粤北南雄盆地县域土地利用变化与生境质量演变*

邓光蔓[1,2] 杨现坤[1,2] 徐国良[1,2] 符加方[3] 莫凌梓[1,2] 杨 漫[1,2]
凌雨楠[1] 李俐宽[1] 李委庭[1] 蔡志云[1]

1 广州大学地理科学与遥感学院 广州 510006
2 广东省农村水环境面源污染综合治理工程技术研究中心 广州 510006
3 南雄市自然资源局 广东韶关 512400

摘要：南雄位于广东省“一核一带一区”发展格局中的北部生态发展区，是广东省重要生态屏障的组成部分，但由于早期不合理的农耕发展生成了大量的未利用地，对生境质量造成负面影响。基于 2000、2005、2010、2015 和 2020 年的土地利用数据，运用 InVEST 模型，对 4 个周期（2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2015 年、2015—2020 年）的生境质量演变特征进行评价，并利用生境质量贡献率探究影响生境质量变化的土地利用转移类型。结果表明：1）2000—2020 年南雄市土地利用变化以耕地与林地之间的相互转化以及耕地转化为建设用地为主；2）南雄市生境质量呈现先上升后下降的趋势，中部丘陵生境质量低，西北部以及东南部高山是高生境质量的分布区；3）2000—2020 年，耕地向林地转化是研究区生境质量提升的最主要原因，林地向耕地转化以及耕地向建设用地转化是研究区生境质量下降的主要原因。因此，协调林地与耕地、耕地与建设用地之间的转化将会有效缓解南雄市生境质量下降问题。

关键词：土地利用变化；InVEST 模型；生境质量；南雄市
DOI：10.12169/zgcsly.2024.06.09.0001

Land Use Change and Habitat Quality Evolution at County Level in Nanxiong Basin, Northern Guangdong Province

Deng Guangman[1,2] Yang Xiankun[1,2] Xu Guoliang[1,2] Fu Jiafang[3] Mo Lingzi[1,2]
Yang Man[1,2] Ling Yunan[1] Li Likuan[1] Li Weiting[1] Cai Zhiyun[1]

(1. School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Province Rural Water Environment Non-point Source Pollution Comprehensive Treatment Engineering Technology Center, Guangzhou 510006, China; 3. Nanxiong Natural Resources Bureau, Shaoguan 512400, Guangdong, China)

Abstract: Nanxiong is situated in the northern ecological development zone in Guangdong Province's “one core, one belt, and one region” development pattern, and it constitutes a crucial part of the ecological barrier in Guangdong Province. Nonetheless, the unreasonable agricultural practices in history have led to a substantial amount of unused land, detrimentally impacting habitat quality. With the land use data in 2000, 2005, 2010, 2015, and 2020, the InVEST model is used for evaluating the evolutionary attributes of habitat quality in Nanxiong City in the four time cycles (2000—2005, 2005—2010, 2010—2015, and 2015—2020). The rate of the contribution to habitat quality is employed to discuss the types of land use

收稿日期：2024-06-09
* 基金项目：2024 年度市校［院］企联合资助项目（2024A03J0386）；南雄市红砂岭综合治理工程监测分析与评价项目（ZPSG2020ZB010，ZPSG2020ZB045）；广州大学大学生创新训练项目（20231078005）
第一作者：邓光蔓（1999- ），女，硕士生，研究方向为生态环境遥感。E-mail：2940715328@qq.com
通信作者：徐国良（1975- ），男，博士，教授，研究方向为土壤生态学。E-mail：xugl@gzhu.edu.cn

transfer that influence the changes of habitat quality. The findings reveal: 1) Between 2000 and 2020, the predominant types of land use transfer in Nanxiong City were the conversion between cultivated land and forest land and the transfer from cultivated land to construction land; 2) The trajectory of habitat quality in Nanxiong City presents an initial increase followed by a subsequent decline. The hills in the central area exhibit low habitat quality, whereas the high mountains in the northwest and southeast embrace the areas characterized with high habitat quality; and 3) The conversion from cultivated land to forest land is the principal driver for the amelioration of habitat quality in the study area from 2000 to 2020. Conversely, the conversions from forest land to cultivated land and from cultivated land to construction land are the primary contributors to the decline in habitat quality within the study area. Thus, harmonizing the conversions between forest and cultivated land and between cultivated land and construction land will effectively curb the decline of habitat quality in Nanxiong City.

