

林窗对大兴安岭南段杨桦次生林林下更新特征的影响

刘兵兵^{1,2}, 赵鹏武^{1,2}, 周梅^{1,2}, 王媛³, 杨柳^{1,2}, 舒洋^{1,2}

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古赛罕乌拉森林生态系统国家定位观测研究站, 内蒙古 赤峰 025150; 3. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要:研究杨桦次生林不同林窗大小对林下物种更新特征的影响, 为人为近自然模拟林窗干扰更新提供理论依据和参考。以内蒙古大兴安岭南段杨桦次生林为研究对象, 按海拔梯度将6hm²大样地分为坡上、坡中及坡下, 每个坡位划分为4个林窗面积等级, 每个等级内选择3个不同面积林窗, 作为3个重复, 每个坡位选择林窗36个, 在每个林窗内设置更新苗调查样方5个。同时设置相同面积的对照样方(CK)36个。共调查林窗更新苗样方180个, 林内对照更新苗样方180个。结果表明, 林窗具有使原先锋物种(蒙古栎)更新密度下降的趋势; 林窗内蒙古栎均为主要更新物种, 从坡下到坡上, 蒙古栎更新苗密度分别占总更新密度的61.19%, 50%, 39.86%; 林窗中更新苗都以低矮植株(<60cm)为主, 更新苗在不同坡位、不同林窗面积中均表现为随高度级的增加, 更新苗数量降低。不同坡位不同高度级内更新苗数量基本呈现出大林窗多于小林窗; 坡位及林窗面积均对蒙古栎更新苗基径影响显著($P < 0.05$); 林窗能够显著促进蒙古栎更新苗粗生长, 在林窗面积为80~100m²达到最大; 林窗内坡上及坡下蒙古栎更新苗基径均大于林内, 坡中没有如此表现。总的来看, 林窗能够显著促进林下物种更新与生长, 并且具有使原有先锋物种(蒙古栎)更新密度下降的趋势。

关键词:大兴安岭南段; 杨桦次生林; 林窗; 蒙古栎; 更新特征

中图分类号: S754 文献标识码: A 文章编号: 1002-6622(2019)04-0031-06

DOI: 10.13466/j.cnki.lyzygl.2019.04.005

Effects of Forest Gaps on the Regeneration Pattern of the Undergrowth of Secondary Poplar-Birch Forests in Southern Greater Xing'an Mountains

LIU Bingbing^{1,2}, ZHAO Pengwu^{1,2}, ZHOU Mei^{1,2}, WANG Yuan³, YANG Liu^{1,2}, SHU Yang^{1,2}

(1. College of Forestry Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Inner Mongolia Saihanwula Forest Ecosystem National Positioning Research Station Chifeng 025150; 3. College of Grassland and Resources and Environment Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: The effects of different forest gap sizes on the regeneration pattern of the undergrowth of secondary Poplar-birch were studied, which provided theoretical basis and reference for the artificial near-natural simulation of forest gap disturbance renewal. Taking the secondary Poplar-birch forest in the Southern

收稿日期: 2019-05-13; 修回日期: 2019-05-29

基金项目: 国家自然科学基金项目“林草交错区森林死亡后粗木质残体对林木更新的影响机制”(41861005); 研究生科研创新资助项目“大兴安岭南段白桦次生林林窗干扰下调落物质量损失和养分释放影响研究”(S2018111997Z)

