

岷江冷杉林林窗小气候及其对不同龄级岷江冷杉幼苗生长的影响

张远彬¹ 王开运^{1,2*} 鲜骏仁^{1,3}

(¹ 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

(² 华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062)

(³ 四川农业大学林学院园艺学院, 四川雅安 625014)

摘要 对川西亚高山原始岷江冷杉(*Abies faxoniana*)林林窗内和林冠下小气候及岷江冷杉幼苗生长和生物量进行了两个生长季的连续观测。结果表明 6 月林窗内与林冠下太阳辐射的日积累量没有显著性差异, 而 7~8 月的日积累量则有显著性差异。整个生长季节, 林窗内太阳辐射的平均积累量为 $8.10 \times \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 而林冠下太阳辐射的平均积累量为 $5.02 \times \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 两个位点太阳辐射积累量的显著差异主要来自 7~8 月日积累量的不同。林窗内 5 和 15 cm 层土壤的日平均温度比林冠下相应深度分别高 2.1 和 2.7°C, 差异显著。林窗内和林冠下 3~8 年岷江冷杉幼苗高增长率分别为 $1.2 \pm 0.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $1.1 \pm 0.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 差异不显著。9~20 年岷江冷杉幼苗高增长率分别为 $6.2 \pm 2.4 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $3.0 \pm 0.9 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 差异显著。林窗内岷江冷杉幼苗根、主茎和总生物量与林冠下幼苗根、主茎和总生物量没有显著差异。不同年龄的岷江冷杉幼苗叶和侧枝生物量积累对林窗微环境的响应不同。

关键词 林窗 小气候 生长 自然更新幼苗 岷江冷杉林 亚高山

MICROENVIRONMENT OF FOREST GAPS AND ITS EFFECTS ON THE GROWTH OF NATURALLY REGENERATED SEEDLINGS OF DIFFERENT AGES IN SUBALPINE *ABIES FAXONIANA* FOREST

ZHANG Yuan-Bin¹ WANG Kai-Yun^{1,2*} and XIAN Jun-Ren^{1,3}

(¹ Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

(² Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

(³ College of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract Background and Aims Canopy gap disturbance drives successional dynamics of forest communities and shapes forest structure, dynamics and biodiversity in the western subalpine region of Sichuan. Gap microenvironment and responses of *Abies faxoniana* seedlings of different ages have not been investigated.

Methods During the growing seasons of 2002 and 2003, we continuously observed microenvironment (solar radiation and soil temperature at 5 and 15 cm depth) in canopy gaps in *Abies faxoniana* forest in Wanglang National Nature Reserve, Sichuan Province. We studied the growth of 3–20 year seedlings (basal diameter, height growth and biomass) in gaps and under canopy to determine responses to gaps.

Key Results Total daily solar radiation was slightly higher in gaps than under canopy in June, but was significantly higher than under canopy in July and August. From June to August, total solar radiation was $8.10 \times \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ and $5.02 \times \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ in gaps and under canopy, respectively, and average soil temperatures at 5 and 15 cm deep were significantly higher in gaps than under canopy. The basal diameter of 3–8 year *Abies faxoniana* seedlings in forest gaps was a little smaller than under canopy, but the basal diameter of seedlings 9–20 years was larger in gaps than under canopy. Height growth rate of 3–8 year seedlings was $1.2 \pm 0.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ and $1.1 \pm 0.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ in gaps and under canopy, respectively, and for 9–20 years old was $6.2 \pm 2.4 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ and $3.0 \pm 0.9 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. The average total biomass of seedlings was a little higher in gaps than under canopy.

Conclusions Tree seedlings need more illumination with increasing age. Therefore, canopy gaps are an important impetus for growth, forest dynamics and regeneration in subalpine coniferous forest.

