

祁连山中部祁连圆柏生长 与更新方式的树轮记录

刘录三^{1,2}, 邵雪梅^{1,3}, 梁尔源^{3,1}, 王丽丽¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085)

摘要: 选择祁连山中部 50m×15m 的祁连圆柏样方进行树轮生态学取样与分析。分析结果表明, 样方内大部分祁连圆柏的树龄小于 250 年, 最近几年有大量幼苗萌生。祁连圆柏的径生长方式各有异同, 大部分祁连圆柏在生长过程中出现 1 次以上生长释放事件, 1970~1980 年间出现生长释放的频率最高, 占总释放次数的 35%, 轮宽年表也显示祁连圆柏的轮宽指数自 1970s 以来持续上升。另外, 相关分析结果表明, 温度是影响采样点区域祁连圆柏径向生长的主要环境因子, 较高的温度有利于树木生长, 6、7 月份的降水也与树木径向生长呈显著正相关。在全球变暖的背景下, 如果能积极开展植树造林, 并有效控制人类活动的干扰, 该区域祁连圆柏林更新状况将会显著改观。

关键词: 祁连山; 祁连圆柏; 树轮生态学; 生长释放; 年龄结构

文章编号: 1000-0585(2006)01-0053-09

引言

树轮生态学作为树木年代学的分支, 是指利用树木年轮资料, 结合气候数据、土地利用历史等, 研究各生态要素之间的关系以及森林动力学等森林生态问题^[1]。鉴于树轮资料具有定年准确、连续性强、分辨率高、复本量好等特点, 国际上树轮生态学在森林生态研究中已经得到广泛应用, 其中包括森林虫害、生物入侵以及由此带来的牧食压力变化、大气 CO₂ 浓度增加引起的潜在环境改变、森林退化等^[2~10]。我国的树轮气候学研究自上世纪 90 年代以来取得很大进展, 但树轮生态学方面的研究还相当薄弱^[11~15]。与天山雪岭云杉、青海云杉、东北落叶松等诸多用于树轮研究的树种相比, 祁连圆柏是我国目前已知的可用来在干旱、半干旱区建立上千年甚至两千年以上年表的惟一天然树种, 具有重建过去上千年气候变化的潜力^[16~18], 目前对其进行的树轮气候学研究已经十分成熟, 但对其生长机理、更新机制的了解却相当贫乏。

位于蒙新、黄土、青藏三大高原交汇处的祁连山, 是我国西北地区重要的水源涵养地之一。祁连圆柏是祁连山区针叶林带的重要建群种之一, 它生态适应幅度较大, 喜光, 耐高寒、干旱和贫瘠, 根系发达, 抗风力强, 良好的水源涵养和水土保持树种。本文试图借助常规树轮生态学研究方法, 分析该区域祁连圆柏林的林分结构与生长、更新过程, 从而为深入了解祁连圆柏的森林生态规律提供科学依据。

收稿日期: 2005-03-12; 修订日期: 2005-07-31

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX3-SW-321) 及国家自然科学基金青年项目 (30300053)

作者简介: 刘录三 (1975-), 男, 山东日照人, 博士。主要从事树轮生态学、海洋生态与环境等方面研究。

E-mail: lsliu@igsrr.ac.cn

1 研究区域的自然条件概况及研究方法

1.1 自然条件概况

祁连山地处青藏高原东北缘, 大部分海拔在 3000~3500 米以上。山体自然生态垂直带谱发育良好, 其中森林草原带和灌丛草原带为主要的水源涵养林带, 这里分布着青海云杉、祁连圆柏等乔木林、灌丛林带以及大片的草原植被。祁连山受大陆性气候和青藏高原气候的综合影响, 属温带半干旱区。气候特征表现为温度变幅大, 雨量分配不均, 雨热同季; 温度和降水随海拔高度呈明显垂直梯度变化; 降水趋势从东到西、从南到北减少^[19]。

采样点位于祁连山中部祁连县冰沟林区的森林草原带(图 1), 该区域林分单一, 为祁连圆柏纯林, 分布于海拔 3350~3450m 的阳坡和半阳坡上。根据距采样点约 15km 的祁连气象站(38° 11' N, 100° 15' E, 2787.4m)资料, 该区域年降水量在 318.4~573.1mm 之间波动, 降水时段集中在 5~9 月份; 年平均气温为 0.9℃, 一月平均气温为 -13.3℃, 7 月平均气温为 12.9℃。依据在山区海拔高度每上升 100m 气温下降 0.5℃的规律, 采样点(海拔 3384m)年平均气温为 -2.1℃, 一月平均气温为 -16.3℃, 7 月平均气温为 9.9℃, 树木生长期估计为自 5 月中旬至 9 月初(日平均气温 > 5℃)。

