

DOI: 10.5846/stxb201910092094

朱静, 刘金福, 何中声, 邢聪, 王雪琳, 江蓝. 凋落物物理阻隔对格氏栲种子萌发及胚根生长的影响. 生态学报, 2020, 40(16): 5630-5637.

Zhu J, Liu J F, He Z S, Xing C, Wang X L, Jiang L. Effects of physical barrier of litter on the seed germination and radicle growth of *Castanopsis kawakamii*. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5630-5637.

凋落物物理阻隔对格氏栲种子萌发及胚根生长的影响

朱 静^{1,2,3}, 刘金福^{1,2,3,*}, 何中声^{1,2,3}, 邢 聪^{1,2,3}, 王雪琳^{1,2,3}, 江 蓝^{1,2,3}

1 福建农林大学林学院, 福州 350002

2 福建农林大学海峡自然保护区研究中心, 福州 350002

3 生态与资源统计福建省高校重点实验室, 福州 350002

摘要: 为了探讨凋落物物理阻隔对格氏栲天然林自然更新状况的影响, 通过模拟野外凋落物覆盖, 设置格氏栲种子上层覆盖厚 0 cm (CK)、2 cm (D2)、4 cm (D4)、6 cm (D6)、8 cm (D8) 及种子下层铺垫厚 2 cm (U2)、4 cm (U4) 凋落物等 7 个处理, 分析凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发及胚根生长的影响。结果表明: (1) 凋落物覆盖方式及厚度对种子萌发进程存在显著影响。CK 萌发持续时间最长, 上层覆盖处理 (D) 次之, 下层铺垫处理 (U) 的种子起始萌发时间显著滞后。 (2) CK 种子萌发率最高, 其次 D6 处理发芽速度较快, 发芽整齐; U 处理较 D 处理的发芽率及发芽势均显著降低, 且萌发抑制率显著增加。 (3) D 处理的种子胚根生长速度快, 胚根长度大于 CK; U 处理的种子胚根生长速度呈先慢后快趋势。可见, 凋落物是影响格氏栲种子萌发及胚根生长的重要因素, 主要通过阻碍种子与土壤接触而抑制萌发, 影响格氏栲林更新。

关键词: 格氏栲; 凋落物; 种子萌发; 胚根生长; 物理阻隔

Effects of physical barrier of litter on the seed germination and radicle growth of *Castanopsis kawakamii*

ZHU Jing^{1,2,3}, LIU Jinfu^{1,2,3,*}, HE Zhongsheng^{1,2,3}, XING Cong^{1,2,3}, WANG Xuelin^{1,2,3}, JIANG Lan^{1,2,3}

1 College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

2 Cross-Strait Nature Reserve Research Center, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

3 Key Laboratory of Fujian Universities for Ecology and Resource Statistics, Fuzhou 350002, China

Abstract: In order to explore the effects of litter physical barrier on the natural regeneration of *Castanopsis kawakamii* forest, we set up seven treatments with 0 cm (CK), 2 cm (D2), 4 cm (D4), 6 cm (D6), 8 cm (D8) litter in the upper layer and 2 cm (U2), 4 cm (U4) litter in the lower layer of the seed by simulating litter cover in the field. The aim was to study the effects of litter cover and thickness on the seed germination and radicle growth of *C. kawakamii*. The results showed that: (1) litter cover and thickness had significant influences on the seed germination process. The CK had the longest seed germination duration, followed by D treatments (litter on the upper layer of the seed). The initial germination time of U treatments (litter on the lower layer of the seed) was significantly delayed. (2) the CK had the highest seed germination percentage. The seed germination of D6 treatment was relatively fast and evenness. The seed germination percentage and germination potential of U treatments were both significantly decreased compared with that of D treatments, and the germination inhibition rate was significantly increased. (3) the radicle growth of D treatments was relatively fast, and their radicle length was longer than those of CK. The radicle growth rate in the U treatments showed a slow trend followed by fast tendency. The results showed that forest litter was an important factor, which influenced the seed

基金项目: 国家自然科学基金 (31700550, 31770678); 福建省自然科学基金 (2019J01367); 福建省林业科技推广项目 (2018TG14-2)

收稿日期: 2019-10-09; **网络出版日期:** 2020-06-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fjlf@126.com

germination and radicle growth of *C. kawakamii*. It mainly inhibited seed germination by hindering the interaction between seed and soil, thus affected the *C. kawakamii* forest regeneration.

Key Words: *Castanopsis kawakamii*; litter; seed germination; radicle growth; physical barrier

