

交通网络对生态空间质量影响机制研究

——以常德市为例

王 琪^{1*#}, 邢旭东^{2,3}

¹湖南师范大学地理科学学院, 湖南 长沙

²湖南省国土资源规划院, 湖南 长沙

³国土资源评价与利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年10月7日; 录用日期: 2022年11月2日; 发布日期: 2022年11月14日

摘 要

本文以常德市为研究区域, 以区域路网数据和土地利用数据为基础, 利用ArcGIS、Fragstats等软件, 分析了常德市2010~2020年交通网络对于生态空间的影响机制。研究结果表明: 1) 交通网络通过带动建设用地的扩张从而占用生态空间, 高等级道路对经济社会的辐射带动作用较强, 推动了周边地区土地利用向建设用地的转变, 进而占用生态空间; 低等级道路因直接关系到区域经济与建设活动, 相较于高等级道路会更为直接地影响周边土地利用, 对建设用地的推进作用也较为明显; 2) 区域路网对整体生态景观具有割裂作用, 使得生态斑块分裂为数量众多的小斑块, 降低景观连通性、降低生态空间整体功能; 道路影响域范围内生态景观同样趋于零散和破碎, 并且随着道路等级的下降, 周边土地利用更为直接地受到经济和建设活动的影响, 对生态用地产生的冲击逐步增大, 破坏原有生态景观的完整性, 造成斑块复杂与不规则; 3) 高速公路影响域内遥感生态指数最高, 国道、省道和县道次之, 县级以下道路周边的生态功能为所有道路中最低。

关键词

交通网络, 生态空间质量, 影响机制

Study on the Influence Mechanism of Transportation Network on Ecological Space Quality

—Taking Changde City as an Example

Qi Wang^{1*#}, Xudong Xing^{2,3}

*通讯作者。

#第一作者。

文章引用: 王琪, 邢旭东. 交通网络对生态空间质量影响机制研究[J]. 地理科学研究, 2022, 11(6): 519-531.
DOI: 10.12677/gser.2022.116053

¹College of Geographic Science, Hunan Normal University, Changsha Hunan

²Hunan Planning Institute of Land and Resources, Changsha Hunan

³Hunan Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Utilization, Changsha Hunan

Received: Oct. 7th, 2022; accepted: Nov. 2nd, 2022; published: Nov. 14th, 2022

Abstract

This paper takes Changde city as the research area, based on regional road network data and land use data, and uses ArcGIS and Fragstats software to analyze the influence mechanism of the transportation network on ecological space in Changde city from 2010 to 2020. The results of the study show that: 1) the transportation network occupies ecological space by driving the expansion of construction land, and high-grade roads have a stronger radiation-driving effect on the economy and society, promoting the transformation of land use to construction land in the surrounding areas, which in turn occupies ecological space; low-grade roads because they are directly related to regional economic and construction activities, affect the surrounding land use more directly than high-grade roads, and have a more obvious role in promoting construction land; 2) the regional road network has a fragmentation effect on the overall ecological landscape, making ecological patches split into a large number of small patches, reducing landscape connectivity, and reducing the overall function of ecological space; the ecological landscape within the influence area of the road also tends to be fragmented and broken, and with the decline in road level, the surrounding land use is more directly affected by economic and construction activities, and the impact on ecological land use gradually increases, destroying the integrity of the original ecological landscape, resulting in complex and irregular patches; 3) the highest remote sensing ecological index in the influence area of highways, followed by national roads, provincial roads and county roads, and the ecological function around roads below the county level is the lowest among all roads.

Keywords

Transportation Network, Ecological Space Quality, Influence Effect

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

交通网络对城市与区域发展起着重要的引导与联结作用, 为经济社会发展提供了有力支撑。然而, 交通网络的过度蔓延, 在推动区域建设用地扩张的过程中, 也在一定程度上加剧了不同用地之间的冲突, 造成生态环境问题, 这对探索交通的绿色拓展, 实现国土空间高水平规划与经济高质量发展提出了挑战。在当今生态文明建设背景下, 交通体系发展的关注点由“量”走向“质”, 因此, 探索交通网络扩张对生态空间动态变化的影响机制, 构建与生态空间质量耦合协调的交通网络体系成为新时期规划变革的重要内容。

最初的研究主要涉及交通建设及其扩张对周边自然环境的改变以及对动植物栖息地的破坏。随着地理信息技术的发展, 学者开始关注交通网络对土地利用、区域景观格局、物种多样性的影响, 如谢余初

[1]等基于遥感与 GIS 技术, 运用景观格局指数和梯度分析, 分析了酒泉市肃州区不同道路扩展轴上城市景观格局梯度的动态变化及其特征; 黄梦娜[2]等基于全国道路网数据, 通过对无路土地斑块的提取定量分析了路网对全国陆地表面景观格局的破碎化影响机制; 于涛[3]等以玛纳斯河流域为例, 探讨了不同等级道路对区域土地利用和景观格局的影响机制。在研究交通的生态影响的各类道路指标中, 道路密度和道路等级应用最为广泛[4] [5] [6]。毕恺艺[7]、陈晓辉[8]、刘瑞程[9]等利用道路核密度分析法(KDE)对路网密度格局进行分析, 相较于传统通过道路长度与单元格面积的比值测算路网密度的方法, 核密度分析法能够有效区分路网密度格局。道路等级中, 李双成[4]等将道路网划分成“高速、一级、二级、三级、四级和等外道路”, 分别设立不同缓冲距离, 分析了各级道路影响域内生态景观破碎化的演化情况; 林玉英[10]等在其基础上对道路缓冲区进行坡度修正, 使其更符合实际。

