

长白山哈泥泥炭地两种生境苔藓 与维管植物种间联结

陈旭, 卜兆君*, 王升忠, 李鸿凯, 赵红艳

(东北师范大学泥炭沼泽研究所 国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室, 吉林 长春 130024)

摘要:采用 2×2 列联表, 通过方差分析、 χ^2 检验、Spearman秩相关和Jaccard指数对哈泥泥炭地20种优势苔藓和维管植物种间联结进行定量分析。研究表明, 1) 在开阔地, 中位泥炭藓、锈色泥炭藓和桧叶金发藓3种苔藓与小叶杜鹃、鹿药、狭叶杜香的种间联结具有一致性, 林缘中尖叶泥炭藓和喙叶泥炭藓与维管植物主要呈负关联; 2) 林缘生境物种总体呈显著正关联, 开阔地中呈不显著正关联; 3) 2种生境下种间关联对比发现, 郁闭度是影响泥炭地植被分布的重要环境因子, 在同种生境下重要值大的物种之间通常出现正联系, 在2种生境重要值差异大的物种之间一般表现为负联系。

关键词:哈泥泥炭地; 苔藓植物; 维管植物; 种间联结; 郁闭度

中图分类号: Q948.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2009)02-0108-07

* 植物群落是由多种植物共同组成的, 群落内的每个植物个体不是孤立存在的, 而是与生境中其他植物相互作用, 相互影响, 并表现为某种种间关系, 如竞争、共存、寄生等^[1]。种间联结是植物群落的重要特征之一, 是重要的数量和结构指标。认识植物种间联结, 对研究群落水平格局的形成和群落演替动态具有重大意义^[2]。

苔藓植物是贫营养泥炭地植物群落的重要组成物种, 常常由一种或几种苔藓紧密生长形成藓丘, 在藓丘上苔藓和维管植物形成不同的层片, 苔藓与维管植物的种间关系受到学者关注^[3,4]。目前, 国内的种间关联研究主要集中在山地森林生态系统和草地生态系统^[5-14], 少数学者对苔藓植物与附生树的关系, 林下苔藓的分布格局进行研究^[15,16], 贫营养泥炭地中苔藓与维管植物的种间关联研究国内报道很少。笔者主要研究贫营养泥炭地2种生境苔藓与维管植物种间关联, 进一步认识贫营养泥炭地植被分布格局和群落演替趋势。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本研究样地位于长白山西侧龙岗山脉中部的哈泥泥炭地(126°31'05" E, 42°12'50" N)。该泥炭地气温常年偏低, 年均温2.5~3.6℃, 全年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温为2600℃左右。年降水量757~930 mm, 土壤为泥炭土^[17]。

哈泥泥炭地生境类型复杂, 植物群落多样, 按乔木优势度高低可大体划分为林缘和开阔地2种生境。林缘生境呈环带状分布于泥炭地边缘, 并向泥炭地内部延展, 将整个泥炭地分割成4个大小不一的开阔地生境。林缘生境中植物群落, 以黄花落叶松(*Larix olgensis*)为乔木层单优势种, 小灌木层以油桦(*Betula fruticosa* var. *ruprechtiana*)、狭叶杜香(*Ledum palustre* var. *angustum*)或笃斯越橘(*Vaccinium uliginosum*)为优势; 草本层以羊胡子草(*Eriophorum*)、毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)或沼苔草(*C. limosa*)等居多, 主要分布于丘间微生境中; 苔藓以中位泥炭藓(*Sphagnum magellanicum*)、锈色泥炭藓(*S. fuscum*)、大泥炭藓(*S. palustre*)或尖叶泥炭藓(*S. capillifolium*)为主。开阔地生境中, 黄花落叶松分布极少, 若有, 个体大多不足1 m, 生长不良; 小灌木层及草本层与林缘生境较为相似; 苔藓地被层多以大泥炭藓或中位泥炭藓为主。2种生境中均伴生其他多种泥炭藓以及沼泽皱缩藓(*Aulacomnium palustre*)和桧叶金发藓(*Polytrichum juniperinum*)等, 并且在局部微生境中, 部分苔

