

DOI: 10.5846/stxb201908201739

李春英, 关佳晶, 李玉正, 苏伟然, 田瑶, 王婷婷, 李申, 赵春建. 南方红豆杉水浸提液对喜树种子发芽和幼苗生长的化感作用. 生态学报, 2021, 41(4): 1564-1570.

Li C Y, Guan J J, Li Y Z, Su W R, Tian Y, Wang T T, Li S, Zhao C J. Allelopathic effects of aqueous extracts from *Taxus chinensis* var. *mairei* on seed germination and seedling growth of *Camptotheca acuminata*. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(4): 1564-1570.

南方红豆杉水浸提液对喜树种子发芽和幼苗生长的化感作用

李春英^{1,2}, 关佳晶^{1,2}, 李玉正^{1,2}, 苏伟然^{1,2}, 田瑶^{1,2}, 王婷婷^{1,2}, 李申^{1,2}, 赵春建^{1,2,*}

1 东北林业大学 森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040

2 东北林业大学 化学化工与资源利用学院, 哈尔滨 150040

摘要: 化感作用是影响人工混交林种间关系的重要因素之一。已有研究表明: 喜树南方红豆杉混交对喜树生长有明显促进作用, 并从混交改善混交林地微气候角度解释了这种促进作用, 但未从种间化感作用角度探讨这种作用。为了探究南方红豆杉是否对喜树具有潜在的化感促进作用, 从而更全面地了解喜树南方红豆杉混交林种间关系, 考察了不同浓度 (25、50 g/L 和 100 g/L) 的南方红豆杉 (*Taxus chinensis* var. *mairei*) 鲜叶、凋落叶、枝和根水浸提液对喜树 (*Camptotheca acuminata*) 种子发芽和幼苗生长的影响。结果表明: (1) 南方红豆杉凋落叶浸提液对喜树种子发芽和幼苗生长无显著影响 ($P>0.05$), 而鲜叶、枝和根浸提液对喜树发芽和幼苗生长均具有不同程度的促进作用 ($P<0.05$), 且作用强度大体与浓度呈正相关; (2) 100 g/L 的南方红豆杉鲜叶、枝和根浸提液浸泡的喜树种子, 其发芽率比对照组分别提高 8.1%、14.9% 和 25.6%; (3) 南方红豆杉鲜叶浸提液只有在高浓度 (100 g/L) 时, 对喜树幼苗基径生长具有促进作用 ($P<0.05$), 而对其株高、全株干重和净光合速率无显著影响; 南方红豆杉根和枝浸提液对喜树幼苗株高、基茎、干重和净光合速率均具有促进作用 ($P<0.05$), 与对照组相比, 100 g/L 的根和枝浸提液浇灌喜树幼苗, 可以使喜树幼苗株高分别提高 14.2% 和 8.4%, 基径分别提高 19.0% 和 15.3%, 干重分别提高 23.1% 和 15.9%, 净光合速率分别提高 11.6% 和 6.1%。研究结果表明, 在喜树南方红豆杉混交林中, 南方红豆杉对喜树的正向化感作用可能是促进喜树生长的重要因素之一。

关键词: 喜树; 南方红豆杉; 化感作用; 发芽; 生长

Allelopathic effects of aqueous extracts from *Taxus chinensis* var. *mairei* on seed germination and seedling growth of *Camptotheca acuminata*

LI Chunying^{1,2}, GUAN Jiajing^{1,2}, LI Yuzheng^{1,2}, SU Weiran^{1,2}, TIAN Yao^{1,2}, WANG Tingting^{1,2}, LI Shen^{1,2}, ZHAO Chunjian^{1,2,*}

1 Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 College of Chemistry, Chemical Engineering and Resource Utilization, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: Allelopathy is one of the important factors that affect the interspecific relationship of artificial mixed forest. Previous studies have shown that *Taxus chinensis* var. *mairei* has a significant promoting effect on the growth of *Camptotheca acuminata* in the mixed forest of *T. chinensis* var. *mairei* and *C. acuminata*, which was explained from the perspective of improving the microclimate of mixed forest land, but not from the perspective of interspecific allelopathy. In order to explore whether *T. chinensis* var. *mairei* has potential allelopathy promoting effect on *C. acuminata*, so as to understand more

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFD0601306); 国家自然科学基金项目 (31870609)

