

几种酚酸对毛竹种子发芽的影响

郑仁红¹, 顾小平^{*}, 岳晋军¹, 苏文会²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400 2 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘要: 针对连续多年覆盖后雷竹林产生的衰退减产问题, 从竹林覆盖物料对竹子的化感作用角度对衰退的原因进行了分析。利用外施不同浓度和种类的酚酸以及稻草、竹叶水浸液对毛竹种子进行发芽实验, 以探求酚酸等化感物质对竹子生长的影响。试验结果表明, 随处理液浓度的上升, 几种酚酸和稻草、竹叶水浸液对毛竹种子的抑制作用增强。稻草、竹叶 2 种覆盖物 1 倍浸提母液处理后长出的种子胚根迅速失活死亡, 5、10 倍 2 种浸提母液对发芽势、胚根长度、胚根质量有促进作用。100 mg·L⁻¹ 酚酸或混合酚酸液使胚根长度与对照相比减少 24.49%~48.99%, 胚根质量减少 9.17%~38.08%; 500 mg·L⁻¹ 酚酸或混合酚酸液可使胚根长度减少 73.48%~88.63%, 胚根质量减少 76.00%~90.83%。据此认为, 覆盖物产生并在土壤中累积的大量酚酸可抑制竹林根系生长, 并导致雷竹林经连续多年覆盖后衰退和减产。

关键词: 酚酸; 化感作用; 雷竹; 衰退; 种子发芽

中图分类号: S795.7 文献标识码: A

Effects of Several Phenolic Acids on Germination of *Phyllostachys heterocycla* Seeds

ZHENG Ren-hong¹, GU Xiaoping¹, YUE Jin-jun¹, SU Wen-hui²

(1 Research Institute of Subtropical Forestry CAF, Fuyang 311400 Zhejiang China

2 International Center for Bamboo and Rattan Beijing 100102 China)

Abstract After continual covering for several years, the yield and quality of *Phyllostachys praecox* will decline seriously. In order to solve this problem, we detected the effects from allelochemicals of the materials which are used for covering. The solution of several phenolic acids including p-hydroxy benzoic acid, vanillic acid, p-coumaric acid, ferulic acid and their mixture, and distilled solution of different concentrations from rice straw and bamboo leaves were used on germination of *Phyllostachys heterocycla* seeds. Mother distilled solution made radical dead in a short time, but both 5 and 10 times of mother solution promoted length and weight of radical. 100 mg·L⁻¹ is the lowest concentration of phenolic acids solution and their mixture, the length of radical which treated by them was 24.49%~48.99% less than the control. 9.17%~38.08% was the weight compare with 100 mg·L⁻¹, the length and the weight of radical which treated by 500 mg·L⁻¹ were 73.48%~88.63% and 76.00%~90.83% less than the control, respectively.

Key words phenolic acids; allelopathy; *Phyllostachys praecox*; decline; generation

收稿日期: 2006-03-30

基金项目: 国家自然科学基金项目“覆盖栽培对笋用竹林衰退的生化他感效应”(30571480), 并得到浙江省森林培育重中之重学科开放基金资助

作者简介: 郑仁红(1979-), 男, 四川宜宾人, 生态学硕士, E-mail: bamboo_yb@163.com

* 通讯作者

近年来,农户反馈与科学调查都证实,随着林地实施覆盖栽培的年限增加,许多雷竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)林都会出现衰退,表现为竹笋产量持续、明显下降,严重的将导致全林无生产能力,开花率和感病率上升等^[1]。这一现象已成为笋用竹林可持续经营的最大障碍,也是竹区农户提出最多的、需迫切解决的关键技术难题。许多学者为了探索其退化机理,对连续多年覆盖后的竹林结构及生理生化特征作了大量的调查研究,涉及到叶面积指数、鞭根结构、土壤养分、酶活性、微生物数量等方面^[2-6],但针对覆盖物分泌物—竹林土壤—竹子生长之间关系的研究未见报道。

