

DOI:10.12171/j.1000-1522.20190292

格氏栲天然林凋落物浸提液对杉木种子 萌发和胚根生长的影响

晋梦然¹ 王哲¹ 李梦佳¹ 刘金福¹ 何中声¹ 邢聪¹ 施友文² 沈彩霞²

(1. 福建农林大学林学院, 福建农林大学海峡自然保护区研究中心, 生态与资源统计福建省高校重点实验室, 福建 福州 350002;

2. 三明莘口格氏栲自然保护区管理站, 福建 三明 365000)

摘要:【目的】探讨格氏栲天然林凋落物浸提液对伴生种杉木种子萌发与胚根生长的影响,旨在阐明格氏栲自然更新受抑制机制问题。【方法】以格氏栲天然林凋落物浸提液为化感物质来源,伴生种杉木种子为受试种子,分析未分解层(枝、叶、皮、壳)、半分解层和全分解层凋落物浸提液对杉木种子发芽率、发芽势、发芽指数及胚根生长的影响。【结果】未分解层凋落物浸提液在低质量浓度时对杉木种子发芽率为促进作用,高质量浓度时为促进或较弱的抑制作用,各质量浓度作用下对发芽势与发芽指数均呈抑制;半分解层与全分解层凋落物浸提液抑制杉木种子萌发,且在低质量浓度(1:50、1:100)时抑制作用更强。未分解层凋落物浸提液对杉木胚根生长影响呈“低促高抑”的双重质量浓度效应,高质量浓度时为显著抑制($P < 0.05$),其中 1:100 质量浓度凋落物叶浸提液在作用第 18 天时,胚根长度较对照组增加 14.3%,显著促进作用杉木胚根生长($P < 0.05$);半分解层各质量浓度浸提液均促进杉木胚根生长,但不显著;全分解层浸提液在 1:5、1:10 和 1:50 质量浓度时对杉木胚根生长呈促进作用,1:30 质量浓度时显著抑制($P < 0.05$)。【结论】格氏栲天然林凋落物低质量浓度浸提液对杉木种子萌发总体呈促进或轻微的抑制作用,对胚根生长为促进作用,即促进了杉木更新,使林内种间竞争加剧,间接导致格氏栲自然更新受抑。

关键词: 化感作用; 格氏栲; 杉木种子; 凋落物浸提液

中图分类号: S792.17; S722.1⁺4 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2020)04-0051-09

引文格式: 晋梦然, 王哲, 李梦佳, 等. 格氏栲天然林凋落物浸提液对杉木种子萌发和胚根生长的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(4): 51-59. Jin Mengran, Wang Zhe, Li Mengjia, et al. Effects of litter extracts from *Castanopsis kawakamii* natural forest on seed germination and radicle growth of Chinese fir [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(4): 51-59.

Effects of litter extracts from *Castanopsis kawakamii* natural forest on seed germination and radicle growth of Chinese fir

Jin Mengran¹ Wang Zhe¹ Li Mengjia¹ Liu Jinfu¹ He Zhongsheng¹
Xing Cong¹ Shi Youwen² Shen Caixia²

(1. Key Laboratory of Fujian Universities for Ecology and Resource Statistics, Cross-Strait Nature Reserve Research Center, College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China;

2. Administration Station of *Castanopsis kawakamii* Nature Reserve in Xinkou of Sanming, Sanming 365000, Fujian, China)

Abstract: [Objective] We tested the effects of litter extracts from *Castanopsis kawakamii* natural forest on seed germination and radicle growth of coexistence species Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*), thus to

收稿日期: 2019-07-11 修回日期: 2019-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31700550、31770678), 福建省自然科学基金项目(2019J01367), 福建省林业科技推广项目(2018TG14-2), 福建省林业科学研究项目(KH1701390)。

第一作者: 晋梦然。主要研究方向: 植物地理学。Email: jinmengran110@163.com 地址: 350002 福建省福州市仓山区上下店路 15 号福建农林大学林学院。

责任作者: 刘金福, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 野生动植物保护与利用。Email: fjljf@126.com 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

explore the mechanism for the natural regeneration barrier of *C. kawakamii* species. [Method] The litter extracts of *C. kawakamii* natural forest were used as the source of allelochemicals, and the seeds of coexistence species *C. lanceolata* were used as the tested seeds. We analyzed the influence of litter extracts of undecomposed (branches, leaves, bark, and nutshells), semi-decomposed and fully decomposed layer with different concentrations on the germination rate, germination potential, germination index and radicle growth of *C. lanceolata* seeds. [Result] The undecomposed layer litter extract promoted the germination rate of *C. lanceolata* at the low concentration, and promoted or weakly inhibited the germination rate at high concentration. The germination potential and germination index were inhibited under each concentration. The litter extracts from semi-decomposed and the fully decomposed layer inhibited the germination index of *C. lanceolata* seeds, and the inhibition was stronger at the low concentrations (1:50, 1:100). The effects of undecomposed litter extracts on the radicle growth of *C. lanceolata* showed a double concentration effect of “low promotion and high inhibition”, and significant inhibition at high concentration ($P < 0.05$). At the 18th day under the leaf extract concentration of 1:100, the radicle length increased by 14.3% compared with control, which significantly promoted the growth of *C. lanceolata*'s radicle length ($P < 0.05$). The litter extracts from the semi-decomposed layer promoted the radicle growth of *C. lanceolata*, but it was not significant. The litter extracts of the fully decomposed layer promoted the growth of *C. lanceolata*'s radicle length under the concentrations of 1:5, 1:10 and 1:50, and the concentration of 1:30 showed a significant inhibition ($P < 0.05$). [Conclusion] The low concentration litter extracts of the *C. kawakamii* natural forest can generally promote or slightly inhibit the germination of *C. lanceolata* seed and promote its radicle growth, which promoted the regeneration of *C. lanceolata* and enhanced the competition between species in the forest, and thus indirectly lead to the suppression of natural regeneration of *C. kawakamii*.