研究区土壤为山地灰褐土, 土壤退化较为严重。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查取样 野外调查工作于 2004 年 4 月进行, 在祁连圆柏林中部选择一 50m × 15m (0.075 ha) 的样方进行林分结构调查以及树轮生态学取样, 样方下界的海拔高度为 3384m, 坡向正南, 坡度为 25°左右。样方选择依据如下原则: 1) 样方树木能代表整个林分平均生长状况, 2) 样方包含足够的树木 (> 10 株) 用于树轮生态学分析^[20,21]。调查中详细记录活树、朽木、幼苗数量及其空间分布方式。鉴于样方内未发现胸径小于 5cm 的幼树, 所有活树均用生长锥在距地面 1 米处钻取 2~3 个树芯, 并测量树木胸径, 对于部分生长不规则的树木, 取样位置适当偏移。

1.2.2 数据分析 采用常规树轮年代学方法^[22], 首先对样本进行预处理和初步定年, 然后进行轮宽量测, 并利用 COFECHA 程序^[23]进行交叉定年和轮宽量测的准确性检验, 轮宽量测精确到 0.01mm。在建立轮宽年表时, 对样方内 23 株祁连圆柏的所有 49 个样芯序列, 首先根据 COFECHA 程序的分析结果, 去除部分与其他序列相关程度低并有奇异值的样本; 其次, 比较所有样本的原始轮宽序列并在保证复本量的前提下, 去除生长趋势与其他序列显著不同的样本。之后, 采用负指数函数和斜率为负数的回归方程, 对所选 20 株祁连圆柏总共 41 个样本的生长趋势进行拟合。将去趋势序列以双权重平均法, 通过

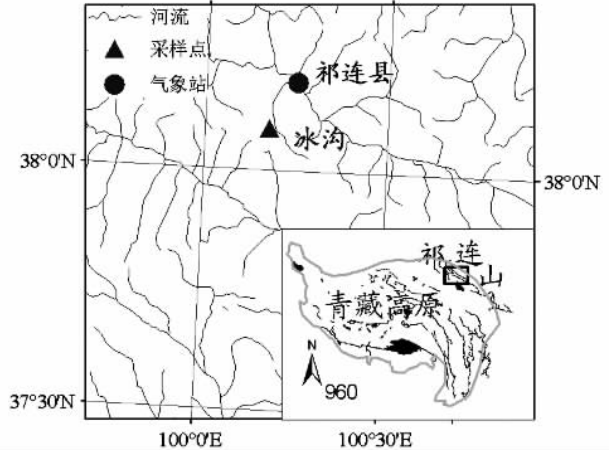


图 1 采样位点及气象站点示意图

Fig. 1 Map of sampling sites and nearby weather station

ARSTAN 程序^[24]合成标准轮宽年表。样本中最长的样芯序列为 344 年,到 1801 年时,已有 4 棵树的 6 个样芯,根据样本的复本量原理,最终年表分析的时间自 1801 年起。选择附近祁连气象站建站以来(1956 年)的气象观测资料(月平均气温、月最高气温、月最低气温和月降水量)与轮宽指数序列进行相关函数分析,确定气候要素对祁连圆柏径向生长的影响状况。

为确定祁连圆柏树木年龄结构,对因取样时生长锥安放出现偏差或树木生长不规则而导致样芯偏离树髓(off-center cores)的情况,采用目测法^[25]估计样芯缺失轮;对因树干内部腐朽而未能取到树髓的样芯(rotten cores),采用 Norton 等提出的缺失轮估算法^[26]估计样芯缺失轮。目测法根据样芯最内层轮的曲率大小及其到树髓的估计距离,将样芯分为 3 类:1) 非常接近树髓,缺失轮估计为 1~2 轮;2) 接近树髓,缺失轮估计为 3~5 轮;3) 远离树髓,缺失轮估计为 5 轮以上。Norton 法采用如下公式计算缺失轮:

$$NMR = (GR - PC) / MRW$$

式中, NMR 为缺失轮数目; GR 为树木几何半径; PC 为所取样芯长度; MRW 为样芯最内层 10 轮的平均轮宽。所取样芯年轮数目与缺失轮数目之和为祁连圆柏树木年龄,对于树木从发芽长到取样高度所需时间的校正,本研究暂未考虑。

