

DOI: 10.5846/stxb201404170757

张明霞,王得祥,彭舜磊,黄雅昆,张岗岗.秦岭松栎混交林群落的稳定性.生态学报,2015,35(8):2564-2573.

Zhang M X, Wang D X, Peng S L, Huang Y K, Zhang G G. Community stability analysis for the oak-pine mixed forest in Qinling Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(8): 2564-2573.

## 秦岭松栎混交林群落的稳定性

张明霞<sup>1</sup>, 王得祥<sup>1,\*</sup>, 彭舜磊<sup>2</sup>, 黄雅昆<sup>1</sup>, 张岗岗<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 西北农林科技大学, 杨凌 712100

<sup>2</sup> 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

**摘要:** 松栎混交林是秦岭最为典型的森林类型之一, 其稳定性程度对于秦岭生物多样性维持、水碳平衡及气候调节等至关重要。以秦岭火地塘林区松栎混交林 28 个样地为研究对象, 对 28 个群落指标进行调查, 通过主成分分析, 得出稳定性综合指数值 ( $F$ ) 并进行 Ward 聚类, 采用 Mantel-最优聚类簇数分析确定最优聚类簇数, 对通过  $F$  值聚类的样地进行分组划分, 确定稳定性等级。结果表明: 松栎混交林的稳定性分为 3 个等级, 稳定性高的样地:  $F$  值在 0.66—1.13 之间, 平均林龄 58a, 占样地总数的 39.3%; 稳定性中等的样地:  $F$  值在 -0.28—0.34 之间, 平均林龄 46a, 占样地总数的 42.8%; 稳定性低的样地:  $F$  值在 -2.34—-1.26 之间, 平均林龄 42a, 占样地总数的 17.9%。前 3 个主成分中灌木层、草本层多样性指数、海拔、土壤水分物理指标, 林分密度和优势树种胸径荷载较大, 是影响群落稳定性的主要因子。 $F$  值与乔木层 Shannon-Wiener 指数、灌木层 Simpson 指数、草本层物种丰富度线性拟合均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 与海拔和坡度多元曲线拟合达到极为显著的水平 ( $R^2 = 0.786$ ,  $p < 0.0001$ )。在海拔 1212—1708 m, 坡度 31—49° 的生境, 松栎混交林的稳定性较大, 在海拔 1900 m 以上的生境, 松栎混交林稳定性较低。

**关键词:** 松栎混交林; 群落稳定性; 生物多样性; 环境因子; 主成分分析

## Community stability analysis for the oak-pine mixed forest in Qinling Mountains

ZHANG Mingxia<sup>1</sup>, WANG Dexiang<sup>1,\*</sup>, PENG Shunlei<sup>2</sup>, HUANG Yakun<sup>1</sup>, ZHANG Ganggang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

<sup>2</sup> Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

**Abstract:** Oak-pine mixed forests is one of the most typical types of forest in Qinling Mountains, and its stability plays an important role in the biodiversity maintenance, carbon and water balance, and climate regulation in the Qinling Mountains. Common constructive tree species of oak-pine mixed forests in Qinling region include *Pinus tabulaeformis*, *P. armandi*, *Quercus aliena* var. *acuteserrata*, and *Quercus acutissima*. Community stability of the pine-oak mixed forests is of great importance to their eco-functions regarding biodiversity maintenance, water-carbon balance, climatic regulation, and water-soil conservation in the vast area of Qinling Mountains. However, quantitative evaluation for the community stability of pine-oak mixed forests is presently lacking. The aims of the present study included: (1) to evaluate community stability of oak-pine mixed forest; (2) to explore the relationship between community stability and biodiversity of pine-oak mixed forest; and (3) to clarify spatial distribution pattern of oak-pine mixed forest community stability. Twenty-eight forest plots were selected from a typical oak-pine mixed forest community in the Huoditang Forest Area in Qinling region and surveyed based on the theory of multi-indicator multi-factor comprehensive evaluation. 28 community indicators were investigated in 28 plots, and were analyzed by PCA to get stability index values ( $F$ ) in Huoditang forest region of Qinling Mountains.  $F$  values

基金项目: 林业公益性行业科研专项项目 (201104045); 国家自然科学基金项目 (31470644)

收稿日期: 2013-04-17; 修订日期: 2014-11-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangdx66@126.com

were clustered by Ward clustering method, and the cluster groups were cut by Mantel- optimal number of clusters (Ward clustering). Stability classes were classified according to the cluster groups. The results showed that: the stabilities were divided into three grades: high stable plots:  $F$  value was from 0.66 to 1.13, average stand age was 58, accounted for total plot of 39.3%, medium stable plots:  $F$  value was from -0.28 to 0.34, average stand age was 46, accounted for total plots of 42.8%, low stable plots:  $F$  value was from -2.34 to -1.26, average stand age was 42, accounted for total plots of 17.9%. Among first 3 main components, diversity indexes of shrub and herb layer, elevation, soil moisture physical properties, stand density and  $DBH$  of dominant tree species undertook large load, and were key factors that influenced community stability.  $F$  value was significantly negatively linear fitted Shannon-Wiener index of the tree layer, and positively linear fitted with of Simpson index of shrub layer and species richness of herbaceous layer ( $P < 0.01$ ). Multivariate curve fitting reached significant levels between  $F$  values and elevation and slope ( $R^2 = 0.786$ ,  $P < 0.0001$ ). Greater stability of pine-oak mixed forests was in the habitats at the elevation of 1212—1708 m, and slope of 31—49°, if elevation was above 1900 m, stability of oak-pine mixed forest would be sharply decreased.

**Key Words:** oak-pine mixed forest; community stability; biodiversity; environmental factors; principal component factor analysis

秦岭是我国重要的生物多样性自然保护区和南水北调水源涵养林区,松栎混交林面积占秦岭林区森林面积的 60% 以上,是秦岭最具典型性的森林群落之一,主要分布在海拔 1300—1800 m 之间,常见的建群种为油松(*Pinus tabulaeformis*)、华山松(*Pinus armandii*)和锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)等,多以松栎混交林或块状纯林镶嵌分布。这类森林的稳定性程度直接关系到秦岭生物多样性维持、水碳平衡、气候调节、水土保持以及水源涵养等生态服务功能的发挥,其稳定性评价对于秦岭松栎混交林的可持续经营、生态管理与恢复具有重大意义。

