

紫金山栓皮栎群落主要乔木种群的种间联结性

沈年华^{1,2}

(1. 江苏联合职业技术学院苏州旅游与财经分院,江苏 苏州 215104;2. 南京林业大学,江苏 南京 210037)

摘要:为探寻南京紫金山栓皮栎(*Quercus variabilis*)群落主要种群的种间联结性,采用方差比法、 χ^2 检验、联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)和点相关系数(Φ)对18个乔木种群的种间联结测定与分析。结果表明:栓皮栎群落的总体联结性 $VR < 1$, $\chi^2_{0.95}(56) < W < \chi^2_{0.05}(56)$,主要乔木种群总体表现为不显著负联结,各物种趋于独立,群落整体不稳定; χ^2 检验显示绝大多数(90.20%)的种对间联结不显著,种间联结较弱,群落处于不稳定演替阶段;联结系数AC测定表明大部分(70.59%)种对联结不显著,种间联结较为松散;共同出现百分率PC测定表明种间总体上联结较为松散,种间对生境的需求有所不同,同时出现的概率小;点相关系数 Φ 测定表明多数(57.52%)种对呈负联结,大部分种对(90.19%)的种间联结程度较弱。

关键词:栓皮栎;种群;种间联结;紫金山;南京

中图分类号:S718.54;S792.18 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2022.03.007

Interspecific associations of the tree populations of the *Quercus variabilis* community in Purple Mountain, Nanjing

Shen Nianhua^{1,2}

(1. Suzhou Tourism and Finance Institute, Jiangsu Union Technical Institute, Suzhou 215104, China;

2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract:To explore the interspecific association of the main populations of *Quercus variabilis* community in Purple Mountain, Nanjing, the variance ratio (VR), χ^2 test, association coefficient (AC), percentage co-occurrence coefficient (PC) and point correlation coefficient (Φ) were used to analyze and determine the interspecific associations of the 18 main tree populations. The results showed that there was no significant negative correlations among these 18 main tree populations based on VR less than one ($\chi^2_{0.95}(56) < W < \chi^2_{0.05}(56)$), as the species tended to be distributed independently and the community was unstable. The χ^2 test results showed that the majority (accounting for 90.20% of the total logarithm) of species pairs had no significant association, the interspecific association among the species was weak, and the community was in the stage of unstable succession. The determination of AC showed that most species (70.59%) had no significant pair association, and the interspecific association was relatively loose. The determination of PC showed that the interspecific connection was loose, the species generally had different needs for habitat, and the probability of simultaneous occurrence was small. The Φ showed that most species pairs (57.52%) showed negative association, and the interspecific association degree of most species pairs (90.19%) was weak.

Key words: *Quercus variabilis*; Population; Interspecific association; Purple Mountain; Nanjing

收稿日期:2022-03-30;修回日期:2022-04-26

基金项目:江苏省教育科学“十三五”规划课题“省级名师工作室引领作用及建设策略研究”(D/2016/03/70);江苏联合职业技术学院立项课题“五年制高职《园林植物》课程教学资源建设研究”(B/2020/10/079)

作者简介:沈年华(1983-),男,江苏苏州人,副教授,硕士。主要从事植物生态和植物资源学研究。Tel:13382410309;E-mail:nianhuashen@163.com

种间联结性是指植物群落生境中各物种在空间上的分布情况及其种间相互影响、相互制约的综合反映^[1-2],是群落生态系统中关键的数量和结构指标^[3],也是群落形成、演替、分类的基础和重要依据^[4]。分析不同物种间联结程度,对研究种间相互作用和群落的组成与动态有重要意义,它能反映现阶段群落组成的结构特点,也能在很大程度上表现群落未来的动态、演替趋势和演替进程^[5]。

栓皮栎(*Quercus variabilis*)为落叶乔木,是中国暖温带落叶阔叶林、亚热带常绿阔叶林中重要的建群种,先前研究者已从群落结构^[6]、种群动态^[7-8]、水源涵养功能^[9]、遗传结构^[10]等方面对紫金山栓皮栎林进行了有关研究。迄今为止,栓皮栎群落的种间联结性研究尚无报道,本文对紫金山栓皮栎群落主要乔木种群的种间联结性进行了研究,旨在探讨栓皮栎群落的种间关系,以揭示未来群落的组成情况与演替趋势,从而进一步为栓皮栎林的经营、更新、维持群落稳定提供科学的理论依据。

