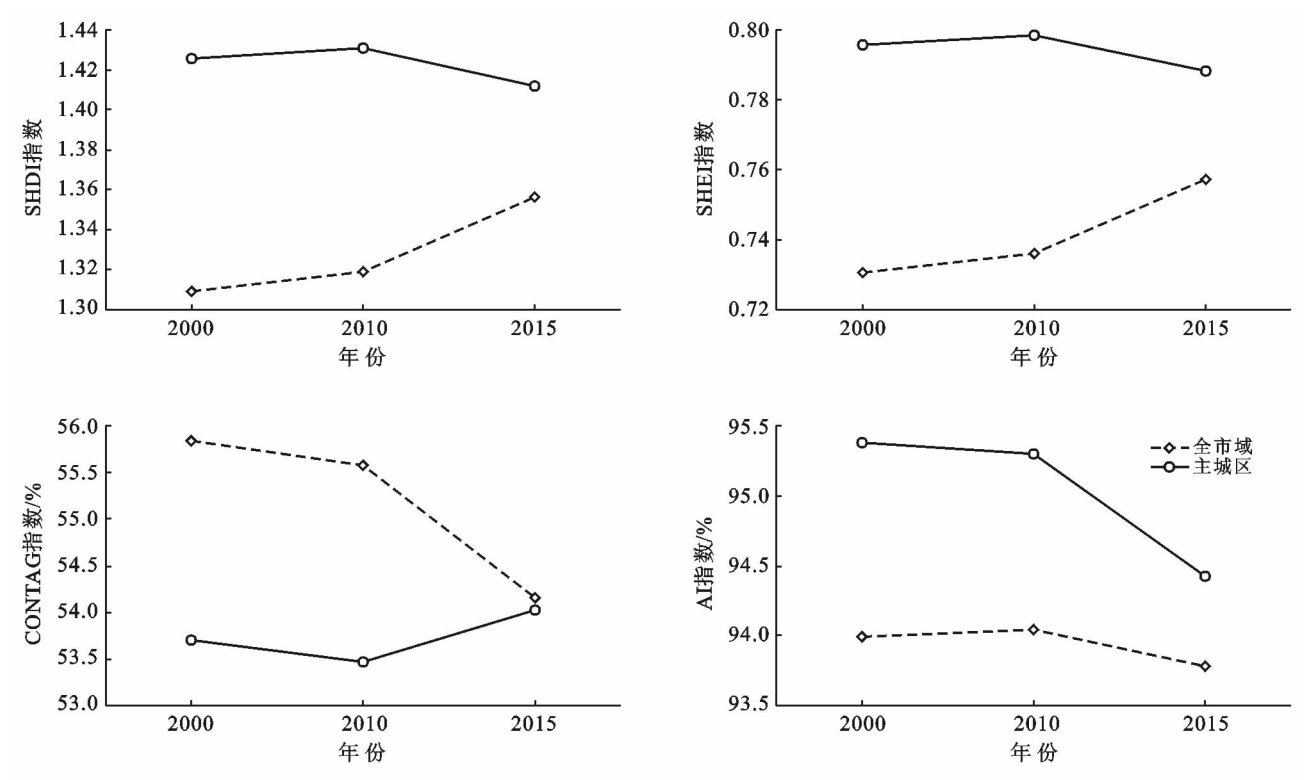


图 3 太原市各景观水平的景观指数变化

2.3 太原市景观格局变化驱动因素

2.3.1 社会经济因素 对 3 个年份的数据进行主成分分析后,均提取出 2 个主成分,第一主成分中总人口、地区生产总值、第二产业值、第三产业值、城镇从业人员和固定资产投入这 6 个指标的系数较大(其中总人口、地区生产总值的系数最大),第二主成分中农业人口和第一产业值的系数较大(表 5)。

进一步分析总人口、地区生产总值对景观格局变化的影响,可以发现太原市总人口呈不断增长的趋势,由 2000 年的 334.4 万人增长至 2015 年的 431.87 万人,增长率为 29.15%;农业人口反而呈不断减少的趋势,由 2000 年的 104.83 万人减少至 2015 年的