Keywords: land use change; InVEST model; habitat quality; Nanxiong City

土地利用和土地覆被变化（LULC）是指人类改变了对土地利用和管理的方式，导致土地覆被的变化。土地作为生态系统的载体之一，土地利用变化会影响土壤侵蚀、水循环和碳循环等生态过程，从而对生态系统服务产生影响[1]。

生境质量（habitat quality）是指生境为个体或种群的生存提供适宜条件的能力，是衡量生态文明建设和生态安全格局优化成效的重要参考指标[2]。评估区域生境质量可为区域生态保护发展提供科学依据，探究土地利用变化对生境质量变化的影响规律是十分必要的[3-6]。随着 3S 技术的不断成熟，利用权衡综合评估模型（InVEST）开展生境研究已成为精细化评价区域生态的重要方法[7-10]。InVEST 模型中的生境质量模块原理是以土地利用数据为基础，利用生境适宜性、威胁因子敏感度、威胁因子的最大胁迫距离与权重等影响因素对生境质量进行评价，评价结果有助于开展土地利用变化对生境质量影响的研究。

现有的生境质量主题研究对象大多选择经济较为发达或拥有特殊地形地貌的区域，如长三角流域[11]、粤港澳大湾区[12]等，对盆地这一地形的研究相对较少。南雄市由于中生代中期以后的地质构造以及不合理的土地利用[13]，形成了一种特殊的红层荒漠化现象[14]。近 20 年间，南雄市土地利用变化明显，生态环境保护已经成为该地可持续高质量发展的迫切需要，因此，对南雄市进行生境质量检测十分必要。本文运用土地利用转移矩阵、InVEST 模型以及生境贡献度指数，对南雄市 2000—2020 年土地利用变化下的生境质量时空变化情况进行分析，并探究影响生境质量变化的主要土地利用变化类型，为南雄市生态环境保护和生态修复监督提供有价值的参考。

1 研究区概况

南雄市（113° 55′—114° 44′ E，24° 56′—25°25′N）地处广东省东北部，位于大庾岭南麓。南雄市境内四周群山环抱，浈凌二江斜贯腹地；地势为西北高东南低，中部为狭长丘陵；自东北向西南沿浈江两岸伸展，直到始兴县马市，称南雄红层盆地。南雄市作为华南典型红层地貌城市之一，早期过度的毁林开荒严重破坏了植物的生长环境，土地表面失去了植被的覆盖，沙质地表逐渐裸露出来，从而导致特殊的土地退化现象，即红层荒漠化[14]。

2 研究方法

2.1 数据来源

基于遥感和地理信息系统技术，利用南雄市 5 期影像进行遥感检测和分类，获得土地利用现状图，并对图像进行处理。5 期遥感影像数据来源于美国国家航天局 NASA（National Aeronautics and Space Administration）（http://lpdaac.usgs.gov），空间分辨率均为 30 m×30 m。参照《土地利用现状分类（GB/T21010－2007）》结合南雄市土地利用特点进行辐射定标、大气校正、几何校正，通过监督分类、人机交互解译法进行目视解译提取地类，将研究区分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 类土地利用类型，对比 Google Earth 高分辨率历史遥感影像，对土地利用矢量图进行图斑修正。辅助图件包括广东

省、江西省、湖南省以及南雄市行政区划图（2015年），均来源于中国科学院资源环境科学数据中心（http://www.resdc.cn/）；DEM 数据来源于地理空间数据云平台（http://www.gscloud.cn/）。

2.2　土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵来源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量描述，可以直观反映各土地利用类型不同年份间的转移量和转移方向[11,15]。土地利用转移矩阵的计算公式[16]为：

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式（1）中：S 表示土地利用面积；S_{ij} 表示时间段内 i 土地利用类型转变为 j 土地利用类型的面积；n 表示土地利用类型数。

2.3　生境质量评估模型

InVEST 模型中的生境质量（Habitat Quality）模块综合考虑各种土地覆盖类型对威胁因子的敏感度，对研究区生境质量进行量化评估，根据生境质量的得分衡量生态系统功能强弱[5,17-18]。计算公式如下[19]：

$$Q_{xj}=H_j\left(1-\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z+k^z}\right) \tag{2}$$

