



谢臻, 张茜茜, 阿迪拉·艾尼瓦尔江, 张凤荣. 山区土地利用变化强度与稳定性诊断研究——以福建省德化县为例[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(01): 186-198.
XIE Zhen, ZHANG Qianqian, AINIWAERJIANG Adila, ZHANG Fengrong. Diagnostic study on the intensity and stability of land use changes in mountainous area[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(01): 186-198.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.01.17

山区土地利用变化强度与稳定性诊断研究 ——以福建省德化县为例

谢臻^{1,2} 张茜茜¹ 阿迪拉·艾尼瓦尔江¹ 张凤荣^{3*}

- (1. 福建农林大学 公共管理与法学院, 福州 350002;
2. 自然资源部 东南生态脆弱区监测修复工程技术创新中心, 福州 350001;
3. 中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193)

摘要 为剖析山区土地利用变化特征, 合理利用和保护土地资源, 本研究以高城镇化率山区福建省德化县为例, 利用遥感解译与多层次土地利用变化强度分析, 多尺度识别1986年、2001年、2020年3个时期土地利用变化强度与稳定性, 探索变化规律及驱动机理。结果表明: 1) 城镇化中前期(1986—2001年)的土地利用总变化强度大于中后期(2001—2020年), 且从谷地到低山再到中山变化强度逐渐减小。2) 建设用地、水域、裸地、草地的变化较为活跃, 耕地的转出具有活跃性而转入具有惰性, 林地的变化呈现相对稳定状态, 且各地类转入转出强度会受地形影响。3) “草地-林地”转换过程表现为稳定且系统的倾向性转换; 建设用地占用耕地、裸地、水域表现为系统的倾向性; 转移面积大的土地变化模式并非一定表现为稳定性或系统性的变化; “林地-建设用地”、“草地-林地”等土地转换模式会受到地形影响。4) 城镇化进程与地区发展策略是影响土地利用变化倾向与速度的关键因素。因此, 未来山区耕地布局需要顺应社会发展和人口分布, 耕地进出平衡应秉持有破有立的辩证思维, 而城乡建设用地增减挂钩则应树立“人地挂钩”的用地理念。

关键词 山区; 土地利用变化强度; 土地利用稳定性; 耕地进出平衡; 德化县

中图分类号 F301.2 文章编号 1007-4333(2024)01-0186-13 文献标志码 A

Diagnostic study on the intensity and stability of land use changes in mountainous area

XIE Zhen^{1,2}, ZHANG Qianqian¹, Adila¹, ZHANG Fengrong^{3*}

- (1. School of Public Administration & Law, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;
2. Technology Innovation Center for Monitoring and Restoration Engineering of Ecological Fragile Zone in Southeast China, Ministry of Natural Resources, Fuzhou 350001, China;
3. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to analyze the characteristics of land use change in mountainous areas, rational use and protection of land resources. In this study, Dehua County of Fujian Province, an area with high urbanization in the mountainous region, is taken as an example. The remote sensing interpretation technology and multi-level land use change intensity analysis are adopted to identify the intensity and stability of land use changes in 1986, 2001, and 2020, and explore their changing patterns and driving mechanisms. The results show that: 1) The overall change intensity of land use in the early stage of urbanisation (1986—

收稿日期: 2023-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(42201280); 福建省社会科学研究基地重大项目(FJ2021MJDZ019)

第一作者: 谢臻(ORCID: 0009-0009-4290-3092), 讲师, 主要从事土地利用规划研究, E-mail: zxie7003@fafu.edu.cn

通讯作者: 张凤荣(ORCID: 0000-0002-0369-2108), 教授, 主要从事土地评价、规划与可持续利用研究, E-mail: frzhang@cau.edu.cn

2001) is greater than that in the middle and late stage (2001—2017), and the change intensity of land use from valleys to low mountains to Zhongshan gradually decreases. 2) The changes in construction land, waters, bare land and grass are relatively active during the study period, while the changes in forest land remain relatively stable. The transfer of cultivated land shows both activity and passivity, and the intensity of land type transfer is affected by topography. 3) The increase of woodland mainly comes from grassland. The conversion process of “grassland-forestland” is characterized by a stable and systematic tendency conversion model; the occupation of cultivated land, bare land and waters for construction land is systematic; and the land change model with a large transfer area is not necessarily characterized by stability or systematic change. Land conversion patterns such as “forest land-construction land” and “grassland-forest land” are affected by topography. 4) The urbanization process and development strategy are the key factors affecting the scale and speed of land use change. The study suggests that in the future, the layout of arable land in mountainous areas needs to conform to social development and population distribution. The balance of the entry and exit of arable land should adhere to a broken dialectical thinking, while the linkage of urban and rural construction land should establish the concept of “human-land linkage”.

Keywords mountainous area; land use change intensity; land use stability; cultivated land balance of entry and exit; Dehua County

土地利用变化与全球自然生态和社会经济发展紧密相关^[1-4]。山区作为重要的生态系统和资源区,其土地利用演变关系到区域生态平衡与人地协调发展^[5]。山区土地利用变化受人类活动和自然环境的双重影响^[2],每个社会阶段下人类秉承不同的发展理念利用土地改造自然,同时又受到地形、地貌和气候等自然要素的制约。中国由农业社会进入快速城镇化,后又转入生态文明建设,山区土地利用的变化尤为剧烈和不稳定^[6],认清山区土地利用变化强度与稳定性空间特征,对于指导优化山区国土空间开发保护具有重要意义。

当前,山区土地利用变化研究主要聚焦土地利用空间格局及其作用机理。自然地理环境和社会经济环境作为主要作用因素,多从地貌地形^[7-9]、经济发展^[6, 10]、社会制度变革^[11-12]等多方面进行作用机理探析。在研究尺度上,空间尺度的范围主要分为山区乡村^[13]、山区城市^[14]及城乡交错区^[15],研究单元多划分为斑块聚落、村庄聚落及流域系统;时间尺度方面则以研究土地利用转型为代表,聚焦十年甚至百年尺度下,土地利用空间形态和功能形态的趋势性转折^[16]。在研究方法上,数量结构的变化特征分析集中采用转移矩阵和利用强度分析^[9, 17],虽然能清晰地反映土地利用结构的变化方向与过程,但难以比较不同时间间隔的变化情况,不能很好地研究土地利用变化的稳定性特征。而由转移矩阵延伸出的指数分析方法,如土地利用强度^[18]、土地利用动态度^[19]、土地

利用程度^[20]等,虽然能够使不同时间序列下的土地利用变化可比,但又难以描述其中变化的系统性、稳定性规律。

与平原地区不同,山区土地利用时空演变在空间维度的研究多考虑立面空间格局,其研究不仅要考究土地利用强度的变化,变化中的系统性、稳定性更值得关注,以助于了解剧烈变化背后的作用机制。Pontius等^[21]最先创立了强度分析方法,用以计算某一时间段内类别转变的损失与收益;2012年Aldwaik等^[22]运用系统论思维,将这一方法发展为基于转移矩阵的土地利用变化强度分析方案,并从时间间隔、土地利用类型和类型转换3个层面综合分析变化强度特征,为认知连续时期序列中区域土地利用变化的稳定性和系统性提供可能。此方案在日本、希腊等国家进行的长时间序列土地利用变化研究中逐渐得到应用^[23-24]。国内的研究则主要集中在土地利用演变较为剧烈的城市地区^[25-27]。在山区土地利用变化的研究中应用较少,且尚未有研究将此方案与地形这一制约山区土地利用和经济发展的主要自然因素结合分析^[8]。因此,本研究拟选取典型高城镇化山区的福建省德化县为研究对象,将强度分析方案与地形因素结合,并设计转入转出倾向性交叉列联表,通过间隔、地类和转化3个层面的变化强度分析,揭示德化县发展过程中不同社会阶段的土地利用的演变过程、模式和机制,以期对其他山区城乡协调发展和国土空间规划带来启示。

