

北京九龙山自然保护区植物群落物种多样性分析

胡淑萍, 刘鹏举, 高开通, 唐小明

(中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:在样地调查的基础上,采用 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数和 Pielou 指数对北京九龙山自然保护区植物群落的多样性进行评价,并采用灰色关联法分析了物种多样性的影响因素。结果表明:(1) 研究区建群种为黄栌和侧柏,灌木层均以荆条为主,草本层多分布披针叶苔草、求米草、线叶猪殃殃、北京隐子草等;(2) 群落总体多样性显示,样地 3 的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数最大,样地 7 的 Margalef 指数最高,样地 5 的 Pielou 指数最大;(3) 群落多样性指数受环境因子影响显著,其中 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Margalef 指数受坡向影响最大,Pielou 指数受坡度影响明显。

关键词:植物群落;物种多样性;灰色关联分析

中图分类号:Q948.15

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)04-0125-06

Analysis of Species Diversities of Plant Communities in Jiulongshan Nature Reserve, Beijing

HU Shu-ping, LIU Peng-ju, GAO Kai-tong, TANG Xiao-ming

(Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Through the typical sampling investigation, species diversities of plant communities in the Jiulongshan Nature Reserve were evaluated by using Simpson dominance index, Shannon-Wiener diversity index, Margalef abundance index and Pielou uniformity index. And the grey relation method was used to analyze the influence factors of species diversity. The results showed that: (1) *cotinus coggygria* and *Platycladus orientalis* were constructive species in the study area, *Vitex negundo* var. *heterophylla* was dominant shrub species, *Carex lanceolata*, *Oplismenus undulatifolius*, *Galium lineariifolium*, *Cleistogenes hancei* Keng were common species in the herb layer; (2) simpson dominance index and Shannon-Wiener diversity index of simple plot 3 were higher than other plots, Margalef abundance index of simple plot 7 and Pielou uniformity index of simple plot 5 were bigger than other plots; (3) the total community diversities were significantly affected by environment factors. Simpson dominance index, Shannon-Wiener diversity index and Margalef abundance index were significantly affected by aspects of slope, and Pielou uniformity index was greatly affected by slope gradients.

Key words: plant community; species diversity; grey relation analysis

物种多样性可以表征一个群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异等^[1]。一个地区植物群落的构成是这个地区气候、土壤以及人为等多方面因素的综合反映。在同一地区可以有不同的群落类型,即使在同一地区看似相同的群系外貌,其内部结构也可能存在很大差异^[2]。由于物种多样性是植被建设和恢复的重要定量指标^[3-4],所以阐明群落多样性与相关影响因子之间的关系至关重要。

北京山区由于地域经济开发较早,植被破坏严重,其物种多样性特征一直备受诸多学者的关注,尤其在东灵山、喇叭沟门、百花山、蒲洼自然保护区等已开展过大量关于物种多样性的研究^[5-10]。九龙山自然保护区是保护典型暖温带石质山地次生落叶阔叶林生态系统的自然保护区,自然环境复杂、生物多样性丰富是该区的主要特点。本文运用灰色关联法对九龙山自然保护区群落的物种多样性进行分析,旨在

研究其群落特征、物种组成及影响物种多样性的主要因子,以期找到提高物种多样性的可控因子,为森林可持续经营提供依据。

1 研究区概况

北京九龙山自然保护区位于北京市西郊,门头沟区东部。地理坐标为东经 $115^{\circ}59'$ — $116^{\circ}06'$,北纬 $39^{\circ}54'$ — $39^{\circ}57'$;保护区南北宽约 6 km,东西长约 10 km,总面积 $1\ 333.4\ \text{hm}^2$;平均海拔 150~350 m,最高海拔 850 m。区内气候属暖温带半湿润季风气候,四季分明,年均温 11°C ,有效积温 $3\ 385\sim 4\ 210^{\circ}\text{C}$,无霜期 140 d 左右。年降水量 600 mm,汛期(6—9月)降水量约占全年的 85%。土壤多为淋溶褐土和棕壤,土层厚度 60~90 cm,通气透水性较好。植被多由人工林组成,主要乔木树种有黄栌(*Cotinus coggygria*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)和油松(*Pinus tabulaeformis*);灌木树种有荆条(*Vitex negundo*

var. *heterophylla*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor Turcz*)、雀儿舌头(*Leptopus chinensis*)、孩儿拳头(*Grewia biloba* var. *parviflora*)等;草本植物主要有东亚唐松草(*Thalictrum minus* var. *hypoleucum*)、披针叶苔草(*Carex lanceolata*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、蝎子草(*Sedum spectabile* Boreau)、绒毛绣线菊(*Spiraea dasyantha*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

