

# 山西关帝山森林上限附近植被的性质与空间格局

田军, 刘鸿雁, 田育红, 戴君虎

(北京大学环境学院生态学系, 北京 100871)

**摘 要:** 山西关帝山是中国暖温带落叶阔叶林区域第四高峰, 对气候指标的推算表明, 关帝山主峰孝文山接近气候意义的林线, 对其森林上限附近植被空间格局和性质的分析有助于认识中国东部暖温带高山林线的形成机制。通过野外调查和植被数量分析, 探讨了关帝山森林上限附近植物群落的类型、植物群落与环境的关系、植物种类多样性的梯度、植被的性质等理论问题, 初步得出: (1) 气候和地形条件共同决定关帝山森林上限附近的植被格局; (2) 对植被性质的分析表明, 关帝山山顶植被为亚高山灌丛和亚高山草甸, 不具备高山带的性质, 验证了根据气候数据进行的推断; (3) 关帝山森林上限附近植物物种多样性随海拔增加而上升, 不同于暖温带具有高山带的山地。

**关键词:** 森林上限; 亚高山灌丛; 亚高山草甸; 山西关帝山

**中图分类号:** Q948. 1; S718. 43

**文献标识码:** A

高山林线是郁闭森林与高山带之间的生态过渡带, 被认为是气候变化的敏感指示体。高山林线对气候变化响应的机制一直是全球变化研究的一个重要理论问题。对一些海拔高度接近气候林线的山地的植被性质和空间格局的分析有助于区分气候和地形因子的作用, 从而认识高山林线的形成机制。

根据气候指标计算结果推断, 在中国东部暖温带, 达到气候意义的林线只有长白山、五台山和小五台山, 另有关帝山接近气候意义的林线。长白山、五台山和小五台山的高山林线已经通过野外植被调查得到证实<sup>[1]</sup>。因此, 进一步分析关帝山森林上限附近植被空间格局和性质, 并与其它山地比较, 对分析中国东部暖温带高山林线的形成机制具有重要意义。

对于关帝山的植被, 较早的研究有唐季林等系统分析了关帝山植物群落与环境梯度的关系<sup>[2]</sup>。郭晋平对整个关帝山林区的景观进行了全面研究<sup>[3]</sup>。但迄今为止, 对森林上限附近植被的详细研究较少。

## 1 研究区域

关帝山位于吕梁山脉的中段, 位于交城、文水、方山、娄烦等县的交界处, 经纬度范围为  $37^{\circ}20' \sim 38^{\circ}20' \text{ N}$ ,  $110^{\circ}18' \sim 111^{\circ}18' \text{ E}$ , 主峰孝文海拔 2 831 m。著名的国家级自然保护区——庞泉沟自然保护区就位于该山的腹地, 国家一类保护动物褐马鸡等在此集中分布<sup>[4]</sup>。

关帝山属暖温带半湿润大陆性季风气候。成土母质以花岗岩、片麻岩为主。土壤类型有淡褐土、山地淋溶褐土、山地棕壤、亚高山草甸土等<sup>[5]</sup>。

关帝山植被的垂直带谱明显, 在低中山以油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林为主, 在阳坡有辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、山杨 (*Populus davidiana*) 和白桦 (*Betula platyphylla*), 与油松形成斑块状混交。低山灌丛植被的建群种主要有虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*)、黄刺玫 (*Rosa xanthina*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 等。在海拔 1 800 m 以上以华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 林占绝

收稿日期 (Received date): 2002- 11- 13; 改回日期 (Accepted): 2002- 12- 13。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (批准号: 49871080) 资助。 [Funded by National Natural Science Foundation (Grant No. 49871080)]

作者简介 (Biography): 田军 (1979- ), 男, 辽宁沈阳人, 2001 年获北京大学理学学士学位, 从事植被生态方面的工作。电话及传真: (010) 62759319; Email: lhy@urban.pku.edu.cn [Introduction to the first author: Mr. Tian Jun, born in 1979 in Shenyang, Liaoning Province. He got his B. S. degree at Peking University in 2001 and is currently engaged in vegetation ecological studies. Tel & Fax: 86 - 10- 62759319; Email: lhy@urban.pku.edu.cn.]