作者简介: 刘兵兵(1995-), 男, 内蒙古兴安盟人, 在读硕士, 主要从事森林生态学研究。Email: 1041886576@qq.com

通讯作者: 周梅(1960-), 女(蒙古族), 内蒙古呼和浩特人, 教授, 博导, 主要从事林学及森林生态学研究。

Email: zhoumei@imau.edu.cn

Greater Xing'an Mountains, Inner Mongolia as the research object, the 6hm² large plots were divided into the upper part, the middle and the lower part of slopes according to the altitude gradient. Each slope was divided into 4 forest gap area grades, and each grade was selected 3 forest gaps of different sizes, as three repetitions, 36 forest gaps are selected for each slope position, and 5 regeneration seedling survey samples are set in each forest gap. At the same time, 36 control samples (CK) of the same area were set. A total of 180 regeneration seedlings samples and 180 CK samples were set up and surveyed in the forest gaps. The results showed that the forest gap had the tendency to decrease the regeneration density of the original pioneer species (Mongolian scorpion); the sorghum in the forest gap was the main renewed species. From the lower part, to the middle part and the upper part of slopes, the regeneration seedling density of *Quercus mongolica* accounted for 61.9%, 50% and 39.86% of the total renewal density respectively. The regenerated seedlings in the forest gaps are mainly low-lying plants (<60 cm), and the number of regenerated seedlings show a decrease with an increase of height level in different slope positions and different forest gap areas. The number of regenerated seedlings in different heights of different slopes showed that there were more large forest gaps than small ones. The slope position and forest gap area all had significant effects on the algae diameter of *Quercus mongolica* ($p < 0.05$), forest gaps could significantly promote the regeneration of *Quercus mongolica*. The growth of seedlings was the largest in the forest gap area of 80 – 100 m². The diameter of the seedlings in the forest gap in the lower part and the upper part of slopes were higher than those in the forest, and there was no such performance in the middle part of slopes. In general, forest gaps can significantly promote the regeneration and growth of undergrowth species, and have a tendency to reduce the density of regeneration of the original pioneer species *Mongolian mongolica*.

Key words: Southern greater Xing'an mountains, secondary poplar-birch forest, gaps, Mongolian, regeneration pattern

林窗干扰是森林生态系统得以长期维持的重要驱动力之一,也是森林循环更新的重要方式;林窗的产生导致森林组成和结构的异质性,其对种子萌发、幼苗生长等自然更新过程、森林物种组成和动态、森林生物多样性的维持具有重要的作用^[1]。森林天然更新是森林生态系统中资源进行再生产的一个自然的生物学过程^[2],是森林生态系统能够实现繁衍和恢复的重要手段,对森林实现可持续经营有着重要作用^[3]。因此,天然更新的研究,历来是学者们关注的热点。目前,国内对林窗的研究主要集中在南方。徐嘉等^[4]对川西南山地云南松林窗更新特征研究表明,林窗干扰有利于云南松天然更新;何中声等^[5]对林窗干扰下格氏栲更新特征的研究表明,林窗在促进格氏栲更新过程中具有重要作用。对于我国北方地区次生林林窗干扰特征研究较少,尤其是不同林窗面积对林下幼苗更新的影响机理还不清楚。

大兴安岭南段地处内蒙古森林—草原交错区,

边缘效应明显,生态系统的结构、功能及生态过程都相当复杂,具有较高的生物多样性和生产力,但是抗干扰能力较差,较易受到全球气候变化的影响^[6]。近几年来看,由于全球气候变化所引起的干旱、高温、生境破坏等,大兴安岭南段山地的森林—草原交错区发生了具有较强斑块性的大面积乔木死亡现象。该地区原本以白桦、山杨为建群种,但是蒙古栎却作为先锋物种出现^[7]。随着气候逐渐变化,蒙古栎在多年以后能否替代本地区原有树种而完成演替?因此,研究该地区蒙古栎更新幼苗长势状况及存活状态具有重要意义。

本研究以大兴安岭南段杨桦次生林为研究对象,通过对受林窗大小干扰下,幼苗更新、生长等进行研究,进一步揭示自然干扰对森林生态系统结构与功能的影响,以期人为近自然模拟林窗干扰,利用林窗天然更新规律人工干扰天然林的更新,森林物种多样性的保护以及人工林的经营提供理论依据和参考。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古赤峰市巴林右旗赛罕乌拉森林生态系统定位研究站,地理坐标为 $43^{\circ}59' \sim 44^{\circ}27'N$, $118^{\circ}18' \sim 118^{\circ}55'E$ 。该区属于大兴安岭南南部山地阿尔山支脉,地貌类型为中山山地,总体地势为东北高西南低,从东北向西南逐渐倾斜。平均海拔高度 1 000m,最高海拔 1 997m。研究区属温带半湿润温寒气候区,最高气温 $29^{\circ}C$,最低气温 $-32^{\circ}C$,年平均气温 $2^{\circ}C$ 。年均降水量 400mm,年蒸发量 2 050mm,湿润度为 $0.5 \sim 0.8$ ^[8]。