根据地形因子与群落特征设置 8 块 $20\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 的样地,对每块样地内的乔木进行每木检尺,记录种名、胸径、树高、冠幅、健康状况等因子,同时记录样地的海拔、坡度、坡向等生境因子。在每块样地内设置 5 个 $2\ \text{m}\times 2\ \text{m}$ 的灌木样方和 10 个 $1\ \text{m}\times 1\ \text{m}$ 的草本样方,分别记录灌木和草本的种类、高度和盖度等因子(表 1)。

表 1 调查样地基本特征

样地号	优势树种	密度/ (株· hm^{-2})	物种数	枯落物 厚度/cm	经度	纬度	海拔/ m	坡向	坡度/ ($^{\circ}$)
样地 1	黄栌	1775	31	3.07	$116^{\circ}05'02''$	$39^{\circ}57'40''$	153	NE74.7	36.8
样地 2	黄栌、油松	1175	41	2.10	$116^{\circ}05'07''$	$39^{\circ}57'40''$	164	NW15.2	35.4
样地 3	黄栌、油松	1700	21	2.21	$116^{\circ}05'14''$	$39^{\circ}57'41''$	157	NW45.0	5.0
样地 4	黄栌、油松	1325	41	1.53	$116^{\circ}05'17''$	$39^{\circ}57'40''$	155	NE56.3	24.2
样地 5	侧柏、元宝枫	1675	19	1.39	$116^{\circ}05'22''$	$39^{\circ}57'34''$	185	SE18.4	30.6
样地 6	侧柏	875	26	1.54	$116^{\circ}05'20''$	$39^{\circ}57'36''$	208	SE12.9	39.8
样地 7	侧柏、黄栌	1600	35	1.08	$116^{\circ}05'15''$	$39^{\circ}57'32''$	205	NW65.5	37.0
样地 8	侧柏、黄栌	1175	39	1.27	$116^{\circ}05'05''$	$39^{\circ}57'33''$	265	NE84.8	34.6

2.2 数据分析与计算

2.2.1 物种多样性计算方法

(1) 物种重要值计算

乔木重要值 $IV = (\text{相对高度} + \text{相对多度} + \text{相对显著度})/3$ (1)

灌木和草本重要值 $IV = (\text{相对高度} + \text{相对多度} + \text{相对盖度})/3$ (2)

(2) 物种多样性测度

物种多样性计算选用 Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数,其计算公式为:

Simpson 优势度指数(C):

$$C = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3)$$

式中: P_i ——种 i 的相对重要值, $P_i = n_i/N$, n_i ——群落中某一层第 i 个物种的重要值; N ——该层次所有物种重要值之和; S ——种 i 所在层的总物种数。

Shannon-Wiener 多样性指数(H):

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (4)$$

式中: P_i , S 含义同式(3)。

Margalef 丰富度指数(R):

$$R = (S - 1) / \ln N \quad (5)$$

式中: S ——群落中的总物种数; N ——群落中全部种的总个体数。

Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H / \ln S \quad (6)$$

式中: H ——Shannon-Wiener 多样性指数; S ——群落中的总物种数。

群落总体多样性:

$$D = \sum W_i D_i \quad (7)$$

式中: W_i ——群落第 i 个生长型多样性指数的加权参数; D_i ——第 i 个生长型的多样性指数($i=1$:乔木层;2:灌木层;3:草本层)。加权参数的计算公式为^[11-12]:

$$W_i = (C_i + H_i) / 2 \quad (8)$$

式中: C ——群落的总盖度($C = \sum C_i$); H ——群落各生长型的平均高度($H = \sum H_i$); C_i ——第 i 个生长型的盖度; H_i ——第 i 个生长型平均高度。经计算,乔灌木三层的权重分别为 0.85, 0.12 和 0.03。

