

长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析

郝占庆¹, 郭水良²

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 浙江师范大学生命与环境科学学院, 浙江金华 321004)

摘要:在长白山北坡海拔 700~2600m 的坡面上, 海拔每上升 100m 设立一块样地, 共计 20 个样地, 计测样地中草本层植物的生态重要值和包括气候、土壤、林冠郁闭度等在内的 13 个环境因子, 对获得的数据进行典范对应分析, 作出了种类、样地分布与环境因子关系的二维排序图, 排序图直观地反映了主要草本植物分布与环境因子间的关系。排序图中环境因子与前两个排序轴的相关系数大小表明, 海拔高度作为诸多环境因子的综合反映, 是影响长白山北坡草本植物分布的主导因素, 除此之外, 其它环境因子如林冠郁闭度、土壤有机质及有效 N、P、K 等因素, 也对草本植物的分布有较大的影响。高山冻原与 2000m 以下森林群落内的草本植物明显不同, 反映出二种不同类型植被间草本植物组成格局间质的差异。

关键词:长白山; 草本植物; 环境因子; 典范对应分析

Canonical correspondence analysis on relationship of herbs with their environments on northern slope of Changbai Mountain

HAO Zhan-Qing¹, GUO Shui-Liang² (1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. College of Life and Environmental Sciences, Jinhua, Zhejiang 321004, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2000~2008.

Abstract: The study on the relationship between herb plants and their environments is very important for understanding herb diversity patterns. The study area is located on the northern slope of Changbai Mountain where there is not only a high diversity in vegetation types and species, but also high variation of diversity pattern along the altitude gradient. There exists obvious environmental gradient and species compositions are varied obviously along altitude gradient. It is a perfect transect for the research of biodiversity and gradient patterns. From altitude 700m to 2600m on northern slope of Changbai Mountain, 20 plots were sampled with an interval of 100 m along the altitude gradient. In each plot, the ecological important values of herbs, together with 13 environmental variables including weather, soil factors, canopy density, etc. were obtained. The data were analyzed with the method of Canonical Correspondence Analysis (CCA). The species, plots - environment biplots were drawn based on the result of CCA, and the relationships between the ecological distribution of the species and communities with the 13 environmental factors were clearly revealed on these biplots. 20 plots could be divided into 2 groups, which corresponded the tundra and forest vegetation. Furthermore, forests could be divided into 3 groups, which corresponded

基金项目:中国科学院创新资助项目(KZCX2-SW-320-3); 国家自然科学基金资助项目(30270224)

收稿日期:2002-11-24; **修订日期:**2003-05-10

作者简介:郝占庆(1964~), 男, 山西人, 博士, 研究员。主要从事森林生态学和生物多样性方面的研究。

Foundation item: The Knowledge Innovation Project of CAS (No. KZCX2-SW-320-3) and National Natural Science Foundation of China (No. 30270224)

Received date: 2002-11-24; **Accepted date:** 2003-05-10

Biography: HAO Zhan-Qing, Ph. D., Professor, main research field: forest ecology and biodiversity.

Broad-leaved Korean pine forest, Dark coniferous forest and *Betula ermanii* forest. Same as the plots, herb species also could be divided into 2 groups, which were tundra species and forest species. There were a high co-possession of herb species among the different forest types along the altitude gradient. On the contrary, there were a low co-possession of herb species between the tundra and forests. The herb communities on the tundra were distinctively different from those on the forests under altitude 2000m. As a comprehensive express of many ecological factors such as precipitation, temperature, soil factors, etc, altitude was a key environmental variable for herb species patterns. Besides altitude, canopy density was one of the important factors for influencing the ecological distribution of the herb species in forests according to the correlation coefficients of the environmental variables with the first two axes.

Key words: Changbai Mountain; herbs; environmental factors; Canonical Correspondence Analysis

文章编号:1000-0933(2003)10-2000-09 中图分类号:Q948 文献标识码:A

草本植物在维持森林生态系统功能方面起着重要的作用,森林生态系统的能流、物流和生产力等,都与草本植物的种类、数量及分布格局密切相关;相当一部分草本植物是一些动物的食物来源,是森林生态系统食物网中一个重要环节。在长白山地区,从高山冻原到阔叶红松林,不同植被带都有着极为丰富的草本植物,它们根系发达,在林地上分布均匀,盖度较大,在水源涵养、水土保持等方面也发挥着重要作用。这些草本植物的组成和特点,极大地丰富了长白山地区的生物多样性。

长白山地区草本植物生态学研究资料,零星地见于森林植被、植物多样性研究的文章中^[1~9],其内容涵盖了长白山各主要的植被带,基本阐明了各典型植被带的物种多样性特征。刘琪景等^[5]对阔叶红松林与杨桦林早春阶段草本植被的数量特征进行了研究;邵国凡等^[6,7]分别研究了阔叶红松林早春草本植物的生物量和群落学特点;钱宏^[8]对高山冻原植被生态学进行了详细研究;徐文铎等^[10]应用吉良的热量指数公式,得到了长白山植被主要建群种、植物类型和垂直带的温暖指数和寒冷指数。但是,目前没有关于长白山北坡草本植物分布与环境关系的系统研究报道。本文在对野外草本植物生态重要值调查和环境数据测定基础上,通过典范对应分析这一直接梯度排序方法,反映长白山北坡主要草本植物种类分布与环境因子间的关系。

