

环境梯度下蒙古栎群落的物种多样性特征

于顺利¹, 马克平¹, 徐存宝², 金淑芳², 宋晓兵², 陈灵芝¹

(1. 中国科学院植物研究所植被数量重点实验室, 北京 100093; 2. 黑龙江省丰林国家级自然保护区管理局, 伊春 153033)

摘要:通过样地法研究了东北地区处于不同经度、纬度和海拔的 13 个地点蒙古栎群落的物种丰富度、Gini 指数、*PIE* 指数、Shannon 指数和 Pielou 指数, 利用相关和回归的统计方法分析了不同地点物种的丰富度指数、Simpson 多样性指数和 Shannon 多样性指数与各地所处的经度、纬度和海拔的关系。结果发现: 不仅不同地点(较大尺度)的物种丰富度和多样性指数均有差异, 即使在相同的地点(较小尺度), 物种丰富度及多样性指数也有差异, 有时还具有很大的差异, 呈现空间异质性分布的特征; 因为影响这些多样性指数的环境因子更加复杂, 不仅受经度、纬度和海拔的影响, 也受地形、群落的年龄、干扰史等多种生态因子影响。不同地点的物种丰富度与海拔和纬度都具有明显的相关性($p < 0.05$), 物种丰富度随海拔和纬度的升高而降低, 依据显著度的大小可以推测物种丰富度与海拔的相关性比与纬度的相关性更密切; 蒙古栎群落不同类群的植物种的丰富度具有不同的分布格局, 木本植物的丰富度与当地纬度具有明显的相关性($p < 0.05$), 而与所在地的海拔没有显著的关系($p > 0.05$), 而草本植物受海拔的影响更显著($p < 0.05$), 而与纬度之间没有显著的关系($p > 0.05$)。群落的 Gini 指数、*PIE* 指数、Shannon 指数和 Pielou 指数未发现与海拔、纬度和经度之间具有显著的相关性。通过对不同地点几种植物多样性指标的数据矩阵和纬度、海拔、经度以及人类活动等环境因子 CCA 排序分析, 也得到相似的结果。

关键词:蒙古栎群落; 环境梯度; 异质性; 物种丰富度; 物种多样性

The species diversity characteristics comparison of *Quercus mongolica* community along environmental gradient factors

YU Shun-Li¹, MA Ke-Ping, XU Cun-Bao², JIN Shu-Fang², SONG Xiao-Bing², CHEN Ling-Zhi¹

(Quantitative Vegetation Ecology Laboratory, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing 100093; Fenglin National Nature Reserve Administrative Bureau in Heilongjiang Province, Yichun 153033, China) *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2932~2939.

Abstract: Diversity of *Quercus mongolica* communities was investigated in 13 sites across northeastern China which differed in latitude, altitude and longitude. Field investigations were conducted. Measurements were conducted from the north edge of *Q. mongolica* range (Huma, Heilongjiang Province) to the south end (Baishilazi, Liaoning Province). The geographic position (including latitude, longitude and altitude) of each site was recorded, and plants in the tree layer (including all mature trees, saplings and seedlings), the shrub layer and the herb layer were sampled using plots measuring 20m × 20m, 10m × 10m and 10m × 10m, respectively.

Species richness, Pielou's index of evenness, the probability of species encounter, as well as Shannon-Wiener and Gini diversity indices were calculated for each plot in each site. Relationships between species richness or the diversity indices and the environmental factors (such as latitude, longitude and altitude) for the whole fields and different structural groups were analyzed.

基金项目:中国科学院重大创新资助项目(KSCX 1-08-02); 中国科学院重点资助项目(KZ952-SI-127); 国家重大基础研究与发展计划资助项目(G1998010100)

收稿日期:2003-10-15; **修订日期:**2004-08-10

作者简介:于顺利(1965~), 男, 山东省临朐县人, 博士, 助理研究员, 主要从事植物区系地理以及植物群落学研究。

致谢:陈灵芝研究员对本文进行了指导, 刘灿然、桑卫国、张承军诸先生参加部分样地工作, 陈仲新先生提供多样性指数计算程序, 在此深表感谢

Foundation item: Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (No. KSCX1-08-02), the key project of the Chinese Academy of sciences (No. KZ952-SI-127), and the State Key Basic Research and Development Plan of China (No. G1998010100)

Received date: 2003-10-15; **Accepted date:** 2004-08-10

Biography: YU Shun-Li, Ph. D, Assistant researcher, mainly engaged in plant flora distribution, plant geography and plant community etc. E-mail: yushunli2002@yahoo.com or shunliyu@ibcas.ac.cn

We found that the spatial distribution of species richness and species diversity of *Q. mongolica* communities showed great heterogeneity in different sites, to the extent that species richness and species diversity of some plots within sites differed. This indicates that these diversity indices may be affected not only by latitude and altitude, but also by topographical factors such as slope, soil, age of communities and disturbance.

The correlation and regression analysis showed that species richness significantly related to altitude and latitude, decreasing as altitude and latitude increased. Additionally, patterns of plant species richness differed between plants structural groups. Woody species richness related closely and negatively with latitude, as did herb species richness with altitude. No significant relationship was found between woody species richness and altitude or between herb species richness and latitude. Taken together, this suggests that the species richness of vascular plants may more closely relate to altitude than to latitude. Neither the Gini diversity index, Shannon-Weiner diversity index and nor PIE closely correlated with latitude, longitude or altitude.

Altitude and latitude are indirect environmental variables indicative of average temperature, and can drive gradients in species richness. Different patterns of species richness along these environmental gradients exist for different structural groups perhaps due to the fact that woody plant distribution is sensitive to large-scale environmental factors such as latitude, while the distribution of herbaceous plants is sensitive to local-scale environmental factors such as altitude.

