

乌江流域土地利用变化的自然因子

许丽婷

(陕西师范大学, 西安市 710000)

摘要:自然因素是引起典型山地流域土地利用变化的主要原因,乌江流域作为典型山地流域,明确各自然因子在乌江流域土地利用类型转变中的贡献率,找到关键性驱动因子,从而为合理调整土地利用布局提供借鉴作用。以乌江流域为研究对象,基于时空性和整体性,采用 2000 年、2010 年和 2020 年三期土地利用数据,综合各自然要素,利用增强回归树模型来分析土地利用变化的自然因子。结果表明:(1) 2000—2020 年乌江流域土地利用类型变化表现在,林地、灌木地、水体和人造地表面积比重明显增加,耕地、湿地面积显著减少,草地面积变化呈稳定趋势。(2) 2000 年和 2020 年对比发现乌江流域中部水体面积扩大,北部林地面积有所增加,东部耕地面积大幅度缩减。草地和灌木地空间变化不明显,呈嵌入式分布。人造地表以东南、西南、东北和西北部增加最为明显。(3) 从贡献率方面考虑,降水对草地变化的贡献率最大,坡度对耕地的影响最大,植被类型对林地影响最大,影响湿地最大的自然驱动因子是坡度,气温是制约灌木地发展的最大自然因子,土壤类型对水体变化的贡献率最大,坡度是人工地表变化最大的自然驱动因子。草地变化的特征因子主要是降水、植被类型和气温;耕地变化特征因子分别是坡度、高程和气温;林地变化的特征因子是植被类型、高程和气温;湿地变化的特征因子是坡度;灌木地变化的特征因子是气温、土壤类型和植被类型;水体变化的特征因子是土壤类型和植被类型;人造地表变化的特征因子是坡度和植被类型。

关键词:土地利用变化;自然因子;乌江流域;增强回归树模型

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)05-0319-08

Natural Factors of Land Use Change in Wujiang River Basin

XU Liting

(Shaanxi Normal University, Xi'an, 710000, China)

Abstract: Natural factors are the main causes of land use change in a typical mountainous watershed. As a typical mountainous basin, the contribution rates of various natural factors in the transformation of land use types in Wujiang River Basin were studied, and the key driving factors were found, so as to provide reference for the rational adjustment of land use layout. Based on the three land use data in 2000, 2010, and 2020, from the spatiotemporal and holistic characteristics, we analyzed the natural factors of land use change in Wujiang River Basin by integrating various natural factors and using the boosted regression tree model. The results showed that: (1) from 2000 to 2020, the land uses types of Wujiang River Basin showed that the proportions of forest land, shrub land, water, and artificial surface area increased significantly, the areas of cultivated land and wetland decreased significantly, and the change of grassland area showed a stable trend; (2) the comparison between 2000 and 2020 showed that the water area in the middle of Wujiang River Basin expanded, the forestland in the north increased, and the cultivated land area in the east decreased significantly; the spatial changes of grassland and shrub land were not obvious, which presented the embedded distribution; the increase of the artificial surface was most obvious in the southeast, southwest, northeast, and northwest; (3) in terms of contribution rate, precipitation contributed the most to grassland change, the slope had the largest impact on cultivated land, vegetation type had the greatest influence on forestland, the slope was the biggest natural driving factor affecting wetland, the temperature was the most natural factor that restricted the development of shrub land, and soil type had the largest contribution rate to water

change, slope was the biggest natural driving factor of artificial surface change. To sum up, the main characteristic factors of grassland change were precipitation, vegetation type and temperature; the characteristic factors of cultivated land change were slope, elevation and temperature respectively; the characteristic factors of forest land change were vegetation type, elevation and air temperature; the characteristic factor of wetland change was slope; the characteristic factors of shrub land change were temperature, soil type and vegetation type; the characteristic factors of water body change were soil type and vegetation type; the characteristic factors of man-made surface change were slope and vegetation type.

Keywords: land use change; Wujiang River Basin; natural factors; boosted regression tree

土地是人与自然最密切的联系纽带,在人与自然和谐相处的大背景下,研究人类与地球表层最直接的方式——土地利用变化^[1],成为研究领域的热点之一。流域因其特殊的地理性和对生态系统变化的敏感性,成为研究领域的关注点^[2]。我国于 2021 年 4 月 21 日修订通过的《中华人民共和国土地管理法实施条例》指出,合理的国土空间规划需要调查当地土地条件,明确土地利用现状以及变化情况^[3]。制定有效的土地整治方案,最大程度发挥土地节约集约利用程度,需要从宏观上把握土地变化规律,找出影响土地变化的关键因子。乌江流域作为典型山地流域,拥有特殊的地形地貌以及土壤、水分等自然条件,是水土流失和石漠化重要区域,自然因素在很大程度上制约土地利用变化发展。明确各自然因子在土地利用类型转变中的贡献率,找到关键性驱动因子,顺应自然发展规律,合理调整土地利用布局,提高土地利用效率,改善乌江流域生态环境,保护土地生态功能。