1 研究方法

1.1 样地设置

样地的设置采用梯度格局法,即自海拔 700m 起至山顶 2600m,海拔每上升 100m 设置一样地,共计 20 个海拔梯度,即 20 个样地。海拔 700~1900m 的森林植被,样地面积为 32m×32m,2000m 以上的高山冻原带,样地面积为 16m×16m。

1.2 调查内容及方法

野外记录样地中草本层植物种类、多度、盖度、平均高度、株数、小生境状况,并计测环境因子,环境因子包括海拔、坡度、坡向、林分郁闭度、灌木总盖度、草本总盖度等,同时作土壤剖面,取土样回室内分析。林冠郁闭度指高度在 1.3m 以上乔木种形成的盖度。

1.3 土壤样品分析

土壤指标包括土壤有机质、速效 N、速效 P、速效 K 等指标。土壤有机质采用“重铬酸钾容量法”;速效 N 采用“碱解扩散法”;速效 K 采用“1 当量醋酸铵浸提,火焰光度法”;速效 P 采用“0.03 当量氟化铵-0.025 当量盐酸浸提,钼锑抗比色法”^[11]。

1.4 数据整理与统计分析

以下式计算每个样地中草本层种类的生态重要值。

$$\text{重要值} = \frac{\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}}{3}$$

典范对应分析时,以最大值法对环境数据进行标准化,应用开平方法对植物种类的生态重要值进行数

据转换,统计分析的结果用样地—环境因子、种类—环境因子直接排序图表示。根据排序图上种类间的位置关系、种类与环境因子间的位置关系,种类与排序轴间的相关性大小,定量分析影响长白山地区草本植物种类分布的环境因子^[12, 13]。

2 结果与分析

20 个样地的环境因子测定结果见表 1。20 个样地共获得 112 种草本植物的生态重要值,分布于海拔 700~2600m 间的 20 个样地,112 种草本植物名录见表 2。由于篇幅关系,植物种类在 20 个样点的生态重要值存查,排序结果见图 1、2。

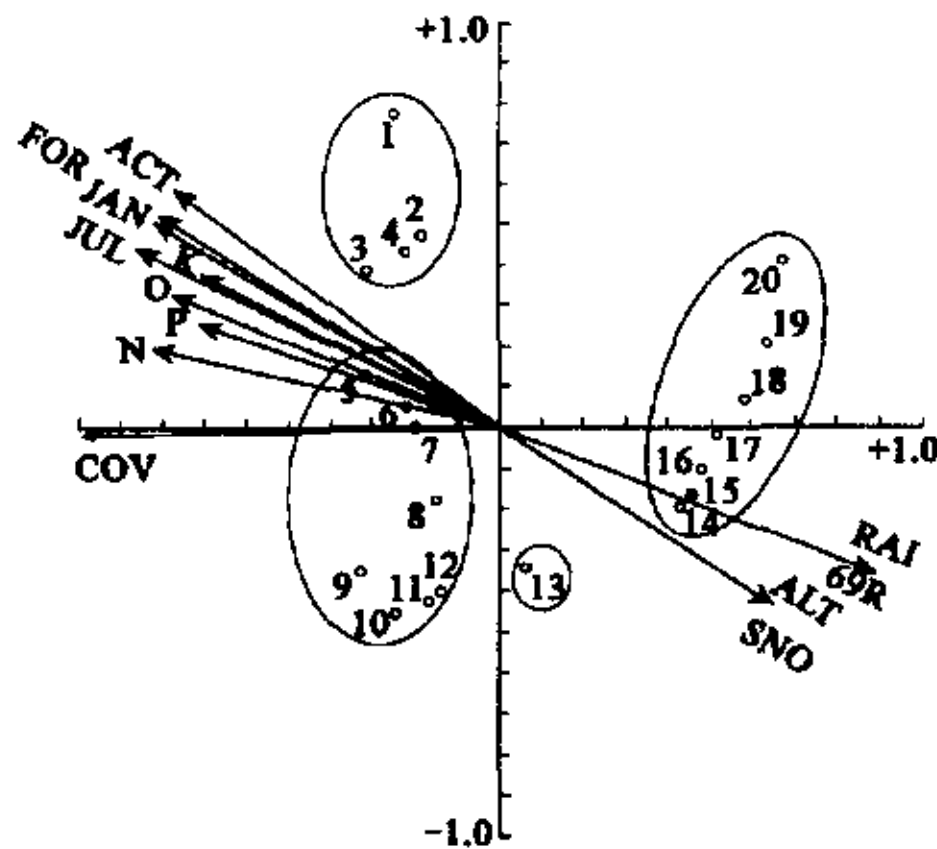


图 1 草本植物重要值的 20 个样点 CCA 二维排序图
Fig. 1 CCA two-dimensional scatter ordination diagram of the 20 plots based on herb species important values

图 1 反映了 20 个样点草本植物群落与环境因子间的关系,图 2(a~c)反映出 112 种草本植物与 13 种环境因子间的关系。排序图中,前二个排序轴的特征根值分别为 0.902 和 0.305,种类与环境因子前二个排序轴的相关系数高达 0.988 和 0.985,且第一与第二排序轴完全垂直,说明排序效果理想。