收稿日期: 2005-09-09 接受日期: 2006-03-05

基金项目: 中国西部环境和生态科学重大研究计划项目(90202010)、中芬国际合作项目(30211130504)和中国科学院“百人计划”项目(01200108C)

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: wangky@cib.ac.cn

Key words Forest gap, Microclimate, Growth, Naturally regenerated seedling, *Abies faxoniana* forest, Sub-alpine

川西亚高山暗针叶林是我国第二大林区的主体,也是天然林保护的重点对象,占四川省总面积的 23.6%(四川森林编辑委员会,1992;刘庆,2002)。它主要以云杉(*Picea*)和冷杉(*Abies*)为建群种,而且大多数的冷杉、云杉在郁闭度较大的林冠下天然更新数量很少,每公顷幼苗仅千株左右,林窗更新和林缘更新是云冷杉林的主要更新方式,每公顷更新幼苗数以万计(四川植被协作组,1980;杨玉坡和张江陵,1990;吴宁,1999)。林窗是指森林群落中老龄树死亡或因偶然性因素(如台风、干旱、火灾等)导致成熟阶段优势树种的死亡,从而在林冠层造成的空隙。它是森林群落中经常发生的重要的小规模干扰,也是推动森林植被演替和更新的重要驱动力(臧润国等,1999;张远彬等,2003)。林窗的形成必然会产生林窗小气候,而林窗小气候也会对林窗区域的植物产生深刻的影响。目前,林窗乔木树种幼苗对林窗小气候的响应研究主要涉及不同功能群对林窗小气候的响应、林窗大小和位置对幼苗定居、存活与生长的影响等(Mark,1995;Bungard *et al.*,2000;Coates,2000;Grassi & Minotta,2000;Wang & Bazzaz,1993;Cornelissen *et al.*,1994;Beckage *et al.*,2000;刘庆,2002;Liu,2004;刘庆和吴彦,2002)。而主要的研究方法包括林窗内幼苗定植、移栽、播种和林窗环境模拟试验等。本研究通过对川西亚高山针叶林林窗内自然更新的不同龄级幼苗的生长分析和林窗小气候的观测,了解岷江冷杉林林窗内不同年龄的岷江冷杉幼苗基径、高度、生物量及其分配格局对林窗小气候的响应规律。

1 材料和方法

1.1 研究群落概况

研究的岷江冷杉(*Abies faxoniana*)、缺苞箭竹(*Fargesia denudata*)、塔藓(*Hylocomium splendens*)群落主要分布于四川王朗国家级自然保护区大窝凼的河阶地上,海拔 2 800~3 000 m,平均林龄 180 年左右,平均树高和胸径分别为 38.2 m 和 43.4 cm。研究区自然概况见文献(鲜骏仁等,2004)。乔木层的优势种为岷江冷杉,该层中有紫果云杉(*Picea purpurea*)零星分布;乔木亚层(高度 10 m 以下)主要是方枝圆柏(*Sabina saltuaria*)、槭树(*Acer* spp.)和桦木(*Betula* spp.)。乔木层的郁闭度在 0.4~0.5 之间。灌木层

物种主要有缺苞箭竹、多种忍冬(*Lonicera* spp.)、冷杉和槭树以及桦木幼苗。灌木层的平均高度 1.4 m,盖度约 30%。草本层物种主要有紫花碎米荠(*Cardamine tangutorum*)、鹿药(*Smilacina japonica*)和蕨类,平均高度和盖度分别为 30 cm 和 30%。苔藓层主要为塔藓和山羽藓(*Abietinella abietina*),平均厚度约 8 cm,盖度 90% 以上。

1.2 数据收集

2002 年 4 月,在坡向、地形和海拔基本一致的岷江冷杉-缺苞箭竹-塔藓典型群落分布区内,随机选取林冠林窗面积在 60~90 m² 之间,林窗形成年龄(根据倒木腐朽程度判断)接近的林窗 10 个,同时,在每个林窗中心设置 4 m × 4 m 的小样方 1 个。以幼苗侧枝轮数确定幼苗年龄(A),然后以林窗内 3 株 20 年生幼树平均轮枝间长度和年龄作曲线,参照曲线拐点处的年龄和实际情况划分幼苗龄级,即 I 龄级(3~5 年)、II 龄级(6~8 年)、III 龄级(9~11 年)、IV 龄级(12~14 年)、V 龄级(15~17 年)、VI 龄级(18~20 年)。在每个小样方内分龄级随机选取 3~5 株幼苗用铝制号牌作标记,并测定幼苗高度。分别于 2002 和 2003 年的 10 月测定带标记幼苗的高度,并于 2003 年 10 月挖出所有带标记的岷江冷杉幼苗,以林下的幼苗为对照。挖出后的幼苗根用清水浸泡,然后用清水冲洗净根部所带的泥土,分别测定幼苗的基径(D)、根生物量(W_r,g)、叶生物量(W_l,g)、主茎生物量(W_s,g)、侧枝生物量(W_b,g)和计算总生物量(W_t,g)。以上各部分的生物量均在 80 °C 下连续烘 48 h 后称干重。

