

边缘效应带促进红松生长的光合生理生态学 研究

王文杰, 祖元刚, 杨逢建, 王慧梅, 王 非

(森林植物生态学教育部重点实验室, 东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要:以一个经过 12a 边缘效应带处理的 14 年生红松幼林生态系统为研究对象,通过对 3 种宽度(4 m, 6 m, 8 m)边缘效应带及保留带内红松幼树的光合日进程、碳素日积累量及相关生理生态学因子(光照、气孔导度、小枝木质部水势、叶片温度、叶面饱和蒸气压亏缺)的研究,探讨了造成不同效应带和保留带内红松生长差异的光合生理生态学原因。结果:4 m 效应带光照不足引起的碳素日积累量过低导致红松生长较差,8 m 效应带气孔导度过低引起的光合午休现象导致了碳素日积累量低、红松生长较差。8 m 效应带引起气孔导度下降的因素主要是过强光照引起叶片温度较高、叶面饱和蒸气压亏缺较大以及小枝木质部水势过低。研究认为,太宽的 8 m 带和太窄的 4 m 带都在一定程度上引起了光合生理生态学的不适应,导致生长水平下降,6 m 宽度的边缘效应带是人工促进红松生长的最佳边缘效应带。

关键词:边缘效应带;红松;光合生理生态

Photosynthetic ecophysiological study on the growth of Korean pine (*Pinus koraiensis*) afforested by the edge-effect belt method

WANG Wen-Jie, ZU Yuan-Gang, YANG Feng-Jian, WANG Hui-Mei, WANG Fei (Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Northeast Forestry Univ. Ministry of Education, Harbin 150040, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2318~2326.

Abstract: A 14-year-old Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest (as of 1998), afforested after clear-cutting of 4 m-, 6 m- and 8 m-width edge-effect belts in an oak (*Quercus mongolica*) secondary forest in 1986 (with a 10 m-width undisturbed belt close to each edge-effect belts, namely reserved belts), was studied. In each edge-effect belts and reserved belts, growth status parameters (basal diameter, canopy projection area) and diurnal course of net photosynthesis, daily carbon accumulation, and other ecophysiological parameters, such as photosynthetic active radiation, stomatal conductance, xylem water potential of current year branch, leaf temperature, vapor pressure deficit of leaf, were measured to discover the photosynthetic ecophysiological reason responsible for the growth differences in different treatment plots. The results indicate that the lower photosynthetic active radiation and subsequent lower carbon daily

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30300271);国家九五科技攻关课题(96004-02-05)资助项目

收稿日期:2003-07-18; **修订日期:**2003-09-10

作者简介:王文杰(1974~),男,河北易县人,博士生,主要从事树木生理生态学与全球变化方面的研究

致谢:张成君,李景文,王丽华和先锋林场的王彪技术员在本项研究的野外工作中给予的大量的帮助,日本北海道大学北方生物圈野外科学研究中心的小池孝良教授在对本文的初稿进行了认真的修改,阎秀峰教授、石福臣教授和聂绍荃教授对本文实验工作进行了指导,在此一并致谢。

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30300271); National Nine-Five Key Project (No. 960040205)

Received date: 2003-07-18; **Accepted date:** 2003-09-10

Biography: WANG Wen-Jie, Ph. D. candidate, main research field: forest ecophysiology and global changes.

accumulation induced the lower potential of growth in the 4 m edge-effect belt, while the lower stomatal conductance and subsequent photosynthesis noon depression and lower daily carbon accumulation induced the lower potential of growth in the 8 m edge-effect belt. In comparison to the 4 m and 8 m edge-effect belt, the 6 m edge-effect belt showed the best photosynthetic capacity, which was responsible for the best growth status of Korean pine in this treatment plot. Leaf water potential, leaf temperature, vapor pressure deficit of leaf were positive correlated with the stomatal conductance. Thus, the high light in the 8 m edge-effect belt induced the higher leaf temperature, vapor pressure deficit of leaf and lower water potential may be responsible for the sharp decrease in 8 m edge-effect belt. Therefore, based on our present study, too wide (8 m) and too narrow (4 m) width can result in the photosynthetic ecophysiological maladjustment (as discussed above). The optimal candidate width of edge-effect belts in afforestation of Korean pine in the secondary oak forest may be 6 m.

Key words: edge-effect belt; korean pine (*Pinus koraiensis*); photosynthesis; ecophysiology

文章编号:1000-0933(2003)11-2318-09 中图分类号:Q945.11, Q948.1 文献标识码:A

阔叶红松林是中国东北地区的气候顶级群落,维护和发展这一生态系统具有重要的生态学意义,然而由于人为的强烈干扰,这一群落的天然林分仅存于几个保护区内^[1,2]。通过带状采伐现有次生林形成边缘效应带,促进森林的生长的研究已经进行了大量的工作^[3-7]。由于红松林的生态学意义和经济学价值,近年来对于如何恢复这一生态系统的研究也比较深入^[9]。在蒙古栎天然次生低价林内开拓边缘效应带,并人工栽植红松幼苗,不仅可以为红松幼树提供必要的遮荫环境,而且又能够获得经济收益,是一种快速恢复红松阔叶混交林的方法^[9,10]。运用这一方法,于1986年在蒙古栎次生林内开拓了4m、6m和8m宽的边缘效应带,效应带间为10m的保留带(图1),并在保留带和效应带内人工种植红松幼苗(株行距2m×1.5m)。到目前为止,已有研究结果认为6m效应带内上层乔木和地面下木草本群落的初级生产力最高并能提高

