

张家界女儿寨小流域植被变化驱动力

赵占轻^{1,2}, 黄玲玲³, 张旭东^{3,*}, 郭志华¹, 张小全¹, 王建力², 向洪波²

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 2. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715;

3. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要:选择坡度、海拔、坡向、到道路和河流及居民点的最近距离等作为植被变化的空间驱动因子,分别采用传统 Logistic 和 AutoLogistic 回归模型,对比研究湖南张家界女儿寨小流域植被变化的驱动力,并用 ROC 方法检验这两个模型的解释能力。结果表明:(1)在女儿寨小流域,各类植被变化和空间驱动因子均表现出一定的空间正自相关,且这种空间自相关性随着距离的增加而逐渐减弱。(2)考虑空间自相关性的 AutoLogistic 模型比传统 Logistic 模型的精度更高,这说明在分析小流域植被变化的空间驱动力时不能忽略空间自相关性的影响。考虑空间自相关后,显著的空间驱动因子的个数比未考虑空间自相关性的个数少。(3)自然环境和人类活动因子对小流域植被变化的影响力不同:坡度对耕地变化、果园变化、常绿阔叶林变化和针叶林变化等均影响较大;坡向对耕地变化、果园变化、常绿阔叶林变化和灌木林地变化的影响显著;海拔对该小流域各种植被变化类型的影响相对较小;人类活动的影响对落叶阔叶林的变化影响显著。

关键词:植被动态;驱动力;AutoLogistic 回归模型;张家界

Driving forces for cover changes of Nverzhai Watershed, Zhangjiajie: applications of a new AutoLogistic model

ZHAO Zhanqing^{1,2}, HUANG Lingling³, ZHANG Xudong^{3,*}, GUO Zhihua¹, ZHANG Xiaoquan¹, WANG Jianli², XIANG Hongbo²

1 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China

2 School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

3 Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China

Abstract: The driving forces analysis is frequently used in conventional multivariate analysis such as multiple linear regression, canonical correlation analysis, principal component analysis and logistic model. These methods, however, assume that the input data are spatially independent regardless of the facts showing otherwise in landscape analysis. To overcome the shortfalls of the conventional methods to address the spatial autocorrelations, we proposed a new model (AutoLogistic) by incorporating the spatial autocorrelations into the conventional logistic model. AutoLogistic model was then applied at the Nverzhai watershed of Zhangjiajie to identify the driving forces for the cover changes. We included spatial variables (slope, altitude, aspect), distance to the nearest road, stream and residential areas in our new model. Model predictions were validated based on the Relative Operating Characteristics (ROC) method. We found that: (1) the vegetation cover changes and the driving factors appeared positive autocorrelation in space that decreases with distance across the watershed; (2) the AutoLogistic model showed higher accuracy than that of the logistic model, with remarkable reduction in the number of independent variables; (3) the magnitudes of influences from the natural driving forces seemed significantly different from those of the anthropogenic driving forces. Slope was the single most important variable on changes in farmlands, orchards, evergreen broad-leaved stands, and the coniferous stands, while aspect showed its importance for changes of farmlands, orchards, evergreen broad-leaved stands, and the shrub stands. Elevation appeared an unimportant

基金项目:国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD03A16, 2006BAD03A04); 国家林业公益性行业专项资助项目(200804001)

收稿日期:2009-01-16; **修订日期:**2009-04-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhxdcaf@163.com

factor driving the cover changes. Interestingly, the changes in deciduous broad-leaves stands seemed to be more influences by anthropogenic activities.

Key Words: vegetation dynamics; driving forces; AutoLogistic regression; Zhangjiajie

长江中下游是我国低山丘陵的主要分布区,也是农林业的过渡地带。受自然和人为因素的影响,该区水土流失十分严重,土壤侵蚀已接近或超过该区域容许标准^①。在引起水土流失的各种因素中,植被是最为重要的因素^[1],人类可以通过改变植被的覆盖度、植被类型和不同的格局配置来对水土流失进行调解,从而达到保持水土的目的。因此,研究低山丘陵地区的植被变化,对于该区治理水土流失、保护和改善区域生态环境、促进区域经济可持续发展具有十分重要的意义。

