

亚高山云冷杉混交林树木 生长释放与干扰分析*

夏冰 贺善安 兰涛 邓飞 姚淦

(江苏省植物研究所, 南京 210014)
中国科学院

摘要 对云南碧塔海亚高山云冷杉林内4个样地冠层树木的生长压制和释放的历史,用树木年轮分析方法进行了重建,然后根据生长释放频率推测林冠干扰强度(每10年冠层树木的死亡百分率)。4个林分(1个中龄林,3个成过熟林)生长释放的平均百分率为48%~92%。中龄林内,平均生长释放频率为7.1%/10a,成过熟林则为7.4%~9.5%/10a,在油麦吊云杉(*Picea brachytyla* var. *complanata* (Mast.) Cheng ex Rehd.)占优势的林分和大果红杉(*Larix potaninii* var. *macrocarpa* Law)-油麦吊云杉混交林分内,估测的林冠干扰强度分别为4.8%/10a和5.9%/10a。

关键词 林冠干扰;生长释放;生长压制;林冠干扰强度估计

Growth release and disturbance of conifer trees in subalpine spruce-fir mixed forest Xia Bing, He Shan-An, Lan Tao, Deng Fei and Yao Gan (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014), *J. Plant Resour. & Environ.* 1997, 6(1): 1~8

Tree ring analysis was used to reconstruct the history of growth suppression and release of conifer trees in four stands within a subalpine spruce-fir mixed forest in Bitahai Natural Reserve, north-west of Yunnan Province. And then, the canopy disturbance intensity (the percent of mortality of canopy trees per decade) were inferred from the frequency of the growth release. For all stands (one was young growth, the others were old-growth), the average values of growth release frequency were 7.1% per decade in young stand and 7.4% to 9.5% per decade in the old stands. The estimated disturbance intensities were 4.8% per decade in the stand dominated by *Picea brachytyla* var. *complanata* (Mast.) Cheng ex Rehd. and 5.9% per decade in *Larix potaninii* var. *macrocarpa* Law-*Picea brachytyla* var. *complanata* (Mast.) Cheng ex Rehd. stand.

Key words canopy disturbance; growth release; growth suppression; estimation of canopy disturbance intensity

1. 引言

对于林窗干扰(即林冠层树木的死亡),耐荫树种和非耐荫树种有不同的反应方式^[1]。耐荫树种所特有的形态和生理特点,使其能吸收和利用林冠下低光照的散射光,因此,耐荫树种的幼树生长更多地取决于干扰频率和生长压制与生长释放的时间;而非耐荫树种的生长则要求出现相对较大的林窗,无论是其周围树木的侧枝生长还是后更新代的生长,均不能填补这样的林窗。耐荫树种在其向上生长达到林冠层高度的过程中,其径向生长存在若干明显的生长特征,即在密闭林冠层下生长的耐荫树种幼树,在中小林窗形成后,其生长会出现迅速而持续

* 国家自然科学基金资助项目(39470564)

收稿日期 1996-09-16

的增加(称为生长释放, Release), 一般来说, 从幼树生长到进入林冠层需经历两个以上的生长释放过程。因此, 可以利用树木生长压制和释放与林窗发生的对应关系, 推测过去发生的干扰历史。

重建干扰历史的研究是植物群落演替和更新研究的基础, 已愈来愈引起重视。国际上关于树木年轮分析与干扰历史的研究已有较多文献^[2~6]。在国内, 阳含熙和夏冰等应用树木生长释放与干扰的对应关系, 分别研究了长白山红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)混交林和天目山黄山松(*Pinus taiwanensis* Hayata)阔叶混交林的干扰历史, 为建立干扰与植被动态的关系做了有益的尝试^[7,8]。

