

天山北坡不同环境条件下雪岭云杉 (*Picea schrenkiana*) 林限土壤属性

陈 曦¹, 许文强¹, 罗格平¹, 蔺 卿², 肖鲁湘³

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国新疆水利水电规划设计管理局, 乌鲁木齐 830000;
3. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要:为了研究干旱区天山北坡中山带长达 1000 余公里的单建群种山地针叶林的空间分布原因,选择精河、玛纳斯、阜康和巴里坤中山带作为四种不同的环境条件,通过对不同环境条件雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)上、下限土壤的采样与分析,探讨土壤因素对天山北坡中山带雪岭云杉分布的控制作用。雪岭云杉在天山北坡的连续分布主要是水热组合条件和土壤因素相互作用的结果,上、下限土壤属性变化与环境条件变化间存在着紧密的联系,表现为降雨量丰富的玛纳斯林区土壤肥力较高,但 CaCO_3 含量较低,而降雨量较小的巴里坤和精河林区土壤肥力较差,但 CaCO_3 含量较高。虽然长达 1000 余公里的雪岭云杉中山带环境条件差异较大,但其土壤属性变化均在雪岭云杉发育所需土壤条件的允许范围之内,这主要是受土壤成土母质、不同海拔高度的降雨量、地形、局地环流等因素的共同影响。

关键词:雪岭云杉;水热组合条件;土壤属性;林限;天山北坡

文章编号:1000-0933(2008)01-0053-09 中图分类号:Q142, Q948, S718.5 文献标识码:A

Soil properties at the tree limits of *Picea schrenkiana* forests in response to varying environmental conditions on the northern slope of Tianshan mountains

CHEN Xi¹, XU Wen-Qiang¹, LUO Ge-Ping¹, LIN Qing², XIAO Lu-Xiang³

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Xinjiang Water Resources Planning Administration, Urumqi 830000, China

3 Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0053 ~ 0061.

Abstract: Coniferous forests consisting predominantly of *Picea schrenkiana* occur continuously, forming an unbroken, 1000 km forest zone extending from west to east on the northern slope of Tianshan mountains where conditions such as precipitation, temperature and terrain vary greatly. To gain insights into the role of pedological process in controlling the growth of *P. schrenkiana*, soil under the forests was studied along 4 transects located at Jinghe, Manasi, Fukang and Balikun where the natural conditions are typical and, therefore, representative for western, central and eastern Tianshan mountains. On the transects, soil samples were taken in the area near the upper and lower tree limits of the forest zone. The continuous distribution of *P. schrenkiana* on the northern slope of Tianshan mountains is a result of combined water-heat conditions and pedological factors. At the upper and lower tree limits where difference exists in soil parent material,

基金项目:中国科学院“西部之光联合学者”资助项目(20051048);国家自然科学基金资助项目(40471134)

收稿日期:2007-05-14; 修订日期:2007-10-30

作者简介:陈曦(1964~),男,浙江人,博士,研究员,主要从事遥感与地理信息系统应用研究. E-mail: chenxi@ms.xjb.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by “Western Light Related to Eastern Scholar” of Chinese Academy of Sciences (No. 20051048); National Natural Science Foundation of China (No. 40471134)

Received date: 2007-05-14; **Accepted date:** 2007-10-30

Biography: CHEN Xi, Ph. D., Professor, mainly engaged in remote sensing & GIS applications. E-mail: chenxi@ms.xjb.ac.cn

precipitation, topography, combined water-heat conditions and local atmospheric pattern, the soil properties show a close relationship with the local conditions. Because of the presence of high precipitation over the Manasi transect, the soil is fertile and low in CaCO_3 content. In contrast, low soil fertility with high CaCO_3 is seen in the soil on the Jinghe and Balikun transects where low precipitation exists. Although soil properties vary spatially due to the presence of different environmental conditions across the 1000 km forest zone on the northern slope of Tianshan mountains, soil is suitable for *P. schrenkiana* to grow. This study indicates that soil plays an important role in controlling the continuous distribution of the *P. schrenkiana* forests on the northern slope of Tianshan mountains.

Key Words: *Picea schrenkiana*; combined water-heat conditions; soil properties; upper and lower tree limits; northern slope of Tianshan mountains

森林土壤的形成受气候、地貌、土壤、植被和人为因素等的影响,其中以水热为主的气候条件影响最为密切,而地貌因素又对水热条件起着再分配作用^[1]。土壤是森林植被所需养分(包括 N、P、K 及各种微量元素等)的重要来源,土壤属性(如 pH 值、养分含量等)能影响森林植被的类型及分布,而森林植被则通过根系的吸收、穿透及地上部分的凋落物归还来影响土壤的理化性质^[2,3]。研究显示,森林生态系统的土壤属性与地形关系密切,土壤水分受坡度和坡向的影响,而不同海拔高度的温度和降水影响森林土壤形成和发育的过程^[3~6]。目前,关于森林生态系统不同海拔梯度土壤与植被以及土壤与地形关系的研究多集中在热带和亚热带地区^[3,5,7,8],对中国干旱区山地森林生态系统土壤与植被及地形关系的研究相对薄弱。天山北坡是中国干旱区的典型代表,但目前对天山北坡山地针叶林土壤与植被关系的研究还不够深入,对不同气候、地形等环境条件下土壤对针叶林分布的控制作用还尚不清楚。