植被覆盖变化的驱动力分析是植被覆盖变化研究的重要组成部分。对土地利用/植被覆盖变化驱动力的研究,目前主要采用基于经验模型总结的定性分析方法和基于大量实证数据的统计定量分析方法。统计定量分析多采用多元线性回归分析模型^[2,4-5]、典型相关分析模型^[3]、主成分分析^[6]、Logistic 回归模型^[7-9]等方法建立原因-表象之间的数学关系模型。其中,Logistic 回归模型能够定量分析植被变化的空间分布与环境因子之间的相关性,从而避免了其他统计定量方法仅从数量角度而无法全面揭示其间的相互影响^[8]的缺陷。然而,多数应用 Logistic 回归模型方法分析植被覆盖变化的驱动因子的研究都忽略了植被覆盖变化的空间自相关特性,这样会过分估计外部驱动因子的作用^[14],同时这些模型还有可能会包含一些很小或者根本不相关的驱动因子^[14]。有些研究则通过随机采样的方法来避免数据的空间自相关性^[9],但是这种做法会造成一定程度的信息丢失^[15]。因此在植被覆盖变化驱动力的研究中,有必要考虑植被覆盖变化的空间自相关特性。

目前,已有不少人在考虑空间自相关因素影响的情况下来研究物种的空间分布特征^[12,16-23]。本文以长江中下游低山丘陵地区的典型植被恢复区——女儿寨小流域为研究区,在参考前人工作的基础上,将空间自相关变量引入到 Logistic 回归模型中,建立了 AutoLogistic 回归模型,利用建立的传统 Logistic 回归模型和 AutoLogistic 回归模型,定量分析该区不同植被变化的空间分布与各种影响因子之间的关系。比较传统 Logistic 回归模型与 AutoLogistic 回归模型在植被覆盖变化研究中的拟合优度,分析说明纳入空间自相关后的 AutoLogistic 回归模型在植被覆盖变化驱动力研究中的合理性。

1 数据来源与方法

1.1 研究区概况

研究区位于湖南省张家界市慈利县城关镇两溪村女儿寨小流域,为澧水二级小支流,流域大致呈南北向,属武陵山脉的低山区。地理位置为 29°30'N,110°10'E。母岩以板页岩、砂岩为主,土壤主要为山地黄壤。光热充足,雨量充沛,无霜期长,严寒期短,四季分明,年平均日照 1 440h,年平均气温 16℃,年平均降水量约 1 400 mm,平均无霜期 216—269d,属中亚热带山原型季风性湿润气候。流域封闭相对良好,面积约 2.81 km²,沟口海拔为 210m,最高峰海拔为 917.4m。坡度陡、土层薄、雨量大、土层抗侵蚀年限短,水土流失严重,为典型山丘土壤侵蚀区。自 1993 年开始,该区实施人工造林和封山育林相结合的植被恢复与重建,形成的主要植被类型为马尾松(*Pinus massoniana*)天然林、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林、杜仲(*Eucommia ulmoides*)人工林、油桐(*Vernicia fordii*)人工林、润楠(*Machilus Pingii*)次生林、柑橘(*Citrus* L.)及荒草灌丛等。

