

凋落物浸提液对高山松种子萌发和幼苗生长的影响²

张萌^{1,2,3}, 张 铎^{1,2,3}, 卢 杰^{1,2,3*}, 姚慧芳^{1, 2, 3}

(1. 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 青藏高原森林生态教育部重点实验室, 西藏 林芝 860000; 3. 西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 西藏 林芝 860000)

摘 要:【目的】为深入了解凋落物浸提液对高山松种子发芽及幼苗生长的影响, 以及高山松种子的质量状况。【对象】选取比日神山、林芝镇林芝桥、东久乡东久桥、卡定沟、丹娘乡五个样地内的高山松林作为研究对象, 【方法】在野外采集样品、带回实验室进行试验、得出数据利用 SPSS 和 Excel 软件进行分析, 探讨凋落物浸取液对高山松种子萌发和幼苗生长的影响。【结果】(1) 各样点间不同凋落物浓度的发芽率均存在显著差异 ($P<0.05$), 其中所有对照组中 DD 样点的萌发率最大高达 94.67%, 其次为 LL 样点萌发率达到 93.00%, 最小的为 BK 样点的萌发率 (71.00%)。(2) BK 样点种子在 5%浓度处理下的各发芽指标增加最多, 均表现为 $RI>0.2$, 且发芽势、发芽指数的化感作用响应指数达到 0.3~0.5 之间, 说明此处理下对 BK 样点种子的萌发具有中等强度的促进作用, 同时随着浓度的增大发芽指数有减小的趋势。(3) BB 样点种子在浸提液处理下发芽率表现为存在微弱的抑制作用 ($RI=0.2$), 随着浓度的增大, 抑制作用出现变强的趋势但不明显, 在 20%处理下抑制强度达到最大; DZ 种子各萌发指标在处理下同样表现为轻微抑制的作用, 与 BB 不同的是 DZ 样点种子在 15%下才开始出现抑制现象, 在 25%处理下抑制强度达到最大且还有上升趋势; LL 样点种子表现出来的结果与前者不同, 在 5%浓度处理下各发芽指数的抑制效果达到最大 ($RI=-0.32$), 抑制作用达到中等程度, 且随着浓度增大抑制效果逐渐降低, 在 25%浓度处理下转变为轻微的促进作用。【结论】总体上根长、茎长、针叶长表现出化感抑制的趋势, 随着浸提液浓度的上升而下降, 但是样点不同的种子以及种子的各个器官对浸提液的反应是不一样的, 根长反应最大, 其次是径长, 针叶长随水浸液浓度变化较小。

关键词: 凋落物; 高山松林; 幼苗生长; 化感作用; 种子萌发

中图分类号 S792.99

文献标识码: A

Effects of Litter Extract on Seed Germination and Seedling Growth of *Pinus alpine*

ZHANG Meng^{1,2,3}, ZHANG Duo^{1,2,3}, LU Jie^{1,2,3*}, YAO Hui-Fang^{1,2,3}

(1. Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agricultural & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000, China; 2. Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau(Tibet Agricultural & Animal Husbandry University),Ministry of Education, Nyingchi, Tibet 860000, China; 3. Linzhi National Forest Ecosystem Observation & Research Station of Tibet, Nyingchi, Tibet 860000, China)

Abstract: 【Objective】 To further understand the effects of litter extract on seed germination and seedling growth of *Pinus korshinskii*, and the quality of *Pinus korshinskii* seeds. 【object】 than day mountain, nyingchi nyingchi bridge town, township east east long long bridge, card set groove, DanNian township five mountain pine forests within the sample area as the research object, 【method】 in the wild samples, back to the lab for test, it is concluded that the data using SPSS and Excel software were analyzed, and explore the litter leaching liquid of sikang pine seed germination and seedling growth. 【Results】(1) There were significant differences in the germination rate of different litter concentrations among different points ($P<0.05$). In all the control groups, the

基金项目: 科技部国家野外科学观测站(生态系统)运行补助项目(2015-2020); 青藏高原森林生态教育部重点实验室研究生创新计划项目(XZA-JYBSYS-2021-Y11)。

germination rate of DD sample was as high as 94.67%, followed by that of LL sample was 93.00%, and that of BK sample was the lowest (71.00%). (2) BK sample seeds in 5% concentration under the processing of the germination index increased the most, are characterized by $RI > 0.2$, the allelopathy of germination potential, germination index and response index between 0.3 ~ 0.5, shows that this processing of BK sample seed germination under a moderate role in promoting, at the same time germination index has a tendency to decrease with the increase of concentration. (3) There was a weak inhibition effect ($RI=0.2$) on the germination rate of seeds from BB sample sites under the treatment of extraction solution. With the increase of concentration, the inhibition tended to be stronger but not obvious, and the inhibition intensity reached the maximum under 20% treatment. The germination indexes of DZ seeds also showed slight inhibition under the treatment. Different from BB, the inhibition of seeds in DZ sample spots only began at 15%, and the inhibition intensity reached the maximum at 25% treatment and showed an upward trend. The results of LL sample seeds were different from the former. The inhibition effect of each germination index reached the maximum ($RI=-0.32$) under the treatment of 5% concentration, and the inhibition effect reached a medium degree, and the inhibition effect gradually decreased with the increase of the concentration, and changed to a slight promotion effect under the treatment of 25% concentration. 【Conclusion】 In general, root length, stem length and needle length showed a tendency of allelopathic inhibition, and decreased with the increase of the concentration of aqueous extract. However, the responses of different seeds and various organs of seeds to the extract were different. The root length had the largest response, followed by diameter length, and needle length had little change with the concentration of aqueous extract.

