阿尔泰山森林景观格局的稳定性

张绘芳，地力夏提·包尔汉，朱雅丽，张景路，雷亚君
（新疆林业科学院现代林业研究所，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘　要：[目的] 定量分析阿尔泰林场的森林景观稳定性，为科学合理地规划建设阿勒泰林场森林景观提供依据。[方法] 以 2016 年 Landsat 8 OLI 影像作为数据源，运用主成分分析法构建研究区森林景观稳定性评价模型，利用 Kriging 插值分析整个研究区的森林景观稳定性状况。[结果] 灌木林地和乔木林地是研究区的优势森林景观，分布比较广泛，苗圃地和林业辅助用地景观类型面积较小，但分布比较集中；森林景观呈现出较高的景观异质性；森林景观稳定性差异较大，其稳定性大小依次为：灌木林地＞乔木林地＞苗圃地＞宜林地＞疏林地＞林业生产辅助用地。[结论] 2016 年森林景观稳定性整体处于较高水平，分布区域差异比较均衡，西南部山区生态环境良好，森林景观结构完整，东部和东北部山区最差，应加强生态环境保护力度，同时维持西南部的保护力度，从而促进森林景观结构更加合理。

关键词：阿勒泰林场；森林景观格局；改进型景观稳定性模型；森林景观稳定性
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2018)05-0189-06　　**中图分类号**：S718.5

文献参数：张绘芳，地力夏提·包尔汉，朱雅丽，等.阿尔泰山森林景观格局的稳定性[J].水土保持通报，2018,38(5):189-194. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.030. Zhang Huifang, Dilixiati·Baoerhan, Zhu Yali, et al. Stability of forest landscape pattern in Altay Mountains[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(5):189-194.

Stability of Forest Landscape Pattern in Altay Mountains

ZHANG Huifang, Dilixiati·Baoerhan, ZHU Yali, ZHANG Jinglu, LEI Yajun
(*Modern Forestry Research Institute, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi, Xinjiang* 830000, *China*)

Abstract: [Objective] To quantitative analyze the landscape stabiligy of Altay forest farm in order to provide the basis for planing and constructing the forest landscape scientifically and rationally. [Method] Taking the Landsat 8 OLI image in 2016 as the data source, landscape stability assessment models were created by using principle component analysis method. The stability of forest landscape in the whole research area was analyzed by Kriging interpolation. [Results] Shrub land and arbor forest were the dominant forest landscape in the study area, which were widely distributed. The area of nursery land and forestry auxiliary land was small, but the distribution was more concentrated. Forest landscape presented high landscape heterogeneity. The stability of forest landscape among different landscape types was significantly different. The stability was ranked as: shrub land＞arbor forest＞nursery land＞barren land＞sparse woodland＞forestry auxiliary land. [Conclusion] In 2016, the stability of forest landscape was at a high level, the distribution of regional differences was relatively balanced. In the southwest mountainous areas, the ecological environment was good, and the forest landscape structure was intact.

Keywords: **Aletai forest farm; forest landscape pattern; improved type landscape stability model; stability of forest landscape**

当前景观生态学的研究中，景观的稳定性是一个复杂且重要的研究热点，主要由两个方面组成，一是维持生态系统现状的能力；二是在遭受到外界的干扰后快速恢复的能力[1]。根据相关研究发现，目前主要从两种方式来解读景观稳定性的涵义：一种是 Forman等[2]设计的通过景观的 12 种变化观测判断景观稳定性变化；另一种是从景观抗外界干扰能力评价景观稳定性[3]。但国内外学者没有达成一致。

收稿日期：2018-03-16　　**修回日期**：2018-05-14
资助项目：2018 年新疆自治区公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“新疆山区森林乔木层生物量的遥感估测研究”(KY2018054)；新疆林业厅新疆林业数表构建项目(新林计字[2014]835 号)；新疆国家公益林典型样地监测项目联合资助项目
第一作者：张绘芳(1980—)，女(汉族)，陕西省大荔县人，硕士，副研究员，主要从事森林资源监测和遥感技术应用研究。E-mail:396930128@qq.com。

