

辽东山区次生林 3 种大小林窗夏季近地面气温及土壤温度比较

朱教君¹ 谭 辉^{1,2} 李凤芹¹ 陈 梅^{1,3} 胡理乐^{1,2}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所清原森林生态实验站 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院 北京 100039;
3. 辽宁工程技术大学 阜新 123000)

关键词： 次生林；林窗；气温；地温；辽东山区

中图分类号：S718.5 文献标识码：A 文章编号：1001-7488(2009)08-0161-05

Comparison of Near-Ground Air Temperature and Soil Temperature of Summer within Three Gaps of Different Sizes at Secondary Forests in Eastern Montane Regions of Liaoning Province

Zhu Jiaojun¹ Tan Hui^{1,2} Li Fengqin¹ Chen Mei^{1,3} Hu Lile^{1,2}

(1. Qingyuan Experimental Station of Forest Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences Shenyang 110016;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100039; 3. Liaoning University of Engineering & Technology Fuxin 123000)

Abstract: Three gaps with different sizes were selected in Qingyuan Experimental Station of Forest Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, which located in eastern montane regions of Liaoning Province, China for observations of air temperature and soil temperature. The observations were conducted in the gaps in June 2006, 2 years after the formation of the gaps. The results indicated that both air and soil temperatures at the gap center points exhibited bell-shaped curves. The maximum temperatures occurred at different time in the gaps. The appearance of the highest temperature was earlier in large gap than that in small gaps. In the night, the larger the gap was, the lower the air temperature became. However, it was just opposite in the daytime. The highest temperature was at northern points nearby the center points for gap 1 and gap 2, and their appearance time was 10: 00 and 11: 00 respectively. But the highest temperature was at the center point for gap 3, and the appearance time was 13: 00. The soil temperatures at gap center points ranked as middle gap, large gap, and small gap. The soil temperature in gap 2 was higher than that in gap 1 and gap 2. The air temperature and soil temperature were significantly positive correlation for gap 1 and gap 3 ($r = 0.814, P < 0.01$ 和 $r = 0.581, P < 0.05$).

Key words: secondary forest; forest gap; air temperature; soil temperature; eastern montane regions of Liaoning

20世纪70年代以来,林窗已成为森林小尺度干扰研究的热点(Whitmore, 1989; 王进欣等, 2002)。林窗是森林中具有特殊性质的微结构(Clinton *et al.*, 1993; Gray *et al.*, 1997; 梁晓东等, 2001; Gagnona *et al.*, 2004),它影响着森林群落的发展方向、物种组成以及种群动态(Spies *et al.*, 1990; 安树青等, 1997; Zhu *et al.*, 2006),如有些物种只能通过林窗才能进行更新(谢宗强, 1999; 贺金生等, 1999)。

次生林已经成为我国现存森林的主体(朱教君, 2002)。林窗作为森林发展的驱动力,在次生林中广泛存在(Zhu *et al.*, 2007)。林窗中的环境因子变化是影响森林发展的重要因素(Whitmore, 1989; 梁晓东等, 2001; Clinton, 2003)。林窗增加了生境异质性(谭辉等, 2007),创造了一定数量的潜在生态位(梁

晓东等, 2001; 王进欣等, 2002)。温度是植物生长的必需条件,制约着树木的生长发育、生长周期及生理活动等(贺庆棠, 1988; 窦军霞等, 2003)。林窗的产生导致林窗内光照增加(王今殊等, 2004; 张一平等, 2002),林窗内热力特征的改变将影响土壤理化性质、有机物的分解和土壤微生物活性等,最终影响林窗及其周边生态过程的变化(臧润国, 1998; 沙丽清等, 1999; 梁晓东等, 2001)。目前,国内对林窗环境因子的研究大多集中在南方地区(王进欣等, 2000; 张一平等, 2001a; 2002),关于东北林区次生林林窗环境的研究则鲜有报道。本研究分析东北东部次生林林窗近地面气温及土壤温度,掌握辽东山区次生林林窗中的温度及热力变化动态,为森林经营管理和其他相关生态过程研究提供参考。

