

香草醛对杉木幼苗养分吸收的影响

陈龙池 廖利平 汪思龙

(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 通过模拟实验研究了不同浓度的香草醛对杉木(*Cunninghamia lanceolata*)幼苗养分吸收和根系活力的影响。结果发现,当浓度为 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,香草醛能够显著抑制杉木幼苗对 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 及 HPO_4^{2-} 离子的吸收和根系活力($p < 0.01$),而浓度为 $1 \times 10^{-2} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时香草醛却促进了杉木幼苗对 HPO_4^{2-} 离子的吸收($p < 0.01$)。这说明高浓度的香草醛能够通过化感作用对杉木幼苗产生影响,降低杉木幼苗的根系活力,进而减少了杉木幼苗对养分离子的吸收,从而影响了杉木幼苗的生长。

关键词 杉木 香草醛 根系活力 化感作用 离子吸收 养分吸收

EFFECT OF VANILLIN ON NUTRIENT ABSORBENCY OF CHINESE FIR SEEDLINGS

CHEN Long-Chi LIAO Li-Ping and WANG Si-Long

(Huitong Experimental Station of Forest Ecology, the Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) is a dominant, native commercial tree species in South China known for rapid growth and high quality timber. Replanting this species in pure stands has resulted in extensive areas that are poorly established and have low productivity. This serious problem has attracted nationwide attention. Recent research suggests that low productivity is caused by allelopathy. According to some laboratory studies, phenolics such as vanillin extracted from Chinese fir roots, fresh leaves, and litter inhibit seed germination and growth of seedlings. When soil phenolics have a concentration higher than the threshold of toxicity they will inhibit Chinese fir growth. However, it has been unclear how the phenolics affect the Chinese fir. The purpose of this study is to determine the concentration at which vanillin develops an allelopathic effect on nutrient absorbency in Chinese fir.

The effects of different concentrations of vanillin on nutrient absorbency in Chinese fir seedlings were examined using a culture solution. The mother solution (MS) was made by dissolving nutrients (49.5 g NH_4NO_3 , 57 g KNO_3 , 13.2 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 11.1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5.1 g KH_2PO_4 and 1.179 g Na_2EDTA) in 1 500 ml distilled water. The mother solution of $1\ 000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ vanillin was made by dissolving 15.2 g vanillin in 100 ml distilled water which was then diluted to six different levels of culture solution: 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001, and $0.0001 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, each with nutrient solutions of 0.5 MS. Distilled water was used as the control. The solution was adjusted to pH 5.1 with $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl or NaOH. One-year-old Chinese fir seedlings were grown in separate plastic containers and ventilated every day using an electromotor. Each treatment was replicated three times. After seven days, concentrations of NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} and HPO_4^{2-} ions in the culture solutions were analyzed.

Results showed that vanillin at higher concentrations inhibited uptake of these ions by Chinese fir seedlings. The concentrations of residual NO_3^- ion in the culture solution with vanillin at $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ were 5 704% and 1 561% higher than that in the control, respectively, indicating that vanillin could significantly inhibit uptake of NO_3^- ion ($p < 0.01$). At a vanillin level of $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, NO_3^- ion in the culture solution was even greater than that at the beginning of the treatment. It appears that in the presence of vanillin the roots of Chinese fir seedlings produced a net output of NO_3^- ion. The higher the concentration of vanillin in the culture solution the more the nutrient ions remained in culture solution. This suggests that vanillin reduces the absorptive capacity of Chinese fir roots.

The concentrations of residual NH_4^+ ion in the culture solution with vanillin at concentrations of $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ were 29.9% and 11.6% higher, respectively, than in the control. That is, the up-

take of NH_4^+ by Chinese fir roots was lower in culture solution with vanillin than in the control, suggesting that vanillin significantly ($p < 0.05$) inhibited the uptake of NH_4^+ ion. At concentrations of $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ vanillin, the residual SO_4^{2-} in solution were 557.4% and 1 026.2%, respectively, greater than that in the control, indicating that vanillin significantly ($p < 0.01$) reduced the uptake of SO_4^{2-} ion.