2.2.2 灰色关联分析法 灰色关联分析是灰色理论中的一种分析方法,用来分析系统中母因素与子因素的关系密切程度,从而判断引起该系统发展的主要和次要因素^[13-14]。灰色关联分析是依据各因素数列曲线形状的接近程度做发展态势的分析,简言之是指在系统发展过程中,如果两个因素变化的态势是一致的,即同步变化程度较高,则可以认为两者关联较大;反之,则两者关联度较小。

(1) 确定参考序列和比较序列。

参考序列又称母序列,记为 $Y_i, i \in M = \{1, 2, \dots, m\}$,一般选取主研究对象为参考序列。比较序列又称子序列,记为 $X_j, j \in N = \{1, 2, \dots, n\}$,通常选取影响主要研究对象的因素序列为比较序列。序列表示为:

$$Y_i = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(k), \dots, y_i(l)\}$$

$$X_j = \{x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(k), \dots, x_j(l)\}$$

其中, $k \in L = \{1, 2, \dots, l\}$ 。

(2) 计算关联系数。

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_j \min_k |y_i(k) - x_j(k)|,$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_j \max_k |y_i(k) - x_j(k)|,$$

$$\Delta_{i,j}(k) = |y_i(k) - x_j(k)|,$$

$$\text{则 } \epsilon_{i,j}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{i,j}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (9)$$

其中 ρ 为分辨系数,一般取 0 到 1,本研究取值为 0.5。

(3) 计算关联度。

$$r_{i,j} = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \epsilon_{i,j}(k) \quad (10)$$

其中 $i \in M, j \in N, k \in L$ 。

3 结果与分析

3.1 群落结构特征

研究区建群种主要为黄栌和侧柏(表 2),其中黄栌林分布于东北和西北坡向,物种数在 21~41 之间,林分密度在 1 325~1 775 株/hm² 之间;侧柏林分布在东南、西北和西南坡向,物种数为 19~39,林分密度为 875~1 675 株/hm²。

各样地主要物种重要值如表 2 所示。样地 1 共有乔木 4 种,其中黄栌为建群种(0.936 2),灌木层以荆条(0.469 0)、胡枝子(0.175 3)、杭子梢(0.107 5)为主,草本层以披针叶苔草(0.183 5)、求米草(0.119 3)和东亚唐松草(0.113 1)为主。样地 2 以黄栌

(0.460 7)和油松(0.425 4)为建群种,灌木层共有植物 12 种,其中荆条(0.467 5)、多花胡枝子(0.111 7)、胡枝子(0.103 1)占到总重要值的 68%,草本层共有植物 24 种,其中求米草(0.113 1)、披针叶苔草(0.098 9)、北京隐子草(0.084 5)占总重要值的 30%。样地 3 的建群种是黄栌(0.423 3)和油松(0.395 1),灌木层重要值排序前 3 位的依次是荆条(0.500 2)、胡枝子(0.259 9)和小叶鼠李(0.080 7),草本层重要值排序前 3 位的是求米草(0.245 6)、披针叶苔草(0.181 2)和北京堇菜(0.164 0)。样地 4 乔木层由黄栌(0.892 7)和油松(0.107 3)组成,灌木层中荆条(0.425 3)、孩儿拳头(0.123 0)、雀儿舌头(0.106 4)占据优势,草本层中披针叶苔草(0.176 1)、求米草(0.136 0)、秋苦荬(0.120 4)占据优势。样地 5 乔木层由侧柏(0.664 0)和元宝枫(0.336 0)组成,灌木层荆条(0.882 5)、胡枝子(0.086 2)、红花锦鸡儿(0.018 7)占到总重要值的 99%,草本层线叶猪殃殃(0.334 6)、北京隐子草(0.196 8)、蝎子草(0.131 0)占到总重要值的 66%。样地 6 建群种为侧柏(0.694 8),灌木层以荆条(0.661 4)、多花胡枝子(0.142 3)、孩儿拳头为主(0.060 7),草本层以北京隐子草(0.170 3)、铁杆蒿(0.161 6)、狗尾草(0.116 6)为主。样地 7 以侧柏(0.637 0)和黄栌(0.215 1)为建群种,灌木层共有 11 种植物,其中荆条(0.437 0)、多花胡枝子(0.151 1)、酸枣(0.105 4)占总重要值的 69%,草本层共有 18 种植物,其中披针叶苔草(0.166 9)、秋苦荬(0.158 1)、北京隐子草(0.102 6)占总重要值的 43%。样地 8 乔木层由黄栌(0.515 3)、侧柏(0.468 3)、油松(0.016 3)3 种植物组成,灌木层重要值排序前 3 位的依次是荆条(0.431 4)、胡枝子(0.260 0)、孩儿拳头(0.098 5),草本层重要值排序前 3 位的是披针叶苔草(0.175 8)、求米草(0.100 5)、绒毛绣线菊(0.075 2)。