1 研究区概况与研究期划定

1.1 研究区概况

德化县位于福建省中部(117°55′~118°32′E, 25°23′~25°56′N),属亚热带季风气候,平均海拔700 m以上,为闽中地势最高的县份。全县土地总面积约2232.16 km²,山地面积占93.4%,是典型的山区县。地貌以低中山为主,地势陡峭,由中部略向四周倾斜,呈层状逐级下降,全县坡度>25°的土地约占40.7%,<15°的仅占24.7%,具有水土流失的天然生产隐患。主要地类为林地,森林资源丰富,且以树木郁闭度大于等于20%有林地为主。目前城镇化率高达85%,产业结构也由以农业生产为主转型为以工业、服务业为主。德化县城发展模式在一定程度上能够以小见大地反映中国沿海山区发展特征,具有典型性。

1.2 研究期划定

德化县的城镇化与工业化紧密相关:随着人口户籍制度逐渐放开,德化县推出“小县大城关”战略,此时也是工业化起步阶段,“林瓷之争”催生“以电代柴”的能源改革,直至21世纪初才全面实现,标志着工业生产能源转型和工业化改革完成。21世纪后,德化县围绕“瓷、电、矿”展开工业,现进入“瓷、电”的工业化中后期。这一过程中,人口城镇化从1986年的20.77%上升至2001年的30.2%,再至2020年的75.6%。按国际经验,人口城镇化50%前为前期,50%~70%为中期,70%~80%为后期。土地利用以及覆盖变化与经济社会发展息息相关。由于缺少更早时期的可利用遥感数据,本研究将以1986年、2001年和2020年为节点,剖析德化县不同时期城镇化土地利用特征。1986—2001年设为城镇化(工业化)中前期;2001—2020年为中后期。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

2.1.1 土地利用信息提取

遥感影像数据来源于美国地质勘探局(United States Geological Survey,简称USGS)官方网站(<http://glovis.usgs.gov/>)1986年、2001年和2020年3个时期分别选取LandSat5、LandSat7和LandSat8卫星拍摄的行列索引幅为P119/R42的影像,平均云量均在5%以下,空间分辨率为30 m。

研究区土地利用特征建立土地利用分类体系,包含建设用地、耕地、林地、草地、水域、裸地共6大地类。采用基于极大似然法的监督分类法和人工目视解译相结合提取研究区土地利用信息。其中,人工目视解译是依照构建的分类解译标志,结合Google Earth软件中高分辨率多时相影像对计算机算法分类后的数据进行精细化校正。结合实地调查采样数据、Google Earth软件高分辨率遥感影像和土地利用现状调查数据,分别对不同时期的遥感解译产品进行精度检验,2020年和2001年遥感解译Kappa系数分别为0.85和0.78,均满足精度要求。1986年遥感解译结果的检验采取与第一次土地利用现状调查成果做数字化处理后,随机挑选300个验证点进行检查与统计,得到解译精度为79.68%,满足精度要求。

2.1.2 垂直地形类型划分

DEM高程数据选用中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)的ASTER GDEM V2 30 M分辨率数字高程数据,经过ArcGIS10.7软件的镶嵌、投影转化、填洼、裁剪等预处理工作后制得;坡度数据则是在此基础上使用表面分析工具生成。根据研究区各级坡度类型的面积占比合并缓坡和中坡,将坡度划分为<15°、15°~25°、>25°这3个级别。根据《德化县志》中的记载将绝对高程划分为<200 m、200~500 m、500~800 m、>800 m共4个级别。最终确定研究区具体垂直地形带划分标准,将地形划分为中山、低山和谷地3类,成果如图1所示。

2.2 研究方法

2.2.1 间隔层面强度分析方法

间隔层面是从土地利用总变化维度出发,分析不同时间间隔土地利用变化强度,这使得不同间隔长度的时间段之间土地利用总变化的快慢程度变得可比较。某个时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内(S_t)和整个研究期(U)的土地利用变化强度计算公式如下^[22]:

$$S_t = \frac{\sum_{j=1}^J \left[\left(\sum_{i=1}^J C_{ij} \right) - C_{ij} \right] / \left[\sum_{j=1}^J \left(\sum_{i=1}^J C_{ij} \right) \right]}{Y_{t+1} - Y_t} \times 100\% \quad (1)$$

$$U = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \left\{ \sum_{j=1}^J \left[\left(\sum_{i=1}^J C_{ij} \right) - C_{ij} \right] / \left[\sum_{j=1}^J \left(\sum_{i=1}^J C_{ij} \right) \right] \right\}}{Y_T - Y_1} \times 100\% \quad (2)$$

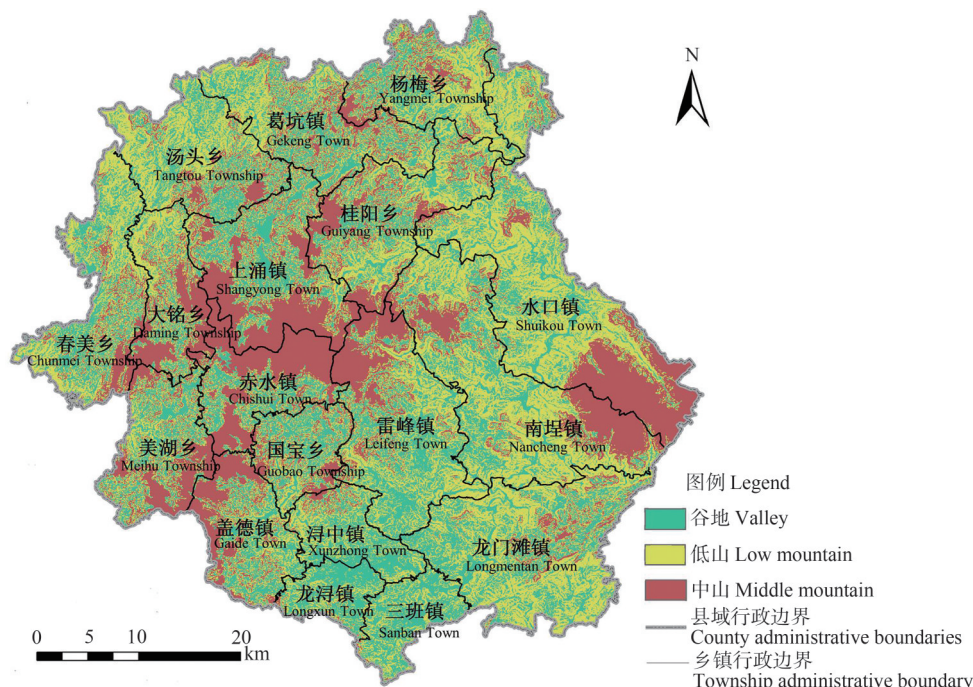


图1 德化县地形划分结果

Fig. 1 Terrain division results of Dehua County

式中： C_{ij} 为时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内从期初的地类 i 转为期末的地类 j 的土地数量； i 和 j 为土地利用类型的代码； J 为土地利用类型的总数； t 为时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 的期初节点代码（ $1 \leq t \leq (T-1)$ ）； T 为研究期内时间节点的总数； Y_t 表示时间节点 t 所对应的年份。若各时间段土地利用变化强度相同，则 $S_t = U$ ；若 $S_t > U$ ，则表示该时期土地利用变化快于平均水平，是快速的；否则，是缓慢的。

2.2.2 地类层面强度分析方法

类别层面是从不同地类变化的维度出发，分析不同地类变化强度在不同时间间隔内的变化情况。某个时间间隔 $[Y_t, Y_{t+1}]$ 内地类 j 的转入强度（ G_{ij} ）和地类 i 的转出强度（ L_{ii} ）计算公式如下^[22]：

$$G_{ij} = \frac{\left[\left(\sum_{i=1}^J C_{ij} \right) - C_{ij} \right] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^J C_{ij}} \times 100\% \quad (3)$$

$$L_{ii} = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^J C_{ij} \right) - C_{ii} \right] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J C_{ij}} \times 100\% \quad (4)$$