Using the culture solution with a vanillin concentration of $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, the residual HPO_4^{2-} ion was 310.5% greater than that in the control. At the vanillin concentration of $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ the residual HPO_4^{2-} ion was 32.5% lower than in the control. This suggests that $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ vanillin could significantly ($p < 0.01$) inhibit uptake of HPO_4^{2-} by Chinese fir seedlings, and that $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ vanillin could significantly accelerate uptake of HPO_4^{2-} ion.

The activity of the root system of Chinese fir seedlings was inhibited by vanillin. In culture-solutions containing vanillin at 10, 1, and $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ activity of the root system was reduced 78.8%, 51.6% and 33.1%, respectively, compared with the control, indicating that vanillin significantly inhibited activity of the root system of Chinese fir seedlings. Lower activity of the root system decreased absorptive ability resulting in lower seedling growth.

We conclude that vanillin at specific concentrations in the soil might produce allelopathic effects on Chinese fir seedlings by decreasing activity of the root system, resulting in inhibition of uptake of NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} and HPO_4^{2-} ions.

Key words Chinese fir, Vanillin, Activity of root system, Allelopathy, Ion uptake, Nutritious absorbency

连栽杉木人工林地力衰退已成为学术界和林业生产部门共同关注的生态学问题(朱济凡等, 1979; 冯宗炜等, 1982; 方奇, 1987; 陈楚莹等, 1990; 黄志群等, 2000; Huang *et al.*, 2000; 2002)。近年来的研究表明, 连栽杉木生产力下降与植物化感作用(Allelopathy)有密切的关系(马越强等, 1998; 黄志群等, 2000; Huang *et al.*, 2000; 2002; 曹光球等, 2001)。杉木凋落物、鲜叶、根系水浸液中含有香草醛、阿魏酸、对羟基苯丙烯酸和对羟基苯甲酸等酚类化合物, 这些酚类化合物能够抑制杉木种子发芽和幼苗生长(Huang *et al.*, 2000; 2002)。连栽杉木林土壤中酚类化合物(如香草醛)的浓度明显增高, 可能是这些物质的化感作用导致连栽杉木生产力下降(陈楚莹等, 1990)。采伐剩余根桩在分解过程中不断地向土壤中释放酚类物质, 从而导致土壤中酚类物质的浓度不断增加, 影响了下一代杉木的生长(黄志群等, 2000; Huang *et al.*, 2000)。

然而, 目前人们只是注重于这些酚类物质对杉木幼苗化感作用现象的研究, 尚缺乏对化感作用的作用机制等方面的深入研究。如香草醛能够抑制叶绿素 a、b 的合成, 降低其含量(马越强等, 1998)。杉木林土壤养分亏缺使得杉木缺乏生长所必需的营养物质, 从而导致杉木生产力降低(陈楚莹, 1990)。香草醛和对羟基苯甲酸等酚类物质的化感作用能够降低土壤中有效养分含量, 从而造成土壤养分的亏缺(陈龙池, 2002)。香草醛等酚类物质的化感作用是否也能够影响杉木根系对养分的吸收, 从而使杉木

缺乏快速生长所必需的物质而导致生产力下降? 目前还未见此类报道。为此, 本文以香草醛为酚类物质的代表, 通过杉木水培、盆栽实验, 研究不同浓度的香草醛对杉木养分吸收及根系活力的影响, 为进一步揭示酚类物质对杉木化感作用的作用机制提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料来源

供实验的杉木幼苗来自湖南省会同县广坪镇四叉路苗圃, 植株为根系健壮、生长均匀、良好的当年生杉木幼苗。供盆栽的土壤取自湖南省会同县广坪镇中国科学院会同森林生态实验站林场木荷纯林。土壤养分状况为: $\text{NO}_3\text{-N}$ $4.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ $24.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效 P $0.796 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效 K $137.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有机质 4.77%。

1.2 培养液的配制

1.2.1 营养液的配制

取 49.5 g NH_4NO_3 、57 g KNO_3 、13.2 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、11.1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、5.1 g KH_2PO_4 、1.179 g Na_2EDTA 溶解于 1 500 ml 蒸馏水中, 配成 20 MS 营养母液放入冰箱中待用。

