

赤峰市沙地油松林草本植物多样性及种间关联动态

奇 凯,张春雨,侯继华,赵秀海*

(北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室,北京 100083)

摘要:研究了赤峰市天然沙地油松林草本植物群落物种多样性以及种间关联动态。在 200m×200m 的样地中,设置 100 个 1m×1m 草本样方,2009 年 6—9 月份每月底调查样方内所有草本植物物种、多度、高度及盖度。分析结果表明,6—9 月份共调查到草本植物 32 种,隶属于 16 科,24 属。用多项指标进行物种多样性的测度,8 月份草本植物物种数、丰富度最高。6、7 月份草本植物群落的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数最大,9 月份最小。通过方差比率法(VR)和 χ^2 检验的计算,对草本群落总体关联性和草本群落种间关联进行分析。结果表明,草本植物群落总体关联性在 8 月份为正关联,其它月份(6、7、9 月份)均为负关联。6—9 月份,草本植物群落总体关联性程度逐渐降低,由负相关逐渐变为不显著相关。群落总体相关性不显著,说明群落中物种间虽然存在一定联系,但仍然存在独立的分布格局。某一草本群落总体关联性随时间变化是在不断改变的,并不是单一的从负相关到正相关,或从相关到不相关。群落整体关联性随着生境的改变而发生变化。分析每月都出现的 20 个物种的种间关联,结果显示,6—9 月份草本植物正负联结比值变动范围为 0.379—0.558;4 个监测月份中负联结种对数均大于正联结种对数。6—9 月份草本物种对之间的关联性也在随时间发生变化,说明随着群落内物种动态发育,群落组成在不同时期出现此消彼长的动态变化,不同物种的群落功能及相互关系也将发生改变,进而影响物种种间联结性。植物种对的正联结体现了植物利用资源的相似性和生态位的重叠性,植物种对的负联结体现了物种间的排斥性,这是长期适应不同微环境,利用不同空间资源的结果,也是生态位分离的反映。

关键词:生物多样性;种间联结;沙地油松林

Dynamics of species diversity and interspecific associations of herbaceous plants in a *Pinus Tabulaeformis* forest on a sandy site in Chifeng, China

QI Kai, ZHANG Chunyu, HOU Jihua, ZHAO Xiuhai*

Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The monthly changes of species diversity and interspecific associations of herbaceous layer were studied in a *Pinus tabulaeformis* forest located on sandy site in Chifeng. The objective of the study was to obtain a better understanding of the structure and the successional dynamics of herbaceous species in that forest. The results of the study should provide a reference for scientific management, biological protection and sustainable utilization, especially a theory basis relating to maintain the natural structure and function and accelerated restoration of degenerated ecological system of *Pinus tabulaeformis* forests on sandy sites. Altogether 100 sample plots of 1 m×1 m were systematically distributed in a 4 hm² experimental area. In each of these plots, the abundance, coverage and individual height of each herbaceous plant were assessed at regular monthly intervals from June to September in 2009. Up to 32 herbaceous species, which belong to 16 families and 24 genera, were investigated in this research. A range of different indices were used to define the biodiversity of the community. The number of species and the Gleason index were the greatest in August. The Simpson index, Shannon-Wiener index and Evenness index were greatest in June and July, while the lowest values were found in September. In order to analyze the relationships among the species, including the overall association and the interspecific association in the herb community, a series of techniques, including analysis of variance and the χ^2 test, were used. The overall association among

基金项目:北京市教委基金资助项目(200702);财政部林业公益性行业专项(20090422)