关于我国亚高山针叶树的生长释放与干扰关系的情况目前尚不清楚, 就滇西北亚高山针叶林而言, 云冷杉林被认为是垂直高度上比较稳定的类型^[9], 要研究这些稳定类型的动态和更新机制, 首先必须了解其中的干扰体系。油麦吊云杉是滇西北亚高山针叶林的重要建群种和优势种之一, 当地至今仍存在大面积的成过熟云冷杉林。除大面积的干扰如火灾、砍伐等原因会导致形成桦木(*Betula* sp.)和大果红杉林外, 更多的则是形成中小尺度的林窗, 林窗的面积多在 110 m²以下^[10]。重建这些成过熟云冷杉林的干扰历史, 无论对森林动态理论还是森林经营都有重要意义。本文的主要目的是确定云南中甸碧塔海油麦吊云杉混交林的生长压制和生长释放的发生时间和频率, 并据此重建其过去的冠层干扰历史。

2. 材料和方法

本研究的 4 个样地位于云南省中甸县境内的碧塔海自然保护区(见图 1)。这 4 个样地代表了该保护区半阴坡上的主要森林类型: ZD1 为油麦吊云杉的成过熟林, 油麦吊云杉的 DBH 范围是 30~101 cm; ZD2 为以大果红杉为优势种的混生油麦吊云杉的幼龄林或中龄林, 油麦吊云杉的 DBH 为 5~26 cm; L1 为以油麦吊云杉为优势种的成熟林, 油麦吊云杉的 DBH 为 15.3~89.1 cm; L2 为油麦吊云杉和长苞冷杉的混交林, 油麦吊云杉的 DBH 为 6.4~75.8 cm。这 4 个样地的概况详见表 1。



图 1 云南中甸县碧塔海自然保护区内的 4 个样地 ZD1, ZD2, L1 和 L2 的位置

Fig 1 Locations of the four sample stands sites: ZD1, ZD2, L1 and L2 within Bitahai Natural Reserve in Zhongdian County, Yunnan Province, China

1993 年和 1994 年的 5~6 月分别对 ZD1, ZD2, L1 和 L2 样地进行调查。ZD1 和 ZD2 的调查采用半径为 20 m 的样圆, 每个样圆的面积约为 1 256 m²。以样地内随机确定的一点为圆心, 按顺时针方向由南旋转 360°, 测定并记录半径 20 m 范围内所有 DBH ≥ 5 cm 的树木的种类、高度、树木距圆心的距离、南北方向树冠垂直投影长度及磁方位角, 并对 DBH ≥ 10 cm 的针叶树用生长锥在胸高处取一个过其髓心的芯样。L1 和 L2 样地的调查采用 50m × 50m 的样方, 测量并记录样方内所有 DBH ≥ 5 cm 的树木的种类、树高、DBH、东西南北 4 个方位的树冠垂直投影长

度、树木位置(该树距2条垂直样线的垂直距离),并对 $DBH \geq 10$ cm的针叶树在胸高处取芯样。由于过熟的长苞冷杉多有心腐现象,因此少数植株未取得芯样。4个样地的总调查面积为 0.75 hm^2 ,取得的芯样共298个。

表1 云南中甸碧塔海自然保护区4个样地的概况

Tab 1 Descriptions of the four sample stands in Bitahai Natural Reserve in Zhongdiang County, Yunnan Province

	ZD1		ZD2		L1		L2	
	%D	%BA	%D	%BA	%D	%BA	%D	%BA
油麦吊云杉 <i>Picea brachytyla</i> var. <i>complanata</i>	72	94.5	25	20.1	66	95.3	31	48.8
长苞冷杉 <i>Abies georgei</i>					25	4.1	43	45.6
大果红杉 <i>Larix potaninii</i> var. <i>macrocarpa</i>	4	3.7	65	74.0			2	2.5
红毛花楸 <i>Sorbus rufopilosa</i>	16	1.1			3	0.2	4	0.6
柳叶忍冬 <i>Lonicera lanceolata</i>					5	0.2	1	0.1
桦木 <i>Betula</i> sp.			1	1.0			11	1.2
杜鹃 <i>Rhododendron</i> sp.	8	0.7			1	0.3	8	1.2
高山栎 <i>Quercus</i> sp.			9	5.1				
海拔 Elevation (m)	3480		3510		3550		3540	
坡度 Slope	20		12		24		16	
坡向 Aspect	WN		WS		WN		EN	
冠层树木平均胸高直径 Mean canopy tree DBH (cm)	42.5		17.3		29.4		23.2	
冠层树木总胸高断面面积 Total canopy basal area (m^2/hm^2)	75		16		53		34	
冠层树木总密度 Total density of canopy trees (株/ hm^2)	454		567		584		564	