1.2 数据来源及处理

本文所用基础数据为慈利县林业局提供的研究区 1:10 000 地形图、1994 年和 2008 年现场调查的土地利用图。

在本研究中,环境变量中的坡度、坡向和海拔代表影响植被变化的自然因子,到道路、河流和居民点等的

① 漆良华. 武陵山区小流域退化土地植被恢复生态学特性研究,博士学位论文,中国林业科学研究院,2007

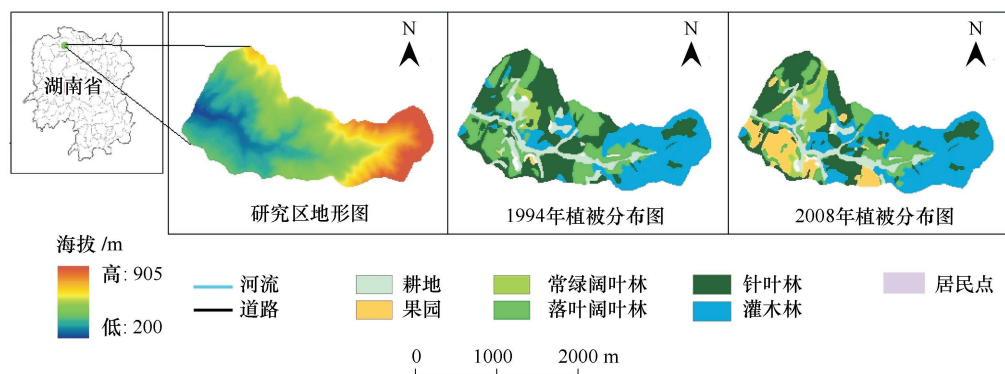


图1 研究区概况图

Fig.1 Map of the study area

最近距离代表影响植被变化的人类活动因子(表1)。

表1 研究变量描述

Table 1 Description of variables

	变量 Variables	英文名称 English name	类型 Type	取值范围 Range of variables
因变量 Dependent variables	非耕地转为耕地		二分类	0,1
	非乔木林地转为乔木林地		二分类	0,1
	非果园转为果园		二分类	0,1
	非针叶林转为针叶林		二分类	0,1
	非常绿阔叶林转为常绿阔叶林		二分类	0,1
	非落叶阔叶林转为落叶阔叶林		二分类	0,1
	非灌木林地转为灌木林地		二分类	0,1
自变量 Independent variables	海拔/m	DEM	连续型	200—905
	坡度/(°)	Slope	连续型	0—75
	坡向正弦	Sin_Asp	连续型	-1—1
	坡向余弦	Cos_Asp	连续型	-1—1
	到道路的最近距离/m	Dist_Road	连续型	0—572.39
	到河流的最近距离/m	Dist_Stream	连续型	0—485.03
	到居民点的最近距离/m	Dist_JMD	连续型	0—1136.32

首先利用1994年和2008年的土地利用图,在ArcGIS软件的支持下得到了两期土地利用/植被覆盖图。根据研究区实际情况,本文将土地利用/植被覆盖类型划分为耕地、果园、常绿阔叶林、落叶阔叶林、针叶林和灌木林六种。经过矢/栅转换和叠加分析,生成1994—2008年植被变化图。然后利用研究区1:10 000地形图分别提取了等高线(等高距为5m)、道路分布图、河流分布图。在此基础上生成潜在的空间驱动因子,所有空间驱动因子均采用栅格数据格式,栅格单元大小为5m×5m。海拔数据由根据等高线生成的数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)表示;坡度和坡向图从DEM中计算得到,其中的坡向图被转换成坡向正弦和坡向余弦两个分量,分别表示朝西和朝南的程度^[23],其取值范围均为[-1,1],其中,坡向正弦值为-1表示正西,坡向正弦值为1表示正东,坡向余弦值为-1表示正南,坡向余弦值为1表示正北;另外,计算到道路的最近距离、到河流的最近距离和到居民点的最近距离,得到3个栅格图层。为保证有足够的分析样本,本文暂不考虑不同植被类型转变为同一植被类型之间的差别。所使用的耕地变化、乔木林地变化、果园变化、针叶林变化、常绿阔叶林变化、落叶阔叶林变化和灌木林地变化分别是指非耕地转化为耕地、非乔木林地转化为乔木林地、非果园转为果园、非针叶林转为针叶林、非常绿阔叶林转为常绿阔叶林、非落叶阔叶林转为落叶阔叶林

和非灌木林地转为灌木林地等(表 1)。

1.3 传统 Logistic 回归模型

由于 Logistic 回归模型能够确定自变量在预测分类因变量的发生概率时的作用强度,在过去的研究中多被广泛应用于社会科学领域,近年来开始被引入到自然科学研究^[14]。本文讨论的植被类型变化问题是因变量为变化(1)和未变化(0)的二分类变量问题,故采用 Binary Logistic 回归模型,该模型的具体使用方法见文献^[9]。

1.4 AutoLogistic 回归模型

AutoLogistic 模型的基本思路就是在传统的 Logistic 模型基础之上引入空间协变量,从而解决空间统计分析问题中固有的空间自相关效应的影响,具体方法见文献^[13]。

植被变化、各空间驱动因子空间自相关系数(本文选用全局 Moran 的 I 系数)的计算由 Geoda 软件完成,其中的空间权重矩阵基于距离来计算,以此确定空间自相关的距离范围。之后计算各栅格所受邻域影响程度的指数(空间协变量),将该指数作为一个自变量加入 Logistic 回归模型中建立 AutoLogistic 回归模型。

采用 Pontius R G 等^[24]提出的 ROC(Relative Operating Characteristics)方法检验 Logistic 和 AutoLogistic 回归方程的解释能力。一般认为,当 ROC 值在 0.5—0.7 时,模型精度较低;在 0.7—0.9 范围时,模型精度可信;当 > 0.9 时,模型具有高精度^[25-26]。

2 结果与分析

2.1 植被变化

女儿寨小流域 1994—2008 年间植被类型的面积转移百分比矩阵如表 2 所示。从转移矩阵可知,1994—2008 年,变化的耕地约有一半转变成了果园,转变为落叶阔叶林、针叶林和灌木林的面积相差不大,只有少量的耕地转变成了常绿阔叶林;果园转变为其他类型的面积很小,变化的果园仅转变为落叶阔叶林和灌木林;变化的常绿阔叶林主要转变成了落叶阔叶林和灌木林,少量常绿阔叶林转变为针叶林和果园;落叶阔叶林转变为其他类型的量最大,其中变为果园和针叶林的比例最大,也有部分落叶阔叶林转变为了灌木林、常绿阔叶林和耕地;针叶林向其他类型的转变主要表现为针叶林转变为灌木林、落叶阔叶林、常绿阔叶林和果园;灌木林向其他类型的转变相对较少,主要是转变为针叶林和落叶阔叶林。