2002 年 5 月,在海拔 2 850 m 的岷江冷杉林内安装了一套全自动小气候观测仪(Made in Australia),其太阳总辐射传感器(SK01-D,量程(Range):300~1 150 nm,精度(Accuracy):± 3%,Australia)分别布置在林冠林窗面积为 75.6 m² 的林窗中心(1 支)和林冠下(3 支),且高出灌木层;3 组土壤温度传感器(每组 2 支;6507A,量程:40~60 °C,精度:± 0.1 °C,Australia)分别布置在林窗中心(1 组)和林冠下(2 组)的土壤中,水平位于土壤 5 和 15 cm 层。所有传感器用导线与控制器、数据采集器连接,同时设置所有传感器间隔 5 s 采样,15 min 的平均值作为采集数据,实行 24 h 连续测定。太阳辐射日总量是指 2002 和 2003 年同一天太阳辐射日总量的平均值,土壤日

平均温度的计算与太阳辐射日总量的计算相同。数据统计与分析用 SPSS 10.0 软件。

2 结果与分析

2.1 太阳辐射

林窗内和林冠下太阳辐射日总量随季节的变化而变化,且在生长季节末期的差值更大(图 1)。6 月,林窗内和林冠下太阳辐射日总量的平均值分别为 $77.83 \pm 38.37 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $60.74 \pm 45.06 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 差异不显著 ($p = 0.119$)。7 月,林窗和林冠下太阳辐射日总量的平均值分别为 $93.34 \pm 46.20 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $65.68 \pm 45.71 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 差异显著 ($p = 0.021$)。8 月,林窗和林冠下太阳辐射日总量的平均值分别为 $92.70 \pm 38.93 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $37.59 \pm 24.54 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 差异极显著 ($p < 0.001$)。就整个生长季节而言,林窗内和林冠下太阳辐射日总量的平均值分别为 $88.06 \pm 41.51 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $54.98 \pm 40.58 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 其差异也极显著 ($p < 0.001$), 说明生长季节林窗内的太阳辐射量显著高于林冠下的太阳辐射量。

2.2 土壤温度

在生长季节初期,林窗内和林冠下土壤 5 和 15 cm 层之间的温度差值比在生长末期的差值更大,而整个生长季节林窗土壤温度比林冠下同一深度的土壤温度高(图 2)。6、7、8 月以及整个生长季节,林窗土壤 5 cm 层的日平均温度分别为 $10.6 \pm 1.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、

$12.3 \pm 1.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $11.8 \pm 1.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $11.6 \pm 1.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 土壤 15 cm 的日平均温度分别为 $9.2 \pm 1.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $11.3 \pm 0.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $11.0 \pm 0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $10.5 \pm 1.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 林冠下土壤 5 cm 层的日平均温度分别为 $8.4 \pm 1.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10.2 \pm 0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $9.9 \pm 1.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $9.5 \pm 1.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 而土壤 15 cm 的日平均温度分别为 $6.1 \pm 1.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $8.3 \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $8.7 \pm 0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $7.8 \pm 1.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。6、7、8 月以及整个生长季节,林窗内和林冠下土壤 5 cm 层的日平均温度有显著差异,而土壤 15 cm 层的日平均温度也有显著差异 ($p < 0.001$)。以上结果说明,林窗区域土壤所吸收的太阳热量显著地高于林冠下土壤所吸收的太阳热量,从而使林窗内土壤温度高于林冠下的土壤温度。