稻草是农户用来覆盖雷竹林地的主要物料。研究表明,稻草等有机物料在淋洗和腐解过程中会释放大量的酚酸类次生物质,其中含量最高的是对羟基苯甲酸(*p*-hydroxybenzoic)、香草酸(*vanillic*)、香豆酸(*p*-coumaric)和阿魏酸(*ferulic*),占干质量的0.002%~0.037%;稻草鲜样中的醚可溶性总酚酸含量高达0.34%,腐解后醚可溶性总酚酸占干质量的0.28%^[7,8]。水稻秸秆还田腐解过程中产生的酚酸类物质导致台湾双季稻减产约20%^[9],麻生末雄等证实了稻草腐解过程中产生的酚酸类物质抑制了水稻(*Oryza sativa* L.)根的正常生长^[10],麦秸中的阿魏酸达到一定浓度时会抑制玉米(*Zea mays* L.)和大豆(*Glycine max* (L.) Merrill)根系的生长^[11]。

作者在前期分析了不同覆盖年限雷竹林土壤总酚酸含量,与未覆盖竹林相比,覆盖2.4、7 a的竹林土壤总酚酸含量分别增加了18.23%、48.95%和79.28%。结合这些研究结果,有理由推测酚酸会对雷竹林的鞭根产生一定程度的抑制作用,但是,外加酚酸及覆盖物水浸液对成竹鞭根进行试验存在诸多难以控制的影响,因而在实验室内检测酚酸对种子发芽的影响是一条可行的途径,也可为下一步进行田间模拟试验,深入研究化感物质对竹子生长的影响奠定基础。本文利用竹子种子发芽试验说明酚酸是否对竹子种子萌发产生化感效应,以期为解决连年覆盖后造成笋用竹林衰退问题寻找一条新的思路,同时也丰富化感作用的研究内容。

1 材料与方 法

1.1 材料来源

由于在生产上很难采集到雷竹等散生笋用竹种子,本试验采用同为散生竹刚竹属的毛竹(*Phyt-*

lostachys heterocycla var *pubescens* (Mazel) Ohwi)种子为实验材料,种子取自广西壮族自治区。稻草、竹叶取自浙江省富阳市春建乡。

1.2 处理液配制

1.2.1 覆盖物水浸液 分别称取风干、粉碎后过2 mm筛的稻草、毛竹叶等量,按照1:5的比例与蒸馏水混合,低于30℃条件下,震荡提取24 h后调pH至7.0过滤,在低于40℃条件下减压浓缩至原体积的1/5作为母液,灭菌后置于冰箱中冷藏备用。

1.2.2 酚酸及酚酸混合溶液 称取对羟基苯甲酸、香草酸、香豆酸、阿魏酸4种酚酸(Fluka公司生产)各0.10 g用2 mL无水乙醇溶解后定溶至100 mL,得1 000 mg·L⁻¹单样母液;再将母液分别稀释至质量浓度为500、300、100 mg·L⁻¹的单样和4种酚酸含量相同的混合样100 mL,置于冰箱中冷藏备用。

1.3 处理方法

恒温箱用1%苯扎溴胺溶液擦洗,静置2~3 d培养皿(直径9 cm)及定性滤纸于105℃高温灭菌2 h后备用;剥好的毛竹种子先进行水洗,去除漂浮空粒,用3‰升汞溶液消毒20 min,用蒸馏水冲洗后置于滤纸上。

1.3.1 覆盖物水浸液处理 在培养皿中放入2张定性滤纸,分别转移稻草、竹叶水浸液5.0、2.5、1.0、0.5、0.0 mL入培养皿,用蒸馏水补充至5 mL,即得1、2.5、10倍稀释液和对照;5次重复。每个培养皿均匀放置消毒后的种子50粒,置于恒温培养箱中,设定发芽条件为温度(25±2)℃,相对湿度60%,每2 d添加蒸馏水1 mL。

