

农牧交错带草地景观格局特征及其影响因素分析

高艺宁 赵萌莉* 熊梅 赵天启

(内蒙古农业大学 草原与资源环境学院,呼和浩特 010010)

摘要 为研究草地景观格局,以农牧交错带的草地资源为研究对象,采用景观格局指数,从自然地理和人文社会2个方面选取影响因素,基于二元 Logistic 回归模型,研究内蒙古武川县哈尔乐镇草地斑块景观格局的空间特征及其影响因素。结果表明:哈尔乐镇草地景观呈现出明显的地域差异,斑块规模东南大西北小,斑块形态东南密西北稀,斑块分布东南整西北碎;自然地理和人文社会是研究区域草地景观格局特征的重要影响因素,二者共同驱动草地景观格局特征的差异性变化。其中,高程、至最近道路距离、至最近河流距离和至最近居民点距离是草地斑块规模分异的主要影响因素;高程、坡度和至最近河流距离是草地斑块形态分异的内在诱因;高程、至最近道路距离和至最近居民点距离是草地斑块分布差异的重要驱动因素。

关键词 草地; 草地景观格局; 影响因素; Logistic 回归模型; 农牧交错带

中图分类号 F302.24 **文章编号** 1007-4333(2018)10-0103-09 **文献标志码** A

Analysis of characteristics and influencing factors of grassland landscape pattern in the Farming-Pasturing Interlocked Areas

GAO Yining, ZHAO Mengli*, XIONG Mei, ZHAO Tianqi

(College of Grassland Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China)

Abstract The study aims to investigate the spatial characteristics and influence of patch landscape pattern of the grassland in Hal town, Wuchuan county, Inner Mongolia. Designating the grassland in the Farming-Pasturing interlocked areas as the object, the research is based on binary Logistic regression model, utilizing the landscape pattern index and influential factors from natural geography and human society. The grassland landscape of Hale Town shows obvious regional difference. The patch scale is larger in the southeast and smaller in the northwest; the patch form is dense in the southeast and sparse in the northwest; the fragmentation of patch distribution is low in the southeast and high in the northwest. Natural geography and humanistic society are crucial factors during the study of grassland landscape patch characteristic in this region, incentivizing the diversification of grassland landscape. The main influential factors of grassland patch scale diversity are related to elevation, distance to the nearest road, distance to the nearest river, and distance to the nearest residential area; the intrinsic inducement of morphological differentiation of grassland patch is involved in elevation, slope, and distance to the nearest river; the driving factors of the difference in the distribution of grassland patches are elevation, distance to the nearest road and distance to the nearest residential area.

Keywords grassland; grassland landscape pattern; influencing factors; Logistic regression model; Farming-Pasturing Interlocked Areas

草地景观是“人草畜”三位一体关系研究的重要领域^[1],也是生态文明建设的重要组成部分^[2-4],对其研究不仅有利于揭示农牧地区草原生态与农牧居

民生产、生活的互动关系^[5-6],还有助于合理规划草地景观布局,有序推进草地荒漠化防治^[7,8]。草地景观格局的空间分异直接反映了自然环境、人类活动

收稿日期:2018-03-01

基金项目:国家自然科学基金(31660108)

第一作者:高艺宁,博士研究生,E-mail:nmggy@126.com

通讯作者:赵萌莉,教授,主要从事草地生态学的相关研究,E-mail:nmgmlzh@126.com

以及社会变革对草地利用的影响,对于自然、人文影响因素的分析能够阐释人为干扰与草原生态之间的互动变化,是探索新时代生态文明建设的重要途径之一。

近年来,随着城镇化进程和农村建设的不断推进,人类活动给农牧地区的草原生态带来了巨大的威胁,草地资源的景观格局发生着错综复杂的变化,引起了社会各界的广泛关注^[9]。学者们从不同角度对草地生态进行了研究,国内有关草地景观的研究内容主要集中在以下2个方面:一是将草地单独作为土地利用分类类型,在土地利用/覆被变化(LUCC)中通过土地分类来研究草地景观的变化^[10-11];二是将草地纳入生态用地的范畴,结合园地、林地及水域等其他地类,统筹研究生态用地的格局演变^[12-14]。景观格局的常用方法主要集中在景观指数分析、GIS空间分析、典型相关分析以及多元回归分析^[15-17];研究思路主要基于传统“特征—机制”的分析范式,将定性研究与定量统计相结合^[15-17];研究尺度多以大尺度的山区^[7]或典型县域^[8]为主。总体来看,本研究采用最为流行的二元 Logistic 回归模型,这有助于较好地模拟草地景观格局的变化过程,辨识草地景观格局变化的原因^[13]。同时,国内关于草地景观格局特征与自然、人文因素的定量化研究相对不足,这主要由于草地景观隶属于景观生态系统,草地景观格局的形成过程较为复杂,在不同驱动要素的长期影响下,筛选可供量化的驱动要素相对较为困难。另外,在景观指数的获取上,不同尺度的景观分析存在不同的难易程度,一般而言,大尺度相比小尺度的景观数据更容易统计,而本研究采用镇域层面对草地景观格局的空间差异进行量化存在一定的难度。鉴于此,本研究尝试运用景观格局指数定量分析农牧交错带武川县哈乐镇的草地景观格局特征,通过引入二元 Logistic 回归模型,分析自然地理和人文社会等要素对不同景观指数的影响,以期揭示草地景观格局与驱动要素的互动关系。

