

1980—2017 年孟加拉国城市扩张的景观格局变化特征及其模式

石小倩¹, 赵筱青¹, Jakariya M D², 李思楠¹, 普军伟¹

(1. 云南大学 地球科学学院, 云南 昆明 650500; 2. 南北大学 环境科学与管理学院, 达卡 1229, 孟加拉国)

摘要: [目的] 对 1980—2017 年孟加拉国城市扩张的景观格局变化特征及其模式进行研究, 为该国及发展中国家的城市土地利用与管理提供差异化发展建议。[方法] 以“一带一路”沿线孟加拉国的 4 个主要城市 Dhaka, Chittagong, Khulna 和 Sylhet 为研究对象, 分析 1980, 1990, 2000, 2010 和 2017 年 5 期 4 个城市扩张过程中的景观格局变化特征, 识别城市扩张模式。[结果] 1980—2017 年, 孟加拉国 4 个主要城市的扩张规模表现为: Dhaka > Chittagong > Khulna > Sylhet, 扩张速度表现为: Sylhet > Dhaka > Chittagong > Khulna; 4 个城市扩张的景观格局变化趋势均表现为面积持续增加, 优势度加强, 破碎化程度波动上升。空间格局向复杂化和不规则化方向发展, 空间形态逐渐多样化。1980—1990 年, Dhaka, Chittagong 和 Sylhet 这 3 个城市扩张的主要模式为外部扩张式, Khulna 主要为邻接扩张式, 1990—2017 年, 邻接扩张式成为 4 个城市扩张的主要模式, 城市连片度逐渐增高。[结论] 1980 年以来, 孟加拉国城市持续扩张, 景观格局发生显著变化, 扩张模式总体呈由外部扩张式向邻接扩张式转变的趋势。

关键词: 城市扩张; 景观格局; 时空变化特征; 扩张模式; 孟加拉国

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)02-0275-09

中图分类号: K901, K915

文献参数: 石小倩, 赵筱青, Jakariya M D, 等. 1980—2017 年孟加拉国城市扩张的景观格局变化特征及其模式[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 275-283. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.036; Shi Xiaoqian, Zhao Xiaoping, Jakariya M D, et al. Characteristics and models of landscape pattern changes in urban expansion in Bangladesh during 1980—2017 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 275-283.

Characteristics and Models of Landscape Pattern Changes in Urban Expansion in Bangladesh During 1980—2017

Shi Xiaoqian¹, Zhao Xiaoping¹, Jakariya M D², Li Sinan¹, Pu Junwei¹

(1. School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650500, China;

2. School of Environmental Science and Management, North-South University, Dhaka 1229, Bangladesh)

Abstract: [Objective] The characteristics and landscape pattern change of urban expansion in Bangladesh since 1980 were studied in order to provide differentiated development suggestions for urban land use and management in Bangladesh and other developing countries. [Methods] Taking Dhaka, Chittagong, Khulna and Sylhet, four major cities of Bangladeshi along the “One Belt and One Road” as the research objects, the characteristics of landscape pattern change in the process of urban expansion in 1980, 1990, 2000, 2010 and 2017 were analyzed, and the pattern of urban expansion was identified. [Results] From 1980 to 2017, the expansion scale of the four major cities in Bangladesh was showed as: Dhaka > Chittagong > Khulna > Sylhet, and the expansion speed was showed as: Sylhet > Dhaka > Chittagong > Khulna. The trend of landscape pattern change of the four cities showed that the area continued to increase, the dominance strengthened, the degree of fragmentation fluctuated, the spatial pattern developed toward complexity and irregularity, and the space formation gradually diversified. From 1980 to 1990, external expansion was the main pattern of urban

收稿日期: 2020-07-29

修回日期: 2020-12-07

资助项目: 云南省科技厅—云南大学“双一流”建设联合资助项目“云南喀斯特山区水土资源—生态环境耦合协调及国土空间优化调控”(2018FY001-017); 云南大学研究生创新人才培养项目(C176230200); 云南大学国际化与文化传承创新—孔子学院转型建设与中外人文交流项目(C176250202)

第一作者: 石小倩(1998—), 女(汉族), 四川省资阳市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用生态安全及开发格局。Email: 1264102111@qq.com。

通讯作者: 赵筱青(1969—), 女(白族), 云南省大理市人, 教授, 博士生导师, 主要从事土地生态学及国土空间开发与保护方面的研究。Email: xqzhao@ynu.edu.cn。

expansion in Dhaka, Chittagong and Sylhet, while adjacent expansion was the main pattern of urban expansion in Khulna. From 1990 to 2017, adjacent expansion became the main pattern of urban expansion in all the four cities, and the degree of urban connectivity increased gradually. [Conclusion] During 1980—2017, the city of Bangladesh was expanding continuously, and the landscape pattern changed significantly. The expansion pattern changed from external expansion to adjacent expansion.

Keywords: urban expansion; landscape pattern; urban expansion pattern; temporal and spatial variation; Bangladesh

19 世纪以来,全球城市化发展迅速,城市化率由 10% 增长至 55%^[1]。虽然城市仅占全球陆地面积的 3%,却居住着 1/2 以上的人口,城市发展在促进世界经济繁荣的同时规模也在不断扩张^[2-3]。这一过程中,大量植被、农业用地等被占用,引发了一系列生态环境和社会问题,尤其以发展中国家和落后地区表现最为突出^[4-6]。长期以来,学者们针对城市扩张开展了大量研究,涉及城市扩张的形态、特征、模式、驱动和预测等。目前城市扩张特征研究方法主要有景观格局指数^[7]、空间指标评价法^[8]、信息熵指数法^[9]和梯度分析法等^[10];在城市扩张模式方面,学者们主要采用景观扩张指数^[11-12]识别城市扩张模式,挖掘城市扩张的动态演变规律。但目前城市扩张研究多以单个特大城市或大都市区为研究对象^[13-14],对规模、功能定位和人口密度不同的多个城市扩张对比研究仍较缺乏。当前城市扩张特征研究主要从城市建设用地空间扩张角度开展,认为建设用地的增加与城市的空间扩张是重合的^[15-16],通过监测城市建设用地的变化可以有效反映城市扩张特征及发展状况^[17-18]。因此,本研究也将建设用地作为城市变化监测的主要指标来研究城市的扩张过程。

