

光照及地面覆盖物对水青树 种子萌发和幼苗初期生长的影响

许宁^{a,b}, 憨宏艳^{a,b}, 甘小洪^{a,b,①}

(西华师范大学: a. 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, b. 生命科学学院, 四川南充 637009)

摘要: 通过模拟野外自然环境, 设置强光、中度光照和弱光(分别相当于自然光照强度的 100%、50% 和 10%) 3 种光照条件以及无覆盖物、覆盖灌草丛及覆盖灌草丛和枯落物 3 类苗床, 研究了光照及地面覆盖物对水青树 (*Tetracentron sinense* Oliv.) 种子萌发率、幼苗存活率及初期生长状况的影响。结果显示: 在不同光照条件下, 水青树种子的萌发率均为在无覆盖物的苗床中最高、在覆盖灌草丛的苗床中最低, 其中, 中度光照条件下在无覆盖物的苗床中种子萌发率最高。各处理组 1 月龄幼苗的存活率总体上高于 2 月龄幼苗, 且在不同的苗床中弱光条件下 1 月龄幼苗存活率均最高; 总体上, 弱光条件下覆盖灌草丛的苗床最宜于水青树 1 月龄幼苗存活。随光照强度减弱, 在无覆盖物及覆盖灌草丛的苗床中幼苗的株高和主根长度均逐渐降低, 而在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中则呈波动趋势, 但总体上各处理组幼苗的株高和主根长度无显著差异。随光照强度变化或苗床覆盖程度的变化, 幼苗的侧根数, 叶面积, 根、茎和叶片的干质量以及总干质量均呈现不同的变化规律; 强光条件下, 在覆盖灌草丛的苗床中幼苗的根干质量均最大; 中度光照条件下, 在覆盖灌草丛的苗床中幼苗的侧根数、叶面积、叶片干质量及总干质量均最大; 中度光照和弱光条件下在无覆盖物的苗床中幼苗的茎干质量最大。综合分析结果表明: 水青树种子萌发需要一定的光照条件且地面的枯落物和灌草丛会阻碍其种子萌发, 而其幼苗定居阶段则需要适度荫蔽且地面覆盖灌草丛有利于其幼苗存活, 因此, 林窗或林缘更适合于水青树的自然更新; 此外, 在水青树的就地保护过程中应根据其生活史的不同阶段采取不同的栽培措施。

关键词: 水青树; 光照; 地面覆盖物; 种子萌发; 幼苗生长; 存活率

中图分类号: Q948.11; X37 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)03-0085-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.03.11

Effects of light and ground cover on seed germination and seedling initial growth of *Tetracentron sinense* XU Ning^{a,b}, HAN Hongyan^{a,b}, GAN Xiaohong^{a,b,①} (China West Normal University: a. Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Ministry of Education, b. College of Life Science, Nanchong 637009, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(3): 85-93

Abstract: By means of simulating wild natural environment, three kinds of light conditions with strong, middle and weak lights (being equivalent to 100%, 50% and 10% of natural light intensity, respectively) and three types of seedbeds with no cover, covering shrub-grass and covering shrub-grass and litter were set up. And effects of light and ground cover on seed germination rate, seedling survival rate and initial growth status of *Tetracentron sinense* Oliv. were investigated. The results show that under different light conditions, seed germination rate of *T. sinense* is the highest in no cover seedbed and the lowest in covering shrub-grass seedbed, in which, that is the highest in no cover seedbed under middle light condition. Survival rate of seedling with one month age in every treatment group is generally higher than that of seedling with two month age, and among different seedbeds, survival rate of seedling with one month age is the highest under weak light condition. In general, under weak light condition, covering shrub-grass seedbed is the most suitable for survive of *T. sinense* seedling with one month age. With

收稿日期: 2015-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31370637); 四川省教育厅自然科学重点项目(12ZJA169)

作者简介: 许宁(1990—), 女, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学方面的研究。

①通信作者 E-mail: bhgan@cwnu.edu.cn

decreasing of light intensity, height and main root length of seedling gradually decrease in no cover and covering shrub-grass seedbeds, while those appear the wavy trend in covering shrub-grass and litter seedbed, but there are no significant differences in height and main root length of seedling among different treatment groups. With changes of light intensity or seedbed cover degree, lateral root number, leaf area, dry weights of root, stem and leaf, and total dry weight of *T. sinense* seedling all appear different changing trends. Under strong light condition, root dry weight of seedling is the highest in covering shrub-grass seedbed; under middle light condition, lateral root number, leaf area, leaf dry weight and total dry weight of seedling are the highest in covering shrub-grass seedbed; and under middle light and weak light conditions, stem dry weight is the highest in no cover seedbed. Result of comprehensive analysis indicates that a certain degree of light is demanded for seed germination of *T. sinense* and litter and shrub-grass on ground would hinder its seed germination, while, at seedling establishment stage, the proper shading is demanded and cover shrub-grass on ground benefits seedling survive of *T. sinense*, therefore, forest gap or forest edge is more suitable for natural regeneration of *T. sinense*. Moreover, *in situ* conservation of *T. sinense*, different cultivation measures should be taken according to different stages of life history.