对优势, 白杵 (*Picea meyeri*) 林、青杵 (*Picea wilsonii*) 林次之<sup>[4]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查

野外调查区为主峰孝文山北坡森林上限附近至山顶, 海拔范围为 2 730~ 2 830 m。对于草甸和灌丛群落, 自山顶向下海拔每降低 20 m 定为基线, 在每条基线上随机做 5 个样方, 样方的大小为草甸 1 m × 1 m, 灌丛 2 m × 2 m, 记录样方内植物的德氏多度、盖度和高度。对于森林群落, 在某一海拔做 10 m × 10 m 的样方, 记录样方内的乔木的胸径、基径、冠幅、株高和枝下高。同时在样方内做五个 1 m × 1 m 的小样方, 记录方法同草甸和灌丛样方。共做灌丛和草本群落样方 30 个, 森林群落样方 2 个。由于关帝山主峰阳坡森林上限附近为陡崖, 未发育植被, 野外调查只局限于阴坡。

### 2.2 数据分析

首先按以下方法计算每个物种在样方中的重要值:

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

在计算过程中, 首先对德氏多度进行量化, 相对高度的取值统一以营养枝高度为标准。

用 DCA 方法对样方进行排序, 同时用 TWINSpan 方法进行分类。DCA 和 TWINSpan 均使用 Cornell Ecological Programs 完成。

植物群落内  $\alpha^{-}$  物种多样性指数计算采用 Simpson 指数, 计算公式为

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

式中  $P_i$  为植物种  $i$  在样地内的重要值, 将同一海拔的 5 个样方内植物种  $i$  的重要值取平均, 得到植物种  $i$  在该海拔高度的重要值。

用物种递变率来表示  $\beta^{-}$  多样性, 计算公式为

$$C_j = j / (a + b - j)$$

将同一海拔的五个样方内出现的植物种作为该高度的种类, 式中  $j$  为两个海拔高度共有种数;  $a$  和  $b$  分别为海拔  $A$  和  $B$  的物种数。

## 3 结果

### 3.1 森林上限物种的分布

关帝山阴坡森林上限附近生境条件的分化明显, 坡顶坡度小, 土层深厚。在坡缘为石海, 范围一直延伸到郁闭的白杵林下。石海的缝隙中有冲积的土壤。有郁闭林覆盖和没有郁闭林覆盖的石海由于光照条件不同, 生境出现进一步分化。总体上可以将关帝山森林上限附近的生境条件划分坡顶、无森林覆盖的石海、林下石海三种生境条件。石海上面由于土壤的积累不同, 出现生境条件的次一级分异。

郁闭林分布的最高海拔为 2 750 m, 在这一界限以上为树岛和孤立木。森林上缘的华北落叶松林中, 密度为 10 株/100 m<sup>2</sup>, 胸径为 5~ 23 cm 不等, 林内有中国黄花柳 (*Salix sinica*) 出现, 密度为 4 株/100 m<sup>2</sup>。林内有云杉幼苗出现, 数量为 1 棵/100 m<sup>2</sup>。在 2 730 m 处, 出现白杵、华北落叶松、红桦 (*Betula albo-sinensis*) 混交林, 每 100 m<sup>2</sup> 以内以上三种乔木的株数分别为白杵 10 株/100 m<sup>2</sup>, 华北落叶松 3 株/100 m<sup>2</sup> 和红桦 3 株/100 m<sup>2</sup>, 此外还有中国黄花柳出现。林内白杵幼苗和幼树大量出现, 说明白杵更新良好。

在所调查的海拔范围内出现鬼箭锦鸡儿 (*Caragana jubata*)、高山绣线菊 (*Spiraea alpina*)、东北茶藨子 (*Ribes mandshurica*)、瘤糖茶藨子 (*R. emodense* var. *verruculosum*)、金露梅 (*Potentilla fruticosa*)、山楂叶悬钩子 (*Rubus crataegifolius*)、刚毛忍冬 (*Lonicera hispida*)、蓝靛果忍冬 (*L. caerulea* var. *edulis*) 共 8 种灌木, 在不同地点鬼箭锦鸡儿、东北茶藨子和刚毛忍冬分别为优势种。在山顶主要出现鬼箭锦鸡儿、高山绣线菊和金露梅, 而缺少其它种类。