1.2.2 香草醛溶液的配制

取 15.2 g 的香草醛, 用的乙醇(分析纯)定容至 100 ml 的容量瓶中, 配制成 $1\ 000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的待用母液, 置于冰箱中待用。

1.3 实验方法

1.3.1 水培实验

将香草醛母液、MS 营养母液配制成 1 000 ml 香草醛浓度为 $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-2} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-3} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-4} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的内含 0.5 MS 培养液。最后用 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 或 NaOH 将溶液的 pH 值都调节到 5.1。吸取 25 ml MS 营养母液、1 ml 乙醇到 1 000 ml 的容量瓶中,并用蒸馏水定容得到对照溶液(CK)。用 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 将对照液的 pH 值调节到 5.1。

杉木幼苗采用水培法培养,营养液为 0.5 倍 MS 营养液。培养方法见(马越强等,1998)。

收获后测定水培溶液中的养分浓度,用紫外分光光度法测定 NO_3^- 离子浓度,用靛酚蓝比色法测定 NH_4^+ 浓度,用铬酸钡分光光度法测定 SO_4^{2-} 离子浓度,用钼酸铵分光光度法测定 HPO_4^{2-} 离子浓度。分析仪器为 UV-1601 紫外分光光度计。

1.3.2 盆栽实验

用蒸馏水将香草醛母液配置成 $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1 \times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的香草醛溶液。吸取 1 ml 乙醇到 100 ml 的容量瓶中并用蒸馏水定容得到 1% 的乙醇溶液,以此溶液为对照(CK)。

将从木荷林取得的土壤过筛,剔除大的石块,再以土沙比为 2:1 的比例与细沙混匀后待装盆。从购得的杉木幼苗中选取生长均匀的植株 35 株,分成 7 组,每组杉木平均苗高都相等,然后栽植在口径为 30 cm、深为 25 cm 的花盆内。待到杉木幼苗复苏后开始施加香草醛溶液,每一组为一个处理,共 7 个处理(也即每处理 5 次重复),每个处理分别施加 100 ml 不同浓度的香草醛溶液和对照液。每隔半个月施加一次香草醛溶液,在生长过程中根据盆内土壤的湿度适当浇水。

培养 6 个月后收获,根系活力用 α -萘胺氧化法测定。

2 结果与分析

2.1 香草醛对杉木幼苗养分吸收的影响

2.1.1 香草醛对杉木幼苗吸收 NO_3^- 的影响

水培液中杉木幼苗在生长过程中不断地吸收溶液中的养分子,溶液中残留的养分子浓度可以反映出杉木幼苗对养分子的吸收能力。溶液中离子浓度越高,表明杉木幼苗吸收离子的能力越低。

香草醛浓度为 $1 \times 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时溶液中残留的 NO_3^- 浓度最高,分别比对照高了 5704%、1561%,并且与对照之间的差异达到极显著

性水平($p < 0.01$),而在其余几个浓度水平下对 NO_3^- 的吸收与对照之间没有显著差异(表 1)。由溶液中残留的 NO_3^- 浓度的不同,可以看出香草醛影响了杉木幼苗的吸收能力,减少了对 NO_3^- 的吸收。溶液中残留的 NO_3^- 浓度越高,说明杉木根系吸收 NO_3^- 的量越少,也就是说香草醛对杉木幼苗养分吸收的抑制作用越大,抑制了其 NO_3^- 的吸收。

以杉木幼苗培养前、后溶液中 NO_3^- 的含量之差为杉木幼苗对 NO_3^- 的吸收量,并以所得的数值做折线图得图 1。从图 1 可以看出,当溶液中香草醛浓度大于 $1 \times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时开始抑制杉木幼苗根际养分的吸收,并且随着浓度的升高,这种抑制作用也强烈。这说明香草醛能够通过化感作用对杉木幼苗产生影响,影响了养分的吸收。马越强等(1998)研究发现 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (约 $1.3 \times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 香草醛溶液对地径的生长产生明显的抑制作用,这可能是较高浓度的香草醛抑制杉木幼苗对养分的吸收,导致杉木幼苗缺乏生长所必需的养分,从而抑制了杉木幼苗的生长。

