

施 妍,陈芳清. 日本落叶松林凋落物对狗牙根、胡枝子种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):267-270.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.069

# 日本落叶松林凋落物对狗牙根、胡枝子种子萌发和幼苗生长的影响

施 妍,陈芳清

(三峡大学生物与制药学院,湖北宜昌 443002)

**摘要:**以狗牙根和胡枝子为受体植物,通过种子萌发与幼苗生长试验,研究外来引进树种日本落叶松林凋落物对本地物种可能存在的化感作用,探讨日本落叶松林物种多样性低下的原因。以不同浓度的日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子种子进行处理,利用人工气候箱进行萌发生长试验,通过观察与分析不同处理间种子萌发及幼苗生长的差异,揭示日本落叶松凋落物潜在的化感作用。结果表明,日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子的种子萌发率、萌发指数和幼苗的根长、茎长和生物量有着显著影响。其中,狗牙根随着处理浓度的增加各试验指标呈现先促进后抑制的作用,与对照相比,最大的抑制率分别达到 28.67%、31.35%、53.29%、40.23%、34.72%;胡枝子的各试验指标随处理浓度增加呈明显的受抑制作用,与对照相比,上述各试验指标的最大的抑制率分别达到 67.50%、70.79%、55.35%、44.44%、34.55%。相对而言,胡枝子种子萌发与幼苗生长对日本落叶松凋落物的化感响应强于狗牙根。日本落叶松林凋落物中的化感物质对狗牙根和胡枝子的种子萌发和幼苗生长存在一定的化感效应,其中对胡枝子的影响要强于狗牙根。凋落物的化感作用是影响日本落叶松林物种多样性的关键因素之一,在今后的日本落叶松营林管理中,可通过间伐等方式来减少日本落叶松的化感作用和荫蔽作用,促进其他物种的定居与林分更新。

**关键词:**日本落叶松;凋落物;狗牙根;胡枝子;种子萌发;幼苗生长;生物量

**中图分类号:**S791.223.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)06-0267-04

日本落叶松(*Larix kaempferi*)是我国重要的外来树种,自其引入到鄂西地区以来,表现出良好的适应性和速生性<sup>[1]</sup>。外来优良树种的引进是林业生产建设和森林植被恢复方面的重要措施,但外来树种的引进对森林的物种多样性和养分循环具有重要的影响<sup>[2]</sup>。野外调查与相关研究显示,大老岭自然保护区日本落叶松的引种栽培对群落的物种多样性有重大的影响,群落内少有本地物种的定居和生长,且群落内的土壤

微生物与多样性以及凋落物养分归还和土壤养分含量也受到影响<sup>[3-4]</sup>。

凋落物可以通过物理阻断和化感作用,抑制林下植物种子萌发而影响其更新<sup>[5]</sup>。针叶树种凋落的针叶和树皮通常是其化感作用的主要成分,开展其凋落物化感作用的研究对林分的天然更新和人工营林具有重要的意义<sup>[6]</sup>。由于种子萌发与幼苗生长是植物生活史中对外界条件反应最为敏感的阶段,化感作用的研究主要是通过观测受体植物种子萌发和幼苗生长对化感物质的响应来进行<sup>[7-8]</sup>。目前关于日本落叶松林物种多样性的研究尚不多见,是否是凋落物的化感作用导致其物种多样性低下也无定论。本研究选取该地区常见的林下草本植物狗牙根(*Cynodon dactylon*)和灌木胡枝子(*Lespedeza formosa*)为研究对象,通过研究日本落叶松林凋落物水浸液对该 2 种植物种子萌发和幼苗生长的影响,探讨

收稿日期:2016-07-28

基金项目:科技部科技基础性工作专项(编号:2015FY1103002)。

作者简介:施 妍(1984—),女,湖北宜昌人,硕士,主要从事日本落叶松凋落物研究。E-mail:9722049@qq.com。

通信作者:陈芳清,教授,博士生导师,主要从事植物生理学和生态学。E-mail:fqchen@ctgu.edu.cn。

(5):210-215,220.

[12]张盼盼,胡远满,肖笃宁,等. 地形因子对喀斯特高原山区潜在石漠化景观格局变化的影响分析[J]. 土壤通报,2010(6):1305-1310.

[13]李瑞玲,王世杰,熊康宁,等. 贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析[J]. 水土保持通报,2006,26(4):82-86.