乌江流域横跨四省,地理条件特殊,其土地利用变化的现有研究集中在局部区域,按省份划分成贵州省乌江段^[4]、乌江流域重庆段^[5]等,按河流流向分成乌江源区(乌江北源)^[6-7]、上游^[8]、中游^[9]和下游^[10]等,对于整个乌江流域的土地利用变化研究甚少。以往研究内容涉及乌江流域生态环境效应和风险评估、景观格局和时空演变特征、土地利用变化现状和情景模拟等。也有学者从地形地貌方面研究土地利用变化的驱动因素,但是没有基于系统性和整体性原则考虑影响整个乌江流域的自然因子,也没有具体分析各土地利用类型变化的关键性驱动因子。因此以整个乌江流域作为研究对象,从地理学角度出发,深入研究影响其土地利用变化的自然因子很有必要,这对改善乌江流域土壤质量、生态环境治理、土地利用规划布局、因地制宜发展生态、经济和农业等都有一定的借鉴意义。

本研究以乌江流域为研究对象,基于时空性和整体性,采用 2000 年、2010 年和 2020 年三期土地利用数据,综合各自然要素,利用增强回归树模型来分析

乌江流域土地利用变化的自然因子,试图找到影响各土地利用类型转变的自然驱动因子。

1 研究区概况

乌江流域发源于贵州省威宁县香炉山花鱼洞,流经贵州北部和重庆东南部,在重庆市涪陵区注入长江。乌江流域横跨贵州、云南、重庆、湖北四省市,共计 56 个县市。乌江又称黔江,位于 $104^{\circ}10'$ — $109^{\circ}12'E$, $25^{\circ}26'$ — $30^{\circ}22'N$,干流全长 $1\ 037\text{ km}$ ^[11],流域面积约为 $107\ 550.14\text{ km}^2$,是长江上游右岸最大的一条支流,也是贵州省最大的水系。乌江水系呈羽状分布,地势西南高,东北低,是典型的山区河流,天然落差 $2\ 124\text{ m}$,年均流量 $1\ 650\text{ m}^3/\text{s}$ ^[11]。乌江流域是中国西南喀斯特的核心区域,以水力侵蚀(微度和轻度侵蚀)为主^[12]。乌江流域属亚热带高原季风湿润气候,气候温和,雨量充沛,年平均气温 $13\sim 18^{\circ}\text{C}$ ^[13],多年平均降水量是 $1\ 100\text{ mm}$ 。乌江流域受气候和复杂地形影响,地貌类型分化严重,自然景观多样,植被以常绿针叶林、常绿阔叶林为主,具有明显的过渡性和垂直地带性^[14],土壤分布主要以黄壤为主,石灰土和水稻土次之。

2 数据与方法

2.1 数据来源

土地利用变化数据来源于 GlobeLand30 (<http://www.globeland30.com>),本研究选用了 GlobeLand30 V2000 & V2010(总体精度为 83.50%,Kappa 系数 0.78)和 GlobeLand30 V2020(总体精度为 85.72%,Kappa 系数 0.82),空间分辨率为 30 m 。该数据将全球土地利用类型分成了 10 个一级类别,分别是耕地、林地、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰川和永久积雪。数字高程 DEM(90 m 分辨率栅格图层)、中国植被类型图($1:100$ 万栅格图层)、土壤类型和土壤侵蚀($1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 栅格数据)均来自于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn>)。气象数据来自中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>)

提供的中国地面气候资料日值数据集 2000—2020 年的平均气温和降水量。

2.2 数据处理

2.2.1 乌江流域土地利用数据 利用 ArcGIS 软件将 GlobeLand30 数据拼接、投影、裁剪得到乌江流域土地利用变化图。构建栅格属性表,计算面积属性,通过重分类,得到各土地利用类型的面积变化。

2.2.2 自然因子的选取与处理 从地形、土壤、植被、气象方面对乌江流域土地利用变化进行分析,结合乌江流域特殊地理环境,选取可量化的典型代表因子进行分析。

(1) 地形因子:乌江流域位于云贵高原,地形复杂,地势高低不平,海拔高度差大。海拔与坡度直接影响水热条件再分配,影响人类耕作范围和耕作类型,制约土地空间利用,故选取高程和坡度作为研究区的地形因子。利用 DEM 数据提取高程和坡度,并进行分级处理。在 ArcGIS 中利用重分类方法将研究区高程分成 4 级($<1\ 200\text{ m}$, $1\ 200\sim 1\ 600\text{ m}$, $1\ 600\sim 2\ 000\text{ m}$ 和 $>2\ 000\text{ m}$)。同理,将坡度分成 $0^\circ\sim 5^\circ$ (平坡), $6^\circ\sim 15^\circ$ (缓坡), $16^\circ\sim 25^\circ$ (斜坡), 25° 以上(陡坡),对已分级的地形因子重采样为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的栅格图层。

(2) 植被因子:植被有蓄水保土、削减洪峰流量、调节河川径流的作用,植被类型影响河川径流再分配,影响地表水分蒸发,制约土地利用方式,故选取植被类型作为植被因子。将中国植被类型图裁剪、重分类得到乌江流域植被类型图,并对已分类的植被因子重采样为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的栅格图层。

(3) 土壤因子:不同土壤类型所含有有机质不同,对植物生长影响不同,土壤侵蚀力度不同,所造成的有机质流失情况有很大差异,因此选取土壤类型和土壤侵蚀作为研究区的土壤因子。将中国土壤类型图和土壤侵蚀图裁剪、重分类,并对侵蚀进行分级处理。依据《土壤侵蚀分类分级标准》将土壤侵蚀分成微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈侵蚀,并重采样为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的栅格图层。