在森林上限附近共出现草本植物 55 种, 仅出现于山顶的物种有北柴胡 (*Bupleurum chinense*)、黑柴胡 (*B. smithii*)、翠雀 (*Delphinium grandiflorum*)、裂叶蒿 (*Artemisia subalata*)、蓬子菜 (*Galium verum*)、山蒲公英 (*Taraxacum platyepidum*)、拳参 (*Polygonum bistorta*)、沙参 (*Adenophora* sp.)、鼠掌老鹳草 (*Geranium sibiricum*)、胭脂花 (*Primula maximoviczii*)、野豌豆 (*Vicia* sp.)、野罂粟 (*Papaver nudicaule*)、直穗鹅观草 (*Roegneria turczaninovii*)、中国马先蒿 (*Pedicularis chinensis*)、狭叶红景天 (*Rhodiola kirilowii*), 占草本植物总种数的 27%; 仅出现于石海的物种有高乌头 (*Aconitum sinomonatanum*)、草乌头 (*A. kusnezoffii*)、紫花碎米荠 (*Cardamine tangutorum*)、球茎虎耳草 (*Sax-*

*ifraga sibirica*)、瓣蕊唐松草 (*Thalictrum petaloideum*), 占草本植物总种数的 9%; 仅出现于林下的物种有白花碎米荠 (*Cardamine leucantha*)、林荫千里光 (*Senecio nemorensis*), 占草本植物总种数的 2%; 出现于其它两种生境而在林下缺失的有高山紫菀 (*Aster alpinus*)、无芒雀麦 (*Bromus inermis*)、西伯利亚早熟禾 (*Poa sibirica*)、硬质早熟禾 (*P. sphondylodes*), 占草本植物总种数的 7%; 出现于其它两种生境而在山顶缺失的有西伯利亚囊吾 (*Ligularia sibirica*)、银莲花 (*Anemone cathayensis*)、风毛菊 (*Saussurea* sp.)、小丛红景天 (*Rhodiola dumulosa*)、红景天 (*R. kirilowii*)、互叶金腰子 (*Chrysosplenium alternifolium* var. *sibiricum*)、红直獐牙菜 (*Swertia erythrostica*), 占草本植物总种数的 13%; 在各种生境条件下均出现的物种有巨序剪股颖 (*Agrostis gigantea*)、双花黄堇菜 (*Viola biflora*)、苔草 (*Carex* sp.)、紫苞风毛菊 (*Saussurea iodostegia*)、勿忘草 (*Myosotis sylvatica*)、岩茴香 (*Ligusticum tachiroei*)、柳兰 (*Chamaenerion angustifolium*)、蹄盖蕨 (*Athyrium* sp.)、红景天 (*Rhodiola rosea*), 占草本植物总种数的 13%。总之, 山顶与其它生境的物种组成差别最大, 说明地表基质在物种的分布中起着决定性的作用。

### 3.2 草本植物群落的 TWINSpan 分类

根据草本植物组成, 对关帝山阴坡的 30 个灌丛和草本植物样方进行 TWINSpan 分类, 结果如图 1。

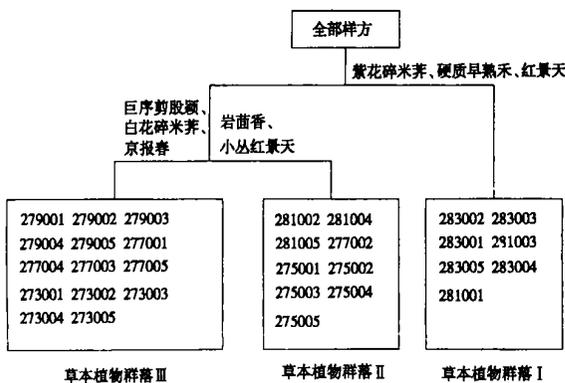


图 1 关帝山阴坡草本群落 TWINSpan 分类图 (方框内数字为样地号, 其中前 4 位为海拔高度)

Fig. 1 TWINSpan classification of herbaceous communities on the shady slope of Mt. Guandi (Numbers in the boxes indicate sample codes, of which the left four digits indicate the altitude)

