

## 几种化感物质对杉木幼苗生长的影响\*

汪思龙 陈龙池\*\* 廖利平 黄志群

(中国科学院沈阳应用生态研究所会同森林生态实验站 沈阳 110016)

**摘要** 采用培养皿滤纸法,研究了不同浓度的肉桂酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸对杉木(*Cunninghamia lanceolata*)幼苗生长的影响. 结果表明肉桂酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸分别在 $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ 浓度时降低了叶绿素含量( $P=0.05$ ),而在 $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ 浓度时抑制了杉木幼苗胚根和胚芽的生长( $P=0.01$ ). 3种酚类物质对胚根生长的抑制作用明显高于对胚芽生长的抑制作用. 在3种酚类物质中,肉桂酸对杉木幼苗生长的抑制作用最强,对羟基苯甲酸次之,苯甲酸最弱. 这表明酚类物质能在不同程度上抑制杉木幼苗的生长,降低其生产力,可能是连栽杉木人工林生产力降低的因素之一. 图2表1参14

**关键词** 化感物质; 化感作用; 对羟基苯甲酸; 苯甲酸; 肉桂酸; 杉木

**CLC** 719.270.1

## EFFECTS OF THREE KINDS OF ALLELOCHEMICALS ON GROWTH OF CHINESE FIR SEEDLINGS\*

WANG Silong, CHEN Longchi\*\*, LIAO Liping & HUANG Zhiqun

(Huitong Experimental Station of Forest Ecology, Shenyang Institute of Applied Ecology, Chinese Academic of Sciences, Shenyang 110016, China)

**Abstract** The effects of three kinds of allelochemicals with different concentrations on the growth of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings were studied on filter paper in the 9 cm petri dishes. The results showed that cinnamic acid, benzoic acid and P-hydroxybenzoic acid significantly reduced the chlorophyll content in seedlings of *C. lanceolata* at concentrations of  $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  and  $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  ( $P=0.05$ ), respectively, while inhibited the growth of seedling radicle and stem at concentrations of  $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  and  $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  ( $P=0.01$ ), respectively. Inhibition on the radicle growth was stronger than that of stem. The effects of allelochemicals on the seedling growth in the order of cinnamic acid > P-hydroxybenzoic acid > benzoic acid. It was suggested that these allelochemicals could reduce productivity of Chinese fir plantation by inhibiting growth of its seedlings. Fig 2, Tab 1, Ref 14

**Keywords** allelochemicals; allelopathy; P-hydroxybenzoic acid; benzoic acid; cinnamic acid; Chinese fir

**CLC** S719.270.1

近年来的研究发现,连栽杉木(*Cunninghamia lanceolata*)生产力降低与杉木化感作用有关<sup>[1~8]</sup>,周崇莲等人在中科院会同森林生态实验站研究杉木连栽土壤氧化代谢能力时,发现三耕土中香草醛(vanillin)的氧化代谢能力比头耕土高,为头耕土的143%<sup>[1]</sup>. 香草醛会影响杉木种子发芽率、幼苗生长和叶绿素含量<sup>[2]</sup>. 同样,阿魏酸(ferulic acid)等酚类

化感物质明显抑制杉木种子发芽和幼苗生长<sup>[3]</sup>. 采伐剩余根桩在分解过程中释放酚类物质,并在土壤中积累,影响了下一代杉木的生长<sup>[4,5]</sup>. 杉木凋落物、根系、枝、叶、皮等器官的水浸液都含有香草醛、对羟基苯甲酸(P-hydroxybenzoic acid)、阿魏酸等酚类物质,这些物质都抑制了杉木种子发芽和幼苗生长<sup>[6]</sup>. 连栽土壤中含有多种酚类物质<sup>[9]</sup>,除香草醛外,还有从凋落物和根桩分解及根系分泌过程中释放的肉桂酸、苯甲酸(Benzoic acid)及对羟基苯甲酸等酚类物质<sup>[4~6]</sup>. 然而目前尚缺乏这些酚类化合物对杉木生长的影响等方面的研究,尤其是苯甲酸及对羟基苯甲酸等对杉木生长影响的研究. 本文通过对杉木幼苗

收稿日期:2001-11-26 修回日期:2002-03-26 接收日期:2002-05-09

\* 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-406) Supported by the Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (KZCX2-406)