表 2 研究区 1994 到 2008 年植被类型面积转移百分比/%
Table 2 Matrix of the area transition percentage among vegetation types from 1994 to 2008

1994 年 1994 Year	2008 年 2008 Year					
	耕地 Farmland	果园 Orchard	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaves stand	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaves stand	针叶林 Coniferous stand	灌木林 Shrub stand
耕地	61.90	19.10	2.05	5.90	5.46	5.59
果园	0.00	96.04	0.00	1.98	0.00	1.98
常绿阔叶林	0.00	1.26	79.10	9.26	3.51	6.87
落叶阔叶林	2.81	27.08	3.79	45.24	11.54	9.53
针叶林	1.83	6.85	7.67	7.81	60.55	15.29
灌木林	0.72	0.55	0.24	2.78	3.79	91.93

2.2 空间自相关性分析

空间自相关系数计算采用的空间权重矩阵基于的距离范围为 5—80m,相应计算的自变量和因变量(各种植被类型变化)空间自相关系数的结果如图 2 所示。由图 2(A)可知,在 5—80m 的步长范围内各自变量均存在明显的空间正自相关性,其中到居民点的最近距离和海拔具有非常相似的空间自相关性,到河流的最近距离和到道路的最近距离同样具有类似的空间正相关性,4 个自变量在 5—80m 步长范围内的空间正相关性极强,而且其自相关性随距离增加而减小的趋势很弱;坡向和坡度的空间正相关性相对较弱,在 5—80m 步长范

围内 Moran 的 I 系数是坡向余弦(朝西程度) > 坡向正弦(朝南程度) > 坡度,表明坡度相对于其他自变量而言更具有随机分布性。

从图 2(B)中可以看出,各种植被类型的变化均表现出一定程度的空间正自相关性,并且随着距离的增加而逐渐减弱,其中果园的变化存在最为明显的空间正相关性;灌木林和常绿阔叶林的变化次之;其次是针叶林和落叶阔叶林的变化,二者存在非常相似的空间正相关性;耕地变化的空间正相关性相对最弱,表明果园更容易受到相邻区域植被类型变化的影响,耕地变化则相对更具随机性。

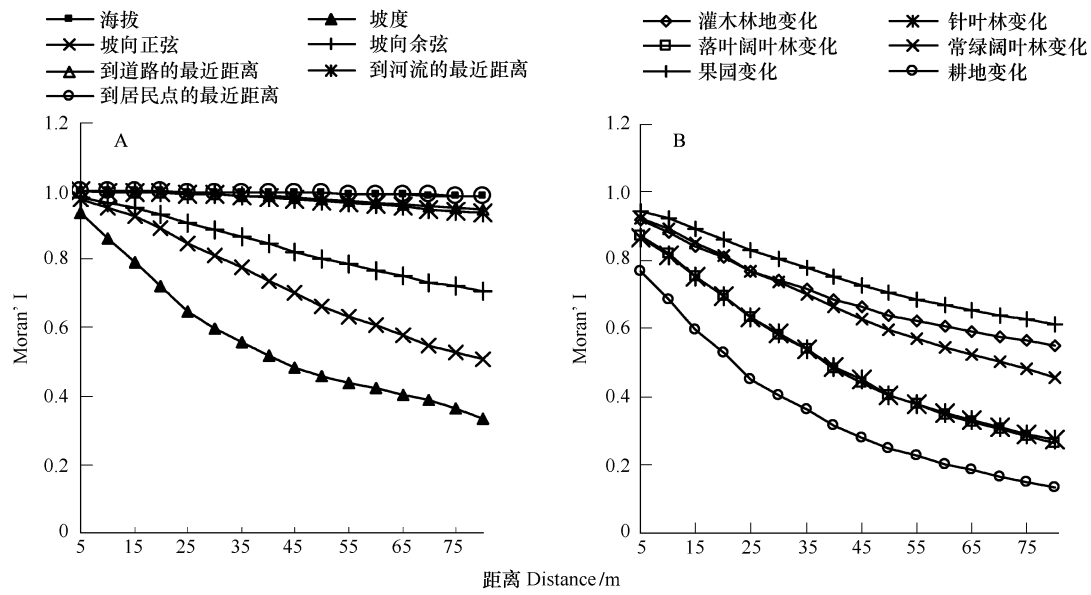


图 2 自变量(A)和 6 种植被变化(B)的空间自相关图

Fig. 2 Correlograms with Moran's I of Independent variables (A) and of six vegetation types changes (B)