CCA ordination among diversity indices and environmental factors also support above conclusions.

Key words: *Quercus mongolica* community; environmental gradient; heterogeneity; species richness; species diversity

文章编号:1000-0933(2004)12-2932-08 中图分类号:Q16,Q948 文献标识码:A

探讨物种丰富度和物种多样性的时空分布格局及其成因一直是生态学研究的主要问题之一。前人的研究发现:某一地区的物种多样性受多种因素影响,这些因素大体上可分为人为因素和自然因素;自然因素的影响,主要包括经纬度^[1]、海拔^[2,3]、土壤的干湿度^[4]、样地所在的地形如坡度与坡向^[5~7]、群落所处的演替阶段^[8]、以及历史因素(如冰川、生态系统的年龄和风暴等)^[9,10]等。

物种多样性一般随着纬度的降低而增高^[1~3];物种多样性随海拔的变化规律一般有 5 种情况,通常是海拔升高而多样性降低,有时中等海拔最高,即所谓的“中性膨胀”^[11]。干扰能够较大地影响森林等群落的物种多样性,Connell 认为:受到经常和强烈干扰的森林经常被短命的和喜光树种所控制,具有较低的多样性;没有被干扰的森林常常由寿命长的耐荫树种占优势,也具有较低的多样性;而具有中度干扰的森林具有最大的多样性^[12]。为了探讨相同的群落——蒙古栎群落在不同地点物种丰富度和多样性的差异,纬度梯度和海拔梯度下物种丰富度和物种多样性变化的规律,因此在蒙古栎群落分布的不同地点设置样地,同时测量其环境因素,对物种丰富度和物种多样性特征进行比较,并分析物种丰富度和物种多样性与纬度、海拔的数量关系。

Peet 猜测群落中不同的结构类群如木本植物或草本植物,其物种丰富度可能具有不同的分布格局^[13],已有一些研究结果支持 Peet 的假设^[14],但是对不同地点的蒙古栎群落来说,木本植物和草本植物是否具有不同的分布格局?需要验证。

蒙古栎群落主要分布在我国的东北和华北地区,分布极其广泛,它是在栎类群落中分布面积最大的一个类型,是研究群落特征与环境梯度之间的变化关系的较好对象,研究其分布规律具有重要的理论和实践意义。

本文所强调的问题如下:(1)在不同的地点,对同样的群落来说,其物种多样性特征是否一致?(2)对于分布广泛的同一种群落,其物种丰富度和多样性特征与环境因子(如随海拔、纬度和经度)之间是否具有明显的梯度关系?如果有,哪一个因子能决定不同地点相同群落的物种丰富度和物种多样性?(3)对于不同植物类群(例如木本植物和草本植物)的物种丰富度,其分布格局是否具有特殊性?

1 研究方法

1.1 调查方法

选择我国东北的 13 个地区的蒙古栎群落作为调查对象,它们分别是:辽宁省丹东市白石砬子保护区,吉林省通化市北山,内蒙古通辽市甘里卡旗大青沟,吉林省桦甸县城北,吉林省吉林市龙潭山,吉林省吉林市松花湖,黑龙江省江山娇林场,黑龙江省迎春林业局东风林场,黑龙江省伊春市带岭镇,黑龙江省丰林自然保护区,黑龙江省黑河市郊,黑龙江省加格达奇林业局实验站,黑龙江省呼玛县的三卡林场。样地所在地点的经、纬度和海拔见表 1。

在蒙古栎群落分布的不同地区(表 1),沿着高纬度至低纬度方向,设置样地。每个样地设置样方 2~8 个,每个样方面积为 20×10 m²。乔木层记录乔木的学名、高度、冠幅、胸径、个体数及其盖度,灌木层和草本层分别记录每个种的学名、个体数、高度、冠幅及盖度。样地的地理位置用全球定位系统(型号为 Magellan GPS Field 30V)测定,坡度和坡向用坡度坡向仪测定。

表 1 研究地点及其地理位置以及样地概况

Table 1 Research sites, their geographical positions and their general survey

地点 * Sites	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔(m) Altitude	坡度(°) Slope	冠层盖度(%) Canopy coverage	人类活动 Human activity
1	124°46′	40°44′	770	20~36	80~95	轻微 Very weak
2	125°51′	41°45′	445	28	75	轻微 Very weak
3	122°14′	42°47′	280	17~21	60~70	轻微 Very weak
4	126°43′	42°58′	340	22~25	75	轻微 Very weak
5	126°55′	43°11′	360	15~16	80~90	轻微 Very weak
6	126°54′	43°12′	300	15~20	75~80	强烈 Strong
7	128°00′	43°51′	195	0~11	50~65	轻微 Very weak
8	129°00′	46°59′	451	8~9	55~60	轻微 Very weak
9	132°28′	46°05′	530	15or28	60or90	轻微 Very weak
10	129°11′	48°05′	457	25	60	轻微 Very weak
11	127°19′	50°18′	125	6~30	>80	弱 Weak
12	123°59′	50°20′	584	0or4~6	60~80	轻微 Very weak
13	126°31′	51°05′	290	0	50~70	强烈 Strong

* 1 白石砬子 Baishilazi; 2 通化 Tonghua; 3 大青沟 Daqinggou; 4 桦甸 Hudian; 5 龙潭山 Longtanshan; 6 松花湖 Songhuahu; 7 江山娇 Jiangshanjiao; 8 迎春 Yingchun; 9 带岭 Dailing; 10 丰林 Fenlin; 11 黑河 Heihe; 12 加格达奇 Jiagedaqi; 13 呼玛 Huma

1.2 物种多样性的测度方法

(1)物种丰富度 采用 1992 年 Gleason 丰富度指数,其计算公式如下:

$$G = S / \ln A$$
 (1)