表 1 溶液中剩余 NO_3^- 浓度
Table 1 Concentration of residual NO_3^- in solution

香草醛浓度($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration of vanillin	剩余 NO_3^- 离子浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration of residual NO_3^-
CK	51.5 ± 9.1
1×10^{-4}	60.0 ± 15.1
1×10^{-3}	67.7 ± 12.7
1×10^{-2}	63.1 ± 8.4
1×10^{-1}	66.9 ± 17.0
1×10^0	$855.2 \pm 84.6^{**}$
1×10^1	$2989.1 \pm 165.1^{**}$

** $p < 0.01$

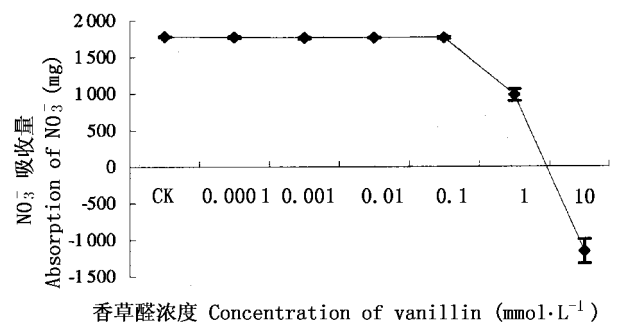


图 1 香草醛对杉木幼苗吸收 NO_3^- 的影响
Fig.1 Effect of vanillin on absorbency of NO_3^- by Chinese fir seedlings

当溶液中香草醛浓度为 $1 \times 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,杉木幼苗不仅没有吸收 NO_3^- ,反而分泌 NO_3^- ,出现这种现象的原因可能是高浓度的香草醛对杉木幼苗的毒害作用极为强烈,影响了杉木根系的活力,使根系

生理代谢失调,从而使得杉木幼苗根系渗泌 NO_3^- , 但这需要更进一步的研究。

2.1.2 香草醛对杉木幼苗吸收 NH_4^+ 离子的影响

同样道理,在溶液中香草醛浓度为 $10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时溶液中的 NH_4^+ 离子浓度最高,比对照高了 29.9%,并且与对照之间的差异达到极显著性水平 ($p < 0.01$)。在溶液中香草醛浓度为 $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时溶液中 NH_4^+ 离子浓度比对照高了 11.6%,并达到差异显著性水平 ($p < 0.05$)。其余几个浓度水平下对 NH_4^+ 离子的吸收与对照之间差异不显著(表 2)。这说明高浓度香草醛对杉木幼苗产生化感作用,能够减弱杉木幼苗的吸收能力,抑制了其对 NH_4^+ 离子的吸收。

同样,杉木幼苗培养前、后溶液中 NH_4^+ 离子的含量之差为杉木幼苗对 NH_4^+ 离子的吸收量,并以所得的数值做折线图(图 2)。从图 2 可以看出,当溶液中香草醛浓度大于 $1 \times 10^{-1} \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,杉木幼苗所吸收的 NH_4^+ 离子的量开始减少,这也说明高浓度的香草醛能够抑制杉木幼苗对 NH_4^+ 离子的吸收。

表 2 溶液中剩余 NH_4^+ 离子浓度

Table 2 Concentration of residual NH_4^+ ion in solution

香草醛浓度($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) Concentration of vanillin	剩余 NH_4^+ 离子浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) Concentration of residual NH_4^+
CK	51.0 ± 3.3
1×10^{-4}	48.4 ± 5.5
1×10^{-3}	50.2 ± 1.3
1×10^{-2}	50.6 ± 2.0
1×10^{-1}	48.7 ± 3.6
1×10^0	$56.9 \pm 1.1^*$
1×10^1	$66.2 \pm 4.7^{**}$