%D: 相对密度 Relative density of the four sample sites; %BA: 冠层林木的相对胸高面积 Relative basal area of canopy trees; 冠层树木指其 $DBH > 5$ cm, 并且其树冠至少有部分暴露在直射光下 The canopy trees were defined as all stems > 5 cm DBH that at least part of their crowns was exposed by direct sunshine.

取回的树芯样经砂纸打磨光滑后用年轮测试仪测定树轮的宽度(精度为 0.01 mm),用测微尺检验表明,在 0.01 mm 分辨力以上无测量误差。不过在使用轮宽来估计树木径向生长率时,可能会存在着其他误差来源,同一株树木,其背坡部分和迎坡部分轮宽特征有所不同,背坡处树轮常较宽,迎坡处树轮常较窄^[11]。为避免此类误差,在对树芯取样时,均尽量从垂直于坡向的方向进钻取样。另外,树芯样的树轮数量可能会由于极端恶劣气候条件或树木之间的激烈竞争而产生遗失轮。虽然在理论上可以采用交叉定年来消除遗失轮的影响,但本研究所取芯样为样方内所有 $DBH \geq 10$ cm的树木,而气候因素对这些树木的影响程度是很不一致的,难于采用交叉定年方法,故不考虑极少数遗失轮的影响。为此,在分析年轮系列的生长压制和生长释放年轮时,以每10年为一单位进行统计,先以年为单位,用计算机显示年轮的逐年宽细变化情况,然后对年轮系列长度(记第*i*棵树第*j*年的年轮宽度值为 W_{ij}),用二次多项式模拟平滑曲线(记平滑曲线上第*i*棵树第*j*年的模拟值为 S_{ij}),记第*i*棵树第*j*年的生长指数为 IND_{ij} ,并定义 $IND_{ij} = W_{ij} - S_{ij}$,则所定义的生长指数系列 IND_i 为剔除了树龄变化对生长的长期影响的指数系列^[12]。本研究中,采用二次多项式而不用直线方程式或三次及三次以上的多项式是考虑到如下因素:一是所取树轮绝大部分的径向生长均是在幼年时生长量较大,随着年龄的增加,生长减慢,二次方程比一次方程更能反映这种长期的趋势性变化;二是如采用三次以上的多项式,有可能把树木的某些生长波动也剔除,而这些生长波动可能正是生长压制和生长释放的结果。用上述方法获得的生长指数(IND)系列中所包含的信息可以包括两个方面:一是在