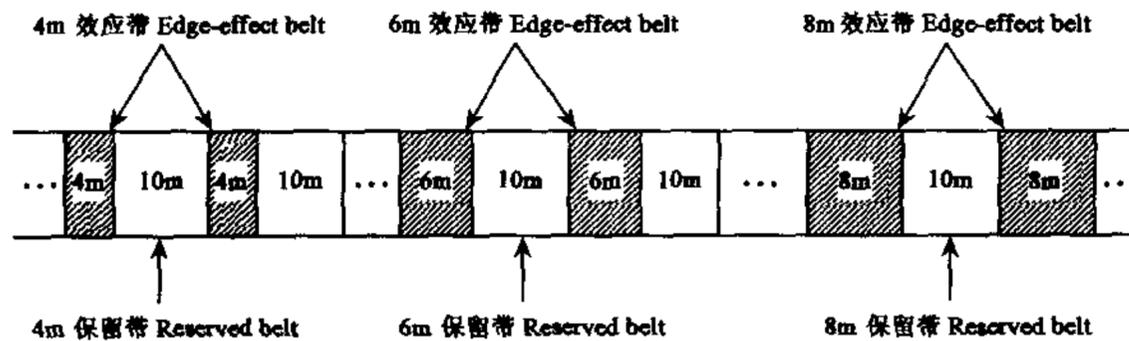


图1 效应带设置图

Fig. 1 Schematic representation of the design of research site

图中三点表示效应带和保留带的重复 Three dots indicate replicates of treatment plots

营养元素的循环^[11-13],效应带的开拓提高了生物多样性指数^①,效应带的开拓也有效的改善了红松的水分生态学特征^[14,15]。针对红松这一树种的生理生态学特性也进行了一定的研究^[16-18],然而,从光合生理生态角度对红松生长差异出现的原因的探讨还很少。本项研究就是在这一背景下提出的,旨在通过对光合速率的差异以及影响光合作用的生理生态因子的研究探讨红松生长差异发生的原因。

为弄清楚上述问题,本文通过对生长在不同宽度效应带和保留带内14年生红松幼树的生长状况进行了调查,同时对光合日进程进行模拟,估算碳素日固定能力,进而从光合固碳量角度解释红松幼树生长产生差异的原因,并通过光照、气孔导度、小枝木质部水势、叶片温度、饱和蒸气压亏缺的差异探讨了影响光合作用的因素。

① 张成军. 开拓效应带对天然次生蒙古栎林物种多样性的影响. 东北林业大学硕士学位论文,哈尔滨,1999.

1 研究地点与材料方法

1.1 研究地点概况

研究地点位于黑龙江省哈尔滨市依兰县(45°52'N~46°03'N, 129°28'E~129°45'E)先锋林场。平均海拔300~400 m, 平均坡度15~20°, 土壤主要为暗棕壤。气候为中温带大陆季风气候: 春秋短促, 夏季温凉、湿润, 冬季漫长寒冷。年均温3℃, 大于等于10℃年积温多置于南向坡蒙古栎红松混交林内, 设置如图1。本文以下叙述分别称4 m、6 m和8 m宽的边缘效应带为4 m、6 m和8 m效应带。为了区别与4 m、6 m、8 m效应带相邻的10 m保留带和方便本文的叙述, 分别称这些保留带为4 m、6 m和8 m保留带, 虽然他们的实际宽度为10 m。

1.2 实验材料

1986年, 2年生红松幼苗栽植于上述实验地内, 栽植密度为3300株·hm⁻²。4 m、6 m和8 m效应带分别栽植2、3、4行红松, 其中边行红松与效应带边缘线距离1 m。保留带的边行与效应带边缘线也距离1 m以保证两行间距离2 m。在保留带内, 当阔叶树种蒙古栎、水曲柳黄菠萝等珍贵阔叶树种占据红松幼苗的栽植点时, 不再栽植红松幼苗。本研究以效应带和保留带内14年生(1998年)红松幼树为研究对象, 在1998年8月份对位于不同效应带和保留带带内的红松生长状况、光合作用、光合有效辐射、小枝木质部水势, 叶面饱和蒸气压亏缺, 叶片温度等指标进行了测定。

1.3 研究方法

在选择红松过程中, 为了避免由于所选择红松生长位置所产生的差异影响结果, 在4 m、6 m、8 m效应带内全部选择种植的2、3、4行红松进行测量; 在保留带内选择中部2~3行红松进行测定。遵循以上原则, 在每个效应带和保留带内选取60棵以上的红松幼树测定其冠幅、基径、树高, 求算平均值, 并以此为标准选取各处理内的3个平均树测定总叶面积。其步骤是首先选择平均枝并确定每一个被测定树的平均枝的个数, 摘取所选至少5个平均枝上的所有叶片用LiCor~3000叶面积测定仪测定叶面积, 结合平均枝个数求算平均树总叶面积。

净光合速率、叶面饱和蒸气压亏缺、叶片温度、气孔导度等使用美国产LiCor-6400光合测定系统进行测定。在3个典型的晴朗天气, 对4 m、6 m和8 m效应带内和保留带内3~5株红松样本树的成熟针叶光合速率、光照和气孔导度的日变化进行测定。小枝木质部水势使用兰州大学产ZLZ-5型水分状况测定仪测定, 每个处理3~5株, 水势测定之前测定叶片气孔导度。小枝选择于每个处理的平均树, 小枝高度1.0~1.5 m, 大小均为长20~25 cm、直径0.5~0.8 cm。