1 研究区概况

如图1所示,武川县哈乐镇位于 $111^{\circ}26'30''\sim 111^{\circ}52'30''E$ 和 $40^{\circ}57'15''N\sim 41^{\circ}19'50''N$,地处武川县东部,全镇辖区总面积为 846.6 km^2 ,有21个行政村,213个自然村,人口31154。地形地貌特征为南部属山区,北部为丘陵区,中部地区较为平坦,海拔 $1274\sim 2160\text{ m}$,2条季节性河流,即卯独沁河、

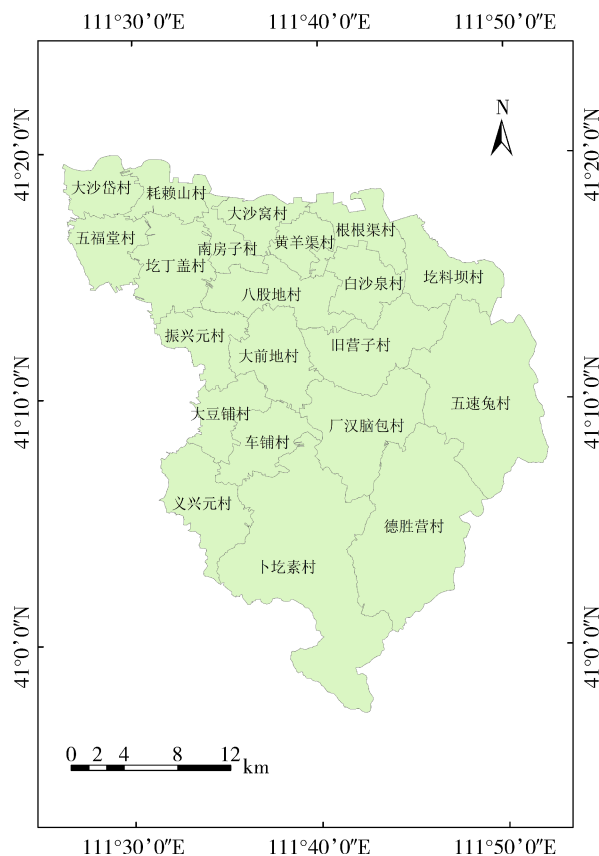


图1 武川县哈乐镇行政区划图

Fig. 1 The administrative location map of Hale Town

耗赖山河分别贯穿全镇东西。气候条件冬长夏短,昼夜温差大,无霜期 $90\sim 110\text{ d}$,年平均气温 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降雨量 $250\sim 360\text{ mm}$,日照时数为 2958 h ,总辐射量 336.53 kcal/cm^2 ,属典型的温带大陆性气候。哈乐镇的草地资源较为丰富。近年来,受畜牧业和农业转型的影响,哈乐镇已成为农畜产业升级发展的经济重镇。在强大的经济作用和人为干扰下,研究区草地资源的景观格局发生着显著的变化。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究采用的数据主要包括自然地理和人文社会2个方面。其中,如表1所示,自然地理数据来源于2015年武川县哈乐镇土地利用现状图,包含河流、道路、乡镇中心、居民点以及草地图斑等地理空间数据;DEM数字高程数据是由中科院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网(<http://datamirror.csdb.cn>)提供,通过ARCGIS 10.2空间分析和重分类分别得到 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 分辨率的高

程和坡度。本研究空间可视化变量(图 2)是基于 ArcGIS10.2 平台进行处理转化的,包括高程、坡度、至最近乡镇中心距离、至最近道路距离、至最近河流距离以及至最近居民点距离等 6 个因子。其中,距离变量是基于空间分析模块,提取草地斑块质心来计算与之相关数据像元的空间直线距离;高程和坡度是利用 3D Analyst Tools 从 DEM 中派生出来

的,并对栅格数据重分类,坡度划分为三类: $<15^\circ$ 、 $15^\circ\sim 25^\circ$ 以及 $>25^\circ$,分别赋值 1~3。本研究所有数据按照统一坐标系和统一分辨率制作成 GRID 栅格图层,栅格分辨率为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 。最后,将 GRID 格式数据转化成 ASCII 格式,再利用 CLUE-S 模型下的 Converter 模块,将 ASCII 数据生成 SPSS 可以识别的样本数据。

表 1 草地斑块景观格局影响因素

Table 1 The influencing factors of landscape pattern of grassland patches

变量 Variables	影响因素 Influence factors	栅格类型 Grid type	因子描述 Factor description
因变量	平均斑块面积差异	二分类	反映荒漠草地空间规模差异
	斑块面积标准差差异	二分类	反映荒漠草地空间规模差异
	形状指数差异	二分类	反映荒漠草地空间形态差异
	加权分形维数差异	二分类	反映荒漠草地空间形态差异
	聚集度指数差异	二分类	反映荒漠草地空间分布差异
	欧式最近邻距离差异	二分类	反映荒漠草地空间分布差异
自变量	高程	连续型	各栅格单元的高程值
	坡度	多分类	各栅格的切平面与水平面之间的夹角
	至最近乡镇中心距离	连续型	各栅格单元到乡镇中心的距离
	至最近道路距离	连续型	各栅格单元到最近道路的距离,包括县道、省道及国道等
	至最近河流距离	连续型	各栅格单元到最近河流、水域的距离
	至最近居民点距离	连续型	各栅格单元到最近农村牧区居民点的距离