3.2 群落物种多样性比较

表 3 显示的是各样地不同生长型的多样性指数。乔木层中,样地 3 和样地 2 的 Simpson 指数均高于 0.6,而样地 4 和样地 1 的 Simpson 指数低于 0.2;样地 3 的 Shannon-Wiener 指数最大,为 1.260 5,这与该样地乔木种类多、且分布均匀有关;样地 7 和样地 3 的 Margalef 指数较大,这与两个样地乔木层树种较多的现状相符;样地 5 中侧柏和元宝枫的分布较均匀,所以 Pielou 指数最大。

灌木层中,样地 4 的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数最大,分别为 0.773 1 和 1.973 4;样地 5 的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数最小,仅为

0.213 2 和 0.451 1; 样地 4 灌木层物种数为 18 种, 远 灌木层各样地 Pielou 指数多集中在 0.56~0.79 之
高于其他样地, 所以 Margalef 指数最大, 为 3.857 7; 间, 仅样地 5 的 Pielou 指数为 0.325 4。

表 2 各样地主要物种的重要值

样地号	乔木层主要植物	IV	灌木层主要植物	IV	草本层主要植物	IV
样地 1	黄栌	0.9362	荆条	0.4690	披针叶苔草	0.1835
	油松	0.0337	胡枝子	0.1753	求米草	0.1193
	侧柏	0.0180	杭子梢	0.1075	东亚唐松草	0.1131
样地 2	黄栌	0.4607	荆条	0.4675	求米草	0.1131
	油松	0.4254	多花胡枝子	0.1117	披针叶苔草	0.0989
	侧柏	0.0604	胡枝子	0.1031	北京隐子草	0.0845
样地 3	黄栌	0.4233	荆条	0.5002	求米草	0.2456
	油松	0.3951	胡枝子	0.2599	披针叶苔草	0.1812
	臭椿	0.0874	小叶鼠李	0.0807	北京堇菜	0.1640
样地 4	黄栌	0.8927	荆条	0.4253	披针叶苔草	0.1761
	油松	0.1073	孩儿拳头	0.1230	求米草	0.1360
			雀儿舌头	0.1064	秋苦蕒	0.1204
样地 5	侧柏	0.6640	荆条	0.8825	线叶猪殃殃	0.3346
	元宝枫	0.3360	胡枝子	0.0862	北京隐子草	0.1968
			红花锦鸡儿	0.0187	蝎子草	0.1310
样地 6	侧柏	0.6948	荆条	0.6614	北京隐子草	0.1703
	黄栌	0.1483	多花胡枝子	0.1423	铁杆蒿	0.1616
	臭椿	0.1340	孩儿拳头	0.0607	狗尾草	0.1166
样地 7	侧柏	0.6370	荆条	0.4370	披针叶苔草	0.1669
	黄栌	0.2151	多花胡枝子	0.1511	秋苦蕒	0.1581
	油松	0.0616	酸枣	0.1054	北京隐子草	0.1026
样地 8	黄栌	0.5153	荆条	0.4314	披针叶苔草	0.1758
	侧柏	0.4683	胡枝子	0.2600	求米草	0.1005
	油松	0.0163	孩儿拳头	0.0985	绒毛绣线菊	0.0752

注: 臭椿(*Ailanthus altissima*)、元宝枫(*Acer truncatum* Bunge)、杭子梢(*Campylotropis macrocarpa*)、多花胡枝子(*Lespedeza fioribunda*)、小叶鼠李(*Rhamnus parvifolia* Bunge)、红花锦鸡儿(*Caragana rosea*)、酸枣(*Ziziphus jujube* var. *spinosa*)、北京隐子草(*Cleistogenes hancei* Keng)、北京堇菜(*Viola penkinensis*)、秋苦蕒(*Ixeris polycephala*)、线叶猪殃殃(*Galium lineariifolium*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、狗尾草(*Setaira viridis*)。