孟加拉国自 1972 年独立以来,国民经济快速发展,城市化进程加快。城市建设用地面积增加,大量占用其他地类,引发了严重的用地矛盾。同时,孟加拉国作为“一带一路”倡议“孟中印缅”经济走廊中极具发展潜力的国家,探索其城市扩张规律有助于充分了解城市发展特点,为经济体量相差悬殊、城市化发展程度不同的中孟两国实现区域经济合作奠定基础,推动沿线国家间的投资和贸易,建立更加均衡的新型全球伙伴关系。本研究以孟加拉国 4 个主要城市 Dhaka(达卡)、Chittagong(吉大港)、Khulna(库尔纳)、Sylhet(锡尔赫特)为研究对象,提取 1980,1990,2000,2010 和 2017 年 5 期城市土地利用信息,通过分析城市扩张过程中的建设用地景观格局时空变化特征,来反映城市扩张特征,探讨城市扩张模式。研究结果可为孟加拉国及发展中国家的城市土地利用与管理提供差异化发展建议。

1 数据和方法

1.1 研究区概况

孟加拉国国土面积 147 570 km²,东、西、北三面与印度毗邻,东南部与缅甸相连,南临孟加拉湾,介于 88.01°—92.41°E,20.34°—26.38°N 之间。2017 年总人口约 1.6 亿,人口密度高达 1 260 人/km²,是世界人口密度最高的国家之一;属于亚热带季风气候,降雨集中且多暴雨,河道纵横、水系交错且地势低平,雨季常遭受洪涝灾害,是全球水患问题最严重的国家之一。研究区聚焦于孟加拉国 Dhaka, Chittagong, Khulna 和 Sylhet 这 4 个主要城市(图 1)。

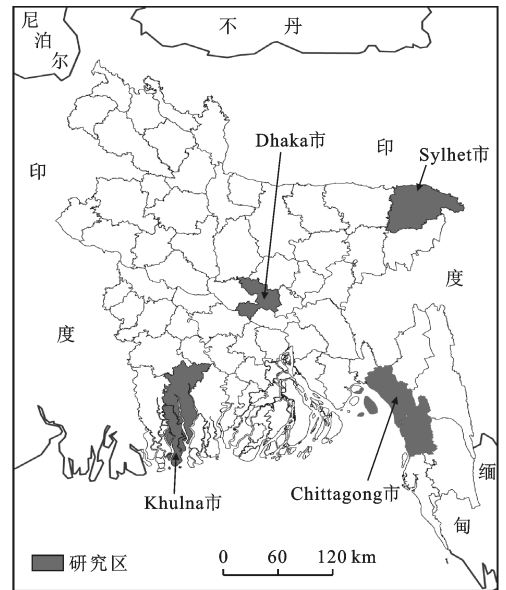


图 1 研究区区位

Dhaka 地处孟加拉国中部(90.01°—90.51°E, 23.53°—24.04°N),作为首都和第一大城市,承载了全国 37% 的城市人口,是全国的政治经济和文化中心; Chittagong 位于孟加拉国东南部(91.36°—91.70°E, 21.86°—22.99°N),地理条件优越,拥有众多天然良港,聚集了全国 40% 的大型工业,是全国第二大城市和最大港口城市; Khulna 地处孟加拉国西南部(89.34°—89.45°E, 21.71°—23.01°N),是全国第 3 大城市和主要工商业经济中心,交通发达,具有重要的

战略意义; Sylhet 是孟加拉国东北部主要的中心城市 (91.63°—92.01°E, 24.61°—25.19°N), 2017 年人口规模达 44.58 万人, 人口密度较高。

1.2 数据来源及处理

研究从美国地质勘探局 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) 收集了 4 个城市多时相 (1980, 1990, 2000, 2010 和 2017 年) 的 Landsat MSS/TM 遥感影像, 其中 1980 年 Landsat-3MSS 影像空间分辨率为 80 m, 其他年份 Landsat-5TM 影像空间分辨率为 30 m。所收集影像时间均为 3—4 月 (当地旱季), 云量控制在 5% 以内, 能够满足研究区地物信息识别要求。首先利用 ENVI 5.2 和 ArcGIS 10.2 软件, 对遥感影像进行辐射校正、几何校正、图像增强、镶嵌裁剪、波段组合和再投影等预处理, 其次在实地调查的基础上,

根据光谱特征和纹理形状建立解译标志, 最后利用最大似然法进行遥感影像监督分类, 将研究区土地分为建设用地与非建设用地 (建设用地以外的其他土地利用类型) 两类。分类提取的建设用地解译精度为 92.53%, 满足研究要求。最后将分类结果进行重采样, 统一到 30 m×30 m 空间尺度以进行后续分析。

1.3 研究方法

1.3.1 景观格局指数 研究城市扩张的景观格局特征可为理解城市化进程提供支持^[7]。参考相关文献, 本研究从景观类型面积、密度、形态及集聚性等方面选取了 8 种景观格局指数 (表 1), 运用 Fragstats 4.2 软件计算 1980—2017 年以来孟加拉国 4 个城市的建设用地景观格局指数, 分析城市扩张过程中的景观格局变化特征, 反映城市扩张规律。

