

酚类物质对杉木幼苗 ^{15}N 养分吸收、分配的影响

陈龙池 廖利平 汪思龙 黄志群 高 洪

(中国科学院沈阳应用生态研究所同森林生态实验站, 沈阳 110016)

摘 要 应用 ^{15}N 同位素示踪技术, 通过盆栽实验研究了香草醛和对羟基苯甲酸对杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 幼苗 N 养分吸收、分配的影响, 结果发现香草醛及其与对羟基苯甲酸的混合物 (浓度比 1:1) 明显抑制了杉木幼苗的生长和对 $^{15}\text{NO}_3^-$ 离子的吸收, 10 mmol L^{-1} 的香草醛使杉木幼苗根、茎、叶生物量分别下降了 25.3%、13.5%、5.7%, ^{15}N 吸收量分别减少了 38.5%、48.1%、46.5%; 10 mmol L^{-1} 的混合物使杉木幼苗根、茎、叶生物量分别下降了 33.5%、36.0%、21.8%, ^{15}N 吸收量分别减少了 34.3%、58.4%、49.3%。同时还发现香草醛和对羟基苯甲酸的混合物 (浓度比 1:1) 加重了对杉木幼苗生长的抑制作用, 这说明两种酚类物质之间存在着协同作用。香草醛和混合物影响了杉木幼苗不同器官中 N 养分的分配, 增加了根系中 N 素的分配率, 而减少了茎、叶中 N 素的分配率。香草醛等酚类物质浓度较高时能够抑制杉木幼苗养分的吸收和地上部分养分的分配, 导致杉木缺乏生长所必须的养分, 降低了杉木的生产力。

关键词 杉木 香草醛 对羟基苯甲酸 酚类物质 养分吸收 ^{15}N 同位素

EFFECT OF PHENOLICS ON ^{15}N NUTRIENT ABSORPTION AND DISTRIBUTION OF CUNNINGHAMIA LANCEOLATA

CHEN Long-Chi 廖利平 WANG Si-Long HUANG Zhi-Qun and GAO Hong

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

Abstract Pure Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations, a major commercial tree species in South China, have been extensively replanted on the same site in successive rotations, in response to the growing need for timber. The resultant soil degradation has led to poor establishment and decline in productivity which has become a major barrier to the sustainable management of Chinese fir plantations. Recently, many documented studies indicate that allelopathy within Chinese fir plantations is likely one of the causes of soil degradation. According to some laboratory studies, extracts of Chinese fir roots, fresh leaves, and litter including phenolics such as vanillin, ferulic acids and P-hydroxybenzoic acids, inhibit Chinese fir seed germination. However, no allelopathic responses have been demonstrated. How do the allelochemicals, e.g. phenolics, affect the growth of Chinese fir seedlings? This has not yet been studied.

In this study on nutritional aspects of allelopathy in Chinese fir, the effects of different concentrations of vanillin and P-hydroxybenzoic acid on $^{15}\text{NO}_3^-$ ion absorption and distribution in Chinese fir seedlings was examined using the ^{15}N isotope tracer technique. Vanillin, P-hydroxybenzoic acid, and a combined 1:1 solution of these two materials were diluted to four different levels: 10 mmol L^{-1} , 1 mmol L^{-1} , 0.1 mmol L^{-1} , and 0.01 mmol L^{-1} . Distilled water was used as the control. One-year-old Chinese fir seedlings were planted in separate pots, fertilized with 200 mg NaNO_3 enriched 21.97 percent $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$, and grown outdoors in over-shadow. Each pot was treated every half month with 100 ml of a particular concentration of vanillin, P-hydroxybenzoic acid solution, or the 1:1 mixed solution. Each treatment consisted of five replicates of Chinese fir seedlings.

After six months height, stem diameter at ground line, total biomass, total N, and ^{15}N content of Chinese fir seedlings were recorded. Results showed that vanillin inhibited both growth and $^{15}\text{NO}_3^-$ ion absorption. The mixed 1:1 solution at the concentration of 10 mmol L^{-1} caused even greater reduction in growth of Chinese fir seedlings. The biomass of roots, stems and leaves of Chinese fir seedlings was reduced by 25.3%, 13.5% and 5.7%, respectively, and ^{15}N absorption in roots, stems and leaves was reduced by 38.5%, 48.1% and 46.5%, respectively, with the treatment of 10 mmol L^{-1} of vanillin. Using the 10 mmol L^{-1} concentration of the 1:1 mixed solution, the biomass of roots, stems and leaves of Chinese fir was reduced by 33.5%, 36.0%

收稿日期: 2001-12-25 接受日期: 2002-05-31

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX2-406)

E-mail: lcchen76@163.net

and 21.8 %, respectively, and ^{15}N absorption was reduced by 34.3 %, 58.4 % and 49.3 %, respectively. This indicates that there is likely a synergistic effect between vanillin and P-hydroxybenzoic acid. Vanillin and its mixture with P-hydroxybenzoic acid at the higher concentration affected N nutrient distribution by increasing the proportion of N in roots and decreasing the proportion in stems and leaves. We conclude that the vanillin and phenolics in soil might produce allelopathic effects on Chinese fir by inhibiting N absorption and distribution which then result in productivity decline.

