

藏东南色季拉山急尖长苞冷杉 (*Abies georgei* var. *smithii*) 林线的生态气候特征

何吉成^{1,2,*}, 罗天祥¹, 徐雨晴³

(1. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085; 2. 中国铁道科学研究院节能环保劳卫研究所, 北京 100081;
3. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

摘要:高山林线因其对气候因子的敏感性和自身结构的不稳定性而被视为气候变化的“监视器”,通过自动微气象站对藏东南色季拉山急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *smithii*)林线气象因子的连续监测,探讨了色季拉山高山林线的生态气候特征。结果表明:在色季拉山急尖长苞冷杉林线处,年平均温度为 1.3℃,年平均相对湿度为 79.4%,全年降水量为 892.6 mm,主要集中在 6、7、8、9 月 4 个月份。林线最热月平均温度为 9.4℃,最冷月平均温度为 -6.4℃,年生物温度为 3.1℃,温暖指数是 11.6℃月,寒冷指数是 -55.9℃月,生长季内平均温度为 7.7℃,生长季长度为 133d,大陆度指数为 34.0,湿润指数为 217.5。其温暖指数与我国两种山地森林树种祁连圆柏和喜马拉雅冷杉的分布上限较为接近。林线的最热月温度、年生物学温度和生长季平均温度与全国高山林线的平均值十分接近。从全球范围来看,色季拉山林线最热月平均温度 9.4℃与全球均值 10℃很接近。生长季内 10cm 深度的土壤均温为 6.22℃,接近 Körner 观测的(6.7 ± 0.8)℃全球均值。

关键词:高山林线;色季拉山;急尖长苞冷杉;温暖指数;气候

文章编号:1000-0933(2009)01-0037-10 中图分类号:Q142,Q948,S718.5 文献标识码:A

Characteristics of eco-climate at smith fir timberline in the Sergyemla Mountains, Southeast Tibetan Plateau

HE Ji-Cheng^{1,2,*}, LUO Tian-Xiang¹, XU Yu-Qing³

1 Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Energy Saving, Environmental Protection & Occupational Safety and Health Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China

3 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0037 ~ 0046.

Abstract: The alpine timberline has been considered as a “monitor” of climatic change because of its sensitivity to climatic factors and non-stability in its structure. In this study, we investigated the eco-climatic characteristics at the alpine timberline of smith fir (*Abies georgei* var. *smithii*) in Tibetan Plateau using continuous data collected from micro-meteorological station. The results indicated that at the smith fir timberline in the Sergyemla Mountains, annual mean temperature and relative humidity were 1.3℃ and 79.4%, respectively. Annual precipitation was 892.6mm, most of which occurred between June and September. Mean temperatures for the warmest month and the coldest month were 9.4℃ and -6.4℃, respectively. The annual bio-temperature, warmth index and cold index were 3.1℃, 11.6℃. month and -55.9℃. month, respectively. The growing season length was 133 days, and the seasonal mean temperature was 7.7℃. The continentality index and moisture index were 34.0 and 217.5, respectively. The warmth index at smith fir timberline

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40701008, 40671069);国家重点基础研究发展规划资助项目(2005CB422005);中国博士后科学基金资助项目(20060390518)

收稿日期:2008-07-22; 修订日期:2008-11-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hejc@itpcas.ac.cn

was close to that at the upper limits of Qilian savin (*Sabina przewalskii*) and Himalayan fir (*Abies spectabilis*). Moreover, the mean temperature for the warmest month, the annual bio-temperature, and the mean temperature for growing seasons at smith fir timberline were very close to the averaged values of alpine timberlines across china. The mean temperature for the warmest month at alpine timberline in Sergyemla Mountains, 9.4°C was also close to the averaged value in the world (10°C). At the Sergyemla Mountains timberline, the mean soil temperature in 10cm depth during the growing season was 6.22°C , which was close to the averaged value ($(6.7 \pm 0.8)^{\circ}\text{C}$) in the world observed by Körner.

Key Words: alpine timberline; Sergyemla Mountains; smith fir; warmth index; climate

高山林线(alpine timberline)是指山地森林与高山灌丛或草甸之间的生态过渡带,高山林线的乔木处于高寒、严酷气候胁迫的临界状态,对全球性和区域性的气候变化反应敏感。高山林线因其对气候因子的敏感性和自身结构的不稳定性而被视为气候变化的“监视器”,在全球变化研究中受到广泛的关注^[1-6],国际山地研究行动计划“Global Change and Mountain Regions”也强调了对高山林线动态变化监测的重要性^[7]。

在高山林线形成原因的探讨上,热量和温度方面的解释一直占主导地位。由赤道到极地,高山林线出现的海拔高度逐渐降低,于是就有人认为这证明了温度对高山林线的决定性影响^[8],Tranquillini 也认为:“温度对林线高度具有压倒一切的影响”^[9]。Körner^[10]总结了全球多个地区林线的调查资料,认为热量或温度指标是驱动林线形成的主导因素,从全球尺度看,具有共性的是林线处生长季平均气温基本都在 $5.5 \sim 7.5^{\circ}\text{C}$ 之间。Körner 认为如果用夏季最热月平均温度 10°C 来指示高山林线位置的话,该指标仅适用于 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 的纬度范围内^[10]。Jobbagy 和 Jackson 对全球 115 个山地林线资料(不包括热带地区)进行统计分析发现经过标准化的年平均温度和季节性温度变幅可共同解释全球 79% 的林线海拔高度变化^[11],但该研究未能给予合理的生态学解释。在东亚和南亚的研究表明,生长季积温如温暖指数 15°C 月是限制林线高度的主要气候因子^[12]。随着研究的深入,土壤温度对林线的限制作用受到了更多的关注,Körner 认为生长季的土壤低温最可能是林线形成的驱动因子^[10]。为解释全球林线的形成,Körner 又提出假说认为,有一个最低温度,它能满足产生足够的新细胞和完成高等植物组织的发育和分化^[13]。最近,Körner 和 Paulsen 基于全球 46 个不同地区林线土壤温度的观测数据进一步揭示^[14],生长季内林线地下 10cm 的平均土壤温度为 $(6.7 \pm 0.8)^{\circ}\text{C}$ 。王襄平等^[15]分析了我国 137 处林线资料,认为我国林线高度的温度指标为:年生物学温度 3.5°C ,温暖指数 14.2°C 月,生长季平均温度 8.2°C 。