1.3.2 酚酸溶液与其混合液处理 分别取质量浓度为500、300、100 mg·L⁻¹的酚酸及混合液各5 mL加入培养皿中,另取蒸馏水5 mL作对照;5次重复。每个培养皿均匀放置消毒后的种子50粒,置于恒温培养箱中,设定发芽条件为温度(25±2)℃,相对湿度60%,每2 d添加蒸馏水1 mL。

1.4 统计分析

本试验根据对照的发芽情况,在第4天时发芽数最多,第10天后几乎再无发芽种子,故以处理当日为第1天,从第3天起开始记录发芽率,取前4 d发芽数计算发芽势,在第10天结束发芽率统计,测定胚根长度、质量。将所得到的数据进行统计分析。

发芽势 = 发芽初期(4 d)发芽的种子粒数 / 供试种子粒数 × 100%

发芽率 = 发芽终期 (10 d) 发芽的种子粒数 / 试种子粒数 × 100%

2 结果与分析

2.1 稻草、竹叶水浸液对毛竹种子发芽的影响

2.1.1 稻草和竹叶水浸液对发芽率和发芽势的影响 从表 1 中可以看出, 稻草水浸液对毛竹种子发芽率的影响达到极显著水平 ($F = 8.626^{**}$), 各浓度

水浸液处理后发芽率与对照相比降低了 15.66% ~ 36.14%。竹叶水浸液对毛竹种子发芽率的影响相对较小, 整体上未达到统计学的显著水平, 但各浓度水浸液处理后发芽率与对照相比降低了 7.23% ~ 21.69%。以上数据表明, 稻草、竹叶浸提液对种子发芽率起抑制效应, 并且随着浸提液浓度的加大, 抑制作用增强。

表 1 稻草、竹叶水浸液对毛竹种子发芽的影响

处理液	稀释倍数	发芽率 %	发芽势 %	胚根长度 /cm	胚根质量 /mg
稻草	0	83 a A	45 ab AB	2.55 b B	8.73 ab A
	10	70 ab AB	61 a A	4.16 a A	9.23 a A
	5	57 b B	48 a AB	3.80 ab AB	7.53 ab A
	2	53 b B	56 ab AB	2.68 b B	6.67 b A
	1	59 b AB	34 b B	0.001 c C	0.001 c B
	<i>F</i> 值		8.626 ^{**}	6.083 [*]	27.947 [*]
竹叶	0	83	45 ab AB	2.55 ab AB	8.73 a A
	10	77	59 a AB	3.72 a A	8.43 a A
	5	79	64 a A	3.56 a A	6.97 a A
	2	75	49 ab AB	1.36 b BC	2.83 b B
	1	65	29 b B	0.001 c C	0.001 c B
	<i>F</i> 值		3.123	6.276 [*]	17.676 [*]

注: 表中 *F* 值为方差检验结果, ** 表示差异极显著, * 表示差异显著。经多重比较检验, 同一列中不同字母表示差异显著, 小写字母表示 $P < 0.05$ 水平, 大写字母表示 $P < 0.01$ 水平, 下同。

稻草水浸液对种子发芽势的影响达到了极显著水平 ($F < 6.083^{**}$), 10、5 倍母液使种子发芽势上升了 35.56% 和 6.67%, 但 1 倍母液却使发芽势降低了 24.44%。竹叶水浸液对发芽势的影响与稻草水浸液效果相似: 10、5 倍水浸液使种子发芽势提高了 31.11% 和 42.22%, 1 倍母液处理使发芽势下降了 35.56%。