Kelley 等[4]认为景观稳定性是景观的一种特有属性，当生态系统发生变化时，存在于景观上的特有现象就会消失，当生态系统再次发生动态变化时，该现象又会重新出现；龚俊杰等[5]，Jia 等[6]把景观持久性、景观恢复能力和景观抗干扰能力统称为景观稳定性。森林景观的多样性、复杂性，以及在时空分布上的动态特征，使得大部分学者将研究重心聚焦于景观的异质性和多样性、景观恢复性以及景观格局的特征之上，而关于森林景观稳定性的定量分析仍是如今的难点之一[7]。

阿尔泰山林区的森林资源是新疆森林资源主要部分之一，而且也是新疆北水调南工程的重要水源地，因此，具有极其重要的生态地位，对新疆未来的发展起着重要的作用[8]。阿勒泰林场是阿尔泰山林区的一个重要分支，位于它的中部，拥有极其丰厚的森林资源和动植物资源。参考前人研究成果[9-11]，对于阿尔泰山林区以及阿勒泰林场的研究主要是森林生态系统碳密度、碳储量估算、生物量估算和对气候变化的响应研究等，针对该区森林景观稳定性的研究尚未见报道。因此，本文拟基于 GIS 和 RS 技术，采用改进型景观稳定性模型，对阿勒泰林场的森林景观稳定性进行定量分析，了解其景观稳定性的特征和规律，以期为今后森林景观健康可持续发展提出建设性指导[12-13]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阿勒泰林场位于阿尔泰山中段，地处 47°46′—48°39′N，87°25′—88°38′E，地势呈现出北高南低的状态，海拔处于 1 100～3 914 m，属于温带半干旱大陆性气候区。根据阿勒泰市气象站观测资料：历年来研究区平均气温是 3.9 ℃，其中最热月出现在 7 月，其平均气温高达 22.9 ℃，最冷月出现在 1 月份，其平均气温低至－18.2 ℃，平均风速为 3.9 m/s，最大风速为 28 m/s，主要为西风和西北风[14]。阿勒泰林场主要分布有疣枝桦、欧洲山杨、云杉、西伯利亚落叶松等树种，森林覆盖率为 50.26%[15]。

1.2 试验方法

将 2016 年 Landsat8 OLI 影像进行辐射定标、大气校正以及基于 2013 年国产资源 1 号影像数据进行几何校正，然后基于 2014 年森林资源二类调查数据，将阿勒泰林场分为乔木林地、疏林地、灌木林地、苗圃地、林业辅助用地和宜林地这 6 种森林景观。

景观指数主要由斑块尺度(patch)、景观类型尺度(class)、景观尺度(landscape)这 3 种类型组成，用来定量分析景观特征以及变化趋势。根据各景观指数表征意义相关性差异，本文对所有选取的景观指数在给定单侧置信度 0.05，0.01 水平上进行显著性分析，保证筛选出指标反映信息全面但不重复[16]，将相关性过于显著指数适当剔除，无任何相关性的指数也剔除，选择了 9 个具有代表性的景观指标：X_1 边缘密度(ED)、X_2 景观形状指数(LSI)、X_3 最大斑块指数(LPI)、X_4 类型斑块百分比(PLAND)、X_5 平均斑块面积(AREA_MN)、X_6 景观要素聚集度指数(COHESION)、X_7 景观破碎度指数(SPLIT)、X_8 欧几里德最近邻距离(ENN_MN)、X_9 散布与并列指数(IJI)[16-18]。

为了使选取的景观指标可以很好地分析森林景观格局的稳定性，依据相关研究，把景观指标分为 2 种：正指标和负指标。把对分析森林景观格局稳定性有利的指标称为正指标，把对分析森林景观格局稳定性不利的指标称为负指标。本论文根据前人经验和研究区实际情况选择了 9 个景观指标，为了消除量纲影响，分别对其进行无量纲化处理。公式为[19]：

$$\text{正指标：}\ X_i' = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \tag{1}$$

$$\text{负指标：}\ X_i' = \frac{x_{i\max} - x_i}{x_{i\max} - x_{i\min}} \tag{2}$$

式中：X_i'——无量纲标准指标值；x_i——原指标值；$x_{i\max}$——原指标最大值；$x_{i\min}$——原指标最小值。x_i 值越大，说明景观格局稳定性越好，该指标便定义为正指标；x_i 值越大，说明景观格局稳定性越差，该指标便定义为负指标。

在将选取的景观指数无量纲化处理之后，采用 SPSS 的主成分分析模块计算出 9 项景观指数的权重(ω_i)[20]，然后利用加权求和计算出网格景观稳定性评价指数。计算景观指数权重的公式如下：

$$\omega_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{m}\lambda_i} \tag{3}$$

