

油松和虎榛子不同林型根系分泌物组分及化感效应

邵东华¹, 任 琴², 宁心哲³, 白淑兰¹

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 集宁师范学院, 内蒙古 集宁 012000; 3. 海拉尔市林业研究所, 内蒙古 海拉尔 021000)

摘要: 采用气质联用(GC/MS)技术, 分别对油松 *Pinus tabulaeformis* 纯林和虎榛子 *Ostryopsis davidiana* 纯林及两者混交林根际土壤中根系分泌物组分进行分析。在此基础上, 应用外源法选择邻苯二甲酸、 ρ -香豆酸对油松盆栽幼苗进行了化感效应测试。结果表明: 根际中检测到的化合物包括有机酸类、酯类和酚酸类。其中有机酸是数量最多且比例最大的一类化合物, 在油松纯林、虎榛子纯林及混交林中有有机酸所占比例分别为 63.82%, 71.05%和 69.12%; 酯类分别占 8.38%, 12.65%和 14.42%; 酚酸类分别占整个组分的 27.80%, 16.30%和 16.46%; 酚酸类化合物检测到 7 种, 包括羟基肉桂酸、 ρ -羟基苯甲酸、4-羟基苯甲酸、邻苯二甲酸、3, 4-二羟基苯甲酸、3, 5-二羟基苯甲酸和 ρ -香豆酸, 混交林中没有检测到羟基肉桂酸。油松纯林中, 7 种酚酸的含量显著高于另外 2 种林型, 除 3, 4-二羟基苯甲酸外, 其余酚酸含量均为混交林的 2.5 倍以上, ρ -香豆酸达到 8 倍; 与对照相比, 应用外源 ρ -香豆酸和邻苯二甲酸在质量浓度 2.5 mg·L⁻¹ 时对油松苗高和生物量均具有促进作用, 化感响应指数为正值。随着 2 种化合物质量浓度的增大, 抑制作用加强, 但 ρ -香豆酸的抑制作用小于邻苯二甲酸。因此, 混交林根际根系酚酸含量的降低可能是其生长优于纯林的重要原因之一。图 2 表 1 参 12

关键词: 植物学; 油松; 虎榛子; 混交林; 根系分泌物; 酚酸类

中图分类号: S718.3; Q599 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)02-0333-06

Root exudate constituents and allelopathic effects from forests of *Pinus tabulaeformis*, *Ostryopsis davidiana*, and a mixed forest

SHAO Dong-hua¹, REN Qin², NING Xin-zhe³, BAI Shu-lan¹

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, Inner Mongolia, China; 2. Jining Normal College, Jining 012000, Inner Mongolia, China; 3. Hailaer Forest Research Institute, Hailaer 021000, Inner Mongolia, China)

Abstract: In order to research the chemical communications in a pure *Pinus tabulaeformis* forest (PT), an *Ostryopsis davidiana* forest (OD), and a mixed forest of the two (MPO), the components from rhizosphere soil exudates were analysed using the gas chromatography-mass spectroscopy (GC/MS) technique. Then, the allelopathic effects of potted *P. tabulaeformis* seedlings were tested using exogenous phthalic acid and ρ -coumaric acid. Results showed that organic acids comprised most of the detected compounds with PT 63.82%, OD 71.15%, and MPO 69.12%; esters accounted for: PT 8.38%, OD 12.65%, and MPO 14.42%; and phenolic acids were: PT 27.80%, OD 16.30%, and MPO 16.46%. Seven phenolic acids were detected in the 3 forest types: hydrocinnamic acid (not in MPO); ρ -hydroxybenzoic acid; 4-hydroxybenzeneacetic acid; phthalic acid; 3, 4-dihydroxy benzoic acid; 3, 5-dihydroxy benzoic acid; and ρ -coumaric acid. For the seven phenolic acids PT more than MPO and except for 3, 4-dihydroxy benzoic acid were 2.5 times greater in OD than MPO with ρ -coumaric acid being 8 times greater. For PT seedlings compared with the