(4) 气象因子:气温和降水影响植被生长,对土地利用方式有很大影响,故选取多年平均气温和多年平均降水量作为研究区的气象因子。通过气象站点数据插值、提取掩膜得到研究区多年平均气温和多年平均降水量。依据乌江自身气温和降水特点,为了便于计算,将气温划分为 5 级($<15^\circ\text{C}$, $15\sim 17^\circ\text{C}$, $17\sim 19^\circ\text{C}$, $19\sim 21^\circ\text{C}$, $>21^\circ\text{C}$),降水划分为 4 级($<1\ 045\text{ mm}$, $1\ 045\sim 1\ 146\text{ mm}$, $1\ 146\sim 1\ 244\text{ mm}$, $1\ 244\sim 1\ 382\text{ mm}$),并重采样为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的栅格图层。

2.3 研究方法

2.3.1 土地利用转移概率矩阵 转移概率矩阵能够直接表明各土地利用类型之间的转移变化,以表格形式表达各类型面积的转移。利用 ArcGIS 软件分析各土地利用类型的变化情况,导出属性表并在 Excel 中创建转移概率矩阵。

2.3.2 增强回归树 增强回归树模型(Boosted Regression Trees, BRT)是回归算法和增强算法的组合,能够基于回归算法进行机器自主分析,提高决策者的精度和稳定性^[15]。BRT 能够解释各自变量因子对因变量的贡献率,也能计算各自变量的边际效应,从而对因变量做出解释。增强回归树模型广泛应用于人文社科驱动力等的研究^[16-21]。

BRT 算法是基于 R studio 软件的“gbm”程序包来实现的。进行 BRT 分析前,需要对研究区变量数据进行预处理。为了避免空间自相关性,首先利用 ArcGIS 对研究区乌江流域随机选取 50 000 个样本点,对因变量重采样(变化区域为 1,未变化的区域为 0)。再给各变量图层值提取至点要素,也就是各变量值赋予 50 000 个随机样本点。最后导出属性表,在 Excel 中处理样本数据至标准化,导入 R studio 中进行 BRT 分析。

3 结果与分析

3.1 土地利用时空变化分析

从时间尺度上看,乌江流域主要用地类型为耕地、林地和草地,其中耕地和林地占比接近,草地次之(表 1)。经过 20 a 的发展,可以看出乌江流域用地类型发生显著变化,林地、灌木地、水体和人造地表面积比重明显增加,耕地、湿地面积显著减少,草地面积变化呈稳定趋势。人造地表面积变化最为明显,面积比重从原来的 0.503% 增加到 2.127%,净增 1.624%;水体面积也出现扩增,面积比重从 0.502% 增加到 0.823%,净增 0.321%;灌木地增加较少,面积比重仅增加了 0.014%;林地面积比重的增加值超过了 0.6%。相反,耕地面积显著减少,面积比重达到 2.183%;湿地面积逐年萎缩,比重日益减少,2020 年占比仅为 0.001%。

从空间尺度上看,乌江流域土地利用类型总体分布趋势是:北部以林地为主,耕地、草地和灌木地零散分布;东部耕地分布相对密集;南部以耕地、草地和人造地表为主;西部主要分布草地;而水体和湿地则呈条带状贯穿乌江。从三期土地利用类型分布图可以看出 20 a 来乌江流域土地利用类型分布的整体趋势基本没变,但各用地类型面积和数量的变化在空间上表现不同。其中以人造地表的分布最为明显,东南部(贵阳、安顺)、西南部(毕节)和西北、东北(黔江)增加

明显,这个区域也出现在省份交汇处。2000 年和 2020 年对比可以发现乌江流域中部水体面积扩大,

北部林地面积有所增加,东部耕地面积大幅度缩减。草地和灌木地空间变化不明显,呈嵌入式分布。

表 1 乌江流域各年份土地利用类型面积汇总

用地类型	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/km ²	比重/%	面积/km ²	比重/%	面积/km ²	比重/%
耕地	45839.56	42.622	45645.35	42.441	43497.48	40.444
林地	43703.75	40.636	44282.74	41.174	44374.59	41.259
草地	15960.76	14.840	15533.33	14.443	15527.70	14.438
灌木地	961.46	0.894	1020.03	0.948	976.27	0.908
湿地	4.74	0.004	2.55	0.003	0.89	0.001
水体	539.48	0.502	479.93	0.446	885.48	0.823
人造地表	540.39	0.502	586.21	0.545	2287.74	2.127

由乌江流域土地利用变化转移矩阵(表 2)可以直观看出,各用地类型的相互转变情况。用地类型呈动态式,相互之间转变显著。2000—2020 年期间,草地增加的主要来源是耕地和林地的转变,其他用地类型变化较少;耕地增加的主要来源是草地和林地,灌木地次之;草地和林地的转变是林地面积增加的主要来源,占比 23.8%,湿地转变占比仅为 0.41%,灌木地的转变占比为 0.49%;灌木地转变来源是林地(8.34%)、草地(9.07%)和

