西藏珠峰 - 卓奥友峰普士拉地区高山稀疏植被的群落特征及小地形的影响

方精云¹ 神崎护² 王襄平¹ 依田恭二² 孙世洲³ 下田胜久²

1 (北京大学环境学院生态系, 北京大学生态学研究教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

2 (日本大阪市立大学理学部生物学科, 日本大阪 558)

3 (中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要: 在西藏定日县珠穆朗玛峰 - 卓奥友峰附近的普士拉地区的一山坡上(海拔 5176 - 5390 m), 设置 13 个样方, 进行群落调查、小地形测定和土壤剖面调查, 分析该地区高寒植被的群落特征及其与小地形的关系。13 个样方(面积 25 - 200 m² 不等)中, 共记载物种 80 个(含变种和亚种), 分别隶属于 47 个属。出现频度较高的种有高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮兔耳草(*Lagotis humilis*)、楔叶委陵菜(*Potentilla cuneata*)、华马先蒿(*Pedicularis oederi* var. *sinensis*)、高山委陵菜(*Potentilla polyschista*)、密生雪灵芝(*Arenaria densissima*)等; 含物种数较多的属有: 虎耳草属(*Saxifraga*)、风毛菊属(*Saussurea*)、嵩草属(*Kobresia*)、委陵菜属(*Potentilla*)、龙胆属(*Gentiana*)、葶苈属(*Dryas*)等。随着海拔降低, 物种和属的丰富度呈现出上升的趋势。在该地区, 植被盖度能较好地指示生境条件。等级聚类的结果也支持了这一观点。随着植被盖度的增加, 转换物种丰富度(*TSR*)和转换属丰富度(*TGR*)增加, 而物种多样性指数(Shannon-Wiener 指数)减小。利用物种矩阵以及海拔、坡度、坡向、土壤深度、植被盖度等环境变量进行 CCA 排序, 结果分出 4 类生境类型, 它们较好地反映了群落特征与地形的关系。

关键词: 高寒植被, 群落调查, 小地形, 数量分类方法, 物种多样性

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005 - 0094(2004)01 - 0190 - 10

Community structure of alpine sparse vegetation and effects of micro-topography in Pushila, Everest-Choyu region, Tibet, China

FANG Jing-Yun¹, KANZAKI Mamoru², WANG Xiang-Ping¹, YODA Kyoji², SUN Shi-Zhou³, SHIMOTA Katsuhiko²

1 Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

2 Department of Biology, Faculty of Science, Osaka City University, Sugimotocho, Osaka 558, Japan

3 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

Abstract: A total of 13 plots were set along a transect from the altitude of 5176 m to 5390 m in Pushila, Everest-Choyu region, Tibet, to investigate community structure of alpine sparse vegetation and effects of micro-topography. A total of 80 higher plant species, belonging to 47 genera, were identified. The most prevalent species were *Kobresia pygmaea*, *Lagotis humilis*, *Potentilla cuneata*, *Pedicularis oederi* var. *sinensis*, *Potentilla polyschista*, and *Arenaria densissima*. Several genera were highly species rich, such as *Saxifraga*, *Saussurea*, *Kobresia*, *Potentilla*, *Gentiana*, and *Dryas*. As altitude decreased, richness of both species and genera tended to increase. Vegetation coverage was found to be a good indicator for habitat conditions. Cluster analysis supported this finding. With increasing vegetation coverage, transformed species richness (*TSR*) and transformed genus richness

* 基金项目: 国家自然科学基金资助(49971002)

收稿日期: 2003 - 06 - 12; 接受日期: 2003 - 09 - 10

作者简介: 方精云, 男, 1959 年出生, 教授, 主要研究方向为植被生态学和全球变化生态学。E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn

(*TGR*) increased, while Shannon-Wiener index decreased. Four habitat types that reflected a good correlation between community structure and micro-topography were identified based on CCA analysis using species matrix and five variables (altitude, slope, aspect, soil depth, and vegetation coverage).