1 研究区概况

研究区位于辽宁省东部山区清原满族自治县南部的中国科学院沈阳应用生态研究所清原森林生态实验站($124^{\circ}54.543' E$, $41^{\circ}51.102' N$), 该区属于长白山脉的延伸, 海拔 $456 \sim 1116$ m, 地形以山地为主。土壤为典型的深棕色森林土, 厚度约 30 cm。属受季风影响的温带大陆性气候, 年均气温 $3.9 \sim 5.4$ °C, 最冷月出现在 1 月, 最热月出现在 7 月, 极端最高气温 36.5 °C, 极端最低气温 -37.6 °C, > 10 °C 年活动积温 $2497.5 \sim 2943.0$ °C。全年无霜期 $120 \sim 139$ 天, 年均日照 2433 h, 年降水量 $700 \sim 850$ mm。降水集中在 6—8 月, 植物生长季为 4—9 月。研究区植被以长白植物区系为主, 地带性植被类型为阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林。原生期的代表植物有红松、沙松(*Abies holophylla*)、鱼鳞松(*Picea jezoensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、色木槭(*Acer mono*)、黄菠萝(*Phellodendron amurense*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)和水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)等。经过近 100 年来剧烈的人为干扰, 阔叶红松林在该区大部分消失, 研究区内仅有小面积残存的阔叶红松林, 95% 以上变为次生林。次生林的主要树种组成包括: 蒙古栎、水曲柳、胡桃楸、黄菠萝、色木槭、柠筋槭(*Acer triflorum*)、青楷槭(*A. tegmentosum*)、白牛槭(*A. mandshuricum*)、花曲柳(*Fraxinus rhynchophylla*)、枫桦(*Betula costata*)和杨树(*Populus spp.*)等。

2 研究方法

2004 年 12 月在研究区人工砍伐形成 3 种大小不等的林窗: 林窗长轴与短轴的平均值与边缘木高度的比值分别为 1.5, 1.0 和 0.5, 面积分别为 670 , 290 和 90 m², 记为林窗 1(大)、林窗 2(中)和林窗 3(小)。林窗内砍伐的树枝、树干等残体移出, 但未进行掘根处理。3 种林窗均为南北向长、东西向短, 近似椭圆形。林窗均位于山体中坡位, 坡向为南, 坡度为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 海拔 700 m 左右, 3 个林窗间均相距 100 m。3 种林窗中主要树种均为花曲柳(萌芽/实生)。林窗 1 中还有槭类(*Acer spp.*)、蒙古栎和其他小灌木, 林窗内平均冠层高度为 120 cm; 林窗 2 中心区有大量黄菠萝, 平均冠层高度为 80 cm; 林窗 3 中的花曲柳为实生幼苗, 冠层平均高度为 50 cm。

2006 年 6 月 10—21 日, 除雨天外, 全天观测林窗近地表气温, 每日 7:00—17:00 观测林窗地温。沿林窗的南北向和东西向设置 2 条观测样线, 考虑

到林窗边缘效应, 样线上的观测点为不等距分布。每个林窗均设置 14 个观测点, 南北向 9 个(从南到北依次标记为 $a_1, a_2 \cdots a_9$), 东西向 5 个(从西到东依次标记为 $b_1, b_2 \cdots b_5$)。在各测点上设置 HOBO 温湿度自动记录仪(HO8-032-08, 美国产), 将其放置在自制的空气流动畅通的木盒内, 木盒距地面高 10 cm, 自动记录空气温度, 每 1 s 取样 1 次, 每 10 min 记录 1 次平均值。表层土壤($0 \sim 5$ cm 土深)温度采用地表温度计(天津产)测定, 人工观测每小时记录 1 次。

利用 SPSS(Version 11.5)软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 空气温度 各林窗中心的气温随时间呈现明显的单峰变化趋势, 且 3 林窗均在 5:00 时达到气温最低值(图 1); 但林窗中心气温到达最高值时间则各不相同: 林窗 1, 2 和 3 分别出现在 10:00, 12:00 和 13:00。在夜间(17:00 至次日 7:00), 林窗中心气温表现为林窗 3 > 林窗 2 > 林窗 1; 在昼间(7:00—17:00), 林窗 3 的波动较大, 林窗 1 和 2 趋势较相似(图 1)。方差分析结果表明, 3 个林窗中心的每时平均气温与日平均气温无显著差异($\alpha = 0.05$)。

