

# 高原传统农区土地利用功能演变及其生态环境效应

丁慧敏, 杨朝现, 李鑫, 吕兆群, 左钰瑶

(西南大学 资源环境学院, 重庆 北碚 400715)

**摘 要:**为探究高原传统农区不同梯度上土地利用功能演变及其对生态环境影响特征的差异性,选取云南省昌宁县作为研究区,基于 2000 年、2010 年、2020 年 3 期土地利用数据,采用土地利用转移矩阵、区域生态环境质量指数等方法对研究区土地利用功能演变特征及其生态环境效应进行了分析。结果表明:(1) 高原农区垂直梯度上土地利用功能格局多样,近 20 a 来研究区土地利用功能结构变化表现为生活用地、生态用地分别增加 2 784.18、2 561.29  $\text{hm}^2$ ,而生产用地减少 5 345.47  $\text{hm}^2$ ,生态用地主要集中在中、高起伏地貌区,生产、生活用地主要集中在低起伏地貌区。(2) 高原农区生态环境效应空间差异明显,研究区土地利用功能演变对生态环境质量的影响总体平稳,生态环境质量指数总体维持在 0.598 2 的良好水平,尤其在北部和中部的中、高起伏地貌区,坡耕地、低效园地等农业生产用地转入以林地为主的生态用地,促进区域生态环境稳定向好发展;而由于人口集聚、土地承载和利用过度,在中南部的低起伏地貌区,农业结构调整以及城镇化占用耕地、林地和草地等现象多发,致使局部生态环境质量呈退化趋势。总体而言,伴随人口压力的转移和利用程度的减弱,高原农区土地利用整体格局趋于优化,土地利用功能可持续性增强,区内生态环境质量向好发展。

**关键词:**土地利用;生态环境效应;三生空间;高原传统农区;昌宁县

**中图分类号:**F301.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2022)06-0399-09

## Evolution of Land Use Function and Its Ecological and Environmental Effects in Traditional Agricultural Areas of the Plateau

DING Huimin, YANG Chaoxian, LI Xin, LÜ Zhaoqun, ZUO Yuyao

(School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** In order to explore the difference of land use function evolution and its impact on ecological environment in different gradients of plateau traditional agricultural areas, based on the land use data of 2000, 2010 and 2020, the land use transition matrix and regional eco-environmental quality index were used to analyse the characteristics of land use function evolution and its eco-environmental effects in the study area. The results show that: (1) The land use functional structure changes in the plateau agricultural region are varied along a vertical gradient. In the past 20 years, the land use for living and ecological purposes increased by 2 784.18  $\text{hm}^2$  and 2 561.29  $\text{hm}^2$ , respectively, while the land for production purposes decreased by 5 345.47  $\text{hm}^2$ . The ecological land use is mainly concentrated in the middle and high undulating geomorphic areas. The land for production and living is mainly concentrated in the low-relief landform area. (2) The spatial difference of eco-environmental effect in plateau agricultural area is obvious, the study area function of land use change on the influence of the ecological environment quality overall is smooth, the ecological environment quality index are generally well maintained at 0.598 2 level, especially in the middle and high undulating landforms in the north and central regions, the agricultural production land such as slope farmland and low efficiency garden land has been transformed into ecological land dominated by forest land, which has promoted the stable and good development of regional ecological environment. However, due to population agglomeration, land carrying capacity and excessive utilisation, agricultural structure adjustment and urbanization, occupation of cultivated

收稿日期:2021-09-18

修回日期:2021-10-14

资助项目:国家自然科学基金“土地综合整治驱动下乡村要素融合机理与空间重构效应评价”(42171257)

第一作者:丁慧敏(1997—),女,湖北荆州人,硕士,研究方向为土地利用规划。E-mail:1038840751@qq.com

通信作者:杨朝现(1971—),男,四川安岳人,博士,副教授,主要从事土地利用规划和国土整治研究。E-mail:yangcx@swu.edu.cn

land, forest land and grassland in the low-relief landform area of central and southern China are frequent, resulting in a local ecological environmental quality degradation trend. In general, with the shift of population pressure and the weakening of the degree of land use, the overall pattern of land use in the plateau agricultural area tended to be optimised, the sustainability of land use function was enhanced, and the ecological environment quality in the plateau agricultural area developed well.

**Keywords:** land utilisation; eco-environmental effect; production-life-ecology space; plateau traditional agricultural area; Changning County

土地是人类赖以生存和活动的重要场所和物质基础,是人类生存发展和生态环境之间的重要纽带<sup>[1-2]</sup>,而土地利用功能演变是人类活动和自然环境对区域景观产生影响的直接体现<sup>[3]</sup>。随着社会发展速度的加快,人类社会活动会导致土地利用数量结构和功能(生产、生活、生态功能)发生变化,从而对生态环境造成影响。不合理的土地利用方式会导致水土流失、人居环境质量下降和土地资源过度消耗等系列环境问题加剧,而这一系列的环境问题反过来又会限制人类社会的生存与发展<sup>[4-6]</sup>。因此如何实现经济和生态之间的协调发展,减少生态环境在社会经济发展过程中的消极影响<sup>[7]</sup>,成为当下亟需重点关注的问题。厘清土地利用功能演变对生态环境影响的规律,寻求区域土地利用差别化调控策略,引导土地科学利用,促进区域社会经济全面发展和生态环境保护具有重要现实意义。