收稿日期: 2019-08-20; 网络出版日期: 2020-12-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zcj@nefu.edu.cn; zcjsj@163.com

comprehensively the interspecific relationship of *T. chinensis* var. *mairei* and *C. acuminata* mixed forest, the effects of water extracts from fresh leaves, litter leaves, branches and roots of *T. chinensis* var. *mairei* with different concentrations (25 g/L, 50 g/L, and 100 g/L) on seed germination and seedling growth of *C. acuminata* were studied in this study. The results showed that (1) the litter extract of *T. chinensis* var. *mairei* had no significant effect on seed germination and seedling growth of *C. acuminata* ($P > 0.05$), but the fresh leaves, branches and roots extracts had the promoting effects on *C. acuminata* germination and seedling growth in different degrees ($P < 0.05$), and the intensity was positively correlated with the concentration of extracts. (2) The germination percentage of *C. acuminata* seeds soaked in 100 g/L extracts of fresh leaves, branches and roots from *T. chinensis* var. *mairei* was 8.1%, 14.9% and 25.6% higher than that of the control group, respectively. (3) The fresh leaves extract of *T. chinensis* var. *mairei* could promote the basal diameter growth of *C. acuminata* seedlings at high concentration (100 g/L) ($P < 0.05$), but had no significant effect on plant height, total dry weight and net photosynthetic rate regardless of extracts concentration. The root and branch extracts of *T. chinensis* var. *mairei* had the promoting effects on plant height, basal stem, dry weight and net photosynthetic rate of *C. acuminata* seedlings ($P < 0.05$). Compared with the control group, 100 g/L of root and branch extracts could increase the height of *C. acuminata* seedlings by 14.2% and 8.4%, the basal diameter by 19.0% and 15.3%, the dry weight by 23.1% and 15.9%, and the net photosynthetic rate by 11.6% and 6.1%, respectively. The results showed that the positive allelopathy of *T. chinensis* var. *mairei* to *C. acuminata* may be one of the important factors to promote the growth of *C. acuminata* in the mixed forest of the two trees.

Key Words: *Camptotheca acuminata*; *Taxus chinensis* var. *mairei*; allelopathic effect; germination; growth

为了更利于集约化经营,我国人工造林常以纯林为主要造林方式,而人工纯林的长期生长常导致林木生长衰退和地力下降^[1-2]。营建人工混交林或对人工纯林混交化改造是消除人工林前述弊端的重要方式。与纯林相比,建立在树种合理搭配基础上的人工混交林系统可充分利用空间、改善立地条件,提高林产品的数量和质量^[3-5]。

喜树(*Camptotheca acuminata*)为国家Ⅱ级重点保护野生植物,广泛分布于长江流域及西南诸省区,但野生的喜树资源分布却呈明显递减趋势^[6-7]。为了缓解喜树资源危机,目前已开展喜树人工林营造。但据调查:喜树纯林生长较差、单株结实量较小^[8-10],因此选择适宜树种开展喜树人工混交林培育势在必行。已有研究表明:南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)是喜树的适宜混交树种,喜树南方红豆杉混交对喜树生长有明显促进作用,李雷鸿等^[11]和杨逢建等^[12]从混交改善混交林地微气候角度解释了这种促进作用,但未从种间化感作用角度探讨这种促进作用。

化感作用是指植物通过适当的途径向环境释放特定的化学物质,从而直接或间接影响邻近或下茬(后续)同种或不同种植物萌发和生长的效应^[13]。化感作用普遍存在于森林生态系统中^[14-16],是影响人工混交林种间关系的重要因素之一^[17]。因此,为更全面了解混交林各树种种间关系,进而为营建种间关系和谐的人工混交林提供指导,有必要对混交树种间的化感作用进行深入研究。

为了探究南方红豆杉是否对喜树具有潜在的化感促进作用,本文考察了南方红豆杉鲜叶、凋落叶、枝和根浸提液对喜树种子发芽、幼苗生长的影响,以期为在生产实践上营造种间关系合理的喜树南方红豆杉人工混交林提供化感方面的理论依据。

1 材料和方法

1.1 植物材料及采集地概况

南方红豆杉样品采集地点位于浙江省富阳市胥口镇浙江海正药业股份有限公司药用植物种植基地(30°0' N, 119°38' E),海拔 32 m,此地属于亚热带季风气候,年平均气温 16℃,无霜期 231 d,全年降雨量为 1938.6 mm,

土壤为砂质红壤。选取 10 年生南方红豆杉 (*Taxus chinensis* var. *mairei*) 的枝 (直径小于 1.0 cm)、鲜叶、凋落叶和根 (直径小于 1.0 cm) 作为水浸提液的提取材料。受试的喜树种子采自江西省九江市马回岭镇。