研究区内土壤主要分布着山地黑土、灰色森林土、棕壤土以及暗栗钙土。主要森林类型有杨桦混交林、杨桦蒙古栎混交林、蒙古栎纯林等阔叶次生林,主要树种有白桦 (*Betula platyphylla*)、山杨 (*Populus davidiana*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、黑桦 (*Betula dahurica*)、大果榆 (*Ulmus macrocarpa*)、林下以虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*)、兴安杜鹃 (*Rhododendron dauricum*)、照山白 (*Rhododendron micranthum*) 和草类为主^[9]。

2 试验方法

本研究以 2012 年 5—8 月在赛罕乌拉森林生态站采用 CTFS (Center for Tropical Forest Science) 样地建设标准布设的 6hm^2 森林动态监测大样地为调查样地^[6],于 2017 年 6—10 月,对 6hm^2 大样地进行全面调查,测量林窗的长轴及与之垂直的短轴长度,按椭圆计算面积。按海拔梯度将 6hm^2 大样地分为坡上、坡中及坡下,每个坡位划分为 4 个林窗面积等级(林窗面积 $\leq 50\text{m}^2$ 为 1 号林窗,林窗面积 $50 \sim 80\text{m}^2$ 为 2 号林窗,林窗面积 $80 \sim 100\text{m}^2$ 为 3 号林窗,林窗面积 $\geq 100\text{m}^2$ 为 4 号林窗)。每个等级内选择 3 个林窗,作为 3 个重复,每个坡位选择林窗 12 个,共计 36 个。在每个林窗内边缘正东、正南、正西、正北及林窗中间设置 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 样方 5 个,仅调查样方内乔木幼苗 ($DBH \leq 1\text{cm}$)。距林窗 10m 外设置相同面积的对照样方 (CK) 36 个,按照同样的方式设置幼苗调查样方。共调查林窗幼苗样方 180 个,林内对照乔木幼苗样方共计 180 个。试验样地基本属性如表 1 所示。

试验数据经 Excel 2010 整理后,采用 spss 软件及 sigmaplot 12.5 进行统计与作图比较。

表 1 试验样地基本信息

Tab. 1 Basic information of the test sample

坡位	海拔/ m	面积等级/ m^2	林窗面积/ m^2	坡向	形成 方式
坡下	1182 ~ 1220	≤ 50	38.2 ~ 49.5	WN	JZ
		50 ~ 80	55.3 ~ 78.5	WN	ZZ
		80 ~ 100	80.0 ~ 97.2	WN	JZ
		≥ 100	102.5 ~ 277.8	WN	ZZ
坡中	1230 ~ 1261	≤ 50	28.5 ~ 48.2	WN	ZZ
		50 ~ 80	50.3 ~ 77.5	WN	ZZ
		80 ~ 100	88.0 ~ 99.7	WN	ZZ
		≥ 100	125.5 ~ 242.2	WN	ZZ
坡上	1264 ~ 1311	≤ 50	21.3 ~ 47.5	WN	ZZ
		50 ~ 80	51.8 ~ 72.1	WN	ZZ
		80 ~ 100	90.2 ~ 99.5	WN	JZ
		≥ 100	123.5 ~ 243.1	WN	JZ