单位叶面积碳素日积累量是对净光合速率日进程进行积分而估测:

$$A_{\text{daily}} = \int_{t_1}^{t_2} 1.2 \times 10^{-5} A dt, \quad (1)$$

式中, t_1 和 t_2 分别是日进程测定的起点和终点; 1.2×10^{-5} 是从微摩尔CO₂到克碳的单位转换系数; A ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 是在每一个时间点上的测量光合速率, A_{daily} ($\text{g C m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) 是指单位面积叶片的日积累量。

光照(PAR)大于500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 气孔导度与光合速率的关系利用双曲线模型(2)来拟合:

$$P_n = \frac{P_1 g_s}{P_2 + g_s} \quad (2)$$

式中, P_n, g_s 分别为净光合速率和气孔导度值, P_1, P_2 是拟合常数。当 g_s 趋向于无穷大时, P_2 可以忽略, 公式(2)可以变为 $P_n = P_1$, 即 P_1 的生物学意义没有气孔导度限制时的最大光合速率; 当 $P_n = \frac{1}{2} P_1$ 时, 公式(2)可以变为 $P_2 = g_s$, 即 P_2 的生物学意义为当光合速率为未受气孔限制的最大光合速率一半时的气孔导度值。所有的数据拟合使用Microcal Origin 5.0完成, 所有的统计学分析由Microcal Origin 5.0和SPSS 11.0完成。

2 结果与讨论

2.1 不同效应带和保留带内红松幼树生长的差异

表 1 不同宽度带状采伐带处理下生长状况的差别

Table 1 Growth characteristics of Korean pines in different treatment plots Number in parenthesis is the standard deviation

项目 Item	树高 Tree height	基径 Basal diameter	冠幅 Canopy size	
	H(m)	BD(cm)	N-S(m)	W-E(m)
4 m 保留带 Reserved belts	1.00(0.4)a n=43	2.19(1.3)a n=42	0.72(0.25)a n=43	0.71(0.26)a n=43
4 m 效应带 Edge-effect belts	1.31(0.6)b n=43	2.66(1.6)a n=42	0.85(0.2)a n=40	0.85(0.2)a n=40
6 m 保留带 Reserved belts	1.40(0.5)bc n=116	2.54(1.0)a n=116	1.04(0.35)b n=116	0.96(0.41)b n=116
6 m 效应带 Edge-effect belts	1.85(0.6)d n=68	3.69(1.4)b n=68	1.17(0.4)c n=67	1.18(0.4)c n=67
8 m 保留带 Reserved belts	1.62(0.4)cd n=62	3.75(1.1)b n=62	1.02(0.3)bc n=62	0.99(0.3)bc n=62
8 m 效应带 Edge-effect belts	1.25(0.4)ab n=61	2.65(1.1)a n=61	0.85(0.3)ab n=56	0.84(0.3)ab n=56

括号内为标准差, n 是样本数, 不同字母代表显著差异 ($p < 0.05$), 而相同字母代表差异不显著 The n is the number of sampling; Different alphabet indicates statistical difference ($p < 0.05$) and same alphabet indicate no statistical difference