Key words: allelopathy; *Castanopsis kawakamii*; *Cunninghamia lanceolata* seed; litter extract

种子萌发与胚根生长是植物生长的起点,直接关系到物种存活,森林凋落物产生的化感物质对这两阶段有重要影响^[1]。自然条件下,化感物质通过淋溶、自然挥发、根系分泌和植株分解等途径进入环境,以高活性状态到达受体植物内,使其各种代谢过程受到促进或损害^[2]。而同种植物凋落物浸提液对不同受体植物生长影响有差异^[3-4],即影响森林植物更新与树种组成。桉属(*Eucalyptus*)植物凋落物浸提液对阔荚合欢(*Albizia lebeck*)无显著影响,但显著抑制肖蒲桃(*Acmena acuminatissima*)等生长^[5];铁杆蒿(*Heteropappus altaicus*)茎叶及根系浸提液对伴生种达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)种子萌发和幼苗生长影响也不同^[6];毛竹(*Phyllostachys edulis*)浸提液干扰森林建群种苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)幼苗更新^[7]。可见,通过探讨凋落物浸提液对不同植物的化感作用,比较其受促进或抑制作用的强弱,分析不同植物在更新竞争中优劣地位,可为预测森林群落组成提供重要理论基础。

格氏栲(*Castanopsis kawakamii*)为壳斗科(Fagaceae)栲属常绿高大乔木,第三纪孑遗植物,自然分布狭窄,资源现已接近枯竭,仅零星分布于中亚热带区域。福建三明区 700 hm²以格氏栲占优势的

天然林分,十分罕见,堪称“世界格氏栲林”^[8],一直备受关注。从 20 世纪 90 年代初,本课题组就开展了格氏栲保护生态学^[8],凋落物与土壤生态化学计量^[9],林窗微环境^[10]等方面研究。发现格氏栲幼苗天然更新差,林冠层混交树种杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、木荷(*Schima superba*)和马尾松(*Pinus massoniana*)长势良好,与格氏栲种群竞争资源与空间,使其在天然更新中处于劣势。林内也存在凋落物量大^[11],单宁与总酚含量高^[9],高浓度凋落物浸提液对格氏栲种子萌发与胚根生长有显著抑制作用等问题^[12]。考虑到凋落物浸提液对不同受体植物会产生促进或抑制作用^[3-4],格氏栲天然林更新过程中凋落物化感作用有可能对伴生种杉木生长产生影响。为此,以杉木种子为受试种子,探讨格氏栲林不同分解程度及不同浓度凋落物浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响,检验是否由于浸提液化感作用促进杉木生长,导致格氏栲在与杉木更新竞争中处于不利地位,为格氏栲更新受抑机制及天然林未来群落组成提供参考依据。

1 研究区概况

格氏栲天然林自然保护区位于福建三明市郊西南部,26°07' ~ 26°10'N、117°24' ~ 117°27'E,南北

20 km, 东西 32 km, 海拔 180 ~ 604 m。属中亚热带季风型气候, 年平均气温 19.5 °C, 年平均降雨量 1 500 mm。土壤主要为红壤和暗红壤, 腐殖质含量高, 水肥条件较好。林内主要乔木树种有格氏栲、杉木、木荷、马尾松、米楮(*Castanopsis carlesii*)和虎皮楠(*Daphniphyllum oldhami*)等; 灌木有狗骨柴(*Diplospora dubia*)、桂北木姜子(*Litsea subcoriacea*)、毛鳞省藤(*Calamus thysanolepis*)和梨茶(*Camellia octopetala*)等; 草本层有狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、里白(*Diplopterygium glaucum*)等^[8]。

2 研究方法

2.1 试验材料

于 2018 年 3 月在福建三明格氏栲天然林保护区固定样地收集林下混合凋落物, 共选取 10 块固定样地, 每块样地中按东、南、西、北、中等方位收集。收集时按未分解层(新鲜凋落物, 包括混合凋落物枝、混合凋落物叶、格氏栲果壳与皮), 半分解层(颜色明显变黑, 叶片无完整外观轮廓, 多数凋落物已粉碎, 混合凋落物)和全分解层(被分解成碎屑, 叶肉已不能辨识原形, 混合凋落物)凋落物分类。将未分解层凋落物分为枝、叶、格氏栲皮、格氏栲果壳等 4 种, 每种 4 kg, 半分解与全分解层凋落物同样为 4 kg。受体植物种子选取龙岩漳平国有林场第二代杉木良种, 共 1 kg。

2.2 试验方法

2.2.1 浸提液制备

Inderjit 等^[13]提出在设置质量浓度梯度时, 需考虑凋落物与降雨量比例的问题。格氏栲天然林凋落物年现存量约 180 ~ 600 g/m², 天然林年平均降雨量 1 500 mm^[14], 换算得野外凋落物浸提液质量浓度最大约为 1:2.5 ~ 1:10。故将采集凋落物烘干、粉碎至 1 ~ 2 cm 大小, 按 1:5(1 g 干物质中加入 5 mL 蒸馏水)比例加入适量蒸馏水, 常温下浸泡 48 h, 用干净纱布过滤, 将滤液经真空泵抽滤, 得到 1:5 质量浓度浸提液并将其定为原液(浓度代号 C1)。考虑到野外实际情况中, 大部分凋落物处于干燥未被浸提的状态, 结合国内外相关研究方法^[7,15], 将原液稀释 2、6、10、20 倍, 配置成 1:10、1:30、1:50、1:100(质量浓度代号 C2、C3、C4、C5)4 种不同质量浓度的浸提液, 放入 4 °C 冰箱中备用。