67.35 万人,减少率为 35.75%(图 4a)。总人口的大幅增加和农业人口的大幅减少,一方面会导致部分耕地因无人管理而逐渐荒芜,最终演替为草地;另一方面,城市人口必然大量增加,从而导致居住地面积的增加,但太原市大部分为耕地、林地、草地所覆盖,可利用地有限,这使得人口增长所致的土地压力加大,进而引起城市范围的扩大,进一步加剧城市化的进程。由此可见,人口增加和人口结构的变动是引起太原市景观格局变化的原因之一。

2000—2015 年,太原市经济发展迅速,地区生产总值由 2000 年的 346.53 亿元增长至 2015 年的 2 479.61 亿元,增长率为 615.55%。从各产业产值来

看,第一产业发展相对缓慢,15 a 间产值增加 150.04%;第二产业发展迅速,但近 5 a 发展速度明显下降,15 a 间产值增加 457.12%;第三产业呈高速发展的态势,占据主导地位,15 a 间产值增加

825.90%,形成了“三、二、一”的产业格局(图 4b)。第二、三产业的蓬勃发展吸引了大量就业人口,引起城乡、工矿、居民用地面积的增加和未利用地的减少,所以经济因子也是引起景观格局变化的因素。

表 5 太原市各年份主成分分析结果

项 目	2000 年		2010 年		2015 年	
	主成分 1	主成分 2	主成分 1	主成分 2	主成分 1	主成分 2
总人口	0.951	0.100	0.956	0.215	0.965	0.229
农业人口	-0.385	0.903	-0.502	0.839	-0.538	0.799
地区生产总值	0.989	0.058	0.977	0.074	0.949	0.172
第一产业	-0.054	0.976	-0.237	0.964	-0.296	0.949
第二产业	0.722	0.176	0.750	0.191	0.782	0.429
第三产业	0.761	-0.122	0.750	-0.089	0.859	-0.043
城镇从业人员	0.696	-0.160	0.731	-0.023	0.952	-0.046
固定资产投资	0.732	0.444	0.762	0.412	0.85	0.084