Key words: *Tetracentron sinense* Oliv.; light; ground cover; seed germination; seedling growth; survival rate

种子萌发和幼苗定居是种群自然更新的关键环节之一^[1]。在自然环境条件下,种子向幼苗的转化通常是造成物种是否濒危的关键,而这一过程常受到种子散播后微生境变化的影响^[2]。野外生境下,散播后的种子常处于枯落物和灌草层中,一方面种子的传播及种子与土壤的直接接触受到了阻碍,导致种子萌发几率减小;另一方面因遮蔽作用,微生境中对种子萌发和幼苗定居至关重要的水分和光照等因子也受到影响^[3]。此外,在林下、林窗和林缘环境中,光照强度的差异也会进而影响种子的萌发和幼苗定居^[4]。因此,研究自然环境条件下植物种子萌发与幼苗定居状况,分析其中的影响因素,对于野生植物种群恢复具有重要意义。

水青树(*Tetracentron sinense* Oliv.)是水青树科(Tetracentraceae)落叶乔木,为单种科单种属种类,主要分布在中国中、西部,通常生于海拔900~3500 m、自然植被较完整、土壤肥沃、气候阴湿、土层较厚的山谷或山坡下部^[5];目前,该种多零星散生,仅存在于深山、峡谷、溪边或陡坡悬崖处^[6-7],自然更新困难,已被列为国家珍贵稀有树种^[8]。因其木材无导管,对研究中国古代植物区系的演化和被子植物系统与起源具有重要的科学价值。目前,有关水青树种群更新的研究主要集中在大小孢子发生与雌雄配子体形成、传粉生态学、种子的生物学特性、基质和种源对水青树种子萌发特性的影响以及幼苗对光环境的适应等方面^[9-16]。但其自然更新的影响机制至今尚不明确,对自然生境条件下水青树种子向幼苗的转化过程还缺

乏了解,其中是否存在限制更新的因素也未见相关研究报道。

为了解水青树种子萌发和幼苗生长过程中环境因子的影响效应,作者模拟野外自然环境条件,通过人工设置的光照和地面覆盖物条件,对水青树种子萌发和幼苗初期生长过程进行观察和分析,探讨其中存在的限制更新的因素,以期水青树的有效保护与利用提供科学依据。

1 研究地自然概况和研究方法

1.1 研究地自然概况

研究地位于四川省美姑大风顶国家级自然保护区(东经103°11'、北纬28°46')龙窝保护站。该保护区地处中亚热带地区,季风气候明显;年平均降水量1110 mm,年平均空气相对湿度80%左右;年平均气温11.4℃,全年气温最高月份为7月,平均气温19.5℃。主要土壤类型为棕壤。

1.2 方法

1.2.1 种子采集 于2013年10月,在海拔2200~2300 m的地段选择胸径大小相近的水青树3株,在东、南、西、北4个方向分别选择上、中、下冠层采集果序。果序采集后混合,经自然风干后于4℃低温条件下保存,用于翌年的播种实验。

1.2.2 播种和观察方法 2014年5月初,在美姑大风顶国家级自然保护区龙窝保护站海拔2040 m处进行控制播种实验。参照文晖^[16]和梁晓东等^[17]的方法

设计光照与苗床的正交实验。光照条件分别设置为强、中、弱,通过不同厚度遮阳网覆盖模拟不同光照强度,相当于自然光照强度的100%、50%和10%,以模拟林缘、林窗和林下光照条件;根据水青树种子散播的环境分别设置3类苗床^[16]:地表无覆盖物(清除灌草丛和枯落物)、地表覆盖灌草丛(仅清除枯落物)和地表覆盖灌草丛和枯落物(未清除灌草丛和枯落物)。为使种子萌发和幼苗生长获得更好的基质条件,所有播种均采用1 m×1 m的苗床(视为1个小样方),高出地面20 cm,每个苗床之间设有排水沟;为防止动物取食种子,苗床周围用栅栏围起^[18];每个苗床撒播100粒种子,每处理3次重复,共27个苗床。

散播后连续7 d以上无种子萌发时统计种子萌发率,此时的幼苗视为0月龄;以后每个月统计幼苗存活率;并随机选取长势一致的幼苗3株,按照月龄调查幼苗的株高、主根长度、叶面积和侧根分化状况等;用游标数显卡尺(精度0.01 mm)测量幼苗的株高和主根长度;用扫描仪对叶片进行扫描,并用 auto CAD2006 版软件计算叶面积;用 Motic PS12 型体视显微镜(上海上光新光学科技有限公司)观察侧根分化情况。将幼苗的根、茎、叶片分离并洗净,经80℃烘箱烘干24 h,用XB6201-S型电子天平(上海精密科学仪器有限公司生产,精度0.000 1 g)称量各部分的干质量。

1.3 数据计算与统计分析

分别按照公式“萌发率=(每苗床出苗量/每苗床播种量)×100%”和“存活率=(当月存活数量/萌发数量)×100%”计算种子萌发率和幼苗存活率。

采用 EXCEL 2010 软件进行统计和作图,采用 SPSS 17.0 中文版软件中的单因素方差分析法对不同处理的萌发率、存活率和幼苗初期生长性状进行差异显著性分析。若数据满足方差齐性的要求,则采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较分析;若数据不满足方差齐性的要求,则采用 Dunnett's T3 法进行多重比较分析。

2 结果和分析

2.1 光照和地面覆盖物对水青树种子萌发率的影响

不同光照条件下采取不同的地面覆盖类型对水青树种子萌发率的影响见表1。由表1可知:在光照强度一致的情况下,在无覆盖物的苗床上水青树种子

萌发率均最高,而在覆盖灌草丛的苗床上种子萌发率均最低,但均无显著差异($P>0.05$)。在地面覆盖物一致的情况下,种子萌发率随光照强度的减弱呈不同的变化规律。在无覆盖物的苗床中种子萌发率随光照强度减弱呈先升高后降低的趋势;在覆盖灌草丛的苗床中,中度光照(50%自然光照)和弱光(10%自然光照)条件下种子萌发率相同,且均大于强光(100%自然光照)条件下的种子萌发率,但均无显著差异;在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中,种子萌发率随光照强度逐渐减弱呈现先降低后升高的变化趋势,其中强光条件下种子萌发率最高,但均无显著差异。

