

太白山高山林线植被的数量分析^{*}

唐志尧 戴君虎 黄永梅

(北京大学城市与环境学系 北京 100871)

提 要 通过对太白山南坡高山林线(alpine timberline)及其附近的草本植物群落的聚类、排序、物种多样性以及生态种组等研究分析表明: 1. 太白山高山植物群落的物种多样性随着海拔高度的升高而增加; 2. 群落交错带(ecotone)的物种多样性要比相邻群落内部高; 3. 在太白山高山带, 随着海拔升高, 种一面积相关值呈波动增加, 但在群落交错带比相邻群落内部小。

关键词 太白山 高山林线 数量分析

分类号 《中图法》 Q 948.13 **文献标识码** A

高山林线是森林和高山冻原带之间包括树岛(tree island)和矮曲林的生态过渡带^[1]。由于它对气候变化和人类活动影响比较敏感, 近几年来已经成为全球变化的研究热点之一^[2~6]。秦岭主峰太白山是我国大陆东部的最高峰, 在 3 300 m 以上的高山区, 分布着从郁闭林、林缘草甸、灌丛草甸到高山草甸的系列植被类型。以往对太白山植被的研究, 主要集中在垂直带谱、植物区系以及植物群落的演替^[7~11]。以草本植物群落为对象来研究太白山高山植被, 为以后研究华山地区高山植物对气候变化和人类活动影响的响应机制提供了依据。同时, 植被数量生态学方法的应用, 不仅给出了植物群落与环境梯度的解释, 且通过定量分析, 客观地阐明了植被与环境因子的关系^[12]。

1 研究区域的环境背景和研究方法

秦岭位于陕西省中南部, 为我国暖温带与亚热带的分界线。太白山由东、西太白峰以及连接它们的峰岭构成, 界于 33°49'31"~34°08'11"N、107°41'23"~107°51'40"E 之间, 海拔多> 2 600 m, 地貌类型复杂。在东太白山附近, 分布着 U 型谷、角峰、刃脊等冰川地貌和石海、石河、倒石堆等冰缘地貌。太白山南北坡气候差异明显, 在同一季节, 相同海拔高度, 北坡较南坡气温低 3°C~5°C, 降水少 100 mm~200 mm。由于复杂的生物、气候条件与地质、地貌条件相互作用, 太白山的土壤分布具有明显的垂直带性, 工作区的土壤分带自下而上为: 山地棕壤带、山地暗棕壤带、亚高山草甸森林土带、高山草甸土带。在高山带还分布着山地沼泽土, 植被大致可分为常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林、高山灌丛草甸、高山草甸等六个类型。

本文在对植物群落进行排序和分类分析时, 分别利用多元分析的 DCA、TWINSPAN 方法; 同时在进行多样性分析时, 以 Simpson 指数、Shannon-Weaver 指数、Whittaker 指数来表示物种的多样性^[12]。

