

# 苏州城乡非建设用地破碎化 的时空特征<sup>1</sup>

邵大伟 吴殿鸣

苏州科技大学建筑与城市规划学院 江苏 苏州 215011

**【摘要】**非建设用地破碎化是土地开发建设强度的关键表征,也制约着城乡土地资源利用效率和自然生态效益。文章利用多时相 LandsatTM/ETM 影像数据,开展对苏州市域 1995—2015 年 5 个时间节点非建设用地破碎化的演变研究。结果表明:1) 非建设用地缩减强度和破碎化阶段性突出,2005—2010 年最为剧烈,之后趋势有所放缓;2) 耕地流失是非建设用地破碎化的根源;3) 破碎化空间相关性逐渐下降,呈现随机、均衡化趋势;4) 破碎化表现为中心城区一东西横向蔓延式南北纵向跳跃式的发展规律。

**【关键词】**非建设用地,破碎化,景观指数,空间自相关,苏州

DOI:10.12169/zgcsly.2019.09.01.0001

规划的要意不仅在规划建造的部分,更要千方百计保护好留空的非建设用地<sup>[1-2]</sup>,当前,针对建设用地的界定较为明确<sup>[3]</sup>,然而因不同学科领域所关注视角的差异,对于非建设用地一直存在较多的理解,一种强调城市非建设用地,突出城市规划的范围,将非建设用地定位为区域或市域范围内的非建设用地(《城市用地分类与规划建设标准》(GB50137-2011));另外,又有非城市建设用地和非建设用地区分,前者重在城市范围之外的非建设用地,包括了乡村建设用地,而后者则不包括。<sup>[4-7]</sup>本研究重点关注非建设用地景观空间的缩减和破碎化问题,内部类型的划分也主要参考了新的《城市用地分类与规划建设标准》(GB50137-2016),着眼于城乡统筹的视角,包括了建设用地之外的城乡非建设用地,不包括乡村建设用地。

城市规模的急剧扩张是我国城市高速发展的主要表现,大量相关研究关注了建设用地的扩张、格局演变、利用评价、景观特征、生态效应等问题<sup>[8-11]</sup>。然而,与建设用地相对应的非建设用地的受关注程度依然相对较低,现有研究主要集中在非建设用地的政策研究、规划理念、保护对策,诸如非建设用地的“控用结合”规划思路,绿色基础设施、生态网络视角下的规划策略<sup>[12-15]</sup>。破碎化现象是城镇化进程中城乡景观格局演变的突出问题,制约着非建设用地生态服务功能的发挥,也是生态环境质量提升、生物多样性保护的重要限制性因素。破碎化研究主要集中在森林、耕地、草地等自然资源方面,近年来人类活动程度较高的城市空间或城市绿地的相关研究逐渐增多<sup>[16-19]</sup>。空间破碎化改变了城乡土地利用结构特征,并对人的经济与社会活动在空间上的表现产生影响,成为阻碍城乡可持续发展的重要因素。快速城镇化进程中,尤其是在我国绿色转型发展、深入贯彻实

<sup>1</sup>收稿日期:2019-09-01

**基金项目:**国家自然科学基金青年项目“时空多尺度视角下城乡非建设用地转用的分异机制及其管控对策研究:以苏州为例”(51908392);国家自然科学基金面上项目“城市绿地与居住用地空间耦合的过程、效应与机理研究:以南京为例”(51878429);教育部人文社会科学研究项目“基于 GIS 技术的公园绿地社会空间分异效应及调控对策研究:以苏州为例”(18YJCZH189);苏州科技大学风景园林学学科建设项目联合资助

**第一作者:**邵大伟(1982-),男,博士,副教授,研究方向为城乡绿地与居住空间关系。E-mail:shdw-123@163.com

**通信作者:**吴殿鸣(1984-),女,博士,讲师,研究方向为城乡生态空间。E-mail:wudmsz@163.com

践“两山理念”的背景下，以“山水林田湖草”为主体的城乡非建设用地作为一个生命共同体，具有何种演化趋势、破碎化程度如何、呈现怎样的空间特征、在空间的重点区域如何识别并加以控制或修复，成为亟待揭示或解决的问题。