Key words Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*), Vanillin, P-hydroxybenzoic acid, Phenolics, Nutrient absorption, ^{15}N isotope

早在 20 世纪 80 年代,人们就对连栽杉木(*Cunninghamia lanceolata*)生产力下降问题进行了大量的研究,发现杉木林土壤中有有效养分匮乏,不能供给杉木快速生长所需要的养分,从而导致杉木生产力下降(陈楚莹等, 1990)。笔者通过施加外源酚类物质实验研究发现,外源酚类物质能够降低土壤中的有效养分(如 NO_3^- 离子)含量和有机质含量,这是连栽杉木林土壤中有有效养分含量降低的一个重要原因(陈龙池等, 2002)。

N 素是植物生长需要最多的元素之一,植物对土壤中的有效 N 吸收量的多少是标志植物生长速率的一个重要指标。植物吸收 N 素的多少对其生长、发育、开花、结果都有很大影响,尤其是对农作物的产量和品质有很大影响。利用 ^{15}N 示踪技术可以研究 ^{15}N 在植物体内的吸收、运输、转移、分配,从而研究植物对 N 素的利用效率。为此,许多研究报道了利用 ^{15}N 示踪技术研究不同时期植物对 N 素的吸收及其在体内的分配(傅志坚等, 1992; 管长志等, 1993; 徐季娥等, 1993; Mugasha & Pluth, 1994)。

但是化感物质对植物养分吸收、分配的影响等方面的研究尚不多见。Yu 和 Matsui (1997) 通过水培实验研究发现芳香酸类物质能够影响黄瓜对 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 等离子的吸收。目前,国内尚未见香草醛等酚类物质对杉木养分吸收、分配的影响等方面的研究,只是就香草醛等物质对杉木幼苗生长的影响做了一些研究(马越强等, 1998; 黄志群等, 2000; Huang *et al.*, 2000; 2002)。杉木连栽生产力下降的直接原因是减少了对土壤中养分的吸收,这到底是由于土壤中养分的匮乏引起养分吸收的减少还是香草醛等酚类物质对杉木的毒害作用而导致杉木减少了对土壤中养分的吸收? 同时,香草醛等酚类物质能否影响杉木养分的分配?

阮维斌等(2001)发现连作大豆残茬腐解液中香草酸的浓度为 $3.1385 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (约 $0.0187 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)。由于连作大豆土壤的理化性状与杉木林土壤中的理化性状有很大差异,如水分、土壤温

度、土壤通气状况等,而这些因素都能够影响土壤中酚类物质的含量。同时连作大豆土壤受人为干扰的程度较深,土壤中的酚类物质容易发生降解,而且在取样、分离、提纯、分析酚类物质的过程中会损失掉一部分酚类物质,这也影响了对土壤中酚类物质浓度的测定结果。因此,杉木林土壤中酚类物质的含量可能要高于大豆土壤中的酚类物质的含量,其实际浓度可能远远高于 $3.1385 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。基于此基础之上,为了解决香草醛等酚类物质是否影响杉木对 N 素养分吸收、分配的问题而设计本实验。本文通过 ^{15}N 同位素示踪技术研究香草醛和对羟基苯甲酸等酚类物质对杉木 N 素养分吸收及分配的影响,以探讨杉木化感作用的机制,为杉木化感作用的全面、深入研究提供科学资料和有益的数据。

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(*Schima superba*)纯林,土壤养分状况为: $\text{NO}_3\text{-N}$ $4.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ $24.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷 0.0589% 、有效磷 $0.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效钾 $137.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有机质 4.77% 。 ^{15}N 同位素肥料为 $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$,上海化工研究院生产, ^{15}N 原子丰度为 21.97% 。香草醛和对羟基苯甲酸为沈阳市化学试剂三厂生产,分析纯。

1.2 酚类物质溶液及对照液的配制

各取 15.2 g 、 13.8 g 的香草醛和对羟基苯甲酸分别溶于乙醇(分析纯),用乙醇定容至 100 ml 的容量瓶中,配制成 $1000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的待用酚类物质母液,置于冰箱中待用。用母液配置成 10 、 1 、 0.1 、 $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的酚类物质溶液,同时使各浓度溶液中乙醇浓度保持一致(乙醇浓度为 1%)。

从香草醛和对羟基苯甲酸母液中分别吸取 0.5 ml 母液用蒸馏水定容到 100 ml 配置成 $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