Key words: Litter; Alpine forest; Seedling growth; Allelopathy; Seed germination

森林凋落物也被叫做死地被物或枯落物，它主要是由森林中枯死的树叶、枝条、树皮、枯萎的植物生殖器官以及植物的根系等组成(Loranger G 等, 2002)。森林凋落物一直是森林天然更新问题中主要的影响因素之一，为森林植物生长提供了大量的土壤有机质，对森林天然更新、水分保持、土壤有机质含量、地表径流、林下小气候等均有重要影响(张珊珊等, 2016)。天然更新在森林建群种更新中最基本也是最重要的更新方式，在森林天然更新中，建群种种子数量的多少、种子萌发条件的优劣、是否利于幼苗幼树生长的环境都是森林成功更新的必备条件(彭闪江等, 2004)，森林天然更新对森林资源的可持续发展与森林演替起关键作用，其作用机理主要分为三个阶段：首先是未失活的乔木种子在生境中萌发、其次是逐渐成长为幼苗、最后完成定居的过程。森林中建群种种子的成活率决定了森林是否具有自我更新的功能，而种子的成活率主要受林下地被物影响且依赖于温度、湿度等自然条件(羊留冬等, 2010)。长期以来有关凋落物影响植被更新的研究较少，大部分关于凋落物的研究都集中在分解速率、养分循环和持水特性上(常雅军等, 2011)。我国关于对凋落物的研究开始于上个世纪 60 年代，其中最早关于凋落物对种子萌发和幼苗生长的影响的研究以陶大立等人(陶大立等, 1985)为代表。进入 21 世纪以后，对森林凋落物的研究也主要集中分解和数量上。王贺新等人(王贺新等, 2008)从生物、化学、物理等因子角度综述了凋落物层对森林更新产生的影响。于恩娜等人(于恩娜等, 2009)也对凋落物对森林更新产生的影响做出了评述。陈立新(陈立新等, 2016)等人发现：高浓度的浸提液对各林型红松林具有抑制作用，当浓度降低时，抑制作用会相应减弱甚至消失，这一研究结果与周艳等人一致(周艳等, 2015)。目前，关于西藏森林凋落物对种子萌发与幼苗生长影响的研究较少，关于凋落物量及其组成(胡灵芝等, 2011；彭国全等, 2011)、季节动态(Kamruzzaman M 等, 2012)、分解(蒲嘉霖等, 2019)、营养元素计量(周如琼等, 2011)等方面的研究较多一点。

在西藏关于高山松(*Pinus densata*)的研究主要涉及种群分布(沈志强等, 2016)、动态特征(卢杰等, 2013)、天然更新(陈端, 1991)、松脂分析(范自强等, 1994)等方面，关于凋落物浸提液对高山松种子萌发和幼苗生长的研究却罕见报道。通过研究凋落物浸提液对高山松种子发芽影响，可以深入了解凋落物对高山松种子发芽及生长的一些影响，也可以深入了解不同土壤状况对高山松种子萌发和幼苗生长的一个影响，还可以检测种子的质量情况。试验结果对于高山松林的管理和发展具有很大的生态意义和经济价值，促进可持续发展(Nutto L 等, 2006)。

1 研究区概况

研究区位于色季拉山，地处青藏高原东南部，南迦巴瓦峰西侧，是帕隆藏布江流域与尼洋河流域的分水岭(史元春等, 2015)。该区域的植被种类丰富，优势树种主要有急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *smithii*)、

方枝柏(*Sabina saltuaria*)、川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*)、林芝云杉(*Picea likiangensis* var. *linzhiensis*)与杜鹃属(*Rhododendron*)等针叶林和硬叶阔叶林(万志兵等, 2017)。该地区干湿季节明显, 年均温在 0℃以下, 7 月温度最高为 9.8℃, 1 月温度最低为-13.8 ℃(卢妮妮等, 2015), 平均年降水量在 1134 mm 上下, 平均年蒸发量是 544 mm 上下(周风艳等, 2017), 每年的 6~9 月是雨季, 这个期间降水约占全年的 80%(张德怀等, 2013; 陈甲瑞等, 2018)。色季拉山最高海拔为 5300 m, 呈西南和东北走向, 俗称的西坡即西南坡, 东坡即东北坡(Warton D I 等, 2006)。同时, 色季拉山正对雅鲁藏布江水汽通道, 气候主要受印度季风(6~9 月)和西风交互影响(李钰等, 2013), 垂直地带性明显(耿华珠, 1995; 王林等, 2013)。

2. 研究方法

2.1 野外取样

样品的采集包括高山松种子的采集和凋落物的收集。采集种子时间是在高山松种子基本成熟且球果尚未打开之前, 时间大约在每年的 10 月末至 11 月初, 每个地点选择 20 株母树, 每株母树上取 10~15 个成熟、健康的球果。采集地点选择在有较大面积高山松林的地区(表 1), 主要有比日神山、林芝镇林芝桥、东久乡东久桥、巴宜区卡定沟、丹娘乡等, 样品收集完毕后带回实验室处理备用。