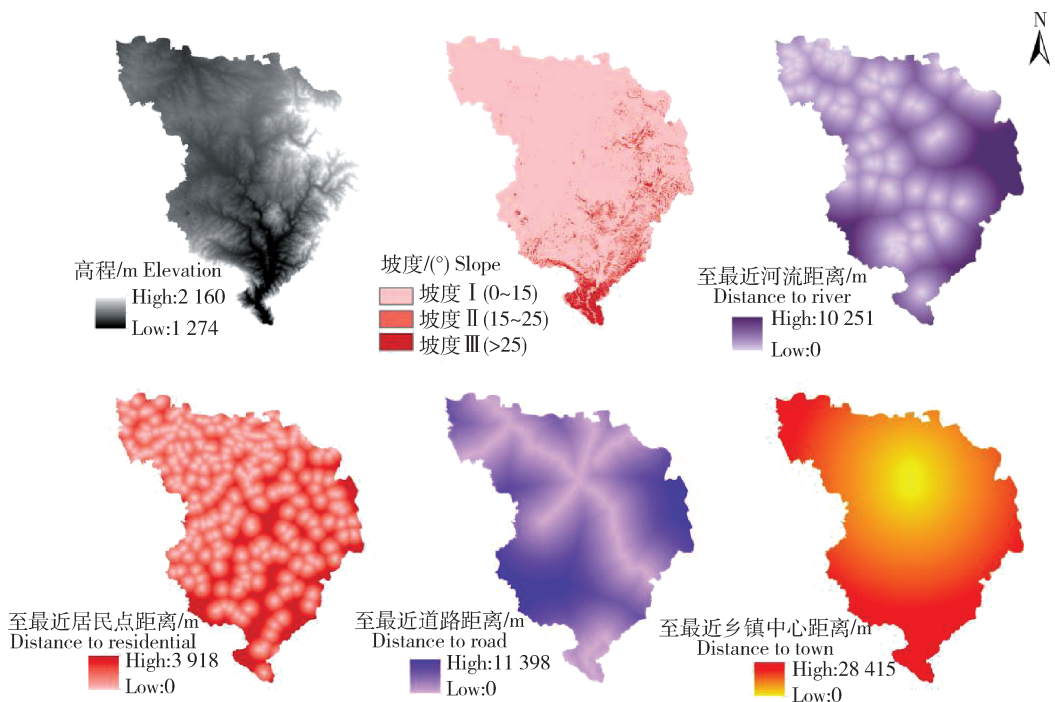


图 2 可视化的草地景观格局影响因素

Fig. 2 Visualization influence factors of grassland landscape pattern

2.2 研究方法

农牧交错带草地生态景观格局受自然地理和人文社会等诸要素的影响和制约,各要素之间的影响关系错综复杂。如果说自然地理是草地生态景观格局的内在诱因,那么人文社会则是景观格局空间分异的外在动力。受自然地理和人文社会等要素的共同作用下,武川县哈乐镇草地景观格局的规模、形态和分布特征不断发生改变,促使不同分区草地景观格局存在显著的空间差异。为了明晰农牧交错带草地生态景观格局,本研究采用景观格局指数来分析武川县哈乐镇草地斑块景观特征,通过 ArcGIS10.2 空间分析模块,将自然地理和人文社会等空间因素进行 ASCII 转换,在镇域层面对影响草地斑块景观格局的要素进行二元 Logistic 回归分析,分析自然和人文要素作用对草地景观特征的影响。

2.2.1 景观格局指数

基于景观生态学理论的景观格局指数^[19],本研究采用 Fragstats 4.2 景观分析软件,从草地景观格局的规模、形态和分布 3 个方面选择指标进行定量化分析。草地斑块规模由平均斑块面积 (AREA_MN) 和斑块面积标准差 (AREA_SD) 组成;斑块形态由形状指数 (SHAPE_MN) 和加权分形维数 (FRAC_AM) 构成;分布特征则选择聚集度指数 (AI) 和欧式最近邻距离 (ENN_MN) 表征。