式（2）中：Q_{xj} 是第 j 种土地利用类型中栅格 x 的生境质量；H_j 为第 j 种土地利用类型的生境适宜度。D_{xj} 为第 j 种土地利用类型中栅格 x 的生境退化度；Z 为归一化常数，通常取默认值 2.5；k 为半饱和常数，通常取最大生境退化栅格值的一半[20]。

$$D_{xj}=\sum_{r=1}^{R}\sum_{y=1}^{Y_r}\left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^{R}W_r}\right)r_y\,i_{rxy}\,\beta_x\,S_{jr} \tag{3}$$

式（3）中：R 为威胁因子个数；W_r 为第 r 个威胁因子的权重；Y_r 为威胁源的栅格数；r_y 为栅格 y 的胁迫值；β_x 为威胁源对栅格 x 的可达性；S_{jr} 为第 j 种生境类型对威胁因子 r 的敏感度；i_{rxy} 为栅格 y 的胁迫值 r_y 对栅格 x 的胁迫水平，分为线性衰减和指数衰减两种，其公式如下：

$$\text{线性衰减：}\ i_{rxy}=1-\left(\frac{d_{xy}}{d_{r\max}}\right) \tag{4}$$

$$\text{指数衰减：}\ i_{rxy}=\exp\left(\frac{-2.99d_{xy}}{d_{r\max}}\right) \tag{5}$$

式（4）~（5）中：d_{xy} 为栅格 x 与栅格 y 的直线距离；d_{rmax} 为威胁源 r 的最大胁迫距离。

按照 InVEST 模型使用手册，根据南雄市的现实情况，依次设置威胁因子及其最大胁迫距离、相对权重和空间衰退类型（表 1），并对不同土地利用类型的生境适宜性及对威胁因子的敏感性进行赋值（表 2）[12,21-22]。

表 1　威胁因子权重和影响距离

威胁因子	最大胁迫距离/km	权重	空间衰退类型
耕地	8	0.6	线性
建设用地	8	1.0	指数
未利用地	10	0.3	指数

表 2　不同土地利用类型对威胁因子的敏感度

土地利用类型	生境适宜性	威胁因子		
		耕地	建设用地	未利用地
耕地	0.3	0	0.5	0
林地	1.0	0.6	0.8	0.4
草地	0.9	0.55	0.7	0.3
水域	1.0	0.5	0.5	0.2
建设用地	0	0	0	0
未利用地	0	0	0	0

2.4　土地利用转移条件下生境贡献率

生境贡献率是指确定地类转移前后生境质量随之变化比率，计算公式为[21]：

$$R_{ij}=\frac{(H_j-H_i)\,S_i}{S_t} \tag{6}$$

式（6）中：R_{ij} 为地类 i 转化为 j 地类时的生境贡献率（%）；H_i 和 H_j 分别为研究时段内地类 i、j 在变化前后的生境指数；S_i 为该变化地类 i 面积（km^2）；S_t 为研究区总面积（km^2）。

3　结果与分析

3.1　土地利用变化情况

由南雄市 2000、2005、2010、2015、2020 年 5 期土地利用变化情况（图 1）可知：林地、草地主要分布在四周；耕地和建设用地集中分布在中部的盆地；水域主要分布在东北区域，零星分布于中北、中南、西南区。

