

水曲柳阔叶混交林冠层光分布与天然更新相关性研究

马惠英^{1,2}, 文 英², 韩云花¹, 李四川^{2*}

(1. 甘肃省次生林培育重点实验室, 甘肃 天水 741020; 2. 甘肃省小陇山林业实验局太碌林场, 甘肃 天水 741020)

摘 要:探讨甘肃小陇山林区阔叶混交林冠层光分布对水曲柳天然更新的影响。以水曲柳为研究对象, 采用大田试验和样地调查法, 使用 Hemi View 数字植物冠层分析仪测定水曲柳阔叶混交林冠层的光照指标及 LAI, 建立 DSF、ISF 与 LAI 回归分析。结果表明, 水曲柳在幼苗期适宜于在遮荫度 $<50\%$ 的环境下生长, 当遮荫度 $>50\%$ 时, 其苗高生长明显下降且与对照差异显著; 水曲柳阔叶混交林中, 林分冠层的郁闭度与叶面积指数(LAI)之间存在显著的正相关关系; 散射光立地系数(ISF)、直射光立地系数(DSF)、散射光立地系数(GSF)、冠下总辐射(TotBe)随叶面积指数(LAI)的增大, 呈明显的负相关关系, 当郁闭度 <0.66 , 散射光分布较多, 更有利于水曲柳幼苗的生长与天然更新; 对于种子扩散繁殖, 距离母树 0~5 m 种子数量最多, 随着距离的增加而减少, 扩散半径因风向风不同而异, 最远可达 20 m。混交林冠层光分布对水曲柳幼苗期的天然更新有很大的影响。

关键词:水曲柳; 光分布; 叶面积指数; 郁闭度

中图分类号:S793.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2021)02-0097-05

Correlations between Light Distribution of the Crown Layer and Natural Regeneration of *Fraxinus mandshurica*

MA Hui-ying^{1,2}, WEN Ying², HAN Yun-hua¹, LI Si-chuan^{2*}

(1. The Secondary Forest Cultivating Key Laboratory of Gansu Province, Tianshui 741020, Gansu, China;

2. Tailu Forest Farm, Xiaolongshan Forestry Experimental Bureau of Gansu Province, Tianshui 741020, Gansu, China)

Abstract: The objective of this study was to understand the effects of light distribution of broad-leaved mixed forest crown layer on the natural regeneration of *Fraxinus mandshurica* occurring in Xiaolongshan forest area, Gansu Province. Methods of general field investigation and sample plot observation were adopted. Hemi View Digital System was used to measure relative light indicators and light area index (LAI). The regression model between direct site factor (DSF) and LAI, indirect site factor (ISF) and LAI were built. The results showed that the optimal shade degree for the young seedling growth was less than 50%, when the shade degree was over 50%, the height growth significantly decreased, and presented significant difference with the control. In the broad-leaved mixed forest, significantly positive relationship was observed between canopy density and LAI. Parameters such as ISF, DSF, GSF (general site factor), TotBe (total radiation below canopy) decreased with the increase of LAI, presenting significantly negative relationship. When the canopy density was less than 0.66, the distribution of scattering light was more, which was beneficial to the seedling growth and natural regeneration of *F. mandshurica*. To the diffusion and reproductive of seed, there was more seeds in the distance about 0—5 m to the seed tree, and seed number decreased with distance, and the diffusion radius was different with the wind direction, the farthest distance was 20 meters. The results indicted that light distribution of crown layer in the broad-leaved mixed forest

收稿日期:2020-04-27 修回日期:2020-05-24

基金项目:2019 年甘肃省次生林培育重点实验室开放课题。

作者简介:马惠英,工程师。研究方向:森林经营与天然林资源保护工程管理。E-mail:526093656@qq.com

* 通信作者:李四川,工程师。研究方向:森林经营与天然林资源保护工程管理。E-mail:527407439@qq.com

had significant effect on seedling natural regeneration of *F. mandshurica*.