收稿日期: 2010-07-15; 修回日期: 2010-11-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30560122, 31060110)

作者简介: 邵东华, 讲师, 从事根际微生态研究。E-mail: yanjingshe705@yahoo.com.cn。通信作者: 白淑兰, 教授, 博士生导师, 从事根际微生物及其生态研究。E-mail: baishulan2004@163.com

controls, after treatments of $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ phthalic acid, the height increased, and after treatments of $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ρ -coumaric acid, the biomass increased. Also, their allelopathic response index was positive with an increased inhibiting effect as concentrations increased; however, the inhibiting effect of phthalic acid decreased more than ρ -coumaric acid. Thus, a lower content of phenolic acids may be one of the important reasons that mixed forests grew better than two other pure forests. [Ch, 2 fig. 1 tab. 12 ref.]

Key words: botany; *Pinus tabulaeformis*; *Ostryopsis davidiana*; mixed forest; root exudates; phenolic acids

在植物生态系统中,无论是土壤还是地上空间都充满着各类次生物质,这些次生物质很多具有信号传递功能,可以在细胞、器官、植株、种群和群落各个水平上进行传递并发生效应^[1],其中植物根系分泌物在其信息交流方面也具有重要作用^[2-3]。曹兵等^[4]研究表明:臭椿 *Ailanthus altissima* 根系提取液对刺槐 *Robinia pseudoacacia* 幼苗生长具有显著的抑制作用。张凤云等^[5]研究证实:核桃 *Juglans regia* 鲜叶内的挥发性化感物质对小麦 *Triticum aestivum*, 绿豆 *Phaseolus radiatus*, 黄瓜 *Cucumis sativus*, 萝卜 *Raphanus sativus* 等4种作物的种子萌发均有化感作用,表现为高浓度抑制,低浓度促进的效应。郭景然等^[6]研究表明:落叶松 *Larix gmelini* 与胡桃楸 *Juglans mandshurica* 混交对胡桃楸的生长具有明显的促进作用。所以,自然界中植物间的化感作用十分复杂,并对自然生态系统的稳定具有重要的调节作用。由于受全球环境变化的影响及人类不合理的资源利用,内蒙古大青山生态系统严重退化,然而,大青山油松 *Pinus tabulaeformis* 与虎榛子 *Ostryopsis davidiana* 混交林中油松的生长状况明显好于油松纯林。研究表明:虎榛子的存在对油松菌根形成具有明显的促进作用^[7],同时其混交林的酶活性远远高于油松纯林^[8]。那么,虎榛子与油松混交对油松的促生效应是否还与它们之间根系分泌物化感作用有关?这也是本研究的目的。研究小组试图通过对油松、虎榛子不同林型根系分泌物组分分析,了解它们之间可能存在的化感物质,同时,应用部分化感物质标样对油松进行化感作用研究,分析它们之间的化感促生关系,为内蒙古大青山脆弱生态系统中残存灌木虎榛子的保护与重建提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

采样地位于内蒙古大青山乌素图国家森林公园未被人为破坏的自然森林环境。供试土壤样品采自于该林地,分别为20年生油松 *Pinus tabulaeformis* 纯林、1.5 m高虎榛子 *Ostryopsis davidiana* 灌丛纯林、20年生油松与1.5 m高虎榛子灌丛混交林。在纯林中分别随机选择3株(或丛)树木进行取样;混交林中随机选取油松、虎榛子根系交织的3个样点进行取样。

供试油松苗是通过种子消毒处理后培养的2个月龄油松实生盆栽苗。

供试化学试剂 ρ -香豆酸和邻苯二甲酸为分析纯, ρ -香豆酸购于美国 Sigma 公司,邻苯二甲酸购于中国北京化学试剂公司。

1.2 试验方法

1.2.1 根际土壤的采集 取样时先确定样树,每个林型取3个具有代表性样点。去其表层腐殖质,分别随机采集附着在林木根系表面的土壤,作为根际土。混交林取2个树种等质量根系,收集附着在根系上的土壤作为根际土。土壤样品在实验室内自然风干,研细,过40目筛备用。