* 收稿日期: 2008-04-28; 改回日期: 2008-07-07

基金项目: 国家自然科学基金(30700055), 东北师范大学“十一五”科技创新基金项目(106111065202, 106111065312)和东北师范大学测试基金资助。

作者简介: 陈旭(1984-), 男, 湖北咸宁人, 硕士。E-mail: chenx743@yahoo.cn

* 通讯作者。E-mail: buzhaojun@nenu.edu.cn

藓如喙叶泥炭藓(*S. fallax*)、桧叶金发藓可成为优势植物。部分群落的详细描述可参见文献[18]。

1.2 研究方法

1.2.1 调查方法 本研究取样范围包括开阔地和林缘 2 种生境,2007 年 8 和 9 月用样方法随机调查 7 种苔藓植物的典型生境,设计 1 m×1 m 的样方,林缘 71 个,开阔地 48 个。调查项目包括植物种类及多度、高度和盖度等指标。所有样方内共记录到 40 种植物,根据得到的资料计算重要值,重要值=(相对盖度+相对密度+相对频度)/3,根据重要值大小选取 13 种优势维管植物和 7 种苔藓植物进行种间联结和相关性分析。20 种优势植物在 2 种生境中重要值见表 1。

表 1 哈泥泥炭地 2 种生境 20 种主要植物的重要值

Table 1 Names and important values of 20 dominant species in 2 habitats in Hani Peatland

序号 No.	种名 Species names	林缘 Forest edge	开阔地 Open area	序号 No.	种名 Species names	林缘 Forest edge	开阔地 Open area
1	凤毛菊 <i>Saussurea</i> spp.	0.096	0.254	11	油桦 <i>Betula fruticosa</i> var. <i>ruprechtiana</i>	0.196	0.325
2	小白花地榆 <i>Sanguisorba parviflora</i>	0.115	0.228	12	笃斯越橘 <i>Vaccinium uliginosum</i>	0.359	0.081
3	黄花落叶松 <i>Larix olgensis</i>	0.076	0.147	13	狭叶杜香 <i>Ledum palustre</i> var. <i>angustum</i>	0.364	0.248
4	水问荆 <i>Equisetum fluviatile</i>	0.137	0.231	14	大泥炭藓 <i>Sphagnum palustre</i>	0.040	0.315
5	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	0.012	0.156	15	中位泥炭藓 <i>S. magellanicum</i>	0.257	0.344
6	越桔柳 <i>Salix myrtilloides</i>	0.141	0.175	16	锈色泥炭藓 <i>S. fuscum</i>	0.128	0.188
7	小叶杜鹃 <i>Rhododendron parvifolium</i>	0.109	0.263	17	桧叶金发藓 <i>Polytrichum juniperinum</i>	0.405	0.342
8	毛蒿豆 <i>Oxycoccus palustris</i>	0.306	0.445	18	喙叶泥炭藓 <i>S. fallax</i>	0.202	0.126
9	毛果苔草 <i>Carex lasiocarpe</i>	0.183	0.290	19	尖叶泥炭藓 <i>S. capili folium</i>	0.268	0.038
10	鹿药 <i>Smilacina japonica</i>	0.274	0.250	20	沼泽皱缩藓 <i>Aulacomnium palustre</i>	0.254	0.242

1.2.2 多物种间联结显著性检验 按照方差比率(VR)来同时检验多物种间的关联^[19],可以说明在某种生境下多个物种间是否存在显著的联结性。先作 0 假设,即 20 个种群间无显著联系,按下列公式计算检验统计。

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

式中,S 为总的物种数,N 为总样方数, n_i 为物种 i 出现的样方数, T_j 为样方 j 内出现的研究物种总数, t 为样方中种的平均数。在独立性假设条件下 VR 期望值为 1。 $VR > 1$ 表示物种间表现出正关联; $VR < 1$ 表示物种间存在负关联。