由表 3 可知，各土地利用类型面积比例基本上保持稳定，但建设用地、耕地、林地有不同程度的变化：建设用地呈现直线上升的状态；耕地

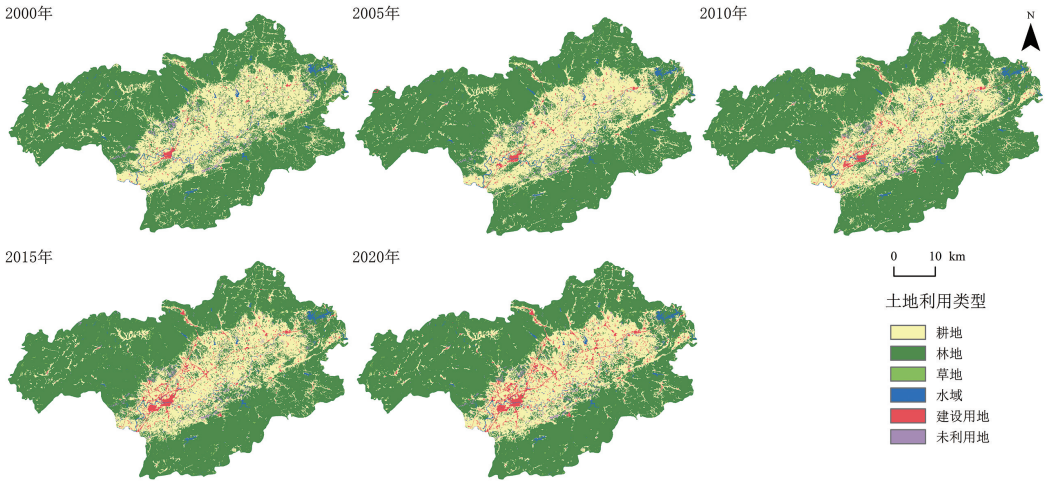


图 1 南雄市 2000—2020 年土地利用变化情况

表 3 2000—2020 年南雄市土地类型面积变化

土地利用类型	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年		2020 年	
	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%
耕地	676.73	29.07	625.90	26.89	612.78	26.32	605.99	26.03	623.97	26.81
林地	1 564.6	67.22	1 612.26	69.26	1 603.76	68.90	1 595.22	68.53	1 557.52	66.91
草地	26.02	1.12	22.09	0.95	32.17	1.38	30.77	1.32	29.91	1.28
水域	25.94	1.11	22.25	0.96	22.54	0.97	22.51	0.97	24.11	1.04
建设用地	17.45	0.75	23.05	0.99	33.63	1.44	51.59	2.22	71.70	3.08
未利用地	16.97	0.73	22.21	0.95	22.86	0.98	21.66	0.93	20.54	0.88

面积呈先下降后上升状态；相反，林地面积则呈现先上升后下降的状态。

南雄市土地利用类型转移情况（表 4）主要表现为非建设用地向建设用地的明显转化，以及耕地、林地、草地、未利用地内部的相互转化。在建设用地的大量转入中，耕地、林地是其主要来源，而耕地、林地、草地以及未利用地内部的相互转化在数量上基本保持等量状态，水域和未利用地新增部分的主要来源都是耕地和林地。

表 4 南雄市 2000—2020 年土地利用转移矩阵 km²

年份	土地利用类型	2020 年					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000 年	耕地	484.81	123.60	7.73	3.22	49.87	7.48
	林地	126.24	1 406.39	18.60	2.17	5.82	4.81
	草地	2.93	19.45	3.44	0.04	0.10	0.05
	水域	5.03	1.60	0.07	18.48	0.66	0.10
	建设用地	1.94	0.09	0.01	0.13	15.13	0.16
	未利用地	2.98	5.81	0.05	0.07	0.10	7.95

3.2 生境质量时空特征

利用 InVEST 模型计算可得 2000—2020 年南雄市的生境质量数值。利用自然断点法将南雄市生境质量数值分为 5 个等级，即低［0，0.2］、较低［0.2，0.4］、中等［0.4，0.6］、较高［0.6，0.8］和高［0.8，1］。由图 2 可知，南雄市生境质量总体呈现先上升后下降的演变趋势，且主要以较低和高为主，其次是低和较高生境质量。高生境质量占比呈现先上升后下降的变化趋势，较高和较低生境质量占比呈现出先下降后上升的趋势，低生境质量占比呈现上升趋势，中等生境质量占比最小且稳定。

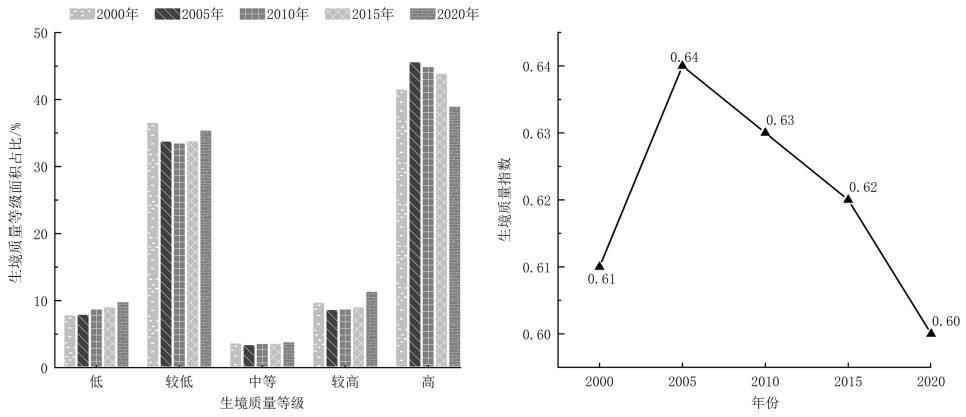


图 2　2000—2020 年生境质量指数及各生境质量等级面积占比

由图 3 可知，2000—2020 年南雄市生境质量发生转变的特征主要表现为相邻两个生境质量等级间的相互转化。从空间分布（图 4）看，过去 20 年南雄市生境质量主要呈现中部低，西南部、东南部高的空间分布特征。生境质量高值区主要分布在西南部以及东南部的高山区；生境质量较高与中等区主要分布在中部丘陵与四周高山的交界处；生境质量较低与低区主要分布在中部丘陵地区。

