

珠穆朗玛峰绒布沟西藏沙棘生境类型及 海拔梯度下表型变异*

拉琼^{1**} 张文驹² 欧朗¹ 德吉¹

(¹西藏大学生命科学系生物多样性研究所 拉萨 850000)

(²复旦大学生命科学学院进化与生态学系 上海 200433)

摘要 西藏沙棘 (*Hippophae tibetana*) 是沙棘属中最进化的种类,也是青藏高原上分布较广的沙棘种类。但是目前几乎未见关于西藏沙棘的基础生态学研究报道。根据珠穆朗玛峰绒布沟沿海拔梯度进行的西藏沙棘群落样方调查,采用二元指示种分析 (TWINSPAN) 法和去势对应分析 (DCA) 法,研究了海拔梯度下西藏沙棘的生境类型、影响其分布的环境主导因子和表型变异规律。结果表明,珠峰绒布沟西藏沙棘生境可以分为5个类型:河边砾石滩地、河谷灌丛草地、沙石滩地、草甸和柳树林缘。DCA排序结果反映其群落的分布和生长主要受海拔和土壤湿度两种环境主导因子的影响。通过有关数据的回归分析发现,西藏沙棘植株的叶宽、基径、高度和盖度都随海拔的升高呈显著减小的趋势,但叶片长度与海拔不显著相关。西藏沙棘的盖度随样方与河水实际距离的增大而减小。图3 表2 参31

关键词 西藏沙棘; 生境类型; 表型变异; 海拔梯度

CLC S793.602 (275)

Habitat Types and Phenotypic Variation of *Hippophae tibetana* along an Altitudinal Gradient in the Rongbu Valley of Mt. Everest, Tibet, China*

LA Qiong^{1**}, ZHANG Wenju², OU Lang¹ & DEJI¹

(¹Institute of Biodiversity, Department of Biology, Tibet University, Lhasa 850000, China)

(²Department of Evolution & Ecology, College of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract *Hippophae tibetana* is the most advanced species in its genus and also a widely distributed species in the Qinghai-Tibetan Plateau, China. But, so far no ecological study on this plant has been undertaken. This paper aims to investigate the habitat types, environmental factors and phenotypic variation of *H. tibetana* along an altitudinal gradient in the Rongbu Valley in the area of Mt. Everest. Based on the survey of plots, TWINSPAN and DCA were performed to classify the habitat types and find main environmental factors. The regression analysis was performed to know how the altitude affected the leaf width, leaf length, base diameter, height and coverage of *H. tibetana*. At the same time, the relationship between coverage of *H. tibetana* and its location distance from riverside was also detected. The results of TWINSPAN and DCA showed that the habitat of *H. tibetana* could be classified into five types, gravel riverside, shrub grasslands, sandy riverside, meadow and *Salix* forest. DCA results also indicated that both altitude and soil moisture were the main environmental factors affecting the distribution and growth of *H. tibetana*. Linear regression analysis showed that the leaf width, base diameter, height and coverage of *H. tibetana* significantly decreased with increasing of altitude. However, there was no significant relationship between altitude and leaf length. The coverage of *H. tibetana* significantly decreased with increasing of its location distance from riverside. Fig 3, Tab 2, Ref 31

Keywords *Hippophae tibetana*; habitat type; phenotypic variation; altitudinal gradient

CLC S793.602 (275)

近年来,沙棘属 (*Hippophae*) 植物因其日益凸显的经济和生态效益而受到人们越来越多的关注,已成为国内外的一个研究热点^[1-5]。沙棘属植物共4种5亚种^[6],广泛分布于欧亚大陆的温带地区。青藏高原是沙棘属植物的现代分布中心,分布有3种3亚种^[7]。西藏沙棘拥有发达的根系,主要生长于河漫滩、堤岸和洪积扇,在高原内发挥着极为重要的水土保持功能,同时,西藏沙棘的果实含有丰富的维生素等营养物质,其蛋白质、黄酮类化合物以及种子含油量高于其它沙

棘^[8],因此具有巨大的经济价值和生态价值。但目前人们对西藏沙棘的了解很少,仅对其扦插、果实的营养成分等有过一些零星的报道^[8-10]。

从进化角度看,西藏沙棘是一个非常有趣的种。沙棘属是古地中海植物区系的典型成分,随青藏高原的隆起而分化与进化^[11]。西藏沙棘是沙棘属中分布最高的种类,主要分布在海拔 3 000~5 300 m 的区域^[12]。尽管西藏沙棘的植株比较矮小、特化,但近来分子系统学的研究表明,西藏沙棘是整个沙棘属最基部的类群,是分化最早的一个种^[13],这意味着青藏高原快速隆起之前这一物种已经就存在,它随着青藏高原的抬升逐步适应干冷的环境并发生许多特化。因此,研究西