1.2.2 根际分泌物的提取 提取方法:取约2 g土样置于小烧杯中,加入 $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氢氧化钠 50 mL 置 20 °C 摇床中, $100 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 消化 24 h。过滤,滤液用 $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸酸化(调 pH 2.5 ~ 3.0),加入饱和氯化钠,用乙醚抽提3次,合并醚相,40 °C 旋转蒸发至干。用甲醇定容转移至毛细管中抽干。加入 8 μL 硅烷化试剂,100 °C 条件下衍生 1 h 后,通过气质联用(GC/MS)技术进行定性、定量分析。

1.2.3 GC/MS 分析条件 用 GC(TRACE/MS2000, CE INSTRUMENT 公司)/MS(VOYAGER MASS, FINNIGAN 公司)对根际分泌物进行定性分析。气相色谱柱为 DB-5-MS 石英毛细管柱(30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μm , J&W Scientific, Agilent Technologies, USA)。

GC 程序升温条件:初始温度 50 °C,以 $20 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速率升至 180 °C,保持 4 min,然后以 $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot$

min⁻¹ 升到 220 °C, 保持 15 min。载气：氦气；流速：0.8 mL·min⁻¹。GC 进样口温度：280 °C, 电子恒流控制, 无分流进样；进样体积：1 μL。

MS 的工作条件：电离方式 EI；电子能量：70 eV；质量范围：29 ~ 350 amu；接口温度：250 °C, 离子源温度：200 °C, 发射电流：150 μA, 检测器电压：500 V；全扫描, 扫描所用时间 0.4 s·次⁻¹, 质谱扫描范围(*m/z*)29 ~ 450。

1.2.4 根系分泌物的鉴定 采用 Xcalibur 1.2 版本软件、NIST98 谱图库兼顾色谱保留时间对油松、虎榛子不同林型根际土壤中根系分泌物组分定性, 并以标准样品进行验证；以各类物质的峰面积进行定量。

1.2.5 油松幼苗的培养 幼苗培养基质是林地土和蛭石混合基质(体积比为 1 : 5)经高温高压蒸汽灭菌(121 °C, 1 kg·cm⁻² 压力, 灭菌 1.5 h), 冷却后装入洁净的用体积分数为 75%乙醇擦拭的高 15 cm, 上口直径 12 cm 的育苗盆中备用。选取籽粒饱满、大小均匀油松种子浸泡 24 h, 再用 5.0 g·kg⁻¹ 高锰酸钾消毒 30 min 后, 用无菌水冲洗干净, 然后摆在有湿润滤纸的灭菌培养皿中置于 25 °C 培养箱中催芽。7 d 后选择胚根萌发均匀的种子播于准备好的育苗盆中, 播发芽种子 1 粒·盆⁻¹, 盛基质 500 g·盆⁻¹, 浇 300 mL 水后置于照度为 1.9 × 10⁴ lx 的金属卤化物提供光源的培养室内(光期为 12 h·d⁻¹, 温度 25 °C, 湿度为 50% ~ 70%), 然后浇水 1 次·周⁻¹, 200 mL·次⁻¹, 2 周浇 1 次稀释 10 倍的 Hoagland 营养液 30 mL。培养 60 d 后用于化感作用研究。

1.2.6 化感效应测试 随机抽取培养 60 d 的油松幼苗供化感效应测试。外源化感物质选择了在油松纯林根际中质量浓度较高的邻苯二甲酸和在虎榛子纯林根际中质量浓度较高的 ρ -香豆酸。质量浓度分别设为 2.5, 5.0, 10.0, 25.0 和 50.0 mg·L⁻¹。这些化感物质都不溶于水, 溶解时先用少量乙醇溶解, 再加蒸馏水配置所需质量浓度的液体, 然后按照不同浓度处理分别均匀施加到苗盆内, 苗盆中施液量 10 mL·盆⁻¹。对照施加 10 mL 蒸馏水, 各处理均设 10 个重复。然后在光照培养室中继续培养, 按上述苗木管理方法给予管理, 再培养 60 d 后对试验苗木进行苗高、生物量测定, 并对数据进行化感效应指数计算^[9]: $I_R = 1 - C/T$, 当 $T \geq C$ 时; $I_R = T/C - 1$, 当 $T < C$ 时。其中, C 是对照值, T 是由不同处理幼苗苗高或生物量的数值, I_R 代表化感效应, 当 $I_R \geq 0$ 时表示促进作用, 当 $I_R < 0$ 时为抑制作用。