式中：λ_i——主成分 i 的贡献率；m——主成分个数。

$$F_j = \sum_{i=1}^{m} Z_i \omega_i \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \tag{4}$$

式中：F_j——区域 j 的景观稳定性指数；Z_i——稳定性评价景观指标无量纲处理之后的值。

$$Z(F_0) = \sum_{j=1}^{N} \lambda_j Z(F_j) \tag{5}$$

式中：$Z(F_0)$——未知点景观稳定性指数；$Z(F_j)$——未知样点周围的已知样点的景观稳定性指数；λ_j——第 j 个已知样点对未知样点的权重；N——已知样本点的个数。

首先在 ArcGIS 10.2 中将森林景观分布图转换

成 60 m×60 m 的栅格数据,其次运用景观格局软件 Fragstas 4.2 计算出各景观指数,然后通过主成分分析计算出景观指标的权重,构建改进型景观稳定性评价模型,以便得到 6 种森林景观的稳定性大小。最后通过 Kriging 插值分析研究区的景观稳定性。

2　结果与分析

2.1　森林景观类型特征

景观要素是由不同的景观组成的,景观生态过程和景观格局变化,各景观要素组合特征也会发生相应的变化[21]。本论文选择了斑块面积、斑块数量和面积百分比 3 个指标来描述其景观类型特性(表 1)。

表 1　2016 年阿勒泰林场森林景观类型特征

森林景观类型	斑块面积/hm^2	斑块数量/个	面积百分比/%
乔木林地	92 571.48	2 199	35.86
疏林地	7 690.32	1 751	2.98
灌木林地	147 228.12	1 463	57.04
苗圃地	12.60	1	0.01
宜林地	10 586.52	790	4.10
林业生产辅助用地	23.40	42	0.01

由表 1 可知,2016 年灌木林地景观类型面积占阿勒泰林场的 57.04%,是主要景观类型。其次乔木林地分布也比较广泛,也在森林景观中占据了重要地位,占阿勒泰林场总面积的 35%以上;苗圃地和林业辅助用地景观类型面积较小,分布比较集中。

本论文选择了景观形状指数、平均分维数、连接度和聚合度这 4 个指数来分析阿勒泰林场的景观异质性(表 2)。由表 2 可知,2016 年灌木林地、乔木林地的形状指数分别为 84.48,73.93,由于天然林保护工程和人工造林补植工程的实施,使得乔木林地和灌木林地的规模逐渐扩大,斑块逐渐集中,斑块形状越来越规则。宜林地连接度指数最大,为 1.42,苗圃地连接度指数为 0,表明苗圃地各斑块之间没有连接,而宜林地各斑块之间连接度比较高。由聚合度指数看出,区域内各森林景观类型斑块聚集程度都较强,其中苗圃地聚合度指数最大,林业辅助用地聚合度指数最小,灌木林地、乔木林地、宜林地聚合度指数居中,表明苗圃地破碎化程度较低,分布集中;林业辅助用地破碎化程度较高,分布分散。整体分析得出,阿勒泰林场森林景观呈现出较高景观异质性。

表 2　2016 年阿勒泰林场森林景观异质性

森林景观类型	景观形状指数	平均分维数	连接度	聚合度
乔木林地	84.48	1.06	0.60	83.49
疏林地	56.65	1.05	0.79	61.58
灌木林地	73.93	1.09	0.87	88.57
苗圃地	1.50	1.07	0	89.66
宜林地	40.07	1.08	1.42	77.08
林业生产辅助用地	6.94	1.02	0.59	10.62

2.2　森林景观稳定性

森林景观稳定性体现了森林景观的结构特征,它对生态系统的健康稳定有直接的影响。

基于之前的研究,本文主要基于 60 m×60 m 的森林景观类型分布图的栅格数据,对阿勒泰林场的森林景观稳定性进行研究。结合其景观类型特征以及前人研究成果,本文选择了 X_1 边缘密度(ED)、X_2 景观形状指数(LSI)、X_3 最大斑块指数(LPI)、X_4 类型斑块百分比(PLAND)、X_5 平均斑块面积(AREA_MN)、X_6 景观要素聚集度指数(COHESION)、X_7 景观破碎度指数(SPLIT)、X_8 欧几里德最近邻距离(ENN_MN)、X_9 散布与并列指数(IJI)。运用景观格局软件 Fragstas 4.2 计算这 9 项景观指数,然后代入到 SPSS 20.0 中建立景观指标标准化矩阵(表 3)。