[14]冯朝阳,于 勇,高吉喜,等. 地形因子对京西门头沟区土地利用/覆盖变化的影响[J]. 山地学报,2007,25(3):274-279.

[15]赖炯萍. 清水江流域水污染综合整治经济效益分析[D]. 贵阳:贵州师范大学,2008.

[16]周秉正,王会香,申 鹏. 清水江流域的生态环境变迁与可持续发展[J]. 三峡环境与生态,2000,22(6):14-16.

[17]汤国安,宋 佳. 基于 DEM 坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):157-160,192.

[18]解伏菊,肖笃宁,李秀珍,等. 大兴安岭北坡火烧迹地森林郁闭度恢复及其影响因子分析(英文)[J]. 林业研究,2005,16(2):125-131.

[19]中国土地勘测规划院,国土资源部地籍管理司. 土地利用现状分类:GB/T 21010—2007[S]. 北京:国土资源部,2007.

[20]马国君,罗康智. 清水江流域林区时空分布及树种结构变迁研究[J]. 原生态民族文化学刊,2013,5(3):1-13.

[21]张 敏. 清水江流域林业生态文化研究[C]//“改革开放 30 年与贵州社会发展”学术研讨会暨贵州省社会学学会 2008 年学术年会. 贵阳,2008.

外来物种日本落叶松凋落物潜在的化感作用,为日本落叶松林的管理提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究样地

研究样地位于鄂西地区大老岭自然保护区(110°43'42"~111°22'2"E),该地属亚热带湿润季风气候,区域气候具有明显的垂直气候梯度,土壤以红壤为主。选取海拔 900~1 000 m,坡度 22°~23°,坡向阳的日本落叶松林作为研究对象。日本落叶松林年龄为 18~24 年,林分郁闭度为 0.6~0.7。

1.2 凋落物收集与水浸液制备

2014 年 5 月在日本落叶松林收集自然凋落的新鲜凋落物,带回实验室后清除其他杂物,充分混匀,置于 70℃下烘干至恒质量。称取 50 g 凋落物进行剪碎,加入装有 500 mL 蒸馏水的棕色瓶中,充分摇匀振荡,置于室温下暗处间歇振荡浸提 48 h。浸提后以 4 000 r/min 离心 15 min,取上清液,分别以定量滤纸和 0.22 μm 微孔滤膜过滤,得到浓度为 100 g/L 的无菌凋落物水浸提液,并以此为母液,以 121℃灭菌 20 min 的去离子水配制不同浓度的凋落物水浸液。

1.3 种子萌发和幼苗生长试验

受体植物为林下草本植物狗牙根和灌木胡枝子,受体植物种子采集于 2014 年 11 月并置于 4℃下保存至 2015 年 5 月。分别选取籽粒饱满、大小均一的 2 种植物种子,浸泡 24 h,以 0.3% 高锰酸钾溶液消毒 30 min,以去离子水漂洗后用于萌发试验。采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验,分别取 50 粒植物种子均匀地放于铺有 2 层滤纸的直径为 9 cm 的玻璃培养皿中作为 1 个试验单位。参照前人试验设计,并根据预备试验结果,本试验共设置 0、12.5、25、50、100 g/L 等 5 个处理水平,每个处理水平 5 个重复。将上述各浓度的凋落物水浸液加入到培养皿中至饱和状态为止,然后置于 25℃、湿度 80%、光照 30 μmol/(m·s)8 h 的人工气候箱中培养,每天记录各培养皿萌发种子的数量,并补充适量相应的凋落物水浸液以保持湿润。7 d 后结束试验,测定幼苗胚芽和胚根长度,并对幼苗称质量。

1.4 数据处理

分别用萌发率和萌发(速率)指数来评价种子的萌发情况。萌发率=萌发种子总数/供试种子总数×100%;萌发指数  $GI = \sum Gt/Dt$ ,式中  $Gt$  为在  $t$  d 的萌发数, $Dt$  为萌发天数。以化感效应敏感指数( $RI$ )<sup>[9]</sup>评价凋落物水浸液对种子萌发和幼苗生长的化感作用, $RI = T/C - 1$  ( $T < C$ )或  $RI = 1 - C/T$  ( $T \geq C$ ),式中  $T$  为处理值, $C$  为对照值, $RI > 0$  为促进效应, $RI < 0$  为抑制效应,其数值大小反映化感作用的强弱。