由以上分析可知, 随水浸液浓度的增大, 稻草、竹叶水浸液均对毛竹种子的发芽率表现出渐强的抑制作用; 其对发芽势的影响则体现出低浓度时为促进作用, 高于一定浓度后变为抑制作用的规律。这与复合农林系统中水杉 (*Metasequoia Glyptostroboiles* Hu et Cheng) 林下土壤水浸液对小麦 (*Triticum aestivum* L.) 种子萌发的影响^[12]、农业生产上油蒿 (*Artemisia ordosica* Krasch) 水浸液对萝卜 (*Raphanus Sativus* L.) 和小麦等种子发芽率的影响^[13]、蟛蜞菊 (*Wedelia chinensis* (Osb.) Merr.) 水浸液对花生 (*Arachis hypogaea* L.) 和水稻种子萌发的影响^[14] 结果相似。

2.1.2 稻草、竹叶水浸液对毛竹幼苗胚根长度、质量的影响 稻草、竹叶水浸液对胚根长度、质量的影响均达到极显著水平 (见表 1 的 *F* 值)。经各浓度

水浸液处理的种子, 胚根生长都表现出低浓度促进或轻度抑制, 高浓度强烈抑制的规律, 并且经稻草、竹叶 1 倍水浸液母液处理的种子, 在萌发之后随即死亡。

10、5、2 倍 3 个较低浓度稻草水浸液处理随着浓度升高, 促进作用逐渐减弱, 胚根长度与对照相比分别增加了 63.14%、49.02%、5.10%, 用 1 倍母液处理的胚根长度约为 0。竹叶水浸液的影响效果与稻草水浸液的相似, 10、5 倍母液处理促进了根系的生长, 胚根长度较对照增加了 45.88% 和 39.61%, 但 2 倍母液处理使胚根长度减少了 46.67%, 1 倍母液处理的胚根长度约为 0。

稻草水浸液对胚根质量的影响也表现出先促进后抑制的规律: 10 倍母液使胚根质量比对照增加了 5.73%, 5、2 倍母液则减少了 13.78% 和 23.60%; 竹叶水浸液对胚根质量的影响更为明显, 从 10 倍母液开始便有轻微的抑制作用, 5 倍母液处理后胚根质量比对照下降了 20.16%, 2 倍母液处理后下降了 67.58%, 并与对照有极显著差异 ($p < 0.01$); 1 倍稻草、竹叶水浸液处理后胚根质量均约为 0。

雷日平等^[15] 研究表明 1:10 的华山松、锐齿栎

林下土壤及凋落物浸提液对油松种子胚根生长有显著促进作用,本实验中稀释倍数较高的覆盖物水浸液也促进了毛竹种子的胚根生长。经稻草、竹叶 1 倍水浸液母液处理后,正常发芽的毛竹种子由于强烈的抑制作用,幼嫩的胚根迅速失去活力并停止生长,胚根长度、质量均约为 0。

2.2 酚酸对毛竹种子发芽的影响

2.2.1 酚酸对毛竹种子发芽率和发芽势的影响

2.2.1.1 对发芽率的影响 如表 2 所示,各种酚酸的不同质量浓度处理液对种子发芽率的影响均表

现为抑制效应。阿魏酸对种子发芽率的影响达到了统计意义上的极显著水平 ($F = 8.654^{**}$);香豆酸对种子发芽率的影响达到显著水平 ($F = 3.554^*$);香兰素和对羟基苯甲酸对种子发芽率的影响虽没达到显著水平,但 4 种酚酸均表现出随着质量浓度增大,抑制作用增强的趋势。质量浓度为 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的香豆酸及质量浓度为 $300 \sim 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的阿魏酸处理的种子发芽率与对照的差异均极显著。曹光球等^[16]研究了阿魏酸对杉木种子发芽的抑制效应,本文结果与之相似。

表 2 酚酸对毛竹种子发芽率的影响

质量浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	种子发芽率 / %				
	香豆酸	香兰素	阿魏酸	对羟基苯甲酸	混合酚酸
0	86 a	86	86 A	86	86 a
100	74 ab	69	72 AB	77	69 b
300	72 ab	75	60 B	69	75 ab
500	65 b	78	64 B	79	82 a
F 值	3.554 [*]	3.006	8.654 ^{**}	3.172	4.415 [*]