## 1 研究地概况及研究方法

苏州地处东经  $119^{\circ} 55' \sim 121^{\circ} 20'$ 、北纬  $30^{\circ} 47' \sim 32^{\circ} 02'$ ，总面积  $8657.32\text{km}^2$ 。全市地势低平，境内河流纵横、湖泊众多，是著名的江南水乡，自然生态环境优良。苏州地处我国东部发达地区、城镇密集区，社会经济发达，城镇化水平高，截至 2017 年，苏州市人均 GDP 达到 14.56 万元，城市化率 78%，远高于 58.5% 的全国平均水平（源自《中华人民共和国 2017 年国民经济和社会发展统计公报》）。苏州社会经济的快速发展和高度快速的城镇化，促使城乡建设规模和速度一直处于较高的水平，建设用地扩张对非建设用地空间的蚕食和侵占问题较为突出，具有较强的代表性和研究价值。

### 1.1 数据来源及处理

选用多时相 Landsat TM/ETM 遥感影像作为基础数据来源，分辨率 30m。结合苏州城镇化进程及城市建设用地的扩张特征，并充分考虑时间跨度的均衡性，确定时间节点为 1995、2000、2005、2010、2015 年 5 个年份。以 2016 年 55 个镇和 41 个街道为研究单元（源自《苏州统计年鉴-2017》），同时将平江城区、金阊区城区、平江区城区的街道进行合并，把太湖、长江作为单独的一个自然空间单元进行观测，研究单元共计 89 个。

采用 ArcGIS 与 易康 (eCognition) 结合分析地物光谱特征和其他图像特征，针对地形破碎、地物分布复杂的特点，充分利用高程、坡度等地理辅助信息以有效提高分类精度。参考国内外现有的土地利用、土地覆盖分类体系，以及遥感信息源的实际情况进行遥感影像的解译和验证，将城乡非建设用地数据类型划分为耕地、林地、草地、水域、未利用土地。

### 1.2 主要研究方法

景观格局指数和空间自相关分析是当前景观格局研究中最为广泛和有效的手段。借助斑块密度 (PD)、最大斑块占景观面积的比例 (LPI)、景观形状指数 (LSI)、分离度指数 (DIVISION)、聚合度指数 (AI) 考察破碎化景观格局的整体演变特征<sup>[20]</sup>，并利用主成分降维分析去除共线性等问题<sup>[21]</sup>，进一步利用空间自相关揭示非建设用地破碎化演变的区域特征<sup>[22]</sup>。

## 2 非建设用地的破碎化趋势及特征

### 2.1 非建设用地的整体破碎化趋势及特征

苏州城乡非建设用地呈现出快速缩减的趋势，1995—2015 年由  $7708.49\text{km}^2$ ，减少到  $6243.70\text{km}^2$ ，减少为 1995 年的 81.0%。20 年共减少  $1464.79\text{km}^2$ ，年均减少  $73.24\text{km}^2$ 。减少最多的时段为 2000—2005 年，减少  $810.38\text{km}^2$ ，占减少总量的 55.3%。

苏州城乡非建设用地的快速减少，其破碎化趋势明显。PD、LSI 指标增加明显，分别由 1995 年的 0.1747、41.8885 增长到 2015 年的 0.2973、51.9151，斑块减小，密集程度直线上升，形状边缘复杂程度在逐渐提高，土地利用程度更加丰富，其不定性的信息含量也越大。与此同时，LPI 和 AI 指数逐渐下降，由 1995 年的 42.0801、98.1101 减小到 2015 年的 29.0640、97.4592，LPI 反映出最大斑块的优势在减小，大型自然生态型斑块受到持续的蚕食；AI 的减小则表明非建设用地斑块的离散化程度在增加，愈加分散。