2.3 回归结果

逐步 Logistic 回归是近年来用以避免出现共线问题的常用办法。本文在植被的不同分类层次上以及是否考虑空间自相关性影响的情况下,对研究区各植被变化数据(因变量)和潜在驱动因子(自变量)进行了逐步 Logistic 回归分析,结果如表 3—表 6 所示。

表 3 综合类型的传统 Logistic 回归分析结果

Table 3 Results of Logistic regression analysis for general types

驱动因子 Driving factors	耕地变化 Farmland changes		乔木林地变化 Arboreal stand changes		灌木林地变化 Shrub stand changes	
	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)
Slope	-0.008	0.992	-	-	0.009	1.009
DEM	-0.006	0.994	-0.008	0.992	-0.003	0.997
Sin_Asp	-0.883	0.414	0.710	2.035	-1.379	0.252
Cos_Asp	0.686	1.986	0.153	1.166	-0.261	0.770
Dist_Stream	-0.006	0.994	0.004	1.004	0.004	1.004
Dist_Road	-0.003	0.997	0.006	1.006	-0.004	0.996
Dist_JMD	-0.003	0.997	-0.005	0.995	-0.001	0.999
Const	-0.538	0.584	1.803	6.065	-2.196	0.111
ROC	0.865		0.796		0.747	

“—”表示不显著($P > 0.05$),下同

表 4 综合类型的 AutoLogistic 回归分析结果

驱动因子 Driving factors	耕地变化 Farmland changes		乔木林地变化 Arboreal stand changes		灌木林地变化 Shrub stand changes	
	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)
Slope	-0.008	0.992	0.008	1.008	0.008	1.008
DEM	-0.003	0.997	-0.001	0.999	-	-
Sin_Asp	-	-	0.484	1.622	-0.781	0.458
Cos_Asp	-0.290	0.748	-0.343	0.710	-0.648	0.523
Dist_Stream	-0.009	0.991	-	-	0.003	1.003
Dist_Road	-	-	0.002	1.002	-0.003	0.997
Dist_JMD	-	-	-0.003	0.997	-0.001	0.999
Auto	14.755	2559644	8.966	7830.785	11.144	69134.381
Const	-3.708	0.025	-3.710	0.025	-5.763	0.003
ROC	0.988		0.969		0.982	

表 5 传统 Logistic 回归分析结果

驱动因子 Driving factors	果园变化		常绿阔叶林变化		落叶阔叶林变化		针叶林变化		灌木林地变化	
	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)
Slope	-0.026	0.975	0.014	1.015	0.011	1.011	-	-	0.009	1.009
DEM	-0.008	0.992	0.003	1.003	-0.010	0.990	0.002	1.002	-0.003	0.997
Sin_Asp	0.939	2.557	-	-	-	-	0.309	1.363	-1.379	0.252
Cos_Asp	0.860	2.364	-	-	-0.960	0.383	-	-	-0.261	0.770
Dist_Stream	0.005	1.005	0.009	1.009	0.006	1.006	-0.009	0.991	0.004	1.004
Dist_Road	-0.002	0.998	0.024	1.024	0.001	1.001	0.012	1.012	-0.004	0.996
Dist_JMD	-0.001	0.999	-0.033	0.968	-0.003	0.997	-0.005	0.995	-0.001	0.999
Const	1.646	5.188	-4.271	0.014	-0.520	0.594	-3.018	0.049	-2.196	0.111
ROC	0.902		0.916		0.772		0.793		0.747	

果园变化 Orchard changes; 常绿阔叶林变化 Evergreen broad-leaves stand changes; 落叶阔叶林变化 Deciduous broad-leaves stand changes; 针叶林变化 Coniferous stand changes; 灌木林变化 Shrub stand changes; 下同

表 6 AutoLogistic 回归分析结果

驱动因子 Driving factors	果园变化		常绿阔叶林变化		落叶阔叶林变化		针叶林变化		灌木林地变化	
	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)	β	EXP(β)
Slope	0.009	1.009	-0.013	0.987	-	-	0.010	1.010	0.008	1.008
DEM	-0.004	0.996	-0.008	0.992	-	-	-0.003	0.997	-	-
Sin_Asp	-0.339	0.713	-0.368	0.692	-	-	-	-	-0.781	0.458
Cos_Asp	-0.629	0.533	-0.469	0.625	-	-	-	-	-0.648	0.523
Dist_Stream	-	-	-0.005	0.995	-	-	-	-	0.003	1.003
Dist_Road	-	-	-	-	0.002	1.002	-0.003	0.997	-0.003	0.997
Dist_JMD	-	-	-	-	-0.003	0.997	-	-	-0.001	0.999
Auto	16.117	9984469	18.021	7E+007	14.363	1729536	15.138	3754187	11.144	69134.381
Const	-6.796	0.001	-3.655	0.026	-5.892	0.003	-5.455	0.004	-5.763	0.003
ROC	0.999		0.999		0.993		0.992		0.982	