在地面覆盖物和光照条件的交互影响下,苗床无覆盖物且中度光照条件下水青树种子萌发率最高,苗床无覆盖物且强光条件下种子萌发率次之,且均与弱光环境下的种子萌发率有显著差异($P<0.05$),其余处理间种子萌发率均无显著性差异。综合比较结果显示:采用无覆盖物的苗床且在中等光照条件下水青树种子萌发率最高。

表1 不同光照条件及地面覆盖类型对水青树种子萌发率的影响($\bar{X}\pm SE$)

Table 1 Effects of different light conditions and different types of ground cover on seed germination rate of *Tetracentron sinense* Oliv. ($\bar{X}\pm SE$)

地面覆盖类型 ¹⁾ Type of ground cover ¹⁾	不同光照条件下的种子萌发率/% ²⁾ Seed germination rate under different light conditions ²⁾		
	Ls	Lm	Lw
NC	15.3±3.5aA	16.7±1.8aA	14.0±1.0aB
SG	9.3±1.9aA	11.7±4.2aA	11.7±1.2aA
SGL	14.7±1.3aA	12.0±1.0aA	13.0±1.2aA

¹⁾ NC: 地表无覆盖物 Having no cover on ground; SG: 地表覆盖灌草丛 Covering shrub-grass on ground; SGL: 地表覆盖灌草丛和枯落物 Covering shrub-grass and litter on ground.

²⁾ Ls, Lm, Lw: 分别相当于自然光照强度的100%、50%和10% Being equivalent to 100%, 50% and 10% of natural light intensity, respectively. 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$); 同行中不同的大写字母表示差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same row indicate the significant difference ($P<0.05$).

2.2 光照和地面覆盖物对水青树幼苗存活率的影响

不同光照条件下采取不同的地面覆盖类型对水青树幼苗存活率的影响见表2。结果表明:在不同光照条件下采用不同类型的地面覆盖物,水青树幼苗存活率总体上随苗龄的增加呈递减趋势,直至3月龄幼苗全部死亡。在无覆盖物的苗床中,弱光条件(10%自然光照)下幼苗存活率最高且随苗龄的增大,幼苗

存活率的平均值略增大但差异不显著 ($P>0.05$); 而中度光照 (50% 自然光照) 条件下幼苗存活率均最低。在覆盖灌草丛的苗床中, 幼苗存活率总体上随光照强度的增加以及苗龄的增大逐渐降低, 且降幅较大, 但差异未达到显著水平; 而在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中, 随苗龄的增加幼苗存活率明显降低, 且 1 月龄幼苗存活率随光照强度的减弱呈现递增趋势, 但 2 月龄幼苗存活率则表现为在中度光照条件下最高、强光条件下最低。总体上看, 在地面覆盖类型一致的情况下, 各光照处理组间幼苗存活率无显著差异。

在光照强度相同的条件下, 覆盖灌草丛和枯落物的苗床中 1 月龄与 2 月龄幼苗存活率的差异最小。

在中度光照条件下, 覆盖灌草丛的苗床中 1 月龄幼苗存活率显著高于其他 2 类苗床 ($P<0.05$), 而 2 月龄幼苗存活率在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中最高但在 3 类苗床间无显著差异。在强光条件下, 无覆盖物的苗床中 1 月龄和 2 月龄幼苗存活率均最高, 但与另 2 类苗床间无显著差异; 在弱光条件下, 无覆盖物的苗床中 1 月龄幼苗存活率最低、2 月龄幼苗存活率最高, 但均与另 2 类苗床间无显著差异。

综合比较结果显示: 在不同类型地面覆盖物且不同光照强度条件下, 1 月龄幼苗存活率在覆盖灌草丛的苗床中且在弱光环境下最高; 2 月龄幼苗存活率则在无覆盖物的苗床中且在弱光环境下最高。

表 2 不同光照条件及地面覆盖类型对水青树幼苗存活率的影响 ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

Table 2 Effects of different light conditions and different types of ground cover on seedling survival rate of *Tetracentron sinense* Oliv. ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

地面覆盖类型 ²⁾ Type of ground cover ²⁾	不同光照条件下 1 月龄幼苗存活率/% ³⁾ Seedling survival rate with one month age under different light conditions ³⁾			不同光照条件下 2 月龄幼苗存活率/% ³⁾ Seedling survival rate with two month age under different light conditions ³⁾		
	Ls	Lm	Lw	Ls	Lm	Lw
	NC	39.0±5.6aA	20.2±5.5bA	44.4±13.5aA	29.5±5.8aA	24.4±12.4aA
SG	32.9±5.3aA	49.9±6.2aA	54.0±18.0aA	19.4±10.0aA	28.5±2.5aA	29.0±5.5aA
SGL	24.7±3.3aA	34.6±8.0bA	50.4±11.2aA	24.4±12.4aA	32.8±4.3aA	26.1±3.9aA

¹⁾ 各处理组的 3 月龄幼苗全部死亡, 数据未列入 All of seedlings in every treatment group died at three month age, so the data not being showed in this table.

²⁾ NC: 地表无覆盖物 Having no cover on ground; SG: 地表覆盖灌草丛 Covering shrub-grass on ground; SGL: 地表覆盖灌草丛和枯落物 Covering shrub-grass and litter on ground.

³⁾ Ls, Lm, Lw: 分别相当于自然光照强度的 100%、50% 和 10% Being equivalent to 100%, 50% and 10% of natural light intensity, respectively. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$); 同行中不同的大写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different capitals in the same row indicate the significant difference ($P<0.05$).