青藏高原东南部是我国森林资源的重要分布区,拥有以云冷杉为主的大面积暗针叶林,形成了由云冷杉和柏木等树种组成的高山林线,成为雪域高原上的特色景观之一^[16,17]。青藏高原是我国气候变化的启动区,1980 年以来开始的新暖期和 1955 年以来 10a 尺度的温度波动都是在高原东南部的林芝、波密等地方最先出现,然后逐渐向东向北传播^[18]。在过去的 40a 里,青藏高原东南部气候暖湿化十分明显,降水量的增加尤为显著^[19]。有研究表明^[15],青藏高原东南部是世界上最高的林线分布区域。由此可见,青藏高原东南部既是世界上最高的林线分布区域又是气候变化最为明显的区域之一,因此了解该地区林线的生态气候指标可以为分析未来气候情景下林线的可能变化提供基础。然而,由于野外条件和研究手段等因素的制约,对青藏高原东南部色季拉山林线的水热因子的监测工作尚未开展。色季拉山地处青藏高原东南部的西藏林芝县,植被垂直带谱完整,具有典型的高山林线。始建于 2005 年 8 月的中国科学院藏东南高山环境站的色季拉山林线观测点位于林芝县色季拉山自然保护区 113 道班附近,建立了固定的急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *smithii*)林线观测样地,目前已经系统地开展了林线气象要素、土壤温度和水分、树干径向生长及凋落物的动态监测项目,为开展高山林线研究提供了很好的野外定位实验平台。本研究以该林线观测点为依托,通过自动气象站的定位监测数据,(1)探明色季拉山高山林线处具体的水热指标;(2)比较该地林线的生态气候指标与全国乃至世界上其它地区林线的异同。该研究工作将为探讨青藏高原东南部高山林线的形成机理奠定基础,便于更准确地理解藏东南高山林线对未来气候变化的可能响应,弥补我国在这一领域的不足。

1 研究地点和方法

1.1 林线样地概况

色季拉山位于藏东南雅鲁藏布江大拐弯西北侧,属念青唐古拉山向南延伸的余脉,主峰海拔 5200 m,地处念青唐古拉山与喜马拉雅山接合部林芝县境内。2005 年 8 月中国科学院青藏高原研究所藏东南高山环境站在色季拉山西坡的阴坡设立了一块固定样地来开展高山林线定位实验,样地的地理位置为:94°36'38"E, 29°35'59"N,海拔 4320 m。位于色季拉山阴坡急尖长苞冷杉林郁闭林上限,样地大小为 100 m × 100 m,坡向西北,平均坡度约为 37°左右。在样地内,乔木层树种较为单一,仅有急尖长苞冷杉,每公顷株数达到 459 株,平均胸径为 35.6 cm。灌木层主要是黄杯杜鹃(*Rhododendron wardii*),海绵杜鹃(*Rhododendron pingianum*)、山生柳(*Salix oritrepha*)、冰川茶藨子(*Ribes glaciale*)、西南花楸(*Sorbus rehderiana*)等。草本层主要有蹄叶橐吾(*Ligularia fischeri*)、西藏草莓(*Fragaria nubicola*)、甘青老鹳草(*Geranium pylzowianum*)、毛盔马先蒿(*Pedicularis trichoglossa*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、长果婆婆纳(*Veronica ciliata*)、昌都点地梅(*Androsace bisulca*)等。林下急尖长苞冷杉幼树幼苗每公顷株数为 141 株,平均高度为 0.70 m。样地内土壤以酸性棕壤为主,土层较厚,pH4 ~ 5^[20]。

1.2 气象数据

在距离郁闭林林缘约 25m 的样地位置上设立了一套自动气象站系统,该系统来自台湾 Jauntering 公司(<http://www.jaunter.com.tw>),监测项目有气温、相对湿度、土壤温度、土壤湿度、土壤热通量和降水量。根据样地中树木根系在土壤中的分布情况,在距地表 5、20 cm 和 60 cm 3 个层次上,埋设土壤温度、土壤湿度和土壤热通量的传感器,在无树冠遮挡的开阔地段上安置了一个测定精度为 0.2mm 的雨量筒,自动气象站系统各传感器型号及参数见表 1。系统设定对气象数据每 15min 采样 1 次,每小时自动计算并保存该时段内的均值,数据同时存储在数据采集器(型号:HL20,来自台湾 Jauntering 公司)和外挂数据存储卡(型号:EESM512 solid state storage module)中。

1.3 气候指标的计算

利用自动气象站的观测数据,计算了色季拉山林线处以下各项气候指标^[15]的值:

(1)最热月平均温度(Mean temperature for the warmest month, MTWM);

(2)最冷月平均温度(Mean temperature for the coldest month, MTCM);

(3)年均温(Annual mean temperature, AMT);

(4)气温年较差(Annual range of temperature, ART);

(5)年生物温度(Annual biotemperature, ABT): $ABT = \frac{1}{12} \sum t_i$,式中 t_i 为大于 0℃ 的月平均温度,如果 $t_i > 30℃$,则 $t_i = 30℃$;

(6)温暖指数(Warmth Index, WI): $WI = \sum (t_i - 5)$,式中 t_i 为大于 5℃ 的月平均温度;

(7)寒冷指数(Cold Index, CI): $CI = - \sum (5 - t_i)$,式中 t_i 为小于 5℃ 的月平均温度;

(8)生长季(日均温大于 5℃ 的时段)平均温度(Mean temperature for growing season, MTGS);

(9)生长季长度(Growing season length, GSL);

(10)大陆度指数: $K = \frac{1.7 \times ART}{\sin(L)} - 20.4$,式中 L 为纬度,ART 为气温年较差;K 值越大,大陆性气候越强;