高频变化部分,主要含有以年为单位的气候变化或其他自然因素对生长的影响;二是在低频变化部分,包括树木之间的相互作用或短期的气候波动对生长的影响。

树木之间的相互作用,主要表现为生长的压制和释放。为了从生长指数中提取生长压制和释放的信息,主要从两个方面对已获得生长指数的系列进行再处理:一是对每一株树的生长指数系列(IND, $i=1, 2, 3 \dots 298$)分别进行10年滑动平均,所得的平滑曲线反映的是过滤了高频生长变异后树木阶段性的生长变化趋势,这些低频生长变化,除了含有生长压制和释放的信息外,也可能含有短期气候波动对生长的影响,为此我们定义:在10年滑动平均曲线上,持续10年以上的生长指数下降称为生长压制;继生长压制之后出现持续10年以上的生长指数上升,且10年滑动平均生长指数上升过程中的最高点比最低点大0.2以上,称为生长释放。曲线上生长压制期最低点之后的第一年为生长释放开始期。上述年轮系列的处理、生长压制及生长释放的定义,都基于对所取芯样的分析,其根本的要求,就是把在轮宽与轮数图上出现的持续一定时间的生长减慢和生长加速信息明确地提取出来。此外,根据我们以前对该地林窗发生时间与周围树木径向生长特征分析情况表明:“生长指数相差0.2以上”这一标准可以较好地判别林窗的发生。我们认为:本研究中林窗发生的判别方法,可以比较客观、便捷地反映样木过去发生生长压制和生长释放的信息,并进而反映出林地过去的干扰情况。具体分析过程可用图2来说明:图2a是一株油麦吊云杉的树轮宽度序列,长度为214年(记为 $W_i, i=1, 2, \dots, 214$)。从年轮宽度随树龄增加的变化情况可看出,其序列中存在着一个周期长度大于整个序列长度的较低频率变化,另外,高频率的逐年年轮变化也非常明显。本研究中关注的是生长持续下降或持续上升的中低频部分的变化。为消除较低频率的变化,对图2a中的轮宽序列用二次多项式模拟一光滑曲线(见图2b曲线)(曲线值记为 $S_i, i=1, 2, \dots, 214$)。用 $W_i - S_i$ 可求

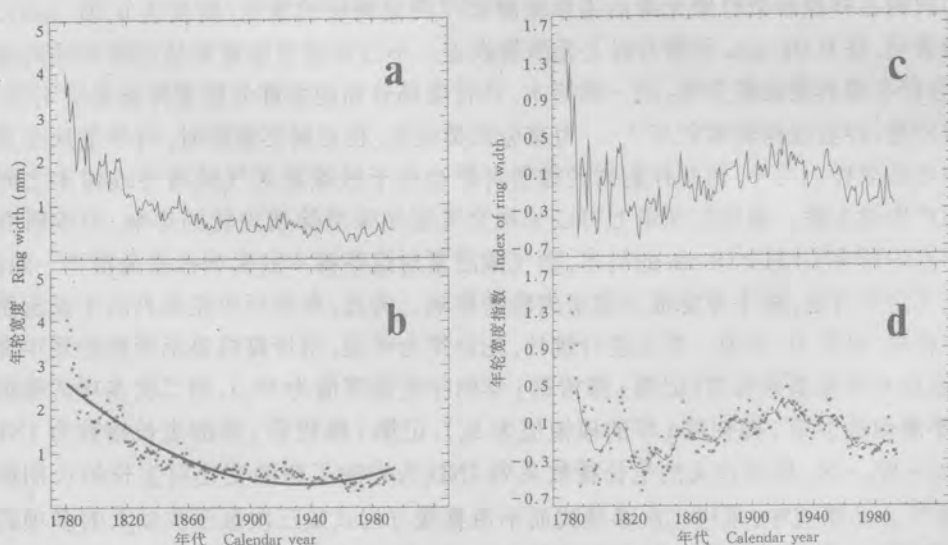


图2 L1样地中一株油麦吊云杉芯样的树轮宽度分析

Fig 2 Analysis of the series of tree-ring width for a core of *Picea brachytyla* var. *complanata* in the site L1

a. 轮宽序列 Ring width series; b. 轮宽序列及其趋势曲线 Ring width series and its trend curve;

c. 除趋势后的轮宽指数系列 Detrended series of ring width index;

d. 轮宽指数系列及10年滑动平均曲线 The series of ring width index and the curve of 10 years moving average