的混合酚类物质溶液(浓度比为 1 1),再以同样的方法依次配置成 1、0.1、0.01 mmol L⁻¹的混合酚类物质溶液。吸取 1 ml 乙醇,用蒸馏水定容到 100 ml 的容量瓶中得 1 %的乙醇溶液,以此溶液为对照(CK)。

1.3 实验方法

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,并使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酚类物质溶液,每 1 组为 1 个处理,共 7 个处理(也即每个处理 5 次重复),每个处理分别施加 100 ml 不同浓度的酚类物质溶液和对照液。并同时施加同位素溶液,每盆施加 200 mg Na¹⁵NO₃(用蒸馏水溶解,沟施于盆内)。每隔半个月施加 1 次酚类物质溶液,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。测量苗高、地径后,小心起苗,每盆杉木根、茎和叶分别取样,80 ℃下烘干至恒重,称重。将每一处理的 5 次重复充分混合,粉碎样品(严防交叉污染)。根、茎、叶、土等样品的¹⁵N 原子丰度及全 N 由中国农业科学院原子能所质谱分析室测定,全 N 用凯氏定 N 法测定,¹⁵N 原子丰度用 MAT-251 超精度同位素质谱仪测定。

1.4 结果计算

$$\%N_{\text{eff}}(\%) = (\text{样品}^{15}\text{N 原子百分超}(\%) \div \text{肥料}^{15}\text{N 原子百分超}(\%)) \times 100$$
$$N_{\text{eff}}(\text{mg}) = \text{样品原子百分超}(\%) \times \text{不同器官全}$$

$$N \text{ 含量}(\text{g}) \times 1000 \div \text{肥料}^{15}\text{N 原子百分超}(\%)$$

其中： $\%N_{\text{eff}}$ 为杉木幼苗不同器官吸收肥料 N 百分率, N_{eff} 为杉木幼苗不同器官吸收肥料中¹⁵N 量(mg),肥料原子百分超为 21.97 %。

杉木幼苗生长的预测值用下列公式计算:香草醛和对羟基苯甲酸(浓度比为 1 1)的混合溶液处理的杉木幼苗生长的预测值 = (单一香草醛处理的杉木幼苗生长的观察值 + 单一对羟基苯甲酸处理的杉木幼苗生长的观察值)/2。

混合液处理的杉木幼苗生长的观察值与预测值的比较是用单因素方差分析进行的。根据方差分析的结果可以判断香草醛和对羟基苯甲酸对杉木幼苗生长的影响是否存在协同作用:1)若观测值与预测值之间无明显差异($p > 0.1$),则香草醛和对羟基苯甲酸之间无协同作用;2)若观测值显著高于预测值($p < 0.1$),则香草醛和对羟基苯甲酸之间相互减弱了其对杉木幼苗的化感作用;3)若观测值显著低于预测值($p < 0.1$),则香草醛和对羟基苯甲酸之间相互促进了其对杉木幼苗的化感作用。

2 结果与分析

2.1 外源酚类物质对杉木幼苗生长的影响

由表 1 可看出,香草醛和对羟基苯甲酸都对杉木幼苗的生长产生了影响,在高浓度时抑制了杉木幼苗的生长,而在低浓度时促进了杉木幼苗的生长。其中 10 mmol L⁻¹和 1 mmol L⁻¹香草醛处理后杉木幼苗的苗高分别比对照低 7.6 %、4.7 %,且与对照之间达到差异显著性水平($p < 0.1$);10 mmol L⁻¹的混合液处理后的苗高比对照低8.2 %,与对照之间

表 1 两种酚类物质对杉木幼苗生长的影响(cm)
Table 1 The effects of two kinds of phenolics on growth of Chinese fir seedlings (cm)

处理 Treatment	浓度 Concentration (mmol L ⁻¹)	苗高 Height of seedlings (cm)	地径 Ground diameter (cm)
香草醛 Vanillin	0.01	18.7	0.479
	0.1	16.9	0.479
	1	16.3 *	0.447
	10	15.8 *	0.422
对羟基苯甲酸 p-hydroxybenzoic acid	0.01	16.9	0.498
	0.1	16.8	0.495
	1	16.9	0.457
	10	17.1	0.509
混合 Mixture (Vanillin: p-hydroxybenzoic acid = 1 1)	0.01	18.0	0.449
	0.1	16.4	0.464
	1	14.3 **	0.427
	10	15.7 ***	0.411
对照 Control	-	17.1	0.427

差异显著性 Significant difference with student t-test *: $p < 0.1$ **: $p < 0.05$ ***: $p < 0.01$

的差异也达到极显著性水平 ($p < 0.01$), 1 mmol L^{-1} 的混合液对苗高生长的影响达到显著水平 ($p < 0.05$); 而对羟基苯甲酸对杉木幼苗苗高生长的影响没有达到显著水平。而张家武等 (1994) 发现杉木连栽可以使幼苗高生长下降 37% ~ 40%。