收稿日期: 2009-03-10 接受日期: 2009-05-06

*国家自然科学基金项目 (No. 30560027) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30560027)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: lhagchong@hotmail.com)

藏沙棘在海拔梯度下的生境类型和表型变异规律具有十分重要的科学意义,特别是对于理解青藏高原隆升时留下的某些植物物种的进化与适应性机制问题有重要的意义。

在本研究地珠穆朗玛峰(以下简称珠峰)绒布沟大本营附近,西藏沙棘最高海拔分布上限可高达5 300 m,下限为4 350 m左右,且生境类型十分多样。近年来有一系列关于一个物种沿海拔梯度变异情况的研究,结果表明随着分布海拔的升高,物种的形态、生理、生活史及众多酶系统都发生改变^[14-19]。但以往所研究的物种多分布于海拔3 500 m以下,几乎没有一项研究达到5 000 m的高度。另外,西藏沙棘作为分布在珠峰绒布沟境内的对高寒生境适应性很高的主要优势植物,目前几乎没有其生物学和生态学的研究报道。我们采用样方调查法,从生态学角度对西藏沙棘海拔梯度下的表型变异、多样的生境类型以及影响其分布和生长的主导环境因子进行了研究和讨论,为该物种进一步的系统深入研究积累基础资料,也为今后珠峰保护区的植被管理和经营提供理论依据。

1 研究地概况

研究地点位于珠峰自然保护区核心区绒布沟境内,行政上属于定日县。该区域南侧为喜马拉雅山脉的几座主山峰,平均高度都达6 000 m以上,其中,珠峰、西夏邦玛峰和卓奥友峰等高度都超过了8 000 m,气候寒冷干旱。定日盆地年平均气温只有0.7~2.7 °C,年降水量为200~300 mm。主要植被类型为高山草原,并伴有草甸和灌丛。组成草原的主要植物种有固沙草(*Orinus thoroldii*)、白草(*Pennisetum flaccidum*)、藏沙蒿(*Artemisia wellbyi*)和紫花针茅(*Stipa purpurea*)。草甸发育相对于其它西藏高山区较差,主要由高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、日喀则嵩草(*Kobresia prainii*)和珠峰苔草(*Carex montis-everestii*)等组成,灌丛主要是由小叶金露梅(*Potentilla parvifolia*)、香柏(*Sabina pingii* var.

wilsonii)和西藏沙棘(*Hippophae tibetana*)等组成。在相对较高海拔区,垫状植物较为常见,主要有各种垫状的蚤缀(*Arenaria* sp.)和点地梅(*Androsace tapate*)。在海拔5 600 m以上为高山冰缘植被带,主要由风毛菊(*Saussurea* sp.)和龙胆(*Gentiana* sp.)等植物物种组成^[20]。

2 取样和研究方法

2.1 取样

样方调查开始于2007年的五月底至六月中。从绒布沟登山大本营附近开始,沿海拔梯度向下共设置7个样带,分别为:5 100 m、5 000 m、4 900 m、4 600 m、4 500 m、4 400 m和4 350 m。在每个样带又随机取3个10×10 m西藏沙棘的样方。样带和样方的设置尽可能在相对较为自然的生境而避开较极端的环境。详细记录每个样方内的维管束植物组成、海拔、植被总盖度、样方所处位置与河水的实际距离,同时,随机测定每个样方内20个西藏沙棘植株个体的高度、基径、叶片长度和叶片宽度,并记录样方内西藏沙棘本身所占的盖度(表1)。21个样方共记录37个维管束植物物种,最后制作成21×37的矩阵数据表供分类和排序分析。

2.2 数据分析

实践表明,排序和分类结合使用更能客观地反映植物群落的生态关系^[21]。因此,通过样方分类和排序可以较好地揭示西藏沙棘生境的类型和影响其分布的环境主导因子。在本研究中,样方分类采用了二元指示种分析(TWINSPAN)方法,排序则采用了去势对应分析方法^[22](Detrended correspondence analysis, DCA)。具体做法是:21个样方的维管束植物组成,海拔、植被盖度、样方与河水的实际距离制成矩阵数据供群落样方分类和排序分析。样方分类采用计算机软件TWINSPAN^[23],后经C.J.F. ter Brrak, H.J.B. Birks和Petr Šmilauer修改;排序则用计算机软件CANOCO version 4.5