凋落物是由森林生态系统中生物组分产生并归还到地面的有机物质总称,包括乔灌木的枯枝落叶、落皮、繁殖器官和枯死的草本植物等^[1-3]。在森林更新早期阶段,凋落物存在使种子萌发及胚根生长的土壤水分及温度等微环境条件发生变化。凋落物覆盖对种子萌发及胚根生长产生促进作用^[4-5],通过截留降水,减小地表水分蒸发和改善土壤结构,增加土壤保水能力等途径来提高土壤含水量,提高种子发芽率和幼苗成活率^[6]。凋落物分解能释放养分归还土壤,增大土壤孔隙率,提高土壤含水量,改善土壤物理性质等,有利于幼苗根系和种子呼吸以及养分在土壤中的运输,促进了植物种子萌发与幼苗生长^[1]。凋落物提高了土壤含水量,影响种子发芽率、发芽开始时间和发芽持续时间^[7]。土壤孔隙度增大有效促进氧化还原酶活性和根系代谢,增强根系营养吸收并加速幼苗生长。考虑到凋落物覆盖有利于降低种子发芽期间温湿度及光照波动幅度,降低对种子或幼苗的损伤^[2,8-10],也为胚根生长提供遮荫效果,使胚根生长在全黑暗条件下生长速度快^[11]。然而凋落物具有消光作用,且凋落层消光作用随着其厚度增加而增强,导致光合光量子流密度(Photosynthetic Photon Flux Density, PPFD)与红光与远红光密度比值(Phytochrome Red Light/Far-red Light, Pfr)下降,抑制种子萌发与幼苗生长^[2];凋落物通过机械阻碍,动物侵害和微生物致病等因素影响种子萌发和幼苗生长,尤其凋落物产生阻断种子与土壤接触机制,增加机械阻碍,减少种子萌发可能性和幼苗定居机会^[12];种子萌发过程中,凋落物覆盖增加种子发生霉变,虫蛀等死亡的几率,降低了种子萌发率,影响其自然更新。而凋落物对种子萌发影响与种子本身大小也有关联:张建国等认为辽东栎(*Quercus liaotungensis*)种子大,自身储藏了丰富的营养物质供其萌发,凋落物覆盖对种子萌发无显著影响^[4];赵冲等认为凋落物覆盖厚 2 cm 可促进杉木(*Cunninghamia lanceolata*)种子萌发及幼苗生长^[13]。可见,探讨凋落物对种子萌发的影响不仅揭示凋落物对森林更新的影响,也为森林可持续发展提供理论依据。

格氏栲(*Castanopsis kawakamii*),是中国中亚热带南缘特有的壳斗科常绿阔叶高大珍稀濒危乔木,受种源、幼苗建成限制及人为干扰等原因,更新能力差,种群年龄结构呈“倒金字塔”型^[14]。格氏栲林内凋落物层厚^[15],种子可能受到林下地被层或地表凋落物的机械阻碍而限制萌发;或者种子虽能萌发,胚根无法与土壤接触造成格氏栲幼苗死亡率高,导致林内落种更新的实生幼苗少,多以萌生苗形式分布在母树周围^[16]。目前关于格氏栲研究主要集中于格氏栲生态学特性^[14]、格氏栲树木叶片碳氮磷化学计量^[17],格氏栲土壤微生物多样性等方面^[18],而有关于格氏栲天然林凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发及胚根生长的影响尚未报道,限制了对格氏栲更新能力的深入了解。为此,提出假设:(1)凋落物覆盖方式及厚度是否影响格氏栲种子萌发?(2)凋落物是否限制了格氏栲林下更新?即以格氏栲种子为研究对象,通过模拟野外凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发及胚根生长的影响,探讨凋落物物理阻隔对种子萌发的影响过程,为格氏栲林天然更新及恢复提供理论依据。

1 研究区概况

三明格氏栲自然保护区位于福建省三明市郊西南部,中心坐标为 26°07'—26°12' N、117°24'—117°29' E,面积近 700 hm²,海拔 180—640 m,属福建武夷山东伸支脉地带。格氏栲自然保护区属中亚热带季风型气候,受地势、强对流天气及暴雨影响,局部小气候复杂多样。年平均温度 19.5℃,极端最低气温-5.5℃,最高气温 40℃,年平均降雨量 1500 mm。土壤表现出典型的地带性土壤特征,以红壤与暗红壤为主,凋落物层较厚,土层腐殖质丰富,水肥条件良好^[16]。格氏栲自然保护区植物种类丰富,群落类型多样,郁闭度高达 0.8 左右。群落以格氏栲群为优势种,树冠常年浓绿,冠幅庞大,树形优美通直,树皮呈灰褐色,林相整齐,形成中亚热带

常绿阔叶林所特有的外貌特征^[19]。林内乔木层主要树种有格氏栲、桂北木姜子 (*Litsea subcoriacea*)、木荷 (*Schima superba*) 等, 灌木层主要有狗骨柴 (*Diplospora dubia*)、山黄皮 (*Clausena dentata*) 和杜茎山 (*Measa japonica*) 等; 草本植物主要有狗脊蕨 (*Woodwardia japonica*)、华山姜 (*Alpinia japonica*) 和芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 等^[20]。

2 研究方法

2.1 供试材料的收集与处理

2.1.1 种子收集与处理

种子来源于三明格氏栲自然保护区。于 2018 年 10 月种子成熟季节, 收集饱满, 品质良好的格氏栲种子。预备 2 个通气良好的储藏箱和含水量饱和的细沙 (含水量约 60%), 在箱底部放置 10 cm 厚细沙, 喷洒 1.25 g/L 敌百虫, 沙藏种子并盖约 10 cm 细沙, 室内温度控制在 5℃, 沙藏时间为 60—80 d。种子发芽实验开始时, 取出沙藏格氏栲种子用蒸馏水洗净, 静置 3 h, 去除漂浮、劣质种子, 将沉于水下的饱满种子捞出, 用 0.5% KMnO_4 浸种消毒 30 min 后, 蒸馏水再反复冲洗 3 次, 晾干表面水分, 然后挑出生长饱满、均匀一致的格氏栲种子 (一般每粒大于 2 g) 备用。