采用统计量 W 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度, $W = (VR) \cdot N$ 。当种对间关联不显著,则 W 落入 $X_{0.95,N}^2 < W < X_{0.05,N}^2$ 界限内的概率有 90%,计算得出林缘生境中 $VR_1 = 1.926, W_1 = 136.7$;开阔地中 $VR_2 = 1.282, W_2 = 61.5$ 。查表得 $X_{0.95,71}^2 = 52.600, X_{0.05,71}^2 = 91.670, X_{0.95,48}^2 = 33.098, X_{0.05,48}^2 = 65.171$ ^[20]。这说明林缘生境中 VR_1 偏离 1 显著,物种间呈显著正关联;开阔地中 VR_2 偏离 1 不显著,物种间正关联性不显著。

1.2.3 成对物种间联结性检验—— χ^2 检验 分别建立林缘和开阔地的 20×71 和 20×48 两个种——样方矩阵,在此基础上计算各种对的种间关联系数 a, b, c, d 的值。根据 2×2 联列表的 χ^2 统计量,采用 Yates 校正的 χ^2 检验公式测定关联的显著性^[21]:

$$\chi^2 = \frac{N[|ad-bc| - 0.5N]^2}{(a+c)(b+d)(a+b)(c+d)} \tag{1}$$

式(1)中, a 为含有 2 个种的样方数; b 为只含有 B 种的样方数; c 为只含有 A 种的样方数; d 为 2 个种都不存在的样方数。 N 为总实测样方数。当 $ad > bc$ 时为正联系, $ad < bc$ 时则为负联系。通常当显著性值 $P > 0.05$ 时,即 $\chi^2 < 3.841$ 时,认为 2 个种独立分布,即中性联系; $0.01 < P < 0.05$,即 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时认为种间联系显著; $P < 0.01$ 即 $\chi^2 > 6.635$ 时,认为种间联结极显著。

1.2.4 Spearman 秩相关分析 应用定量数据(盖度值)对种间关系进行 Spearman 秩相关分析^[21], 计算公式如下:

$$r(i, k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N d_j^2}{N^3 - N} \quad (2)$$

式(2)中, $r(i, k)$ 为 Spearman 秩相关系数; N 为样方数; 根据样方中的盖度大小, 将每个样方中的盖度值转换成它的序号值, 根据物种在每个样方中的盖度序号值得出物种的盖度向量, 即“秩化向量”, $d_j = x_{ij} - x_{kj}$, x_{ij} 和 x_{kj} 分别为种 i 和 k 在样方 j 中的秩。

1.2.5 种间关联度测定 采用 Jaccard 指数^[22], 计算公式如下:

$$I = \frac{a}{a+b+c} \quad (3)$$

式(3)中, a 为含有 2 个种的样方数; b 为只含有 B 种的样方数; c 为只含有 A 种的样方数。该指数的变化幅度为 0~1, 越接近 1 表明种对正联系越紧密。

2 结果与分析

2.1 总体关联性分析

由方差比率检验分析, 林缘生境中 20 个优势种总体呈显著性正关联, 开阔地中 20 种优势种总体呈不显著性正关联。苔藓与维管植物之间共 91 个种对, 林缘生境中正关联种对数(Spearman 秩相关和 χ^2 结果分别为 53 和 55)明显多于负关联种对数(2 种计算结果分别为 38 和 36), 开阔地中正负关联种对数相当(Spearman 秩相关和 χ^2 结果正关联种对数分别为 46 和 44, 负关联种对数为 45 和 47), 与方差比率检验结果吻合。

2.2 种间关联分析

在图 1 I 和 II 中, 喙叶泥炭藓和尖叶泥炭藓与维管植物基本呈负关联。而其他苔藓与维管植物的关联性规律不明显。根据维管植物与喙叶泥炭藓, 尖叶泥炭藓关联性差异, 把维管植物分为 3 组: 与 2 种苔藓呈负关联物种, 包括凤毛菊、小白花地榆、黄花落叶松、水问荆、金露梅、越桔柳、小叶杜鹃和油桦; 与 2 种苔藓不显著性正关联的物种, 包括笃斯越橘; 其他 4 个物种包括毛蒿豆、毛果苔草、狭叶杜香和鹿药, 与这 2 种苔藓关联性无规律。