从表 3 可以看出,在 13 种环境因子中,海拔高度与各类气候因子间存在极高的相关性,海拔高度很大程度上综合反映了诸多环境因子的变化规律。土壤因子与海拔也存在很高的相关性,随着海拔的上升,土壤有机质、速效 K、速效 P 呈下降趋势,而土壤速效 N 与海拔高度的关系不甚明显。海拔高度作为诸多环境因子的综合反映,对草本植物的分布有着最为重要的影响。表 5 还表明,随着林冠层郁闭度的升高,林下土壤的有效 N、有效 K、有效 P 和有机质含量略有上升,表明林冠层郁闭度对土壤肥力有一定的影响,但这种关系并不十分明显,也没有达到统计学上的相关性。

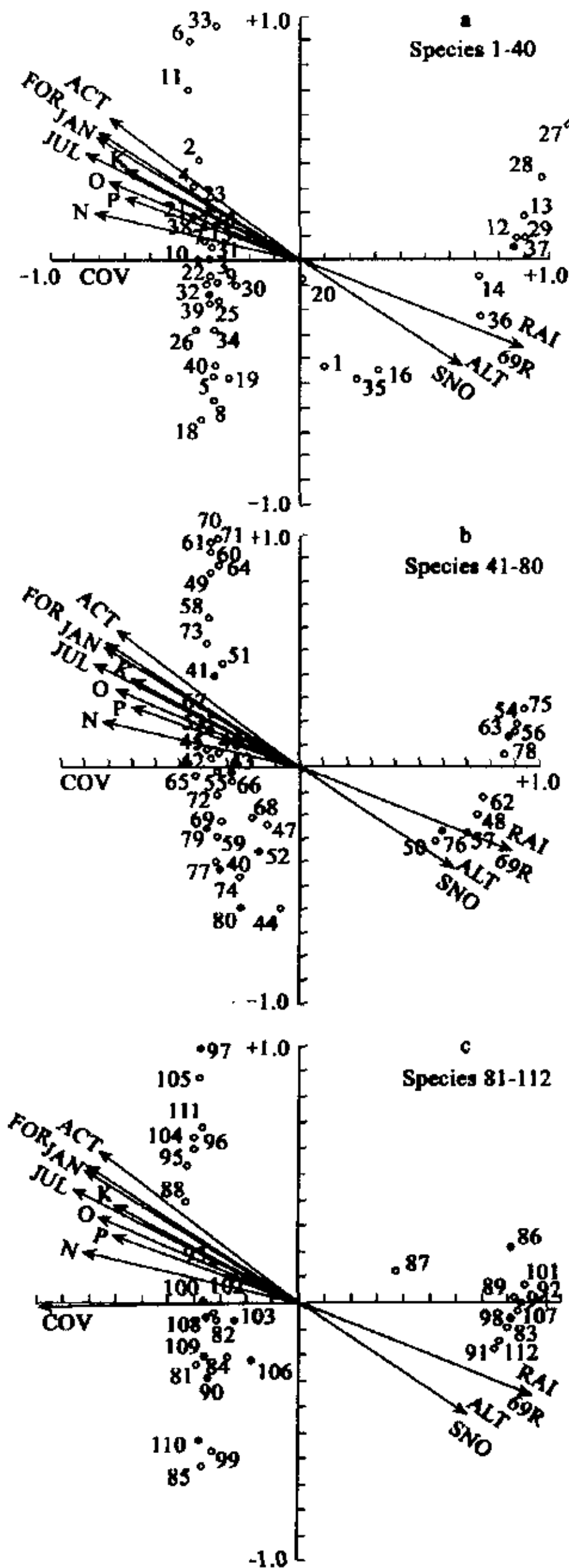


图 2 长白山北坡草本植物种类与环境关系的 CCA 二维排序图

Fig. 2 CCA two-dimensional scatter ordination diagram of herb species on northern slope of Changbai Mountain

表 1 长白山北坡不同海拔的环境因子*

Table 1 Environmental variables along the altitude on northern slope of Changbai Mountain