采用 SPSS 19.0 对凋落物水浸液对日本落叶松种子萌发和幼苗生长的影响进行单因素方差分析(ANOVA)和多重比较分析(LSD),置信水平为 95%。

2 结果与分析

2.1 凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子种子萌发的影响

日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子种子萌发有着显著影响(表 1)。凋落物水浸液对狗牙根种子萌发率和

萌发指数随着处理浓度的增加呈现先促进后抑制的作用。在低浓度凋落物水浸液(12.5、25.0 g/L)处理下,狗牙根种子的萌发率和萌发指数均显著高于对照组,其中 25.0 g/L 时达到最高值,萌发率、萌发指数分别为对照的 1.14、1.15 倍。但随着处理浓度的增加,狗牙根种子的萌发率、萌发指数显著下降,在 100.0 g/L 时处于最低值,萌发率和萌发指数分别为对照的 0.71、0.69 倍。而凋落物水浸液对胡枝子种子萌发率和萌发指数呈明显的抑制作用。随着处理浓度的增加,胡枝子种子的萌发率和萌发指数不断下降,在 100.0 g/L 时萌发率处于最低值,萌发率、萌发指数分别为对照的 0.32、0.29 倍。

表 1 日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子种子萌发的影响

受体植物	浓度(g/L)	萌发率(%)	萌发指数(%)
狗牙根	0.0(CK)	67.32 ± 2.62b	31.61 ± 1.38b
	12.5	72.25 ± 2.54a	34.15 ± 1.79a
	25.0	76.43 ± 2.95a	36.30 ± 1.33a
	50.0	58.33 ± 3.02c	26.99 ± 1.29c
	100.0	48.04 ± 2.70d	21.70 ± 1.46d
	<i>F</i> 值	145.495	175.761
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001
胡枝子	0.0(CK)	41.82 ± 3.62a	20.50 ± 1.30a
	12.5	34.46 ± 2.87b	16.72 ± 1.45b
	25.0	28.23 ± 3.01c	13.51 ± 1.11c
	50.0	24.05 ± 3.29d	11.36 ± 1.29d
	100.0	13.59 ± 2.68e	5.99 ± 0.92e
	<i>F</i> 值	59.729	73.314
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001

注:数据为“平均值±标准差”(n=5)。同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

以种子萌发率、萌发指数 2 个参数的  $RI$  值分析日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子种子萌发的化感作用,结果见图 1。凋落物水浸液在低处理浓度(12.5、25.0 g/L)下促进狗牙根种子的萌发,其中 25.0 g/L 时促进作用最强( $RI = 0.29$ );在高处理浓度(50.0、100.0 g/L)下则为抑制作用,其中 100.0 g/L 时抑制作用最强( $RI = -0.35$ )。而凋落物水浸液抑制胡枝子种子的萌发,其中 100.0 g/L 时抑制作用最强( $RI = -0.69$ )。

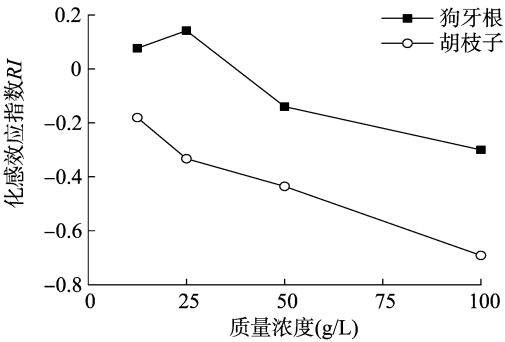


图1 狗牙根、胡枝子种子萌发的化感作用响应指数的变化

2.2 凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生长的影响

日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生长有显著影响(表 2)。凋落物水浸液对狗牙根幼苗根长和茎长随着处理浓度的增加呈现先促进后抑制的作用。在低浓度凋

落物水浸液(12.5、25.0 g/L)处理下,狗牙根幼苗根长、茎长均高于对照组,其中 25.0 g/L 时达到最高值,幼苗根长和茎长分别为对照的 1.26、1.39 倍。但随着处理浓度的增加,狗牙根幼苗根长、茎长开始下降,在 100.0 g/L 时处于最低值,分别为对照的 0.47、0.60 倍。而凋落物水浸液对胡枝子幼苗根长和茎长呈明显的抑制作用。随着处理浓度的增加,胡枝子幼苗根长、茎长开始下降,在 100.0 g/L 时处于最低值,幼苗根长、茎长分别为对照的 0.45、0.56 倍。