耕地(14.82%),其他用地类型转变细微;水体面积增加的来源是草地(27.94%)和湿地(10.83%),人造地表和灌木地几乎没有转变为水体,水体转变的地类是草地和耕地;湿地的转变来源是草地(24.87%)、耕地(15.38%)和林地(19.28%),灌木地、水体和人造地表转变较少;草地对人造地表的贡献率最大,占比 57.24%,其次是耕地(9.87%)和林地(9.81%),而人造地表仅有 11.19%转变为了其他地类。

表 2 2000—2020 年乌江流域土地利用变化转移矩阵

类型	2000 年							总面积
	草地	耕地	林地	灌木地	水体	湿地	人造地表	
草地	40308.56	2702.91	1209.50	88.57	0.25	220.25	1309.52	45839.56
耕地	1803.19	38913.67	2480.11	144.69	0.01	136.18	225.89	43703.75
林地	1241.29	2555.85	11686.97	81.44	0.07	170.69	224.45	15960.76
灌木地	48.38	132.22	75.95	652.00	—	10.98	41.92	961.46
2020 年	1.39	1.51	0.37	0.03	0.46	0.83	0.16	4.74
湿地	53.58	63.22	64.06	8.43	0.10	344.19	5.90	539.48
人造地表	41.08	5.21	10.73	1.10	—	2.36	479.90	540.39
总面积/km ²	43497.48	44374.59	15527.70	976.27	0.89	885.48	2287.74	107550.14

3.2 土地利用变化的影响因子

3.2.1 各土地利用类型的自然因子贡献率 通过增强回归树模型分析各驱动因子对各用地类型的贡献率,可以直观反映每种用地类型变化的驱动因素。由图 1 可以看出,多年平均降水量对草地变化的贡献率(36.4%)最大,其次是植被类型(15.5%)和多年平均气温(14.55%)。乌江流域多年平均降水量在 1 100 mm 左右,给草地的发展提供充足的水分。坡度对耕地的贡献率(31.62%)最大,其次是高程(16.98%)和多年平均气温(12.06%),坡度影响农作物对水分的吸收,也影响农作物对光的接收程度,从而对耕地变化产生影响。多年平均气温(27.14%)和土壤类型(25.59%)对灌木地的贡献率接近,植被类型(21.36%)占比稍低,可以看出这 3 个是影响灌木生长的主要因子。植被类型(22.59%)对林地变化的贡献率最大,其次是高程(19.90%)和多

年平均气温(19.23%),植被之间的竞争和适应性制约林地的发展。坡度(82.47%)是制约湿地发展的最大驱动因子,湿地形成于地势低平且排水不畅地区。土壤类型(59.35%)是制约水体变化的最大驱动因子,植被类型(22.56%)次之,坡度(5.04%)也有一定影响,不同土壤类型对水分的吸收、转化不同。坡度是 人造地表变化的主要驱动因子,植被类型(16.08%)次之,这与人们生产生活的场所有关。

3.2.2 驱动因子的边际效应 利用 R studio 分析各土地利用类型驱动因子的边际效应,能够直接反映驱动因子取值变化对各土地利用类型的影响强度,进而可以分析影响强度最大的驱动因子值。其中边际效应值越大,代表影响强度越大。基于各土地利用类型的自然因子贡献率,选择贡献率之和达到 60%及以上的前几名特征因子进行边际效应分析。