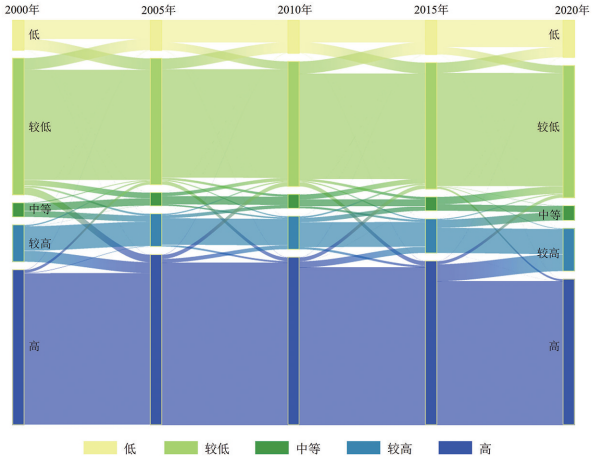


图 3　2000—2020 年生境质量等级转移分析

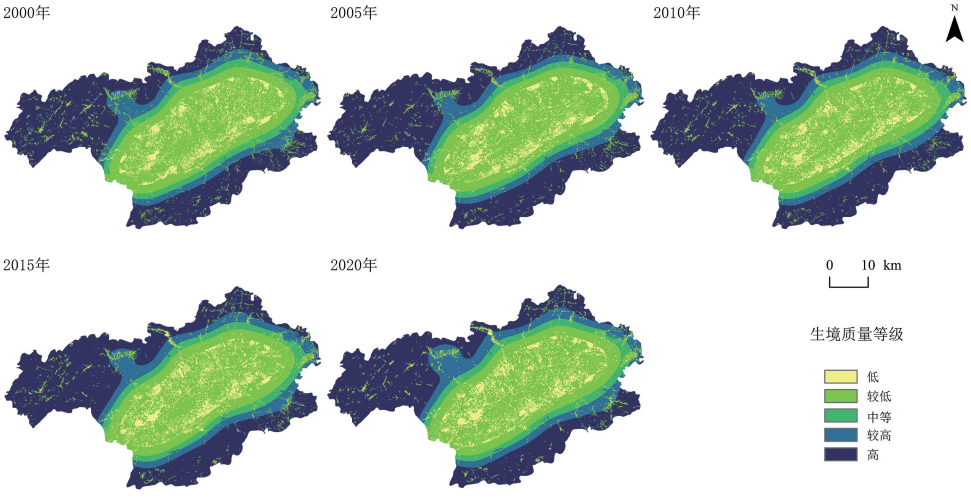


图 4　南雄市 2000—2020 年生境质量等级空间分布

3.3　生境质量变化趋势

如图 5 所示，本研究将生境质量变化趋势划分为 5 个等级，即高退化［-1，-0.55］、低退化［-0.55，-0.10］、稳定［-0.10，0.10］、低提升［0.10，0.55］和高提升［0.55，1］。

2000—2005 年生境质量稳定区域分布广泛，面积占比高达 88.60%（图 5、表 5），主要分布在西北部和东南部各乡镇；低提升、低退化、高提升区域次之。退化区域集中分布在中部的丘陵地区；提升区域集中分布在中部丘陵与南北高山的交界处。