收稿日期:2010-03-15; **修订日期:**2010-06-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn

herbaceous plants was positive in August, but negative in June, July and September. The overall association strength among herbaceous species gradually decreased from June to September, and changed from negative to non-significant associations. The non-significant overall associations of the herbaceous species indicated that there was a certain link among the herbaceous species, but the independent distribution patterns still existed. The overall association of a certain herbaceous community was constantly changing with time, there was no single change from negative association to positive association, or from correlation to noncorrelation. The overall association of a certain herbaceous community was constantly changing with time. there was no single change from negative to positive association, or from significant to non-significant correlation. The overall association among the community varied with changes in habitat, involving changes in moisture or radiation. An interspecific association analysis of the herb species presented for every month, revealed that the ratios of positive to negative associations ranged from 0.379 to 0.558 in our investigation period (from June to September). The number of species pairs with a negative association was larger than that with positive associations in each month of the investigation period. In our investigation period, the interspecific associations between species pairs were also changing with time. This is an indication that with the dynamic development of the different species during the growing season, the community composition has changed dynamically. The decline of one species leading to the improved growth of another. The community functioning and the relationship among the different species also changed during the observation period. These changes had an influence on the interspecific associations. A positive association in a particular species pair indicates similar resource usage and niche overlapping. A negative association in a species pair indicates repellency between the two species, which may be the result of long-term adaption to different environments, different resource usage, and which may explain the niche separation.

Key Words: herbaceous species diversity; interspecific associations; *Pinus tabulaeformis* forest on sandy site

种间联结性是指不同物种在空间分布上的相互关联性,通常是由于群落生境的差异影响了物种分布而引起的^[1]。研究群落的种间联结性,能够有效地反应各物种在群落中的分布情况,各物种对环境因子的适应程度及物种在特定环境因子作用下的种间相互关系,有助于进一步认清群落的结构、类型及群落的演替趋势^[2]。

油松(*Pinus tabulaeformis*)为我国特有种,具有耐低温、干旱和瘠薄的生态学特性,是优良的造林树种,在保持水土、涵养水分、净化大气、保护生物多样性以及林业生产等方面发挥了极其重要的作用。沙地油松林是中国油松林生态系统中非常特殊的沙生系列变体^[3]。赤峰市克什克腾旗响水电站沙地油松林是中国境内分布最北的天然油松林。林下的草本植物是沙地油松林的重要组成部分。一方面,林下草本植物的分布和生长特征受到林分乔木层特征的限制;另一方面,林下草本植物也通过生命活动不断改变着林下微环境,从而对整个沙地油松林生态系统的稳定、演替发展和生物多样性起着重要作用。本文研究了沙地油松林下草本植物物种多样性月动态,分析了草本植物群落种间关联性以及群落整体关联性动态变化,以期为油松林林下草本植物的科学管理、生物学保护和可持续利用提供参考,加快退化沙地油松林生态系统的重建和恢复以及维护生态系统正常的结构和功能等提供理论依据。

1 研究地概况

响水电站位于内蒙古自治区赤峰市克什克腾旗黄旗自然保护(东经 116°57'—117°29',北纬 42°53'—43°53'),平均海拔 1200m,属中温带大陆性季风气候,夏季短促温凉,冬季漫长寒冷,昼夜温差较大。全年日照时数为 2700—2950h。年降水量 250—540mm,多集中在 6—8 月份。极端最低气温为 -45.5℃,7 月份平均气温为 18.6℃。森林植被阔叶林以白桦、山杨、蒙古栎为主,伴有黄榆、椴树、黑桦、胡桃等。针叶以云杉、兴安落叶松为主,其次有油松、樟子松等。灌丛植被常以虎榛子、绣线菊、西伯利亚杏为主,其次有黄柳、山里红、杜鹃花、山刺梅等。

2 研究方法

2.1 调查方法

2008 年 5 月在研究区建立 200m × 200m 永久监测样地,在样地内机械布点均匀设置 100 个 1m × 1m 草本样方,将样方 4 个顶点用 PVC 管标记以备复测。2009 年 6—9 月份每月底调查样方内所有草本植物物种、多度、高度及盖度。为避免估测造成的主观误差,先对样方内草本按物种进行分类,若样方内某物种数多于 1 株,则根据高度或盖度进行分层。用直尺量测每个层次植株高度及植株在地面投影的长、短轴长度,利用长轴和短轴计算植株盖度,盖度 = $\Pi \times$ 半长轴 $\times$ 半短轴。