Key words: *Fraxinus mandshurica*; light distribution; LAI; canopy density

水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 是木犀科 (Oleaceae) 桤属落叶大乔木, 别名水楸、东北桤。与胡桃楸、黄菠萝被称为中国东北珍贵的“三大硬阔”树种, 它们的木材坚硬致密, 纹理美观, 是工业和民用的高级用材; 同时可与许多针阔叶树种组成混交林, 形成复合结构的森林生态系统, 能提高整个林分的涵养水源、保持水土、防止环境恶化等作用^[1]。主要分布于中国东北、华北、陕西、甘肃等省海拔 700~2 100 m 的山坡疏林中或河谷平缓山地。

国内对水曲柳的研究主要在立地造林、生理生态、种子园建设和无性繁殖、材质特性、胚胎学等方面, 相关研究表明水曲柳适合生长在谷地, 要求土壤潮, 红松、水曲柳带状、块状、隔行或隔株混交进行造林和利于其生长^[2]; 就人工林而言, 影响水曲柳人工林生长的主要立地因子依次为土壤湿度>坡度>坡位^[3]。对于林分调查与天然更新的研究相对较少, 人工针叶纯林内受光照、灌木杂草、凋落物等影响^[4], 能够完成天然更新, 甚至能够促进林分结构的重建^[5-6], 包括种子的生产、扩散, 以及幼苗的转化与生长等多个环节^[7-8]。天然次生林中水曲柳生长优势的形成与水曲柳种子散播数量较大^[9-10]、埋藏种子生活力较高有关^[10]; 虽然水曲柳在该区具有较大的更新优势, 但在不同林分类型之间, 水曲柳的更新数量差异较大^[11-12]。同时, 间伐能够促进水曲柳在针叶人工林内的更新, 引起幼苗发生的种类、数量和分布格局变化, 对下一代森林的形成起着关键的作用^[13]。

那么, 在小陇山天然次生林林区, 研究天然次生阔叶林下水曲柳的天然分布、天然更新及相关影响因素对于水曲柳资源的利用有重要的价值。本研究立足于小陇山水曲柳的天然分布区, 通过对水曲柳天然更新调查, 种子扩散距离, 光强对水曲柳幼苗生长的影响, 分析水曲柳天然更新幼苗幼树生长发育的状态, 总结人工促进天然更新技术, 为水曲柳这一珍贵树种资源的可持续经营提供指导。

1 研究地概况

小陇山林区地跨长江、黄河两大流域, 地理坐标 104°22′—106°43′E, 33°30′—34°49′N, 海拔 700~3 330 m, 年均气温 7℃~12℃, 年均降水量 460~800 mm, 无霜期 140~218 d。植物资源丰富, 有 224 科, 945 属, 近 2 700 种, 其中木本植物 800 余种。植物兼有南北植物区系的特点, 气候温和, 雨量

充沛, 夏无酷暑, 冬无严寒, 自然条件优越, 动植物种类繁多; 土壤主要为森林棕壤土。本研究调查样地位于秦岭山脉南侧的百花林场漫坪沟, 106°28′12″—106°28′15″E, 34°19′31″—34°19′32″N, 海拔 1 636~1 654 m, 坡度为 30°。

2 材料与方法

2.1 大田试验

试验前 1 a 采集水曲柳种子, 来年春天容器育苗出苗后, 选取地径、苗高、规格相似的幼苗 (苗高 5 cm, 地径 0.30 cm) 为试验对象, 按完全随机区组设计, 采用不同规格遮阴网 (黑丝网 SZW-8, 根据遮光率分别叠加层数, 达到设计遮阴度) 遮阴处理, 遮阴度分别为 0、30%、50%、70% 和 90% 的 5 个处理, 每个处理 30 株, 3 次重复, 秋季用直尺 (精度为 0.1 cm) 和游标卡尺 (精度为 0.01 cm) 测定苗高、地径, 研究光强对幼苗生长的影响。