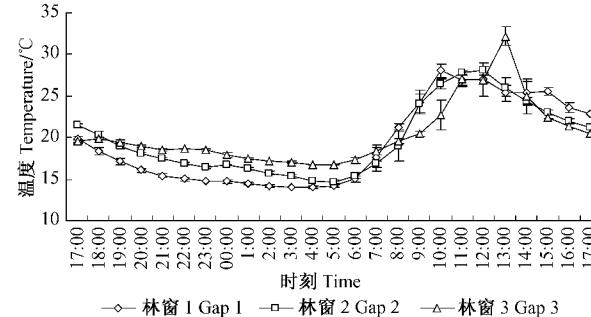


图 1 林窗中心气温日变化

Fig. 1 Daily variations of air temperature in the center of the gaps

夜间各林窗各监测点平均气温均表现出与中心气温相似的趋势, 即林窗 3 > 林窗 2 > 林窗 1; 且南北轴和东西轴均表现为中心和林缘测点的温度较高(表 1)。上午(7:00—11:00), 沿南北轴方向, 林窗 1 和 2 均呈现较明显的双峰分布, 最高气温出现在中心偏南(a_4), 林窗 1 最高气温为 27.55 °C, 林窗 2 为 23.14 °C; 而林窗 3 波动较小, 最高气温出现在中心点(a_5), 为 20.27 °C(表 1); 在东西轴上, 由于上午太阳光直射林窗西部, 3 林窗均表现为西部各点温度高于东部, 其中, 林窗 1 内各点温度自东向西呈现波动上升趋势, 林窗 2 则呈现明显的线性上升趋势($R^2 = 0.98$), 林窗 3 波动较小(表 1)。中午

表1 各测点不同时段的气温均值
Tab.1 Mean temperatures at various points in different periods

测点 Point	林窗编号 Gap No.	17:00	7:00	11:00	14:00
		—7:00	—11:00	—14:00	—17:00
a ₁	1	15.35	19.28	21.58	20.93
	2	—	—	—	—
	3	—	—	—	—
a ₂	1	15.02	20.51	25.74	21.69
	2	16.23	22.69	27.08	20.74
	3	17.78	19.39	22.46	20.42
a ₃	1	14.70	23.23	28.58	23.74
	2	16.68	22.20	29.85	21.95
	3	17.91	19.54	22.80	20.87
a ₄	1	15.06	27.55	28.63	23.33
	2	16.59	23.14	29.46	20.99
	3	17.91	19.34	22.86	20.76
a ₅	1	15.54	22.78	26.18	24.02
	2	17.06	21.62	26.59	22.07
	3	18.15	20.27	27.82	21.44
a ₆	1	15.07	25.15	31.59	25.12
	2	16.69	19.77	28.28	20.93
	3	17.78	19.27	25.26	20.89
a ₇	1	15.19	25.65	31.26	23.98
	2	16.57	20.83	28.11	20.72
	3	17.81	19.57	27.69	21.44
a ₈	1	15.63	21.11	30.51	24.15
	2	16.38	21.67	31.02	21.14
	3	18.06	19.41	27.00	21.06
a ₉	1	15.95	19.81	28.34	22.99
	2	16.85	18.11	26.44	20.80
	3	17.67	18.30	23.12	20.00
b ₁	1	14.88	17.62	27.56	26.51
	2	16.86	18.30	31.45	22.72
	3	18.22	19.41	27.15	22.22
b ₂	1	14.80	21.17	31.40	26.31
	2	16.64	18.86	32.84	22.23
	3	17.96	19.46	27.29	21.69
b ₃	1	15.54	22.78	26.18	24.02
	2	17.06	21.62	26.59	22.07
	3	18.15	20.27	27.82	21.44
b ₄	1	15.17	29.82	27.77	23.25
	2	16.54	23.80	28.59	20.74
	3	18.06	20.15	26.07	21.08
b ₅	1	15.63	27.12	27.58	22.97
	2	16.58	24.96	26.27	20.70
	3	17.73	20.16	24.31	20.23

(11:00—14:00), 沿南北轴方向, 3个林窗均呈现较明显的双峰型, 林窗1和2气温最高点均出现在中心偏北处(a_6), 分别为31.59和31.02℃, 林窗3则出现在中心点(a_5), 为27.82℃(表1); 沿东西轴方向, 3个林窗东部气温明显高于西部, 林窗1和2最高气温出现在中心偏东处(b_2), 分别为31.40和32.84℃, 林窗3仍保持中心点温度最高(b_3); 对3个林窗各测点中午的总体气温均值进行多重比较发

现, 林窗1和2差异不显著($\alpha=0.05$), 但它们与林窗3之间差异显著($P<0.05$)。下午(14:00—17:00), 沿南北轴方向, 林窗1最高气温出现在中心偏北处(a_6), 为25.12℃, 林窗2和3波动均较小, 最高气温出现在中心点(a_5), 分别为22.07和21.44℃(表1); 沿东西轴方向, 3个林窗均呈现明显的线性下降趋势($R^2>0.8$), 多重比较发现, 林窗2和3各测点下午总体温度均值差异不显著($\alpha=0.05$), 但与林窗1存在极显著差异($P<0.01$)。