表 3　2016 年阿勒泰林场森林景观稳定性指标标准化矩阵

景观类型	景观指标								
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
乔木林地	1.386 3	1.172 6	0.079 2	0.802 3	0.057 6	0.648 3	−0.459 9	−0.450 8	0.419 2
疏林地	−0.346 6	0.381 1	−0.554 1	−0.567 2	−0.606 9	0.066 7	−0.459 8	0.640 7	0.616 5
灌木林地	1.126 4	0.879 5	1.978 9	1.673 8	1.971 4	0.684 7	−0.459 9	−0.247 5	−0.271 3
苗圃地	−0.866 5	−1.231 3	−0.554 1	−0.691 6	−0.367 7	0.103 0	−0.189 7	−1.569 5	−1.898 8
宜林地	−0.433 2	−0.117 3	−0.395 8	−0.525 7	−0.367 7	0.466 6	−0.459 9	1.332 2	0.320 6
林业生产辅助用地	−0.866 5	−1.084 7	−0.554 1	−0.691 6	−0.686 7	−1.969 3	2.029 3	0.294 9	0.813 8

在此基础上,运用 SPSS 软件的主成分分析模块对所计算的景观指标进行分析(表 4)。由表 4 可知,前 3 个指标累积贡献率达到 93.894%,满足大于 85%的要求,因此,前 3 个主成分不仅能比够较全面地反映研究区域的景观信息,还可以满足森林景观稳定结构评价要求。

表 4 2016 年阿勒泰林场景观指标特征值和主成分贡献率

成份	初始特征值			因子提取结果		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	5.04	56.002	56.002	5.04	56.002	56.002
2	2.027	22.52	78.522	2.027	22.52	78.522
3	1.384	15.373	93.894	1.384	15.373	93.894
4	0.51	5.666	99.56			
5	0.04	0.44	100			
6	2.20 E−16	2.44 E−15	100			
7	−3.42 E−16	−3.80 E−15	100			
8	−5.34 E−16	−5.94 E−15	100			
9	−6.48 E−16	−7.20 E−15	100			

表 5 2016 年阿勒泰林场景观指标主成分载荷矩阵

项目	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
ZC_1	0.917	0.85	0.866	0.944	0.875	0.777	−0.664	−0.15	−0.066
ZC_2	0.194	0.419	−0.003	0.067	−0.097	−0.218	0.222	0.853	0.988
ZC_3	0.072	−0.212	0.421	0.315	0.381	−0.582	0.705	−0.275	0.043

由表 5 可知，主成分 ZC1 在 X_1 边缘密度、X_2 景观形状指数、X_3 最大斑块指数、X_4 类型斑块百分比、X_5 平均斑块面积、X_6 景观要素聚集度指数 6 个因子上载荷分别为 0.917，0.85，0.866，0.944，0.875，0.777，均超过了 75%，表明主成分 ZC_1 综合表征 5 个变量因子信息，表达出森林景观异质性特征。主成分 ZC_2 在 X_8 欧几里德最近邻距离载荷 0.853，X_9 散布与并列指数载荷为 0.988，均超过了 85%，2 个因子载荷表明主成分 ZC_2 综合表征森林景观类型组成结构特征。

主成分 ZC_3 在 X_7 景观破碎度指数上载荷 0.705，因子载荷表明主成分 ZC_3 综合表征景观类型组成结构特征。

3 个主成分线性组合如下：

$$F_1 = 0.408\,5\,X_1 + 0.378\,6\,X_2 + 0.385\,7\,X_3 + 0.420\,5\,X_4 + 0.389\,8\,X_5 + 0.346\,1\,X_6 - 0.295\,8\,X_7 - 0.066\,8\,X_8 - 0.029\,4\,X_9$$

$$F_2 = 0.136\,3\,X_1 + 0.294\,3\,X_2 - 0.002\,1\,X_3 + 0.047\,1\,X_4 - 0.068\,1\,X_5 - 0.153\,1\,X_6 + 0.155\,9\,X_7 + 0.599\,1\,X_8 + 0.694\,X_9$$

$$F_3 = 0.062\,1\,X_1 - 0.180\,2\,X_2 + 0.357\,9\,X_3 + 0.267\,8\,X_4 + 0.323\,9\,X_5 - 0.494\,7\,X_6 + 0.599\,3\,X_7 - 0.233\,8\,X_8 + 0.036\,6\,X_9$$

