

基于MSPA与混淆矩阵的绿地系统格局演化及其驱动因子研究——以伦敦为例

Research on Green Space System Pattern Evolution and Its Driving Factors Based on MSPA and Confusion Matrix—Taking London as an Example

戴菲
毕世波
陈明
郭晓华*

DAI Fei

BI Shibao

CHEN Ming

GUO Xiaohua

摘 要: 绿地系统的类型、景观组分及驱动力分析和评价能够为绿地系统的未来规划起到指导作用。伦敦是推动世界建设城市环城绿带的成功典范。以其为例, 首先依据相关政策研究了1975—2018年6个时间点的绿地变化情况。而后借助ENVI5.3、ArcMap10.5、混淆矩阵和MSPA等技术方法从时间、空间维度与绿地格局的类型层面对其1975年来的绿地系统进行了深入探究, 提出从时空变化到驱动力分析的绿地系统研究思路。结果表明: 1) 伦敦1975年来的绿地系统发展可分为3个阶段: 1975—1990年的缓慢减少期、1990—2011年的迅速恶化期、2011年至今的迅速恢复与完善期, 绿地面积占比从1975年的39.83%下降至1990年的38.57%、2011年的30.71%, 最后迅速上升至2018年的44.45%; 2) 核心区景观类型从占该年绿地系统比例39.83%的253.16km²增长至2018年的310.7km², 但边缘仅增加了3.08km², 绿地与周边非绿地系统用地的过渡地带有待于进一步完善; 3) 研究时间段总体变化的kappa系数为0.68。土地利用类型的变化程度依次为33%、29%、34%、22%、37%, 总体变化程度为32%; 植被用地的平均变化率依次为21.73%、18.70%、21.63%、15.55%、21.66%, 总体变化率为19.39%; 主要的驱动力, 建设用地 > 裸地 > 水域; 基于MSPA与混淆矩阵的绿地研究方法具有可行性。

关键词: 风景园林; MSPA; 混淆矩阵; 绿地系统; 格局演化; 驱动因子

文章编号: 1000-6664(2020)11-0034-06

DOI: 10.19775/j.cla.2020.11.0034

中图分类号: TU 986

文献标志码: A

收稿日期: 2019-02-26

修回日期: 2019-08-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“消减颗粒物空气污染的城市绿色基础设施多尺度模拟与实测研究”(编号51778254)和国家自然科学基金青年项目“城市道路绿地微气候效应的ENVI-met模拟及景观绩效研究”(编号51908063)共同资助

Abstract: The type, landscape composition and driving force analysis and evaluation of green space system can guide the future planning of green space system. London is the most successful example of promoting the world's green belt around city. Taking this as an example, this paper studies the changes of green space at six time points from 1975 to 2018 according to relevant policies. Then, with the help of ENVI5.3, ArcMap10.5, confusion matrix and MSPA, the green space system from 1975 has been deeply explored from the time and space dimensions and the type of green space pattern, and from time-space perspective, green space system research ideas is proposed. The results show that: 1) The development of green space system in London in 1975 can be divided into three stages: the slow reduction period from 1975 to 1990, the rapid deterioration period from 1990 to 2011, and the rapid recovery and improvement period from 2011 to the present. The proportion of green area decreased from 39.83% in 1975 to 38.57% in 1990 and 30.71% in 2011, and quickly rose to 44.45% in 2018; 2) The landscape type in the core area increased from 253.16km², which accounted for 39.83% of the green space system in the year, to 310.7km² in 2018, but the edge only increased by 3.08km², and the transitional zone between green space and surrounding non-green space system land needs further improvement; 3) The Kappa coefficient of the overall change of the study time period is 0.68. The degree of land use change was 33%, 29%, 34%, 22%, 37% and the overall change degree was 32%; while the average change rate of vegetation land was 21.73%, 18.70%, 21.63%, 15.55%, 21.66%, and the overall rate of change is 19.39%; the main driving force is construction land > bare land > waters; and the greenfield research method based on MSPA and confusion matrix is feasible.

Keywords: landscape architecture; MSPA; confusion matrix; green space system; pattern evolution; driving factor

城市绿地以植被为主要存在形式, 是用于改善城市生态、保护环境, 为居民提供游憩场所和美化城市的一种城市用地^[1]。绿地系统不仅能提供生态系统服务, 还可为人类身心提供健

康的环境^[2]。20世纪90年代后, 中国绿地系统的研究取得了较快的发展。相关研究内容主要集中在城市绿地及其面积^[3]、城市公园与绿带等绿地组分^[4-5]、评价指标与体系^[6]等层面。此