表 1 样点的基本情况

采集地	经纬度	海拔 (m)	坡位	坡 向	坡 度	平均胸径 (cm)	平均高度 (m)	郁闭 度	草灌盖度
林芝镇林芝桥(LL)	29o34'40"N 94o30'35"E	3200	180o	南	15o	32.2	15	0.60	0.45
东久大桥(DD)	29o56'53"N 94o47'43"E	2600	30o	东	5o	22.3	9	0.75	0.70
巴宜区卡定沟(BK)	29o45'19"N 94o13'57"E	3100	164o	南	10o	35.1	13	0.65	0.50
丹娘乡中心小学 (DZ)	29o26'37"N 94o43'22"E	2900	300o	南	5o	20.7	10	0.50	0.55
巴宜区比日神山 (BB)	29o34'17"N 94o22'25"E	3000	180o	南	20o	37.4	19	0.70	0.60

凋落物的采集工作设置在高山松树冠阴影面积内, 将凋落物的腐烂等级分为三类, 分别为表层未分解层、中层半分解层及底层腐烂层, 按照这三个划分标准分别收集凋落物, 采集好后装入自封袋内做好标记。其中, 要特别注意区分三个层次, 尤其是半分解层, 是指凋落物大多没有完整的外部轮廓, 成为粉末状, 颜色为褐色。

2.2 室内实验

2.2.1 凋落物收集与水浸液配置

从信封中取出备用的高山松林下凋落物, 称取凋落物(枝、叶、果三者均匀混合) 80 g, 再将凋落物磨碎之后放进广口瓶, 加入 1 L 的蒸馏水摇晃均匀, 放在暗处, 在室温下置浸提 48 h, 在这期间需要间歇的摇匀震荡, 48 h 之后用 4 层纱布过滤凋落物, 得 80g·L⁻¹ 浸提液, 试验设置 6 个梯度 0 (对照), 5, 10, 15, 20, 25 g·L⁻¹, 每个梯度 3 次重复, 每次试验 30 粒种子。

2.2.2 种子置床与发芽

选取 5 个样点中均匀饱满大小一致的高山松种子, 浸泡 24 h 后取出, 再对种子表面进行消毒处理, 浸泡在 0.3%KMnO₄ 溶液中 5 min, 用蒸馏水将消毒后的种子清洗干净, 浸提液的消毒杀菌用小型细菌滤器过

滤，选取 30 粒种子放入培养皿里，要注意均匀放置，培养皿的大小为直径 9 cm，需要用 4 mL 水浸液打湿垫的两层滤纸，与蒸馏水进行对照试验，做 3 次重复试验，在人工气候箱中培养种子，温度为 25℃，光照为 8 h，每隔 24 h 浇一次水，并计数已经萌发的种子数量。

以种子放入人工气候箱的当天为第一天，观察种子的发芽情况，其中发芽标准设置为以种子的胚根长出种皮 1 cm 及以上为准，如果连续 7 d 种子无发芽情况则视为发芽试验结束。然后从每个培养皿中选取三株幼苗，测量其针叶根长、茎长、基径及鲜重，然后将幼苗放入 75℃烘箱中烘干至恒重，计算其干质量。

2.3 计算公式

以化感作用响应指数(response index, RI)来衡量化感作用的强度与类型：当 $T \geq C$ ， $RI = 1 - C/T$ ；当 $T < C$ ， $RI = T/C - 1$ 。

式中，C 为对照值，T 为处理值。 $RI < 0$ 为抑制作用， $RI > 0$ 为促进作用。以 $|RI|$ 大小划分作用强度： $|RI| \leq 0.30$ ，微弱作用； $0.30 < |RI| \leq 0.50$ ，中等作用； $|RI| > 0.50$ ，较强作用。

2.4 数据处理

用 SPSS24.0 进行凋落物水浸液处理效应的单因素方差分析(One way ANOVA)。

3 结果与分析

3.1 不同质量浓度凋落物水浸提液对高山松种子发芽率的影响

用凋落物水浸液来处理色季拉山 5 个不同区域的种子，探究其对种子萌发的影响，具体影响效果见表 2。各样点间不同凋落物浓度的发芽率均存在显著差异 ($P < 0.05$)，其中所有对照组中 DD 样点的萌发率最大高达 94.67%，其次为 LL 样点萌发率达到 93.00%，最小的为 BK 样点 71.00%。BK 样点种子在 5%浓度处理下的各发芽指标增加最多，均表现为 $RI > 0.2$ ，且发芽势、发芽指数的化感作用响应指数达到 0.3~0.5 之间，说明此处理下对 BK 样点种子的萌发具有中等强度的促进作用，同时随着浓度的增大发芽指数有减小的趋势。BB 样点种子在浸提液处理下发芽率表现为存在微弱的抑制作用 ($RI = -0.2$)，随着浓度的增大，抑制作用出现变强的趋势但不明显，在 20%处理下抑制强度达到最大；DZ 种子各萌发指标在处理下同样表现为轻微抑制的作用，与 BB 不同的是 DZ 样点种子在 15%下才开始出现抑制现象，在 25%处理下抑制强度达到最大且还有上升趋势；LL 样点种子表现出来的结果与前者不同，在 5%浓度处理下各发芽指数的抑制效果达到最大 ($RI = -0.32$)，抑制作用达到中等程度，且随着浓度增大抑制效果逐渐降低，在 25%浓度处理下转变为轻微的促进作用。虽然 DD 样点的各浓度处理下表现的结果数稍高于对照，且各浓度变化下 RI 基本保持不变。