1 研究地概况

紫金山位于南京市的东部,约 32°01'—32°06'N, 118°48'—118°53'E,总面积达 3 008.8 hm²,其中森林面积 2 107.6 hm²,最高峰海拔达 448.9 m,相对高度 420.0 m。地处北亚热带季风性气候区,年均降水量 1 013.0 mm,年均日照 2 213 h,年平均气温 15.4 ℃。土壤以灰棕壤和黄棕壤为主。紫金山的栓皮栎林主要在西北区,明孝陵至灵谷寺及茅山南坡上部等地集中分布,为次生林,主要乔木树种有栓皮栎、麻栎(*Quercus acutissima*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、枫香树(*Liquidambar formosana*)和小叶栎(*Quercus chenii*)等;主要灌木树种有蓬蘽(*Rubus hirsutus*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)、白檀(*Symplocos paniculata*)、山胡椒(*Lindera glauca*)和山莓(*Rubus corchorifolius*)等;主要草本层植物有苔草(*Carex lanceolata*)、麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、天葵(*Semianguilegia adoxoides*)、猪殃殃(*Galium aparine*)和求米草(*Oplismenus undulatifolius*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

根据栓皮栎分布区域,分别在西北区、明孝陵、灵谷寺等地共设置典型样方 14 个,样方面积为 20 m×20 m,每块样方再划分为 4 个乔木样方,面积为 10 m×10 m,对样方内胸径≥4 cm 的树木进行每木

检尺,分别记录种名、数量、胸径、高度、冠幅等,同时记录样方的海拔、坡度、坡位和乔木层郁闭度等。

2.2 重要值计算

重要值是物种在群落中的地位和作用的综合性指标。乔木的重要值=相对密度+相对频度+相对显著度,根据重要值来筛选栓皮栎群落中主要的乔木种群。

2.3 总体联结性检验

采用方差比法(variance ratio, VR)来测定群落的总体关联性,计算表达式为

$$VR = \frac{S_T^2}{\sigma_T^2} = \frac{1/N \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2}{\sum_{i=1}^S n_i / N(1 - n_i / N)}$$

式中, S_T^2 为物种数的方差, σ_T^2 为物种出现频度方差, N 为样方的总数, T_j 为样方 j 内出现目标物种的总数, t 为全部样方物种的平均数, S 为物种的总数, n_i 为物种 i 出现的样方数^[11]。

采用统计量 $W = VR \times N$ 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度,当种间的总体联结性不显著时,则 W 落入由下面 χ^2 分布给出的界限范围内的概率达 90%,即

$$\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$$

2.4 种间联结性检验

2.4.1 建立 2×2 联列表,进行种间关联程度检验^[12] 根据调查数据,建立如表 1 的 2×2 联列表,为种间关联程度的测定提供基础数据。

表 1 2×2 联列表

物种		种 B		统计值
		出现 (1)	不出现 (0)	
种 A	出现 (1)	a	b	$a+b$
	不出现 (0)	c	d	$c+d$
	统计值	$a+c$	$b+d$	$N=a+b+c+d$

2.4.2 χ^2 检验 鉴于取样具有非连续性的特征,非连续数据的 χ^2 一般采用 Yates 公式来连续校正,计算表达式为

$$\chi^2 = \frac{N(|ad - bc| - 0.5N)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

2.5 种间关联度的测定

2.5.1 联结系数 AC 当 $ad \geq bc$, $AC = (ad - bc) / [(a+b)(b+d)]$; 当 $ad < bc$ 且 $d \geq a$, $AC = (ad - bc) / [(a+b)(a+c)]$; 当 $ad < bc$ 且 $d < a$, $AC = (ad - bc) / [(b+d)(c+d)]$

2.5.2 共同出现百分率 PC 共同出现百分率 PC 的计算表达式为 $PC=a/(a+b+c)$

2.5.3 点相关系数 ϕ 点相关系数 ϕ 的计算表达式为

$$\phi = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a + b)(a + c)(c + d)(b + d)}}$$