天山北坡中山带发育的山地针叶林是干旱区典型的森林类型,其分布具有明显的“同构模式”^[9],即在天山北坡东西长约 1000km 的中山带仅发育以雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)为建群种的针叶林,针叶林分布的连续性没有被天山北坡东部、中部及西部的不同气候、地形影响下的水热组合条件所打破,这说明除水、热等环境条件外,土壤因素对天山北坡中山带雪岭云杉的连续分布起到了关键的控制作用。天山北坡雪岭云杉发育对土壤有较严格的选择,仅分布在海拔 1400~2800m 的中山带,且只生长在土壤湿度较大的阴坡和半阴坡,然而变化的环境条件及雪岭云杉分布的“同构模式”说明其在东西长约 1000km 的林下土壤可能具有一定的相似性;也就是说,雪岭云杉林下土壤性质的相似性在某种程度上抵消了变化的环境对雪岭云杉发育的影响,雪岭云杉分布的“同构模式”是由环境条件、土壤性质及植被本身共同作用的结果,然而事实是否如此?是否连续分布的雪岭云杉下的土壤性质具有相似性?本文通过对天山北坡中山带不同环境条件雪岭云杉上限和下限土壤性质的分析,探讨土壤因素对天山北坡雪岭云杉分布的控制作用,以期为干旱区森林生态系统的保护和更新提供理论依据,并丰富世界森林生态系统案例研究。本文主要的研究目标是:(1)天山北坡中山带不同环境条件雪岭云杉上限和下限土壤是否具有各自相似的性质;(2)探讨土壤因素对天山北坡针叶林分布的控制作用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

在我国境内,天山北坡东起哈密地区的巴尔库-哈尔雷克山,西止中-哈边界线的哈尔雷克套山,东西长约 1300km。由于天山北坡受中纬度西风带的控制,来自大西洋和北冰洋的湿润气流从西方或者西北方向吹入,受天山阻挡,随海拔升高,气温下降,在中山带出现最大降雨量,这是天山北坡山地针叶林发育的主要因素。天山北坡山地针叶林分布于海拔 1400~2800m 的阴坡和半阴坡,林带垂直宽度 700~1200m;针叶林分布区多年平均气温 $-2.8 \sim -2.5^\circ\text{C}$,年降水量 400~600mm,针叶林建群种为雪岭云杉(*Picea schrenkiana*),但在东部部分林区出现了雪岭云杉和西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*)的混交林。针叶林土壤成土母质主要为黄土状物质和钙质岩石风化物,也有坡积物和冰碛物,林下发育的山地灰褐色森林土是天山分布最集中、面积最大的山地

森林土壤类型。

根据天山北坡气候、地形等环境条件的差异,本文选择天山北坡西部的精河林区、中西部的玛纳斯林区、中东部的阜康林区和东部的巴里坤林区为研究区域,分别代表天山北坡 3 种不同的环境条件,并在每个林区选择一个断面进行土壤采样与分析(图 1)。其中精河断面位于天山北坡西部,阿拉套山东南部,受阿拉套山阻挡,来自西方的湿润气流翻越阿拉套山后变成干热焚风吹入天山北坡西部低矮的山地,致使精河林区成为雨影区,气候较干旱,采样断面针叶林上、下限高度分别为 2590m 和 1920m,林带垂直宽度仅 670m;玛纳斯断面位于天山北坡中西部,其高大的山体能够截获大量来自大西洋和北冰洋的湿润气流,致使降雨量丰富,水热条件适宜,采样断面针叶林上、下限高度分别为 2690m 和 1460m,林带垂直宽度达 1230m;阜康断面位于天山北坡中东部,虽然西南面的乌鲁木齐谷地漏走了大量西来的水汽,但天山北坡中东部高大的山体仍能截获部分湿润水汽,降雨量较丰富,采样断面针叶林上、下限高度分别为 2700m 和 1530m,林带垂直宽度 1170m;巴里坤断面位于天山北坡东部,由于西来的湿润水汽难以到达天山北坡东部,且受蒙古-西伯利亚反气旋干燥寒冷气团的侵袭,故降水稀少,气温变化剧烈,采样断面针叶林上、下限高度分别为 2800m 和 2100m,林带垂直宽度仅 700m。

1.2 土壤采样与分析

天山北坡山地针叶林土壤样品采集时间为 2005 年 6 月。在天山北坡精河林区、玛纳斯林区、阜康林区和巴里坤林区中山带各选择一个断面(图 1),在每个断面的针叶林上限和下限各采集两个土壤剖面,剖面最深处 70cm。对每个土壤剖面进行详细的土壤分层、记录和采样,在 3 个断面共采集 16 个土壤剖面,得到 75 个土壤样品。所得土壤样品经自然风干和过 2 mm 筛后,送实验室分析。