两种酚类物质对杉木幼苗地径生长的影响都没有达到差异显著水平, 只是低浓度酚类物质溶液促进了幼苗地径的生长, 这说明杉木幼苗地径对酚类物质的敏感程度低于苗高对酚类物质的敏感程度。

用香草醛和对羟基苯甲酸混合液处理的杉木苗高的观察值明显低于预测值 (图 1), 其中在 10 mmol L^{-1} 时达到显著水平 ($p < 0.1$)。这说明香草醛和对羟基苯甲酸具有协同作用, 能相互促进其对杉木幼苗的抑制作用。

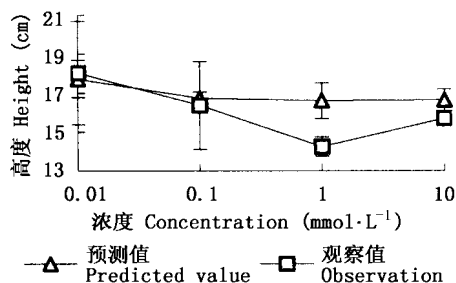


图 1 两种酚类物质处理的杉木苗高观察值和预测值的比较

Fig. 1 Observational height and forecast height of Chinese fir seedlings treated by two kinds of phenolics

2.2 外源酚类物质对杉木幼苗生物量的影响

高浓度的香草醛降低了杉木幼苗不同器官的生物量 (图 2), 在 $10, 1 \text{ mmol L}^{-1}$ 浓度条件下, 杉木幼苗根、茎、叶等生物量分别比对照降低了 4.1%、25.3%; 10.1%、13.5% 和 2.9%、5.7%, $10, 1 \text{ mmol L}^{-1}$ 的混合液处理后, 杉木幼苗根、茎、叶等生物量分别比对照降低了 17.1%、33.5%; 27.0%、36.0% 和 13.2%、21.8%, 而不同浓度下的对羟基苯甲酸却促进了杉木幼苗的生长。马越强等 (1998) 通过水培实验研究发现, 水培液中 20 mg kg^{-1} (约 0.13 mmol L^{-1}) 香草醛溶液对地径的生长产生明显的抑制作用, 50 mg kg^{-1} (约 0.33 mmol 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。可以看出, 土壤中香草醛等酚类物质对杉木产生毒害作用的临界浓度高于水培液中酚类物质的临界浓度。出现这种现象的可能原因是土壤中的高分子粘胶物质能对酚类物质产生亲和作用, 吸附土壤中的香草醛等酚类物质; 另外, 土壤的物理性质和水的物理性质有很大的差异, 土壤的机械结

构能够阻碍土壤中物质的运移; 同时, 土壤中香草醛等酚类物质在多种微生物和氧化酶的作用下将发生分解, 结果是土壤中香草醛等酚类物质的实际浓度低于最初施加的浓度。

香草醛和对羟基苯甲酸的混合液处理的杉木幼苗生物量的观察值也明显低于预测值 (图 3)。其中在浓度为 10 mmol L^{-1} 时根干重、茎干重的观察值和预测值之间的差异达到显著水平 ($p < 0.05$), 但是叶干重没有达到显著水平。这表明香草醛和对羟基苯甲酸之间具有协同作用, 能够相互促进其对杉木的化感作用。有研究发现, 杉木连栽使总生物量减少 45% ~ 50% (张家武, 1994), 远高于本文所得的数据, 这可能是连栽杉木林土壤中酚类化感物质的种类较多, 如阿魏酸、肉桂酸、对羟基苯丙烯酸等 (Huang *et al.*, 2002), 这些酚类物质具有与香草醛和对羟基苯甲酸类同的性质, 可能也存在协同作用, 相互之间促进了对杉木的化感作用, 能够降低对杉木产生毒害的酚类物质临界浓度, 加重对杉木生长的抑制作用, 这对于杉木化感作用的研究有着不可忽视的意义。

2.3 外源酚类物质对杉木幼苗养分吸收、分配的影响

2.3.1 外源酚类物质对杉木幼苗全 N 含量的影响

N 是蛋白质、酶、氨基酸、核酸、核苷酸、叶绿素、细胞质、植物激素等多种重要有机物质的组成成分, 是不可缺少的营养元素 (潘瑞炽等, 1995)。全 N 含量是植物养分含量高低的一个重要的指标, 全 N 含量的高低还能影响到植物凋落物的分解速率, 这对植物凋落物养分归还、周转速率有着不可轻视的意义。从表 2 可以看出香草醛和对羟基苯甲酸及其混合物影响了杉木幼苗不同器官的全 N 含量, 当浓度低时增加了全 N 含量, 浓度高时降低了全 N 含量。 10 mmol L^{-1} 香草醛处理的杉木幼苗根、茎、叶中的全 N 含量分别比对照降低了 0、0、10.3%, 10 mmol L^{-1} 对羟基苯甲酸处理的杉木幼苗根、茎、叶中的全 N 含量分别比对照降低了 6.3%、2.2%、10.4%, 当混合物浓度为 10 mmol L^{-1} 时, 杉木幼苗根、茎、叶中的全 N 含量分别比对照降低了 8.4%、30.2%、30.0%。这些数据表明香草醛和对羟基苯甲酸等酚类物质能够降低杉木幼苗的全 N 含量, 尤其是对枝、叶的全 N 含量。同时还可看出, 混合物处理的杉木幼苗不同器官的全 N 含量明显低于单一酚类物质处理的杉木幼苗全 N 含量, 这也说明香草醛和