2.2 分析方法

2.2.1 物种多样性

本研究采用多项指标进行物种多样性的测度:物种丰富度指数,用 Gleason 指数描述(G), $G = S/\ln A$; Simpson 指数(D), $D = 1 - \sum p_i^2$; Shannon-Wiener 指数(H), $H = - \sum p_i \ln p_i$;生态优势度指数(λ), $\lambda = [Ni(Ni - 1)]/[N(N - 1)]$;均匀度指数(E), $E = D/\ln S$ (S 为物种数, A 为样方面积, Ni 指每个物种在样地中的株数,即多度, N 为样地里所有草本植物的总株数)^[4]。草本植物重要值 = (相对多度 + 相对频度 + 相对盖度)/3^[5]。

2.2.2 种间联结

种间联结是指不同物种在空间上的相互关联性,群落生境是影响种间联结的重要因子^[6]。本研究采用 2 种方法进行计算:Yates 的连续校正公式计算^[7](计算主要草本植物种间联结): $\chi^2 = \{[|ad - bc| - 0.5N]^2 / N\} / \{(a+b) \times (a+c) \times (b+d) \times (c+d)\}$,式中, N 为取样总数, a 表示物种 A 和 B 同时出现, b 表示物种 A 出现而 B 不出现, c 表示物种 A 不出现而物种 B 出现, d 表示物种 A 和 B 都不出现。由于关联有两种类型:若 $ad - bc > 0$, 为正联结;若 $ad - bc < 0$, 为负联结。因此, $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 为联结显著; $\chi^2 > 6.635$ 为极显著, 否则为不显著^[8];方差比率法(VR)^[9](计算草本群落整体关联性): $\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i)$, $P_i = n_i/N$, $S_T^2 = (1/N) / \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$, $VR = S_T^2 / \delta_T^2$ 。式中, S 为总的物种数; N 为总的样方数, T_j 为样方 j 内出现的物种数, n_i 为物种 i 出现的样方数, t 为样方中种的平均数。 $VR = 1$ 时,复合种间彼此独立; $VR > 1$ 时,多物种间为正相关; $VR < 1$ 时,多物种间为负相关。

3 结果与分析

实际调查结果显示,研究样地内共有 9 个树种 7876 株乔木,其中油松 4089 株,占全部乔木树种的 52%。主要伴生树种有山杏 (*Armeniaca sibirica*)、杜松 (*Juniperus rigida*)、榆树 (*Ulmus pumila*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、山杨 (*Populus davidiana*) 和白桦 (*Betula platyphylla*)。灌木层有毛榛子 (*Corylus mandshurica*)、暖木条荚蒾 (*Viburnum burejaeticum*)、绣线菊 (*Spiraea salicifolia*)、鼠李 (*Rhamnus davurica*)、小檗 (*Berberis thunbergii*)、胡枝子属 (*Lespedeza*) 和忍冬属 (*Lonicera*) 等植物。

3.1 草本植物多样性动态

共调查到草本植物 32 种,隶属于 16 科,24 属,全部是被子植物。林内草本种类最多的科依次是菊科 (*Compositae*) 8 种,百合科 (*Liliaceae*) 5 种,豆科 (*Leguminosae*) 2 种,蔷薇科 (*Rosaceae*) 2 种,石竹科 (*Caryophyllaceae*) 2 种,莎草科 (*Cyperaceae*) 2 种,蓼科 (*Polygonaceae*) 2 种,毛茛科 1 种,禾本科 (*Poaceae*) 1 种,败酱科 (*Valerianaceae*) 1 种,唇形科 (*Labiatae*) 1 种,景天科 (*Crassulaceae*) 1 种,伞形科 (*Umbelliferae*) 1 种,十字花科 (*Cruciferae*) 1 种,玄参科 (*Scrophulariaceae*) 1 种,紫草科 (*Boraginaceae*) 1 种。

草本植物 6—9 月份物种多样性如表 1 所示。物种丰富度指数与物种数月变化趋势一致;Shannon-Wiener 指数与 Simpson 指数具有相同的变化趋势。9 月份共调查到草本植 22 种, Gleason (4.7772) 和 Simpson 指数 (0.7606) 低于其它月份。8 月份草本植物物种数、丰富度最高;但由于草本植株数较少, Simpson 指数则低于 6、7 月份。草本植物均匀度指数大小顺序为:7 月份 (0.7254) > 6 月份 (0.7233) > 8 月份 (0.7054) > 9 月份