已有研究从定性和定量的角度分析了交通的生态影响及其机制, 但多限于对生态空间单方面的影响, 综合探索交通对生态空间多方面的影响机制能够更好地反映出交通-生态间的相互关系。同时, 道路等级影响域的设定与修正中, 较少有学者考虑人为政策导向下土地利用格局对其的影响。

因此, 基于生态空间质量内涵与现有研究不足, 本文以湖南省常德市为研究区域, 选取交通网络中的道路网, 基于 2010 年、2015 年和 2020 年三期的道路网数据与土地利用数据, 以网络密度和影响域衡量交通网络的特征, 其中, 对道路影响域进行坡度修正, 并去除内部生态保护红线图斑, 避免生态空间变化结果受人为政策因素影响, 使结果更符合实际, 最后运用 ArcGIS、Fragstats 等软件, 定量分析交通网络格局及其演变对生态空间的综合影响机制。

2. 研究区域概况

选取湖南省常德市作为研究区域(图 1), 常德市共辖 9 个县级行政区, 包括 2 个市辖区、6 个县、1 个县级市, 具体为武陵区、鼎城区、津市市、汉寿县、安乡县、桃源县、石门县、临澧县、澧县。

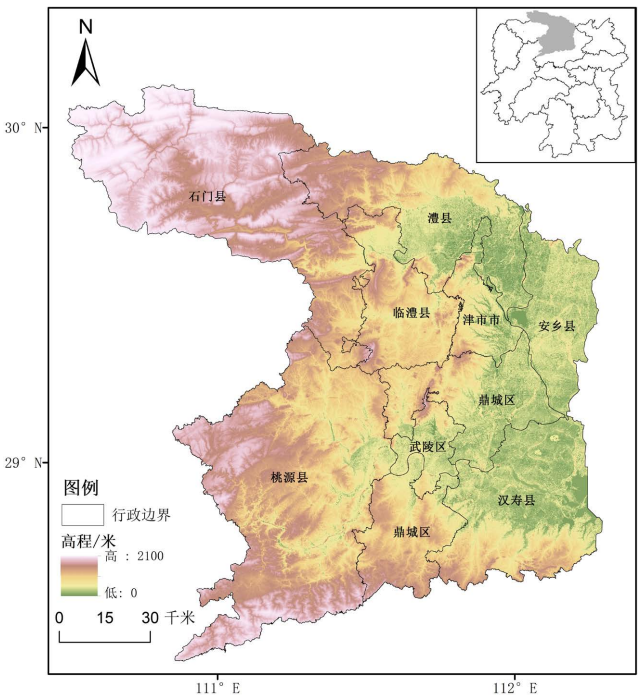


Figure 1. Overview of the study area
图 1. 研究区域概况图

截至 2020 年, 常德市城市化水平为 56.22%, 地区生产总值约为 3750 亿元。路网里程(含全部等级类型)总计 22,689 公里, 较 2010 年增长了约 645 公里。2020 年常德市生态用地面积约 1,008,228 公顷, 较前 10 年下降 5%, 在国土空间高质量发展战略以及生态保护理念的背景下, 探索交通的生态影响有助于促进常德市建设扩张与生态保护协调发展。

3. 研究方法与数据来源

3.1. 交通网络特征分析

3.1.1. 交通网络密度测算

路网密度是衡量区域交通网络密集程度的指标, 路网密度 = 区域路网长度/区域面积, 一般情况单位取千米/平方千米。该方法测算的路网密度数据适用于相关性分析, 但不适用于区分路网密度等级的空间格局。

核密度分析可以较好地识别路网密度的核心聚集区[11][12], 可用于在常德市路网密度整体格局分析上, 计算公式如下:

$$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中, $k(x)$ 代表核分析功能, h 为带宽; $x-x_i$ 代表 x 与 x_i 之间的距离, n 代表采样点的总数目。运用 ArcGIS 软件, 将路网数据导入, 采用核密度分析工具, 得出路网的密度分析结果。

3.1.2. 交通网络等级影响域划分

根据已有研究[4], 本文按照各级交通网络对区域的联通意义, 将交通网络划分为高速公路、国道、省道、县道、县级以下道路, 利用 ArcGIS 10.7 软件构建各级道路对生态空间的影响范围标准, 高速公路、国道、省道、县道、县级以下道路的缓冲带范围分别为 1000 米、500 米、250 米、100 米和 50 米。

在此基础上, 对路网影响域进行地形和政策干预修订, 地形影响方面, 参考相关文献[10], 以各级道路影响域内的平均坡度对其进行修正, 见公式(2); 政策干预方面, 基于地形修正结果, 将位于影响域中生态保护红线内的区域剔除, 以避免人为政策对土地利用的限制造成的结果变动。

$$MREZ_n = REZ_n \times \cos\alpha \quad (2)$$

式中, $MREZ_n$ 表示考虑坡度方法划定的第 n 等级道路影响域(Modified Road-effect zone, MREZ)的宽度; REZ_n 表示采用传统的固定距离方法划定的第 n 等级道路影响域的宽度; α 表示第 n 等级道路影响域的平均坡度。

3.2. 生态空间质量评价

国务院发布的《全国主体功能区规划》, 将国土空间结构分为城市空间、农业空间、生态空间、其它空间。生态空间包括了绿色生态空间、其他生态空间。绿色生态空间包括天然草地、林地、湿地、水库水面、河流水面、湖泊水面, 其他生态空间包括荒草地、草地、盐碱地、高原荒漠等。同时, 根据 2017 年国土资源部发布的《土地利用现状》, 本文研究的生态空间包括: 林地(有林地、灌木林地、其他林地等)、草地(人工牧草地、天然牧草地、其他草地等)、湿地(内陆滩涂、沼泽地等)、水域(河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面等)。