2.1.2 凋落物收集与处理

2018 年 3 月于三明格氏栲自然保护区设置 3 个大林窗 ($\geq 200 \text{ m}^2$)、3 个中林窗 (50—100 m^2) 与 3 个小林窗 ($\leq 50 \text{ m}^2$) 作为固定样地, 以 1 个非林窗样地 (4 个 10×10 m 样方) 作为对照。为了减少因凋落物类型造成的实验误差, 在每个林窗东、西、南、北和中央 5 个方向各设置一个 1 m×1 m 凋落物收集框, 每月月初收集凋落物框中样品, 并在种子掉落高峰期收集林窗内格氏栲种子。将凋落物带回实验室混合均匀, 于 80℃ 烘箱中烘干至恒重, 供模拟凋落物覆盖种子萌发实验使用。

2.1.3 土壤选择

萌发实验基质为灭菌后的天然林土壤。供试土壤为三明格氏栲自然保护区林内 10—40 cm 土层土壤, 去除土壤中原有植物碎屑、死根等杂质, 放置高压灭菌锅灭菌, 灭菌后土壤风干过 5 mm 土筛, 过筛后土壤作为萌发实验基质供后期凋落物覆盖种子萌发实验使用。

2.2 凋落物覆盖方式及厚度下的试验方法

采用室内实验方法于 2018 年 12 月在福建农林大学林学院实验大棚内开始, 选用 38.5 cm×27.5 cm×14 cm 规格的萌发盆, 依据萌发盆体积, 计算相应加入的凋落物重量。实验设计 7 个凋落物厚度梯度, 种子上层覆盖凋落物播种与种子底层铺垫凋落物播种等两种实验方案, 其中 5 个梯度种子与土壤有机质直接接触, 覆盖 0 cm (CK), 2 cm (约 40 g/ m^2 , D2), 4 cm (约 80 g/ m^2 , D4), 6 cm (约 120 g/ m^2 , D6), 8 cm (约 160 g/ m^2 , D8) 凋落物 (图 1a—d), 在种子与凋落物之间覆盖一层孔径为 5 mm 的尼龙网; 另外 2 个梯度先铺 2 cm (约 40 g/ m^2 , U2), 4 cm (约 80 g/ m^2 , U4) 厚 (图 1e—f) 凋落物再播种, 其中每个处理设置 3 个重复。将处理过的种子分别掩埋于萌发盆土壤表面, 每个重复播种 50 粒颗粒饱满、大小一致的格氏栲种子, 选取干燥均匀的凋落物作覆盖物, 采用称重法控制凋落物厚度, 覆盖时尽量保持各部位均匀一致。播种后, 每个萌发盆定期浇水, 每隔 2 天每次浇水 200 mL^[21] 以保证种子萌发和胚根生长的水分供给。实验中种子与凋落物之间铺垫孔径 5 mm 的尼龙网, 便于提起凋落物以观测种子萌发及胚根生长情况, 减少因拨开凋落物对种子胚根伸长的伤害^[22]。

2.3 各种指标测定

2.3.1 含水量测定

含水量测定采用烘干法。先称量烘干后的铝盒重。将种子播种后, 于浇水 (200 mL) 48 h 后取表层土壤 (0—4 cm) 10 g, 放入空铝盒内称重 (原土重)。称重后, 密封迅速带回实验室, 放入提前设定 105℃ 烘箱中, 烘干至恒重 (烘干土重)。