2.2 样地调查法

2.2.1 水曲柳天然更新生长状况调查 野外调查采用样地调查法, 在水曲柳天然分布区, 选取水曲柳集中分布的典型阔叶混交林地, 在其内按完全随机设置 30 m×30 m 样地 3 块, 对样地内水曲柳的分布数量、胸径、树高, 以及幼苗、幼树数量进行调查记录。

2.2.2 水曲柳天然更新种子扩散调查 水曲柳母树种子调查参照韩有志等^[10]的方法。按十字型, 在 4 个方向每隔 2 m 设置 1 个种子收集点 (在收集点上放置报纸, 四周固定), 每个方向设置 10 个收集点, 每隔 1 周调查 1 次, 直到落种结束, 测量种子与母树之间的距离。

2.2.3 水曲柳阔叶混交林冠层光照调查 百花林场漫坪沟在样地内, 随机选择 15 株水曲柳树木, 在同一个方位用鱼眼照相机拍照, 影像材料作为林冠层光分布分析的对象。

用数字植物冠层分析系统 (Hemi View) 软件进行影像分析, 指标包括可视天空度 (VisSky)、叶面积指数 (LAI)、冠型参数 (ELADP)、平均叶片倾角 (MLA)、散射光立地系数 (ISF)、直射光立地系数 (DSF)、综合光立地系数 (GSF)、冠下总辐射 (Tot-Be) 等, 根据各项指标分析郁闭度、光分布对水曲柳更新有影响。

2.2.4 灌木盖度、草本盖度、枯枝落叶层厚度调查

在大样地中设立 5 块 5 m×5 m 的小样方, 调查幼苗、幼树生境的灌木盖度、草本盖度、枯枝落叶层

厚度等因子。分析灌木盖度、草本盖度、枯枝落叶层厚度对种子萌发的影响。

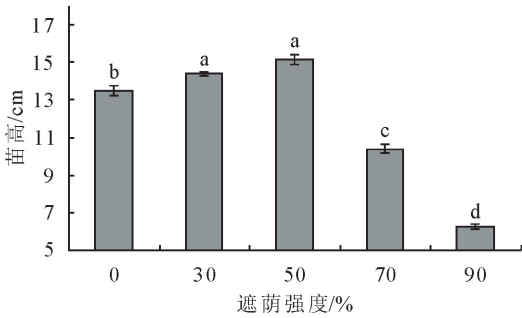
2.3 数据处理

采用 Excel(Microsoft 2007)软件对数据进行整理;SPSS13.0 软件进行描述统计、单因素方差分析,LSD 法进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 不同遮荫强度对幼苗生长的田间试验研究

从试验可看出,遮荫对水曲柳幼苗生长有显著的影响,遮荫度 $<50\%$ 时,有利于幼苗苗高的生长;当遮荫度 $>50\%$ 时,则不利于幼苗生长,苗高明显的下降,与对照差异显著($P<0.05$)(图 1)。对地径的生长而言,随遮荫度增加,地径的生长量呈减小趋势(图 2),且与对照差异显著($P<0.05$)。表明在遮荫度 $<50\%$ 时,有利于水曲柳种子萌发和苗生长,对幼苗的生长有促进作用。



注:不同小写字母表示不同遮荫处理间差异显著($P<0.05$)。下图同。

图 1 不同遮荫强度下水曲柳幼苗生长变化

Fig. 1 Changes of height of *Fraxinus mandschurica* seedlings under different shadow levels

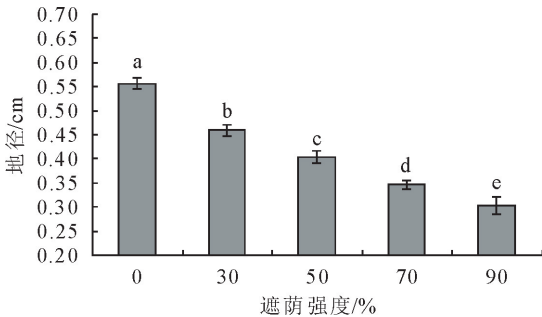


图 2 不同遮荫强度下水曲柳幼苗地径生长变化

Fig. 2 Changes of diameter of *F. mandschurica* seedlings under the different shadow levels