在分析祁连圆柏径生长方式时,采用 Kelly 与 Larson 的标准确定树木生长过程中的生长抑制事件与生长释放事件^[27]。根据各样本年轮宽度的 10 年滑动平均值,在前后两个连续的 10 年期间内,若样芯平均轮宽减少 50% 以上,则定义为一个生长抑制事件;若样芯平均轮宽增加 50% 以上,则定义为一个生长释放事件^[8, 28, 29]。其中,将后 10 年中的第一年定义为生长抑制开始年或生长释放开始年。若在数据分析中连续出现多个开始年,则定义最初出现的开始年为整个事件的开始年。此外,在分析圆柏径向生长方式时,采用径向生长率,也就是树木在各年生长的轮宽大小,来描述圆柏径向生长的快慢。

2 结果与分析

2.1 林分结构与年龄结构

该区祁连圆柏林是一个稀疏的植物群落,群落结构单一,其空间结构基本可分为 2 层。第一层是乔木层,即祁连圆柏层,透光性好,树高 3~5 米,枝下高仅 1~2 米;第二层是草本层,有禾本科、莎草科、豆科、虎耳草科等;两层之间有小灌木零星分布,在本样方内仅出现两丛。样方内共有祁连圆柏树木 23 株,林分密度为 307 株 ha^{-1} ; 幼苗 64 株,其空间分布方式如图 2 所示。

样方内祁连圆柏胸径最大为 33cm,最小为 9cm,胸径在 10~25cm 之间的占样本总数的 78.3% (图 3)。随着树龄减小,祁连圆柏胸径总体上呈下降趋势。在树木更新方面,样方内除有一株 17 世纪中期出现的祁连圆柏外,其他的树龄均小于 250 年。自 18 世纪后期到上世纪 30 年代,该群落中的祁连圆柏得以陆续补充,且其更新强度在 10 年尺度上呈现一定的波动性(图 4)。值得注意的是,这期间祁连圆柏的更新状况与标准轮宽年表的波动呈现出较好的对应关系,即祁连圆柏更新较好的时段往往发生在轮宽指数较高期间,如在 1820s、1850s、1890s 祁连圆柏的轮宽指数较高期间,树木更新良好(图 4)。另外,样方内没有 1940s 后萌生的祁连圆柏树木,直到最近几年又有大量幼苗出现。