1.2.7 数据分析 采用 SAS 8.0 统计软件对各类数据进行方差分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同林型根际分泌物化学组分

通过对油松、虎榛子不同林型根际分泌物 GC/MS 分析表明：在 3 种林型中检测到的化合物主要包括有机酸、酯类和酚酸类。其中, 有机酸所占比例最高, 油松纯林、虎榛子纯林及混交林中有机酸所占比例分别为 63.82%, 71.05% 和 69.12%, 经过多重比较 3 种林型无显著差异；酯类分别占 8.38%, 12.65% 和 14.42%, 3 种林型存在显著的差异；酚酸类包括羟基肉桂酸、 ρ -羟基苯甲酸、 m -羟基苯甲酸、邻苯二甲酸、3, 4-二羟基苯甲酸、3, 5-二羟基苯甲酸和 ρ -香豆酸, 在 3 种林型中分别占整个组分的 27.80%, 16.30% 和 16.46%, 林型间存在显著差异。

油松纯林中, 7 种酚酸的含量显著高于另外 2 种林型, 其中羟基肉桂酸、4-羟基苯甲酸、邻苯二甲酸、3, 5-二羟基苯甲酸和 ρ -香豆酸的含量分别为混交林的 3.4, 2.7, 2.8, 7.5 和 8.0 倍之多, 含量最低的 3, 4-二羟基苯甲酸也为混交林的 1 倍以上。虎榛子纯林中邻苯二甲酸也为混交林的 2.3 倍。那么, 混交林中酚酸含量较纯林为低(表 1)。

2.2 不同外源化感物质对油松幼苗生长的影响

由图 1 ~ 2 结果表明： ρ -香豆酸和邻苯二甲酸在质量浓度 2.5 mg·L⁻¹ 时对油松苗高生长和生物量生长均具有一定的促进作用, 化感响应指数为正值。当 2 种化合物质量浓度为 5.0 mg·L⁻¹ 时略高于对照, 但与对照无显著差异。随着 2 种化合物质量浓度继续增大, 对油松生长均有显著的抑制作用, 但 ρ -香豆酸的抑制作用小于邻苯二甲酸。多重比较显示：2 种物质的抑制作用存在显著差异。

上述结果表明：所选 2 种化感物质的质量浓度对油松幼苗生长具有很大影响。当邻苯二甲酸和 ρ -香豆酸质量浓度超过 5 mg·L⁻¹ 时, 油松的生长受到显著抑制。说明自然界中油松纯林中 2 种化感物质的含量较高, 已达到抑制其生长的作用。其原因之一可能是由于高浓度邻苯二甲酸和 ρ -香豆酸均促进了油松

表1 油松、虎榛子不同林型根际土分泌物组分分析

Table 1 Constituents on rhizosphere exudates from *P. tabulaeformis*, *O. davidiana* and their mixed forests