若各地类均按其期初的面积以相同比例转出，也按照其在期末面积以相同的比例转入，则地类的增

加或减少强度应该是一致的，且与该时间间隔内总的土地利用变化强度 S_t 相等，即 $G_{ij} = S_t = L_{ii}$ 。若 $G_{ij} > S_t$ ，则说明地类 j 的增加是快速的，否则是缓慢的；若 $L_{ii} > S_t$ ，则说明地类 i 的减少是快速的，否则是缓慢的。如果地类在连续时间间隔内的转入或转出均表现为快速的或缓慢的，则表明该地类的增加或者减少在整个研究期内表现为活跃或惰性的变化模式。

2.2.3 转换层面强度分析方法

转换层面则是从地类间的流动维度出发，分析不同时间间隔地类相互之间的转换强度的情况。该层面分别从转出地类和转入地类角度分析特定地类的转变，使不同时间段“地类 i -地类 j ”的转化强度可比较。转入强度（ R_{in} ）和平均强度（ W_m ）计算公式如下^[22]：

$$R_{in} = \frac{C_{in} / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J C_{ij}} \times 100\% \quad (5)$$

$$W_m = \frac{\left[\left(\sum_{i=1}^J C_{in} \right) - C_{mn} \right] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J \left[\left(\sum_{i=1}^J C_{ij} \right) - C_{mj} \right]} \times 100\% \quad (6)$$

式中： n 表示地类转换过程中转入地类的代码。

其次，从地类 m 转出的角度分析，变化强度

(Q_{tmj})和平均强度(V_{tm})计算公式如下:

$$Q_{tmj} = \frac{C_{tmj} / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^J C_{tij}} \times 100\% \quad (7)$$

$$V_{tm} = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^J C_{tmj} \right) - C_{tmm} \right] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^J \left[\left(\sum_{j=1}^J C_{tij} \right) - C_{tim} \right]} \times 100\% \quad (8)$$

式中: m 表示地类转换过程中转出地类的代码。若按期末各地类 j 的面积以相同比例由地类 m 转出($m \neq j$),则 $Q_{tmj} = V_{tm}$ 。若 $Q_{tmj} > V_{tm}$,则说明地类 m 倾向于转出为地类 j ,否则说明地类 m 避免转出为地类 j 。若地类 m 在连续时间间隔内均表现为倾向或避免于转出为地类 j ,则说明地类 m 转出为地类 j 是一种稳定性的土地变化模式^[26]。

此外,相较于“地类 i -地类 j ”的转入和转出情况,若期末地类 j 倾向或避免于从期初地类 i 转入,且期初地类 i 倾向或避免于转出为期末地类 j ,则可以认为,“地类 i -地类 j ”的转变是一种倾向性或避免性的系统变化过程。而如果“地类 i -地类 j ”的倾向性或避免性转变在连续的时间段内表现为相同的

系统转换过程,则可以认为这种系统的转换模式具有时间尺度上的稳定性。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型结构变化分析

全域尺度,通过3个时期的土地利用现状图分析制作土地转移矩阵桑基图,结果如图2和图3所示。由图2可知1986—2020年德化县土地利用以林地、草地、耕地和建设用为主,耕地、草地呈减少趋势,在西部和南部减少最为剧烈。由图3可知:中前期(1986—2001年)耕地总量净减少2.33%(6 193.87 hm²),主要向林草地转出,耕地的转入主要来自裸地,说明这一时期耕地撂荒已经出现,同时存在裸地开垦;而在中后期(2001—2020年),耕地净减少量是前一时期的2.21倍,达19 905.17 hm²,大部分仍转为林草地,其余减少量主要来自于建设用地占用,同时由于这一时期裸地数量已经为数不多,缺少了裸地转入的补给,耕地转入量下降。林地和建设用地呈上升趋势,两时期林地净转入量均最大,中前期转入主要来自于草地,中后期主要来自于草地和耕地;建设用地则逐步集中,尤其在浔中镇和龙门镇大量增加。

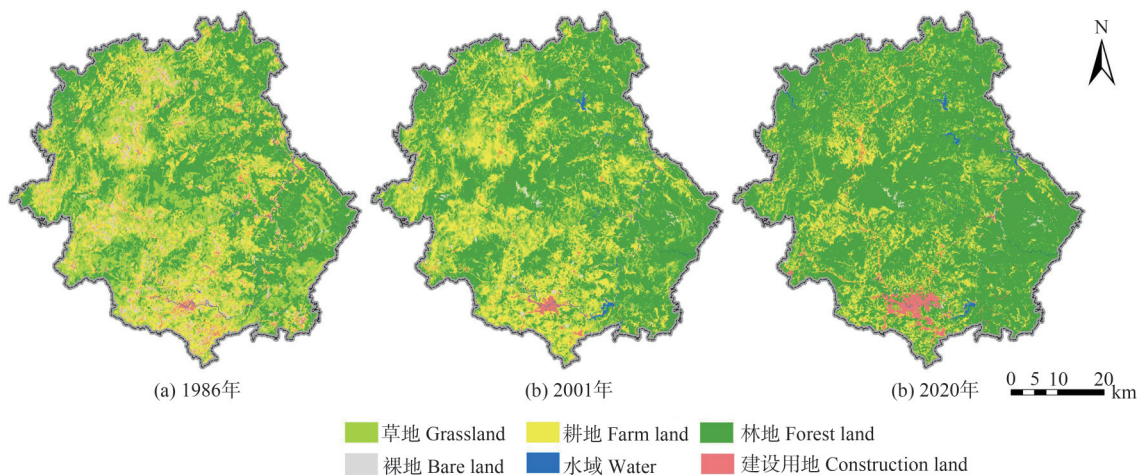
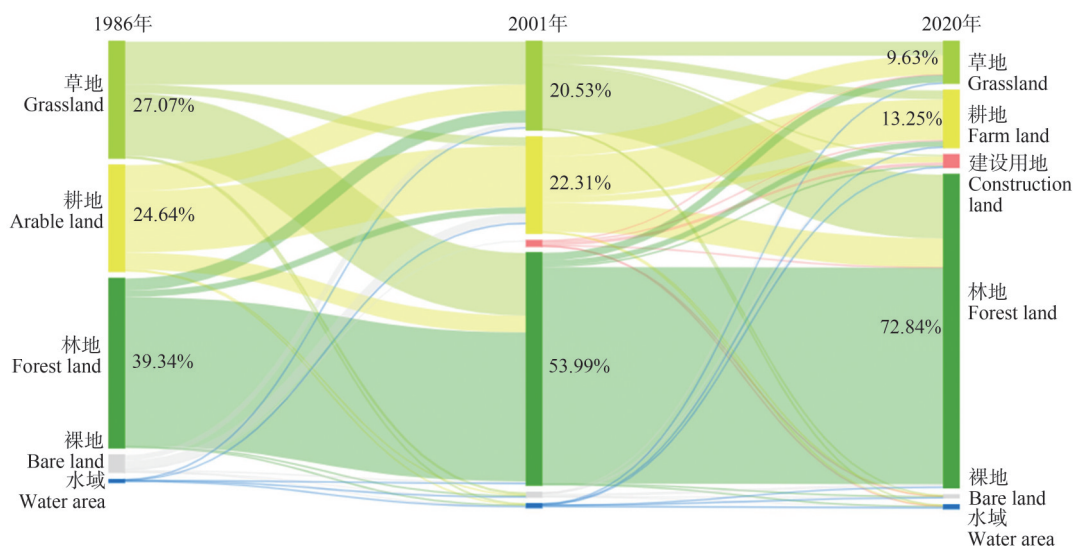


图2 德化县土地利用变化

Fig. 2 Land use change of Dehua County

地形尺度的土地利用转移矩阵桑基图见图4。可知:耕地方面,两时期内耕地总量在谷地减少最大,其次是低山、中山,这可能与耕地在各地形的基数有关,但就净转出量而言,中前期低山的净转出量最大,中后期谷地净转出量最大,两期减少的耕

地都主要转换为林草地。林地方面,期初和期末林地都呈现低山和中山占比大,谷地占比小的态势,中前期林地在中山转入量最高,主要来自于草地,转出较少;中后期林地在谷地和低山的净转入量相比前期增加明显,主要来自草地和耕地。建设用地



主要地类面积所占比例用百分数表示。

The proportion of the area of major land type is expressed as percentage.