对于土地利用功能演变的研究,在土地利用功能演变特征<sup>[8-9]</sup>及其驱动因素分析<sup>[10-12]</sup>、土地利用功能演变与城乡发展间的关系<sup>[13]</sup>、土地利用功能演变对生态环境的影响等<sup>[14-15]</sup>方面,不少学者已有关关注。尤其在区域土地利用功能演变对生物生境<sup>[16]</sup>和生态系统服务价值影响方面的研究<sup>[17]</sup>,以及土地利用功能演变与土壤、水源、大气等单一自然要素间关系的研究<sup>[18-19]</sup>更是众多学者关注的热点。在平原、流域、热点城市等<sup>[20-22]</sup>区域,学者们采用构建模型、建立生态环境评价指标体系<sup>[23]</sup>、计算生态环境质量指数等<sup>[24]</sup>方法来揭示土地利用变化对生态环境质量变化带来的影响程度。

梳理土地利用功能演变对生态环境效应的相关研究成果发现,多数学者将研究重点放在土地利用功能演变对生态环境影响的途径和演变规律上,对于区域内部土地利用功能演变及其生态环境效应的差异性关注较少。特别是对地貌分异性较强、土地利用功能格局多样、生态环境脆弱的高原传统农区开展相关研究更是鲜有。基于此,本研究选取西南地区云贵高原的云南省保山市昌宁县为案例,基于地形梯度效应

的视角,探究垂直梯度上不同地貌区域土地利用功能演变特征及其生态环境效应的分异性,以期为寻求差别化的土地利用调控策略,实现区域生态环境良好保护提供依据。

## 1 研究区概况与数据处理

### 1.1 研究区概况

云南省昌宁县地处滇西高原西南部,位于北纬 $24^{\circ}14'—25^{\circ}12'$ ,东经 $99^{\circ}16'—100^{\circ}02'$ ,幅员面积 $3\,768.62\text{ km}^2$ 。境内喀斯特地貌发育,地质条件脆弱,地形起伏较大(海拔在 $583\sim2\,881\text{ m}$ ),地貌类型多样,山区沟深坡陡,地势自西北向东南由高渐低,形成山坝南北纵列、高山坝谷相间的地貌形态。属亚热带季风气候,有低热、温热、温凉、高寒4个气候带。年平均气温 $14.9^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $40.4^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-6^{\circ}\text{C}$ ,年平均降雨 $1\,259\text{ mm}$ ,无霜期 $253\text{ d}$ ,具有四季分明、雨量充沛的特点。昌宁县是一个多民族聚居的高原山区传统农业县,独特的水热条件和土壤资源,适宜多种农作物种植和动植物生长,区内茶叶、蔬菜、养殖等特色产业发展突出。2020年,研究区共辖13个乡镇,总人口35.56万人(其中农业人口24.95万人),全年人均地区生产总值(GDP)为4.59万元,茶叶年综合产值35.93亿元,蔬菜年产值4.86亿元,养殖业年产值34.67亿元。

### 1.2 数据来源与处理

本研究选取2000年、2010年、2020年3期分辨率为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的Landsat遥感影像作为主信息源,对遥感数据进行波段合成、辐射校正、几何校正以及拼接、裁剪等预处理,然后通过监督分类、人机交互目视解译完成。DEM数据来源于地理空间数据云平台,分辨率为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 。

为客观刻画研究区土地利用功能演变特征,基于土地的生产、生活、生态主导功能差异,参考相关研究<sup>[17-19]</sup>,对研究区的土地利用类型进行了功能分类(表1)。同时,为揭示土地利用功能演变对区域生态环境产生的影响,本文在参考杨清可<sup>[15]</sup>、高

星<sup>[22]</sup>、罗刚<sup>[24]</sup>等对土地利用功能生态环境质量值测算研究成果的基础上,采用面积加权取平均测算的方法确定了不同土地利用类型的生态环境质量指数(表 1)。

表 1 土地利用功能分类及其生态环境质量指数

土地利用功能分类		土地利用	生态环境
一级类	二级类	类型现状	质量指数
生产用地	农业生产用地	耕地、园地	0.25
	林地生态用地	有林地、灌木林地、其他林地	0.81
生态用地	草地生态用地	天然牧草地、人工牧草地	0.75
	湿地生态用地	河流水面、湖泊、内陆滩涂、水库坑塘	0.57
	其他生态用地	裸土地、沙地、盐碱地	0.01
生活用地	城镇农村生活用地	城镇、农村居民点用地	0.20

2 研究方法

2.1 土地利用转型

2.1.1 地貌类型划分 参考徐汉明<sup>[25]</sup>、高玄或<sup>[26]</sup>等的地貌类型划分方案,本文结合研究区地类分布实际情况,根据海拔高度和地势起伏度〔公式(1)〕,将海拔<1 500 m、地势起伏度<200 m 的区域划分为高原地势低起伏地貌类型区(下简称“低起伏地貌区”)、将1 500≤海拔<2 000 m,200 m≤地势起伏度<500 m 的区域划分为高原地势中起伏地貌类型区(下简称“中起伏地貌区”),将海拔≥2 000 m、地势起伏度≥500 m 的区域划分为高原地势高起伏地貌类型区(下简称“高起伏地貌区”)。划分结果表明(图 1),低起伏地貌区主要分布在研究区中部及南部边缘地区,中起伏地貌区主要沿低起伏地貌区周围分布,高起伏地貌区主要分布在研究区北部。低起伏地貌区、中起伏地貌区、高起伏地貌区占研究区幅员面积的比重分别为 43.46%,33.35%,23.19%。

