

基于地理国情数据的合肥市城镇扩展及其景观生态风险研究

张双双, 董斌*, 高祥, 倪燕华, 朱鸣, 杨斐, 徐文瑞, 崔杨林

(安徽农业大学理学院, 合肥 230036)

摘要: 以合肥市 2015 年、2016 年和 2017 年的地理国情数据为数据源, 运用 ArcGIS 和 Fragstats 软件分析研究区 2015—2017 年的景观格局; 基于景观格局指数评价法建立景观生态风险评价模型, 并探讨城镇扩展强度与景观生态风险之间的线性关系。结果表明, 2015—2017 年间, 合肥市景观格局变化显著, 城镇用地、交通用地、工矿用地及水域面积总体呈增加态势, 而耕地、园地、林地及草地面积总体呈减少态势。合肥市 2015—2017 年间的景观生态风险均处于极低状态, 但随着城镇化进程的加快, 期间的景观生态风险指数均呈上升趋势, 景观生态安全的压力增大, 且城镇扩展强度与景观生态风险之间呈显著的线性关系。

关键词: 地理国情数据; 景观格局; 城镇扩展; 生态风险; 合肥市

中图分类号: C912.81

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)05-0826-08

Urbanization expansion and ecological risk in Hefei city based on geographical national conditions data

ZHANG Shuangshuang, DONG Bin, GAO Xiang, NI Yanhua, ZHU Ming, YANG Fei, XU Wenrui, CUI Yanglin
(School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: Based on the geographical data of 2015, 2016 and 2017 in Hefei city, ArcGIS and Fragstats software was used to analyze the landscape pattern of the study area from 2015 to 2017. Based on the landscape pattern index evaluation method, the landscape ecological risk assessment model was established, and the linear relationship between urban expansion intensity and landscape ecological risk was discussed. The results showed that: during 2015-2017, the landscape pattern of Hefei city changed obviously. The area of urban land, traffic land, industrial and mining land and water increased. The area of cultivated land, garden land, forest land and grassland decreased. The landscape ecological risk in Hefei city was extremely low during 2015-2017. With the acceleration of urbanization, the landscape ecological risk index of the period showed an upward trend, the pressure of landscape ecological security increased, and there was a significant linear relationship between urban expansion intensity and landscape ecological risk.

Key words: geographical national conditions data; landscape pattern; urbanization expansion; ecological risk; Hefei city

20 世纪初, 随着社会生产力提高、经济快速发展, 我国城镇化进程加快、城镇扩展速度快速发展。从景观尺度上看, 可将城镇理解作为一种土地利用景观结构转变的过程, 以景观几何特征为基础的景观格局指数可以较好地反映景观格局变化^[1-2]。目前, 中国城镇化受到国际社会的高度关注, 城镇化

下人类活动强度加大和不合理土地利用方式, 导致城市生态环境压力增大^[3]。近年来的研究表明, 随着遥感和 GIS 技术的发展, 借助城镇扩展与景观格局变化模型, 识别潜在的生态风险, 成为指导城市土地利用规划管理、规避生态风险的重要手段, 是当前研究的热点问题之一^[4-5]。目前, Hayes 和 Angela

收稿日期: 2018-12-17

基金项目: 国家自然科学基金(41571101), 安徽省智慧城市与地理国情监测重点实验室项目(2016-K-04Z), 安徽省省级质量工程重点项目(2017jyxm1247, jz183805)和精准林业北京市重点实验室及精准林业关键技术与装备研究(2015ZCQ-LX-01)共同资助。

作者简介: 张双双, 硕士研究生。E-mail: zss920821@sina.com

* 通信作者: 董斌, 博士, 教授。E-mail: dbhy123@sina.com

等学者运用 GIS 技术构建景观生态风险评价模型并进行空间分析, 开展了一系列相关研究^[6-7], 而我国这方面研究主要集中在流域^[8]、自然保护区^[9]、矿区^[10]、海岸带^[11]等。针对我国长江中下游地区中小城市的扩展研究相对较少, 研究内容也仅涉及土地利用时空变化、城市扩展驱动力及区域生态风险等几个方面^[12-14]。

合肥市作为省会城市, 近年来工业化和城镇化进程不断加快, 城镇景观格局变化明显, 伴随着越来越大的城市生态环境压力, 实现合肥市政治、经济、文化、社会、生态文明协调发展, 合理的土地利用规划制定必不可少。因此, 本研究以合肥市为例, 参考景观生态风险评价理论和模型方法, 运用 GIS 技术构建评价模型并进行空间分析, 量化合肥市城镇扩展与景观格局变化过程, 并评估城镇扩展导致景观生态风险的空间差异性, 分析合肥市城镇扩展与景观生态风险之间的关系, 以期为促进合肥市可持续发展、土地利用合理调控和生态环境科学管理提供决策依据。