表 3 各样地多样性指数

样地号	生长型	C	H	R	J	样地号	生长型	C	H	R	J
样地 1	乔木层	0.1219	0.3017	0.7038	0.2176	样地 5	乔木层	0.4462	0.6384	0.2378	0.9209
	灌木层	0.7240	1.6312	1.8728	0.7844		灌木层	0.2132	0.4511	0.8736	0.3254
	草本层	0.9095	2.6253	4.2089	0.8916		草本层	0.8164	2.0314	3.2106	0.7920
	群落总体	0.2178	0.5310	0.9492	0.3059		群落总体	0.4294	0.6577	0.4033	0.8456
样地 2	乔木层	0.6017	1.0832	1.0389	0.6730	样地 6	乔木层	0.4768	0.8919	0.8438	0.6433
	灌木层	0.7406	1.8096	2.6758	0.7282		灌木层	0.5334	1.1820	1.8498	0.5684
	草本层	0.9362	2.9175	5.4897	0.9180		草本层	0.8943	2.3993	3.7510	0.9091
	群落总体	0.6284	1.2254	1.3689	0.6870		群落总体	0.4961	0.9719	1.0517	0.6423
样地 3	乔木层	0.6535	1.2605	1.1850	0.7035	样地 7	乔木层	0.5413	1.0871	1.2022	0.6067
	灌木层	0.6666	1.3611	1.6176	0.7596		灌木层	0.7569	1.8067	2.4843	0.7535
	草本层	0.8419	1.9783	1.9702	0.9004		草本层	0.9028	2.5483	4.2617	0.8816
	群落总体	0.6608	1.2941	1.2604	0.7161		群落总体	0.5780	1.2173	1.4479	0.6326
样地 4	乔木层	0.1916	0.3409	0.2519	0.4918	样地 8	乔木层	0.5148	0.7641	0.5195	0.6955
	灌木层	0.7731	1.9734	3.8577	0.6827		灌木层	0.7287	1.6652	2.6587	0.6944
	草本层	0.9127	2.7070	4.8848	0.8892		草本层	0.9299	2.9362	5.5251	0.9122
	群落总体	0.2830	0.6078	0.8236	0.5266		群落总体	0.5530	0.9374	0.9263	0.7019

草本层中,各样地的 Simpson 指数在 0.816 4~0.936 2 之间;Shannon-Wiener 指数在 1.978 3~2.936 2 之间;样地 8 和样地 2 的 Margalef 指数较大,这与其草本层物种数均高于其他样地有关;各样地草本层 Pielou 指数分布在 0.792 0~0.918 0 之间。

群落总体多样性变化规律显示,各样地 Simpson 指数大小依次为:样地 3>样地 2>样地 7>样地 8>样地 6>样地 5>样地 4>样地 1;Shannon-Wiener 指数大小依次为:样地 3>样地 2>样地 7>样地 6>样地 8>样地 5>样地 4>样地 1;Margalef 指数大小依次为:样地 7>样地 2>样地 3>样地 6>样地 1>样

地 8>样地 4>样地 5;Pielou 指数大小依次为:样地 5>样地 3>样地 8>样地 2>样地 6>样地 7>样地 4>样地 1。

3.3 群落多样性的物种多样性分析

依据灰色系统理论的要求,在分析各因子对生物多样性的影响时,将 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数、Pielou 指数作为参考序列,密度、物种数、枯落物厚度、海拔等 6 个因子作为比较序列 Y_j 。由于原始数据中各个因子的物理意义不同,为保证各因子具有等效性和同序性,对原始数据采用标准差法进行无量纲化处理,处理结果如表 4 所示。