得消除了趋势性变化的年轮宽度指数系列(图 2c)(记为 $IND_i, i=1, 2, \dots, 214$), 从图 2c 中可见, 已无轮宽的趋势性变化(指变化周期大于整个系列长度的较低变化)。此处高频和中低频的轮宽变化均较显著, 对 $IND_i(i=1, 2, \dots, 214)$ 序列再进行一次 10 年滑动平均(图 2d 中的曲线), 可消除高频的轮宽变异并留下中低频的轮宽变化。从该曲线可见, 年轮宽度指数系列中存在着各种中低频的轮宽变异, 表现为轮宽指数系列中有若干一定周期的波动。根据上述对生长释放和生长压制的定义, 可找出 4 个生长释放开始点, 分别在 1801 年, 1843 年, 1874 年和 1904 年, 其他点的波动则不满足本文中对生长释放的定义, 如 1940 年后生长虽然增大, 但其持续期未超过 10 年, 且波峰与波谷之差也小于 0.2。对 260 个芯样的轮宽序列均做以上分析。并同时记录生长压制期和生长释放期的长度。

在对过去干扰历史的分析中, 我们假定, 冠层树木的分布是随机分布, 那么, 过去冠层树木的生长释放情况可以用每 10 年出现生长释放的树木数占总取样树数量的百分比来表示, 称为生长释放频率。把生长释放频率乘以一定的比例系数称为干扰强度(树木死亡率)。

3. 结果与讨论

3.1 树木生长释放历史

所取芯样的冠层树木, 其年轮系列的长度(以年为单位), 可近似地视为树木胸高处的树龄, 其分布情况见图 3。ZD1 样地上的冠层树木, 94% 的胸高树龄为 120~220 年之间, 全部为油麦吊云杉。另外, 6% 的树龄为 80~100 年之间, 这部分树木中既有油麦吊云杉, 也有少量大果红杉, 多生长在林窗内或林窗边缘, 处于整个林冠的第 2 层。ZD2 样地树木的胸高树龄, 分布相对集中, 没有遇到 100 年以上的树木且 98% 的树龄在 20~80 年之间, 树种为大果红杉和油麦吊云杉。其林冠高度远低于其他 3 个样地第 1 林冠层的高度。从其相对集中的树龄分布, 可推断在过去的 80~100 年间, 该林地可能遭受过较严重的森林破坏。目前的林分是在那场破坏之后发展起来的。L1 样地冠层树木的树龄分布与 ZD1 样地相似。85% 的树龄为 100~240 年之间, 这部分树木占据着整个林分的第 1 林冠层。另外约 15% 树木的树龄为 20~80 年, 也都生长在可接受垂直阳光照射的林窗内或林窗边缘。L2 样地冠层树木的树龄分布范围比较大, 为 40~360 年, 并且与 ZD2 样地的树龄分布相似, 即大部分树木树龄较小, 60~100 年的树木约占 52%。

各个样地冠层树木所经历的生长压制和生长释放情况见表 2。林分中至少经历过一次生长释放的冠层树木占总冠层树木的比例, 以 L2 样地和 ZD1 样地为最大, 均达 92%, 其次是 L1 样地(为 79%), 最小的是 ZD2 样地(48%), 这一比例与所取芯样的长度分布(即冠层树木的树龄分布)有一定的关系: 即林分中树龄小(100 年以下)的林木比重愈大, 生长释放林木在林分中所占的比例也就愈小。从每株树木经历的生长释放的平均数量看, 除了 ZD2 样地的为 1.2 次外, 其余 3 个样地的平均数均较接近, 分别为 2.0, 1.9 和 2.1。生长释放次数也与林木的树龄有关。L2 样地上, 有的树木树龄达 300 年以上, 其经历的生长释放次数也较多, 为 1~6 次; 而较年幼的 ZD2 样地的林分内, 树木经历的生长释放仅为 1~2 次。从生长释放期和压制期的平均长度来看, 4 个样地上的树木, 其生长加速持续期均略短于生长减慢持续期。各样地生长释放的平均最大持续时间范围为 29~78 年; 生长压制的平均最大持续时间为 33~80 年。