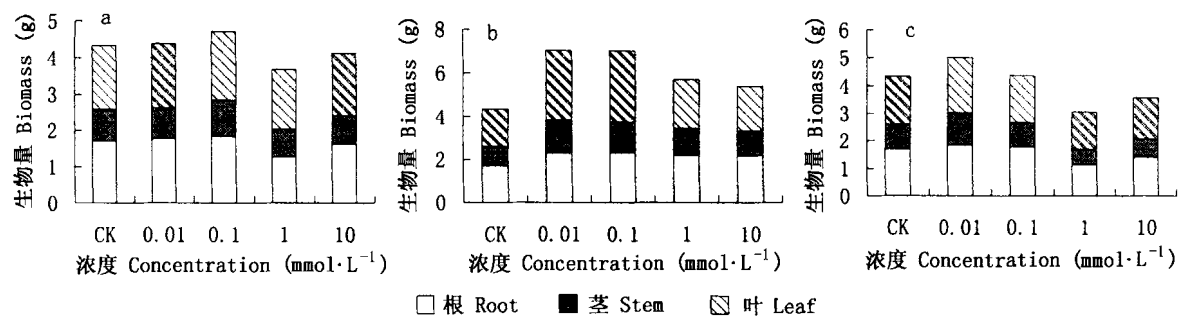


图2 两种酚类物质对杉木幼苗生物量的影响(g)
Fig.2 The effects of two kinds of phenolics on biomass of Chinese fir seedlings (g)
a:香草醛 Vanillin b:对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid c:混合物 The mixture of two kinds of phenolics

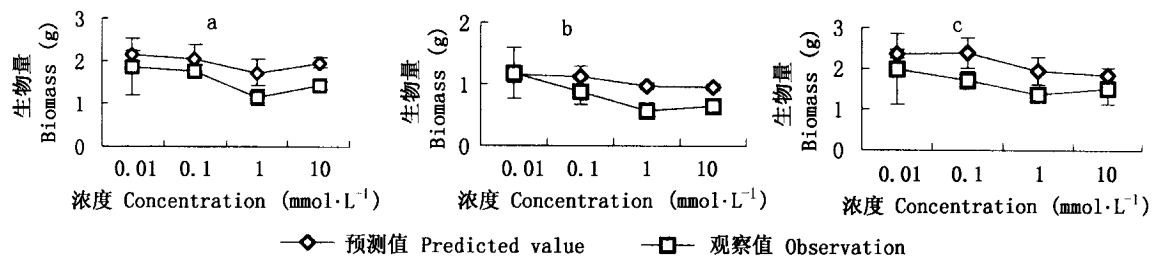


图3 两种酚类物质处理的杉木生物量观察值和预测值的比较
Fig.3 Observational biomass and forecast biomass of Chinese fir treated by two kinds of phenolics
a, b, c: 同图2 See Fig.2

表2 酚类物质对杉木幼苗全N含量的影响(g kg⁻¹)
Table 2 The effects of phenolics on total N of Chinese fir seedlings

处理 Treatment	浓度(mmol L ⁻¹) Concentration	根(g kg ⁻¹) Total N of root	茎(g kg ⁻¹) Total N of rdicel	叶(g kg ⁻¹) Total N of leaf
香草醛 Vanillin	0.01	13.09	16.09	21.59
	0.1	12.91	14.29	19.04
	1	12.22	12.04	20.24
	10	11.43	13.39	19.79
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.01	17.21	16.54	24.04
	0.1	11.52	12.87	21.14
	1	11.28	10.92	18.97
	10	10.71	13.09	19.78
混合 Mixture (Vanillin: P-hydroxybenzoic acid = 1 1)	0.01	12.34	14.14	19.42
	0.1	13.09	16.97	22.31
	1	13.09	14.01	17.09
	10	10.47	9.34	15.52
对照 Control	-	11.43	13.39	22.07

对羟基苯甲酸之间存在着协同作用。

杉木各器官中全 N 含量的降低必然引起杉木凋落物中全 N 含量的降低。杉木凋落物的 C/N 较高、分解速率较慢是杉木养分归还较慢的一个重要原因(廖利平等, 2000a; 2000b)。由于香草醛等酚类物质对杉木的化感作用而导致杉木凋落物全 N 含量降低, 这更促使 C/N 的严重失调, 降低了凋落物的分解、归还速率, 还可能形成恶性循环, 减缓了

