

雪被对川西高山植被坡向性分异的影响

吴 彦¹, V. G. Onipchenko²

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. Department of Geobotany, Moscow State University, Moscow, Russia, 119992)

摘要:在青藏高原东缘的松潘地区海拔 4000 m 的高山地带设置 5 条宽 1m、长 40~70m 的跨山脊南北样带, 相邻样带间距为 50 m。按 1m×1 m 面积划分为 251 个调查样方, 于 2004~2005 年分别进行了地植物学调查、土壤理化性质分析和冬季雪被厚度监测。以物种的相对频度为群落指标, 以雪被厚度、土壤厚度、有机质含量、土壤湿度(0.25mm 及 2mm)、全磷、全钾、铵态氮、水解性酸、pH 及坡度等参数为环境指标, 运用 PC-ORD 软件的 TWINSpan 对植物群落进行分类、CCA 进行排序。结果表明, 由南坡向北坡可以划分为亚菊——金露梅高山灌丛草甸、细柄茅——苔草高山草甸、细柄茅、苔草——矮柳高山灌丛草甸群落和杜鹃高山灌丛群落等 4 种群落类型。由南坡向北坡草本植物盖度由 75% 下降为 39%, 灌木盖度由 25% 增加到 54%, 在山脊附近 50 m 左右的局地范围内植被类型表现为明显的南北坡向分异格局。2005 年冬季南坡平均雪厚度 21cm, 山脊处为 26 cm, 北坡 34 cm, 由南坡向北坡雪被厚度逐渐增加; 雪被厚度与灌木盖度呈正相关($r = +0.40, p < 0.01, n = 248$), 与草本植物盖度呈负相关($r = -0.45, p < 0.01, n = 248$)。ANOVA 的分析结果显示, 土层厚度、风干土含水量、土壤酸度、有机质含量和全磷含量的南北坡向分异明显, 由南坡向北坡逐渐增加, 与雪被平均厚度存在显著的相关关系, 相关系数分别为 0.267、0.286、0.199 和 -0.183 ($n = 119, p < 0.05$); 土壤全钾和铵态氮含量的坡向差异不明显, 与雪被厚度的相关性也不显著, 相关系数分别为 -0.068 和 0.104 ($n = 119, p > 0.05$)。显示土壤特征的坡向分异规律在某种程度上与雪被的梯度变化存在着共轭关系。群落 CCA 排序及排序轴与环境指标的相关性分析也表明, 坡度、雪被厚度、有机质含量和土壤湿度是导致植物群落坡向分异的主要环境因子, 土壤铵态氮和全钾含量对植被坡向分异的影响不明显。

关键词:青藏高原东缘; 雪被; 坡向性; 植物群落; 土壤特性; 高山生态; 雪被生态

文章编号: 1000-0933(2007)12-5120-10 中图分类号: Q143 文献标识码: A

The impact of snow-cover on alpine vegetation type of different aspects in the west of Sichuan Province

WU Yan¹, V. G. Onipchenko²

1 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

2 Department of Geobotany, Moscow State University, Moscow 119992, Russia

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5120~5129.

Abstract: Five parallel transects (1m×40m—1m×70m) placed 50m apart, were sampled at the altitude of 4000m from south-slope to north-slope in Songpan county which lies in the eastern edge of the Qinghai-Tibet Plateau. During 2004—2005, all 251 quadrats (1m×1m) were investigated in terms of plant community composition, physicochemical characteristics of soil, and depth of winter snow-cover. The functional module TWINSpan of software PC-ORD was used to

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40671181/D0124); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(No. 2006BAC01A11, 2006BAC01A15), 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX2-XB2-02), 中国科学院成都生物研究所知识创新前沿课题资助项目

收稿日期:2006-10-09; **修订日期:**2007-04-29

作者简介:吴彦(1968~), 男, 四川安岳人, 博士, 主要从事山地植物生态学研究. E-mail: wuyan@cib.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40671181/D0124), the National Key Technologies R&D Program of China During the 11th Five-year Plan Period (No. 2006BAC01A11, 2006BAC01A15), The Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-XB2-02) and the Innovation Program of Chengdu Institute of Biology, CAS

Received date:2006-10-09; **Accepted date:**2007-04-29

Biography: WU Yan, Ph. D., mainly engaged in plant ecology of mountain ecosystems. E-mail: wuyan@cib.ac.cn

classify the plant communities, based on relative frequency as the community index, and an environmental index comprising depths of snow-cover, soil and organic matter, soil moisture (0.25mm and 2mm), total P, total K, NH_4^+ -N, hydrolytic acid, pH, slope etc. CCA was then used to classify plant communities. The results show four community types from south-slope to north-slope: *Potentilla-Ajanina* alpine shrub meadow, *Ptilagrostis-Carex* alpine meadow, *Salix-Carex-Ptilagrostis* alpine shrub meadow, and *Rhododendron* alpine shrub. From south-slope to north-slope, herb cover decreased from 75% to 39%, and shrub cover increased from 25% to 54%. And around the mountain ridge (about 50m) the type of vegetation in south-slope and north-slope shows significant differences. In the winter of 2005, the average snow depth on the south-slope was 21cm, compared to 26cm on the mountain ridge and 34cm on the north-slope. Snow depth was positively correlated with shrub cover ($r = +0.40$, $p < 0.01$, $n = 248$), but negatively correlated with herb cover ($r = -0.45$, $p < 0.01$, $n = 248$). ANOVA indicated that soil depth, soil moisture, pH, soil organic matter and total P differed between north and south slopes, tending to increase from south-slope to north-slope, and significantly correlated with the average snow depth ($r = 0.267$, 0.286 , 0.199 and -0.183 , respectively, $p < 0.05$, $n = 119$); soil total K and NH_4^+ -N showed no significant differences with aspect, and no significant correlation with average snow depth ($r = -0.068$ and 0.104 , respectively; $p > 0.05$, $n = 119$). This suggests a complex interaction between aspect, snow depth, and a variety of soil characteristics. The CCA order of community, as well as the correlation analysis of compositior axis and environment index also showed that slope, snow-cover thickness, soil organic matter and soil moisture were the primary factors that induced the different plant community types in south-slope and north-slope, while the impact of soil NH_4^+ -N and total K were not significant.