注:1. “JZ”意为干基折断,“ZZ”意为干中折断;2. “WN”意为西北方向。

3 结果与分析

3.1 林窗干扰对乔木幼苗更新密度的影响

从坡位来看(表 2):1)坡下林窗共更新出幼苗 6 种,平均更新密度为 $15\ 098.96$ 株/ hm^2 ,主要更新树种为蒙古栎,平均更新密度为 $9\ 239.58$ 株/ hm^2 ,占总更新密度的 61.19%;其次为白桦和山杨,平均更新密度分别为 $4\ 375$ 株/ hm^2 和 $2\ 500$ 株/ hm^2 ,占总更新密度的 28.98% 和 16.56%。坡下林内共更新出幼苗 2 种,更新密度为 $11\ 112$ 株/ hm^2 ,主要更新物种为蒙古栎,更新密度为 $10\ 556$ 株/ hm^2 ,占总更新密度的 94.99%,还伴有少量山杨出现。2)坡中林窗共更新出幼苗 3 种,平均更新密度为 $10\ 381.94$ 株/ hm^2 ,主要更新树种为蒙古栎,平均更新密度为 $5\ 034.72$ 株/ hm^2 ,占总更新密度的 48.49%;其次为山杨,平均更新密度为 $4\ 722.22$ 株/ hm^2 ,占总更新密度的 45.48%,白桦少量出现。坡中林内共更新出幼苗 3 种,更新密度为 $5\ 000$ 株/ hm^2 ,主要更新物种为蒙古栎,更新密度为 $2\ 500$ 株/ hm^2 ,占总更新密度的 50%。3)坡上林窗共更新出幼苗 4 种,平均更新密度为

14 895.83株/hm²,主要更新树种为蒙古栎,平均更新密度为5 937.50株/hm²,占总更新密度的39.86%;山杨为次生更新物种,平均更新密度为5 416.67株/hm²,占总更新密度的36.36%。坡上林内共更新出幼苗2种,更新密度为8 000株/hm²,主要更新物种为蒙古栎,更新密度为7 000株/hm²,占总更新密度的87.5%,还伴有少量山杨出现。从垂直结构来看,更新密度总体呈现出坡下>坡上>坡中的趋势。

从不同林窗面积来看,坡下在1号林窗物种数最多,为6种,蒙古栎更新密度在4号林窗达到最大,为13 333.33株/hm²,在3号林窗最小,为

5 000株/hm²。林内蒙古栎密度为10 556株/hm²。蒙古栎更新苗密度总体呈现出4号林窗>林内>1号林窗>2号林窗>3号林窗的趋势。坡中蒙古栎更新苗整体偏小,在2号林窗最大为6 250株/hm²,林内最小为2 500株/hm²,总体呈现出2号林窗>1号林窗(=3号林窗)>4号林窗>林内的趋势。坡上4号林窗物种数最多为4种。蒙古栎更新密度在1号林窗达到最大,为7 083.33株/hm²,在3号林窗最小,为4 853.33株/hm²。林内蒙古栎密度为7 000株/hm²。总体呈现出1号林窗>林内>4号林窗>2号林窗>3号林窗的趋势。

表2 林窗及林内物种更新密度

Tab. 2 Forest gap and forest species regeneration density

株/hm²

坡位	树种	面积等级/m ²				CK
		≤50	50~80	80~100	≥100	
坡下	蒙古栎	9333.333	9291.667	5000	13333.33	10556
	山杨	2500	0	2500	0	556
	白桦	2500	0	0	6250	0
	鼠李	4687.5	0	0	0	0
	黑桦	2500	0	0	0	0
	山丁子	2500	0	0	0	0
坡中	蒙古栎	5000	6250	5000	3888.889	2500
	山杨	5000	6250	2500	5138.889	1500
	白桦	0	0	2500	0	1000
坡上	蒙古栎	7083.333	5277.778	4583.333	6805.556	7000
	山杨	3750	3750	0	8750	1000
	白桦	0	0	0	5000	0
	蒙段	0	4583.333	5000	5000	0