(11)湿润指数(Moisture Index, MI)^[21]: $MI = \sum_{i=1}^n (P_i/2 - t_i)$,式中 P_i 为月平均温度大于 5℃ 的月份的月降水量, t_i 为月平均温度大于 5℃ 的月份的月平均气温, n 为月平均温度大于 5℃ 的月份数。

2 结果与分析

2.1 林线的总体气候特征

该样地属于林线附近的高寒地带,这一地带气温低,昼夜温差大,冬天易受到大风和暴风雪的影响,降雨

量和空气相对湿度较大,属于寒冷半湿润气候。根据样地内的自动微气象站监测数据发现,从2006年1月~2006年12月,全年平均气温为1.3℃,其中12月份平均气温最低,为-6.4℃,7月份平均气温最高,为9.4℃(图1)。全年最低和最高日平均温度分别为-10.2℃(1月26日)和13.1℃(7月18日)。全年平均相对湿度为79.4%,全年降水总量为892.6 mm,其中6、7、8、9月降雨量分别为:142.0 mm、148.6 mm、88.2 mm和119.4 mm,占全年降水量的56%(图1)。与位于山脚的林芝气象站(海拔3000m)相比,年平均气温低7.3℃,7月份平均气温低6.4℃,最冷月平均气温要低6.8℃,但年降水量要多215.4 mm。与色季拉山东坡^[22](海拔3900m)相比,年平均气温高2.0℃,但年降水量要少241.5 mm,这是因为色季拉山东坡更易受到印度洋湿润气团的影响,导致东坡降水要比西坡多。不同深度的土壤水热变化状况如图2所示,可见,与深层土壤相比,浅层土壤的温度、湿度和热通量波动更大。6、7、8、9、10月5个月份,土壤温度基本上在0℃以上,其它月份均在0℃以下。6、7月份土壤迅速升温,在7月中旬后达到年度最大值。就土壤热通量而言,只有6、7、8、9月4个月份,热量由地表向下传输,而其它月份,土壤基本上是由下向上散失热量。因为5月底6月初,厚层积雪的融化完毕,积雪对太阳辐射的反射作用消失,同时积雪融化后的水分渗入土壤,因而此时土壤热通量和土壤湿度急剧跳升到年度最大值(图2)。

表1 自动气象站系统监测项目及传感器情况

Table 1 The items measured by auto-meteorological system and the sensors

监测项目 Items measured	传感器名称 Sensors' name	传感器型号 Sensors' type	厂家 Manufacturer
气温 Temperature (℃)	温湿探头	TRH-S	台湾 Jauntering 公司
相对湿度 Relative humidity (%)	温湿探头	TRH-S	台湾 Jauntering 公司
土壤温度 Soil temperature (℃)	温度探头	111N	台湾 Jauntering 公司
土壤热通量 Soil heat flux (W m ⁻²)	热通量板	HFP01	台湾 Jauntering 公司
土壤湿度 Soil moisture (%)	土壤湿度探头	AQUA-TEL-TDR	美国 Automata 公司
降雨 Precipitation (mm)	雨量筒	7852M-AB	台湾 Jauntering 公司

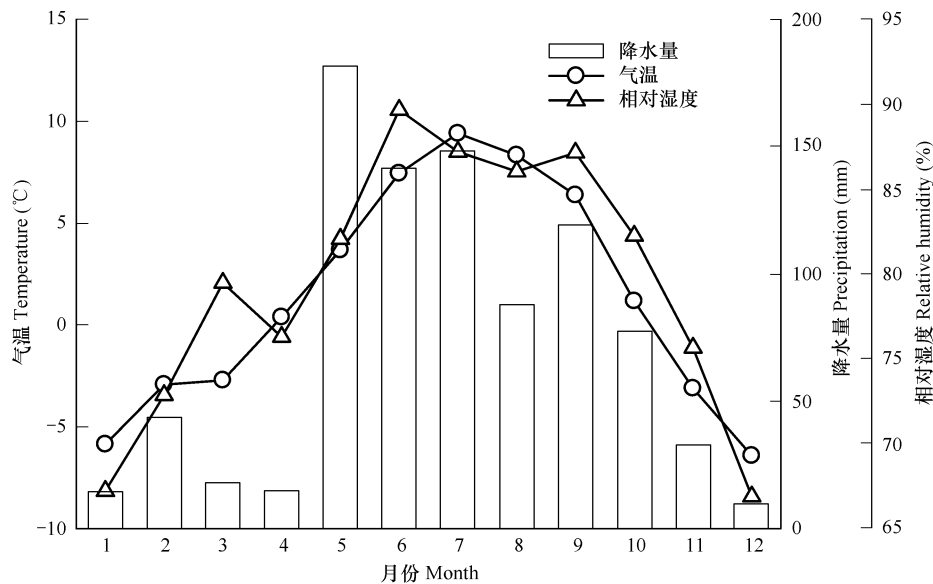


图1 急尖长苞冷杉林线实验样地温度、降水及相对湿度

Fig. 1 Temperature, precipitation and relative humidity in the experimental plot

2.2 林线的各项气候指标及比较

利用林线处月平均温度和月降水量数据,分别计算了林线下列各项气候指标:最热月平均温度9.4℃(7月份),最冷月平均温度-6.4℃(12月份),年均温1.3℃,气温年较差15.8℃,年生物温度3.1℃,温暖指数