将所有测点不同时刻的气温值比较发现, 林窗1最高气温37.82℃出现在10:00位于中心偏北处(a_7), 林窗2最高气温36.71℃分别出现在13:00位于东部(b_5)和11:00位于北部(a_8), 而林窗3最高气温32.21℃则出现在13:00位于中心(a_5)。林窗1和2的最低温度分别为3:00的12.93℃(a_2)和5:00的13.96℃(a_2), 均位于中心偏南部, 而在林窗3中在5:00多点(a_2 , a_3 , a_6 , a_7 , a_8 , a_9 , b_2 和 b_5)出现最低气温值16.38℃。

3.2 土壤温度

3个林窗中心点地温均随时间变化呈现单峰型, 林窗1和2在12:00达到最大值, 分别为25.0和29.5℃, 林窗3相对滞后, 在13:00达到最大值, 为20.5℃。林窗2的中心地温在11:00以后明显高于其他林窗, 且变化幅度较大; 林窗3除7:00外, 各点地温较低, 随时间变化幅度较小(图2)。对3个林窗中心平均地温比较发现, 林窗2和3中心平均地温差异显著($P<0.05$), 而它们与林窗1则差异不显著($\alpha=0.05$)。

各点日平均地表温度在两轴上均呈现出: 林窗3各点较低和林窗2中心点最高的特征。沿南北轴方向, 林窗1中心附近各点平均地温接近, 而边缘各点明显偏低, 最高点出现在中心偏南(a_3), 为21.87℃, 最低点出现在南林缘(a_1), 为16.43℃;

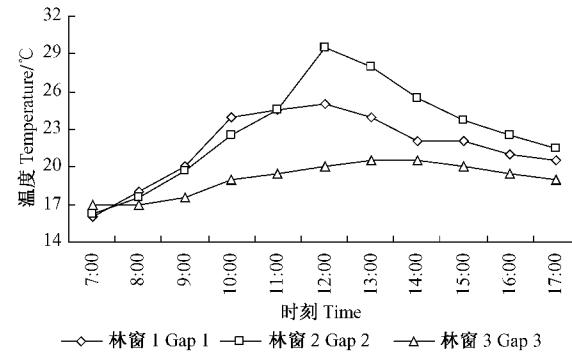


图2 林窗中心地温日变化

Fig. 2 Daily variations of soil temperature in the center of the gaps

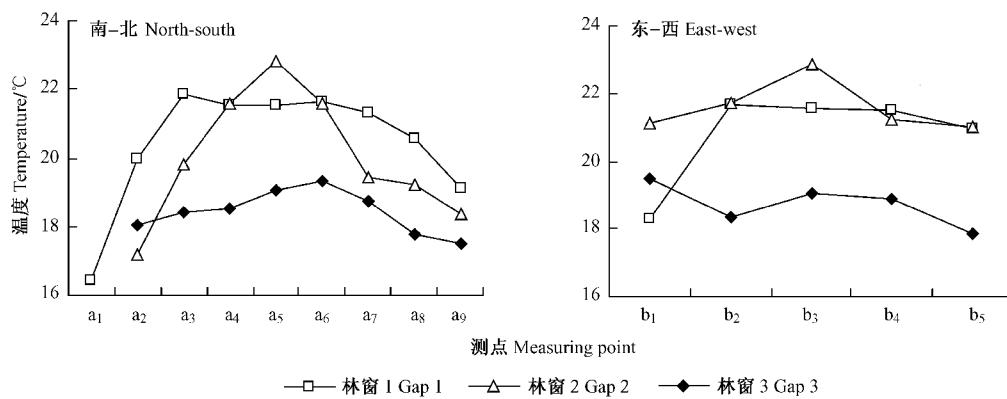


图3 林窗南北轴和东西轴各点白天平均地温变化

Fig. 3 Variation of soil temperature along north-south and east-west transects in different gaps

林窗2和3呈现较明显的单峰型,其中,林窗2中心点地温最高(a_5),为22.84 °C,林窗3最高气温出现在中心偏北(a_6),为19.31 °C。沿东西轴方向,林窗1和3的峰值均出现在东部(分别为 b_2 和 b_1),林窗2仍为中心点地温最高(b_3)(图3)。