2.2.2 二元 Logistic 回归分析

本研究草地斑块的景观格局指数属于 (0, 1) 二分类变量,通过将因变量取值范围内的实数进行 Logistic 目标概率值的转换并进行的回归分析称为二元 Logistic 回归。二元 Logistic 回归参数的估计采用最大似然法,测度方程包含变量中的回归系数 β 、标准误差 $S.E.$ 、Wald χ^2 统计量、自由度 df 、回归系数显著性水平 P 及发生比率 OR (Odds Ratio)^[20]。本研究基于 SPSS 22.0 软件 Binary Logistic 模块进行回归计算,通过抽样数据,为自变量产生回归系数,并进一步探讨回归系数所反映的因变量与自变量的内在关系。设 P 为事件的发生概率,取值为 0 或 1,则 $1-P$ 为该事件不发生的概率,由于发生事件的概率是一个由自变量 x_n 构成的非线性函数,通过 Logistic 回归函数计算,表达式为:

$$P = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n)} \quad (1)$$

$$\ln[P/(1-P)] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n \quad (2)$$

式中: x_1, x_2, \dots, x_n 为自变量, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ 为回归系数,回归系数 β 可以解释为相应自变量一个单位的变化所导致的某一因变量的变化,其正负意味着自变量与因变量在发生概率上的不同方向。Wald χ^2 统计量表达的是每个自变量的相对权重,用于评价自变量对因变量的贡献力。

为了更好地分析不同变量对草地斑块景观格局指数的影响,需要对模型进行检验,分析预测值是否与观测值具有较高的一致性。传统的 Pearson χ^2 和偏差 D 仅适用于分类变量或协变量数据较少时,当自变量数量不断增加,尤其是连续自变量不断被纳入模型后, Hosmer-Lemeshow (HL) 拟合优势较为明显。一般而言,当 HL 对应的显著性水平 > 0.05 时,表示模型的拟合度良好,而当 HL 显著性水平 < 0.05 时,表示模型拟合较差。具体公式如下:

$$HL = \sum_{g=1}^G \frac{(y_g - n_g \hat{P}_g)^2}{n_g \hat{P}_g (1 - \hat{P}_g)} \quad (3)$$

式中: G 代表分组数,且 $G \leq 10$; n_g 为第 g 组中的案例数; y_g 为第 g 组事件的观测数; \hat{P}_g 是第 g 组预测时间的概率; $n_g \hat{P}_g$ 代表事件的预测数。

另外,在回归分析的抽样过程中,本研究采用分层随机抽取的方法,随机抽取 5 000 个均匀分布在研究区域的样本,且确保样本因变量的 0 和 1 观测值有等同的数量,避免因不等比抽样影响回归模型的常数项,避免样本数据的空间自相关^[21]。

3 结果与分析

3.1 草地景观格局特征

从武川县土地利用现状图中提取哈乐镇所有草地图斑,套合行政区划界线,筛选出草地图斑面积 $> 400 \text{ m}^2$ 进行上图分析。本研究选择 6 个草地景观格局指数进行统计分析(表 2)。总体而言,哈乐镇草地景观格局特征的区域差异较为显著:西北地区草地斑块规模小、分布稀疏、破碎化明显;东南地区草地斑块规模大、规整密集,聚集度较高。

具体而言,哈乐镇草地景观格局特征主要通过草地规模、草地形态以及草地分布 3 个方面体现。从规模特征上看,文中选择平均斑块面积 (AREA_MN) 和斑块面积标准差 (AREA_SD) 反映草地斑块规模特征的景观指标。哈乐镇平均斑块面积较大的草地主要集中在东南地区的五速兔村和德胜营村,分别为 $8\,146.47$ 和 $7\,019.18 \text{ hm}^2$,而西北地区的南房

表 2 2015 年哈乐镇草地景观格局指数
Table 2 Landscape indices of grassland in Hale town in 2015

区域 Region	乡村 Rural area	规模特征 Scale characteristic		形状特征 Shape characteristic		分布特征 Distribution characteristic	
		平均斑块 面积 AREA_MN	斑块面积 标准差 AREA_SD	平均形状 指数 SHAPE_MN	加权分形 维数 FRAC_AM	聚集度 指数 AI	平均欧式 最近邻距离 ENN_MN
西北地区	大沙岱村	145.96	24.07	1.60	1.25	75.18	100.40
	耗赖山村	19.38	7.45	1.65	1.15	75.58	131.84
	南房子村	3.43	1.70	1.41	1.11	67.81	221.13
	大沙窝村	9.69	3.91	1.48	1.14	70.33	120.97
	黄羊渠村	7.05	2.98	1.55	1.17	63.31	116.32
	根根渠村	22.11	8.60	1.59	1.14	78.82	117.18
	五福堂村	18.07	6.70	1.59	1.16	73.64	119.30
	圪丁盖村	15.01	6.73	1.70	1.15	76.31	134.55
	八股地村	22.32	7.72	1.57	1.16	74.55	136.90
	白沙泉村	553.90	87.17	1.58	1.25	89.16	129.88
东南地区	圪料坝村	1 812.02	297.15	1.54	1.25	93.78	78.78
	振兴元村	45.42	13.27	1.69	1.20	74.96	104.24
	大前地村	89.79	22.37	1.78	1.23	76.27	125.12
	旧营子村	2 331.87	335.36	1.86	1.28	92.00	79.49
	五速兔村	8 146.47	1 975.03	1.88	1.26	96.62	64.09
	大豆铺村	74.45	22.34	1.82	1.21	78.96	111.99
	车铺村	89.99	29.00	2.02	1.22	80.38	91.94
	厂汉脑包村	1 373.96	242.08	1.75	1.25	92.16	103.75
	德胜营村	7 019.18	1 276.60	1.80	1.25	96.38	69.96
	义兴元村	674.98	116.85	1.89	1.24	89.14	135.27
卜圪素村	3 670.04	536.40	1.61	1.27	93.83	74.56	
西北区统计值	4.11	15.70	1.57	1.17	74.47	132.85	
东南区统计值	93.09	442.40	1.79	1.24	87.68	94.47	
哈乐镇统计值	50.72	239.21	1.68	1.21	81.39	112.75	