TWINSpan 对关帝山阴坡海拔 2 730~ 2 830 m 的草本植物群落作了两级划分:

第一级划分以紫花碎米荠、硬质早熟禾和红景天为指示种划分出以硬质早熟禾、披碱草、苔草和柳兰为优势种的群落。其范围从海拔 2 810 m 处直到坡顶。群落特征是物种丰富, 草本层分层不明显。灌木优势种为鬼箭锦鸡儿, 高度一般在 50 cm 左右。

第二级划分以巨序剪股颖、白花碎米荠、京报春、岩茴香和小丛红景天为指示种, 划分出以巨序剪股颖、西伯利亚囊吾和蹄盖蕨为优势种的群落和小丛红景天、岩茴香和西伯利亚囊吾为优势种群落。前者含有巨序剪股颖、白花碎米荠和京报春, 而不含岩茴香和小丛红景天, 这一类型群落盖度一般较大, 说明群落中土壤的积累较多。巨序剪股颖的出现说明土层深厚。后一群落类型中含有岩茴香和小丛红景天, 而不含巨序剪股颖、白花碎米荠和京报春。整个群落的盖度低, 灌木和草本植物的盖度总和一般在 20% 以下, 样地中以大石块为主。小丛红景天根系较浅, 能够生活在石块表面很浅的土壤中。因此, 第二级的划分反映了土壤条件的差异。从灌木种类组成来说, 前者以鬼箭锦鸡儿占优势, 而后者以东北茶 子和鬼箭锦鸡儿共优势。

### 3.3 物种多样性的梯度

Simpson 指数在郁闭林内较高, 在郁闭林边缘 (2 750 m) 降至最低, 然后逐渐升高, 位于石海上的灌丛与草甸的  $\alpha^{-}$  多样性与郁闭林内接近, 在山顶, 该指数达到最大值 (图 2)。  $\alpha^{-}$  多样性的计算表明, 山顶草甸和灌丛拥有最大的物种多样性, 郁闭林边缘可能由于遮荫的影响, 喜阳的草甸种没有出现。郁闭林内一些耐荫的森林种类, 如京报春 (*Cortusa matthioli* ssp. *pekinensis*) 开始出现, 物种多样性增加。在太白山和小五台山, 进入高山带后, 物种多样性开始下降<sup>[7,8]</sup>。而关帝山在森林上限以上, 植物物种多样性随海拔高度上升而增加, 可以作为关帝山不存在高山植被的一个证据。

从物种递变率的变化可以看出, 从郁闭林内过渡带郁闭林缘以及从石海过渡带坡顶, 物种递变率较高, 石海内部物种递变率较低, 充分反映了生境条件的分异对于物种分布的影响 (图 3)。