表 2 凋落物水浸液对色季拉高山松种子发芽的影响

种子来源	质量浓度	发芽率	RI	发芽势	RI	发芽指数	RI
BK	0	71.00±6.66ab		45.67±2.19b		28.08±5.11b	
	5.0	88.33±1.20a	0.20	81.67±2.96a	0.44	40.27±1.46a	0.30
	10.0	81.33±7.22ab	0.13	63.33±10.37ab	0.28	28.14±3.37b	0.01
	15.0	66.33±4.91b	-0.06	46.67±2.03b	0.03	21.82±0.84b	-0.22
	20.0	61.00±5.86b	-0.14	51.00±9.17b	0.10	23.95±2.43b	-0.15
	25.0	75.67±6.39ab	0.06	66.67±6.57ab	0.31	30.42±4.59ab	0.08
DD	0	94.67±2.40a		94.33±2.19ab		67.80±2.39ab	
	5.0	96.67±1.20a	0.02	96.00±1.15a	0.02	69.96±2.32ab	0.03
	10.0	97.33±1.20a	0.03	96.33±1.76a	0.02	68.87±1.19ab	0.02
	15.0	88.33±0.88b	-0.07	87.00±1.15b	-0.08	63.03±1.65b	-0.07
	20.0	95.00±1.73a	0.01	94.00±2.31ab	-0.01	72.90±2.81a	0.07
	25.0	95.00±1.52a	0.01	89.67±4.10ab	-0.05	68.15±0.83ab	0.01
BB	0	85.67±2.96a		64.33±4.67a		39.49±2.96ab	
	5.0	75.33±2.91ab	-0.12	71.00±3.61a	0.09	48.33±6.93a	0.18
	10.0	67.67±2.91b	-0.21	59.00±7.57a	-0.08	37.97±1.31ab	-0.04
	15.0	67.67±1.20b	-0.21	57.67±2.33a	-0.10	34.91±0.29ab	-0.12
	20.0	65.33±1.20b	-0.24	58.00±1.00a	-0.10	32.08±0.53b	-0.19
	25.0	78.67±9.77ab	-0.08	76.67±8.82a	0.16	43.70±5.42ab	0.10

DZ	0	85.33±2.33ab		79.00±4.93a		50.33±5.32a	
	5.0	90.00±1.73a	0.05	76.67±6.67a	-0.03	40.79±3.73a	-0.19
	10.0	85.33±6.23ab		74.00±7.57a	-0.06	42.51±2.89a	-0.16
	15.0	67.67±5.61b	-0.21	63.00±5.77a	-0.20	35.35±3.47a	-0.30
	20.0	81.00±4.93ab	-0.05	79.67±5.24a		45.95±5.80a	-0.09
	25.0	66.67±8.82b	-0.22	58.67±8.10a	-0.26	39.50±7.10a	-0.22
LL	0	93.00±1.73a		86.67±2.03a		64.97±3.26ab	
	5.0	74.33±3.84b	-0.20	65.33±2.33b	-0.25	43.88±1.62c	-0.32
	10.0	82.00±6.11ab	-0.12	77.67±5.61ab	-0.10	56.48±4.46abc	-0.13
	15.0	87.67±3.93a	-0.06	82.00±7.77a	-0.05	62.18±6.98ab	-0.04
	20.0	88.67±2.96a	-0.05	85.33±3.93a	-0.02	54.44±1.81bc	-0.16
	25.0	93.33±1.76a		91.00±3.21a	0.05	68.68±3.47a	0.05

注：采用 LSD 进行方差分析，数值表示平均值±标准误，同一列不同字母表示差异具有统计学意义($P<0.05$)。下同

3.2 凋落物浸提液对高山松幼苗早期生长的影响

通过测量幼苗径长、针叶长及根长来衡量凋落物水浸液对幼苗生长的影响(表 3)。由表 3 可知，总体上根长、茎长、针叶长表现出化感抑制的趋势，随着浸提液浓度的上升而下降，但是不同样点种子以及种子的各个器官对浸提液的反应是不一样的，根长反应最大，其次是径长，针叶长随水浸液浓度变化较小。

BK 样点幼苗性状随浸提液浓度变化总体表现出化感抑制现象，其根长在 15%浓度下长度最短，抑制效果最明显 ($RI=-0.21$)，后随着浓度继续增大，在 20%处理下转为促进效果并在 25%处根长达到最大值，且还有向上促进的趋势，其径长、针叶长同样对凋落物水浸液表现为抑制作用，但浓度变化后 RI 无明显变化。凋落物水浸液抑制 DD 幼苗根的生长，而径长、针叶长随着浓度增大有促进生长的趋势，但 $RI<0.30$ 作用微弱。BB 样点种子较为特殊，随着水浸液浓度增大根长表现为先促进再抑制的情况，在 5%处理下根长促进效果最好 ($RI=0.26$)，后促进效果逐渐减少并在 15%处出现转折开始出现抑制现象，径长、针叶长同样没明显的促进或抑制效果出现。DZ 样点幼苗指标总体受凋落物浸提液抑制影响，其根长随水浸液浓度增高受化感抑制影响最为明显，在 15%处达到中等强度的抑制作用 ($RI=-0.41$)，然后抑制效果逐渐下降，在 25%处 RI 值接近零，有转为正向促进的趋势，同时其径长和针叶长也有同样的变化。LL 样点的根长、径长、针叶长均表现出促进作用，且随着水浸液浓度边大促进效果也越强，但因但 RI 均未超过 0.30，所以促进作用较差。