1.2 水浸提液的制备

参考文献^[18]的方法。将南方红豆杉的鲜叶、凋落叶分别按质量比 1:10 加入蒸馏水,在常温下浸泡 48 h,然后依次用定性滤纸和 0.45 μm 微孔滤膜过滤,分别得到浓度为 100 g/L 的南方红豆杉的鲜叶、凋落叶浸提液的原液。

南方红豆杉的枝、根首先用剪枝剪剪成长度约 1 cm 的小段,然后分别按质量比 1:10 加入蒸馏水,在常温下浸泡 48 h,然后依次用定性滤纸和 0.45 μm 微孔滤膜过滤,分别得到浓度为 100 g/L 的南方红豆杉的枝、根浸提液的原液。

将前述的南方红豆杉不同部分浸提液原液置于 4℃ 冰箱中备用。使用前,以蒸馏水分别稀释为 25、50 g/L 和 100 g/L 的浸提液。

1.3 喜树种子发芽实验

取同一批次籽粒饱满的喜树种子 100 粒,分别用 25、50 g/L 和 100 g/L 的南方红豆杉不同器官或凋落叶浸提液浸泡 24 h,然后再分别用相应的南方红豆杉浸提液润湿滤纸,将浸泡处理后的喜树种子放在滤纸上,盖上培养皿盖,培养皿置入 28℃ 人工气候箱中进行发芽。培养皿自放置培养箱起每天上午 9 点统计发芽种子的数量 (以胚根突出种皮超过 1 mm 视为发芽),直到第 15 天终止发芽实验,用公式 (1) 计算喜树种子发芽率 (Germination percentage, GP)。用蒸馏水代替南方红豆杉浸提液为对照,每组处理 3 次重复。

$$\text{发芽率 } GP = (M_1/M_0) \times 100\% \quad (1)$$

式中, M_1 : 试验期内全部正常发芽喜树种子粒数; M_0 : 供试喜树种子粒数。

1.4 喜树幼苗培养实验

栽培土为采自浙江省富阳区胥口镇喜树林下 0—20 cm 的土壤,土壤类型为砂质红壤, pH 值 5.8, 有机质 13.6 g/kg、全氮 1.2 g/kg、碱解氮 53.3 mg/kg、速效磷 19.0 mg/kg、速效钾 457.1 mg/kg。取同一批次的发芽喜树种子,种植于填充上述栽培土的口径 20 cm、高 15 cm 育苗盆中,置于日光温室内进行实验,常规管理。在整个实验期,采用 NB-IoT 温湿度传感器 (精讯畅通电子科技有限公司,威海) 连续监测日光室内温度,其中每日最低和最高气温如图 1 所示。每盆保留 3 株苗,待幼苗长至株高 10 cm 左右时随机分为若干组,每组 6 盆。各组分别浇灌 25、50 g/L 和 100 g/L 的南方红豆杉不同部分浸提液,每盆每 3 天浇灌 1 次 100 mL 南方红豆杉浸提液,并视土壤水分情况适当补水。用蒸馏水代替南方红豆杉浸提液为对照,每组处理 3 次重复。培养实验共进行 60 天,在第 60 天分别用卷尺和游标卡尺测量喜树幼苗株高和基径;大量浇水后,将喜树幼苗从育苗盆小心挖出,避免弄断细根,去除根上附着的泥土,80℃ 烘干至恒重,称量其干重。

在喜树幼苗处理后的第 60 天,从每个处理中随机挑选 6 株,采用 LI 6400 光合仪 (美国 LI-COR 公司) 测定喜树植株叶片中上部成熟叶片净光合速率。测定时最高气温 28.8℃,最低气温 23.5℃,最高辐射光强 1450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,测定时间 8:30—11:30。测定使用开放气路, CO_2 浓度为当日大气 CO_2 浓度,标准叶室 (2 cm×3 cm) 温度 28℃,相对湿度 65%,LED 光源光强为 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