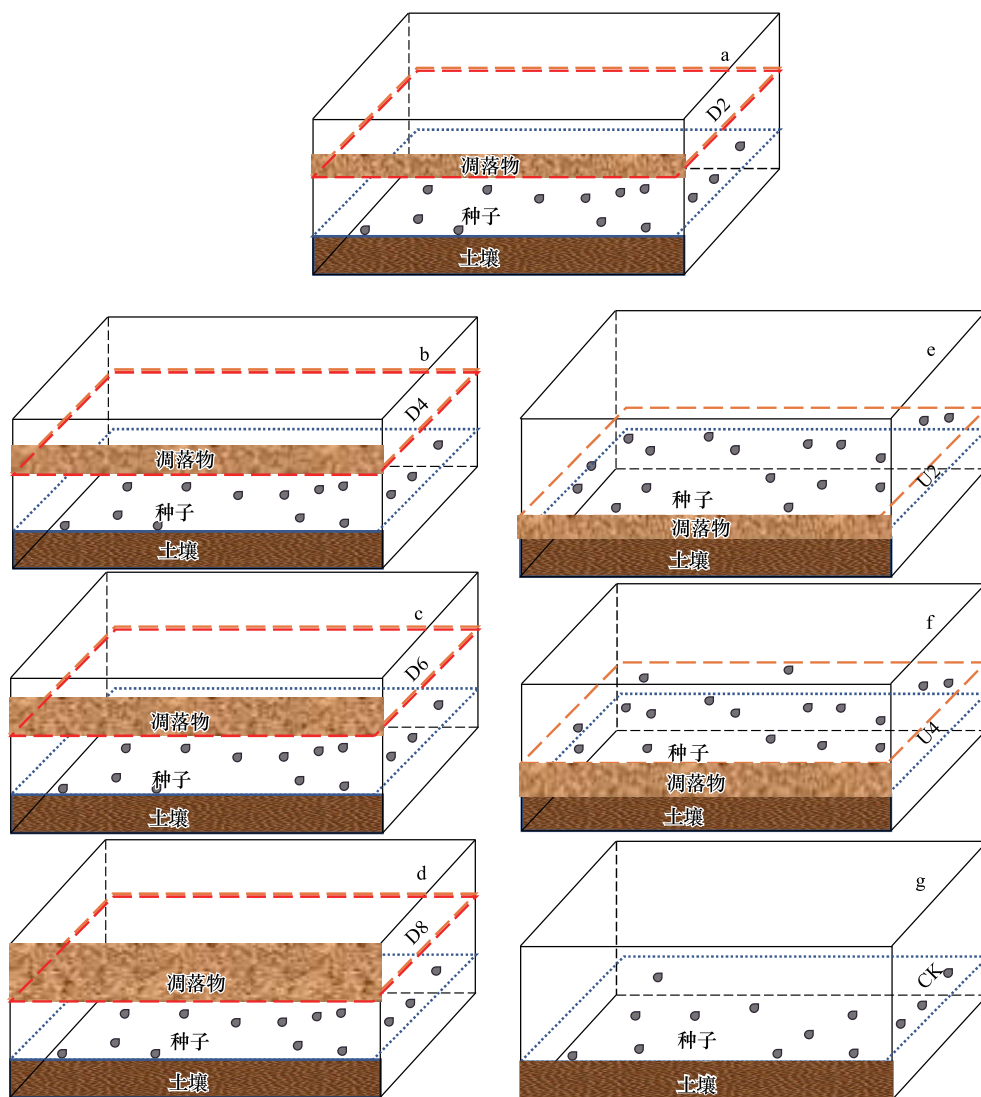


图1 凋落物覆盖方式及厚度的萌发示意图

Fig.1 Germination demonstration of litter cover and thickness

CK、D2、D4、D6、D8、U2 和 U4 分别代表种子上层覆盖厚度 0 cm、2 cm、4 cm、6 cm、8 cm 及种子底层铺垫 2 cm、4 cm 凋落物;红色虚线为孔径 5 mm 的尼龙网

$$\text{土壤含水量}(\%) = (\text{原土重} - \text{烘干土重}) / \text{烘干土重} \times 100\% \quad [23]$$

2.3.2 种子萌发指标测定

以胚根露出种皮 2 mm 作为种子萌发标准^[24],统计时将凋落物提起,每 3 d 统计发芽数,游标卡尺测量胚根长度并记录。当连续 7 d 发芽粒数平均不足供试种子总数的 1%时视为发芽结束^[25]。发芽实验结束,计算种子发芽率、发芽势、发芽指数、平均发芽速度,萌发抑制率等发芽指标;胚根生长量基本不变时,胚根实验结束,计算胚根生长情况。

$$\text{发芽率}(\%) = \text{发芽的种子数} / \text{供试种子总数} \times 100\%;$$

$$\text{发芽势}(\%) = \text{日平均发芽数达到最高那一天为止正常发芽的种子数} / \text{供试种子总数} \times 100\%;$$

$$\text{发芽指数} = \sum (G_t / D_t) \quad [26];$$

$$\text{平均发芽速度} = \sum (G_t \times D_t) / \sum G_t;$$

式中, G_t 指在第 t 天的种子发芽数, D_t 指相应种子发芽所用天数;

萌发抑制率(%)=(对照萌发数-各处理萌发数)/对照萌发数 $\times 100\%$ [27]。

2.4 数据统计

采用 Excel 绘制图表;利用单因素方差分析凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子发芽率、发芽势、发芽指数、平均发芽速度及胚根生长的影响,以最小显著差异法(LSD)进行组内差异比较($\alpha=0.05$)。

3 结果分析

3.1 凋落物覆盖方式及厚度对基质含水量的影响

凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发基质(土壤)含水量的影响为 $D4>U2>D6>D2>D8>U4>CK$ (图 2)。上层凋落物覆盖处理(D)的土壤含水量随覆盖厚度增加呈先升高后降低趋势,在 D4 处达到最高值,含水量为 33.57%;D8 处最低(28.63%)。U2 处理的含水量高于 U4,且均与 CK 存在显著差异性($P<0.05$)。底层铺垫凋落物处理(U)与 D 处理土壤含水量相比较,与 D4 处理存在显著差异性($P<0.05$)。

3.2 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发的影响

不同处理对格氏栲种子萌发进程的影响随时间推移呈先增加后平稳的趋势(图 3)。CK 处理的种子从开始萌发到结束持续 55 d,萌发持续时间长,结束时间滞后。D2 处理的种子在第 52 天结束萌发,萌发结束时间迟缓,早于 CK。D6 处理前期种子萌发数高,在第 43 天结束萌发,萌发结束时间早。U 处理在播种后第 16 天开始萌发,U2 处理萌发持续时间 39 d,U4 处理萌发持续 36 d,萌发时间比其他处理显著滞后,发芽种子数最少,发芽周期短,即凋落物存在抑制格氏栲种子萌发。