2.2 祁连圆柏径生长方式

研究中选用边材、心材都完整的 16 株祁连圆柏的样芯用于径向生长分析。所选样芯

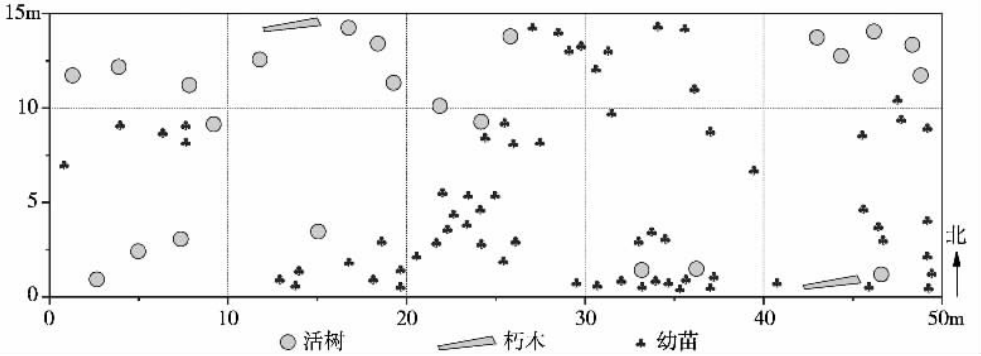


图2 样方内树木及幼苗空间分布方式

Fig. 2 Spatial patterns of trees and saplings in the sampling plot

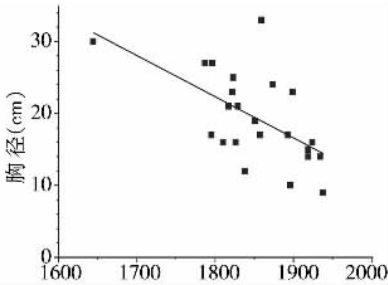


图3 样方内祁连圆柏的树龄—胸径散点图及其线性拟合线

Fig. 3 Age-diameter data for all cored trees in the sampling plot

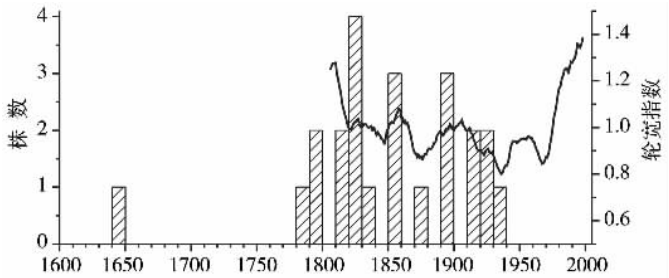


图4 样方内树木年龄组分布(未包括幼苗)及轮宽指数11年滑动平均值

Fig. 4 Age class distribution of all cored trees in the sampling plot (not including saplings) and smoothing lines derived from a centered 11-year moving average of the ring-width indices

中祁连圆柏最小年生长率为 0.02mm/a (图 5. C), 最大年生长率为 1.84mm/a (图 5. F), 平均年生长率为 0.62mm/a 。样芯中仅有一株树木出现生长抑制事件 (图 5. H), 而大部分祁连圆柏在生长过程中出现 1 次以上生长释放事件, 说明在不利的环境条件下, 祁连圆柏生长速率缓慢下降, 而当环境条件适宜自身生长时, 生长速率会快速回升, 这可能是祁连圆柏对严酷生境的一种适应方式。

样方内各株祁连圆柏的径向生长方式以及出现生长释放的时间、强度都有差异, 显示其生长过程中受到不同尺度、不同强度干扰事件的冲击, 且同一干扰事件对各株祁连圆柏的影响也有显著差异 (图 5)。例如样方内树龄最大的祁连圆柏, 其生长率在 0.02mm/a 与 0.78mm/a 之间波动, 生长过程中最初生长率较低, 在经历了 2 次生长释放后于 1800s 生长率达到最大值, 之后逐步下降并在 1885 年达到极低值, 随后 100 多年生长速率持续上升, 并在 1938 年又出现一次生长释放 (图 5. C)。另一株祁连圆柏最初 40 年的生长率则维持在 0.7mm/a 以上, 之后 100 年内生长率持续下降, 直到 1974 年经历一次生长释放后, 生长率开始上升 (图 5. E)。此外, 祁连圆柏还出现另外一种生长方式, 即径生长在 1970s 出现生长释放后生长率又持续下降 (图 5. A, D)。需要说明的是, 生长释放或抑制事件是根据样本年轮宽度的 10 年滑动平均值计算确定, 祁连圆柏实际开始生长释放或抑制的时间 (原始轮宽变化幅度突然增大) 通常发生在我们所标记年代的 1~2 年以后。