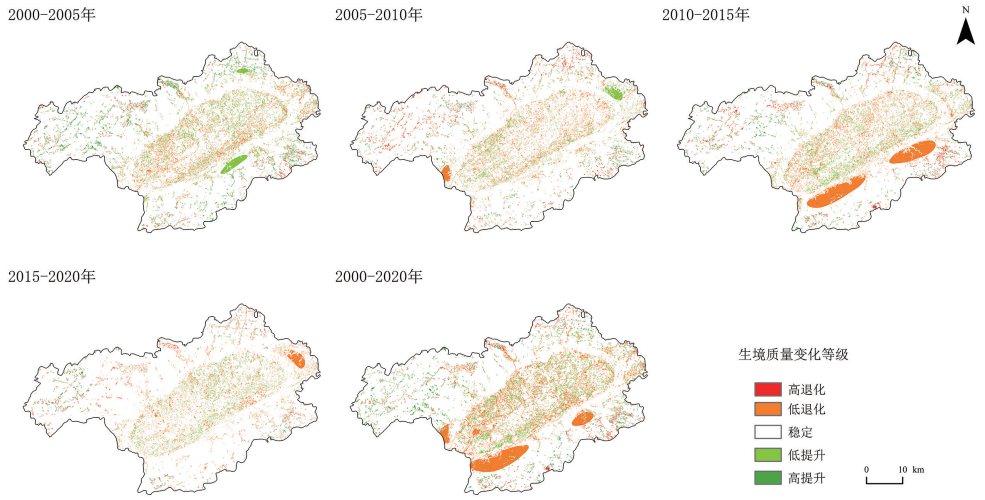


图 5 南雄市生境质量变化空间分布

表 5 2000—2020 年南雄市生境质量变化

年份	高退化		低退化		稳定		低提升		高提升	
	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%
2000—2005	26.11	1.12	71.16	3.06	2 061.09	88.60	121.40	5.22	46.62	2.00
2005—2010	33.92	1.46	60.64	2.61	2 160.79	92.87	42.60	1.83	28.79	1.24
2010—2015	28.36	1.22	267.01	11.48	1 923.69	82.69	80.48	3.46	26.95	1.16
2015—2020	24.49	1.05	67.33	2.89	2 171.37	93.29	48.75	2.09	15.68	0.67
2000—2020	24.83	1.07	160.23	6.89	1 992.06	85.60	113.12	4.86	36.86	1.58

2005—2010 年，生境质量稳定区域面积占比仍最大；退化区域面积与 2000—2005 年相比略有缩减，其面积占比仅次于稳定区，退化区在中部的丘陵地区有集中且破碎化的分布，四周高山地区也有少量退化区呈点状式无规律分布；提升区域面积集中连片分布在东北部丘陵地区。

2010—2015 年，生境质量稳定区面积占比最大，与 2005—2010 年相比有所下降；退化区面积与 2005—2010 年相比增幅明显，面积占比依旧仅次于稳定区，退化区集中连片分布在中部丘陵与南部高山的交界处，其余相对破碎化的分布在中部丘陵；提升区域主要分布在北部与西北部的高山地区以及中部丘陵地带。

2015—2020 年，生境质量稳定区域面积占比与 2010—2015 年相比提升了 10.60%，稳定区面积占比依旧最大；退化区面积占比与 2010—2015 年相比有大幅度的下降，但面积占比依旧仅次于稳定区，退化区集中连片分布在东北部丘陵地区，其余相对破碎化的分布在中部丘陵；提升区主要分布在中部的丘陵以及西北部的高山地区。

整体上看，2000—2020 年南雄市中部丘陵与北部高山的交界处生境质量较为稳定，中部丘陵地区生境变动较为细碎且频繁，中部丘陵与南部、西南部高山的交界处生境质量变动较为集中连片。

3.4 生境质量对土地利用变化的响应关系

根据研究结果，2000—2020 年南雄市生境质量有退化也有提升，土地利用的转型带来了生境质量不同程度的退化和改善，使得整体生境质量发生改变。总体而言，2000—2010 年生境质量呈现上升的趋势，2010—2020 年生境质量呈现下降的趋势。

由表 6 可知，2000—2010 年耕地转为林地和草地是生境质量改善的主要原因，而未利用地转为林地和耕地以及草地转为林地也在一定程度上也促进了生境质量改善。林地转为耕地以及耕地转为建设用地是导致区域生境质量退化的最主要原因，而林地和耕地转为未利用地以及草地转为耕地也在一定程度上也导致了生境质量退化。

2010—2020 年耕地转为林地依然是生境质量改善的主要原因之一（表 6），但与 2000—2010 年相比，未利用地转为林地的生境贡献率占比上升了 7.37%，成为了 2010—2020 年生境质量改善