Key words: alpine sparse vegetation, micro-topography, quantitative classification, species diversity, vegetation survey

被称为地球第三极的青藏高原平均海拔 4000 m 以上,在不同的水热条件和地貌过程作用下,形成了丰富的高寒植被类型,如高山垫状植被、高山草甸、高山草原等(张经纬,1988; 张新时,1994)。自 20 世纪 60 年代以来,我国组织了多次青藏高原考察,对包括高山植被在内的植被类型进行了大量的研究(张经纬,1988; 王金亭等,1994; 孙鸿烈,1996),基本阐明了高原植被类型的分布和特征(郑度等,1979,1981,1989; 王金亭等,1980,1982; Chang & Gauch, 1986; 张新时,1994; 李渤生等,1985; 张经纬,1988; 郭柯,1993)、形成机制以及对周边地区植被分布格局的影响等(张新时,1978; Chang, 1983; 孙鸿烈,郑度,1998)。然而,由于青藏高原气候恶劣、高山缺氧,细致的群落调查工作难度大,尤其在 5000 m 以上的地区,详细的群落调查资料更少,影响了人们对这些高寒群落的认识。为此,1990 年 6 - 7 月,日本大阪市立大学中日西藏高山植被考察队对西藏珠穆朗玛峰 - 卓奥友峰附近的

普士拉地区的高寒植被及生境因子进行了调查。本文报告这些数据的分析结果,以丰富高寒植物群落的基础资料。

1 研究地点和研究方法

1.1 研究地概况

研究地点位于珠穆朗玛峰 - 卓奥友峰高山区的普士拉地区,最高海拔 5425 m,平均海拔约 5000 m (图 1)。这里离定日县城约 70 km,周围地区没有气象站。以海拔 4300 m 的定日县城为例,说明该地区的气候状况(图 2)。从图 2 可见,该地区的气候相当寒冷,年均温仅 2.7℃,最热月均温约 10℃。如按 0.6℃/100 m 的气温直减率计算,则普士拉地区的年均温在 - 2℃ 以下。年降水量 318.5 mm,但集中在 6 - 9 月,与生长季同步。

另外,研究区的植被类型是以高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 为主的高山稀疏植被,土壤为寒冻钙土(中国科学院中国植被图编委会,2001)。

图 1 珠穆朗玛峰普士拉地区的位置图
Fig. 1 Location of Pushila, Mt. Everest area

图2 定日的生态气候图
Fig. 2 Climate diagram of Dingri County, Tibet

1.2 样方生境描述

对研究区进行的地形测量表明,研究区水平距离约 1500 m,海拔从 5390 m 到 5176 m,垂直跨度为 214 m。根据地形和植被的变化,从山坡上部到山坡下部,共设置 13 个样方(见表 1 及图 3),分别进行植物群落和土壤剖面调查。随着地形的变化,研究区的生境变化较大,从高至低,根据土壤类型和植被状况,可以分为如下生境:

(1) 海拔 5390 - 5338 m (H₁): 位于上坡,坡度较大。属石质土壤类型,地表密集砾石,有少量垫状植被覆盖(样方 1、2),局部地方有嵩草分布(样方 3);植被覆盖率低,在 5 % - 20 %之间;物种数量较少,分布不均匀。下部与类型 2 生境接壤处,生境条件较好,植被盖度达 50 %,分布着由雪层杜鹃 (*Rhododendron nivale*)和锥叶风毛菊 (*Saussurea werneroides*)形成的共优群落,物种数也较高(样方 4)。

(2) 海拔 5338 - 5320 m (H₂): 中上坡,坡度较平缓。坡积土壤类型为草甸土,土层厚达 35 cm,表层壤质;植被盖度较大,达 90 %,主要为密集的高山嵩草(样方 5)。生境条件较好,物种数目较多。

(3) 海拔 5320 - 5280 m (H₃): 中坡,坡度较平缓。坡积土壤类型,草甸土,土层厚约 25 cm,含有大量石块,层次发育不良;植被主要为高山嵩草(样方 6),局部形成白尖苔草 (*Carex oxyleuca*)的优势群落(样方 7);植被盖度达 95 %,物种分布不均匀。在高山嵩草为优势种的样方(样方 6)内,物种数目少;而在白尖苔草占优势的样方内,物种数目较多。

(4) 海拔 5280 - 5264 m (H₄): 下坡,因靠近小溪,坡度平缓(59),有积水和沼泽化现象。草甸土,土层厚达 50 cm,腐殖质层厚达 10 cm,其中含有大量半分解根系,下层可见潜育化现象;植被盖度为 60 %,以矮生嵩草 (*Kobresia humilis*)为优势种,生境条件较差,物种数目少(8 号样方)。

(5) 海拔 5264 - 5240 m (H₅): 处于溪谷中,由于流水冲刷,大都为裸露石砾。草甸土,土层仅厚 12 - 13 cm,主要为半分解草皮;嵩草、苔草草甸斑块状分布于沟谷中,植被盖度极小,如样方 9、10 盖度仅 0.5 % - 1 %。由于生境条件差,物种较少。

(6) 海拔 5240 - 5176 m (H₆): 土层厚 7 - 13 cm,形成较为密集的高山嵩草草甸;植被盖度达 80 % - 95 %,物种数也较多(样方 11、12、13)。