图 2 I 和 II 表明, 中位泥炭藓、锈色泥炭藓、桧叶金发藓 3 种苔藓与小叶杜鹃、鹿药、狭叶杜香的种间联结表现出明显一致性, 据此可以把这 3 种苔藓归为一类。大泥炭藓与小叶杜鹃、鹿药、狭叶杜香的关联性同这 3 种苔

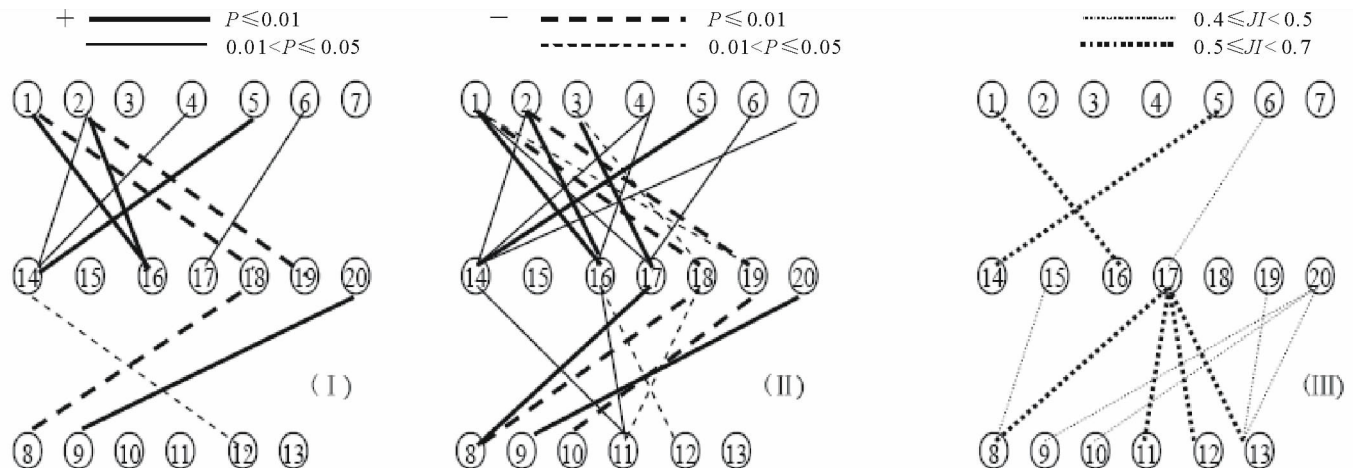


图 1 哈泥泥炭地林缘 20 个优势种种间关联 χ^2 (I)、Spearman 秩相关分析(II)和 Jaccard 指数星座图(III)

Fig. 1 Constellation of interspecific association of the 20 dominant species based on χ^2 test (I),

Spearman rank correlation(II) and Jaccard index(III) in forest edge of Hani Peatland

星座图中的数字代表的植物同表 1 Numbers in the constellation stand for the same as in Table 1. 下同 The same below