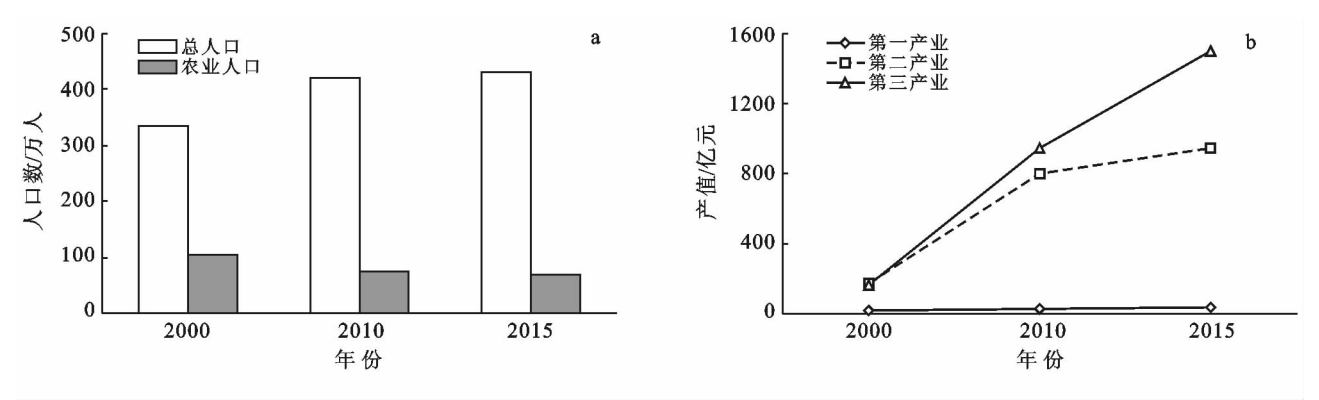


图 4 太原市人口与各产业产值

2.3.2 政策因素 政策因素对太原市景观格局最直接的影响表现为林地面积的增加、耕地面积的减少。2010 年,山西省提出“推进城乡生态化”,林业生态建设被摆在了全省转型跨越发展基础和前提的突出位置。2010 年太原市造林面积为 18 979 hm<sup>2</sup>,建城区绿化覆盖率 36.8%,绿地率 32.0%,人均公园绿地面积 9.59 m<sup>2</sup>;2015 年造林面积为 17 880 hm<sup>2</sup>,建成区绿化覆盖率 41.00%,绿地率 36.07%,人均公园绿地面积 11.56 m<sup>2</sup>。耕地面积的减少除了受“退耕还林”政策的影响外,还受到农业结构调整、粮食收购等政策的影响<sup>[1]</sup>,2000 年太原市粮食播种面积为 999.60 km<sup>2</sup>,到 2010 年下降为 847.82 km<sup>2</sup>,2015 年持续下降为 755.71 km<sup>2</sup>;再加上城市化进程的加速发展,城市经济得到飞速发展,促使大量农村劳动力向城市转移,城市人口增长、工业及服务业的飞速发展对城乡、工矿、居民用地需求的增加,由于城市土地利用紧张,耕地成为城乡、工矿、居民用地扩张的主要来源,大量耕地被占用,导致耕地面积急剧下降。

2.3.3 城市规划与发展理论 城市总体规划是根据

国民经济和社会发展规划制定的一定时期内各项用地安排和综合部署,而城市景观格局的变化与城市总体规划的实施是紧密相关的<sup>[18]</sup>。在太原快速城市化进程中,全市域尺度的城市扩展与主城区尺度的城市扩展存在差异性,主城区以城乡、工矿、居民用地向外推进延伸为主,而全市域尺度则呈现跳跃式扩展为主。城市总体规划对于产业发展和布局的引导,促进城乡、工矿、居民用地大幅增加。2000—2010 年,城乡、工矿、居民用地面积变化相对较小(图 2),大多分布在主城区尺度上,其城乡、工矿、居民用地面积增长 45.43 km<sup>2</sup>,占全市域面积变化的 82.58%,这与《太原市城市总体规划(1998—2010)》中“主城区充分发挥对外辐射功能,以区带乡,促进城乡共同发展”的理念相吻合;2010—2015 年,城乡、工矿、居民用地面积变化明显,但主城区尺度上的变化面积仅为全市域尺度上的 50.84%,即非主城区地区的城乡、工矿、居民用地面积大幅增加,且增加幅度近于主城区的变化,这与新一轮总体规划《太原市城市总体规划(2011—2020 年)》中“城市规划范围包括太原市辖 6 城区、清



徐县全部行政区划范围和阳曲县侯村乡等地区、引黄工程输水管两侧 20 m 以及汾河一、二库周围 500 m (后将范围调整为太原市市域范围)”相吻合,即在主城区飞速发展的同时,加大对其周边地区的建设和发展,且周边地区与主城区在职能上紧密衔接,但在空间上保持相对分离,因而出现全市域景观格局变化与主城区不同的态势。

### 3 结 论

在全市域和主城区尺度上,太原市的景观格局呈现一定的差异性。总体上,二者呈现较为一致的趋势,即在全市域和主城区尺度上,林地、耕地、草地始终是占比较大的景观类型,城乡、工矿、居民用地呈现较为明显的增加趋势,且耕地和草地的减少成为城乡、工矿、居民用地扩展的主要来源;但主城区尺度上,2010 年之前面积最大的景观类型为耕地,到 2015 年变为城乡、工矿、居民用地,作为太原快速城市化的典型区域,主城区土地利用的强度逐年加大,城乡、工矿、居民用地的耕地占比相比全市域而言更为显著,这与付刚等<sup>[5]</sup>的研究结果相一致。景观格局指数的分析进一步表明,全市域尺度和主城区尺度的景观格局变化表现出不同的特征。全市域尺度上耕地、林地斑块破碎化程度高,景观蔓延度下降,景观多样性增加,但城乡、工矿、居民用地的优势度正逐年上升,反映了随着城市化进程的加快,太原市土地利用丰富,城乡、工矿、居民用地面积不断加大,景观破碎化程度逐渐增加;在主城区尺度上,城乡、工矿、居民用地斑块破碎化程度显著升高,城市化进程更快,但其小型斑块逐渐向大型斑块整合,优势度不断增加,因而景观蔓延度呈先下降后上升的趋势,景观多样性却呈先上升后下降的趋势。