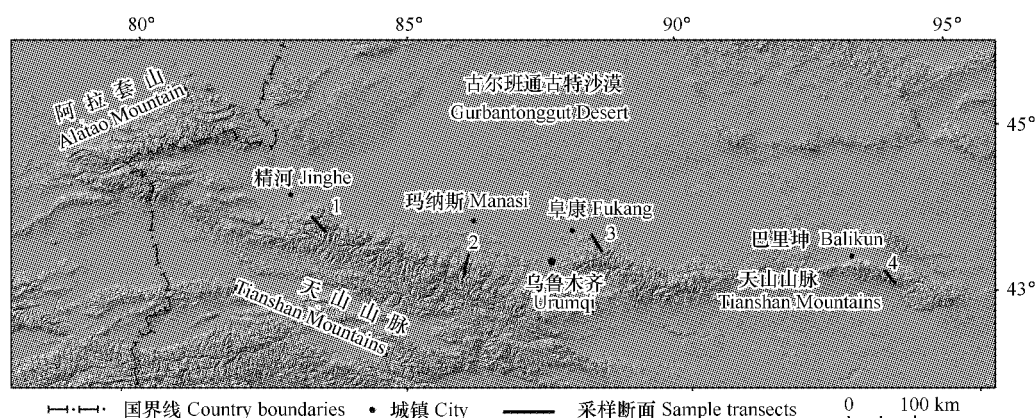


图 1 天山北坡地理位置及采样断面分布示意图

Fig. 1 The sketch map of the northern slope of Tianshan Mountains and the distribution of sample transects

1. 精河断面 Jinghe transect; 2. 玛纳斯断面 Manasi transect; 3. 阜康断面 Fukang transect; 4. 巴里坤断面 Balikun transect

土壤 pH 值用电位法测定;有机质用重铬酸钾氧化-外加热法测定;全氮用半微量开氏法测定;全磷用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定; CaCO_3 采用气量法测定;电导率采用电导法测定。

土壤有机碳含量的计算源自于土壤有机质含量,计算方法如下^[10]:

$$C(\%) = OM(\%) \times 0.58$$

式中,OM 为土壤有机质(%),C 为土壤有机碳(%).

1.3 数据分析

所有剖面样品属性分 3 层统计,分别为 0~5cm(用 A 层表示)、5~30cm(用 B 层表示)和 30~70cm(用 C 层表示)。所有土壤数据的汇总与分析是通过数理统计分析软件 SPSS 进行的。不同断面、不同海拔高度和不同剖面深度土壤性质的差异是通过单因素方差分析(One-way ANOVA)来完成的,并用 F 检验($P < 0.05$)分析数据的差异性。

2 结果与分析

2.1 天山北坡雪岭云杉土壤的基本特征

天山北坡雪岭云杉土壤属性的均值、标准方差和变异系数如表 1 所示。除全磷外,雪岭云杉上、下限土壤属性具有显著的差异性($P < 0.05$)。总体来说,雪岭云杉土壤有机质和全氮含量较高,但全磷含量相对较低;上限土壤 pH 值呈弱酸性,下限土壤呈弱碱性;上限土壤有机质、全氮含量和电导率均高于下限土壤,但下限土壤 CaCO_3 含量远高于上限,全磷含量在上、下限土壤中相差不大。从土壤变异性来看,上、下限土壤 CaCO_3 的变异系数最高,说明土壤 CaCO_3 的空间变异性较大,而全磷和 pH 值的变异系数较小,说明林限位置和剖面深度对土壤全磷和 pH 值变化的影响较小。

表 1 天山北坡雪岭云杉土壤属性的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil properties for the *Picea schrenkiana* on the northern slope of Tianshan mountains

土壤属性 Soil properties	均值 Mean		变异系数 Variation coefficient (%)	
	针叶林上限 Upper limit	针叶林下限 Lower limit	针叶林上限 Upper limit	针叶林下限 Lower limit
pH 值 Value	6.85 (0.49) b	7.97 (0.26) a	7.1	3.3
有机质 OM (%)	20.10 (14.95) a	6.69 (4.16) b	74.4	62.1
全氮 TN (%)	0.671 (0.492) a	0.268 (0.176) b	73.3	65.8
全磷 TP (%)	0.075 (0.033) a	0.073 (0.016) a	43.5	22.0
CaCO_3 (%)	0.089 (0.106) b	5.275 (4.738) a	120.0	89.8
电导率 EC (ms/cm)	0.337 (0.267) a	0.160 (0.055) b	79.2	34.2

OM: 有机质 Organic matter; TN: 全氮 Total nitrogen; TP: 全磷 Total phosphorus; EC: 电导率 Electric conductivity. 括号内的值为样品的标准方差 The value in the bracket shows the standard deviation of samples; 同一行中带有相同字母的平均值表示针叶林上限和下限土壤属性没有显著差异 ($P < 0.05$) Same letters within a column indicate not significant different ($P < 0.05$)