表1 珠峰绒布沟西藏沙棘样方信息

Table 1 Information of the surveyed plots of *H. tibetana* in the Rongbu Valley in the area of Mt. Everest

样方号 Plot number	海拔 Altitude (h/m)	项目 Item						
		盖度 Vegetation coverage (P/%)	沙棘盖度 Coverage of <i>H. tibetana</i> (P/%)	样方与河水距离 Distance from riverside (s/m)	叶长 Leaf length (l/cm, $\bar{x}\pm s$)	叶宽 Leaf width (w/cm, $\bar{x}\pm s$)	基径 Base diameter (d/cm, $\bar{x}\pm s$)	株高 Plant height (h/cm, $\bar{x}\pm s$)
1	5100	50	40	1	0.86±0.14	0.37±0.06	0.98±0.60	8.93±3.17
2	5100	50	40	7	0.64±0.12	0.25±0.05	0.46±0.21	7.75±1.83
3	5100	40	30	3	0.63±0.18	0.22±0.04	0.53±0.23	8.65±2.11
4	5000	50	40	15	0.61±0.10	0.28±0.05	1.15±0.60	13.35±3.18
5	5000	60	20	15	0.57±0.10	0.27±0.03	0.89±0.41	14.45±5.08
6	5000	60	40	7	0.61±0.10	0.26±0.05	1.21±0.49	16.8±4.09
7	4900	30	20	3	0.52±0.14	0.24±0.05	0.81±0.40	12.32±2.88
8	4900	40	25	7	0.54±0.17	0.29±0.07	1.46±0.60	14.00±3.49
9	4900	80	60	5	0.74±0.14	0.29±0.05	1.00±0.41	19.4±5.37
10	4600	60	50	1	0.60±0.16	0.26±0.06	0.89±0.51	14.62±5.78
11	4600	60	60	20	0.51±0.11	0.24±0.05	0.88±0.47	14.60±4.55
12	4600	70	70	30	0.52±0.12	0.26±0.05	1.45±0.59	23.65±5.26
13	4500	80	70	7	0.42±0.06	0.22±0.04	1.02±0.30	14.35±4.67
14	4500	80	70	20	0.52±0.11	0.23±0.04	1.08±0.40	17.60±4.55
15	4500	70	60	20	0.58±0.15	0.29±0.04	1.38±0.58	29.80±7.93
16	4400	80	50	2	0.74±0.15	0.31±0.06	1.24±0.43	27.15±5.37
17	4400	70	60	6	0.78±0.12	0.36±0.06	1.19±0.52	21.25±5.30
18	4400	80	70	1	0.68±0.15	0.32±0.06	1.00±0.45	24.15±7.38
19	4350	80	85	2	0.84±0.19	0.32±0.06	1.43±0.54	35.45±13.53
20	4350	90	70	20	0.58±0.17	0.28±0.05	1.73±0.73	50.15±18.05
21	4350	90	60	20	0.88±0.13	0.34±0.05	1.04±0.52	29.35±10.75

for Windows来完成. 另外, 为了了解西藏沙棘表型变异与海拔之间的关系, 用统计软件S-Plus 6.2 (2003) 的回归分析方法对其相关数据进行了统计分析.

3 结果与分析

3.1 样方分类

TWINSPAN分类结果把西藏沙棘的21个样方大致地划分为5个组, 表示西藏沙棘的5个生境类型, 即A、B、C、D、和E, 并标注了相关群落的指示种(图1). 这5个生境类型包括:

A. 生境为河边砾石滩地(样方1、2、3), 西藏沙棘常见伴生植物种有密生雪灵芝(*A. densissima*)、匍状点地梅(*A. tapete*)、少花棘豆(*Oxytropis pauciflora*)、木根香青(*Anaphalis xylorhiza*)、高山嵩草(*K. pygmaea*)等.

B. 生境为河谷灌丛草地(样方4、5、6), 其常见的伴生植物种有小叶金露霉(*P. frudicosa* var. *pumila*)、匍状点地梅(*A. tapete*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、刺蒺藜(*Tribulus terrestris*)、风毛菊(*Saussurea* sp.)等.