2.3 基径

林窗内 I、II、III 和 IV 龄级幼苗的平均基径略小于林冠下同龄级幼苗的平均基径,而 V 和 VI 龄级的结果相反(表 1)。林窗内不同龄级幼苗的基径与林冠下同龄级幼苗的基径没有显著差异 ($p > 0.05$), 说明岷江冷杉林林窗微环境对 3~20 年的自然更新的岷江冷杉幼苗基径生长没有显著影响。

2.4 幼苗高增长

林窗和林冠下 I、II 龄级岷江冷杉幼苗高增长率没有显著差异,III、IV、V、VI 龄级幼苗高增长率有显著差异(表 2), 说明不同龄级幼苗的高生长对林窗环境的响应不同。林窗内和林冠下 3~8 年岷江冷杉幼苗高增长率分别为 $1.2 \pm 0.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $1.1 \pm 0.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 而 9~20 年岷江冷杉幼苗高增长率分

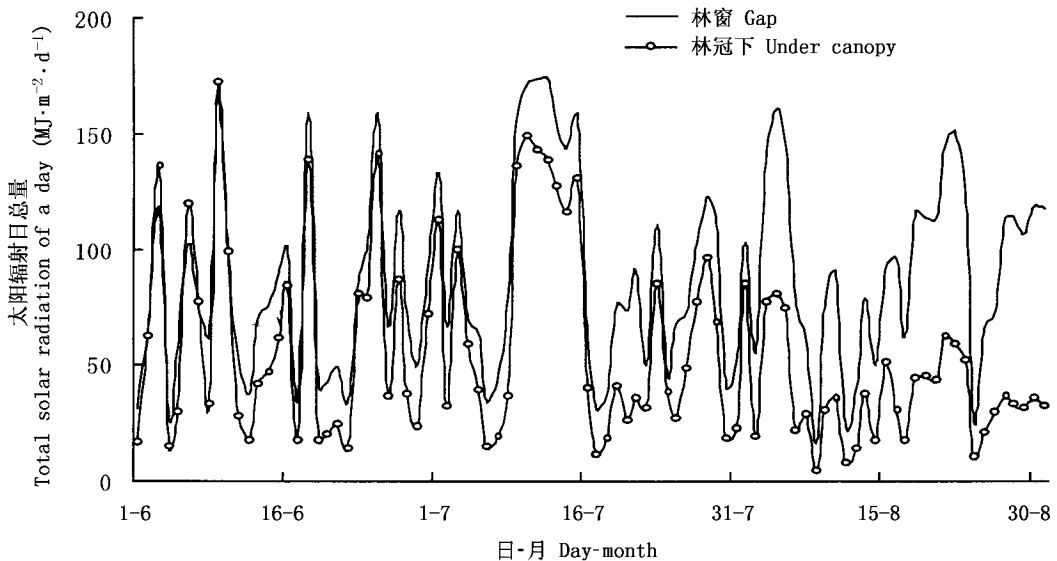


图 1 生长季节林窗与林冠下太阳辐射平均日总量变化

Fig.1 Changes of average total solar radiation in a day under gap and canopy sites