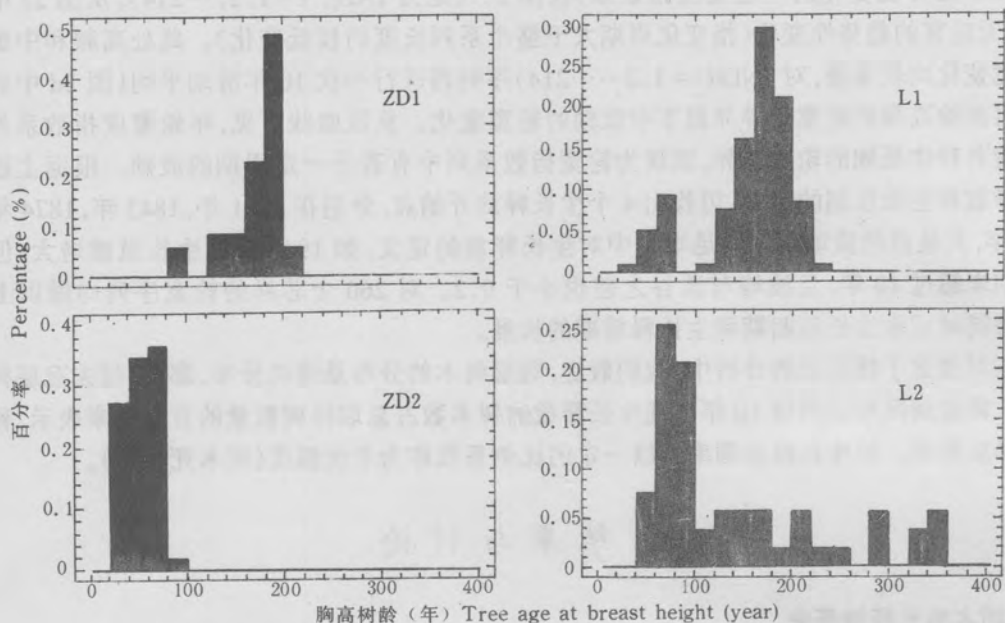


图3 云南中甸碧塔海自然保护区各林分冠层针叶树木的年龄分布
 Fig 3 Age distribution of coniferous canopy trees at four stands
 in Bitahai Natural Reserve in Zhongdian County, Yunnan Province

表2 云南碧塔海自然保护区4个样地内冠层树木生长压制和生长释放

Tab 2 Growth suppression and release of canopy trees in 4 sample stands in Bitahai Natural Reserve, Zhongdian, Yunnan

	样地 Sample stand			
	ZD1	ZD2	L1	L2
芯样数量 Core number	38	53	110	97
具有生长释放芯样的百分率 Percent of cores with periods of release (%)	92	48	92	79
每芯样出现生长释放的平均数 Average No. of episodes of release per core	2.0	1.2	1.9	2.1
标准偏差 s. d.	0.94	0.44	0.91	1.36
范围 Range	1~4	1~2	1~4	1~6
每个芯样出现生长释放的平均间隔期(年) Average interval of releases per core (a)	46	*	43	50
标准偏差 s. d.	20		16	27
范围 Range	20~83		20~89	27~126
生长释放期的平均长度(年) Average lengths of release (a)	16.7	13.7	17.2	16.5
标准偏差 s. d.	8.1	4.4	10.3	7.7
范围 Range	10~43	10~29	10~78	10~58
生长压制期的平均长度(年) Average lengths of suppression (a)	18.0	14.5	17.7	19.4
标准偏差 s. d.	8.0	5.7	9.5	13.2
范围 Range	10~44	10~33	10~72	10~80
第一次释放平均树龄 Average age when the release was identified	36	28	49	41
标准偏差 s. d.	18	14	32	20
范围 Range	13~89	10~53	15~190	15~92

* 出现两次生长释放的芯样数量少,未进行统计 Number of cores with two releases was too small to count.