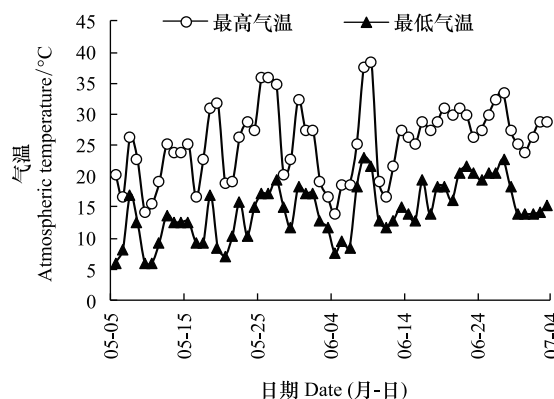


图 1 实验期间日光温室的气温

Fig. 1 Atmospheric temperature in solar greenhouse during the experiment

1.5 数据处理

使用“Excel 2010”软件(Microsoft)提供的“单因素方差分析”功能模块检验不同处理之间的差异(LSD, $\alpha=0.05$)。所有数据均用平均值 $\pm$ 标准差(SD)显示。

2 结果与分析

2.1 红豆杉不同部分浸提液对喜树种子发芽的影响

图2显示了南方红豆杉不同部分浸提液浸泡处理对喜树种子发芽率的影响。

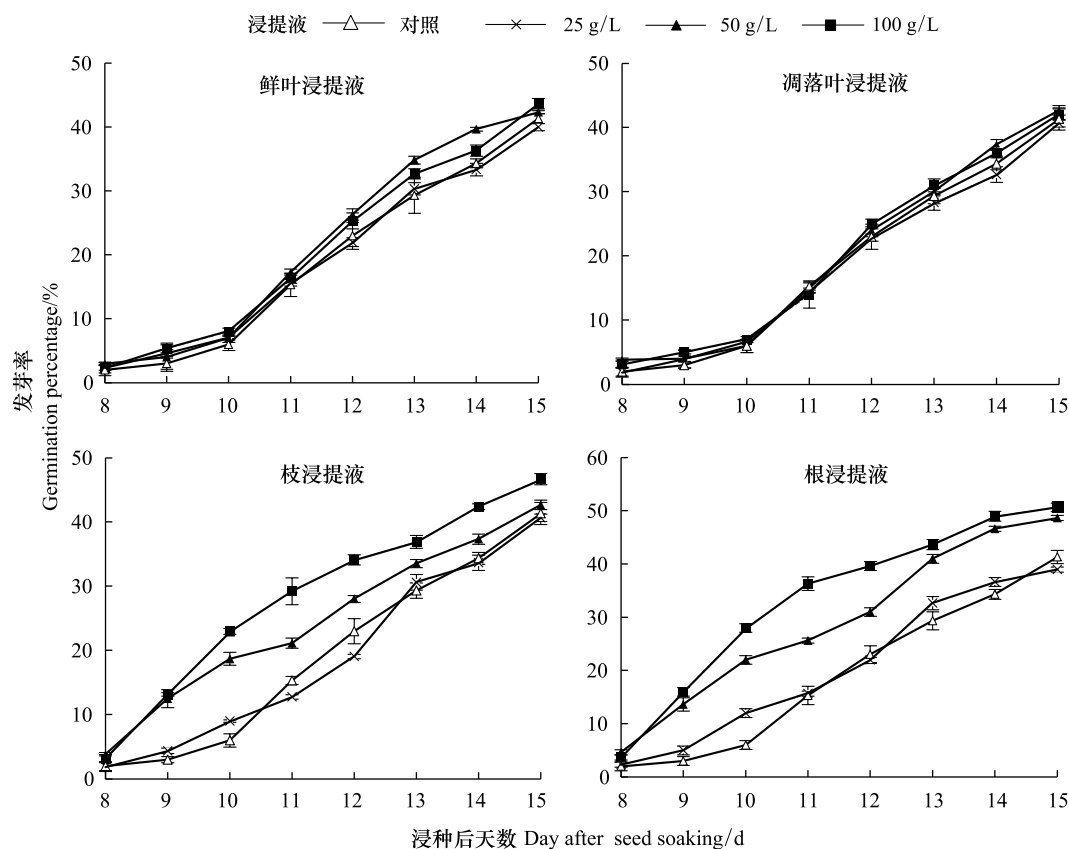


图2 南方红豆杉浸提液对喜树种子发芽率的影响

Fig. 2 Effects of extracts from *Taxus chinensis* var. *mairei* on germination percentage of *Camptotheca acuminata* seed