### 2.2 不同类型非建设用地的破碎化趋势及特征

## 2.2.1 不同类型非建设用地破碎化指数的演化特征（表1）

1995—2015年，苏州市域非建设用地的主体均为耕地和水域，但内部类型空间发生较大改变，1995年耕地、水域分别占非建设用地总面积的58.7%和38.4%，2015年两者分别为45.7%和51.0%，耕地占比减少13个百分点、水域占比增长13个百分点。耕地面积减少1671.11km<sup>2</sup>、水域面积则增加218.30km<sup>2</sup>，草地、林地、未利用土地面积总体较少，整体幅度变化不大。

表1 不同类型非建设用地破碎化指数及其变化

年份	用地类型	PD	LPI	LSI	DIVISION	AI
2015年	水域	0.1616	29.0640	29.1199	0.9085	98.5034
	耕地	0.0983	14.9106	64.9556	0.9673	96.4054
	草地	0.0078	0.0463	10.9614	1.0000	93.5303
	林地	0.0261	0.7523	17.2647	0.9999	96.3682
	未利用土地	0.0034	0.0185	7.4902	1.0000	91.3479
2010年	水域	0.1589	28.6881	29.6176	0.9111	98.4776
	耕地	0.0897	17.0607	65.5816	0.9607	96.4365
	草地	0.0074	0.0451	11.1300	1.0000	93.1705
	林地	0.0250	0.7385	17.5117	0.9999	96.3166
	未利用土地	0.0036	0.0265	7.8421	1.0000	92.7155
2005年	水域	0.1535	25.0297	27.3041	0.9325	98.5642
	耕地	0.0550	37.8060	60.4986	0.8457	97.1498
	草地	0.0077	0.0523	11.7806	1.0000	93.1661
	林地	0.0255	0.6677	18.0941	0.9999	96.2465
	未利用土地	0.0017	0.0406	5.3973	1.0000	93.8305
2000年	水域	0.1349	23.6808	25.5337	0.9396	98.6529
	耕地	0.0490	40.8505	56.2538	0.8208	97.4788
	草地	0.0076	0.0441	11.8025	1.0000	93.1653
	林地	0.0248	0.6351	17.8975	0.9999	96.2631
	未利用土地	0.0016	0.0387	5.4041	1.0000	93.8339
1995年	水域	0.1265	23.1469	24.9518	0.9422	98.6790
	耕地	0.0188	42.0801	49.5396	0.8102	97.8339
	草地	0.0066	0.0446	11.4140	1.0000	93.3143
	林地	0.0213	0.6244	17.1261	0.9999	96.5116
	未利用土地	0.0016	0.0378	5.3973	1.0000	93.8245

1) 耕地锐减，破碎化强烈。1995—2015年，耕地PD、LPI和DIVISION指数快速增加，PD指数增长5.2倍，LPI指数增长1.3倍，DI-VISION指数增长1.2倍，斑块密度大幅增加，形状曲折化程度和被蚕食程度显著加深，相互之间的联系和聚集程度也明显减弱。与此同时，LPI指数减小为1995年的1/3，最大斑块对整体的控制和影响锐减；AI整体减小，耕地斑块的分散化程度在逐步加深，但强度不大，表明耕地的减少以边缘蚕食为主。景观破碎化程度最为明显的时段与面积减少同步。

2) 水域整体性较好，规模稳中有升。研究周期内水域表现出一定的破碎化趋向，PD指数由0.1265增加到0.1616、LSI指数由24.9518增加到29.1199，密度增加较为显著，形状指数更加复杂。相反，太湖、长江等大型自然水体未受到明显影响，而一些小型水系数量逐渐增加，LPI指数略有增加，由23.1469增加到29.0640，最大斑块的权重和影响力在增加；DIVISION指数