1 研究区概况

合肥市地处中国华东地区、长江三角洲西端, 位于 $30^{\circ}57' \sim 32^{\circ}32'N$, $116^{\circ}41' \sim 117^{\circ}58'E$, 处中纬度地带, 总面积为 $1\,144\,540\text{ hm}^2$ 。属于亚热带季风气候区, 不仅四季分明、光照充足, 且雨量充沛。因地理国情监测过程涉及大量数据采集和处理, 因此选取合肥市作为研究区。合肥市包括: 蜀山区、包河区、庐阳区、瑶海区。其中, 蜀山区位于合肥市西南部, 是全市的政治和文化中心, 行政区域面积 $66\,365\text{ hm}^2$ 。瑶海区是传统的工业区, 是全市重要的加工制造业基地, 位于合肥市主城区东部, 东接肥东县, 西、南滨南淝河, 北邻长丰县、新站区, 主管区域面积 $6\,440\text{ hm}^2$ 。包河区位于合肥主城区的东南, 是全国唯一濒临五大淡水湖之一(巢湖)的省会城区, 聚集了多所高等院校和研究所, 区域面积 $34\,000\text{ hm}^2$ 。庐阳区是合肥老城区, 位于合肥市中北部, 面积 $13\,900\text{ hm}^2$, 是全省经济、文化、金融中心。

2 数据处理与研究方法

2.1 数据选取与处理

本研究依据 2017 年地理国情普查采用最新的《GQJC 03-2017 基础性地理国情监测内容与指标》标准及国土资源部组织修订的国家标准《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)^[16-17], 并结合研究区

实际情况, 主要通过 ArcGIS10.3 的筛选统计工具, 将国情数据中地表覆盖分类进行重新划分, 确定景观类型包括 9 大类: 耕地、园地、林地、草地、城镇用地、工矿用地、交通用地、水域、未利用地, 获取 2015 和 2017 年的景观类型数据, 最后利用景观指数法及 GIS 空间分析法获取研究区景观生态风险评价结果。



图 1 合肥市位置图

Figure 1 The location map of Hefei City

2.2 研究方法

2.2.1 城镇用地扩展特征指标选取 合肥市作为安徽省省会城市, 政治和经济处于快速发展中, 城镇化进程不断加快, 必然推动城市建设用地需求量增长。因此, 一定时段内, 城镇用地将呈逐渐增长趋势。本文参考相关文献选取以下指标对城镇用地扩展特征进行分析^[15]:

a. 城镇扩展贡献率, 是指城镇用地的增长量(程度)占城镇用地总增长量(程度)的比重, 用于分析城镇扩展过程中该因素作用大小的程度。

b. 城镇扩展速度 (urbanization expansion speed, UES), 是指某一时间段内城镇用地面积增加的速率。

$$UES_{i,i+n} = (UL_{i+n} - UL_i) / UL_i \times 100\% \quad (1)$$

式中: UL_i 为第 i 年的研究区城镇用地面积, UL_{i+n} 为第 $i+n$ 年的研究区城镇用地面积。

c. 城镇扩展强度指数 (urbanization expansion intensity index, UEII), 是指不同研究期内单位面积上的城镇用地景观的年均扩展的速度大小。

$$UEH_{i,i+n} = [(UL_i - UL_{i+n}) / n / M] \times 100\% \quad (2)$$

式中： UL_i 为第 i 年的研究区城镇用地面积， UL_{i+n} 为第 $i+n$ 年的研究区城镇用地面积， n 为研究区的研究时间跨度， M 为研究区总面积。

2.2.2 景观干扰度指数 景观干扰度是指由不同的景观对其所构成的生态系统受干扰程度的反映。参考相关文献，景观干扰度指数可由景观破碎度指数、景观分离度指数和景观分维数组成并分析研究区景观结构变化^[18]。其公式如下：

$$E_i = \sum_{k=1}^n W_k \times (C_i + D_i + F_i) \quad (3)$$

式中： i 为景观类型数， W_k 为某景观格局指数的权重， C_i 为景观破碎度指数， D_i 为景观分离度指数， F_i 为景观分维数。

本研究采用层次分析法 (AHP) 确定各景观指数的权重 W_k ，分别：景观破碎度指数为 0.5，景观分离度指数为 0.3，景观分维数为 0.2。经验证，判断矩阵的一致性检验均合格，CR 均 < 0.1，判断矩阵具有满意的一致性^[19]。

(1) 景观破碎度，指单位面积的某种类型景观的斑块数量。其值越大则表示该类型景观破碎化程度较高。计算公式如下：

$$C_i = N_i / A_i \quad (4)$$

式中： N 为第 i 种类型景观的总斑块数， A_i 为第 i 种类型景观的面积。

(2) 景观分离度，指某一景观类型中其斑块在空间布局上所表现的聚合程度。其值越大则表明分布越分散。计算公式如下：

$$D_i = \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{N_i}{A} \times \frac{A}{A_i}} \quad (5)$$