2.3 光照和地面覆盖物对水青树幼苗初期生长状况的影响

由于实验期间暴雨频繁, 选择的幼苗标准株死亡率较高, 无法统计幼苗的后续生长情况, 因此仅对 1 月龄幼苗的株高、主根长度、侧根数和叶面积进行测定分析, 结果见表 3。

2.3.1 对株高的影响 由表 3 可见: 在无覆盖物和覆盖灌草丛的苗床中, 随光照强度减弱, 水青树幼苗的株高降低; 而在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中则随光照强度的减弱呈现“高一低一高”的变化趋势, 在弱光 (10% 自然光照) 条件下最高; 总体上看, 在地面覆盖物一致的情况下, 不同光照强度下水青树幼苗的株高无显著差异 ($P>0.05$)。在弱光条件下, 在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中幼苗的株高均最高, 而在覆盖灌草丛的苗床中幼苗的株高最低且与其他 2 类苗床间差异显著 ($P<0.05$); 而在强光和适度光照条件下,

在覆盖灌草丛的苗床中幼苗的株高均最高, 但总体上不同覆盖物处理间幼苗的株高无显著差异。综合比较结果显示: 强光条件下 3 类苗床中幼苗株高整体均较高, 但采用覆盖灌草丛和枯落物的苗床且在弱光环境下水青树幼苗株高最大。

2.3.2 对主根长度的影响 由表 3 可见: 在无覆盖物及覆盖灌草丛的苗床中, 水青树幼苗的主根长度均随光照强度的减弱而降低; 而在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中, 幼苗主根长度则在强光 (100% 自然光照) 条件下最大、在适度光照 (50% 自然光照) 条件下最小; 总体上看, 在 3 类苗床中不同光照条件下幼苗主根长度无显著差异。在强光和适度光照条件下, 幼苗的主根长度均在覆盖灌草丛的苗床中最大、在无覆盖物的苗床中最小, 但各处理组间均无显著差异; 而在弱光条件下, 幼苗主根长度在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中最大, 在覆盖灌草丛的苗床中最小, 且在覆盖

表3 不同光照条件及地面覆盖类型对水青树幼苗形态指标的影响 ($\bar{X}\pm SE$)Table 3 Effects of different light conditions and different types of ground cover on seedling morphological index of *Tetracentron sinense* Oliv. ($\bar{X}\pm SE$)

地面覆盖类型 ¹⁾ Type of ground cover ¹⁾	不同光照条件下幼苗株高/mm ²⁾ Seedling height under different light conditions ²⁾			不同光照条件下幼苗主根长度/mm ²⁾ Main root length of seedling under different light conditions ²⁾		
	Ls	Lm	Lw	Ls	Lm	Lw
	NC	8.370±0.437aA	5.393±0.985aA	5.363±1.281aA	3.653±0.336aA	2.147±0.728aA
SG	9.607±0.663aA	7.863±1.497aA	5.090±0.896bA	5.277±0.963aA	3.310±0.367aA	1.297±0.203bA
SGL	8.280±2.051aA	6.590±0.791aA	10.230±2.761aA	4.380±1.367aA	2.963±0.716aA	3.270±1.259aA

地面覆盖类型 ¹⁾ Type of ground cover ¹⁾	不同光照条件下幼苗侧根数 ²⁾ Lateral root number of seedling under different light conditions ²⁾			不同光照条件下幼苗叶面积/mm ²⁾ Leaf area of seedling under different light conditions ²⁾		
	Ls	Lm	Lw	Ls	Lm	Lw
	NC	1.7±0.3aA	1.3±0.9aA	2.3±0.3aA	0.483±0.024aA	0.423±0.098aA
SG	1.7±0.3aA	3.7±1.8aA	1.7±1.2aA	0.470±0.070bA	0.727±0.078aA	0.500±0.090aA
SGL	2.0±0.6aA	0.7±0.3aA	1.3±0.9aA	0.480±0.074aA	0.490±0.099aA	0.513±0.059aA

¹⁾ NC: 地表无覆盖物 Having no cover on ground; SG: 地表覆盖灌草丛 Covering shrub-grass on ground; SGL: 地表覆盖灌草丛和枯落物 Covering shrub-grass and litter on ground.

²⁾ Ls, Lm, Lw: 分别相当于自然光照强度的100%、50%和10% Being equivalent to 100%, 50% and 10% of natural light intensity, respectively. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$); 同行中不同的大写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different capitals in the same row indicate the significant difference ($P<0.05$).

灌草丛的苗床中幼苗主根长度与其他2类苗床中有显著差异。综合比较结果显示:强光条件下3类苗床中幼苗主根长度整体均较高,其中,采用覆盖灌草丛的苗床且在强光环境下水青树幼苗主根长度最大。

2.3.3 对侧根数的影响 由表3可见:在无覆盖物的苗床中,水青树幼苗侧根数在弱光条件下最多、在中度光照条件下最少;在覆盖灌草丛的苗床中,幼苗侧根数在中度光照条件下最多,在强光和弱光条件下较少但数量相等;在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中,幼苗侧根数在强光条件下最多、在中度光照条件下最少;总体上看,在各类苗床中,不同光照条件下幼苗侧根数无显著差异。在强光条件下,幼苗侧根数在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中最多、在其他2类苗床中略减少且持平;在中度光照条件下,幼苗侧根数在覆盖灌草丛的苗床中最多、在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中最少,前者为后者的5.3倍;在弱光条件下,幼苗侧根数在无覆盖物的苗床中最多、在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中最少;总体上看,同一光照条件下,幼苗侧根数在不同苗床间均无显著差异。综合比较结果显示:采用覆盖灌草丛的苗床且在中度光照环境下水青树幼苗的侧根数最多。

2.3.4 对叶面积的影响 由表3可见:在无覆盖物的苗床中,水青树幼苗叶面积随光照强度减弱而减小,其中弱光条件下幼苗叶面积最小,且与强光和适度光照条件下的幼苗叶面积有显著差异;在覆盖灌草丛的苗床中,幼苗叶面积随光照强度减弱呈现“小—