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} \tag{1}$$

式中:ΔH 为地势起伏度;H<sub>max</sub> 为最大高程值;H<sub>min</sub> 为最小高程值。

2.1.2 土地利用类型转移矩阵 土地利用类型转移矩阵可客观揭示不同类型土地的流向和结构变化,是分析土地利用转型的基础<sup>[27]</sup>。其表达式为:

$$C_{ij} = 10A_{ij}^t + A_{ij}^{t+1} \tag{2}$$

式中:i 和 j 分别为两种土地利用类型;C<sub>ij</sub> 为转移矩阵;t 为研究初期;A<sub>ij</sub><sup>t</sup> 和 A<sub>ij</sub><sup>t+1</sup> 分别为研究初期和末期的土地状态。

2.2 生态环境效应

2.2.1 土地利用功能演变的生态贡献率 土地利用功能演变的生态贡献率是指土地利用功能类型转换引起的区域生态环境质量的变化率<sup>[28]</sup>。用公式(3)能清晰分离出导致区域生态环境质量变化的主要用地转换类型。

$$LEI = (LE_1 - LE_0) LA / TA \tag{3}$$

式中:LEI 为土地利用功能演变的生态贡献率;LE<sub>0</sub>、LE<sub>1</sub> 分别为某种土地利用变化类型反映的变化初期和变化末期所赋予的生态环境质量指数;LA 为该变化类型的面积;TA 为区域总面积。

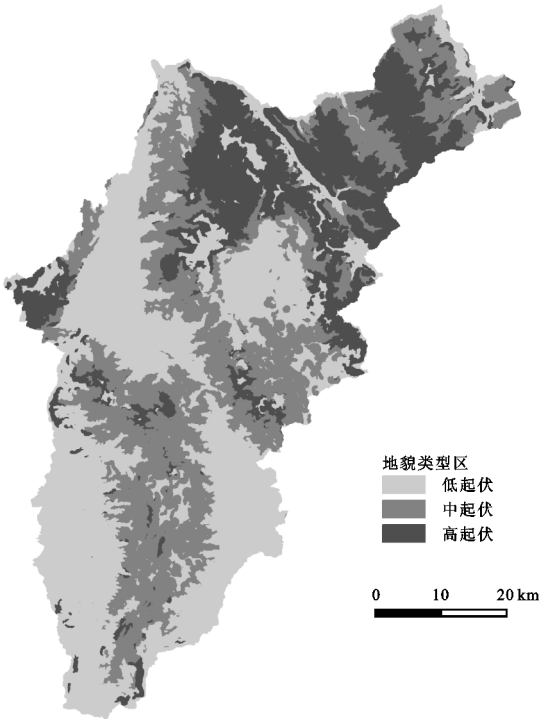


图 1 地貌类型划分

2.2.2 生态单元环境质量指数 地理空间数据具有很大的尺度依赖性,选取的研究尺度不同,得到的结论会有所差异。本文将各用地斑块(图斑)视为采样点,2000 年、2010 年与 2020 年 3 个节点年份数据均 7 万个左右,为获得最优尺寸,经多次试验,选取 1 km×1 km 的格网,生成 4 008 个样区。综合考虑各生态单元内“三生”功能用地具有的生态质量及面积比例,用公式(4)定量表征区域内生态单元环境质量状况。

$$E_k = \sum_{i=1}^n \frac{S_{ki}}{S_k} M_i \tag{4}$$

式中:E<sub>k</sub> 为研究区 k 时期生态环境质量指数;n 为区域土地利用类型数量;S<sub>ki</sub> 和 S<sub>k</sub> 分别为该区域第 k 时



期第  $i$  种土地利用类型的面积和区域总面积;  $M_i$  为第  $i$  种土地利用类型的生态环境质量指数。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用演变特征

##### 3.1.1 土地利用功能结构变化特征

根据研究区 3

期土地利用数据统计结果(表 2,图 2)显示,研究区用地面积中,生态用地面积最大,生产用地次之,生活用地面积最小。2000—2020 年期间,“三生”用地结构没有发生根本性改变,但从各地类结构变化看,总体表现出生活用地面积持续增加、生态用地面积缓慢增长、生产用地不断减少的特征。

表 2 2000—2020 年不同地貌类型区土地利用功能结构变化

地貌 类型区	年份	农业生产用地		林地生态用地		草地生态用地		湿地生态用地		其他生态用地		城镇农村生活用地	
		面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
低起伏地貌区	2000	74941.88	19.92	71723.49	19.06	11528.03	3.06	3887.32	1.03	0.00	0.00	1335.07	0.35
	2020	70300.22	18.68	73571.91	19.55	11294.81	3.00	4598.71	1.22	27.87	0.01	3631.53	0.97
中起伏地貌区	2000	47079.03	12.51	69336.75	18.43	8907.15	2.37	93.01	0.02	0.00	0.00	171.88	0.05
	2020	46889.40	12.46	69753.23	18.54	8279.07	2.20	106.50	0.03	0.00	0.00	560.08	0.15
高起伏地貌区	2000	14764.48	3.92	66547.44	17.69	4866.82	1.29	1086.94	0.29	0.00	0.00	21.47	0.01
	2020	14250.30	3.79	66955.85	17.79	4761.99	1.27	1198.25	0.32	0.00	0.00	120.99	0.03