图 3 德化县全域土地利用转移矩阵桑基图

Fig. 3 Conversion matrix Sankey Diagram of land use/cover types in whole area of Dehua County

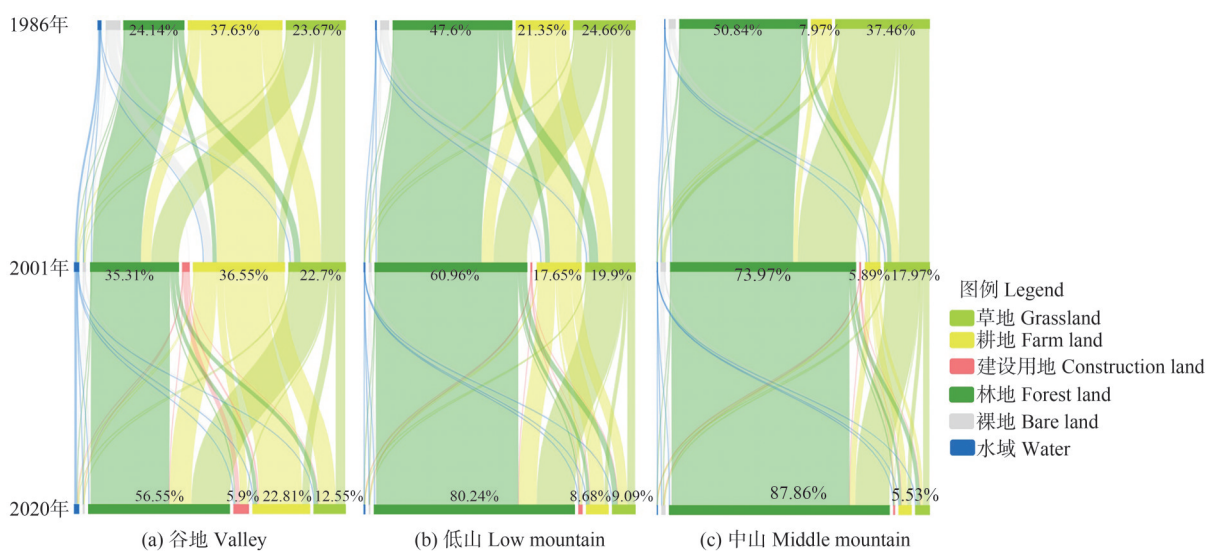


图 4 德化县地形尺度土地利用转移矩阵桑基图

Fig. 4 Conversion matrix Sankey Diagram of land use types in whole area of Dehua County from topographical dimension

方面,2001 年建设用地主要分布在谷地,占 82.44%,到 2020 年增加最多的也是在谷地,增幅为 116.99%,建设用地的转入主要来自耕地及小部分林地。

3.2 土地利用类型变化强度分析

3.2.1 间隔层面变化强度分析

全域尺度下德化县土地利用变化强度如图 5 所示。可见:前一阶段变化强度值($S_i=2.68\%$)高于后一阶段($S_i=2.23\%$);相比于平均变化强度($U=$

2.45%),前一阶段的土地利用总体变化快速,后一阶段缓慢。不同地形尺度下的土地利用变化强度如图 6 所示。可见:研究期内,谷地、低山、中山的平均变化强度值(U_a 、 U_b 、 U_c)呈现递减趋势,两时期各自的土地利用变化强度也呈现由谷地到低山再到中山依次递减的趋势。值得注意的是,通过计算得到谷地、低山、中山土地利用变化强度的方差分别为 7.44×10^{-7} 、 4.84×10^{-6} 、 2.12×10^{-5} ,即谷地、低山、中山在 2 个时间段内的土地利用变化强度的差

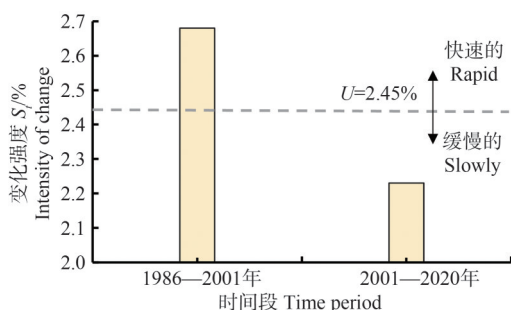


图5 德化县时间间隔层面土地利用变化强度特征

Fig. 5 Characteristics on intensity of land use change in Dehua County from time intervals dimension

异逐渐增大,说明谷地2个时间段内的土地利用变化强度变动稳定,低山其次,而中山在中后期变化强度比前一时期显著降低。这也说明随着工业化、城镇化发展,在谷地地区土地利用仍保持较高变动,这一变动强度随着地形升高而逐渐下降,中山地区的变动强度下降最为明显,也可反映其受人为干扰程度低。

3.2.2 地类层面变化强度分析

由图7全域尺度下地类层面土地利用变化强度可知,德化县2个时期水域、裸地、草地、建设用地的转入和转出强度都高于平均变化强度水平,表明这

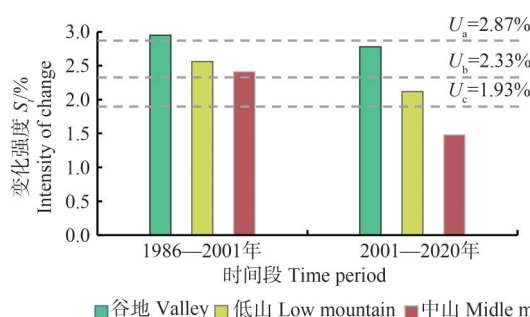


图6 德化县地形尺度下时间间隔层面土地利用变化强度特征

Fig. 6 Characteristics on intensity of land use change in Dehua County from topographical dimension

些地类的变化较为活跃;林地的变化呈现惰性模式,但其转入强度明显大于转出强度,转入面积远高于转出面积。排除各地类基期数量差异,两时期变化强度差异为:林地的转出具有稳定的惰性,且后期惰性增强;耕地的转出具有稳定的活跃性,后期转出活跃性增强,这说明后期耕地转出强度增强更明显。此外,在后一时期建设用地的转出和转入是活跃的,转入强度远高于转出强度,这说明建设用地同时存在“拆旧”和“建新”,但“建新”强度远大于“拆旧”强度。

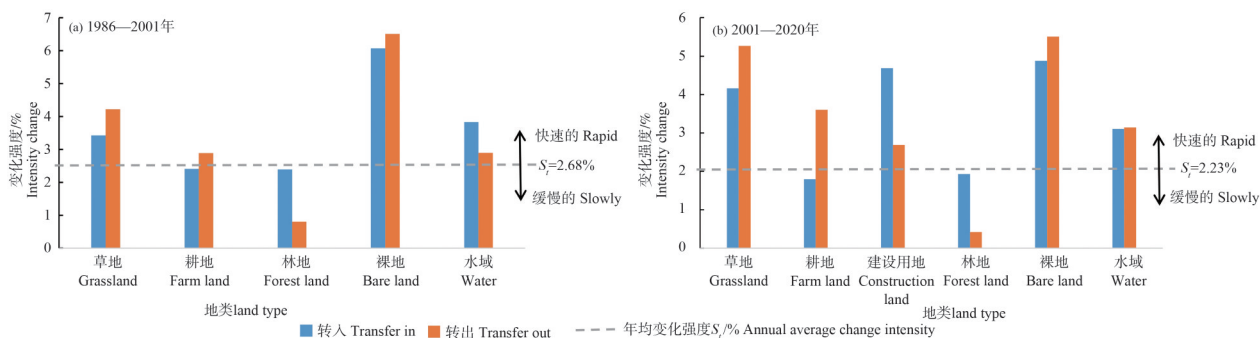


图7 德化县类别层面土地利用变化强度特征

Fig. 7 Characteristics on intensity of land use change in Dehua County from category dimension

地形尺度下,地类层面的土地利用变化强度情况如图8所示。可见:在不同地形区各地类的转入转出强度表现不同,耕地的转出强度大于转入强度,且在低山和中山均表现为稳定的活跃性变化;在谷地地区仅中后期表现为转出活跃,与中前期相比转出强度上升。建设用地的转入在各个地形区域都表现为活跃性,转出在低山和中山表现为活跃性,在谷地表现为惰性,这说明建设用地转入强度