式中： N 为第 i 种类型景观的总斑块数， A_i 为第 i 种类型景观的面积， A 为景观总面积。

(3) 景观分维数，指某一类型景观的斑块形状的复杂程度及受外界干扰程度。计算公式如下：

$$F_i = \frac{2 \ln(P_i / 4)}{\ln A_i} \quad (6)$$

式中： A_i 为第 i 种类型景观的面积， P_i 为第 i 种类型景观的周长。

2.2.3 景观脆弱度指数 景观脆弱度是指某一类型景观对外界变化的敏感程度。其值越大，说明该景观抵御外界干扰的能力越弱，生态系统越脆弱，越容易受损；反之，表明景观越稳定。参考相关文献^[20]，各景观类型的脆弱度分级赋值如下 (表 1)。

表 1 各景观类型的脆弱度分级

Table 1 Vulnerability classification for each landscape type

景观类型 Landscape type	脆弱度分级 Vulnerability classification	景观类型 Landscape type	脆弱度分级 Vulnerability classification
未利用地 Unused land	6	园地、草地 Garden land、Grassland	3
水域 Waters	5	林地 Forest land	2
耕地 Cultivated land	4	工矿用地、交通用地、城镇用地 Industrial and mining land、traffic land、Urban land	1

2.2.4 景观生态风险评价模型建立 景观生态风险指数是由景观干扰度指数和景观脆弱度指数共同决定的。本研究从景观结构出发，由景观干扰度指数和景观脆弱度指数构建景观生态风险指数 (ecological risk index)^[21]。其公式如下：

$$ERI = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} \times (E_i \times R_i) \quad (7)$$

式中： i 为景观类型数， A_{ki} 为第 k 个风险小区的 i 种景观类型的面积， A_k 为第 k 个风险小区的景观总面积。 E_i 为第 i 种景观类型的景观干扰度指数， R_i 为第 i 种景观类型的景观脆弱度指数。

基于上述景观生态风险指数公式计算出生态风险值，分析研究区 2015—2017 年的景观生态风险情况。在此基础上，结合城镇扩展强度和景观生态风险变化值，选择有值样本进行回归分析，以定量分

析城镇空间扩展与景观生态风险之间的关系。

2.2.5 景观生态风险评价标准 为了更加直观的说明合肥市景观生态风险评价分析结果，参考相关文献中对生态风险等级的划分，将研究区景观生态风险划分为 5 等级，分别是：极低生态风险 ($0 \leq ERI < 0.2$)、低生态风险 ($0.2 \leq ERI < 0.4$)、中生态风险 ($0.4 \leq ERI < 0.6$)、高生态风险 ($0.6 \leq ERI < 0.8$)、极高生态风险 ($0.8 \leq ERI \leq 1$)^[22]。

2.2.6 一元线性回归 一元线性回归分析是一种常见的统计分析方法。线性回归分析，是指某一变量随着另一变量的变化而变化，且呈直线变化趋势，并可用某一直线方程来表述两个变量之间的线性数量关系^[23]。一元回归的主要任务是由自变量去估计因变量，最后找出一个数学模型 $Y=f(X)$ ，使得从 X 估计 Y 可以用一个函数式去计算。

3 结果与分析

3.1 合肥市景观结构演变

本研究通过统计分析软件计算 2015 年和 2017 年各景观类型的面积及占比, 以及各景观类型之间的面积转移情况 (表 2 和表 3)。

根据表 2 可知, 2015 年到 2017 年, 合肥市的各景观类型发生了显著变化。2015 年合肥市最主要的景观是城镇用地、水域和草地, 各类型景观面积

占比分别为 23.02%、14.52%、12.20%。随着社会进步、经济发展, 到 2017 年, 合肥市水域面积有轻微的波动, 但总体变化趋势不大; 城镇用地和水域依然是最主要景观, 分别占比 25.19%、14.77%。2015—2017 年, 耕地、园地、林地、草地面积呈减少趋势, 耕地减少幅度最大, 其次为草地、园地、林地。而工矿用地、城镇用地、交通用地、水域景观均呈现增长趋势, 其中城镇用地、工矿用地面积增幅最大。

表 2 合肥市景观结构变化
Table 2 Changes of landscape structure in Hefei city

景观类型 Landscape type	2015 年			2017 年		
	面积/hm ² Area	比例/% Proportion	斑块数量/个 Number of plaques	面积/hm ² Area	比例/% Proportion	斑块数量/个 Number of plaques
耕地 Cultivated land	10 272.98	11.10	1 351	8 177.35	8.84	1 347
园地 Garden land	10 729.68	11.60	589	10 496.28	11.34	589
林地 Forest land	9 765.25	10.55	2 656	9 608.47	10.39	2 658
草地 Grassland	11 290.13	12.20	3 444	10 137.69	10.96	3 301
城镇用地 Urban land	21 295.52	23.02	1 607	23 302.02	25.19	1 600
交通用地 Traffic land	7 947.12	8.59	1 617	8 511.37	9.20	1 210
工矿用地 Industrial and mining land	7 782.44	8.41	2 661	8 617.36	9.31	2 728
未利用地 Unused land	3.46	0	3	3.46	0	3
水域 Waters	13 435.91	14.52	1 030	13 668.49	14.77	1 653
总计 Total	92 522.49	100.00	14 958	92 522.49	100.00	15 098