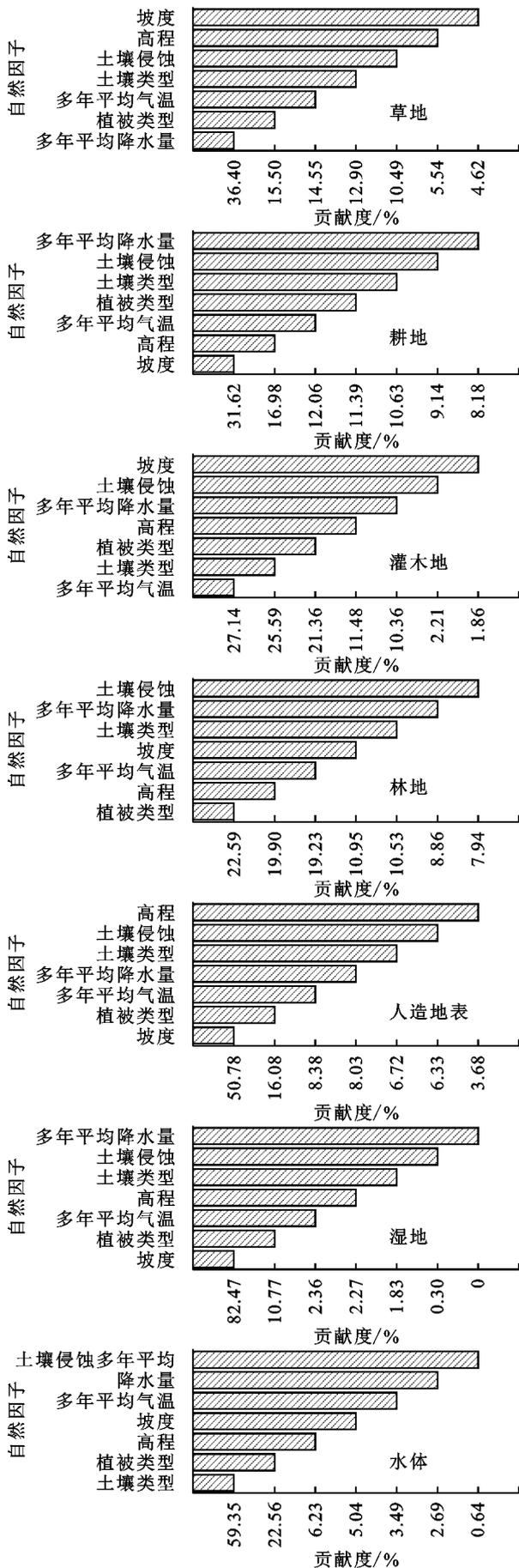
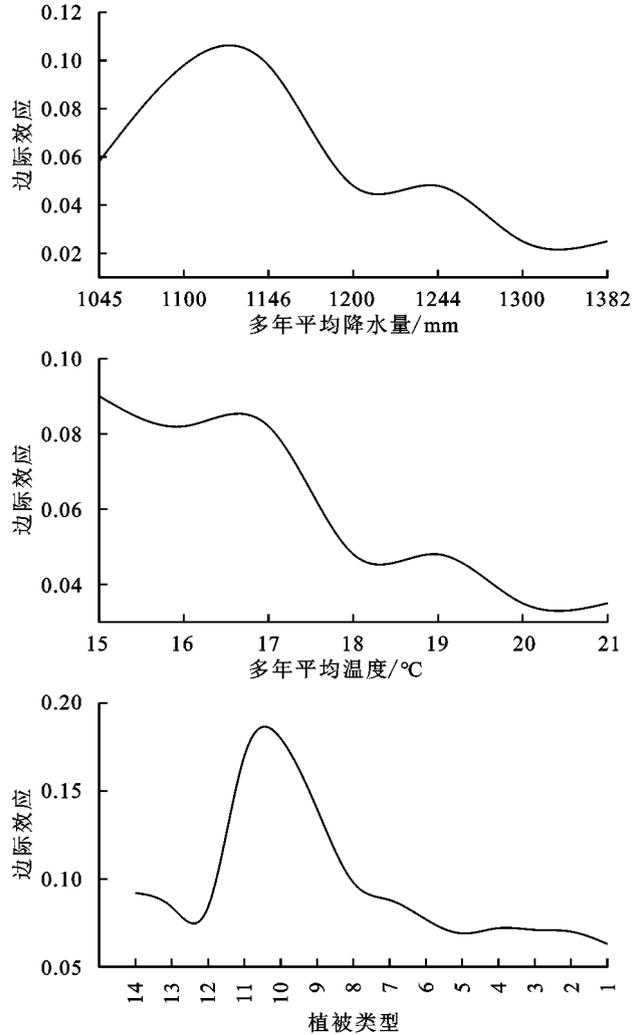


图1 各土地利用类型的自然因子贡献率

分析草地的特征因子边际效应(图2),可以得到以下结果。(1)随着降水量的增多,对草地变化的影响先增大后减小,在1100 mm附近形成峰值。(2)当植被类型为亚热带落叶阔叶林、亚热带常绿阔叶林和亚热带常绿落叶阔叶混交林时,对草地变化影响最大;竹林、竹丛和亚热带针叶林时影响次之;农作物、果园和草丛对草地变化影响最小。(3)随着气温的升高,对草地变化的影响越来越小。气温在15~17℃,对草地变化影响最大。



注:1表示草丛;2表示农作物;2,3表示农作物;1,4表示禾草、杂类草草甸;5表示亚高山硬叶常绿阔叶灌丛;6表示常绿阔叶、落叶阔叶灌丛;7表示落叶阔叶林;8表示竹林和竹丛;9表示常绿阔叶林;10表示常绿落叶阔叶混交林;11表示落叶阔叶林;12表示针叶常绿阔叶落叶阔叶混交林;13表示针叶林;14表示其他。

图2 草地变化的特征因子边际效应

分析耕地的特征因子边际效应可知:(1)坡度越大,对耕地变化的影响越小,当坡度为平坡时最有利于耕地的发展。(2)海拔高度增大,对耕地的影响变小,当海拔高度小于1200 m时耕地最为集中。(3)随着温度升高,对耕地变化的影响越来越小。温度在15~17℃时,对耕地变化影响最大(图3)。