在景观格局演变的驱动力方面,社会经济的发展、政策因素以及城市规划与发展理论的实施的是太原市城市景观格局演变的主要驱动力,这与胡冬雪和阳文锐等<sup>[1,18]</sup>的研究结果相一致。城市产业结构的调整、政策以及城市规划与发展理论的实施对城市发展的引导,引起人口规模和人口结构的变动,进而引起城乡、工矿、居民用地面积的增加和耕地等其他景观类型的减少,生态空间出现不同程度的萎缩,进而改变城市的景观格局。

#### [参 考 文 献]

- [1] 胡冬雪,唐立娜,邱全毅,等. 海峡西岸经济区景观格局 10 年变化及驱动力[J]. 生态学报, 2015, 35(18): 6138-6147.
- [2] 任琼,佟光臣,张金池. 鄱阳湖区域景观格局动态变化研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2016, 40(3): 94-100.
- [3] 尹锴,赵千钧,崔胜辉,等. 城市森林景观格局与过程研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 389-398.
- [4] 李伟峰,欧阳志云,王如松,等. 城市生态系统景观格局特征及形成机制[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 428-432.
- [5] 付刚,肖能文,乔梦萍,等. 北京市近二十年景观破碎化格局的时空变化[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2551-2562.
- [6] 胡瀚文,魏本胜,沈兴华,等. 上海市中心城区城市用地扩展的时空特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3439-3445.
- [7] Blandón A C, Perelman S B, Ramírez M, et al. Temporal bird community dynamics are strongly affected by landscape fragmentation in a Central American tropical forest region[J]. Biodiversity & Conservation, 2016, 48(2): 1-20.
- [8] Johnson A M, Karels T J. Partitioning the effects of habitat fragmentation on rodent species richness in an urban landscape[J]. Urban Ecosystems, 2016, 19(2): 547-560.
- [9] 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.
- [10] XIE Miaomiao, WANG Yanglin, FU Meichen. An overview and perspective about causative factors of surface urban heat island effects[J]. Progress in Geography, 2011, 30(1): 35-41.
- [11] 赵明月,彭建,刘焱序,等. 基于高分遥感影像的滇西北村域景观格局演变: 以大理市低丘缓坡山地开发区为例[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3803-3810.
- [12] 王满,薛欣飞. 太原市杏花岭区土地利用景观格局分析[J]. 中国土地科学, 2008, 22(9): 51-54.
- [13] 韩锦涛,朱天燕,常冬. 太原市委烦县 LUCC 的景观格局分析[J]. 太原师范学院学报: 自然科学版, 2012(2): 115-118.
- [14] 刘艳红,郭晋平. 基于植被指数的太原市绿地景观格局及其热环境效应[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 798-804.
- [15] 雒峰,冯蕾,任鹏成,等. 太原城市绿地景观格局动态变化研究[J]. 山西农业科学, 2017, 45(5): 805-808.
- [16] 欧阳志云,王桥,郑华,等. 全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查评估[J]. 中国科学院院刊, 2014, 1(4): 462-466.
- [17] Peng Jian, Wang Yanglin, Zhang Yuan, et al. Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns[J]. Ecological Indicators, 2010, 10(2): 217-223.
- [18] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力[J]. 生态学报, 2015, 35(13): 4357-4366.