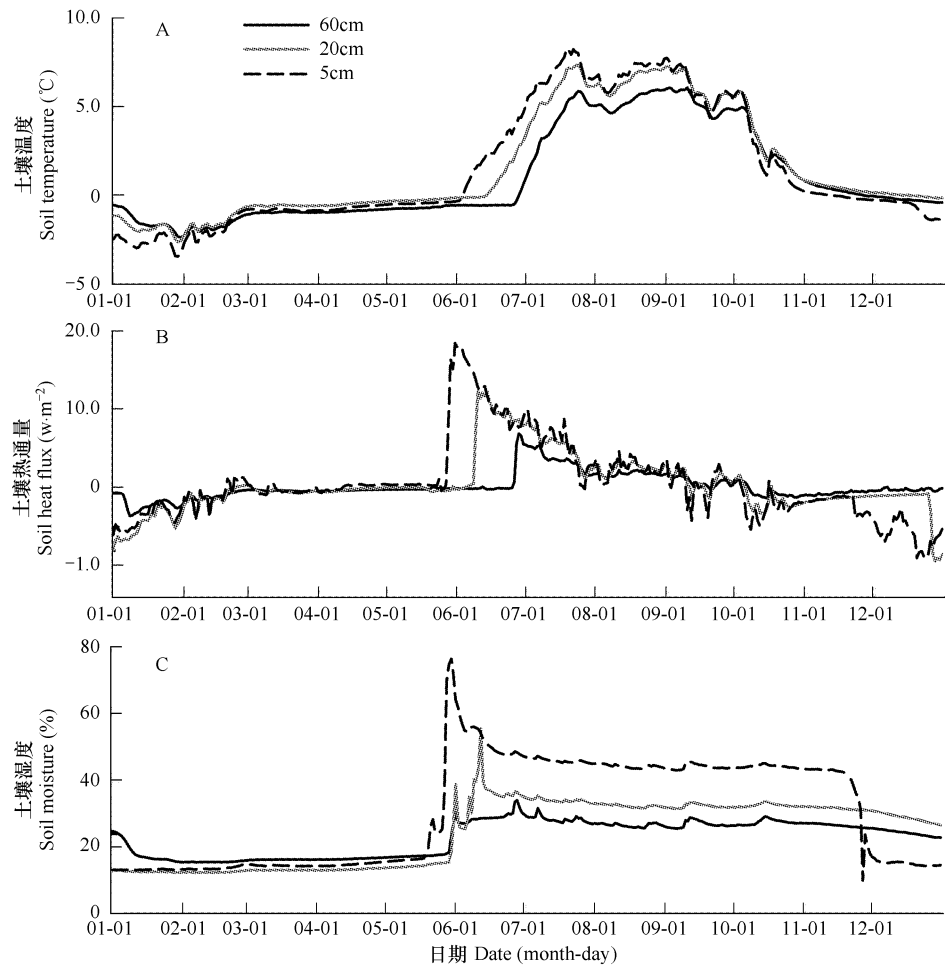


图2 急尖长苞冷杉林线实验样地不同层次土壤的温度(A)、热通量(B)和湿度(C)

Fig. 2 Soil temperature (A), heat flux (B) and moisture (C) in different depth in the experimental plot

11.6℃月,寒冷指数-55.9℃月,生长季平均温度7.7℃,生长季长度133d(5月25日~10月4日),大陆度指数34.0,湿润指数217.5。

将色季拉山急尖长苞冷杉林线与我国东部暖温带小五台山5种树种的分布上限相比发现(表2),青藏高原东南部的色季拉山林线的温暖指数要低一些,而寒冷指数要高一些,这说明在生长季内色季拉山林线的气温比小五台山要低一些,而在非生长季的冬春时段,气温又比小五台山高一些,即色季拉山林线气温冷暖季节变幅比小五台山要小。比较而言,在小五台山的5个树种中,只有处于真正林线位置的华北落叶松分布上限的温暖指数和湿润指数与色季拉山的急尖长苞冷杉林线较为接近(表2)。

表2 6种树种分布上限的气候指数
Table 2 The climatic indices for 6 tree species' upper limits

树种 Species	林线海拔 Altitude (m)	温暖指数(℃月) Warmth index (℃ month)	寒冷指数(℃月) Cold index (℃ month)	湿润指数 Moisture index
白杉 Meyer spruce	2600	18.1	-122.8	224.0
华北落叶松 Prince rupprecht larch	2800	13.7	-132.8	214.9
红桦 Chinese red birch	2750	14.6	-130.0	179.1
硕桦 Ribbed birch	2550	19.3	-120.4	179.1
白桦 Asian white birch	2550	19.1	-120.4	152.1
急尖长苞冷杉 Smith fir	4320	11.6	-55.9	217.5

白杉 *Picea meyeri*, 华北落叶松, 红桦 *Betula albo-sinensis*, 硕桦 *Betula costata* 和白桦 *Betula platyphylla* 的数据来自河北小五台山, 详见于彭涛等^[23]一文 The data for meyer spruce (*Picea meyeri*), prince rupprecht larch (*Larix principis-rupprechtii*), chinese red birch (*Betula albo-sinensis*), ribbed birch (*Betula costata*) and asian white birch (*Betula platyphylla*) from Yu Pengtao's paper^[23]

方精云^[24]总结了我国 6 种山地森林树种和 11 种亚寒带针叶树种分布上限的温暖指数,通过对比发现,本研究中的急尖长苞冷杉林线的温暖指数与其中的山地森林树种祁连圆柏(12.0℃月)和喜马拉雅冷杉(13.1℃月)的上限较为接近,稍低于西伯利亚落叶松、大果圆柏和方枝柏。与急尖长苞冷杉林线相比,亚寒带针叶林树种上限的温暖指数普遍较大(图 3)。刘春迎^[25]认为:青藏高原东部高寒灌丛草甸地带的温暖指数为 8~21℃月,寒冷指数为 -93~-62℃月,色季拉山急尖长苞冷杉林线温暖指数属于上述范围,但寒冷指数(-55.9℃月)稍高一些,这是因为高寒灌丛草甸地带还在林线以上,因此其寒冷指数比林线低也是合理的。李文华等^[21]认为当湿润指数在 210 以上时,林线由云杉和冷杉组成,在本研究中,色季拉山急尖长苞冷杉林线的湿润指数为 217.5,也符合李文华等人的结论。