2.2.2 种子萌发试验

选取大小均匀且颗粒饱满的杉木种子, 用蒸馏水冲洗数次后, 在有效质量分数为 0.5% 的 KMnO₄ 溶液中消毒 20 min, 冲洗 3 次后用蒸馏水浸泡 24 h,

晾干表面水分备用。发芽床由直径为 15 cm 定量滤纸和培养皿构成, 试验前培养皿用无水酒精擦拭消毒。取不同浸提液各 5 mL, 分别加入铺有双层滤纸的培养皿, 每个培养皿均匀放置 100 粒消毒后种子, 每个浓度 3 个重复, 加入等量蒸馏水的处理为对照(CK)。将培养皿放置于人工培养箱, 参照格氏栲天然林空气温湿度, 设置光周期 14 h, 25 °C, 暗周期 12 h, 20 °C, 相对湿度 75% ~ 80%, 光强 50 nmol/(cm²·s)^[10]。每天补充等量(1 ~ 5 mL)相应浓度浸提液使滤纸保持湿润。

2.3 测定方法

2.3.1 发芽指标和形态学指标测定

安置种子当天为第 1 天, 以后每天观察记录发芽种子数, 以胚根露出种皮 1 ~ 2 mm 为标准^[16], 连续 3 d 无种子萌发时, 结束发芽试验。计算发芽率、发芽势、发芽指数和化感效应指数。其中待安置种子第 9 天时, 从不同质量浓度培养皿中选取长势基本一致的种子各 20 粒, 分别于第 9、12、15、18 天测量其胚根长度并记录, 胚根生长试验于第 18 天结束。

发芽率 = (发芽的种子数 / 供试种子总数) × 100%; 发芽势 = 日平均发芽数达到最高那一天为止正常发芽的种子数 / 供试种子总数 × 100%; 发芽指数 = $\sum G_t / D_t$, 式中: D_t 为发芽日数, G_t 为与 D_t 相对应的每天发芽种子数, t 为相应天数^[17]。

化感指数 RI = 1 - C/T(当 $T \geq C$ 时), RI = T/C - 1(当 $T < C$ 时), 式中: C 为对照值, T 为处理值, RI < 0 表示抑制作用, RI > 0 表示促进作用, RI 绝对值大小与化感作用强度一致^[18]。

2.3.2 数据统计

用 Excel 2016 对数据进行基本处理与绘图, 用 SPSS 21.0 软件进行分析, 采用单因素方差分析、Duncan 检验分析不同处理之间差异, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 未分解层凋落物浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响

3.1.1 枝浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响

不同质量浓度枝浸提液对杉木种子萌发影响, 见表 1。随质量浓度降低, 发芽率表现为“升高-降低-升高”趋势, C3 浓度时最小, 较对照组减少 9.33%, 相应化感指数为 -0.23。发芽势和发芽指数均受抑制, 其中 C1 浓度浸提液显著抑制发芽势($P < 0.05$), 相比对照组减少 52.0%。质量浓度为 C3 时, 对发芽指数抑制作用最强, 与对照组有显著差异($P < 0.05$)。

表1 不同质量浓度枝浸提液对杉木种子发芽的影响

Tab. 1 Effects of different mass concentration branch extracts on seed germination of *Castanopsis kawakamii*

质量浓度 Mass concentration	发芽率 Germination rate/%	化感指数 Allelopathy index	发芽势 Germination potential/%	化感指数 Allelopathy index	发芽指数 Germination index	化感指数 Allelopathy index
C1 1:5	40.67 ± 5.51ab	0.01	12.33 ± 2.52c	-0.52	47.46 ± 6.84ab	-0.21
C2 1:10	42.50 ± 6.51a	0.05	22.67 ± 6.51a	-0.12	54.19 ± 11.94ab	-0.09
C3 1:30	31.00 ± 2.52b	-0.23	14.67 ± 2.52bc	-0.43	41.11 ± 6.45b	-0.31
C4 1:50	38.67 ± 3.21ab	-0.04	20.67 ± 3.21ab	-0.19	53.18 ± 5.56ab	-0.11
C5 1:100	38.67 ± 3.79ab	-0.04	19.67 ± 3.79ab	-0.23	52.26 ± 14.65ab	-0.13
对照 Control (CK)	40.33 ± 3.68ab	0	25.67 ± 3.68a	0	59.78 ± 6.74a	0

注:数值为“平均值 ± 标准误”,同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。Notes: data are “average value ± standard error”, different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

C4 和 C5 浓度下抑制作用较弱。

枝浸提液对杉木胚根生长的影响,见图 1a。第 18 天时, C5 浓度处理组促进杉木胚根生长,较对照组增加 7.4%; C4 和 C2 浓度处理组与对照组基本相同; C1 浓度作用下呈抑制作用,第 9、12、15 天时不显著,第 18 天时为显著抑制($P < 0.05$),较对照组减少 20.4%,可能是随时间增加,化感物质积累,对胚根影响增大。枝浸提液对杉木胚根生长的影响总体呈“低促高抑”规律, C1 浓度时抑制作用最强。