3.2 阔叶混交林样地调查幼苗、幼树生长情况

调查发现,水曲柳阔叶混交林郁闭度为 0.7 时,草本盖度达 95%,幼苗极少,仅有 55 株/ hm^2 ;另一样地内林分郁闭度为 0.7,草本平均盖度 40%,幼苗更新良好,达到 2 080 株/ hm^2 。

对天然更新幼树的调查发现,在距离母树 5 m

的树冠下幼苗数量多,但幼树很少;在距离母树远的林隙下(郁闭度 <0.5)幼树存活的多,幼苗数量少,分布不均匀。

当阔叶混交林郁闭度达到 0.9 的林分中,草本盖度亦达 95%以上,只有在林窗下草本盖度很小处有存活,基本上不能更新。

3.3 阔叶混交林样地调查种子扩散情况

在小陇山林区,水曲柳种子从 9 月下旬开始成熟下落,刚落种时,种子为绿色,成熟度不好,这些种子基本不能发芽;10 月上旬大量下落,种子呈土黄色,种粒饱满,种子成活率高,生命力强,是天然更新的主要种源。

通过调查发现,距离母树 0~5 m 种子数量最多,随着距离的增加,种子数量逐渐减少,扩散最远距离为母树南北方向达 15 m,东西方向达 12 m,受落种期风向的影响明显。

3.4 水曲柳阔叶混交林林分郁闭度与叶面积指数(LAI)的关系

通过对天然更新分布区的样地调查发现,水曲柳阔叶混交林中,林分冠层的郁闭度与叶面积指数(LAI)之间存在显著的正相关关系。随着郁闭度的增大,叶面积指数(LAI)也在增大,增加了光接收面积,林地内的透光度减少,地表光线弱,对水曲柳种子发芽有促进作用(图 3)。

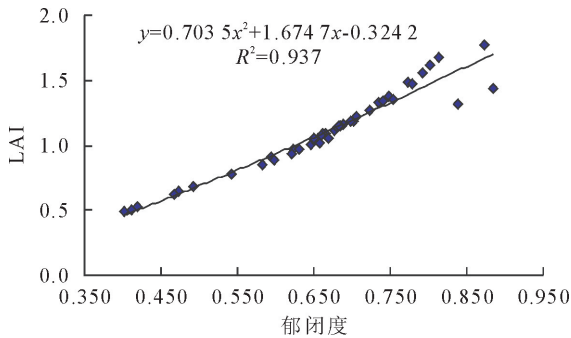


图 3 不同郁闭度下叶面积指数(LAI)的变化

Fig. 3 Changes of LAI under the different shadow levels

3.5 ISF、DSF、GSF 和 TotBe 与 LAI 的关系

从图 4 可以看出,水曲柳阔叶混交林调查样地内,散射光立地系数(ISF)、直射光立地系数(DSF)、直射光立地系数(GSF)、冠下总辐射(TotBe)随叶面积指数(LAI)的增大,呈明显的负相关关系,表明郁闭度增大,叶面积指数增加,穿透冠层的直射光和散射光分布越少,天然更新的水曲柳种子的成活则更加困难。样地内调查也发现,当林分郁闭度达到 0.7 时,直射光相对减少,散射光相对增加,而林下草本盖度达则达 95%,水曲柳幼苗数量分而几乎没有,由此也表明直射光比散射光更能促进水曲柳种子的发芽生长,对水曲柳的更新有重要影响。