(0.6564);优势度指数大小顺序为:9 月份(0.2387) > 8 月份(0.1567) > 6 月份(0.1474) > 7 月份(0.1462),与均匀度指数顺序相反。均匀度指数反映了物种个体数目分配的均匀程度。7 月份草本植物植株在不同物种内数量分布均匀度最高,9 月份则最低。生态优势度指数反映的是群落内各物种种群数量的变化情况,生态优势度指数越大,说明群落内物种数量分布越不均匀,重要种的地位越突出。

表 1 草本植物各月多样性指数
Table 1 Diversity index of herbs from June to September

多样性指数 Diversity index	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September
物种数 Number of species (S)	24	24	25	22
Gleason (G)	5.2115	5.2115	5.4287	4.7772
Simpson (D)	0.8522	0.8533	0.8427	0.7606
Shannon-wiener (H)	2.2987	2.3053	2.2707	2.0291
均匀度 Evenness (E)	0.7233	0.7254	0.7054	0.6564
生态优势度 Dominance (λ)	0.1474	0.1462	0.1567	0.2387

3.2 种间关联分析

用 χ^2 检验分析了 16 种草本植物共计 120 个种对种间关联性(图 1),结果显示负联结种对数远高于正联结种对。6 月份正联结种对 43 对,负联结种对 77 对,正负联结比值为 0.558;7 对物种种间关联显著,9 对种间关联呈极显著。7 月份正联结种对 34 对,负联结种对 86 对,正负联结比值为 0.395;19 对物种种间关联显著,45 对物种种间关联呈极显著。8 月份正联结种对 40 对,负联结种对 80 对,正负联结比值为 0.500;9 对物种种间关联显著,6 对物种种间关联呈极显著。9 月份正联结种对 33 对,负联结种对 87 对,正负联结比值为 0.379;2 对物种种间关联显著,13 对物种种间关联呈极显著。

表 2 草本植物种名及编号
Table 2 Name and number of herbs

物种 Species	编号 Number	物种 Species	编号 Number	物种 Species	编号 Number
细叶苔草 <i>Carex stenophylla</i>	1	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	2	披针苔草 <i>Carex lanceolata</i>	3
叉分蓼 <i>Polygonum divaricatum</i>	4	小藜 <i>Chenopodium serotinum</i>	5	花旗竿 <i>Dontostemon dentatus</i>	6
白蒿 <i>Artemisia stelleriana</i>	7	唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	8	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	9
婆婆纳 <i>Veronica incana</i>	10	败酱 <i>Patrinia scabiosaeifolia</i>	11	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	12
黄精 <i>Polygonatum sibiricum</i>	13	山韭 <i>Allium senescens</i>	14	龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i>	15
柴胡 <i>Bupleurum chinensis</i>	16				

注:表中仅列出 6—9 月份调查中均出现的草本植物

随着群落内物种动态发育,群落组成在不同时期出现此消彼长的动态变化,不同物种的群落功能及相互关系也将发生改变,进而影响物种种间联结性。根据 6—9 月份草本植物种间关联性动态,可将所有种对划分为三大类:第 1 类,种间关联性逐渐增强。例如,委陵菜与婆婆纳;叉分蓼与龙牙草。第 2 类,种间关联性逐渐下降。例如,白蒿与委陵菜;龙牙草与柴胡种对。第 3 类,种间关联性由负变正或由正变负。例如,唐松草与柴胡;细叶苔草与叉分蓼(图 1)。

3.3 群落总体关联性分析

利用方差比率法进行草本植物群落总体关联性分析,结果表明 8 月份草本植物群落总体关联性呈不显著正相关,其它月份总体关联性呈不显著负相关(表 3)。群落总体相关性不显著,说明群落中物种间虽然存在一定联系,但仍然存在独立的分布格局。9 月份群落总体关联性 VR 值接近 1,群落总体关联性最低。群落总体关联性会随时间、生境差异而发生改变。群落总体关联性并不是由群落中主要或相对重要物种对关联性决定的(图 1,表 3)。