外, 就其研究方法或技术而言, RS、GIS, 尤其GPS的广泛应用, 大大推进了PPGIS的发展, 为GIS提供了新的数据来源^[7]。

既有相关绿地系统生态格局的研究方法与内

* 通信作者(Author for correspondence) E-mail: 22715865@qq.com

容,多基于Worldview、Quick Bird、Landsat等影像数据源,通过RS、GIS、Fragstats等技术平台^[8],借助景观格局等指数^[9]对区域、城市、街区尺度绿地景观格局的历史演变^[10]、绿地系统破碎化、多样化程度的评价^[11]等方面进行研究,主要从宏观层面反映了绿地系统空间格局的特征及存在的问题,未能落实到具体的空间区位规划层面,也就难以基于生态视角提出具体的绿地系统完善策略。因此,相应的研究就显得尤为重要。

近年兴起的形态学空间格局分析方法——MSPA(Morphological Spatial Pattern Analysis),为绿地系统适应新时代的发展要求提供了崭新的研究视角。其是Vogt等学者基于腐蚀、膨胀、开启等数学形态原理对相应图像的形态空间格局进行识别度量分级的方法^[12],不仅可用于评估不同尺度空间绿地系统的网络格局、类型,亦可与其他方法结合评估景观的连通性^[13],为绿地系统的构建和城市的可持续发展提供借鉴^[14],被广大学者广泛应用。但MSPA的作用与意义主要发生在生态层面,不能反映绿地的功能问题,而混淆矩阵可用于如与树种检验或评估相关分类的准确性^[15],可量化不同年份间不同类型地物及其间的变化情况,且能基于ENVI技术平台所得的土地利用分类明晰促使其变化的主要驱动力。这既能弥补MSPA技术不能反映土地类型及其功能的不足之处,又能明晰促使基于MSPA的各绿地格局演变的动因。二者具有“表与里”的关系,结合后能为从生态学角度探索绿地系统构建方法和提出针对性改善策略提供理论依据,亦能解决既有相关绿地系统格局的研究不能落实到具体的空间区位规划层面的问题。

伦敦作为公认的“绿色城市”和“最适宜居住的城市”^[16],其绿地系统的发展有着相应的法规政策作为保障。尤其是1976年的大伦敦发展规划(The Greater London Development Plan),作为第二次开放空间规划,成为伦敦绿地系统发展的重要节点。此外,伦敦在时间与空间双重维度与我国的城市有着共性——其不仅经历了严重的空气颗粒物污染,而且城市空间结构与北京等城市相似,符合本文的研究目的。因此,以伦敦为实证对象能更好地体现MSPA方法在研究绿地系统格局动态演化中的作用与现

表1

伦敦与绿地相关的政策及内容

年份	法规与政策	主要内容
1976	大伦敦发展规划(尤其是东南部)	公园应按照不同的大小等级来配置,增加“绿链”建设内容
1984	相应城市保护政策,确定1300多处保护地	绿色生态廊道成为野生动物迁徙的通道
1991	伦敦开放空间规划的绿色战略报告(Green Strategy Report)	面对约900hm ² 绿地遭到损坏或退化等问题,提出了一系列叠加的网络
2000后	面对人口增长对法规进行调整	经济利益诱使立法机构改变绿化带的土地利用法规
2004	泰晤士河通道绿地建设的战略性文件、“蓝丝带水道网”计划	加强和保护多样的地方特征,强调景观“增长,公平和可持续发展”,将伦敦变成世界大城市中的花园和景观之都
2010后	“乡村保护运动”和“自然英格兰”组织研究报告等	大伦敦绿带中,92%是未利用地,绿带有效地保护和改善了城市的环境

实意义,还能为我国城市绿地系统的完善与面临的颗粒物污染问题的解决提供切实可行的新思路。

鉴于此,本文依据相关法规政策,选取伦敦自1975年来6个时间节点的绿地资料,通过将MSPA和混淆矩阵分别作为探究绿地系统的“表”与“里”来分析绿地系统时间和空间维度的形态格局演化及其驱动因子,以此探究生态层面的MSPA与功能层面的混淆矩阵相结合的绿地系统研究新思路,以从生态视角为我国绿地系统的规划与建设提供方法参考与实践依据。

1 研究地区概况

大伦敦横跨泰晤士河,包含英国的首都伦敦及周边32个卫星城,经纬度分别位于-0.6°W~0.4°E,51.3°N~51.7°N,面积约为1595km²。属于全年温和湿润的温带海洋性气候。1938年,大伦敦地区区域规划委员会通过了绿化带法。强调植被包含着人类主要的定居和活动地的土地^[17]。环城绿化带是伦敦绿色空间的重要特征。自1976年的第二次开放空间规划以来,为应对绿地系统发展过程中显现的诸多问题,完善绿地系统建设,制定了一系列相关法规与政策^[16,18]。这为本文所选的6个时间节点的影像资料提供了依据(表1)。

2 研究方法

2.1 数据来源与选取

1976年的大伦敦发展规划要求在开放空间中,应按照不同的大小等级来配置大城市公园、区域公园、地方公园和小型地方公园,自此形成了开放空间点、线结合的网络空间结构^[19]。本文