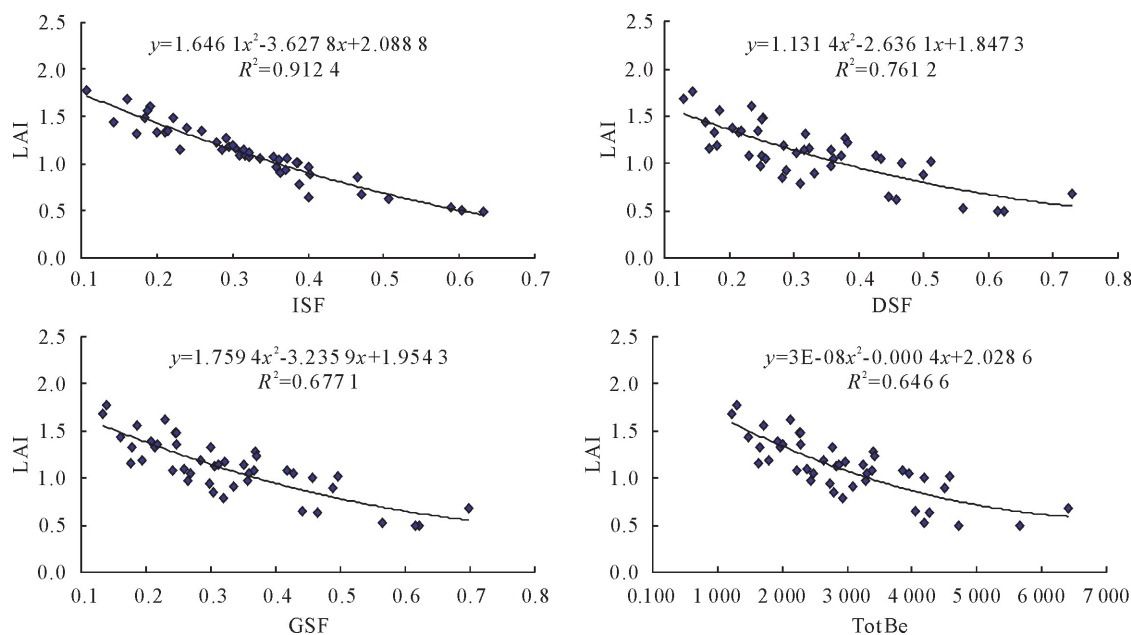


图 4 ISF、DSF、GSF 和 TotBe 与 LAI 的变化

Fig. 4 Changes of LAI under the different ISF,DSF,GSF,and TotBe

3.6 不同郁闭度下 ISF 和 DSF 的变化关系

通过对散射光立地系数(ISF)和直射光立地系数(DSF)在不同郁闭度下的回归分析,当郁闭度<0.66时(2条渐近线交点),散射光分布多于直射光分布;当郁闭度达到0.66时,散射光和直射光分布相同;当郁闭度>0.66时,散射光分布小于直射光分布(图5)。结合ISF、DSF、GSF和TotBe等指标的分析,散射光分布较多,更有利于水曲柳幼苗的生长与天然更新。

以及幼苗生长成活等都与光照有密切的关系^[14],光条件使得更新苗木在形态方面产生不同的适应,从而保证其在资源利用和竞争中取得优势^[15-16]。

本研究的幼苗遮荫试验表明,随遮荫程度的增加,幼苗的苗高生长先增快而后减慢,表现出水曲柳种子发芽、幼苗生长需要一定程度的遮荫,与其他阳性先锋树种有所不同。对于天然更新幼树的调查也发现,幼树在郁闭度0.5~0.6能够良好生长;郁闭度在0.6~0.7的,幼树上部开始死亡;郁闭度>0.7时,幼树死亡,这与林分内的光分布情况密切相关。

在林木更新方面,水曲柳幼树的生长、形态、生物量均与阔叶混交林的郁闭程度有关,随更新苗木树龄增加,对光的需求量逐渐增加,幼树期光照指标大小对天然幼树更新生长有直接的影响,这与崔佳玉等^[17]的研究结果基本一致。本研究还发现,从水曲柳种子发芽后,其幼苗的生长和成活还与所处地被草本的覆盖度也有关系,当草本植物盖度达到90%时,水曲柳幼苗的成活率很低,可能与直射光减少,散射光增加有关。