2.2.1.2 对发芽势的影响 从表 3 可以看出,不同质量浓度的香豆酸、香兰素、阿魏酸、对羟基苯甲酸以及混合酚酸处理液对种子发芽势的影响与稻草、竹叶水浸液处理结果相似,均具有低质量浓度促进,高质量浓度抑制的规律。阿魏酸和混合酚酸对种子发芽势的影响达到显著水平(见 F 值),香豆酸、香兰素和对羟基苯甲酸对种子发芽势的影响达到极显著水平(见 F 值)。经 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 单一酚酸

或混合酚酸液处理的种子发芽势与对照相比增加了 37.21% 以上, $300 \sim 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的任何一种处理液处理后发芽势均有所减弱,但仍然高于对照的发芽势。这说明低质量浓度的酚酸有可能消除毛竹种子内源抑制物质对萌发的作用,与芦荟 (*Aloe vera* L. var *chinesis* (Haw.) Berger) 浸泡液浸种可促进棉花 (*Gossypium herbaceum* L.)、小麦、大麦 (*Hordeum vulgare* L.) 等作物种子的萌发的结果相似^[17]。

表 3 酚酸对毛竹种子发芽势的影响

质量浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	种子发芽势 / %				
	香豆酸	香兰素	阿魏酸	对羟基苯甲酸	混合酚酸
0	43 b	43 b	43 b	43 c B	43 b
100	59 ab	62 a	61 a	69 a A	63 a
300	63 a	61 a	57 ab	59 ab AB	59 ab
500	42 b	46 b	45 b	53 bc AB	52 ab
F 值	5.724 ^{**}	7.167 [*]	5.197 [*]	8.759 ^{**}	3.565 [*]

2.2.2 酚酸对毛竹幼苗胚根长度、质量的影响

2.2.2.1 对胚根长度的影响 由表 4 所示,香豆酸、香兰素、阿魏酸、对羟基苯甲酸和 4 种酚酸的混合液不同质量浓度处理对种子胚根长度的影响均表现为抑制效应,并且随着质量浓度的增大,抑制作用增强。各种酚酸和混合酚酸对种子胚根长度的影响均达到极显著水平(见 F 值)。 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 5 种处理液使胚根长度与对照相比减少了 24.49% ~

48.99%, $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的任一处理液可使胚根长度减少 59.85% ~ 75.76%, $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的任一处理液可使胚根长度减少 73.48% ~ 88.63%。 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的香兰素、混合酚酸液以及 $300 \sim 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的任何一种处理液处理结果,与对照相比有极显著差异 ($p < 0.01$)。

2.2.2.2 对胚根质量的影响 根据表 5 的结果,香豆酸、香兰素、阿魏酸、对羟基苯甲酸和 4 种酚酸的混合液不同质量浓度处理对种子胚根质量的影响

均表现为抑制效应, 并且随着质量浓度的增大, 抑制作用增强。各种酚酸和混合酚酸对种子胚根质量的影响均达到极显著水平(见 F 值)。100 mg·L⁻¹ 的 5 种处理液处理使胚根质量减少了 9.17% ~ 38.08%, 300 mg·L⁻¹ 的任一酚酸或混合酚酸液使胚根质量减少 45.83 ~ 60.23%, 500 mg·L⁻¹ 的任

一酚酸或混合酚酸液可使胚根质量减少 76.00% ~ 90.83%。100 mg·L⁻¹ 的香兰素及 300 mg·L⁻¹ 的阿魏酸、对羟基苯甲酸、混合酚酸处理结果与对照的差异均极显著 ($p < 0.01$); 香豆酸在 500 mg·L⁻¹ 时, 与对照相比差异也达到了极显著水平 ($p < 0.01$)。