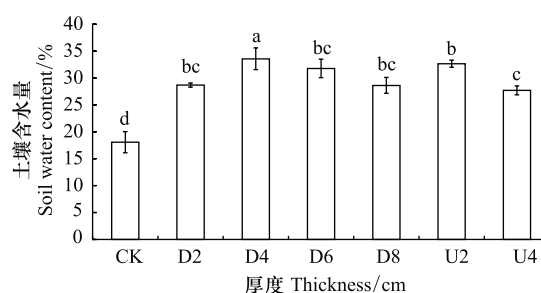


图 2 凋落物覆盖方式及厚度对基质含水量的影响

Fig. 2 Effects of litter cover and thickness on water content of substrates

图中不同小写字母表示各处理基质含水量间差异显著($P<0.05$)

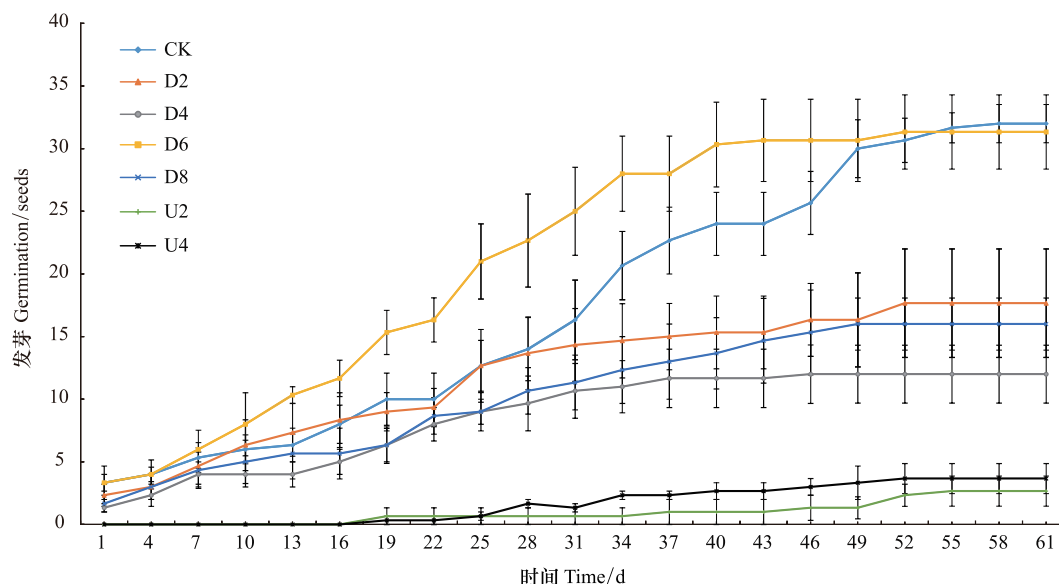


图 3 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发进程的影响

Fig. 3 Effects of litter cover and thickness on the germination process of *C. kawakamii*

凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子发芽率的影响为 $CK>D6>D2>D8>D4>U4>U2$ (表 1)。CK 发芽率最高,为 64%,显著高于 U2 处理($P<0.05$)。上层覆盖处理 D 内,D6 处理的发芽势(56%)、发芽指数(18.09)最高,其次为 D2 处理;D4 处理的发芽势与发芽指数最低。底层铺垫处理 U 内,U2 处理的发芽势(1.33%)、发芽

指数(0.47)低于 U4 处理。平均发芽速度的变化趋势为 $U2>U4>CK>D8>D6>D4>D2$, 种子上层覆盖凋落物促使格氏栲种子发芽更快。与 CK(无凋落物覆盖)相比, 萌发抑制率为 $U2>U4>D4>D8>D2>D6>CK$ 。U 处理的种子萌发抑制率最高, 分别高达 92.67% 和 88.54%, 即 U 处理对格氏栲种子的萌发抑制性更大。

表 1 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发的影响

Table 1 Effects of litter cover and thickness on the seed germination of *C. kawakamii*

厚度/cm Litter thickness	发芽率/% Germination percentage	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	平均发芽速度/d Average germination rate	萌发抑制率/% Germination inhibition rate
CK	64.00±3.06a	41.33±5.46a	14.99±2.41ab	39.63±1.09bc	0
D2	35.33±8.67b	29.33±5.92b	11.34±2.55bc	36.52±0.37c	44.79
D4	24.00±4.62b	22.00±4.16b	7.81±1.70c	36.57±0.73c	62.5
D6	62.67±5.92a	56.00±6.00a	18.09±2.33a	37.67±0.37c	2.08
D8	32.00±4.16b	24.67±5.33b	9.35±1.98bc	37.74±1.35c	50
U2	5.33±2.40c	1.33±1.33c	0.47±0.34d	49.54±4.06a	92.67
U4	7.33±2.40c	4.67±0.67c	0.82±0.16d	44.01±1.14b	88.54

CK、D2、D4、D6、D8、U2 和 U4 分别代表种子上层覆盖厚度 0、2、4、6、8 cm 及种子底层铺垫 2、4 cm 凋落物; 表中不同小写字母表示各处理间种子萌发指标差异显著 ($P<0.05$)

3.3 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子胚根生长的影响

凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲胚根生长影响表现为 $D6>D8>D4>D2>U4>U2>CK$ (图 4)。两者与 CK 比, 上层覆盖处理 D 内, 胚根生长规律随凋落物厚度增加呈先上升后下降趋势, D6 处理促进作用最为明显 ($P<0.05$); 底层铺垫处理 U 内, U2 处理在胚根生长初期, 抑制作用强, 第 27 天转为促进作用。D 处理与 U 处理比, 种子胚根长度高于 U 处理 (第 15 天)。可见 D 处理更有利于格氏栲种子胚根生长, U 处理前期抑制格氏栲种子胚根生长, 后期起促进作用。