Table 1 Environmental variables along the altitude on northern slope of Changbai Mountain								
海拔 Alt. (m)	年均温(℃) Annual average temperature (℃)	年降水(mm) Annual average precipitation (mm)	>5℃ 积温 (℃) Cumulative temperature (>5)	6~9 月份 降水(mm) (Jun. ~Sept.) (mm)	1 月均温 (℃)Average temperature in Jan. (℃)	7 月均温 (℃)Average temperature in Jul. (℃)	无霜期(d) Frost free days	积雪日数 (d) Days with snow cover
700	2.83	679.18	2459.77	483.02	-17.33	19.63	121.00	130.79
800	2.32	703.62	2285.25	500.40	-17.64	19.07	116.54	137.58
900	1.81	728.95	2123.12	518.41	-17.95	18.51	112.25	144.37
1000	1.29	755.19	1972.49	537.07	-18.27	17.95	108.12	151.16
1100	0.78	782.37	1832.55	556.40	-18.58	17.40	104.14	157.94
1200	0.27	810.53	1702.53	576.43	-18.89	16.84	100.31	164.73
1300	-0.24	839.70	1581.74	597.18	-19.21	16.28	96.62	171.52
1400	-0.75	869.92	1469.52	618.67	-19.52	15.73	93.06	178.31
1500	-1.26	901.23	1365.26	640.94	-19.83	15.17	89.64	185.10
1600	-1.78	933.67	1268.40	664.01	-20.15	14.61	86.34	191.88
1700	-2.29	967.28	1178.41	687.91	-20.46	14.06	83.16	198.67
1800	-2.80	1002.09	1094.81	712.67	-20.77	13.50	80.10	205.46
1900	-3.31	1038.16	1017.13	738.32	-21.09	12.94	77.15	212.25
2000	-3.82	1075.53	944.97	764.89	-21.40	12.39	74.31	219.04
2100	-4.33	1114.24	877.93	792.42	-21.71	11.83	71.58	225.82
2200	-4.84	1154.34	815.64	820.94	-22.03	11.27	68.94	232.61
2300	-5.36	1195.89	757.77	850.49	-22.34	10.71	66.40	239.40
2400	-5.87	1238.93	704.01	881.10	-22.65	10.16	63.96	246.19
2500	-6.38	1283.52	654.06	912.81	-22.97	9.60	61.61	252.98
2600	-6.89	1329.72	607.66	945.67	-23.28	9.04	59.34	259.76

海拔 Alt. (m)	干燥指数 Dry index	湿润指数 Humid index	林冠层郁 闭度 Canopy coverage	土壤有 机质(%) Organic matter in soil	土壤速效 N(mg/kg) Readily available N in soil	土壤速效 P (mg/kg) Readily available P in soil	土壤速效 K (mg/kg) Readily available K in soil
700	0.67	1.91	60	49.32	663.02	35.68	1225.77
800	0.63	2.21	60	46.44	589.09	38.36	1124.6
900	0.59	2.52	81	55.05	563.89	58.29	1109.79
1000	0.56	2.82	65	49.59	819.94	27.26	1228.48
1100	0.53	3.12	80	27.06	644.54	23.72	711.25
1200	0.50	3.43	70	24.88	451.68	41.55	731.45
1300	0.47	3.73	70	27.01	466.76	22.11	561.72
1400	0.44	4.04	60	29.17	532.24	18.86	542.67
1500	0.42	4.34	85	23.19	489.09	22.97	570.15
1600	0.39	4.65	80	26.37	512.94	26.52	589.06
1700	0.37	4.95	65	29.94	460.32	18.49	594.03
1800	0.35	5.26	70	36.35	668.9	35.16	933.23
1900	0.33	5.56	40	8.28	273.3	6.39	405.23
2000	0.31	5.87	0	12.11	273.31	2.61	296.02
2100	0.29	6.17	0	9.99	208.58	3.17	281.12
2200	0.28	6.48	0	6.83	244.54	5.79	335.76
2300	0.26	6.78	0	6.55	302.08	2.24	345.69
2400	0.25	7.09	0	16.48	302.08	9.15	365.56
2500	0.23	7.39	0	13.63	338.04	4.48	283.6
2600	0.22	7.70	0	1.97	172.62	6.16	231.45

* 气象数据引自迟振文^[14],张凤山等^[15]