子村和黄羊渠村与此相反,统计分析得到全镇平均斑块面积为 50.72 hm²,西北地区为4.11 hm²,东南地区为 93.09 hm²,表明哈乐镇草地斑块总体上是西北地区数量多、规模小,东南地区数量少、规模大。另外,斑块面积标准差能够反映不同分区草地斑块规模的差异,东南地区的五速兔村和德胜营村的草地斑块差异较大,西北地区的南房子村和黄羊渠村差异较小。统计结果显示,哈乐镇斑块面积标准差均值为 239.21,其中西北地区均值为 15.70,东南地区均值为 442.40,说明东南地区相比西北地区,其草地斑块规模差异悬殊较大,大小草地斑块混杂现象明显。

从形态特征上看,平均形状指数(SHAPE_MN)和斑块加权分形维数(FRAC_AM)能够反映草地斑块的复杂程度和破碎化程度,草地斑块形状指数和加权分形维数越大,说明草地斑块的形状越不规则,斑块边界的破碎化程度越高。哈乐镇西北地区的草地斑块形状指数为 1.41~1.70,最大和最小斑块形状指数分别分布于圪丁盖村和南房子村;东南地区的草地斑块指数为 1.54~2.02,最大和最小斑块形状指数分别位于车铺村和圪料坝村。西部地区的草地斑块分形维数为 1.11~1.25,而东南地区则为 1.20~1.28。统计结果显示,研究区草地斑块平均形状指数为 1.68,西北地区为 1.57,东南地

区为 1.79;而加权平均分形维数,哈乐镇总体平均为 1.21,西北地区为 1.17,东南地区为 1.24。指数分析表明,东南地区比西北地区草地斑块形态变化更不规则,斑块破碎化程度相对较高。

从分布特征上看,草地斑块聚集度指数(AI)和平均欧式最近邻距离(ENN_MN)主要反映草地斑块的聚集程度和近邻程度。草地聚集度指数越大或平均欧式最近邻距离越小,说明草地分布越规整密集。西北地区聚集度指数最大值分布在白沙泉村,而东南地区的最大值则分布在五速兔村;西北地区的平均欧式最近邻距离的最小值是大沙岱村的 100.40,东南地区的最小值是五速兔村的 64.09。进一步统计得到,哈乐镇全镇草地聚集度指数均值和平均欧式最近邻距离分别为 81.39 和 112.75,其中西北地区分别为 74.47 和 132.85,东南地区分别为 87.68 和 94.47。研究表明,哈乐镇草地斑块呈现出西北地区分布稀疏,东南地区邻近密集分布格局。

3.2 草地景观格局特征的影响因素

3.2.1 规模差异的 Logistic 回归分析

为了有效避免变量之间可能存在的线性相关,经过多重共线性诊断,得到 7 个变量的容忍度为 0.494~0.815,表明自变量之间并不存在明显的多

重共线性,可以进行 Logistic 回归分析。如表 3 所示,计算得到平均斑块面积和斑块面积标准差的 HL 值(8.452,9.875)和 P 值(0.213,0.188),统计检验并不显著,说明草地规模差异的回归模型拟合较好。根据显著性水平($P < 0.01$)和 $Wald\chi^2$ 统计结果,对平均斑块面积和斑块面积标准差都具有重要影响的解释变量有高程、至最近道路距离、至最近河流距离和至最近居民点距离,意味着草地斑块规模差异受自然地理和人文社会等要素的共同影响。其中,高程变量对平均斑块面积和斑块面积标准差的回归系数均为 -0.004,对应的 $Wald\chi^2$ 统计量分别为 717.694 和 722.988,说明草地斑块的规模差异随海拔高度的增加而降低,主要原因是低海拔地区人类干扰影响较大,土地垦殖开发力度较明显;变量至最近道路距离对平均斑块面积和斑块面积标准差的 $Wald\chi^2$ 统计量最高,分别为 10 546.592 和 9 456.189,模型回归系数 β 均为 0.001,说明至道路距离每增加 1 m 对应的草地斑块规模差异增加的概率为 1.001 倍,表明草地规模差异变化随草地斑块至道路距离的增加而增大;至最近河流距离和至居民点距离 2 个变量的回归系数也均为正,说明距离每增加 1 m,对应的规模差异增加的概率分别为 1.001 和 1.002 倍。

表 3 草地景观格局特征差异的 logistic 回归模型相关系数

Table 3 Parameters of Logistic regression model of characteristics differences on grassland landscape pattern