根据吉良^[26]的研究,世界山地的树木线或森林上限的温暖指数为 15℃月, WI 值 < 15℃月为森林界限以上的无林带,方精云^[24]计算出我国山地森林上限组成的 WI 平均值为 15.2℃月,而王襄平等^[15]认为 WI = 14.2℃月是一个重要的温度指标。而在本研究中,青藏高原东南部的色季拉山急尖长苞冷杉林线 WI 仅为 11.6℃月,因此林线实际高度超过了气候指标所界定的林线高度。这说明高原隆升造成的热力作用,导致了高原林线明显抬升而高于同纬度的其它地区。从我国范围来看,与王襄平等^[15]人总结的全国 137 个地点的林线处有关温度指标相比(表 3),色季拉山地区急尖长苞冷杉林线的最热月温度、年生物学温度和生长季平均温度 3 个指标与全国高山林线的平均值十分接近,最冷月均温、年均温和寒冷指数比全国均值稍高,气温年较差和温暖指数比全国均值稍低。因为印度洋暖湿气流沿雅鲁藏布江河谷北上带来丰沛的降水,再加上海拔高度的影响,在色季拉山林线处,年降水量多达近 900mm,因此林线处大陆度指数很低,处于全国均值范围的下限附近。王襄平等^[15]认为影响我国高山林线高度的主导气候因子为生长季温度条件,除了 WI = 14.2℃月之外,另外两个重要指标为年生物温度 3.5℃和生

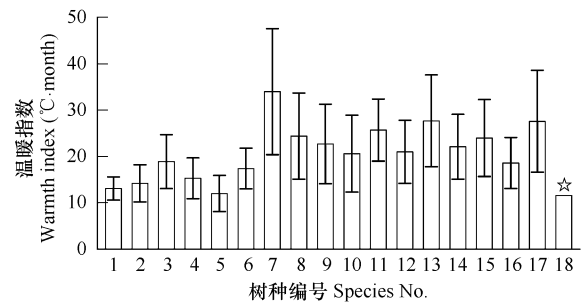


图 3 我国 6 个山地森林树种 (No. 1~6)、11 个亚寒带针叶树种 (No. 7~17) 和本研究的急尖长苞冷杉 (No. 18) 上限的温暖指数 (均值 ± 标准差)

Fig. 3 The warmth index (mean ± SD) at the upper limits for 6 mountain tree species (No. 1~6), 11 subarctic conifers species (No. 7~17) and smith fir (in this study). Except for smith fir, all data from Fang Jingyun's paper^[24]

编号 1~17 所对应的树种分别为:喜马拉雅冷杉 *Abies spectabilis*, 西伯利亚落叶松 *Larix sibirica*, 大果红杉 *Larix potaninii* var. *macrocarpa*, 大果圆柏 *Sabina tibetica*, 祁连圆柏 *Sabina przewalskii*, 方枝柏 *Sabina saltuaria*, 巴山冷杉 *Abies fargesii*, 大果冷杉 *Abies ernestii*, 长苞冷杉 *Abies georgei*, 岷江冷杉 *Abies faxoniana*, 川滇冷杉 *Abies forrestii*, 川西云杉 *Picea likiangensis* var. *balfouriana*, 油麦吊云杉 *Picea brachytyla* var. *complanata*, 丽江云杉 *Picea likiangensis*, 云杉 *Picea asperata*, 紫果云杉 *Picea purpurea*, 红杉 *Larix potaninii*; 除 18 外, 其它树种数据来自方精云^[24]一文

表 3 色季拉山急尖长苞冷杉林线温度指标与我国高山林线温度指标均值的对比^[15]

Table 3 The temperature indices at timberline in Sergyemla Mts. and their averaged values across China^[15]

温度指标 Temperature items	全国均值 Averaged value in China	急尖长苞冷杉林线值 Value at the smith fir's timberline
最热月平均温度 Mean temperature for the warmest month (°C)	9.7 ± 1.60	9.4
最冷月平均温度 Mean temperature for the coldest month (°C)	-11.0 ± 5.60	-6.4
年均温 Annual mean temperature (°C)	0.1 ± 2.85	1.3
气温年较差 Annual range of temperature (°C)	20.7 ± 5.93	15.8
年生物温度 Annual biotemperature (°C)	3.5 ± 0.96	3.1
温暖指数 Warmth index (°C·month)	14.2 ± 1.13	11.6
寒冷指数 Cold index (°C·month)	-73.0 ± 3.08	-55.9
生长季平均温度 Mean temperature for growing season (°C)	8.2 ± 1.13	7.7
大陆度指数 Continentality index	43.2 ± 8.59	34.0

长季平均温度 8.2°C , 色季拉山林线的上述两个指标与全国的均值基本吻合。

从全球范围来看, 一般认同林线高度与最热月平均温度 10°C 相一致^[27], 色季拉山林线最热月平均温度为 9.4°C (7 月份) 与全球均值是很接近的。除了温暖指数和寒冷指数外, 欧洲科学家在阿尔卑斯山的研究中用日均温 $>5^{\circ}\text{C}$ 的天数在 100d 以上或者日均温 $>10^{\circ}\text{C}$ 的天数在 35d 以上来说明林线的位置^[13], 通过对色季拉山急尖长苞冷杉林线日均温统计发现(图 4), 日均温 $>5^{\circ}\text{C}$ 的时段从 5 月 25 日持续到 10 月 4 日, 共计 133d, 其中完全 $>5^{\circ}\text{C}$ 的天数为 127d, 和阿尔卑斯山的结果基本相近; 日均温 $>10^{\circ}\text{C}$ 的时段从 7 月 1 日持续到 7 月 21 日, 共计 21d, 其中完全 $>10^{\circ}\text{C}$ 的天数仅为 12d, 与阿尔卑斯山相比, 色季拉山 $>10^{\circ}\text{C}$ 的天数不到前者的一半。