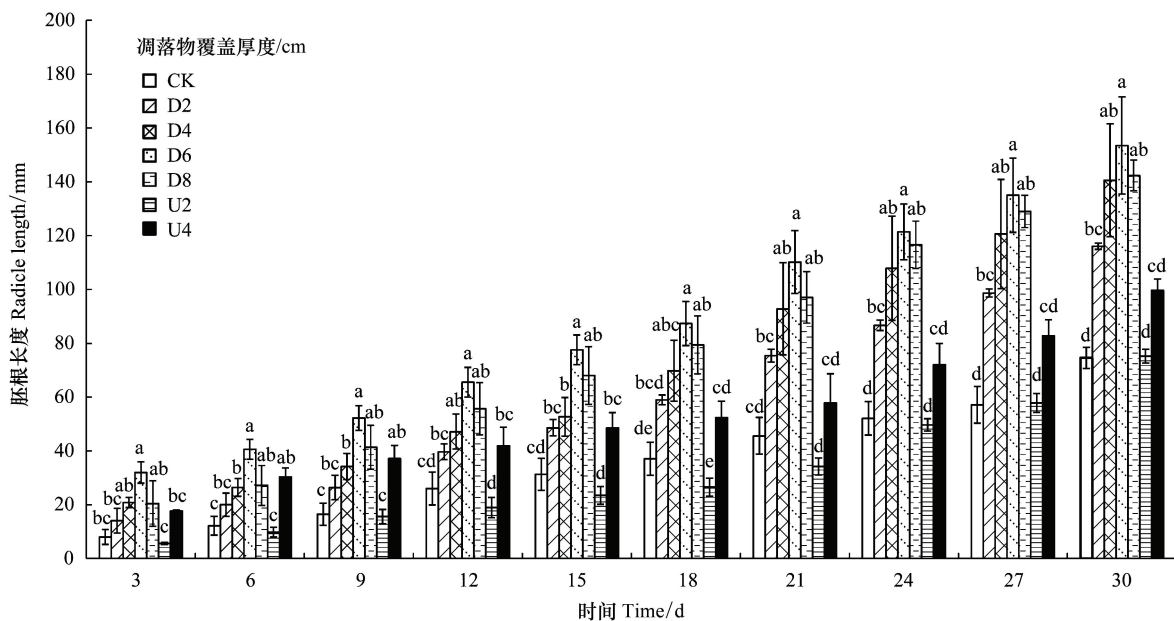


图 4 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子胚根生长的影响

Fig.4 Effects of litter cover and thickness on the seed radicle growth of *C. kawakamii*

图中不同小写字母表示同一天各处理胚根长度间差异显著 ($P<0.05$)

4 讨论

4.1 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发进程的影响

凋落物是种子落地后接触到的最初物理环境, 对种子萌发及胚根生长具有重要影响。凋落物覆盖显著影

响了格氏栲种子萌发的开始时间与持续时间(图3),影响结果与韩文娟等一致^[27],产生差异性原因可能是凋落物改变了土壤水分,影响种子萌发进程。无凋落物覆盖处理(CK)的种子发芽数最高,上层覆盖处理(D)前期萌发快,发芽持续时间短;底层铺垫处理(U)的种子由于裸露在空气中,播种后第16天开始萌发,萌发开始时间滞后,持续时间显著缩短。凋落物覆盖通过改善种子萌发微环境、降低土壤水分蒸发等途径提高土壤含水量,且凋落物具有一定持水性能,渗水性能好^[28]。当向种子上层覆盖凋落物浇一定量水后,凋落叶吸水饱和,多余水分下渗,水分大多保留在凋落叶内,无法为土壤中种子提供充足水分而限制种子萌发。当下层铺垫凋落物时,凋落物表层水分蒸发快,上层种子因吸收不到充足水分而无法萌发,种子发芽率显著降低。而无放置凋落物处理的土壤含水量低,当水分胁迫解除后种子恢复萌发,萌发持续时间从而显著延长。

4.2 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发的影响

凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子萌发产生阻碍作用,CK处理的种子发芽率高于D处理、U处理,可能与凋落物对土壤种子库的影响有关。凋落物覆盖过厚或密度太大使掉落高峰期的格氏栲种子大多分布在枯枝落叶层表面,腐殖质层和心土层种子少^[29],即通过物理阻隔作用阻止种子与土壤接触,降低种子萌发率。凋落物对土壤温度的改变也可能影响种子萌发及胚根生长。凋落物可降低太阳辐射,阻隔凋落物覆盖下土壤与外界空气的热交换起到保温作用,使格氏栲种子在单一温度下种子萌发率、萌发速率系数,萌发指数均受到抑制^[30-31]。由表1可知D处理、U处理的格氏栲种子萌发率与CK比较均显著降低,也证实了凋落物减少了空气日温差,使种子萌发缺少变温条件,通过互逆的动态平衡机制,抑制格氏栲种子萌发。凋落物覆盖降低土壤水分蒸发速度,保持种子萌发所需土壤湿度,U处理的种子表面水分蒸发快,降低种子萌发和幼苗生长实际利用所需的水分含量,导致U处理的种子因吸收不到充足水分限制其萌发,萌发率显著低于D处理,与周艳等结论相同^[5]。凋落物存在抑制格氏栲种子萌发,可能与凋落物产生遮光效应降低地表和表层土的光合光子流密度和红光与远红光密度比值(Pfr值)有关^[8,27]。在光照强度一致条件下,凋落物层消光作用导致种子萌发所需的光照降低,凋落物越厚,降低幅度越大,对种子萌发的抑制率越高,使D处理、U处理的种子萌发率显著降低。