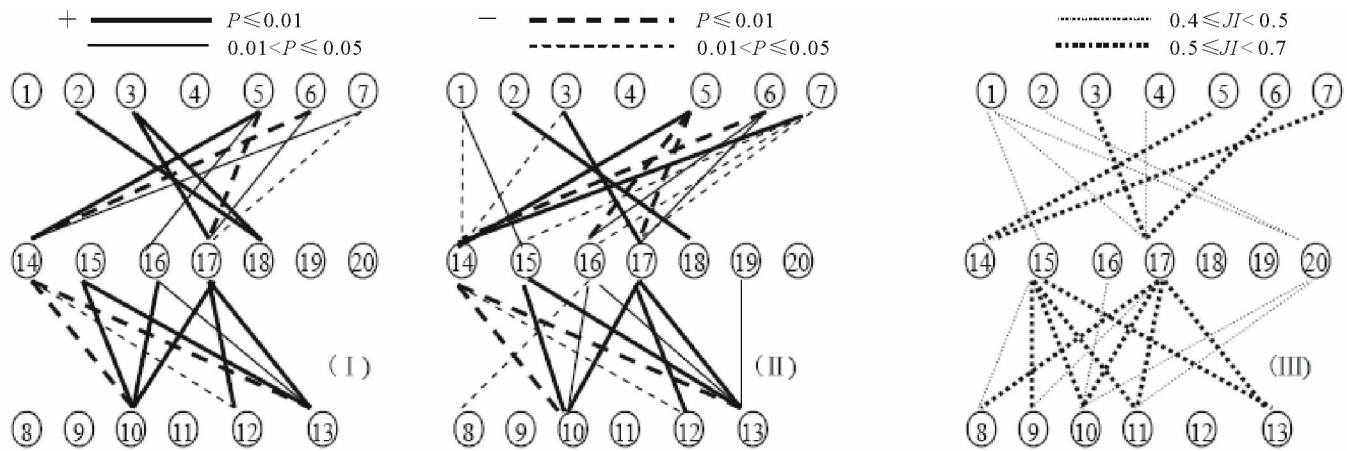


图 2 哈泥泥炭地开阔地 20 个优势种间关联 χ^2 (I)、Spearman 秩相关分析 (II) 和 Jaccard 指数星座图 (III)

Fig. 2 Constellation of interspecific association of the 20 dominant species based on χ^2 test (I), Spearman rank correlation (II) and Jaccard index (III) in open area of Hani Peatland

藓情况相反。喙叶泥炭藓、尖叶泥炭藓以及沼泽皱缩藓 3 种苔藓与维管植物种间关联基本呈中性。根据维管植物与苔藓种间关联差异,将维管植物分为 3 组:第 1 组是与中位泥炭藓、锈色泥炭藓和桧叶金发藓呈正联系的物种,包括:凤毛菊、黄花落叶松、越桔柳、鹿药、笃斯越橘、狭叶杜香;第 2 组是与这 3 种苔藓呈负联系的物种,包括:金露梅、小叶杜鹃和毛蒿豆;第 3 组与 3 种苔藓种间关联呈中性的物种,包括:小白花地榆、水问荆、毛果苔草和油桦。

2.3 2 种生境种间关联对比

分析图 1,2 和表 2 表明,大部分种对在 2 种生境中种间关联性质保持一致但关联系数明显不同,少数种对关联性发现明显变化。少数种对在 2 种生境中均表现出显著性正联系,如种对 3-17、5-14、7-14、6-17。种对 10-15、10-16、13-15、13-16、13-17 从林缘到开阔地正关联显著性在增强。种对 5-17、10-14、13-14 种间负关联显著性由林缘到开阔地增强,而种对 1-18、2-19、8-18 负关联显著性从林缘到开阔地减弱。种对 2-16、9-20 在林缘为极显著正关联而在开阔地中则变为负关联。

3 讨论

3.1 方法

从种间关联测定结果看,Spearman 秩相关分析与种间关联 χ^2 结果基本一致,显著水平以上的正关联种对 Jaccard 指数也较高,具体计算结果上的差异是由于计算公式不同导致。 χ^2 由于具有明确的指标 ($P < 0.01$ 和 $P > 0.05$),能比较客观地反映种间联结性^[5],但是 χ^2 不能给出关联程度的大小^[8]。Spearman 秩相关系数属于非参数检验,它不要求物种服从何种分布,因此应用起来更为灵活方便,敏感性较强^[11]。Jaccard 指数在 a 值小时,不受 d 值的影响,较为准确地反映物种之间正联系性强弱^[5,6]。因此将这 3 种方法结合分析,可以比较准确地描述物种种间联结。

种间联结是对种群之间关系外在现象的描述,不能揭示其内在机制,有学者认为设计永久样方可以深入了解种间联结的内在机制^[6],彭李菁^[9]研究鼎湖山地带性植被气候顶级群落种间联结 22 年的变化,总结出种间联结性的变化,但是没有对种间联结的内在机制做出明确的解释。笔者认为在水位埋深、沼泽水 pH 值、电导率、化学元素等环境因子维度上的生态位分析,可以进一步解释苔藓与维管植物间的种间关联形成机制。