保留时间/min	化合物	峰面积单位		
		油松	虎榛子	混交林
	有机酸类 organic acids			
5.28	羟基丁酸 hydroxy butyric acid	47 128 312	15 296 842	32 030 698
5.82	4-羟基丁酸 Butyric acid, 4-hydroxy	6 899 819	痕量	痕量
6.38	琥珀酸 succinic acid	63 231 485	11 889 625	22 019 665
6.47	乙基丙二酸 ethylmalonic acid	6 070 547	1 094 050	痕量
6.6	延胡索酸 fumaric acid	31 881 457	3 641 652	5 306 040
7.94	己二酸 hexanedioic acid	21 437 355	5 499 777	4 437 956
9.08	庚二酸 heptanedioic acid	41 421 834	6 032 549	6 982 190
9.76	辛酸 octanoic acid	7 201 279	2 564 615	1 879 533
9.84	3-羟基癸酸 3-hydroxy capric acid	1 646 006	1 326 972	1 819 975
10.61	辛二酸 octanedioic acid	59 268 622	18 536 550	12 134 853
11.83	4-羟基 m-茴香酸 m-Anisic acid, 4-hydroxy	6 134 992	9 049 877	10 805 677
12.25	壬二酸 azelaic acid	162 140 660	41 482 227	43 543 037
12.95	十四烷酸 tetradecanoic acid	3 136 184	3 560 616	2 055 858
13.65	癸二酸 sebacic acid	14 082 946	4 000 467	3 083 556
14.92	十一烷二酸 undecandioic acid	7 963 667	2 488 178	2 604 265
15.53	十六烷酸 hexadecanoic acid	40 210 577	26 889 366	1 7895407
17.37	11-cis-十八烷酸 11-cis-Octadecanoic acid	4 201 436	5 921561	2 996 652
17.62	十八烷酸 octadecanoic acid	16 087 842	11 740 640	8 494 558
	酯类 ester			
8.73	丁二酸甲酯 butanedioic acid, methyl ester	24 037 292	1 374 862	8 890 551
14.58	苯二甲酸二丁酯 dibutyl phthalate	25 449 307	12 439 791	7 349 162
20.38	邻苯二甲酸二异辛酯 diisooctyl phthalate	19 816 059	16 453 555	14 705 146
21.93	2-乙基己基间苯二酸酯 2-ethylhexyl isophthalate	1 625 009	180 880	6 198 272
	酚酸类			
7.23	羟基肉桂酸 hydrocinnamic acid	64 665 597	304 271	未检出
9.5	p-羟基苯甲酸 benzoic acid, p-hydroxy	73 486 263	9 872 609	21 782 427
9.66	4-羟基苯甲酸 benzenacetic acid, 4-hydroxy	7 034 921	1 049 358	2 574 491
11.3	邻苯二甲酸 phthalic acid	22 258 252	18 487 850	7 907 271
12.72	3, 4-二羟基苯甲酸 benzoic acid, 3,4-dihydroxy	1 895 191	3 135 333	1 791 723
13.82	3, 5-二羟基苯甲酸 benzoic acid, 3, 5-dihydroxy	15 872 082	1 779 016	2 117 341
14.31	p-香豆酸 p-Coumaric acid	50 018 943	4 599 392	6 238 281

根系中丙二醛的合成,使油松体内活性氧产生和清除系统的平衡遭到破坏,膜质在活性氧的攻击下发生了过氧化,完整性受到损伤所致。混交林中,由于虎榛子的存在降低了油松根际邻苯二甲酸和 p-香豆酸含量,这可能是虎榛子与油松混交后能促进油松生长的重要因素之一。

3 讨论

根际是一个天然的微生物环境,由于根系分泌物的释放及其土壤微生物活动等的影响,不同树种根

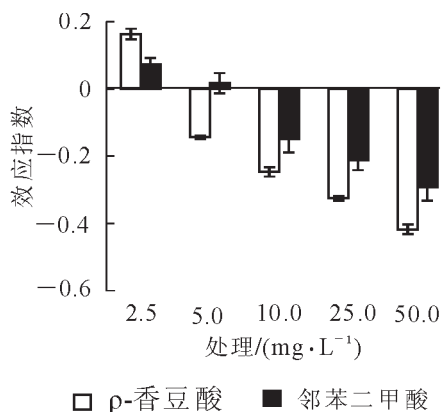


图 1 油松幼苗苗高生长对不同化感物质的响应

Figure 1 Response of different allelochemicals on the growth of *Pinus tabulaeformis* seedlings