表 2 长白山北坡主要草本植物名录

Table 2 List of the main herb species on the northern slope of Changbai Mountain

序号 No.	中文名 Chinese name	拉丁名 Latin names	序号 No.	中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name
1	杉蔓石松	<i>Diphasiastrum annotinum</i>	57	白山龙胆	<i>G. jamesii</i>
2	木贼	<i>Hippochaete hyemale</i>	58	山茄子	<i>Brachybotrys paridiformis</i>
3	山冷蕨	<i>Cystopteris sudetica</i>	59	勿忘草	<i>Myosotis sylvatica</i>
4	分株紫萁	<i>Osmunda cinnamomea</i>	60	美汉草	<i>Meehanian urticifolia</i>
5	瓦韦	<i>Lepisorus ussuriensis</i>	61	尾叶香茶菜	<i>Plectranthus excisus</i>
6	猴腿蹄盖蕨	<i>Athyrium multidentatum</i>	62	返顾马先蒿	<i>Pedicularis grandiflora</i>
7	鳞毛羽节蕨	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	63	轮叶马先蒿	<i>P. verticillata</i>
8	广羽金星蕨	<i>Parathelypteris changbaishanensis</i>	64	透骨草	<i>Phryma leptostachya</i>
9	黑水鳞毛蕨	<i>Dryopteris amurensis</i>	65	东北猪殃殃	<i>Galium manshuricum</i>
10	粗茎鳞毛蕨	<i>D. crassirhizoma</i>	66	三脉猪殃殃	<i>Galium kamtschaticum</i>
11	狭叶荨麻	<i>Urtica angustifolia</i>	67	林茜草	<i>Rubia sylvatica</i>
12	肾叶高山蓼	<i>Oxyria digyna</i>	68	林奈草	<i>Linnaea borealis</i>
13	倒根蓼	<i>Polygonum ochotense</i>	69	北缬草	<i>Valeriana koreana</i>
14	珠芽蓼	<i>P. viviparum</i>	70	和尚菜	<i>Adenocaulon himalaicum</i>
15	森林假繁缕	<i>Pseudostellaria sylvatica</i>	71	东风菜	<i>Aster scaber</i>
16	毛萼麦瓶草	<i>Silene repens</i>	72	耳叶兔儿伞	<i>Cacalia auriculata</i>
17	高山乌头	<i>Aconitum monanthum</i>	73	山尖子	<i>C. hastata</i>
18	宽叶蔓乌头	<i>A. sczukinii</i>	74	肾叶兔儿伞	<i>C. damtschatica</i>
19	类叶升麻	<i>Actaea spicata var. asiatica</i>	75	毛山菊	<i>Chrysanthemum zawadskii</i>
20	长白楼斗菜	<i>Aquilegia japonica</i>	76	宽叶山柳菊	<i>Hieracium coreanum</i>
21	尖萼楼斗菜	<i>A. oxysepala</i>	77	狭苞橐吾	<i>Ligularia intermedia</i>
22	西伯利亚铁线莲	<i>Clematis sibirica</i>	78	高岭风毛菊	<i>Saussurea alpicola</i>
23	卵叶芍药	<i>Paeonia obovata</i>	79	林风毛菊	<i>S. sinuata</i>
24	翼果白蓬草	<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	80	长白风毛菊	<i>S. tenerifolia</i>
25	深山白蓬草	<i>Th. tuberiferum</i>	81	长白千里光	<i>Senecio phoeanthus</i>
26	山地金莲花	<i>Trollius japonicus</i>	82	兴安一枝黄花	<i>Solidago virgaurea var. dahurica</i>
27	白山罂粟	<i>Papaver pseudo-radicatum</i>	83	拂子茅	<i>Calamagrostis epigejos</i>
28	长白红景天	<i>Rhodiola angusta</i>	84	小叶章	<i>Deyeuxia angustifolia</i>
29	高山红景天	<i>Rh. sachalinensis</i>	85	东北龙常草	<i>Diarrhena mandshurica</i>
30	落新妇	<i>Astilbe chinensis</i>	86	高山羊茅	<i>Festuca subalpina</i>
31	喷呐草	<i>Mitella nuda</i>	87	粟草	<i>Millium effusum</i>
32	假升麻	<i>Aruncus sylvestris</i>	88	高山茅香	<i>Hierochloa alpina</i>
33	蚊子草	<i>Filipendula palmata</i>	89	高山梯牧草	<i>Phleum alpinum</i>
34	东方草莓	<i>Fragaria orientalis</i>	90	林地早熟禾	<i>Poa nemoralis</i>
35	大白花地榆	<i>Sanguisorba sitchensis</i>	91	细柄茅	<i>Ptilagrostis mongolica</i>
36	长白岩黄耆	<i>Hedysarum ussuriensis</i>	92	灰脉苔草	<i>Carex appendiculata</i>
37	长白棘豆	<i>Oxytropis anertii</i>	93	羊胡子苔草	<i>C. callitrichos</i>
38	山酢浆草	<i>Oxalis acetosella</i>	94	蟋蟀苔草	<i>C. eleusinoides</i>
39	粗根老鹳草	<i>Geranium dahuricum</i>	95	凸脉苔草	<i>C. lanceolata</i>
40	毛蕊老鹳草	<i>G. eriostemon</i>	96	毛缘苔草	<i>C. pilosa</i>
41	水金凤	<i>Impatiens noli-tangere</i>	97	乌苏里苔草	<i>C. ussuriensis</i>
42	鸡腿堇菜	<i>Viola acuminata</i>	98	佛焰苞蕨草	<i>Scirpus maximowiczii</i>
43	深山堇菜	<i>V. selkirkii</i>	99	蓝果七筋姑	<i>Clintonia udensis</i>
44	柳兰	<i>Chamaenerion angustifolium</i>	100	东北百合	<i>L. distichum</i>
45	深山露珠草	<i>Circaea caulescens</i>	101	三花蓼蒂	<i>Lloydia triflora</i>
46	东北羊角芹	<i>Aegopodium alpestre</i>	102	舞鹤草	<i>Maianthemum delatarum</i>
47	狭叶长鞘当归	<i>Angelica cartilaginomarginata</i>	103	二叶舞鹤草	<i>M. bifolium</i>
48	大苞紫胡	<i>Bupleurum euphorbioides</i>	104	北重楼	<i>Paris verticillata</i>
49	大叶柴胡	<i>B. longiradiatum</i>	105	兴安鹿药	<i>Smilacina davurica</i>
50	岩茴香	<i>Tilingia tachiroei</i>	106	算盘七	<i>Streptopus koreanus</i>
51	红花鹿蹄草	<i>Pyrola incarnata</i>	107	长白岩菖蒲	<i>Tofieldia coccinea</i>
52	肾叶鹿蹄草	<i>P. renifolia</i>	108	白花延龄草	<i>Trillium kamtschaticum</i>
53	单侧花	<i>Ramischia secunda</i>	109	藜芦	<i>Veratrum nigrum</i>
54	点地梅	<i>Androsace umbellata</i>	110	大二叶兰	<i>Listera major</i>
55	七瓣莲	<i>Trientalis europaea</i>	111	水珠草	<i>Circaea quadrisulcata</i>
56	高山龙胆	<i>Gentiana algida</i>	112	蜻蜓兰	<i>Perularia fuscens</i>