3.1.2 叶浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响

不同质量浓度叶浸提液对杉木种子萌发的影响,见表 2。随质量浓度降低,发芽率无明显规律,但 C5 浓度下为显著促进($P < 0.05$),与对照组比增加 30.5%,其化感指数为 0.30。发芽势和发芽指数则表现为高质量浓度抑制作用强,低质量浓度抑制作用减弱或促进作用,其中 C1 浓度时抑制作用最强,相应化感指数分别为-0.69 和-0.31,最不利于杉木种子萌发; C5 浓度时为不显著的促进作用,化感指数分别为 0.13 和 0.22。

叶浸提液对杉木胚根生长的影响,见图 1b。第 18 天时, C5 浓度作用下显著促进杉木胚根生长($P < 0.05$),其胚根长度较对照组增加 4.90 mm,其余质量浓度下呈显著抑制($P < 0.05$),且随质量浓度升高,

抑制作用增强,第 18 天时 C1 浓度处理组较对照组胚根长度减少 18.43 mm。即叶浸提液对杉木胚根影响最强, C1 浓度时最不利于杉木胚根生长。

3.1.3 皮浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响

不同质量浓度皮浸提液对杉木种子萌发的影响,见表 3。C2 和 C3 浓度时抑制发芽率,其余质量浓度下为促进作用,发芽率大小为 $C4 > C1 > C5 > CK > C2 > C3$ 。从发芽势与发芽指数来看,低质量浓度时作用不显著,高质量浓度时呈显著抑制($P < 0.05$),质量浓度为 C3 时抑制作用最强,相比于对照组分别减少 9.34% 和 14.44%。可见,皮浸提液 C3 浓度时最不利于杉木种子萌发。

皮浸提液对杉木胚根生长的影响,总体符合“低促高抑”规律,见图 1c。质量浓度为 C4 和 C5 时,对胚根生长呈促进作用; C4 浓度处理组促进作用最大,第 18 天时相较于对照组增加 4.18 mm;其余质量浓度均呈抑制作用, C1 浓度作用下为显著抑制($P < 0.05$),第 18 天时相较于对照组减少 7.38 mm。胚根生长末期,呈 $C4 > C5 > CK > C3 > C2 > C1$ 规律。

3.1.4 壳浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响

不同质量浓度壳浸提液对杉木种子萌发无显著影响,见表 4。质量浓度为 C3 和 C5 时,杉木种子发芽率较对照组分别增加 4.34% 和 2.34%。从发芽势

表2 不同质量浓度叶浸提液对杉木种子发芽的影响

Tab. 2 Effects of different mass concentration leaf extracts on seed germination of *C. laceolata*

质量浓度 Mass concentration	发芽率 Germination rate/%	化感指数 Allelopathy index	发芽势 Germination potential/%	化感指数 Allelopathy index	发芽指数 Germination index	化感指数 Allelopathy index
C1	38.67 ± 1.53c	-0.04	8.00 ± 1.73c	-0.69	41.51 ± 4.20b	-0.31
C2	49.00 ± 7.81b	0.18	17.00 ± 4.00b	-0.34	54.61 ± 0.90ab	-0.09
C3	39.67 ± 1.53c	-0.02	17.67 ± 2.52b	-0.31	53.16 ± 5.40ab	-0.11
C4	36.67 ± 4.04c	-0.09	18.33 ± 2.52b	-0.29	52.55 ± 5.60ab	-0.12
C5	58.00 ± 4.58a	0.30	29.67 ± 2.31a	0.13	76.24 ± 5.23a	0.22
CK	40.33 ± 3.86c	0	25.67 ± 3.68a	0	59.78 ± 6.48ab	0

表 3 不同质量浓度皮浸提液对杉木种子发芽的影响

Tab. 3 Effects of different mass concentration bark extracts on seed germination of *C. laceolata*

质量浓度 Mass concentration	发芽率 Germination rate/%	化感指数 Allelopathy index	发芽势 Germination potential/%	化感指数 Allelopathy index	发芽指数 Germination index	化感指数 Allelopathy index
C1	41.67 ± 3.06ab	0.03	17.00 ± 4.35c	- 0.34	50.06 ± 3.69b	- 0.16
C2	37.00 ± 7.21b	- 0.08	18.33 ± 3.51bc	- 0.29	49.35 ± 4.13b	- 0.17
C3	36.67 ± 2.31b	- 0.09	16.33 ± 0.58c	- 0.36	45.34 ± 3.53b	- 0.24
C4	47.00 ± 1.73a	0.14	23.00 ± 2.65abc	- 0.10	63.58 ± 0.57a	0.06
C5	40.67 ± 5.51ab	0.01	20.33 ± 2.31ab	- 0.21	58.89 ± 0.99a	- 0.01
CK	40.33 ± 3.86ab	0	25.67 ± 3.68a	0	59.78 ± 6.48a	0

表 4 不同质量浓度壳浸提液对杉木种子发芽的影响

Tab. 4 Effects of different mass concentration nutshell extracts on seed germination of *C. laceolata*

质量浓度 Mass concentration	发芽率 Germination rate/%	化感指数 Allelopathy index	发芽势 Germination potential/%	化感指数 Allelopathy index	发芽指数 Germination index	化感指数 Allelopathy index
C1	40.00 ± 4.36a	- 0.01	12.67 ± 2.89c	- 0.51	42.34 ± 3.77c	- 0.29
C2	40.50 ± 0.50a	0.00	21.67 ± 3.51ab	- 0.16	56.67 ± 3.36ab	- 0.05
C3	44.67 ± 4.93a	0.10	25.33 ± 5.68a	- 0.01	66.25 ± 1.14a	0.10
C4	39.67 ± 5.51a	- 0.02	21.33 ± 0.58ab	- 0.17	54.46 ± 5.67b	- 0.09
C5	42.67 ± 7.37a	0.05	20.00 ± 1.41ab	- 0.22	51.06 ± 8.67bc	- 0.15
CK	40.33 ± 3.85a	0	25.67 ± 3.68a	0	59.78 ± 6.48ab	0