2.2 不同环境条件雪岭云杉上限土壤属性分析

图 2 为天山北坡不同环境条件雪岭云杉上限土壤属性均值折线图。在精河、玛纳斯、阜康和巴里坤断面所代表的四种环境条件下,雪岭云杉上限各断面土壤 PH 值从 A 层到 C 层大致呈递减趋势,即随采样深度增加 PH 值降低,这主要是由于雪岭云杉上限降雨量丰富,土壤下层湿度较高所致;土壤有机质、全氮和全磷的变化趋势基本一致,随采样深度增加其含量降低,即“表聚现象”明显,这是由于森林通过凋落物把大量有机质、氮素、及各种微量元素归还和集中于土壤表层,随着海拔高度的递增,气温逐渐降低,土壤微生物活性降低,森林凋落物的分解作用相对减弱,使得腐殖质积累作用增强^[11~13],因此在高海拔的森林上限土壤有机质和全氮含量较高;各断面土壤 CaCO_3 含量和电导率亦随采样深度增加而降低(除巴里坤和精河断面外),其中在阜康断面 A 层土壤 CaCO_3 含量出现最高值,这可能与样品采样位置选择不当有关;从全剖面土壤属性来看,上限不同环境条件下土壤有机质、全氮和全磷的“表聚现象”明显,但土壤 CaCO_3 和电导率在不同环境条件下均值变化的规律性不明显。

从不同断面土壤属性来看,玛纳斯断面土壤有机质、全氮、全磷含量最高,精河和巴里坤断面较低。这是因为玛纳斯断面所在的中部天山为天山脉宽度最大、代表性最强的山地,其高大的山势和宽阔的山体能阻挡大量西来的湿润气流,致使天山北坡中部林区降雨量丰富,水热组合条件适宜,从针叶林上限到下限的林带垂直宽度均大于 1000m,且郁闭度较高,林下灌草植被繁茂,这使得土壤蒸发作用相对减弱,土壤通气度受到影响,其中好气性微生物,尤其是好气性细菌的繁殖受到影响,使得土壤中有机质分解的嫌气状况较强烈,从而加强了腐殖质的积累过程,因此土壤中有机质、全氮和全磷含量较高^[14];而天山北坡西部的精河林区为“雨影区”,东部的巴里坤林区又受蒙古-西伯利亚反气旋干燥气流的影响,同时受地质构造因素的影响,精河和巴里坤山地山势较矮、山体较窄,难以截获高空湿润水汽,因此,林区降雨量都较小,林带垂直宽度较窄,针叶林郁闭度较低,森林生产力低下,森林凋落物和腐殖质积累过程较弱,致使其土壤有机质、全氮和全磷含量较低。