## 4 讨论

### 4.1 草本植物群落与环境的的关系分析

DCA 排序的结果如图 4 所示。对 AX1 轴与海拔高度作相关分析,  $R^2$  为 0. 8042 (图 5), 说明 AX1

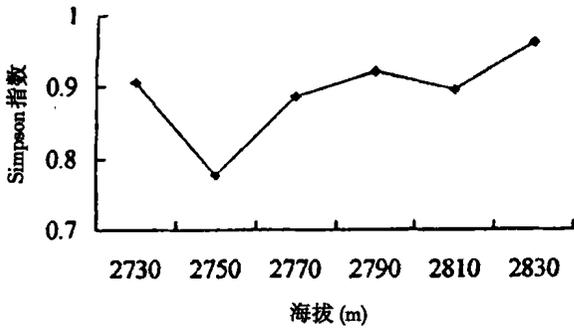


图 2 Simpson 指数随海拔高度的变化

Fig. 2 Changes of Simpson index along with the altitude

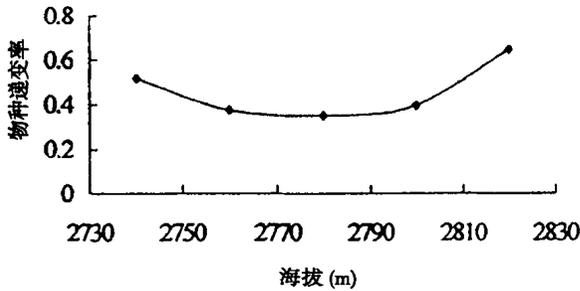


图 3 物种递变率随海拔高度的变化

Fig. 3 Changes of species turnover rate along with the altitude

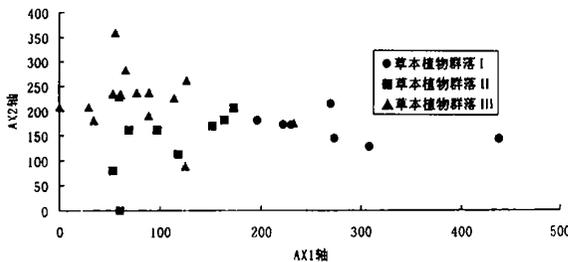


图 4 关帝山森林上限附近草本植物群落 DCA 排序

Fig. 4 DCA ordination of herbaceous communities near the upper forest limit on Mt. Guandi

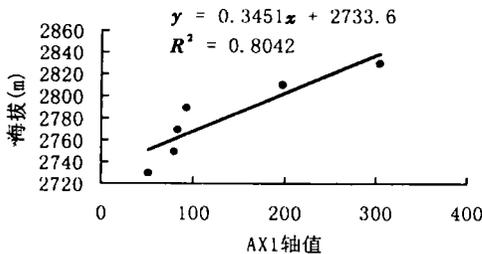


图 5 关帝山阴坡 AX1 值-海拔图

Fig. 5 Diagram of AX1 value altitude on the shadyslope of Mt. Guandi

反映了海拔高度的分异对于植被的影响, 分布于坡顶的植物群落 I 具有较高的 AX1 值, 说明随海拔高度的变化而出现的水热条件在草本植物群落的分异中起着主要作用。在 AX2 轴上, 草本植物群落 III 与其它两个类型得到了很好的区分, 说明 AX2 在一定程度上区分了地表基质和土壤厚度对群落的影响。

### 4.2 关帝山森林上限植被的性质

一般认为, 嵩草的出现可以作为华北高山带的标志<sup>[6,9]</sup>。在关帝山山顶有极少量嵩草出现, 而主要的草本植物种类与山西五台山的亚高山草甸接近, 而与五台山的高山草甸存在显著的区别<sup>[10]</sup>。

关帝山北坡的林线主要受到地形的影响, 最高处出现的乔木为华北落叶松, 出现在海拔 2790 m 处, 其树高达到 11.5 m, 不存在树种线和真正意义的树线。关帝山以落叶松作为高山林线的组成树种, 与整个暖温带东部地区( 太白山、五台山、小五台山) 一致, 反映了区域半干旱气候的影响。但在关帝山, 进入郁闭林中, 白开始出现, 这一现象类似与五台山南坡<sup>[10]</sup>。

关帝山北坡的石海非常发育, 在石海表面和石缝中生境条件差异很大。同时在较为阴湿的石缝之中苔藓植物的覆盖度和厚度都很大, 基本上没有表土出露。而松科植物的种子由于含油量较高而保持活性的时间较短, 所以这种生境条件极大地阻碍了乔木树种在石海上的更新, 这是地貌条件影响景观的典型例子。

## 5. 结论

本文通过对关帝山森林上限附近植被的分析, 得出以下初步结论:

1. 气候和地形条件的分异同时决定了关帝山森林上限附近的植被格局;
2. 对植被性质的分析表明, 关帝山山顶植被为亚高山灌丛和亚高山草甸, 不具备高山带的性质, 验证了根据气候数据进行的推断;
3. 由于尚未达到气候意义的林线, 关帝山森林上限附近的植物物种多样性随海拔高度上升而增加, 完全不同于高山带的变化趋势。

### 参考文献 (References):

[1] Liu, H., Z. Tang, J. Dai, Y. Tang and H. Cui. Larch timberline and its development in temperate China. Mountain Research and Development, in press.