表 3 合肥市景观类型转移矩阵
Table 3 Landscape type transfer matrix for Hefei city

2017 年	2015 年								
	耕地 Cultivated land	园地 Garden land	林地 Forest land	草地 Grassland	城镇用地 Urban land	交通用地 Traffic land	工矿用地 Industrial and mining land	未利用地 Unused land	水域 Waters
耕地 Cultivated land	7 723.59	344.04	35.73	258.25	335.21	74.97	1 397.89	0	103.30
园地 Garden land	48.42	10 009.50	31.73	85.92	125.84	26.69	363.05	0	38.53
林地 Forest land	62.62	10.00	9 094.57	125.62	90.13	45.53	320.73	0	16.05
草地 Grassland	144.40	75.40	135.84	8 590.61	472.46	86.01	1 551.25	0	234.16
城镇用地 Urban land	28.61	6.25	30.74	83.52	20 291.90	42.00	801.84	0	10.66
交通用地 Traffic land	0.27	1.32	3.92	8.12	29.07	7 806.71	97.05	0	0.66
工矿用地 Industrial and mining land	158.31	44.49	272.00	939.57	1 939.83	419.77	3 885.94	0	122.53
未利用地 Unused land	0	0	0	0	0	0	0	3.46	0
水域 Waters	11.13	5.28	3.94	46.08	17.58	9.69	199.61	0	13 142.60

综合表 2 和表 3 可知, 近 3 年来, 研究区的城镇用地景观的增长速度为 9.42%, 从 2015 年的 21 295.52 hm² 增加到 2017 年的 23 302.02 hm²。其中城镇用地占用耕地、园地、林地、草地的幅度较大, 且源自工矿用地景观的整理获得。交通用地景观面积的变化比 2015 年增长了 0.07 倍, 增加的面积主要源自于耕地、园地、林地和草地, 以及对工矿用地的整理。工矿用地景观面积变化也较大, 由 2015

年的 7 782.44 hm² 增加到了 2017 年的 8 617.36 hm², 增加面积主要来自于对耕地、林地和草地, 以及少数其他农用地的占用。

总体来说, 随着合肥市近 3 年区域经济发展和交通便利, 城镇化率逐年提高, 城镇用地景观明显增加; 城镇化进程的加快, 推动城镇建设, 进而占用相应的土地资源, 特别是农用地的占用; 同时城镇建设也带动交通用地、工矿用地等景观面积增加。

表 4 合肥市城镇用地扩展分析
Table 4 Analysis of urban land expansion of Hefei city

时间段 Period	扩展面积/hm ² Extended area	扩展速度/(hm ² /a) Expansion speed	扩展贡献率/% Extended contribution rate	城镇扩展强度指数/% Urban expansion strength index
2015-2016年	504.87	2.17	43.07	0.55
2016-2017年	1 501.63	7.05	60.89	1.62
2015-2017年	2 006.50	9.42	55.15	1.08

表 5 合肥市各分区城镇用地扩展变化

Table 5 Changes of urban land expansion in various districts of Hefei city

	2015—2016年	2016—2017年	2015—2017年
A	3 009.85	2 856.62	2 792.02
庐阳区 B	132.67	232.26	350.50
C	79.02	78.69	143.29
A	5 648.93	5 327.08	5 178.80
瑶海区 B	439.71	515.40	909.84
C	193.55	151.46	299.74
A	7 421.83	6 994.89	6 872.65
蜀山区 B	378.57	633.73	927.75
C	206.79	125.45	247.70
A	6 100.73	5 551.17	5 442.34
包河区 B	160.33	679.16	818.72
C	129.60	203.61	312.44

A: 不变面积/hm² Constant area; B: 扩展面积/hm² Extended area; C: 减少面积/hm² Reduced area

3.2 合肥市城镇用地扩展分析

由表 4 和表 5, 并结合合肥市区划图, 可知, 2015—2017 年, 合肥市城镇用地总体呈增长态势, 城镇扩展范围集中分布在现有城镇周边。2015—2016 年, 城镇用地扩展面积为 504.87 hm², 扩展速度为 2.17%, 扩展贡献率为 43.07%, 扩展强度指数为 0.55%, 扩展特征表现为城镇扩展集中在瑶海区的东北、东南部, 包河区的中西部, 庐阳区的东北部以及蜀山区的中部、西部、南部等; 2016—2017 年, 城镇用地扩展面积为 1 501.63 hm², 扩展速度为 7.05%, 扩展贡献率为 60.89%, 扩展强度指数为 1.62%, 扩展特征表现为城镇扩展集中在瑶海区的东北、东南部, 庐阳区的东部, 包河区的西南部以及蜀山区的中部、西部、东南部。2015—2016 年, 瑶海区的扩展面积最大, 其次为蜀山区, 最小为庐阳区; 2016—2017 年, 包河区的扩展面积最大, 其次为蜀山区, 最小为庐阳区; 2015—2017 年, 蜀山区的扩展面积最大, 其次为包河区, 最小为庐阳区。整体来说, 合肥市 2016—2017 年的城镇扩展强度高于 2015—2016 年, 表明城镇扩展强度逐渐加强, 城镇化进程速度明显加快。