式中,S 为样方中的物种数目,A 为样方面积。

(2)群落的物种多样性系数^[15~17] 采用 Simpson 物种多样性指数(SP), Gini 指数(D)和 Shannon-Wiener(H) 物种多样性指数,其计算公式如下:

$$SP = N(N - 1) / \sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)$$
$$D = 1 - SP = 1 - N(N - 1) / \sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)$$
$$H = 3.3219(\lg N - 1/n \sum_{i=1}^s n_i \lg n_i)$$

式中,N 为样方全部个体总数,n_i 为第 i 个种的盖度,s 为物种数。

(3)均匀度 采用 Pielou 均匀度指数^[16],其计算公式如下:

$$J = H' / H'_{\max}$$

式中,H' 为实测的多样性,用 Shannon-Weiner(SW)物种多样性指数表示, H'_{max}为样地最大物种多样性,其值为 lnS (S 样方物种数目)。

(4)种间相遇机率^[16]

$$PIE = \sum_{i=1}^s n_i(N - n_i) / N(N - 1)$$

1.3 数据分析方法

应用 Pearson 的相关性分析分析了物种数目、物种丰富度、Gini 指数、PIE、Shannon 指数和 Pielou 指数与其所在的经度、纬度和海拔的相关性,也分析了木本植物、草本植物的物种数目和丰富度与它们所在的经度、纬度和海拔的相关性;应用回归分析分析了物种丰富度与海拔、纬度的关系(所用软件皆为 SPSS)。

2 结果和分析

2.1 不同地点各个样方的物种丰富度和物种多样性

在黑龙江省的加格达奇、呼玛、黑河、伊春、带岭、迎春及牡丹江等地区,在吉林省的通化、桦甸、松花湖和龙潭山等地区,在辽宁省的白石砬子自然保护区和内蒙古大青沟地区,分别设置样地,调查 200 m² 的蒙古栎群落的样方数目分别为 5 个、8 个、6 个、2 个、4 个、4 个、7 个、2 个、2 个、9 个、6 个、15 个和 13 个,共计 83 个样方,分别统计各样方维管植物的数目,并计算各样方的物种丰富度、Gini 指数、PIE、Shannon 指数和 Pielou 指数,结果如表 1 所示(由于 Simpson 指数值与 Gini 指数值之和等于 1,呈逆向关系,表 1 中已经具有 Gini 指数,就不再列入 Simpson 指数)。

从表 1 中可以看出:由于环境的异质性,很多面积相同的样方物种数目和物种丰富度不相同,绝大多数样方的 Gini 指数、*PIE*、Shannon 指数和 Pielou 指数等的数值不一致,因为即使各样方具有相同的物种数目,每个样方的物种组成以及各物种的多度和盖度都有所差异,从而影响各样方的多样性指数。例如:位于加格达齐的 3 号和 4 号样方、位于呼玛的 6 号和 7 号样方、位于伊春市的带岭的 23 和 24 号样方、位于吉林省松花湖的 41 和 42 号样方以及位于内蒙古大青沟的 74 号、75 号和 76 号样方具有相同的植物种类,但它们的 Gini 指数、*PIE*、Shannon 指数和 Pielou 指数的数值都不相同。

不同地点样方的物种丰富度和多样性指数有时具有较大的差异,在同一个地点的样方有的由于各种环境条件非常相似,多样性相差不大,也有的由于微环境的差异(如坡向的不同)而造成多样性的较大差异,物种丰富度和多样性指数都呈现一定程度的异质性分布特性(图 1)。物种丰富度最大的样方在江山娇林场,植物数目为 57 种,物种丰富度为 10.75;物种丰富度最小的样方在吉林省松花湖,植物数目为 11 种,物种丰富度为 2.08,物种丰富度相差 5 倍之多,因为吉林省松花湖人为活动过大,放牧严重,从而使得本地区物种多样性降低。

Gini 指数最大值在吉林省的通化,为 0.906;最小值在吉林省松花湖,为 0.532。种间相遇几率(*PIE*)的最大值在吉林省的通化,为 0.948;最小值在吉林省松花湖,为 0.585。Shannon 指数(*H'*)的最大值在吉林省的通化,为 2.944;最小值在吉林省松花湖,为 1.129。Pielou 指数的最大数值在吉林省的通化,为 0.814;最小值在吉林省松花湖,为 0.471。Gini 指数和 Shannon 指数(*H'*)越大,表明样方的物种多样性程度越高,而 Simpson 指数正相反,所以说物种多样性最高的样方在吉林省的通化地区,物种多样性最低的样方在吉林省的松花湖。特殊的地形、较低的纬度和海拔造就吉林省的通化较高的物种丰富度,而过度的放牧造成吉林省松花湖较低的 Gini 指数、Shannon 指数、*PIE* 和 Pielou 指数。

从表 1 中也可以看出:物种丰富度最高的样方,其多样性指数不一定最高。例如 31 号样方与 32 号相比,具有最高的植物数目,但它的 Gini 指数、Shannon 指数、*PIE* 和 Pielou 指数不是最高的,因为各种多样性指数不仅是物种丰富度的函数,而且是各个物种多度或盖度的函数。其余例子很多,在此不再一一赘述。

表 2 东北地区 13 地点的物种丰富度和物种多样性指数值
Table 2 The richness and biodiversity indices values of 13 regions in EN China