综上所述,雪岭云杉上限土壤 PH 值、有机质、全氮和全磷含量变化随环境条件表现出了一定的规律性,

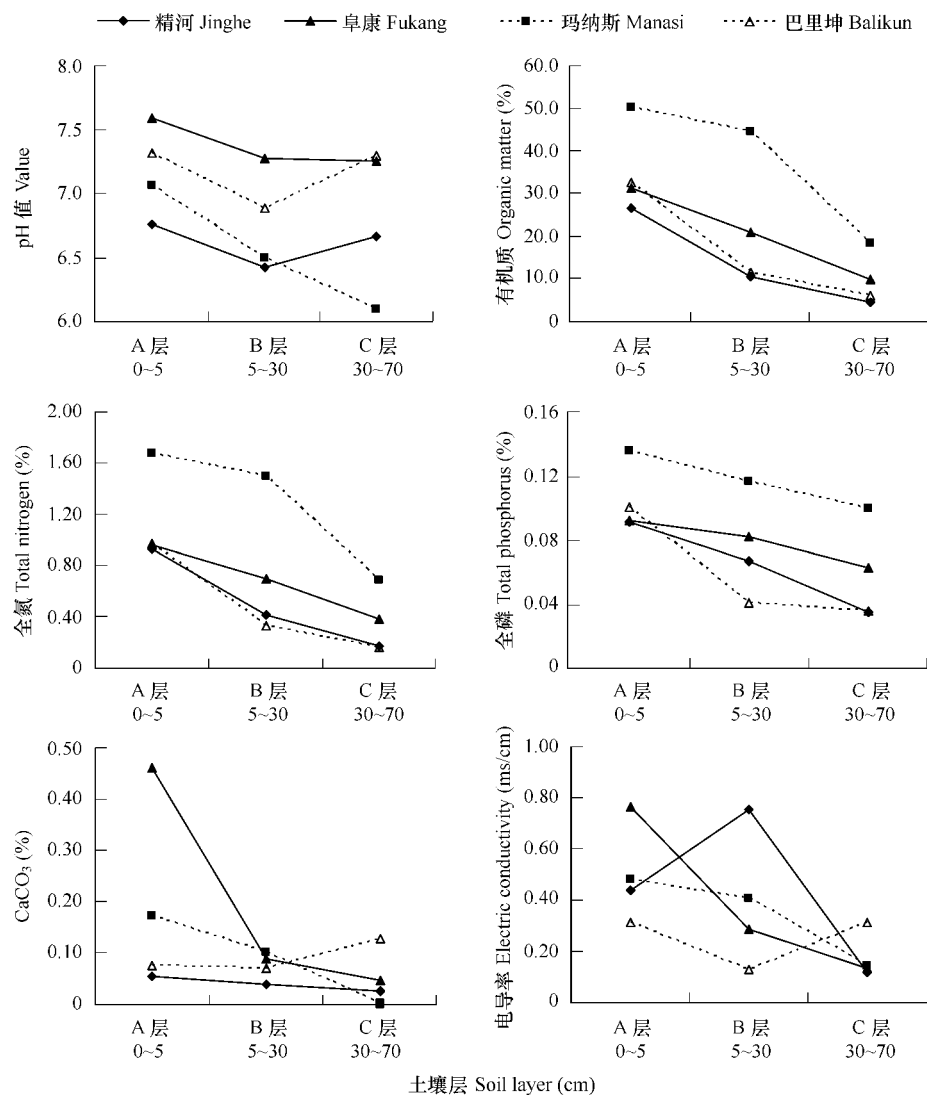


图2 天山北坡不同环境条件雪岭云杉上限土壤性质

Fig 2 Soil properties of upper limit for *Picea schrenkiana* under different environment conditions

其中 pH 值随采样深度的增加而递减,土壤有机质、全氮和全磷的“表聚现象明显”,且在水热组合条件适宜的玛纳斯断面含量最高,CaCO₃和电导率对不同断面的环境条件较为敏感,变异性较强。

2.3 不同环境条件雪岭云杉下限土壤属性分析

图3为天山北坡不同环境条件雪岭云杉下限土壤属性均值折线图。在天山北坡4种不同的环境条件下,雪岭云杉下限土壤pH值呈弱碱性,且随采样深度的增加而碱性增强;土壤有机质、全氮和全磷具有相似的变化趋势,亦表现出较强的“表聚现象”,其中玛纳斯断面含量仍较高,但阜康断面相对较低,这与上限各断面土壤性质有所不同,主要是由于阜康断面西南面的乌鲁木齐谷地漏走了大量西来的水汽,同时阜康中山带雪岭云杉下限距离北部荒漠盆地较近,受益地干燥气流的影响较大,故而林区下限降雨量较小,致使针叶林土壤肥力较低;各断面土壤CaCO₃含量随采样深度的增加而增大;电导率在A层较高,B层和C层变化规律不明显,其中巴里坤断面C层电导率明显偏高,这可能是由于该采样点位于针叶林下限的小河沟内,其土壤性质受洪水沉积物的影响较大。从全剖面土壤属性来看,土壤有机质、全氮、全磷和电导率的“表聚现象”明显,而CaCO₃则表现出了向下聚集的趋势。