3.3 景观生态风险分析

本研究需要, 对脆弱度分级赋值(表 1)进行归一化处理, 得到各景观类型的脆弱度指数如下: 工矿用地、交通用地、城镇用地为 0.079 7, 林地为 0.095 4, 园地、草地为 0.119 2, 耕地为 0.128 9, 水域为 0.147 6, 未利用地为 0.150 6。利用景观指数计算软件 FRAGSTATS4.2 和 Excel 2003 的统计分析功能计算合肥市景观格局指数(表 6)。

按照公式(7)的综合评价模型分别计算了 2015 和 2017 年的合肥市各景观类型的生态风险指数, 并根据上述景观生态风险评价标准, 分别确定合肥市 2015 和 2017 年的景观生态风险级别(表 7)。

由表 7 可知, 合肥市 2015 和 2017 年的景观生态风险指数分别 0.164 1 和 0.166 1; 2017 年的景观生态风险指数高于基期 2015 年。合肥市各分区 2015 和 2017 年的景观生态风险指数分别为: 庐阳区 0.170 8、0.194 6; 瑶海区 0.184 5、0.190 4; 蜀山区 0.169 2、0.175 2; 包河区 0.137 6、0.155 3。各分区的景观生态风险指数均呈上升趋势。从风险等级评价结果来看, 合肥市的景观生态风险均处于极低生态风险, 但此期间的景观生态风险指数呈上升趋势。由此可见, 随着城镇化进程的加快, 人类活动比较频繁, 合肥市景观结构变化明显, 景观破碎度增强, 景观生态风险呈增加态势, 景观生态安全压力增大。

从单一景观来看, 各景观类型的生态风险指数值最大的是草地, 由 2015 年 0.036 0 降低到 2017 年的 0.031 3, 相较于其他 8 种景观类型, 其风险指数呈现高风险的特点。草地生态风险指数降低, 主要是因为城市开发建设的需要, 侵占部分草地, 景观生态风险转移到城镇和交通用地上, 剩余草地的景观生态风险有所降低。2015 年各景观类型的生态风险从大到小依次为: 草地>城镇用地>水域>林地>耕地>交通用地>园地>工矿用地>未利用地; 2017 年各景观类型的生态风险从大到小依次为: 草地>水域>城镇用地>林地>交通用地>耕地>园地>工矿用地>未利用地。其他 8 种类型的生态风险指数较草地而言较低, 耕地、园地、林地景观生态风险有所降低, 城镇用地、交通用地和水域景观生态风险

均有不同程度的增加,其中城镇用地增加较为显著。属设施也随之增加,因此景观格局发生变化,潜在说明随着城镇化进程的加快,城镇不断扩展,其附属景观生态风险不断上升。

表 6 合肥市景观生态风险相关指数
Table 6 Landscape ecological risk related index of Hefei city

景观类型 Landscape type	2015 年					2017 年				
	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i
耕地 Cultivated land	1.460 4	0.999 8	1.555 8	1.341 3	0.128 9	1.456 1	0.999 9	1.551 4	1.338 3	0.128 9
园地 Garden land	0.636 7	0.999 5	1.576 1	0.9334	0.119 2	0.636 7	0.999 5	1.581 2	0.934 4	0.119 2
林地 Forest land	2.871 0	0.999 9	1.576 4	2.0508	0.095 4	2.873 2	0.999 9	1.570 4	2.050 7	0.095 4
草地 Grassland	3.722 8	1	1.556 6	2.4727	0.119 2	3.568 3	1	1.558 9	2.395 9	0.119 2
城镇用地 Urban land	1.737 1	0.991 7	1.511 9	1.4684	0.079 7	1.729 5	0.992 0	1.513 2	1.465 0	0.079 7
交通用地 Traffic land	2.876 4	0.999 9	1.639 3	2.0660	0.079 7	2.948 9	0.999 9	1.648 9	2.104 2	0.079 7
工矿用地 Industrial and mining land	1.747 9	0.994 0	1.498 6	1.471 9	0.079 7	1.308 0	0.999 9	1.456 7	1.245 3	0.079 7
未利用地 Unused land	0.003 2	1	0	0.301 6	0.150 6	0.003 2	1	0	0.301 6	0.150 6
水域 Waters	1.113 4	0.999 9	1.427 7	1.142 2	0.147 6	1.786 8	0.994 0	1.497 5	1.491 1	0.147 6