通过上述公式(3—5) 计算各个景观指标的权重以及森林景观稳定性综合评价模型：

$$F = 0.320\,9\,X_1 + 0.295\,1\,X_2 + 0.274\,7\,X_3 + 0.312\,5\,X_4 + 0.312\,7\,X_5 + 0.517\,7\,X_6 - 0.498\,2\,X_7 - 0.232\,X_8 - 0.303\,4\,X_9$$

由表 6 可知，阿勒泰林场 9 项稳定性因子权重差异显著，其权重值排序为：X_6 景观要素聚集度指数＞X_1 边缘密度＞X_5 平均斑块面积＞X_4 类型斑块百分比＞X_2 景观形状指数＞X_3 最大斑块指数＞X_8 欧几里德最近邻距离＞X_9 散布与并列指数＞X_7 景观破碎度指数。

表 6 2016 年阿勒泰林场森林景观稳定性指标权重

项目	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
权重	0.320 9	0.295 1	0.274 7	0.312 5	0.312 7	0.517 7	−0.498 2	−0.232	−0.303 4

其中 X_7 景观破碎度指数、X_8 欧几里德最近邻距离和 X_9 散布与并列指数的权重为负值，意味着这 3 个指标对森林景观的稳定性产生了逆向作用，X_6 景观要素聚集度指数对阿勒泰林场森林景观稳定性影响大于其他 8 项景观指标。

由表 7 可知，阿勒泰林场森林景观类型稳定性综合评分的最大差值为 1.896 9，表明阿勒泰林场景观稳定性差异较大，6 种森林景观的稳定性从大到小排序为：灌木林地＞乔木林地＞苗圃地＞宜林地＞疏林地＞林业生产辅助用地。景观稳定性最好的是灌木林地，其综合评分值为 3.027 4，该景观类型是阿勒泰林场景观中所占比例较大的组分，面积为 147 228.12 hm^2，占总面积的 57.04%，共 1 463 个斑块，斑块平均面积为 100.63 hm^2，景观连通性好，可以看作整个

阿勒泰林场的基质。对整个景观整体起着支配和控制的作用,是阿勒泰林场的近原生顶级生态群落。其次是乔木林地,综合评分值 1.623 5,面积 92 571.48 hm^2,占总面积的 35.86%,共 2 199 个斑块,斑块平均面积为 42.10 hm^2,这两种景观类型大部分斑块聚集成团,生态结构稳定,景观要素聚集度高,连通性好,所以稳定性高。

表 7　2016 年阿勒泰林场森林景观类型稳定性评分值

森林景观类型	综合评分	排名
乔木林地	1.623 5	2
疏林地	−0.590 1	5
灌木林地	3.027 4	1
苗圃地	−0.036 7	3
宜林地	−0.497 3	4
林业生产辅助用地	−3.527 0	6

2.3　森林景观稳定性分布特征

将研究区分成 5 km×5 km 的渔网格,运用改进型景观稳定性评价模型,将 9 项景观指数无量纲值进行加权求和,得出每个渔网质心景观稳定性指数,并将渔网景观稳定性指数赋值给对应的质心点,利用 Kriging 插值得出阿勒泰林场森林景观稳定性空间分布。渔网格和质心均匀分布于图 1。

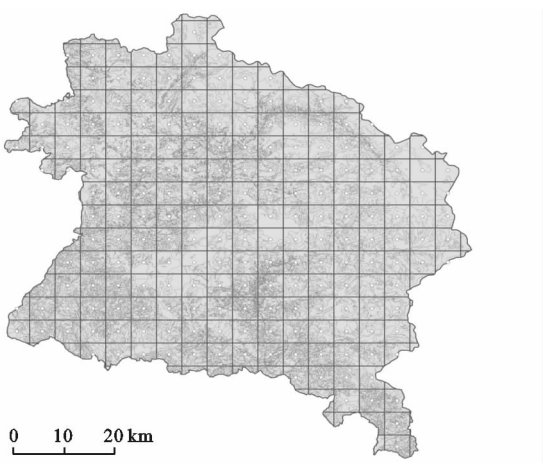


图 1　阿勒泰林场景观稳定性网格质心分布

根据 Kriging 插值结果,根据 Jenks 最佳自然断裂法,同时参考其他学者的研究成果[22-25],确定景观稳定性分级标准:[0.611 4,1.183 3)为十分不稳定区,[1.183 3,1.570 4)为一般不稳定区,[1.570 4,1.913 6)为一般稳定区,[1.913 6,2.247 9)为中度稳定区,[2.247 9,2.846 2)为十分稳定区。根据划分的等级生成 2016 年阿勒泰林场森林景观稳定性的空间分布图。