3.2 生长状况

3.2.1 林窗干扰对蒙古栎更新苗高度结构的影响

蒙古栎更新苗在林窗内外及不同坡位的高度分布差异明显(图1)。坡下更新苗都以低矮植株(40cm以下)为主,且更新苗在林窗内外均随着高度级的增加更新苗数量变少甚至为零;我们可以看出高度在≤40cm的林内蒙古栎幼苗最多,达到10~22株/m²。坡中更新苗同样都以低矮植株(40cm以下)为主,但可以看出,坡中蒙古栎幼苗整体偏少,为1~2株/m²。坡上更新苗与坡中和坡下均不相同,更新苗呈单峰型变化,在高度为20~80cm之间

蒙古栎更新苗最多。从林窗面积来看,坡上、坡中及坡下林窗内,不同高度级内蒙古栎更新苗密度,大林窗要多于小林窗,且林窗内更新苗数量基本多于林内。

3.2.2 林窗干扰对乔木幼苗基径的影响

蒙古栎更新苗在林窗内外及不同坡位的基径分布差异明显(图2)。1)坡上林窗中更新苗基径平均值为8.52mm,在3号林窗达到最大值9.45mm,在4号林窗达到最小值7.48mm,但均高于林内2.64mm,呈现出3号林窗>2号林窗>1号林窗>4号林窗>林内的趋势;2)坡下林窗中更新苗基径波动较大,平均值为

5.24mm,在3号林窗中最大,为6.03mm,在2号林窗最小4.30mm,同样,均大于林内3.87mm,呈现出3号林窗>1号林窗>4号林窗>2号林窗>林内趋势;3)坡中蒙古栎更新苗基径较为异常,在1号林窗与2号林

窗为最小,分别为5.31mm和2.80mm,且均小于林内5.6mm,在3号林窗中达到最大8.32mm,呈现出3号林窗>4号林窗>林内>1号林窗>2号林窗的趋势。从表3可以看出,坡位与林窗面积对基径的影响显著。

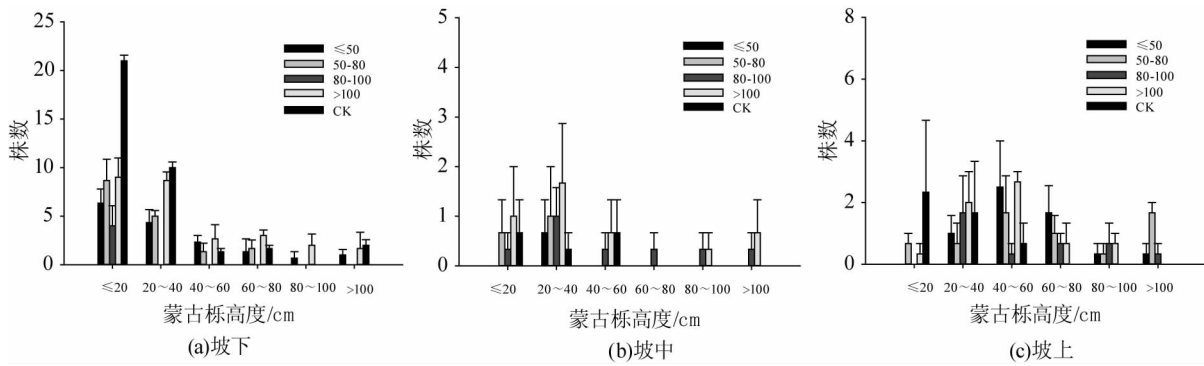


图1 不同坡位蒙古栎幼苗高度对比

Fig. 1 Height comparison of seedlings of *Quercus mongolica* on different slopes

表3 蒙古栎幼苗基径与坡位及林窗面积的相关性

Tab. 3 Correlation between base diameter and slope position and forest window area of *Quercus mongolica* seedlings

源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性	偏Eta平方
坡位	43.209	2	21.605	3.931	0.020	0.208
林窗面积	61.278	4	15.319	2.787	0.024	0.271