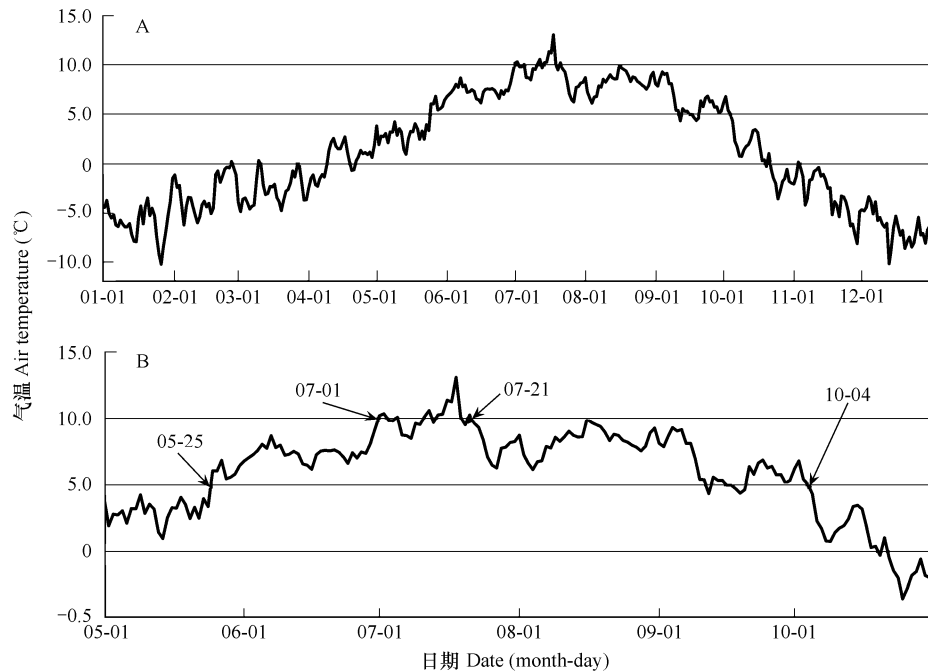


图 4 色季拉山急尖长苞冷杉林线日均温 $>5^{\circ}\text{C}$ 和 $>10^{\circ}\text{C}$ 的时段

Fig. 4 The periods of daily temperature $>5^{\circ}\text{C}$ and $>10^{\circ}\text{C}$ at smith fir timberline

A: 2006 年 1 月 1 日 ~ 2006 年 12 月 31 日; B: 为 2006 年 5 月 1 日 ~ 2006 年 11 月 1 日 A: from Jan 1 to Dec 31; B: from May 1 to Nov 1

2.3 林线的土壤温度特征及比较

由于植物根系生长普遍存在着相同或相似的低温阈值, 而且根系的生长同时制约着树木地上部分的代谢水平, 因此在探讨林线气候指标时, 土壤温度一直受到关注。在阿尔卑斯山中部的 Tirol 地区, 有研究发现^[10], 林线处地下 5cm 的土壤温度 $>5^{\circ}\text{C}$ 的天数在 128d 左右, 通过对色季拉山急尖长苞冷杉林线地下 5cm 的土壤温度统计发现(图 5), 此处地下 5cm 的土壤温度 $>5^{\circ}\text{C}$ 的时段从 7 月 1 日开始, 到 10 月 6 日止, 共计 98 天, 要比阿尔卑斯山的 Tirol 地区短一个月左右, 说明色季拉山地区林线对土壤温度条件的要求比阿尔卑斯山的 Tirol 地区要低一些。2004 年 Körner 和 Paulsen^[14] 提出可用 3.2°C 的土壤温度 (地下 10cm 深度) 阈值来界定春季树木开始生长和秋季停止生长的时期, 由于本实验中没有监测 10cm 深度的土壤温度, 但有 5cm 和 20cm 两个深度的监测数据, 通过线性插值法求算 10cm 深度的土壤温度。在色季拉山急尖长苞冷杉林线处, 春季 10cm 深度的土壤温度第一次超过 3.2°C 的日期为 6 月 26 日, 一直持续到 10 月 9 日, 共计 106d (图 5), 如果按照 Körner 和 Paulsen 的方法来界定色季拉山急尖长苞冷杉林线树木生长季的话, 则该地生长季为 6 月底至 10 月上旬, 该生长季内的平均气温为 7.4°C , 处于 Körner 统计的 $5.5 \sim 7.5^{\circ}\text{C}$ 全球均值范围内。同时, 生长季内的 10cm 深度土壤均温为 6.22°C , 也接近 Körner 统计的 $(6.7 \pm 0.8)^{\circ}\text{C}$ 土壤温度全球均值, 土壤最低温度 -3.13°C 和生长季长度 106d 也处于全球平均值的一个标准差范围之内 (表 4)。

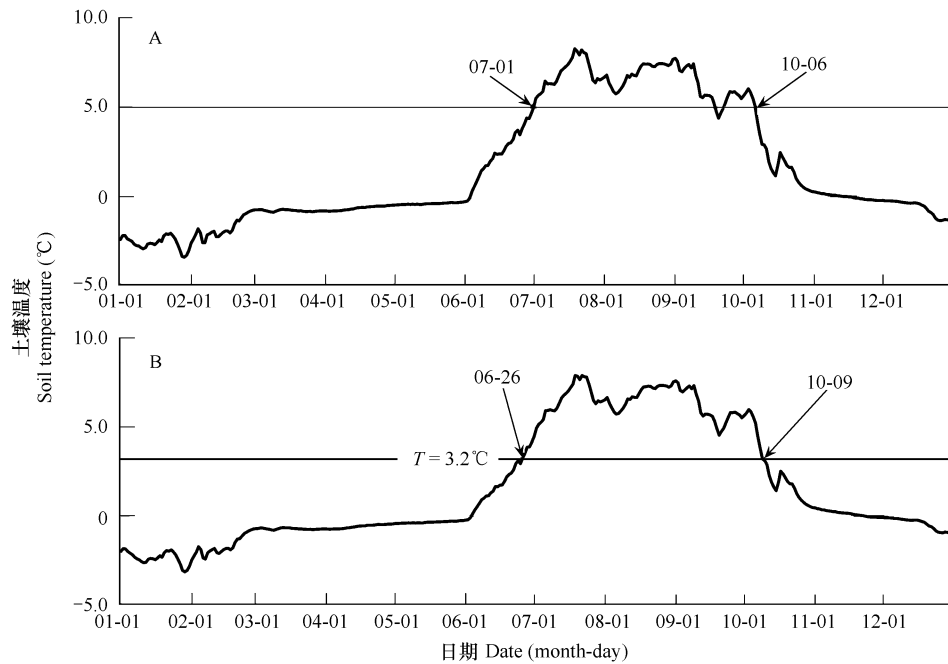


图5 色季拉山急尖长苞冷杉林线土壤温度逐日变化.