1.3 分析方法

1.3.1 物种丰富度

由于调查样方面积不同,物种和属的丰富度分别用转换物种丰富度(transformed species richness, *TSR*)和转换属丰富度(transformed genus richness, *TGR*)表示(Qian, 1998; 江明喜等, 2002):

$$TSR = N_s / \lg S$$

$$TGR = N_G / \lg S$$

其中, N_s 为物种数, N_G 为属数, S 为样方面积。

1.3.2 多样性指数

Shannon-Wiener 指数:
$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Simpson 指数:
$$P = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

图3 研究区域的地形、生境和样方设置(黑点为样方,1 - 13 为样方号, H1 - H6 为生境类型)
Fig. 3 Topography and habitats of study area and position of plots. Black dots represent plot 1 - 13; H1 - H6 represent habitat types

表 1 珠穆朗玛峰普士拉地区调查的样方信息及物种多样性测度指数
Table 1 General information and diversity indices for plots in Pushila , Mt. Everest

项目 Item	样方号 Plot number												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
海拔 Altitude (m)	5390	5385	5365	5340	5330	5310	5305	5275	5253	5247	5240	5208	5176
坡向 Aspect (°)	50	50	50	50	50	74	78	78	13.5	23	77	132	152
坡度 Slope (°)	12	14	20	20	15	7	25	5	22	11	5	5	4.6
面积 Area (m ²)	100	200	100	50	100	25	25	25	50	25	25	25	25
投影面积 Projected area (m ²)	97.8	194.1	94.0	47.0	96.6	24.8	22.7	24.9	46.4	24.5	24.9	24.9	24.9
土壤厚度 Soil depth (cm)	20	20	20	20	35	25	25	50	13	13	13	13	7
植被盖度 Coverage (%) (A)	15	5	20	50	90	95	95	60	1	0.5	95	80	80
优势种盖度 CBD (%) (B)	1	+	15	40	80	90	70	40	+	+	80	70	60
优势种盖度比 B/A (%)	7	0	75	80	89	95	74	67	0	0	84	88	75
物种数 Species/plot	19	27	13	28	27	14	29	16	14	14	22	20	27
转换种数 (TSR)	9.5	11.7	6.5	16.5	13.5	10.0	20.7	11.4	8.2	10.0	15.7	14.3	19.3
属数 Genera/plot	15	21	12	20	20	12	22	13	12	12	17	17	21
转换属数 (TGR)	7.5	9.1	6.0	11.8	10.0	8.6	15.7	9.3	7.1	8.6	12.2	12.2	15.0
Shannon-Wiener index	2.51	3.30	0.86	1.35	0.30	0.80	1.15	0.91	2.64	2.64	0.80	1.20	1.24
Simpson index	0.85	0.96	0.44	0.65	0.08	0.42	0.55	0.46	0.93	0.93	0.40	0.57	0.55
Sörenson index		0.65	0.55	0.59	0.62	0.54	0.42	0.27	0.27	0.07	0.17	0.62	0.72
Jaccard index		0.48	0.38	0.41	0.45	0.37	0.26	0.15	0.15	0.04	0.09	0.45	0.57
Cody index		8.0	9.0	8.5	10.5	9.5	12.5	16.5	11.0	13.0	15.0	8.0	6.5

CBD, Coverage by dominant species; TSR, transformed species richness; TGR, transformed genus richness
“+”: 盖度小于 1%, Symbol “+” shows the coverage for a species lower than 1 %

1.3.3 多样性指数

Jaccard 指数: $C_J = \frac{c}{a + b - c}$

Cody 指数: $c = \frac{g(H) + l(H)}{2} = \frac{a + b - 2c}{2}$

Sörenson 指数: $SI = \frac{2c}{a + b}$

1.3.4 聚类分析和排序

经分析,采用等级聚类分析法 (Hierarchical Cluster Analysis),使用各样方的各物种盖度(物种盖度很低时,即表 1 中表示为“+”的,以盖度值 0.1 %计算)进行聚类分析,效果良好。

利用 CCA (Canonical Correspondence Analysis) 排序,使用变量为 13 个样方的物种矩阵和海拔、坡度、坡向、土壤深度、植被盖度等 5 项环境因子。

分析工作由 PC-ORD 4.0 和 Canoco for Windows 4.5 软件完成。

2 结果和分析

2.1 物种记载和植被盖度

在 13 个样方中,共记载 80 个种,隶属 20 个科 47 属(附表 1)。出现频度最高的几个种为:高山嵩草(12 次)、矮兔耳草 (*Lagotis humilis*) (12 次)、楔叶委陵菜 (*Potentilla cuneata*) (10 次)、华马先蒿 (*Pedicularis oederi* var. *sinensis*) (9 次)、高山委陵菜 (*Potentilla polyschista*) (9 次)、密生雪灵芝 (*Arenaria densissima*) (8 次)、银叶火绒草 (*Leontopodium souliei*) (8 次)、鸦跖花 (*Oxygraphis glacialis*) (8 次)(附表 1)。