对于水曲柳的天然更新,与它本身种子的生物特征有关,其果实成熟后,可以在风力传播下超一定的方向和范围扩散,扩散半径视风力与风向大小可达10~20 m,为其更新生长拓展了空间。尤其在阔叶混交林中,适宜的林分郁闭度(包括林隙0.5~0.6)更有利于其种子的发芽与幼苗生长^[15],这将为林分经营、人工促进天然林更新措施的制定提供参考依据。

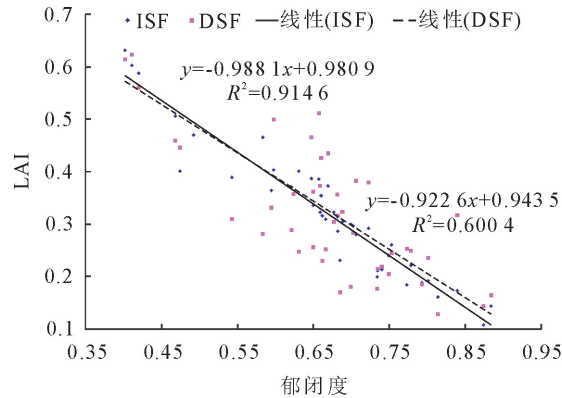


图 5 不同郁闭度下 ISF 和 DSF 的变化

Fig. 5 Changes of ISF and DSF under the different shadow levels

4 讨论

水曲柳与大多数用材树种一样,在条件适宜的地方可以进行天然更新,并随立地条件变化而进化演替。在天然更新方面,水曲柳种子的成熟、扩散,

5 结 论

小陇山林区属暖温带-亚热带过渡地区,是以天然次生林为主的森林分布地带,主要以阔叶混交林为主,水曲柳的分布与天然更新受限于立地的光分布,遮阴度<50%时,透射的直射光更有利于种子的发芽和幼苗的生长,更有利于其天然更新;遮阴度>50%时,透射的散射光对其更新不利。

不同生长期的水曲柳对光照的需求不相同,种子发芽、幼苗生长适宜在遮荫条件<50%;到幼树生长阶段后,对光的需求越来越多,甚至在全光照下也能生长,这与水曲柳植物光合需要、营养竞争下的生存相关,决定了水曲柳的天然分布。

水曲柳种子可以凭借风力传播扩散,传播范围相对较大;对于水曲柳种子的发芽与幼苗的生长,还与幼苗生长地草本盖度相关,草本盖度越大,种子与土壤接触发芽机率越小,散射光增加,养分竞争弱,也影响天然更新。郁闭度与草本盖度是影响更新的主要因子,应当控制郁闭度 0.5~0.6,水曲柳幼苗则更容易存活,保存率高,是人工促进水曲柳天然更新的有效措施。

参考文献:

[1] 柏广新,张彦东.水曲柳天然更新及其影响因子[J].东北林业大学学报,2013,41(1):7-9,13.
BAI G X,ZHANG Y D. Natural regeneration and its influencing factors of *Manchurian ash* [J]. Journal of Northeast Forestry University,2013,41(1):7-9,13. (in Chinese)

[2] 王乐祥,张同余,吕玉臣.红松、水曲柳混交林营造技术初报[J].吉林林业科技,2002,31(1):6-8.

[3] 林代斌,苏含英.影响水曲柳人工林生长的主导立地因子[J].东北林业大学学报,1999,27(1):20-23.
LIN D B,SU H Y. The main sits factors influencing the growth of *Fraxinus mandshurica* [J]. Journal of Northeast Forestry University,1999,27(1):20-23. (in Chinese)

[4] 张云明.浅谈水曲柳在不同立地条件上的分布[J].林业勘查设计,2018(4):64-65.