Key Words: eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau; snow-cover; aspect; plant community; soil characteristics; alpine ecology; snow ecology

高山植被分布格局除了水平地带性和垂直地带性更替外,还存在着坡向性分异特征。在青藏高原东缘地势高亢,河谷深切,植被的坡向性分异格局尤为显著,常常在南北坡山脊的局地范围内发生明显的植物群落类型更替^[1]。通常认为,以光照和水分为主的小气候差异是导致这种分异的重要原因^[2~4]。另一方面,在该地区的高山地带普遍存在季节性雪被覆盖现象。有研究表明,雪被(snow cover)通过对光、热、水、养分等资源的再分配作用,能够影响土层温度、雪融水的灌溉效率、土壤养分和微生物活动等土壤微环境特征^[5~7];雪生植物也往往会在物候特征、繁殖对策、生长节律、生理生态等方面逐渐形成了一系列独特适应机制^[8~10];植物群落类型、结构、物种组成等也会沿着雪梯度变化发生相应的改变^[11~16]。川西高原的高山地带受海拔、坡向、地形和风向的综合影响,雪被积累和融化也同样以山脊为界存在着明显的南北坡向分异^[17,18]。因此,雪被在高山植被坡向分异格局中是否具有驱动作用或者其可能的作用机制,是一个值得探讨的科学问题。本研究于2004~2005年在川西高原的松潘地区,对植被类型和雪被厚度变化都比较明显的5条跨山脊南北样带的雪被状况、土壤微环境特征和群落结构等进行了定量分析,在小尺度范围内探讨了高山季节性雪被与植被坡向性分异的相关关系,目的在于为认识雪被对高山植物坡向分布格局的影响提供科学参考。

1 研究方法

1.1 试验地概况

野外试验地点位于川西高原的成都生物所松潘卡卡沟试验基地(北纬 $32^{\circ}59'$, 东经 $103^{\circ}40'$)。为高山峡谷向川西高原的过渡地带,受西南暖湿气流和东南季风控制,属于典型山地季风气候。图1是据试验地东南40 km的松潘县气象站观测资料绘制的生态气候图。试验地块海拔3950~3970m,植被的坡向分异明显。阴坡平均坡度 31° ,植被类型为高山灌丛,总盖度约90%,其中灌木盖度占一半以上(53%),平均高度160~180 cm。优势种为 *Rhododendron primulaeflorum* 和 *Rh. agglutinatum*,此外还零星分布着 *Caragana jubata* 和 *Salix oreinoma*。土壤为棕色草毡土,平均土层厚度63 cm。阳坡相对比较平缓,坡度约 9° ,植被以高山草甸和高山灌丛草甸为主,草本盖度74%,灌木23%。土壤类型为黑色草毡土,平均厚度为47 cm。

1.2 野外方法

在试验地块内由南坡跨过山脊向北坡布置 5 条平行样带,样带长度为 40~70 m 不等,宽度为 1 m,各平行样带之间的距离为 50 m。按照 1 m 的间距将样带均匀地分割成 1 m × 1 m 的调查样方,5 条样带共得到 251 个调查样方。在每个 1 m × 1 m 的调查样方内用尼龙线均匀分割成 10 个面积为 0.1 m × 1 m 的小样条,逐一记录每个小样条内物种种类。物种在小样条中出现与否的判别标准为:草本植物以植株基部着生于样条中为准,灌木则以枝条的垂直投影出现在样条中为准。最后统计各物种在 1 m × 1 m 调查样方中出现的频度(最高值为 10 分,最低为 0 分);同时记录每个 1 m × 1 m 样方坡度、总盖度及分层盖度、各灌木物种的高度。

用直径约为 30 mm 的不锈钢条插入土层,直致不能继续插入为止,粗略测得相应的土层厚度^[19]。每个 1 m × 1 m 样方分别在 4 个顶点和中心点测定 5 次,计算平均值为该样方的土层厚度。每间隔 1 个样方取表层 10 cm 处取土样,测定风干土含水量(烘干法)、pH(电位法)、有机质(重铬酸钾氧化-外加加热法)、全 P(NaOH-钼锑抗比色法)、全 K(火焰光度法)、铵态氮(氯化钾浸提-蒸馏法)和水解性酸(氯化钾交换-中和滴定法)^[20]。并在冬季不同时间段(11 月 15 日,2 月 18 日和 4 月 15 日)测定各样方雪层厚度。

1.3 数据处理

南北坡向雪被、土壤和群落指标的平均值均以山脊为界分别进行统计(对于在山脊附近坡向不甚明显的过渡样方,南北坡各计入一半)。以 1 m × 1 m 调查样方为数据单元,运用 SPSS(v10.0) 软件对南北坡各指标进行 ANOVA 分析,并按 0~5°、6~15°、16~25°、>25° 四个等级对坡度与雪被厚度及其土壤特性进行多重比较。以重要值 p_i 为指标计算 Shannon 指数 H ,具体为: $H = - \sum p_i \cdot \ln p_i$,草本植物重要值 $p_i = (\text{相对频度} \times 10) / 100$;灌木物种的重要值 $p_i = (\text{相对频度} \times 10 + \text{相对高度} \times 100) / 200$;群落总的 Shannon 指数以灌木 Shannon 指数与草本多样性指数之和表示(调查样方无乔木物种出现)。

采用 PC-ORD(v 4.35) 软件包的 Twinspan 进行群落数值分类、CCA 进行样方排序^[21]。以物种的相对频度为群落指标;环境数据则由 119 个样方的雪被厚度、土壤厚度、有机质含量、土壤湿度(0.25 mm 及 2 mm)、全磷、全钾、铵态氮、水解性酸、pH 及坡度等 11 个指标构成的 119 × 11 环境因子数据矩阵。

2 结果与分析

2.1 植物群落类型与坡向分异

根据 Twinspan 分类结果,研究地块的植物群落类型可以分为 4 个组(图 2)。第 1 组为金露梅-亚菊高山灌丛草甸,平均盖度 93%,其中灌木盖度 44%,草本 57%。灌木优势种金露梅 *Potentilla fruticosa* L. 的频度为 7.5,平均高度 38 cm。草本层的优势种为甘青老鹳草 *Geranium pylzowianum* Maxim., 花葶驴蹄草 *Caltha scaposa* Hook. f. et Thoms, 多裂亚菊 *Ajania tripinnatisecta* Ling et Shin。该群落分布于南坡,平均坡度 14°。雪被厚度在 4 种群落类型中最浅,冬季平均积雪厚度和 2 月中旬雪厚度分别为 17 cm 和 23 cm。