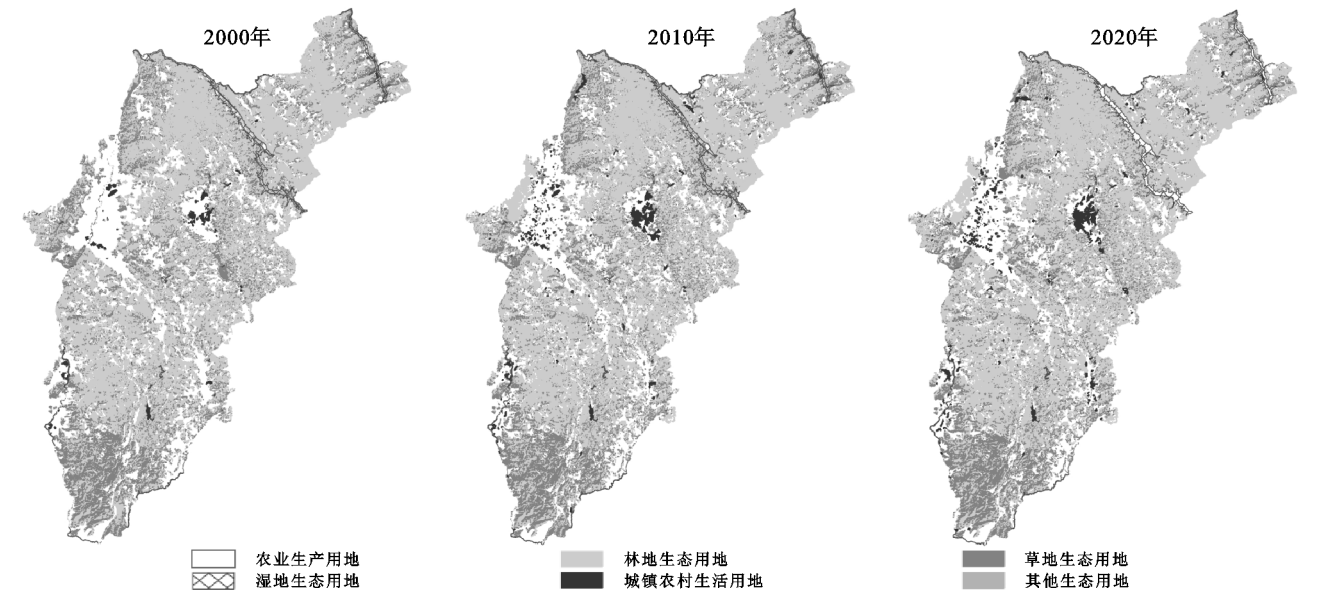


图 2 2000—2020 年昌宁县土地利用功能变化

区域土地利用类型分布与地势起伏程度关系密切。在低起伏地貌区,以耕地和园地为主导的农业生产用地集中分布,占到了地类比重的 19.31%,从 2000 年的 74 941.88 hm<sup>2</sup>到 2020 年的 70 300.22 hm<sup>2</sup>,减少了 4 641.66 hm<sup>2</sup>,减少百分比为 1.23%;受城镇化影响,代表生活用地的城镇农村生活用地持续增加 2 296.46 hm<sup>2</sup>,20 a 间增加了 0.62 %;林地、草地等生态用地规模共减少 1 384.80 hm<sup>2</sup>。在中起伏地貌区,林地生态用地为该区土地利用主体类型,占到地类比重的 18.52%,共增长 416.48 hm<sup>2</sup>,增长百分比为 0.11%;农业生产用地次之,20 a 间减少了 189.63 hm<sup>2</sup>,减少百分比为 0.05%,下降幅度小于低起伏地貌区,林地、湿地等生态用地总体增加了 2 610.54 hm<sup>2</sup>,但变化幅度也减少。在高起伏地貌区,受地势起伏度影响,其他用地类型适宜性较低,而林地生态用地广泛分布,

占比保持在 17.74%左右。整个研究区内,生态用地在各地貌类型区均有分布,草地生态用地分布范围从低起伏到高起伏地貌区逐渐缩小,以河流为主的湿地生态用地以及裸地等其他生态用地则主要集中在低起伏地貌区。生活用地与生产用地相邻分布,主要集中在研究区中部及南部边缘的低起伏地貌区,该区域地势起伏度较小,海拔较低,人类扰动剧烈,城镇农村生活用地(尤其是城镇居民点用地)在该区呈持续扩张趋势。

3.1.2 土地利用功能结构转移特征 为更好地厘清研究区土地利用功能结构的转型特征,本研究采用 ArcGIS 叠加分析工具,以多期土地利用数据为基础,与地貌类型区相结合,构建了 2000—2010 年和 2010—2020 年两期土地利用转移矩阵,结果见表 3—4。

表 32000—2010 年昌宁县不同地貌类型区土地利用功能结构转移矩阵

hm<sup>2</sup>

年份	海拔 类型区	土地利用 类型	2010 年					城镇农村 生活用地
			农业生产 用地	林地生态 用地	草地生态 用地	湿地生态 用地	其他生态 用地	
2000 年	低起伏地貌区	农业生产用地	70031.50	2202.96	985.79	46.52	0.00	1667.89
		林地生态用地	1998.06	72473.01	220.21	16.20	0.00	12.78
		草地生态用地	590.16	312.45	10594.84	1.76	0.00	27.91
		湿地生态用地	200.23	239.27	121.11	3309.52	0.00	10.94
		其他生态用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		城镇农村生活用地	66.20	1.49	15.09	0.83	0.00	1251.46
	中起伏地貌区	农业生产用地	44560.71	1901.73	383.50	12.27	0.00	220.55
		林地生态用地	1762.34	67448.84	114.43	2.56	0.00	7.81
		草地生态用地	749.03	554.19	7577.23	0.39	0.00	26.04
		湿地生态用地	13.96	19.11	9.21	50.57	0.00	0.16
		其他生态用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		城镇农村生活用地	2.47	0.28	0.41	0.00	0.00	168.72
	高起伏地貌区	农业生产用地	13698.43	826.70	137.97	0.33	0.00	100.70
		林地生态用地	623.57	66746.78	72.19	0.64	0.00	3.93
		草地生态用地	135.12	199.44	4628.15	0.12	0.00	4.00
		湿地生态用地	4.42	33.66	6.75	41.17	0.00	0.00
		其他生态用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		城镇农村生活用地	1.32	3.33	0.16	0.00	0.00	16.66