注:显著水平($P < 0.05$)为具有显著性。

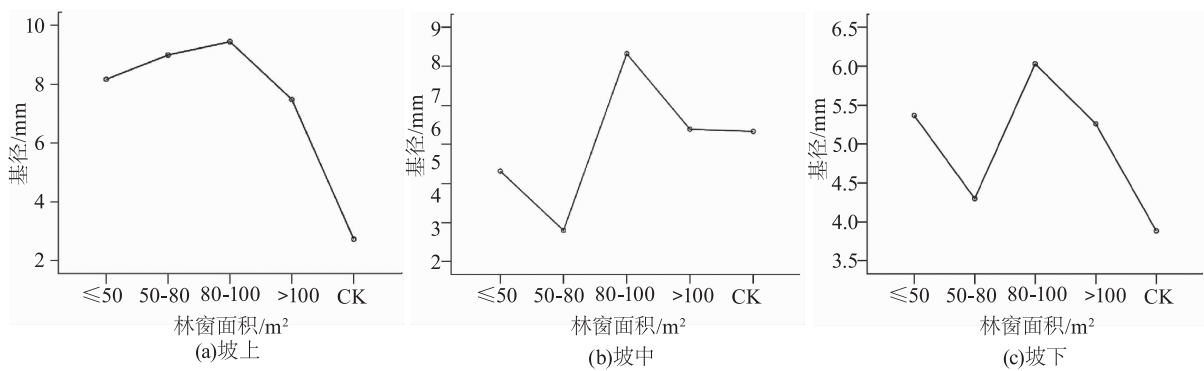


图2 不同坡位蒙古栎幼苗基径对比

Fig. 2 Comparison of base diameters of *Quercus mongolica* seedlings on different slopes

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 林窗能够显著促进林下森林更新

森林群落中林窗的出现为物种的传播提供了

更大的空间,从而更有利于更新^[10-11]。葛晓改等^[12]研究发现木荷(*Schima superba* Gardn)的更新密度随着林窗面积的增大而呈单峰型变化。当林窗面积 $< 50 \text{ m}^2$ 时,木荷幼苗更新密度较小,当林窗

面积达到 76m^2 时,林窗中更新密度达到最大,之后随着林窗面积的增加迅速下降;木荷幼苗、幼树在中林窗中的分布密度最大。

本研究发现,在坡上及坡下林窗中蒙古栎更新苗密度相对于林内有减少的趋势,林窗中白桦、山杨等物种更新苗密度有所增加。这可能是因为虽然蒙古栎在更新初期具有很强的更新能力,但是随着幼苗的不断生长,林窗的不断郁闭,处于阴坡的优势树种山杨、白桦逐渐竞争更多的光照与热量,促进幼苗迅速高生长,最终使喜阳树种蒙古栎幼苗逐渐被淘汰。赵鹏武等^[7]对该地区森林死亡与更新的研究结果也表明,2012—2015年里蒙古栎更新苗密度每 100m^2 相对减少了 1.6 株,这对本研究结果做了进一步论证。研究还发现,坡中位置的蒙古栎更新苗密度与二者皆不相同,林窗中蒙古栎更新密度要远大于林内,且林窗内山杨、白桦的更新苗密度与蒙古栎更新苗密度相同甚至大于先锋种蒙古栎的更新密度,这可能是由于该地区林分结构导致的,坡中为该地区良好林分(坡下)与死亡严重林分(坡上)的分界点,分布着大量山杨、白桦幼树($1\text{cm} \leq \text{DBH} \leq 5\text{cm}$)。因此,导致该坡位蒙古栎更新苗($\text{DBH} \leq 1\text{cm}$)较少。这也是导致本研究中,由坡下到坡上蒙古栎更新苗减少的主要原因。这与曾楠^[6]对该地区森林死亡的研究结果一致。

4.1.2 林窗能够显著促进蒙古栎更新苗生长

林窗为更新苗创造了适宜的生长环境,使其生长得到释放,高生长加快,林窗在种子萌发、更新苗生长过程中发挥着重要作用^[13-14],对维持次生林物种多样性与稳定性具有重要意义。刘庆等^[15]研究表明,林窗大小对林窗植被的物种多样性、结构、密度分布以及云冷杉更新苗的空间分布都有不同程度的影响。云冷杉更新幼苗以中、小林窗较多,且在小林窗中呈随机分布,主要分布在林窗中心和过渡区域(共占 88%),在大、中林窗中则呈集群分布状态,主要分布在过渡区域(占 44%~50%)。