表 2 日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生长的影响

受体植物	浓度 (g/L)	根长 (cm)	茎长 (cm)
狗牙根	0.0 (CK)	1.52 ± 0.25b	0.87 ± 0.21a
	12.5	1.75 ± 0.19ab	1.07 ± 0.27ab
	25.0	1.91 ± 0.21a	1.21 ± 0.29ab
	50.0	0.89 ± 0.18c	0.67 ± 0.21b
	100.0	0.71 ± 0.15c	0.52 ± 0.22b
	F 值	47.888	2.930
	P 值	<0.001	0.047
胡枝子	0.0 (CK)	4.95 ± 0.25a	3.24 ± 0.32a
	12.5	4.09 ± 0.27b	2.78 ± 0.36b
	25.0	3.24 ± 0.25c	2.63 ± 0.31b
	50.0	2.76 ± 0.29d	2.60 ± 0.28b
	100.0	2.21 ± 0.18e	1.80 ± 0.24c
	F 值	186.364	16.164
	P 值	<0.001	<0.001

以幼苗根长和茎长 2 个参数的 *RI* 值分析日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生长的化感作用,结果见图 2。凋落物水浸液在低处理浓度下(12.5、25.0 g/L)促进狗牙根幼苗的生长,其中 25.0 g/L 时促进作用最强(*RI* = 0.32);在高处理浓度下(50.0、100.0 g/L)则为抑制作用,其中 100.0 g/L 时抑制作用最强(*RI* = -0.47)。而凋落物水浸液抑制胡枝子幼苗的生长,其中 100.0 g/L 时抑制作用最强(*RI* = -0.50)。

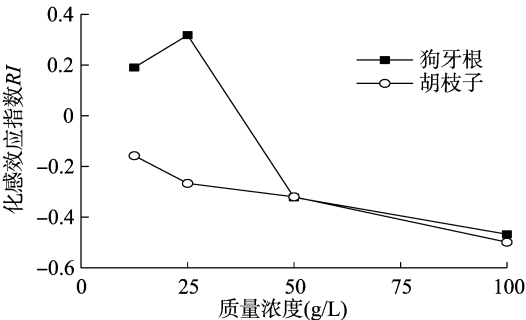


图2 狗牙根、胡枝子幼苗生长的化感作用响应指数的变化

2.3 凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生物量的影响

日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生物量也有显著影响(图 3)。日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根幼苗生物量随着处理浓度的增加也呈现先促进后抑制的作用。但在 12.5、25.0、50.0 g/L 处理下,狗牙根幼苗生物量均高于对照,分别为对照的 1.09、1.29、1.19 倍,但差异不显著;仅在 100.0 g/L 处理下,狗牙根幼苗生物量低于对照,为对照的 0.65 倍,差异显著。而日本落叶松林凋落物水浸液对胡枝

子幼苗生物量呈明显的抑制作用,随着处理浓度的增加,胡枝子幼苗生物量开始下降。与对照相比,在 12.5 g/L 时差异不显著,其他处理浓度下均差异显著,在 100.0 g/L 时处于最低值,幼苗生物量为对照的 0.65 倍。

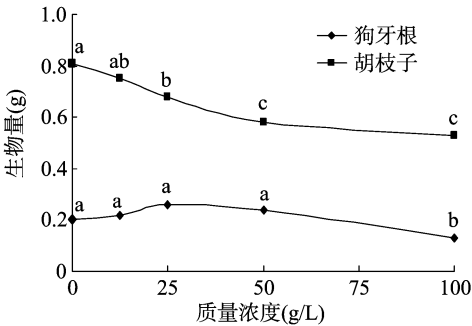


图3 日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生物量的影响

以幼苗生物量的 *RI* 值分析日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子幼苗生物量的化感作用,结果见图 4。凋落物水浸液在 12.5、25.0、50.0 g/L 处理浓度下促进狗牙根幼苗的生物量,其中 25.0 g/L 时促进作用最强(*RI* = 0.29);在 100.0 g/L 处理浓度下则为抑制作用(*RI* = -0.34)。而凋落物水浸液抑制胡枝子幼苗的生长,其中 100.0 g/L 时抑制作用最强(*RI* = -0.35)。