表 3 凋落物水浸液对高山松幼苗生长的影响

种子来源	质量浓度	根长	RI	径长	RI	针叶长	RI
BK	0	27.18±2.48ab		31.29±2.73b		15.32±0.86b	
	5.0	23.28±2.67ab	-0.14	32.25±1.28b	0.03	14.03±0.34bc	-0.08
	10.0	22.25±1.32b	-0.18	26.17±1.81b	-0.16	13.07±0.40c	-0.15
	15.0	21.41±2.19b	-0.21	27.60±1.95b	-0.12	14.24±0.70bc	-0.07
	20.0	30.49±2.53a	0.11	45.05±1.85a	0.31	18.18±0.46a	0.16
	25.0	27.99±1.72ab	0.03	26.87±0.88b	-0.14	12.70±0.78c	-0.17
DD	0	37.52±1.86a		40.62±3.59		17.89±0.84	
	5.0	36.16±2.04a	-0.04	43.28±1.51	0.06	18.83±0.71	0.05
	10.0	36.08±2.37a	-0.04	38.65±2.19	-0.05	17.54±1.15	-0.02
	15.0	22.82±1.87b	-0.39	42.70±1.54	0.05	16.39±0.60	-0.08
	20.0	33.11±4.01a	-0.12	44.27±2.10	0.08	18.43±1.49	0.03
	25.0	39.81±2.85a	0.06	41.01±2.41	0.01	18.20±0.70	0.02
BB	0	26.52±3.28abc		35.25±1.63ab		16.37±0.66	
	5.0	35.86±2.43a	0.26	39.19±2.60ab	0.10	15.77±0.80	-0.04
	10.0	31.72±2.35ab	0.16	39.92±2.63a	0.12	15.92±1.43	-0.03
	15.0	26.20±3.31abc		38.24±3.01ab	0.08	18.65±0.89	0.12
	20.0	20.76±3.42c	-0.22	34.37±2.49ab	-0.02	15.69±0.78	-0.04
	25.0	22.20±3.02bc	-0.16	31.05±1.72b	-0.12	15.93±1.02	-0.03
DZ	0	39.68±2.14a		43.76±3.98a		20.12±1.47a	
	5.0	33.52±3.94ab	-0.16	42.53±2.67ab	-0.03	17.56±0.63ab	-0.13
	10.0	24.60±2.61bc	-0.38	42.93±2.77a	-0.02	16.24±0.71b	-0.19
	15.0	23.40±2.34c	-0.41	36.71±0.83ab	-0.16	16.79±0.57ab	-0.17

LL	20.0	33.66±2.66ab	-0.15	32.48±4.15b	-0.26	18.56±1.59ab	-0.08
	25.0	37.13±2.17a	-0.06	39.18±1.61ab	-0.10	18.89±0.85ab	-0.06
	0	30.59±4.09		32.75±1.94		16.28±0.48	
	5.0	36.45±2.07	0.16	35.07±2.57	0.07	17.38±0.53	0.06
	10.0	27.45±1.65	-0.10	37.45±1.30	0.13	16.02±0.82	-0.02
	15.0	37.27±2.40	0.18	41.75±2.44	0.22	18.69±1.10	0.13
	20.0	30.88±3.47	0.01	44.44±1.53	0.26	22.11±1.38	0.26
	25.0	33.03±3.59	0.07	43.74±1.71	0.25	19.83±1.09	0.18

3.3 凋落物浸提液对高山松幼苗生物量的影响

凋落物水浸液对幼苗生物量的影响可以通过测量幼苗的鲜、干质量及基径来反映，高山松幼苗的鲜、干质量及基径见表 4，总体可知种子在不同浓度水浸液处理下，各样点幼苗生物量指标增减不一，但大多数还是表现出抑制现象。

幼苗鲜重对水浸液浓度变化的响应较为明显。BK 样点在 10%处理下抑制效果达到最大（RI=-0.31），属于中等强度的抑制作用，同浓度下干质量的化感系数更是高达 0.54。DD 幼苗鲜重、干重受水浸液影响总体表现为抑制作用，0%~15%处理下化感抑制系数逐渐升高达到最大值（RI=-0.2），随着浓度继续增大抑制效果开始减弱，25%浓度处理下鲜重化感系数系数（RI=-0.05）。DZ 幼苗鲜重的变化趋势与 DD 样点相似，随着浸提液浓度的增大同样表现为先抑制后促进的情况，最大抑制指数出现在 15%处理下（RI=-0.27）。BB 样点与 DZ 样点种子受水浸液浓度影响均表现为促进作用，BB 幼苗指标受到促进作用微弱，5 %处理下的促进作用最大（RI=-0.1），LL 幼苗生物量受浸提液浓度影响较明显，随着浸提液浓度增大所受促进作用越强，在 25%处理下化感系数达到最大值（RI=0.36>0.30），属于中等强度的促进作用。