由附图 19 可知,森林景观十分稳定区域主要分布在西南部山区,该区域主要以灌木林为主,森林群落结构比较稳定,受人为影响较小。中度稳定区主要分布在十分稳定区的右上方,一般稳定区分布在西北部和北部地区,该区域乔木林和灌木林交错分布,因为人工造林补植工程的实施,森林群落结构不太稳定。一般不稳定区主要分布在阿勒泰林场的东部地区,乔木林和灌木林的破碎化程度较高。最不稳定区主要分布在东部和东北部山区,该区域以非林地为主,乔木林和灌木林分布极少。

阿勒泰林场的一般稳定区面积最大,为 177 828.48 hm^2,占总面积的 34.65%,十分稳定区面积最小,为 69 842.88 hm^2,占比为 13.61%,说明阿勒泰林场天然林受到天保工程的影响,森林景观结构遭受到严重的人为破坏,但是就现阶段而言保护效果不明显。其余 3 种森林景观稳定性分区面积相差不大,表明 2016 年各森林景观类型变化显著。十分不稳定区和一般不稳定区面积之和占总面积的 31.07%,森林景观不稳定区域未超过总面积的 1/2,但也应当引起人类的重视,加强生态环境的保护力度,促进森林景观结构更加合理。

3　结论与讨论

(1) 灌木林地和乔木林地是阿勒泰林场主要森林景观类型,其中灌木林地是优势森林景观,分布广泛;乔木林地次之,苗圃地和林业辅助用地景观类型面积较小,分布比较集中。

(2) 本研究选取了景观形状指数、平均分维数、连接度和聚合度来描述阿勒泰林场的景观异质性。整体分析得出阿勒泰林场森林景观呈现出较高景观异质性。

(3) 阿勒泰林场 9 项稳定性因子权重差异显著,其中 X_7 景观破碎度指数权重最小,为 −0.498 2,对阿勒泰林场森林景观稳定性影响最小;X_6 景观要素聚集度指数权重最大,为 0.517 7,对阿勒泰林场森林景观稳定性影响程度最大。

(4) 阿勒泰林场 6 种森林景观的稳定性从大到小排序为:灌木林地>乔木林地>苗圃地>宜林地>疏林地>林业生产辅助用地。

(5) 阿勒泰林场 2016 年森林景观稳定性整体处于较高水平,分布区域差异比较均衡,西南部山区生态环境良好,森林景观结构完整,东部和东北部山区最差,应加强生态环境保护力度,同时维持西南部的保护力度,从而促进森林景观结构更加合理。

本文通过建立景观稳定性模型可以直接模拟大

范围的景观稳定性,能体现出不同尺度上的稳定性程度不一,通过与模糊综合评判相比较[26],稳定体系的建立能更加精确和便捷地描述不同尺度上影响稳定性的因素。本研究通过建立的稳定性评价模型评分得出灌木林地和乔木林地最为稳定,这可能与环境有着密切的关系,包括植株自身进化、内部环境和较大尺度上的气候环境相关,灌木林和乔木林的根系发达,这便有利于充分吸收土壤中的养分和水分;而且叶片繁多,可以增加植株的光合作用,进而影响到森林景观的稳定性。参照前人研究,吕思彤等[25]、崔文举[27]等分别对碧塔海保护区和西双版纳热带林的森林景观稳定性进行了研究,都得出乔木林和灌木林的景观稳定性综合分值最高的结论,与本文得出的结论一致。有学者[25,28]认为:不同坡度、海拔、坡向等地形条件也能影响到森林景观的稳定性,本文运用GIS和RS相结合,并引入了改进型景观稳定性模型,对阿勒泰林场森林景观稳定性进行研究,但未结合地形、气温等因子对森林景观稳定性做进一步分析。

[参 考 文 献]

[1] Cabral P, Zamyatin A. Markov Processes in Modeling land use and land cover changes in Sintra-Cascais, Portugal[J]. Dyna-colombia, 2009,76(158):191-198.