景观类型 Landscape type	庐阳区 2015 年					庐阳区 2017 年				
	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i
耕地 Cultivated land	2.248 0	0.999 9	1.542 6	1.732 5	0.128 9	2.184 0	0.999 9	1.561 9	1.704 4	0.128 9
园地 Garden land	0.831 6	0.987 6	1.617 0	1.035 5	0.119 2	0.822 4	0.988 1	1.621 4	1.031 9	0.119 2
林地 Forest land	2.842 0	0.999 9	1.619 8	2.044 9	0.095 4	2.732 3	0.999 9	1.615 0	1.989 1	0.095 4
草地 Grassland	4.486 9	0.999 9	1.558 9	2.855 2	0.119 2	4.432 1	0.999 9	1.570 1	2.830 0	0.119 2
城镇用地 Urban land	2.147 5	0.999 0	1.576 7	1.688 8	0.079 7	2.065 2	0.998 5	1.599 1	1.652 0	0.079 7
交通用地 Traffic land	2.312 0	0.976 0	1.460 7	1.740 9	0.079 7	0.950 4	0.999 9	1.464 6	1.068 1	0.079 7
工矿用地 Industrial and mining land	2.832 9	1	1.634 7	2.043 4	0.079 7	2.979 1	1	1.658 7	2.121 3	0.079 7
未利用地 Unused land	0	0	0	0	0.150 6	0	0	0	0	0.150 6
水域 Waters	0.996 1	0.999 9	1.432 5	1.084 5	0.147 6	2.430 8	0.975 6	1.457 1	1.799 5	0.147 6

景观类型 Landscape type	瑶海区 2015 年					瑶海区 2017 年				
	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i
耕地 Cultivated land	1.688 7	0.997 8	1.587 2	1.461 1	0.128 9	1.878 4	0.998 9	1.573 3	1.553 5	0.128 9
园地 Garden land	0.828 2	0.999 8	1.551 0	1.024 2	0.119 2	0.874 4	0.999 8	1.548 0	1.046 7	0.119 2
林地 Forest land	3.641 2	1	1.573 5	2.435 3	0.095 4	3.636 5	1	1.576 8	2.433 6	0.095 4
草地 Grassland	4.561 9	0.999 9	1.598 7	2.900 7	0.119 2	4.367 5	0.999 9	1.597 4	2.803 2	0.119 2
城镇用地 Urban land	1.961 7	0.982 8	1.538 6	1.583 4	0.079 7	1.878 4	0.977 8	1.544 6	1.541 5	0.079 7
交通用地 Traffic land	1.795 1	0.999 9	1.472 3	1.492 0	0.079 7	1.735 0	0.999 7	1.454 4	1.458 3	0.079 7
工矿用地 Industrial and mining land	3.613 4	0.999 9	1.657 4	2.438 2	0.079 7	3.742 9	0.999 9	1.664 9	2.504 4	0.079 7
未利用地 Unused land	0	0	0	0	0.150 6	0	0	0	0	0.150 6
水域 Waters	1.295 5	0.999 8	1.428 3	1.233 4	0.147 6	1.799 8	0.999 9	1.495 4	1.499 0	0.147 6

景观类型 Landscape type	蜀山区 2015 年					蜀山区 2017 年				
	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i
耕地 Cultivated land	1.116 7	0.998 7	1.550 1	1.168 0	0.128 9	1.191 4	0.999 4	1.537 8	1.203 1	0.128 9
园地 Garden land	0.922 2	0.996 1	1.568 5	1.073 6	0.119 2	0.842 5	0.996 3	1.572 1	1.034 6	0.119 2
林地 Forest land	3.055 8	0.998 3	1.579 1	2.143 2	0.095 4	3.030 9	0.998 3	1.560 2	2.127 0	0.095 4
草地 Grassland	4.008 0	0.999 7	1.529 6	2.609 8	0.119 2	3.733 8	0.999 8	1.529 5	2.472 7	0.119 2
城镇用地 Urban land	1.984 0	0.995 5	1.496 0	1.589 9	0.079 7	1.984 0	0.994 9	1.482 5	1.587 0	0.079 7
交通用地 Traffic land	2.402 8	1	1.523 5	1.806 1	0.079 7	1.206 4	0.999 2	1.431 5	1.189 3	0.079 7
工矿用地 Industrial and mining land	2.846 5	0.999 9	1.634 3	2.050 1	0.079 7	2.896 3	0.999 9	1.634 5	2.075 0	0.079 7
未利用地 Unused land	0.005 0	1	0	0.302 5	0.150 6	0.005 0	1	0	0.302 5	0.150 6
水域 Waters	1.171 5	0.999 1	1.377 5	1.161 0	0.147 6	2.442 7	1	1.512 9	1.823 9	0.147 6