因变量 Variables	自变量 Independent variables	参数估计 β Parameter estimation	标准误 S. E Standard error	瓦尔德 统计量 Wald χ^2 statistics	自由度 df Degrees of freedom	显著性 水平 Sig. Significant level	发生 比率 OR Occurring rate
平均斑块 面积差异 (AREA_MN) HL=8.452, P=0.213	常量	9.639	0.622	239.848	1	0.000	15 345.139
	高程	-0.004	0.000	717.694	1	0.000	0.996
	坡度 I (0°~15°)	-7.261	0.581	156.182	1	0.000	0.001
	坡度 II (15°~25°)	-3.863	0.586	43.445	1	0.000	0.021
	至最近乡镇中心距离	0.000	0.000	519.355	1	0.000	1.000
	至最近道路距离	0.001	0.000	10 546.592	1	0.000	1.001
	至最近河流距离	0.001	0.000	6 150.305	1	0.000	1.001
斑块面积 标准差差异 (AREA_SD) HL=9.875, P=0.188	至最近居民点距离	0.002	0.000	4 322.951	1	0.000	1.002
	常量	1.765	0.212	69.363	1	0.000	5.844
	高程	-0.004	0.000	722.988	1	0.000	0.996
	至最近乡镇中心距离	0.000	0.000	0.138	1	0.711	1.000
	至最近道路距离	0.001	0.000	9 456.189	1	0.000	1.001
	至最近河流距离	0.001	0.000	7 489.165	1	0.000	1.001
	至最近居民点距离	0.002	0.000	5 387.476	1	0.000	1.002

表 3(续)

因变量 Variables	自变量 Independent variables	参数估计 β Parameter estimation	标准误 S. E Standard error	瓦尔德 统计量 Wald χ^2 statistics	自由度 df Degrees of freedom	显著性 水平 Sig. Significant level	发生 比率 OR Occurring rate
形状指数差异 (SHAPE_MN) HL=7.985, P=0.113	常量	7.311	0.616	140.762	1	0.000	1 496.622
	高程	-0.002	0.000	194.121	1	0.000	0.998
	坡度 I ($0^\circ \sim 15^\circ$)	-7.463	0.580	165.759	1	0.000	0.001
	坡度 II ($15^\circ \sim 25^\circ$)	-3.887	0.584	44.238	1	0.000	0.021
	至最近乡镇中心距离	0.000	0.000	177.385	1	0.000	1.000
	至最近道路距离	0.001	0.000	11 545.723	1	0.000	1.001
	至最近河流距离	0.001	0.000	8 183.926	1	0.000	1.001
加权分形 维数差异 (FRAC_AM) HL=8.024, P=0.138	常量	6.637	0.611	118.171	1	0.000	762.873
	高程	-0.003	0.000	584.293	1	0.000	0.997
	坡度 I ($0^\circ \sim 15^\circ$)	-5.153	0.580	78.959	1	0.000	0.006
	坡度 II ($15^\circ \sim 25^\circ$)	-2.564	0.585	19.207	1	0.000	0.077
	至最近乡镇中心距离	0.000	0.000	766.543	1	0.000	1.000
	至最近河流距离	0.001	0.000	9 590.654	1	0.000	1.001
聚集度 指数差异 (AI) HL=9.235, P=0.103	至最近居民点距离	0.002	0.000	5 759.379	1	0.000	1.002
	常量	-3.362	0.606	30.726	1	0.000	0.035
	高程	-0.001	0.000	96.517	1	0.000	0.999
	坡度 I ($0^\circ \sim 15^\circ$)	7.775	0.580	179.473	1	0.000	1.530
	坡度 II ($15^\circ \sim 25^\circ$)	4.012	0.585	46.988	1	0.000	1.236
	至最近乡镇中心距离	0.000	0.000	786.062	1	0.000	1.000
	至最近道路距离	-0.001	0.000	13 815.363	1	0.000	0.999
欧式最近邻 距离差异 (ENN_MN) HL=9.782, P=0.127	至最近居民点距离	-0.002	0.000	6 395.097	1	0.000	0.998
	常量	-1.169	0.601	3.776	1	0.052	0.311
	高程	-0.002	0.000	271.142	1	0.000	0.998
	坡度 I ($0^\circ \sim 15^\circ$)	7.042	0.580	147.588	1	0.000	1.437
	坡度 II ($15^\circ \sim 25^\circ$)	3.718	0.585	40.416	1	0.000	1.194
	至最近道路距离	-0.001	0.000	13 950.189	1	0.000	0.999
	至最近居民点距离	-0.002	0.000	5993.775	1	0.000	0.998

3.2.2 形态差异的 Logistic 回归分析

形态差异自变量的容忍度为 0.566~0.851,坡度作为多分类型,在参与 Logistic 回归分析时,需要进行哑变量设置。在 SPSS 22.0 中 Binary logistic 模块设置中设置坡度 III ($>25^\circ$) 作为坡度 I ($<15^\circ$) 和坡度 II ($15^\circ \sim 25^\circ$) 的水平参考。根据显著性水平 ($P < 0.01$) 和 Wald χ^2 统计结果得知,高程、坡度以及至最近河流距离 3 个变量对于形状指数和加权分形维数的变化具有一定的影响,说明草地斑块的形态变化对于自然地理的响应更为显著。统计结果显示,高程对于形状指数和加权分形维数的回归系数均为负,表明 2 个因变量的形态差异随高度的增加