稳定性是森林群落结构与功能的一个综合性特征<sup>[1]</sup>。自 1955 年 MacArthur 提出群落稳定性概念后,群落稳定性的概念引起了广泛争论<sup>[2]</sup>,一般从群落的抗干扰性、恢复性、持续性和变异性 4 个方面定义群落的稳定性<sup>[3]</sup>。其中抗干扰性和恢复性关注群落受干扰后的变化,是目前比较公认的稳定性概念<sup>[4]</sup>。马姜明和李昆<sup>[5]</sup>总结了森林群落稳定性的 3 种测度和评价方法:(1) M.Godron 稳定性测定法。是根据森林群落中所有植物种的数量和这些种的累积频度进行计算 Godron 稳定性指数对群落稳定性进行分析<sup>[2,6-7]</sup>,该方法不能从生境异质性方面解释稳定性机理;(2) 演替与比较相结合的方法。通过转移概率对比分析平衡群落内各种群所占的比例和现状群落各种种群所占比例来确定群落稳定性<sup>[2]</sup>,但需长期监测群落的时间动态;(3) 综合评价法。很多学者在对森林群落调查的基础上,建立评价指标体系,运用模糊评判<sup>[8-9]</sup>、主成分分析<sup>[10-11]</sup>等方法对森林群落的稳定性进行评价。该方法考虑因素较为全面,但人为划分评价等级的方法,有一定的主观性。另外,很多学者提出多样性产生稳定性的假说,至今尚未达成共识<sup>[12-13]</sup>。综上所述,群落的稳定性的度量迄今为止尚没有一个统一的方法<sup>[14]</sup>。稳定性是群落的一个综合特征,需要对森林植被自身状况及其外部环境因素进行全面调查和分析<sup>[5]</sup>,才能客观真实评价森林群落的稳定性。

秦岭松栎混交林 20 世纪 60—70 年代曾受过人为采伐的干扰,在部分地段引种了华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)<sup>[15]</sup>。这类林分受到干扰后,经过多年的封山育林和天然林保护,其稳定性程度如何,制约其稳定性的主要因素有哪些,松栎混交林在秦岭分布海拔梯度较大,秦岭地貌复杂,海拔、坡度、坡向对稳定性有何影响? 这些问题很少有文献报道。本文以秦岭火地塘林区不同海拔梯度的松栎混交林为研究对象,通过对 28 个松栎混交林 28 群落学个指标的调查,建立科学合理的评价指标体系,对其稳定性进行综合评价,探讨制约松栎混交林稳定性的影响因素,分析稳定性的空间分布特征,旨在为秦岭林区松栎混交林的可持续经营及生态系统管理提供理论支撑与实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区选择在陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站所在的火地塘林区,位于秦岭南坡中段(33°25′—33°29′N, 108°25′—108°30′E)。该林区属于中国的北亚热带和暖温带过渡区。年平均气温 8—10℃,年积温为 2200—3100℃;无霜期 199 d;年降水量为 900—1200 mm,年蒸发量 800—950 mm。区内地貌破碎,山势陡峭,坡度平均为 35°左右;土壤主要是山地棕色森林土,土层厚度约 45—105 cm, pH 值一般在 5.14—5.81。植物种类繁多,森林覆盖率达 93.8%。20 世纪 60—70 年代,中山地带进行全面的森林主伐,现存森林植被多为恢复起来的天然次生林,分布集中且面积较大,部分地段有一定面积的人工林<sup>[16]</sup>。松栎混交林带,主要分布于海拔 1300—1800 m 的低中山地带,主要建群树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)和华山松(*Pinus armandii*)等。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地设置与调查

在秦岭火地塘林区,选择松栎混交林(油松、华山松、锐齿栎和麻栎等)作为研究对象,在有代表性的地段按照海拔、坡度、坡向等因子梯度分别设置面积为 20 m × 20 m 的样地 28 个(表 1),在每个样地内设置 5 m × 5 m 的灌木样方、1 m × 1 m 的草本样方各 5 个。对乔木进行每木检尺,生长锥确定树龄,围尺测其胸径(游标卡尺测幼树的地径),并记录乔木树种名称、年龄、树高、胸径、枝下高、冠幅、郁闭度、枯死木、死亡原因、坐标定位等;灌木和草本分别记录其种名、多度、盖度、株数、频度等。物种丰富度(*S*)、Simpson 指数(*D*)、Shannon-Weiner 指数(*H'*)、Pielou 均匀度(*J<sub>sw</sub>*)指数的计算方法见文献<sup>[14]</sup>。

土壤调查及测试:按照常规调查方法在每个乔木样地内中部和两端选取样点 3 个,共 84 个。用土钻每 20 cm 为一层进行分层取样,取至母质层处(80—100 cm)。所取土样装入对应标记的采样袋内。并在样地内对应采样点上挖取土壤剖面,用环刀按不同土层取土测定鲜重后装入铝盒,实验室进行土样分析。土壤水分采用烘干法,土壤容重采用环刀法。土壤容重、最大持水量、最小持水量、毛管持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度的计算方法见文献<sup>[17-18]</sup>。

表 1 秦岭松栎混交林调查样地概况

Table 1 Background information of oak-pine mixed forest plots in Qinling Mountains

| 样地编号<br>No. | 东经<br>Longitude/<br>(°) | 北纬<br>Latitude/<br>(°) | 海拔<br>Altitude/<br>m | 坡度<br>Slope/<br>(°) | 坡向<br>Aspect/<br>(°) | 坡位<br>Position | 林龄<br>Stand age/<br>a | 郁闭度<br>Canopy<br>density | 树种组成/<br>(总个体数)<br>Tree species/Count |
|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 1           | 108.564                 | 33.564                 | 1410                 | 49                  | 265                  | 上              | 81                    | 0.43                     | 麻 4 华 3 油 3 (15)                      |
| 2           | 108.544                 | 33.544                 | 1454                 | 25                  | 210                  | 中              | 55                    | 0.88                     | 麻 4 油 3 (34)                          |
| 3           | 108.614                 | 33.564                 | 1164                 | 31                  | 90                   | 下              | 45                    | 0.78                     | 锐 4 油 3 (57)                          |
| 4           | 108.542                 | 33.526                 | 1587                 | 35                  | 37                   | 上              | 45                    | 0.85                     | 锐 4 油 2 华 1 (71)                      |
| 5           | 108.584                 | 33.568                 | 1261                 | 35                  | 90                   | 中              | 45                    | 0.80                     | 油 4 锐 3 (70)                          |
| 6           | 108.584                 | 33.568                 | 1270                 | 30                  | 35                   | 上              | 50                    | 0.85                     | 锐 5 油 4 (89)                          |
| 7           | 108.599                 | 33.566                 | 1212                 | 40                  | 0                    | 中              | 60                    | 0.75                     | 锐 3 油 3 白 1 (54)                      |
| 8           | 108.533                 | 33.533                 | 1393                 | 42                  | 270                  | 下              | 50                    | 0.45                     | 麻 3 油 3 锐 1 (42)                      |
| 9           | 108.452                 | 33.435                 | 1680                 | 30                  | 75                   | 上              | 45                    | 0.75                     | 油 5 锐 3 华 2 (41)                      |
| 10          | 108.430                 | 33.430                 | 1498                 | 38                  | 0                    | 中              | 45                    | 0.6                      | 锐 4 油 4 (29)                          |
| 11          | 108.438                 | 33.438                 | 1533                 | 28                  | 350                  | 下              | 60                    | 0.87                     | 锐 4 油 2 华 2 (40)                      |
| 12          | 108.452                 | 33.435                 | 1635                 | 25                  | 340                  | 下              | 60                    | 0.72                     | 华 3 油 3 锐 3 (23)                      |
| 13          | 108.469                 | 33.436                 | 1810                 | 27                  | 30                   | 中              | 60                    | 0.78                     | 锐 5 油 3 (51)                          |
| 14          | 108.439                 | 33.439                 | 1708                 | 35                  | 80                   | 中              | 65                    | 0.70                     | 锐 4 铁 3 油 1 (61)                      |
| 15          | 108.452                 | 33.435                 | 1702                 | 25                  | 355                  | 中              | 50                    | 0.60                     | 锐 4 油 2 华 2 (43)                      |