据此通过美国地质勘探局(USGS)网站,结合遥感影像的云量等参数条件,从1975—2018年40多年间依次获取了1975年7月、1985年6月、1990年8月、2000年6月、2010年6月和2018年6月的Landsat1-5MSS、Landsat4-5TM、Landsat7ETM+、Landsat8OLI共6个时间节点的影像数据信息,其中除1975年影像的分辨率为60m外,其余均为30m。

2.2 数据处理

首先,基于ENVI5.3对大伦敦区域的遥感影像进行校正、融合与增强处理,通过样本的选取及其分离度检验后进行监督分类,将研究区域分为植被(包含农业用地)、建设用地、裸地和水域4类。其次,通过ArcMap10.5一方面将植被用地重新赋值为2,其他用地类型赋值为1,将监督分类后的图像进行重分类,得到二值图及相应的数据。利用Guidos Toolbox软件中的MSPA(形态学空间格局分析)将6个时间节点的二值图进行量化分类来提取并分析伦敦绿地系统网络组分,进而分析其中主要的变化情况。另一方面通过栅格转面工具对ENVI5.3所得监督分类图进行矢量化数据转换,借助相交分析获取不同年份的土地利用转移矩阵,并借助Kappa系数量化相应的土地利用变化情况。通过CE、OE分析植被的平均变化率及各研究时段的主要驱动力。

2.3 MSPA方法

近年来,MSPA作为一种形态空格局分析方法,被引入生态网络分析中。通过MSPA可将研究区域的绿色基础设施(GI)分为:核心区(Core)、孤岛(Islet)、边缘(Edge)、桥连接(Bridge)、分支(Branch)、环(Loop)和孔隙(Perforation)7类互不重叠的景观组分^[20]。而城

市绿地系统具有连接性、网络结构性、整体性等特点^[21]。这符合MSPA方法的范畴及其代表的生态学含义(表2)。我国的城市绿地系统多指园林绿地系统,其作为一个城市系统的独立子系统,包括城市各类和各规模的绿地,它们之间特定的组织方式构成了绿地系统独立性的结构特征。MSPA方法通过提取其中各类和各规模的绿地组分作为前景并能将其分为7类,由此能评估不同尺度空间绿地系统的网络格局,还能更精确地分辨出景观的类型与结构^[22],有利于形成更合理的绿地系统空间结构。此外,相关研究也已证明当绿地覆盖率小于40%时,绿地整体生态效益的发挥主要取决于绿地的内部结构和空间布局。基于此,本文尝试引入MSPA方法仅提取城市绿地系统各组分作为前景,对其进行研究,为城市绿地系统格局的优化提供新的思路。

2.4 混淆矩阵

混淆矩阵是精度评价的一种方法,在土地利用分类中包含着kappa系数(公式1)、生产者精度Producer's Accuracy(PA)、用户精度User's Accuracy(UA)、总体分类精度、误判误差Commission Error(CE)(公式2)与漏判误差Omission Error(OE)(公式3)等概念。Kappa系数由Cohen在1960年提出^[23],地理信息技术领域常用于评价遥感影像的分类精度。若2幅影像图完全一致,则kappa值为1;当 $0.75 \leq \text{kappa} < 1$ 时,2幅影像一致性较高; $0.4 \leq \text{kappa} < 0.75$,2幅影像一致性一般; $0 \leq \text{kappa} < 0.4$,2幅影像一致性较差^[24]。尝试通过PA、UA、CE、OE判断伦敦绿地变化,并依据kappa系数的概念认为可用公式(4)评价不同年度土地利用的变化的剧烈程度。

$$K = (P_o - P_c) / (1 - P_c) \quad (1)$$

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N} \quad P_c = \frac{\sum_{i=1}^r (X_{i+} \cdot X_{+i})}{N^2}$$

$$CE = 1 - X_{ii} / X_{i+} \quad (\text{用户精度}) \quad (2)$$

$$OE = 1 - X_{ii} / X_{+i} \quad (\text{生产者精度}) \quad (3)$$

$$D = (1 - K) \times 100\% \quad (4)$$

$$P/t = (CE + OE) / 2 \quad (5)$$

式中, r 为交叉表的行的数量; X_{ii} 为沿着对角线上的类型组合的数量; X_{i+} 为行*i*的总的观测数; X_{+i} 为列的总的观测数量; N 为单元格总数量; D 为土地利用类型的波动程度; P/t 为某类用