3 结果与分析

3.1 优势乔木组成

表 2 是紫金山栓皮栎群落乔木树种的重要值,选取重要值大于 2.5%的 18 个主要种群进行种间联结性分析。

表 2 主要乔木物种的组成及重要值 %					
序号	种名	相对密度	相对频度	相对显著度	重要值
1	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	27.34	16.84	60.85	105.02
2	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	4.25	6.19	14.46	24.90
3	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	7.22	6.53	2.30	16.05
4	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	3.68	6.53	5.47	15.68
5	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	6.94	6.87	0.86	14.67
6	小叶栎 <i>Quercus chenii</i>	8.07	2.75	2.57	13.39
7	白栎 <i>Quercus fabri</i>	3.68	5.15	4.32	13.16
8	紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	8.07	3.44	0.62	12.13
9	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	4.25	5.15	0.51	9.91
10	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	2.83	3.78	0.66	7.27
11	石楠 <i>Photinia serratifolia</i>	3.26	2.75	0.93	6.94
12	白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	2.55	4.12	0.22	6.89
13	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	1.70	2.75	1.96	6.41
14	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	2.12	3.44	0.24	5.80
15	青桐 <i>Firmiana simplex</i>	1.84	1.72	1.51	5.07
16	拐枣 <i>Hovenia acerba</i>	1.42	2.75	0.15	4.31
17	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	1.27	2.06	0.30	3.64
18	牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	0.71	1.72	0.14	2.57
19	其他	8.8	15.46	1.93	26.19

3.2 总体相关性

VR 为群落的总体关联指数,在独立性零假设条件下, $VR=1$,表示种间总体为无联结;当 $VR>1$ 时,表示种间总体上呈正联结;当 $VR<1$ 时,表示种间总体上呈负联结。计算出: $VR=2.381\ 4/2.765\ 3=0.861\ 2<1$,表明这 18 个乔木种群总体上呈现为负联结。

用统计量 W 来检验 VR 值偏离 1 的显著性: $W=VR\times N=0.861\ 2\times 56=48.227\ 2$,查 χ^2 的临界表: $\chi^2_{0.95}(56)=39.801$, $\chi^2_{0.05}(56)=74.468$,统计量 W 落入 χ^2 分布给出的界限范围内的概率有 90%,表明

18 个乔木种群之间总体上呈现不显著负联结,种群分布具有独立性,群落不够稳定,具有一定的波动性。

3.3 种对间的联结性

3.3.1 χ^2 检验 表 3 栓皮栎群落 18 个主要乔木种群的 χ^2 检验矩阵,呈正联结的种对有 63 对,占总对数的 41.18%。其中种对紫薇-石楠(16.48)、小叶栎-白栎(14.12)、紫薇-黄连木(9.64)、白檀-青桐(7.69)的 χ^2 值大于 $\chi^2_{0.01}(=6.635)$,说明这些种对间正联结达到了极显著,表明它们有相似的生境、资源需求。种对朴树-紫薇(6.11)、麻栎-刺槐(5.73)、女贞-牡荆(5.23)、马尾松-石楠(5.05)、黄连木-朴树(4.96)、紫薇-山胡椒(4.55)、山胡椒-石楠(4.44)、小叶栎-黄檀(4.11)的 χ^2 值处于 $\chi^2_{0.05}(=3.841)$ 和 $\chi^2_{0.01}(=6.635)$ 之间,表明这些种对间正联结达到了显著。

负联结的种对有 89 对,占总对数的 58.17%。其中种对山胡椒-白栎(5.90)、枫香树-紫薇(4.54)、白栎-白檀(3.98)的 χ^2 值处于 $\chi^2_{0.05}(=3.841)$ 和 $\chi^2_{0.01}(=6.635)$ 之间,表明这些种对间负联结达到了显著。

其他 138 个种对,占总对数的 90.20%,它们的 χ^2 值都较小,均未达到显著水平,表明种群间的联结性较弱,各种群分布的独立性较强,群落发育不成熟,处于不稳定的演替阶段。

3.3.2 联结系数 AC 分析 表 4 是栓皮栎群落 18 个主要乔木种群联结系数 AC 矩阵,从中可以看出,在 153 个种对中,有 63 个种对为正联结,89 个种对为负联结,正、负联结比 0.71。