续表

| 样地编号<br>No. | 东经<br>Longitude/<br>(°) | 北纬<br>Latitude/<br>(°) | 海拔<br>Altitude/<br>m | 坡度<br>Slope/<br>(°) | 坡向<br>Aspect/<br>(°) | 坡位<br>Position | 林龄<br>Stand age/<br>a | 郁闭度<br>Canopy<br>density | 树种组成/<br>(总个体数)<br>Tree species/Count |
|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 16          | 108.471                 | 33.438                 | 1835                 | 44                  | 220                  | 上              | 50                    | 0.72                     | 锐 2 华 2 铁 (68)                        |
| 17          | 108.419                 | 33.436                 | 1582                 | 38                  | 20                   | 中              | 45                    | 0.83                     | 锐 4 油 4 (45)                          |
| 18          | 108.547                 | 33.563                 | 1387                 | 38                  | 55                   | 上              | 55                    | 0.78                     | 锐 4 毛 2 油 2 (52)                      |
| 19          | 108.460                 | 33.456                 | 1969                 | 27                  | 235                  | 上              | 40                    | 0.70                     | 锐 2 落 1 华 1 (66)                      |
| 20          | 108.438                 | 33.438                 | 1521                 | 42                  | 215                  | 下              | 45                    | 0.72                     | 锐 2 油 2 华 1 (48)                      |
| 21          | 108.471                 | 33.433                 | 1643                 | 33                  | 25                   | 下              | 45                    | 0.75                     | 锐 5 油 1 (63)                          |
| 22          | 108.481                 | 33.443                 | 1768                 | 20                  | 0                    | 下              | 50                    | 0.75                     | 锐 3 油 3 华 2 (39)                      |
| 23          | 108.434                 | 33.436                 | 1658                 | 29                  | 0                    | 中              | 24                    | 0.65                     | 锐 3 油 2 华北 1 华 1 (56)                 |
| 24          | 108.454                 | 33.438                 | 1665                 | 33                  | 0                    | 中              | 26                    | 0.85                     | 锐 4 油 4 (71)                          |
| 25          | 108.464                 | 33.457                 | 1908                 | 28                  | 170                  | 下              | 30                    | 0.8                      | 锐 2 油 2 华 2 (31)                      |
| 26          | 108.463                 | 33.457                 | 1920                 | 24                  | 20                   | 中              | 40                    | 0.75                     | 锐 2 华 2 华北 1 (34)                     |
| 27          | 108.456                 | 33.456                 | 1903                 | 15                  | 70                   | 下              | 40                    | 0.7                      | 油 1 锐 1 其他针叶 2 (58)                   |
| 28          | 108.461                 | 33.456                 | 1893                 | 25                  | 90                   | 下              | 60                    | 0.85                     | 铁 2 锐 2 华 1 (81)                      |

坡向以正南方为 0° 起点,按顺时针记录样地坡向

### 1.3 松栎混交林稳定性评价方法

#### 1.3.1 评价指标体系的构建

为了全面、客观、真实地评价松栎混交林的稳定性,选择 28 项表征群落结构和环境特征的森林群落调查指标(乔木层、灌木层、草本层物种丰富度、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数,郁闭度、更新幼苗数量、林分密度,优势树种平均胸径和树高,立木蓄积量,林龄,海拔,坡度,坡向,土壤容重,最大水量,最小持水量,毛管持水量,毛管孔隙度,非毛管孔隙度)构成评价指标体系,对该评价指标体系进行主成分分析。

#### 1.3.2 稳定性主成分分析方法

采用主成分分析法对群落的稳定性进行分析。首先,为统一量纲,对参评各指标值进行标准差标准化处理<sup>[19]</sup>。对标准化后的数据进行主成分分析,以累计贡献率达 85% 以上为参考值,确定主成分个数  $m$ 。

对各样地分别建立  $m$  个主成分方程,方程表达式如下:

$$Fi = \sum_{j=1}^{28} e_{ij} a_j \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, 28) \quad (1)$$

式中,  $F_i$  为第  $i$  个主成分方程;  $e_{ij}$  为特征向量;  $a_j$  为样地第  $j$  个指标的因子荷载量;依据标准化数据和公式 (1),计算出各样地  $m$  个主成分得分。

对  $m$  个主成分得分进行加权求和,得到各个样地松栎混交林群落综合稳定性指数  $F$ ,公式如下:

$$F = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_m F_m \quad (2)$$

式中,  $F$  为群落稳定性综合指数;  $\alpha$  为权重系数,即每个主成分的贡献率占  $m$  个主成分累计贡献率的百分比;  $F_1 \sim F_m$  为各个样地的  $m$  个主成分得分。

#### 1.3.3 稳定性高低等级划分方法

计算出 28 个样地松栎混交林的综合稳定性指数  $F$  后,采用 Ward 聚类方法对 28 个样地的稳定性指数  $F$  值进行聚类。为了避免人为划分聚类簇数的主观性,首先对 28 个样地 28 个群落调查指标进行 Ward 聚类,然后采用 Mantel-最优聚类簇数(Ward 聚类)确定最优聚类簇数,即通过各个簇数等级水平分割计算的原始距离矩阵和二进制矩阵的 Pearson 相关性分析,选择相关系数最大的点对应的簇数作为最优聚类簇数<sup>[20]</sup>,以此最优聚类簇数作为 28 个样地的稳定性指数  $F$  值聚类簇数,进行聚类组划分,聚类组划分结果即为稳定性高低等级,依据稳定性高低等级划分标准对各样地的稳定性进行评价。