大—小”的变化趋势,在中度光照条件下最大,但与强光和弱光条件下的幼苗叶面积无显著差异;在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中,随光照强度减弱幼苗叶面积逐渐增大,但差异不显著。在强光条件下,在3类苗床中,幼苗叶面积以覆盖灌草丛的苗床中最小,且与另2类苗床间有显著差异;在中度光照条件下,幼苗叶面积在覆盖灌草丛的苗床中最大,但幼苗叶面积在3类苗床间无显著差异;在弱光条件下,在无覆盖物的苗床中幼苗的叶面积最小,其平均值分别仅为覆盖灌草丛的苗床及覆盖灌草丛和枯落物的苗床的30.6%和29.8%,差异显著。综合比较结果显示:采用覆盖灌草丛的苗床且在中度光照环境下水青树幼苗的叶面积最大;而采用无覆盖物的苗床且在弱光环境下幼苗的叶面积最小。

2.4 光照和地面覆盖物对水青树幼苗干物质积累的影响

不同光照条件下采取不同的地面覆盖类型对水青树幼苗干物质积累的影响见表4。

2.4.1 对根干质量的影响 由表4可以看出:在无覆盖物的苗床中,水青树幼苗根干质量随光照强度减弱呈现逐渐增加的趋势,其中在强光条件下根干质量最小,且与适度光照和弱光条件下有显著差异 ($P<0.05$);在覆盖灌草丛的苗床中,幼苗根干质量随光照强度减弱呈现逐渐降低的趋势,其中在弱光条件下根干质量最小,但不同光照条件下幼苗根干质量无显著差异 ($P>0.05$);在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中,幼

表4 不同光照条件及地面覆盖类型对水青树幼苗干质量的影响 ($\bar{X}\pm SE$)
Table 4 Effects of different light conditions and different types of ground cover on seedling dry weight of *Tetracentron sinense* Oliv. ($\bar{X}\pm SE$)

地面覆盖类型 ¹⁾ Type of ground cover ¹⁾	不同光照条件下幼苗根干质量/mg ²⁾ Root dry weight of seedling under different light conditions ²⁾			不同光照条件下幼苗茎干质量/mg ²⁾ Stem dry weight of seedling under different light conditions ²⁾		
	Ls	Lm	Lw	Ls	Lm	Lw
NC	0.17±0.03aB	0.23±0.07aA	0.27±0.09aA	0.30±0.00aA	0.40±0.06aA	0.40±0.06aA
SG	0.30±0.00aA	0.23±0.01aA	0.10±0.00bA	0.27±0.03aA	0.37±0.03aA	0.30±0.06aA
SGL	0.23±0.03aA	0.17±0.07aA	0.23±0.09aA	0.27±0.03aA	0.27±0.03aA	0.37±0.01aA

地面覆盖类型 ¹⁾ Type of ground cover ¹⁾	不同光照条件下幼苗叶片干质量/mg ²⁾ Leaf dry weight of seedling under different light conditions ²⁾			不同光照条件下幼苗总干质量/mg ²⁾ Total dry weight of seedling under different light conditions ²⁾		
	Ls	Lm	Lw	Ls	Lm	Lw
NC	0.27±0.07aA	0.17±0.03bB	0.33±0.09aA	0.73±0.09bA	0.80±0.15bA	1.00±0.23aA
SG	0.27±0.07aB	2.00±0.00aA	0.27±0.03bB	0.83±0.12aB	2.60±0.15aA	0.67±0.07aB
SGL	0.23±0.13aA	0.17±0.03bB	0.30±0.12aA	0.73±0.23bA	0.60±0.11bA	0.90±0.31aA

¹⁾ NC: 地表无覆盖物 Having no cover on ground; SG: 地表覆盖灌草丛 Covering shrub-grass on ground; SGL: 地表覆盖灌草丛和枯落物 Covering shrub-grass and litter on ground.

²⁾ Ls, Lm, Lw: 分别相当于自然光照强度的100%、50%和10% Being equivalent to 100%, 50% and 10% of natural light intensity, respectively. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$); 同行中不同的大写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different capitals in the same row indicate the significant difference ($P<0.05$).

苗根干质量在中度光照条件下最低,在强光和弱光条件下一致,但不同光照条件下幼苗根干质量无显著差异。在强光条件下,幼苗根干质量在覆盖灌草丛的苗床中最高、在无覆盖物的苗床中最低,但各处理组间均无显著差异;在中度光照条件下,幼苗根干质量在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中最低、在另2类苗床中较高且持平,但各处理组间均无显著差异;在弱光条件下,幼苗根干质量在无覆盖物的苗床中最高、在覆盖灌草丛的苗床中最低,其中,在覆盖灌草丛的苗床中幼苗根干质量分别比无覆盖物苗床和覆盖灌草丛和枯落物苗床减少62.5%和57.1%,差异达显著水平。综合比较结果显示:采用覆盖灌草丛的苗床且在强光环境下水青树幼苗根干质量最高。

2.4.2 对茎干质量的影响 由表4可见:在无覆盖物的苗床中,水青树幼苗茎干质量在强光条件下最低,在中度光照和弱光条件下持平且较强光环境下分别增加33.3%;在覆盖灌草丛的苗床中,茎干质量则随光照强度的减弱呈“低—高一中”的变化趋势,在中度光照条件下最高、在强光条件下最低;在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中,茎干质量在弱光条件下最高,在中度光照和强光条件下持平且较弱光环境下降低27.2%;但总体上看,在不同苗床中不同光照条件下幼苗茎干质量无显著差异。在强光、中度光照和弱光条件下,幼苗茎干质量均无覆盖物的苗床中最高,且在另2类苗床中均有所降低;总体上看,不同光照条件下不同苗床间幼苗茎干质量无显著差异。综合