联结系数 $AC\geq 0.5$ 的种对有 1 个,占总对数 0.65%,为紫薇-石楠(0.53),说明 2 者种对间正联结程度较高; $0.2\leq AC<0.5$ 的种对有 10 个,占总对数 6.54%,说明种对间呈不显著正联结性; $-0.2\leq AC<0.2$ 的种对有 71 个,占总对数 46.41%,说明种对间联结松散,分布趋于独立; $-0.5\leq AC<-0.2$ 的种对有 27 个,占总对数 17.65%,这些种对间呈不显著负相关; $AC<-0.5$ 的种对有 44 个,占总对数的 28.76%,说明种对间呈显著负联结,其中 AC 值为 -1 的有 32 个,占总对数的 20.92%。

栓皮栎 18 个乔木树种间有少部分种对间呈显著正联结或显著负联结,大部分(70.59%)种对间联结不显著,种间联结较为松散。

表 3 χ^2 检验

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	1.17																
3	0.56	0.13															
4	0.01	0.06	0.32														
5	0.00	0.00	0.57	0.18													
6	0.33	0.00	3.19	0.40	3.53												
7	0.12	0.04	0.81	0.07	5.90	14.12											
8	0.07	0.05	4.54	2.41	4.55	0.86	2.95										
9	0.12	2.25	1.03	0.07	1.82	2.01	2.94	0.02									
10	1.31	0.00	0.77	0.03	1.22	0.00	1.21	9.64	0.11								
11	0.33	0.00	3.19	5.05	4.44	0.49	2.01	16.48	1.37	0.80							
12	0.97	0.20	0.09	0.15	2.26	1.28	3.98	0.30	0.04	0.01	0.04						
13	0.33	5.73	2.07	0.96	0.08	0.49	0.09	0.86	2.01	1.06	0.49	2.76					
14	0.07	1.64	0.43	0.67	0.46	0.01	0.02	6.11	0.02	4.96	1.14	0.30	0.01				
15	0.03	0.01	0.04	0.04	0.08	0.08	0.79	0.23	0.03	0.32	0.08	7.69	1.11	0.23			
16	0.33	2.87	0.40	0.96	0.08	0.49	0.31	0.01	1.37	0.00	0.15	0.53	0.15	0.01	1.11		
17	0.11	0.16	0.18	0.24	0.34	4.11	0.76	0.23	1.17	0.12	0.19	0.05	0.19	0.42	0.00	0.19	
18	0.03	1.23	0.63	0.04	2.81	0.08	0.03	0.23	5.23	0.32	0.08	0.24	0.08	0.23	0.01	1.11	0.00

表 4 联结系数 AC 矩阵

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	-0.37																
3	0.04	-0.18															
4	-0.14	0.07	-0.22														
5	-0.11	0.04	-0.26	0.09													
6	-0.17	0.03	-1.00	0.08	-1.00												
7	0.02	-0.17	0.14	0.07	-0.81	0.38											
8	0.01	-0.07	-1.00	0.17	0.21	-1.00	-1.00										
9	0.02	-0.59	-0.41	-0.02	0.18	-1.00	-0.75	-0.25									
10	-0.29	0.03	-0.46	-0.20	0.13	-0.36	-0.66	0.45	-0.32								
11	0.02	-0.22	-1.00	0.20	0.18	-1.00	-1.00	0.53	0.14	0.15							
12	-0.27	0.08	-0.02	-0.26	0.17	-1.00	-1.00	-0.53	-0.07	0.07	-0.42						
13	-0.17	0.22	0.14	-0.63	-0.30	-1.00	-0.07	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.22					
14	-0.13	-0.69	-0.41	0.10	0.09	0.07	-0.25	0.39	-0.25	0.34	0.18	-0.53	-0.30				
15	0.01	-0.38	0.02	-0.41	-0.44	-1.00	-1.00	-1.00	0.05	0.00	-1.00	0.27	0.18	0.01			
16	0.00	-1.00	0.08	-0.63	0.01	-1.00	-0.53	-0.30	0.14	0.05	-0.13	0.13	-0.13	-0.30	0.18		
17	0.02	0.00	-0.02	-0.51	-0.53	0.30	0.10	-0.07	-1.00	0.08	-1.00	-0.22	0.02	-1.00	0.08	0.02	
18	-0.09	-1.00	0.08	-0.41	0.12	-1.00	-0.25	-1.00	0.19	0.00	-1.00	-0.07	-1.00	0.01	-1.00	0.18	-1.00

