

滇西北不同海拔梯度下丽江云杉叶片的生态解剖结构特征研究

唐 探, 姜 永 雷, 冯 程 程, 黄 晓 霞, 程 小 毛

(西南林业大学 园林学院, 云南 昆明 650224)

摘 要:以滇西北丽江玉龙雪山自然保护区内的丽江云杉天然林为研究对象,采用生态解剖学的方法对不同海拔梯度(2 900、3 050、3 200、3 350 m)上的丽江云杉叶片解剖结构特征进行比较研究,探究各参数的变化与海拔的相关性以及各指标之间的内在联系。结果表明:随着海拔的上升,叶片角质层厚度、上表皮厚度、韧皮部厚度、木质部厚度、输导组织厚度、内皮层厚度、维管束直径、叶片长短径均呈现出先增大后减小的趋势,并在海拔 3 200 m 处达到最大值,当海拔超过 3 200 m 时,各项参数均显著下降,说明玉龙雪山海拔 3 200 m 附近最适宜丽江云杉的生长;此外,丽江云杉叶片解剖结构各项指标之间基本都具有相关性,且其叶片解剖结构的差异性表明不同海拔上的环境因子限制了丽江云杉的生长和分布,也体现了环境因子与植物的协同关系。

关键词:丽江云杉;叶片生态解剖;相关系数;海拔梯度;滇西北

中图分类号:S 791.27 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)04-0067-04

丽江云杉(*Picea likiangensis*)属松科(Pinaceae)云杉属(*Picea*)植物,主要分布于云南西北部和四川西南部地区,是中国西南地区重要的寒温性针叶树种。对于丽江云杉的研究报道主要集中在林窗特征^[3]、扦插繁殖^[4]、体细胞胚胎发生^[5]和生物量^[6]等方面。但对丽江云杉叶片的解剖结构特性的研究却鲜有报道。现以滇西北丽江玉龙雪山自然保护区内的丽江云杉天然林为研究对象,通过比较分析不同海拔梯度下丽江云杉叶片解剖结构的各种指标及参数,探究各种参数的变化与海拔的相关性以及各指标之间的内在联系,了解丽江云杉对不同海拔梯度下环境变化的响应机制,为制定科学的保护方案和持续利用亚高山植物资源奠定基础,并对以后丽江云杉的遗传进化研究和遗传改良工作有一定的借鉴意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

玉龙雪山位于云南省丽江市玉龙县境内(北纬

27°03'20"~27°40',东经 100°04'10"~100°16'30"),处于青藏、云贵高原的衔接部位及滇西北横断山区和滇东高原 2 个地貌形态组合区域的交界地带^[3]。玉龙雪山自然保护区总面积约 26 000 hm²,天然林面积约 7 663 hm²,占总面积的 29.47%^[7]。该研究区位于玉龙雪山自然保护区内云杉坪附近,其丽江云杉林为天然原始林。研究区域受到西南季风影响,气候垂直差异大。据有关文献记载,云杉坪年均气温为 5.5℃,年降雨量为 1 587.5 mm,年蒸发量为 996.1 mm,相对湿度为 82%^[8]。在海拔 3 200 m 附近,丽江云杉在乔木层中成为优势种群,树高集中在 15~20 m,平均胸径可达 30~40 cm,并混生有川滇冷杉(*Abies forrestii*)等。

1.2 试验材料

以滇西北丽江玉龙雪山自然保护区内的丽江云杉天然林为研究对象。

1.3 试验方法

丽江云杉叶片采自丽江玉龙雪山自然保护区内的不同海拔(2 900、3 050、3 200、3 350 m)梯度上。2013 年 5 月,在研究区域内 2 900~3 400 m 的海拔梯度上,每隔 150 m 设置 4 个海拔梯度试验样点:A:2 900 m;B:3 050 m;C:3 200 m;D:3 350 m。在每个采样点上选取 5 株生长基本一致,无病虫害的成年树,进行叶片取样。每株选取树冠下部东、南、西、北 4 个方向上 1 年生枝条上的成熟叶片等量若干。用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液(pH 6.8)轻轻除去表面的污物后,FAA(50%乙醇:甲

第一作者简介:唐探(1991-),男,硕士研究生,研究方向为茶树资源研究。E-mail:tantan1991@126.com.

责任作者:程小毛(1979-),女,博士,副教授,现主要从事植物生理生态与分子生物学等研究工作。E-mail:30375713@qq.com.