含物种数较多的属有:虎耳草属(*Saxifraga*) (6个种)、风毛菊属(*Saussurea*) (5个种)、嵩草属(*Kobresia*) (5个种)、委陵菜属(*Potentilla*) (4个种)、龙胆属(*Gentiana*) (4个种)、葶苈属(*Draba*) (4个种)、苔草属(*Carex*) (3个种)以及点地梅属(*Androsace*) (3个种)(附表1)。

尽管该地区被划为高山稀疏植被类型(中国科学院中国植被图编委会,2001),但在生境质量较好的地方仍保持着很高的植被覆盖度,如样方5-7,11-13的覆盖度均在80%以上(表1)。在这些样方中,优势种明显,其盖度占总盖度的74%以上,其中样方6几乎完全被优势种高山嵩草所覆盖,盖度达90%,说明小地形对高寒生境下的群落组成和结构起着极其重要的作用。尽管在局地生境下植被盖度较高,但组成种数目仍较少,反映了高寒生境的特点。据周兴民等(1994)记载,青藏高原高草草甸的平均物种密度约为20-30种/ m^2 ;在海拔较低、气候相对温暖的东部地区,物种密度可达25-30种。而在本研究的样方调查中,最低的100 m^2 内仅有13个物种(3号样方),最高的25 m^2 内有29个物种(7号样方)。

2.2 物种丰富度及物种多样性指数沿海拔的变化

由于调查样方的面积不同,物种数和属数采用转换的丰富度指标 TSR 和 TGR 表示。由图4看出,虽然有较大波动,从较高海拔(1号样方5390 m)到较低海拔(13号样方5176 m),物种和属的丰富度呈现出上升的趋势;但由于局域生境差异较大,海拔梯度相对较小, TGR 和 TSR 与海拔之间并没有显著的相关关系, TGR 和 TSR 与海拔的相关系数分别为 -0.38 ($P=0.194$) 和 -0.49 ($P=0.091$)。 TGR 和 TSR 较高的4、7、13号样方,相对来说生境条件较好;而1、3号样方由于海拔最高,处于砾石滩上,8号样方处于积水、半沼泽化生境,9、10号样方则位于沟谷中,因而 TGR 和 TSR 值均较低。

由图5看出,物种多样性指数与海拔之间不存在明显的相关关系,说明物种多样性指数主要受到局部生境条件的强烈影响。与物种丰富度不同的是,生境条件极差、植被盖度很低、没有物种能占据优势的样方,如1、2、9、10号样方,物种多样性指数很高;而生境条件稍好的样方,物种多样性指数却较低,表明优势种对物种多样性指数的强烈影响。

尽管在本研究区内,多样性指数并未表现出明

显的随着海拔变化而变化的趋势,而是主要受局部生境的影响,但分析表明,它们与坡度、坡向、土壤深度等环境因子之间也不存在明显的相关关系。

植被盖度是各种环境因子与植物综合相互作用的结果,能够较好地反映局部生境质量的好坏。因此,我们分析植被盖度与多样性指数之间的关系。由图6可见,随着植被盖度增加, TSR 和 TGR 增加($TSR: r=0.66, P=0.014$; $TGR: r=0.68, P=0.010$)。这说明在该地区,随着生境质量的提高,

图4 珠穆朗玛峰普士拉地区高山垫状植被转换物种丰富度(TSR)和转换属丰富度(TGR)沿海拔梯度的变化

Fig. 4 Transition of TSR (transformed species richness) and TGR (transformed genus richness) along altitudinal gradient of alpine vegetation in Pushila, Mt. Everest area

图5 珠穆朗玛峰普士拉地区高山垫状植被物种多样性指数沿海拔梯度的变化

Fig. 5 Transition of diversity indexes of alpine vegetation along altitudinal gradient in Pushila, Mt. Everest area

图 6 珠穆朗玛峰普士拉地区高山垫状植被转换物种丰富度(TSR)和属丰富度(TGR)随植被盖度的变化
Fig. 6 Transition of *TSR* (transformed species richness) and *TGR* (transformed genus richness) with vegetation coverage of alpine vegetation in Pushila, Mt. Everest area