2 植物群落的数量分析

运用 TWINSPAN 分类方法, 对太白山高山区的 153 个样方(共 135 个物种)进行等级划分, 共分为

^{*}基金项目: 国家自然科学基金资助项目部分成果(基金号: 49871088)。

收稿日期: 1998-12-20; 改回日期: 1999-02-06

5 个群落类型(图 1)。

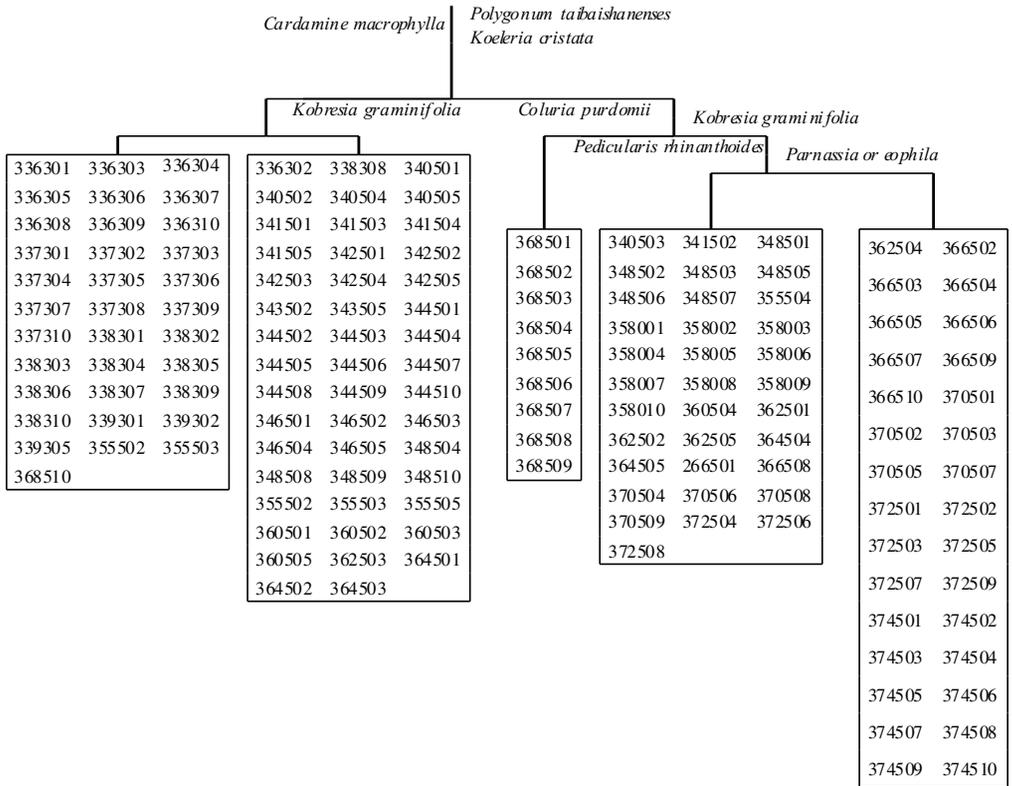


图1 植物群落的 TWINSpan 分类(框内数字表示样方号(海拔 m+样方序号))

Fig. 1 TWINSpan classification of the community in Mt. Taibai

2.1 群落的 TWINSpan 分类

第一级划分, 以大叶碎米荠 (*Cardamine macrophylla*) 和太白蓼 (*Polygonum taibaishanensis*)、洽草 (*Koeleria cristata*) 等为指示种, 将群落划分为高山、亚高山草本群落和林下草本群落。大叶碎米荠主要分布在郁闭林下, 而太白蓼和洽草则只分布在高山、亚高山带的群落中。

第二级划分, 以禾叶嵩草 (*Kobresia graminifolia*) 和秦岭无尾果 (*Coluria purdomii*) 等作为指示种, 将高山灌丛草甸与沼泽化草甸分开。秦岭无尾果、发草 (*Deschampsia caespitosa*) 只分布在沼泽化草甸中; 而禾叶嵩草则是高山草甸的建群种。以禾叶嵩草为指示种, 将郁闭林下草本群落和林缘草甸分开。禾叶嵩草适宜于林缘草甸, 在郁闭林下较少出现。

第三级划分, 以大拟鼻花马先蒿 (*Pedicularis rhinanthoides* var. *Labellata*)、矮金莲花 (*Trollius farrei*)、疏苞美头火绒草 (*Leontopodium calocephalum* var. *Depauperatum*) 等为指示种, 划分出高山草甸和亚高山灌丛草甸。

2.2 DCA 排序

太白山高山植物群落排序的结果见图 2, 这一结果反映了各群落之间以及群落与生境之间的相互关系。AX₁ 轴反映群落所处生境的温度随海拔高度变化的趋势。低海拔群落生境, 温度普遍较高, 它们在 AX₁ 轴上的排序值较小; 而处于较高海拔的群落生境温度较低, 排序值相对较大。群落在 AX₁ 轴上的排序自上而下为: 沼泽化草甸、高山草甸、亚高山灌丛草甸、林缘草甸、郁闭林下草本群落。由于沼泽靠冻土融水补给, 常年保持低温, 只有一些适应低温的植物能够正常生长。