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(31100292);云南省应用基础上资助项目(2010ZC267);“省部级重点学科、省高校重点实验室及校实验室共享平台”资助项目(0500050097401)。

收稿日期:2014-11-18

醛 38% : 冰醋酸 99.5% = 90 : 5 : 5) 野外固定并保存。记录相关采样地的详细信息, 并带回实验室进行切片制作及叶片解剖结构参数的测定。

切片制作方法参照李芳兰等^[9]的方法。在光学显微镜(Nikon ECLIPSE Ti-S, LEICA DM 2000)下观测叶片角质层厚度、上表皮厚度、韧皮部厚度、木质部厚度、转输组织厚度、内皮层厚度、维管束直径、叶片长短径等 9 项指标, 每项指标重复测量 5 次, 取其平均值。

1.4 数据分析

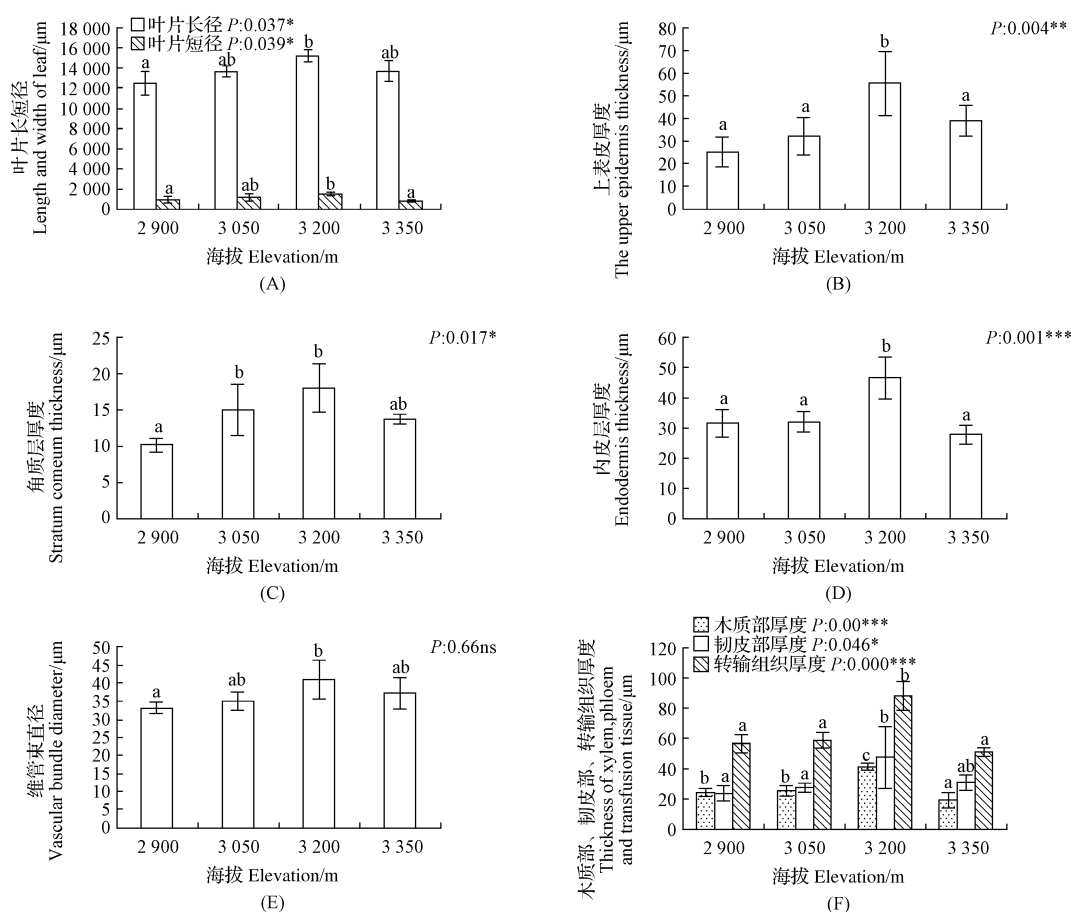
所有的数据计算分析均采用 SPSS 11.5 统计分析软件进行一元方差分析(one-way ANOVA), 分析海拔梯度上叶片解剖结构特征参数的差异, 平均数间的多重比较采用 Duncan's 检验方法。0.01 ≤ P ≤ 0.05 时为差异显著, P < 0.01 时为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 丽江云杉叶片解剖结构在海拔梯度上的差异