不受地形影响,但转出更偏向于在低山和中山地区。林地的转出在各地形区域都表现为稳定的惰性,中山地区转出活跃性最低,说明各地形区砍伐现象都在减少,尤其是中山地区。

3.2.3 转换层面变化强度分析

根据转移矩阵的结构布局设计“地类*i*-地类*j*”的转入转出倾向性交叉列联表(图9)。可见:在全域尺度,德化县2个时期土地利用类型间的转换呈

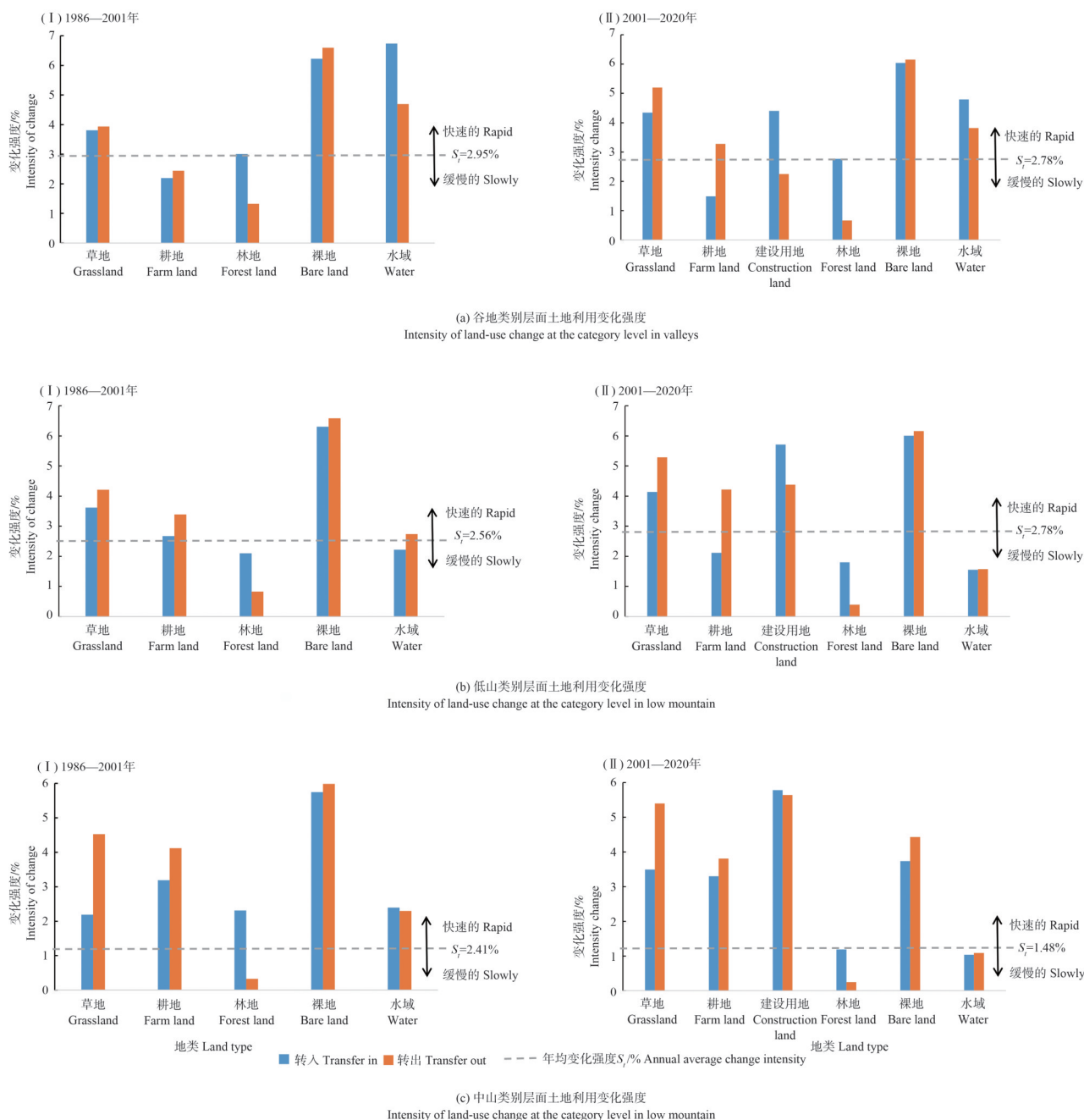


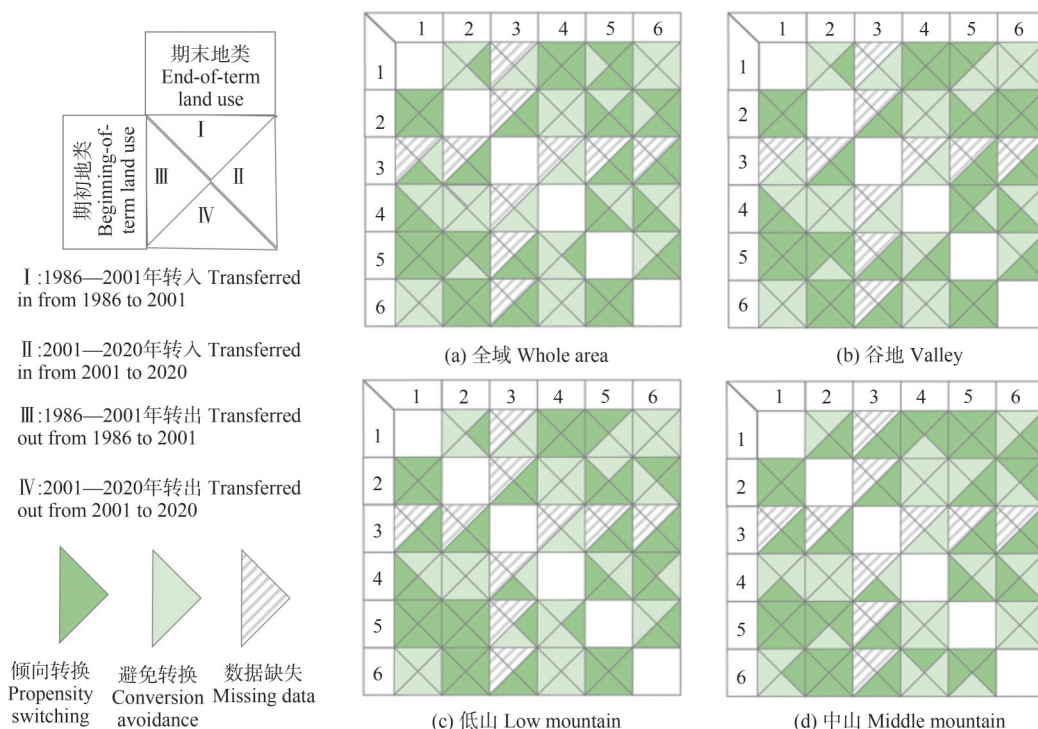
图 8 德化县地形尺度土地利用变化强度特征

Fig.8 Characteristics on intensity of land use change in Dehua County from topographical dimension

现多样性。其中,“草地-林地”、“耕地-草地”等模式表现为稳定且系统的倾向性转换;“耕地-林地”、“林地-耕地”等模式表现为稳定且系统的避免性转换模式。在中后期建设用地与其他地类的转换过程中,建设用地向耕地、裸地、水域转换表现为系统的倾向性,向林地转换表现为系统的避免性。对比图 3 转移矩阵可知,转移面积大的土地变化模式不一定会表现为稳定性或系统性的变化,转移矩阵难以揭

示土地利用变化的稳定性和系统性^[26]。

同时可以看出在全域尺度表现为稳定且系统的土地转换模式,在不同地形尺度上则呈现不同的情况。在不同尺度下,“耕地-草地”、“裸地-草地”等转换模式并不受到地形影响。而“草地-林地”、“草地-水域”、“水域-草地”、“水域-林地”这几类转化模式在各地形区域的表现不同。与建设用地相关的土地转换模式,“耕地-建设用地”、“水域-建设用



若 I 和 III (或者 II 和 IV) 填充相同颜色则说明“地类 i -地类 j ”的转化在该时间段内具有系统性(倾向性或者避免性);若 I 和 II (或者 III 和 IV) 填充相同颜色则说明“地类 i -地类 j ”的转入或转出具有稳定性;若所有 4 个单元格都填充相同颜色则说明整个研究期内“地类 i -地类 j ”的转化是稳定且系统的变化。

If I and III (or II and IV) are filled with the same color, it means that the transformation of “land type i -land type j ” is systematic (tendency or avoidance) during this time period; If I and II (or III and IV) are filled with the same color, it means that the transfer in or out of “land type i -land type j ” is stable; If all 4 four cells are filled with the same color, the transformation of “land type i -land type j ” is stable and systematic throughout the study period.