而降低,草地斑块在低海拔地区更容易发生改变。不同坡度等级对于草地形态差异的解释效果不同,坡度 I ($<15^\circ$) 对于草地斑块形态变化解释效果最好,其 Wald χ^2 统计值明显高于坡度 II ($15^\circ \sim 25^\circ$) 的统计值,说明随着坡度水平的逐级递增,草地斑块的形态差异逐步降低。另外,至最近河流距离对于 2 个因变量的回归系数均为 0.001,表明里河流越近,草地斑块变化越小,相反,距离河流越远,草地形态变化越大,统计结果显示,至最近河流距离每增加 1 m,草地斑块形态差异的变化概率增加 1.001 倍。

3.2.3 分布差异的 Logistic 回归分析

分布差异自变量的容忍度为 0.722~0.832,哑

变量的设置同上,对于参与运算的变量进行二元 Logistic 回归分析,得到对于聚集度指数和欧式最近邻近距离两者都重要的解释变量分别为高程、至最近道路距离和至最近居民点距离,说明哈乐镇草地斑块的分布差异主要受人类活动的影响。高程的回归系数为负,说明随着海拔高度的增加,草地斑块的分布差异逐步减少,草地斑块的聚集度以及邻近斑块之间的异质性在降低,也说明草地分布在高海拔区域受人类活动干扰较少。至最近道路距离和至最近居民点距离的回归系数为负,说明越是临近人类活动频繁区域的草地斑块,草地斑块的分布差异越明显,主要由于农牧地区乡村发展促进了道路周边和居民点附近土地类型的转变,经济活动导致人类干扰活敏感地带的草地斑块逐步转变为设施农用地或建设用地,造成草地斑块空间景观的破碎或灭失。

4 结论与讨论

本研究基于农牧交错带武川县哈乐镇土地利用现状,采用景观格局指数和二元 Logistic 回归模型,从草地斑块的规模、形态和分布 3 个视角对草地景观格局特征进行了分析。通过 GIS 空间分析,阐述了高程、坡度和河流等自然地理,乡镇、道路和居民点等人文因素对草地斑块景观格局的影响,初步探讨了哈乐镇草地斑块景观格局与不同空间要素的内在联系。

1) 根据景观格局指数的统计结果得知,哈乐镇草地斑块的空间格局呈现出明显的地域差异,西北地区草地斑块规模小、分布稀疏、破碎化明显,而东南地区草地规模大、规整密集,聚集度较高。

2) 通过选取自然、人文等 6 个空间要素,分别对草地斑块景观格局指数建立二元 Logistic 回归模型,揭示武川县哈乐镇不同分区下草地景观格局在规模、形态和分布上的差异变化。高程、至最近道路距离、至最近河流距离和至最近居民点距离是草地斑块规模分异的主要影响因素;高程、坡度和至最近河流距离是草地斑块形态分异的重要因素;而高程、至最近道路距离和至最近居民点距离对于草地斑块的分布差异的解释效力更强。

3) 草地景观格局特征的变化是一个极为复杂的过程,关系着研究区的自然、经济、社会及环境等多方面的影响。由于研究区统计资料的局限性和相关数据的可获取性,本研究仅从自然地理和人文社会 2 个方面选取有限变量进行回归分析,对于深入研

究草地景观的空间差异略显不足,对深度探讨其特征变化的驱动机制相对欠缺。未来需要进一步选取影响草地资源数量和分布的相关变量,如放牧强度、载畜量等,从而更为客观、准确地研究草地景观格局特征及其驱动变化。

参考文献 References

- [1] 盛国滨. 青海牧区人草畜和谐发展与社会稳定研究:以海南藏族自治州为例[J]. 西北民族大学学报:哲学社会科学版, 2012, (3): 94-98
Sheng G B. Study on harmonious development and social stability of people, grassland and livestock in pastoral areas of qinghai province; Taking the Hainan Tibetan autonomous prefecture as an example[J]. *Journal of Northwest Minzu University: Philosophy and Social Science*, 2012(3): 94-98 (in Chinese)
- [2] Zhang X H, Wang Y Q, Qi Y, Wu J, Liao W J, Shui W, Zhang Y Z, Deng S H, Peng H, Yu X Y, Qi H. Evaluating the trends of China's ecological civilization construction using a novel indicator system[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 133: 910-923
- [3] 谷树忠, 胡咏君, 周洪. 生态文明建设的科学内涵与基本路径[J]. 资源科学 2013, 35(1): 2-13
Gu S Z, Hu Y J, Zhou H. Ecological civilization construction: scientific connotation and basic paths[J]. *Resources Science*, 2013, 35(1): 2-13(in Chinese)
- [4] 李茜, 胡昊, 李名升, 张殷俊, 宋金平, 张建辉, 张凤英. 中国生态文明综合评价及环境、经济与社会协调发展研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1444-1454
Li Q, Hu H, Li M S, Zhang Y J, Song J P, Zhang J H, Zhang F Y. Ecological civilization evaluation and coordinated development between environment, economy and society[J]. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1444-1454(in Chinese)
- [5] 胡振通, 孔德帅, 靳乐山. 草原生态补偿: 草畜平衡奖励标准的差别化和依据[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(11): 152-159
Hu Z T, Kong D S, Jin L S. Grassland eco-compensation: Rate differentiations of reward for balanced grazing and its reasons[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(11): 152-159(in Chinese)
- [6] 胡振通, 柳荻, 靳乐山. 草原生态补偿: 生态绩效、收入影响和政策满意度[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(1): 165-176
Hu Z T, Liu D, Jin L S. Grassland eco-compensation: Ecological performance, income effect and policy satisfaction [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(1): 165-176(in Chinese)
- [7] 郝建秀, 张勃, 张凯. 祁连山区草原荒漠化的驱动因素及其防治对策[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(1): 38-42