#### 1.4 群落稳定性与物种多样性的关系分析

选择第一主成分中乔木层、灌木层和草本层物种多样性指数荷载最大的指标;乔木层 Shannon-Wiener 指数、灌木层 Simpson 指数和草本层物种丰富度指数  $S$ , 分别与稳定性综合指数  $F$  建立回归方程, 探讨群落稳定性与物种多样性的关系。

#### 1.5 松栎混交林稳定性的空间分布分析

选择第一主成分地形因子中荷载量较大的海拔和坡度作为自变量, 稳定性综合指数  $F$  作为因变量, 进行多元回归分析, 并绘制稳定性指数随海拔和坡度的变化图, 分析秦岭松栎混交林稳定性的空间分布规律。

#### 1.6 数据统计分析方法

用 R 软件 (Version 3.0.2, R Core Team) 中的 Scale 函数对松栎混交林的 28 个参评指标进行标准差标准化处理, 然后进行主成分分析 (PCA), 对稳定性综合指数值进行 Ward 聚类, 运用 vegan、ad4 和 ape 等软件包进行 Mantel-最优聚类簇数 (Ward 聚类) 分析。用 Sigmaplot 软件 (Version 12.5, Systat Software Inc) 对松栎混交林稳定性综合指数值与乔木层、灌木层和草本层多样性指数以及海拔、坡度等进行回归方程拟合并绘图。

### 2 结果与分析

#### 2.1 松栎混交林稳定性因子主成分分析

对乔木层物种丰富度等 28 个松栎混交林群落调查指标进行主成分分析 (表 2), 前 8 个主成分的累积贡献率达到 86.12%, 超过了 85%, 包含了 28 个指标的绝大部分信息量, 所以  $m = 8$ 。8 个主成分中, 前 3 个特征根和贡献率较大, 第一主成分的特征根为 7.11, 方程贡献率最大, 为 25.38%; 第二个主成分的特征根为 4.52, 贡献率为 16.13%, 第三个特征根为 3.82, 贡献率为 13.64%。

表 2 松栎混交林稳定性因子的特征根、贡献率和累积贡献率

Table 2 Eigenvalues, contribution rate, and cumulative contribution rate of principal components for community stability factors of oak-pine mixed forests in Qinling Mountains

| 主成分<br>Components | 特征根 Initial Eigenvalues |                            |                                         |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
|                   | 合计 Total                | 贡献率<br>Contribution rate/% | 累计贡献率<br>Cumulative contribution rate/% |
| 1                 | 7.11                    | 25.38                      | 25.38                                   |
| 2                 | 4.52                    | 16.13                      | 41.51                                   |
| 3                 | 3.82                    | 13.64                      | 55.15                                   |
| 4                 | 2.68                    | 9.57                       | 64.72                                   |
| 5                 | 2.36                    | 8.43                       | 73.16                                   |
| 6                 | 1.28                    | 4.56                       | 77.71                                   |
| 7                 | 1.24                    | 4.41                       | 82.13                                   |
| 8                 | 1.12                    | 3.99                       | 86.12                                   |

表 3 中划线的数字是对主成分影响较大的正或负指标。第一主成分中灌木层 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数荷载最大, 分别为 0.87、0.82、0.86, 其次是草本层物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数, 其荷载系数分别为 0.76、0.70 和 0.74, 体现了林下植被的多样性指数信息, 为正效应, 主要体现的是林下植被多样性信息。此外, 海拔的荷载也较大 (-0.72), 为负效应; 第二主成分中, 最大持水量、毛管持水量、土壤容重、最小持水量和非毛管孔隙度的荷载系数较大, 分别为 0.85、0.75、-0.73、0.70、0.65, 反映了土壤性质; 第三主成分中, 林分密度和优势木平均胸径的荷载较大, 分别 -0.75 和 0.73, 林分密度和优势木平均胸径与生物量密切相关, 反映的是林分生物量指标。第四主成分中林龄的荷载系数最大, 为 0.62, 体现的是林龄指标; 第五主成分中, 乔木层物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数荷载最大, 反映的是乔木层物种多样性指标; 第六主成分中, 坡度荷载最大; 第七主成分中, 更新幼苗数量荷载系数最大, 反映了林分更新潜力; 第八主成分中, 草本层 Pielou 均匀度荷载最大。

主成分得分和稳定性综合指数计算结果及排序结果如表 4 所示:前 3 个主成分、的得分值最高的是 10 号样地、14 号和 6 号样地,得分值最低的是 19 号和 25 号样地。前 3 个主成分得分低的样地稳定性综合指数值也低。28 个样地群落稳定性因子综合得分值随机分布在-2.34 到 1.13 之间,1 号样地稳定性综合指数值最大(1.13),19 号样地的综合分值最小(-2.34)。28 个样地稳定性综合指数值由高到低的排序为:1,8,14,6,7,5,12,10,17,3,18,15,4,21,2,22,9,24,16,11,20,23,13,25,26,28,27,19。

表 3 松栎混交林稳定性因子载荷矩阵

Table 3 Component matrix for community stability factors of oak-pine mixed forests in Qinling Mountains