表 4 无量纲化多样性指数及相关影响因子

密度	物种数	枯落物厚度	海拔	坡向	坡度	C	H	R	J
1.1245	-0.0708	1.9889	-0.8666	-0.8033	0.5625	-1.6401	-1.3193	-0.2364	-2.0456
-0.7367	1.0616	0.5006	-0.5821	0.9645	0.4390	0.9203	0.9748	1.0083	0.3431
0.8918	-1.2032	0.6694	-0.7631	1.2148	-2.2433	1.1223	1.2018	0.6867	0.5257
-0.2714	1.0616	-0.3740	-0.8149	-0.9578	-0.5493	-1.2334	-1.0656	-0.6091	-0.6622
0.8143	-1.4297	-0.5888	-0.0388	-0.5203	0.0154	-0.3208	-0.9007	-1.8556	1.3372
-1.6673	-0.6370	-0.3587	0.5562	-0.5665	0.8272	0.0955	0.1374	0.0677	0.0631
0.5816	0.3822	-1.0645	0.4786	1.3869	0.5801	0.6062	0.9481	1.2427	0.0021
-0.7367	0.8351	-0.7729	2.0307	-0.7185	0.3684	0.4500	0.0235	-0.3043	0.4365

表 5 显示的是群落多样性指数与相关影响因子的关联系数及排序。表 5 表明,各因子与群落多样性指数的灰色关联度均较高,且不同的多样性指数与影响因子之间的相关性与排序各不相同。Simpson 指数受坡向影响最大,其次为坡度、海拔等。Shannon-Wiener 指数与坡向的关联系数最大,为 0.845 3,而

与其他影响因子的关联度在 0.623 1~0.676 0 之间。Margalef 指数与坡向的关联系数达 0.777 3,其次分别为枯落物厚度(0.688 9)、物种数(0.684 2)、坡度(0.649 2)、密度(0.624 6)和海拔(0.606 8)。Pielou 指数与影响因子的相关性排序依次为:坡度>枯落物厚度>海拔>坡向>密度>物种数。

表 5 多样性指数与相关影响因子的关联度

关联矩阵	C		H		R		J	
	关联系数	排序	关联系数	排序	关联系数	排序	关联系数	排序
密度	0.6554	6	0.6231	6	0.6246	5	0.6951	5
物种数	0.6831	5	0.6644	5	0.6842	3	0.6563	6
枯落物厚度	0.6859	4	0.6755	3	0.6889	2	0.7232	2
海拔	0.7200	3	0.6760	2	0.6068	6	0.7149	3
坡向	0.8135	1	0.8453	1	0.7773	1	0.7010	4
坡度	0.7371	2	0.6749	4	0.6492	4	0.7418	1

4 结论

(1) 研究区建群种为黄栌和侧柏,其中黄栌林分布于东北和西北坡向,侧柏林分布在东南、西北和西南坡向。各样地林分密度变化较大,但林下灌木层均以荆条为主,其重要值介于 0.425 3~0.882 5 之间,其次为胡枝子、小叶鼠李、孩儿拳头等,而草本层中披针叶苔草、求米草、线叶猪殃殃、北京隐子草的重要值较大。

(2) 各样地物种多样性变化多呈草本层多样性最高,灌木层次之,乔木层最低的趋势。群落总体多

样性显示,样地 3 的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数最大,样地 7 的 Margalef 指数最高,样地 5 的 Pielou 指数最大。

(3) 群落多样性指数与各影响因子之间的灰色关联系数均较高,其中 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Margalef 指数受坡向影响显著,Pielou 指数受坡度影响最大,其次为枯落物厚度、海拔和坡向。

(4) 目前多采用相关分析、回归分析等方法研究环境因子与物种多样性之间的关系,但由于此类方法需要大量的样本数据,且要求样本具有一定的统计规律,服从典型的概率分布。本研究由于样本数量少,

选用灰色关联分析作为研究方法,充分发挥其所需样本量少、方法简便、信息量大等优点,对研究环境因子与物种多样性关系具有一定的参考意义。

(5) 由于本研究中的8块样地距离较为接近,所以视各样地土壤条件相对均一。人工林物种多样性变化受多种因素影响,本研究主要分析了环境因子与林分基本状况对群落物种多样性的影响,而并未考虑干扰等影响因子,不足之处需要在下一步工作中继续完善。

参考文献:

[1] 阎海平,谭笑,孙向阳,等.北京西山人工林群落物种多样性的研究[J].北京林业大学学报,2001,23(2):16-19.

[2] 卢宝明,邢韶华,崔国发,等.北京山地植物群落的物种多样性比较[J].北京林业大学学报,2010,32(Z1):36-44.

[3] Ruiz-Jaen M C, Aode T M. Restoration success: how is it being measured [J]. *Restoration Ecology*, 2005, 13(3):569-577.