3.2.1. 生态空间规模演变分析

以生态用地的规模代表生态空间的规模。在交通网络的扩展下, 生态用地难以避免被其他地类侵占, 定量分析生态用地的转移规模与方向能够有效呈现交通网络影响下生态空间规模演变特征。采用土地利

用转移矩阵方法对生态用地的规模转移进行分析，土地利用转移矩阵是根据同一区域不同时段的土地利用现状的变化及其相互关系，从而得出的二维矩阵[13]，不但可以反映出静态时间点上各类用地的面积与比例，还能够反映土地利用类型在不同的年份的变化情况以及各类用地利用类型之间的转换情况。本文测算土地利用转移矩阵的具体步骤为：运用 ArcGIS10.7 软件将不同时期土地利用栅格数据进行叠加分析，再把叠加后结果导入 Excel 中，利用数据透视表工具生成土地利用转移矩阵。

3.2.2. 生态空间结构分析

生态空间结构体现出生态系统内部各要素之间的组合特征及相互联系，景观格局指数能够有效反映出生态空间的结构特征，对于评价生态空间质量具有重要指导意义。运用 Fragstats4.2 计算评估常德市生态空间景观格局指数，该软件可以进行“斑块类型、景观水平”两个方面的分析[14]。在斑块类型水平上，选择斑块数量(NP)、平均斑块面积(MPS)；在景观水平上，斑块形状指数(LSI)、香浓均匀度指数(SHEI)和香浓多样性指数(SHDI)，各指标具体计算公式及意义见表 1。

Table 1. Landscape pattern index and its significance
表 1. 景观格局指数指标及意义

景观指数 Landscape index	公式 Formula	公式解释与意义 Ecological significance
斑块类型 指数	NP	$NP = N_i$ (3) 区域斑块的总数量，数值大小与景观的破碎度呈现正相关性
	MPS	$MPS = \frac{CA}{NP}$ (4) 表示某类斑块类型的平均面积，数值越大表示该类用地越趋向于整体，数值越接近于 0，说明该类用地破碎化程度越高
	LSI	$LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}}$ (5) 代表斑块的形状特征， $LSI \geq 1$ ，数值越大，说明斑块形状越不规则
	SHEI	$SHEI = -\sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)$ (6) 反映的是景观中各类斑块在面积上的均匀程度，当值为 0 时，说明景观中只有一种斑块组成，当值等于 1 时，说明在整个景观中各种类型斑块均匀分布，呈现多样性。 p_i 为 i 类斑块面积占整个区域内景观面积的比重，取值范围[0, 1]
景观水平 指数	SHDI	$SHDI = \frac{\sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)}{\ln m}$ (7) 反映景观斑块的空间分布非均衡情况，值越高，代表每类斑块越丰富，区域破碎化程度越高，空间分布非均衡性越高。 p_i 为 i 类斑块面积占整个区域内景观面积的比重

3.2.3. 生态功能评价

以遥感生态指数(Remote Sensing Based Ecological Index, RSEI)衡量区域生态功能水平。徐涵秋基于遥感技术提出了一种以自然因子为主的遥感生态指数，用于对城市生态状况进行监测评价，其中指数包含绿度、湿度、干度和热度 4 类生态要素[15]。本研究基于 ENVI 软件平台分别提取研究区 2010 年、2015 年和 2020 年三期遥感影像的绿度、湿度、热度、干度四项生态指标，采用主成分分析法(Principal Components Analysis, PCA)构建 RSEI 指数[8]，具体计算与处理过程见文献[15] [16]。

3.3. 数据来源及处理

本研究中土地利用数据来源于中科院资源环境与数据中心，基于美国陆地卫星 Landsat 系列影像，通

过人工目视解译生成。参考土地资源分类系统并根据研究需要,将研究区域的土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、湿地、建设用地和未利用地七类。

交通网络数据来源于 Open Street Map (<https://www.openstreetmap.org>), 结合研究区实际与研究目标, 将道路交通网络分为高速公路、国道、省道、县道和县级以下道路。同时, 对照湖南省地图出版社出版的《湖南省行政区图册》等地图资料, 补充常德市部分缺失的道路信息, 得出研究区交通网络的矢量图层。

4. 研究结果分析

4.1. 交通网络影响生态空间规模分析

整体格局方面(图 2), 常德市交通网络的分布格局与土地利用格局呈现明显的对应关系。路网密度高值区分布在中南部的中心城区和北部地区, 西北部石门县与西南部桃源县为路网密度低值区, 路网密度高值区范围内是建设用地的聚集区, 而与之相反, 生态用地的分布为路网密度稀疏区。从路网与土地利用的动态变化来看, 2010 年全市道路网密度并未形成明显分区, 高密度值区分布在中心城区和北部, 正是建设用地最为集中的区域, 随着常德市城市建设的不断推进, 到了 2020 年, 全市路网密度得到全面提高, 形成了中心城区 - 次中心区 - 周边县区的高密度 - 中等密度 - 低密度交通网络格局, 建设用地的次中心数量也逐渐增多, 各级路网密度中心区所对应的主要土地利用类型为建设用地, 而生态用地的分布一直为路网的低密度区, 与路网和建设用地的空间格局相互对应。