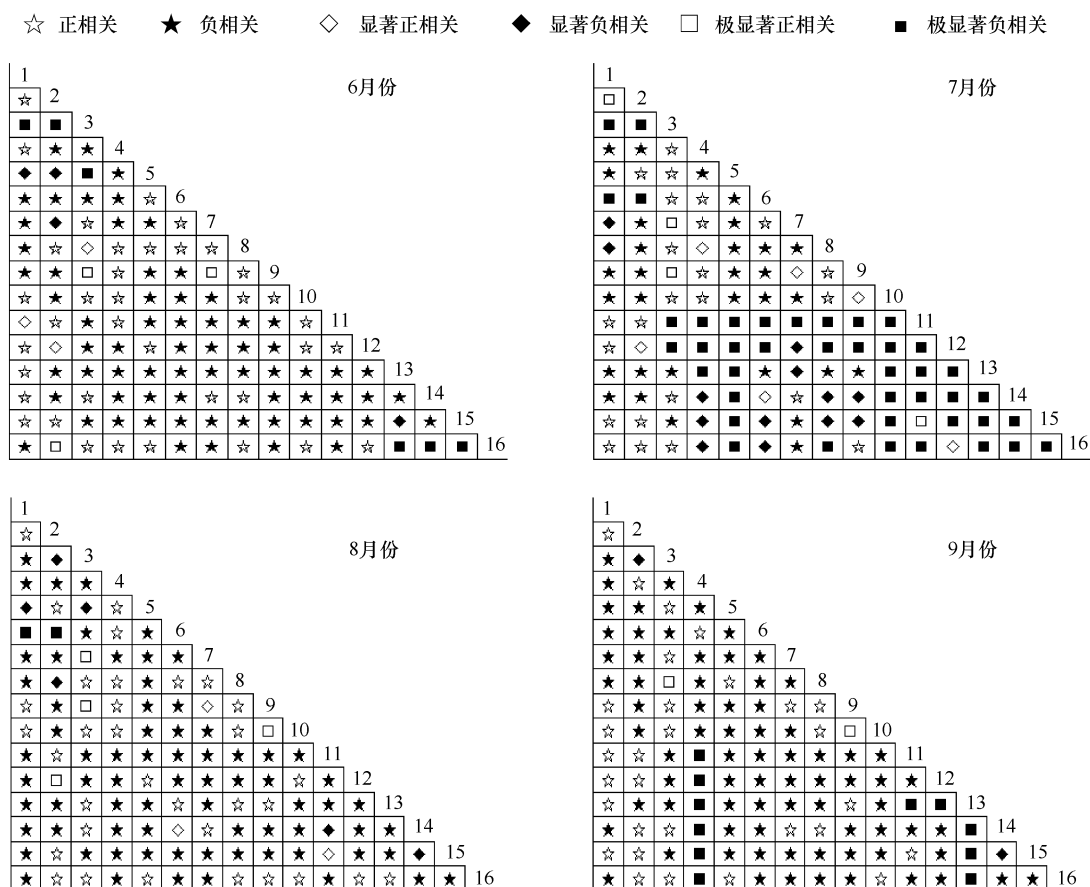


图1 草本植物种间关联性

Fig.1 Association among herbs species pairs from June to September

表3 草本植物群落总体关联性

Table 3 The overall association among herbs community

月份 Month	VR	W	关联性 Association	χ^2
6	0.44	43.55	负相关 n	$\chi^2_{0.95,100} = 77.93$
7	0.95	95.33	负相关 n	
8	1.21	121.08	正相关 p	$\chi^2_{0.05,100} = 124.34$
9	0.98	98.33	负相关 n	