杉木的养分归还, 造成土壤养分的亏缺, 从而使杉木缺乏生长所必需的营养物质和能量, 降低了其生产力。

2.3.2 外源酚类物质对¹⁵N 吸收、分配的影响

2.3.2.1 外源酚类物质对¹⁵N 吸收的影响

由表 3 可看出, 香草醛、对羟基苯甲酸及其混合物都影响了杉木幼苗对同位素 N 的吸收、分配的影响。低浓度的酚类物质促进了杉木幼苗对 N 素的

吸收,高浓度的酚类物质抑制了幼苗对 N 素吸收。其中当浓度为 10 mmol L^{-1} 时,香草醛处理的杉木幼苗根、茎、叶不同器官吸收的 $\%N_{\text{eff}}$ 分别比对照低了 36.1 %、42.7 %、38.5 %,对羟基苯甲酸处理的杉木幼苗根、茎、叶不同器官吸收的 $\%N_{\text{eff}}$ 分别比对照低了 0.1 %、3.3 %、2.2 %,混合物处理的杉木幼苗根、茎、叶不同器官吸收的 $\%N_{\text{eff}}$ 分别比对照低了 14.1 %、17.2 %、17.0 %。而浓度为 0.01 mmol L^{-1} 时,香草醛、对羟基苯甲酸及其混合物都不同程度地促进了杉木不同器官的 N 素吸收。

10 mmol L^{-1} 香草醛处理下,杉木幼苗根、茎、叶等不同器官对 ^{15}N 的吸收量分别比对照低了 38.5 %、48.1 %、46.5 %;当香草醛和对羟基苯甲酸的混合物浓度为 10 mmol L^{-1} 时,杉木幼苗根、茎、叶等不同器官对 ^{15}N 的吸收量分别比对照低了 34.3 %、58.4 %、49.3 %。这与 Yu 和 Matsui (1997) 的研究相似,他们通过水培法研究发现肉桂酸等酚类物质能够抑制黄

瓜对 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 等离子的吸收。而对羟基苯甲酸没有抑制杉木幼苗对 ^{15}N 的吸收,这可能是土壤中施加的对羟基苯甲酸的浓度还没有达到对杉木幼苗养分吸收起毒害作用的临界浓度。

同时还可从分析数据看出香草醛和对羟基苯甲酸之间存在协同作用,加重了对杉木幼苗的毒害作用。

2.3.2.2 外源酚类物质对 ^{15}N 分配的影响

以杉木幼苗不同器官吸收的 ^{15}N 含量为分子,以杉木幼苗全部器官吸收 ^{15}N 含量为分母计算不同器官中吸收的 ^{15}N 所占的百分率,用所得数据做散点图得图 4。将各个处理所得的数据做一次直线方程得:

1) 不同浓度香草醛处理后,杉木幼苗不同器官吸收 ^{15}N 量占总吸收 ^{15}N 量的百分率的关系式:

根 : $y = 0.4302x + 35.595$ 茎 : $y = -0.1797x + 18.941$ 叶 : $y = -0.2505x + 45.464$

表 3 两种酚类物质对杉木幼苗吸收 ^{15}N 的影响
Table 3 The effects of phenolics on absorbance of ^{15}N by Chinese fir seedlings

处理 Treatment	浓度 Concentration (mmol L ⁻¹)	根 Total N of roots		茎 Total N of stems		叶 Total N of leaves	
		%N _{eff}	N _{eff} (mg)	%N _{eff}	N _{eff} (mg)	%N _{eff}	N _{eff} (mg)
香草醛 Vanillin	1×10^{-5}	9.12	2.11	7.34	1.02	6.16	2.34
	1×10^{-4}	9.30	2.20	7.51	1.08	6.20	2.20
	1×10^{-3}	8.24	1.28	7.34	0.68	4.62	1.54
	1×10^{-2}	4.71	0.88	3.70	0.40	3.43	1.15
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	1×10^{-5}	10.71	4.23	7.05	1.79	5.69	4.39
	1×10^{-4}	7.64	2.04	6.54	1.22	5.88	4.06
	1×10^{-3}	8.34	2.06	7.40	1.02	6.15	2.6
	1×10^{-2}	7.36	1.72	6.25	0.94	5.46	2.24
混合 Mixture (Vanillin : P-hydroxybenzoic acid = 1 : 1)	1×10^{-5}	8.16	1.85	7.17	1.19	6.47	2.49
	1×10^{-4}	8.49	1.97	6.78	1.01	5.99	2.29
	1×10^{-3}	7.26	1.07	4.86	0.39	4.07	0.95
	1×10^{-2}	6.33	0.94	5.34	0.32	4.63	1.09
对照 Control	-	7.37	1.43	6.46	0.77	5.58	2.15