第 2 组为细柄茅-苔草高山草甸群落,含 85 个调查样方。草本盖度 80%,有 13 种草本植物频度大于 5.0,包括细柄茅 *Ptilagrostis* sp.、黑褐穗苔草 *Carex atrofusca* subsp. *minor*、紫茎小芹 *Sinocarum coloratum*、高山唐松草 *Thalictrum alpinum*、尼泊尔香青 *Anaphalis nepalensis*、条裂银莲花 *Anemone trulifolia* var. *linearis*、肾叶龙胆 *Gentiana hexaphylla*、花葶驴蹄草、肾形子黄芪 *Astragalus skythropos*、山莓草 *Sibbaldia procumbens*、甘青老鹳草、狭

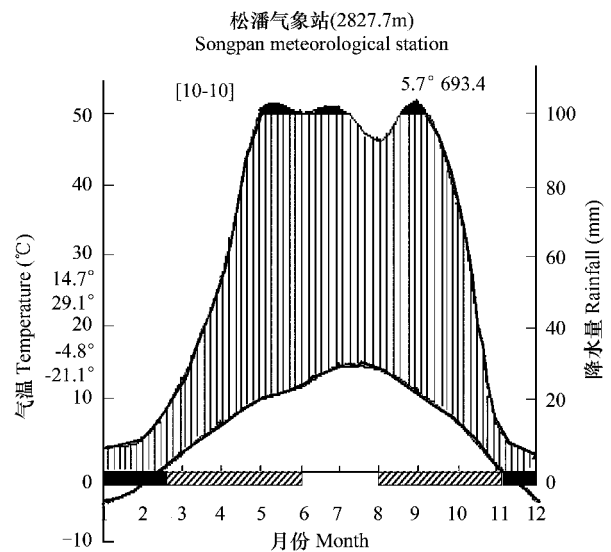


图 1 研究区域生态气候图

Fig. 1 Bioclimograph of research region

盔马先蒿 *Pedicularis longiflora* 等。灌木优势种为金露梅,其频度、盖度和高度与前一群落相比有明显下降。该群落分布在南坡山脊下方,平均坡度 8° 。冬季平均积雪厚度和 2 月中旬雪厚度分别为 21cm 和 30 cm。

第 3 组为矮柳-苔草、细柄茅高山灌丛草甸群落,主要分布于山脊过渡地带,平均坡度 9° 。共包括 77 个调查样方,其中南坡 32 个,北坡 37 个,其余 8 个样方位于山脊。平均盖度 91%,其中灌木盖度 35%,金露梅不再是优势种(频度仅为 1.1),迟花矮柳 *Salix oreinoma* 成为该群落的主要优势种。草本层盖度 80%,共有 8 种草本植物的频度大于 5.0,黑褐穗苔草和细柄茅为主要优势种,频度高达 9.0。该群落冬季平均积雪厚度和 2 月中旬雪厚度分别为 25cm 和 34 cm。

第 4 组群落为杜鹃高山灌丛。共有 68 个样方属于该类型,分布于北坡,平均坡度 46° 。灌木层盖度高达 64%,平均高度 160cm。灌木优势种为凝毛杜鹃 *Rh. agglutinatum*,频度为 6.7。另有樱草杜鹃 *Rh. primulaeflorum* 和迟花矮柳零星分布于该群落中。草本层盖度仅为 23%,主要是一些在前 3 个群落中很少出现的耐阴植物山蓼 *Oxyria* sp.、野草莓 *Fragaria vesca*、耳柄蒲儿根 *Sinosenecio euosmus*、松潘蒲儿根 *S. sungpanensis*、戟叶垂头菊 *Cremanthodium potaninii*、无梗拉拉藤 *Galium smithii*。此外,该群落的苔藓层盖度十分丰富(61%),优势种为钩枝镰刀蕨 *Sanionia uncinata* 和塔藓 *Hylocomium splendens*。冬季平均积雪厚度和 2 月中旬雪厚度分别为 41cm 和 52 cm。

4 种植物群落由南坡经山脊向北坡逐渐过渡,相应的雪被厚度也逐渐增加(图 2)。

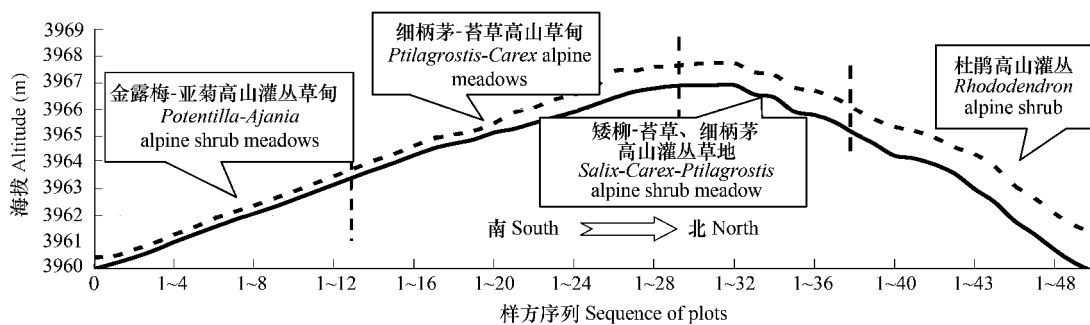


图 2 研究样地的地形特征、雪被状况和群落类型分布示意图

Fig. 2 The topographic characteristics, snow-cover and community types of research sample transects

以第 1 条样带为例,黑色实线代表地形,虚线表示雪被状况 The transect No. 1 for example, solid curve delegates topography, dashed curve delegates show cower status

2.2 CCA 排序结果分析

基于物种频度的 CCA 排序结果显示,前 3 轴的特征值分别为 0.393, 0.072 和 0.064,相应的前 3 轴贡献率分别为 74.3%, 13.6%, 12.1%。表明 4 种植物群落的空间分异在较大程度上沿着第 1 轴展开。以前两个排序轴(代表了 88% 的信息量)为坐标轴做群落排序值的散点图,再用 Twinspan 分类结果划分排序空间(图 3),可看出 4 种群落类型沿第一坐标轴分布于不同的排序空间,且彼此间界限相对明显,排序图较好地反映了各组在排序空间的分布关系。