从图2可以看出,各组处理的喜树种子初始发芽时间相同,即种子均在浸泡后第8天开始发芽;随着发芽天数的增加,不同处理的喜树种子发芽率均逐渐增加。在整个发芽实验期间,不同浓度的南方红豆杉凋落叶浸提液浸种对喜树种子发芽率均无显著影响($P>0.05$);50 g/L和100 g/L的南方红豆杉鲜叶浸提液浸泡的喜树种子仅在处理第12天后的个别时间,其发芽率高于对照组,而25 g/L的鲜叶浸提液浸种在整个发芽实验期间对喜树种子发芽率均无显著影响($P>0.05$);在浸种第9天后,至发芽实验结束时,高浓度的南方红豆杉枝浸提液(100 g/L)和根浸提液(50、100 g/L)处理的喜树种子发芽率均高于对照组($P<0.05$),其他浓度的南方红豆杉枝浸提液和根浸提液对喜树发芽率无显著影响($P>0.05$)。

2.2 南方红豆杉不同部分浸提液对喜树幼苗生长指标的影响

喜树幼苗经过南方红豆杉不同部分浸提液浇灌处理后,在第60天测量其基径、株高和全株干重,结果分别如图3—图5所示。

由图3—5可知,所有浓度的凋落叶浸提液对喜树幼苗基径、株高、全株干重3个指标均无显著影响;所有浓度南方红豆杉鲜叶浸提液对喜树基径、全株干重均无显著影响,而仅在其浓度达到100 g/L时可以促进喜

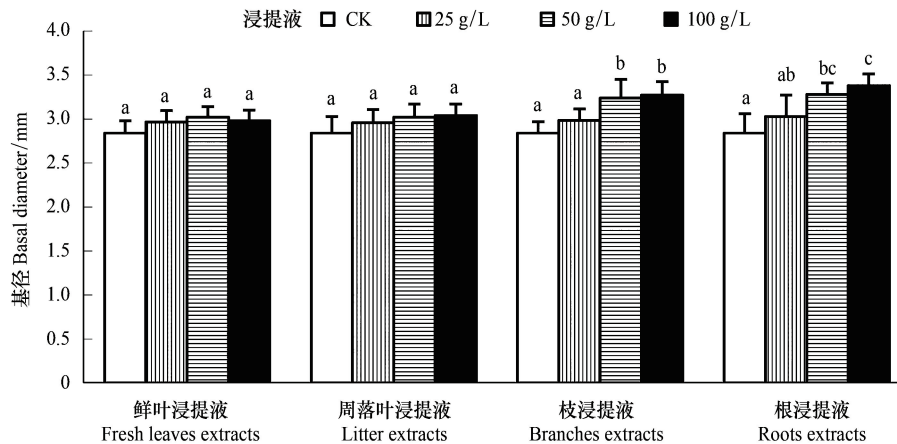


图3 南方红豆杉浸提液处理对喜树幼苗基径的影响

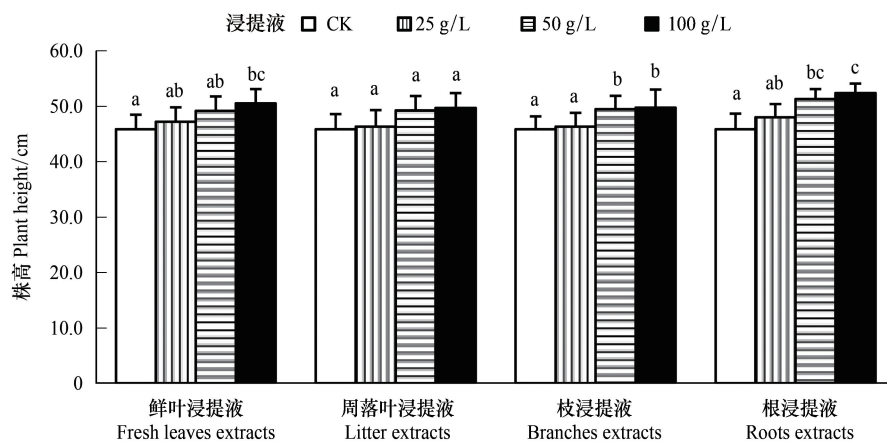
Fig. 3 Effects of extracts from *Taxus chinensis* var. *mairei* on basal diameter of *Camptotheca acuminata* seedlings

图4 南方红豆杉浸提液处理对喜树幼苗株高的影响

Fig. 4 Effects of extracts from *Taxus chinensis* var. *mairei* on plant height of *Camptotheca acuminata* seedlings

树株高增加;南方红豆杉根和枝浸提液对喜树幼苗株高、基茎、干重均具有促进作用且作用强度与浓度呈正关,与对照组相比,100 g/L的根和枝浸提液浇灌喜树幼苗,可以使喜树幼苗基径分别提高 19.0% 和 15.3%、株高分别提高 14.2% 和 8.4%、干重分别提高 23.1% 和 15.9%。