和发芽指数来看总体为抑制作用, 其中 C1 浓度作用下为显著抑制 ($P < 0.05$), 比对照组减少 50.64% 和 29.17%, 相应化感指数分别为 - 0.51 和 - 0.29。可见, 壳浸提液 C1 浓度时最不利于杉木种子萌发。

壳浸提液对杉木胚根生长的影响, 见图 1d。总体上也符合“低促高抑”规律。C3 和 C4 时对杉木胚根生长呈促进作用, 但不显著, 第 18 天时, 相较于对照组分别增加 1.71 和 1.33 mm。质量浓度为 C1 和 C2 时, 对其胚根生长呈显著抑制作用 ($P < 0.05$), C1 浓度下抑制作用最强, 第 18 天时, 比对照组小 11.83 mm。胚根生长末期, 呈 C3 > C4 > CK > C5 > C2 > C1 规律。

3.2 半分解层凋落物浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响

不同质量浓度半分解层浸提液对杉木种子萌发

的影响, 见表 5。由发芽率来看, C1、C3 和 C4 浓度为促进作用, C4 浓度促进最显著, 相比于对照增加 9.67%。各质量浓度处理下抑制杉木种子发芽势和发芽指数, 且对发芽势抑制作用 C5 > C2 > C4 > C1 > C3, 对发芽指数抑制作用 C5 > C2 > C3 > C1 > C4。C5 浓度下对杉木发芽势与发芽指数的抑制作用最强, 分别相对于对照组小 40.28% 和 33.60%, 相应化感指数为 - 0.40 和 - 0.34。

半分解层浸提液对杉木胚根生长的影响, 见图 1e。整体上, 除 C2 浓度外, 各处理组均促进了杉木胚根生长, 且无显著差异。随着质量浓度降低, 胚根长度呈现 C3 > C4 > C5 > C1 > CK > C2 的趋势, C3 浓度组胚根长度在第 18 天时与对照组相比增加 3.89 mm。可见, 半分解层凋落物浸提液 C3 浓度时较有利于杉木胚根生长。

表 5 不同质量浓度半分解层浸提液对杉木种子发芽的影响

Tab. 5 Effects of different mass concentration extracts from semi-decomposed layer on seed germination of *C. laceolata*

质量浓度 Mass concentration	发芽率 Germination rate/%	化感指数 Allelopathy index	发芽势 Germination potential/%	化感指数 Allelopathy index	发芽指数 Germination index	化感指数 Allelopathy index
C1	44.50 ± 1.50ab	0.09	19.33 ± 3.21b	- 0.25	57.78 ± 0.42a	- 0.03
C2	32.33 ± 2.52b	- 0.20	16.00 ± 2.00b	- 0.38	44.73 ± 6.89bc	- 0.25
C3	45.00 ± 9.85ab	0.10	19.67 ± 5.51b	- 0.23	49.80 ± 4.26ab	- 0.17
C4	50.00 ± 1.00a	0.19	18.00 ± 2.00b	- 0.30	58.58 ± 0.65a	- 0.02
C5	26.50 ± 0.50c	- 0.34	15.33 ± 3.06b	- 0.40	39.69 ± 8.57c	- 0.34
CK	40.33 ± 3.86ab	0	25.67 ± 3.68a	0	59.78 ± 6.48a	0

3.3 全分解层凋落物浸提液对杉木种子萌发与胚根生长的影响

不同质量浓度全分解层浸提液对杉木种子萌发的影响,见表6。各质量浓度浸提液对杉木种子萌发指数均呈抑制作用,从发芽势和发芽指数来看为显著抑制($P < 0.05$)。其中,质量浓度为C4时抑制作

用最强,各指数分别较对照组减小30.57%、57.15%、44.55%;C1浓度抑制最弱,各指数分别较对照组减小14.03%、25.98%、18.65%。可见,凋落物在分解完成后,在较低质量浓度浸提液作用下对杉木种子萌发抑制更强。

表6 不同质量浓度全分解层浸提液对杉木种子发芽的影响

Tab. 6 Effects of different mass concentration extracts from fully decomposed layer on seed germination of *C. laceolata*

质量浓度 Mass concentration	发芽率 Germination rate/%	化感指数 Allelopathy index	发芽势 Germination potential/%	化感指数 Allelopathy index	发芽指数 Germination index	化感指数 Allelopathy index
C1	34.67 ± 2.52ab	-0.14	19.00 ± 2.65b	-0.26	48.63 ± 3.61b	-0.19
C2	36.33 ± 0.58b	-0.10	13.00 ± 4.36c	-0.49	40.35 ± 6.19bc	-0.33
C3	29.00 ± 3.00b	-0.28	13.67 ± 1.53bc	-0.47	36.52 ± 1.79c	-0.39
C4	28.00 ± 10.58ab	-0.31	11.00 ± 2.65c	-0.57	33.15 ± 10.24c	-0.45
C5	32.00 ± 4.00ab	-0.21	14.00 ± 3.46bc	-0.45	41.28 ± 4.36bc	-0.31
CK	40.33 ± 3.86ab	0	25.67 ± 3.68a	0	59.78 ± 6.48a	0

全分解层浸提液对杉木胚根生长的影响,见图1f。随质量浓度增加,胚根长度呈现先降低后增加又降低趋势。C1和C4浓度时促进杉木胚根生长,第18天时与对照组相比分别增加2.20和1.28 mm,其余质量浓度作用下为抑制作用,其中C3浓度抑制作用最明显,且随作用时间增加,抑制作用增强,呈显著抑制($P < 0.05$),比对照组小7.38 mm。第18天时,胚根长度C1 > C4 > CK > C2 > C5 > C3。