通过不同生境特征与排序轴之间的相关分析可以发现,第 1 轴反映的是坡度、雪层厚度、有机质含量以及土壤湿度等指标的变化趋势,第 2 轴则反映了土壤的 pH 和水解性酸的变异。第 4 组杜鹃高山灌丛群落分布于第 1 轴最左边,这与其北坡的生境特征相符合——坡度陡峭、雪被相对较厚、杜鹃灌丛林下凋落物层很厚。第 3 组大部分分布与第 1 轴左侧,少部分位于右侧,这与其位于山脊两侧、具有从南坡向北坡过渡的环境特征相符合。第 1 组亚菊-金露梅高山灌丛草甸群落和第 2 组为细柄茅-苔草高山草甸群落则分布于相对平缓的南坡,雪被厚度比北坡浅。相应的这两个群落分布于排序轴的右侧。CCA 排序与 Twinspan 分类的排序空间图的边界大小,可以反映每个类型排序指标参数的均质性状况。如图 4 所示,第 4 组杜鹃高山灌丛群落的边界范围远较另外 3 种群落大。这表明该群落生境异质性比较明显,坡度、雪层厚度、有机质含量等变异较大。

接图 3

CCA 排序轴与生境特征之间的 Spearman 相关系数反映了不同土壤(环境)因子与 4 植物群落的空间分异的关系(表 1)。结合各排序轴的贡献率大小可以认为,坡度、雪被厚度、有机质含量和土壤湿度是影响植物群落坡向分异的主要环境因子,土壤铵态氮和全钾含量对植被坡向分异的影响不明显。

2.3 雪被与土壤的地形分异特征

2.3.1 雪被与土壤的坡向分异特点

如图 2 所示,随着坡向由南向北过渡雪被厚度逐渐增加,经过 ANOVA 分析,南北坡雪层差异十分明显(表 2)。相应地,南坡和北坡的土壤理化性质也存在着明显差异。除全钾和铵态氮外,北坡杜鹃灌木群落的土层厚度、风干土含水量、土壤酸度、全磷以及有机质含量都明显高于北坡的高山草甸群落,表现为十分明显的南北坡向性分异(表 2)。总的来看,北坡雪被比较深厚,土壤环境酸而阴湿,有机质积累较多,磷的生物表聚作用强于南坡,但氮素和钾素含量无明显的坡向性分异特征。

该区域雪被坡向分异规律与其它山地较为相似,例如在高加索山区北坡杜鹃灌丛林下雪被层厚度同样比南坡高^[22]。然而从雪被的堆积规律来看,青藏高原与高加索山区有明显的差异,前者南北坡雪被厚度差异仅为 20~40 cm,后者不低于 100 cm。在本研

究中从南向北雪被厚度逐渐增加,南坡平均厚度 21 cm,北坡 34 cm,山脊处的厚度为 26 cm,介于二者之间(图 2)。而在高加索山区山脊处的雪被厚度因为风的搬运而最小^[23]。结合当地气象资料,可以认为,在本研究区域风力对雪被的搬运作用不是十分明显,也许太阳光的照射引起的蒸发是一起南坡雪被厚度减少的重要原因^[17]。

表 2 不同坡向雪被厚度及其土壤特性之间的比较

Table 2 Comparison between snow cover thickness and soil characteristics of different slope exposure

坡向 Aspect	雪厚 Snow thickness (cm)	土层厚 Soil depth (cm)	风干土含水量 Soil moisture(%)		pH	有机质 Organic (g/kg)	全 P Total P (g/kg)	全 K Total K (g/kg)	铵态氮 Ammonium nitrogen (mg/kg)	水解性酸 Hydrolytic acid (mmol/kg)
			2mm	0.25mm						
<i>P</i>	**	**	**	**	**	**	**	ns	ns	**
北坡 North	33.9	64.8	6.64	6.65	5.6	119.48	1.48	16.41	17.49	7.80
南坡 South	20.8	47.3	5.51	5.47	5.8	83.24	1.25	16.47	17.16	4.74

p 显著性检验 Significantly different test; ** $p < 0.01$; ns 不显著 Not significant

2.3.2 雪被和土壤特性与坡度的关系

前面 CCA 的分析结果显示,坡度是导致 4 种植物群落空间分异的主要环境因子之一(表 1)。在南坡一定坡度范围内由于受太阳高度角的影响,随着坡度的增加单位面积的光照幅度逐渐增加。据南坡的 141 个样方资料统计结果显示,坡度越大雪层越浅,坡度和雪层厚度呈现明显的负相关($r = -0.201, n = 141, p < 0.05$)。在北坡光照条件恰恰相反,随着坡度的增加光照强度不断减少,雪层被蒸发的速率比较慢,雪层厚度与坡度呈现明显的正相关($r = +0.236, n = 110, p < 0.05$)。对坡度与各土壤理化特征的相关分析发现,坡度与土层厚度、水分含量、有机质含量以及全磷和钾含量之间存在明显的相关关系,而与铵态氮、pH 值和水解性酸含量相关性不明显(表 3)。由此可以推断,坡度同样也是雪被厚度分异的因素之一。据 A. B. Волкова

表 1 CCA 排序轴与生境特征之间的 Spearman 相关系数

Table 1 Spearman correlation coefficients between habitat characteristics and CCA ordination axis

生境特征 Habitat characteristics	相关系数 Correlation coefficient ($n = 119$)	
	第 1 轴 1st axis	第 2 轴 2nd axis
坡度 Slope	-0.900 *	0.334 *
雪被厚度 Snow cover thickness	-0.789 *	-0.229 *
有机质含量 Organic content	-0.672 *	-0.310 *
土壤湿度 Soil moisture(0.25mm)	-0.516 *	-0.439 *
土壤湿度 Soil moisture(2mm)	-0.436 *	-0.427 *
土壤厚度 Soil thickness	-0.395 *	-0.019
全磷 Total P	-0.300 *	-0.078
水解性酸 Hydrolytic acid	-0.245 *	-0.501
pH	0.199 *	0.717 *
铵态氮 Ammonium nitrogen	-0.138	0.262 *
全钾 Total K	0.073	-0.165

* $p < 0.05$

1999 年的资料,在高加索山区只有可溶性磷和土壤 C/N 与坡度呈现显著性相关^[22]。

表 3 不同坡度雪被厚度及其土壤特性

Table 3 Snow cover thickness and soil characteristics of different slope gradient