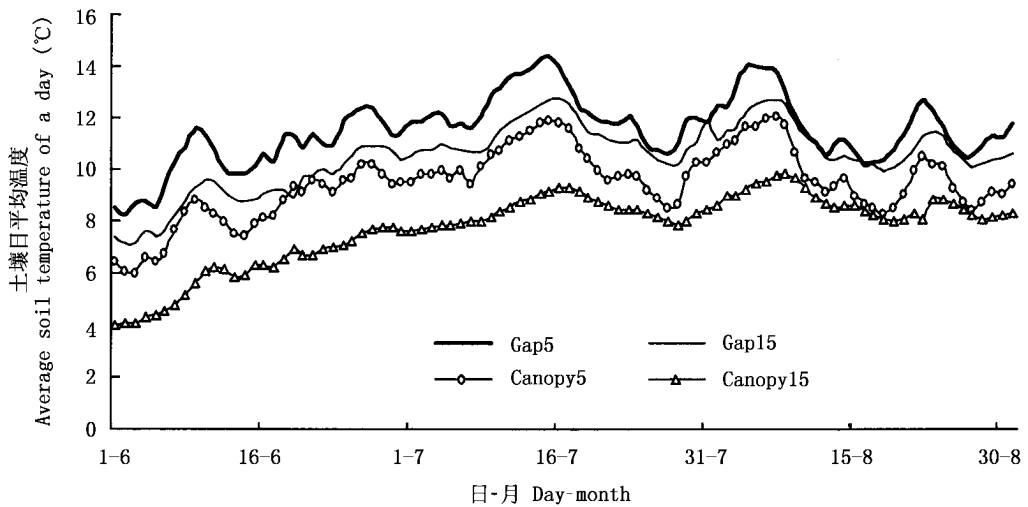


图2 生长季节林窗和林冠下土壤 5 和 15 cm 层日平均温度的变化

Fig.2 Changes of daily average soil temperature at soil 5 and 15 cm layers under gap and canopy sites

Gap5 林窗土壤 5 cm 5 cm layer of soil in gaps Gap15 林窗土壤 15 cm 15 cm layer of soil in gaps Canopy5 林冠土壤 5 cm 5 cm layer of soil under canopy Canopy 15 林冠土壤 15 cm 15 cm layer of soil under canopy

表 1 林窗与林冠下不同龄级幼苗的平均基径 (mm)
Table 1 Basal diameter of *Abies faxoniana* seedling with different ages under gap and canopy

龄级 Age class	林窗 Gap	林冠 Canopy	<i>p</i>
I	1.71 ± 0.22	1.74 ± 0.27	0.648
II	3.12 ± 0.55	3.15 ± 0.59	0.722
III	4.90 ± 0.61	4.92 ± 0.56	0.645
IV	6.83 ± 0.55	6.89 ± 0.53	0.490
V	8.92 ± 0.67	8.88 ± 0.53	0.778
VI	11.14 ± 1.06	11.10 ± 0.97	0.916

别为 $6.2 \pm 2.4 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $3.0 \pm 0.9 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。因此，川西亚高山岷江冷杉林自然更新的不同年龄岷江冷杉幼苗高生长对林窗微环境的响应有本质性的差异，林窗微环境对 3~8 年幼苗的高生长没有显著影响，而对 9~20 年幼苗的高生长有显著影响。

2.5 生物量

林窗内不同龄级幼苗的平均叶生物量、茎(包括枝)生物量和总生物量大于林冠下同龄级幼苗的平均叶生物量、茎生物量和总生物量，而林窗内不同龄级幼苗的平均根生物量略低于林冠下同龄级幼苗的平均根生物量(表 3)。林窗内 II、III 和 IV 龄级幼苗的叶生物量与林冠下同龄级幼苗的叶生物量有显著差异 ($p < 0.05$)，而 I、V、VI 龄级幼苗的叶生物量之间没有显著差异 ($p > 0.05$)。林窗内 I、II 和 III 龄级幼苗的侧枝生物量与林冠下同龄级幼苗侧枝生物量没有显著差异 ($p > 0.05$)，而 IV、V、VI 龄级幼苗的侧枝生物量有显著差异 ($p < 0.05$)。林窗内岷江冷杉幼苗根、主茎和总生物量与林冠下幼苗的根、主茎和总生物量没有显著差异 ($p > 0.05$)。以上结果说明，川西亚高山岷江冷杉林林窗微环境对不同龄级幼苗的高增长、侧枝和叶生物量积累有影响。

表 2 林窗与林冠下不同龄级岷江冷杉幼苗高增长率 ($\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$)
Table 2 Growth rate of height of *Abies faxoniana* seedlings ($\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$) with different age under gap and canopy