表 42010—2020 年昌宁县不同地貌类型区土地利用功能结构转移矩阵

hm<sup>2</sup>

年份	海拔 类型区	土地利用 类型	2020 年					城镇农村 生活用地
			农业生产 用地	林地生态 用地	草地生态 用地	湿地生态 用地	其他生态 用地	
2010 年	低起伏地貌区	农业生产用地	63971.67	5221.34	1128.06	89.54	11.85	1463.73
		林地生态用地	4241.86	65051.62	3360.43	25.22	3.27	82.89
		草地生态用地	966.27	958.17	10488.14	4.59	15.06	241.22
		湿地生态用地	19.77	18.12	5.71	3324.38	0.00	6.58
		其他生态用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		城镇农村生活用地	1093.81	14.34	9.90	1.14	0.00	1834.77
	中起伏地貌区	农业生产用地	41911.10	4316.38	637.98	18.10	0.00	204.80
		林地生态用地	4193.40	63245.44	2421.00	5.26	0.00	37.36
		草地生态用地	661.26	852.04	7213.28	9.08	0.00	48.45
		湿地生态用地	1.04	10.44	1.24	53.07	0.00	0.00
		其他生态用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		城镇农村生活用地	121.83	27.19	4.78	0.00	0.00	269.46
	高起伏地貌区	农业生产用地	12405.51	1759.55	204.65	0.29	0.00	23.67
		林地生态用地	1484.38	63860.52	107.27	1.14	0.00	18.84
		草地生态用地	304.47	232.73	4129.09	0.91	0.00	9.49
		湿地生态用地	0.00	0.34	0.00	41.92	0.00	0.00
		其他生态用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		城镇农村生活用地	55.64	0.43	0.21	0.00	0.00	69.00

各研究时段内各土地利用功能类型均有不同程度的转移,表 3—4 分别从两个时段具体展现了不同

地貌类型区各地类的转移结果。表 3 结果显示,在 2000—2010 年期间,在低起伏地貌区,农业生产用地

转出规模最大,转出面积为 4 903.16 hm<sup>2</sup>,占总转出面积的 56.11%,主要转移流向为林地生态用地、城镇农村生活用地和草地生态用地,且农业生产用地转出规模从低起伏地貌区到高起伏地貌区逐渐缩小。受城镇化进程影响,城镇农村生活用地转出面积最少,仅为 83.61 hm<sup>2</sup>,占总转出面积的 0.96%。林地生态用地和草地生态用地转出规模分别为 2 247.25 hm<sup>2</sup>, 932.28 hm<sup>2</sup>,分别占总转出面积的 25.72%,10.67%,主要向农业生产用地转移,这是由于昌宁县内发展茶园等经济产业的需要,以园地为代表的生产用地规模迅速增加,侵占原有灌木林地、草地等生态用地。根据转出流向分析,农业生产用地、林地生态用地、城镇农村生活用地和草地生态用地转入规模均较大,其中城镇农村生活用地转入面积占总转入面积的 19.68%,主要是由相邻的农业生产用地转移而来,转入规模远超过其他地貌区。在中起伏地貌区和高起伏地貌区,受退耕还林还草政策影响,部分坡耕地、低效园地等农业生产用地主要转出流向仍然为林地生态用地、草地生态用地,但转移规模远小于低起伏地貌区,其中流向林地生态用地的规模分别为 1 901.73, 826.70 hm<sup>2</sup>。林地生态用地和草地生态用地转出流向与低起伏地貌区一致,但转出规模也是呈稳定下降趋势。受地貌特征影响,在海拔较高、地势起伏度较大的中起伏和高起伏地貌区,人类扰动较弱,土地利用功能类型转移规模要少于人类活动集中的低起伏地貌区,特别表现在城镇农村生活用地上,其转入规模逐渐缩减,占总转入面积的比例从 19.68%下降到 5.04%,变化显著。

2010—2020 年期间,在各地貌类型区内,土地利用功能类型主要转移流向与前期保持一致,但转移规模则呈倍数增长趋势,与该地城镇化建设加速发展同步。在低起伏地貌区,由于茶园等产业经济和城镇化的快速发展,致使耕地、林地、草地等用地大量转出,而城镇农村生活用地大量转入。在中起伏和高起伏地貌区,部分农业生产用地向林地、草地等生态用地转移,且转移规模随海拔增高和地势起伏度增大而逐渐减少,其他用地转移规模也逐渐减少。由于林地生态用地和农业生产用地本身基数较大,两者呈相互转换趋势。通过转出转入对比分析,生活用地占用生产用地,生产用地占用生态用地现象频发,且主要活跃于低起伏地貌区;而在中起伏和高起伏地貌区,农业生产用地、林地生态用地和草地生态用地相互转换,但转换规模较小,各功能地类保持相对稳定状态。

### 3.2 生态环境效应

#### 3.2.1 土地利用功能演变对生态环境质量的影响

从研究区生态环境质量指数(2000 年为 0.597 4, 2010 年为 0.597 6, 2020 年为 0.599 8)变化分析,生态环境质量虽然总体维持在较为稳定的状态,但各功能地类的转移对研究区内部不同区域生态环境造成了不同程度的影响(表 5)。