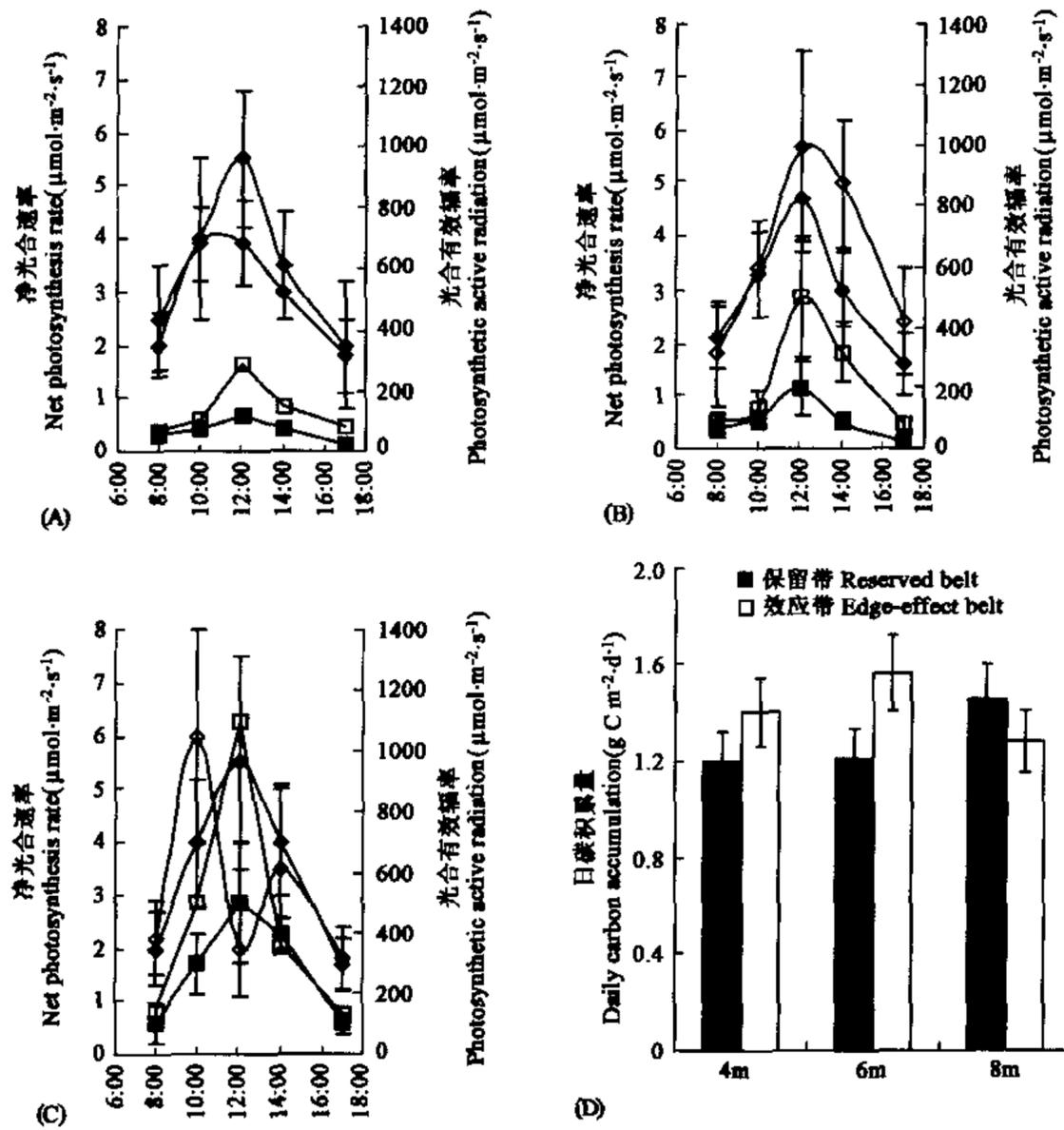


图 2 不同效应带和保留带内红松光合速率、光照日变化(A)~(C)与单位叶面积碳素日积累的差异(D)

Fig. 2 Difference in net photosynthesis, photosynthetic active radiation (A)~(C) and daily carbon accumulation per unit leaf area (D)

(A) 4m 效应带和保留带; (B) 6m 保留带和效应带; (C) 8m 保留带和效应带; (A)~(C) 图标 □ 效应带光照; ■ 效应带光照; ◇ 效应带光合; ◆ 保留带光合 (A) 4m edge-effect and reserved belt; (B) 6m edge-effect and reserved belt; (C) 8m edge-effect and reserved belt. Labels of (A)~(C): □ photosynthetic active radiation in the edge-effect belt; ■ photosynthetic active radiation in the reserved belt; ◇ net photosynthesis in the edge-effect belt; ◆ net photosynthesis rate in the reserved belt

红松幼树在 4m、6m 和 8m 效应带和所有的保留带内生长状况有较大的差异 (Table 1)。从树冠大小来看, 6 m 效应带内红松平均值最大达到 4.3m^2 , 8 m 保留带内最小为 2.7m^2 , 与 4 m 和 6 m 保留带相差不多。从树高来看, 6 m 效应带最高, 而 4 m 保留带最低。基径与树高的变化相同。从总叶面积来看, 6 m 效应带内红松具有最大的叶面积, 而 8 m 效应带最小, 与 4 m 和 6 m 保留带几乎相同。可以看出, 6 m 效应带内红松生长的最好。此外, 4 个生长指标的测定结果都表明 8m 效应带内红松生长较 8 m 保留带差。前人的研究结论认为, 对于促进次生蒙古栎林的林的养分循环和林分结构来看, 6 m 效应带也较其他两个带好^[11-13]。

2.2 不同效应带和保留带内红松光合速率与光照日进程及碳素日积累量的差异

图 2 是以 3 个典型晴天的平均值为基础对光合日进程和光照进行的模拟, 因为林内光照较暗, 所以此日进程仅仅从早晨 7:00 到下午 18:00 为止。8 m 效应带光照条件最好, 午间平均值为 $1100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 是 8 m 保留带的 2.1 倍。6 m 效应带次之, 午间平均值为 $530\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 是 6 m 保留带的 2.5 倍。4 m 效应带光照最差, 午间平均值仅为 $330\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。虽然 4 m 效应带和 6 m 效应带内午间的光照相差很大, 但是光合速率几乎相同 ($5.9\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 说明红松幼树对弱光有较强的利用^[2,16]。8 m 效应带虽然最高的午间光照, 然而光合速率仅为 6 m 效应带的 1/3。对日进程曲线进行积分得到单位叶面积碳素日固定量 (图 2), 结果显示, 6 m 效应带的碳日固定量最高 ($1.6\ \text{g C m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 是 4 m 效应带的 1.11 倍, 而 6 m 效应带和 4 m 效应带分别是对照保留带 1.28 倍和 1.17 倍。8 m 效应带的日积累量仅占对照保留带的 88%, 6 m 效应带的 84%。可以推论, 8 m 效应带碳固定量低可能与光合午休有关, 而 4 m 效应带碳固定量低可能与较低的光照有关。

2.3 不同效应带和保留带内红松气孔导度的日变化及气孔导度对光合作用的影响

气孔导度通常是影响光合作用的重要因子^[19]。为 P_1

探明气孔导度对光合作用的影响, 集中所有光照大于 $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光合速率与气孔导度数据绘制了图 3, 并用双曲线模型进行了模拟。模拟结果显示理论最大光合速率约为 (P_1 值) $12.47\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 但是实际测定过程中没有达到这一最大值。达到理论最大光合速率一半时的气孔导度值约为 (P_2 值) $0.07\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当气孔导度大于 $0.07\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 气孔导度对光合作用的限制较小, 净光合速率都能够达到理论最大光合速率的一半以上, 而当气孔导度小于 $0.07\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 气孔对光合速率的限制作用较强, 光合速率均低于理论最大光合速率的一半或更低 (图 3)。不同效应带和保留带的气孔导度日变化 (图 4) 显示, 8m 效应带内红松午间气孔导度明显低于其他处理, 且小于 $0.07\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 并持续整个下午。可以推断, 气孔的关闭是导致光合作用不能利用较强光照而导致光合午休的直接原因, 因为气孔关闭可能降低了光合作用原材料 CO_2 的供应^[20]。由于气孔导度降低而导致的光合产物积累量的降低估计是导致 8 m 效应带生长状况较差 (table 1) 的直接原因, 这与热带植物 *Macaranga conifera* 受气孔影响而导致的碳积累减少和生长势降低的现象一致^[21]。