图 7 珠穆朗玛峰普士拉地区高山垫状植被物种多样性指数与植被盖度的关系
Fig. 7 Relationship between Shannon-Wiener index and vegetation coverage of alpine vegetation in Pushila, Mt. Everest area

不但植被覆盖度增加,而且可以支持更多的物种存在。

植被盖度与物种多样性指数的关系见图 7。植被盖度与 Shannon-Wiener 指数呈良好的负相关关系($r = -0.82, P = 0.001$)。Simpson 指数也表现出相似的趋势。

上述分析说明,随着生境条件的改善,在植被盖度和物种数目增加的同时,优势种的优势度也迅速

增加,使得 Shannon-Wiener 和 Simpson 指数下降。

2.3 多样性变化

沿着海拔梯度,相邻样方间 多样性指数的变化趋势见图 8。由图中可以看出,表示群落相似性的 Jaccard 指数在海拔 5247 m 之上随着海拔下降而下降,在河谷生境处两个样方 9 号和 10 号相似性最小,其后迅速上升。群落变化最剧烈处发生在溪谷生境及附近沼泽化生境处(样方 7 - 11 号之间)。

表示群落相异性的 Cody 指数的变化趋势与 Jaccard 指数大致相反:异质性最大处发生在 7 - 8 号和 10 - 11 号样方处,即同样是沼泽化生境处和溪谷生境处。

2.4 等级聚类分析

样方等级聚类分析结果见图 9。分类结果与植被盖度和类型关系密切:在第一大类的样方 1、2、9、10、3、4、8、7 中,除 3 号样方外,都不是以高山嵩草为优势种,即使 3 号样方高山嵩草的盖度也仅为 15%;而第二大类的 5、6、11、12、13 号样方,高山嵩草占绝对优势,盖度最小的为 60%,最多达 90%,相对盖度在 75% - 95%之间。

植被盖度对分类结果的影响十分明显:在第一大类的非高山嵩草植被类型中,除 7 号样方外,盖度均低于 60%。其中,样方 1、2、9、10 是盖度最低的,都在 15%以下;样方 3、4、8、7 的草本盖度依次提高,与分类的结果完全一致。而在第二大类即高山嵩草类型中,盖度较低的 12、13 号样方(80%)也被与盖度较高(90%以上)的 5、6、11 号样方分开,分类结果与样方植被的盖度差异完全一致。

等级聚类的结果进一步表明,在本研究的高海拔、低温条件下,植被盖度是一个反映生境质量的极为重要的指标。

2.5 CCA 排序

采用物种矩阵以及海拔、坡度、坡向、土壤深度、植被盖度等 5 项环境因子为变量,进行 CCA 排序。CCA 排序的特征值、数据累计变异百分率,及环境因子与排序轴的相关系数见表 2。

由 CCA 排序的结果(图 10)可以看出,植被盖度对排序结果影响最大。9 号、10 号样方由于生境差,植被盖度很小(0.5% - 1%)而远离其他样方;样方 1、2、3 的植被盖度也很低(5% - 20%),被排在一起;而排在图 10 中心的 5、6、7、11、12、13 号样方,植被盖度均在 80%以上。

图 8 珠穆朗玛峰普士拉地区相邻样方间 Jaccard 指数 (a) 和 Cody 指数 (b) 的变化
Fig. 8 Changes in Jaccard (a) and Cody (b) indices between neighboring plots in Pushila , Mt. Everest area

图 9 珠穆朗玛峰普士拉地区样方的等级聚类分析树状图(P1 - P13 为样方号)
Fig. 9 Dendrogram derived by Hierarchical Cluster Analysis of plots in Pushila , Mt. Everest area (P1 - P13 represent plot number)

表 2 CCA 排序的特征值、累计变异百分率以及环境因子与排序轴的相关系数
Table 2 Eigenvalues , cumulative percentage variance , and correlation coefficients between environmental variables and the axes in CCA

	排序轴 Axes				合计 Total
	1	2	3	4	
特征值 Eigenvalues	0.542	0.416	0.272	0.127	3.764
物种-环境相关系数 Species-environment correlations	0.892	0.974	0.886	0.911	
累计变异百分率 Cumulative percentage variance					
物种数据 of species data	14.4	25.4	32.7	36.1	
物种环境关系 of species-environment relation	37.2	65.7	84.4	93.2	
相关系数 Correlation coefficients					
海拔 Altitude	0.5128	- 0.1619	0.1563	- 0.7904	
坡向 Aspect	- 0.4705	0.0600	- 0.2019	0.8425	
坡度 Slope	0.4873	- 0.3303	0.7106	- 0.2110	
土壤深度 Soil depth	- 0.1653	0.3624	0.2734	- 0.8265	
植被盖度 Coverage	- 0.6472	- 0.7116	0.0681	- 0.1238