C. 生境为沙石滩地(样方7、8、9、10、11、12、13、14、15), 西藏沙棘常见伴生植物种有棘枝忍冬(*Lonicera glabrata*)、山地黄芪(*Astragalus monticolus*)、瑞香狼毒(*Stellera chamaejasme*)、匍状点地梅(*A. tapete*)、苔(*Carex* sp.)等.

D. 生境为草甸(样方16、17、18), 常见的伴生植物种有高山嵩草(*K. pygmaea*)、青藏苔草(*C. moorcroftii*)、高山委陵菜(*P. polyschista*)、藏西风毛菊(*Saussurea stolikai*)、肉果草(*Lancea tibetica*)、卡玛老罐草(*Geranium camaense*)等.

E. 生境为柳树林缘(样方19、20、21), 西藏沙棘常见伴生植物种有柳树(*Salix* sp.)、江孜沙棘(*H. gyantsensis*)、西藏铁线连(*Clematis tenuifolia*)、黄芪(*Astragalus* sp.)、瑞香狼毒(*Stellera chamaejasme*)、水柏枝(*Myricaria* sp.)和蒿(*Artemisia* sp.).

分类结果反映出群落类型与环境主导因子的梯度关系, 其中主导因子海拔对该分类结果的影响十分明显, 就是TWINSPAN分类结果明显地反映出海拔梯度变化. 聚类分析图(图1)从左到右是一个很有规律的海拔梯度的变化, 位于高海拔的样方1、2、3、4、5、6等被分在图的左侧, 而相对在较低海拔的样方16、17、18、19、20、21则分在聚类分析树状图的右侧, 从左到右样方海拔呈逐渐降低之趋势.

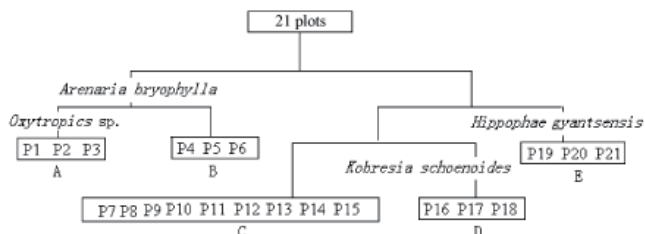


图1 珠峰绒布沟西藏沙棘21个样方的TWINSPAN 树状分类图(P1等为样方号, 拉丁文为指示种)

Fig. 1 Dendrogram of the TWINSPAN classification for 21 plots of *H. tibetana* in the Rongbu Valley in the area of Mt.

Everest (P1 ... are plot No., and Latin names are indicator species)

表2 DCA排序分析总结
Table 2 Ordination summary of DCA

排序轴 Axes	1	2	3	4
特征值 Eigen values	0.40	0.22	0.10	0.042
梯度长度(标准差) Length of gradient (SD)	2.06	1.85	1.56	1.02
物种累计变异 Cumulative variance of species data (P/%)	22.80	35.50	41.30	43.80

3.2 样方排序

DCA样方排序结果与TWINSPAN分类的结果十分吻合. 21个样方在DCA二维空间上的排序显示, 其群落可大致划分出5种组团(图2), 即位于DCA第一轴左边的样方1、2、3(河边砾石滩地)和样方4、5、6(河谷灌丛草地), 处于轴中间段的样方7、8、9、10、11、12、13、14、15(沙石滩地), 位于轴右边的样方16、17、18(草甸和样方19、20、21(柳树林缘)). DCA 排序图的第一轴从左到右明显地是一个海拔由高到底的梯度, 且由表2的各项数据指标表明, 第一轴是最能影响其排序结果的环境主导因子的梯度. 因此, 海拔是影响西藏沙棘分布的最为主导因子. 同时, 从图2还可看出, DCA第一轴也是跟群落植被盖度相关联的一种复合体. 群落盖度较小的样方1、2、3、4、5、6被排在DCA第一轴的左侧, 而盖度较大的样方16、17、18、19、20、21被分在第一轴的右侧. DCA第二轴反映的环境梯度没有第一轴明显, 这可能是因为第二轴反映的是多种环境因子迭加起来的一种复合体. 但第二轴还是可大致地反映出湿度的梯度变化, 多数土壤相对湿度较大的样方被排在在第二轴的下方, 如草甸样方16、17、18和灌丛草地上的样方4、5、6; 土壤较为干旱的样方则被排在第二轴的上方, 如样方10、11、12、19、20和21等. 由图2中还可看出, 第二轴还可基本反映样方与河水的实际距离的梯度. 一般离河水较近的样方被排在第二轴的下方, 较远的样方则在上方. DCA排序结果综合表明, 西藏沙棘群落生长和分布主要是受海拔和土壤湿度两种环境主导因子的影响, 其中海拔的影响更为明显.