3.3 白天气温与地温关系 林窗内各观测点白天的平均地温、气温及气地温差变化如表3。林窗1和3白天的气地温差最大值出现在中心偏北(a_7 , a_8),分别为5.94和4.84 °C,而林窗2出现在中心偏南(a_2),为6.56 °C。不同林窗各测点白天平均地温与气温的相关性分析结果表明,林窗1和3的白天气温和地温分别存在极显著($r = 0.814, P < 0.01$)和显著线性正相关($r = 0.581, P < 0.05$);林窗2气温和地温相关性不显著($r = 0.046, P > 0.05$)。

4 结论与讨论

研究区各林窗中心气温日变化均为单峰型,但气温最大值出现的时间却不同,林窗面积越大,中心点气温到达峰值的时间越早。该结果表明,林窗的大小影响了光照对空气的增温作用,即林窗面积越大,接受的光照数量越多,气温的增加也就越快(刘文杰等,2000)。林窗3(小林窗)中心点气温最大值高于其他两林窗,分析其原因发现,林窗3中植被数量和密度均较小,植被遮光作用差,故近地面的温度在光线直射下升温明显。在夜间,林窗面积越大,林窗内空气温度越低,而林窗面积越小,保温效果越明显(表1)。另外,林窗温度变化存在空间不对称性,这与张一平等(2001b)对西双版纳地区热带雨林的研究结论相似;表明温带与热带林窗温度变化具有相似性。

气温的最高值多数没有出现在林窗中心,而是在中心附近的某一位置(王进欣等,2000;张一平

表3 林窗各点白天的平均气温和地温

Tab.3 Air and soil temperatures at various points within the gaps in the daytime

Measuring point	林窗编号 Gap No.	地温 Soil temperature	气温 Air temperature	差值 Difference value
a_1	1	16.45	20.57	4.12
	2	—	—	—
	3	—	—	—
a_2	1	19.98	22.74	2.76
	2	17.19	23.75	6.56
	3	18.06	20.79	2.73
a_3	1	21.83	25.32	3.49
	2	19.82	24.91	5.09
	3	18.42	21.08	2.66
a_4	1	21.55	26.79	5.24
	2	21.59	24.85	3.26
	3	18.53	21.01	2.48
a_5	1	21.55	24.35	2.80
	2	22.84	23.55	0.71
	3	19.05	23.33	4.28
a_6	1	21.65	27.48	5.83
	2	21.57	23.18	1.61
	3	19.31	21.89	2.58
a_7	1	21.29	27.23	5.94
	2	19.45	23.45	4.00
	3	18.73	23.03	4.30
a_8	1	20.55	25.36	4.81
	2	19.22	24.93	5.71
	3	17.77	22.62	4.85
a_9	1	19.14	23.78	4.64
	2	18.38	21.87	3.49
	3	17.48	20.52	3.04
b_1	1	18.27	23.66	5.39
	2	21.11	24.29	3.18
	3	19.51	22.99	3.48
b_2	1	21.68	26.29	4.61
	2	21.71	24.86	3.15
	3	18.34	22.92	4.58
b_3	1	21.55	24.35	2.80
	2	22.84	23.55	0.71
	3	19.05	23.33	4.28
b_4	1	21.50	27.28	5.78
	2	21.24	24.71	3.47
	3	18.86	22.55	3.69
b_5	1	20.95	26.16	5.21
	2	21.01	24.27	3.26
	3	17.85	21.69	3.84

等, 2001a; Ritter *et al.*, 2005)。试验结果表明: 林窗1和2的气温最高值出现在中心偏北, 这主要是由于该林窗南北轴长, 中心偏北位置获得较多的太阳辐射而增温; 这与以往的研究结论(北半球林窗北部的光合有效辐射最多)相符(Gray *et al.*, 2002; Zhu *et al.*, 2003; Ritter *et al.*, 2005)。林窗3最高气温低于前2者, 且出现在中心点, 这主要是由于该林窗面积较小, 边缘木遮挡了较多的太阳辐射, 而中心部位获得的太阳辐射更多造成的。

研究区各林窗中心点的地表温度日变化趋势均为单峰型, 该结果与已有研究结果相似(王进欣等, 2002; 窦军霞等, 2003)。另外, 本研究中林窗中心地温的最高值出现在林窗2, 即并排面积最大的林窗中心点地温最高。