4 讨论

χ^2 检验显示,在6—9月份的共计120个种对中负相关种对远大于正相关种对。这与雾灵山亚高山草甸植物^[10]、内蒙古四子王旗短花针茅荒漠草原植物群落^[11]以及承德县人工油松林林下草本植物^[12]研究结果一致。何友均等^[8]在三江源玛珂河林区寒温性针叶林优势草本植物群落得到相反的结论,正关联种对数更多。不同的物种对间,表现出种间负联结,可能由于各物种所需的资源空间和生存环境的不同,表现出物种间的排斥性,也可能存在着他感作用的影响,其机制有待于进一步探讨^[13]。草本植物对温度、光照、水分、土壤等诸多环境因子的反应差异可能不同程度地影响了物种间的关系。对沙地油松林而言,主导因子是水分。在沙地油松林这样资源有限的环境条件下,特别是光照强、水分蒸发量大的环境中,草本植物对生境的要求不同及水分等资源利用上的差异,必然会导致物种间对资源的利用性竞争,物种对间往往会表现负相关。负联结种对一般通过生态位的分化,来实现种间的共存,对水分条件有不同需求的种群之间呈负相关;对水分因子适应性相似的种群之间一般呈现正相关^[11]。响水电站、雾灵山、四子王旗以及承德均为温带大陆性气候,而三

江源玛珂河则属于温带半湿润气候区,气候差异可能是导致草本植物群落种间关联性出现差异的主要原因。本研究中极显著和显著负关联种对数高于极显著和显著正关联种对,承德人工油松林草本植物群落中极显著和显著正关联种对高于极显著和显著负关联种对^[12]。承德人工油松林为幼龄林或中龄林,且承德年降水量高于响水电站,林分类型的不同以及降水量的差异可能也是影响草本植物种群种间关系的主要因素之一。植物种对的正联结体现了植物利用资源的相似性和生态位的重叠性,植物种对的负联结体现了物种间的排斥性,这是长期适应不同微环境,利用不同空间资源的结果,也是生态位分离的反映^[14]。

赤峰沙地油松林草本植物群落总体相关性随月份而变化,6月呈显著负相关($VR = 0.44$),7月呈不显著负相关($VR = 0.95$),8月份则呈不显著正相关($VR = 1.21$)。随着时间变化,草本群落结构及种类组成逐渐趋于完善和稳定,种间关系也将同步趋于正联结,以求得多物种间的稳定共存。6—8月份变化趋势与杜道林等^[15]、周先叶等^[16]研究结论基本一致。然而,9月份草本植物群落总体为关联不显著($VR = 0.98$), VR 的值偏离1很小,群落总体关联性近似于无关联。因此,6—9月份草本群落总体关联性由显著相关逐渐趋向于无关联。6—9月份变化趋势与黄世能等人^[17]在海南岛尖峰岭次生热带山地雨林研究结论一致。可见,某一草本群落总体关联性随时间变化是在不断改变的,并不是单一的从负相关到正相关,或从相关到不相关。草本群落总体关联的季节动态与生境密切相关,光照、水分等生境因子变化影响着草本植物群落物种组成及种间关系,并最终影响到草本群落总体相关性。对于沙地油松林而言,水分可能是影响其群落总体关联性变化的重要原因。可能还有其他方面原因,例如取样尺度大小、样方数量、用于联结测定的植物种数多少、时间序列与空间序列的差异等。

References:

- [1] Peng S L, Zhou H C, Guo S C. Studies on the changes in interspecific association of zonal vegetation in Dinghushan. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(11):1239-1244.
- [2] Shen Y Y, Li Y, Lu N. Competitive ability and interspecific relationship among four forage species. *Acta Pratacultural Science*, 2002, 11(3):8-11.
- [3] Yong S P, Liu S R. A fragment of natural Chinese Pine Community of Xiao Tengger Sands, Inner Mongolia. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 1982, 13(1):121-124.
- [4] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004.
- [5] Li C X, Wang Z H, Wang W L. *Biostatistics*. Beijing: Science Press, 2000.
- [6] Greig S. *Quantitative Plant Ecology*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science Publications, 1983:105-112.
- [7] Wang B S, Peng S L. Study on the measuring techniques of interspecific association of lower-subtropical evergreen-broadleaved forest I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1985, 9(4):274-285.
- [8] He Y J, Cui G F, Zou D L, Zheng J, Dong J S, Li Y B, Hao W C, Li C M. Interspecific association of dominant herbaceous species in cold temperate coniferous forest of Makehe Forest Region in San Jiangyuan, northwestern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(1):148-153.
- [9] Schluter D. A variance test for detecting species association with some example applications. *Ecology*, 1984, 65(3):998-1005.
- [10] Wan W X, Wang D Y, Feng X Q, Guo W Z, Zhou X Z, Cai W B. The association analysis of herbaceous plant in subalpine meadow in Wuling Mountain. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2001, 16(4):311-317.
- [11] Xi L T N, Meng R, Mu Z J. Correlation analysis of interspecific relationship of community in desert steppe in Siziwang Banner in Inner Mongolia. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2008, 29(6):6-9.
- [12] Zhang G J, Zhang J L, Li S X, Yu X Y, Zhou G N, Gao B J. Interspecific relations of herbage species under artificial pinus tabulaeformis forests in Chengde County. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(07):109-113.
- [13] Yang X D, Lu G H, Tian Y H, Yang J, Zhang X M. Ecological groups of plants in Ebinur Lake Wetland. Nature Reserve of Xinjiang. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(12):2489-2494.
- [14] Zhong Y L, Wang Y L, Xu M, He J, Lü G H. Interspecific relationship among the plants in Ebinur lake wetland. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 5(24):153-157.
- [15] Du D L, Liu Y C, Li R. Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical catanopsis fargesii forest in Jinyun Mountain,

China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(2): 149-157.

- [16] Zhou X Y, Wang B S, Li M G, Zan Q J. An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve. Guangdong Province. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 332-339.
- [17] Huang S N, Li Y D, Luo T S, Wang B S. Dynamic of associations between tree species in a secondary tropical montane rain forest at Jianfengling on Hainan Island. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 569-574.

参考文献:

- [1] 彭少麟, 周厚诚, 郭少聪. 鼎湖山地带性植被种间联结变化研究. *植物学报*, 1999, 41(11): 1239-1244.
- [2] 沈禹颖, 李昀, 陆妮. 4 种牧草种间竞争力和种间关系的研究. *草业学报*, 2002, 11(3): 8-11.
- [3] 雍世鹏, 刘书润. 内蒙古小腾格里沙地中的天然油松林群落片断. *内蒙古大学学报*, 1982, 13(1): 121-124.
- [4] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7] 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究 I. 种间联结测式的探讨与修正. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1985, 9(4): 274-285.
- [8] 何友均, 崔国发, 邹大林, 郑杰, 董建生, 李永波, 郝万成, 李长明. 三江源玛珂河林区寒温性针叶林优势草本种间联结研究. *北京林业大学学报*, 2008, 30(1): 148-153.
- [10] 万五星, 王德艺, 冯学全, 郭文增, 周秀珍, 蔡万波. 雾灵山亚高山草甸植物种间联结分析. *河北林果研究*, 2001, 16(4): 311-317.
- [11] 锡林塔娜, 蒙荣, 慕宗杰. 内蒙古四子王旗短花针茅荒漠草原群落种间关联分析. *畜牧与饲料科学*, 2008, 29(6): 6-9.
- [12] 张桂娟, 张金龙, 李淑贤, 于新友, 周国娜, 高宝嘉. 承德县人工油松林林下草本植物种间关系研究. *中国农学通报*, 2009, 25(07): 109-113.
- [13] 杨晓东, 吕光辉, 田幼华, 杨军, 张雪梅. 新疆艾比湖湿地自然保护区植物的生态分组. *生态学杂志*, 2009, 28(12): 2489-2494.
- [14] 钟彦龙, 王银山, 徐敏, 何静, 吕光辉. 艾比湖湿地植物种间关系研究. *干旱区资源与环境*, 2010, 5(24): 153-157.
- [15] 杜道林, 刘玉成, 李睿. 缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性研究. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 149-157.
- [16] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 咎启杰. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 332-339.
- [17] 黄世能, 李意德, 骆土寿, 王伯荪. 海南岛尖峰岭次生热带山地雨林树种间的联结动态. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 569-574.