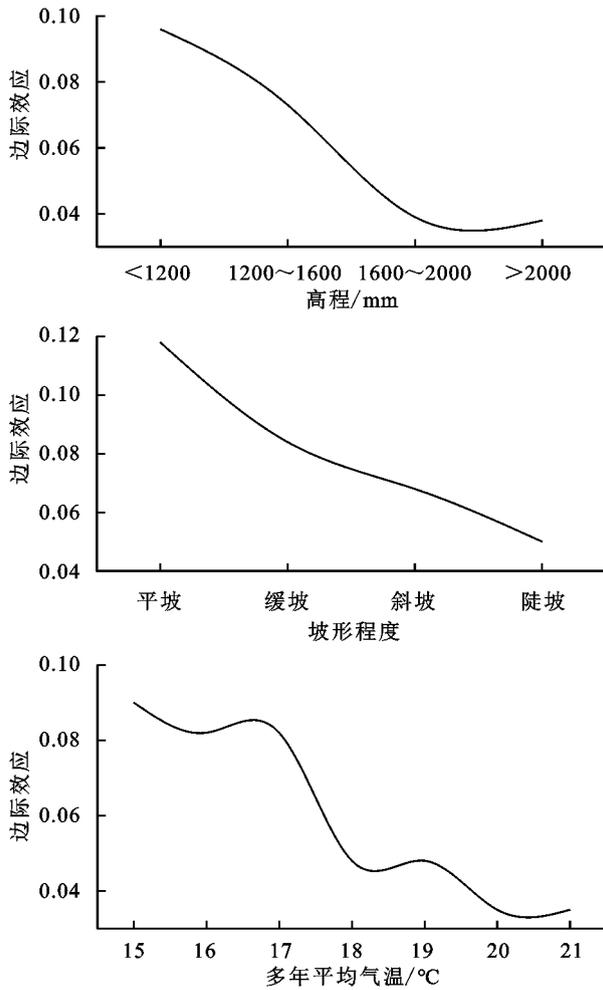
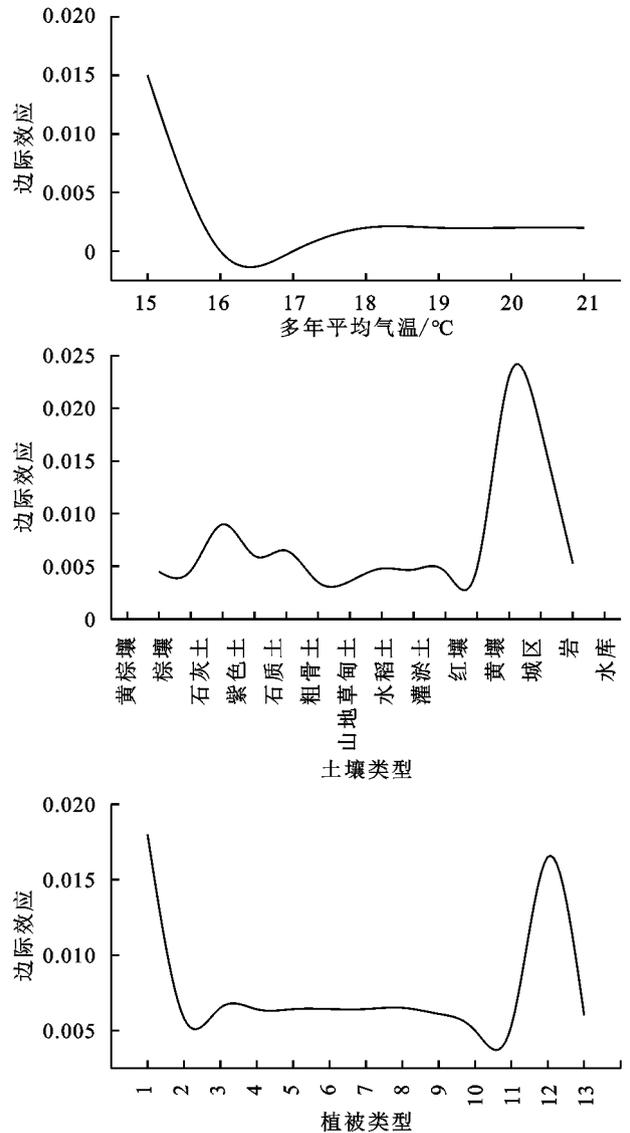


图3 耕地变化的特征因子边际效应

对灌木地进行特征因子边际效应分析可知:(1)气温在15~17℃时,对灌木地的影响最大,随着气温的升高,影响趋势是先减小后增大,但增大趋势更为缓慢。(2)土壤类型是城区和基岩时,对灌木地的发展影响最大,棕壤和石质土影响次之,粗骨土和山地草甸土对灌木地的影响最小。(3)亚热带针叶林对灌木地发展影响最大,其余植被类型的影响水平相当且都较低(图4)。

对林地的特征因子边际效应分析可知:(1)亚热带落叶阔叶林对林地变化的影响最大,亚热带针叶林、竹林、常绿阔叶林以及混交林对林地变化影响次之,农作物影响最小。(2)海拔高度介于1400~1800 m,形成低值区,影响最小。海拔高度小于1200 m时,对林地影响最大。(3)随着气温的升高,对林地变化的影响先增大后减小,在16~18℃时达到峰值,当温度大于21℃时影响最小。通过分析湿地的特征因子边际效应可知:平坡有利于湿地的形成,缓坡、斜坡和陡坡不利于湿地的形成。对水体的驱动因子边际效应分析可知:(1)水库蓄水保水,调节河流流量和洪峰,水库的存在有利

于水体的发展。其余土壤类型对水体的发展影响不大。(2)亚热带针叶林对水体影响大,农作物对水体的影响次之,其余植被类型影响较小。对人造地表的驱动因子边际效应分析可知:(1)随着坡度的增加,对人造地表变化的影响越来越小。平坡有利于人造地表的发展,影响程度最大。(2)一年两熟水旱粮食作物、桉树园和经济林以及一年两熟或三熟水旱轮作(有双季稻)及常绿果树园对人造地表的影响最大,也就是农作物的种植会制约人造地表的发展。