图9 1986—2020年德化县转换层面土地利用变化交叉列联表

Fig. 9 Confusion table of land use transition patterns of Dehua County from 1986 to 2020

地”、“建设用地-耕地”等6类转换模式也不受到地形影响;“建设用地-草地”在低山和中山表现为系统的倾向性,但在谷地表现为系统的避免性;“草地-建设用地”在谷地和低山表现为系统的避免性;“林地-建设用地”在谷地表现为系统的避免性。这说明建设用地荒废为草地在低山和中山地区盛行,在谷地则没有;建设用地占用草地、林地在全域都是避免的,在谷地、低山地区尤为明显。

3.3 土地利用类型演变驱动机理分析

3.3.1 土地利用变化规模差异和驱动机理

耕地方面,研究期内耕地的转出强度呈现稳定的活跃性变化,向林草地转出比重较大,结合农村常住人口占比由1986年的79.23%下降为2020年的24.4%,大量农村劳动力流失导致出现耕地撂荒现象,在谷地和中山表现更为明显,撂荒的耕地自然恢复为草地,再恢复为林地或人工植树造林。2001—

2020年“耕地-建设用地”的面积占耕地转出面积的比重较大,这一方面是因为城关地区建设占用谷地和低山的耕地,另一方面是由于地方宗祠文化的影响,村民挣钱后回乡盖新房的思想一致存在,且所建新房往往占用自家承包地或是建在旧宅旁边,造成“耕地-建设用地”在全域和地形尺度都表现为系统的倾向性。建设用地方面,通过实地调查及城乡地区的对比分析可知,城关地区“耕地-建设用地”的转移远大于农村地区,这与“建设用地城乡增减挂钩政策”相关,农村居民点复垦为耕地,进而获得建设用地开发指标转移至地形较为平坦的城关地区。林地方面,研究期内林地大量转入而较少转出,全域“林地-耕地”的稳定且系统的避免性与谷地地区“林地-建设用地”的系统避免性都说明林地的转出是受到人为制约的。水域方面,研究期内谷地地区的水域转入较多且更为剧烈,主要来自耕地及小部分林地,

说明其转换存在人工干预,与上个世纪八十年代以来德化县开展大量的“小水电”建造有关。

3.3.2 土地利用变化速度差异和驱动机理

对比转移矩阵(图3)与2个时间段的转移强度(图9)可以看出,“耕地-草地”转化方面,虽然研究期内转化面积有较为明显的下降,表现为稳定且系统的倾向性变化,但从图10(a)知其转化强度是上升的,说明耕地撂荒总量下降的原因是后一时期期初的耕地面积少于前一时期期初,但实际上撂荒是受到自然或人类活动影响的,其强度是上升的,这

与农村常住人口占比下降关系密切,人口流失速度的提高导致了撂荒强度的上升。“耕地-林地”转化方面,研究期内表现为稳定且系统的避免性变化,但转化强度却是上升的,转化面积增加表明中后期存在部分通过植树方式“退耕还林”的现象。“林地-草地”转化方面,研究期内呈现稳定但非系统性的变化模式,由图10(b)知其转化强度是下降的,说明中前期森林砍伐强度较大,可能与德化县“以电代柴”的工业能源直到2001年后才普及相关,中后期森林砍伐量显著减少。

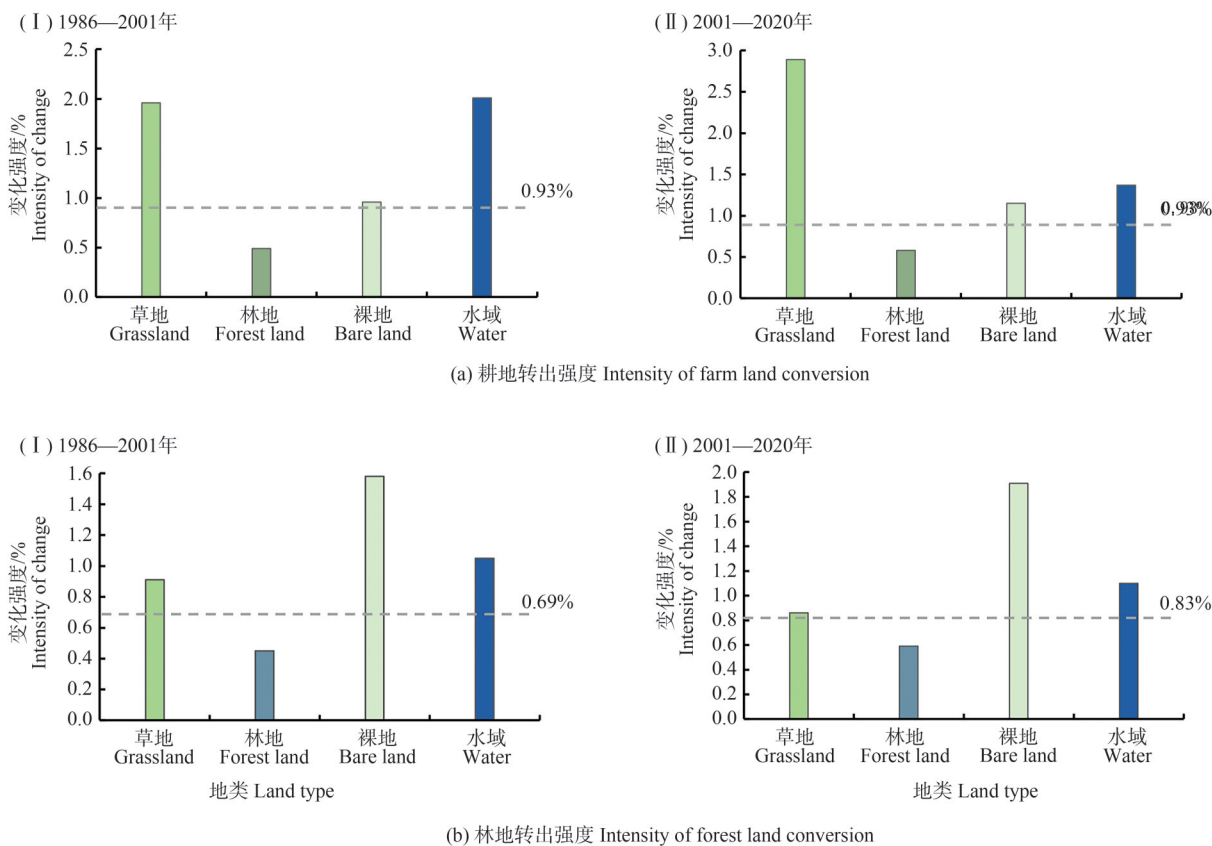


图10 1986—2020年德化县土地利用变化强度特征

Fig. 10 Characteristics on intensity of land use change in Dehua County from 1986 to 2020

4 讨论

一般而言,山区土地利用更受地形因素影响,已有研究表明:耕地和建设用地在谷地地带变化活跃,主要是耕地向建设用地表现为倾向性转换;林草地与耕地在高海拔、高坡度地带转化活跃,主要是耕地向林草地表现为倾向性转换^[8,28-30]。这些研究都佐证了本研究结果的准确性^[7]。然而,就具体变化特点而言,本研究也存在一些不同之处。青海