2.3 南方红豆杉不同部分浸提液对喜树幼苗光合作用的影响

在喜树幼苗使用南方红豆杉浸提液浇灌的第 60 天,对不同组的喜树幼苗进行光合测定,得到净光合速率,结果如图 6 所示。

3 结论与讨论

植物种间的化感作用十分复杂,同一供体植物不同部位的浸提液对同一受体的作用方向(促进或抑制)及作用强度可能存在差异^[18-19];同一供体植物相同部位的浸提液对不同受体的作用效果也可能存在差异^[20-21]。经检索文献发现,尚未见有关红豆杉属植物对其他植物化感促进作用方面的报道,而其化感抑制作用方面的报道仅有 2 篇:(1)Moral 等^[22]研究了短叶红豆杉(*Taxus brevifolia*)不同部分浸提液对大麦(*Hordeum vulgare*)、旱雀麦(*Bromus tectorum*)、花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)种子胚根生长的影响,表明短叶红豆杉叶浸提液可以抑制前两种植物种子的胚根生长而对花旗松种子的胚根生长无显著影响;凋落物浸提液对 3 种植物

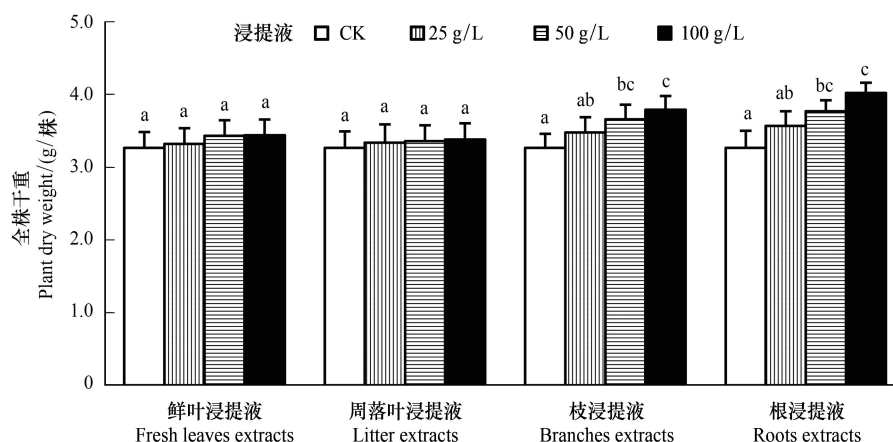


图5 南方红豆杉浸提液对喜树幼苗干重的影响

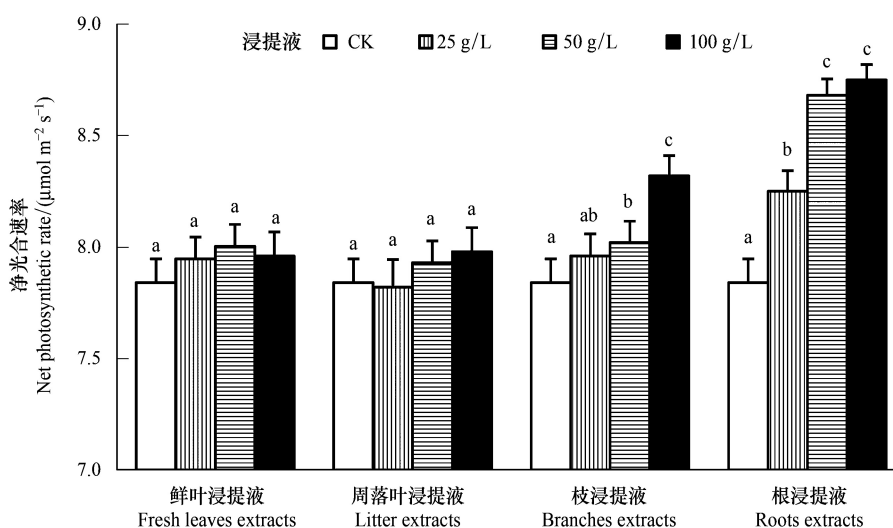
Fig. 5 Effects of extracts from *Taxus chinensis* var. *mairei* on dry weight of *Camptotheca acuminata* seedlings

图6 南方红豆杉浸提液对喜树幼苗净光合速率的影响

Fig. 6 Effects of extracts from *Taxus chinensis* var. *mairei* on net photosynthetic rate of *Camptotheca acuminata* seedlings