- [2] Tang Jilin, Liu Yulin et al. Plant communities and environmental gradient analysis on Mt. Guandi [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1993, 17(4): 36~ 42. (in Chinese with English abstract)[唐季林,刘宇林,等.关帝山植物群落与环境梯度分析[J].北京林业大学学报,1993,17(4):36~ 42.]
- [3] Guo Jinping. Studies on forest landscape ecology [M]. Peking University Press, Beijing, 2001. 57~ 120. (in Chinese)[郭晋平.森林景观生态研究[M].北京:北京大学出版社,2001.57~ 120.]
- [4] Management Bureau of Pangquangou National Level Natural Reserve of Shanxi. Pangquangou National Level Natural Reserve of Shanxi (1980- 1999) [M]. China Forestry Publishing House, Beijing, 1999. 1~ 34. (in Chinese)[山西庞泉沟国家级自然保护区.山西庞泉沟国家级自然保护区(1980- 1999)[M].北京:中国林业出版社,1999.1~ 34.]
- [5] Zhang Feng, Shangguan Tieliang. Community characteristics and biomass of Larix principis-rupprechtii- forest on Mt. Guandi [J]. *Journal of Shanxi University (Natural Science edition)*, 1992, 15(1): 72~ 77. (in Chinese with English abstract)[张峰,上官铁梁.关帝山华北落叶松林的群落学特征和生物量[J].山西大学学报(自然科学版),1992,15(1):72~ 77.]
- [6] Editorial Committee of Vegetation of China. Vegetation of China [M]. Science Press, Beijing, 1980. 642~ 652. (in Chinese)[中国植被编辑委员会.中国植被[M].北京:科学出版社,1980.642~ 652.]
- [7] Tang Zhiyao, Dai Junhu, Huang Yongmei. Quantitative analysis of vegetation of alpine timberline on Mt. Taihai [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(4): 294~ 299. (in Chinese with English abstract)[唐志尧,戴君虎,黄永梅.太白山高山林线植被的数量分析[J].山地学报,1999,17(4):294~ 299.]
- [8] Yu Pengtao, Liu Hongyan, Cui Haiting. Vegetation pattern and its relationships to climatic conditions near the alpine timberline on Beitai of Mt. Xiaowutai [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 523~ 528. (in Chinese with English abstract)[于澎涛,刘鸿雁,崔海亭.小五台山北台北坡林线附近的植被格局及其与气候条件的关系[J].应用生态学报,2002,13(5):523~ 528.]
- [9] Cui Haiting. On the demarcation of alpine and subalpine zone in North China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1983, (8): 494~ 497. (in Chinese)[崔海亭.关于华北山地高山带和亚高山带的划分问题[J].科学通报,1983,(8):494~ 497.]
- [10] Tian Jun. A preliminary study on the alpine and subalpine vegetation on Mt. Wutai and Mt. Guandi [Bachelor's thesis]. Peking University, Beijing, 2001. 1~ 25. (in Chinese with English abstract)[田军.五台山、关帝山高山、亚高山带植被的初步研究.北京:北京大学,2001.1~ 25]

## Characteristics and Spatial Patterns of Vegetation on the Upper Forest Boundary on Mt. Guandi, Shanxi Province

TIAN Jun, LIU Hong-yan, TIAN Yu-hong, and DAI Jun-hu

(Department of Ecology, School of Environmental Sciences, Peking University, Beijing, 100871 China)

**Abstract** Mt. Guandi is the fourth highest mountain on the temperate deciduous broadleaved forest region in China. It is speculated that Xiaowen Summit, the highest peak on Mt Guandi, is close to the climatically controlled timberline, by a calculation of climatic parameters. The analyses of characteristics and spatial pattern of vegetation on the upper boundary of forests on Mt. Guandi is thus helpful for understanding the formation of alpine timberline on the temperate region in eastern China. After field survey and quantitative analysis, the plant community types, plant community-environment relationships, gradients of plant species diversity, and characteristics of vegetation are discussed, following preliminary conclusions can be drawn: (1) the vegetation pattern on the upper forest boundary is controlled by both climate and topography conditions; (2) Vegetation on the summit of Mt. Guandi belongs to subalpine meadow and subalpine scrubs; (3) The plant species diversity on the upper forest boundary on Mt. Guandi increases with the uplift of elevation, which is different from mountains with alpine zone on temperate China.

**Key words:** upper forest boundary; subalpine scrub; subalpine meadow; Mt. Guandi (Shanxi Province)