坡向 Slope(°)	雪厚 Snow thickness (cm)	土层厚 Soil depth (cm)	风干土含水量 % Soil moisture %		pH	有机质 Organic (g/kg)	全 P Total P (g/kg)	全 K Total K (g/kg)	铵态氮 Ammonium nitrogen (mg/kg)	水解性酸 Hydrolytic acid (mmol/kg)
			2mm	0.25mm						
<i>p</i>	* *	* *	* *	* *	ns	* *	* *	*	ns	ns
0 ~ 5	22.5	45.5	5.78	5.82	5.76	89.39	1.28	16.91	16.05	4.42
6 ~ 15	22.5	51.2	5.79	5.70	5.72	88.71	1.31	16.84	17.16	5.92
16 ~ 25	25.9	41.4	5.78	5.83	5.81	99.48	1.19	15.54	17.74	4.88
> 25	39.7	64.0	6.61	6.74	5.70	125.72	1.54	15.84	18.33	7.39

P: 4 种坡度之间雪层厚度差异的显著性检验 Significantly different test of snow cover thickness between 4 type slope-gradient; * * $p < 0.01$;

* $p < 0.05$; ns: 不显著 Not significant

2.4 雪被厚度-土壤特性-植物群落结构的相互关系

2.4.1 雪被厚度与土壤理化特征

在季节性雪被覆盖生态系统,雪被厚度差异是导致环境异质性的重要因素^[24]。本研究的相关分析表明,雪被厚度与土壤厚度、土壤含水量、有机质含量之间呈现显著的正相关;全磷与雪被厚度表现为负相关;土壤全钾、铵态氮含量与雪被厚度之间没有明显的相关关系(表 4)。这与雪被厚度和土壤特征之间随地形变化(坡向和坡度)的规律十分一致(表 2,表 3)。有研究认为雪被覆盖比较深厚的生境,由于雪融水的长期淋洗,土壤风化淋溶程度较为强烈从而可能引起土壤酸化^[13, 14]。但本试验中雪层厚度与土壤酸度(pH 值和水解性酸)之间没有明显的相关关系(表 4),各群落之间的显著性差异不十分明显(图 4)。说明在该区域雪被覆盖并没有导致的土壤酸化,这可能与研究区域的雪层较浅以及气候干燥使得雪融水数量偏少、淋溶时间相对短暂有关。另外,不同月份的雪层厚度与土壤性质之间的关系有所差异,其中 11 月份和 4 月份的雪层厚度表现出比较稳定的趋势,2 月份的雪厚度(雪层最厚的时期)与土壤性质关系不太明显。其原因有待进一步研究,也许这与不同时期雪层厚度对土壤特性影响的敏感性有关。11 月份是开始积雪的季节,雪层厚度对土壤影响比较敏感,同样 4 月中旬是雪被融化后期,其厚度对土壤的影响也比较明显。

表 4 雪被厚度与土壤特征之间的相关性分析

Table 4 Correlation relationship between different seasonal snow cover thickness and soil characteristics

测量时间 Measure data	样本数 Number of samples (<i>N</i>)	土层厚 Soil depth	相关系数 Correlation coefficient							
			风干土含水量 Soil moisture		pH	有机质 Organic	全 P Total P	全 K Total K	铵态氮 Ammonium nitrogen	水解性酸 Hydrolytic acid
			2mm	0.25mm						
2004-11-15	119	0.307 *	0.360 *	0.432 *	-0.122	0.404 *	0.067	-0.015	0.120	0.121
2005-02-18	119	0.148	0.069	0.067	0.158	0.029	-0.363 *	-0.141	0.156	0.027
2005-04-15	94	0.245 *	0.291 *	0.365 *	-0.059	0.304 *	-0.030	-0.075	0.067	0.080
平均雪厚度 Mean	119	0.267 *	0.227 *	0.286 *	0.024	0.199 *	-0.183 *	-0.068	0.104	0.054

* $p < 0.05$ 差异显著 Shows significant checkout $p < 0.05$

在 4 种植物群落类型,不仅雪被覆盖状况存在明显的差异(图 2 和图 3),而且相应的土壤特征也存在明显分异。图 4 是 4 种植物群落类型与土壤理化特征及其多重比较分析。4 种群落的土壤有机质含量和水分含量逐渐递增。北坡的杜鹃灌丛由于大量凋落物堆积形成深厚的腐殖质层,土壤有机质含量明显高于南坡的草甸群落,相应的土壤水分含量也较后者高。水解性酸含量和 pH 值也存在坡向分异,各群落间也存在一定的差异,但各群落间的多重比较结果不如有机质和水分明显显著。山脊附近的细柄茅、苔草-矮柳高山灌丛草甸群落的主要土壤指标则介于杜鹃灌丛和高山草甸群落之间,表现出比较明显的过渡特征。总的来看,除了分

布于南坡的亚菊-金露梅高山灌丛草甸(群落 A)和细柄茅-苔草高山草甸(群落 B)之间土壤差异不甚明显而外,北坡的杜鹃高山灌丛(群落 D)与另外 3 种群落的土壤特性差异最为显著。这与从南坡到北坡雪被厚度逐渐增加有关。