树木出现第 1 次释放的树龄差异很大,从 53 年到 190 年,说明有的树木长到 190 年时才出现第 1 次释放;从平均数来看,其范围在 28~49 年之间。

表 3 云南碧塔海自然保护区内 4 个样地冠层树木的生长释放历史

Tab 3 Release history of canopy trees in the four sample stands in Bitahai Natural Reserve, Zhongdian, Yunnan

年代(10 年) Years (decade)	生长释放频率 (%/10 年) Release frequency (% per decade)			
	ZD1	ZD2	L1	L2
1790~1799			0.8	3.9
1800~1809			2.5	2.0
1810~1819	2.9		0.8	9.8
1820~1829	5.7		3.4	2.0
1830~1839	17.1		7.6	7.8
1840~1849	25.7		14.4	5.9
1850~1859	2.9		3.4	2.0
1860~1869	5.7		11.0	9.8
1870~1879	17.1		22.9	9.8
1880~1889	11.4		11.9	7.8
1890~1899	8.6		16.9	5.9
1900~1909	17.1		17.8	0.0
1910~1919	14.3		14.4	11.8
1920~1929	2.9	3.6	10.2	9.8
1930~1939	17.1	5.4	6.8	17.6
1940~1949	5.7	8.9	9.3	5.9
1950~1959	2.9	7.1	5.9	7.8
1960~1969	5.7	8.9	14.4	15.7
1970~1979	5.7	14.3	8.5	11.8
1980~1989	2.9	1.8	0.0	0.0
平均 Mean	9.5	7.1	9.1	7.4
平均间隔期(年) Mean interval (year)	106	133	110	136

(见表 3), 则其平均干扰强度为 4.75%/10a, 以此推测的干扰历史见图 4。ZD1 和 L1 样地相距较近, 其过去干扰强度的变化, 在 1910~1919 年以前较为一致, 例如 1840~1849 年, 1870~1879 年和 1900~1909 年这 3 个时期, 干扰强度均较大。L2 样地的干扰强度在 1930~1939 年和 1970~1979 年较大。各样地的平均干扰强度及干扰间隔期见表 4。ZD1 和 L1 样地的平均干扰强度为 4.8%/10a, 即其干扰间隔期为 108 年, 意味着冠层树木的平均存活时间为 108 年。两个样地上油麦吊云杉所占的基面积(胸高断面)比

表 3 是生长释放的年代表。重建的各样地干扰年表的年代范围短于芯样长度, 主要是因为剔除了那些芯样重叠年代少的时间段, 以避免这些时间段上由于重复样本少而出现的偏差。ZD1 的林分在过去 180 年中, 所经历的平均生长释放频率为 9.5%/10a; 在过去的 200 年中, L1 和 L2 林分的平均生长释放频率分别是 9.1%/10a 和 7.4%/10a; 在过去的 70 年中, ZD2 林分的平均生长释放频率为 7.1%/10a。另外, 从表 3 还可看出, 在某些时期, 这些林分之间出现较大生长释放频率的时间相同或相近, 如 1840~1849 年, ZD1 和 L1 林分的释放频率均较大(分别为 25.7%/10a 和 14.4%/10a); 1870~1879 年, ZD1, L1 和 L2 林分每 10 年的释放频率分别为 17.1%, 22.9% 和 9.8%; 1910~1919 年, 这三个林分每 10 年的释放频率分别为 14.3%, 14.4% 和 11.8%。

3.2 林窗干扰强度分析

本研究以平均每株树木经历的生长释放次数的倒数乘以生长释放频率, 推测过去发生的树木死亡率(即干扰强度)。如 ZD1 样地上, 树木经历的平均生长释放次数为 2.0 (见表 2), 其平均生长释放频率为 9.5%/10a

表 4 云南碧塔海自然保护区 4 个样地的平均干扰强度及干扰间隔期

Tab 4 Mean intensity and interval of the disturbance in the four sample stands in Bitahai Natural Reserve, Zhongdian, Yunnan