| 群落变量<br>Community variables                        | 主成分荷载 Component matrix |              |              |             |             |              |             |             |
|----------------------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                                                    | 1                      | 2            | 3            | 4           | 5           | 6            | 7           | 8           |
| 乔木层丰富度 Arbor layer richness                        | -0.58                  | -0.41        | 0.08         | 0.16        | 0.55        | -0.04        | 0.21        | 0.08        |
| 乔木层 simpson 指数<br>Arbor layer simpson index        | -0.55                  | -0.39        | 0.39         | 0.40        | 0.38        | 0.06         | 0.14        | 0.15        |
| 乔木层 shannon 指数<br>Arbor layer shannon-weiner index | -0.59                  | -0.43        | 0.26         | 0.28        | <u>0.51</u> | 0.00         | 0.16        | 0.12        |
| 乔木层 pielou 均匀度指数<br>Arbor layer pielou index       | -0.33                  | -0.28        | 0.65         | 0.48        | -0.09       | -0.10        | -0.02       | 0.16        |
| 灌木层丰富度<br>Shrub layer richness                     | 0.04                   | -0.18        | 0.68         | -0.32       | 0.18        | 0.16         | -0.19       | 0.07        |
| 灌木层 simpson 指数<br>Shrub layer simpson index        | <u>0.87</u>            | 0.12         | 0.09         | 0.14        | 0.17        | 0.13         | 0.13        | 0.21        |
| 灌木层 shannon 指数<br>Shrub shannon-weiner index       | <u>0.82</u>            | 0.02         | 0.35         | 0.01        | 0.24        | 0.15         | 0.03        | 0.18        |
| 灌木层 pielou 均匀度<br>Shrub layer pielou index         | <u>0.86</u>            | 0.13         | -0.02        | 0.19        | 0.15        | 0.09         | 0.18        | 0.21        |
| 草本层丰富度 Herb layer richness                         | <u>0.76</u>            | -0.23        | 0.16         | -0.02       | 0.14        | -0.23        | 0.19        | -0.35       |
| 草本层 simpson 指数<br>Herb layer simpson index         | <u>0.70</u>            | 0.33         | 0.12         | -0.11       | 0.48        | -0.14        | 0.02        | -0.21       |
| 草本层 shannon 指数<br>Herb layer shannon-weiner index  | <u>0.74</u>            | 0.16         | 0.17         | -0.08       | 0.50        | -0.17        | 0.03        | -0.24       |
| 草本层 pielou 均匀度<br>Herb layer pielou index          | 0.47                   | 0.15         | -0.19        | -0.05       | 0.39        | 0.13         | -0.42       | <u>0.46</u> |
| 郁闭度 Canopy density                                 | -0.15                  | -0.11        | -0.31        | -0.40       | 0.27        | 0.50         | -0.15       | 0.00        |
| 更新幼苗数量 Seedling number                             | 0.07                   | -0.15        | -0.40        | 0.21        | -0.33       | 0.13         | <u>0.64</u> | 0.27        |
| 林分密度 Stand density                                 | -0.30                  | -0.26        | <u>-0.75</u> | -0.23       | 0.20        | 0.01         | -0.04       | 0.08        |
| 优势木平均胸径<br>The average DBH of dominant trees       | 0.18                   | 0.28         | <u>0.73</u>  | 0.02        | -0.49       | 0.05         | 0.03        | 0.05        |
| 优势木平均高<br>The average height of dominant trees     | 0.08                   | 0.49         | 0.56         | -0.44       | -0.13       | 0.14         | 0.23        | 0.17        |
| 样地内乔木蓄积量<br>Stand volume                           | -0.18                  | 0.51         | 0.26         | -0.55       | -0.18       | 0.14         | 0.21        | 0.20        |
| 林龄 Stand age                                       | 0.05                   | 0.21         | -0.16        | <u>0.62</u> | -0.32       | 0.18         | -0.25       | -0.20       |
| 海拔 Altitude                                        | <u>-0.72</u>           | 0.07         | 0.46         | -0.18       | 0.22        | 0.06         | -0.01       | -0.16       |
| 坡度 Slope                                           | 0.46                   | 0.20         | -0.12        | 0.28        | -0.06       | <u>-0.60</u> | -0.09       | 0.32        |
| 坡向 Aspect                                          | 0.06                   | 0.00         | 0.51         | 0.55        | -0.17       | 0.19         | -0.31       | 0.01        |
| 土壤容重 Soil bulk density                             | 0.28                   | <u>-0.73</u> | 0.37         | -0.31       | -0.14       | -0.09        | -0.05       | -0.13       |
| 最大持水量 Maximum water holding capacity               | -0.36                  | <u>0.85</u>  | -0.11        | 0.27        | 0.22        | 0.05         | -0.02       | 0.00        |
| 最小持水量 Minimum water holding capacity               | -0.46                  | <u>0.70</u>  | 0.14         | 0.02        | 0.17        | -0.16        | 0.31        | -0.19       |
| 毛管持水量 Capillary water holding capacity             | -0.53                  | <u>0.75</u>  | -0.10        | 0.07        | 0.19        | -0.18        | -0.08       | 0.15        |
| 非毛管孔隙度 Non-capillary porosity                      | 0.07                   | 0.65         | -0.03        | 0.44        | 0.19        | 0.39         | 0.06        | -0.27       |
| 毛管孔隙度 Capillary porosity                           | -0.60                  | 0.37         | 0.21         | -0.32       | 0.00        | -0.34        | -0.21       | 0.13        |

表中下划线数字是对主成分影响较大的正或负指标

表 4 松栎混交林 28 个样地稳定性因子主成分得分及稳定性综合指数排名

Table 4 Principal component analysis scores and ranks for 28 plots of oak-pine mixed forests in Qinling Mountains

| 样地号<br>No. of plots | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $F_5$ | $F_6$ | $F_7$ | $F_8$ | 稳定性综合指数<br>Stability index $F$ | 排名<br>Rank |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|------------|
| 1                   | 1.88  | 1.43  | -2.74 | 2.37  | 4.05  | 2.40  | 0.12  | -0.96 | 1.13                           | 1          |
| 2                   | 2.47  | -2.02 | -1.80 | -0.39 | 1.83  | -1.74 | 0.36  | 1.12  | 0.18                           | 15         |
| 3                   | 2.05  | -0.95 | 1.82  | 0.54  | -0.95 | 0.28  | -0.39 | 0.51  | 0.70                           | 9          |
| 4                   | 1.85  | -1.62 | 1.41  | -1.06 | -1.33 | 1.09  | 0.65  | 0.56  | 0.33                           | 13         |
| 5                   | 1.79  | -1.81 | 3.42  | 0.23  | -0.10 | -1.21 | 2.47  | -3.26 | 0.66                           | 11         |
| 6                   | 1.77  | -1.26 | 4.23  | -1.32 | 0.99  | 0.12  | -0.57 | 0.54  | 0.91                           | 4          |
| 7                   | -0.53 | 1.89  | 3.16  | 1.59  | 1.22  | 0.05  | -2.69 | -1.72 | 0.78                           | 6          |
| 8                   | 2.84  | -1.29 | -0.37 | 1.24  | 1.56  | 2.19  | 0.31  | 0.99  | 1.01                           | 2          |
| 9                   | 0.03  | 2.46  | -1.76 | -2.67 | 0.88  | -0.06 | 1.01  | -0.35 | 0.01                           | 17         |
| 10                  | 3.89  | -0.47 | -1.39 | -1.72 | 0.55  | 1.07  | 0.01  | -0.24 | 0.75                           | 7          |
| 11                  | 2.01  | -0.89 | -2.80 | 0.33  | -1.21 | -1.58 | 1.14  | -0.12 | -0.13                          | 20         |
| 12                  | 0.81  | 1.93  | -0.80 | 2.81  | 1.38  | -2.64 | -0.05 | 1.06  | 0.83                           | 5          |
| 13                  | -3.48 | 1.85  | 1.57  | -0.76 | 0.85  | 0.56  | 1.42  | 2.18  | -0.23                          | 21         |
| 14                  | -1.09 | 4.74  | 1.86  | 0.89  | -0.38 | -0.55 | 0.20  | 0.45  | 0.93                           | 3          |
| 15                  | 0.61  | 1.61  | -1.37 | 1.27  | 0.36  | -1.53 | -0.31 | 0.01  | 0.34                           | 12         |
| 16                  | -1.86 | 2.71  | -0.73 | 2.75  | -3.48 | 1.48  | 0.58  | -0.69 | -0.11                          | 19         |
| 17                  | 3.23  | 0.28  | -0.18 | -1.56 | -0.98 | -0.34 | -0.17 | 0.78  | 0.72                           | 8          |
| 18                  | 1.13  | -2.22 | 2.76  | 1.79  | 0.32  | 0.10  | 0.77  | 1.02  | 0.68                           | 10         |
| 19                  | -6.24 | -3.17 | -0.53 | 0.44  | 0.60  | 0.67  | 0.51  | 0.14  | -2.34                          | 28         |
| 20                  | 0.57  | -0.54 | -1.56 | 1.67  | -2.60 | 0.65  | 0.06  | -0.83 | -0.25                          | 22         |
| 21                  | 1.36  | -0.45 | 0.80  | -0.73 | -2.03 | 0.40  | 0.37  | 0.19  | 0.21                           | 14         |
| 22                  | -0.69 | 2.78  | -0.35 | 0.08  | -1.59 | -0.64 | -0.60 | 0.77  | 0.09                           | 16         |
| 23                  | 2.31  | -2.10 | -0.75 | -1.23 | -1.23 | -0.39 | -3.22 | -0.10 | -0.28                          | 23         |
| 24                  | -1.98 | 3.95  | 1.36  | -3.99 | 0.87  | 0.48  | -0.36 | -0.53 | 0.00                           | 18         |
| 25                  | -1.44 | 0.16  | -3.36 | -2.57 | 0.05  | -0.21 | 0.49  | -1.43 | -1.26                          | 24         |
| 26                  | -2.36 | -1.86 | -1.90 | 0.13  | -0.45 | 0.30  | -1.74 | -0.16 | -1.46                          | 25         |
| 27                  | -5.35 | -2.29 | -0.62 | -0.21 | -0.93 | 0.27  | 0.01  | 0.92  | -2.16                          | 27         |
| 28                  | -5.59 | -2.85 | 0.63  | 0.09  | 1.75  | -1.19 | -0.38 | -0.87 | -2.02                          | 26         |