样方序号 Number	样地号 No. of plots	物种数 Sp.	丰富度 d _{gl}	GINI 指数 G-index	种间相遇 几率 <i>PIE</i>	<i>H'</i> -指数 <i>H'</i> -index	PIELOU 指 数 J-index
1	0002	21	3.96	0.717	0.796	1.718	0.564
2	0003	24	4.53	0.722	0.769	1.845	0.581
3	0004	29	5.47	0.749	0.800	2.009	0.597
4	0005	29	5.47	0.829	0.862	2.203	0.654
5	0006	28	5.28	0.831	0.880	2.248	0.675
6	0007	29	5.47	0.837	0.892	2.337	0.694
7	0008	29	5.47	0.846	0.917	2.391	0.710
8	0009	27	5.09	0.836	0.894	2.243	0.681
9	0010	25	4.72	0.769	0.860	2.144	0.666
10	0011	28	5.28	0.839	0.893	2.304	0.691
11	0012	22	4.15	0.791	0.848	2.076	0.672
12	1314	26	4.91	0.829	0.903	2.290	0.703
13	1516	28	5.28	0.751	0.811	2.103	0.631
14	0017	34	6.42	0.780	0.817	2.077	0.589
15	0018	34	6.42	0.716	0.761	1.955	0.555
16	0019	27	5.09	0.709	0.750	1.747	0.530
17	0020	26	4.91	0.728	0.785	1.840	0.565
18	0021	35	6.60	0.775	0.837	2.290	0.644
19	0022	37	6.98	0.776	0.821	2.172	0.601
20	0031	24	4.53	0.835	0.887	2.143	0.674
21	0032	25	4.72	0.868	0.868	2.431	0.755
22	3334	38	7.17	0.853	0.905	2.509	0.690
23	0035	18	3.40	0.719	0.790	2.039	0.633
24	0036	18	3.40	0.764	0.847	1.922	0.665
25	0037	17	3.21	0.804	0.738	1.730	0.610
26	0038	25	4.72	0.791	0.790	2.039	0.633
27	0039	28	5.28	0.748	0.793	1.930	0.579
28	0040	27	5.09	0.783	0.829	2.028	0.615
29	0041	31	5.85	0.772	0.820	2.054	0.598
30	4243	43	8.11	0.863	0.888	2.524	0.671
31	0044	57	10.75	0.866	0.924	2.910	0.720
32	0045	54	10.19	0.868	0.931	2.944	0.738

续表 2

33	0046	47	8.87	0.779	0.821	2.349	0.610
34	0047	56	10.57	0.887	0.943	2.934	0.729
35	4849	52	9.81	0.849	0.900	2.676	0.677
36	5051	50	9.43	0.809	0.867	2.561	0.655
37	0859	30	6.52	0.744	0.744	2.017	0.593
38	0857	29	6.30	0.906	0.948	2.741	0.814
39	0852	42	7.93	0.741	0.746	1.912	0.512
40	0851	44	8.30	0.778	0.830	2.419	0.639
41	0849	14	2.64	0.598	0.654	1.402	0.531
42	0848	14	2.64	0.686	0.742	1.547	0.586
43	0847	16	3.02	0.549	0.616	1.446	0.521
44	0846	21	3.96	0.646	0.708	1.703	0.559
45	0845	11	2.08	0.568	0.618	1.129	0.471
46	0844	27	5.09	0.772	0.828	2.041	0.619
47	0843	23	4.34	0.532	0.585	1.555	0.496
48	0842	25	4.72	0.700	0.754	1.850	0.575
49	0841	28	5.28	0.765	0.816	2.010	0.603
50	0840	32	6.04	0.824	0.774	2.123	0.613
51	0839	27	5.09	0.766	0.816	2.093	0.635
52	0838	35	6.60	0.779	0.825	2.222	0.625
53	0837	37	6.98	0.784	0.833	2.287	0.633
54	0835	27	5.09	0.783	0.850	2.158	0.655
55	0834	31	5.85	0.854	0.898	2.352	0.685
56	0832	20	3.77	0.796	0.829	1.906	0.636
57	0830	25	4.72	0.794	0.848	2.029	0.630
58	0829	27	5.09	0.740	0.803	2.065	0.627
59	0828	26	4.91	0.643	0.691	1.741	0.535
60	0827	25	4.72	0.590	0.644	1.687	0.524
61	0826	23	4.34	0.755	0.802	1.818	0.580
62	0825	22	4.15	0.805	0.771	1.783	0.577
63	0823	28	5.28	0.775	0.821	1.966	0.590
64	0822	36	6.79	0.807	0.846	2.301	0.642
65	821	31	5.85	0.774	0.821	2.115	0.616
66	0820	37	6.98	0.803	0.875	2.484	0.688
67	0818	24	4.53	0.743	0.818	2.011	0.633
68	0817	25	4.72	0.764	0.825	2.037	0.633
69	0816	22	4.15	0.669	0.706	1.549	0.501
70	0814	30	5.66	0.745	0.789	1.963	0.577
71	0813	25	4.72	0.782	0.869	2.237	0.695
72	0812	31	5.85	0.672	0.719	1.946	0.567
73	0811	28	5.28	0.650	0.713	1.917	0.575
74	0811	25	4.72	0.790	0.833	2.124	0.660
75	0821	25	4.72	0.773	0.821	1.992	0.619
76	0822	25	4.72	0.823	0.877	2.325	0.722
77	0803	28	5.28	0.843	0.895	2.515	0.755
78	0804	29	5.47	0.853	0.904	2.396	0.712
79	0815	19	3.59	0.668	0.726	1.822	0.619
80	0825	22	4.15	0.707	0.764	1.975	0.639
81	0806	24	4.53	0.710	0.767	2.033	0.640
82	0818	21	3.96	0.805	0.858	2.035	0.668
83	0828	23	4.34	0.770	0.823	1.918	0.612