2.4 不同效应带保留带内小枝木质部水势的差异及对气孔导度的影响

小枝木质部水势的日变化显示, 保留带内水势普遍高于效应带, 而 8m 效应带水势普遍低于 4m 和 6m 效应带。4m 效应带和 6m 效应带的差异并不太明显。木质部是连接土壤根系与叶片气孔进行水分传递的重

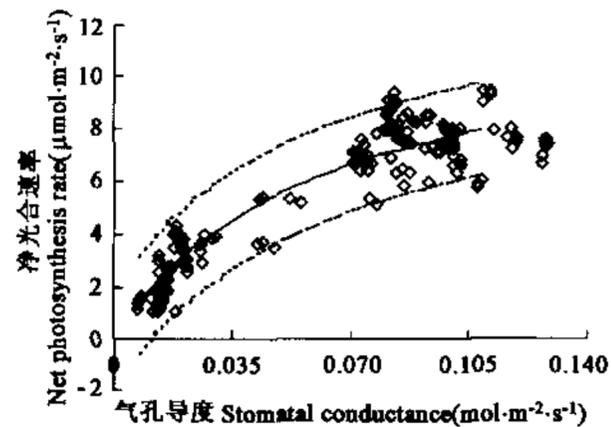


图 3 气孔导度对光合速率的影响

Fig. 3 Stomatal conductance influences on net photosynthesis

拟合方程 $P_n = P_1 \times x / (P_2 + x)$; $P_1 = 12.47$; $P_2 = 0.07$ $R^2 = 0.876$; 实线是拟合方程, 虚线是 95% 可靠性的预测线; P_2 的生物学意义是达到预测最大值 P_1 的一半时的气孔导度值 Simulation equation is $P_n = P_1 \times x / (P_2 + x)$; $P_1 = 12.47$; $P_2 = 0.07$ $R^2 = 0.876$; Solid line is the simulated line; Dashed lines are the predicted lines with 95% confidence; The biological significance of P_2 is the stomatal conductance value when the net photosynthesis reaches half of its predicted peak value

要通道,结果显示,木质部水势与气孔导度有一定的相关关系(图 5)。这可能说明,8 m 效应带的气孔导度的下降而导致的光合午休的部分原因可能是对于木质部水势下降的一种反馈机制。

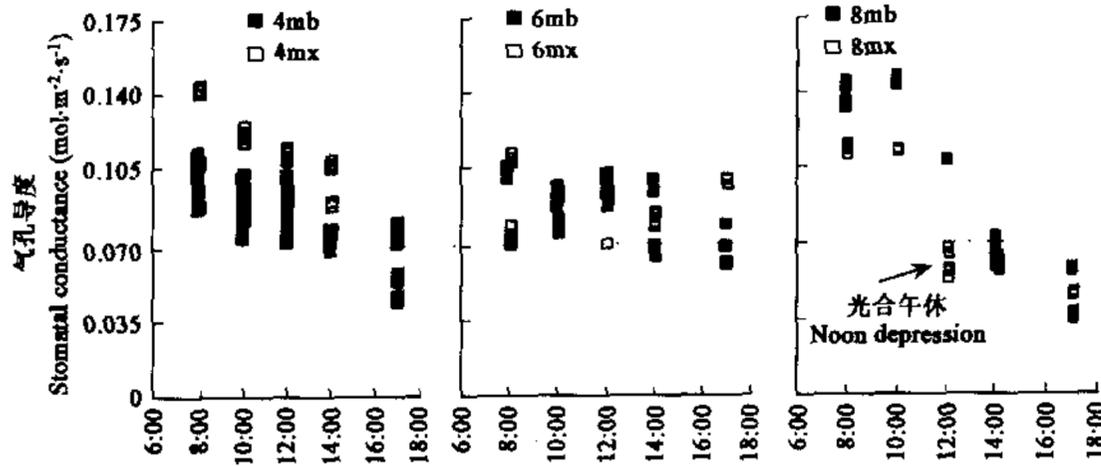


图 4 不同效应带和保留带内红松气孔导度日变化的差异

Fig. 4 Difference in diurnal course of stomatal conductance in different edge-effect and reserved belts

断线为达到未受气孔导度影响的理想最大光合速率一半时气孔导度基准线(0.07mol·m⁻²·s⁻¹)。4mb,4mx,6mb,6mx,8mb,8mx 分别代表 4m 保留带和效应带,6m 保留带和效应带,8m 保留带和效应带 Dashed line in the figure is the line of $g_s = 0.07 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, indication the half peak value of net photosynthesis; 4mb,4mx,6mb,6mx,8mb,8mx indicate the 4m reserved belt and edge-effect belt,6m reserved belt and edge-effect belt,8m reserved belt and edge-effect belt, respectively