## 2.2 松栎混交林稳定性等级评价

对主成分分析得到的 28 个样地的稳定性综合指数值进行聚类(图 1),通过 Mantel-最优聚类簇数分析确定最优聚类划分簇数  $k=3$ (图 2),根据  $k=3$ ,将 28 个样地综合指数值划分为 3 个聚类组:Ⅰ组,Ⅱ组和Ⅲ组(图 1)。Ⅰ组包括 11 个样地:1、3、5、6、7、8、10、12、14、17、18 号,稳定性综合指数值在 0.66—1.13 之间,为稳定性高的样地,占调查样地总数的 39.3%。该组样地平均海拔 1411m,平均坡度 36°,平均林龄 58a;Ⅱ组包括 12 个样地:2、4、9、11、13、15、16、20、21、22、23、24 号,稳定性综合指数值在 -0.28—0.34 之间,为稳定性中等的样地,占调查样地总数的 42.8%。该组样地平均海拔 1655m,平均坡度 31°,平均林龄 46a;Ⅲ组包括 5 个样地:19、25、26、27、28 号,综合指数值在 -2.34—-1.26 之间,为稳定性低的样地,占调查样地总数的 17.9%。该组样地平均海拔 1919m,平均坡度 24°,平均林龄 42a(图 1 和表 1)。

## 2.3 松栎混交林群落稳定性与物种多样性的关系

由图 3 可知,稳定性综合指数随乔木层 Shannon-Wiener 指数的增加极显著降低( $R^2=0.614$ ,  $P<0.0001$ ),随灌木层 Simpson 指数的增加极显著增加( $R^2=0.497$ ,  $P<0.0001$ ),稳定性综合指数与草本层物种丰富度的关系符合二次曲线,先随草本层物种多样性丰富度的增加而增加,到达顶点后,随草本层物种多样性丰富度增加而下降( $R^2=0.309$ ,  $P<0.0098$ )(图 3)。

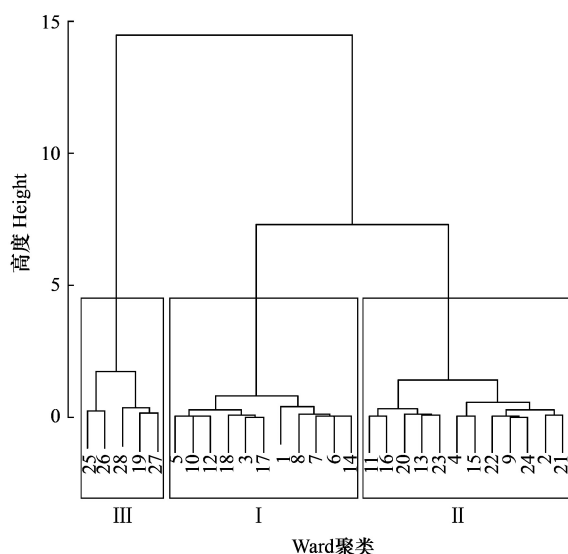


图1 秦岭松栎混交林 28 个样地稳定性综合指数值聚类

Fig.1 Stability index cluster for pine-oak mixed forests in Qinling Mountains

I: 稳定性高的类群 groups with high stability; II: 稳定性中等的类群 middle stability and low stability; III: 稳定性低的类群; respectively

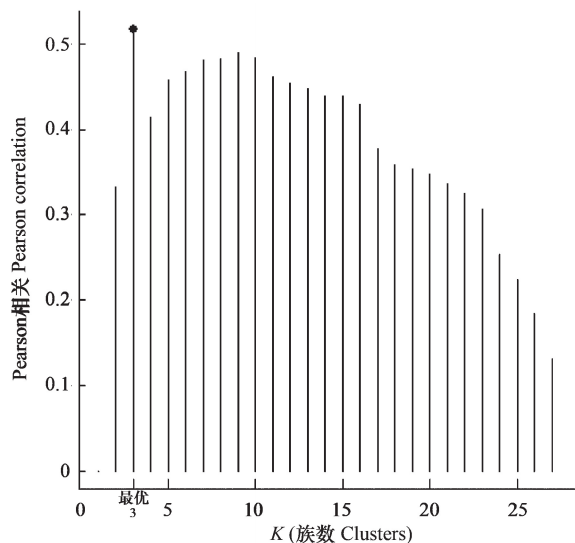


图2 Mantel-最优聚类簇数 (Ward 聚类) 确定

Fig.2 Mantel- optimal number of clusters (Ward clustering), optimal number of clusters

棒图指通过各个簇数等级原始距离矩阵和二进制矩阵的相关性, 选择相关系数最大的点对应的簇数作为最优聚类簇数 ( $k=3$ )