种子胚根生长均有显著抑制作用;树皮浸提液对3种植物种子胚根生长均无显著影响。(2)张艳杰等^[23]考察了南方红豆杉种子石油醚、甲醇、乙酸乙酯、乙醚以及水浸提液对白菜种子萌发及幼苗生长的影响,表明上述浸提液均会抑制白菜种子萌发和幼苗生长。与前述2篇报道不同,本研究发现了红豆杉属植物的化感促进作用:南方红豆杉枝和根浸提液对喜树种子的发芽及幼苗的生长具有化感促进作用;50—100 g/L的南方红豆杉枝和根浸提液浸种处理可显著提高喜树种子发芽率;浇灌处理可显著提高喜树幼苗的株高、地径、全株干重及其净光合速率。这种差异可能是制备浸提液的溶剂种类不同或者相同化感成分对不同植物化感作用的种间差异造成的^[24-25]。

化感物质可以通过植株挥发、雨雾淋溶、根系分泌和凋落物分解等途径对受体植物发生作用^[26]。本研究结果显示南方红豆杉枝和根浸提液可以促进喜树种子萌发和幼苗生长,说明南方红豆杉化感物质可能通过上述某种方式释放到土壤环境,从而直接或间接促进喜树生长。而南方红豆杉根浸提液对喜树的化感促进作用强于枝浸提液,说明来自南方红豆杉根系化学成分的化感作用可能是促进喜树生长的重要因素之一。

混交树种间的促进作用是地下化学生态作用的正反馈^[27]。南方红豆杉化感物质可能通过以下几个方面对喜树生长产生影响:(1)某些植物化感物质本身具有激素样作用或通过改变受体植物的激素组成及浓度促

进受体植物生长^[28],南方红豆杉中某种(类)化感物质可能也具有上述作用;(2)植物因形态可塑性可通过调整根系的分布对邻近植物做出响应^[29],喜树识别到来自南方红豆杉根际的化学信号,通过改变根系的垂直或水平分布从而增加对土壤养分的利用率;(3)化感物质可改变土壤微生物群落结构,使其利于邻近植物生长^[27,30],如果南方红豆杉化感物质能促进喜树形成菌根则可能促进其生长^[31]。因此,进一步的研究有必要分离鉴定南方红豆杉根浸提液及根系分泌物中促进喜树生长的化感物质,并探讨这些化感物质与根系、土壤微生物等地下生态因子的相互作用,为喜树南方红豆杉人工混交林造林设计提供有价值的参考。

参考文献(References):