3.2 苔藓与维管植物种间关联

通常种间联结性被认为是下列几个原因:1)相似(正关联)与不相似(负关联)的环境因子;2)一个种为另一种创造了定居条件形成正关联;3)两者之间存在空间或资源的排斥争夺造成负关联;4)两者在根系中通过物理或化学的因素相互影响形成正关联或负关联^[10,23,24]。苔藓与维管植物间的正关联一方面由于生境中环境因子的相似

性,如种对 1-16、10-15、10-16、10-17,凤毛菊和鹿药生长在中位泥炭藓、锈色泥炭藓和桧叶金发藓之中;另一方面维管植物为苔藓的生长提供有利定居环境,例如灌木的根系为苔藓提供骨架支撑,枝叶能改变苔藓表面的风速和温度,同时枝叶的遮阴作用能够减少苔藓表面水分蒸发,有助于苔藓保持水分^[4],如落叶松、越桔柳和狭叶杜香分别与桧叶金发藓形成的种对呈显著正关联。

表 2 苔藓与维管植物主要种对 χ^2 , Spearman 秩相关和 Jaccard 指数

Table 2 χ^2 test, Spearman rank correlation and Jaccard index of dominant species pairs between vascular plants and bryophytes

林缘 Forest edge					开阔地 Open area				
种对 Species pairs	联结性质 Association (+ or -)	χ^2 检验 χ^2 test	Spearman 秩相关 Spearman rank correlation	Jaccard 指数 Jaccard index	种对 Species pairs	联结性质 Association (+ or -)	χ^2 检验 χ^2 test	Spearman 秩相关 Spearman rank correlation	Jaccard 指数 Jaccard index
1-16	+	20.705*	0.529**	0.500	1-16	+	3.181	0.268	0.343
1-18	-	9.043**	0.378**	0	1-18	-	0.107	0.097	0.158
2-16	+	8.117**	0.345**	0.346	2-16	-	1.278	0.266	0.162
2-19	-	8.635**	0.390**	0.043	2-19	-	0.041	0.148	0.031
3-17	+	2.496	0.309**	0.265	3-17	+	10.950*	0.443**	0.533
5-14	+	18.625*	0.717**	0.500	5-14	+	14.298*	0.498**	0.542
5-17	-	1.561	0.199	0	5-17	-	8.001**	0.389**	0.128
6-17	+	0.011	0.274*	0.431	6-17	+	5.540*	0.317*	0.515
7-14	+	2.205	0.293*	0.136	7-14	+	4.645*	0.573**	0.500
7-17	+	0.108	0.053	0.283	7-17	-	4.644*	0.290*	0.333
8-18	-	9.816**	0.475**	0.105	8-18	-	0.001	0.046	0.182
9-20	+	8.541**	0.354**	0.488	9-20	-	0.014	0.127	0.366
10-14	-	0.009	0.085	0.042	10-14	-	10.228*	0.583**	0.204
10-15	+	0.477	0.114	0.370	10-15	+	7.979**	0.485**	0.595
10-16	+	0.797	0.097	0.224	10-16	+	9.069**	0.363*	0.406
10-17	-	0.304	0.204	0.525	10-17	+	10.228*	0.498**	0.639
12-17	+	0.003	0.158	0.569	12-17	+	8.406**	0.399**	0.333
13-14	-	1.568	0.132	0.032	13-14	-	21.837*	0.540**	0.114
13-15	+	0.316	0.199	0.397	13-15	+	11.113**	0.324*	0.606
13-16	+	0.304	0.016	0.213	13-16	+	4.601*	0.290*	0.367
13-17	+	3.720	0.058	0.672	13-17	+	15.644*	0.474**	0.667

种对中的数字代表的植物同表 1。The numbers in the species pairs stand for the same as in Table 1.