\*\* 通讯作者 Corresponding author (E-mail: lchen76@163.net)

施加处理,研究几种不同浓度的肉桂酸、苯甲酸及对羟基苯甲酸等酚类物质对杉木幼苗鲜重、叶绿素含量等指标的影响,明确不同酚类物质对杉木幼苗的致毒浓度效应,为进一步揭示酚类化感物质的作用机理提供新的资料 and 依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料来源

供实验的杉木种子来自湖南会同县林业科学研究所。培养前用 0.5% 的高锰酸钾溶液消毒 30 min。

### 1.2 酚类溶液及对照液的配制

将定量的对羟基苯甲酸、肉桂酸和苯甲酸分别溶于 1 mL 95% 的乙醇,用蒸馏水定容至 100 mL 的容量瓶中,配制成  $1 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  的待用母液。利用母液稀释成  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  和  $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$  的溶液各 50 mL,置于冰箱中待用。由于乙醇对杉木种子的发芽及幼苗生长有一定的影响,故对照液中也含有 1% 的乙醇(CK)。

### 1.3 杉木种子置床处理

将消毒过的杉木种子置于垫有滤纸的培养皿中,放入恒温箱培养 4 ~ 5 d 后,用消毒过的镊子将刚刚

露白的种子挑出,放入垫有滤纸的培养皿中,每盘培养皿放置 50 粒种子。取配制好的酚类物质溶液及对照液各 3 mL 加入培养皿中,每处理设置 3 个重复。以后每天各加相应溶液 1 mL,保持滤纸湿润、种子周围不出现水膜。昼夜温度分别为  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (8 h)/ $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (16 h)。

d 20 结束培养,统计杉木幼苗的鲜重、胚根长、胚芽长,测定子叶中叶绿素含量,其中叶绿素用混合法提取<sup>[10]</sup>,用紫外分光光度计(UV - 1601)测定其含量。

### 1.4 数据处理

所有数据都进行单因素方差分析和 Student-t 检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 几种不同浓度的酚类化感物质对杉木幼苗叶绿素含量的影响

肉桂酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸等都能够对叶绿素造成伤害,降低杉木幼苗叶绿素 a、b 的含量。随着酚类物质浓度的升高,叶绿素的含量更低。这说明酚类化感物质能够抑制植物体内叶绿素的合成,浓度越高其抑制作用越大(图 1)。

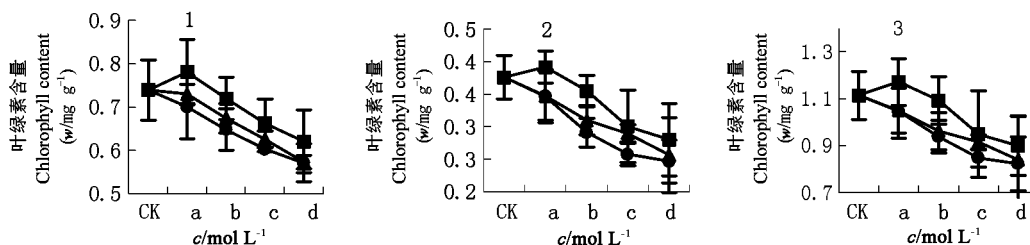


图 1 酚类物质对杉木幼苗叶绿素含量的影响

Fig 1 Effect of phenolics on the chlorophyll contents of Chinese fir seedlings

1. 叶绿素 a 含量 Contents of chlorophyll a; 2. 叶绿素 b 含量 Contents of chlorophyll b; 3. 叶绿素总量 Total contents of chlorophyll.  
a:  $1 \times 10^{-6}$ ; b:  $1 \times 10^{-5}$ ; c:  $1 \times 10^{-4}$ ; d:  $1 \times 10^{-3}$ ; 下同 The same below.