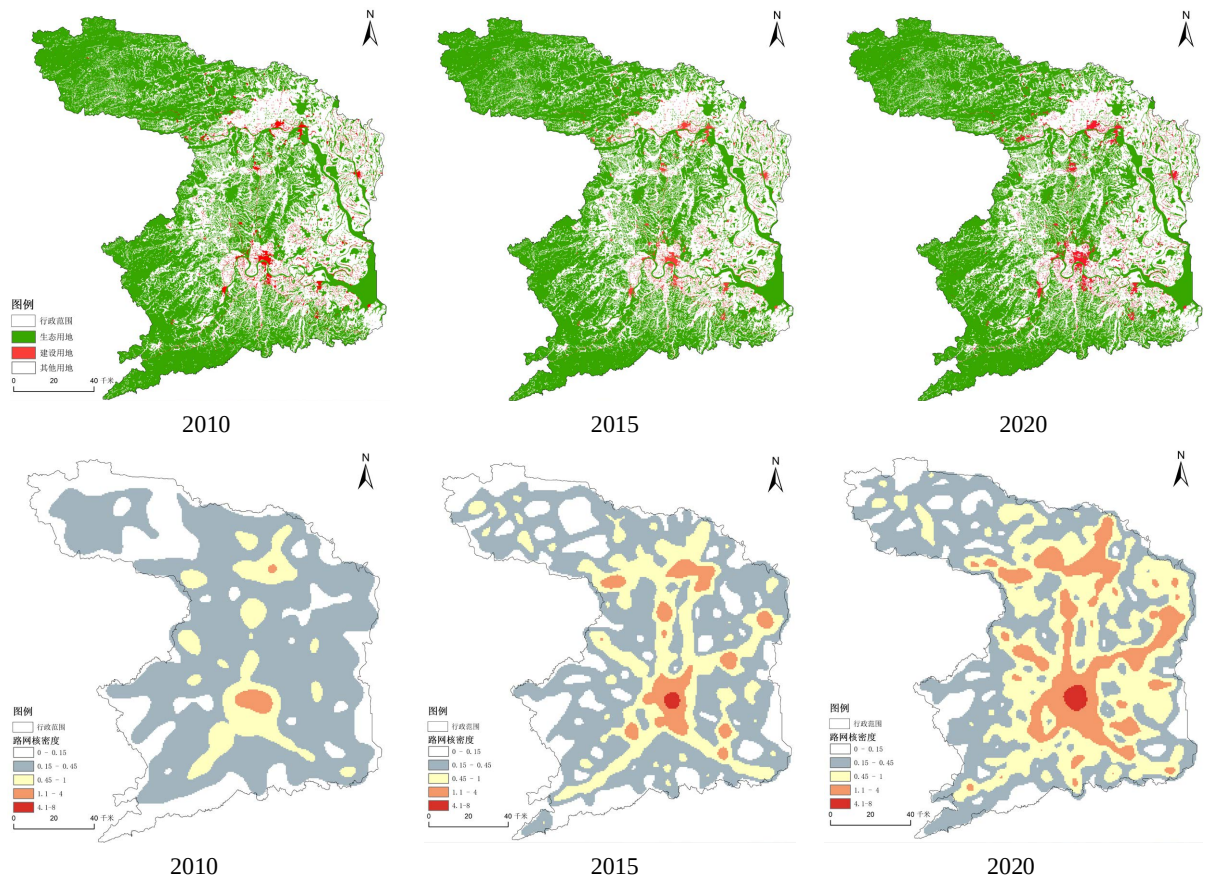


Figure 2. Land use and road network density map of Changde from 2010 to 2020
图 2. 2010~2020 年常德市土地利用与路网密度图

为探索不同等级交通网对其周边生态用地的影响情况与机制,运用 ArcGIS 10.7 软件,按照上文不同等级道路对应的缓冲带宽度生成缓冲带图层并进行修正,然后利用 ArcGIS 中按掩膜提取工具,提取不同等级道路缓冲带影响下的土地利用图层,最后统计出不同用地类型的规模及其变化趋势。

从图 3、图 4 可以看出,2010~2020 年各级道路影响域内生态用地面积均呈现不同程度的增长,其中规模最大的为高速公路,是因为高速公路的影响域范围最广泛,增长幅度最大的为县级以下道路,因为该级道路网广泛分布于城市区域,路网整体较长,并且蔓延速度相对于其他等级道路快,因此影响生态用地规模也在不断增长。各级道路影响域内建设用地规模也呈现逐渐增长的趋势,且增幅比生态用地快,说明道路拓展对建设用地的带动要优于生态用地,占比最大和增幅最快的道路等级为县级以下道路,原因除该级道路的快速蔓延外,还因低等级道路与城市经济社会活动密切相关,交通对建设用地的带动更大。

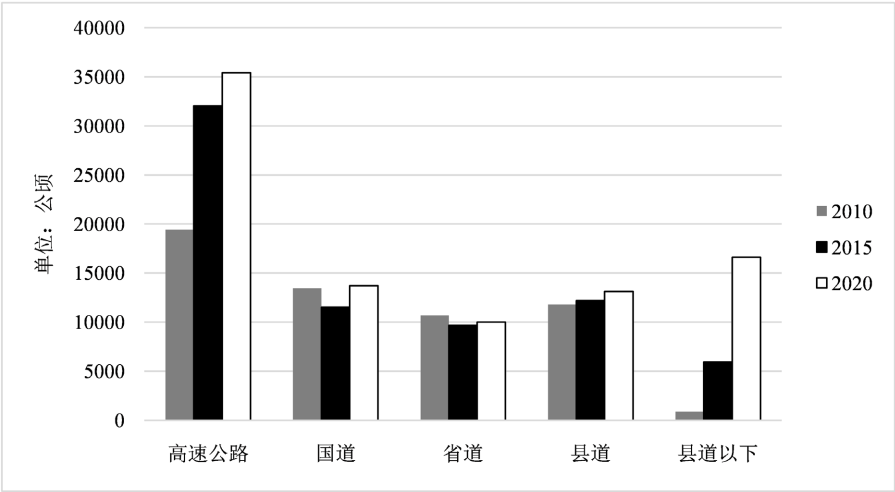


Figure 3. Ecological land area within the influence area of roads at all levels in Changde from 2010 to 2020