表 1 孟加拉国城市扩张景观格局指数

景观格局指数	缩写	生态学意义	
景观面积指数	斑块类型总面积	CA	本文中 CA 表示建设用地类型景观中斑块的总面积, 是基础的景观格局指数。
	斑块类型占景观面积的比例	PLAND	PLAND 是确定景观中优势景观要素的依据之一, 也是决定景观中生物多样性、优势种和数量等指标的重要因素。
	最大斑块指数	LPI	LPI 可直接体现景观的优势类型, 反映人类活动对土地利用和景观生态的干扰强度。
景观斑块密度及差异指数	斑块数量	NP	NP 表示景观中某斑块类型的斑块总数, 是直接反映破碎化程度的指数。
	斑块密度	PD	PD 表示每 100 hm ² 土地范围内的斑块数量。
	平均斑块面积	AREA_MN	AERA_MN 的变化能反馈丰富的景观生态信息, 是反映景观异质性的关键。
景观形状指数	景观形状指数	LSI	LSI 是对类型聚集或离散程度的度量, 体现景观中斑块形状的变化。
景观聚集度指数	聚集度指数	AI	AI 表示景观区域内斑块离散程度。

1.3.2 景观扩张指数 景观格局指数可以表达某个特定时期的城市空间特征, 但不能表征城市扩张的动态演化过程^[19-20]。部分学者构建了景观扩张指数 (LEI)^[11] 来弥补其局限。本文采用武鹏飞等人^[12] 的研究成果计算景观扩张指数 (LEI, landscape expansion index)、平均景观扩张指数 (MLEI, mean landscape expansion index) 和面积加权平均景观扩张指数 (AWLEI, area weighted landscape expansion Index), 实现对研究区城市扩张模式和规模等特征的定量分析 (表 2)。计算公式为:

$$LEI = \frac{A_p - A_o}{A_p + A_o} \quad (1)$$

$$MLEI = \sum_{i=1}^n LEI_i / n \quad (2)$$

$$AWLEI = \sum_{i=1}^n LEI_i \times \frac{a_i}{A} \quad (3)$$

式中: A_p 为建设用地扩张斑块的增加面积; A_o 为与扩张斑块处于相邻关系的原斑块面积; LEI_i 为第 i 个扩张斑块的景观扩张指数; n 为建设用地斑块类型中所有扩张斑块的数量; a_i 为第 i 个扩张斑块的面积; A 为建设用地斑块类型中所有扩张斑块的总面积。

表 2 景观扩张指数与城市扩张模式类型

名称	取值范围	数值意义	城市扩张模式
LEI	(-1, 1]	LEI 大小反映与原斑块相比, 扩张斑块的空间规模。LEI 绝对值越大, A_p 与 A_o 差值越大。	当 LEI=1 时, 为外部扩张模式; 当 LEI≠1 时, 为邻接扩张模式。
MLEI	(-1, 1]	MLEI 越大, 外部扩张式斑块数量越多。	当 MLEI=1 时, 为外部扩张模式; 当 MLEI≠1 时, 不明确。
AWLEI	(-1, 1]	AWLEI 描述城市空间扩张过程。通常 AWLEI 越大, 城市扩张规模相对越大。	当 AWLEI=1 时, 城市只有一个扩张斑块, 且其扩张模式为外部扩张式; 当 AWLEI≠1 时, 不明确。

2 结果与分析

2.1 城市扩张的景观格局指数分析

研究运用 Fragstats4.2 软件计算得到 1980,

1990, 2000, 2010 和 2017 年 5 期 4 个城市建设用地景观类型的面积、密度、形态和集聚性方面 8 种景观格局指数(图 2), 分析城市扩张过程中的建设用地景观格局指数变化特征, 反映城市扩张规律(图 3)。