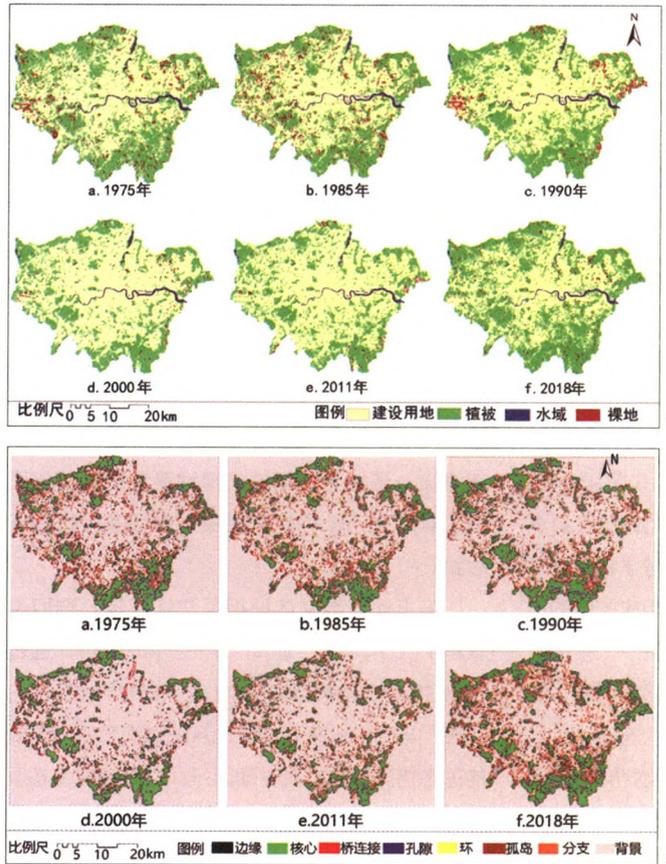


图1 1975—2018年伦敦土地利用情况

图2 1975—2018年伦敦绿地MSPA类型

地的平均变化率。

3 研究结果

3.1 伦敦绿地空间分布

1981—1991年,环城农业用地减少了11%,降到151km²,2001年减至120km²,改变用途的土地从2.4m²增加到5.38km²,环城绿带中非农业用途的再利用方式违背了环城绿带建设的基本原则^[25]。通过ENVI5.3对伦敦6个时间点的土地利用情况可视化分析后,将1975年以来的伦敦土地利用情况分为3个阶段:第1阶段为1975—1990年,为绿地缓慢减少期。主要表现为截至1975与1985年,裸地在伦敦土地利用中分布广泛。到1990年被破坏或不合理利用的环城绿带土地较为集中,主要分布在北部的恩菲尔德(Enfield)和雷德布里奇(Redbridge)、东北部的黑弗灵(Havering)和东南部布罗姆利(Bromley)4个自治市域,位于西部机场附近区域的绿地遭到较严重的破坏。第2阶段为1990—2011年,是绿地的迅速恶化期。至

2000年4个市均有所缓解,而北部的雷德布里奇(Redbridge)市缓解程度最弱,总体而言,该阶段城市裸地减少、建设用地增加,环城绿地与内部绿地均遭到不同程度的破坏。第3阶段为2011年至今,为迅速恢复与完善期。该阶段伦敦的绿地系统得以较快地恢复与完善,圈层分布与“绿链”特征尤为完整明显(图1)。

此外,第1阶段,植被占比从1975年的39.83%下降至37.83%,后增长至38.57%,较1975年有所下降。裸地面积先增长后下降至约48.95km²,建设用地增长至约906.17km²。第2、3阶段中,植被与建设用地呈现出完全相反的变化趋势,至2011年植被面积约为489.97km²,占比约30.71%。至2018年植被面积约为709.19km²,占比增长至44.45%。3种不同的用地类型均有不同程度的变化。

3.2 基于MSPA的绿地格局分析

通过ENVI监督分类明晰了植被用地与其他用地类型间空间分布后,基于MSPA方法,则可进一步明晰植被用地的构成类型及存在的问题。

在6个时间节点中,基于MSPA的7种景观类型均有不同程度的变化(图2)。其中在第1阶段,各景观类型的面积相对较为稳定,唯有核心区从起初占该年份绿地比例39.83%的253.16km²,降至238.6km²,而后升至272.88km²,说明了研究区内大型绿地斑块的增多。孤岛数量维持在48~55km²,孔隙维持在8.96~11.25km²,二者均处于3个阶段的中等水平,说明较多大型绿地斑块内分布有不同程度的非植被用地类型。若要提升绿地斑块的整合度,可据此对相应非植被用地进行有针对性的规划。边缘、环、桥连接和分支分别处于187.34~195.51、5.83~7.84、17.86~29.37、72.04~84.75km²。体现出虽然绿地破碎化程度较高,但绿地斑块间有较好的连接关系,绿地网络衔接良好的特征(图2a、2b、2c)。

第2阶段,核心区景观类型面积从1990年的272.88km²下降至2011年的最低196km²,其余景观类型也均呈现减少趋势。无论是各绿地斑块之间,还是绿地与其他用地起联系作用的线性绿地均受损严重。表现了绿地破碎化程度严重且孤立的总体特征(图2d、2e)。