[5] 韩有志,程志枫,常洁,等.水曲柳人工林下天然更新幼苗的空间格局[J].山西农业大学学报,2000,20(4):335-338.
HAN Y Z,CHENG Z F,CHANG J,*et al.* The pattern of natural regeneration in plantation of *Manchurian ash* [J]. Journal of Shanxi Agricultural University,2000,20(4):335-338. (in Chinese)

[6] 沈海龙,马骁,胡立江,等.落叶松人工林下天然更新水曲柳的生长发育状况[J].林业科技开发,2015,29(4):116-120.

[7] 朱凯月,王庆成,吴文娟.林隙大小对蒙古栎和水曲柳人工更新幼树生长和形态的影响[J].林业科学,2017,53(4):150-157.

ZHU K Y,WANG Q C,WU W J. Effect of gap size on growth and morphology of transplanted saplings of *Quercus mongolica* and *Fraxinus mandshurica* [J]. Scientia Silvae Sinicae,2017,53(4):150-157. (in Chinese)

[8] 马双娇,王庆成,崔东海,等.抚育间伐对水曲柳天然林群落结构及植物多样性的影响[J].东北林业大学学报,2019,47(2):1-7.
MA S J,WANG Q C,CUI D H,*et al.* Effect of thinning on stand structure and plant species diversity in natural *Fraxinus mandshurica* forest stands[J]. Journal of Northeast Forestry University,2019,47(2):1-7. (in Chinese)

[9] 夏善智.不同种源水曲柳苗木生长的差异分析[J].中国林副特产,2019(2):11-13.

[10] 韩有志,王政权.天然次生林中水曲柳种子的扩散格局[J].植物生态学报,2002,26(1):51-57.
HAN Y Z,WANG Z Q. Spatial pattern of *Manchurian ash* seed dispersal in secondary hardwood forests[J]. Acta Phytocologica Sinica,2002,26(1):51-57. (in Chinese)

[11] 王岩.人工更新水曲柳生长对比试验[J].林业勘查设计,2018(4):107-109.

[12] 陈晓波,杨世桢,王江,等.水曲柳个体生长节律及优良单株选择试验[J].防护林科技,2019(2):50-53.

[13] 纪玉山.解除休眠的不同阶段进行干燥贮藏对水曲柳种子萌发的影响[J].国土与自然资源研究,2019(6):75-77.
JI Y S. Effects of dry storage at different stage of seed stratification on seed germination of *Fraxinus mandshurica* [J]. Territory & Natural Resources Study,2019(6):75-77. (in Chinese)

[14] 胡晓静,张文辉,何景峰,等.不同生境栓皮栎天然更新幼苗植冠构型分析[J].生态学报,2015,35(3):788-795.
HU X J,ZHANG W H,HE J F,*et al.* Architectural analysis of crown geometry of *Quercus variabilis* BL. natural regenerative seedlings in different habitats[J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(3):788-795. (in Chinese)

[15] 黄润霞,贾小容,刘婷,等.亚热带生态公益林冠层结构与林下辐射动态[J].西北林学院学报,2020,35(1):28-36
HUANG R X,JIA X R,LIU T,*et al.* Canopy structure and understory radiation dynamics of subtropical ecological public welfare forest[J]. Journal of Northwest Forestry University,2020,35(1):28-36 (in Chinese)

[16] TAKAHASHI K,MIKAMI Y. Crown architecture and leaf traits of understory saplings of *Macaranga semiglobosa* in a tropical montane forest in Indonesia[J]. Plant Species Biology,2008,23(3):202-211.

[17] 崔佳玉,曾焕忱,王水强,等.银瓶山自然保护区阔叶林冠层结构与辐射消减效应[J].西北林学院学报.2015,30(4):45-49.
CUI J Y,ZENG H C,WANG Y Q,*et al.* Canopy structure and radiation attenuation effects of broad-leaved forest in Yinpingshan national nature reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(4):45-49. (in Chinese)