表 3 草本植物种类排序轴间、环境因子与排序轴间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients for herb species between axis 1, axis 2 and environmental variables

项目 Items	排序轴 Axis		项目 Items	排序轴 Axis	
	SPX1	SPX2		SPX1	SPX2
SPX1	0.0177		COV	-0.9704****	-0.0463
ENX2	0.9851****	-0.0001	RAI	0.8792****	-0.3559*
ENX2	0.0000	0.9879****	ACT	-0.7597****	0.5861***
ALT	0.8481****	-0.4371**	69R	0.8792****	-0.3559*
O	-0.7579****	0.3171	JAN	-0.8135****	0.5043**
N	-0.8017****	0.1928	JUL	-0.8481****	0.4370**
P	-0.6973****	0.2662	FOR	-0.8061****	0.5176**
K	-0.6962****	0.3802*	SNO	0.8481****	-0.4371**

Significant correlations are indicated * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ and **** $p < 0.001$

ALT=海拔高度 Altitude, O=土壤有机质 Organic matter in soil, N=土壤速效氮 Readily available nitrogen in soil, P=土壤速效磷 Readily available phosphor in soil, K=土壤速效钾 Readily available potassium in soil, COV=林冠层郁闭度 canopy coverage, RAI=年均降水量 Annual precipitation, ACT=年积温($>5^{\circ}\text{C}$) Annual cumulative temperature($>5^{\circ}\text{C}$), 69R=6~9月降水量 Precipitation /Jun. ~Sept., JAN=1月均温 Average temperature in Jan., JUL=7月均温 Average temperature in Jul., FOR=无霜天数 Frost free days, SNO=积雪天数 Annual days with snow cover, SPX1=种类排序轴 I The first species axis, SPX2=种类排序轴 II The secondary species axis; 表 4 和图 1~4 的代码与表 3 相同 The code in table 4 and figure 1~4 are the same as those in table 3

13 种环境因子与第一排序轴达到极显著的相关性,说明它们在第一排序轴上的位置很大程度上反映了其生态特点。在第一轴上,按绝对值大小,以与林冠郁闭度的相关性最大,高达 0.9704;其次为降雨量,年降雨量与 6~9 月份降雨量两个指标与第一轴的相关性分别达到了 0.8792;再次为积雪日数,相关性达 0.8481。除了土壤速效 K 外,土壤有机质、速效 P 和 N 与第一轴的相关性也较高,同时,土壤速效 K、年降雨量、 $>5^{\circ}\text{C}$ 的年积温、1 月与 7 月的积温、积雪日数、无霜日期等,均与第二轴存在统计学意义上的相关性,尽管这种相关性没有与第一轴那么大。根据相关系数的大小,第二轴主要反映了湿度、温度和土壤中速效 K 等指标的变化趋势,这种变化趋势当然也是与海拔梯度的变化相关。

以草本植物的重要值对 20 个样点进行的排序结果(图 1)可以看出,20 个样点可分为 4 个组,它们分别与阔叶红松林(1~4)、暗针叶林(5~12)、岳桦林(13)、高山冻原(14~20)相对应。同时,20 个样点也可粗略地被分成两大组:组 I(样点 14~20)和组 II(样点 1~13),前者分布在高山冻原,后者包括海拔 1900m 以下的岳桦林、暗针叶林和阔叶红松林。这说明在长白山北坡,在林线以下的森林植被内,草本植物种类组成和群落结构表现出一种连续变异的特点,这与岳桦林、暗针叶林和阔叶红松林下草本植物有较多的共有种有关。但组 I(高山冻原)与组 II(岳桦林、暗针叶林以及阔叶红松林)相比,草本群落组成则有较大的差异,这在排序图上得到清楚的反映。不同的森林植被之间草本植物的组成有较大的差异,而同一森林植被类型的草本植物群落,在组成上仍然有较大的相似性,例如阔叶红松林(样点 1~4)和暗针叶林(样点 5~11)组内有很大的相似性。从图中还可看出,1800m 处的岳桦林(12 号样点),林下草本的种类和群落结构更接近暗针叶林;而 1900m 处的岳桦林(13 号样点),林下草本植物组成有较大的特殊性,明显地与高山冻原的草本植物不同,与暗针叶林及阔叶红松林也有较大差异,位置上处于高山冻原与暗针叶林之间。13 号样点中,高山冻原分布的珠芽蓼、岩茴香、宽叶山柳菊也有较高的生态重要值,暗针叶林处分布的舞鹤草、二叶舞鹤草、山冷蕨、黑水鳞毛蕨、类叶升麻等在该样点中有分布,表现出草本群落的过渡性特点,同时,该样点又有些有别于暗针叶林和高山冻原的草本植物成分。在典型的阔叶红松林(1 号样点)中,草本植物的种类组成和数量分布特点也有其特殊性,从其在排序图上的位置明显地反映了这一情况。