1~5 号样地为加格达奇(Jiagedaqi),6~13 号为呼玛(Huma),14~19 号样方在黑河(Heihe),20~21 号样地设在伊春市的丰林自然保护区(Fenglin),22~25 号样地设在伊春市的带岭(Dailing),26~29 号样地设在牡丹江市迎春林业局的东风林场(Yingchun),30~36 号样地设在牡丹江市的江山娇林场(Jiangshanjiao),37~38 号为吉林省通化(Tonghua)市郊样方,39~40 号为吉林省桦甸(Huadian)市郊样方,41~49 号为吉林省松花湖(Songhuahu)地区样方,50~55 号为吉林省龙潭山(Longtanshan)样方,56~70 号为辽宁省白石砬子(Baishilazi)自然保护区样方,71~83 号为内蒙古大青沟(Daqinggou)样方

2.2 物种丰富度、物种多样性与环境因子之间的关系

根据表 1 的样方数据,计算各地点物种丰富度、Gini 指数、*PIE*、Shannon 指数和 Pielou 指数平均值(见表 2)。从表 2 中可以看出,不同地点物种丰富度和各种多样性指数的平均值都有所差异。牡丹江市江山娇地区具有最高的植物种类和最高的物种丰富度,而松花湖地区具有最低的植物种类和最低的物种丰富度;牡丹江市江山娇地区也具有最高的 Gini 指数、Shannon 指数

和 *PIE*, 迎春地区具有最高的均匀度, 松花湖地区具有最低的 *PIE*、Gini 指数、Shannon 指数和 Pielou 指数。

通过多元回归分析方法, 分析 13 个地点的物种丰富度及物种多样性与海拔、纬度的关系, 其回归方程 $R=2.528-0.0044X$ (纬度) $-0.0005Y$ (海拔), $Prob>F, p=0.567, F=0.601; Prob>[T], P=0.0247; R-square=0.1037$, 回归关系不是很显著; 但是 Pearson 相关性分析表明: 物种丰富度与海拔的相关性比 ($p=0.120$) 与纬度的相关性 ($p=0.260$) 更密切。Pearson 相关性分析也表明 *PIELOU* 指数、*PIE*、Gini 指数和 Shannon 多样性指数的变化与经度、纬度和海拔没有显著的相关性。

把受人类干扰程度较高的松花湖地区、呼玛地区以及经度地带性影响较大的大青沟地区除去, 再用多元回归分析物种丰富度 (或植物种类数目) 与纬度、海拔之关系进行, 回归方程为: $R(\text{丰富度})=25.53-0.28X(\text{纬度})-0.0064Y(\text{海拔})$, 其中 $p=0.026, F=3.15$ 。

因为 $p<0.05$, 物种丰富度与纬度和海拔具有显著的关系, 纬度和海拔的升高会引起物种丰富度的适当降低 (图 2)。相关性分析也表明物种丰富度与海拔 ($p=0.015$) (图 2a) 和纬度 ($p=0.044$) 之间具有显著的相关性 (图 2b), 但与海拔的相关性比与纬度更密切。

经过统计分析, 其它几种多样性指数未发现与经度、纬度和海拔具有明显的关系。

相关性分析也表明: 不同地点木本植物的丰富度与纬度具有显著的相关性 ($p=0.014$) (图 2c), 而与海拔的相关性不显著 ($p=0.238$); 草本植物正相反, 其丰富度与海拔具有显著的相关性 ($p=0.027$) (图 2d), 而与海拔的相关性不显著 ($p=0.937$)。

3 讨论

3.1 物种丰富度和物种多样性分布的空间异质性

在一个局部地区, 较小的尺度上, 物种丰富度的分布格局受下列因素影响: ①资源如养分、水分和光照的利用情况^[18,19]; ②坡向; ③竞争、演替地位、散布和捕食等。因此即使在相同的地点, 在多数情况下不同样方的物种数目和丰富度具有差异 (表 1), 因为在相同的地区, 不同样方的环境往往是异质的, 不是完全相同的, 因此分布的植物种类也常常具有差异; 在相同的地点, 物种多样性指数值例如 Gini 指数、*PIE*、Shannon 指数和 Pielou 指数, 几乎都不一样, 因为物理因子和生物因子的异质性发生在