从不同断面土壤属性来看,受地形、大气环流及盆地干燥气流等的影响,玛纳斯断面土壤有机质、全氮和

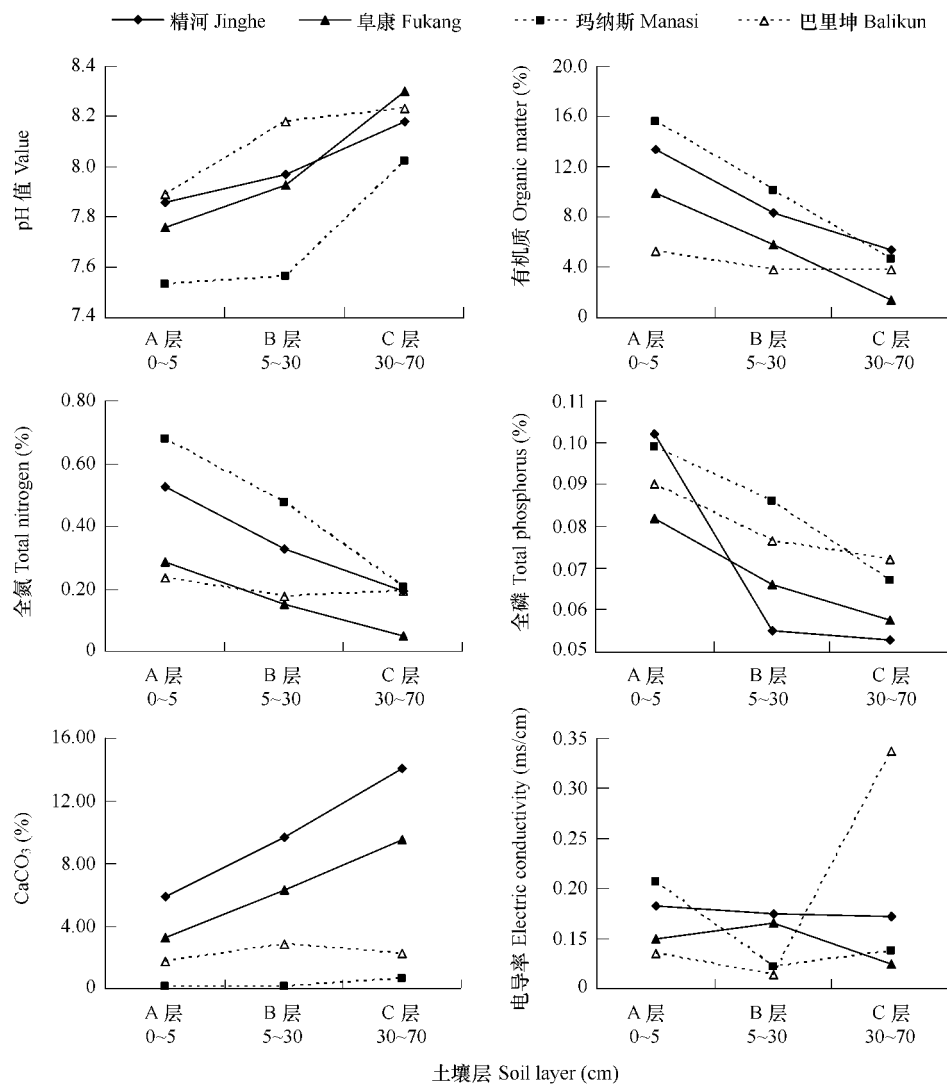


图3 天山北坡不同环境条件雪岭云杉下限土壤性质

Fig 3 Soil properties of lower limit for *Picea schrenkiana* under different environment conditions

全磷含量较高,阜康、巴里坤和精河断面相对较低。与上限各断面土壤属性相比,下限土壤 pH 值偏弱碱性, CaCO_3 含量很高,且都随土壤采样深度的增加而增大,这是由于天山北坡针叶林土壤成土母质为黄土和钙质岩石风化物,其母质中丰富的 CaCO_3 对土壤生物循环过程中形成的有机酸起着中和作用,抑制了酸性淋溶过程的发展,使土壤 pH 值趋于中性。同时,针叶林上限海拔较高,降雨量丰富,土壤具有较强的淋溶特征,致使 CaCO_3 被淋洗到土壤深层聚集,而针叶林下限受盆地干燥气流影响较大,降雨量较小,土壤淋溶特征不明显,对 CaCO_3 的淋洗较弱,使得 CaCO_3 在针叶林下限土壤中含量较高,其对生物循环过程中形成的有机酸的中和作用较强^[15,16]。因此,雪岭云杉上限土壤 CaCO_3 含量较低,但下限较高,且下限 CaCO_3 含量较高的土壤层其 pH 值也较高。

综上所述,雪岭云杉下限土壤 pH 值随采样深度增加而碱性增强,土壤有机质、全氮、全磷的“表聚现象”明显,但受地形、盆地干燥气流等的影响,阜康断面土壤肥力偏低,同时 CaCO_3 表现出了向下聚集的趋势,这与上限土壤性质有所不同。

2.4 雪岭云杉上、下限不同深度土壤属性比较分析

表2为雪岭云杉上、下限土壤属性均值统计表。对比雪岭云杉各剖面土壤属性,上限各层土壤 PH 值均小于下限土壤,而上限各层土壤有机质和全氮含量明显高于下限土壤,但全磷含量在上、下限各层土壤中很接

近,这可能是由于研究区雪岭云杉土壤中磷素含量较低、变异性较小所致。受天山北坡针叶林土壤成土母质及不同海拔高度降雨量的影响,下限各层土壤 CaCO_3 含量远高于上限土壤。在不同剖面深度,雪岭云杉上限土壤电导率明显高于下限土壤,且各土壤剖面 A 层电导率较高(除个别剖面受采样位置影响外),这是由于上层土壤有机质含量较高,土壤阳离子交换量较大^[17],故而土壤电导率随土壤深度增加而逐渐降低。

无论是 A、B 或者 C 层,天山北坡雪岭云杉上限各断面土壤 C/N 比均大于下限,其中 A 层 C/N 比的变动范围为 11~24,结合枯枝落叶层的分解状况,我们认为天山北坡雪岭云杉土壤腐殖质为软腐殖质类型(C/N 范围为 10~20),这与寒温带大兴安岭棕色针叶林土的粗腐殖质类型(C/N 比大于 20)^[18]和海南岛五指山热带雨林下砖红壤的熟腐殖质类型(C/N 比小于 10)有明显区别^[19]。

表 2 天山北坡不同环境条件雪岭云杉上、下限土壤均值统计

Table 2 Mean statistics of soil properties in the upper and lower limit under the different environment conditions

土壤属性 Soil properties	A 层 Layer		B 层 Layer		C 层 Layer	
	针叶林上限 Upper limit	针叶林下限 Lower limit	针叶林上限 Upper limit	针叶林下限 Lower limit	针叶林上限 Upper limit	针叶林下限 Lower limit
pH 值 Value	7.18	7.76	6.77	7.91	6.83	8.18
有机质 OM (%)	35.04	11.02	21.85	6.99	9.59	3.82
全氮 TN (%)	1.131	0.433	0.730	0.282	0.345	0.161
C/N	18.07	15.20	17.44	15.22	16.94	14.01
全磷 TP (%)	0.105	0.093	0.076	0.071	0.058	0.062
CaCO_3 (%)	0.189	2.777	0.073	4.778	0.049	6.619
电导率 EC (ms/cm)	0.499	0.169	0.392	0.144	0.176	0.193