- [1] Kong C H, Chen L C, Xu X H, Wang P, Wang S L. Allelochemicals and activities in a replanted Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) tree ecosystem. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(24): 11734-11739.
- [2] Wang J, Yan Q L, Yan T, Song Y, Sun Y R, Zhu J J. Rodent-mediated seed dispersal of *Juglans mandshurica* regulated by gap size and within-gap position in larch plantations: Implication for converting pure larch plantations into larch-walnut mixed forests. *Forest Ecology and Management*, 2017, 404: 205-213.
- [3] Yang L X, Wang P, Kong C H. Effect of larch (*Larix gmelini* Rupr.) root exudates on Manchurian walnut (*Juglans mandshurica* Maxim.) growth and soil juglone in a mixed-species plantation. *Plant and Soil*, 2010, 329(1/2): 249-258.
- [4] Pretzsch H, Schütze G, Uhl E. Resistance of European tree species to drought stress in mixed *versus* pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology*, 2013, 15(3): 483-495.
- [5] Pretzsch H, del Rio M, Ammer C, Avdagic A, Barbeito I, Bielak K, Brazaitis G, Coll L, Dirnberger G, Drössler L, Fabrika M, Forrester D I, Godvod K, Heym M, Hurt V, Kurylyak V, Löf M, Lombardi F, Matović B, Mohren F, Motta R, den Ouden J, Pach M, Ponette Q, Schütze G, Schweig J, Skrzyszewski J, Sramek V, Sterba H, Stojanović D, Svoboda M, Vanhellemont M, Verheyen K, Wellhausen K, Zlatanov T, Bravo-Oviedo A. Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Research*, 2015, 134(5): 927-947.
- [6] 康菊清, 张建军, 李智军, 任毅. 陕西省国家重点保护植物一分布新记录种——喜树(*Camptotheca acuminata*). *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 45(2): 68-70.
- [7] 张德辉. 喜树资源生态学的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001.
- [8] 汪贵斌, 蔡金峰, 何肖华. 涝渍胁迫对喜树幼苗形态和生理的影响. *植物生态学报*, 2009, 33(1): 134-140.
- [9] 杨荣和, 耿礼祥, 龙秀琴, 许杰. 贵州省喜树资源初步调查. *贵州林业科技*, 2001, 29(1): 32-36.
- [10] 汪德玉. 杉木喜树混交林生态效应研究. *河南大学学报: 自然科学版*, 2005, 35(2): 67-71.
- [11] 李雷鸿, 杨逢建, 庞海河, 高银祥, 孙佳音. 喜树人工复合群落生长发育动态变化与气象因子的关系. *植物研究*, 2008, 28(4): 486-490.
- [12] 杨逢建, 刘维, 王文杰, 祖元刚. 喜树与南方红豆杉混交群落生活史型谱特征. *植物研究*, 2011, 31(6): 711-715.
- [13] 孔垂华, 胡飞, 王朋. 植物化感(相生相克)作用. 北京: 高等教育出版社, 2016: 1-19.
- [14] Blanco J A. The representation of allelopathy in ecosystem-level forest models. *Ecological Modelling*, 2007, 209(2/4): 65-77.
- [15] Caboun V, John J. Allelopathy research methods in forestry. *Allelopathy Journal*, 2015, 36(2): 133-166.
- [16] Cummings J A, Parker I M, Gilbert G S. Allelopathy: a tool for weed management in forest restoration. *Plant Ecology*, 2012, 213(12): 1975-1989.
- [17] Inderjit, Wardle D A, Karban R, Callaway R M. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology & Evolution*, 2011, 26(12): 655-662.
- [18] 李欣欣, 赖金莉, 岳建华, 荣俊冬, 陈礼光, 陈凌艳, 何天友, 郑郁善. 毛竹各器官和根际土浸提液对杉木种子萌发的化感作用. *生态学报*, 2018, 38(22): 8149-8157.
- [19] Mertoglu K, Ileri O, Altay Y. Aqueous leaf extracts effect of some apple cultivars on growth characteristics of the green manure legumes via allelopathy. , 2018, 27(6): 4052-4060.
- [20] Ashti S A, Hero F H K, Dlhshad A O, Nawroz A T. Response of some plant species towards the allelopathy of two types of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed extracts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018, 16(6): 8119-8129.
- [21] 邓文红, 赵欣蕊, 张俊琦, 郭惠红. 沙蒿(*Artemisia ordosica*)水浸提液对4种伴生草本植物的化感作用. *生态学报*, 2019, 39(15): 5670-5678.
- [22] Del Moral R, Cates R G. Allelopathic potential of the dominant vegetation of Western Washington. *Ecology*, 1971, 52(6): 1030-1037.
- [23] 张艳杰, 鲁顺保, 高捍东. 南方红豆杉种子不同溶剂提取液对白菜种子萌发及幼苗生长的化感效应. *中国农学通报*, 2010, 26(9): 190-194.
- [24] Nakano H. Effect of okara extracts on seedling growth of five plant species. *Allelopathy Journal*, 2009, 23(1): 237-242.
- [25] Espinosa-Rodríguez C A, Valencia-del Toro G, Sarma S S S, Nandini S. Allelopathic activity and chemical analysis of crude extracts from the macrophyte *Egeria densa* on selected phytoplankton species. *Allelopathy Journal*, 2016, 37(1): 147-160.
- [26] 孔垂华, 胡飞, 王朋. 植物化感(相生相克)作用. 北京: 高等教育出版社, 2016: 141-184.
- [27] Xia Z C, Kong C H, Chen L C, Wang P, Wang S L. A broadleaf species enhances an autotoxic conifers growth through belowground chemical interactions. *Ecology*, 2016, 97(9): 2283-2292.
- [28] Ren K L, Hayat S, Qi X F, Liu T, Cheng Z H. The garlic allelochemical DADS influences cucumber root growth involved in regulating hormone levels and modulating cell cycling. *Journal of Plant Physiology*, 2018, 230: 51-60.
- [29] Schiffers K, Tielbörger K, Tietjen B, Jeltsch F. Root plasticity buffers competition among plants: theory meets experimental data. *Ecology*, 2011, 92(3): 610-620.
- [30] Qin F C, Yu S X. Arbuscular mycorrhizal fungi protect native woody species from novel weapons. *Plant and Soil*, 2019, 440(1/2): 39-52.
- [31] 赵昕, 阎秀峰. 丛枝菌根对喜树幼苗生长和氮、磷吸收的影响. *植物生态学报*, 2006, 30(6): 947-953.