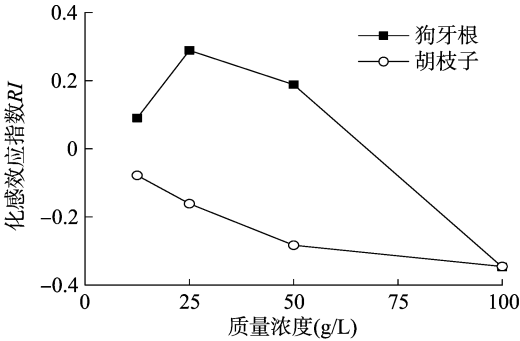


图4 狗牙根、胡枝子幼苗生物量化感作用响应指数的变化

3 讨论

种子萌发和幼苗建成是植物生活史的重要阶段,其对森林的物种分布、多样性和群落更新具有重要的影响,研究植物种子萌发与幼苗建成对外来物种凋落物的响应能有效揭示外来物种潜在的化感作用<sup>[10]</sup>。针叶树种凋落物长期向环境中所释放的大量次生代谢物质是导致天然针叶林生产力下降和群落物种多样性低下的主要原因<sup>[11]</sup>。其中,凋落物对种子萌发的影响主要在于其含有的化感物质与种子萌发过程中产生的不同代谢物质之间的相互作用<sup>[12]</sup>。本研究表明,日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根种子萌发的影响随着处理浓度的增加呈现先促进后抑制的规律,而对胡枝子种子萌发的影响则随处理浓度的增加呈明显的抑制作用。陈立新等在对红松凋落物和土壤浸提液对红松种子萌发影响的研究中也发现了类似的规律,高浓度的凋落物和土壤浸提液对红松种子的萌发有显著的抑制作用,但随着浓度的降低,抑制作用减弱,甚至消失或者转变为促进作用<sup>[13]</sup>。灌木胡枝子种子萌发对日本落叶松凋落物的化感响应要强于狗牙根,说明不同林下植

物种子萌发对化感物质的耐受阈值有着明显的差异<sup>[14-15]</sup>。

凋落物既可作为营养物质促进其他植物幼苗的生长,又可因化感物质的累积而抑制其他植物幼苗的生长,但不同植物种类间仍存在一定的差异<sup>[16]</sup>。在本研究中,日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根和胡枝子幼苗的影响与种子萌发的趋势相似,狗牙根幼苗的根长和茎长只有在高浓度处理下才会受到抑制,而胡枝子在处理一开始就受到了抑制。凋落物水浸液对 2 种植物根长的抑制作用均强于茎长,可能的原因在于受体植物幼苗的根部先与凋落物水浸液中的化感物质相接触,化感物质破坏了根系细胞膜,因此可能对幼苗根部的影响较大<sup>[17]</sup>。结合不同浓度下促进/抑制化感作用响应指数的变化来看,胡枝子幼苗生长对日本落叶松凋落物的化感响应也要强于狗牙根。低浓度凋落物水浸液处理下对狗牙根幼苗生长的促进作用强度要高于种子萌发,在高浓度下则相反;此外,胡枝子幼苗生长的抑制效应要低于种子萌发的抑制效应。这说明在植物生长发育的不同阶段,同样的化感物质对其影响有着很大的差别,一般来说萌发阶段最易受化感作用的影响,而幼苗生长阶段稍弱<sup>[18]</sup>。

植物的生物量主要取决于其与周围生境的营养物质交换循环和限制因子的限制程度<sup>[19]</sup>。本研究中,狗牙根和胡枝子幼苗生物量对日本落叶松凋落物的化感响应有着明显的差别,且狗牙根和胡枝子幼苗生物量对日本落叶松凋落物的化感响应要小于种子萌发和幼苗生长,其中在低浓度处理下狗牙根生物量显著增加,而胡枝子生物量的下降不显著。刘忠玲等对落叶松与白桦的种间化感作用进行了研究,结果发现,落叶松叶水浸液对白桦幼苗生物量有一定的促进作用,与其对种子萌发和幼苗生长上的抑制作用有着明显的区别<sup>[20]</sup>。以上结果说明植物有自身的保护机制,在幼苗初始生长期间,种子自身携带的营养物质能在很大程度上维持其生长,并减轻化感物质的危害,同时凋落物水浸液能为幼苗的生长提供营养<sup>[21]</sup>。