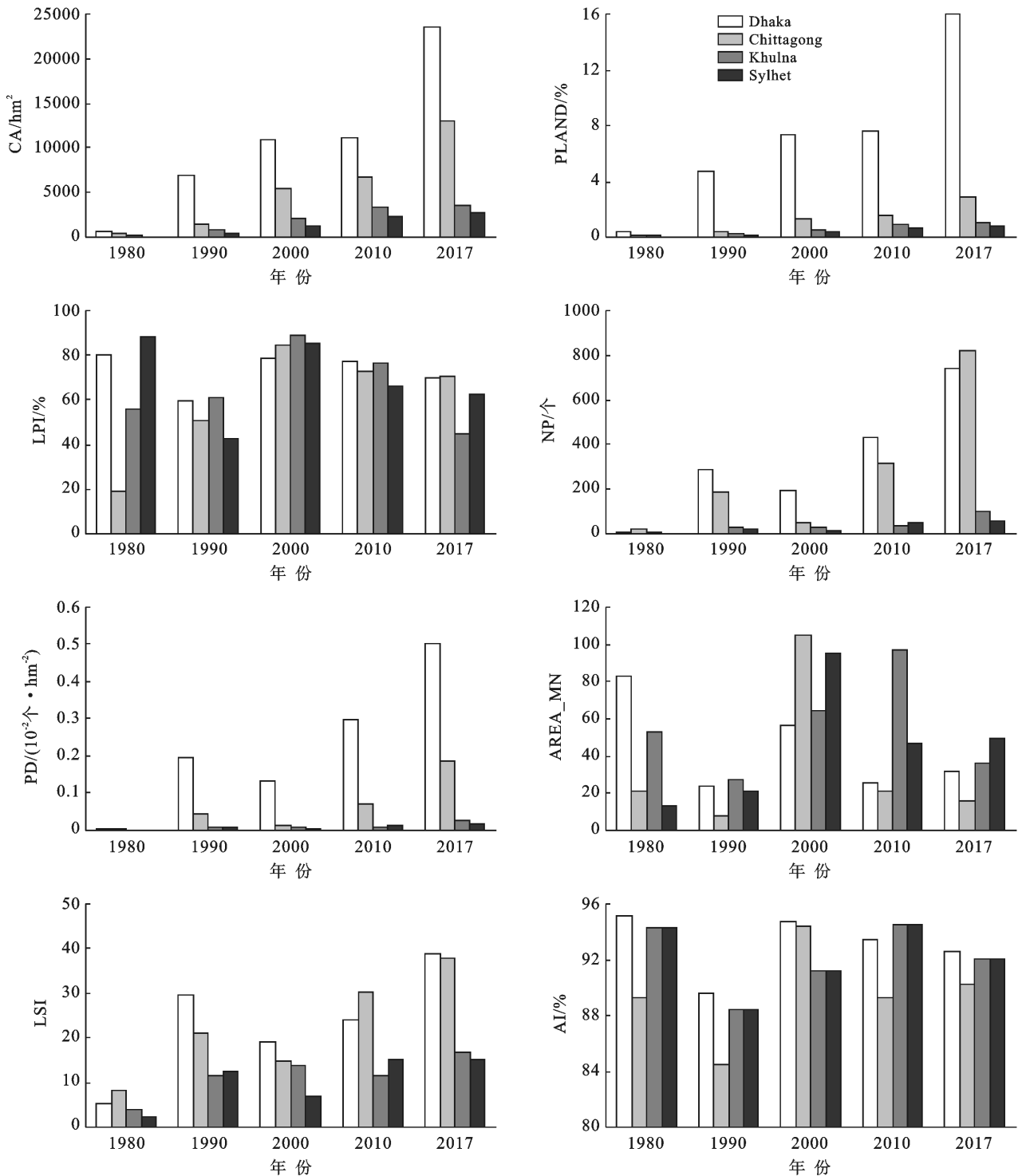


图 2 1980—2017 年 4 个城市建设用地的景观格局指数

2.1.1 景观面积指数(CA, PLAND 和 LPI)变化特征

1980—2017 年, 4 个城市的建设用地面积(CA)大幅增加(图 2—3), 城市空间显著扩张。Dhaka 城市扩张

面积增加最多, 增加了 22 805.01 hm²; Chittagong 次之, 增加了 12 520.44 hm²; Khulna 和 Sylhet 增加最小, 分别增加了 3 330.99 和 2 643.12 hm²; 1980—

2017 年, Dhaka, Chittagong, Khulna 和 Sylhet 这 4 个城市的扩张速度分别为 3 436%, 2 963%, 1 265% 和 9 888%。其中, Sylhet 地区 1980 年建设用地面积较小, 37 a 间面积增加了近 100 倍, 因此城市扩张速度最快。PLAND 表示建设用地类型面积占城市整体景观面积的比例。1980 年 4 个城市的 PLAND 均较小, 介于 0.01%~0.45% 之间; 2017 年 Dhaka 最大 (15.96%), Sylhet 最小 (0.78%); 1980—2017 年, 建设用地优势度不断增加。其中 Sylhet 和 Dhaka 增长较

快, 增长速度分别为 7 700% 和 3 347%; Chittagong 和 Khulna 增长较慢, 分别为 2 840% 和 1 150% (图 2)。建设用地中的最大斑块占建设用地类型面积比例 (LPI) 增加表明建设用地中优势斑块增大, 人类活动增强。1980—2017 年, Dhaka, Chittagong 和 Sylhet 的 LPI 持续增加, 分别增加了 10.12, 2.04, 0.48, 说明 3 个城市在扩张的同时不断集聚; Khulna 则先增后减, 前 30 a 间由 0.04 增至 0.70, 后 7 a 降至 0.45, 说明该城市持续扩张后出现离散和破碎化的趋势 (图 2)。