龄级 Age classes	2002			2003		
	林窗 Gap	林冠 Canopy	<i>p</i>	林窗 Gap	林冠 Canopy	<i>p</i>
I	1.1 ± 0.2	0.9 ± 0.2	0.884	0.9 ± 0.2	0.8 ± 0.2	0.921
II	1.5 ± 0.3	1.4 ± 0.4	0.904	1.4 ± 0.3	1.2 ± 0.4	0.804
III	2.7 ± 0.4	1.9 ± 0.3	0.027	2.8 ± 0.6	1.7 ± 0.5	0.011
IV	5.7 ± 0.8	2.7 ± 0.5	<0.001	6.0 ± 0.9	2.6 ± 0.4	<0.001
V	7.2 ± 1.0	3.2 ± 0.5	<0.001	8.0 ± 1.1	3.9 ± 0.4	<0.001
VI	8.7 ± 1.2	3.7 ± 1.0	<0.001	8.7 ± 1.4	4.2 ± 1.2	<0.001

表 3 林窗与林冠下不同龄级岷江冷杉幼苗的平均生物量($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$)
Table 3 Mean component biomass of *Abies faxoniana* seedlings ($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$) with age under gap and canopy

龄级 Age class		I	II	III	IV	V	VI
林窗 Gap	W_1	0.33 ± 0.18	0.95 ± 0.49	2.71 ± 1.08	5.92 ± 1.61	10.87 ± 4.12	17.71 ± 5.51
	W_s	0.11 ± 0.01	0.49 ± 0.40	1.14 ± 0.98	4.33 ± 2.19	5.46 ± 3.96	5.90 ± 7.27
	W_b	0.05 ± 0.00	0.21 ± 0.08	1.10 ± 0.30	4.08 ± 0.90	4.91 ± 0.89	5.29 ± 1.28
	W_r	0.11 ± 0.00	0.41 ± 0.25	1.24 ± 0.62	2.97 ± 1.23	5.52 ± 2.18	9.57 ± 1.62
	W_t	0.60 ± 0.28	2.06 ± 1.05	6.19 ± 2.46	17.30 ± 4.64	26.73 ± 9.32	38.47 ± 13.16
林冠 Canopy	W_1	0.23 ± 0.11	0.76 ± 0.46	2.32 ± 0.98	4.92 ± 1.99	10.22 ± 4.81	15.41 ± 5.04
	W_s	0.06 ± 0.02	0.21 ± 0.20	0.66 ± 0.65	2.69 ± 2.31	4.34 ± 2.83	6.59 ± 3.81
	W_b	0.01 ± 0.00	0.14 ± 0.02	0.68 ± 0.11	1.10 ± 0.24	2.26 ± 0.41	3.88 ± 1.09
	W_r	0.20 ± 0.01	0.42 ± 0.21	1.39 ± 0.67	3.30 ± 1.19	6.25 ± 2.36	9.99 ± 3.08
	W_t	0.50 ± 0.22	1.53 ± 0.76	5.05 ± 2.43	12.01 ± 5.13	23.07 ± 8.89	35.89 ± 10.87

W_1 : 叶生物量 Leaves biomass W_s : 主茎生物量 Stem biomass W_b : 侧枝生物量 Branches biomass W_r : 根生物量 Root biomass W_t : 总生物量 Total biomass

3 讨论与结论

川西亚高山岷江冷杉林林窗面积以中等大小(林冠林窗面积为 $50 \sim 100 \text{ m}^2$)为主,其数量比例为 32.53%(鲜骏仁等,2004),说明本研究所选择的用于测定林窗小气候的林窗(75.6 m^2)具有代表性。2002 和 2003 年 6 月 1 日至 8 月 31 日,林窗中心太阳辐射的平均积累量为 $8.10 \times \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$,而林冠下太阳辐射的平均积累量为 $5.02 \times \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$,前者是后者的 1.6 倍,增加了 61.35%。这说明亚高山岷江冷杉林中等大小林窗的形成能够大大改善林下的光照条件,这与其它的研究结果是一致的(臧润国等,1999; Lawton,1990;Poulson & Platt,1989)。