● 肉桂酸 Cinnamic acid; ■ 苯甲酸 Benzoic acid; ▲ 对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid

肉桂酸浓度为  $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  时,杉木幼苗叶绿素含量与 CK 之间差异达到显著性水平 ( $P < 0.05$ ),对羟基苯甲酸浓度为  $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ,苯甲酸浓度为  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  时,杉木幼苗叶绿素含量与 CK 之间具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。这说明肉桂酸对杉木体内叶绿素合成的抑制作用最强,对羟基苯甲酸次之,苯甲酸最弱。

叶绿素 a 具有收集和转化光能的作用,叶绿素 b 具有收集光能的作用,叶绿素在植物的光合作用过程中起着十分重要的作用,能够收集太阳光能并将其转化为化学能,为植物的生长提供所必需的能量。3 种

酚类物质抑制了叶绿素的合成,将会降低对光能的收集和转化能力及杉木光合作用速率,从而影响了干物质的合成,降低了杉木的生产力。

### 2.2 几种不同浓度的酚类化感物质对杉木幼苗鲜重的影响

植物幼苗鲜重是表征其生物量的一个常用指标,且对外界环境胁迫较为敏感,因而也被用作生物测定指标。用肉桂酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸处理杉木种子发芽后的幼苗,结果发现,随着施加物质浓度的增加,杉木幼苗的鲜重逐渐降低(图 2)。其中肉桂酸浓度在  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$

$L^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ 时分别比 CK 降低了 27.9%、23.7%、17.1%、13.5%。苯甲酸浓度在  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \sim 1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ 时分别比 CK 降低了 18.9%、8.4%、2.3%，而在  $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ 时反而升高了 6.4%。相应地，对羟基苯甲酸浓度在  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \sim 1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ 时分别比 CK 降低了 23.3%、

16.0%、11.2%、3.2%。这说明肉桂酸、苯甲酸和对羟基苯甲酸都抑制了杉木幼苗的生长，浓度为  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 时，对杉木幼苗鲜重的影响水平都达到极显著 ( $P < 0.01$ )。从降低的程度可以看出，肉桂酸对杉木种子鲜重的影响更为显著，对羟基苯甲酸次之，苯甲酸最小。

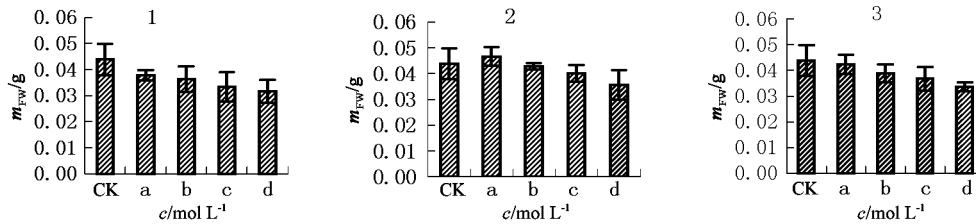


图2 酚类物质对杉木幼苗鲜重 ( $m_{FW}/g$ ) 的影响

Fig 2 Effects of phenolics on fresh weight ( $m_{FW}/g$ ) of Chinese fir seedlings

1. 肉桂酸 Cinnamic acid; 2. 苯甲酸 Benzoic acid; 3. 对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid

苯甲酸浓度在  $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ 时促进杉木幼苗生长，说明酚类化感物质在高浓度时抑制了植物的生长，而在低浓度下反而呈现促进植物的生长效应<sup>[11]</sup>。

### 2.3 几种不同浓度的酚类化感物质对杉木幼苗胚根胚芽生长的影响

植物胚根长、胚芽长也是生物测定常用的指标。肉桂酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸在浓度达到  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 时对杉木幼苗胚根长、胚芽长及胚根胚芽比的影响与 CK 之间的差异都达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )，这表明 3 种外源酚类物质都显著抑制了杉木幼苗胚根和胚芽的生长 (表 1)。这与 Vanghan 和 Ord 的报道相似<sup>[12]</sup>，他们认为化感物质通过抑制植物细

胞分裂来影响植物根系分生组织的生长。

当肉桂酸浓度在  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 时，杉木的胚根长、胚芽长分别比 CK 降低了 51.6%、26.7%，可看出肉桂酸对杉木胚根长的影响明显高于对胚芽长的影响，苯甲酸和对羟基苯甲酸也表现出同样的作用。也就是说，杉木胚根对酚类化感物质毒害作用的敏感程度高于胚芽的敏感程度。

当苯甲酸浓度为  $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ 时，杉木幼苗的胚根长、胚芽长分别比 CK 的高 3.2%、0.6%，这表明当酚类化感物质浓度低到一定程度后不影响杉木幼苗胚根和胚芽的伸长，甚至可能会促进杉木幼苗的生长。

表 1 酚类物质对杉木幼苗胚根胚芽生长的影响 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $N=5$ )