逐渐减小, 由 0.9422 减小到 0.9085, 斑块之间有进一步集聚、联系加强的趋势, AI 指数基本未发生明显变动。

3) 草地、林地、未利用土地略有破碎化。草地、林地、未利用土地 PD 指数均有不同程度增加, 耕地、草地增长 1.2 倍, 未利用土地增长 2.1 倍; 形状指数 LSI 存在增减差异, 未利用土地明显增加, 林地整体在增大, 但不稳定, 先增大后有减小趋势, 形状更加细碎, 而草地则在波动中下降, 整体化趋势有所加强; LPI 值变动不稳定, 草地先增大后减小、林地持续增大、未利用土地先增大后减小, 表明草地、林地大斑块对整体景观的控制影响具有增大的趋势, 未利用土地在经历大斑块增加后又有破碎加剧的特点; 草地、林地、未利用土地的 DIVISION 和 AI 指数基本未表现出变化, 仅有未利用土地 AI 减小, 分散化加剧、联系度降低。

### 2.2.2 不同类型非建设用地破碎化指数演化的综合特征

根据景观指数主成分因子载荷和成分矩阵, 提取 1995 年 2 个主成分, 其余 4 个时间节点各为 1 个, 其中, 1995 年 2 个主成分分别为优势性和集聚性因子; 2000 年和 2005 年为优势性因子; 2010 年和 2015 年为集聚性因子。主成分因子数量和类型的变化表明: 1995 年前后非建设用地未有明显破碎化问题, 优势性和集聚性斑块分布特征均较好; 2000 年后大型斑块对整体空间格局保有优势和控制, 但斑块的密度和集聚程度显著下降; 2010 年后优势性因子大大减弱, 集聚性特征具有相对较强的解释力。进一步计算各时间节点、各类型非建设用地的主成分因子得分情况, 结果表明: 5 个时间段不同类型非建设用地得分情况均为耕地) 水域) 林地) 草地) 未利用土地; 除水域外, 其他类型破碎化水平快速下降, 耕地对其他景观类型的优势和控制力在逐渐降低, 尤其是 2010 年后耕地破碎化形势较为严峻。

## 3 破碎化的空间相关性特征及其演变规律

### 3.1 破碎化的全局自相关演变特征

研究周期内非建设用地破碎化在市域空间呈现了较为显著的空间集聚特征, 但呈现出集聚度逐渐降低、不显著的变化趋势。1995、2000、2005、2010 全局自相关 Moran 指数分别为 0.4730、0.5377、0.3566、0.2487, 而 2015 年的全局空间自相关指数仅为 0.0704, 未达到显著水平, 表现为随机分布特征。非建设用地破碎化水平不断提高, 空间分布整体呈现出集中开发建设到散点化建设的趋势, 碎片化程度不断加深。

### 3.2 破碎化的局域自相关演变特征

为深入揭示非建设用地的破碎化的局域空间特征和关系, 对 89 个镇域单元破碎化水平局域自相关指数的空间分布状态进行测算。如果指数值为正、且显著的, 表明该单元周围的值相对较高(高于均值), 属高值空间集聚(热点区); 反之, 如果指数值为负、且显著的, 则表明该单元周围的值相对较低(低于均值), 属低值空间集聚(冷点区)。进一步采用 Jenks 的 NaturalBreak 方法分成热点区、次热区、次冷区、冷点区 4 类(图 1)。

1) 沿长江、太湖区域破碎化水平整体较低, 但热点区域逐渐消退。1995 年破碎化程度较低的区域集中在沿江热点区域和沿太湖的次冷点区域, 分别包括长江、金港、碧溪、城厢等 14 个单元和太湖、枫桥、长桥 3 个单元; 2000 年后太湖区域的次冷点区域消失, 2000—2010 年沿长江区域约 14 个镇域单元的景观稳定性相对较好, 持续表现为热点, 次冷点仅有 2000 年的枫桥和长桥、2005 年的长桥和陆家单元; 2015 年沿长江热点区域快速消退, 仅有锦丰、南丰、梅李、支塘、沙溪等 10 个单元为热点, 且分割为不连续的 3 个小组团, 次冷点则有不连续的娄葑和金阊区城区 2 个单元。

2) 苏州中心城区破碎化压力较大, 冷点由东西横向蔓延式发展为南北纵向跳跃式演化。1995、2000 年非建设用地的破碎化主要集中在平江、狮山、金阊、沧浪、东部工业园区等苏州中心城区内, 以及吴江的汾湖镇, 均表现为冷点区域; 次冷点则主