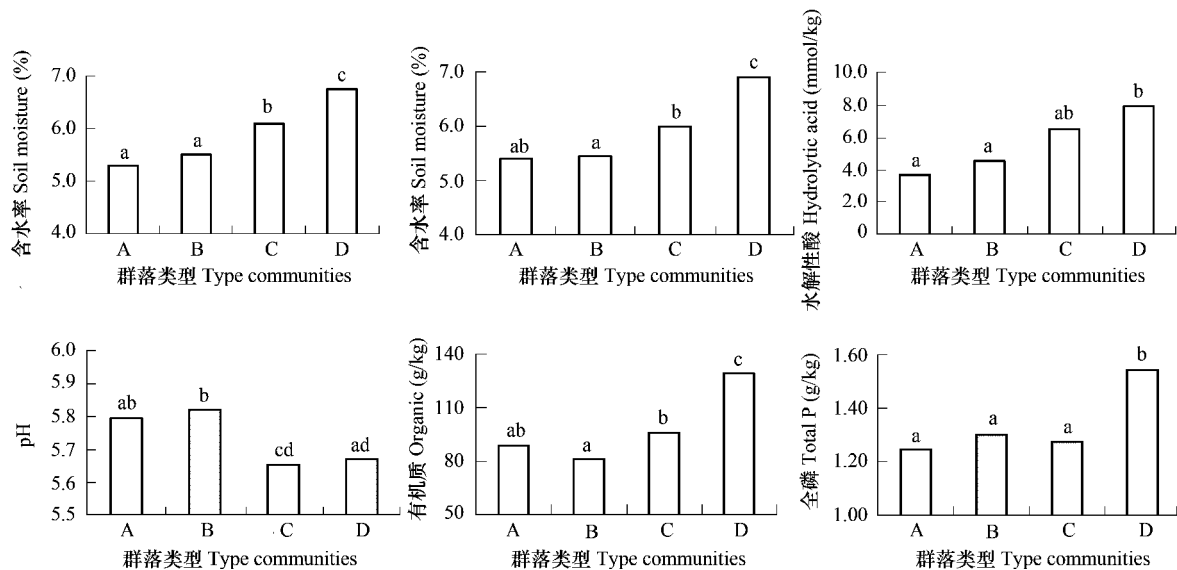


图 4 不同坡向 4 种植物群落类型土壤理化特征及其多重比较分析

Fig. 4 Soil characteristics of 4 types communities with different exposure and multi-comparison analysis

柱状图上方字母示意 4 个群落之间多重比较结果,有相同字母表示彼此间差异不显著,无共同字母表示差异显著;下同 Letters of histogram show 4 community multi-comparison result, having the same letter mean the difference isn't significant, not having-significant; the same below

2.4.2 雪被厚度与植物群落结构

如前所述,尽管不同季节各群落类型的积雪厚度有较大差异,但总体上由南坡经山脊向北坡雪被厚度逐渐增加。亚菊-金露梅高山灌丛草甸(群落 A)、细柄茅-苔草高山草甸(群落 B)到细柄茅-苔草-矮柳高山灌丛草甸(群落 C)和杜鹃高山灌丛(群落 D)等 4 种群落的平均积雪厚度分别为 16.9、21.3、25.0 和 40.8 cm。经过 ANOVA 分析,除了群落 A 和群落 B 外彼此差异不明显外,其余各群落彼此间的雪层厚度差异显著。北坡的杜鹃灌丛群落雪被层最厚,南坡的高山草甸群落相对较浅,山脊过渡地带的矮柳高山灌丛草甸雪层厚度介于南北坡之间。况且不同季节雪被层在 4 种群落中的堆积规律也基本一致(图 5)。相应地,雪层厚度与群落结构存在一定的相关关系。图 6 是以物种相对频度为基础得到的群落 Shannon 指数随坡向的变化规律。与雪被厚度的坡向变化规律相反,群落总的 Shannon 指数与草本植物的 Shannon 指数由南向北逐渐降低;而灌木的多样性指数则没有明显的坡向分异。在南坡相应的 Shannon 指数分别为 8.53、7.96、0.57,北坡分别为 3.75、3.18、0.57。雪被厚度与群落总的 Shannon 指数和草本植物的 Shannon 指数之间具有显著负相关,相关系数分别为 -0.60 和 -0.62 ($p < 0.01, n = 248$);但与灌木的多样性之间无显著相关关系。据样方调查资

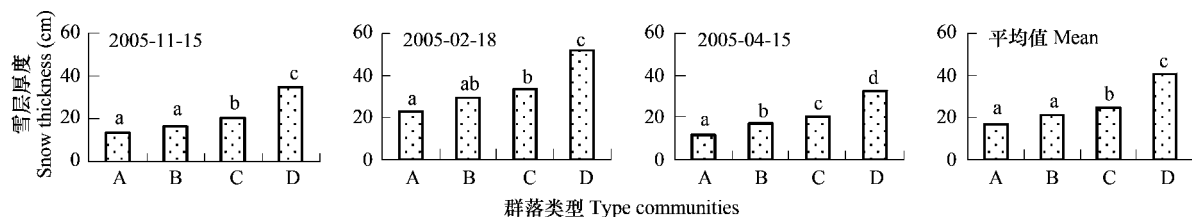


图 5 不同坡向 4 种群落不同时间雪层厚度及其多重比较分析

Fig. 5 Snow thickness of 4 types communities with different exposure at different time including its multi-comparison analysis

料,由南坡向北坡草本植物盖度逐渐下降,南坡为 75%,北坡为 39%;灌木盖度则由南向北逐渐增加,南坡为 25%,北坡为 54%。灌木和草本的盖度呈现为此消彼涨的格局,二者之间为负相关关系($r = -0.71, p < 0.01, n = 248$)。而雪被厚度则与灌木盖度呈正相关($r = +0.40, p < 0.01, n = 248$),与草本植物盖度呈负相关($r = -0.45, p < 0.01, n = 248$)。也就是说,灌木的存在有利于雪被的堆积。这与灌丛植被能够部分阻挡太阳光的直接照射和避免雪被层遭受风力搬运有关^[24]。

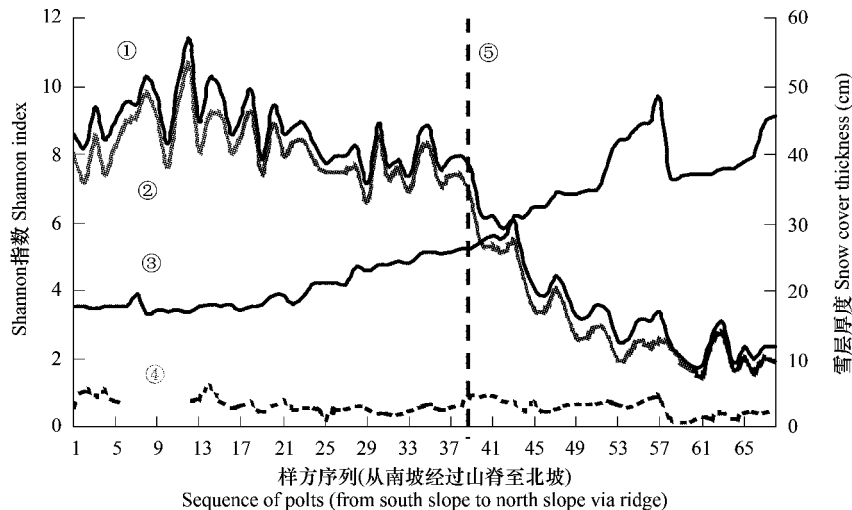


图 6 群落 Shannon 指数的坡向分异及其与雪被厚度关系

Fig. 6 Slope exposure change of community Shannon index and its relation between snow cover thickness