Tab 1 Effects of phenolics on root and stem growth of Chinese fir seedling ( $\bar{x} \pm s$ ,  $N=5$ )

酚类物质 Phenolics	$c/\text{mol L}^{-1}$	胚根长 Root length ( $l_r/\text{cm}$ )	胚芽长 Stem length ( $l_s/\text{cm}$ )	$l_r/l_s$
肉桂酸 Cinnamic acid	$1 \times 10^{-6}$	$2.91 \pm 0.23^{**}$	$2.62 \pm 0.09^{**}$	$1.11 \pm 0.06^*$
	$1 \times 10^{-5}$	$2.65 \pm 0.28^{**}$	$2.56 \pm 0.21^{**}$	$1.03 \pm 0.06^{**}$
	$1 \times 10^{-4}$	$2.43 \pm 0.08^{**}$	$2.51 \pm 0.20^{**}$	$0.97 \pm 0.09^{**}$
	$1 \times 10^{-3}$	$1.99 \pm 0.21^{***}$	$2.32 \pm 0.16^{**}$	$0.86 \pm 0.09^{**}$
苯甲酸 Benzoic acid	$1 \times 10^{-6}$	$4.24 \pm 0.27$	$3.18 \pm 0.22$	$1.34 \pm 0.02$
	$1 \times 10^{-5}$	$3.70 \pm 0.36$	$3.06 \pm 0.08$	$1.21 \pm 0.10$
	$1 \times 10^{-4}$	$2.93 \pm 0.22^{**}$	$2.96 \pm 0.11$	$0.99 \pm 0.05^{**}$
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	$1 \times 10^{-3}$	$2.35 \pm 0.25^{***}$	$2.74 \pm 0.27^{**}$	$0.86 \pm 0.14^{**}$
	$1 \times 10^{-6}$	$3.80 \pm 0.16$	$3.07 \pm 0.16$	$1.24 \pm 0.06$
	$1 \times 10^{-5}$	$2.70 \pm 0.21^{**}$	$2.60 \pm 0.15^{**}$	$1.04 \pm 0.04^{**}$
	$1 \times 10^{-4}$	$2.45 \pm 0.08^{**}$	$2.61 \pm 0.27^{**}$	$0.95 \pm 0.13^*$
CK	/	$2.02 \pm 0.15^{***}$	$2.56 \pm 0.07^{**}$	$0.79 \pm 0.08^{**}$
		$4.11 \pm 0.23$	$3.16 \pm 0.13$	$1.30 \pm 0.07$

\* :  $P < 0.05$ , \*\* :  $P < 0.01$ , \*\*\* :  $P < 0.001$

### 3 讨论

3 种酚类物质对杉木叶绿素影响的浓度水平有所不同,  $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  的肉桂酸、对羟基苯甲酸对杉木幼苗叶绿素 b 的影响达到显著水平, 超过  $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  时, 则对叶绿素 a 合成产生显著的抑制作用; 当苯甲酸浓度为  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  时, 才对叶绿素 b 合成产生明显的抑制作用. 笔者研究发现, 对羟基苯甲酸等酚类物质能够影响杉木幼苗的多种生理活动, 如净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、根系活力等<sup>①</sup>. 生理活动的变化必然导致杉木幼苗体内的酶系统紊乱、内平衡失调, 从而影响杉木幼苗的生长.

肉桂酸、苯甲酸、对羟基苯甲酸和香草醛等物质同属于酚类化合物, 是影响植物生长的化感物质, 能够明显地抑制植物的胚根胚芽生长. 然而不同物质对杉木的影响程度各不相同,  $1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$  的肉桂酸对杉木幼苗鲜重、胚根长、胚芽长等指标的影响与 CK 之间差异达到极显著水平; 对羟基苯甲酸在浓度为  $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  时对杉木幼苗鲜重、胚根长、胚芽长等的影响达到极显著水平; 苯甲酸在浓度为  $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  时才对杉木幼苗胚根长的影响达到极显著水平.

酚类物质对植物的化感作用影响了植物对根际养分的吸收<sup>[13]</sup>, 致使植株养分吸收不平衡, 抑制了植物的生长, 降低了植物的生产力. 笔者通过研究也发现, 香草醛等酚类物质能够抑制杉木幼苗根系活力, 影响杉木幼苗对养分的吸收<sup>②</sup>, 这可能是酚类物质影响杉木幼苗生长的原因之一. 马越强等<sup>[2]</sup>认为, 酚类物质对植物幼苗生长产生抑制作用, 影响了地上植株部分的正常生长, 进而影响整个植株冠层生长, 对主要光合器官枝叶干物质积累产生明显的不良影响, 导致杉木在幼苗期光合碳平衡方面发生失调与缺乏, 降低植株生产力.