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

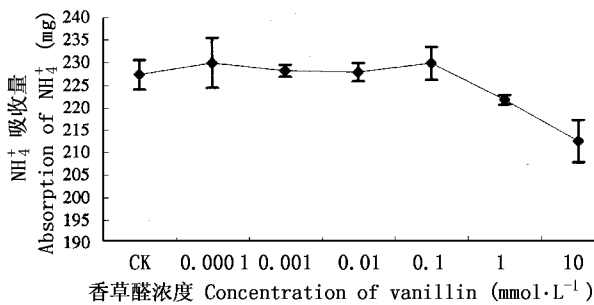


图 2 香草醛对杉木幼苗吸收 NH_4^+ 离子的影响

Fig. 2 Effect of vanillin on absorbcency of NH_4^+ by Chinese fir seedlings

2.1.3 香草醛对杉木幼苗吸收 SO_4^{2-} 离子的影响

以杉木幼苗培养前、后溶液中 SO_4^{2-} 离子的含量之差为杉木幼苗对 SO_4^{2-} 离子的吸收量,并以所得的数值做折线图得图 3。从图 3 可以看出,当溶液中香草醛浓度大于 $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,杉木幼苗吸收

SO_4^{2-} 离子的量比对照低,并达到差异极显著水平 ($p < 0.01$);而浓度为 $1 \times 10^{-4} \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,杉木幼苗吸收 SO_4^{2-} 离子的量比对照高,但没有达到差异显著水平。这说明香草醛也能够对杉木幼苗产生化感作用,影响了幼苗对 SO_4^{2-} 离子的吸收,并且随着浓度的增加其作用越来越明显。

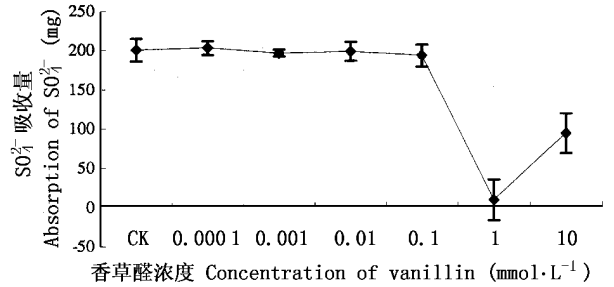


图 3 香草醛对杉木幼苗吸收 SO_4^{2-} 离子的影响

Fig. 3 Effect of vanillin on absorbcency of SO_4^{2-} by Chinese fir seedlings

根据溶液中残留的 SO_4^{2-} 离子的浓度分析,当香草醛浓度为 $10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时溶液中残留的 SO_4^{2-} 离子的浓度分别比对照增高了 557.4%、1 026.2%,且与对照之间的差异都达到极显著性水平 ($p < 0.01$); $1 \times 10^{-1} \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 香草醛条件下溶液中残留的 SO_4^{2-} 离子浓度比对照增高了 44.7%,但没有达到差异显著性水平。其余几个浓度条件下溶液中残余的 SO_4^{2-} 离子浓度与对照之间差异不显著(表 3)。这再一次说明了香草醛在高浓度时能够影响杉木幼苗的吸收能力,减弱了其对 SO_4^{2-} 离子的吸收。在 $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 香草醛处理下溶液中 SO_4^{2-} 离子的浓度比在 $1 \times 10^1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 香草醛处理高,出现这种现象的原因还不清楚,可能是取样以及测样过程中的失误而出现的实验假象。

表 3 溶液中剩余 SO_4^{2-} 离子浓度

Table 3 Concentration of residual SO_4^{2-} in solution

香草醛浓度($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) Concentration of vanillin	剩余 SO_4^{2-} 离子浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) Concentration of residual SO_4^{2-}
CK	18.7 ± 14.3
1×10^{-4}	16.6 ± 9.0
1×10^{-3}	23.3 ± 4.3
1×10^{-2}	21.2 ± 11.8
1×10^{-1}	27.1 ± 13.8
1×10^0	$210.9 \pm 26.3^{**}$
1×10^1	$126.9 \pm 24.9^{**}$