[4] Zerbe S, Kreyer D. Introduction to special section on 'ecosystem restoration and biodiversity: how to assess and measure biological diversity'[J]. *Restoration Ecology*, 2006, 14(1):103-104.

[5] 马克平,刘灿然,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落

多样性的研究[J].生态学报,1997,17(6):574-583.

[6] 张育新,马克明,祁建,等.北京东灵山辽东栎林植物物种多样性的多尺度分析[J].生态学报,2009,29(5):2179-2185.

[7] 崔国发,成克武,申国珍,等.北京喇叭沟门林区森林植被现状及分类[J].北京林业大学学报,2000,22(4):46-51.

[8] 成克武.北京喇叭沟门林区植物多样性及其保护研究[D].北京:北京林业大学,2002.

[9] 郑景明,赵秀海,张春雨.北京百花山森林群落的结构多样性研究[J].北京林业大学学报,2007,29(1):7-11.

[10] 陈维川,赵勃,邢韶华,等.北京蒲洼自然保护区植物群落的优先保护顺序[J].东北林业大学学报,2005,33(5):62-64.

[11] 高贤明,黄建辉,万师强,等.秦岭太白山弃耕地植物群落演替的生态学研究:Ⅱ.演替系列的 α 多样性特征[J].生态学报,1997,17(6):619-625.

[12] 高宝嘉,张执中,李镇宇.封山育林对植物群落结构及多样性的影响[J].北京林业大学学报,1992,14(2):46-53.

[13] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.

[14] 蔡文春,杨德刚.新疆耕地和粮食灰色关联分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(11):54-58.

(上接第124页)

[5] 郝仕龙,曹连海,李壁成.宁南山区土地利用/土地覆盖变化研究[J].水土保持研究,2010,17(2):212-217.

[6] 陈奇伯,王克勤,齐实,等.黄土丘陵区坡耕地水土流失与土地生产力的关系[J].水土保持学报,2002,16(3):28-31.

[7] 孔祥丽,王克林.喀斯特地区退耕还林工程和生态经济效益分析[J].江西农业学报,2009,21(11):138-142.

[8] 孙策,杨改河,冯永忠,等.关于退耕还林后续产业经济效益的调查分析[J].西北林学院学报,2007,22(3):167-170.

[9] 周萍,刘国彬,侯喜禄.黄土丘陵区退耕前后典型流域农业生态经济系统能值分析[J].农业工程学报,2009,25(6):266-273.

[10] 王海英,刘桂环,董锁成.黄土高原丘陵沟壑区小流域生态环境综合治理开发模式研究[J].自然资源学报,2004,19(2):207-216.

[11] 朱连奇,许叔明,陈沛云.山区土地利用/土地覆被变化对土壤侵蚀的影响[J].地理研究,2003,22(4):432-437.

[12] Quan Bi, Römkens M J M, Tao Jianjun, et al. Spatial-temporal pattern and population driving force of land use change in Liupan Mountains region, southern

Ningxia[J]. *Geogra. Sci.*, 2008, 18(4):323-330.

[13] Wang Fei, Li Rui, Jiao Feng, et al. The impact of cropland conversion on environmental effect in the Loess Plateau: a pilot study based on the national experimental bases [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2005, 15(4):484-490.

[14] 杨光,丁国栋,常国梁,等.黄土高原不同退耕还林地森林植被改良土壤特性研究[J].水土保持研究,2006,13(3):204-210.

[15] 衣华鹏,刘贤赵,张鹏宴.生态退耕对粮食生产的影响探讨[J].水土保持研究,2005,12(5):197-200.

[16] 张博胜,姜锦云,杨子生.中国退耕还林工程驱动下的滇东南喀斯特山区近8年土地利用变化研究[J].中国农学通报,2010,26(22):338-343.

[17] 曹世龙,陈莉,余新晓.陕北农民对退耕还林的意愿评价[J].应用生态学报,2009,20(2):423-434.

[18] 鲍锋,延军平,孙虎.高寒农牧交错区退耕还林政策实施效应评价[J].水土保持研究,2008,15(1):151-155.

[19] 刘宇,陈学华,罗勇.退耕还林中的生态安全问题[J].水土保持研究,2007,14(3):218-222.

[20] 宋乃平,陶燕格,王磊,等.从宁夏原州区的调查看退耕还林政策的不足[J].水土保持研究,2005,12(5):112-114.