要涉及松陵和金庭 2 个单元，破碎化沿中心城区东西横向加剧蔓延的趋势较为明显。2005 年后，随着中心城区建设趋于稳定，中心城区破碎化冷点区域趋于消退，而工业园区、相城区、浒墅关、汾湖等相关单元呈现出较为强烈的破碎化特征，表现为冷点区域；次冷点则不太稳定，松陵、金庭、浏河 3 个单元间断出现，整体破碎化也较为突出；该时段冷点、次冷点区域主要沿工业园区南北向跳跃式发展，趋于分散化。

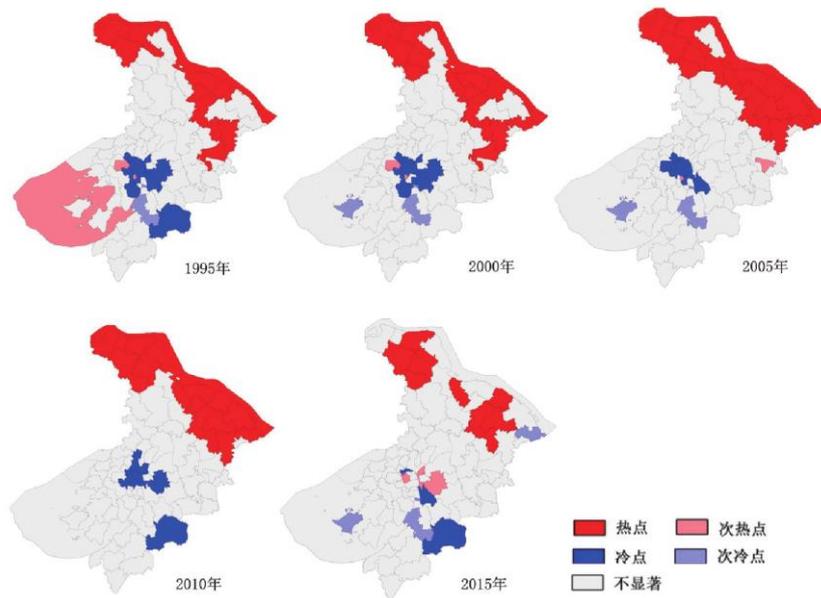


图 1 1995—2015 年非建设用地破碎化局域自相关的冷热点分布状况

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

1) 非建设用地减少强度大、破碎化加剧趋势有所放缓。苏州城市建设用地扩张强度相对较大，导致了耕地、林地、草地等非建设用地破碎化趋势尤为突出，城市、区域发展的生态本底受到较大破坏，但近年来趋势有所减缓，势头得到明显控制。

2) 耕地减少是非建设用地破碎化的根源。耕地减少总面积超过了非建设用地减少的总量（水域等非建设用地略有增加），是非建设用地锐减和破碎化的根本原因。

3) 破碎化空间集聚化程度在逐渐降低，分散化加剧。苏州市域非建设用地破碎化整体自相关指数逐渐下降，分散化逐渐加剧，非建设用地景观的同质化、均质化问题较为突出。

4) 破碎化呈现中心城区一东西横向蔓延式—南北纵向跳跃式的发展规律。受到建设用地指标供给优先保障中心城区的影响，苏州中心城区及周边破碎化问题尤为突出，其空间差异较为显著，主要表现为集中建设、扩展建设和跳跃式建设的发展变化。

### 4.2 讨论

中国大部分城市尤其东部大城市均会存在较为突出的非建设用地破碎化问题，制约了土地生态服务价值和利用效率。近年来苏州严格控制建设用地蔓延，借助生态修复、生态网络构建有效抑制并进一步缓解了破碎化趋势。