3.3.3 共同出现百分率 *PC* 分析 表 5 栓皮栎群落 18 个主要乔木种群联结系数 *PC* 矩阵, $0 < PC \leq 0.5$ 的种对数有 121 个, 占总对数的 79.08%, 表明种对间呈不显著关联; $PC = 0$ 的有 32 对, 占总对数

的 20.92%, 表明栓皮栎 18 个主要乔木种群总体上种群间联结较为松散, 对生境的需求有所不同, 同时出现概率小, 部分树种的分布趋于独立。

表 5 共同出现百分率 PC 矩阵

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	0.26																
3	0.36	0.16															
4	0.31	0.23	0.15														
5	0.33	0.23	0.15	0.26													
6	0.12	0.13	0.00	0.17	0.00												
7	0.28	0.14	0.26	0.21	0.03	0.44											
8	0.18	0.12	0.00	0.26	0.30	0.00	0.00										
9	0.28	0.06	0.10	0.17	0.30	0.00	0.03	0.09									
10	0.15	0.16	0.07	0.11	0.24	0.06	0.04	0.40	0.08								
11	0.16	0.08	0.00	0.29	0.27	0.00	0.00	0.50	0.21	0.19							
12	0.17	0.20	0.15	0.11	0.28	0.00	0.00	0.05	0.13	0.15	0.05						
13	0.12	0.30	0.23	0.04	0.08	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25					
14	0.16	0.04	0.07	0.21	0.20	0.13	0.09	0.33	0.09	0.31	0.20	0.05	0.06				
15	0.10	0.05	0.09	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.11	0.07	0.00	0.31	0.18	0.07			
16	0.14	0.00	0.17	0.04	0.12	0.00	0.05	0.06	0.21	0.12	0.07	0.18	0.07	0.06	0.18		
17	0.12	0.09	0.09	0.04	0.04	0.27	0.17	0.07	0.00	0.13	0.00	0.06	0.08	0.00	0.10	0.08	
18	0.08	0.00	0.14	0.04	0.19	0.00	0.05	0.00	0.25	0.07	0.00	0.06	0.00	0.07	0.00	0.18	0.00

表 6 点相关系数 Φ 矩阵

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	-0.20																
3	0.16	-0.09															
4	-0.07	0.07	-0.12														
5	-0.06	0.05	-0.14	0.10													
6	-0.15	0.05	-0.29	0.14	-0.30												
7	0.11	-0.07	0.16	0.08	-0.37	0.56											
8	0.04	-0.02	-0.33	0.26	0.33	-0.19	-0.28										
9	0.11	-0.24	-0.18	-0.01	0.22	-0.25	-0.27	-0.07									
10	-0.22	0.04	-0.16	-0.07	0.19	-0.07	-0.20	0.47	-0.10								
11	0.15	-0.06	-0.29	0.35	0.33	-0.17	-0.25	0.61	0.21	0.18							
12	-0.20	0.11	-0.01	-0.10	0.25	-0.21	-0.32	-0.13	-0.02	0.07	-0.09						
13	-0.15	0.37	0.25	-0.18	-0.09	-0.17	-0.02	-0.19	-0.25	-0.20	-0.17	0.28					
14	-0.11	-0.22	-0.14	0.16	0.14	0.08	-0.07	0.39	-0.07	0.36	0.21	-0.13	-0.06				
15	0.12	-0.08	0.04	-0.09	-0.10	-0.13	-0.19	-0.15	0.09	0.00	-0.13	0.45	0.23	0.02			
16	0.00	-0.28	0.14	-0.18	0.02	-0.17	-0.13	-0.06	0.21	0.06	-0.02	0.16	-0.02	-0.06	0.23		
17	0.13	0.01	0.00	-0.13	-0.14	0.35	0.18	-0.01	-0.21	0.12	-0.14	-0.04	0.02	-0.16	0.09	0.02	
18	-0.07	-0.22	0.17	-0.09	0.29	-0.13	-0.05	-0.15	0.38	0.00	-0.13	-0.01	-0.13	0.02	-0.10	0.23	-0.11

3.3.4 点相关系数 Φ 分析 表 6 是栓皮栎群落 18 个主要乔木种群的点相关系数 Φ 矩阵,正联结种对 61 个,占总对数 39.87%,其中 $\Phi \geq 0.5$ 的种对有 2 个,占总对数的 1.31%,如紫薇-石楠、小叶栎-白栎,表明它们之间正联结程度较强;负联结种对 88 个,占总对数 57.52%。 $-0.3 \leq \Phi < 0.3$ 的种对数有