分析表 3—6 的回归结果看出,无论在植被的哪个分类层次上,AutoLogistic 模型的 ROC 值均大于传统 Logistic 模型的 ROC 值(耕地变化、乔木林地变化和灌木林地变化的 ROC 值分别从 0.865、0.796、0.747 提高到 0.988、0.969 和 0.982;果园变化、常绿阔叶林变化、落叶阔叶林变化和针叶林变化的 ROC 值分别从 0.902、

0.916、0.772、0.793、0.747 提高到了 0.999、0.999、0.993、0.992), 表明 AutoLogistic 模型要比传统 Logistic 模型有更好的拟合度, 因此在分析女儿寨小流域植被变化的空间驱动力时, 不能忽略植被的空间自相关关系的影响。

另外, 加入空间自相关因素之后, 一部分变化是基于空间自相关项(邻域效应)来解释的, 因此自变量(空间影响因子)的回归系数(β)和显著性水平与未考虑空间自相关因素影响时有了显著的变化, 某些自变量可能因此变得不再显著, 所以对植被变化有显著影响的自变量(空间影响因子)个数较未考虑空间自相关因素时少。

2.4 驱动力分析

由 AutoLogistic 模型分析结果(表 4)可以看出, 就耕地的变化而言, 除空间自相关因素(邻域效应)外, 坡向、坡度、到河流的最近距离和海拔表现为影响耕地变化的显著因子, 坡度越大、距离河流越远、海拔越高的地方, 转化为耕地的概率就越小; 邻域内的耕地变化情况在一定程度上影响了耕地变化的可能性, 同时也削弱了其他影响因子对耕地变化影响的显著性。就乔木林的变化而言, 考虑空间自相关因素后, 坡向、坡度表现为其主要影响因子, 随着坡向偏东、偏南程度及坡度的逐渐增加, 非乔木林地转化为乔木林地的可能性也逐渐增大; 到居民点的最近距离、到道路的最近距离和海拔对其影响程度相对较小。就灌木林地的变化而言, 除了邻域内灌木林地变化情况外, 坡向对其具有十分显著的影响, 坡向越偏西和偏南, 灌木林地变化的可能性就越大; 坡度对灌木林地变化的影响程度相对较小, 随坡度的增加, 灌木林地变化发生的概率会相应增加; 到河流的最近距离、到道路的最近距离和到居民点的最近距离对该变化的影响程度相对很小。

就果园变化而言, 由 AutoLogistic 模型分析结果(表 6)可知, 除了邻域范围内果园变化情况外, 地表坡向、坡度和海拔都表现为影响果园变化的显著因子, 偏西坡、偏南坡、低海拔和大坡度的区域, 果园变化发生的概率较大。这可能是因为受当地退耕还林政策、1994—2008 年间杜仲等经济林市场价格的下降(杜仲的市场价从 1994 年的 4.0 元/500g 下降到 2008 年的 1 元/500g)的影响, 当地农民为了获得更大的经济利益, 大于一定坡度上的部分耕地被改成了果园, 同时部分落叶阔叶林(杜仲、油桐等)也转变成了果园, 从而使得坡度表现为果园变化的显著影响因子; 另外, 坡向和坡度共同影响水、热条件, 从而影响植被变化的发生, 因此坡向也表现为果园变化的显著影响因子。

就常绿阔叶林的变化而言, 坡向、坡度和海拔表现为显著的影响因子。表 6 的分析结果显示: 坡向越是偏南或偏西, 其他类型转化为常绿阔叶林的概率就越大; 坡度、海拔和到河流的最近距离对常绿阔叶林变化的影响力度较坡向小, 表现为坡度较小、海拔较低和距河流较近的地方, 常绿阔叶林变化发生的可能性较大。

就落叶阔叶林变化而言, 到居民点的最近距离和到道路的最近距离对该类变化的影响比较显著, 落叶阔叶林变化的概率随着到居民点距离的减小和到道路距离的增加而增大。究其原因是由于研究区落叶阔叶林以杜仲、油桐等经济林为主, 考虑空间自相关的影响后, 突出了可达性因子的作用, 符合当地落叶阔叶林分布的实际情况。