续表 6 Continued the table 6

景观类型 Landscape type	包河区 2015 年					包河区 2017 年				
	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i	C_i	D_i	F_i	E_i	R_i
耕地 Cultivated land	1.427 5	1	1.524 6	1.318 7	0.128 9	1.330 1	1	1.522 5	1.269 6	0.128 9
园地 Garden land	0.446 7	0.998 9	1.568 2	0.836 7	0.119 2	0.487 0	0.999 0	1.569 5	0.857 1	0.119 2
林地 Forest land	2.220 1	0.999 8	1.522 2	1.714 4	0.095 4	2.273 9	0.999 8	1.519 3	1.740 8	0.095 4
草地 Grassland	3.083 3	1	1.544 1	2.150 5	0.119 2	2.962 4	1	1.547 2	2.090 6	0.119 2
城镇用地 Urban land	1.625 6	0.995 1	1.515 4	1.414 4	0.079 7	1.672 7	0.996 9	1.512 1	1.437 8	0.079 7
交通用地 Traffic land	1.397 2	0.947 5	1.491 9	1.281 2	0.079 7	1.236 0	0.999 7	1.486 4	1.215 2	0.079 7
工矿用地 Industrial and mining land	2.263 8	0.999 5	1.631 9	1.758 1	0.079 7	2.297 4	0.999 0	1.647 4	1.777 9	0.079 7
未利用地 Unused land	0.006 7	1	0	0.303 4	0.150 6	0.006 7	1	0	0.303 4	0.150 6
水域 Waters	1.017 7	0.999 5	1.450 8	1.098 9	0.147 6	1.457 7	0.947 6	1.484 5	1.310 0	0.147 6

注： C_i 表示景观破碎度指数； D_i 表示景观分离度指数； F_i 表示景观分维数； E_i 表示景观干扰度指数； R_i 表示景观脆弱度指数。

Note: “ C_i ” refers to the landscape fragmentation index; “ D_i ” refers to the landscape separation index; “ F_i ” refers to the landscape fractal dimension; “ E_i ” refers to the landscape interference index; “ R_i ” refers to the landscape vulnerability index.

表 7 合肥市各景观类型生态风险指数及分级

Table 7 Index and grade of landscape ecological risk of Hefei city

景观类型 Landscape type	2015 年			2017 年		
	ERI	ERI (总)	分级 Grade	ERI	ERI (总)	分级 Grade
耕地 Cultivated land	0.019 2	0.164 1	极低	0.015 2	0.166 1	极低
园地 Garden land	0.012 9			0.012 6		
林地 Forest land	0.020 6			0.020 3		
草地 Grassland	0.036 0			0.032 3		
城镇用地 Urban land	0.026 9			0.029 4		
交通用地 Traffic land	0.014 1			0.015 4		
工矿用地 Industrial and mining land	0.009 9			0.009 2		
未利用地 Unused land	0			0		
水域 Waters	0.024 5			0.031 5		

注：ERI 表示各景观类型的生态风险指数；ERI (总) 表示景观生态风险指数。

Note: “ERI” refers to the ecological risk index of each landscape type; “ERI (total)” refers to the landscape ecological risk index

表 8 合肥市各分区景观生态风险指数及分级

Table 8 Landscape ecological risk index and Grade of each district in Hefei city

年份 year	景观生态风险指数 Index of landscape ecological risk				分级 Grade
	庐阳区	瑶海区	蜀山区	包河区	
2015 年 2015year	0.170 8	0.184 5	0.169 2	0.137 6	极低
2017 年 2017year	0.194 6	0.190 4	0.175 2	0.155 3	极低

3.4 城镇扩展强度与生态风险线性关系分析

为研究城镇扩展强度与景观生态风险之间的相关性分析，在研究区范围内选取 8 组数据，借助 Excel 软件做线性回归分析，两者呈良好的线性关系 $y=0.075 1x+0.026 1$ ，可决系数 $R^2=0.857 3$ ，呈显著相关。因此，景观生态风险大小与城镇用地扩展强度拟合程度较高，城镇扩展强度越大，其景观生态风险值越高。

4 讨论与结论

本研究表明，2015—2017 年间，合肥市景观结

构变化明显，城镇用地、交通用地、工矿用地及水域景观呈明显增加态势，而耕地、园地、林地及草地景观总体呈减少的态势。且斑块数目增加，景观的破碎化程度增强。合肥市 2015、2017 年的景观生态风险指数分别为 0.164 1、0.166 1。从风险等级评价结果来看，合肥市 2015、2017 年的景观生态风险均处于极低生态风险，但随着城镇化进程的加快，此期间的景观生态风险指数均呈上升趋势，且城镇扩展强度与景观生态风险之间存在显著正效应的线性关系。

城市化加速是导致农用地的面积大大减少的主

要驱动力之一^[24]。2015—2017年间,景观结构变化明显,其中城镇用地增加速率最快,由21 295.52 hm²增加到23 302.02 hm²,其中有28.61 hm²的耕地被侵占,有120.51 hm²的园林草地被占用。经济发展必然推动合肥市土地的开发利用,促进城镇用地在区域内的扩张,但却加重了合肥市耕地资源、植被覆盖的损失,导致生态环境破坏、景观生态风险增强。城镇扩展及土地利用变化在很大程度上影响着城市生态安全^[25],本研究结果也体现出合肥市城镇扩展强度与景观生态风险大小呈线性正相关。2015和2017年,合肥市景观生态风险均处于极低生态风险,但随着城镇化进程的加快,城镇扩展强度增强,此期间的景观生态风险指数均呈上升趋势,景观生态安全的压力增大。因此,需要制定科学的土地利用发展规划,合理布局合肥市土地利用结构,即协调好合肥市城镇用地、耕地、园地、林地、草地的空间布局,坚持耕地占补平衡原则,同时采取强有力的城镇建设用地监管措施,促进合肥市土地节约集约利用,保护农用地资源不被侵占,降低城镇化带来的城市生态环境风险。