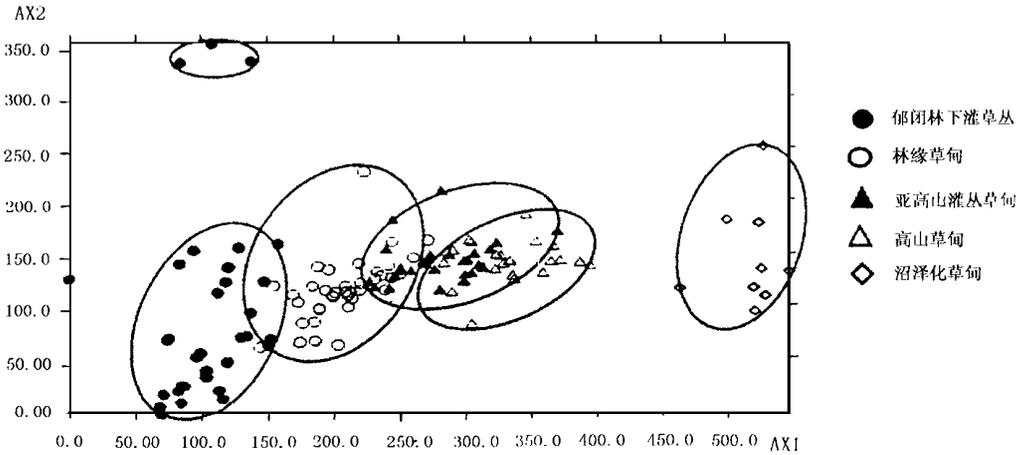


图 2 植物群落的 DCA 排序

Fig. 2 The DCA ordination of communities

DCA 排序的 AX_2 轴反映湿度条件的变化趋势。在排序轴上, 湿度最大值并不出现在沼泽化草甸中, 而是在森林带内 3 363 m 处, 这是由于在这一高度上石海下面有冻融水流动, 群落有充足的水分。各种群落在 AX_2 轴上相互交错, 分化不如 AX_1 轴明显, 这说明它们所需湿度条件比较接近。出现交错带的主要原因在于各类群落对生境的要求并不是截然分开的, 它们相互之间存在交叉现象。亚高山灌丛草甸与高山之间的交错带远不比其他群落之间的重叠要大, 这说明高山草甸和亚高山灌丛草甸之间生境要求差别不大, 它们之间的界线是逐渐过渡的。而沼泽化草甸与其它群落之间没有重叠, 虽然与高山草甸、亚高山灌丛草甸之间相距不远, 但它们的生境特征相差很大。

DCA 排序和 TWINSpan 聚类的结果并不完全一致, 这是由于 DCA 以优势种为依据进行排序, 而 TWINSpan 则是以指示种为依据进行分类。

3 物种多样性与生态种组

3.1 物种多样性分析

各海拔高度 5 m^2 样方的各种多样性指数值如表 1 所示。

表 1 不同海拔高度的物种多样性指数

Table 1 Species diversity indexes at various altitudes

海拔 (m)	多样性指数			海拔 (m)	多样性指数		
	Simpson 指数	Shannon-Wener 指数	Whittaker 指数		Simpson 指数	Shannon-Wener 指数	Whittaker 指数
3363	0.9245	2.9865	13.899	3555	0.9258	2.8939	20.1853
3373	0.8858	2.5001	10.584	3580	0.9114	2.8964	17.9479
3383	0.8191	2.2400	8.2754	3605	0.8771	2.6341	15.4921
3393	0.8617	2.2354	6.1310	3625	0.9306	2.8662	24.5276
3405	0.8730	2.7179	16.723	3645	0.9099	2.9299	21.1041
3415	0.9068	2.5597	18.682	3665	0.9453	3.0273	35.6368
3425	0.8661	2.4140	10.588	3685	0.9286	2.9108	17.9524
3435	0.8177	1.8361	6.4124	3705	0.8857	2.8389	20.3918
3445	0.8931	2.7201	15.775	3725	0.9025	2.9195	19.0255
3465	0.8885	2.6658	13.8516	3745	0.9258	3.0481	21.8714
3485	0.8392	2.4612	10.8095				