---

在国土空间规划、统筹“山水林田湖草系统治理”等背景下，非建设用地保护还需要继续强化政策配套和系统修复理念。积极对接国土空间规划，通过“资源环境承载力评价”和“国土空间开发适宜性评价”对非建设用地资源分区、分类开展保护和治理，形成科学利用和严格管控的格局，划定并严格落实生态红线，形成政策强约束。针对已破碎化区域，尤其是城市边缘区和大型生态斑块、廊道周边区域，系统开展低效建设用地治理工作，强化非建设用地的网络体系建设，逐步推动“建设用地”向“非建设用地”的逆向扩张，从根本上治理破碎化，优化生态环境。本研究仅关注了单一城市非建设用地破碎化的时空格局，不同类型城市以及破碎化的空间效应、治理等问题均还有待进一步探索。

## 参考文献

- [1]吴良镛. 面对城市规划的“第三个春天”的冷静思考[J]. 城市规划, 2002, 26(2): 9-14, 89.
- [2]金云峰, 万亿. 减量规划模式下城乡交错带绿地规划研究现状与展望[J]. 中国城市林业, 2017, 15(6): 12-16.
- [3]陈晨, 赵民. 对“非城市建设用地”及其规划管控问题的若干探讨[J]. 城市规划学刊, 2011(4): 39-45.
- [4]郭红雨, 蔡云楠, 肖荣波, 等. 城乡非建设用地规划的理论与方法探索[J]. 城市规划, 2011, 35(1): 35-39.
- [5]罗震东, 张京祥. 中国当前非城市建设用地规划研究的进展与思考[J]. 城市规划学刊, 2007(1): 39-43.
- [6]陆希刚. “图”与“底”: 关于城市非建设用地规划的思考[J]. 城市规划学刊, 2013(4): 68-72.
- [7]艾勇军, 肖荣波. 从结构规划走向空间管治: 非建设用地规划回顾与展望[J]. 现代城市研究, 2011, 26(7): 64-66.
- [8]冀青青, 乔伟峰, 卢诚, 等. 1980年以来南京市建设用地扩张阶段性特征[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(9): 1928-1936.
- [9]楼梦醒, 冯长春. 京津冀地区城市建设用地变化及差异化驱动力研究[J]. 城市发展研究, 2018, 25(9): 23-28, 41.
- [10]陈喜东, 石培基, 王川, 等. 不同情景下河谷型城市建设用地扩张的景观生态格局响应: 以兰州市为例[J]. 生态学杂志, 2018, 37(11): 3381-3389.
- [11]林丽群, 李娜, 李国煜, 等. 基于主体功能区的福建省城镇建设用地利用效率研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 1018-1028.
- [12]傅强, 宋军, 王天青. 生态网络在城市非建设用地评价中的作用研究[J]. 规划师, 2012, 28(12): 91-96.
- [13]王锋, 李开猛, 李晓军. 城市非建设用地“控用结合”规划方法及广州市从化新城实践[J]. 规划师, 2017, 33(5): 47-52.
- [14]梁东, 樊靖怡, 陈健, 等. 现代田园城市非建设用地控制与使用规划探索[J]. 城市规划, 2014, 38(6): 87-90.
- [15]张媛, 吴雪飞. 绿色基础设施视角下的非建设用地规划策略[J]. 中国园林, 2013, 29(10): 40-45.
- [16]焦利民, 肖丰涛, 许刚, 等. 武汉都市区绿地破碎化格局对城市扩张的时空响应[J]. 资源科学, 2015, 37(8): 1650-1660.

- 
- [17]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.
- [18]王蓉, 周宝同, 甘雪坤. 西南山地景观破碎化与城镇化及社会经济发展水平的关系研究: 以重庆市渝北区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3):624-631,
- [19]朱佩娟, 贺清云, 朱翔, 等. 论城市空间破碎化研究[J]. 地理研究, 2018, 37(3):480-494.
- [20]王越, 林警. 城乡绿地空间破碎化格局研究与启示: 以北京市海淀区为例[J]. 中国城市林业, 2018, 16(2):10-15.
- [21]邵大伟, 吴殿鸣. 景观破碎化对生态系统服务价值的影响作用分析: 以苏州为例[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(11):2436-2449.
- [22]邵大伟, 吴殿鸣. 高度城镇化地区土地生态系统服务价值及其镇域空间演变: 以苏州为例[J]. 中国园林, 2020, 36(10):57-62.