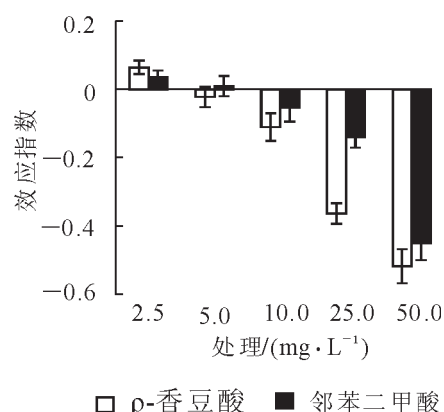


图 2 油松幼苗生物量对不同化感物质的响应

Figure 2 Response of different allelochemicals on the biomass of *P. tabulaeformis* seedlings

际土壤物理化学和生物学性质也截然不同。根际土壤是根分泌物及其转化分解产物的储存库，通过根分泌释放的化感物质经历了不同类型的迁移和生物降解，直接进入土壤中。有些植物释放植物毒素并对其他植物种产生影响，其化学物质必须通过土壤媒介移动到目标植物的根部^[10]。

近年来研究表明，酚酸类是土壤中最具化感潜力的化学物质之一。如连作黄瓜时，其生长受到抑制造成大幅度减产，从黄瓜根分泌物中提取分离出了苯甲酸、对羟基苯甲酸、2, 5-二羟基苯甲酸等 11 种酚类物质，其中 10 种酚酸类物质具有生物毒性。有研究表明：香豆酸、阿魏酸、五倍子酸和香草酸在 $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时明显抑制大豆 *Glycine max* 光合作用，其主要原因可能是阻止了 Mg-卟啉的合成或加速了叶绿素的分解，从而降低了叶片的叶绿素含量，使叶子失绿，进而影响到光合作用。本研究证实：油松纯林根际分泌物中各类酚酸物质的含量均为混交林的 1.0 倍以上， ρ -香豆酸含量则达到混交林的 8.0 倍以上。这一研究与前人结果相似，混交林中根际土壤酚酸的含量显著低于纯林，可能是其生长明显优于纯林中油松生长的重要原因之一，即混交林降低了油松纯林中酚酸含量过高而产生的自毒效应。此外，混交林中并未检测到羟基肉桂酸，说明肉桂酸在混交林中不存在或者含量达不到检出限，从而对混交林生长的抑制作用降低。肉桂酸在化感中的作用主要表现在抑制植物叶片光合速率、气孔传导、改变酶的活性等生理过程，如肉桂酸的施用打破了番茄 *Lycopersicon esculentum* 根部保护酶系统原有的平衡，降低其根部保护酶活性、产生膜质过氧化而影响其正常生长^[10]。

目前，农作物化感方面研究已经取得较大的进展。冯远娇等^[11]研究表明：外源茉莉酸处理可以诱导玉米 *Zea mays* 根产生化学防御反应基因的表达。森林是一个十分复杂的生态系统，森林土壤蕴含有大量的植物根系、微生物及土壤动物，这些生物间的相互作用和影响增加了研究的难度。植物产生和释放到土壤中的化感物质也直接或间接对土壤微生物产生影响，相反微生物也会影响根际性质。化感作用是影响森林天然更新的重要因子，过去人们往往把更新失败的原因归结于幼树所处的光照、水分和养分条件等，而对生化因子的作用估计不足。事实上，一些树种更新和重建的失败与化感作用的关系也十分密切。陈龙池等^[12]报道杉木 *Cunninghamia lanceolata* 根系分泌液低浓度时可促进杉木幼苗的生长，而高浓度时则抑制其生长。那么，在复杂的森林生态系统中，化感效应的研究必将成为今后退化生态系统恢复中研究热点，如纯林中化感物质的浓度如何受到调节、自毒效应怎样转变为促生作用是林业工作中值得深入探讨的问题。从本试验初步探讨了虎榛子对油松生长的促生作用，说明在一定程度上虎榛子的存在影响了油松林中拮抗化感物质表达。在油松生长发育过程中，这些化感物质的生理生化，乃至分子机制方面的问题将是本研究小组进一步探讨的问题。