在 10 年尺度上, 该样方内祁连圆柏生长释放有一个显著特点, 即 1970~1979 年间祁

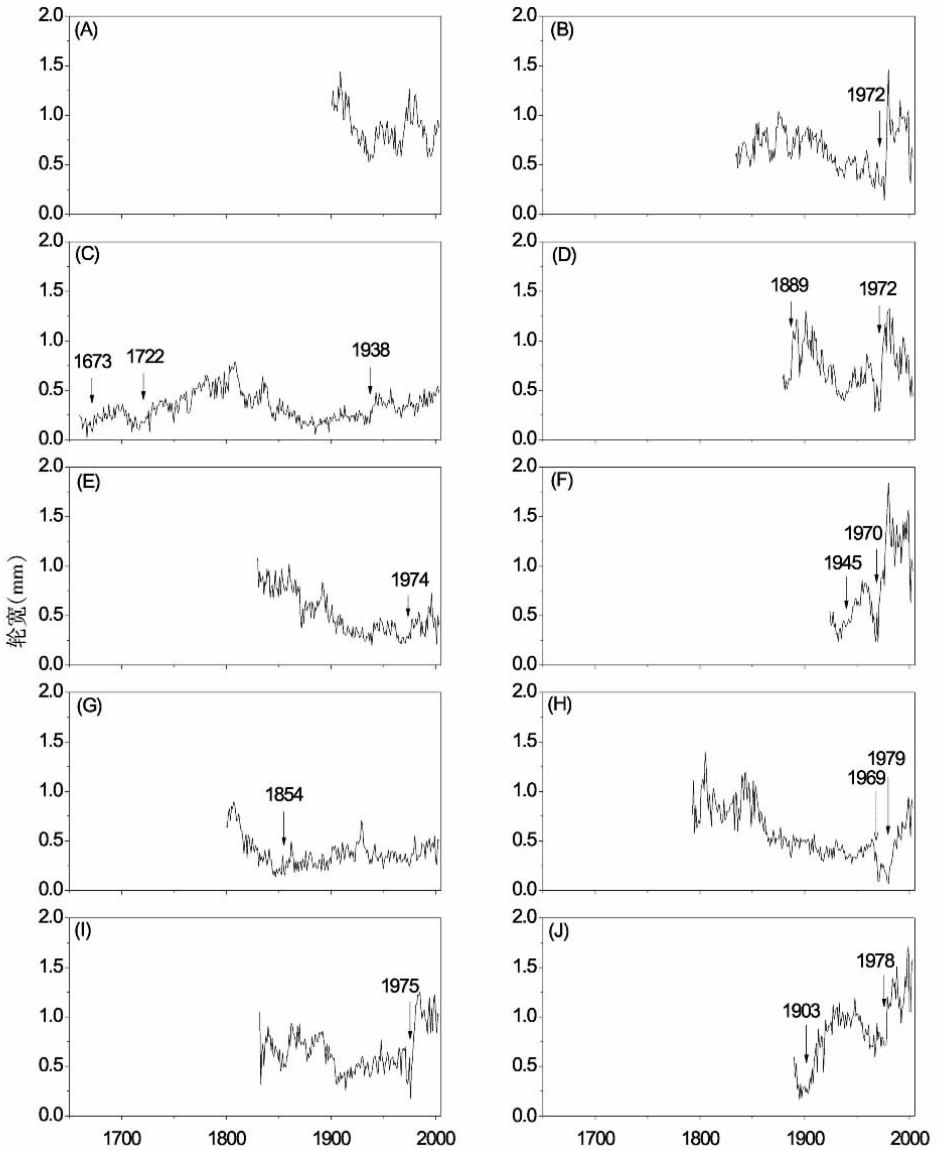


图 5 部分祁连圆柏径生长宽度序列 (实线箭头表示生长释放事件, 虚线箭头表示生长抑制事件)

Fig. 5 Radial growth chronologies of selected Qilian Juniper. Real-line arrows mean growth release dates; dashed-line arrows mean growth suppression dates

连圆柏出现生长释放的频率最高 (图 5. B、I、J 等)。用于径生长分析的 16 株祁连圆柏平均树龄为 164 年, 出现生长释放的总次数为 20 次, 平均每 10 年出现生长释放 1.22 次, 而在 1970~1979 年 10 年间即出现生长释放 8 次, 占总释放次数的 40%。所建立的祁连圆柏标准轮宽年表也显示, 轮宽指数自上世纪 70 年代起显著上升 (图 6)。