农业生产用地转为林地、草地等生态用地是研究区生态环境质量得以提升的主导因素。具体表现为:在不同时期各地貌类型区内,受退耕还林政策和农业结构调整影响,以耕地为代表的农业生产用地转化为林地生态用地对该地生态环境质量上升的贡献率最大。在 2000—2010 年期间,农业生产用地转为林地生态用地对生态环境的贡献率从低起伏地貌区的 66.61%持续上升至高起伏地貌区的 83.34%,其次为农业生产用地转为草地生态用地,贡献率从低起伏地貌区的 26.62%持续下降至高起伏地貌区的 12.42%,其他地类转换贡献率基本保持稳定;在 2010—2020 年期间,在低起伏和中起伏地貌区内,地类转换规模增大,农业生产用地转为林地生态用地对生态环境的贡献率分别增至 71.21%, 83.38%,而在高起伏地貌区,由于地类间转化频率和规模相对较低,贡献率也基本保持稳定。

农业生产和城镇农村生活用地对林地、草地等生态用地的占用是造成研究区生态环境质量降低的主要原因。在低起伏地貌区,导致生态环境质量下降的主要因素为林地、草地生态用地转为农业生产用地,贡献率由 88.06%缓慢降至 84.94%,受城镇化进程的影响,城镇农村生活用地对农业生产用地和草地生态用地的占用也是该区生态环境质量下降的重要原因,贡献率达 6.15%,后增至 10.56%;在中起伏地貌区,林地、草地生态用地转为农业生产用地的贡献率保持在 94.98%左右,仍为该区生态环境质量下降的主导因素,城镇农村生活用地占用草地生态用地的贡献率也基本稳定在 0.97%;在高起伏地貌区,导致该区生态环境质量下降的主要功能用地转化类型与其他地貌区基本一致,但比较可知,受地势起伏度和海拔影响,在中起伏和高起伏地貌区,人类扰动较少,城镇化建设扩张缓慢,对生态环境影响较小,生态功能可能增强或保持相对稳定;而在低起伏地貌区,受人类活动影响,城镇农村生活用地迅速扩张,导致生态环境质量下降,因此在内部不同区域正负影响相互抵消的情况下,生态环境质量在整体上会保持相对稳定状态<sup>[24,29]</sup>。

表 5 不同地貌类型区主要功能地类转移及其生态环境效应

海拔 类型区	生态环境 效应	用地功能 转移	2000—2010 年		2010—2020 年	
			环境质量 指数变化	贡献率/%	环境质量 指数变化	贡献率/%
低起伏地貌区	生态环境正效应	农业生产用地—林地生态用地	0.003278	66.61	0.007770	71.21
		农业生产用地—草地生态用地	0.001310	26.62	0.001499	13.74
		草地生态用地—林地生态用地	0.000050	1.01	0.000520	4.76
	生态环境负效应	农业生产用地—城镇农村生活用地	−0.000222	5.19	−0.000194	1.76
		林地生态用地—农业生产用地	−0.002974	69.68	−0.006313	57.17
		草地生态用地—农业生产用地	−0.000784	18.38	−0.001284	11.63
		草地生态用地—城镇农村生活用地	−0.000041	0.96	−0.000971	8.80
		农业生产用地—林地生态用地	0.002830	81.88	0.006424	83.38
中起伏地貌区	生态环境正效应	农业生产用地—草地生态用地	0.000510	14.74	0.000848	11.00
		草地生态用地—林地生态用地	0.000088	2.56	0.000343	4.45
		林地生态用地—农业生产用地	−0.002623	70.32	−0.006241	81.51
	生态环境负效应	林地生态用地—草地生态用地	−0.000018	0.49	−0.000386	5.04
		草地生态用地—农业生产用地	−0.000995	26.68	−0.000879	11.48
		草地生态用地—城镇农村生活用地	−0.000038	1.02	−0.000071	0.92
		农业生产用地—林地生态用地	0.001230	83.34	0.002619	82.59
		农业生产用地—草地生态用地	0.000183	12.42	0.000272	8.58
高起伏地貌区	生态环境正效应	草地生态用地—林地生态用地	0.000032	2.15	0.000213	6.70
		农业生产用地—城镇农村生活用地	−0.000013	1.16	−0.000003	0.09
		林地生态用地—农业生产用地	−0.000928	80.78	−0.002209	62.45
	生态环境负效应	林地生态用地—草地生态用地	−0.000012	1.00	−0.000228	6.43
		草地生态用地—农业生产用地	−0.000180	15.63	−0.000405	11.44

3.2.2 生态环境质量变化特征 为清晰了解生态环境质量的演变状况,根据公式(4)计算各年份不同地貌区生态环境质量指数(表 6),同时利用 ArcGIS 软件,基于 1 km×1 km 网格,运用克里金插值法分别表达 2000 年、2010 年、2020 年研究区生态环境质量的空间差异,根据自然断点法分为低质量区、较低质量区、中质量区、较

高质量区和高质量区 5 个质量等级(图 3)。

表 6 不同地貌类型区生态环境质量指数

地貌类型区	2000 年	2010 年	2020 年
低起伏地貌区	0.5383	0.5391	0.5345
中起伏地貌区	0.5948	0.5939	0.5940
高起伏地貌区	0.7088	0.7099	0.7112