138 个,占总对数的 90.19%,表明大部分种对的种间联结程度较弱。

4 结论与建议

群落演替过程中,种间关系会发生变化,而种间联结指标能够静态地指示出一定时期内群落中

物种间的关系,同时也能一定程度上反映种群与环境间的关系。在长期演替过程中,受到生境因子、种间竞争和人为干扰等影响,各个树种占据各自适宜的生态位,和谐共处。 VR 总体关联指数和检验表明,栓皮栎群落 18 个主要乔木种群总体呈不显著负联结,种间联结较弱,树种分布具有较强的独立性。

本文综合应用了 χ^2 检验、联结系数 AC 、共同出现百分率 PC 和点相关系数 Φ 进行测定。经测定,这些指标测定结果一致性较高,总体上, AC 、 PC 和 Φ 的测定结果都表明栓皮栎群落 18 个主要乔木种群间关联较弱,为不显著负相关,这与 χ^2 检验结果一致,说明栓皮栎群落整体结构不稳定,种间联结较为松散,各物种占据自己的生态位,分布具有较强的独立性。

栓皮栎群落处于不稳定的演替阶段,尽管种群间总体上对生境的需求不同,但也有种对,如紫薇—石楠,2 者呈正相关且所有测定结果都达到了显著,其中 χ^2 值为 16.48, AC 值为 0.53, Φ 值为 0.61,3 个指标都达到了极显著相关,说明它们对生境需求、生态习性相似。分析原因发现这 2 个树种都具有喜欢温暖湿润气候,喜光,稍耐阴,不耐水湿,喜肥沃、湿润而排水良好的土壤,具有一定的耐寒性特征。

经过各个联结指标的测定,可知栓皮栎群落 18 个乔木种群对联结程度弱的种对比例都较大,说明群落的稳定性较差。环境的干扰对群落的稳定性具有决定性的作用,对紫金山栓皮栎群落所在林分进行抚育间伐时,采用近自然经营方式为宜,以抚育间伐促进群落正向发育与群落自行演化相结合,

减弱人工抚育时对群落的干扰,最大限度保护物种多样性,保障林分稳定持续更新。

参考文献:

- [1] YANG Q W, LIU S J, HU C H, et al. Ecological species groups and interspecific association of vegetation in natural recovery process at Xiejiadian landslide after 2008 Wenchuan earthquake [J]. Journal of Mountain Science, 2016, 13(9): 1609-1620.
- [2] LEGENDRE P, LEGENDRE L. Numerical ecology [M]. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.
- [3] 陆龙龙,郭忠玲,范春楠,等.吉林磨盘山次生落叶阔叶林群落特征和稳定性分析[J].应用生态学报,2018,29(7): 2079-2087.
- [4] 刘翔宇,何 东,田文斌,等.浙江普陀山岛森林木本植物的种间关联格局[J].植物生态学报,2017,41(12): 1219-1227.
- [5] 胡 芳.喀斯特常绿落叶阔叶混交林群落稳定性及其影响因素[D].北京:中国科学院大学,2018.
- [6] 吴 迪,湛 斌,闫新利,等.紫金山栓皮栎枫香混交林群落结构与物种多样性[J].安徽农业大学学报,2017,44(1): 50-54.
- [7] 沈年华,李传磊,汤庚国.南京紫金山栓皮栎种群动态[J].福建林业科技,2015,42(3): 104-106.
- [8] 袁在翔,金雪梅,马婷瑶,等.南京灵谷寺栓皮栎种群结构与动态[J].生态学杂志,2017,36(6): 1488-1494.
- [9] 张志民.紫金山栓皮栎林水源涵养功能研究[D].南京:南京林业大学,2010.
- [10] 徐小林.栓皮栎群体遗传结构研究[D].南京:南京林业大学,2003.
- [11] 营 瑞,马姜明,莫燕华,等.桂林喀斯特石山櫟木群落不同恢复阶段种间联结研究[J].广西植物,2021,41(5): 746-757.
- [12] 叶权平,张文辉,于世川.桥山林区麻栎群落主要乔木种群的种间联结性[J].生态学报,2018,38(9): 3165-3174.