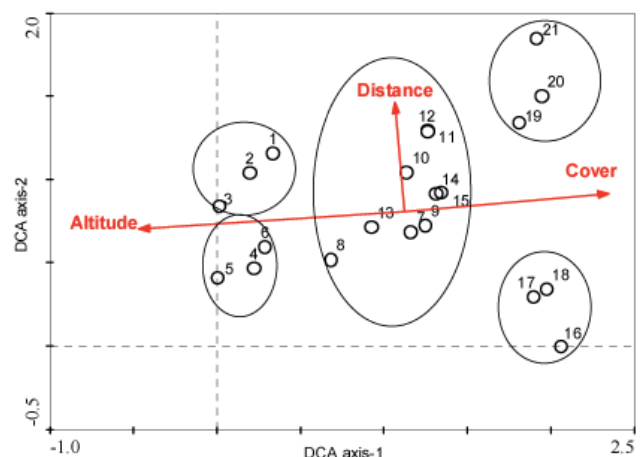


图2 珠峰绒布沟西藏沙棘群落样方DCA 排序图
Fig. 2 DCA ordination of *H. tibetana* community in the Rongbu Valley in the area of Mt. Everest

3.3 回归分析

回归分析结果表明, 西藏沙棘植物叶片长度与海拔之

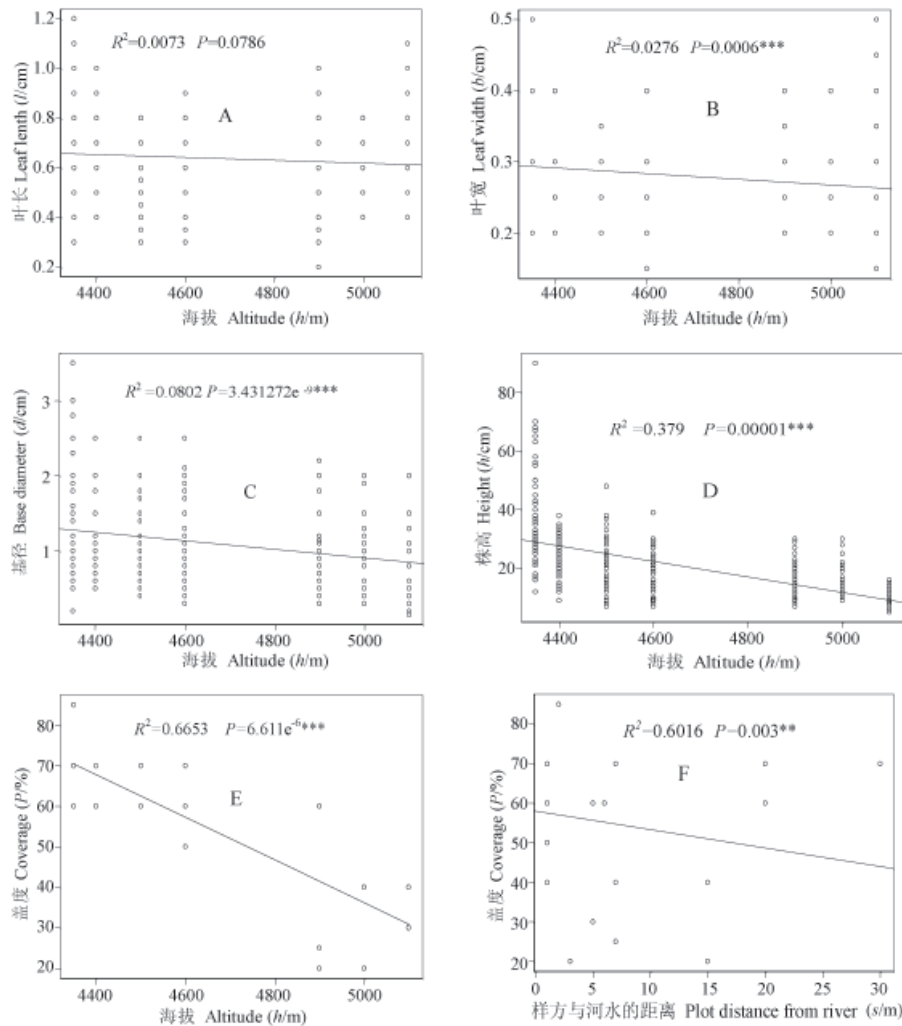


图3 珠峰绒布沟西藏沙棘的叶片长度(A)、宽度(B)、基径(C)、株高(D)、盖度(E)与海拔之间的关系以及盖度与样方和河水实际距离之间的关系图(F) (** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$)