的另一个主要原因。耕地转为建设用地以及林地转为耕地依旧是生境质量退化的主要原因。草地转为耕地以及林地转为未利用地和建设用地成为生境质量退化的次要原因。

表 6　不同土地利用转移类型下的生境质量贡献率

类型	2000—2010 年		2010—2020 年	
	变化类型	贡献率/%	变化类型	贡献率/%
生境质量提升	耕地-林地	73.77	耕地-林地	64.80
	耕地-草地	9.34	未利用地-林地	12.30
	未利用地-林地	4.93	未利用地-耕地	7.65
	建设用地-耕地	3.84	建设用地-耕地	7.57
	草地-林地	3.78	耕地-草地	4.55
	合计	95.67	合计	96.86
生境质量退化	林地-耕地	32.90	耕地-建设用地	40.82
	耕地-建设用地	29.81	林地-耕地	34.27
	林地-未利用地	13.00	草地-耕地	5.46
	耕地-未利用地	12.01	林地-未利用地	5.03
	草地-耕地	4.80	林地-建设用地	4.28
	合计	92.52	合计	89.85

4　讨论

4.1　生境质量时空演变

本文利用 InVEST 模型估算 2000—2020 年南雄市生境质量时空演变特征。在南雄市土地利用结构中，林地面积持续保持绝对的优势比例，是南雄市高生境质量的主要分布区域。2000—2020 年南雄市生境质量变化趋势表明，稳定区域面积占比在 5 种变化趋势中占据绝对优势。结合南雄市地形以及生境质量变化空间分布可知，中部的丘陵地区是生境质量变化较为频繁且破碎的区域；中部的丘陵地区与西北部以及东南部高山的交界处是生境质量变化相对集中连片的主要发生地；西北部以及东南部的连绵高山区域生境质量高，生境质量变化面积细小。上述研究结果与郑贱成等[21]对广东省生境质量研究在南雄地区的结果相吻合，InVEST 模型相关参数的设定参考了相似研究区的参数设置，因此评估的结果在数值上与前人的研究存在一定的差别，但呈现的规律是一致的。InVEST 模型主要依据土地利用变化以及威胁因子相关参数的设定进行生境质量的评估，缺乏了对气候因子、地形因子以及社会因子的考量，因此研究结果在宏观上具有一定的参考价值，但对于局部地区的评价精度还有待商榷。

4.2　土地利用变化对生境质量的影响

生境质量变化主要由土地利用变化引起，耕地、建设用地和未利用地作为威胁因子，其面积变化直接影响生境质量的变化。从空间分布上来看，南雄市中部丘陵地区海拔低，地势相对平坦，城镇分布密集，耕地、林地和草地等被建设用地和耕地逐步占用，使得原有的生境变为新的威胁源，且南雄市存在大量的红沙岭地貌，对林地和草地的生长造成严重威胁，因此在 2000—2010 年、2010—2020 年两个时间段内耕地和林地转为未利用地也变成了生境质量退化的主要原因。

2000—2020 年，生境质量保持稳定的区域约占据总面积的 89.36%，高生境质量区域面积约占南雄市总面积的 43.11%，这与南雄市当地政府积极贯彻落实《广东省南雄市国家储备林建设总体规划（2020—2031 年）》《广东省南雄市国家森林城市建设总体规划（2019—2028 年）》等国家政策密不可分。生境质量退化区域大多集中分布在中部丘陵与东南部高山的交界处，此地也是“红沙岭”的主要分布区域，由于早期的农耕发展以及当地特殊的地形地貌，使得林地、耕地以及草地极易转化为“红沙岭”，严重威胁了当地的生态环境，当地“红沙岭”现象的治理刻不容缓。除此之外，中部的丘陵区域也是生境退化主要分布区域，中部丘陵地区地势平坦广袤，是南雄市建设用地的主要分布区域，随着城市化的快速发展，中部丘陵地区建设用地面积不断扩张，导致中部丘陵成为了生境质量退化的主要分布区域之一。近年来，南雄市针对生态脆弱区和重点区域开展山水林田湖草沙生态保护修复工程试点

建设，已取得重要成绩。但是，由于“红沙岭”现象治理的困难性以及生态系统本身的复杂性，未来还需进一步加强生态环境治理以及后续管理维护的研究。

与现有研究成果相比，本研究侧重于探讨影响生境质量变化的主要土地利用变化类型，而自然因素与社会因素对生境质量的影响则分析较少。此外，对于时间尺度的选择，本研究仅分析了2000—2020 年土地利用变化下的生境质量时空变化情况，缺少了对未来变化情况的模拟预测，今后将综合考虑多方面因素的影响，模拟预测未来生境质量的时空演变特征，使研究结果更为全面。

5 结论

2000—2020 年南雄市土地利用主要以耕地、林地和建设用地为主，土地利用转型明显。土地利用变化主要以耕地与林地之间的相互转化以及耕地转化为建设用地为主，建设用地是研究区面积变化最大的用地类型。