** $p < 0.01$

2.1.4 香草醛对杉木幼苗吸收 HPO_4^{2-} 离子的影响

以杉木幼苗培养前、后溶液中 HPO_4^{2-} 离子的含量之差为杉木幼苗对 HPO_4^{2-} 离子的吸收量,并以所得的数值做折线图得图 4。从图 4 中可以看出,当

香草醛浓度大于 $1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 杉木幼苗吸收 HPO_4^{2-} 离子的量比对照低, 这就是说高浓度的香草醛抑制了杉木幼苗对 HPO_4^{2-} 离子的吸收。

当溶液中香草醛浓度为 $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 溶液中残余的 HPO_4^{2-} 离子浓度比对照液中残余的 HPO_4^{2-} 离子浓度高 310.5%, 并且与对照之间的差异达到极显著性水平 ($p < 0.01$); 当香草醛浓度为 $1 \times 10^{-2} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 溶液中残余的 HPO_4^{2-} 离子浓度比对照中 HPO_4^{2-} 离子浓度低 32.5%, 也达到差异极显著性水平 ($p < 0.01$) (表 4)。这也说明高浓度的香草醛能够抑制杉木幼苗对根际 HPO_4^{2-} 离子的吸收, 而低浓度的香草醛则能够促进其对根际 HPO_4^{2-} 离子的吸收。

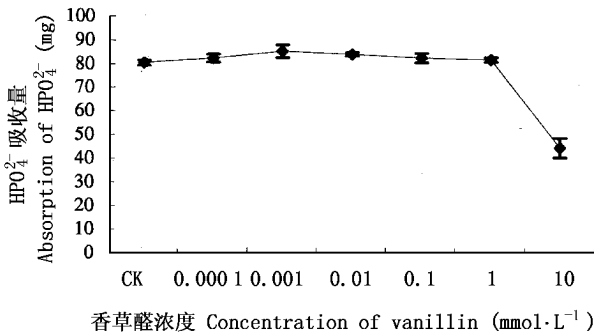


图 4 香草醛对杉木幼苗吸收 HPO_4^{2-} 离子的影响

Fig. 4 Effect of vanillin on absorbency of HPO_4^{2-} by Chinese fir seedlings

表 4 溶液中剩余 HPO_4^{2-} 离子浓度

Table 4 Concentration of residual HPO_4^{2-} ion in solution

香草醛浓度 (mmol·L ⁻¹) Concentration of vanillin	剩余 HPO_4^{2-} 离子浓度 (mg·L ⁻¹) Concentration of residual HPO_4^{2-}
CK	11.5 ± 1.0
1×10^{-4}	9.5 ± 1.6
1×10^{-3}	$6.5 \pm 2.7^*$
1×10^{-2}	$7.7 \pm 0.7^{**}$
1×10^{-1}	9.2 ± 1.9
1×10^0	9.9 ± 0.9
1×10^1	$47.1 \pm 4.1^{**}$

** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

2.2 香草醛对杉木幼苗根系活力的影响

不同浓度的香草醛都抑制了杉木幼苗的根系活力, 并且随着浓度的增加抑制作用越大。这说明香草醛对杉木幼苗根系产生化感作用, 能够降低根系活力 (图 5)。

在 $1 \times 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1 \times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的香草醛处理下, 杉木幼苗根系活力分别比对照降低了 78.8%、51.6%、33.1%, 且当香草醛浓度为 $1 \times 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时根系活力与对照之间的差异达到极显著性水平 ($p < 0.01$), 在 1

$\times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到显著性水平 ($p < 0.05$)。

根系活力是泛指根的吸收能力、合成代谢能力, 根系活力的大小与吸收作用的强弱有着直接的关系, 根系活力大则吸收作用强, 反之, 根系活力小则吸收作用弱。香草醛和对羟基苯甲酸降低了杉木幼苗的根系活力, 也即减弱了杉木根系的吸收作用。吸收作用的减弱必然导致杉木对根际养分吸收量减少, 尤其是对有效 N 吸收量的减少, 从而使得杉木缺乏高速生长所必需的大量养分元素, 致使杉木营养不良、生产力下降。马祥庆等 (2000) 的研究发现, 随着栽植代数的增加, 杉木林乔木层养分积累及养分利用效率均呈逐代递减趋势, 表现为 3 代 < 2 代 < 1 代。由此可见, 香草醛等酚类物质对杉木根系活力的抑制作用可能是连栽杉木生产力低的一个重要因素。