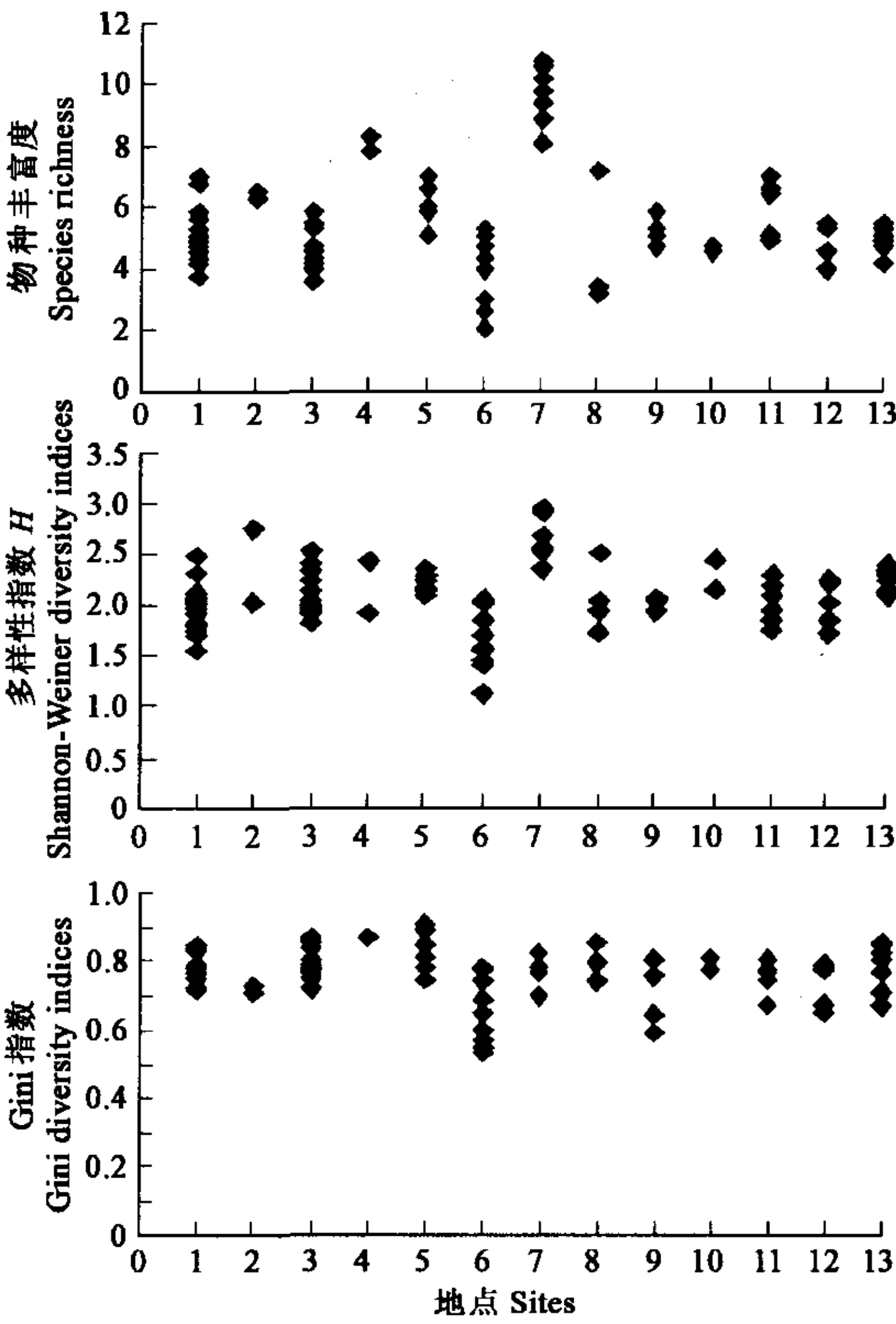


图 1 物种丰富度与物种多样性的异质性分布

Fig. 1 The heterogeneity of species richness and species diversity distribution

- 1 白石砬子 Baishilazi; 2 通化市 Tonghua; 3 大青沟 Daqinggou; 4 桦甸 Huadian; 5 龙潭山 Longtanshan; 6 松花湖 Songhuahu; 7 江山娇 Jiangshanjiao; 8 迎春 Yingchun; 9 带岭 Dailing; 10 丰林 Fenglin; 11 黑河 Heihe; 12 加格达奇 Jiagedaqi; 13 呼玛县 Huma

表 3 13 个地点的物种丰富度和物种多样性指数的平均值

Table 3 The average value of species richness and species diversity in 13 sites

地点 Sites	物种数 N. of Sp.	丰富度 <i>d_{gt}</i>	Gini 指数 G-index	<i>PIE</i>	Shann 指数 <i>H'</i> -index	Pielou 指数 <i>J</i> -index
白石砬子 Baishilazi	26.7	5.04	0.740	0.793	1.850	0.599
通化 Tonghua	29.5	6.41	0.825	0.846	2.379	0.704
大青沟 Daqinggou	27.3	5.15	0.728	0.813	2.100	0.653
桦甸 Huadian	43.0	8.11	0.759	0.788	2.166	0.576
龙潭山 Longtanshan	31.5	5.94	0.788	0.841	2.206	0.641
松花湖 Songhuahu	19.9	3.75	0.602	0.702	1.631	0.551
江山娇 Jiangshanjiao	51.3	9.68	0.842	0.896	2.700	0.685
带岭 Dailing	22.8	4.29	0.768	0.837	2.070	0.650
迎春 Yingchun	27.8	5.24	0.755	0.808	2.013	0.774
丰林 Fenglin	24.5	4.62	0.851	0.878	2.287	0.715
黑河 Heihe	32.2	6.07	0.747	0.795	2.010	0.581
加格达奇 Jiagedaqi	26.6	5.01	0.770	0.821	2.005	0.614
呼玛 Huma	26.8	5.05	0.812	0.766	2.236	0.681