比较结果显示:采用无覆盖物的苗床且在中度光照和弱光环境下水青树幼苗茎干质量均最高。

2.4.3 对叶片干质量的影响 由表4可见:在无覆盖物及覆盖灌草丛和枯落物苗床中,水青树幼苗叶片干质量均在弱光条件下最高,在中度光照条件下最低且与另2类光照环境有显著差异;在覆盖灌草丛处理苗床中,在中度光照条件下幼苗叶片干质量最高,为强光和弱光条件下的7.49倍,差异达显著水平,而在其他2类光照条件下持平且差异不显著。在强光条件下,幼苗叶片干质量在不同苗床中无显著差异;在弱光条件下,在覆盖灌草丛的苗床中幼苗叶片干质量最小,且与另2类苗床有显著差异;在中度光照条件下,在覆盖灌草丛的苗床中幼苗叶片干质量最大,是另2类苗床的11.98倍,差异达显著水平。综合比较结果显示:在弱光条件下不同苗床中水青树幼苗叶片干质量整体较高,而采用覆盖灌草丛的苗床且在中度光照环境下水青树幼苗叶片干质量最高。

2.4.4 对幼苗总干质量的影响 由表4可见:在无覆盖物的苗床中,水青树幼苗总干质量随光照强度的减弱逐渐增大,但差异不显著;在覆盖灌草丛的苗床中,在中度光照条件下幼苗总干质量最高,分别为强光和弱光条件下的3.12和3.90倍,差异达显著水平,而在其他2类光照条件下差异不显著;在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中,幼苗总干质量在弱光条件下最高、在中度光照条件下最低,但各处理组间无显著差异。

在强光和适度光照条件下,水青树幼苗总干质量均在覆盖灌草丛的苗床中最高且与另2类苗床幼苗总干质量的差异达显著水平;在弱光条件下,幼苗总干质量则在覆盖灌草丛的苗床中最低,但在3类苗床间幼苗总干质量无显著差异。综合比较结果显示:采用覆盖灌草丛的苗床且在适度光照环境下水青树幼苗总干质量最大。

3 讨 论

3.1 光照强度和地面覆盖物对水青树种子萌发的影响效应

植物种子萌发过程中对光照的需求因物种不同而存在一定差异。张蕾等^[19]对青藏高原东缘9种紫草科(Boraginaceae)植物的研究结果显示:小叶滇紫草(*Onosma sinicum* Diels)等6种植物对光照强度的变化无反应,倒提壶(*Cynoglossum amabile* Stapf et Drumm.)和卵盘鹤虱[*Lappula redowskii* (Hornem.) Greene]的种子萌发率随光照强度增强而降低,而糙草(*Asperugo procumbens* Linn.)种子的萌发率则随光照强度的增强而提高;Wang等^[20]认为强光对秦岭箭竹(*Fargesia qinlingensis* Yi et J. X. Shao)种子的萌发具有抑制作用;闫兴富等^[21]也发现强光不利于辽东栎(*Quercus wutaishanica* Mayr)种子的萌发,而55.4%光照强度对其种子萌发有利。本研究结果显示:在无覆盖物及覆盖灌草丛的苗床中,水青树种子的萌发率均在适度光照(50%自然光照)条件下达到最高,而在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中3种光照条件下水青树种子的萌发率没有明显差异,表明虽然水青树种子具有需光萌发的特性^[11,22],但光照太强或太弱均不利于水青树种子的萌发。水青树种子的这一萌发特性与秦岭箭竹和辽东栎等植物种子的萌发特性一致,也从另一个方面说明水青树在野外具有在林窗或林缘更新的特点^[15]。

一般情况下,地面枯落物会阻碍植物种子与土壤的接触,不利于种子的吸胀和萌发;而灌草丛则遮蔽了林中的大部分光线,对林下植物种子的萌发也会有一定的抑制作用^[23-25]。本研究中,无论光照强度如何,在无覆盖物的苗床中水青树种子的萌发率均高于覆盖灌草丛及覆盖灌草丛和枯落物的苗床,这表明枯落物及灌草丛对水青树种子的萌发均具有一定的阻碍作用。

3.2 光照强度和地面覆盖物对水青树幼苗存活的影响效应

幼苗存活是植物群落更新的重要环节,但幼苗存活过程中对外界环境的变化极为敏感^[26],其中光照、土壤水分与养分、枯落物、植被盖度、立地条件等因素对幼苗存活均会产生一定的影响^[27-28]。陈芳清等^[29]的研究结果显示:适度荫蔽有利于三峡地区柏木(*Cupressus funebris* Endl.)幼苗的存活,过于阴蔽和光照太强都不利于其幼苗存活;杨秀清^[30]认为,枯落物的存在有利于华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)幼苗存活;曾德慧等^[28]认为,50%~70%的灌草丛覆盖度有利于樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.)幼苗的天然更新。本研究中,在3类苗床中水青树幼苗的存活状况均随光照强度增强逐渐变差,其中,在不同光照条件下,在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中幼苗的死亡趋势均最缓慢,这表明水青树幼苗定居阶段需要适度遮阳,同时枯落物和灌草丛的存在有利于其幼苗存活。文晖^[16]的研究结果显示水青树1月龄幼苗在强光条件下的存活率较低,与本研究结果相吻合。

此外,随水青树幼苗月龄的增加其存活数均呈递减趋势,并且3月龄幼苗全部死亡。在控制播种实验期间暴雨频繁,这可能是导致本实验中水青树幼苗快速死亡的最直接原因。在后续研究中尚需进一步完善实验条件,避免降水等客观因素对研究结果的影响。在覆盖灌草丛及覆盖灌草丛和枯落物的苗床中水青树幼苗存活数下降趋势比较缓慢,可能是由于这2类苗床中均有灌草丛覆盖,可以部分阻挡降雨对幼苗的冲击,对延缓幼苗死亡有一定作用。