4.3 凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲胚根生长的影响

凋落物对植物幼苗形态建成起到关键作用,凋落物覆盖方式及厚度对格氏栲种子胚根生长的影响存在显著差异。D处理的种子胚根长度随凋落物厚度增加呈先上升后下降趋势,均显著高于CK(图4),可能原因是凋落物覆盖过厚产生阻碍作用,种子为了突破林下地被层或地表凋落物的机械阻碍,需要分配更多物质与能量用于胚根生长,以促进幼苗建成^[28]。其次,凋落物通过改变种子生存温度,影响到种子体内酶活性,对胚根也产生影响^[28]。低温对种子的吸水能力和酶活性等生理生化进程产生抑制作用,温度过高使种子体内酶变性影响种子胚根生长。适宜温度使酶促过程中呼吸作用加强,种子体内贮存的养分快速变成胚根可利用的可溶性状态,提高了胚根生长速度^[32]。种子上层覆盖凋落物降低了空气与土壤温度变化幅度,维持土壤含水量,降低土壤水分蒸发,使D处理的种子在萌发过程中吸收充足水分去溶解一些贮藏物质成为胚根生长能够利用的养料^[7],延长胚根生长期,促进D处理的胚根生长。适宜的凋落物覆盖也降低太阳对胚根的直接照射,减少胚根灼伤,为格氏栲种子胚根生长提供了良好的微环境条件,加速胚根生长^[33]。U处理的胚根生长前期暴露于空气中,受太阳直接照射的影响,水分蒸发快,生长速度慢;待胚根向下生长,凋落物的遮光效果促使胚根在全黑暗环境下快速生长,胚根长度高于CK。凋落物覆盖能提高土壤孔隙度,增加种子萌发的土壤通气性,使D处理的格氏栲根系快速生长^[34-35],胚根长度显著高于U处理与CK。

5 结论

凋落物存在改变了地表光照水平、土壤水分等微生境条件,对种子萌发基质含水量及种子萌发指标都存在显著影响。结果表明,无凋落物覆盖处理(CK)提高了种子萌发率,降低胚根生长速度。凋落物覆盖显著降低了种子萌发率,尤其种子底层铺垫凋落物处理(U)对种子萌发及胚根生长的抑制作用,在一定程度上解释

了格氏栲天然林更新能力差可能由于较厚的凋落物形成物理阻隔作用抑制种子萌发。建议种子雨掉落高峰期来临之前,清理林内凋落物,保证种子与土壤接触,为种子萌发提供良好的萌发环境。

参考文献 (References):