本研究发现,林窗中更新苗都以低矮植株($<60\text{cm}$)为主,更新苗在不同坡位、不同林窗面积

中均表现为随高度级的增加,更新苗数量降低。不同坡位不同高度级内更新苗数量基本呈现出大林窗多于小林窗的情况,说明在小林窗中,更新苗生长相对较慢、高度低矮;在大林窗中,蒙古栎更新苗生长较快。而且蒙古栎更新苗在林窗中分布也比林内数量多。何中声^[16]研究表明当格氏栲幼苗高度达到 $100 \sim 150\text{cm}$ 后,其所面临的竞争强度逐渐减少,林窗内充足的光照条件则进一步促进了林窗格氏栲幼苗、幼树的生长;非林窗缺乏充足的光照条件,导致格氏栲幼苗、幼树生长缓慢,尽管所面临的竞争逐渐减少,但生长缓慢难以达到林冠层,不利于其种群更新。

本研究还发现,坡上及坡下蒙古栎基径较为敏感,林窗内均大于林内。不同坡位蒙古栎基径均在 3 号林窗($80 \sim 100\text{m}^2$)达到最大。李永兵^[17]对子午岭辽东栎林天然更新的研究表明,林窗大小对其高生长和粗生长有显著性影响。在中等大小林窗中实生幼苗的高度和基径分别为 20.15cm 和 0.37cm ,均高于生长在小林窗和大林窗中的幼苗,且差异均显著($F = 5.391, P = 0.008, F = 6.339, P = 0.003$)。幼苗在中等大小林窗的粗生长和高生长均比在小林窗和大林窗中的好。

4.2 结论

林窗能够显著促进林下物种更新,使原有先锋物种(蒙古栎)更新密度呈下降的趋势;同时也能显著促进林下物种高生长及粗生长。

参考文献:

- [1] 王家华,李建东. 林窗研究进展[J]. 世界林业研究, 2006(1): 27-30.
- [2] 韩有志,王政权. 森林更新与空间异质性[J]. 应用生态学报, 2002(5): 615-619.
- [3] 徐振邦,代力民,陈吉泉,等. 长白山红松阔叶混交林森林天然更新条件的研究[J]. 生态学报, 2001(9): 1413-1420.
- [4] 徐嘉,费世民,何亚平,等. 川西南山地云南松林窗更新特征[J]. 林业科学, 2008(9): 7-12.
- [5] 何中声,刘金福,朱德煌,等. 林窗对格氏栲天然林更新层物种生态位的影响[J]. 广西植物, 2012, 32(5): 624-629.
- [6] 曾楠. 大兴安岭南段阔叶林乔木死亡动态与生态系统响应[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2017.

(下转第 45 页)