3.3 光照强度和地面覆盖物对水青树幼苗初期生长的影响效应

幼苗生长需要光合作用,光照影响植物的光合作用及形态建成,进而影响植物的生存和生长^[31]。徐燕等^[32]的研究结果表明强光会抑制红桦(*Betula albosinensis* Burk.)幼苗的生长;孙晓萍等^[33]认为全光照条件不利于日本厚皮香(*Ternstroemia japonica* Thunb.)幼苗的生长;而李利等^[34]的研究结果显示,强光有利于胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)幼苗的根长和叶面积的增加、促进其生物量的累积;闫兴富等^[21]也认为强光有利于辽东栎幼苗根系生长和生物量的增加。本研究中,3类苗床中水青树幼苗的株高和主根长度均随光照强度的减弱逐渐降低,在弱光(10%自

然光照)和适度光照(50%自然光照)条件下其侧根数和干质量的积累值较高,说明强光可以促进水青树幼苗根系和茎的生长,但对其侧根数和干物质积累有一定的抑制作用。水青树幼苗茎的生长需要光照,随光照强度的增强其叶片的光合作用逐渐增强,同时伴随主根的快速生长以便从土壤中吸收更多的水分和养分满足茎生长的需要^[35];而当光照强度逐渐增强时,耐阴植物的生物量会因光抑制作用及其他因素的影响而有所减少^[31]。这表明水青树幼苗在生长初期具有适度耐阴特性,强光环境不利于其幼苗的存活,这与红桦和日本厚皮香等种类的特性一致。

枯落物对幼苗的生存和生长具有正反两方面的作用^[36-40]:一方面,枯落物能够影响土壤微环境,防止土壤水分散失、增加土壤肥力,从而促进幼苗生长;另一方面,枯落物的存在也会对幼苗生长产生化感作用以及引起机械阻挡、微生物致病和动物侵害等阻碍作用。本研究中,在中度光照条件下,在覆盖灌草丛的苗床中水青树幼苗的总干质量明显高于覆盖灌草丛和枯落物的苗床,而在强光和弱光环境中则没有明显区别,表明枯落物的存在对水青树幼苗的初期生长有一定的阻碍作用。曾德慧等^[28]认为,覆盖适宜的灌草丛可以避免幼苗受阳光灼害,能保持土壤水分,并可使幼苗能抵御暴雨、风等自然灾害的影响;而当其盖度达到80%以上时则会阻碍幼苗生长。本研究结果表明:在强光和适度光照条件下,在覆盖灌草丛的苗床中水青树幼苗的总干质量高于无覆盖物的苗床;而在弱光条件下则低于无覆盖物的苗床,表明当光照充足时适度覆盖灌草丛有利于其幼苗生长,而当光照不足时灌草丛的存在则进一步遮挡了其幼苗生长所需的光照,进而阻碍其生长。在覆盖灌草丛和枯落物的苗床中,水青树幼苗的总干质量在强光和弱光条件下均高于无覆盖物的苗床,在中度光照条件下低于覆盖灌草丛的苗床,说明应该根据光照强度适度覆盖枯落物及灌草丛,才能促进水青树幼苗的生长。

3.4 限制水青树种群更新的因素及其保护对策

研究表明:水青树种群具有林窗或林缘更新的特点,并且枯落物和灌草丛会阻碍其种子萌发。在野外状况下,水青树种子散播时大部分散落在距母树较近的林下及附近,林窗和林缘散落的种子很少;但林下光照不足、枯落物和灌草丛覆盖度较大,这些因素都不利于水青树种子向幼苗的转化以及幼苗的初期生长,这可能是水青树种群更新受限制的因素之

一。在后续研究中,尚需对不同散播距离的水青树种子适合度及幼苗更新情况进行调查分析,以验证这一观点。

针对水青树种子萌发和幼苗初期生长对光照和环境因子的需求,在其就地保护过程中应在其生活史的不同阶段采取不同的栽培措施。在水青树种子的萌发阶段,对植被进行适度干扰、增加林窗,并去除覆盖种子的枯落物及灌草丛,以促进种子的萌发;而在幼苗的定居和初期生长阶段,应为幼苗创造适度遮阳的环境,以利幼苗的存活和生长。此外,还应减少人为干扰、加强自然保护区管理、加大宣传教育力度及深入探索物种的濒危机制^[41-42],使水青树能获得有效的保护。

参考文献:

- [1] 吴敏, 张文辉, 周建云, 等. 秦岭北坡不同生境栓皮栎种子雨和土壤种子库动态[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2807-2814.
- [2] 吴玲, 张霞, 王绍明. 粗柄独尾草种子萌发特性的研究[J]. 种子, 2005, 24(7): 1-4.
- [3] 黄忠良, 彭少麟, 易俗. 影响季风常绿阔叶林幼苗定居的主要因素[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(2): 123-128.
- [4] BEWLEY J D, BLACK M. Physiology and Biochemistry of Seeds [M]. New York: Plenum Press, 1982.
- [5] CRONQUIST A. An Integrated System of Classification of Flowering Plant [M]. New York: Columbia University Press, 1918: 159-160.
- [6] 罗靖德, 甘小洪, 贾晓娟, 等. 濒危植物水青树种子的生物学特性[J]. 云南植物研究, 2010, 32(3): 204-210.
- [7] TANG C Q, HE L Y. Population status of the Tertiary relict *Tetracentron sinense* in the subtropical Ailao Mountains, Yunnan, SW China, and proposed conservation efforts [M] // Pro Natura Foundation. Annual Report of Pro Natura Fund: Vol. 21 [S. l.]: Pro Natura Foundation, 2012: 141-150.
- [8] 傅立国. 中国植物红皮书: 稀有濒危植物(第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 452-453.
- [9] GAN X H, XIE D, CAO L L. Sporogenesis and development of gametophytes in an endangered plant, *Tetracentron sinense* Oliv. [J]. Biological Research, 2012, 45: 393-398.
- [10] 曹玲玲. 濒危植物水青树的传粉生态学及种子生理特性研究 [D]. 南充: 西华师范大学生命科学院, 2012.
- [11] 徐亮, 李策宏, 熊铁一. 不同水分条件下水青树种子萌发特性研究[J]. 种子, 2006, 25(11): 33-34.
- [12] 甘小洪, 田茂洁, 罗雅杰. 濒危植物水青树种子的萌发特性研究[J]. 西华师范大学学报, 2008, 29(2): 133-135.
- [13] 万才彦. 光温和化学处理对水青树种子发芽的影响[J]. 武汉植物学研究, 1986, 4(3): 258-261.
- [14] 曹玲玲, 甘小洪, 何松. 不同种源及基质对水青树种子萌发

- 及幼苗初期生长的影响[J]. 广西植物, 2012, 32(5): 656-662.
- [15] 陈娟娟, 杜凡. 珍稀树种水青树群落学特征及其保护研究[J]. 西南林学院学报, 2008, 28(1): 12-16.
- [16] 文晖. 水青树种子萌发特性及幼苗对光环境的适应[D]. 昆明: 云南大学生命科学学院, 2010.
- [17] 梁晓东, 叶万辉. 林窗研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(4): 355-364.
- [18] 李庆梅, 谢宗强, 孙玉玲. 秦岭冷杉幼苗适应性的研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(4): 481-485.
- [19] 张蕾, 张春辉, 吕俊平, 等. 光照强度对青藏高原东缘九种紫草科植物种子萌发的影响[J]. 兰州大学学报, 2011, 47(5): 68-72.
- [20] WANG W, FRANKLIN S, CIRTAIN M. Seed germination and seedling growth in the arrow bamboo *Fargesia qinlingensis* [J]. Ecological Research, 2007, 22: 467-474.
- [21] 闫兴富, 王建礼, 周立彪. 光照对辽东栎种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1682-1688.
- [22] 周佑勋. 水青树种子的需光萌发特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(5): 55-57.
- [23] 邹翠翠. 模拟酸雨与凋落物对柳杉种子萌发及幼苗生长的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学林业与生物技术学院, 2013.
- [24] 石小东, 高润梅, 韩有志, 等. 凋落物对2针叶树种种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(4): 113-120.
- [25] 刘桂霞, 王谦谦, 张丹丹. 凋落物和覆土对防风种子萌发及早期生长的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(2): 29-31.
- [26] JALILI A, HAMZEH'EE B, ASRI Y, et al. Soil seed banks in the Arasbaran Protected Area of Iran and their significance for conservation management[J]. Biological Conservation, 2003, 109: 425.
- [27] 童跃伟, 项文化, 王正文, 等. 地形、邻株植物及自身大小对红楠幼树生长与存活的影响[J]. 生物多样性, 2013, 21(3): 269-277.
- [28] 曾德慧, 尤文忠, 范志平, 等. 樟子松人工固沙林天然更新障碍因子分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 257-261.
- [29] 陈芳清, 梅光舟, 曾旭, 等. 三峡地区柏木种子萌发和幼苗更新的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(1): 69-74.
- [30] 杨秀清. 影响关帝山华北落叶松天然更新与幼苗存活的微生境变量分析[J]. 山西农业大学学报, 2010, 30(6): 543-547.
- [31] 郭柯. 山地落叶阔叶林优势树种米心水青冈幼苗的定居[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 161-164.
- [32] 徐燕, 张远彬, 乔匀周, 等. 光照强度对川西亚高山红桦幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(4): 1-4.
- [33] 孙晓萍, 陈丽庆. 日本厚皮香的扦插繁殖及光照强度对其幼苗生长的影响[J]. 浙江林业科技, 2011, 31(4): 41-42.
- [34] 李利, 张希明. 光照对胡杨幼苗定居初期生长状况和生物量分配的影响[J]. 干旱区研究, 2002, 19(2): 32-34.
- [35] 王祥宁, 熊丽, 陈敏, 等. 不同光照条件下东方百合生长状态及生物量的分配[J]. 西南农业学报, 2007, 20(5): 1091-1096.
- [36] BLAGOVESHCHENSKII Y N, BOGATYREV L G, SOLOMATOVA E A, et al. Spatial variation of the litter thickness in the forest of Karelia[J]. Eurasian Soil Science, 2006, 39: 925-930.
- [37] 羊留冬, 杨燕, 王根绪, 等. 森林凋落物对种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(9): 1820-1826.
- [38] KOSTEL H F, YOUNG T P, CARREIRO M M. Forest leaf litter quantity and seedling occurrence along an urban rural gradient[J]. Urban Ecosystem, 1998, 2: 263-278.
- [39] 唐翠平, 袁思安, 李骄, 等. 枯落物的种类及覆盖厚度对云南松种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 191-194.
- [40] 李根柱, 王贺新, 朱书全. 东北次生林区枯落物对天然更新的障碍作用[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2008, 27(2): 296-298.
- [41] 翟洪波, 赵义廷, 魏晓霞, 等. 三峡库区珍稀濒危植物资源保护对策[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 323-326.
- [42] 李革, 欧阳志勤, 祁云, 等. 昆明地区珍稀濒危植物及其保护对策[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(1): 27-29.

(责任编辑: 张明霞)