省海西州^[31]、京津冀地区^[10]在城镇化进程中土地总体利用变化强度均是先慢速后快速,而本研究发现德化县土地变化强度却呈现先快速后减慢的特点;喀斯特山区文山市^[32]林地呈现不断下降的趋势,而德化林地在研究期内却是不断增加的态势。这些差异可能源于不同的研究期、地理条件以及人文因素和当地发展政策的差异^[8,33]。值得注意的是,本研究对比了不同时间段和地形条件下各地类的转化特点,在一定程度上解释了这些差异产生的

可能原因。

基于上述结果,本研究为山区土地规划和可持续发展提供对策建议如下:一是山区耕地进出平衡需考虑耕作稳定性,有破有立的辩证思维才是解决山区耕地撂荒与粮食安全博弈的科学思路。所谓“立”,一方面要确保耕地利用稳定性强地区的耕地可持续利用;另一方面通过耕地进出平衡政策开发谷地和低山地带的宜耕后备资源,扩大耕地规模。所谓“破”,一方面对利用不稳定的高山地区耕地可基于进出平衡调整种植经济作物,引导农业结构调整,宜粮则粮、宜特则特;另一方面对于劣质低产且对生态有负面影响的耕地,退耕并调整为林地或草地^[34]。二是山区城乡建设用地增减挂钩需树立“人地挂钩”的用地理念。耕地的利用离不开人力,未来山区耕地进出平衡不能违背人类社会的发展规律,若拆旧地块在人口流失的中山区,拆除的农村居民点不应复垦为耕地,而由其恢复为林草地;若拆旧地块在谷地或低山区,拆除了房屋的宅基地复垦为耕地,因为其耕作半径小,且持续有人活动,今后才有可能被耕种,但仍需保证复垦耕地是高质量才行。

本研究仍存在一些局限性有待进一步探索。第一,研究主要基于遥感数据和强度分析方案,碍于篇幅限制,关于驱动机理主要采取定性为主、定量为辅的方式予以论证,未来有待进一步使用更详实的数据分析方法以解析其中的人类行为和决策过程机理;第二,德化县是我国高城镇化率山区中的典型,具有地理环境、特色产业、政策制度等方面的独特性,这也使得其代表性也存在一定的局限性,未来研究将进一步探索不同类型山区土地利用变化的差异性,深化对山区土地利用变化规律的认识,为山区可持续发展提供科学依据。

5 结 论

本研究对高城镇化山区德化县的土地利用变化强度与稳定性特征进行分析,主要结论如下:

1)不同城镇化阶段,山区土地利用变化存在较大差异。城镇化中前期的土地利用总体变化强度大于中后期,其中变化明显的有:林地砍伐降低,转为草地的面积减少;耕地转化为草地的撂荒总量减少,撂荒强度却提高。

2)不同地形环境下,山区土地利用变化的强度

与稳定性会发生变化。相比于谷地和低山,中山地区人为干扰最低且利用强度下降最为明显;各地类变化在地形尺度表现不同,如水域仅在谷地地区表现为稳定的活跃性变化,在低山和中山表现为惰性。

3)城镇化进程与发展策略影响土地利用变化规模与速度。城镇化初期德化县土地利用呈现耕地面积多,草地、裸地分布广,林地资源稀少的情况。到城镇化中后期耕地撂荒以及受建设用地占用的现象严重,裸地大量减少。但林地面积在各地形区域均呈现增长,全域生态环境得到了巨大改善。

参考文献 References

- [1] 欧阳晓,贺清云,朱翔.多情景下模拟城市群土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以长株潭城市群为例[J].经济地理,2020,40(1):93-102
Ouyang X, He Q Y, Zhu X. Simulation of impacts of urban agglomeration land use change on ecosystem services value under multi-scenarios: Case study in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. *Economic Geography*, 2020, 40(1): 93-102 (in Chinese)
- [2] 刘光旭,王小军,相爱存,王雪然,王炳香,肖书妹.赣江中上游地区土地利用变化空间分异与驱动因素[J].应用生态学报,2021,32(7):2545-2554
Liu G X, Wang X J, Xiang A C, Wang X R, Wang B X, Xiao S M. Spatial heterogeneity and driving factors of land use change in the middle and upper reaches of Ganjiang River, Southern China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(7): 2545-2554 (in Chinese)
- [3] 胡莹洁,孔祥斌,张宝东.30年来北京市土地利用时空变化特征[J].中国农业大学学报,2018,23(11):1-14
Hu Y J, Kong X B, Zhang B D. Spatiotemporal features of land use change in Beijing in the past 30 years [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(11): 1-14 (in Chinese)
- [4] Sterling S M, Ducharme A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle [J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(4): 385-390
- [5] 张佰林,高江波,高阳,蔡为民,张凤荣.中国山区农村土地利用转型解析[J].地理学报,2018,73(3):503-517
Zhang B L, Gao J B, Gao Y, Cai W M, Zhang F R. Land use transition of mountainous rural areas in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 503-517 (in Chinese)
- [6] 党昱譔,李超,谢臻,孔祥斌,张凤荣.耕地上山撂荒成因及空间优化路径探究:以江西省万年县为例[J].长江流域资源与环境,2022,31(12):2756-2767
Dang Y X, Li C, Xie Z, Kong X B, Zhang F R. Study on the causes and spatial optimization path of farmland abandonment in mountainous areas: A case study of Wannian County, Jiangxi Province, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(12): 2756-2767 (in Chinese)
- [7] 廖艳梅,尹林江,兰安军,翟香,施厚军,张玉彪,钟九生.黔西北贫困山区不同地貌形态下土地利用变化的地形梯度效应分析[J].生态科学,