- [1] 羊留冬, 杨燕, 王根绪, 郭剑英. 森林凋落物对种子萌发与幼苗生长的影响. 生态学杂志, 2010, 29(9): 1820-1826.
- [2] 王贺新, 李根柱, 于冬梅, 陈英敏. 枯枝落叶层对森林天然更新的障碍. 生态学杂志, 2008, 27(1): 83-88.
- [3] Blagoveshchenskii Y N, Bogatyrev L G, Solomatova E A, Samsonova V P. Spatial variation of the litter thickness in the forests of Karelia. Eurasian Soil Science, 2006, 39(9): 925-930.
- [4] 张建国, 黄财智, 陈永华, 张文辉. 枯落物对辽东栎种子萌发及生长的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(6): 59-64.
- [5] 周艳, 陈训, 韦小丽, 伍庆, 李朝婵. 凋落物对迷人杜鹃幼苗更新和种子萌发的影响. 林业科学, 2015, 51(3): 65-74.
- [6] 潘开文, 何静, 吴宁. 森林凋落物对林地微生境的影响. 应用生态学报, 2004, 15(1): 153-158.
- [7] 杜丽思, 李钊, 董玉梅, 黄邦成, 傅杨, 汤东生. 胜红蓟种子萌发/出苗对环境因子的响应. 生态学报, 2019, 39(15): 5662-5669.
- [8] 许宁, 慈宏艳, 甘小洪. 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. 植物资源与环境学报, 2015, 24(3): 85-93.
- [9] 赵明, 张红香, 颜宏, 邱璐. 光照强度对六种草地植物种子萌发和幼苗生长的影响. 生态科学, 2018, 37(2): 25-34.
- [10] Sánchez-Coronado M E, Olvera C, Márquez-Guzmán J, Macías-Rubalcava M L, Orozco S, Anaya A L, Orozco-Segovia A. Complex dormancy in the seeds of *Hypericum philonotis*. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2015, 213: 32-39.
- [11] 马海鸽, 蒋齐, 王占军, 刘华, 何建龙. 温度和光照对不同预处理野生甘草种子萌发和幼苗生长的影响. 水土保持研究, 2014, 21(5): 225-229, 235-235.
- [12] 唐翠平, 袁思安, 李骄, 李慧强, 方向阳, 李建华, 李根前. 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. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 191-194.
- [13] 赵冲, 蔡一冰, 黄晓, 刘青青, 朱晨曦, 于姣姐, 王正宁, 刘博. 杉木凋落物覆盖对自身幼苗出土和早期生长的影响. 应用生态学报, 2019, 30(2): 481-488.
- [14] 刘金福, 何中声, 洪伟, 郑世群, 王兆杰. 濒危植物格氏栲保护生态学研究进展. 北京林业大学学报, 2011, 33(5): 136-143.
- [15] 冯雪萍, 刘金福, Buajan S, 何中声, 江蓝, 洪伟, 施友文. 福建三明格氏栲天然林林窗凋落物-土壤的生态化学计量特征. 植物资源与环境学报, 2017, 26(4): 18-24.
- [16] He Z S, Wang L J, Jiang L, Wang Z, Liu J F, Xu D W, Hong W. Effect of microenvironment on species distribution patterns in the regeneration layer of forest gaps and non-gaps in a subtropical natural forest, China. Forests, 2019, 10(2): 90.
- [17] Buajan S, Liu J F, He Z S, Feng X P, Muhammad A. Effects of gap size and locations on the regeneration of *Castanopsis kawakamii* in a subtropical natural forest, China. Journal of Tropical Forest Science, 2018, 30(1): 39-48.
- [18] 马瑞丰, 刘金福, 张广帅, 吴则焰, 洪伟, 何中声. 格氏栲林土壤生态化学计量和微生物群落特征及其关联性分析. 植物资源与环境学报, 2015, 24(1): 19-27.
- [19] He Z S, Liu J F, Zheng S Q, Hong W, Wu C T, Li J. Diurnal variation of photosynthetic rates of *Castanopsis kawakamii* seedlings and their relationships with meteorological factors in forest gaps and non-gaps. Pakistan Journal of Botany, 2018, 50(4): 1361-1368.
- [20] He Z S, Liu J F, Wu C T, Zheng S Q, Hong W, Su S J, Wu C Z. Effects of forest gaps on some microclimate variables in *Castanopsis kawakamii* natural forest. Journal of Mountain Science, 2012, 9(5): 706-714.
- [21] 王俊, 王卓晗, 杨龙, 任海. 浇水频率和凋落物覆盖量对蕨类种子萌发及幼苗存活的影响. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2097-2102.
- [22] 何中声, 朱静, 邢聪, 王雪琳, 魏晨思, 刘金福. 野外土壤种子萌发实验装置: 中国, CN207802711U. 2018-09-04.
- [23] 毛天旭, 朱元骏, 邵明安. 土壤表面灰度值与表层土壤含水量关系研究. 水土保持学报, 2011, 25(1): 245-248.
- [24] 周立彪, 闫兴富, 张婧, 仇智虎, 李静. 土壤埋藏深度和埋藏时间对辽东栎种子萌发的影响. 生态学杂志, 2013, 32(7): 1800-1806.
- [25] 程波, 胡生荣, 高永, 樊璐, 翟波, 刘湘杰, 张慧敏. PEG 模拟干旱胁迫下 5 种紫花苜蓿萌发期抗旱性的评估. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2019, 47(1): 53-59.
- [26] 何中声, 刘金福, 洪伟, 郑世群, 吴承祯, 吴则焰, 林义君, 苏松锦. 不同处理对格氏栲种子发芽的影响. 北京林业大学学报, 2012, 34(2): 66-70.
- [27] 韩文娟, 曹旭平, 张文辉. 地被物对油松幼苗早期更新的影响. 林业科学, 2014, 50(1): 49-54.
- [28] 郑文辉, 林开敏, 徐昇, 赵长存, 蔡锰柯, 郭玉硕. 7 种不同树种凋落叶持水性能的比较研究. 水土保持学报, 2014, 28(1): 88-91.
- [29] 何中声, 刘金福, 郑世群, 苏松锦, 洪伟, 吴则焰, 徐道炜, 吴承祯. 格氏栲天然林林窗和林下种子散布及幼苗更新研究. 热带亚热带植物学报, 2012, 20(5): 506-512.
- [30] Bakhshandeh E, Gholamhossieni M. Modelling the effects of water stress and temperature on seed germination of radish and cantaloupe. Journal of Plant Growth Regulation, 2019, 38(4): 1402-1411.
- [31] Gallon M, Trezzi M M, Diesel F, Balbinot Junior A A, Pagnoncelli Junior F D B, Barancelli M V J. Environmental factors' action on the germination process and initial growth of weeds of Rubiaceae family. South African Journal of Botany, 2018, 117: 26-33.
- [32] 刘有军, 刘世增, 康才周, 满多清. 两种云杉种子萌发和幼苗生长对环境因子的适应性. 生态学报, 2019, 39(2): 611-619.
- [33] Chen B M, D'Antonio C M, Molinari N, Peng S L. Mechanisms of influence of invasive grass litter on germination and growth of coexisting species in California. Biological Invasions, 2018, 20(7): 1881-1897.
- [34] Lie G W, Xue L, Zeng S C. Impact of litter removal on soil characteristics under a *Pinus caribaea* stand. Toxicological and Environmental Chemistry, 2016, 98(5/6): 571-584.
- [35] Li Y, Niu W Q, Cao X S, Wang J W, Zhang M Z, Duan X H, Zhang Z X. Effect of soil aeration on root morphology and photosynthetic characteristics of potted tomato plants (*Solanum lycopersicum*) at different NaCl salinity levels. BMC Plant Biology, 2019, 19(1): 331.