① 群落总的 Shannon 指数;② 草本植物 Shannon 指数;③ 雪层厚度;④ 灌木植物 Shannon 指数;⑤ 山脊位置 ① total community Shannon index; ② Shannon index of herbage plant; ③ snow-cover thickness; ④ Shannon index of shrub plant; ⑤ ridge

与高加索山区相比较,松潘地区的雪被厚度的南北坡差异相对较小,约为 20~40 cm(在高加索山区可以达到 100 cm 以上),但雪被对植被的影响反而更加明显。例如,本研究中 63 种主要植物中有 48 种(76%)的频度与雪被厚度呈显著负相关,11 种(17%)呈显著正相关,这在其他研究区域是不多见的^[16, 25, 26]。这从一个侧面反映了在本研究区域季节性雪被覆盖对植物种类分布的影响。

3 结论

(1) 在研究样地内植被存在着明显的南北坡向分异。按 Twinspan 分类结果,从南坡经山脊到北坡依次分布着亚菊-金露梅高山灌丛草甸、细柄茅-苔草高山草甸、细柄茅、苔草-矮柳高山灌丛草甸群落和杜鹃高山灌丛群落等 4 种群落类型。灌木盖度由南坡向北坡逐渐增加、草本植物盖度逐渐下降;群落总的 Shannon 指数与草本植物的 Shannon 指数逐渐降低,而灌木的多样性指数则没有明显的坡向分异。

(2) 雪被厚度南北坡向分异明显。由南坡经山脊到北坡平均雪被逐渐增加,分布与不同坡向的群落类型之间雪被厚度差异显著。雪被厚度与灌木盖度呈正相关,与草本植物盖度呈负相关。

(3) 从南坡经山脊到北坡土层厚度、土壤湿度、有机质和全磷含量逐渐增加,在所划分的 4 种群落之间显著差异。土壤全钾和氨态氮含量则无明显差异。雪被厚度与土壤厚度、土壤含水量、有机质含量呈显著正相关;与全磷为负相关;与全钾和氨态氮含量无明显相关。土壤酸度(pH 值和水解性酸)在南北坡向差异达到显著水平,但与雪被厚度相关性不明显,各群落类型间的显著性差异也不明显,说明在该区域雪被覆盖并没有导致的土壤酸化。

(4) CCA 排序结果显示,坡度、雪被厚度、有机质含量和土壤湿度是影响植物群落坡向分异的主要环境因子,土壤氨态氮和全钾含量对植被坡向分异的影响不明显。

由于在本研究中雪被厚度、植物群落类型以及部分土壤理化性质都具有明显坡向分异,彼此之间存在着有规律性的关联关系。因此我们可以推论,在川西高原的常见的以山脊为分界线的植被坡向分异,在一定程

度上是受雪被厚度所驱动的。

References:

- [1] Collaboration Group of Vegetation Sichuan. Vegetation of Sichuan. Chengdu: Sichuan People's Press, 1980.
- [2] Shen Z H, Zhang X S, Jin Y X. Gradient analysis of the influence of mountain topography on vegetation pattern. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24: 430 — 435.
- [3] He Q H, He Y H, Bao W K. Dynamics of soil water contents on south facing slope of dry valley area in the upper reaches of the Minjiang River. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2004, 10: 68 — 74.
- [4] Zhang Y P, Ge Z W, Liu Y H, Dou J X, He Y L, Guo P. A comparative study on difference of microclimate between south facing and north facing slope of the upper reaches of Mingjiang River in rainy season. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20: 680 — 686.
- [5] Сулаквелидзе Г К. Некоторые физические свойства снежного покрова. Вопросы изучения снега и использования его в народном хозяйстве. Москва: Изд-во АН СССР, 1955. 210 — 230.
- [6] Molenaar J G. An ecohydrological approach to floral and vegetational patterns in arctic landscape ecology. *Arctic and Alpine Research*, 1987, 19: 414 — 424.
- [7] Bowman W D. Inputs and storage of nitrogen in winter snowpack in an alpine ecosystem. *Arctic and Alpine Research*, 1992, 24: 211 — 215.
- [8] Billings W D. Arctic and alpine vegetation: plant adaptations to cold summer climates. In: Barry R G, Ives J D eds. *Arctic and Alpine Environments*. Methuen, London, 1974. 403 — 443.
- [9] Salisbury F S. Plant growth under snow. *Aquilo Series Botanica*, 1985, 23: 1 — 7.
- [10] Inouye D W, McGuire A D. Effects of snowpack on timing and abundance of flowering in *Delphinium nelsonii* (*Ranunculaceae*): implications for climate change. *American Journal Botany*, 1991, 78: 997 — 1001.
- [11] Kudo G, Ito K. Plant distribution in relation to the length of the growing season in a snow-bed in the Taisetu Mountains, northern Japan. *Vegetation*, 1992, 98: 165 — 174.
- [12] Billings. Arctic and alpine vegetations: similarities, differences, and susceptibility to disturbances. *BioScience*, 1973, 23: 697 — 704.
- [13] Tomaselli M. The snow-bed vegetation in the Northern Apennines. *Vegetation*, 1991, 94: 177 — 189.
- [14] Stanton M L, Rejmanek M, Galen C. Changes in vegetation and soil fertility along a predictable snowmelt gradient in the Mosquito range, Colorado, USA. *Arctic and Alpine Research*, 1994, 26: 364 — 374.
- [15] Heegaard, Einar. A model of alpine species distribution in relation to snowmelt time and altitude. *Journal of Vegetation Science*, 2002, 13: 493 — 504.
- [16] Захаров А А, Герасимова М А, Онипченко В Г. Зависимость распределения растений альпийских ковров от мощности снегового покрова. Бюл. МОИП. Отд. биол., 2002, 107 (5): 80 — 83.
- [17] Wu Y, Onipchenko V G. The structure of plant communities according to soil properties in the eastern Tibetan plateau. *Transaction of Teberda state biosphere reserve in Russian*, 2005, 30: 57 — 73.
- [18] Wu Y, Onipchenko V G. Relation of the snow cover to the structure of vegetation in the alpine communities of the eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Zhurnal Obshchei Biologii*, 2006, 67(6): 452 — 463.
- [19] Батчаева О М, Захаров А А, Онипченко В Г. Зависимость распространения растений от глубины почвы в альпийских фитоценозах Тебердинского заповедника. Бюл. МОИП. Отд. биол., 2003, 108 (4): 53 — 57.
- [20] The National Standard Bureau. Standard methods of forest soil analysis. Beijing: Standards Press of China, 1997.
- [21] McCune B, Grace J B. Analysis of ecological communities. Gleneden Beach, Oregon: MjM Software Design, 2002.
- [22] Волков А В. Зависимость свойств высокогорных почв от растительности и положения в рельефе. Труды Тебердинского Государственного биосферного заповедника, 1999, 15: 14 — 40.
- [23] Onipchenko V G. Alpine ecosystems in the Northwest Caucasus. Dordrecht e. a.: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [24] Jones H G, Pomeroy J W, Walker D A, et al. Snow ecology — An interdisciplinary examination of snow-covered ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 266 — 307.
- [25] Холод С С. Роль снежного покрова в дифференциации растительности южной части острова Врангеля ценотический уровень. Ботанический журнал, 1993, 78(1): 45 — 58.
- [26] Miller P C. Environmental and vegetational variation across a snow accumulation area in montane tundra in central Alaska. *Holarctic Ecology*, 1982, 5: 85 — 98.