图 10 珠穆朗玛峰普士拉地区样方的 CCA 排序图

Fig. 10 CCA ordination diagram of 13 plots and five environmental variables in Pushila, Mt. Everest area

根据 CCA 排序结果,可以将 13 个样方分为 4 类,分别反映其生境和植被状况:

(1) 上坡砾石滩生境: 1、2、3、4 号样方由于处于上坡的砾石滩生境上,这种类型生境条件较差,植被盖度较小,植被主要为斑块状分布的垫状植被;在下部生境条件较好,局部地方出现高山嵩草为优势的群落或雪层杜鹃和锥叶风毛菊形成的共优群落。

(2) 高山嵩草群落生境: 包括 5、6、7、11、12、13 号样方,生境条件较好,土壤相对较厚,植被盖度在 80 % 以上。群落中高山嵩草占据绝对优势,相对盖度在 0.75 - 0.89 之间,为高山嵩草草甸。

(3) 溪谷边矮生嵩草群落沼泽化生境: 8 号样方处于河谷边沼泽化生境,植被盖度低,生境较差。

(4) 溪谷冲刷生境: 9、10 号样方处于沟谷中,由于流水冲刷,地表裸露砾石,生境条件差,植被盖度极小,仅有少量嵩草、苔草等植物零星斑块状分布,没有明显的优势种。

后记: 谨以此文向考察的组织者依田恭二先生表示深切哀悼。他于 1996 年 11 月因心脏病突发,不幸逝世。作者感谢他的多年指导和生活上的关心。考察过程中得到了中国科学院植物研究所郎楷永先生等的协助,在此深表感谢。

参考文献

- Chang, D. H. S. and Cauch, H. G. 1986. Multivariate analysis of plant communities and environmental factors in Ngari, Tibet. *Ecology*, **67**: 1568 - 1575.
- Chang, D. H. S. 1983. The Tibetan Plateau in relation to the vegetation of China. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **70**: 564 - 570.
- Editorial Board of Vegetation Map of China, CAS (中国科学院中国植被图编委会). 2001. *Vegetation Atlas of China* (1:1 000 000) (中国植被图集). Science Press, Beijing.
- Guo, K. (郭柯). 1993. Vegetation of Qinghai Hoh Xil Region. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **17**(2): 120 - 132. (in Chinese)
- Jiang, M. X. (江明喜), Deng, H. B. (邓红兵), Tang, T. (唐涛) and Cai, Q. H. (蔡庆华). 2002. On spatial pattern of species richness in plant communities along riparian zone in Xiangxi River watershed. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**(5): 629 - 635. (in Chinese)
- Li, B. S. (李渤生), Zhang, J. W. (张经纬), Wang, J. T. (王金亭) and Chen, W. L. (陈伟烈). 1985. The alpine cushion vegetation of Xizang. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **27**: 311 - 317. (in Chinese)
- Qian, H. 1998. Large-scale biogeographic patterns of vascular plant richness in North America: an analysis at the generic level. *Journal of Biogeography*, **25**(5): 829 - 836.
- Sun, H. L. (孙鸿烈) (ed.). 1996. *Formation and Evolution of Qinghai-Xizang* (青藏高原的形成演化). Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. (in Chinese)
- Sun, H. L. (孙鸿烈) and Zheng, D. (郑度) (eds.). 1998. *Formation, Evolution and Development of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau* (青藏高原形成演化与发展). Guangdong Science & Technology Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Wang, J. T. (王金亭), Chen, W. L. (陈伟烈) and Li, B. S. (李渤生). 1994. A brief review and prospect of plant ecology researches of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. In: Jiang, X. (姜恕) and Chen, C. D. (陈昌笃) (eds.), *Researches on Vegetation Ecology - A Commemoration for Famous Ecologist Professor Hou Xueyu* (植被生态学研究——纪念著名生态学家侯学煜教授). Science Press, Beijing, 112 - 121. (in Chinese)
- Wang, J. T. (王金亭), Li, B. S. (李渤生), Chen, W. L. (陈伟烈) and Zhang, J. W. (张经纬). 1980. The fundamental characteristics of the steppe vegetation in Xizang Plateau. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **22**(2): 161 - 169. (in Chinese)
- Wang, J. T. (王金亭) and Li, B. S. (李渤生). 1982. Main types and characteristics of high-cold steppe in the Qiangtang Plateau of Xizang. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), **6**(1): 1 - 13. (in Chinese)
- Zhang, J. W. (张经纬) (ed.). 1988. *Vegetation of Xizang (Tibet)* (西藏植被). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang, X. S. (张新时). 1978. The plateau zonation of vegetation in Xizang. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **20**(2): 140 - 149. (in Chinese)
- Zhang, X. S. (张新时). 1994. The principal eco-geographic types of mountain vertical vegetation belt systems in Chi-

na. In: Jiang, X. (姜恕) and Chen, C. D. (陈昌笃) (eds.), *Researches on Vegetation Ecology - A Commemoration for Famous Ecologist Professor Hou Xueyu (植被生态学研究——纪念著名生态学家侯学煜教授)*. Science Press, Beijing, 77 - 92. (in Chinese)