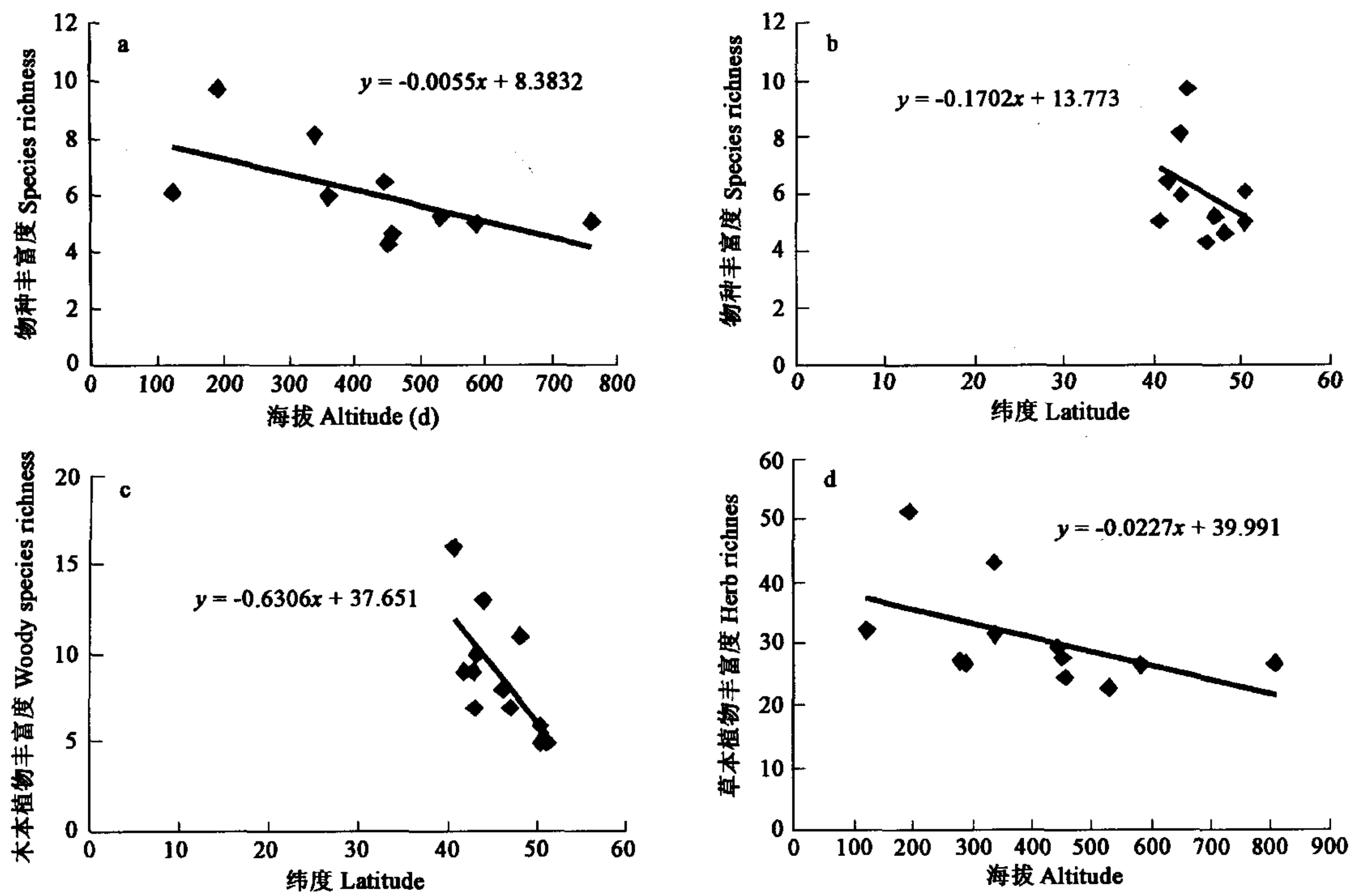


图 2 物种丰富度与环境因子(纬度和海拔)的关系

Fig. 2 Relationships between species richness and latitude and altitude

空间的各个尺度上,即使微生境如一棵树或一束灌丛就可产生资源的异质性,例如光照强度、土壤水分以及土壤养分在树下与树冠外往往相差很大,从而影响其它生命体的分布(包括种类和数量)^[18~20],不仅物种数目影响物种多样性指数,而且每个物种的多度或盖度也影响物种多样性指数,因此即使两个样方的植物种类组成相同,多样性指数也不一致,呈现异质性的分布。例如在相同的地点呼玛,5个样方的物种丰富度只有2个相同,它们的多样性指数均有差异,甚至有较大的差异(表1)。在加格达旗、黑河、江山娇林场、松花湖等也存有类似的结果(表1),生境异质性是绝对的,而不同的植物适应不同的环境,这样就决定了样地植物配置的多样性和复杂性。

森林的物种丰富度和物种多样性分布的空间异质性还表现在不同的地点物种丰富度和多样性的差异(表2)。因为森林的物种丰富度和生物多样性受很多因素的影响,包括自然因素和人为因素,自然因素包括经度、纬度和海拔的差异而引起的温度和降雨差异以及区系历史、干扰、地形、土壤等,人为因素包括人类砍伐及放牧等^[7]。因此森林多样性的形成是比较复杂的,下面是关于它们之间一些关系的探讨。

3.2 物种丰富度分布的海拔梯度和纬度梯度

纬度和海拔虽然不是直接的环境变量,但它们常常预示着所在地的平均温度,物种丰富度的纬度梯度是自然界最普遍的特性,很多人曾讨论过^{[1][18~24]},一般认为,纬度越低,物种丰富度越高,也是很多人证明的规律;与纬度梯度一样,也有人对物种丰富度随海拔高度的变化进行过探讨,物种丰富度随海拔梯度的变化有较多的模式^[12]。本研究表明:物种丰富度不仅与海拔具有明显的相关性($p < 0.05$),而且与纬度也具有明显的相关性($p < 0.05$)。由于物种丰富度与纬度的相关性分析中, p 值为0.044,接近0.05,此种相关性相对来说较弱;根据相关性分析的显著度大小,可以推论物种丰富度与海拔的相关性($p = 0.015$)比与纬度($p = 0.044$)的相关性更密切;当然这是把受干扰影响很大的地区如松花湖地区和呼玛地区以及受经度地带性影响较严重的大青沟地区排除掉,对其余10个地点的物种丰富度与纬度和海拔进行回归分析的结果。

从图2中也可看出纬度较低、海拔较低的地区如黑龙江的江山娇林场和黑河地区,其物种丰富度和Shannon物种多样性指数都较高。

回归分析还表明:物种的均匀度指数、Gini指数和Shannon多样性指数的变化与海拔和纬度没有明显的相关性。产生这种结果的原因是因为影响一个地区的物种多样性的原因更复杂,其物种多样性即受它所处纬度和海拔影响,又受样地所在的地形(如坡度和坡向等)^[5,6]、群落的年龄、干扰、竞争、捕食等各种因素的影响。

虽然Shannon多样性指数与纬度($p = 0.196$)、海拔($p = 0.052$)没有显著的关系,但是 $p = 0.052$ 意味着此 p 值非常接近