对 112 种草本植物的排序结果(图 2)也可看出,沿第一排序轴,草本植物也可以分成两大类,一类分布

于 2000~2600m 的高山冻原,另一类分布于 700~1900m 的各类森林植被内,表现出与图 1 相似的结果。

在高山冻原上分布的代表性植物有高山罂粟(27)、长白红景天(28)、倒根蓼(13)、肾叶高山蓼(12)、长白棘豆(37)、珠芽蓼(14)、长白黄岩蓼(36)、高山羊茅(86)、粟草(87)、三花蓼蒂(101)、高山梯牧草(89)、灰脉苔草(92)、蟋蟀苔草(94)、长白岩菖蒲(107)、佛焰苞蔗草(98)、拂子茅(83)、蜻蜓兰(112)、毛山菊(75)、点地梅(54)、高山龙胆(56)、轮叶马先蒿(63)、毛山菊(75)、返顾马先蒿(62)、大苞柴胡(48)、白山龙胆(57)、宽叶山柳菊(76)、岩茴香(50)等种类。

在森林植被内分布的草本植物种类,表现出对第二排序轴环境因子的梯度变异的不同响应。沿第二排序轴由下向上,反映出海拔由高到低、土壤肥力和温度由低到高、湿度由高到低的变化。

表 4 20 个样点 13 种环境因子的相关性分析

Table 4 Correlation coefficients between the environmental variables in 20 plots

环境因子 Environmental factors	ALT	O	N	P	K	COV
O	-0.8045***					
N	-0.7688***	0.8803***				
P	-0.7461***	0.7650***	0.6221**			
K	-0.7737***	0.9292***	0.8588***	0.7798***		
COV	-0.8155***	0.7487***	0.7988***	0.7422***	0.6907***	
RAI	0.9961***	-0.7991***	-0.7757***	-0.7469***	-0.7682***	-0.8444***
ACT	-0.9844***	0.7945***	0.7318***	0.7204***	0.7649***	0.7326***
69R	0.9961***	-0.7991***	-0.7757***	-0.7469***	-0.7682***	-0.8443***
JAN	-0.9970***	0.8034***	0.7558***	0.7388***	0.7729***	0.7831***
JUL	-1.0000***	0.8043***	0.7687***	0.7459***	0.7735***	0.8155***
FOR	-0.9958***	0.8028***	0.7534***	0.7368***	0.7725***	0.7763***
SNO	1.0000***	-0.8044***	-0.7688***	-0.7461***	-0.7737***	-0.8155***
环境因子 Environmental factors	RAI	ACT	69R	JAN	JUL	FOR
O						
N						
P						
K						
COV						
RAI						
ACT	-0.9654***					
69R	1.0000***	-0.9654***				
JAN	-0.9865***	0.9950***	-0.9865***			
JUL	-0.9961***	0.9844***	-0.9961***	0.9971***		
FOR	-0.9839***	0.9964***	-0.9839***	0.9999***	0.9958***	
SNO	0.9961***	-0.9844***	0.9961***	-0.9970***	-1.0000***	-0.9958***

Significant correlations are indicated * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$

在排序图左侧的这些草本种类中,上部的主要分布于阔叶红松林内,代表性的种有木贼(2)、蚊子草(33)、分株紫萁(4)、猴腿蹄盖蕨(6)、狭叶荨麻(11)、和尚菜(70)、东风菜(71)、尾叶香茶菜(61)、姜汉草(60)、透骨草(64)、大叶柴胡(49)、山茄子(58)、山尖子(730)、水金凤(41)、乌苏里苔草(97)、兴安鹿药(105)、北重楼(104)、毛缘苔草(96)、凸脉苔草(95)、水珠草(111)等;下部的种类主要分布于暗针叶林,或

者在暗针叶林内生态重要值较大,这些种类中,分布在高海拔样点中的草本种类也常分布到岳桦林带,如肾叶兔儿伞(74)、毛蕊老鹳草(40)、狭苞囊吾(77)、肾叶鹿蹄草(52)、宽叶蔓乌头(18)、林奈草(68)等,相反,排序图上方的这些种类,则在低海拔的红松阔叶林中也比较常见。

4 讨论

森林生态系统中的草本植物,作为一种林下植被,其组成、结构及分布格局除受大的水热环境的影响之外,也受到其所在的森林结构如林冠郁闭度、林下土壤及其它局部小环境的影响。海拔高度作为各种环境因素的综合,它的变化直接导致其它环境因子的变化,特别是在长白山北坡这样一个垂直变化明显的坡面上,海拔高度的差异包含了许多环境因子的变异,因此,在分析植物分布与环境因子之间的关系时,如将海拔高度作为环境因子之一参与分析,就会因海拔这一主导因子的存在,而弱化其它因子的影响程度。实际上,尽管海拔是一主导的影响因子,但因森林内部环境的差异,也会在一定程度上影响草本植物的分布,如在上述分析中的林冠郁闭度,对林下草本植物的影响也比较明显,林冠郁闭度通过诸如光照、局部温湿度、紫外线强度等方面的差异对草本植物分布产生明显影响。