南雄市生境质量呈先上升后下降的趋势。2000—2010 年生境质量呈现上升趋势，2010—2020 年生境质量呈现下降趋势；生境质量区域差异显著，中部丘陵生境质量较低，西北部以及东南部高山是高生境质量的分布区；中部丘陵地区易发生细小破碎的生境质量变化，中部丘陵与东南部高山交界处是较大且连片的生境质量变化区域。

2000—2020 年，耕地向林地转化是研究区生境质量提升的最主要原因，而林地向耕地转化以及耕地向建设用地转化是研究区生境质量下降的主要原因。

综上，协调林地与耕地、耕地与建设用地之间的转化将会有效缓解南雄市生境质量下降问题。

参考文献

[1]徐文彬,饶良懿.土地利用和气候变化对农牧交错带生态系统服务的影响[J].环境科学,2023,44(9):5114-5124.

[2]杨志鹏,许嘉巍,冯兴华,等.基于 InVEST 模型的东北地区土地利用变化对生境的影响研究[J].生态科学,2018,37(6):139-147.

[3]李志杰,黄贵超,马訾懿,等.基于土地利用变化的城市生境质量时空分异格局及影响因素[J].中国城市林业,2024,22(2):135-143.

[4]张学儒,周杰,李梦梅.基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J].地理学报,2020,75(1):160-178.

[5]刘春芳,王川.基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征:以榆中县为例[J].生态学报,2018,38(20):7300-7311.

[6]CHEN M J,BAI Z K,WANG Q R,et al.Habitat quality effect and driving mechanism of land use transitions:a case study of Henan water source area of the middle route of the south-to-north water transfer project[J].Land,2021,10(8):796.

[7]许宝荣,刘一川,董莹,等.基于 InVEST 模型的兰州地区生境质量评价[J].中国沙漠,2021,41(5):120-129.

[8]王晓琦,吴承照.基于 InVEST 模型的生境质量评价与生态旅游规划应用[J].中国城市林业,2020,18(4):73-77,82.

[9]范秀梅,杨胜龙,张胜茂,等.基于栖息地指数的阿拉伯海鲐鱼渔情预报模型构建[J].南方水产科学,2020,16(4):8-17.

[10]XU H T,SONG Y C,TIAN Y.Simulation of land-use pattern evolution in hilly mountainous areas of North China:a case study in Jincheng[J].Land Use Policy,2022,112:105826.

[11]陈实,金云翔,黄银兰.长三角中心区生境质量时空变化及其影响机制[J].生态学杂志,2023,42(5):1175-1185.

[12]刘汉仪,林媚珍,周汝波,等.基于 InVEST 模型的粤港澳大湾区生境质量时空演变分析[J].生态科学,2021,40(3):82-91.

[13]吴志才,彭华.广东红层形成及其发育规律研究[J].热带地理,2006,26(3):207-210.

[14]陈金凤,余世钦,符加方,等.华南红层地貌区不同利用方式土壤质量特征及其影响因素:以南雄盆地为例[J].生态环境学报,2022,31(5):918-930.

[15]马欢,冯朝阳,宋婷,等.1990—2018 年赤水河流域土地利用变化分析[J].环境工程技术学报,2021,11(3):428-436.

[16]刘润,姜琦刚,史鹏飞,等.辽宁省抚顺市 2000—2020 年土地利用格局变化与生态环境效应[J].水土保持通报,2021,41(6):353-360.

[17]GOLDSTEIN J H,CALDARONE G,DUARTE T K,et al.Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2012,109(19):7565-7570.

[18]何莎莎,朱文博,崔耀平,等.基于 InVEST 模型的太行山淇河流域土壤侵蚀特征研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):426-439.

[19]赵庆建,吴晓珍.基于 InVEST 模型的岷江流域土地利用变化对生境质量的影响研究[J].生态科学,2022,41(6):1-10.

[20]尚俊,蔡海生,龙月,等.基于 InVEST 模型的鄱阳湖区生境质量时空演化及其变迁特征分析[J].长江流域资源与环境,2021,30(8):1901-1915.

[21]郑贱成,谢炳庚,游细斌.基于土地利用变化的广东省生境质量时空演变特征[J].生态学报,2022,42(17):6997-7010.

[22]江伟康,吴隽宇.基于地区 GDP 和人口空间分布的粤港澳大湾区生境质量时空演变研究[J].生态学报,2021,41(5):1747-1757.