Fig. 3 Regression relationships between leaf length and altitude (A), leaf width and altitude (B), base diameter and altitude (C), plant height and altitude (D), coverage and altitude (E), coverage and plot distance from riverside (F) of *H. tibetana* in the Rongbu Valley in the area of Mt. Everest (** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$)

间无显著的相关关系(图3-A),但叶片宽度却与海拔呈显著相关(图3-B).叶片宽度随海拔的升高而呈微弱的减小趋势.西藏沙棘的植株基径、株高、盖度都与海拔呈显著的负相关(图3-C、图3-D和图3-E),这些变量随着海拔的升高而明显减小.另外,样方与河水的实际距离与西藏沙棘的盖度之间也呈显著负相关(图3-F),样方离河水越近其盖度越大,也就是西藏沙棘的地上营养生长更旺盛.

4 讨论

4.1 生境类型与影响西藏沙棘分布和生长的环境主导因子

调查分析某一环境内的植物物种组成比具体测定环境的一些生态因子更能反映该环境的综合信息^[24].西藏沙棘群落样方植物物种组成及其相关环境因子的调查数据通过TWINSpan和DCA分析,很好地揭示了西藏沙棘的主要生境类型和影响其分布的环境主导因子,表明TWINSpan和DCA是效果较理想的植物群落多元等级分类和排序的研究方法,

两者结果较为一致地划分出西藏沙棘的5种生境类型.这一分类结果完全能反映出西藏沙棘是一种广生态幅的植物,不仅能适应土壤湿度相对较高的林缘和草甸,还可适应较干旱的砾石沙土滩地的生境. DCA排序结果清楚地揭示了影响西藏沙棘群落分布的主要生态因子海拔和湿度,这一结果在实地里得到了较好的证明,西藏沙棘分布范围在研究区内很明显地受海拔的控制,其最高分布上限在海拔5 300 m左右的珠峰登山大本营附近,最低分布下限在海拔4 300 m左右,低于或高于此海拔幅度的范围内再没有发现西藏沙棘的分布.西藏沙棘地上营养生长状况也随土壤湿度的不同而明显不同,在土壤湿度较高的林缘和草甸生境中(如样方16、17、18、19、20、21等),其长势明显要优于其它较干旱生境.这一点在后面有关数据的回归分析中得到了进一步的证明.

4.2 海拔梯度下的表型变异

其它研究表明中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*)表型变异幅度很大^[25],而西藏沙棘作为青藏高原特有的一种沙棘属植物,具有高山植物形态上的最典型的表型

特征即矮生性^[26]。一般情况下, 海拔越高植物就会呈越矮化之趋势, 因为按照植被垂直分布规律, 植物生物量通常随海拔上升而减少, 海拔越高, 植物生长期越短, 有效积温越有限。在本研究内西藏沙棘的基径、株高和盖度都随着海拔的升高而显著地减小(图3-C、3-D和3-E), 表明西藏沙棘在海拔影响下的表型变异十分明显, 海拔越高其植株表现为越矮, 其地上盖度也在明显地减小。在相对较低的海拔4 350 m处, 其植株平均高度可达40 cm左右, 个别植株高度可达1 m左右; 而在较高海拔(5 200 m)处的平均植株高度只有15 cm左右。这与许多其它高山植物为适应高寒生境而采取的生态对策是一致的。另外, 如DCA排序第二轴所示, 对于西藏沙棘来讲, 湿度也是非常重要的生态因子。沙棘属植物一般是喜水和喜光的阳性树种, 在拉萨河谷里, 长在山坡上的江孜沙棘(*Hippophae gyantsensis*)植株比较矮小, 而在河边湿度较高的地方可长成十余米高的乔木^[3]。本文研究数据结果也表明, 西藏沙棘的盖度也随着样方所处位置与河水实际距离的增大而显著地减小(图3-F)。一般情况下, 生境离河水越近其土壤相对湿度就越高, 西藏沙棘地上营养生长也就更旺盛, 这一结果表明西藏沙棘生长对土壤湿度相当敏感。