OM: 有机质 Organic matter; TN: 全氮 Total nitrogen; TP: 全磷 Total phosphorus; EC: 电导率 Electric conductivity

总之,在 4 种不同的环境条件下,雪岭云杉上、下限土壤属性均值各不相同,但是其属性变化与各断面的环境条件密切相关。玛纳斯断面水热组合条件较好,土壤有机质、全氮和全磷含量较高,但 CaCO_3 含量较低,巴里坤和精河断面水热组合条件相对较差,土壤有机质、全氮和全磷含量较低,但 CaCO_3 含量较高。虽然各断面的环境条件不同,土壤属性的变化幅度也不相同,天山北坡雪岭云杉上限和下限土壤具有各自的相似性,因为土壤属性均值的变化随环境条件的变化表现出了可循的规律性,且其变化幅度均在雪岭云杉发育所需土壤条件的允许范围之内。

3 结论与讨论

天山北坡中山带雪岭云杉上、下限土壤采样数据分析结果显示,天山北坡中山带东西长约 1000 km 的雪岭云杉上限和下限土壤具有各自相似的性质,土壤属性变化与环境条件变化间存在着紧密的相关性,表现为降雨量丰富的针叶林土壤肥力较高,而降雨量较小的针叶林土壤肥力较差,这主要是中山带森林植被与土壤相互适应的结果^[20],土壤通过水、肥、气、热等生态因子影响森林植被,而森林植被则通过根系的吸收、穿透、菌根及地上部分的凋落物归还来影响土壤的理化性质,尤其是森林凋落物在表层的不断聚集导致土壤产生“自肥作用”就是其最显著的影响^[2,21,22]。这种相互作用使得东西长约 1000 km 的雪岭云杉土壤属性具有相似性,虽然在气候、地貌等条件的影响下土壤属性值出现了一定幅度的变化,但其一致性趋势并没有被打破,水热组合、土壤等因素的综合作用并没有改变其上生长的主要植被类型(以雪岭云杉为建群种),说明土壤属性的变化幅度均在雪岭云杉发育所需土壤条件的允许范围之内。

然而,并非天山北坡雪岭云杉发育对土壤环境的要求不高,因为在阳坡虽然具备一定的水热组合条件,但并不发育雪岭云杉,主要原因是阳坡接受的太阳辐射能多于阴坡,但其地面蒸发耗水却大于阴坡,故阳坡温度状况虽比阴坡好,但水分状况却比阴坡差,植被覆盖度一般也低于阴坡,从而导致阴坡和阳坡土壤的物理、化学和生物过程的显著差异^[23,24]。这说明雪岭云杉发育对水热组合和土壤条件仍有较严格的要求,这也导致天山北坡雪岭云杉在中山带并不能构成连续的林带,而呈条块状分布于阴坡和半阴坡,这完全不同于我国东北大兴安岭林区的“林海”景观^[25]。因此,土壤是除水热组合条件外控制天山北坡雪岭云杉呈“同构模式”分

布的重要因素。

天山北坡针叶林分布与土壤具有密切的关系,本文研究表明雪岭云杉在天山北坡的连续分布主要是水热组合条件和土壤因素相互作用的结果。然而,要深入研究天山北坡土壤与植被的关系、揭示土壤对雪岭云杉分布的控制作用,还需开展土壤其它性质(如土壤粒度、土壤微生物等)以及植被生理特征方面的研究。

References:

- [1] Zhang W R. China forest soil. Beijing: Science Press, 1986. 587—642.
- [2] Ouyang X J, Huang Z L, Zhou G Y, *et al.* Accumulative effects of forest community succession on soil chemical properties in Dinghushan of Tropical China, *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(4): 51—54.
- [3] Tsui C C, Chen Z S, Hsieh C F. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan, China. *Geoderma*, 2004, 123: 131—142.
- [4] Wang T, Liang Y, Ren H B, *et al.* Age structure of *Picea schrenkiana* forest along an altitudinal gradient in the central Tianshan Mountains, northwestern China. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196: 267—274.
- [5] Joan R, Jaime F, Teresa S Y, *et al.* Soil-plant relationships and tree distribution in old growth *Nothofagus betuloides* and *Nothofagus pumilio* forests of Tierra del Fuego. *Geoderma*, 2005, 124: 169—180.
- [6] Kong F H, Li X Z, Yin H W. Gradient analysis on the influence of terrain on the forest landscape pattern in the burned blanks of the north slope of Mt. Daxing'anling. *Acta Ecologica Sinica*, 24(9): 1863—1870.
- [7] Couteaux M M, Sarmiento L, Bottner P, *et al.* Decomposition of standard plant material along an altitudinal transect (65—3968 m) in the tropical Andes. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34: 69—78.
- [8] Yang Y C, Da L J, You W H. Vegetation structure in relation to micro-landform in Tiantong National Forest Park, Zhejiang, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2830—2840.
- [9] Zhang B P, Zhou C H, Chen S P. The geo-info-spectrum of montane altitudinal belts in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 163—171.
- [10] Mann L K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science*, 1986, 142: 279—288.
- [11] Markus R, Frank B, Gabriele B, *et al.* Temperature dependence of carbon mineralization: conclusions from a long-term incubation of subalpine soil samples. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 947—958.
- [12] Dalias P, Anderson J M, Bottner P, *et al.* Long-term effects of temperature on carbon mineralization processes. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33: 1049—1057.
- [13] Drewnik M. The effect of environment conditions on the decomposition rate of cellulose in mountain soils. *Geoderma*, 2006, 132: 116—130.
- [14] Luo M, Pang J F, Li X Y, *et al.* Microbiological characteristics and enzymes activity of the forest-soil in *Picea schrenkiana* var *Tianshan* in Xinjiang. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(1): 26—30.
- [15] Chang Z H, Sun J K. Forest soil of xinjiang mountain region. Urumqi: Xinjiang Science Technology and Hygiene Publishing House, 1995. 152—198.
- [16] Liu S Y, Zhang S R, Wu J, *et al.* Relationship of soil PH value with CaCO_3 content. *Soil*, 2002, 5: 279—288.
- [17] Sun Y R. Experimental survey for the effects of soil water content and soil salinity on soil Electric conductivity. *Journal of China Agricultural University*, 2000, 5(4): 39—41.
- [18] Geng Y Q, Sun X Y, Kang X G, *et al.* Soil fertility of different forest types in the Changbai Mountains. *Journal of Beijing Forestry University*, 1999, 21(6): 97—101.
- [19] Hu Y J. A comparison of the forest of Wuzhishan (Hainan Island) and Nanjenshan (Taiwan Island). *Acta Science Natural of Zhongshan University*, 1996, 35(6): 80—84.
- [20] Guo Y N, He Q J, Yuan L. Summarization of forest soil fertility. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004, 20(3): 143—148.
- [21] Chen Z S, Hsieh S F, Jiang F Y, *et al.* Relationships of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rain forest in southern Taiwan. *Plant Ecol.*, 1997, 132: 229—241.
- [22] Venterea R T, Lovett G M, Groffman P M, *et al.* Landscape patterns of net nitrification in a northern hardwood-conifer forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, 67: 527—539.
- [23] Kang E S, Cheng G D, Song K C, *et al.* Simulation of energy and water balance in Soil-Vegetation- Atmosphere transfer system in the mountain area of Heihe River Basin at Hexi Corridor of northwest China. *Science in China (Series D)*, 2005, 48(4): 538—548.
- [24] Ren Q S, Yang X L, Cui G F, *et al.* Smith fir population structure and dynamics in the timberline ectone of the Sejila Mountain, Tibet, China.

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2669—2677.

- [25] Li J Q, Li J W. Regeneration and restoration of broad-leaved Korean pine forests in Lesser Xing'an Mountains of Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(7): 1268—1277.

参考文献:

- [1] 张万儒. 中国森林土壤, 北京: 科学出版社, 1986. 587~642.
- [2] 欧阳学军, 黄忠良, 周国逸, 等. 鼎湖山亚热带森林群落演替对土壤化学性质影响的积累效应研究. 水土保持学报, 2003, 17(4): 51~54.
- [6] 孔繁花, 李秀珍, 尹海伟, 等. 地形对大兴安岭北坡林火迹地森林景观格局影响的梯度分析. 生态学报, 2004, 24(9): 1863~1870.
- [8] 杨永川, 达良俊, 由文辉. 浙江天童山国家森林公园微地形与植被结构的关系. 生态学报, 2005, 25(11): 2830~2840.
- [9] 张百平, 周成虎, 陈述彭. 中国山地垂直带信息图谱的探讨. 地理学报, 2003, 58(2): 163~171.
- [14] 罗明, 庞峻峰, 李叙勇, 等. 新疆天山云杉林区森林土壤微生物特性及酶活性. 生态学杂志, 1997, 16(1): 26~30.
- [15] 常直海, 孙继坤. 新疆山地森林土壤. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995. 152~198.
- [16] 刘世全, 张世熔, 伍钧, 等. 土壤 pH 与碳酸钙含量的关系. 土壤, 2002, 5: 279~288.
- [17] 孙宇瑞. 土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响. 中国农业大学学报, 2000, 5(4): 39~41.
- [18] 耿玉清, 孙向阳, 亢新刚, 等. 长白山林区不同森林类型下土壤肥力状况的研究. 北京林业大学学报, 1999, 21(6): 97~101.
- [19] 胡玉佳. 海南岛五指山与台湾岛南仁山森林比较研究. 中山大学学报(自然科学版), 1996, 35(6): 80~84.
- [20] 郭艳娜, 霍沁建, 袁玲. 森林土壤肥力概述. 中国农学通报, 2004, 20(3): 143~148.
- [24] 任青山, 杨小林, 崔国发, 等. 西藏色季拉山林线冷杉种群结构与动态. 生态学报, 2007, 27(7): 2669~2677.
- [25] 李俊清, 李景文. 中国东北小兴安岭阔叶红松林更新及其恢复研究. 生态学报, 2003, 23(7): 1268~1277.