[2] Forman R T T, Godorn M. Landscape Ecology[M]. New York: John Wiley and Sons, 1986:21-35.

[3] Turner MG. Landscape ecology:The effect of pattern on process[J]. Annual Review of Ecology Systematics, 1989(20):171-197.

[4] Kelley A, Crews M. Agricultural landscape change and stability in Northeast Thailand historical patch-level analysis[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004,101(2/3):155-169.

[5] 龚俊杰,杨华,邓华锋,等.北京明长城森林景观空间结构的分形特征及稳定性[J].北京林业大学学报,2014,36(6):54-59.

[6] Jia Baoquan, Zhang Zhiqiang, Ci Longjun, et al. Oasis land-use dynamics and its influence on the oasis environment in Xinjiang, China[J]. Journal of Arid Environments, 2004,56(1):11-26.

[7] 张绘芳,朱雅丽,地力夏提·包尔汉,等.阿尔泰山林区云杉和落叶松生物量分配格局研究[J].南京林业大学学报:自然科学版,2017,41(1):203-208.

[8] 董文婷.新疆阿勒泰林场林地保护与利用研究[J].林业调查规划,2013,38(3):51-54.

[9] 郑拴丽.新疆天山雪岭云杉和阿尔泰山西伯利亚落叶松生物量、碳储量及空间分布格局研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2016.

[10] 郑拴丽,许文强,杨辽,等.新疆阿尔泰山森林生态系统碳密度与碳储量估算[J].自然资源学报,2016,31(9):1553-1563.

[11] 黄力平,高亚琪,李云,等.阿尔泰山中东部西伯利亚落叶松生长量及其对气候变化的响应研究[J].干旱区地理,2015,38(6):1169-1178.

[12] 赵峰,刘华等.三江源典型区湿地景观稳定性与转移过程分析[J].生态环境学报,2010,19(3):712-717.

[13] 刘延国,王青,王军.官司河流域土地覆被景观稳定性及其环境效应[J].水土保持研究,2012,34(5):69-74.

[14] 彭保发,陈端吕,李文军,等.土地利用景观格局的稳定性研究:以常德市为例[J].地理科学,2013,33(12):1484-1488.

[15] 张绘芳,地力夏提·包尔汉,朱雅丽,等.新疆疣枝桦与欧洲山杨生物量分配与异速生长模型分析[J].西北林学院学报,2017,32(5):33-38.

[16] 邬建国.景观生态学—概念与理论[J].生态学杂志,2000,19(1):42-52.

[17] 肖笃宁.景观生态学[M].1版.北京:科学出版社,2003:33-59.

[18] 孙才志,闫晓露,钟敬秋.下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局[J].生态学报,2014,34(2):247-257.

[19] 张娟,党耀国,李雪梅.基于前景理论的灰色多指标风险型决策方法[J].计算机工程与应用,2014,50(22):7-10.

[20] 周亚东,周兆德.基于GIS与Fragstats的海南岛森林景观格局研究[J].中南林业科技大学学报,2015,35(5):78-83.

[21] 王言富.双河小流域森林景观格局的稳定性研究[J].四川林勘设计,2016(1):38-41.

[22] 陈冬洋.基于MCR和稳定性模型的东方市景观格局空间优化研究[D].湖南 株洲:中南林业科技大学,2016.

[23] 刘隆德,王安喜,孟伟.基于Kriging的册亨县森林景观稳定性分析[J].中南林业科技大学学报,2017(11):14-18.

[24] 李锐,李际平,袁晓红,等.基于RS和GIS的人工林景观稳定性研究:以常德市桃源县龙潭镇为例[J].中南林业科技大学学报,2017,37(1):85-93.

[25] 吕思彤,曹萍麟,舒清态,等.高寒山区森林景观稳定性评价模型分析:以碧塔海保护区为例[J].山东林业科技,2015,45(2):31-35.

[26] 吴志文,谢双喜.贵州苏铁自然保护区森林群落稳定性研究[J].中南林业调查规划,2011,29(4):45-49.

[27] 崔文举,舒清态,刘满宾,等.西双版纳热带林森林景观稳定性研究[J].云南地理环境研究,2010,22(2):29-33.

[28] 任平,洪步庭,程武学,等.长江上游森林生态系统稳定性评价与空间分异特征[J].地理研究,2013,32(6):1017-1024.