表 4 酚酸对毛竹幼苗胚根长度的影响

质量浓度 / (mg·L ⁻¹)	胚根长度 / cm				
	香豆酸	香兰素	阿魏酸	对羟基苯甲酸	混合酚酸
0	3.96 A	3.96 A	3.96 A	3.96 A	3.96 A
100	2.49 AB	2.02 B	2.99 AB	2.82 AB	2.18 B
300	1.49 AB	1.59 B	1.00 B	1.19 BC	0.96 C
500	0.53 B	1.05 B	0.78 B	0.45 C	0.53 C
F 值	8.124**	16.151**	14.664**	17.245*	40.587*

表 5 酚酸对毛竹幼苗胚根质量的影响

质量浓度 / (mg·L ⁻¹)	胚根质量 / g				
	香豆酸	香兰素	阿魏酸	对羟基苯甲酸	混合酚酸
0	12.00 aA	12.00 A	12.00 A	12.00 A	12.00 aA
100	8.50 bA	7.43 B	10.30 AB	10.90 AB	8.00 bAB
300	6.50 bA	5.13 BC	5.00 BC	4.77 BC	5.07 bBC
500	2.14 cB	2.88 C	1.61 C	1.90 C	1.10 cC
F 值	31.934**	30.591**	20.768**	23.759**	41.335**

3 结论与讨论

外施稻草、竹叶水浸液对毛竹种子发芽的试验结果表明, 水浸液对胚根生长及发芽率的影响均表现为随浓度升高, 抑制作用加强; 对发芽势的影响表现为促进作用, 且低浓度促进作用较强。1 倍母液处理后影响最严重, 可致种子萌发后迅速死亡, 胚根完全不能生长, 若在其刚萌发后换为蒸馏水培养, 则可正常生长, 说明雷竹林覆盖物——稻草、竹叶水浸液中含有抑制性化感物质。

香豆酸、香兰素、阿魏酸、对羟基苯甲酸等是稻草等覆盖物料中的主要化感物质^[7]。这 4 种酚酸及其混合液对毛竹种子胚根长度、质量的影响均表现为显著的抑制效应, 且质量浓度越大抑制作用越显著; 对种子发芽势的影响表现为促进效应, 质量浓度越低其促进效应越明显; 香兰素和混合酚酸液对发芽率的影响表现为随处理液质量浓度增加, 发芽率升高并接近对照处理; 其余各种酚酸处理后发芽率受到抑制, 质量浓度越高发芽率越低。

在实际生产中, 农户为追求生产效益而往往对竹林连续多年覆盖栽培。覆盖有机物中的木质素经微生物分解形成酚酸, 一定量的酚酸在适宜的酸碱

度、氧气浓度条件下由多酚氧化酶作用和氨基酸或多肽缩合成腐殖质^[18]。从植物营养角度上看, 化肥使用量的增加和覆盖物翻埋腐解释放的矿质营养足以满足竹林的营养需求, 理论上完全可以保证连续高产; 但是连年的翻埋也为竹林土壤输入了大量的酚酸类物质, 酚酸等化感物质可通过抑制细胞的分裂和伸长, 使根细胞膜透性增加, 内容物外溢而导致根系生长缓慢或死亡。例如, 饱和的香豆素水溶液可完全阻断洋葱 (*Allium cepa* L.) 和百合 (*Lilium* spp.) 根细胞的分裂, 也可破坏纺锤体, 终止中期累积, 阻碍有丝分裂, 使黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 根细胞的伸长受到抑制, 横向扩展增加^[19]; 酚酸作用于大豆和燕麦 (*Avena* spp.) 时, 造成膜脂过氧化, 造成了原生质体膜的破坏, K⁺ 外溢增加, 根系吸收功能遭破坏^[20, 21]。本试验结果表明, 在酚酸的化感作用下, 毛竹种子萌发及幼苗的根系生长受到严重抑制。那么, 如果竹林土壤中酚酸含量达到一定浓度后, 是否如同 Shilling D G. 等^[11] 研究报道的, 竹林根系的吸收和转运功能遭到破坏而影响竹子的正常生长, 导致笋产量降低和竹林的衰退? 这有待于进行田间试验进一步验证。