表 4 凋落物水浸液对高山松幼苗生物量的影响

种子来源	质量浓度	鲜质量/mg	RI	干质量/mg	RI	基径/mm	RI
BK	0	40.56±3.21b		5.16±0.65b		0.91±0.03a	
	5.0	30.41±2.54c	-0.25	3.84±0.53bc	-0.27	0.84±0.03a	-0.08
	10.0	28.06±1.57c	-0.31	2.40±0.32c	-0.54	0.87±0.03a	-0.04
	15.0	30.63±2.21c	-0.25	3.70±0.30bc	-0.29	0.81±0.02a	-0.11
	20.0	53.59±3.37a	0.24	7.36±0.22a	0.30	0.91±0.03a	
	25.0	31.24±1.96c	-0.23	3.22±0.28c	-0.38	0.83±0.03a	-0.09
DD	0	54.34±1.97ab		6.18±0.41b		0.89±0.01	
	5.0	55.69±2.86a	0.03	6.92±0.37ab	0.10	0.90±0.03	0.01
	10.0	46.49±3.07ab	-0.14	8.49±0.99a	0.27	0.86±0.03	-0.03
	15.0	43.73±2.41b	-0.20	6.12±0.44b	-0.01	0.88±0.03	-0.01
	20.0	52.08±4.79ab	-0.04	5.96±0.78b	-0.04	0.90±0.02	0.01
	25.0	51.63±3.41ab	-0.05	7.03±0.43ab	0.12	0.89±0.02	
BB	0	47.86±1.80		7.21±0.35		0.93±0.02	
	5.0	52.96±2.19	0.10	7.22±0.19		0.92±0.03	-0.01
	10.0	51.13±4.39	0.06	6.37±0.66	0.12	0.97±0.06	0.04
	15.0	51.69±2.92	0.07	7.17±0.33	-0.01	0.91±0.02	-0.02
	20.0	43.32±3.89	-0.09	6.20±0.62	-0.14	0.91±0.04	-0.02
	25.0	43.56±2.38	-0.09	5.69±0.46	-0.21	0.95±0.02	0.02
DZ	0	57.21±3.07a		7.30±0.42		0.94±0.03	
	5.0	48.79±2.37abc	-0.15	6.80±0.24	-0.07	0.79±0.10	-0.16
	10.0	48.66±3.73abc	-0.15	6.77±0.44	-0.07	0.90±0.02	-0.04
	15.0	41.79±1.88c	-0.27	5.90±0.55	-0.19	0.92±0.03	-0.02
	20.0	45.20±3.20bc	-0.21	6.01±0.52	-0.18	0.88±0.02	-0.06
	25.0	54.29±3.36ab	-0.05	6.52±0.37	-0.11	0.92±0.02	-0.02
LL	0	38.88±2.22		5.69±0.36		0.84±0.02	
	5.0	51.27±1.44	0.24	6.50±0.41	0.12	0.93±0.02	0.10
	10.0	46.71±2.52	0.17	6.01±0.30	0.05	0.90±0.03	0.07
	15.0	52.67±1.92	0.26	6.74±0.33	0.16	0.83±0.02	-0.01
	20.0	59.26±2.52	0.34	7.40±0.28	0.23	0.86±0.03	0.02
	25.0	60.83±1.55	0.36	8.53±0.32	0.33	0.89±0.02	0.06

4 讨论与结论

林下调落物层在森林天然更新中起至关重要的作用, 由于凋落物层结构疏松, 透水吸水性强, 因此可以缓冲降雨能量并储存地表水分(Cole Rebecca J 等, 2016)。凋落物层夹在土层和空气之间, 有效降低了阳光对土壤的直射程度, 从而减少了由土壤温度升高而导致的地表水分蒸发, 类似这种的环境变化会影响森林建群种的更新和修复(孙书存等, 2000)。此外森林凋落物增加了林地表层的粗糙度, 减缓了林内地表径流的水流速度与水分蒸发量, 并将地表径流的一部分转化为地下径流, 从而显著地降低了土壤表层水分的流失, 所以林下死地被物层在防止林下土壤水分流失与水源涵养方面起着重要作用(李俊清等, 2003)。森林凋落物还可以为植物提供营养物质, 它们作为重要的能量载体, 在森林生态系统的物质循环中起到植物和土壤间的连接作用, 同时其在保持森林生产力、森林天然更新、积蓄土壤有机物质等方面均发挥重要作用。

本试验为探究低浓度高山松凋落物水浸液下, 哪个浓度梯度对高山松种子萌发和幼苗生长的促进效果较好, 结果表明: 所有对照组中 DD 样点的萌发率最大, 达 94.67%, 最小的为 BK 样点, 为 71.00%; BK 样点种子在 5% 浓度处理下的发芽率最大, 发芽指数的化感促进响应指数达到 0.30 之间, 在其幼苗生长和生物量方面, 各浓度的水浸液处理都对二者没有较明显的干编, 说明本试验梯度中 5% 浓度凋落物水浸液对 BK 样点种子的早期更新效果最好。DD 与 BB 样点种子在各浓度处理下的发芽指标、幼苗生长指标以及幼苗生物量指标均体现为抑制作用, BB 样点种子受水浸液的抑制作用更强一些, 所以建议直接浇清水早期更新效果最佳。DZ 样点种子较为特殊, 发芽率、生长量和生物量都表现为先抑制后促进的趋势, 0~15% 浓度处理下抑制作用逐渐增大, 15% 处理下抑制作用达到最大值, 20%~25% 浓度处理下幼苗各项指标的化感抑制系数明显降低并趋近于 0, 且有转为促进作用的趋势, 因此推测 DZ 样点的最佳生长浓度还未达到, 有待后期试验进一步证实。LL 样点种子随水浸液浓度变化的生长趋势与 DZ 相似但不尽相同, LL 的发芽率、生物量等指标随着水浸液浓度增大而逐渐增大, 25% 浓度处理下各化感系数指标基本表现为促进作用且为最大值, 因此猜想本实验设计水浸液浓度梯度未能涵盖 LL 种子最佳发育浓度, 有待在今后的实验中证实此假设。