2.3 气候因素对祁连圆柏生长的影响

气象观测资料与轮宽指数序列的相关函数分析结果表明, 研究区域温度对祁连圆柏树木生长的影响较为稳定, 即较高的温度有利于树木生长 (表 1)。结合月平均最高温度、

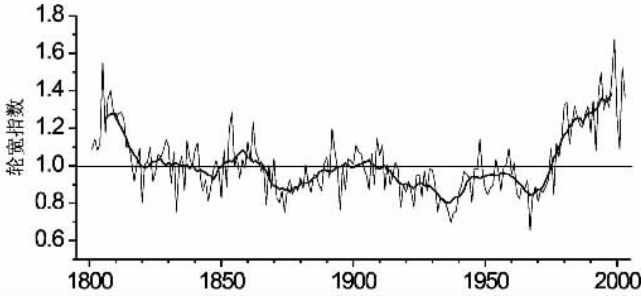


图 6 样方内祁连圆柏树轮宽度标准年表。

Fig. 6 Standard ring-width chronology of Qilian Juniper in the sampling plot

月平均温度与月平均最低温度三气候要素来看，在上一年 11 月至当年 2 月这一时期，温度对树木生长的正影响稳定而显著。尽管此时树木正处于休眠期，但高温让树液免受冻害，使其在生长季来临时，有能力快速恢复生理活动，从而形成宽轮。在各相关系数中，6 月份最低温度与轮宽指数序列相关最为显著。6 月份祁连圆柏已经开始生长，生理活动非常活跃，即便在夜间，也需要必要的呼吸作用维持基本的生理活动，包括及时转移光合产物、为第二天的光合作用准备原料等，而气象资料显示，此时采样点最低温度在 $-1.2 \sim 2.7^{\circ}\text{C}$ 之间波动，过低的温度使呼吸作用难以进行，进而限制了树木的光合效率，表现为最低温度与树木生长呈显著正相关。另外，6~7 月份降水对树木也有一定正影响并达到显著水平，水分是光合作用的主要原料之一，生长季开始后丰富的降水有利于宽轮的形成。

从树轮宽度年表可以看出，轮宽指数在 1967 年出现最低值，1999 年出现最高值（图 6）。1967 年采样点年平均气温 -3.5°C ，接近几十年来最低值 -3.6°C ，年降水 443.1mm，远大于最低年降水量 309.1mm，可见该年出现极窄年轮主要是受低温的影响。1998 年则出现几十年来最显著的暖冬现象，且 1999 年 1~10 月份平均气温为几十年来最高值，年降水量为 416.8mm，可以断定是高温导致了 1999 年树木生长最佳。对以上两个特征年的分析进一步说明，温度是影响采样点区域祁连圆柏径向生长的主要气候因子。

表 1 祁连圆柏年轮宽度指数与气候要素之间的相关系数

Tab. 1 Correlation coefficients of the ring-width indices of Qilian Juniper with climatic factors

月份	P10	P11	P12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均温度	0.01	0.50	0.43	0.17	0.43	0.03	0.12	0.01	0.28	0.22	0.07	0.39
最高温度	-0.07	0.49	0.31	-0.05	0.27	-0.16	-0.14	-0.10	-0.07	0.11	-0.07	0.33
最低温度	0.05	0.44	0.43	0.27	0.46	0.19	0.35	0.07	0.67	0.26	0.10	0.16
降水	0.03	-0.34	0.17	0.28	-0.02	0.18	0.05	-0.06	0.41	0.31	0.06	-0.22

注：P 为上一年气候要素；黑体数字表示该月份相关达到 95% 显著水平。

3 讨论与结论

本研究显示温度是影响区域祁连圆柏径向生长的主要气候因子，这与刘晓宏等最近在该区域的研究结果较为一致^[30]。而同在祁连山中部地区，张志华、康兴成等研究发现降水是限制祁连圆柏径向生长的主要气候因子^[31,32]。树木年轮的生长受多种气候要素的共

同影响,不同环境下各气候要素对树轮生长的重要性是不同的。一般来说,同一气候区域内的温度较降水有更高一致性,上述研究的采样点均在海拔 3000m 以上,受地形影响,各采样点的降水会有较大差异。在降水丰沛的采样点,高温促进树木光合作用,温度从而成为影响树轮生长主要气候因子;在降水稀少的采样点,高温促进水分蒸发,使树木因缺水而减缓生长,水分就成为影响树轮生长的主要气候因子。该区域各采样点的树木生长反映不同的气候要素,可能是降水量的差异所致。

对大多树种来说,种群稳定的径级结构与年龄结构是相对应的。因此,很多学者在进行树木种群生态学研究时,常采用树木径级结构代替年龄结构来分析种群的年龄动态^[33~35]。在本研究中,尽管随着树龄减小,祁连圆柏胸径总体上呈下降趋势,但二者之间并未表现出显著的线性关系,而且随着树龄增大,二者之间的不确定性就越大(图 3)。因此我们认为,对古老的祁连圆柏林进行生态学研究时,不能用树木径级结构代替年龄结构来分析种群的年龄动态。

祁连圆柏生长自上世纪 70 年代起呈显著上升趋势,且上升幅度为近 200 年来最大,反映了祁连圆柏生长对全球变暖的区域响应。但从各株祁连圆柏径生长序列来看,祁连圆柏生长对全球变暖的响应时间、响应强度都有所不同。一方面可能是因为祁连圆柏生长的微环境不同,弱化了气候对树木生长的一致影响;另一方面可能是各株祁连圆柏自身生理特性的差异,使其对气候变化的敏感性不同,并产生不同时间跨度的时滞效应。