4 讨 论

格氏栲天然林未分解层凋落物浸提液在高质量浓度时,抑制杉木种子萌发,低质量浓度时,呈促进或者较弱抑制作用;对杉木胚根生长的影响呈“低促高抑”规律,高质量浓度时为显著抑制($P < 0.05$)。不同器官中,叶浸提液较其他处理对杉木种子的化感作用显著,其质量浓度为1:5时,对杉木种子发芽势、发芽指数、胚根生长都表现为显著抑制($P < 0.05$);1:100质量浓度时显著促进胚根生长($P < 0.05$)。主要由于叶是植物进行光合作用及呼吸作用的重要器官,光合作用合成各类有机物质首先储存于叶,即凋落物叶中化感物质含量高,表现出强化感作用^[6]。随质量浓度增加,杉木种子萌发与胚根生长所受抑制作用增大,主要原因是化感物质过多时会影响植物对水分的吸收^[19],含化感物质较多的高质量浓度浸提液,抑制了杉木种子对水分的吸收,进而抑制萌发。同时化感物质中可能含有一些抑制性生物碱,当质量浓度过高时,有害物质积累多,影响受体细胞分裂和伸长,导致细胞排列紊乱,细胞器被破坏^[20],抑制杉木生长,与陈立新等^[21]关于高浓度凋落

物叶和土壤浸提液对红松(*Pinus koraiensis*)种子萌发与胚根生长呈抑制作用一致。低浓度作用下,植物胚根抗氧化酶SOD、POD、CAT的活性处于高活跃状态,能及时清除掉细胞内的 O_2^- ,减轻植物受到自由基伤害,抑制MDA积累,保持和修复细胞膜,保证根尖分生区细胞分裂速度^[22-23],促进杉木胚根生长,与Muturi等^[3]认为低浓度智利牧豆树(*Prosopis chilensis*)凋落物促进相思树(*Acacia tortilis*)生长一致。

半分解层和全分解层凋落物浸提液在低质量浓度时对杉木种子萌发呈抑制作用,随质量浓度变化,对胚根生长影响无明显规律。可能由于半、全分解层为林内所有植物器官混合浸提液,含多种营养物质与有害物质,在低质量浓度时有害物质被种子吸收,导致萌发受到抑制,与刘忠玲等^[24]认为低浓度落叶松(*Larix olgensis*)叶和皮浸提液对白桦(*Betula platyphylla*)种子萌发抑制作用较强结论一致。另外,化感物质毒性取决于它们的生物活性^[25],半、全分解层凋落物与土壤接触时间长,受土壤中微生物等作用影响大,导致其化感物质活性降低^[26],对杉木胚根生长影响不显著。未、半、全分解层凋落物浸提液对杉木种子胚根生长的影响大于对种子萌发的影响,可能是化感作用存在滞后效应,种子胚根直接接触浸提液,受影响时间长,有更多化感物质积累,使促进或抑制作用更明显。

负密度制约效应指出同种或亲缘关系较近的物种由于竞争相似资源、化感作用、病虫害传播等导致相互损害,为其他物种提供生存空间和资源,提高群落生物多样性^[27]。王哲等^[12]的研究表明,格氏栲天