参 考 文 献

- [1] Loranger G, Ponge J F, Imbert D, *et al.* 2002. Leaf decomposition in two semi evergreen tropical forests: influence of litter quality. *Biology & Fertility of Soils*, 35(4): 247-252.
- [2] 张珊珊, 向振勇, 康洪梅, 等. 2016. 云南蓝果树凋落物对其天然更新的影响. *东北林业大学学报*, 44(1): 6-10.
(Zhang S S, Xiang Z Y, Kang H M, *et al.* 2016. *Journal of Northeast Forestry University*, 44(1): 6-10. (in Chinese with English abstract))
- [3] 彭闪江, 黄忠良, 彭少麟, 等. 2004. 植物天然更新过程中种子和幼苗死亡的影响因素. *广西植物*, (02): 113-121+124.
(Peng S J, Huang Z L, Peng S L, *et al.* 2004. Influencing factors of seed and seedling death during natural plant regeneration. *Guangxi Botany*, (02): 113-121+124.)
- [4] 羊留冬, 杨燕, 王根绪, 等. 2010. 森林凋落物对种子萌发与幼苗生长的影响. *生态学杂志*, 29(09): 1820-1826.
(Yang L D, Yang Y, Wang G X, *et al.* 2010. Effects of forest litter on seed germination and seedling growth. *Chinese Journal of Ecology*, 29(09): 1820-1826.)
- [5] 常雅军, 陈琦, 曹靖, 等. 2011. 甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性. *生态学报*, 31(09): 2392-2400.
(Chang Y J, Chen Q, Cao J, *et al.* 2011. Litter volume, nutrient storage and water holding capacity of different coniferous forests in Xiaolongshan Mountain, Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 31(09): 2392-2400.)
- [6] 陶大立, 徐振邦, 李昕. 1985. 死、活地被物对红松伴生树种天然更新影响的实验研究. *植物生态学与地被植物学丛刊*, 9(1): 47-58.
(Tao D L, Xu Z B, Li X. 1985. Experimental study on the effects of dead and living ground cover on natural regeneration of associated tree species of Korean pine. *Plant Ecology and Groundcover Botany*, 9(1): 47-58.)
- [7] 王贺新, 李根柱, 于冬梅, 等. 2008. 枯枝落叶层对森林天然更新的障碍. *生态学杂志*, 27(1): 83-88.
(Wang H X, Li G Z, Yu D M, *et al.* 2008. Impacts of litter on natural regeneration of forests. *Chinese Journal of Ecology*, 27(1): 83-88.)

- [8] 于恩娜, 王金贵, 初宝顺. 2009. 森林凋落物及其在森林生态中的作用. 现代农业科技, (2): 286, 288.
(Yu E N, Wang J K, Chu B S. 2009. Forest litter and its role in forest ecology. Modern Agricultural Science and Technology, (2): 286, 288.)
- [9] 陈立新, 李少博, 乔璐, 等. 2016. 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. 南京林业大学学报(自然科学版), 40(02): 81-87.
(Chen L X, Li S B, Qiao L, *et al.* 2016. Effects of leaf litter and soil extract on seed germination and seedling growth of Korean pine. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 40(02): 81-87.)
- [10] 周艳, 陈训, 韦小丽, 等. 2015. 凋落物对迷人杜鹃幼苗更新和种子萌发的影响. 林业科学, 51(03): 65-74.
(Zhou Y, Chen X, Wei X L, *et al.* 2015. Effects of litter on seedling regeneration and seed germination of *Rhododendron fortunei*. Scientia Silvae Sinicae, 51(03): 65-74.)
- [11] 胡灵芝, 陈德良, 朱慧玲, 等. 2011. 百山祖常绿阔叶林凋落物凋落节规律及组成. 浙江大学学报(农业与生命科学版), (5): 533-539.
(Hu L Z, Chen D L, Zhu H L, *et al.* 2011. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences Edition), (5): 533-539. (in Chinese with English abstract))
- [12] 彭国全, 崔汛, 吴成春, 等. 2011. 不同海拔岷江冷杉林凋落物量及其动态变化研究. 陕西林业科技, 14(4): 1-4.
(Peng G Q, Cui X, Wu C C, *et al.* 2011. Study on litter quantity and dynamic change of *Abies fargesii* forest at different altitudes in Minjiang River. Shaanxi Forestry Science and Technology, 14(4): 1-4.)
- [13] Kamruzzaman M, Sharma S, Rafiqul Hoque ATM, *et al.* 2012. Litter fall of three subtropical mangrove species in the family Rhizophoraceae. Journal of Oceanography, 68: 841-850.
- [14] 蒲嘉霖, 刘亮. 2019. 亚热带森林凋落物分解特征及水文效应. 水土保持研究, (6): 165-170.
(Pu J L, Liu L. 2019. Characteristics and hydrological effects of litter decomposition in subtropical forests. Research of Soil and Water Conversation. (6): 165-170.)
- [15] 周如琼. 2011. 红树林凋落物产生过程及其营养物质形式研究概述. 广西科学院学报, 27(1): 62-64.
(Zhou R Q. 2011. Study on litter production process and nutrient form of mangrove forest. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 27(1): 62-64.)
- [16] 沈志强, 卢杰, 华敏, 等. 2016. 西藏色季拉山高山松种群点格局分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 44(05): 73-81.
(Shen Z Q, Lu J. 2016. Hua M, *et al.* Population point pattern analysis of *Pinus alpine* in Sejila Mountain, Tibet. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 44(05): 73-81.)
- [17] 卢杰, 郭其强, 郑维列, 等. 2013. 藏东南高山松种群结构及动态特征. 林业科学, 49(08): 154-160.
(Lu J, Guo Q Q, Zheng W L, *et al.* 2013. Population structure and dynamic characteristics of *Pinus alpine* in southeast Tibet. Scientia Silvae Sinicae, 49(08): 154-160.)
- [18] 陈端. 1991. 西藏更张沟高山松的天然更新. 林业科学, (04): 465-469.
(Chen D. 1991. Natural regeneration of *Pinus alpine* in Gengzhanggou, Xizang Province. Scientia Silvae Sinicae, (04): 465-469.)
- [19] 范自强, 张正香. 1994. 西藏高山松松脂分析. 南京林业大学学报, (01): 83-87.
(FAN Z Q, ZHANG Z X. 1994. Analysis of pine resin in Xizang Alpine. Journal of Nanjing Forestry University, (01): 83-87. (in Chinese with English abstract))
- [20] Nutto L, Spathelf P, Seling I. 2006. Management of individual tree diameter growth and implications for pruning for Brazilian *Eucalyptus grandis* hill ex maiden[J]. Floresta, 36(3): 351-368.
- [21] 史元春, 赵成章, 宋清华, 等. 2015. 兰州北山侧柏株高与冠幅、胸径异速生长关系的坡向差异性. 生态学杂志, 34(7): 1879-1885.
(Shi Y C, Zhao C Z, Song Q H, *et al.* 2015. The relationship between plant height and allometric growth of crown width and breast diameter of *Platycladus orientalis* in Beishanshan. Chinese Journal of Ecology, 34(7): 1879-1885.)
- [22] 万志兵, 李秀芹, 刘成功, 等. 2017. 不同发育阶段檫木人工林树高、胸径与树冠结构关系的动态关系分析. 基因组学与应用生物学, 36(1): 331-339.
(Wan Z B, Li X Q, Liu C G, *et al.* 2017. Analysis on the dynamic relationship between tree height, DBH and tree crown structure in *Sassafras* plantation at different development stages. Genomics and Applied Biology, 36(1): 331-339.)
- [23] 卢妮妮, 王新杰, 张鹏, 等. 2015. 不同林龄杉木胸径树高与冠幅的通径分析. 东北林业大学学报, 43(4): 12-16.
(Lu N N, Wang X J, Zhang P, *et al.* 2015. Path analysis of tree height and crown width of Chinese fir at different ages. Journal of Northeast Forestry University, 43(4): 12-16. (in Chinese with English abstract))