总的来说,祁连圆柏林立地环境较差,气候条件严酷,其他树种难以生存,因而很少有相互演替的现象,只有自身的世代相因,或者逆向演替为灌丛草地。可以设想,在当前全球变暖的背景下,该区域环境条件比较适合祁连圆柏生长发育,如果能充分利用这一有利条件大力开展植树造林,采取有效措施降低冻害对树苗的影响,该区域祁连圆柏林状况将会显著改观,从而在整体上改善当地生态环境。为深入研究祁连圆柏在不同环境梯度上的生长状况及演替趋势,在今后工作中应不断扩大取样范围并进一步完善现有的研究手段。

参考文献:

- [1] Fritts H C, Swetnam T W. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Adv. Ecol. Res.*, 1989, 19: 111~188.
- [2] LaMarche V C, Graybill H C, Fritts H C, *et al.* Increasing atmospheric carbon dioxide: tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. *Science*, 1984, 225: 1019~1021.
- [3] Veblen T T, Hadley K S, Reid M S, *et al.* The response of subalpine forests to spruce beetle outbreak in Colorado. *Ecology*, 1991, 72: 213~231.
- [4] Nola P. A dendroecological study of larch at timberline in the Central Italian ALPS. *Dendrochronologia*, 1994, 12: 77~91.
- [5] Bergeron Y, Leduc A, Morin H, *et al.* Balsam fir mortality following the last spruce budworm outbreak in northwestern Quebec. *Can J For Res.*, 1995, 25: 1375~1384.
- [6] Jacoby G C, D'Arrigo R D, Davajamts T. Mongolian tree rings and 20th-century warming. *Science*, 1996, 273: 771~773.
- [7] Isdo S B. The long-term response of trees to atmospheric CO₂ enrichment. *Global Change Biol.*, 1999, 5: 493~495.
- [8] Camarero J J, Gutiérrez E. Boundary detection in altitudinal treeline ecotones in the Spanish Central Pyrenees.

- Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2000, 32(2): 117~126.
- [9] Vila B, Torre F, Guibal F, *et al.* Growth change of young *Picea sitchensis* in response to deer browsing. *Forest Ecology and Management*, 2003, 180: 413~424.
- [10] Bigler C, Grisar J, Bugmann H, *et al.* Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management*, 2004, 199: 183~190.
- [11] 蒋高明, 黄晓晓, 万国江, 等. 树木年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值及其对我国北方大气 CO_2 浓度变化的指示意义. *植物生态学报*, 1997, 21: 155~160.
- [12] 夏冰, 贺善安, 兰涛, 等. 亚高山云冷杉混交林树木生长释放与干扰分析. *植物资源与环境*, 1997, 6(1): 1~8.
- [13] 夏冰, 邓飞, 周康, 等. 青海麦秀林场紫果云杉次生林的干扰事件. *植物资源与环境学报*, 2002, 11: 6~10.
- [14] Liang Eryuan, Michel V, Lin Jinxing, *et al.* Relationships between tree increment, climate and above-ground biomass of grass: a case study in the typical steppe, north China. *Acta Oecologica*, 2003, 24(2): 87~94.
- [15] 勾晓华, 陈发虎, 杨梅学, 等. 祁连山中部地区树轮宽度年表特征随海拔高度的变化. *生态学报*, 2004, 24(1): 172~176.
- [16] 康兴成, Graumlich L J, Sheppard P. 青海都兰地区 1835 年来的气候变化——来自树轮资料. *第四纪研究*, 1997, (1): 70~75.
- [17] Zhang Qibin, Cheng Guodong, Yao Tandong, *et al.* A 2326-year tree-ring record of climate variability on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(14): 1739~1742.
- [18] 邵雪梅, 黄磊, 刘洪滨, 等. 树轮记录的青海德令哈地区千年降水变化. *中国科学*, 2004, 34(2): 145~153.
- [19] 张存杰, 郭妮. 祁连山区近 40 年气候变化特征. *气象*, 2002, 28(12): 33~40.
- [20] Rigling A, Schweingruber F H. Entwicklung waldföhrenreicher wälder im Gebiet Brienz-Wiesen (GR). Eine historischdendroökologische Studie. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 1997, 148: 173~196.
- [21] Pollmann W. Stand structure and dendroecology of an old-growth *Nothofagus* forest in Conguillio National Park, south Chile. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176: 87~103.
- [22] Fritts H C. *Trees Rings and Climate*. London: Academic Press, 1976, 376~412.
- [23] Holmes R L. Computer assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, 43: 69~75.
- [24] Cook E R, Holmes R L. Users manuals for ARSTAN. Lab of Tree Ring Research, University of Arizona, Tucson, 1986.
- [25] Clark S L, Hallgren S W. Age estimation of *Quercus marilandica* and *Quercus stellata*: applications for interpreting stand dynamics. *Can. J. For. Res.*, 2004, 34: 1353~1358.
- [26] Norton D A, Palmer J G, Ogden J. Dendroecological studies in New Zealand 1. an evaluation of tree age estimates based on increment cores. *N. Z. J. Bot.*, 1987, 25: 373~383.
- [27] Kelly P K, Larson D W. Dendroecological analysis of the population dynamics of an old-growth forest on cliff-faces of the Niagara Escarpment, Canada. *J. Ecol.*, 1997, 85: 467~478.
- [28] Lorimer C G, Frelich L E. A methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. *Can. J. For. Res.*, 1989, 19: 651~663.
- [29] Copenheaver C A, Abrams M D. Dendroecology in young stands: case studies from jack pine in northern lower Michigan. *Forest Ecology and Management*, 2003, 182: 247~257.
- [30] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 等. 祁连山中部过去近千年温度变化的树轮记录. *中国科学(D辑)*, 2004, 34(1): 89~95.
- [31] 张志华, 吴祥定. 利用树木年轮资料恢复祁连山地区近 700 年来气候变化. *科学通报*, 1997, 42(8): 849~851.
- [32] 康兴成, 程国栋, 陈发虎, 等. 祁连山中部公元 904 年以来树木年轮记录的旱涝变化. *冰川冻土*, 2003, 25(5): 518~525.
- [33] 敖成齐, 周良骥. 合肥蜀山森林公园白栎林与枫香林生态学特征比较. *安徽农业大学学报*, 2000, 27(3): 217~220.
- [34] 常进雄, 杨龙, 黄威廉. 贵州南部掌叶木种群生态研究. *贵州科学*, 2002, 20(2): 1~15.
- [35] 洪伟, 王新功, 吴承祯, 等. 磊湖危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 1109~1112.