第3阶段,核心面积增加至310.7km²,增长了114.37km²,而孤岛面积为50.42km²,低于第1阶段孤岛52.19km²的平均面积。表明该阶段伦敦绿地系统大型斑块多,体现出该阶段大型公园得以发展,风景名胜区、生物栖息地等绿地景观得以完善,但边缘面积占绿地系统的比例为28.78%,低于1975年的30.76%,也说明了绿地斑块与周边非植被用地类型间的过渡地带有待进一步完善。桥连接和分支数量增多,多表现为行道绿化、居住区绿化,以及其他线性绿地的增多(图2f)。绿地间及其与其他用地类型间的联系得以加强。

3.3 伦敦绿地变化驱动力分析

通过ArcMap 10.5的相交分析获得4类用地类型在两两研究年份间变化转移情况,利用土地利用转移矩阵探讨与植被相关的土地转移情况。并通过Kappa系数的计算来衡量不同年份间土地转移变化的比率,并探求其潜在的驱动力。

将6个研究时间点的监督分类图像进行两两叠加后,获取6幅土地利用变化图。按上文所划分的3个阶段来探讨:第1阶段,前10年,

表2

MSPA各生态要素及其色彩与含义

MSAP类型	颜色	生态学含义
核心	绿色 	前景中较大的绿色斑块,是生态网络中“源”的重要组成部分,多为生物栖息地或迁移地,在市域表现为大型公园、风景名胜区等
孤岛	棕色 	孤立的或相互联系微弱的小型绿色斑块,相当于生态网络中的“生态跳岛”,在市域层面通常表现为居住区绿地、小型公园等
边缘	黑色 	核心与外围非植被用地类型的过渡地带,起边缘效应,能减少外来因素的干扰,以保护其功能的生态性与可持续性,如风景区外围林带
桥连接	红色 	用以连接不同核心的廊道,是相邻核心斑块间用以能量、物质交换的通道,多表现为带状绿地,如防风林带
分支	橘色 	连接核心与非核心MSPA要素类型的景观廊道,是核心斑块与外围景观进行物质、能量交换的通道,如大型公园与居住区相连的道路绿带
环	黄色 	同一核心区内部相互连接的通道,用以核心区内部物质、能量相互交换的通道,多表现为斑块内部的道路绿带
孔隙	蓝色 	核心与其内部非植被用地类型的过渡地带,作用类似边缘,起边缘效应,能减少外来因素的干扰,以保护其功能的生态型与可持续性

102.29km²的植被转变为建设用地,占1975年植被面积的16.09%。建设用地的9.4%转变为绿地,裸地的36.97km²中转为植被,约占裸地面积的56.10%;后5年,75.37km²的植被转为建设用地,占绿地面积的12.49%。32.70km²植被变为裸地,占其5.42%;裸地和建设用地分别有66.38、51.90km²转为绿地,占各自用地面积的79.76%、5.87%,植被与建设用地变为裸地的土地明显增多(表3a、3b)。

第2阶段,前10年,整个市域183.51km²的绿地用地转变为建设用地,占当年植被的29.90%。裸地与建设用地变为植被的面积仅为14.36、26.63km²,分别占各自的60.61%、2.94%(表3c)。泰晤士河周边水域相应地受建设用地的侵占;后10年,63.33、8.29km²的植被变为建设用地与裸地,占其面积比13.10%、1.71%,其中主要表现为环城绿带遭到建设用地的侵占。裸地与建设用地的7.86、70.77km²转为绿地,占各自的55.82%、6.58%(表3d)。

第3阶段,建筑用地转变为绿地的区域显著增多。裸地与建设用地的9.30、245.16km²转为绿地,占各自面积的85.79%、22.81%,而绿地仅有22.30、13.14km²转变为裸地和建设用地(表3e)。就总体变化而言,在整个研究时间段内,46.08、122.01km²的裸地和建设用地变为植被。植被变为建设用地与落地的面积分别为11.10、83.27km²,分别占比1.75%、13.10%(表3f)。

自1975年以来,各研究时段土地利用类型变化的Kappa系数分别为0.67、0.71、0.66、0.78、0.63,总体变化系数为0.68。土地变化程度依次为33%、29%、34%、22%、37%,总体变化系数为32%(公式4);植被用地各年段的平均变化率分别为21.73%、18.70%、21.63%、15.55%、21.66%,总体变化率为19.39%(表3)。