通过对不同海拔下丽江云杉叶片解剖结构参数(图 1)的比较发现, 随着海拔梯度的上升, 丽江云杉叶片长

短径呈现出先增大后减小的趋势, 并在海拔 3 200 m 附近达到最大值, 分别为(15 200.00 ± 556.78) μm 和 (1 500 ± 100.00) μm, 当海拔低于 3 200 m 时, 其叶片长短径随着海拔的上升而显著增大(图 1-A), 有利于充分采集光照, 提高光合效率; 叶片上表皮厚度在(25.45 ± 6.72) ~ (55.70 ± 14.17) μm, 并且其厚度在海拔梯度上的变化与叶片长短径变化相似, 但仅在海拔 3 200 m 处, 叶片上表皮增厚显著(图 1-B); 丽江云杉叶片角质层厚度随着海拔上升也呈现出先增大后减小的趋势, 但在海拔 3 050 ~ 3 200 m 的差异不明显, 当海拔低于 3 200 m 时, 平均每升高 150 m, 叶片角质层将平均增厚 3.89 μm (图 1-C); 叶片内皮层厚度在海拔 3 200 m 附近达到最大值(46.55 ± 6.95) μm (图 1-D); 在海拔 2 900 ~ 3 200 m, 平均每升高 150 m, 丽江云杉叶片维管束直径和木质部、韧皮部、转输组织厚度相应增加 11.64%、36.26%、50.00%、27.65%, 且在海拔 3 050 ~ 3 200 m 差异明显, 当海拔超过 3 200 m 时, 四者参数都显著减小(图 1-E、图 1-F)。



注: 海拔梯度间同一参数不同小写字母表示在 0.05 水平上差异明显。

Note: Different lowercase letters making the same parameters at the different elevations show significant difference at 0.05 level.

图 1 丽江云杉叶片解剖结构参数在海拔梯度上的变化

Fig. 1 Changes in anatomical characteristics of *Picea likiangensis* leaves at different elevations

从图 1 还可以看出,丽江云杉叶片角质层厚度、上表皮厚度、韧皮部厚度、木质部厚度、转输组织厚度、内皮层厚度、维管束直径和叶片长短径都会随着海拔梯度的上升而呈现出先增大后减小的变化趋势,且都在海拔 3 200 m 附近达到最大值,并随着海拔上升,各项参数均呈现出明显的下降趋势。

2.2 丽江云杉叶片解剖特征之间的相关性

从表 1 丽江云杉叶片解剖结构的 9 项指标进行的相关分析可以看出,各个指标之间大多都存在一定的相

关性。其中在角质层厚度、上表皮厚度、韧皮部厚度、木质部厚度、转输组织厚度、内皮层厚度、叶片长短径这 8 项指标中,除了叶片长短径之间和叶片短径与韧皮部厚度之间不具有相关性外,其它指标之间都具有相关性。而维管束直径只与上表皮厚度、木质部厚度呈显著正相关($P<0.05$)。上表皮厚度则与内皮层厚度、角质层厚度、韧皮部厚度、木质部厚度、叶片长径、叶片短径之间呈极显著正相关($P<0.01$)。

表 1 丽江云杉叶片解剖特征之间的相关系数

参数 Parameter	叶片长径 Leaf length	叶片短径 Leaf width	内皮层厚度 Endodermis thickness	角质层厚度 Stratum corneum thickness	上表皮厚度 Upper epidermis thickness	转输组织厚度 Transfusion tissue thickness	韧皮部厚度 Phloem thickness	木质部厚度 Xylem thickness	维管束直径 Vascular bundle diameter
叶片长径 Leaf length	1								
叶片短径 Leaf width	0.435	1							
内皮层厚度 Endodermis thickness	0.755 **	0.628 *	1						
角质层厚度 Stratum corneum thickness	0.682 *	0.703 *	0.715 **	1					
上表皮厚度 Upper epidermis thickness	0.710 **	0.721 **	0.726 **	0.844 **	1				
转输组织厚度 Transfusion tissue thickness	0.618 *	0.709 **	0.784 **	0.583 *	0.595 *	1			
韧皮部厚度 Phloem thickness	0.591 *	0.453	0.749 **	0.691 **	0.733 **	0.599 *	1		
木质部厚度 Xylem thickness	0.779 **	0.709 **	0.849 **	0.625 *	0.724 **	0.866 **	0.590 *	1	
维管束直径 Vascular bundle diameter	0.481	0.419	0.448	0.490	0.615 *	0.419	0.095	0.618 *	1

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

Note:** shows significant correlation at 0.01 level;* shows significant correlation at 0.05 level.