基于景观结构的景观干扰度指数和景观脆弱度指数构建的生态风险评价模型,很好地反映了研究区的景观生态风险状况。一元线性回归模型直观地呈现了不同土地利用管理决策下城镇扩展与景观生态风险变化过程,可以为地方政府部门的城市管理提供科学指导。因地理国情数据资料有限,但城镇化过程中大气污染、水污染等不断加剧,导致大气和水环境也受到威胁,因此,应在今后的研究中不断完善区域生态风险评价指标,实现从多角度评价城镇化生态风险,为更好地降低生态风险提供更多有力对策。

区域生态风险是一个动态变化过程,本文因地理国情数据的局限性,研究结果是对单一时点下合肥市城镇扩展过程中生态风险值大小的测算,因此,应在今后的研究中选取较长时间序列下的有效数据进一步研究合肥市生态风险的动态演变过程。

参考文献:

- [1] LI Y, ZHU X, SUN X, et al. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: A case study of Lianyungang, China[J]. Landsc Urban Plan, 2010, 94(3): 218-227.
- [2] 年雁云, 王晓利, 陈璐. 1930-2010年额济纳三角洲土地利用景观格局变化[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 777-785.
- [3] 李杨帆, 朱晓东. 港湾快速城市扩张地区生态管治研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [4] 秦贤宏, 段学军, 杨剑. 基于GIS的城市用地布局多情景模拟与方案评价: 以江苏省太仓市为例[J]. 地理学报, 2010, 65(9): 1121-1129.
- [5] 张莹, 雷国平, 林佳, 等. 扎龙自然保护区不同空间尺度景观格局时空变化及其生态风险[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1250-1256.
- [6] HAYES E H, LANDIS W G. Regional Ecological Risk Assessment of a Near Shore Marine Environment: Cherry Point, WA[J]. Hum Ecol Risk Assess, 2004, 10(2): 299-325.
- [7] OBERY A, LANDIS W. A regional multiple stressor risk assessment of the codorus creek watershed applying the relative risk model[J]. Hum Ecol Risk Assess, 2002, 8(2): 405-428.
- [8] 位宏, 徐丽萍, 李晓蕾, 等. 博斯腾湖流域景观生态风险评价与时空变化[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(S1): 351-357.
- [9] 简卿. 青龙满族自治县土地利用景观生态风险评价与生态安全格局构建研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
- [10] 何静, 阴俊齐, 夏倩柔, 等. 硫磺沟矿区景观生态风险评价研究[J]. 新疆环境保护, 2018, 40(2): 21-25.
- [11] 庞立华. 基于小流域尺度胶州湾海岸带土地利用变化及其景观生态风险评价[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- [12] 张哲, 倪贺伟, 王维, 等. 长江流域不同尺度岸带区域的土地利用及其变化[J]. 环境工程技术学报, 2017, 7(4): 500-508.
- [13] 李铖. 长江三角洲城市化格局、驱动力及可持续性的研究: 多尺度等级途径[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [14] 马金卫, 吴晓青, 周迪, 等. 海岸带城镇空间扩展情景模拟及其生态风险评价[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 185-194.
- [15] 周迪, 施平, 吴晓青, 等. 烟台市城镇空间扩展及区域景观生态风险[J]. 生态学杂志, 2014, 33(02): 477-485.
- [16] 国家测绘地理信息局. 基础性地理国情监测数据技术规范: GQJC 01-2017[S]. 北京: 2017.
- [17] 中国国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类: GB/T21010-2017[S]. 2017.
- [18] 谢花林. 基于景观结构的土地利用生态风险空间特征分析: 以江西兴国县为例[J]. 中国环境科学, 2011, 31(4): 688-695.
- [19] 郭文华. 城镇化过程中城乡景观格局变化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [20] 王娟, 崔保山, 刘杰, 等. 云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2): 269-277.
- [21] 许妍, 高俊峰, 高永年. 基于土地利用动态变化的太湖地区景观生态风险评价[J]. 湖泊科学, 2011, 23(4): 642-648.
- [22] 王美娥, 陈卫平, 彭驰. 城市生态风险评价研究进展[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 911-918.
- [23] 王亦凡. 价值投资在中国股市的有效性分析: 基于一元线性回归模型[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(27): 154-156.
- [24] YANSUI L, LIJUAN W. Spatio-temporal analysis of land-use conversion in the eastern coastal China during 1996-2005[J]. J Geogr, 2008, 18: 274-282.
- [25] 卢亚灵, 徐丽芬, 马宗文, 等. 环渤海五省市生态风险评价[J]. 生态学杂志, 2012, 31(1): 227-234.