由上可知, 各种多样性指数随海拔高度的变化趋势比较相似, 都在海拔 3 400 m ~ 3 430 m 左右出现一个较大的起伏, 在 3 500 m ~ 3 650 m 之间呈稳定上升趋势, 而在 3 600 m ~ 3 700 m 之间出现另一个显著的起伏(见图 3)。

另外, 根据不同海拔的种-面积曲线变化趋势, 我们将种-面积曲线拟合为 $s = A \ln a + B$ (a 为面积; s : 草本植物种数; A 、 B 、为常数) 的函数形式。与面积相关的常数 A 的变化与 Whittaker 指数的变化趋势接近, 在 3 360 m ~ 3 430 m 之间有较大起伏, 然后逐渐上升到 3 620 m, 在 3 620 m 以上又有突变(表 2, 图 4)。与多样性随海拔变化趋势不同的是: 在郁闭林下 A 值较大, 且随着海拔升高而下降, 在 3 430 m 左右达到最小值, 随后上升呈拱形, 在 3 660 m 左右又有所回落, 从整体上看, A 值的变化趋势呈 W 形, 而 Whittaker 指数的整体变化趋势呈 M 形。

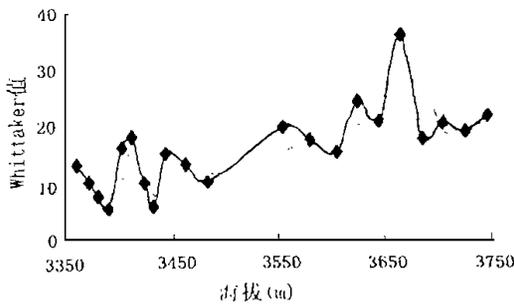


图 3 Whittaker 指数-海拔关系

Fig. 3 The relationship between altitude and Whittaker Index

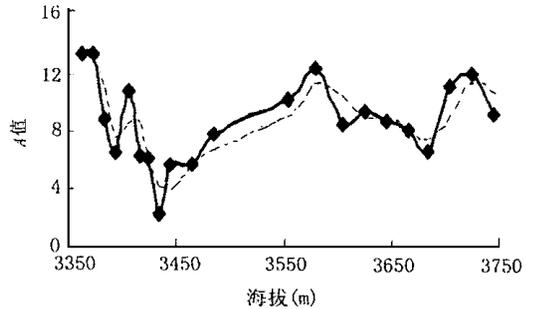


图 4 种面积相关值-海拔关系

Fig. 4 The relationship between altitude and species-area coefficient A

表 2 不同海拔高度种-面积相关值

Table 2 The species-h (Area)slope on various altitudes

海拔 (m)	A 值								
3363	12.989	3415	6.2685	3465	5.5376	3605	8.4104	3685	6.4879
3373	13.016	3425	6.0396	3485	7.7047	3625	9.0462	3705	10.897
3383	8.6467	3435	2.3708	3555	10.031	3645	8.439	3725	11.597
3393	6.4432	3445	5.5623	3580	12.016	3665	7.9095	3745	9.0029
3405	10.657								

据多样性分析结果, 结合前面的聚类和排序, 可以确定太白山高山林线附近的植被界线: 3 400 m ~ 3 500 m 之间为林线过渡带; 3 600 m ~ 3 700 m 之间为亚高山灌丛草甸与高山草甸的群落交错带。多样性 M 形的变化趋势, 表明界线两侧的群落内部, 生境比较均一, 生物多样性也就较低; 而在界线附近, 生境的异质性导致较高的生物多样性。在 > 3 710 m 的山顶, 地势平坦, 有利于土壤的积累, 植物易于生长, 虽受大风、低温等因素影响, 多样性仍然较高。图 4 表明, 在郁闭林内部, 小面积内生境较为单一, 而较小的面积并不能反映全部的生境特征, 增加样方面积, 有新的生境类型加入, 所以生境与面积之间的相关性较大。而在群落交错带, 在较小的面积内具有异质性生境, 几乎包含全部的生境类型, 面积再扩大也不会增加新的生境类型, 所以, 生境与面积的相关性并不象郁闭林内部那样明显。总之, 在郁闭林内部出现较高的种-面积相关值, 而在群落交错带具有较低的种-面积相关值。