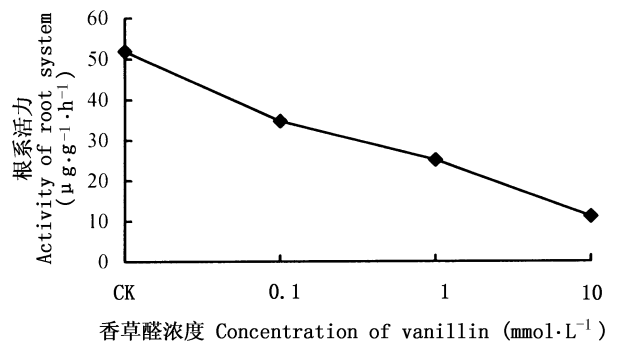


图 5 香草醛对杉木幼苗根系活力的影响 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

Fig. 5 Effect of vanillin on root vitality of Chinese fir seedlings

3 讨论

香草醛是文献中经常报道的主要酚类化感物质, 它可对多种农林业植物产生化感作用。马越强等人发现 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (约 $1.3 \times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 香草醛溶液对地径的生长产生明显的抑制作用, $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (约 $3.3 \times 10^{-1} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 浓度以上香草醛将明显影响到地上部分枝叶的正常生长发育 (马越强等, 1998)。这可能是因为香草醛能够影响杉木幼苗对根际 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 及 HPO_4^{2-} 等离子的吸收, 从而影响了杉木幼苗的生长。

据报道, 肉桂酸 (Cinnamic acid) 是黄瓜根系分泌物的主要成分, 它能抑制黄瓜幼苗对 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 等离子的吸收, 而没有抑制对 H_2PO_4^- 离子吸收 (Yu & Matsui, 1997)。和肉桂酸同属于酚类物质的香草醛不仅抑制了杉木幼苗对 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 等离子的吸收, 而且还影响了对 HPO_4^{2-} 离子的吸收。出现这种差异的可能原因是

不同的化感物质对植物的作用方式是不完全相同的,它们之间存在着一定的差异,或者是不同的植物对化感物质的反应具有一定的差异,具体原因还有待于进一步研究。

香草醛能够抑制杉木幼苗的根系活力,这是影响根系养分吸收的重要原因。根系活力的降低必然导致对养分吸收的减少,从而造成杉木幼苗生长所必需的营养元素的亏缺,致使杉木生产力降低。另外,造成杉木幼苗养分吸收减少的另一原因是土壤中有有效养分的亏缺。香草醛等酚类化感物质能够降低土壤中有有效 N 的浓度,从而造成土壤养分的亏缺(陈龙池等,2002a)。Patterson 等(1981)研究表明,室内培养条件下,浓度为 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的香草醛等酚类物质能明显抑制大豆生长,光合速率下降,叶绿素浓度降低。笔者对杉木幼苗的部分生理特性做了研究,也得出了类似的结果(陈龙池等,2002b)。香草醛等酚类物质能够影响杉木幼苗的生理特性,可能会导致杉木体内酶系统代谢紊乱,从而影响了杉木的正常生长,这还需要进一步深入的研究。

本文是通过室内模拟实验研究了香草醛对杉木幼苗吸收无机养分的影响,这与大田生产还有很大的差异,尤其是水培与土壤中的物质的运移和作用方式不同,因而所得到的数据可能与实际情况有所偏差。因此应明确大田中各种酚类物质对杉木的致毒浓度,而连栽杉木林土壤中酚类物质的种类和实际浓度还不甚清楚,这有待于进一步研究和探索。