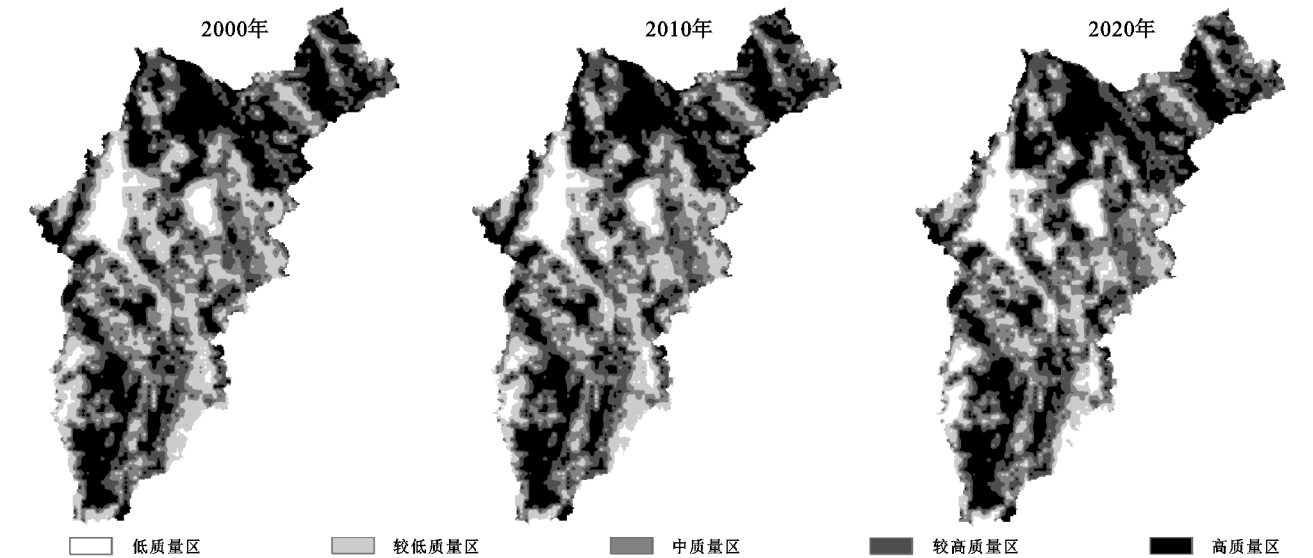


图 3 生态环境质量空间分布



不同地貌区各年份生态环境质量指数表明,高起伏地貌区生态环境质量优于中起伏地貌区,中起伏地貌区优于低起伏地貌区。在低起伏地貌区,主要为农业生产用地和城镇农村生活用地等生态环境质量指数较低的功能地类,生态环境质量相较最低,从 2000 年的 0.538 3 到 2010 年的 0.539 1 再到 2020 年的 0.534 5,呈波动变化状态,但总体上下降。在中起伏地貌区,由于各地类转化频率和规模都较低,生态环境质量指数从 2000 年的 0.594 8 缓慢降至 2020 年的 0.594 0,变化幅度小。在高起伏地貌区,主要以林地生态用地为主且受人类活动影响小,生态环境质量指数从 2000 年的 0.708 8 增至 2020 年的 0.711 2,共增长 0.002 4。在整个研究区内,生态环境质量总体保持稳定,但在低起伏地貌区和中起伏地貌区生态环境质量呈下降,在高起伏地貌区呈上升的趋势,这与该区不同地貌区城镇化工业化建设差异性发展有关。

空间特性上,土地利用生态环境质量整体上呈现“南北高中部低”的空间分布特征(图 3),与研究区地势态势相一致,研究期间生态环境质量空间分布总体维持稳定,但在低起伏地貌区变化显著。高质量区和较高质量区主要位于研究区北部以及南部海拔较高、地势起伏度较大的高起伏地貌区,该区土地类型主要为林地和草地等生态用地,受地貌影响,人类活动扰动较小,城镇化工业化发展受限,因此生态环境质量较高且保持相对平稳的状态。低质量区和较低质量区主要集中在海拔较低、地势起伏度较小的低起伏地貌区,该区主要为农业生产用地和城镇农村生活用地,由于该区人类活动密集,土地类型转换最为活跃,园地和城镇居民点用地扩张占用林地、草地等生态用地,且随着时间推移,该区生态功能逐渐下降,低质量区的扩张趋势持续增强,从 2000 年零星分布到 2020 年范围显著扩张,使得高质量区规模也缓慢变小。中质量区主要沿高质量区周围分布,主要位于中起伏地貌区,功能用地类型主要为湿地、草地等生态功能相对较弱的地类。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(1) 高原传统农区有独特的地貌特征和土地利用方式。与平原地区土地利用功能演变及其生态环境效应进行对比分析发现,高原地区不同垂直梯度内,人类活动程度的强弱对生态环境产生的影响存在差异,因此分区研究可以更清晰地解释高原地区土地

利用功能演变对生态环境影响的差异规律。本研究考虑海拔、地势起伏度两种因素来划分地貌类型区,以此为基础分析不同地貌区域内土地利用功能演变特征及其生态环境效应的分异性,为研究高原传统农区土地利用变化及其环境效应提供了地貌分类参照。不过,本文主要利用土地利用转移矩阵和生态环境质量指数的方法来分析该区土地利用功能演变对生态环境效应的影响,还需进一步探索新的科学测算方法,以开展更为客观精准的研究工作。

(2) 基于不同地貌类型区的土地利用功能演变趋势及对生态环境的影响,提出差异化的调控策略,可为实现区域可持续发展提供决策参考。在人类扰动较为强烈的低起伏地貌区,生态环境指数呈下降趋势,应适当控制城镇农村生活用地的无序扩张,加强耕地保护,严格实施占补平衡制度,大力发展生态农业、循环农业,提高土地利用效率;而在人类活动较少的中起伏和高起伏地貌区,生态环境质量基本保持稳定状态,该区生态环境更为脆弱,宜发展生态旅游,坚持退耕还林还草政策的执行,继续加强生态环境建设,促进地区的高效可持续发展。