注:1表示针叶林;2表示针叶常绿阔叶落叶阔叶混交林;3表示落叶阔叶林;4表示常绿阔叶阔叶混交林;5表示常绿阔叶林;6表示竹林和竹丛;7表示落叶灌丛;8表示常绿阔叶、落叶阔叶灌丛;9表示亚高山硬叶常绿阔叶灌丛;10表示禾草、杂类草草甸;11表示农作物1;12表示农作物2;13表示草丛。

图4 灌木地变化的特征因子边际效应

4 讨论

乌江流域作为典型的山地流域,本研究结合乌江流域自身特点,着重从自然因子方面对其土地利用变

化的驱动力进行了分析。本研究分别从地形(高程和坡度)、土壤(土壤类型和土壤侵蚀)、气候(降水和气温)、植被四大方面,对草地、耕地、林地、灌木地、湿地、水体和人造地表 2000—2020 年的变化进行驱动因子分析,寻找导致变化发生的关键因子。

(1) 各土地利用类型的自然贡献率。草地作为乌江流域的主体部分之一,面积趋于稳定,主要的变动表现在耕地、林地的互转。研究发现影响草地变化的驱动因子排名前三的分别是降水、植被类型和气温,其中降水贡献度最大,降水量在 1 100 mm 附近对草地的影响最大。耕地面积占比达到 40.44%,分布广泛,东部分布最为密集。影响耕地变化的前三名驱动因子分别是坡度、高程和气温。坡度、高度和气温制约了人类的生产生活,进而影响人类耕作形式和耕地变化,这与刘纯军等^[4]的研究结果一致,即平坡有利于耕地的发展,海拔小于 1 200 m 时耕地最为集中。林地作为乌江流域分布面积最大的土地利用类型,主要分布在北部、东部以及西南部。影响林地变化的主要驱动因子是植被类型、高程和气温。林地分布主要以落叶阔叶林、常绿阔叶林、针叶林为主,其中落叶阔叶林对林地影响最大。海拔高度介于 1 400~1 800 m 时对林地影响最小,即林地主要分布在高海拔地区,这与翟荣飞等^[6]的研究结果类似。灌木地是指灌木覆盖且灌丛覆盖度高于 30% 的土地,乌江流域灌木地分布较少,呈零星分布,导致其变化的主要驱动因子是气温、土壤类型和植被类型。气温是制约灌木地发展的最大自然因子,气温在 15~17℃ 之间时对灌木地的影响最大。

乌江流域湿地经过 20 a 的发展变化,其面积显著减少,最主要的自然驱动因子是坡度,占比达到 82.47%,这与湿地形成的条件有很大关系。乌江流域水体面积大小和灌木地接近,经过 20 a 的发展水体面积净增 0.321%,导致这种变化的主要自然驱动因子是土壤类型、植被类型。土壤类型主要是水库的存在,水库储水蓄水增加了水体的面积。乌江流域人造地表面积增加显著,以东南、西南、东北和西北部增加最为明显,导致这种变化的主要自然驱动因子是坡度、植被类型。人造地表的扩大与人类生产生活有直接联系,平坡有利于人造地表的发展,影响程度最大,这是因为通常人类居住环境选择在坡度小的地方。

(2) 从驱动因子对各土地利用类型的贡献率和特征因子的边际效应分析可知,各土地利用类型主导因子存在一定的共性。其中以坡度作为特征因

子的土地利用类型包括:耕地(31.62%)、人造地表(50.78%)和湿地(82.47%),耕地和人造地表取决于人类生产生活活动,与人类生活息息相关,而平坡是人类选择生产生活的主要活动基地,湿地主要形成于长期潮湿积水区域。以植被类型作为特征因子的土地利用类型主要是草地(15.5%)、灌木地(21.36%)、林地(22.59%)、人造地表(16.08%)和水体(22.56%),其共性在于植被种类多、结构复杂、呈片状分布且占地面积大。以气温为主导的土地利用类型包括草地(14.55%)、耕地(12.06%)、灌木地(27.14%)和林地(19.23%),其共性在于适宜的温度有助于植物生长。以土壤类型为主导的土地利用类型包括灌木地(25.59%)和水体(59.35%),这与土壤渗透性及对水体的储存性有关。

(3) 本研究的发现与局限性。本研究发现坡度、高度影响人类耕作形式和耕地变化,林地主要分布在高海拔地区,平坡有利于人造地表的发展,这与前人的研究相似。但是前人对乌江流域土地利用变化的驱动因子研究只局限于高度、坡度和地形位的研究,很少涉及别的自然因子,故本研究的结果将对揭示乌江流域土地利用变化的自然驱动因子有很大帮助。本文明确了各土地利用类型的主要影响因子以及以各因子为主导的土地利用类型,但是研究也存在不足,主要体现在驱动因子的选择上。由于乌江流域面积广泛,生物因素不易定量分析,故本研究在选择驱动因子时忽略了生物因素的影响,致使研究结果存在一定偏差。在未来的研究中可以更加全面考虑自然驱动因子,寻找恰当的方法引入生物因素。再者本研究是基于前人研究,以典型性和易于量化性为原则,从各自然板块中选取的驱动因子,其选取指标也是后期研究需要优化的一项工作。