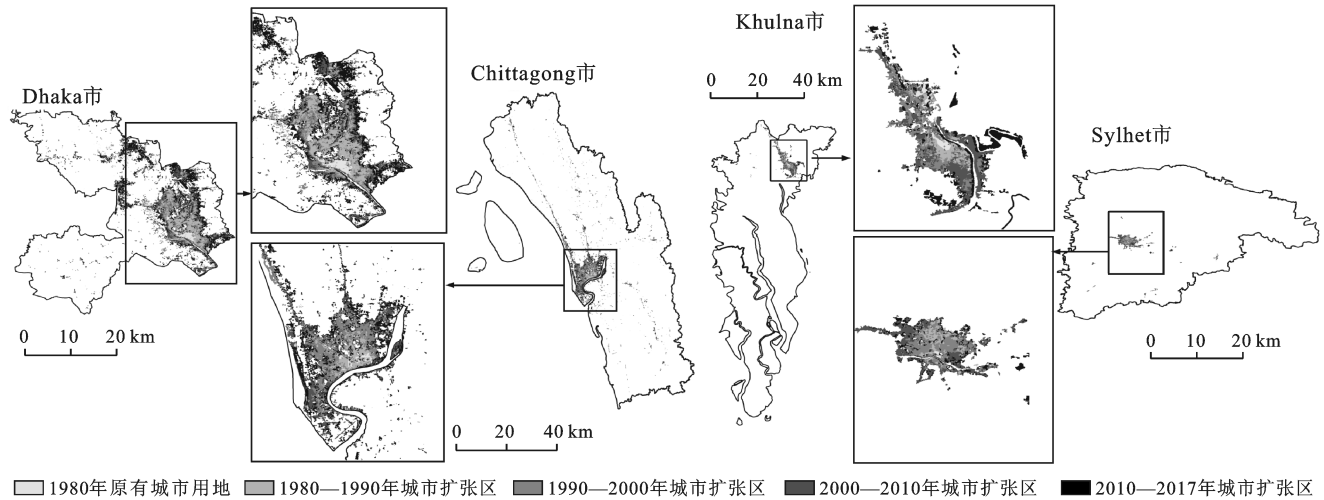


图 3 城市 1980—2017 年城市扩张空间分布及细节放大图

2.1.2 景观斑块密度及差异指数 (NP, PD 和 AERA_MN) 变化特征 建设用地斑块数量 (NP) 越多, 建设用地景观破碎度越高。1980—1990 年, 4 个城市的 NP 均增加, 增长速度介于 460%~3 513% 之间; 1990—2000 年, Dhaka, Chittagong 和 Sylhet 的 NP 减少, 其中 Chittagong 减少速度最快 (-71.80%), Khulna 缓慢增加, 增长速度为 10.71%; 2000 年后, 4 个城市的 NP 均逐渐增加, 增长速度介于 222%~1 441% 之间。NP 的变化受新增斑块与原斑块相对位置的影响, 若新增斑块与原斑块不相连, NP 值增加; 若新增斑块在原斑块的基础上扩张 (与之相连), NP 将保持不变或减少。1980—1990 年, 4 个城市的 NP 均增加, 说明破碎化程度均较高; 1990—2000 年, Dhaka 和 Chittagong 城市的 NP 大幅减少, 但是两城市的扩张面积持续增加, 说明 10 a 间零散的建设用地斑块扩张并相互合并, 城市连通度增加, 而其他两个城市的 NP 变化不大; 2000 年后, 4 个城市的 NP 均再次增加, 说明城市发展加快过程中破碎化逐渐显现。建设用地斑块密度 (PD) 反映景观空间结构复杂性, 与景观破碎化程度成正比^[21]。PD 越大表明城市建设用地斑块分布越破碎, 空间异质性越高^[22]。

1980 年以来, Dhaka, Chittagong 和 Sylhet 的 PD 呈先增后减再增的变化趋势, 其中 Dhaka 城市增量最大, Khulna 则持续增加, 说明 4 个城市建设用地景观总体趋于复杂。建设用地平均斑块面积 (AERA_MN) 可表征景观破碎度, AERA_MN 越小, 破碎度越高^[23]。1980—2017 年, Dhaka, Chittagong 和 Khulna 的 AERA_MN 变动差异较大, Sylhet 则逐渐增大 (图 2), 表明该城市的景观破碎化程度逐渐降低。

2.1.3 景观形状指数 (LSI) 变化特征 LSI 越大, 城市建设用地斑块形态越复杂和不规则化, 人类活动对城市生态系统干扰较强^[24]。1980—1990 年, 4 个城市的 LSI 均增加, 表明城市扩张的空间形态向复杂化、不规则化和多样化发展; 1990—2010 年, Khulna 的 LSI 相对较低且变化较小, 表明该城市扩张形态趋于稳定, 而 Dhaka, Chittagong 和 Sylhet 城市的 LSI 持续增加, 表明它们的扩张形态逐渐破碎和不规则化; 2010—2017 年, Dhaka 的 LSI 增加最多, 是城市扩张最不规则的城市, 其他城市增加相对较少。

2.1.4 景观聚集度指数 (AI) 变化特征 AI 描述城市建设用地空间连通性及聚集程度, AI 越大表示建设用地景观中斑块越聚集, 连通性强且结构紧凑。

1980—2017年,4个城市的AI均介于84%~95%之间,表明城市建设用地聚集程度较高且连通性较好。但总体AI呈下降趋势,说明城市建设用地聚集度降低,景观异质性增强(图3)。综上所述,1980—2017年,景观面积指数(CA,PLAND,LPI)变化表明4个城市扩张面积持续增加,但各城市扩张面积与速度差异较大,建设用地景观类型优势度不断增加;景观斑块密度大小及差异指数(NP,PD,AERA_MN)变化表明4个城市的NP总体呈增加趋势,景观破碎化明显,空间结构复杂且异质性不断增加;景观形状指数(LSI)变化表明4个城市扩张的空间形态趋于复杂和不规则化;聚集性指数(AI)总体较大,但均有不同程度降低,表明景观异质性增强。主要原因是1980年以来孟加拉国人口不断增长,成为世界上人口密度最

高的国家之一;通过不断调整和改革探索,产业结构得到优化,第一产业比重下降,第二、三产业比重上升,社会经济持续稳定增长;特别是近年来该国积极参与区域合作,强力响应“一带一路”倡议,通过不断融资,基础设施逐渐完善。这些因素共同促进了孟加拉国的城市扩张,城市建设用地景观优势度不断提高,扩张面积持续增加,破碎化程度波动上升,景观格局向复杂化和不规则化方向发展,景观空间形态逐渐多样化。

2.2 城市扩张模式分析

研究通过ArcGIS 10.2和Excel软件计算景观扩张指数(LEI)、平均景观扩张指数(MLEI)和面积加权平均景观扩张指数(AWLEI),分析城市扩张模式和扩张规模(表3)。

表3 Dhaka,Chittagong,Khulna和Sylhet地区1980—2017年景观扩张指数对比

项目	时期	Dhaka市	Chittagong市	Khulna市	Sylhet市
LEI处于(-1,1)区间的斑块数量(个)及其所占比例/%	1980—1990年	25 7.49%	40 18.35%	29 53.70%	7 21.88%
	1990—2000年	729 85.26%	125 80.13%	164 87.70%	76 86.36%
	2000—2010年	641 66.70%	795 75.42%	163 86.70%	124 76.07%
	2010—2017年	770 50.55%	1454 66.94%	246 81.45%	403 95.05%
LEI=1的斑块数量(个)及其所占比例/%	1980—1990年	309 92.51%	178 81.65%	25 46.30%	25 78.13%
	1990—2000年	126 14.74%	31 19.87%	23 12.30%	12 13.64%
	2000—2010年	320 33.30%	259 24.57%	25 13.30%	39 23.93%
	2010—2017年	753 49.44%	718 33.06%	56 18.54%	21 4.95%
MLEI	1980—1990年	0.84	0.68	0.01	0.71
	1990—2000年	-0.52	-0.32	-0.57	-0.59
	2000—2010年	-0.24	-0.47	-0.62	-0.40
	2010—2017年	0.11	-0.19	-0.57	-0.79
AWLEI	1980—1990年	0.96	0.84	0.36	0.90
	1990—2000年	0.34	0.91	0.40	0.71
	2000—2010年	-0.07	0.02	-0.06	0.52
	2010—2017年	0.78	0.45	0.08	-0.32