参 考 文 献

- 安树青, 洪必恭. 1997. 紫金山次生林林窗植被和环境的研究. 应用生态学报, 8(3): 245–249.
- 窦军霞, 张一平, 马友鑫, 等. 2003. 热带次生林林窗区域土壤-植物-大气连续体热力效应初步分析. 热带气象学报, 19(3): 329–333.
- 贺金生, 刘 峰. 1999. 神农架地区米心水青冈林和锐齿槲栎林群落干扰历史及更新策略. 植物学报, 41(8): 887–892.
- 贺庆棠. 1988. 气象学. 北京: 中国林业出版社.
- 梁晓东, 叶万辉. 2001. 林窗研究进展. 热带亚热带植物学报, 9(4): 355–364.
- 刘文杰, 李庆军. 2000. 西双版纳望天树林林窗小气候特征研究. 植物生态学报, 24(3): 356–361.
- 沙丽清, 曹 敏. 1999. 西双版纳热带季节雨林林冠下及林窗中土壤养分对比研究. 东北林业大学学报, 27(6): 78–80.
- 谭 辉, 朱教君, 康宏樟, 等. 2007. 林窗干扰研究. 生态学杂志, 26(4): 587–594.
- 王今殊, 王进欣. 2004. 热带次生林、季雨林林窗温度特征对比分析. 徐州师范大学学报: 自然科学版, 22(3): 59–64.
- 王进欣, 张一平. 2000. 西双版纳人工林林窗光照剖面分布特征. 植物资源与环境学报, 9(1): 27–30.
- 王进欣, 张一平. 2002. 林窗微环境异质性及物种的响应. 南京林业大学学报, 26(1): 69–74.
- 谢宗强. 1999. 银杉(*Cathaya argyrophylla*)林林窗更新的研究. 生态学报, 19(6): 775–779.
- 臧润国. 1998. 林隙(gap)更新动态研究进展. 生态学杂志, 17(2):

50–58.

- 张一平, 马友鑫, 刘玉洪, 等. 2001a. 哀牢山北部常绿阔叶林林窗小气候空间分布特征. 北京林业大学学报, 23(4): 80–83.
- 张一平, 王进欣, 刘玉洪, 等. 2001b. 热带次生林林窗干热季光照特征初步分析. 广西植物, 21(1): 1–8.
- 张一平, 王进欣, 马友鑫, 等. 2002. 西双版纳热带次生林林窗近地层温度时空分布特征. 林业科学, 38(6): 1–5.
- 朱教君. 2002. 次生林经营基础研究进展. 应用生态学报, 13(12): 1689–1694.
- Clinton B D, Boring L R, Swank W T. 1993. Canopy gap characteristics and drought influences in oak forests of the Coweeta Basin. Ecology, 74(5): 1551–1558.
- Clinton B D. 2003. Light, temperature, and soil moisture responses to elevation, evergreen understory, and small canopy gaps in the southern Appalachians. Forest Ecology and Management, 186(1–3): 243–255.
- Gagnon J L, Jokelab E J, Moserc W K, *et al.* 2004. Characteristics of gaps and natural regeneration in mature longleaf pine flatwoods ecosystems. Forest Ecology and Management, 187(2/3): 373–380.
- Gray A N, Spies T A. 1997. Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. Ecology, 78(8): 2458–2473.
- Gray A N, Spies T A, Easter M J. 2002. Microclimate and soil moisture responses to gap formation in coastal Douglas-fir forests. Canadian Journal of Forest Research, 32: 332–343.
- Ritter E, Dalsgaard L, Einhorn K S. 2005. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. Forest Ecology and Management, 206(1–3): 15–33.
- Spies T A, Franklin J F, Klopsch M. 1990. Canopy gaps in Douglas-fir forests of the Cascade Mountains. Canadian Journal of Forest Research, 20: 649–658.
- Whitmore T C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. Ecology, 70(3): 536–538.
- Zhu J J, Matsuzaki T, Li F Q, *et al.* 2003. Effect of gap size created by thinning on seedling emergence, survival and establishment in a coastal pine forest. Forest Ecology and Management, 182(3): 339–354.
- Zhu J J, Li X F, Liu Z G, *et al.* 2006. Factors affecting the snow/wind induced damage of a montane secondary forest in northeastern China. Silva Fennica, 40(1): 37–51.
- Zhu J J, Tan H, Lee F Q, *et al.* 2007. Microclimate regimes following gap formation in a montane secondary forest of eastern Liaoning Province, P R China. Journal of Forestry Research, 18(3): 167–173.

(责任编辑 于静娟)