就针叶林变化而言, 考虑空间自相关因素后的分析结果(表 6)表明, 除了邻域内针叶林的变化情况外, 坡度表现为首要影响因子, 到道路的最近距离和海拔对针叶林变化的影响力度较小。这主要是因为受退耕还林政策和经济林市场价格下降的影响, 大于一定坡度的耕地和落叶阔叶林(油桐和杜仲等)转变成了针叶林, 使得坡度表现为该类变化的主要驱动因子, 随着坡度的逐渐增加, 针叶林变化发生的概率逐渐增大; 较低海拔地区的道路附近存在部分灌木林地和落叶阔叶林到针叶林的转化, 从而使得海拔和到道路的最近距离对该变化的影响表现为: 海拔相对较低且距道路较近的地方, 非针叶林转化为针叶林变化的可能性较大。

3 结论

分别利用 Logistic 和 AutoLogistic 模型, 分析了女儿寨小流域 1994—2008 年间的植被变化的相关性, 结果表明:

(1) Moran 的 I 系数可以用来辨识和定量分析植被变化及其空间驱动因子(自变量)显示模型的空间自相

关性。在女儿寨小流域,各种植被类型的变化、空间驱动因子(自变量)均表现出一定的空间正自相关性,这种空间自相关性随着距离的增加而逐渐减弱,符合空间自相关性普遍具有的规律。

(2) AutoLogistic 模型要比传统 Logistic 模型有更好的精度,表明在分析植被变化空间驱动力时,不能忽略空间自相关性的影响。同时,考虑空间自相关因素后,空间影响因素的个数基本上均较未考虑空间自相关性时少,因为一部分预测结果是基于空间自相关项来预测的。

(3) 自然和人类活动的因子对女儿寨小流域植被变化的影响力不同。基于 AutoLogistic 模型的分析结果表明,自然因子中的坡度对耕地变化、果园变化、常绿阔叶林变化、针叶林变化有重要影响;坡向对耕地变化、果园变化、常绿阔叶林变化和灌木林地变化影响显著;海拔对各种植被变化类型的影响都较小。人类活动的影响对落叶阔叶林变化影响显著。

References:

- [1] Jiang Y Q, Wang W Z, Wang Z L, Hu G R, Lei H Z. The soil erosion in the North of Shanxi Province of the Loess Plateau and its synthetizing harness. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999,6(2):174-180.
- [2] Chen F, Chen G, Bao H S, Peng B Z. Analysis on land use change and human driving force in urban fringe. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(3):204-210.
- [3] Long H L, Li X B. Land use pattern in transect of the Yangtse River and its influential factors. *Acta Geographica Sinica*, 2001,56(4):417-425.
- [4] Shi P J, Chen J, Pan Y Z. Landuse change mechanism in Shenzhen City. *Acta Geographica Sinica*, 2000,55(2):151-160.
- [5] Zhang H Y, Zhao X Y, Cai Y L, Yin J. The driving mechanism of human forces to the land-use change in the karst mountain area — the case study of Guizhou Province. *Geographical Research*, 1999,18(2):136-142.
- [6] Wang L J, Liu W, Bao H S. Study on the driving forces of regional land use change — a case study of Wuzhou City, Guangxi. *Economic Geography*, 1999,19(4):74-79.
- [7] Jiang G H, Zhang F R, Chen J W, Duan Z Q, Su Z Y. Analysis of the driving forces of change of rural residential areas in Beijing mountainous areas based on Logistic regression model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007,23(5):81-87.
- [8] Wang J, He T, Guo X D, Liu A X. Study on Land Degradation Trend by Applying Logistic MultivariateRegression Model in Northwest Region of Beijing. *Progress in Geography*, 2005,24(5):23-33.
- [9] Xie H L, Li B. Driving forces analysis of land-use pattern changes based on Logistic regression model in the farming-pastoral zone; A case study of Ongiud Banner, Inner Mongolia. *Geographical Research*, 2008,27(2):294-304.
- [10] Xie H L, Liu L M, Li B, Zhang X S. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land-use changes; a case study in Ongniud Banner, Inner Mongolia. *Acta Geographica Sinica*, 2006,61(4):389-399.
- [11] Liu M, Hu Y M, Chang Y, Bu R C, Zhang W. Landscape change and its spatial driving force of farmlands in Wenchuan County of Minjiang River upper reach. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007,18(3):569-574.
- [12] Wu G P, Zeng Y N, Zou B, Qi Q C, Yang S. Simulation on spatial land use patterns using AutoLogistic method; a case study of Yongding County, Zhangjiajie. *Acta Geographica Sinica*, 2008,23(2):156-164.
- [13] Dormann C F. Assessing the validity of AutoLogistic regression. *Ecological Modelling*, 2007, 207(2/4):234-242.
- [14] Syartinilia, Tsuyuki S. GIS-based modeling of Javan Hawk-Eagle distribution using Logistic and AutoLogistic regression models. *Biological Conservation*, 2008,141(3):756-769.
- [15] Overmars K P, de Koning G H J, Veldkamp A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models. *Ecological Modelling*, 2003,164(2/3):257-270.
- [16] Augustin N H, Muggleston M A, Buckland S T. An AutoLogistic model for the spatial distribution of wildlife. *The Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(3):339-347.
- [17] Wu H L, Hufer F W. Modelling the distribution of plant species using the AutoLogistic regression model. *Environmental and Ecological Statistics*, 1997, 4(1):49-64.
- [18] Carl G, Kühn I. Analyzing spatial autocorrelation in species distributions using Gaussian and logit models. *Ecological Modelling*, 2007, 207(2/4):159-170.
- [19] Mira A, Marques C C, Santos S M, Rosa'rio I T, Mathias M L. Environmental determinants of the distribution of the Cabrera vole (*Microtus cabrerae*) in Portugal; Implications for conservation. *Mammalian Biology*, 2008,73(2):102-110.
- [20] Miller J, Franklin J, Aspinall R. Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models. *Ecological Modeling*, 2007,202(3/4):