参考文献:

- [1] 董林根, 姜小娟, 方茂盛. 雷竹覆盖栽培林地土壤微生物的初步研究 [J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(3): 236~239
- [2] 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标, 等. 雷竹林地覆盖增温过程中土壤化学性质的动态变化 [J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(2): 123~130
- [3] 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标. 雷竹林地覆盖增温过程中土壤酶活性的动态变化 [J]. 林业科学研究, 1999, 12(5): 548~551
- [4] 姜培坤, 周国模, 徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响 [J]. 林业科学, 2002, 38(6): 6~11
- [5] 董林根, 吴伟根, 郑钢, 等. 经营干扰对雷竹叶面积指数的影响 [J]. 经济林研究, 1999, 17(2): 14~16
- [6] 金爱武, 周国模, 郑柄松, 等. 覆盖保护地栽培对雷竹地下鞭的影响 [J]. 竹子研究汇刊, 1998(4): 36~39
- [7] Kuwatsuka S, Shindo H. Behavior of phenolic substances in the decaying process of plants I. Identification and quantitative determination of phenolic acids in rice straw and its decayed product by gas chromatography [J]. Soil Sci Plant Nutr, 1973, 19(3): 219~227
- [8] Chuyen N V, Kurata T, Kato H, et al. Antimicrobial activity of Kumazasa (*Sasa albomarginata*) [J]. Agric Bio Chem, 1982, 46(4): 971~978
- [9] 申建波, 张福锁, 王敬国, 等. 化感作用与可持续农业 [J]. 生态农业研究, 1999, 7(4): 34~37
- [10] 麻生末雄, 佐藤泰史, 山下高弘. 稲わら堆肥の腐熟にともなうフェノール物質の変動と水稻幼植物によるバイオアッセイ [J]. 日本土壤肥料学雑誌, 1994, 65(3): 321~325
- [11] Shilling D G, Lieb R A, Woshan A D. Rye (*Secale cereale* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) mulch: the suppression of certain broad leaved weeds and the isolation and identification of phytotoxins [A]. In: Thompson A C. The Chemistry of Allelopathy [C]. Washington: American Chemical Society, 1985: 243~272
- [12] 卫春, 陈建群, 张鹏飞, 等. 复合农林系统中水杉他感作用的生物测定 [J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(4): 85~89
- [13] 马茂华, 于凤兰, 孔令韶. 油蒿 (*Artemisia ordosica*) 的化感作用研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(5): 670~676
- [14] 聂呈荣, 黎华寿, 黄京华, 等. 螞蟥菊对花生和其他作物的化感作用 [J]. 花生学报, 2002, 31(1): 30~32
- [15] 雷日平, 陈辉, 刘建军. 凋落物和土壤浸提液对油松种子萌发与幼苗生长的影响 [J]. 中南林学院学报, 2001, 21(1): 82~84
- [16] 曹光球, 林思祖, 黄世国. 阿魏酸和肉桂酸对杉木种子发芽的效应 [J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(2): 63~64
- [17] 叶居新, 陶勇, 葛刚, 等. 关于植物化学生态信息的开发与利用 [J]. 环境与开发, 2000, 15(3): 22~30
- [18] 何光训. 土壤酚类物质引起植物中毒的植物生理原因 [J]. 浙江林学院学报, 1992, 9(3): 339~344
- [19] 李绍文. 生态生物化学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2001
- [20] 宋君. 植物间的他感作用 [J]. 生态学杂志, 1990, 9(6): 43~47
- [21] Merisio W, Singh M. Phenolic acids affect photosynthesis and protein synthesis by isolated leaf cells of velvet leaf [J]. J Chem Ecol, 1993, 19(7): 1293~1301