图 3. 2010~2020 年常德市各级道路影响域内生态用地面积

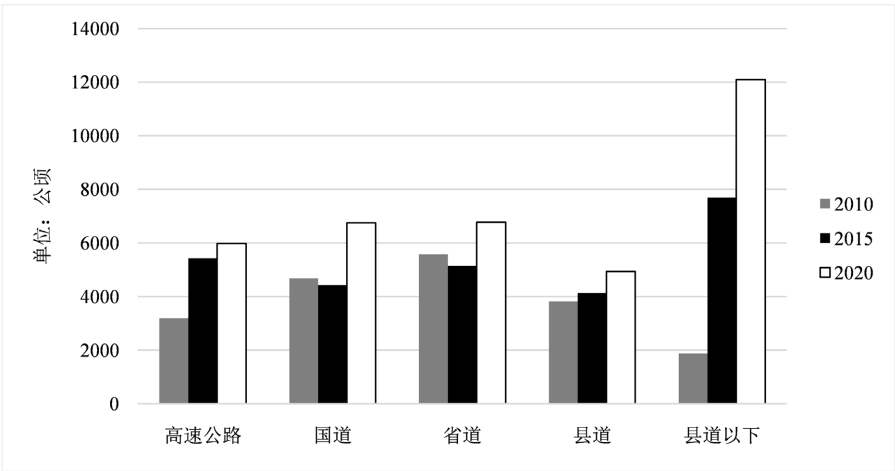


Figure 4. Construction land area within the influence area of roads at all levels in Changde from 2010 to 2020

图 4. 2010~2020 年常德市各级道路影响域内建设用地面积

为进一步分析各级路网影响域范围内生态用地规模的转变和演化,以 2020 年已建成的各级道路网影响域为基准,分析 2010~2020 年各级道路网的影响域下不同用地类型的转换情况。

根据分析结果(图 5),2010~2020 年常德市各级道路影响域范围生态用地转化地类占比最大的为建设用地,具体来看(图 6),各级道路影响域内生态用地转换为建设用地的规模中,高速公路的比例最大,其次是国道,反映出高等级的道路更能带动建设用地的扩张,从而侵占生态用地。县级以下道路的转换比例超过了省道和县道,一定程度上说明了支路、小路等联通小范围的路网对建设用地的带动作用较好,进而影响生态空间规模。



Figure 5. Sangji map of land use transfer in the affected areas of roads at all levels in Changde from 2010 to 2020

图 5. 2010~2020 年常德市各级道路影响域中土地利用转移桑基图

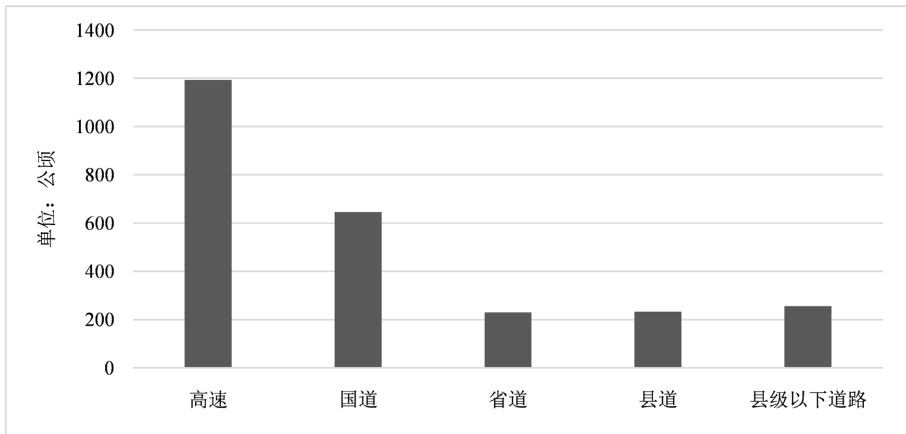


Figure 6. Scale of ecological land converted to construction land in the areas affected by roads at all levels in Changde from 2010 to 2020 (unit: hectare)
图 6. 2010~2020 年常德市各级道路影响域中生态用地转为建设用地规模(单位：公顷)

综上，交通网络通过带动建设用地的扩张从而影响、侵占生态空间，各级路网拓展对建设用地的带动效应要由于生态用地，高速公路、国道因其等级高，对经济社会的辐射带动作用较强，推动了周边地区土地利用向建设用地的转变，进而占用生态空间；县级以下道路因直接联通经济建设与人民生活，路网总长度较长，对建设用地的推进作用也较为明显。

4.2. 交通网络影响生态空间结构分析

路网的全域影响方面，道路的延伸在一定程度上影响生态斑块的格局。生态用地斑块的大小对维持其自身稳定性、提供物种多样性具有重要影响，相较于零散、破碎的生态用地，大范围的生态空间具备良好的稳定特质，能够提供多样的物种。将各级道路缓冲区与常德市不同年份土地利用图层进行切割，得到 2010 年、2015 年和 2020 年常德市土地利用无路斑块图，再对区内生态用地的斑块进行统计，分析路网演变对生态斑块的影响。

根据分析结果(图 7)，2010~2020 年常德市生态斑块整体呈现出小斑块众多，大斑块稀少的特征，并且随时间推移面积均值不断缩减，大斑块数量减少、小斑块数量大幅增长。数量最多的斑块面积由 2010 年的 5~10 公顷，下降到 2015 年的 1~5 公顷，再到 2020 年的小于 1 公顷，同时，2020 年面积小于 1 公顷斑块数为 1260 个，占总斑块数的 24%，面积大于 1000 公顷的斑块数为 72 个，仅占总斑块数的 1.4%。斑块面积能够反映斑块的破碎程度，面积越小，则代表破碎越严重。可见，在路网持续拓展、路网密度不断提高的影响下，常德市生态空间整体上区域趋向破碎，完整度降低。