- [15] Hubert L, Magdalena S, Piotr P J, et al. The Influence of Location, Tree Age and Forest Habitat Type on Basic Fuel Properties of the Wood of the Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) in Poland [J]. *BioEnergy Research*, 2018(11): 638 – 651.
- [16] Takahashi K, Murayama Y. Effects of topographic and edaphic conditions on alpine plant species distribution along a slope gradient on Mount Norikura, central Japan [J]. *Ecological Research*, 2014, 29(5): 823 – 833.
- [17] 方元平, 刘胜祥, 项俊, 等. 湖北省榉树自然种群分布研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2007(6): 744 – 747.
- [18] 祝梓杰, 王桂瑶, 乔飞, 等. 基于 MaxEnt 模型的两栖捕食性盲蝽潜在分布区及其适生性分析 [J]. *昆虫学报*, 2017, 60(3): 335 – 346.
- [19] De Cauwer V, Muys B, Revermann R, et al. Potential, realised, future distribution and environmental suitability for *Pterocarpus angolensis* DC in southern Africa [J]. *Forest Ecology and Management*, 2014, 315: 211 – 226.
- [20] Phillips S J, Miroslav Dudík. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation [J]. *Ecography*, 2008, 31(2): 161 – 175.
- [21] 袁位高. 浙江省生态公益林主要群落结构的比较研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [22] Abrha H, Birhane E, Hagos H, Manaye A. Predicting suitable habitats of endangered *Juniperus procera* tree under climate change in Northern Ethiopia [J]. *Journal of Sustainable Forestry*, 2018, 37(8): 842 – 853.
- [23] 刘超, 霍宏亮, 田路明, 等. 基于 MaxEnt 模型不同气候变化情景下的豆梨潜在地理分布 [J]. *应用生态学报*, 2018, 29(11): 3696 – 3704.
- [24] Bipin A, Chunxiang C, Min X, et al. Present and Future of Dengue Fever in Nepal: Mapping Climatic Suitability by Ecological Niche Model [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(2): 1870.
- [25] 张晓芹. 西北旱区典型生态经济树种地理分布与气候适宜性研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.
- [26] 麻亚鸿. 基于最大熵模型 (MaxEnt) 和地理信息系统 (ArcGis) 预测蕨类植物的地理分布范围 [D]. 上海: 上海师范大学, 2013.
- [27] 邓秀秀, 王忠诚, 李程, 等. 浙江天童常绿阔叶林凋落物量季节动态及其与气象因子的关系 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(3): 73 – 78.
- [28] 芦伟, 余建平, 任海保, 等. 古田山中亚热带常绿阔叶林群落物种多样性的空间变异特征 [J]. *生物多样性*, 2018, 26(9): 1023 – 1028.
- [29] 李玥, 张金池, 李奕建, 等. 上海市沿海防护林下土壤养分、微生物及酶的典型相关关系 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(2): 360 – 366.
- [30] 何淑勤, 宫渊波, 武万华, 等. 不同坡度下玉米生长期紫色土坡面径流及其可溶性有机碳流失特征 [J]. *水土保持学报*, 2019(1): 16.

(上接第36页)

- [7] Zhao Pengwu, Xu Chongyang, Zhou Mei, et al. Rapid regeneration offsets losses from warming-induced tree mortality in an aspen-dominated broad-leaved forest in northern China [J]. *PLOS ONE*, 2018, 13(4): e0195630.
- [8] 曾楠, 周梅, 赵鹏武, 等. 大兴安岭南段阔叶次生林空间格局及种间关系 [J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(7): 36 – 39.
- [9] 史山丹, 赵鹏武, 周梅, 等. 大兴安岭南段温带山杨天然次生林不同生长阶段生物量及碳储量 [J]. *生态环境学报*, 2012, 21(3): 428 – 433.
- [10] 陈梅, 朱教君, 闫巧玲, 等. 辽东山区次生林不同大小林窗光照特征比较 [J]. *应用生态学报*, 2008, 19(12): 2555 – 2560.
- [11] 赵秀海, 张春雨, 郑景明. 阔叶红松林林窗结构与树种多样性关系研究 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2236 – 2240.
- [12] 葛晓改, 周本智, 王刚, 等. 雪灾干扰下林窗对木荷幼苗更新的影响 [J]. *林业科学研究*, 2014, 27(4): 529 – 535.
- [13] 周东, 刘国彬. 林窗对子午岭天然辽东栎群落林下植物多样性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(22): 91 – 98.
- [14] 刘少冲, 段文标, 冯静, 等. 林窗对小兴安岭阔叶红松林树种更新及物种多样性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1381 – 1388.
- [15] 刘庆, 吴彦. 滇西北亚高山针叶林林窗大小与更新的初步分析 [J]. *应用与环境生物学报*, 2002(5): 453 – 459.
- [16] 何中声. 格氏栲天然林林窗微环境特征及幼苗更新动态研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [17] 李永兵. 林窗对子午岭辽东栎林天然更新的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.