- Hao J X, Zhang B, Zhang K. Driving factors and countermeasures of grassland desertification in Qilian mountain area[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(1): 38-42(in Chinese)
- [8] 王红梅. 玛曲县草原荒漠化现状、成因及整治措施[J]. *草业科学*, 2005, 22(11): 24-28
- Wang H M. The present situation, cause and regulation measures of grassland desertification in Maqu County[J]. *Pratacultural Science*, 2005, 22(11): 24-28(in Chinese)
- [9] 高艺宁, 赵萌莉, 熊梅. 典型农村牧区草地景观特征及退耕潜力分析: 以内蒙古自治区武川县哈尔镇为例[J]. *中国农业大学学报*, 2018, 23(4): 115-124
- Gao Y N, Zhao M L, Xiong M. Characteristics of grassland landscape and the potential of returning farmland to grassland: A case study of Hale Town, Wuchuan County, Inner Mongolia[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(4): 115-124(in Chinese)
- [10] 周书贵, 邵全琴, 曹巍. 近 20 年黄土高原土地利用/覆被变化特征分析[J]. *地球信息科学学报*, 2016, 18(2): 190-199
- Zhou S G, Shao Q Q, Cao W. Characteristics of land use and land cover change in the Loess Plateau over the past 20 years [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2016, 18(2): 190-199(in Chinese)
- [11] 谢花林. 典型农牧交错区土地利用变化驱动力分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(10): 56-62
- Xie H L. Driving force analysis of land use changes in the typical farming-pastoral ecotone [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(10): 56-62(in Chinese)
- [12] 喻锋, 李晓波, 张丽君, 徐卫华, 符蓉, 王宏. 中国生态用地研究: 内涵、分类与时空格局[J]. *生态学报*, 2015, 35(14): 4931-4943
- Yu F, Li X B, Zhang L J, Xu W H, Fu R, Wang H. Study of ecological land in China: Conception, classification and spatial-temporal pattern[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(14): 4931-4943(in Chinese)
- [13] 谢花林. 基于 Logistic 回归模型的区域生态用地演变影响因素分析: 以京津冀地区为例[J]. *资源科学*, 2011, 33(11): 2063-2070
- Xie H L. Analysis of regionally ecological land use and its influencing factors based on a logistic regression model in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China[J]. *Resources Science*, 2011, 33(11): 2063-2070(in Chinese)
- [14] 蒙吉军, 王晓东, 尤南山, 朱利凯. 黑河中游生态用地景观连接性动态变化及距离阈值[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(6): 1715-1726
- Meng J J, Wang X D, You N S, Zhu L K. Dynamic changes of landscape connectivity for ecological lands and distance thresholds in the middle reaches of the Heihe River, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(6): 1715-1726(in Chinese)
- [15] Okanga S, Cumming G S, Hockey P A R, Peters J L. Landscape structure influences avian malaria ecology in the Western Cape, South Africa[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(10): 2019-2028
- [16] Wrabka T, Erb K H, Schulz N B, Peterseil J, Hahn C, Haberl H. Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 289-306
- [17] 任国平, 刘黎明, 付永虎, 袁承程, 宋志军. 都市郊区乡村聚落景观格局特征及影响因素分析[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(2): 220-229
- Ren G P, Liu L M, Fu Y H, Yuan C C, Song Z J. Analysis of characteristic and influencing factors of rural settlement landscape pattern in metropolitan suburbs[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(2): 220-229(in Chinese)
- [18] Bürgi M, Hersperger A M, Schneeberger N. Driving forces of landscape change: Current and new directions [J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(8): 857-868
- [19] 张荣天, 张小林, 李传武. 镇江市丘陵区乡村聚落空间格局特征及其影响因素分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(3): 272-278
- Zhang R T, Zhang X L, Li C W. Spatial pattern and influencing factors of rural settlements in Zhenjiang Hilly area [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(3): 272-278(in Chinese)
- [20] Zheng X Q, Zhao L, Xiang W N, Li N, Lv L N, Yang X. A coupled model for simulating spatio-temporal dynamics of land-use change: A case study in Changqing, Jinan, China [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2012, 106(1): 51-61
- [21] Syartinilia, Tsuyuki S. GIS-based modeling of Javan Hawk-Eagle distribution using logistic and autologistic regression models[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141(3): 756-769

责任编辑: 王燕华