5 结论

(1) 时间尺度上,2000—2020 年乌江流域土地利用类型中,林地、灌木地、水体和人造地表面积比重明显增加,而耕地、湿地面积显著减少,草地面积变化呈稳定趋势。空间尺度上,2000 年和 2020 年对比可以发现乌江流域中部水体面积扩大,北部的林地面积有所增加,东部的耕地面积大幅度缩减。草地和灌木地空间变化不明显,呈嵌入式分布。人造地表以东南、西南、东北和西北部增加最为明显。草地、耕地和林地的互相转变最为显著,水体面积增加的来源是草地(27.94%)和湿地(10.83%),草地对人造地表的贡献率最大,占比 57.24%。

(2) 草地变化的特征因子主要是降水、植被类型和气温,降水量在 1 100 mm 附近对草地的影响最大,气温在 15~17℃之间对草地变化影响最大;耕地变化特征因子分别是坡度、高程和气温,坡度以平坡为主,海拔高度越大对耕地的影响越小,温度在 15~17℃时对耕地变化影响最大;林地变化的特征因子是植被类型、高程和气温,海拔高度小于 1 200 m 时对林地影响最大,气温在 16~18℃时对林地的影响达到峰值;湿地变化的特征因子是坡度,平坡有利于湿地的形成;灌木地变化的特征因子是气温、土壤类型和植被类型,气温是制约灌木地发展的最大自然因子,气温在 15~17℃之间时对灌木地的影响最大;水体变化的特征因子是土壤类型和植被类型,这与水体的汇集和流动密切相关;人造地表变化的特征因子是坡度和植被类型,平坡有利于人造地表的发展,影响程度最大。

(3) 以坡度作为特征因子的土地利用类型包括耕地、人造地表和湿地;以植被类型作为特征因子的土地利用类型主要是草地、灌木地、林地、人造地表和 水体;以气温为主导的土地利用类型包括草地、耕地、灌木地和林地;以土壤类型为主导的土地利用类型包括灌木地和水体。

参考文献:

- [1] 张舒瑾,余珮琦,白少云,等.面向国土空间规划的流域景观时空分异特征及驱动因子研究[J].生态经济,2020,36(10):219-227.
- [2] 王皓玥,师学义,钱铭杰.土地整治视角下流域土地利用变化研究综述[J].中国人口·资源与环境,2016,26(S1):190-193.
- [3] 国务院.中华人民共和国土地管理法实施条例[N].人民日报,2021-08-03(015):1-8. DOI: 10.28655/n.cnki.nrmrb.2021.008103.
- [4] 刘纯军,周国富,黄启芬,等.基于地形梯度的贵州乌江流域土地利用时空演变分析[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2020,38(6):45-54.
- [5] 宋诗园,曾波,周廷刚,等.基于 RS 和 GIS 的乌江流域(重庆段)湿地景观动态分析[J].中国水土保持科学,2017,15(1):81-88.
- [6] 翟荣飞,赵翠薇,杨莉.基于地形因子的喀斯特山地土地利用变化分析:以乌江北源为例[J].湖南师范大学自然科学学报,2016,39(1):9-15.
- [7] 吴彦潮,赵翠薇,韩冰倩.山地流域土地利用时空演变的地形梯度特征:以乌江北源为例[J].水土保持研究,2017,24(1):161-166,2.
- [8] 田云聪.乌江赤水河上中游国家重点治理区水土流失监测研究[D].武汉:华中师范大学,2020.
- [9] 黄国金.基于 InVEST 模型喀斯特流域生态系统服务功能评估[D].贵阳:贵州师范大学,2020.
- [10] 吴晶晶.基于 GIS 和 CA-Markov 模型的乌江下游地区土地利用变化情景模拟与生态环境效应评价[D].重庆:西南大学,2017.
- [11] 朱晓丝,周国富,钟九生.乌江流域水域面积变化的气候效应[J].水力发电,2020,46(8):10-13,98.
- [12] 王尧,蔡运龙,潘懋.贵州省乌江流域土地利用与土壤侵蚀关系研究[J].水土保持研究,2013,20(3):11-18.
- [13] 石悦樾,银正彤,郑文锋.基于 MODIS 数据乌江流域植被覆盖变化与气候变化关系研究[J].林业资源管理,2017,1(1):127-134.
- [14] 王秀春,黄秋昊,蔡运龙.贵州省乌江流域植被覆盖动态变化分析[J].水土保持研究,2008,15(5):15-17.
- [15] Elith J, Leathwick J R, Hastie T. A working guide to boosted regression trees [J]. the Journal of Animal Ecology, 2008,77(4):802-813.
- [16] 吴金华,房世峰,刘宝军,等.乌裕尔河—双阳河流域湿地景观格局演变及其驱动机制[J].生态学报,2020,40(13):4279-4290.
- [17] 李春林,刘森,胡远满,等.基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析[J].生态学报,2014,34(3):727-737.
- [18] 盛佳.基于增强回归树的社会公共治理得分影响因素分析[D].昆明:云南大学,2017.
- [19] 欧强新.福建省马尾松生物量转换和扩展因子的影响因素[D].北京:中国林业科学研究院,2017.
- [20] 车通,李成,罗云建.城市扩张过程中建设用地景观格局演变特征及其驱动力[J].生态学报,2020,40(10):3283-3294.
- [21] 臧颢,黄锦程,刘洪生,等.基于增强回归树的杉木人工林林分断面面积模型研究[J].江西农业大学学报,2020,42(3):553-562.