3.2 生态种组

TWINSPAN 在对样方分类的同时, 也将物种作了等级分类, 根据它们在样方中出现的频率, 重要

值等特征, 将所有的物种分为 5 个类型。我们选取具有指示意义的几个生态种组作为研究对象。

在研究区内, 亚高山灌丛草甸和高山草甸以及沼泽化草甸生境条件相似, 因此在林线以上出现一些共生种, 构成高山生态种组。只出现在 $> 3 580 \text{ m}$ 的物种主要是一些耐高寒的植物, 包括秦岭无尾果、隐瓣山金梅 (*Sibbaldia aphanopetala*)、头状蓼 (*Polygonum alatum*)、蓝花棘豆 (*Oxytropis coerulea*)、柔软紫菀 (*Aster flaccidus*)、川康苔草 (*Carex heterostachya*)、长瓣虎耳草 (*Saxifraga pseudo-hirculus* var. *sheniensis*)、秦岭龙胆 (*Gentiana tsinlingensis*) 等。其中秦岭无尾果、隐瓣山金梅、头状蓼只出现在沼泽化草甸中, 而柔软紫菀、川康苔草等植物只出现在 $3 700 \text{ m}$ 以上的高山草甸群落中。

在亚高山针叶林下, 具有相同生境要求的一些植物组成林下生态种组。在研究区内, 这一生态种组出现在 $3 500 \text{ m}$ 以下, 主要有圆叶风毛菊 (*Saussurea rotundifolia*)、细须翠雀花 (*Delphinium leptopogon*)、秦岭沙参 (*Adenophora tsinlingensis*)、玫瑰黄精 (*Polygonatum roeum*)、猪殃殃 (*Galiatum aparina*)、异燕麦 (*Helictorichon schellianum*) 等。其中, 异燕麦、细须翠雀花等又只出现在 $3 390 \text{ m}$ 以下。

生态种组的聚类再一次表明, 在 $3 500 \text{ m}$ 附近存在一条植被界线, 这条界线使得大量适宜于林下生长的植物不能分布到界线以上的高寒区, 而一些高寒的物种也不能越过此界线生长在森林内部; 在 $3 700 \text{ m}$ 附近也存在另一条界线, 这条界线阻止了一些物种的上下交流, 得高山区和亚高山区环境得以分开。

4 结论

通过对太白山高山植物群落的 DCA 排序、TWINSPAN 分类、多样性分析以及生态种组的提取, 可以得出以下结论:

1. 太白山高山带植被存在 3 条界线: $3 400 \text{ m}$ 为郁闭林上限, $3 500 \text{ m}$ 附近为树线, 与前人关于太白山林线的研究吻合^[13]; 亚高山灌丛草甸与高山草甸的群落交错带在 $3 600 \text{ m} \sim 3 700 \text{ m}$ 之间。与之相对应, 林线过渡带为 $3 400 \text{ m} \sim 3 500 \text{ m}$ 之间, $3 700 \text{ m}$ 以上为高山草甸带, 而 $3 500 \text{ m} \sim 3 600 \text{ m}$ 之间为亚高山灌丛草甸。

2. 太白山高山植物的多样性随着海拔的升高, 呈波动性增长, 在群落交错带, 多样性要比相邻的群落内部高。在郁闭林内部, 草本群落的物种多样性很低; 但随着海拔的升高, 森林郁闭度降低, 草本群落的多样性增加。