路网的局部影响上，对 2010 年、2015 年和 2020 年常德市路网缓冲带影响下的景观格局进行分析，选取斑块数(NP)、斑块形状指数(LSI)、香浓均匀度指数(SHEI)和香浓多样性指数(SHDI)，同时为避免路网扩张导致的影响域面积增加从而影响结果的问题，添加平均斑块大小(MPS)指数对生态用地内的图斑进行分析。由表 2 可知，2010~2020 年，交通网络影响域范围内斑块数(NP)快速增长，而平均斑块大小(MPS)持续缩减，这反映出道路影响的区域内各类生态用地趋向于零散；斑块形状指数(LSI)逐渐增大，2015~2020 年增幅比 2010~2015 年大，斑块形状指数代表某类斑块形状特征，值越大，说明斑块形状越不规则，根据变化结果，可知 2010~2020 年期间常德市道路网影响域内斑块形状越发趋于不规则；香浓均匀度指数(SHEI)反映景观中各类斑块在面积上的均匀程度，当值等于 1 时，说明在整个景观中各种类型斑块均匀分布、呈现多样性，香浓多样性指数(SHDI)反映景观斑块的空间分布非均衡情况，值越高，

代表每类斑块越丰富, 区域破碎化程度越高, 根据分析结果, 香浓均匀度指数(SHEI)和香浓多样性指数(SHDI)整体上均为增长, 说明道路影响域内生态景观整体多样性与破碎化程度提高。

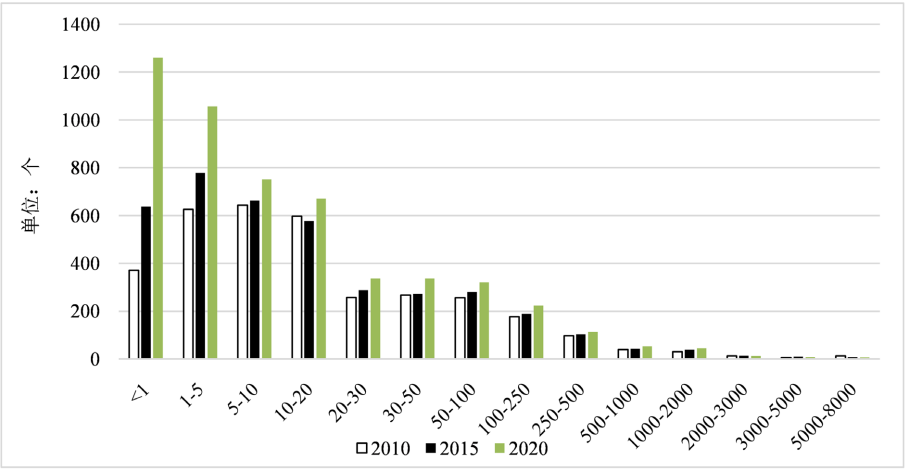


Figure 7. Area of ecological patches in the no road area of Changde from 2010 to 2020 (unit: hectare)

图 7. 2010~2020 年常德市无路区域中生态斑块的面积(单位: 公顷)

Table 2. Change of landscape index in the influence area of Changde transportation network from 2010 to 2020
表 2. 2010~2020 年常德市交通网络影响域中生态空间景观指数变化

	NP	LSI	MPS	SHDI	SHEI
2010	3746	83.11	14.05	0.50	0.36
2015	5556	99.95	12.86	0.58	0.42
2020	8423	125.14	10.59	0.56	0.40

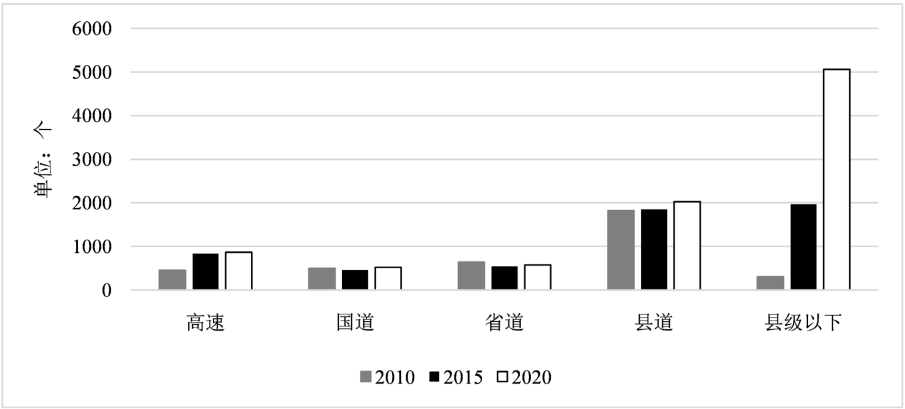


Figure 8. Number of patches in the influence area of roads at all levels in Changde from 2010 to 2020

图 8. 常德市 2010~2020 年各级道路影响域内斑块数

各级路网因对周边土地利用的影响程度不同, 因而对生态空间格局的演变也会有所差异。由结果(图 8、图 9)可知, 2010~2020 年, 不同等级道路影响域范围内, 生态景观格局呈现出差异化特征。生态斑块

平均面积(MPS)随道路等级的上升而增加, 高速、国道等高等级道路影响域内生态斑块平均面积大于县道及以下道路, 而斑块数的变化特征与之相反, 随道路级别的降低, 影响域内斑块数整体呈现出增加趋势(2010 年县级以下道路斑块数值较低与当年县级以下路网数据不全面有关)。同时, 斑块形状指数在各级道路影响域的变化趋势也呈现出伴随着道路等级降低而增大的情况(图 10), 反映出支路网系统内生态斑块的不规则、复杂性特征, 这一变化趋势与建设用地在各级道路的规模变化一致, 由此可见, 道路等级越低, 越能够直接带动周边经济现象的发生, 越有利于建设活动的开展, 进而割裂、打破原有生态格局, 造成生态斑块零散、破碎的现象, 道路等级越高, 生态斑块面积越大、数量越少, 整体越趋向于完整。