叶片是植物重要的营养器官之一, 是植物进行光合作用的重要场所。在不同的环境下, 植物可以通过叶片特征的变化来体现对环境的因子的适应性^[27]。叶片特征如叶宽、叶长和叶面积等非常容易受到环境的影响^[28], 研究表明环境因子气温、湿度等与植物的光合速率有显著相关^[29]。李芳兰等研究的四川黄栌(*Cotinus coggygria*)其叶片长度和叶宽随着海拔的升高而呈现增加的趋势^[30]。与这一结果不一致的是在本研究中, 西藏沙棘的叶宽随着海拔的升高而呈现微弱减小趋势(图3-B), 但叶片长度与海拔之间没有显著的相关关系(图3-A), 这一结果表明海拔梯度下不同植物物种有不同的表型变异。西藏沙棘叶片尽管随海拔梯度变化发生一定的表型变异, 但其变异不象其株高和基径那么明显。这可能是因为整体处于较高海拔的绒布珠峰地区常年气温低、紫外线强、风力大、气候干燥和空气稀薄, 一年中植物有效生长季节短, 在这些环境胁迫下, 西藏沙棘叶片无论在海拔5 200 m处, 还是在海拔3 500 m处, 其叶片本身都普遍性很小, 且叶片展开程度都较弱, 因此, 海拔梯度下的叶片表型变异不那么明显。叶的这些形态特征可能是西藏沙棘长期适应高海拔生境所形成的适应性特征。因为对植物来讲, 较小的叶片是对低温、干旱和强光环境的最好的适应方式^[31]。

总之, TWINSpan 和 DCA 较为一致地划分出西藏沙棘的5种生境类型, 这些生境类型也是珠峰绒布沟主要植被的生境类型, 表明西藏沙棘是该区域内适应性较强的主要高山植物之一, 其分布和生长主要受海拔和湿度两个环境主导因子的影响。西藏沙棘通过营养器官表型变异来适应各种不同的生境条件, 其株高、基径、叶宽和盖度都随海拔梯度升高而降低, 生物量呈现出明显的递减之趋势。但是在局部水热条件优越的高原开阔河边沙石滩生境里, 显示其更加旺盛的长势。该研究结果也充分反映出西藏沙棘的生物多样性特点, 如进一步通过分子生态学的研究, 掌握其生境和形态变化的遗传特性, 可为今后沙棘资源在不同生态环境条件下的

合理利用奠定理论基础。

References

- Goel HC, Gupta D, Gupta S, Garg AP, Bala M. Protection of mitochondrial system by *Hippophae rhamnoides* L. against radiation-induced oxidative damage in mice. *J Pharmacy & Pharmacol*, 2005, **57** (1): 135~143
- Rosch D, Mugge C, Fogliano V, LW, Kroh LW. Antioxidant oligomeric proanthocyanidins from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) pomace. *J Agric & Food Chem*, 2004, **52** (22): 6712~6718
- Huang Q (黄铨). The research on germplasm resources of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*. *Hippophae* (沙棘), 2004, **16** (3): 1~7
- Chen YM (陈云明), Liu GB (刘国彬), Xu BC (徐炳成), Chen YQ (陈永勤). Research progress and prospect of function on soil and water conservation of seabuckthorn in China. *Sci Soil & Water Conserv* (中国水土保持科学), 2004, **2** (2): 88~102
- Xiong BQ (熊丙全), Yu D (余东), Yuan J (袁军), Zeng M (曾明), Zhang Y (张勇), Du JB (杜建斌). The wild plant resources and utilization of *Hippophae* in China. *Chin Wild Plant Resour* (中国野生植物资源), 2004, **23** (2): 25~27
- Zhang ZR (张泽荣). Flora of China. Beijing, China: Science Press (北京: 科学出版社), 1988. 1~66
- Wu ZY (吴征镒). Flora of Xizang. Beijing, China: Science Press (北京: 科学出版社), 1983. 330~331
- Lü RS (吕荣森). Preliminary report on chemical analysis of *Hippophae* L. *Global Seabuckthorn Res & Devel* (国际沙棘研究与开发), 2004, **2** (1): 1~3
- Li GP (李国平). Cuttage of *Hippophae rhamnoides* in cold region of Tibet. *J Gansu's For Sci & Technol* (甘肃林业科技), 2002, **17** (13): 49~50
- Ma RJ (马瑞君), Li CB (李常宝), Lian YS (廉永善), Ding L (丁兰). Studies on development of female flowers of four *Hippophae* species. *Hippophae*, 2003, **16** (2): 1~6
- Sun H (孙航), Li ZM (李志敏). Qinghai-Tibet plateau uplift and its impact on Tethys flora. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), 2003, **18** (6): 852~862
- Chen XL (陈学林), Ma RJ (马瑞君), Sun K (孙坤), Lian YS (廉永善). Germplasm resource and habitat types of seabuckthorn in China. *Acta Bot Bor-Occid Sin* (西北植物学报), 2004, **23** (2): 451~455
- Sun K, Chen X, Ma R, Ma R, Li C, Wang Q, Ge S. Molecular phylogenetics of *Hippophaea* L. (Elaeagnaceae) based on the internal transcribed space (ITS) sequences of nrDNA. *Plant Syst & Evol*, 2002, **235**: 121~134
- Qi RH (祁如虎), Li YZ (李有忠), Fan JP (范建平). The idioblasts and their ecological significance in leaves of 16 alpine plants. *Acta Bot Bor-Occid Sin* (西北植物学报), 1998, **18** (2): 270~276
- Zhou RL (周瑞莲), Zhao HL (赵哈林), Cheng GD (程国栋). Seasonal changes in enzymatic antioxidant system in roots of alpine perennial forage grasses related to freezing tolerance. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2001, **21** (6): 865~870
- Zhou DW (周党卫), Zhu WY (朱文琰), Teng ZH (腾中华), Shi SB (师