- 2023, 42(2): 111-118
- Liao Y M, Yin L J, Lan A J, Zhai X, Shi H J, Zhang Y B, Zhong J S. Analysis of topographic gradient effect on land use change under different landforms in poor mountainous areas of northwest Guizhou [J]. *Ecological Science*, 2023, 42(2): 111-118 (in Chinese)
- [8] 臧玉珠, 刘彦随, 杨园园. 山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应: 以井冈山市为例[J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1391-1404
- Zang Y Z, Liu Y S, Yang Y Y. Land use pattern change and its topographic gradient effect in the mountainous areas: A case study of Jinggangshan City[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(7): 1391-1404 (in Chinese)
- [9] 郭健斌, 张英, 张志伟, 侯磊, 曾维莲. 基于地理探测器的藏东南高山峡谷区土地利用变化及其驱动机制: 以西藏林芝市为例[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(4): 210-226
- Guo J B, Zhang Y, Zhang Z W, Hou L, Zeng W L. Land use change and its driving mechanism in the alpine gorge of southeast Tibet based on geodetector: A case study of Nyingchi City [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(4): 210-226 (in Chinese)
- [10] 鲍文楷, 杨园园, 邹利林. 快速城镇化地区土地利用变化强度及驱动力新特征: 以京津冀地区为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(10): 124-134
- Bao W K, Yang Y Y, Zou L L. Land use change in rapid urbanization area and its driving forces based on intensity analysis: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2021, 43(10): 124-134 (in Chinese)
- [11] 姚冠荣, 张传, 刘陶红, 邹金浪. 农地流转服务体系有助于抑制耕地撂荒吗? 来自丘陵山区的经验证据[J]. 农林经济管理学报, 2022, 21(4): 442-452
- Yao G R, Zhang C, Liu T H, Zou J L. Does the farmland transfer service system help to curb the abandonment of cultivated land? Empirical evidence from hilly areas [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2022, 21(4): 442-452 (in Chinese)
- [12] 邵景安, 张仕超, 李秀彬. 山区土地流转对缓解耕地撂荒的作用[J]. 地理学报, 2015, 70(4): 636-649
- Shao J A, Zhang S C, Li X B. The role of rural farmland transfer in preventing farmland abandonment in the mountainous areas [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4): 636-649 (in Chinese)
- [13] 朱凤凯, 张凤荣, 朱泰峰, 李灿, 高阳. 都市山区建设用地增减挂钩可行性研究: 基于土地覆被与耕地利用的视角[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1398-1406
- Zhu F K, Zhang F R, Zhu T F, Li C, Gao Y. The feasibility of 'increasing vs decreasing balance' land-use policy in mountain areas[J]. *Resources Science*, 2013, 35(7): 1398-1406 (in Chinese)
- [14] 冉逸箫, 张凤荣, 张佰林, 周建, 李超, 谢臻. 贫困山区农村衰落特征及诊断: 以重庆市酉阳县为例[J]. 资源科学, 2017, 39(6): 999-1012
- Ran Y X, Zhang F R, Zhang B L, Zhou J, Li C, Xie Z. Characterization and diagnosis of rural decline in poor mountainous areas [J]. *Resources Science*, 2017, 39(6): 999-1012 (in Chinese)
- [15] 马士彬, 张勇荣, 安裕伦. 山区城市土地利用动态空间分布特征: 以贵州省六盘水市为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 489-496
- Ma S B, Zhang Y R, An Y L. Spatial pattern of urban land use in the mountain area: A case study of Liupanshui in Guizhou Province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(3): 489-496 (in Chinese)
- [16] 魏伟, 周健, 许峰. 大城市边缘区土地利用时空格局模拟: 以武汉市洪山区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 174-179
- Wei W, Zhou J, Xu F. Modelling the spatio-temporal pattern of urban fringe: A case study on Hongshan district of Wuhan City [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(2): 174-179 (in Chinese)
- [17] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 471-487
- Song X Q. Discussion on land use transition research framework [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3): 471-487 (in Chinese)
- [18] 闫永涛, 冯长春. 北京市城市土地利用强度空间结构研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(3): 37-43
- Yan Y T, Feng C C. Research on spatial structure of urban land use intensity of Beijing [J]. *China Land Science*, 2009, 23(3): 37-43 (in Chinese)
- [19] 崔秀萍, 郭永新. 近40a西部城市群土地利用结构时空动态演化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(2): 16-24
- Cui X P, Guo Y X. Analysis on the spatio-temporal dynamic evolution of land use structure of western urban agglomerations in the past 40 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(2): 16-24 (in Chinese)
- [20] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 105-111
- Zhuang D F, Liu J Y. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 105-111 (in Chinese)
- [21] Pontius R G, Boersma W, Castella J C, Clarke K, de Nijs T, Dietzel C, Duan Z Q, Fotsing E, Goldstein N, Kok K, Koomen E, Lippitt C D, McConnell W, Sood A M, Pijanowski B, Pithadia S, Sweeney S, Trung T N, Veldkamp A T, Verburg P H. Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change [J]. *The Annals of Regional Science*, 2008, 42(1): 11-37
- [22] Aldwaik S Z, Pontius R G. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1): 103-114
- [23] Mallinis G, Koutsias N, Arianoutsou M. Monitoring land use/land cover transformations from 1945 to 2007 in two peri-urban mountainous areas of Athens metropolitan area, Greece [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 490: 262-278
- [24] Shoyama K, Braimoh A K. Analyzing about sixty years of land-cover change and associated landscape fragmentation in Shiretoko Peninsula, Northern Japan [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 101(1): 22-29
- [25] Huang J L, Pontius R G, Li Q S, Zhang Y J. Use of intensity analysis to link patterns with processes of land change from 1986 to 2007 in a coastal watershed of southeast China [J]. *Applied Geography*, 2012, 34: 371-384
- [26] 孙云华, 郭涛, 崔希民. 昆明市土地利用变化的强度分析与稳定性研究[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 245-254
- Sun Y H, Guo T, Cui X M. Intensity analysis and stationarity of land use change in Kunming City [J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(2): 245-254 (in Chinese)
- [27] 杨建新, 龚健, 高静, 冶琴. 国家中心城市土地利用变化稳定性和系统性特征: 以武汉市为例[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 701-716
- Yang J X, Gong J, Gao J, Ye Q. Stationary and systematic characteristics of land use and land cover change in the national central cities of China using intensity analysis: A case study of Wuhan City [J]. *Resources Science*, 2019, 41(4): 701-716 (in Chinese)
- [28] 国巧真, 宁晓平, 王志恒, 蒋卫国. 地形地貌对半山地区土地利用动态变化影响分析: 以天津市蓟县为例[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(1): 153-159

- Guo Q Z, Ning X P, Wang Z H, Jiang W G. Impact analysis of landform for land use dynamic change of the partly mountainous area: A case study of Jixian county in Tianjin City [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2015, 27(1): 153-159 (in Chinese)
- [29] 谢臻, 张凤荣, 高阳, 张天柱, 张佰林, 周建. 基于遥感和GIS的平原和山区贫困县农村耕地利用演变对比[J]. 农业工程学报, 2018, 34(15): 255-263
- Xie Z, Zhang F R, Gao Y, Zhang T Z, Zhang B L, Zhou J. Comparison on evolution of rural farmland use in poverty-stricken counties between flat and mountainous areas based on remote sensing and GIS [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(15): 255-263 (in Chinese)
- [30] 焦贝贝, 石培基, 刘春芳, 陈莉, 刘海猛. 黄土高原低山丘陵区农村居民点分布与地形因子关系研究: 以兰州市七里河区为例[J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1719-1727
- Jiao B B, Shi P J, Liu C F, Chen L, Liu H M. The distribution of rural settlements in relation to land form factors in low hilly land on the loess plateau: A case study of Qilihe district of Lanzhou city [J]. *Resources Science*, 2013, 35(8): 1719-1727 (in Chinese)
- [31] 牛乐乐, 张必成, 贾天忠, 余雕. 青海省海西州土地利用变化强度分析与稳定性研究[J]. 水土保持学报, 2021, 35(2): 152-159
- Niu L L, Zhang B C, Jia T Z, She D. Analysis on intensity and stability of land use change in Haixi Mongolian and Tibetan autonomous prefecture of Qinghai Province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(2): 152-159 (in Chinese)
- [32] 王茜, 赵筱青, 普军伟, 石小倩. 喀斯特山区土地利用变化对生态脆弱性的影响[J]. 山地学报, 2022, 40(2): 289-302
- Wang Q, Zhao X Q, Pu J W, Shi X Q. Impact of land use changes in Karst mountain area on ecological vulnerability [J]. *Mountain Research*, 2022, 40(2): 289-302 (in Chinese)
- [33] 王友胜, 刘霞, 姚孝友, 邢先双, 张振国, 张光灿, 李欢, 单桂梅. 沂蒙山区土地利用格局变化与经济社会发展的典范对应分析[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(6): 71-78
- Wang Y S, Liu X, Yao X Y, Xing X S, Zhang Z G, Zhang G C, Li Huan, Shan G M. Canonical correspondence analysis of land-use pattern change and social-economic development in Yimeng mountainous area [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2011, 9(6): 71-78 (in Chinese)
- [34] 张凤荣. 国土空间规划应如何处置山区撂荒耕地[N]. 中国科学报, 2019-08-20
- Zhang F R. How should territorial spatial planning deal with deserted arable land in mountainous areas [N]. *Chinese Journal of Science*, 2019-08-20 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 谢臻, 博士, 讲师, 硕士生导师。博士毕业于中国农业大学土地科学与技术学院, 曾赴日本广岛大学访学, 主要从事土地评价与可持续利用、城乡发展与规划、全域土地综合整治等方面的研究工作。主持国家自然科学基金青年项目1项, 福建省社会科学研究基地重大项目1项, 市厅级、校级项目2项; 先后参与国家自然科学基金项目、国家社会科学基金项目等研究课题10余项; 在《资源科学》、《农业工程学报》、*Land Use Policy* 等期刊发表学术论文20余篇; 参与编写学术专著1部。



通讯作者简介: 张凤荣, 博士, 二级教授, 博士生导师。中国土地学会第六第七届副理事长兼学术工作委员会主任, 自然资源部第三次全国国土调查、全国国土空间规划纲要编制和国土空间生态保护修复专家咨询委员会委员。主要从事土地评价、土地利用规划、持续土地利用管理、土壤地理学等方面的研究工作。曾主持国家自然科学基金项目、国家科技攻关/支撑项目、省部项目10余项, 国土资源管理部门项目30余项; 在《中国土地科学》、《自然资源学报》、*Land Use Policy* 等期刊发表学术论文400余篇; 多次获国土资源部、农业部科技进步奖。