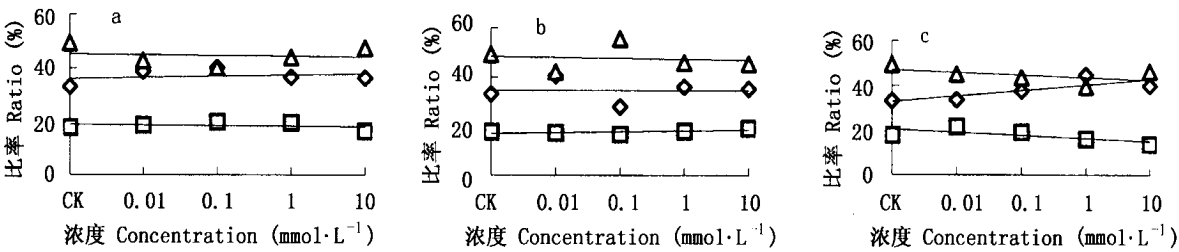


图 4 两种酚类物质对杉木幼苗养分分配的影响
Fig. 4 The effects of two kinds of phenolics on nutrient absorption by Chinese fir seedlings
a: 香草醛 Vanillin b: 对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid c: 混合物 The mixture of two kinds of phenolics
根 Root □ 茎 Stem 叶 Leaf

2) 不同浓度对羟基苯甲酸处理后, 杉木幼苗不同器官吸收¹⁵N 量占总吸收¹⁵N 量的百分率的关系式:

$$\begin{aligned} \text{根: } y &= -0.0083x + 34.57 & \text{茎: } y &= 0.37x + 16.635 \\ \text{叶: } y &= -0.3616x + 48.794 \end{aligned}$$

3) 不同浓度混合物处理后, 杉木幼苗不同器官吸收¹⁵N 量占总吸收¹⁵N 量的百分率的关系式:

$$\begin{aligned} \text{根: } y &= 2.5024x + 30.168 & \text{茎: } y &= -1.3525x + 21.675 \\ \text{叶: } y &= -1.1489x + 48.157 \end{aligned}$$

从以上关系式可以看出: 不同浓度香草醛处理后, 杉木幼苗不同器官吸收¹⁵N 百分率的关系式中, 根——关系式的一次项系数为 $0.4302 > 0$, 而茎、叶——关系式的一次项系数都小于 0, 这说明香草醛能够增加杉木幼苗根系中¹⁵N 的相对含量, 而减少了杉木幼苗茎、叶中¹⁵N 的相对含量; 不同浓度混合物处理的关系式中, 根——关系式一次项的系数大于 0, 而茎、叶——关系式一次项系数小于 0, 这与香草醛处理的一样, 也说明混合物能够增加杉木幼苗根系中¹⁵N 的相对含量, 减少了茎、叶中¹⁵N 的相对含量; 而不同浓度对羟基苯甲酸处理的关系式中, 根、叶——关系式一次项的系数都小于 0, 而茎——关系式一次项的系数大于 0, 这与上面的关系式不相似, 其中根——关系式的一次项系数为 $0.0083 < 1$, 出现这种现象的具体原因不清楚, 可能是人为操作过程中(如取样、测定)所造成的误差。结合以上的数据, 可以看出对羟基苯甲酸对盆栽杉木幼苗中¹⁵N 吸收、分配的影响很小, 甚至几乎没有影响。

¹⁵N 相对含量的变化表明杉木对吸收的¹⁵N 在不同器官中分配的变化, 相对含量减少了表明分配率降低了, 相对含量增加了表明分配率增加了。由关系式一次项系数可知, 用香草醛和混合物处理的杉木幼苗增加了根系中 N 素的分配率, 减少了茎、叶中 N 素的分配率。结合前面的结果, 高浓度的香草醛和混合物都抑制了杉木幼苗的生长和养分的吸收, 减少了杉木幼苗地上部分养分的分配率, 从而降低了杉木幼苗的生产力。

3 结 论

1) 香草醛和混合物(香草醛和对羟基苯甲酸的浓度比为 1:1)能够影响杉木幼苗的生长。当浓度为 10 mmol L^{-1} 时杉木幼苗的生物量与对照之间的差异达到显著性水平, 在浓度为 1 mmol L^{-1} 时显著抑制了杉木幼苗的苗高生长。

2) 香草醛和混合物能够影响杉木幼苗 N 素养

分的吸收。 10 mmol L^{-1} 香草醛和混合物都明显地抑制了杉木幼苗对¹⁵N 同位素养分的吸收, 而对羟基苯甲酸没有抑制杉木幼苗对¹⁵N 同位素的吸收, 这可能是土壤中施加的对羟基苯甲酸浓度没有达到对杉木养分吸收起毒害作用的临界浓度。