** 显著水平 $P \leq 0.01$ 。Significant level $P \leq 0.01$ 。* 显著水平 $0.01 < P \leq 0.05$ 。Significant level $0.01 < P \leq 0.05$ 。

苔藓与维管植物间的负关联一方面由于生境的差异引起,例如尖叶泥炭藓和喙叶泥炭藓主要生长在林缘,金露梅主要分布在开阔地,在林缘这 2 种苔藓分别与金露梅呈负关联;另一方面苔藓植物和维管植物间存在光照和空间竞争,苔藓植物为适应干旱环境采取密集生育的生活策略,维管植物的种子落在苔藓植株表面不能接触土壤而无法发芽,即使发芽幼根不能与底下土壤接触^[3],如小白花地榆、凤毛菊能在其他几种苔藓中生长,但很少生长尖叶泥炭藓表面。During 和 Tooren^[3]将苔藓地被形象地比喻成维管植物种群动态的调节器。

3.3 2 种生境中的种间关联特征

在哈泥泥炭地中,重要值大的物种种间关联呈现一定规律。同种生境中,重要值较大的苔藓与维管植物之间一般表现出正联系。开阔地中重要值较大的苔藓与维管植物,如油桦、金露梅和毛蒿豆分别与大泥炭藓形成的种

对,表现为正联系;林缘中重要值较大的苔藓与维管植物,如尖叶泥炭藓与笃斯越橘呈正联系。而在 2 种生境中重要值差别大的物种之间一般表现为负联系,如大泥炭藓与笃斯越橘、尖叶泥炭藓与金露梅、尖叶泥炭藓与凤毛菊形成的种对呈负联系。这与物种生境中郁闭度异同有关,同一生境中重要值大的物种生境中郁闭度具有很强的相似性,2 种生境中重要值差别大的物种生境中郁闭度具有很大的差异性。

2 种生境中同一种对种间关联不同,有多方面的原因。一些种对从林缘到开阔地种间正关联性增强,表明苔藓与维管植物协调关系增强,由于水分是影响苔藓分布的重要环境因子^[4],林缘生境乔木遮阴降低苔藓的水分蒸发,在开阔地中苔藓植物对灌木和草本植物的遮阴依赖性增强;由于生境差异导致的负关联,显著性一般在苔藓优势生境中增强,例如种对 10-14、13-14、1-18、2-19、8-18;少数种对关联性从开阔地中的负关联变为林缘中的显著性正关联,说明乔木的遮阴作用是部分物种共存的必要条件,如种对 2-16、9-20。

3.4 群落的演替

在植物群落的演替过程中,随着植物群落的成熟度增加,群落结构及其种类组成将逐渐趋于完善和稳定,种间关系也趋于正关联,达到物种间的稳定共存,而物种间的负关联居多则说明群落尚处于不稳定状态,各物种间在资源利用上存在竞争^[6,25]。方差比率分析结果表明,哈泥泥炭地中 20 种优势植物在林缘生境中总体呈显著正关联,开阔地中呈不显著正关联,这表明林缘植物群落结构更为稳定。这与植物群落发育时间长短有关,哈泥泥炭地是由火山堰塞湖经水体沼泽化过程演变而来^[17],水体沼泽化过程中植物由湖边向湖心扩张,位于泥炭地边缘的林缘植物群落发育时间更长,经过长期的协调进化,物种各自占据有利的环境资源,彼此之间形成协调关系,其成熟程度越高。

致谢:野外工作得到龙湾林场赵利同志的帮助,数据处理得到姜丽红、韩毅、王春权、翁翎燕和夏丹丹同学的帮助,特表示衷心感谢。感谢审稿人提出宝贵修改意见。

参考文献:

- [1] Hubalek Z. Coefficients of association and similarity, based on binary (presence-absence) data: An evaluation[J]. *Biological Reviews*, 1982, 57(4):669-689.
- [2] Cox G W. 普通生态学实验手册[M]. 蒋有绪,译. 北京:科学出版社, 1979. 106-109.
- [3] During H, Tooren B. Bryophyte interactions with other plants[J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1990, 104:79-98.
- [4] Ingerpuu N, Liira J, Partel M. Vascular plants facilitated bryophytes in a grassland experiment[J]. *Plant Ecology*, 2005, 180: 69-75.
- [5] 邓贤兰, 刘玉成, 吴杨. 井冈山自然保护区栲属群落优势种群的种间联结关系研究[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(4):531-536.
- [6] 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[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(2):149-157.
- [7] 郭道宇, 张金屯, 高洪文. 白羊草群落优势种种间联结性的分析[J]. *草业学报*, 2003, 12(2):14-19.
- [8] 胡乐理, 闫伯前, 刘琪璟, 等. 南方丘陵人工林林下植物种间关系分析[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11):2019-2024.
- [9] 彭李菁. 鼎湖山气候顶级群落种间联结变化[J]. *生态学报*, 2006, 26(11):3732-3739.
- [10] 王伯荪, 彭少麟. 鼎湖山森林群落分析——物种联结性[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 1983, 22(4):27-35.
- [11] 王琳, 张金屯. 历山山地草甸优势种的种间关联和相关分析[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(8):1435-1440.
- [12] 韩大勇, 杨允菲, 李建东. 1981—2005 年松嫩平原羊草草地植被生态对比分析[J]. *草业学报*, 2007, 16(3):9-14.
- [13] 乔利鹏, 张峰, 张桂萍, 等. 山西关帝山撂荒地植物群落物种多样性研究[J]. *草业学报*, 2007, 16(3):132-135.
- [14] 李玉霖, 孟庆涛, 赵学勇. 科尔沁沙地流动沙丘植被恢复过程中群落组成及植物多样性演变特征[J]. *草业学报*, 2007, 16(6): 54-61.
- [15] 郭水良, 曹同. 长白山森林生态系统腐生木生苔藓植物生态分布的 DCA 排序研究[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(4):399-403.

- [16] 郭水良, 曹同. 长白山森林生态系统树附生苔藓植物分布与环境关系研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 922-931.
- [17] 乔石英. 长白山西麓哈泥炭沼泽初探[J]. 地理科学, 1993, 13(3): 279-287.
- [18] 卜兆君, 杨允菲, 代丹, 等. 长白山泥炭沼泽桧叶金发藓种群的年龄结构与生长分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 44-48.
- [19] Schluter D. A variance test for detecting species association, with some example application[J]. Ecology, 1984, 65: 998-1005.
- [20] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社; 海德堡: 施普林格出版社, 1999. 262-265.
- [21] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 98-113.
- [22] Jaccard P. Study of comparative distribution of flower in the partion of Alpes and Jura[J]. Bulletin of Society of Natural Sciences Vaudoise, 1901, 37: 241-272.
- [23] Greig-smith P. Quantitative Plant Ecology (3rd)[M]. Oxford: Blackwell Scientific publications, 1983. 154-162.
- [24] Kershaw K A, Looney J H. Quantitative and Dynamic Plant Ecology (3rd)[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. 105-128.
- [25] 杨一川, 庄平, 黎系荣. 峨眉山峨嵋栲、华木荷群落研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 105-120.

Interspecific relationships of bryophytes and vascular plants in two habitats of Hani Peatland in Changbai Mountain

CHEN Xu, BU Zhao-jun, WANG Sheng-zhong, LI Hong-kai, ZHAO Hong-yan

(Institute for Peat and Mire Research, Key Laboratory for Wetland Ecology and Vegetation Restoration of State Environmental Protection Administration, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: A series of techniques including the analysis of variance, χ^2 -test, Spearman rank correlation and Jaccard Index based on a 2×2 contingency table were used to determine the interspecific association of the 20 dominant bryophytes and vascular plants in the Hani Peatland of Changbai Mountain. Our results indicate that in open areas the interspecific associations are similar between *Sphagnum magellanicum*, *S. fuscum*, *Polytrichum juniperinum* and three vascular plants including *Rhododendron parvifolium*, *Smilacina japonica*, *Ledum palustre* var. *ngustum*. In contrast, at the forest edge the interspecific associations between *S. capillifolium*, *S. fallax* and vascular plants are mainly negative. The relationships between bryophytes and vascular plants at the forest edge are significantly positive, but are not significantly positive in open areas. Through a comparison of interspecific associations in the two habitats, we found that canopy density was an important environmental factor that influenced vegetation distribution patterns in Hani Peatland. Furthermore, in one habitat the species-pairs with larger plant important values appear to have a positive association and the species-pairs which have significantly different plant important values in the two habitats appear to have a negative association.

Key words: Hani Peatland; bryophytes; vascular plants; interspecific relationship; canopy density