2.5 不同效应带和保留带空气饱和和蒸气压亏缺的差异及对气孔导度的影响

效应带内的叶面饱和和蒸气压亏缺普遍比对应保留带高,8 m 效应带叶面饱和和蒸气压亏缺 > 6 m 效应带 > 4m 效应带(图 6 左)。随着叶面饱和和蒸气压亏缺增大,气孔导度呈指数下降趋势(图 6 右)。可能说明叶片饱和和蒸气压通过气孔导度的变化在一定程度上影响光合速率的变化。同时发现,1998 年的饱和蒸气压亏缺明显低于 1999 年,这是因为 1998 年的松花江流域洪灾,水分供应普遍较 1999 年好。

2.6 叶片温度对气孔导度、叶片饱和和蒸气压亏缺的影响

当叶片温度从 19 C 上升到 25 C 期间,叶片温度与气孔导度的相关性不大,然而,当叶片温度继续上升,气孔导度呈现指数下降趋势(图 7 左)。由于光照较强,8m 效应带叶片温度较其他效应带和保留带都高^[15],可能也是致使气孔导度偏低的一个因素。叶片温度与叶面饱和和蒸气压亏缺呈指数相关关系(图 7 右),说明二者其一或者二者共同对气孔产生影响,需要进一步研究进而确定哪一个是主导限制因子。综合以上对气孔导度的影响因素的分析,可以看出多因素共同影响了气孔导度的变化,但是各个因素之间的交互作用本项研究并没有考虑,需要更多的研究来确定他们的交互作用。

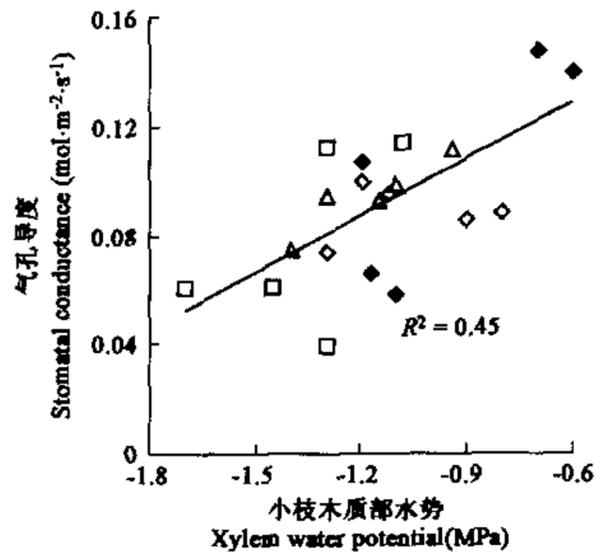


图 5 不同效应带与保留带小枝木质部水势日变化过程中与气孔导度的相关关系

Fig. 5 Relationship between stomatal conductance and xylem water potential of small branches during their diurnal courses in different edge-effect and reserved belts

□ 8m 效应带 edge-effect belt; ◇ 6m 效应带 edge-effect belt; △ 4m 效应带 edge-effect belt; ◆ 4m 保留带 reserved belt

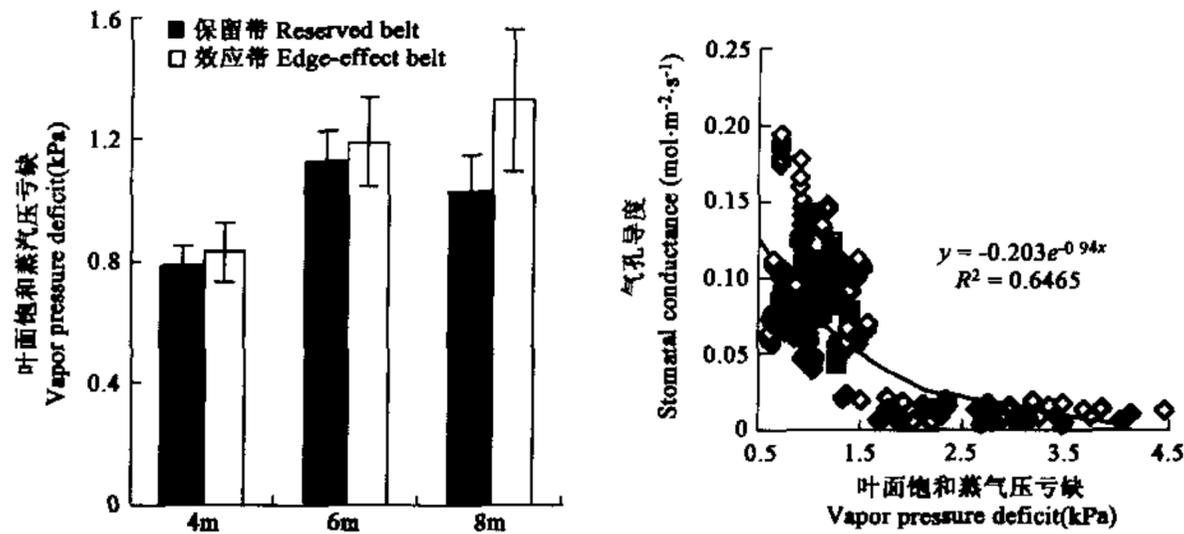


图6 不同效应带和保留带叶面饱和和蒸气压亏缺的差异(左)及其对气孔导度的影响(右)

Fig. 6 Difference in vapor pressure deficit of leaf in different edge-effect and reserved belts (Left) and their effect on stomatal conductance (Right)