样地 Sample Stand	历史年代 Historical years	平均干扰强度 Mean disturbance intensity (%/10a)	干扰间隔 Disturbance interval (year)
ZD1	1810~1989	4.8	208
ZD2	1920~1989	5.9	169
L1	1790~1989	4.8	208
L2	1790~1989	3.5	286

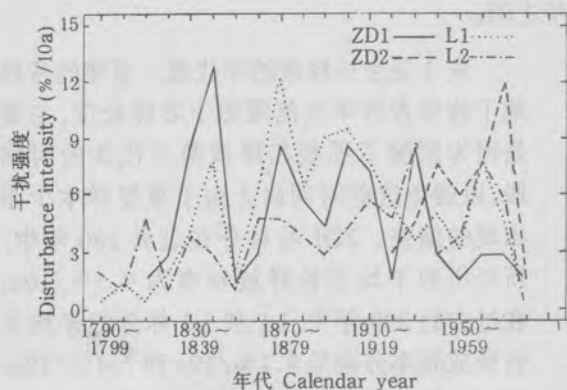


图4 云南碧塔海自然保护区4个样地的干扰历史重建
Fig 4 Historical reconstruction of the disturbance intensity in four sample stands in Bitahai Natural Reserve, Zhongdian, Yunnan

表明,大果红杉是一种不稳定类型,其种子不能在林冠下萌发生长,最终将被云冷杉取代。据此可推测,这批冠层大果红杉在被油麦吊云杉取代的过程可能约需169年左右。

本研究中推测的干扰间隔期仅限于 $DBH \geq 10$ cm的树木,因此其年数要小于树木的树龄,而树木的实际树龄应约等于平均干扰间隔期加树木长到 $DBH = 10$ cm时的树龄。

参 考 文 献

- 1 Canham C D. Different response to gaps among shade-tolerant tree species. *Ecology*, 1989, 70: 548~550.
- 2 Canham C D. Suppression and release during canopy recruitment in *Acer saccharinum*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1985, 112: 134~145.
- 3 Canham C D. Suppression and release during canopy recruitment in *Fagus grandifolia*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1990, 117: 1~7.
- 4 Deal R L, Oliver C D, Bormann B T. Reconstruction of mixed hemlock-spruce stands in coastal southeast Alaska. *Can J For Res*, 1991, 21: 643~654.
- 5 Lorimer C G. Methodological considerations in the analysis of forest disturbance history. *Can J For Res*, 1985, 15: 200~213.
- 6 Lorimer C G, Frelich L E. A methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forest. *Can J For Res*, 1989, 19: 655~663.
- 7 阳含熙,谢海生. 长白山红松混交林干扰历史的重构研究. *植物生态学报*, 1994, 18: 201~208.
- 8 夏冰,兰涛,贺善安等. 西天目山黄山松阔叶林的冠层干扰与动态推测. *植物资源与环境*, 1995, 4(3): 15~20.
- 9 《云南植被》编写组. 云南植被. 北京: 科学出版社, 1987. 472~492.
- 10 夏冰,兰涛,贺善安等. 云南亚高山云冷杉林林窗的研究. *植物资源与环境*, 1996, 5(4): 1~8.
- 11 吴祥定等著. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990. 67~70.
- 12 Fritts H C. *Tree-ring and climate*. London: Academic Press, 1976. 261~268.

(责任编辑:宗世贤)

例均在95%以上。对林窗干扰体系的研究表明, L1样地的林窗发生间隔期为200年^[10], 说明对油麦吊云杉占绝对优势的成熟林而言, 用树木生长释放研究干扰强度的结果是可靠的。L2的平均干扰强度为3.5%/10年, 其干扰间隔期为286年, 高于L1样地的干扰间隔期。这与实际取样时部分老龄长苞冷杉心腐严重而未取到芯样有关, 而年轻的冷杉芯样中生长释放次数较少, 使估计的干扰间隔期偏大。ZD2的平均干扰强度为5.9%/10a, 即干扰间隔期为169年。目前ZD2样地上的树木大部分为大果红杉, 它也是一种先锋树种, 已有研究表