Fig. 5 The daily soil temperature at smith fir timberline

A: 为地下5cm深度土壤温度; B: 为地下10cm深度土壤温度 A: at 5cm depth; B: at 10cm depth

表4 色季拉山急尖长苞冷杉林线土壤温度(–10cm)与全球其它生物气候区林线的比较

Table 4 Comparison the soil temperature (at 10cm depth) at timberline in Sergyemla Mts. and other biome in the world

地点 Sites	最低温度 Minimum temperature (°C)	最高温度 Maximum temperature (°C)	生长季均温 Seasonal mean temperature (°C)	最热月均温 Mean temperature in warmest month (°C)	生长季长度(d) Season length (d)
亚北极针叶林 Subarctic boreal forest	-2.7 ± 0.7	10.3 ± 0.6	6.4 ± 0.1	7.7 ± 0.1	102 ± 1
北方针叶林 Boreal forest	-4.8	11.0	6.6	8.5	106
阿尔卑斯寒温带林 Cool temperate forest in Alps	-2.5 ± 1.8	12.5 ± 1.4	7.0 ± 0.4	9.2 ± 0.7	135 ± 10
亚洲寒温带林 Cool temperate forest in Asia	-7.9 ± 2.6	12.5 ± 0.1	7.8 ± 0.3	9.3 ± 0.3	128 ± 3
亚洲暖温带林 Warm temperate forest in Asia	-3.2 ± 0.8	10.6 ± 1.4	6.5 ± 0.7	8.8 ± 0.1	142 ± 1
亚热带森林 Subtropical forest	0.6 ± 1.3	9.2 ± 1.0	5.9 ± 0.7	6.6 ± 1.1	221 ± 21
热带森林 Tropical forest	3.2 ± 1.9	7.2 ± 0.9	5.6 ± 0.9	6.3 ± 0.9	348 ± 24
南半球温带针叶林 South temperate forest	-1.9 ± 1.0	12.9 ± 0.2	7.8 ± 0.1	9.4 ± 0.0	153 ± 0
全球均值 Mean value across biomes	-2.4 ± 3.1	10.8 ± 1.8	6.7 ± 0.8	8.2 ± 1.1	167 ± 77
色季拉山林线 Timberline in Sergyemla Mts.	-3.13	7.89	6.22	6.78	106

除色季拉山林线之外的所有数值为均值 $\pm$ 标准差, 这些数据来自 Körner 和 Paulsen^[14] 一文 All values are showed as mean $\pm$ SD and cited from Körner's paper^[14] except for the data in Sergyemla Mts

由于 Körner 统计的(6.7 ± 0.8) °C 土壤温度值是综合平均了全球 46 个林线点的监测数据^[14], 这些林线点跨越了热带、亚热带、亚北极等不同气候带, 为了更好地了解色季拉山急尖长苞冷杉林线土壤温度与全球哪些生物气候区的林线土壤温度特征较为近似, 做了全球不同生物气候区的林线和色季拉山急尖长苞冷杉林线的土壤温度比较(表4)。通过比较发现, 色季拉山急尖长苞冷杉林线与亚北极针叶林林线的土壤温度状况较

为相似,尤其是生长季均温和生长季长度这两项指标很接近,但土壤最低温度、最高温度和最热月均温要比亚北极针叶林林线分别低 16%、23% 和 12%;虽然色季拉山急尖长苞冷杉林线的生长季长度与北方针叶林林线一样,同为 106d,但最低温度却比后者高 35% 左右;色季拉山急尖长苞冷杉林线的土壤最低温度 -3.13°C 与亚洲暖温带林线的 -3.2°C 十分相近;虽然色季拉山急尖长苞冷杉林线的生长季长度不到亚热带森林和热带森林林线的 1/2 和 1/3,但其林线生长季土壤均温却比后两者都要高,土壤最热月均温 6.78°C 与亚热带森林林线的 6.6°C 很接近,却比热带森林林线的 6.3°C 要高约 0.5°C 。究其原因,可能是 Körner 统计的热带森林林线土壤温度数据来自 3 个赤道附近的热带地点,赤道地区在夏季往往雨热同季,云量较多,在高海拔的林线位置,到达地表的太阳辐射会被削弱,因而土壤温度并不太高;但在青藏高原地区,由于海拔高,空气稀薄,夏季太阳辐射强,大量的辐射到达地表,导致该地林线最热月份土壤平均温度比赤道地区的林线还稍高一些。

3 结论与讨论

藏东南地区既是世界上林线海拔高度最高的地区,又是气候变化十分明显的地区,通过自动微气象站对该地区色季拉山急尖长苞冷杉林线的监测,发现该地林线气候特征如下:

(1)在林线处,年平均气温为 1.3°C ,年平均相对湿度为 79.4%,年降水总量为 892.6 mm。与位于山脚的林芝气象站相比,年平均气温比林芝气象站低 7.3°C ,比东坡高 2.0°C ,年降水量比林芝气象站多 215.4 mm,比东坡少 241.5 mm。

(2)色季拉山急尖长苞冷杉林线的温暖指数与我国两种山地森林树种祁连圆柏和喜马拉雅冷杉的上限较为接近。林线的最热月温度、年生物学温度和生长季平均温度与全国高山林线的平均值十分接近。从全球范围来看,色季拉山林线最热月平均温度 9.4°C 与全球均值 10°C 很接近。日均温 $>5^{\circ}\text{C}$ 的时段和阿尔卑斯山林线基本相近。