#### 4 结论

日本落叶松林凋落物水浸液对狗牙根、胡枝子的种子萌发率、萌发指数和幼苗的根长、茎长和生物量有着显著影响,其中狗牙根随着处理浓度的增加各试验指标呈现先促进后抑制的作用,胡枝子的各试验指标随处理浓度增加呈明显的受抑制作用。相对而言,胡枝子种子萌发与幼苗生长对日本落叶松凋落物的化感响应强于狗牙根。种子萌发和幼苗建成是植物生活史的重要阶段,日本落叶松林凋落物中的化感物质和营养物质与种子萌发、幼苗生长过程中产生的不同代谢物质之间进行相互作用,从而产生促进/抑制化感作用。日本落叶松林凋落物中的化感物质对狗牙根和胡枝子的种子萌发和幼苗生长存在一定的化感效应,其中对胡枝子的影响要强于狗牙根。凋落物的化感作用是影响日本落叶松林物种多样性的关键因素之一,在今后的日本落叶松营林管理中可通过间伐等方式来减少日本落叶松的化感作用和荫蔽作用,促进其他物种的定居与林分更新。

#### 参考文献:

[1] 洪信谱,张鲜艳. 大老岭林场日本落叶松直径分布规律探讨[J]. 华中农业大学学报,1994,13(5):502-506.

- [2] Kjær D E, Lobo A, Myking T, et al. The role of exotic tree species in Nordic forestry[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2014, 29(4):323-332.
- [3] Chen F Q, Song N A, Chen G H, et al. Effects of exotic species *Larix kaempferi* on diversity and activity of soil microorganisms in Dalaoling National Forest Park[J]. Ecological Processes, 2015, 4(1):1-8.
- [4] 宋妮娜. 大老岭外来种日本落叶松土壤微生物功能多样性及凋落物动态研究[D]. 宜昌:三峡大学, 2014.
- [5] 周 艳, 陈 训, 韦小丽, 等. 凋落物对迷人杜鹃幼苗更新和种子萌发的影响[J]. 林业科学, 2015, 51(3):65-74.
- [6] 石晓东, 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):112-120.
- [7] 沈 洁, 吉星星, 袁堂如, 等. 樟树叶水浸提液对高羊茅种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(14):3349-3353.
- [8] Mehmood A, Tanveer A, Nadeem M A, et al. Comparative allelopathic potential of metabolites of two alternanthera species against germination and seedling growth of rice[J]. Planta Daninha, 2014, 32(1):1-10.
- [9] Bruce W G, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1):181-187.
- [10] 程 真, 周光益, 吴仲民, 等. 南岭南坡中段不同群落林下幼树的生物多样性及分布[J]. 林业科学研究, 2015, 28(4):543-550.
- [11] 王 强, 阮 晓, 李兆慧, 等. 植物自毒作用及针叶林自毒研究进展[J]. 林业科学, 2007, 43(6):134-142.
- [12] Valera - Burgos J, Díaz - Barradas M C, Zunzunegui M. Effects of pinus pinea litter on seed germination and seedling performance of three Mediterranean shrub species[J]. Plant Growth Regulation, 2012, 66(3):285-292.
- [13] 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.
- [14] 郭 敏, 落叶松. 红松和樟子松枯落针叶水浸液对种子萌发的生物学效应[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2012.
- [15] Goma N H, Hassan M O, Fahmy G M, et al. Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species[J]. Acta Botanica Brasilica, 2014, 28(3):408-416.
- [16] McKinley D A, van Auken O W. Growth and survival of *Juniperus ashei* (Cupressaceae) seedlings in the presence of *Juniperus ashei* litter[J]. Texas Journal of Science, 2004, 56(1):3-14.
- [17] 张 权, 傅松玲, 姚小华, 等. 薄壳山核桃叶及青皮水浸液对 3 种植物的化感作用[J]. 林业科学研究, 2015, 28(5):674-680.
- [18] 拱健婷, 张子龙, 王雄飞. 不同氮素水平下三七根系分泌物对小麦的化感作用[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(2):356-361.
- [19] Zhang T, Guo R, Gao S, et al. Responses of plant community composition and biomass production to warming and nitrogen deposition in a temperate meadow ecosystem[J]. PLoS One, 2015, 10(4):e0123160.
- [20] 刘忠玲, 王庆成, 郝飞龙. 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.
- [21] 高 姗, 廖超英, 高智辉, 等. 黑沙蒿对自身种子萌发与幼苗生长的化感作用研究[J]. 草地学报, 2014, 22(4):796-802.