温度影响着生态系统中能量、水分、养分流动和循环,是制约植物存活、生长发育最重要的环境因子之一。林窗的形成导致林窗区域内光照的增加,也相应地改变了林窗区域内近地层、地表层和地下层的热力学特征。因此,林窗区域内热量收支平衡的改变会影响土壤的理化性质、营养元素的分解、土壤微生物及土壤酶系统活性等,最终影响到林窗区域内各种生态过程。在生长季节,岷江冷杉林林窗中心土壤 5 cm 层的日平均温度比林冠下土壤同一层的日平均温度高 $2.1 \text{ }^\circ\text{C}$;林窗中心土壤 15 cm 的日平均温度比林冠下土壤同一层的日平均温度高 $2.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 。说明亚高山岷江冷杉林林窗的形成改变了土壤的热量收支平衡。

有许多研究表明,林窗区域内光照的增加有利于幼苗的生长,尤其是期前更新(Advance regeneration)幼苗的向上生长(Marks,1995;Battles & Fahey,2000;Bungard *et al.*,2000;Kate & Yamamoto,2001),但也有研究表明,林窗内光照增加对幼苗的影响是

通过地下的影响而起作用的,如土壤有效养分含量的增加(Coates,2000)。岷江冷杉林林窗内 3~20 年的自然更新的岷江冷杉幼苗基径与林冠下同龄的幼苗基径没有显著性差异,说明光照条件的改变对 3~20 年的自然更新的岷江冷杉幼苗基径生长没有显著影响。但是,不同年龄幼苗高增长率对林窗小气候的响应不同,即 3~8 年幼苗的高生长对林窗小气候的响应不显著,而 9~20 年幼苗的高生长对林窗小气候的响应显著。这与已有的研究结果基本是一致的,即亚高山暗针叶林下自然更新幼苗的前 10 年,林窗内和林冠下幼苗的高生长基本相似,而 10 年以后林窗内自然更新幼苗的高生长明显比林冠下自然更新幼苗的高生长快(吴宁,1999)。这表明川西亚高山针叶林的自然更新需要林窗这种小规模干扰。

幼苗生物量积累量是一个评价光环境的很好指标,与光照强度呈正相关(Suzanne & Darwin,2001)。本文结果表明,林窗内 3~8 年生岷江冷杉幼苗的侧枝生物量与林冠下同龄级幼苗的侧枝生物量没有显著差异,9~20 年的幼苗侧枝生物量有显著差异。但是,林窗内岷江冷杉幼苗总生物量与林冠下同龄级幼苗总生物量的差异不显著($p > 0.05$),说明川西亚高山原始岷江冷杉林林窗微环境对 3~20 年生岷江冷杉幼苗生物量积累没有显著影响,但对不同龄级幼苗的生物量分配格局有显著影响。同时也表明影响岷江冷杉幼苗生物量积累的因子不仅是光照,可能与其它因子有关。如有的研究表明,土壤有效养分(尤其是有效氮)、林下灌木层密度(如箭竹)、草本层等对乔木幼苗的生长和物质积累有强烈的抑制作用(Bungard *et al.*,2000;Beckage *et al.*,2000;Tabarelli & Mantovani,2000;Taylor & Qin,1988)。也有

研究表明,影响幼苗生物量积累的因子应该包括光、土壤养分、水分、土壤温度和 CO₂ 浓度等(Suzanne & Darwin, 2001)。因此,影响亚高山原始岷江冷杉林下自然更新的岷江冷杉幼苗生长和干物质积累的因子可能不仅是光照,可能还与土壤有效养分、竞争(主要是灌草层物种)和土壤有效水分等生物与非生物因子有关,这需要进一步探讨。