(3)色季拉山林线生长季内的 10cm 深度土壤均温为 6.22°C ,接近 Körner 统计的 $(6.7 \pm 0.8)^{\circ}\text{C}$ 全球均值。其生长季土壤均温和生长季长度与亚北极针叶林林线较为接近。

(4)就色季拉山急尖长苞冷杉林线而言,按 Körner 和 Paulsen 用土壤温度 $>3.2^{\circ}\text{C}$ 来界定生长季时,生长季在 6 月底 7 月初才开始,其开始日期要比按日均温 $>5^{\circ}\text{C}$ 来界定推迟近 1 个月,但生长季结束日期基本接近,均为 10 月上旬。而据对林线地带植被物候的观察发现,在 5 月底 6 月初,植被生长活动已经开始。这说明,与全球其它地区相比,在藏东南高海拔的色季拉山林线,树木更能适应较低的土壤温度。而 Körner 统计的 $(6.7 \pm 0.8)^{\circ}\text{C}$ 土壤温度全球均值,也缺少来自青藏高原高海拔林线的观测数据。

References:

- [1] Scuderi L A. Late-holocene timberline variation in the southern Sierra Nevada. *Nature*, 1987, 325:242—243.
- [2] Kullman L. Holocene tree-limit and climate history from the Scandes Mountains, Sweden. *Ecology*, 1995, 76:2490—3502.
- [3] Kufper J A, Cairns D M. The suitability of montane ecotones as indicators of global climatic change. *Progress in Physical Geography*, 1996, 20: 253—272.
- [4] Sveinbjornsson B. North American and European treelines: external forces and internal processes controlling position. *Ambio*, 2000, 29:388—395.
- [5] Grace J, Berninger F, Nagy L. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany*, 2002, 90:537—544.
- [6] Smith W, Germino M J, Hancock T E, *et al.* Another perspective on altitudinal limits of alpine timberlines. *Tree Physiology*, 2003, 23:1101—1112.
- [7] Becker A, Bugmann H. Global change and mountain regions: the mountain research initiative. IGBP Report 49, GTOS Report 28, IHDP Report 13. 2001.
- [8] Bliss L C. Alpine. In: Chabot B F and Mooney H A eds. *Physiological ecology in North America plant communities*. Chapman & Hall New York, 1985.
- [9] Tranquillini W. *Physiological Ecology of the Alpine Timberline*. Berlin, New York: Springer-Verlag, 1979.
- [10] Körner C. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 1998, 115:445—459.
- [11] Jobbagy E G, Jackson R B. Global controls of forest line elevation in the northern and southern hemisphere. *Global Ecology & Biogeography*,

- 2000, 9:253—268.
- [12] Ohsawa M. An interpretation of latitudinal patterns of forest limits in South and East Asia mountains. *Journal of Ecology*, 1990, 78:326—339.
- [13] Kömer C. Alpine plant life; function plant ecology of high mountain ecosystems. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1999.
- [14] Kömer C, Paulsen J. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 2004, 31: 713—732.
- [15] Wang X P, Zhang L, Fang J Y. Geographical differences in alpine timberline and its climatic interpretation in China. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6):871—879.
- [16] Li W H. Forests of Xizang. Beijing: Science Press, 1985.
- [17] Liu Z G. Vegetation in Gongga Mountain. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1985.
- [18] Feng S, Tang M C, Wang D M. New evidence for the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau as a pilot region of climatic fluctuation in China. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(6): 633—636.
- [19] Niu T, Chen L, Zhou Z. The characteristics of climate change over the Tibetan Plateau in the last 40 Years and the detection of climatic jumps. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, 21:193—203.
- [20] Xu F X. Forest Ecology Research in Xizang. Shenyang: Liaoning University Press, 1995.
- [21] Li W H, Leng Y F, Hu Y. The distribution of forest vegetation in Hengduan Mountain in relation to the hydro-thermal conditions. In: Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, Chinese Academy of Sciences eds. Special Edition for the Expedition in Hengduan Mountain. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1983.
- [22] Ren Q S, Yang X L, Cui G F, *et al.* Smith fir population structure and dynamics in the timberline in the timberline ectone of the Sejila Mountain, Tibet, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2669—2677.
- [23] Yu P T, Liu H Y, Cui H T. Vegetation and its relation with climate conditions near the timberline of Beitai, the Xiaowutai Mts., Northern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 523—528.
- [24] Fang J Y. Ecoclimatological analysis of the forest zones in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(4): 377—387.
- [25] Liu C Y. The application of KIRA's indices to the study of vegetation-climatic interaction in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(2): 125—138.
- [26] Kira T. A climatological interpretation of Japanese vegetation zones. In: Miyawaki A and Tuxen R eds. *Vegetation Sciences and Environmental Protection*. Maruzen Tokyo, 1977.
- [27] Grace J. Climatic tolerance and the distribution of plants. *The New Phytologist*, 1987, 106(supp): 113—130.

参考文献:

- [15] 王襄平, 张玲, 方精云. 中国林线的分布高度与气候的关系. *地理学报*, 2004, 59(6):871~879.
- [16] 李文华. 西藏森林. 北京:科学出版社, 1985.
- [17] 刘照光. 贡嘎山植被. 成都:四川科学技术出版社, 1985.
- [18] 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据. *科学通报*, 1998,43(6): 633~636.
- [20] 徐凤翔. 青藏高原森林生态研究. 沈阳: 辽宁大学出版社, 1995.
- [21] 李文华, 冷允法, 胡涌. 云南横断山区森林植被分布与水热因子相关的定量化研究. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编, 横断山考察专集. 昆明: 云南人民出版社, 1983.
- [22] 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.
- [23] 于澎涛, 刘鸿雁, 崔海亭. 小五台台北台林线附近的植被及其与气候条件的关系分析. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 523~528.
- [24] 方精云. 我国森林植被带的生态气候分析. *生态学报*, 1991, 11(4): 377~387.
- [25] 刘春迎. KIRA 指标在中国植被与气候关系研究中的应用. *植物生态学报*, 1999, 23(2): 125~138.