3 讨论与结论

植物个体所表现出来的性状是由基因决定的,但是在一定程度上又受到环境条件的影响^[10]。长期生活在某一区域的植物会受到环境作用的影响,使其形成了适应此特定环境的生理生态特征。植物中的叶片与外界环境直接接触,不仅对环境因子的变化敏感,还因其针叶植物中的叶片解剖结构特殊,更能体现环境因子与植物的协同关系^[2,11]。随着海拔的上升,各种环境因子都会发生不同程度的变化,而植物的生长发育长期受到这些环境因子的影响,使得植物的内部结构朝着适应当地环境条件的方向进化,导致了不同海拔梯度下丽江云杉叶片解剖结构的差异性。

植物叶片的长短径直接影响着叶片面积的大小,由于较大的叶片面积具有较多的色素和蛋白质含量,因此具有较强的光合作用能力和生长速率^[12]。该研究中,丽江云杉叶片的长短径随着海拔的上升而都呈现出先增大后减小的趋势,并在海拔 3 200 m 处达到最大值,随后明显下降,叶片长短径的增大有利于充分采集光照,促进植物更好的生长,这与陈晓莉^[13]的研究结果相类似。当海拔超过 3 200 m 时,叶片长短径显著减小,这可能是因为高海拔地区光照过强,植物避免获取过多光能而减少针叶的照光面积的原因。有研究表明,植物叶片的表皮细胞和表皮角质层具有防止水分过度蒸腾,抵抗外界恶劣环境和病虫侵害的作用^[14]。在海拔 2 900~3 200 m

处,叶片上表皮和角质层厚度不断增大,而在海拔 3 350 m 处显著减小。在高海拔地区,低温和干旱胁迫会使得叶片表皮和角质层厚度有增大的趋势,以保持植物正常的呼吸代谢,这在贺金生等^[15]关于高山栎叶的形态结构研究中有过类似报道。植物叶片中的内皮层和维管束在植物叶片中起着运输、支持的作用,该研究中丽江云杉叶片内皮层厚度和维管束直径随着海拔的上升呈现出先增大后减小的相似变化,相似的结果在张明明^[16]、沈宁东等^[17]的研究中有所报道,而其机理有待进一步研究;叶片中的韧皮部、木质部、转输组织作为叶脉的组成部分,可以为植物输送有机质、水分和无机盐等。当海拔低于 3 200 m 时,随着海拔的上升,叶片中的韧皮部、木质部、转输组织厚度呈增大趋势,这可能是当海拔升高时,各种环境因子都朝着适应植物生长的方向发展,使得植物细胞生长代谢加快,促进植物生长。当海拔超过 3 200 m 时,韧皮部、木质部、转输组织厚度显著减小,张立杰等^[18]研究认为,在高海拔地区,低温和较强的光照使得植物细胞生长速度缓慢,导致光合作用的产物消耗较少,叶片中的韧皮部、木质部、转输组织厚度变薄。

通过对丽江云杉叶片解剖结构之间相关性的对比发现,该研究中测定的 9 个指标之间基本都具有相关性,这说明测定的 9 项指标对环境的改变都会表现出其适应性,相互之间也具有一定的联系。上表皮厚度与内皮层厚度、角质层厚度、韧皮部厚度、木质部厚度、叶片

长短径呈极显著正相关,说明上表皮厚度的变化与内皮层厚度、角质层厚度、韧皮部厚度、木质部厚度和叶片长短径的变化是一致的,这可能是受到高海拔水分因子、低温和光照强度引起的,其机理有待进一步探讨。

综合分析表明,随着不同海拔梯度上环境因子的改变,丽江云杉叶片解剖结构发生了不同程度上的变化,具体表现为:玉龙雪山海拔 3 200 m 附近的环境最适合丽江云杉的生长,此处的丽江云杉在乔木层中成为优势种群;海拔低于 3 200 m 时,丽江云杉叶片角质层厚度、上表皮厚度、韧皮部厚度、木质部厚度、输导组织厚度、内皮层厚度、维管束直径、叶片长短径随着海拔的升高而呈现出增大的趋势,逐渐进入适合生长的区域;而在海拔超过 3 200 m 以上地区,测量的各项指标明显下降,说明该树种的生长发育受到了高海拔地区不良环境因子的抑制影响。