- [24] 周凤艳. 2017. 沙地樟子松不同林龄树高、胸径等生长指标的关系研究. 吉林林业科技, 46(1): 12-15.
(Zhou F Y. 2017. Study on the relationship between tree height, DBH and other growth indexes of *Pinus sylvestris* at different age in sandy land. Jilin Forestry Science and Technology, 46(1): 12-15.)
- [25] 张德怀, 韩晓丽, 代然然, 等. 2013. 尼洋河流域表土孢粉组合与年均降水量关系研究. 地理与地理信息科学, 29(1): 80-85.
(Zhang D H, Han X L, Dai R R, *et al.* 2013. Relationship between surface palynological assemblage and annual average precipitation in Niyang River Basin. Geography and Geo-Information Science, 29(1): 80-85.)
- [26] 陈甲瑞, 王小兰. 2018. 尼洋河流域高山松林物种多样性研究. 高原农业, 2(3): 286-294+312.
(Chen J R, Wang X L. 2018. Research on species diversity of alpine forest in Niyang River Basin. Plateau Agriculture, 2(3): 286-294+312.)
- [27] Warton D I, Wright I J, Falster D S, *et al.* 2006. Bivariate linefitting methods for allometry. Biological Reviews, 81(2): 259-291.
- [28] 李钰, 赵成章, 董小刚, 等. 2013. 高寒草地狼毒枝—叶性状的坡度差异性. 植物生态学报, 37(8): 709-717.
(Li Y, Zhao C Z, Dong X G. 2013. Slope differences of branch-leaf traits of *chamaeolera chamaeolera* in alpine grassland. Chin J Plan Ecolo, 37(8): 709-717.)
- [29] 耿华珠. 1995. 中国苜蓿. 北京: 中国农业出版社.
(Geng H Z. 1995. Chinese alfalfa. Beijing: China Agriculture Press, (in Chinese))
- [30] 王林, 冯锦霞, 王双霞, 等. 2013. 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响. 生态学报, 33(8): 2425-2433.
(Wang L, Feng J X, Wang S X, *et al.* 2013. Effects of drought and slope aspect interaction on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis*. Acta Ecologica Sinica, 33(8): 2425-2433.)
- [31] Cole Rebecca J, Holl Karen D, Zahawi Rakan A, *et al.* 2016. Leaf litter arthropod responses to tropical forest restoration. Ecology and evolution, 6(15).
- [32] 孙书存, 陈灵芝. 2000 东灵山地区辽东栎种子库统计. 植物生态学报, 24(2): 215-221.
(Sun S C, Chen L Z. 2000. *Quercus liaotungensis* seed bank statistics in dongling mountain area. Chinese Journal of Plant Ecology, 24(2): 215-221.)
- [33] 李俊清, 李景文. 2003. 中国东北小兴安岭阔叶红松林更新及其恢复研究. 生态学报, 23(7): 1268-1277.
(Li J Q, Li J W. 2003. Renewal and restoration of broad-leaved Korean pine forest in the Xiaoxingan Mountains, northeast China. Acta Ecologica Sinica, 23(7): 1268-1277.)