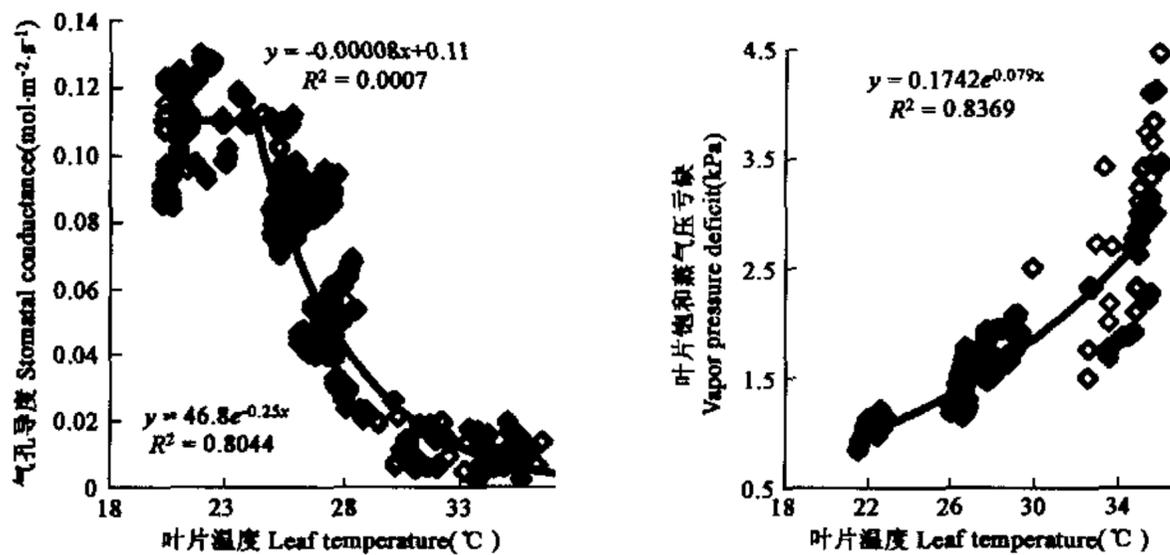


图7 叶片温度与气孔导度(左)、叶面饱和蒸气压亏缺(右)的关系

Fig. 7 Relationship between leaf temperature and stomatal conductance (Left), leaf temperature and vapor pressure deficit of leaf (Right)

3 结论

在蒙古栎次生林中开拓适当宽度的效应带方法促进红松阔叶混交林形成的方法,能够改善保留带和效应带内的光环境,提高红松的生长速度。研究表明,6m宽的效应带是最理想的采伐宽度。宽度过窄(如4m)不能够有效改善光照条件,导致光合碳固定量少,红松生长较慢。宽度过宽(如8m),使带内光照过度强烈,叶片温度升高,空气饱和蒸气压加大,气孔导度降低,光合午休现象出现,降低了日光合碳固定量,影响红松的正常生长。综合前人^{①[11~13]}及本研究,在中国东北地区的次生蒙古栎林中,在4m,6m和8m三种效应带造林中,6m宽效应带营造红松阔叶混交林是最佳的造林方法。

References:

- [1] Li, J W. *The Forest of Heilongjiang*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1993.
- [2] Ding BY, Zhang S Y, Chen X W, et al. *Theory and techniques of silviculture in Pinus koraiensis plantation*. Harbin: Science and technique press of Heilongjiang Province, 1994.

- [3] Smith D W. *The Practice of Silviculture (8th version)*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- [4] Ding B Y, Liu S R, Cai T J. Studies on the biological productivity of artificial forests of Dahurian larches. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1990, **14**(3):226~236.
- [5] Ding B Y, Ju Y G. Study on the structure of the larch wood community. *Journal of Northeastern Forestry Institute*, 1982, **4**:11~23.
- [6] Hänell B. Regeneration of Norway spruce forests on highly productive peatlands—clearcutting or selective cutting? *Scand. J. For. Res.*, 1993, **8**:518~527.
- [7] Hänell B, Nordfjell T, Eliasson L. Productivity and costs in shelterwood harvesting. *Scand. J. For. Res.*, 2000, **15**: 561~569.
- [8] Li C Z, Löfgren K G. A theory of red pine (*Pinus koraiensis*) management for both timber and commercial seeds. *Forest Science*, 2000, **46**: 284~289.
- [9] Nie S Q, Yang G T, Zhang Z Q, et al. Application of edge effect theory on the reconstruction of secondary forests. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, **18**(Ecol. SP. ISS.):1~6.
- [10] Ding B Y, Chen X W, Chen D W, et al. A preliminary study on the theory of forest edge effect and its effects. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, **18**(Ecol. SP. ISS.):13~27.
- [11] Chen X W, Ding B Y, Shi F C, et al. A study on the productivity and optimized mode of natural oak forests with different forest structure. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, **18**(Ecol. SP. ISS.):31~37.
- [12] Shi F C, Chen X W, Li H, et al. A study on the edge effect of natural secondary oak forests. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, **18**(Ecol. SP. ISS.):56~59.
- [13] Shi F C, Ding B Y, Yan X F, et al. A study on the regularity of litterfall decomposition in natural secondary oak forests in Sanjiang plain. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, **18**(Ecol. SP. ISS.):39~45.
- [14] Wang W J, Yan X F, Shi F C, et al. A trial to accelerate afforestation of Korean pine forests using a strip-cutting method for deciduous broad-leaved secondary forests in northeastern China. *Eurasian J. For. Res.*, 2001, **3**:27~48.
- [15] Zu Y G, Wang W J, Wang H M. Differences in water ecology of a young *Pinus koraiensis* stand grown in edge-effect belts and reserved belts. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(5):613~620.
- [16] Li J Q. Energy utilization in forest ecosystems of broad-leaved Korean pine forest regions. In: Zhou, X. F. editor. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 31~37.
- [17] Yan X F, Li J, Zu Y G. Effect of drought stress on activity of cell defense enzymes and lipid peroxidation in Korean pine seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**: 850~854.
- [18] Li J, Yan X F, Zu Y G. Generation of activated oxygen and change of cell defense enzyme activity in leaves of Korean pine seedling under low temperature. *Acta Botanica Sinica*, 2000, **42**: 148~152.
- [19] Jones H G. *Plant and Microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology*. New York: Cambridge University Press, 1992.
- [20] Eamus D, Cole S. Diurnal and seasonal comparisons of assimilation, phyllode conductance and water potential of three *Acacia* and one *Eucalyptus* species in the wet-dry tropics of Australia. *Aust. J. Bot.*, 1997, **45**: 275~290.
- [21] Ishida A, Toma T, Marjenah. Limitation of leaf carbon gain by stomatal and photochemical processes in the top canopy of *Macaranga confiera*, a tropical pioneer tree. *Tree Physiology*, 1999, **19**: 467~473.