参考文献:

- [1] 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980.
- [2] 沈泽昊, 张新时, 金义兴. 地形对亚热带山地景观尺度植被格局影响的梯度分析. *植物生态学报*, 2000, 24(4): 430 ~ 435.
- [3] 何其华, 何永华, 包维楷. 岷江上游干旱河谷典型阳坡海拔梯度上土壤水分动态. *应用与环境生物学报*, 2004, 10: 68 ~ 74.
- [4] 张一平, 葛在伟, 刘玉红, 等. 岷江上游雨季南北坡小气候比较. *山地学报*, 2002, 20: 680 ~ 686.
- [20] 国家标准局. 森林土壤标准分析方法. 北京: 中国标准出版社, 1997.

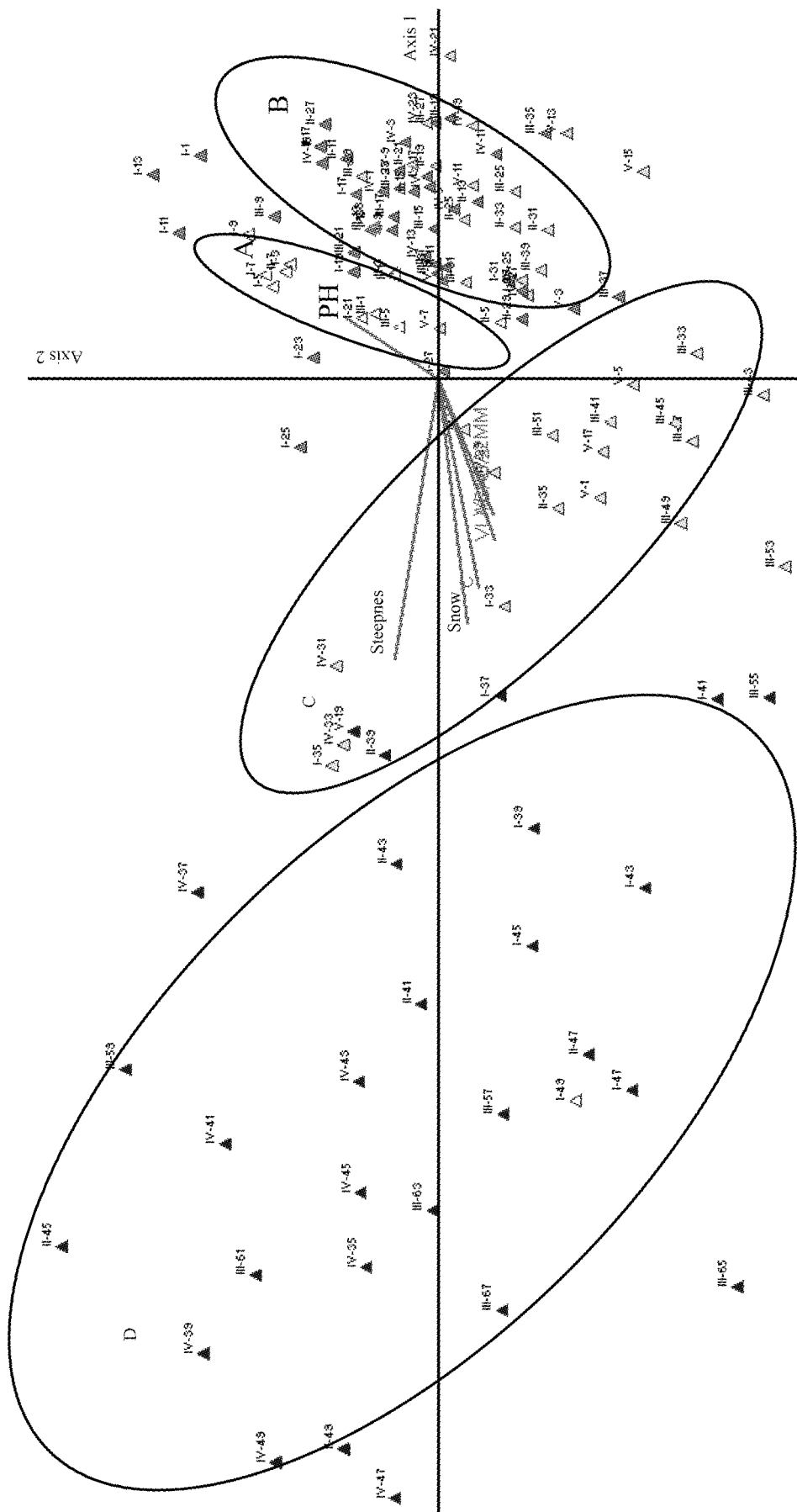


图 3 青藏高原东缘高山植物群落 CCA 排序图

Fig. 3 CCA ordination graph of alpine communities in the eastern Qinghai-Tibet Plateau

圆圈是以 Twinspan 分类结果划分的 4 种群落类型边界, A 为金露梅—亚菊高山灌丛草甸群落, B 为细柄茅—苔草高山草甸群落, C 为矮柳—苔草、细柄茅高山灌丛草甸群落, D 为杜鹃高山灌丛群落; 下同 Circles represents communities boundaries of the Twinspan classification. A as *Potentilla-Argemone* alpine shrub meadows; B is *Poa-Carex-Poa* alpine meadows; C is *Salix-Carex-Poa* alpine shrub meadow; D is *Rhododendron* alpine shrub; The same below