4 结语与讨论

4.1 讨论

1)用地类型的“平均变化率”能说明某类用地类型的变化程度。通过kappa系数的概念试图用公式(4)验证土地利用的变化程度。此外,还基于混淆矩阵相关kappa系数、生产者精度Producer's Accuracy(PA)、用户精度User's Accuracy(UA)、误判误差Commission Error(CE)与漏判误差Omission Error(OE)等概念,尝试性地提出了用“1-kappa系数”评价土地利用类型的波动程度和“平均变化率”(公式5)的概念来量化绿地的变化程度。据此得到1975—2018年的植被用地变化程度为19.39%,这一数据与植被用地各年段的平均变化率(21.73%、18.70%、21.63%、15.55%、21.66%)的值的平均值(19.874%)相近。说明利用公式5验证某类用地类型的变化程度有一定的可行性,但介于样本数量单一,后续可通过扩大样本数量的方式对其进行进一步验证。

2)MSPA能够结合多种影像对多尺度景观进行研究^[26],为绿地系统的研究提供了极具可行性的方法。但其边缘宽度数据的设置对研究区目标和斑块的影响程度有显著变化^[27]。本文结合研究区的范围和相关研究成果将边缘设为120m^[28],并与土地利用转移矩阵中相关面积、面积占比等多维度参数相结合,为MSPA在景观类型分析时提供了一定的量化参照,两者结合可进一步优化结果的准确性与可借鉴性。后续研究一方面可进一步探讨两者在何种层面以什么样的方式进行结合能更有效地进行城市绿色基础设施的相关研究。另一方面可依据MSPA分类的7种景观类型及其间之关系具体探讨伦敦绿地系统的发展与相关法规政策的关系、存在的问题与提升策略。

3)英国国家环境局拟定的国家土地利用分类体系(NLUS)将土地类型分为15个大类。而我国具有代表性的是1984年由全国农业区划委员会分为的8个大类,分类较为粗糙^[29]。此外,英国的绿带主要是指基于农业用地与开敞空间来控制城市扩张的环城绿带^[27],是绿地系统的重要组成部分。基于此,本文将伦敦耕地作为绿地系统的组分划入“植被”这一类型,作为前景像元来研究。而我国农业用地不属于城市绿地系统的组分,与英国有着重要的区别。这就意味着在我国的相关研究中,不应照搬英国的分类标准,而应根据我国绿地系统所包含的具体组分进行提取,作为研究的前景像元来分析。尽管如此,但该文所提供的MSPA与混淆矩阵结合的研究思路能为我国绿地系统的建设提供借鉴与参考,为本文最重要的创新之处。

4.2 结语

本文以伦敦绿地系统为研究案例,首先,量化了其空间分布情况与不同区位的破坏程度,并将伦敦1975年来的绿地变化依次分为3个阶段。其次,结合土地利用转移矩阵分阶段探讨了绿地与其他用地类型间的变化情况与驱动力。最终构建了基于ENVI影像解译、ArcMap图像转换与数据处理并与MSPA方法相结合,对其绿地进行了分类与分析后与混淆矩阵结合探讨了绿地系统演变驱动力的方法。即基于ENVI的绿地空间分布研究与ArcMap的时间维度的分析后,通过MSPA与混淆矩阵结合研究绿地系统的格局、问题及其驱动力。该方法不仅能从宏观到微观、由

表3

伦敦各年段土地利用转移矩阵

a. 1975—1985年

1985/1975	裸地	建设用地	植被	水域	总计	用户精度/%
裸地	25.64	9.82	47.10	—	82.56	31.06
建设用地	2.73	777.48	102.29	2.28	884.78	87.87
植被	36.97	81.90	<u>483.95</u>	0.20	603.02	80.25
水域	—	0.26	0.90	22.91	24.07	95.16
总计	65.34	869.46	634.23	25.40	1 594.43	—
生产者精度/%	39.24	89.42	76.30	90.20	—	kappa=0.67

b. 1985—1990年

1990/1985	裸地	建设用地	植被	水域	总计	用户精度/%
裸地	8.92	7.06	32.70	—	48.68	18.32
建设用地	7.25	823.34	75.37	0.65	906.62	90.81
植被	66.38	51.90	<u>494.03</u>	0.16	612.46	80.66
水域	0.02	2.46	0.77	23.26	26.50	87.76
总计	82.57	884.76	602.87	24.07	1 594.26	—
生产者精度/%	10.80	93.06	81.95	96.63	—	kappa=0.71

c. 1990—2000年

2000/1990	裸地	建设用地	植被	水域	总计	用户精度/%
裸地	4.60	3.26	6.02	—	13.89	33.15
建设用地	14.36	876.30	183.51	2.12	1 076.29	81.42
植被	29.67	26.63	<u>423.15</u>	3.08	482.54	87.69
水域	0.04	0.55	0.08	21.32	21.99	96.94
总计	48.68	906.74	612.76	26.52	1 594.71	—
生产者精度/%	9.46	96.64	69.06	80.38	—	kappa=0.66