2.2.1 景观扩张指数(LEI)分析 由表3可知,1980—1990年,Dhaka,Chittagong和Sylhet城市的外部扩张式斑块均占扩张斑块总量的78%以上,城市扩张的主要模式为外部扩张式,而Khulna城市的邻接扩张式斑块占扩张斑块总量的53.70%,扩张模式以邻接扩张式为主;1990—2000年,4个城市的外部扩张式斑块占比均大幅下降,邻接扩张式斑块占比增加显著,占比均介于80.13%~87.70%之间,邻接

扩张式成为了4个城市的主要扩张模式;2000—2010年4个城市的外部扩张式斑块占比虽小幅下降,占比均介于66.70%~86.70%之间,但仍是4个城市的主要扩张模式;2010—2017年,Sylhet的邻接扩张式斑块占比增加(95.05%),其他3个城市占比下降,介于50.55%~81.45%之间,4个城市的外部扩张式斑块均超过扩张斑块总量的1/2,邻接扩张式仍是4个城市的主要扩张模式(图4)。

2.2.2 平均景观扩张指数(MLEI)分析 由表 3 可知,1980—1990 年,Dhaka,Chittagong 和 Sylhet 的 MLEI 远大于 Khulna,表明 3 个城市的外部扩张式斑块数量比 Khulna 多;1990—2010 年,4 个城市的 MLEI 均为负值,表明它们的外部扩张式斑块数量均较少;2010—2017 年,Dhaka 的外部扩张式斑块数量较多,其他 3 个城市较少。其中,2017 年 Dhaka 的外部扩张式斑块数量为 753 个,Sylhet 仅为 21 个(表 3)。

2.2.3 面积加权平均景观扩张指数(AWLEI)分析 由表 3 可知,1980—1990 年,Dhaka,Chittagong 和 Sylhet 城市的 AWLEI 远大于 Khulna,表明它们的空间扩张规模较大,Khulna 较小;1990—2000 年,

Chittagong 和 Sylhet 两城市的空间扩张规模较大;2000—2010 年,Sylhet 城市扩张规模较大,Dhaka 和 Khulna 两城市较小;2010—2017 年,Dhaka 和 Chittagong 两城市扩张规模较大,Sylhet 较小(图 4)。总体上,1980—1990 年,Dhaka,Chittagong 和 Sylhet 3 个城市扩张的主要模式是外部扩张式,Khulna 城市是邻接扩张式,1990—2017 年,4 个城市扩张的主要模式均为邻接扩张式(表 3,图 4);Dhaka 在 1980—1990 年,2000—2017 年的扩张规模较大,Chittagong 在 1980—2000 年,2010—2017 年的扩张规模较大,Khulna 仅在 2000—2010 年扩张规模较大,Sylhet 在 1980—2000 年扩张规模相对较大。