酚类化合物能够对杉木幼苗产生化感作用, 抑制杉木幼苗的生长, 导致植株生产力降低. 同时这些酚类化合物还影响林地土壤养分含量和酶活性, 降低土壤中的某些有效养分<sup>[14]</sup>, 如有效 N、有效 K, 从而造成土壤养分的亏缺, 这些因素相互结合, 更加重了对杉木幼苗生长的影响, 因而杉木林地土壤中存在酚类化合物是造成连栽杉木林生产力低的一个不可忽视的因素, 甚至是一个十分重要的因素.

#### References

- Zhu JF(朱济凡), Feng ZW(冯宗炜), Chen CY(陈楚莹). Researches on relations between the growth-development and environment of *Cunninghamia lanceolata* plantation. Thirty Years' Forest Science and Technology of China (中国林业科技三十年) (1949~1979). Beijing: Forest Press of China, 1979
- Ma YQ(马越强), Liao LP(廖利平), Yang YJ(杨跃军)

- Wang SL(汪思龙), Gao H(高洪), Chen CY(陈楚莹). Effect of vanillin on the growth of Chinese-fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1998, **9**(2): 128~132
- Cao GQ(曹光球), Lin SZ(林思祖), Huang SG(黄世国). Effect of the ferulic acid and cinnamic acid on the germination of Chinese-fir seeds. *J Plant Resour & Environ* (植物资源与环境学报), 2001, **10**(2): 63~64
- Huang ZQ(黄志群), Liao LP(廖利平), Wang SL(汪思龙). Dynamics of phenolics content of Chinese fir stump-roots and the rhizosphere soil and it's allelopathy. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2000, **11**(2): 190~192
- Huang ZQ, Liao LP, Wang SL, Cao GQ. Allelopathy of phenolics from decomposing stump-roots in replant chinese fir woodland. *J Chem Ecol*, 2000, **26**(9): 2212~2219
- Huang ZQ, Terry Haig, Wang SL, Han SJ. Autotoxicity of Chinese fir on seed germination and seedling growth. *Allelopathy J*, 2002, **9**(2): 51~59
- Chen CY(陈楚莹), Zhang JW(张家武), Zhou CL(周崇莲), Zheng HY(郑鸿元). Researches on improving the quality of forest land the productivity of artificial *Cunninghamia lanceolata* stands. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1990, **1**(2): 97~106
- Chen CY(陈楚莹), Liao LP(廖利平), Wang SL(汪思龙). The Ecology of Chinese Fir Plantation. Beijing: Science Press, 2000
- Ruan WB(阮维斌), Zhao ZJ(赵紫娟), Xue J(薛健), Wang JG(王敬国), Zhang FS(张福锁). Measurement of five allelopathic related phenolic acids by high performance liquid chromatography. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2001, **7**(6): 609~612
- Chen FM(陈福明), Chen SW(陈顺伟). Researches on contentso of Chlorophyll in mixture way. *Zhejiang For Sci Technol* (浙江林业科技), 1984(1): 19~23
- Leather GR, Einhellig FA. Bioassay of naturally occurring allelochemicals for phytotoxicity. *J Chem Ecol*, 1988, **14**(10): 1821~1828
- Vanghan D, Ord BG. Influence of phenolic acids on morphological changes in roots of *Pisum sativum*. *J Sci Food Agri*, 1990, **52**: 289~299
- Yu JQ, Matsui Y. Effexts of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *J Chem Ecol*, 1997, **23**(3): 817~827
- Chen LC(陈龙池), Liao LP(廖利平), Wang SL(汪思龙), Huang ZQ(黄志群). Effect of exotic toxin on the nutrition of woodland soil. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2002, **21**(1): 19~22

① 陈龙池, 廖利平, 汪思龙等. 香草醛和对羟基苯甲酸对杉木幼苗生理指标的影响(待发表)

② 陈龙池, 廖利平, 汪思龙等. 香草醛对杉木幼苗养分吸收的影响(待发表)