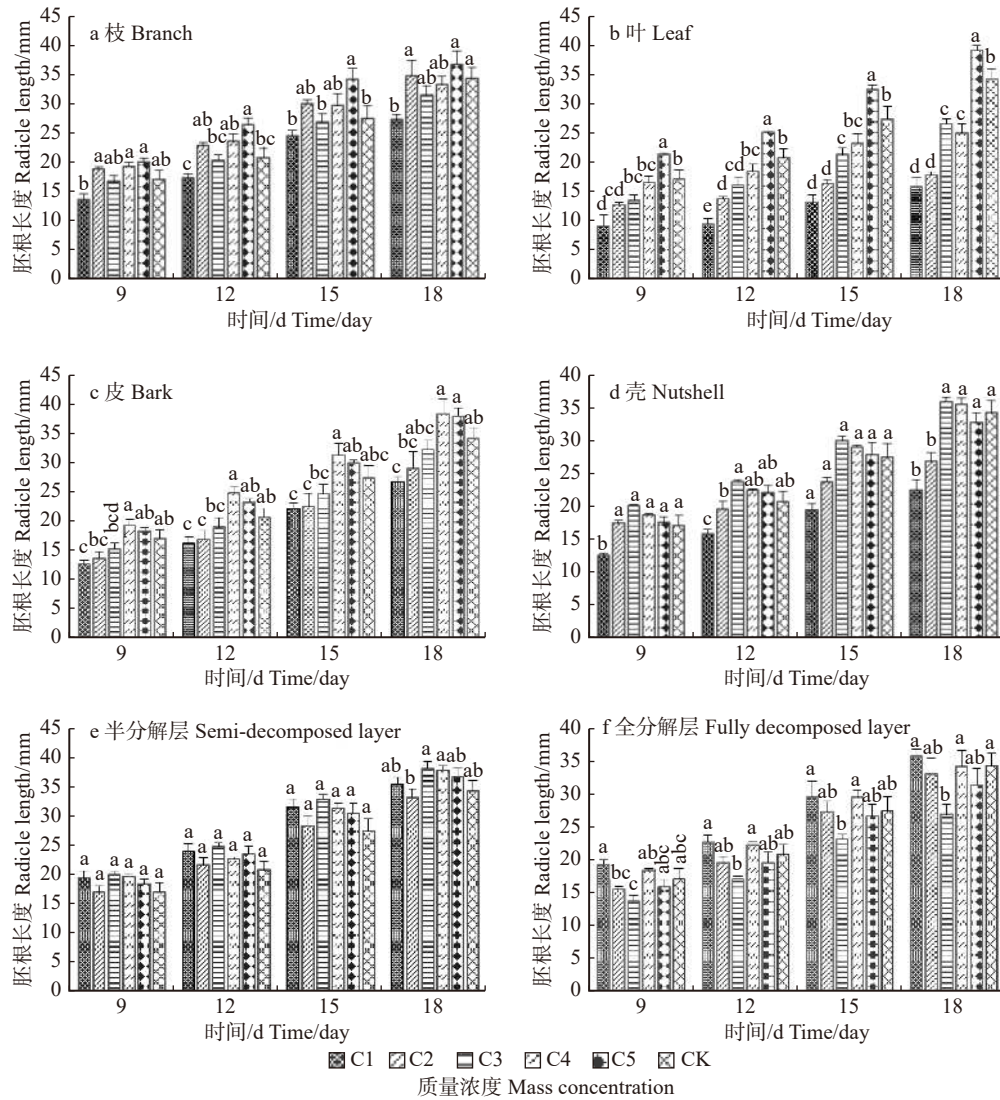


图1 不同凋落物浸提液对杉木胚根生长影响

Fig. 1 Effects of different litter extracts on radicle growth of *C. laccolata*

然林凋落物枝、叶、皮、壳在 1:5 和 1:10 质量浓度时显著抑制格氏栲种子萌发 ($P < 0.05$)。1:5 质量浓度枝浸提液作用下格氏栲胚根长度与对照组基本相同, 1:5 质量浓度叶浸提液和 1:40 壳浸提液促进其生长, 其余处理下都为抑制作用, 其中皮浸提液抑制最强, 格氏栲可能受到负密度效应制约, 为杉木等伴生种提供了生存空间。野外凋落物多处于干燥未被浸提状态, 质量浓度较低, 而低质量浓度凋落物浸提液促进杉木种子萌发与胚根生长, 保证杉木幼苗在群落中数量, 使格氏栲在自然更新过程中处于劣势。此外, 化感作用影响机制复杂, 对植物幼苗生长也可能产生重要影响^[28], 改变种群定殖与更新。可见, 有必要进一步深入探讨格氏栲与伴生种幼苗生长对凋落物浸提液的响应, 分析凋落物化感作用机理。

5 结 论

未分解层凋落物浸提液对杉木种子发芽率在低

质量浓度时呈促进作用, 高质量浓度时呈促进或轻微的抑制, 对发芽势与发芽指数均为抑制作用。半、全分解层对杉木种子萌发各指数均呈抑制作用。未分解层对杉木胚根生长影响呈“低促高抑”的双重质量浓度效应, 且在高质量浓度作用下为显著抑制 ($P < 0.05$)。半分解层各质量浓度浸提液促进杉木胚根生长, 但不显著。全分解层 1:30 质量浓度时抑制胚根生长, 其余质量浓度促进或与对照组基本相同。格氏栲天然林低质量浓度凋落物浸提液对杉木种子萌发总体呈促进或轻微抑制作用, 对胚根生长为促进作用, 即促进杉木的更新, 使林内种间加剧, 间接导致格氏栲自然更新受抑。

参 考 文 献

- [1] Aliskan I K, Terzi I. Allelopathic effects of walnut leaf extracts and juglone on seed germination and seedling growth[J]. Journal of Pomology & Horticultural Science, 2015, 76(4): 436-440.
- [2] Inderjit, Seastedt T R, Callaway R M, et al. Allelopathy and plant