参 考 文 献

- Battles JJ, Fahey TJ (2000). Gap dynamics following forest decline: a case study of red spruce forest. *Ecological Applications*, 10, 760 – 774.
- Beckage B, Clark JS, Clinton DB (2000). A long-term study of tree seedling recruitment in southern Appalachian forests: the effects of canopy gaps and shrub understories. *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 1617 – 1631.
- Bungard RA, Press MC, Scholes JD (2000). The influence of nitrogen on rain forest dipterocarp seedling exposed to a large increase in irradiance. *Plant, Cell and Environment*, 23, 1183 – 1194.
- Coates KD (2000). Conifer seedling response to northern temperate forest gaps. *Forest Ecology and Management*, 127, 249 – 269.
- Cornelissen JHC, Werger MJA, Zhang ZC (1994). Effects of canopy gaps on the growth of tree seedlings from subtropical broad-leaved evergreen forests of Southern China. *Vegetatio*, 110, 43 – 54.
- Grassi G, Minotta G (2000). Influence of nutrient supply on shade-sun acclimation of *Picea* and *Abies* seedlings: effects on foliar morphology, photosynthetic performance and growth. *Tree Physiology*, 20, 645 – 652.
- Kate K, Yamamoto SI (2001). Effects of heterogeneity on the sapling bank dynamics of subalpine old-growth forest, central Japan. *EcoScience*, 8, 96 – 104.
- Lawton RO (1990). Canopy gaps and light penetration into a wind-exposed tropical lower montane rain forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 659 – 667.
- Liu Q (刘庆) (2002). *Ecological Research on Subalpine Coniferous Forests in China* (亚高山针叶林生态学研究). Sichuan University Publishing House, Chengdu. (in Chinese)
- Liu Q (刘庆), Wu Y (吴彦) (2002). Effects of gap size on regeneration of subalpine coniferous forests in Northwest Yunnan. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 8, 453 – 459. (in Chinese with English abstract)
- Liu Q (2004). The effects of gap size and within gap position on the survival and growth of naturally regenerated *Abies georgei* seedlings. *Acta Phytocoecologica Sinica* (植物生态学报), 28, 204 – 209.
- Mark SA (1995). Seedling growth of co-occurring *Shorea* species in the simulated light environments of a rain forest. *Forest Ecology and Management*, 72, 1 – 12.
- Poulson TL, Platt WJ (1989). Gap light regimes influence canopy tree diversity. *Ecology*, 70, 553 – 555.
- Sichuan Collaboration Group of Vegetation Research (四川植被协作组) (1980). *Sichuan Vegetation* (四川植被). Sichuan People's Publishing House, Chengdu. (in Chinese)
- Sichuan Forest Editorial Committee (四川森林编辑委员会) (1992). *Forests in Sichuan* (四川森林). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Suzanne W, Darwin B (2001). Understory environment and vegetation response after partial cutting and site preparation in *Pinus strobus* L. stands. *Forest Ecology and Management*, 151, 43 – 59.
- Tabarelli M, Mantovani W (2000). Gap-phase regeneration in a tropical montane forest: the effects of gap structure and bamboo species. *Plant Ecology*, 148, 149 – 155.
- Taylor AH, Qin ZS (1988). Regeneration patterns in old-growth *Abies-Betula* forests in the Wolong Nature Reserve, Sichuan, China. *Journal of Ecology*, 76, 1204 – 1218.
- Wang PM, Bazzaz A (1993). Birch seedling responses to daily time courses of light in experimental forest gaps and shade-house. *Ecology*, 74, 1500 – 1515.
- Wu N (吴宁) (1999). Dynamics of forest gaps in subalpine coniferous forests on the eastern slope of Gongga Mountain. *Acta Phytocoecologica Sinica* (植物生态学报), 23, 227 – 237. (in Chinese with English abstract)
- Xian JR (鲜骏仁), Hu TX (胡庭兴), Wang KY (王开运), Zhang YB (张远彬) (2004). Characteristics of gap in subalpine coniferous forest in western Sichuan. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 23, 6 – 10. (in Chinese with English abstract)
- Yang YP (杨玉坡), Zhang JL (张江陵) (1990). *Protection and Management of Mountain Forests* (山地森林的保护与管理). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zang RG (臧润国), Liu JY (刘静艳), Dong DF (董大方) (1999). *Gap Dynamics and Forest Biodiversity* (林隙动态与森林生物多样性). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Zhang YB (张远彬), Wang KY (王开运), Kellomäk S (2003). Advance in coniferous forest gap. *World Science-Technology Research & Development* (世界科技研究与发展), 25, 69 – 74. (in Chinese with English abstract)