本文的研究对象是一个连续的梯度坡面,其草本植物的分布及沿梯度的替代也表现出较明显的连续性。特别是在海拔 700~1900m 的森林植被中,林下草本植物的种类组成和结构变异呈明显的连续性。草本植物群落的这种分布格局,与长白山地区林下环境比较一致,红松阔叶林与暗针叶林、暗针叶林与岳桦林之间又有较长的过渡带有关。另一方面,在高山冻原,草本植物的分布也呈现连续性,即整个高山冻原生境随海拔的变化是连续的。同时,各植被类型的草本植物又有其自身特点,均有自己独特的“植物家庭成员”,草本植物的种类构成,在较大程度上也反映出其所处的环境特点。

长白山北坡,草本层种类组成和生态分布在岳桦林林线形成了一个明显的分界线,这在样地及种类的排序图上均得到了明显的反映,充分表现出森林植被与冻原植被二者间的质的差异。

References:

- [1] Hao Z Q, Deng H B, Jiang P. Co-occurrence of plant species among communities with changes in altitudes on north slope of Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1421~1426.
- [2] Hao Z Q, Tao D L, Zhao S D. Diversity of higher plants in broad-leaved Korean pine and secondary birch forests on north slope of Changbai Mountain. *Chinese J. Applied Ecology*, 1994, 5(1): 16~23.
- [3] Hao Z Q, Yu D Y, Yang X M. α diversity of communities and their variety along altitude gradient on northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 785~789.
- [4] Li W H, Deng K M, Shao B, et al. Study on the community characteristics of dark conifer forest of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1994, (7): 1~15.
- [5] Liu Q J, Zhao S D, Dai H C, et al. The quantitative characters of herb communities under the canopies of virgin and secondary forest in Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1994, 7: 28~36.
- [6] Shao G F, Liu Q J, Qian H, et al. Biomass of herbs in early spring in broad-leaved Korean pine forest of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1992, 6: 24~31.
- [7] Qian H, Liu Q J, Shao G F, et al. Preliminary study on synecology of early-spring herbs in broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1992, 6: 31~44.
- [8] Qian H. Alpine tundra vegetation on the Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1992, 6: 72~96.
- [9] Wang Z, Xu Z B, Tan Z X, et al. The main forest types and their features of community structure in northern slope of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1980, 1: 25~42.
- [10] Xu W D, Lin C Q. Preliminary study of relations between vertical distribution of vegetation and thermal climate in Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1981, 2: 88~95.
- [11] Zhao S D. *Technological standard for forest ecosystem research*. Beijing: Science Press, 1995.
- [12] Ter braak C J F. Canoco- A fortran program for canonical community ordination by [Patrial][Detrended][Canonical]Correspondence Analysis, Principal Component Analysis and Redundancy Analysis York: Cornell

University, 1991.

- [13] Ter Braak C J F. Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, **67**: 1167~1179.
- [14] Chi Z W, Zhang F S, Li X Y. Initial research on water and hot conditions of main forest vegetation types on the northern slope of the Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1981, **2**: 179~186.
- [15] Zhang F S, Li X Y. Temperature and humidity characteristics of main forest types in growing period on the northern slope of the Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1984, **4**: 243~254.

参考文献:

- [1] 郝占庆, 邓红兵, 姜萍. 长白山北坡植物群落间物种共有度的海拔梯度变化. *生态学报*, 2001, **21**(9): 1421~1426.
- [2] 郝占庆, 陶大立, 赵士洞. 长白山北坡阔叶红松林及其次生白桦林高等植物物种多样性比较. *应用生态学报*, 1994, **5**(1): 16~23.
- [3] 郝占庆, 于德永, 杨晓明. 长白山北坡植物群落(多样性及其随海拔梯度的变化). *应用生态学报*, 2002, **13**(7): 785~789.
- [4] 李文华, 邓坤枚, 邵彬, 等. 长白山暗针叶林的基本特征及群落结构的研究. *森林生态系统研究*, 1994, **7**: 1~15.
- [5] 刘琪景, 赵士洞, 代洪才, 等. 阔叶红松林与杨桦林早春阶段草本植被几个数量特征. *森林生态系统研究*, 1994, **7**: 28~36.
- [6] 邵国凡, 刘琪景, 钱宏, 等. 长白山阔叶红松林早春草本层生物量初报. *森林生态系统研究*, 1992, **6**: 24~31.
- [7] 钱宏, 刘琪景, 邵国凡, 等. 长白山阔叶红松林早春草本层的群落生态学初步研究. *森林生态系统研究*, 1992, **6**: 31~44.
- [8] 钱宏. 长白山高山冻原植被. *森林生态系统研究*, 1992, **6**: 72~95.
- [9] 王战, 徐振邦, 李昕, 等. 长白山北坡主要森林类型及其群落结构特点(之一). *森林生态系统研究*, 1980, **1**: 25~42.
- [10] 徐文铎, 林长青. 长白山植被垂直分布与热量指数关系的初步研究. *森林生态系统研究*, 1981, **2**: 88~95.
- [11] 赵士洞. 森林生态系统定位研究技术规范. 北京: 科学出版社, 1995.
- [14] 迟振文, 张凤山, 李晓晏. 长白山北坡森林生态系统水热状况初探. *森林生态系统研究*, 1981, **2**: 179~186.
- [15] 张凤山, 李晓晏. 长白山北坡主要森林类型生长季温湿特征. *森林生态系统研究*, 1984, **4**: 243~254.