参考文献:

- [1] 李景文. 黑龙江省森林. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1993.
- [2] 丁宝永,张世荣,陈祥伟,等. 红松人工林培育理论与技术. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 1994.
- [4] 丁宝永,刘世荣,蔡体久. 兴安落叶松人工林生物生产力研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1990, **14**(3):226~236.
- [5] 丁宝永,鞠永贵. 人工落叶松林群落结构研究. 东北林学院学报, 1982, **4**:11~23.

- [9] 聂绍荃,杨国亭,张志强,等.边缘效应理论在次生林改造中的应用.东北林业大学学报,1990,18(生态专刊):1~6.
- [10] 丁宝永,陈祥伟,陈大我,等.森林边缘效应理论及其影响的初步研究.东北林业大学学报,1990,18(生态专刊):13~27.
- [11] 陈祥伟,丁宝永,石福臣,等.天然柞木林不同群落结构林分生产力效益分析及最优化模式的探讨.东北林业大学学报,1990,18(生态专刊):31~37.
- [12] 石福臣,陈祥伟,李弘,等.天然次生柞木林边缘效应的研究.东北林业大学学报,1990,18(生态专刊):56~59.
- [13] 石福臣,丁宝永,阎秀峰,等.三江平原蒙古栎天然次生林枯枝落叶分解规律的研究.东北林业大学学报,1990,18(生态专刊):39~45.
- [15] 祖元刚,王文杰,王慧梅.边缘效应带和保留带内红松幼林水分生态的差异.植物生态学报,2002,26(5):613~620.
- [16] 李俊清.阔叶红松林区森林生态系统的能量利用.周晓峰主编,中国森林生态系统长期定位研究.哈尔滨:东北林业大学出版社,1994.31~37.
- [17] 阎秀峰,李晶,祖元刚.干旱胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响.生态学报,1999,19:850~854.
- [18] 李晶,阎秀峰,祖元刚.低温胁迫下红松幼苗活性氧的产生及保护酶的变化.植物学报,2000,42:148~152.

《环青海湖地区草地蝗虫遥感监测与预测》简介

陈永林

(中国科学院动物研究所,研究员)

南京师范大学地理科学学院地图与遥感研究所所长倪绍祥教授在国家自然科学基金的支持下,率领他的研究集体对环青海湖地区草地蝗虫的发生与生态因素和环境条件的关系及其遥感监测与预测进行了系统研究。在多年的实地考察与研究中,借助于陆地卫星遥感图象与地理信息系统,划分了草地蝗虫的生境类型、评估了潜在的发生与成灾的可能性并初步建立了预测预报模型,提出了草地蝗虫样区研究方案和蝗虫密度与植被生境的定量指标。在总结研究成果的基础上,撰写了《环青海湖地区草地蝗虫遥感监测与预测》专著。全书分上、下篇,上篇:环青海湖地区草地蝗虫遥感监测与预测的区域研究(第1~第7章);下篇:环青海湖地区草地蝗虫遥感监测与预测的样区研究(第8~第11章)。上篇从整个环青海湖地区角度,探讨了草地蝗虫生境的监测、评价及蝗虫发生的预测。其中,第1章论述蝗虫研究的目的和意义以及国内外蝗虫测报方法的进展;第2章说明环青海湖地区的生态与环境特征及草地蝗虫的种群结构、生物学特性和为害状况;第3章介绍草地蝗虫生境分类的原则和方法以及分类方案;第4章分析了研究地区各类生境因子与草地蝗虫发生的关系;第5章探讨了利用遥感技术对研究地区的草地蝗虫生境进行分类,并针对草地蝗虫潜在发生可能性进行评价;第6章论述了草地蝗虫种群变化预测模型及其应用;第7章阐述了遥感与GIS在研究地区草地蝗虫测报中的应用。下篇为在较小空间尺度上的样区研究,其中第8章介绍了实验样区情况和采样设计方案;第9章采用空间统计和空间插值方法分析实验样区草地蝗虫的空间分布状况;第10章着重分析草地蝗虫与植被之间的相关性;第11章论述了草地蝗虫发生的遥感预测方法。

该书不仅为青海湖地区草地蝗虫的研究与防治提供了可行的科学依据,也为国内其它草原地区蝗虫的预测预报和防治提供了有益的借鉴。利用遥感等先进技术手段进行草地蝗虫的预测预报是一项急待开拓的重要的工作。相信该书的问世,将为我国蝗虫的预测预报的研究与实践以及蝗灾的可持续控制提供有益的帮助。

该书为国家自然科学基金研究专著,由上海科学技术出版社出版发行,定价:36.00元。