Tree-ring records of Qilian Juniper's growth and regeneration patterns in the central Qilian Mountains

LIU Lu-san^{1,2}, SHAO Xue-mei^{1,3}, LIANG Er-yuan^{3,1}, Wang Li-li¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: In Qilian Mountains, *Sabina przewalskii* is one of the most important intolerant trees on south-facing mountain slopes. In this study, a plot of 50m×15m of the Qilian Juniper community in the central Qilian Mountains was used for stand structure and dendroecological sampling. Within the plot, all trees (>5.0cm DBH) were cored and diameter at breast height was measured. Besides, the amount of all trees and saplings was recorded respectively with their spatial distribution patterns being mapped. A total of 23 trees and 64 saplings were cored and recorded respectively in this plot.

The community of Qilian Juniper was very sparse and its compositions could be simply divided into two layers, i. e. the arborous layer and the herbaceous layer. The arborous layer was entirely occupied by Qilian Juniper. The diameters of trees in the plot ranged from 9cm to 33cm, with 78.3% of all individuals falling into the diameter range between 10cm and 25cm. The age structure indicated that most of the trees in this region were less than 250 years old, and there were not any trees with an age of less than 60 years being found in this stand. It was notable that there were large numbers of saplings in the plot now. The radial growth rates of Qilian Juniper of this plot varied between 0.02mm per year and 1.84mm per year, with the mean radial growth rate being 0.62mm per year. Release events in radial growth, indicative of different disturbances, occurred once or more in most of the trees during the last 200 years, with the highest frequency of releases occurred in the 1970s. The result of correlation function analysis indicates that temperature is the main environmental factor influencing tree ring growth of Qilian Juniper in this region, and high temperature could accelerate the radial growth. Besides, precipitation in June and July of the growth season is significantly and positively correlated with the radial growth of Qilian Juniper. The tree-ring chronology displayed a persistent growth increase from the 1970s to now, suggesting a positive growth response to the global warming. Under recent climate warming, it can be concluded that the forest would have regrown rapidly in this region once the anthropic disturbances are well controlled. More extensive samplings and corresponding physiological research will greatly improve our knowledge of Qilian Juniper's growth and regeneration patterns in different environmental gradients.

Key words: Qilian Mountain; Qilian Juniper; dendroecology; growth release; age structure