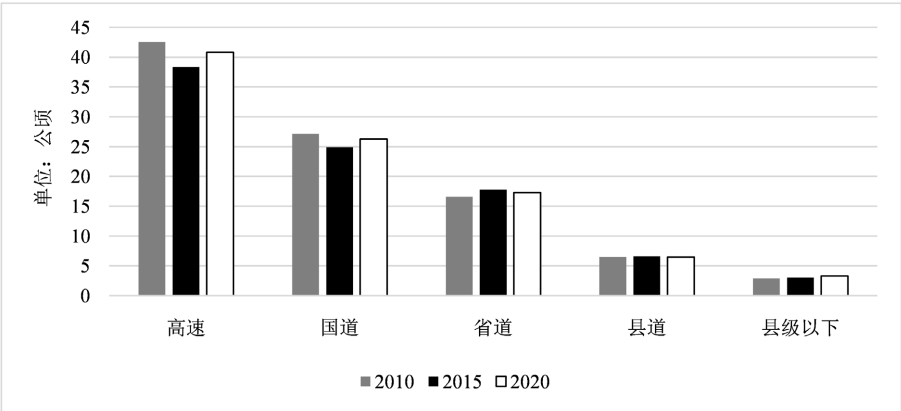


Figure 9. Average patch area in the influence area of roads at all levels in Changde from 2010 to 2020

图 9. 常德市 2010~2020 年各级道路影响域内斑块平均面积

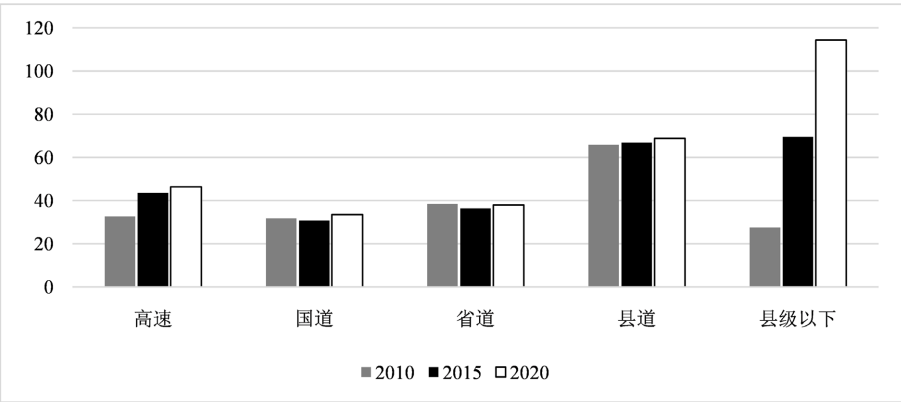


Figure 10. Patch shape index in the influence area of roads at all levels in Changde from 2010 to 2020

图 10. 常德市 2010~2020 年各级道路影响域内斑块形状指数

因此, 交通网络对生态空间结构的影响中, 区域路网对整体生态景观具有割裂作用, 使得生态斑块分裂为数量众多的小斑块, 降低景观连通性、降低生态空间整体功能; 道路影响域范围内生态景观同样趋于零散和破碎, 并且随着道路等级的下降, 周边土地利用更为直接地受到经济和建设活动地影响, 对生态用地产生的冲击逐步增大, 破坏原有生态景观的完整性, 造成斑块复杂与不规则。

4.3. 交通网络影响生态空间功能分析

生态空间的功能主要体现在区域的自然本底条件上, 以遥感生态指数(RSEI)衡量常德市生态空间功

能水平。

各级道路因其功能、等级、连通性等性质不同,对周边生态空间影响程度也不一致,对 2010 年、2015 年和 2020 年各级道路影响域范围内的遥感生态指数进行统计,如图 11,2010~2020 年各级道路影响域内遥感生态指数变化幅度较小,生态空间功能变化整体较为稳定,高速公路影响域内遥感生态指数最高,国道、省道和县道次之,这三级道路影响域内生态功能总体上差别不大,县级以下道路周边的生态功能为所有道路中最低。分析原因,高速公路虽然等级较高,但因其较封闭,对周边土地利用的直接改变相对较小,因而影响生态的程度也较低,县级以下道路周边的经济行为和建设活动密集,对生态空间的直接影响作用较强。

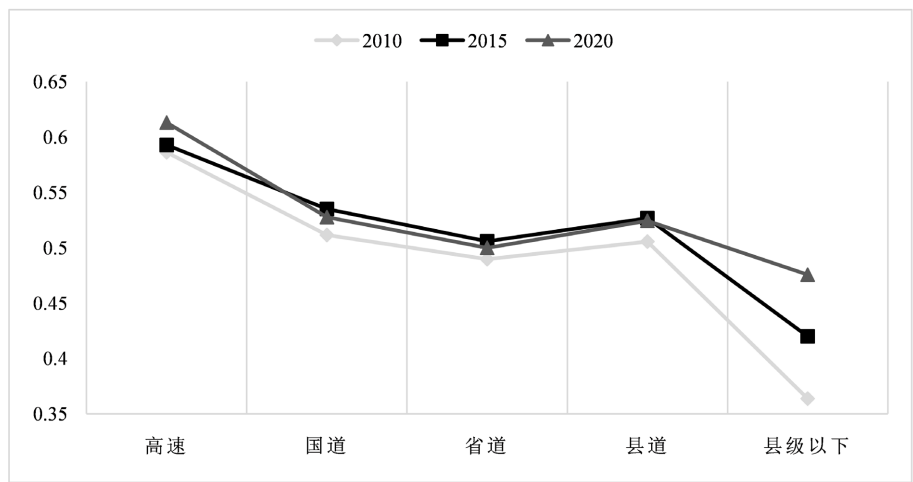


Figure 11. Change trend of mean value of remote sensing ecological index in the influence area of roads at all levels in Changde from 2010 to 2020