- invasions: traditional, congeneric, and bio-geographical approaches[J]. *Biological Invasions*, 2008, 10(6): 875–890.
- [3] Muturi G M, Lourens P, Pauline B, et al. Unleached prosopis litter inhibits germination but leached stimulates seedling growth of dry woodland species[J]. *Journal of Arid Environments*, 2017, 138: 44–50.
- [4] Shannon-Firestone S, Firestone J. Allelopathic potential of invasive species is determined by plant and soil community context[J]. *Plant Ecology*, 2015, 216(3): 491–502.
- [5] Chu C J, Mortimer P E, Wang H C, et al. Allelopathic effects of *Eucalyptus* on native and introduced tree species[J]. *Forest Ecology and Management*, 2014, 323: 79–84.
- [6] 王杰, 张超, 刘国彬, 等. 黄土丘陵区退耕还草植被恢复阶段优势种铁杆蒿的化感效应[J]. *生态学报*, 2018, 38(19): 6857–6869.
- Wang J, Zhang C, Liu G B, et al. The allelopathic effect of dominant population, *Artemisia sacrorum*, during the stage of “Grain for Green” vegetation restoration in the hilly-gully region of the Loess Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(19): 6857–6869.
- [7] 陈娟, 白尚斌, 周国模, 等. 毛竹浸提液对苦槠幼苗生长的化感效应[J]. *生态学报*, 2014, 34(16): 4499–4507.
- Chen J, Bai S B, Zhou G M, et al. Allelopathic effects of *Phyllostachys edulis* extracts on *Castanopsis sclerophylla*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(16): 4499–4507.
- [8] 刘金福, 何中声, 洪伟, 等. 濒危植物格氏栲保护生态学研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2011, 33(5): 136–143.
- Liu J F, He Z S, Hong W, et al. Conservation ecology of endangered plant *Castanopsis kawakamii*[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2011, 33(5): 136–143.
- [9] 冯雪萍, 刘金福, Supaporn B J, et al. 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[J]. *植物资源与环境学报*, 2017, 26(4): 18–24.
- Feng X P, Liu J F, Supaporn B J, et al. Ecological stoichiometric characteristics of litter-soil in gap of *Castanopsis kawakamii* natural forest in Sanming of Fujian[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2017, 26(4): 18–24.
- [10] He Z S, Wang L J, Jiang L, et al. Effect of microenvironment on species distribution patterns in the regeneration layer of forest gaps and non-gaps in a subtropical natural forest, China[J]. *Forests*, 2019, 10(2): 90.
- [11] 杨玉盛, 林鹏, 郭剑芬, 等. 格氏栲天然林与人工林凋落物数量、养分归还及凋落叶分解[J]. *生态学报*, 2003, 23(7): 1278–1289.
- Yang Y S, Lin P, Guo J F, et al. Litter production, nutrient return and leaf-litter decomposition in natural and monoculture plantation forests of *Castanopsis kawakamii* in subtropical China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7): 1278–1289.
- [12] 王哲, 蓝亦琦, 何中声, 等. 凋落物浸提液对格氏栲种子萌发与胚根生长影响的研究[J]. *福建农林大学学报*, 2020, 49(1): 51–58.
- Wang Z, Lan Y Q, He Z S, et al. Effects of *Castanopsis kawakamii* forest litter extract on its seed germination and radicle growth[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forest University*, 2020, 49(1): 51–58.
- [13] Inderjit, Nilson E T. Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and Problems[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2003, 22(3): 221–238.
- [14] 刘艳会, 刘金福, 马瑞丰, 等. 格氏栲天然林3种群落类型凋落物的持水性[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(24): 258–261.
- Liu Y H, Liu J F, Ma R F, et al. Water capacity characteristics of litter in three community types of *Castanopsis kawakamii*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(24): 258–261.
- [15] Sakadzo N, Innocent P, Simbarashe M, et al. Thorn apple (*Datura stramonium* L.) allelopathy on cowpeas (*Vigna unguiculata* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) in Zimbabwe[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2018, 13(29): 1460–1467.
- [16] 魏玉兰, 毛美琴, 赵燕, 等. 滇重楼种子水浸液对三种植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *植物科学学报*, 2018, 36(1): 94–102.
- Wei Y L, Mao M Q, Zhao Y, et al. Effects of aqueous extracts from *Paris polyphylla* seeds on seed germination and seedling growth of three kinds of plants[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(1): 94–102.
- [17] Qudus M S, Bellairs S M, Wurm P A S. *Acacia holosericea* (Fabaceae) litter has allelopathic and physical effects on mission grass (*Cenchrus pedicellatus* and *C. polystachios*) (Poaceae) seedling establishment[J]. *Australian Journal of Botany*, 2014, 62(3): 189–195.
- [18] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181–187.
- [19] Oyun M B. Allelopathic potentialities of *Gliricidia sepium* and *Acacia auriculiformis* on the germination and seedling vigour of maize (*Zea mays* L.)[J]. *American Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2006, 1(3): 44–47.
- [20] Mahdaviakia F, Saharkhiz M J, Karami A. Defensive response of radish seedlings to the oxidative stress arising from phenolic compounds in the extract of peppermint (*Mentha×piperita* L.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 214: 133–140.
- [21] 陈立新, 李少博, 乔璐, 等. 凋落物叶和土壤浸提液对红松种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2016, 40(2): 81–87.
- Chen L X, Li S B, Qiao L, et al. Influence of leaf litter and soil leaching liquor on seed germination and seedling growth of *Pinus korainensis*[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2016, 40(2): 81–87.
- [22] Bogatek R, Gniazdowska A. ROS and phytohormons in plant-plant allelopathic interaction[J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2007, 2(4): 317–318.
- [23] 黄建贝, 胡庭兴, 吴张磊, 等. 核桃凋落叶分解对小麦生长及生理特性的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(23): 6855–6863.
- Huang J B, Hu T X, Wu Z L, et al. Effects of decomposing leaf litter of *Juglans regia* on growth and physiological characteristics of *Triticum aestivum*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(23):

- 6855-6863.
- [24] 刘忠玲, 王庆成, 郝龙飞. 白桦、落叶松不同器官水浸液对种子萌发和播种苗生长的种间化感作用[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3138-3144.
- Liu Z L, Wang Q C, Hao L F. Interspecific allelopathic effect of different organs' aqueous extracts of *Betula platyphylla* and *Larix olgensis* on their seed germination and seedling growth[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(12): 3138-3144.
- [25] Zhang X, Cui Q X, Zhao Y, et al. Allelopathic potential of *Koeleria bipinnata* var. *integrifoliola* on germination of three turf grasses[J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2018, 65(6): 833-841.
- [26] Araniti F, Gulli T, Marrelli M, et al. *Artemisia arborescens* L. leaf litter: phytotoxic activity and phytochemical characterization [J/OL]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2016, 38: 128 (2016-04-19)[2018-10-21]. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2141-7>.
- [27] 祝燕, 米湘成, 马克平. 植物群落物种共存机制: 负密度制约假说[J]. *生物多样性*, 2009, 17(6): 594-604.
- Zhu Y, Mi X C, Ma K P. A mechanism of plant species coexistence: the negative density-dependent hypothesis[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 594-604.
- [28] Lyytinen A, Lindström L. Responses of a native plant species from invaded and uninvaded areas to allelopathic effects of an invader[J]. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(10): 6116-6123.

(责任编辑 赵 勃
责任编辑委 李景文)