3. 由于受植被斑块面积以及边缘效应的影响, 虽然森林群落内部的多样性和总种数较小, 但种一面积相关性比在群落交错带要大。

致谢: 本文野外调查和写作是在崔海亭教授悉心指导下进行的, 并得到方精云教授、刘鸿雁博士帮助。参加野外调查的还有施治同学。在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Bliss, L. C., Alpine. in: B. F. Chabot and H. A. Mooney (Editors). *Physiological Ecology in North America Plant Communities*. New York; Chapman & Hall. U.S.A., 1985. 41 ~ 65
- [2] Kullman, L. Pine tree-limit surveillance during recent decades. Central Sweden. *Arctic and Alpine Research*, 1993. 25(1): 24 ~ 31
- [3] Kullman, L. 瑞典斯堪的纳维亚的林线和山地林: 气候变化的敏感指示体. *Ambio*, 1998, 27(4): 312 ~ 321
- [4] Lloyd, A. H., et al. Holocene dynamics of tree line forest in the Sierra Nevada. *Ecology*, 1997, 78(4): 1199 ~ 1210
- [5] Slatyer, R. O., et al. Dynamics of Montane Treelines. in: Hanson, A. J. et al. (Editors). *Landscape Boundaries—Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. New York; Springer-Verlag, 1992. 346 ~ 359
- [6] Weinstein, D. A. Use of Simulation Models to Evaluate the Alteration of Ecotones by Global Dioxide Increases. in:

Hanson, A. J. et al. (Editors). *Landscape Boundaries—Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. New York: Springer-Verlag, 1992. 379~393

- [7] 方正. 秦岭太白山南北坡的植被垂直带谱. 植物生态学与地植物学丛刊, 1963, 1(1~2): 162~163
 [8] 王建让等. 秦岭太白山高山灌丛群落研究. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(2): 172~176
 [9] 应俊生等. 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
 [10] 张志英等. 太白山植物区系的特征. 西北植物研究, 1984, 4(1): 22~28
 [11] 朱志诚. 太白山顶植被的起源和发展. 西北大学学报(自然科学版), 1979, (1): 156~169
 [12] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995
 [13] 崔海亭. 关于华北山地高山带和亚高山带的划分问题. 科学通报, 1983, 28(8): 494~497

第一作者简介 唐志尧(1976—), 男. 1998年毕业于北京大学城市与环境学系, 获理学学士学位. 现于北京大学城市与环境学系环境学专业攻读硕士学位研究生, 研究方向为景观生态学.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE VEGETATION NEAR THE ALPINE TIMBERLINE OF TAIBAI MOUNTAIN

TANG Zhi-yao, DAI Jun-hu, HUANG Yong-mei

(Dept of Urban & Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract As an ecotone between the closed forest and the alpine meadow, the alpine timberline is regarded as sensitive to climate change and human interference. It is now one of the important aspects in the global change research. As an ecotone between the temperate zone and the subtropical zone as well as the highest mountain of East China, the Taibai Mountain, the peak of Qinling Range, is located in the sensitive regions to climate change in China. For identifying the vegetation boundaries at the high altitude in Taibai Mountain, and for the future study of the alpine timberline response to the climate change, the herbaceous species in the communities are quantitatively analyzed.

By using community ordination, classification and analysis of plant species diversity of the vegetation striding the timberline of Taibai Mountain, following conclusions can be drawn:

1. The whole tendency of the plant species diversity increases with the ascent of the altitude. But there exists a wave; the diversities of the ecotones are higher than those of the adjacent communities;

2. The slope of the curve between species and logarithmic area is higher in the adjacent communities than that in the ecotones;

3. The upper limit of the closed forest is about 3 400 m while the treeline is about 3 500 m. Therefore the timberline transitional zone is located at the altitude between 3 400 m and 3 500 m. As for the ecotone between the sub-alpine shrub meadow and the alpine meadow (tree species line), it is situated between the altitude of 3 600 m and 3 700 m.

Key words Taibai Mountain alpine timberline quantitative analysis