3) 香草醛和混合物能够影响杉木幼苗 N 素养分的分配。高浓度的香草醛和混合物都增加了杉木幼苗根系中 N 素的含量, 减少了茎、叶中 N 素的含量。

4) 香草醛和对羟基苯甲酸之间存在着协同作用, 更加重了其对于杉木幼苗的毒害作用。杉木林土壤中含有阿魏酸、肉桂酸等多种酚类物质, 这些物质与香草醛一样都能影响杉木的生长, 这些酚类物质之间可能也存在着协同作用, 这就更降低了酚类物质的致毒浓度、加重了对杉木的毒害作用, 结果导致即使较低浓度的酚类物质也能影响杉木的生长。

但是, 目前人们对杉木林土壤中酚类物质的种类和数量等方面的研究工作做得还比较少, 尤其是酚类物质含量和各种酚类物质之间的相互作用关系等方面的研究, 因此这需要进一步深入的研究, 探讨杉木林土壤中酚类物质的实际浓度以及实际致毒浓度, 为揭示杉木化感作用提供基本数据。

参 考 文 献

- 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 and the productivity of artificial *Cunninghamia lanceolata* stands. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 1: 97 ~ 106. (in Chinese)
- Chen, L. C. (陈龙池), L. P. Liao (廖利平), S. L. Wang (汪思龙) & Z. Q. Huang (黄志群). 2002. Effect of exotic toxin on the nutrition of woodland soil. Chinese Journal of Ecology (生态学报), 21(1): 19 ~ 22. (in Chinese)
- Fu, Z. J. (傅志坚), Z. Y. Jin (金子渔), D. W. Zhang (张德威), R. F. Que (阙瑞芬) & Y. H. Mou (牟咏花). 1992. Studies on the absorption and distribution of ¹⁵N-labelled fertilizer on tomato. Journal of Nuclear Agriculture Science (核农学通报), 13: 185 ~ 187. (in Chinese)
- Guan, C. Z. (管长志), X. Zeng (曾骥) & Z. Q. Meng (孟昭清). 1993. Effect of autumn foliar application of ¹⁵N-urea on absorption, translocation, storage and redistribution of fertilizer N in 'Kyoho' grapevine. Acta Horticulturae Sinica (园艺学报), 20: 237 ~ 242. (in Chinese)
- Huang, Z. Q. (黄志群), L. P. Liao (廖利平), S. L. Wang (汪思龙) & J. W. Zhang (张家武). 2000. Allelopathy of several accompanying species on Chinese fir. Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 11(Supp.): 216 ~ 218. (in Chinese)
- 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: 2212 ~ 2219.

- Huang, Z. Q., H. Terry, S. L. Wang & S. J. Han. 2002. Autotoxicity of Chinese fir on seed germination and seedling growth. *Allelopathy Journal*, **9**:51 ~ 59.
- Liao, L. P. (廖利平), Y. Q. Ma (马越强), S. L. Wang (汪思龙), H. Gao (高洪) & X. J. Yu (于小军). 2000a. Decomposition of leaf litter of Chinese fir in mixture with major associated broad-leaved plantation species. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **24**:27 ~ 33. (in Chinese)
- Liao, L. P. (廖利平), H. Gao (高洪), S. L. Wang (汪思龙), Y. Q. Ma (马越强), Z. Q. Huang (黄志群) & X. J. Yu (于小军). 2000b. The effect of nitrogen addition on soil nutrient leaching and the decomposition of Chinese fir leaf litter. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **24**:34 ~ 39. (in Chinese)
- 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). 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)
- Mugasha, A. G. & D. J. Pluth. 1994. ^{15}N -labelled urea fertilization of a tamarack/black spruce mixed stand on a drained minerotrophic peatland: ^{15}N in soil and tree uptake. *Forest Ecology and Management*, **68**:339 ~ 351.
- Pan, R. C. (潘瑞炽) & Y. D. Dong (董愚得). 1995. *Plant physiology*. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press. 31. (in Chinese)
- Ruan, W. B. (阮维斌), Z. J. Zhao (赵紫娟), J. Xue (薛健), J. G. Wang (王敬国) & F. S. Zhang (张福锁). 2001. Measurement of five allelopathic related phenolic acids by high performance liquid chromatography. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), **7**:609 ~ 612. (in Chinese)
- Xu, J. E. (徐季娥), Y. Y. Lin (林裕益), R. J. Lu (吕瑞江), L. Chen (陈良) & Z. F. Gao (高占峰). 1993. Studies on the absorption and the distribution of ^{15}N -labelled urea to 'Yali' Pear trees following autumn application. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), **20**:145 ~ 149 (in Chinese)
- Yu, J. Q. & Y. Matsui. 1997. Effects of exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, **23**:817 ~ 827.
- Zhang, J. W. (张家武), S. J. Deng (邓什坚), L. P. Liao (廖利平) & H. Gao (高洪). 1994. Influence of repeatedly planting soil on *Cunninghamia lanceolata* sapling growth. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **5**: 241 ~ 244. (in Chinese)

责任编辑: 黄建辉 责任编辑: 张丽赫