225-242.

- [21] Piorecky M D, Prescott D R C. Multiple spatial scale Logistic and AutoLogistic habitat selection models for northern pygmy owls, along the eastern slopes of Alberta's Rocky Mountains. *Biological Conservation*, 2006, 129(3): 360-371.
- [22] Jewell K J, Arcese P, Gergel S E. Robust predictions of species distribution: Spatial habitat models for a brood parasite. *Biological Conservation*, 2007, 140(3/4): 259-272.
- [23] Rutherford G N, Bebi P, Edwards P J, Zimmermann N E. Assessing land-use statistics to model land cover change in a mountainous landscape in the European Alps. *Ecological Modelling*, 2008, 212(3/4): 460-471.
- [24] Pontius R G, Schneider L C. Land-cover change model validation by a ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 85(1/3): 239-248.
- [25] Neilson R P. A model for predicting continental scale vegetation distribution and water balance. *Ecological Applications*, 1995, 5(2): 362-385.
- [26] Manel S, Williams H C, Ormerod S J, *et al.* Evaluating presence-absence models in ecology: The need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 2001, 38(5): 921-931.

参考文献:

- [1] 姜永清, 王万种, 王占礼, 胡光荣, 雷惠珠. 陕北黄土高原的土壤侵蚀与综合治理. *水土保持研究*, 1999, 6(2): 174-180.
- [2] 陈浮, 陈刚, 包浩生, 彭补拙. 城市边缘区土地利用变化及人文驱动力机制研究. *自然资源学报*, 2001, 16(3): 204-210.
- [3] 龙花楼, 李秀彬. 长江沿线样带土地利用格局及其影响因子分析. *地理学报*, 2001, 56(4): 417-425.
- [4] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析. *地理学报*, 2000, 55(2): 151-160.
- [5] 张惠远, 赵昕奕, 蔡运龙, 殷静. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究: 以贵州省为例. *地理研究*, 1999, 18(2): 136-142.
- [6] 王良健, 刘伟, 包浩生. 梧州市土地利用变化的驱动力研究. *经济地理*, 1999, 19(4): 74-79.
- [7] 姜广辉, 张凤荣, 陈军伟, 段增强, 苏子友. 基于 Logistic 回归模型的北京山区农村居民点变化的驱动力分析. *农业工程学报*, 2007, 23(5): 81-87.
- [8] 王静, 何挺, 郭旭东, 刘爱霞. 基于逻辑回归模型的环北京地区土地退化态势分析. *地理科学进展*, 2005, 24(5): 23-33.
- [9] 谢花林, 李波. 基于 logistic 回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析——以内蒙古翁牛特旗为例. *地理研究*, 2008, 27(2): 294-304.
- [10] 谢花林, 刘黎明, 李波, 张新时. 土地利用变化的多尺度空间自相关分析——以内蒙古翁牛特旗为例. *地理学报*, 2006, 61(4): 389-399.
- [11] 刘森, 胡远满, 常禹, 布仁仓, 张薇. 岷江上游汶川县耕地景观变化及空间驱动力. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 569-574.
- [12] 吴桂平, 曾永年, 邹滨, 齐庆超, 杨松. AutoLogistic 方法在土地利用格局模拟中的应用——以张家界市永定区为例. *地理学报*, 2008, 23(2): 156-164.