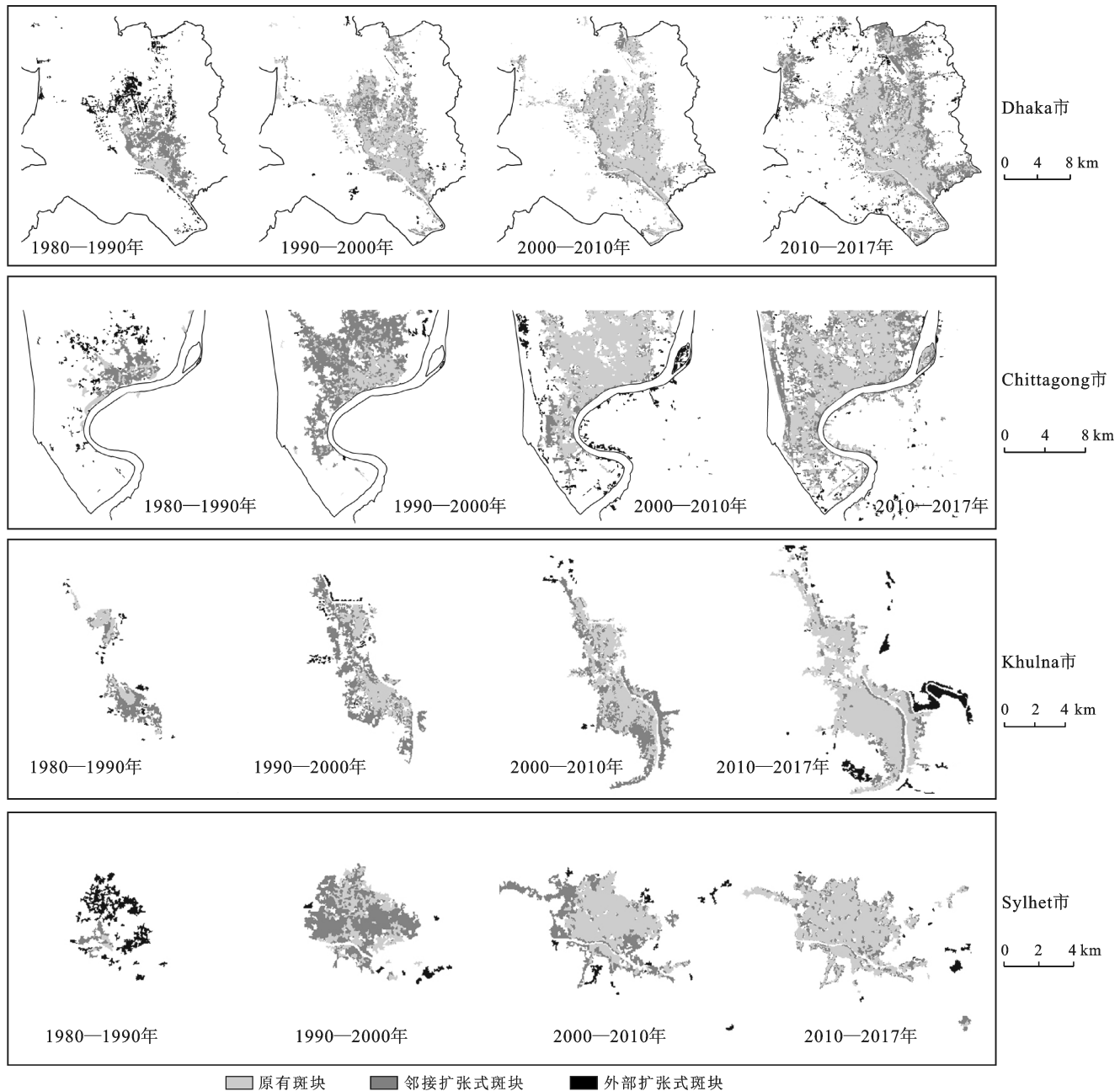


图 4 不同时期内 Dhaka,Chittagong,Khulna 和 Sylhet 城市扩张模式空间分布及细节图

3 讨论

3.1 关于城市扩张景观格局时空动态变化结果的探讨

1980—2017 年,孟加拉国 4 个城市均快速扩张,但扩张的景观格局时空动态特征存在差异。4 个城市的扩张规模为: Dhaka > Chittagong > Khulna > Sylhet, 扩张速度为: Sylhet > Dhaka > Chittagong > Khulna。这与前人的研究结果“城市扩张速度与城市规模成反比”不尽相同^[25-26], Sylhet 符合这一规律,其他 3 个城市则相反。Sylhet 由于 1980 年城市建设用地面积较小,面积成倍增长后体现出较快的城市扩张速度。其他 3 个城市扩张速度与城市规模关系与前人研究结果不符,则是因为孟加拉国特殊的国情。首都 Dhaka 是世界上人口密度极高的城市之一,为容纳更多人口,其城市范围必定持续扩张; Chittagong 作为孟加拉国第二大城市,拥有该国 40% 的大型工业,工业和贸易业的快速发展需要大量劳动力,促进了 Chittagong 城市空间快速扩张。人口的大量涌入和经济的高速发展导致近 40 a 来 Dhaka 和 Chittagong 两城市的扩张速度居高不下,高于规模较小的 Khulna。同时,世卫组织曾指出,行政地位较高的城市更有可能获得大量的土地资源,来满足城市空间扩张与经济发展需求,城市扩张范围也与其自然环境、行政区划、人口密度和规划实施的差异有关^[26]。Dhaka 作为孟加拉国首都和第一大城市,城市扩张面积总增量最大,与 Fei 等^[3]和 Terfa 等^[27]在中国和非洲的城市扩张研究结果一致。孟加拉国、中国和非洲等广大发展中国家都处于城市快速扩张阶段,扩张特征存在相似性。1980—2017 年,孟加拉国 4 个主要城市扩张特征存在相似性,多表现为城市扩张面积增加、规模变大、景观破碎化程度加剧,空间异质性特征增强,斑块形状趋于复杂并朝多样化方向发展。这与 Schneider 等^[28]和 Wu 等^[29]分别对全球 25 个城市和美国 2 大城市(凤凰城和拉斯维加斯)的景观格局研究结论相似。1980 年以来,4 个城市扩张的主要模式总体呈由外部扩张式向邻接扩张式转变的趋势。虽然它们的扩张规模大、速度快,但扩张方式较为杂乱且无序。为控制孟加拉国主要城市的非理性扩张,政府应加强城市扩张监测和调控,建立长期的城市扩张评估机制;完善土地征用程序,制定农田保护政策;提高土地利用效率,促进土地资源的集约节约利用;增强公众参与度,听取意见,凸显城市规划的效用,促进城市可持续发展。

3.2 孟加拉国城市建设用地扩张可能对城市建成区及边缘区造成的环境影响

洪水无疑是孟加拉国的主要自然灾害和环境问

题。近年来,虽然频繁发生的洪灾引起了全球的重点关注,但由于暴雨后城市的内涝问题和城市边缘低洼地区的长期洪水泛滥已成为孟加拉国城市普遍存在的问题。特别是快速城市化导致的不透水表面的增加,加剧了雨季洪灾对 Dhaka, Chittagong, Khulna 和 Sylhet 城市的影响,为适应不断增长的人口,1980—2017 年 4 个城市建设用地有了显著扩张,其大规模的扩张和不透水表面的增加,改变了原有的自然排水系统,导致了下垫面的改变,土地硬化情况严重。一方面导致径流系数增加,洪峰提前,使得雨水下渗量减少,地面径流的汇流时间变短,导致河流和湖泊湿地等水域水位增加;另一方面城市规模不断扩大,城市建设逐步在地势低平或低洼地进行,人工化的城市环境改变了雨水汇流机制,导致低洼地区自然排水不畅,造成水土流失加剧、水系紊乱和河道与排水管网淤塞等情况,导致城市防洪排涝能力下降。

建设用地的大规模扩张也会对城市边缘区的水土流失产生影响,城市建设用地边缘区是典型的生态脆弱带,作为城市与农村之间的过渡地带,是人类活动对自然环境的影响和作用最强烈、变化最迅速的地区,在这个各种建筑活动高度集中的特殊地带,是城市水土流失的主要策源地。随着城市化进程加快,人口迅速增长、建设用地显著扩张、不透水表面的增加和缺乏有效的环境政策是造成孟加拉国城市内涝、水土流失问题严重、原有地表植被受损、原有地类地貌发生变更的因素,同时这些人类活动也增加了其他自然灾害发生的频率和强度。研究孟加拉国 4 个城市长时间序列的土地利用/覆盖变化和景观格局时空变化特征有利于为实现城市可持续发展和缓解自然灾害环境问题提供可靠有效的基础数据。