参 考 文 献

- Cao, G. Q. (曹光球), S. Z. Lin (林思祖) & S. G. Huang (黄世国). 2001. Effect of the ferulic acid and cinnamic acid on the germination of Chinese-fir seeds. *Journal of Plant Resources and Environment (植物资源与环境学报)*, **10**(2): 63 ~ 64. (in Chinese with English abstract)
- Chen, L. C. (陈龙池), L. P. Liao (廖利平), S. L. Wang (汪思龙) & Z. Q. Huang (黄志群). 2002a. Effect of exotic toxin on the nutrition of woodland soil. *Chinese Journal of Ecology (生态学杂志)*, **21**: 19 ~ 22. (in Chinese with English abstract)
- Chen, L. C. (陈龙池), L. P. Liao (廖利平), S. L. Wang (汪思龙) & Z. Q. Huang (黄志群). 2002b. Effect of vanillin and p-hydroxybenzoic acid on physiological characteristics of Chinese fir seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **13**: 1291 ~ 1294. (in Chinese with English abstract)
- Chen, C. Y. (陈楚莹), J. W. Zhang (张家武), C. L. Zhou (周崇莲) & H. Y. Zheng (郑鸿元). 1990. Researches on improving the quality of forest land the productivity of artificial *Cunninghamia lanceolata* stands. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **1**: 97 ~ 106. (in Chinese with English abstract)
- Fang, Q. (方奇). 1987. Effects of continued planting of Chinese fir on the fertility of soil and the growth of stands. *Scientia Silvae Sinicae (林业科学)*, **23**: 382 ~ 396. (in Chinese with English abstract)
- Feng, Z. W. (冯宗炜), C. Y. Chen (陈楚莹), C. H. Li (李昌华), G. H. Xu (许光辉) & C. L. Zhou (周崇莲). 1982. Relations between the growth-development and environment of *Cunninghamia lanceolata* plantation in Huitong, Hunan Province. *Journal of Nanjing Technological College of Forest Products (南京林产工业学院学报)*, **3**: 19 ~ 37. (in Chinese with English abstract)
- Huang, Z. Q. (黄志群), L. P. Liao (廖利平), S. L. Wang (汪思龙) & Y. D. Liu (刘应迪). 2000. Dynamics of phenolics content of Chinese fir stump-roots and the rhizosphere soil and its allelopathy. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **11**: 190 ~ 192. (in Chinese with English abstract)
- Huang, Z. Q., L. P. Liao, S. L. Wang & G. Q. Cao. 2000. Allelopathy of phenolics from decomposing stump-roots in replant Chinese fir woodland. *Journal of Chemical Ecology*, **26**: 2211 ~ 2218.
- Huang, Z. Q., T. Haig, S. L. Wang & S. J. Han. 2002. Auto-toxicity of Chinese fir on seed germination and seedling growth. *Allelopathy Journal*, **9**: 51 ~ 59.
- Ma, X. Q. (马祥庆) & S. H. Fan (范少辉). 2000. A comparative study on nutrient accumulation and distribution of different generations of Chinese fir plantations. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **11**: 501 ~ 506. (in Chinese with English abstract)
- Ma, Y. Q. (马越强), L. P. Liao (廖利平), Y. J. Yang (杨跃军), S. L. Wang (汪思龙), H. Gao (高洪), C. Y. Chen (陈楚莹) & G. Y. Liu (刘更有). 1998. Effect of vanillin on the growth of Chinese-fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **9**: 128 ~ 132. (in Chinese with English abstract)
- Patterson, D. T. 1981. Effects of allelopathic chemical on growth and physical responses of soybean (*Glycine max* L.). *Weed Science*, **29**: 53 ~ 58.
- Rice, E. L. 1984. *Allelopathy*. 2nd ed. New York: Academy Press.
- Zhu, J. F. (朱济凡), Z. W. Feng (冯宗炜) & C. Y. Chen (陈楚莹). 1979. Researches on relations between the growth-development and environment of *Cunninghamia lanceolata* plantation. *Thirty Years' Forest Science and Technology of China (1949-1979)*. Beijing: China Forestry Publishing House.
- Yu, J. Q. & Y. Matsui. 1997. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, **23**: 817 ~ 827.

责任编辑: 蒋高明 责任编辑: 姜联合