### 4.2 结论

(1) 伴随人口压力的转移和利用程度的减弱,高原传统农区土地利用整体格局趋于优化。近 20 a 来,研究区土地利用功能演变表现为生活用地、生态用地缓慢增加、生产用地持续减少的特征。其中,在数量变化上,生活用地、生态用地分别增加了 2 784.18,2 561.29  $\text{hm}^2$ ,生产用地减少 5 345.47  $\text{hm}^2$ ,且各地类变化规模表现为低起伏地貌区大于中起伏地貌区,中起伏地貌区大于高起伏地貌区的特征;在空间分布上,生态用地主要集中在北部和中部海拔较高、地势起伏度较大的中起伏和高起伏地貌区,生产、生活用地则主要集中在研究区中南部的低起伏地貌区。

(2) 由于高原传统农区土地空间的多功能变化及其可持续性增强,区内生态环境质量得以向好发展。近 20 a 来,研究区土地利用功能演变对生态环境质量的影响总体平稳,生态环境质量指数总体维持在 0.598 2 的良好水平,尤其在中起伏地貌区,坡耕地、低效园地等部分生态质量指数较低的生产用地转入草地、林地等生态用地,生态环境质量基本保持稳定;在高起伏地貌区,人类扰动较弱,地类间转移规模较小,部分农业生产用地转为林地生态用地,生态环境质量保持稳定提升的状态。然而,由于人口集聚、土地承载和利用过度,在中南部低起伏地貌区,随着



农业结构调整以及城镇化,园地占用林地、草地等生态用地,城镇农村生活用地占用农业生产用地现象多发,致使局部生态环境质量呈退化趋势。

#### 参考文献:

- [1] 赵兴国,潘玉君,丁生,等.中国省域土地利用可持续性评价及时空格局特征[J].农业工程学报,2014,30(3):196-204.
- [2] 何青泽.重庆北碚土地利用转型及生态效应研究[D].重庆:西南大学,2019.
- [3] 严慈.绵阳市土地利用变化及其生态效应研究[D].四川绵阳:西南科技大学,2021.
- [4] 鲁亚楠,姚顺波,邓元杰,等.陕北地区土地利用及景观格局变化对生态服务价值的影响:基于退耕还林(草)背景[J].中国农业资源与区划,2019,40(11):180-192.
- [5] 黄天能,李江风,温雪,等.桂西资源富集区土地利用转化的时空特征[J].中国农业资源与区划,2020,41(12):171-179.
- [6] 吕立刚,周生路,周兵兵,等.区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究:以江苏省为例[J].地理科学,2013,33(12):1442-1449.
- [7] 邹欣怡,赵伟,蒲海霞.三峡库区重庆段土地利用转型及生态服务功能价值时空分异特征[J].水土保持研究,2021,28(2):267-275.
- [8] 赵丽,张贵军,朱永明,等.基于土地利用转型的土地多功能转变与特征分析:以河北省唐县为例[J].中国土地科学,2017,31(6):42-50,97.
- [9] 张晓琳,金晓斌,范业婷,等.1995—2015年江苏省土地利用功能转型特征及其协调性分析[J].自然资源学报,2019,34(4):689-706.
- [10] Long H, Li T. The coupling characteristics and mechanism of farmland and rural housing land transition in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(3):548-562.
- [11] 刘永强,龙花楼.黄淮海平原农区土地利用转型及其动力机制[J].地理学报,2016,71(4):666-679.
- [12] 张文斌,张志斌,董建红,等.多尺度视角下耕地利用功能转型及驱动力分析:以甘肃省为例[J].地理科学,2021,41(5):900-910.
- [13] 张佰林,高江波,高阳,等.中国山区农村土地利用转型解析[J].地理学报,2018,73(3):503-517.
- [14] Ge D, Long H, Zhang Y, et al. Farmland transition and its influences on grain production in China[J]. Land Use Policy, 2018,70:94-105.
- [15] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
- [16] 吕乐婷,张杰,彭秋志,等.东江流域景观格局演变分析及变化预测[J].生态学报,2019,39(18):6850-6859.
- [17] 王永静,宋凤娇.玛纳斯河流域土地利用时空演变及对生态系统服务价值的影响[J].生态经济,2021,37(7):161-168.
- [18] 田晶,郭生练,刘德地,等.气候与土地利用变化对汉江流域径流的影响[J].地理学报,2020,75(11):2307-2318.
- [19] 王勇,杨彦昆,程先,等.土壤保持功能对土地利用变化的敏感性研究[J].水土保持学报,2020,34(6):22-29,36.
- [20] 黄天能,张云兰.基于“三生空间”的土地利用功能演变及生态环境响应:以桂西资源富集区为例[J].生态学报,2021,41(1):348-359.
- [21] 肖建设,乔斌,陈国茜,等.黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J].生态学报,2020,40(2):510-521.
- [22] 高星,刘泽伟,李晨曦,等.基于“三生空间”的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J].生态学报,2020,40(20):7113-7122.
- [23] 陈益佳.重庆市万州区土地利用规划环境影响评价研究[D].重庆:西南大学,2018.
- [24] 罗刚,廖和平,李强,等.基于“三生空间”的土地利用主导功能转型及其生态环境响应:以重庆市巴南区为例[J].西南大学学报:自然科学版,2018,40(4):105-113.
- [25] 涂汉明,刘振东.中国地势起伏度研究[J].测绘学报,1991,20(4):311-319.
- [26] 高玄戔.地貌基本形态的主客分类法[J].山地学报,2004,22(3):261-266.
- [27] 戴文远,江方奇,黄万里,等.基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究:以福州新区为例[J].自然资源学报,2018,33(12):2098-2109.
- [28] 陈万旭,李江风,朱丽君.长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J].自然资源学报,2019,34(2):325-337.
- [29] 李承桢,信桂新,杨朝现,等.传统农区土地利用与覆被变化(LUCC)及其生态环境效应[J].西南大学学报:自然科学版,2016,38(5):139-145.