4 结论

(1) 1980—2017 年,孟加拉国 4 个主要城市的扩张面积持续增加。2017 年 Dhaka, Chittagong, Khulna 和 Sylhet 这 4 个城市的扩张速度较 1980 年分别增长了 3 436%, 2 963%, 1 265% 和 9 888%。

(2) 1980—2017 年,孟加拉国 4 个主要城市景观格局发生显著变化,城市扩张面积持续增加、景观优势度加强、破碎化程度波动上升,整体景观格局向复杂化和不规则化方向发展,景观空间形态逐渐多样化。

(3) 1980—1990 年, Dhaka, Chittagong 和 Sylhet 的城市扩张的主要模式是外部扩张式, Khulna 主要为邻接扩张式, 1990—2017 年, 邻接扩张式成为 4 个城市扩张的主要模式, 城市连通度逐渐增高。

[参 考 文 献]

- [1] The UN Department of Economic and Social Affairs. 2018 of Revision World Urbanization Prospects [R]. UN: New York, 2018.
- [2] Zhang Zengxiang, Li Na, Wang Xiao, et al. A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Tangshan from the 1970s to 2013 [J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(6):496.
- [3] Fei Weicheng, Zhao Shuqing. Urban land expansion in China's six megacities from 1978 to 2015 [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 664:60-71.
- [4] Bisrat K A, Gizaw M T, Gerrit H S, et al. Influence of urbanization-driven land use/cover change on climate: The case of Addis Ababa, Ethiopia [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2018, 105:212-223.
- [5] Shen Xiaoqiang, Wang Xiangdong, Zhang Zhou, et al. Evaluating the effectiveness of land use plans in containing urban expansion: An integrated view [J]. *Land Use Policy*, 2019, 80:205-213.
- [6] 赵国松, 刘纪远, 匡文慧, 等. 1990—2010 年中国土地利用变化对生物多样性保护重点区域的扰动[J]. *地理学报*, 2014, 69(11):1640-1650.
- [7] 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.
- [8] Tewolde M G, Cabral P. Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea [J]. *Remote Sensing*, 2011, 3(10): 2148-2165.
- [9] Aguilera-Benavente F, Botequilha-Leitão A, Díaz-Varela E. Detecting multi-scale urban growth patterns and processes in the Algarve region (Southern Portugal) [J]. *Applied Geography*, 2014, 53: 234-245.
- [10] Taubenboeck H, Wegmann M, Roth A, et al. Urbanization in India: Spatiotemporal analysis using remote sensing data [J]. *Computers Environment and Urban Systems*, 2009, 33(3):179-188.
- [11] Liu Xiaoping, Li Xia, Chen Yimin, et al. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data [J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(5):671-682.
- [12] 武鹏飞, 周德民, 宫辉力. 一种新的景观扩张指数的定义与实现[J]. *生态学报*, 2012, 32(13):4270-4277.
- [13] Deng J S, Wang Ke, Hong Yang, et al. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(3/4):187-198.
- [14] Li Huilei, Peng Jian, Liu Yanxu, et al. Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 82: 50-60.
- [15] 徐涵秋, 王美雅. 地表不透水面信息遥感的主要方法分析[J]. *遥感学报*, 2016, 20(5):1270-1289.
- [16] Wu Chao, Yuan Fang. Seasonal sensitivity analysis of impervious surface estimation with satellite imagery [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2007, 73(12):1393-1401.
- [17] 毕森, 王恒, 张丽, 等. 基于不透水面的海南港口城市扩张分析[J]. *应用科学学报*, 2017, 35(3):346-354.
- [18] 金平斌, 朱鑫宇, 王权. 杭州市区 LUCC 与社会经济的关系研究[J]. *国土与自然资源研究*, 2016(1):1-6.
- [19] 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.
- [20] 易海杰, 张丽, 罗维, 等. 1990—2013 年洋河流域土地利用景观格局的粒度效应[J]. *中国农学通报*, 2018, 34(19):83-95.
- [21] 任梅, 王志杰, 王志泰, 等. 黔中喀斯特山地城市景观格局指数粒度效应: 以安顺市为例[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(10):3137-3145.
- [22] 殷小彤. 西北地区农村居民点景观格局指数的尺度效应及其最佳粒度选择分析: 以西安市为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(12):149-154.
- [23] Mcgarigal K, Marks B J. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure [J]. *General Technical Report Pnw(Usa)*, 1995, 351:1-122.
- [24] 韩逸, 郭熙, 江叶枫, 等. 南方丘陵区耕地质量与景观格局指数相关性分析[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(5): 1057-1065.
- [25] Zhao Shuqing, Zhou Decheng, Zhu Chao, et al. Spatial and temporal dimensions of urban expansion in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 49(16):9600-9609.
- [26] Kuang Wenhui, Chi Wenfeng, Lu Dengsheng, et al. A comparative analysis of megacity expansions in China and the U S: Patterns, rates and driving forces [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 132:121-135.
- [27] Terfa B K, Chen Nengcheng, Liu Dandan, et al. Urban expansion in ethiopia from 1987 to 2017: Characteristics, spatial patterns, and driving forces [J]. *Sustainability*, 2019, 11(10):1-21.
- [28] Schneider A, Woodcock C E. Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparison of urban growth in, twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information [J]. *Urban Studies*, 2008, 45(3):659-692.
- [29] Wu Jianguo, Jenerette G D, Buyantuyev A, et al. Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States [J]. *Ecological Complexity*, 2011, 8(1):1-8.