d. 2000—2011年

2011/2000	裸地	建设用地	植被	水域	总计	用户精度/%
裸地	1.15	1.30	8.29	—	10.74	10.66
建设用地	4.90	1 004.20	63.33	2.65	1 075.08	93.41
植被	7.86	70.77	<u>410.24</u>	0.19	489.05	83.88
水域	—	0.10	0.58	19.13	19.81	96.57
总计	13.90	1 076.38	482.44	21.96	1 594.67	—
生产者精度/%	8.24	93.29	85.03	87.10	—	kappa=0.78

e. 2011—2018年

2018/2011	裸地	建设用地	植被	水域	总计	用户精度/%
裸地	0.83	1.87	22.30	—	25.00	3.31
建设用地	0.62	825.60	13.14	0.55	839.91	98.29
植被	9.30	245.16	<u>453.35</u>	0.34	708.15	64.02
水域	—	2.23	0.20	18.91	21.34	88.61
总计	10.75	1 074.86	488.99	19.80	1 594.39	—
生产者精度/%	7.72	76.81	92.71	95.49	—	kappa=0.63

f. 1975—2018年

1985/1975	裸地	建设用地	植被	水域	总计	用户精度/%
裸地	12.54	1.36	11.10	—	25.00	50.15
建设用地	6.71	745.81	83.27	4.08	839.88	88.80
植被	46.08	122.01	<u>539.66</u>	0.74	708.49	76.17
水域	—	0.28	0.51	20.58	21.37	96.32
总计	65.33	869.46	634.54	25.40	1 594.74	—
生产者精度/%	19.19	85.78	85.05	81.03	—	kappa=0.68

注:除已标出单位的数据及年份外,其余数据的单位均为km²;下划线数据为该年份维持不变的植被用地面积。

表及里较系统地探究研究区绿地的时空变化情况
及一般特征与规律,从生态层面为绿地系统制定
具体的空间改善与发展策略提供科学性依据,还
可为探究诸如城市绿色基础设施、林地等其他类
型用地的演变与动因提供借鉴与参考。

5 启示

MSPA方法能从生态学角度反映绿地系统的
格局形态及相应的生态学含义,而混淆矩阵可
反映用地类型的功能及其历史演化与主要驱动因
子。两者在绿地系统研究过程中在时间与空间2
个维度上具有互补性。本研究在以下诸方面给予
了重要的启示与借鉴意义。

1)在绿地系统发展过程中,核心、边缘和分
支在7种格局形态中的面积始终占据前3位,且
核心类变化最为敏感。这启示我国在绿地系统
建设过程中应尤其注重保护如生物栖息地或迁移
地等在生态网络中作为“源”的组分。其次,应
重点完善起保护作用的如风景区外围林带等“边
缘”类过渡地带与在促进绿地间物质、能量交换
方面发挥着重要作用的相关“分支”道路绿带。

2)前文提出并证明了“1-kappa系数”和
“平均变化率”(公式5)的使用范畴与作用,再
结合MSPA方法及相应的生态学含义,为我国在
当下强调生态的重要性的背景下,从生态学视角
对城市绿地系统的动态变化与静态状态两方面提
供了新而简便的评价指标与方法。

3)以伦敦为例证明了MSPA与混淆矩阵结合
的绿地系统完善方法具有可行性。在我国未来的
绿地系统建设中,可依照实际情况对绿地系统、
绿带的组分进行提取。确定土地利用分类中属于
前景像元的类型。首先通过MSPA方法的7种格
局形态,从生态层面评价绿地系统的现状。而后
结合混淆矩阵的“弥补”作用,探索呈现绿地系
统现状的驱动因子并确定相应绿地生态格局所对
应的具体空间及土地功能,进而可提出基于生态
学角度的具体的绿地系统完善策略,这为从生态
学视角促进绿地系统的规划、建设与完善提供了
全新的视角与具体的思路。

注:文中图片均由作者绘制。

参考文献:

- [1] 张云路, 关海莉, 李雄. 从园林城市到生态园林城市的城市绿地系统规划响应[J]. 中国园林, 2017, 33(2): 71-77.
- [2] Wolch J R, Byrne J, Newell J P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities "just green enough"[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 234-244.
- [3] 王保忠, 王彩霞, 李明阳. 21世纪城市绿地研究新动向[J]. 中国园林, 2006, 22(5): 50-52.
- [4] 屠星月, 黄甘霖, 鄂建国. 城市绿地可达性和居民福祉关系研究综述[J/OL]. [2019-01-18]. 生态学报 <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20181018.1457.022.html>.
- [5] 骆天庆, 夏良驹. 美国社区公园研究前沿及其对中国的借鉴意义: 2008—2013 Web of Science相关研究文献综述[J]. 中国园林, 2015, 31(12): 35-39.
- [6] 张云路, 关海莉, 李雄. “生态园林城市”发展视角下的城市绿地评价指标优化探讨[J]. 中国城市林业, 2018, 16(2): 38-42.
- [7] 戴菲, 姜佳怡, 杨波. GIS在国外风景园林领域研究前沿[J]. 中国园林, 2017, 33(8): 52-58.
- [8] 陈玉娜, 费小睿. 基于RS与GIS的城市绿地空间格局分析: 以汕头市建成区为例[J]. 城市勘测, 2016(3): 41-45.
- [9] 任梅, 包玉, 何立彰. 喀斯特山地城市绿地景观格局研究: 以安顺市为例[J]. 山地农业生物学报, 2018, 37(6): 54-62.
- [10] 陈斌, 钱小敏, 黄丽娜, 等. 基于风玫瑰图法的武汉四城区绿地格局演变分析研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(6): 71-74.
- [11] 徐昌瑜, 陈健, 孟爱农, 等. 基于FRAGSTATS的区域土地生态质量综合评价研究: 以江苏省宜兴市为例[J]. 土壤, 2013, 45(2): 1355-1360.
- [12] Soille P, Vogt P. Morphological segmentation of binary patterns[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30(4): 456-459.
- [13] 曹翔坤, 付梅臣, 谢苗苗, 等. 基于LSMM与MSPA的深圳市绿色景观连通性研究[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 526-536.
- [14] Chang Q, Liu X W, Wu J S, et al. MSPA-Based Urban Green Infrastructure Planning and Management Approach for Urban Sustainability: Case Study of Longgang in China[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2015, 141(3): 15.
- [15] Khan U, Minallah N, Junaid A, et al. Parallelepiped and Mahalanobis Distance based Classification for forestry identification in Pakistan[C]/International Conference on Emerging Technologies. IEEE, 2015.
- [16] 张庆费, 乔平, 杨文悦. 伦敦绿地发展特征分析[J]. 中国园林, 2003, 19(10): 56-59.
- [17] 谢欣梅, 丁成日. 伦敦绿化带政策实施评价及其对北京的启示和建议[J]. 城市发展研究, 2012, 19(6): 46-53.
- [18] 余慧, 张娅兰, 李志琴. 伦敦生态城市建设经验及对我国的启示[J]. 科技创新导报, 2010(9): 139-140.
- [19] 张晓佳. 英国城市绿地系统分层规划评述[J]. 风景园林, 2007, 14(3): 74-77.
- [20] Urban D, KUGitt T. Landscape connectivity: A

graph-theoretic perspective[J]. *Ecology*, 2001, 82(5): 1205-1218.

- [21] 苏同向, 王浩, 费文军. 基于绿色基础设施理论的城市绿地系统规划: 以河北省玉田县为例[J]. 中国园林, 2011, 27(1): 93-96.
- [22] Soille P, Vogt P. Morphological segmentation of binary patterns[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30(4): 456-459.
- [23] Vieira S M, Kaymak U U, Sousa J D C. Cohen's kappa coefficient as a performance measure for feature selection[C]. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. IEEE, 2010.
- [24] 布仁仓, 常禹, 胡远满, 等. 基于Kappa系数的景观变化测度: 以辽宁省中部城市群为例[J]. 生态学报, 2005(4): 778-784.
- [25] 吴晓敏. 英国绿色基础设施演进对我国城市绿地系统的启示[J]. 华中建筑, 2014, 32(8): 102-106.
- [26] Blasch G, Spengler D, Itzerott S, et al. Organic Matter Modeling at the Landscape Scale Based on Multitemporal Soil Pattern Analysis Using RapidEye Data[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(9): 11125-11150.
- [27] 陈利顶, 徐建英, 傅伯杰, 等. 斑块边缘效应的定量评价及其生态学意义[J]. 生态学报, 2004(9): 1827-1832.
- [28] de Oliveira S N, de Carvalho O A, Gomes R A T, et al. Landscape-fragmentation change due to recent agricultural expansion in the Brazilian Savanna, Western Bahia, Brazil[J]. *Regional Environmental Change*, 2017, 17(2): 411-423.
- [29] 秦明周. 土地利用分类及其影响因素研究[J]. 地域研究与开发, 1997(1): 14-17.

(编辑/金花)

作者简介:

戴菲

1974年生/女/湖北武汉人/华中科技大学建筑与城市规划学院景观学系系主任, 教授, 博士生导师/研究方向为绿地系统、绿色基础设施(武汉 430074)

毕世波

1988年生/男/山东潍坊人/华中科技大学建筑与城市规划学院在读博士研究生/研究方向为风景园林规划与设计、绿色基础设施(武汉 430074)

陈明

1991年生/男/福建福州人/华中科技大学建筑与城市规划学院讲师/研究方向为风景园林规划与设计、绿色基础设施(武汉 430074)

郭晓华

1984年生/女/河南焦作人/长江大学园艺园林学院讲师/华中科技大学建筑与城市规划学院在读博士研究生/研究方向为风景园林规划与设计、绿色基础设施(荆州 434025)