Zheng, D. (郑度) and Chen, W. L. (陈伟烈). 1981. A preliminary study on the vertical belts of vegetation of the eastern Himalayas. *Acta Botanica Sinica (植物学报)*, **23** (3): 228 - 234. (in Chinese)

Zheng, D. (郑度) and Zhang, B. P. (张百平). 1989. A study on the altitudinal belts and environmental problems of the Karakoram and West Kunlun Mountains. *Journal of Natural Resources (自然资源学报)*, **4** (3): 254 - 266. (in Chinese)

Zheng, D. (郑度), Zhang, R. Z. (张荣祖) and Yang, Q. Y. (杨勤业). 1979. On the natural zonation in the Qinghai-Xizang Plateau. *Acta Geographica Sinica (地理学报)*, **34**(1): 1 - 11. (in Chinese)

Zhou, X. M. (周兴民), Wang, Q. J. (王启基) and Zhang, Y. Q. (张堰青). 1994. The preliminary study on the characteristics of the structure and function of *Kobresia* meadow in Qinghai-Xizang Plateau. In: Jiang, X. (姜恕) and Chen, C. D. (陈昌笃) (eds.), *Researches on Vegetation Ecology - A Commemoration for Famous Ecologist Professor Hou Xueyu (植被生态学研究——纪念著名生态学家侯学煜教授)*. Science Press, Beijing, 281 - 288. (in Chinese)

(责任编辑: 闫文杰)

附表 1 珠穆朗玛峰普士拉地区高山垫状植被的物种组成及盖度(%)
Appendix 1 Species composition and coverage (%) of alpine vegetation in Pushila, Mt. Everest area

物种 Species	样方号 Plot number													出现次数 Occurrence
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
球形点地梅 <i>Androsace globifera</i>				+				+				+		3
点地梅一种 <i>A. sp. 1</i>											+			1
点地梅一种 <i>A. sp. 2</i>													+	1
尖叶寒原芥 <i>Aphragmus oxycarpus</i>					+		+				+	+	+	5
藓状雪灵芝 <i>Arenaria bryophylla</i>							+							1
密生雪灵芝 <i>A. densissima</i>	+	+	+	+	1	+	5		+					8
金茸紫菀 <i>Aster hololachnus</i>											+			1
圆叶黄芪 <i>Astragalus orbicularifolius</i>	+	+						+						3
红花肉叶芥 <i>Braya rosea</i>												+		1
细叶苔草 <i>Carex duriuscula</i> subsp. <i>stenopylloides</i>						15					+	+		3
白尖苔草 <i>C. oxyleuca</i>						15	70	10		+	20	10	5	7
苔草一种 <i>C. sp.</i>													+	1
宽叶栓果芹 <i>Cortiella caespitosa</i>							+			+				2
喜马拉雅垂头菊 <i>Cremanthodium decaisnei</i>										+				1
尼泊尔垂头菊 <i>C. nepalense</i>								+		+				2
珠峰翠雀花 <i>Delphinium chumulangmaens</i>												+	+	2
西藏野青茅 <i>Deyeuxia tibetica</i>										+				1
无苞双脊芥 <i>Dilophia ebracteata</i>											+			1
阿尔泰葶苈 <i>Draba altaica</i>							+							1
矮葶苈 <i>D. handelii</i>	+	+								+				3
刚毛葶苈 <i>D. setosa</i>											+	+		2
葶苈一种 <i>D. sp.</i>		+			+	+					+	+	+	6
珠峰齿缘草 <i>Eritrichium qofengense</i>	+													1
羊茅一种 <i>Festuca sp.</i>	+	+	+	+								20		5
扇叶龙胆 <i>Gentiana emodii</i>		+												1
龙胆一种 <i>G. sp. 1</i>				+										1
龙胆一种 <i>G. sp. 2</i>	+	+	+	+	+		+		+					7
珠峰龙胆 <i>G. stellata</i>				+										1
三裂碱毛茛 <i>Halerpestes tricuspis</i>		+				+								2
棉毛女蒿 <i>Hippolytia gossypina</i>					+									1
展苞灯心草 <i>Juncus thomsonii</i>								+				+	+	3
灯心草 <i>J. sp.</i>					+		+	+						3
川滇嵩草 <i>Kobresia cercostachys</i>				+	+		+							3
矮生嵩草 <i>K. humilis</i>								40	+		5	10	10	5
高山嵩草 <i>K. pygmaea</i>	+	+	15	5	80	90	30	5	+		80	70	60	12
嵩草一种 <i>K. sp.</i>								+		+				2
西藏嵩草 <i>K. tibetica</i>								+			+	+	+	4