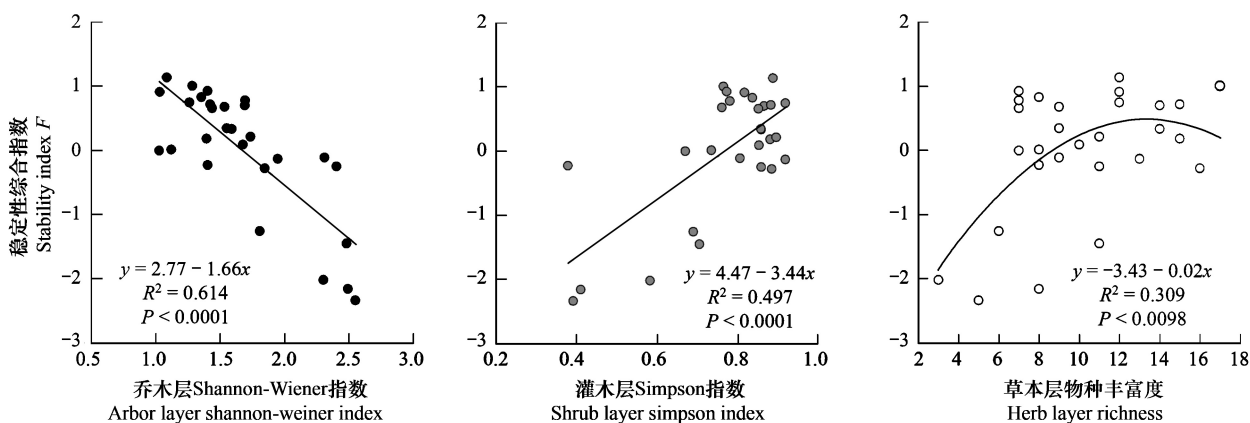


图3 松栎混交林稳定性综合指数与乔木层 Shannon-Wiener 指数、灌木层 Simpson 指数及草本层物种丰富度的关系

Fig.3 The relationship between scores of stable factors and indexes of arbor layer and underground forest layer in oak-pine mixed forests in Qinling Mountains

## 2.4 松栎混交林群落稳定性与地形因子的关系及空间分布特征

松栎混交林稳定性综合指数 ( $z$ ) 与海拔 ( $y$ ) 和坡度 ( $x$ ) 多元回归表明: 松栎混交林稳定性综合指数与海拔和坡度符合二元二次曲线 (图 4a), 曲线拟合度达到极显著水平 ( $R^2 = 0.786$ ,  $P < 0.0001$ ), 拟合方程为  $z = -14.18 + 0.05x + 0.02y - 0.0005x^2 - 0.000007y^2$ , 稳定性指数随坡度的增加而增加, 随海拔在 1200—1500m 范围内先升高, 之后下降, 在 1900m 左右降到最低。

由图 4b 可知, 坡度在 15—30° 间, 稳定性随海拔的升高而降低, 在 30—45° 间, 稳定性随海拔的升高起伏性较大, 在 1600—1800 m 海拔梯度内稳定性随坡度增加总体呈增加趋势, 之后随海拔升高稳定性迅速下降。

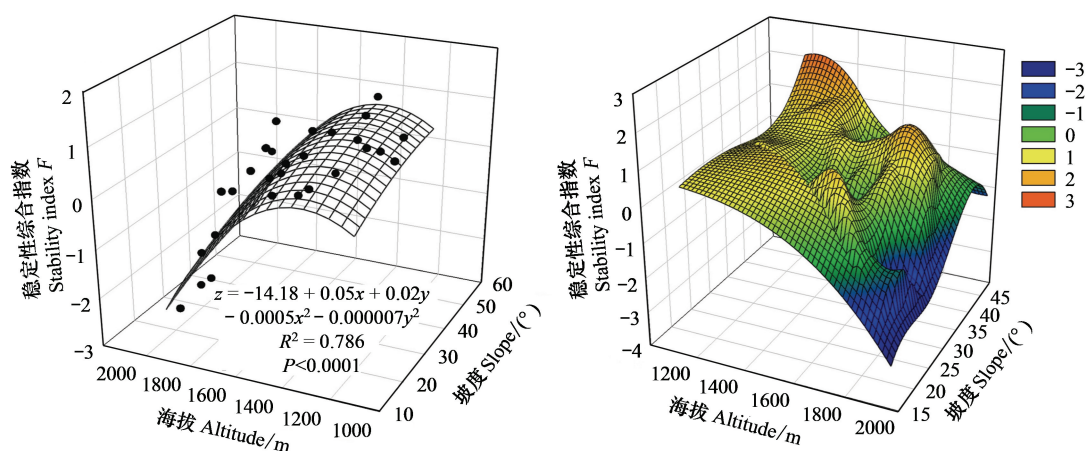


图4 秦岭松栎林群落稳定性与海拔和坡度的关系

Fig.4 The relationship between community stability and altitude and slope in oak-pine mixed forests in Qinling Mountains

### 3 结论与讨论

#### 3.1 秦岭松栎混交林的稳定性及主要影响因子

森林群落的稳定性是多种林分因子、环境因子和外界干扰综合作用的结果<sup>[21]</sup>。本研究前8个主成分累积贡献率达到86.12%,包含了28个指标的绝大部分信息。第一主成分体现的是林下植被物种多样性和海拔信息;第二主成分体现的是土壤质量;第三主成分为林分密度和优势木平均胸径;第四主成分是林龄指标;第五主成分体现的是乔木层物种多样性;第六主成分为坡度指标;第七主成分体现的是幼苗更新潜力;第八主成分为草本植物均匀度。其中第一主成分的灌木层、草本层多样性指数和海拔对该类林分的稳定性起关键作用,这与安丽娟等(2007)<sup>[22]</sup>的研究结果一致。林下植被是森林群落的重要组成部分,在森林生态系统物质循环、森林发育及演替等方面起着十分重要的生理生态作用<sup>[23]</sup>。Dovciak等<sup>[24]</sup>研究表明:草本层物种多样性与森林群落的稳定性密切相关;地上部分植被功能群物种丰富度的增加,有利于群落的稳定<sup>[2]</sup>。第二主成分中最大持水量、毛管持水量、土壤容重、最小持水量和非毛管孔隙度反映土壤性质。秦岭松栎混交林20世纪60—70年代主伐后,第I组的林龄平均已达58a,经过多年的封山育林和天然林保护,土壤质量明显增强<sup>[25]</sup>,有利于稳定性增加。森林恢复过程中,凋落物和死木质残体增多,土壤有机质增加,土壤动物和微生物活动活动频繁,有利于形成更多的土壤团聚体和大的非毛管孔隙,降低土壤容重,提高持水量,为群落保持稳定性提供水分与养分支持<sup>[26-27]</sup>。第三主成分为林分密度和优势木胸径指标,随恢复年限的增加,优势木胸径增大,同时林分密度降低,形成林隙,促进了灌木层和草本层多样性的增加,有利于松栎混交林的稳定。