图 11. 2010~2020 年常德市各级道路影响域内遥感生态指数均值变化趋势

5. 结论与讨论

交通网络对于生态空间质量的影响不容忽视,本文以常德市为研究区域,基于交通网络数据和土地利用数据,定量分析了常德市 2010~2020 年道路网络对于生态空间的影响机制。其中,对于交通网络特征的衡量,采用核密度分析法呈现交通网络密度的空间格局以及时间演变特征;对于等级交通网络的影响域的划分,在已有研究划分的缓冲范围基础上,考虑自然和人为因素干扰情境,结合区域实际对各级路网影响域范围进行修订。主要结论如下:

- 1) 交通网络通过带动建设用地的扩张从而影响、侵占生态空间,高等级交通网络对经济社会的辐射带动作用较强,能够推动周边地区土地利用向建设用地的转变,进而占用生态空间;而县级以下道路相较于高等级道路交通会更为直接地影响周边土地利用,对建设用地的推进作用也较为明显。
- 2) 区域路网对整体生态景观具有割裂作用,使得生态斑块分裂为数量众多的小斑块,降低景观连通性,进而影响生态空间整体功能,并且随着交通网络等级的下降,交通网络对生态用地产生的冲击逐步增大,影响程度越发明显。
- 3) 高速公路影响域内遥感生态指数最高,国道、省道和县道次之,县级以下道路周边的生态功能为所有道路中最低。

综合来看,道路密度的增加会通过带动建设用地的扩张进而引起生态空间质量的下降,高等级的道路对周边建设用地的带动能力较强,低等级的道路虽然在连通性、通车量方面不如高等级道路,但是由

于该等级道路直接联通居民的日常通行, 路网密度庞大, 体系复杂, 对生态空间质量的影响最为直接。因此, 在未来交通网络拓展与布局中, 应逐步提升区域道路网的机动化水平, 促进更高水平出行方式, 升级传统道路形式, 以减少低级道路的生态影响。研究可为探索区域经济发展和生态保护的耦合发展提供一定指导。

但文章存在以下不足: 1) 受历史数据获取难度影响, 2010~2020 年常德市道路网数据中关于县级以下的道路存在部分的缺失, 这给研究结果精度带来一定程度上的影响; 2) 本文对于道路网影响生态空间的机制进行定量分析, 但对于未来交通网络的优化具体建议还需进行深入探索。

基金项目

湖南省研究生科研创新项目资助(QL20210133)。

参考文献

- [1] 谢余初, 巩杰, 王合领, 孙朋, 钱大文. 绿洲城市不同道路扩展轴的景观梯度变化对比研究[J]. 地理科学, 2013, 33(12): 1434-1441.
- [2] 黄梦娜, 马廷. 中国道路网引起的景观破碎格局及其对保护区的影响[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(8): 1183-1195.
- [3] 于涛, 包安明, 刘铁, 郭浩, 郑国雄, 陈桃. 不同等级道路对玛纳斯河流域土地利用与景观格局的影响[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2427-2439.
- [4] 李双成, 许月卿, 周巧富, 王磊. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析[J]. 地理科学进展, 2004(5): 78-85+110.
- [5] 刘世梁, 温敏霞, 崔保山, 董世魁. 道路网络扩展对区域生态系统的影响——以景洪市纵向岭谷区为例[J]. 生态学报, 2006(9): 3018-3024.
- [6] 王辰星, 徐舒, 张天海, 张小瑞, 吴钢. 路网扩张与生态环境压力变化的关系研究——以厦门市为例[J]. 生态学报, 2020(2): 1-5.
- [7] 毕恺艺, 牛铮, 黄妮, 寇培颖. 道路网络对景观生态风险的影响——以“中国-中南半岛经济走廊”为例[J]. 中国科学院大学学报, 2019, 36(3): 347-353.
- [8] 陈晓辉, 曾晓莹, 赵超超, 邱荣祖, 张兰怡, 侯秀英, 胡喜生. 基于遥感生态指数的道路网络生态效应分析——以福州市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 4732-4745.
- [9] 刘瑞程, 沈春竹, 贾振毅, 王君櫛, 陆春锋, 周生路. 道路景观胁迫下沿海滩涂地区生态网络构建与优化——以盐城市大丰区为例[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 828-837.
- [10] 林玉英, 李宝银, 邱荣祖, 林金国, 伍世代. 道路网络生态干扰测度指数的改进及其空间分异特征——以闽江上游为例[J]. 地理科学, 2021, 41(6): 951-959.
- [11] 刘锐, 胡伟平, 王红亮, 吴驰, 何劲. 基于核密度估计的广佛都市区路网演变分析[J]. 地理科学, 2011, 31(1): 81-86.
- [12] 禹文豪, 艾廷华, 杨敏, 刘纪平. 利用核密度与空间自相关进行城市设施兴趣点分布热点探测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2016, 41(2): 221-227.
- [13] 张建国, 李晶晶, 殷宝库, 高云飞, 刘晓燕. 基于转移矩阵的准格尔旗土地利用变化分析[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 131-134.
- [14] 华昇, 谢更新, 石林, 杨馥, 周建飞, 李忠武, 曾光明. 基于 GIS 的市域景观格局定量分析与优化[J]. 生态环境, 2008(4): 1554-1559.
- [15] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [16] 杨江燕, 吴田, 潘肖燕, 杜海童, 李金鹿, 张利, 门明新, 陈影. 基于遥感生态指数的雄安新区生态质量评估[J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 277-284.