参考文献：

- [1] SMITH M T, STADEN J V. Infochemicals: the seed-fungus-root continuum [J]. *Environ Exp Bot*, 1995, **35**: 115 - 123.
- [2] BAIS H P, WEIR T L, PERRY G, et al. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other

- organisms [J]. *Ann Rev Plant Biol*, 2006, **57**: 233 – 246.
- [3] AKIYAMA K, YASHI H A H. Strigolactones: chemical signals for fungal symbionts and parasitic weeds in plant roots [J]. *Ann Bot*, 2006, **97** (6): 925 – 931.
- [4] 曹兵, 宋丽华, 张涛. 臭椿根浸提液对刺槐幼苗生长的化感效应[J]. 西北农业学报, 2009, **18** (3): 156 – 159, 180.
CAO Bing, SONG Lihua, ZHANG Tao. Allelopathic effect of water extracts from *Ailanthus altissima* root on growth of *Robinia pseudoacacia* seedling [J]. *Acta Agric Boreali-occident Sin*, 2009, **18** (3): 156 – 159, 180.
- [5] 张凤云, 翟梅枝, 贾彩霞, 等. 核桃鲜叶挥发油化感作用初步研究[J]. 西北林学院学报, 2005, **20** (2): 144 – 146.
ZHANG Fengyun, ZHAI Meizhi, JIA Caixia, *et al.* Allelopathic study on volatile oil from fresh walnut leaf [J]. *J Northwest For Univ*, 2005, **20** (2): 144 – 146.
- [6] 郭景然, 张侃. 落叶松对胡桃楸幼苗存活及生长的影响[J]. 林业科技情报, 2009, **41** (4): 20 – 21.
GUO Jingran, ZHANG Kan. Effects of *Larix gmelini* on the survival rate and growth of *Juglans mandshurica* seedlings [J]. *Inform For Technol*, 2009, **41** (4): 20 – 21.
- [7] BAI Shulan, LI Guolei, LIU Yong, *et al.* *Ostryopsis davidiana* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi facilitate formation of mycorrhizae on *Pinus tabulaeformis* seedlings [J]. *Mycorrhiza*, 2009, **19** (6): 425 – 434.
- [8] 邵东华, 韩瑞宏, 宁心哲, 等. 内蒙古大青山油松虎榛子根际土壤酶活性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, **22** (6): 190 – 193.
SHAO Donghua, HAN Ruihong, NING Xinzhe, *et al.* The study on soil enzyme activity in the *Pinus tabulaeformis* and *Ostryopsis davidiana* rhizosphere in Daqingshan Mountain, Inner Mongolia [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2008, **22** (6): 190 – 193.
- [9] BROOKS R R, SHAW S, MARFIL A A. The chemical form and physiological function of nickel in some *Zlerian alyssum* species [J]. *Physiol Plant*, 1981, **51**: 167 – 170.
- [10] 张恩平, 张文博, 张淑红, 等. 苯甲酸和肉桂酸对番茄幼苗根部保护酶及膜质过氧化的影响[J]. 西北农业学报, 2010, **19** (1): 186 – 190.
ZHANG Enping, ZHANG Wenbo, ZHANG Shuhong, *et al.* Effects of exogenic benzoic acid and cinnamic acid on the root oxidative damage of tomato seedlings [J]. *Acta Agric Boreali-Occident Sin*, 2010, **19** (1): 186 – 190.
- [11] 冯远娇, 王建武, 骆世明. 外源茉莉酸处理地下部对玉米化学防御反应影响的时间好浓度效应[J]. 应用生态学报, 2009, **20** (8): 1883 – 1890.
FENG Yuanjiao, WANG Jianwu, LUO Shiming. Timing and concentration effect of belowground treatment with jasmine acid on maize seedlings chemical defense response [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20** (8): 1883 – 1890.
- [12] 陈龙池, 汪思龙. 杉木根系分泌物化感作用研究[J]. 生态学报, 2003, **23** (2): 393 – 398.
CHEN Longchi, WANG Silong. Preliminary study of allelopathy of root exudates of Chinese fir [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23** (2): 393 – 398.