附表 1 (续) Appendix 1 (continued)

物种 Species	样方号 Plot number													出现次数 Occurrence
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
矮兔耳草 <i>Lagotis humilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	12
银叶火绒草 <i>Leontopodium souliei</i>			+	+	+		+		+		+	+	+	8
洼瓣花 <i>Lloydia serotina</i>							1						+	2
多刺绿绒蒿 <i>Meconopsis horridula</i>	+	+	+	+			+						+	6
藏玄参 <i>Oreosolen wattii</i>	+	+			+									3
鸦跖花 <i>Oxygraphis glacialis</i>	+	+	+		+	+	+	+	+					8
少花棘豆 <i>Oxytropis pauciflora</i>	1										+	+	+	4
华马先蒿 <i>Pedicularis oederi</i> var. <i>sinensis</i>		+		+	+	+	+	+			+	+	+	9
无茎芥 <i>Pegaeophyton scapiflorum</i>										+				1
垫状棱子芹 <i>Pleurosperum hedinii</i>		+	+	+										3
波密早熟禾 <i>Poa bomiensis</i>										+				1
早熟禾一种 <i>P. sp.</i>							+							1
圆穗蓼 <i>Polygonum macrophyllum</i>				+	+		+							3
珠芽蓼 <i>P. viviparum</i>								+			+	+	+	4
拟楼斗菜 <i>Paraquilegia microphilla</i>									+		+			2
宽柄关节委陵菜 <i>Potentilla articulata</i> var. <i>latipetiolata</i>	+	+		+	+		5				+		+	7
楔叶委陵菜 <i>P. cuneata</i>	+	+	5	+	+	+	+			+		+	+	10
高山委陵菜 <i>P. polyschista</i>	+	+	+	+	+	+	+				+		+	9
钉柱委陵菜 <i>P. saundersiana</i>										+				1
雅洁粉报春 <i>Primula concinna</i>				+	+		+							3
云生毛茛 <i>Ranunculus longicaulis</i> var. <i>nephelogenes</i>								+						1
菱叶大黄 <i>Rheum rhomboideum</i>												2	10	2
四裂红景天 <i>Rhodiola quadrifida</i>	+	+		+	+	+				+	+			7
雪层杜鹃 <i>Rhododendron nivale</i>				20										1
云状雪兔子 <i>Saussurea aster</i>									+	+				2
禾叶风毛菊 <i>S. graminea</i>					+		1							2
黑苞风毛菊 <i>S. humilis</i>		+		+									+	3
风毛菊一种 <i>S. sp.</i>													+	1
锥叶风毛菊 <i>S. wernerioides</i>		+		20	+	+	+		+					6
短瓣虎耳草 <i>Saxifraga andersonii</i>									+					1
棒腺虎耳草 <i>S. consanguinea</i>	+	+		+			+							4
加查虎耳草 <i>S. sessiliflora</i>	+				+	+								3
虎耳草一种 <i>S. sp.</i>	+				+		+							3
西藏虎耳草 <i>S. tibetica</i>		+		+	+			+			+	+	+	7
喜马拉雅虎耳草 <i>S. brunonis</i>			+	+	+		+							4
楔叶山莓草 <i>Sibbaldia cuneata</i>		+												1
绢毛菊 <i>Soroseris gillii</i>							+							1
偃卧繁缕 <i>Stellaria decumbens</i>		+	+	1	+									4
繁缕一种 <i>S. sp.</i>									+					1
高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>					+		+				+		+	4
矮生柔子草 <i>Thylacospermum caespitosum</i>									+			+	+	3
穗三毛 <i>Trisetum spicatum</i>		+		+										2
绵毛婆婆纳 <i>Veronica lanuginosa</i>		+		+										2
出现物种数 Number of species	19	27	13	28	27	14	29	16	14	14	22	20	26	
出现属数 Number of genera	15	21	12	20	20	12	22	13	12	12	17	17	20	

符号“+”表示有出现,但盖度低 “+” shows occurrence but very low coverage for a species