0.05, 比较来说 Shannon 多样性指数还是受海拔地带性的影响较大。

干扰能够较大地影响森林等群落的物种多样性^[13], 在龙潭山和松花湖两个地理位置很相近的地区, 物种多样性有较大的差异, 因为松花湖的样地过度放牧, 人类活动剧烈, 物种多样性比与它相近的龙潭山低得多(表 1)。在呼玛, 有的样地树木被砍伐, 乔木层盖度降低, 阳性物种增加, 虽然在这十几个地区中, 它的纬度最高, 海拔也比黑河高, 但其样地比黑河和加格达奇具较高的多样性(表 2), 这也可能是中度干扰的结果^[11]。

均匀度是指群落中各个种的多度的均匀程度, 从表 2 中可以看出: 不同的地点均匀度均有差异, 但随着纬度和海拔的变化, 均匀度的变化规律不明显; 迎春地区的均匀度最大, 松花湖地区的均匀度最小, 因为松花湖人类干扰过度, 有的物种数目很多, 较适应过度的放牧, 而有的物种对于干扰敏感, 数量变得很少。

不同地点的种间相遇几率有差异, 最高在江山娇林场, 最低在松花湖, 因为在这几个地点物种丰富度相差不大的情况下, 物种数目越多, 物种之间各个个体相遇机率越高; 江山娇林场样地的灌木层和草本层具有较高的盖度, 物种多度高, 相反松花湖由于过度放牧, 物种稀疏, 样地灌木层和草本层盖度较低, 物种个体数目较少, 相遇的机会也少, 因此不同地点的种间相遇几率(PIE)具有不同的结果。

3.3 不同植物类群的物种丰富度分布格局的特殊性

分析表明: 木本植物的物种丰富度与当地纬度具有明显的关系($p < 0.05$), 而与所在地的海拔没有显著的关系($p > 0.05$), 而草本植物受海拔的影响更显著($p < 0.05$), 而与纬度之间没有显著的关系($p > 0.05$)。这说明不同植物类群(或功能群)具有不同的物种丰富度格局, 这与前人的结论具有相同之处^[13,14]。这可能是因为木本植物更容易受纬度地带性的影响, 而草本植物更容易受垂直地带性影响的缘故。

References:

- [1] Rohde K. Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause. *Oikos*, 1992, **65**: 514~527.
- [2] Beals E W. Vegetation change along altitudinal gradients. *Science*, 1969, **165**: 981~985.
- [3] Ying J S, Li Y F, Guo Q F, et al. Observations on the flora and vegetation of Taibai Shan, Qinling Mountain range, Southern Shanxi, China. *Acta Phytotaxon Sin.*, 1990, **28**: 261~293.
- [4] Adams D E, Anderson R C. Species responses to a moisture gradient in central illinois forests. *Amer. J. Bot.*, 1989, **67**: 381~392.
- [5] Kutiel P. Slope aspect effect on soil and vegetation in a Mediterranean ecosystem. *Israel Journal of Botany*, 1992, **41**: 243~250.
- [6] Kutiel P. Effect of slope aspect on soil and vegetation properties along an aridity transect. *Israel Journal of Plant Sciences*, 1999, **47**: 169~178.
- [7] Sternberg M, Maxim S. Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: Comparison of a semiarid and an arid site in Israel. *Ecological Reserach*, 2001, **16**: 335~345.
- [8] Bazzaz F A. Plant species diversity in old-field successional ecosystem in southern Illinois. *Ecology*, 1975, **56**: 485~488.
- [9] Cao K F, Rob P. Species diversity of Chinese beech forests in relation to warmth and climatic disturbances. *Ecological Research*, 1997, **12**: 175~189.
- [10] Whittaker R H. *Communities and Ecosystems*. Macmillan, New York, 1975.
- [11] He J S, Chen W L. A review of gradient changes in species diversity of land plant communities. *Acta Ecologia Sinica*, 1997, **17**(1): 91~99.
- [12] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 1978, **199**: 1302~1310.
- [13] Peet R K. Forest vegetation of the Colorado Front Range: pattern of species diversity. *Vegetatio* 1978, **37**: 65~78.
- [14] Pausas J G. Species richness patterns in the understorey of Pyrenean *Pinus sylvestris* forest. *Journal of vegetation science*, 1994, **5**: 517~524.
- [15] Pielou E C. *Ecological Diversity*. John Wiley and Sons Inc, 1975.
- [16] Pielou E C. *An introduction to mathematical ecology*. New York: Wiley Interscience, 1969.
- [17] Grime J P. *Plant strategies and vegetation processes*. New York: Wiley & Sons, 1979.
- [18] Alpert P, Mooney H A. Resource heterogeneity generated by shrubs and topography on coastal sand dunes. *Vegetatio*, 1996, **122** (1): 83~93.
- [19] Palmer M W, White P S. Scale dependence and the species-area relationship. *The American Naturalist*, 1994, **144**(5): 717~740.
- [20] Russel S K, Schupp E W. Effects of microhabitats patchiness on patterns of seed dispersal and seed predation of *Cerocarpus ledifolius* (Rosaceae). *Oikos*, 1998, **81**: 434~443.
- [21] Allen R B. Gradient analysis of latitudinal variation in Southern Rocky Mountain forests. *Journal of Biogeography*, 1991, **18**: 123~139.
- [22] Currie J D, Viviane P. Large-scale biogeographical pattern of species richness of trees. *Nature*, 1987, **329**: 326~327.
- [23] Latham R E, Ricklefs R E. Global patterns of tree species richness in moist forests: energy-diversity theory does not account for variation in species richness. *Oikos*, 1993, **67**: 325~333.
- [24] Wilson J B, Lee W G, Mark A F. Species diversity in relation to ultramafic substrato and to altitude in southwestern New Zealand. *Vegetatio*, 1990, **86**: 15~20.

参考文献:

- [1] 应俊生, 李云峰, 郭勤峰, 等. 秦岭太白山地区的植物区系和植被. *植物分类学报*, 1990, **28**(4): 261~293.
- [2] 贺金生, 陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征. *生态学报*, 1997, **17**(1): 91~99.