秦岭稳定性低的样地仅占调查样地总数的17.86%,除与林下植被生物多样性降低、土壤退化、恢复年限短有关外<sup>[25]</sup>,还与人类引种外来树种华北落叶松等干扰活动有关,因为在19和26号样地内出现了外来树种华北落叶松,外来树种与乡土植被的距离较远,不利于林下乡土植物的恢复,降低了林下植物的物种多样性,导致这些样地的稳定性较低。建议对这2个样地的华北落叶松逐步择伐和改造,促进林下植被多样性的增加,增强群落稳定性。

#### 3.2 松栎混交林稳定性与多样性的关系

很多学者认为多样性产生稳定性,二者存在正相关关系<sup>[13, 28]</sup>。本研究表明:松栎混交林的稳定性与林下植被层的多样性呈正相关关系,支持多样性产生稳定性的理论。但是松栎混交林的稳定性随乔木层的生物多样性增加而下降。原因是松栎混交林随恢复年限的增加,郁闭度增大,乔木层种群间竞争加剧,林分自疏,林分密度降低,导致乔木层物种多样性的降低。但林分自疏后,林隙加大,促进了林下植被多样性的增加,有利于群落稳定,这与多样性产生稳定性的理论并不矛盾<sup>[22, 24]</sup>。

### 3.3 松栎混交林稳定性与地形因子的关系及空间分布特征

由于地形的异质性和人类在不同空间干扰活动强弱不同导致森林的稳定性在空间上具有异质性<sup>[29]</sup>。本研究通过多元统计分析表明海拔、坡度与稳定性综合指数二元二次曲线回归极为显著 ( $R^2 = 0.786$ ,  $P < 0.0001$ ), 与坡向的相关性较低。稳定性指数随海拔的增高而降低, 随坡度的增加而增加。在海拔 1212—1708m, 平均坡度 31—49° 的范围内, 松栎混交林的稳定性较大, 该空间气候条件温暖湿润, 土壤条件好, 有利于松栎混交林的发育与演替, 稳定性较高。在海拔 1900 m 以上, 已经超过松栎混交林在秦岭分布的上线, 故其稳定性明显降低。

#### 参考文献 (References):

- [1] 王国宏. 再论生物多样性与生态系统的稳定性. 生物多样性, 2002, 10(1): 126-134.
- [2] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探. 林业科学, 2000, 36(5): 28-32.
- [3] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. Ecology, 1996, 77(2): 350-363.
- [4] Grimm V, Schmidt E, Wissel C. On the application of stability concepts in ecology. Ecological Modelling, 1992, 63(1/4): 143-161.
- [5] 马姜明, 李昆. 森林生态系统稳定性研究的现状与趋势. 世界林业研究, 2004, 17(1): 15-19.
- [6] 高润梅, 石晓东, 郭跃东. 山西文峪河上游河岸林群落稳定性评价. 植物生态学报, 2012, 36(6): 491-503.
- [7] 马洪婧, 李瑞霞, 袁发银, 史珑燕, 关庆伟. 不同演替阶段栎树混交林群落稳定性. 生态学杂志, 2013, 32(3): 558-562.
- [8] 郭其强, 张文辉, 曹旭平. 基于模糊综合评判的森林群落稳定性评价体系模型构建——以黄龙山主要森林群落为例. 林业科学, 2009, 45(10): 19-24.
- [9] 宋启亮, 董希斌. 大兴安岭不同类型低质林群落稳定性的综合评价. 林业科学, 2014, 50(6): 10-17.
- [10] 闫东锋, 王向阳, 杨喜田. 主成分分析法和稳定度指数法评价森林群落稳定性比较. 河南农业大学学报, 2011, 45(2): 166-171, 182-182.
- [11] 赵昕, 张万军, 曹建生, 刘秀萍, 曾歆花, 沈会涛. 晋冀北部农牧交错区针阔树种人工林群落稳定性评价. 山地学报, 2014, 32(2): 171-178.
- [12] 黄建辉. 生态系统内的物种多样性对稳定性的影响 // 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性的原理和方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 178-191.
- [13] McCann K S. The diversity-stability debate. Nature, 2000, 405(6783): 228-233.
- [14] 张金屯. 数量生态学 (第二版). 北京: 科学出版社, 2011: 19-21.
- [15] 刘建军, 雷瑞德, 陈存根, 张硕新, 党坤良, 尚廉斌, 陈海滨, 相维宽. 近自然可持续发展的森林经营理论与秦岭林区森林经营对策. 西北林学院学报, 1996, 11(增刊): 163-169.
- [16] 彭舜磊, 王得祥. 秦岭主要森林类型近自然度评价. 林业科学, 2011, 47(1): 135-142.
- [17] 中国土壤学会土壤农化分析专业委员会. 土壤常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1965.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 王斌会. 多元统计分析及 R 语言建模. 广州: 暨南大学出版社, 2010.
- [20] Borcard D, Gillet F, Legendre P. Numerical Ecology with R. New York: Springer, 2011.
- [21] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems. Nature, 1984, 307(5949): 321-326.
- [22] 安丽娟, 朱志红, 王孝安, 郭华. 子午岭马栏林区主要森林群落的稳定性分析. 西北植物学报, 2007, 27(5): 859-863.
- [23] Sabatini F M, Burton J I, Scheller R M, Amatangelo K L, Mladenoff D J. Functional diversity of ground-layer plant communities in old-growth and managed northern hardwood forests. Applied Vegetation Science, 2013, 17(3): 398-407.
- [24] Dovčiak M, Halpern C B. Positive diversity-stability relationships in forest herb populations during four decades of community assembly. Ecology Letters, 2010, 13(10): 1300-1309.
- [25] 党坤良, 雷瑞德, 张硕新, 谭芳林. 秦岭南坡锐齿栎林、松栎混交林林地土壤特性研究. 西北林学院学报, 1996, 11(增刊): 127-151.
- [26] Francis G S, Fraser P M. The effects of three earthworm species on soil macroporosity and hydraulic conductivity. Applied Soil Ecology, 1998, 10(1/2): 11-19.
- [27] Rossi J P, Blanchart E. Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the western Ghats, southern India. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(6): 1093-1104.
- [28] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands. Nature, 1994, 367(6461): 363-365.
- [29] 张立敏, 陈斌, 李正跃. 应用中性理论分析局域群落中的物种多样性及稳定性. 生态学报, 2010, 30(6): 1556-1563.