参考文献

- [1] 王勋陵.植物生态解剖学研究进展[J].植物学通报,1993,10(增刊):1-10.
- [2] 王勋陵,王静.植物的形态结构与环境[M].兰州:兰州大学出版社,1989:105-138.
- [3] 刘庆,吴彦,吴宁.玉龙雪山自然保护区丽江云杉林林窗特征研究[J].应用生态学报,2003,14(6):845-848.
- [4] 王军辉,张建国,张守攻,等.丽江云杉硬枝扦插繁殖技术与生根特性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(11):97-102.
- [5] 陈芳,陈少瑜,吴涛,等.丽江云杉体细胞胚胎发生[J].林业科学,2010,46(8):162-167.
- [6] 袁凤军,廖声熙,崔凯,等.滇西北丽江云杉不同龄级个体生物量研究[J].西部林业科学,2013,42(3):73-78.
- [7] 杨少华,薛润光,陈翠,等.滇西北玉龙雪山生物多样性现状及其保护对策[J].西南农业学报,2008,21(3):863.
- [8] Yunnan Province Academy of Forestry Plan. Yunnan natural reserve [M]. Beijing:China Forestry Press,1989:260-268.
- [9] 李芳兰,包维楷,刘俊华,等.岷江上游干旱河谷海拔梯度上白刺花叶片生态解剖结构特征研究[J].应用生态学报,2006,17(1):5-10.
- [10] 徐炳生.生态变异在植物分类学和进化中的重要性[J].广西植物,1986,6(3):201-216.
- [11] 张明明,高瑞馨.针叶植物叶片比较解剖及生态解剖研究综述[J].森林工程,2012,28(2):9.
- [12] Liu F, Andersen M N, Jacobsen S E, et al. Stomatal control and water use efficiency of soybean during progressive soil drying[J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 54: 33-40.
- [13] 陈晓莉.不同海拔青海云杉和祁连圆柏生理生态适应性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2008.
- [14] 贺学礼.植物学[M].西安:陕西科学技术出版社,2001:54-55.
- [15] 贺金生,陈伟烈,王勋陵.高山栎叶的形态结构及其与生态环境的关系[J].植物生态学报,1994(18):219-227.
- [16] 张明明.不同地区日本落叶松叶片解剖结构比较研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2012.
- [17] 沈宁东,韦梅琴,李宗仁,等.不同海拔藏茴香叶片解剖结构比较研究[J].北方园艺,2014(16):31-34.
- [18] 张立杰,蒋志荣.青海云杉种群分布格局沿海拔梯度分形特征的变化[J].西北林学院学报,2006,21(2):64-68.

An Eco-anatomical Study on *Picea likiangensis* Leaves at Different Gradient Elevations in Northwest of Yunnan

TANG Tan, JIANG Yong-lei, FENG Cheng-cheng, HUANG Xiao-xia, CHENG Xiao-mao
(College of Landscape Architecture, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224)

Abstract: Taking natural forest of *Picea likiangensis* as research object, which grow at different elevations (2 900, 3 050, 3 200, 3 350 m) in Nature Reserve of Yulong Snow Mountain were investigated. Furthermore, the leaf anatomical characteristics of *Picea likiangensis* were also researched, and the correlation changes and the inner relationship in each index with altitude were studied. The results showed that the leaves cuticle thickness, upper epidermis thickness, phloem thickness, xylem thickness, transfusion tissue thickness, endothelial layer thickness, vascular diameter and leaves length and short diameters were all firstly increased and then declined with the increasing altitude, and reached their maximum at 3 200 m. Besides, the parameters of leaf anatomical characteristics were decreased when the elevation above 3 200 m. Therefore, the optimum zone of *Picea likiangensis* was nearly at around 3 200 m elevation. In addition, the leaf anatomical indexes of *Picea likiangensis* leaves' structure were nearly correlated with each other. The growth and distribution of *Picea likiangensis* were limited by the changes of complex environmental conditions along with the change of altitudes, which resulted in the differences of the leaf anatomical characteristics of *Picea likiangensis*. On the other hand, it also reflected the co-relationship between the environmental factors and plants' adaptions in a certain degree.

Keywords: *Picea likiangensis*; leaf eco-anatomy; correlation coefficients; altitude; Northwest of Yunnan