- 生波), Liu JQ (刘健全), Han F (韩发). Antioxidative compounds of *Polygonum viviparuml* from different altitudes. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2003, **9** (5): 489~492
- 17 Ren HX, Wang Z L, Chen X, Zhu YL. Antioxidative response to different altitudes in *Plantago major*. *Environ & Exp Bot*, 1999, **42**: 51~59
- 18 Richardson AD, Berlyn GP. Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae). *Am J Bot*, 2002, **89**: 88~94
- 19 Stinson AK. Natural selection favors rapid reproductive phenology in *Potentilla pulcherrima* (Rosaceae) at opposite ends of a subalpine snowmet gradient. *Am J Bot*, 2004, **91**: 531~539
- 20 Zhang JW (张经纬) ed. Vegetation of Xizang. Beijing, China: Science Press (北京: 科学出版社), 1988. 304~305
- 21 Zhang LX (张丽霞), Zhang F (张峰), Shangguan TL (上官铁梁). Quantity analysis of plant communities on Mountain Luya, Shanxi. *Chin Bull Bot* (植物学通报), 2001, **18** (2): 231~239
- 22 Hill MO, Jr Gauch HG. Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetation*, 1980, **42**: 47~58
- 23 Hill MO. TWINSpan - A FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of Individuals and Attributes. New York, USA: Cornell University, Ithaca, 1979
- 24 Jongman RHG, Ter Braak CJF, van Tongeren OFR. Ordination. Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Cambridge, USA: Cambridge University Press, 1995
- 25 Wu Q (吴琼), Sun K (孙坤), Zhang JQ (张建请), Zhang CQ (张超强), Ding SS (丁松爽). Study of morphological change of *Hippophae rhamnoides* L. sulp *sinensis* Rousi in Wutai Mountains. *Hippophae* (沙棘), 2007, **20** (1): 9~12
- 26 Editorial Board of Vegetation of China (中国植被编辑委员会). Vegetation of China (中国植被). Beijing, China (北京): Science Press, 1980
- 27 Liu QH (刘全宏), Wang XA (王孝安), Tian XH (田先华). Morphological and anatomical characteristics of leaf of *Larix chinensis* and their relationship to environmental factors in Faibaishan Mountain. *Acta Bot Bor-Occid Sin* (西北植物学报), 2001, **21** (5): 885~893
- 28 Jones M. Modular demography and form in silver birch. In: White J ed. Studies on Plant Demography: A Festschrift for John L. Haper. London, UN: Academic Press, 1985. 223~237
- 29 Ruan CJ (阮成江), Li DQ (李代琼). Photosynthetic characteristics of seabuckthorn and their affecting factors in semi arid loess hill regions. *Hippophae* (沙棘), 2007, **20** (4): 6~9
- 30 Li FL (李芳兰), Bao WK (包维楷), Liu JH (刘俊华). Leaf characteristics and their relationship of *Cotinus coggygria* in arid river valley located in the upper reaches of Minjiang River with environmental factors depending on its altitude gradients. *Acta Bot Bor-Occid Sin* (西北植物学报), 2005, **25** (11): 2277~2284
- 31 Wang XL (王勋陵), Wang J (王静). Plant Morphology Structure and Environment. Lanzhou, China (兰州): Lanzhou University Press, 1989