

杏树枝木醋液的制取及其抑菌活性和化学成分分析

毛巧芝^a, 赵 忠^a, 马希汉^b

(西北农林科技大学 a 林学院, 西部环境与生态教育部重点实验室; b 理学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 【目的】以杏树枝为原料热解制取木醋液, 研究其抑菌活性和理化性质, 为将杏树枝木醋液作为一种新型植物源抗菌剂提供理论依据。【方法】利用干馏热解的方法, 依据木材热解的理论分别在 90~170, 170~370 和 370~450 ℃ 3 个温度段收集粗制木醋液, 经过静置、木炭粉吸附杂质、过滤等过程得到精制木醋液, 并对其 pH、有机酸含量和密度等理化性质进行测定。然后以黄瓜炭疽病菌(*Colletotrichum lagenarium*)、葡萄霜霉病菌(*Plasmopara viticola*)、棉花黄萎病菌(*Verticillium dahliae*)、辣椒疫霉病菌(*Phytophthora capsici*)和小麦赤霉病菌(*Fusarium graminearum*)等 5 种农林业常见致病病菌为靶标菌, 对所得到的木醋液进行抑菌活性研究, 并对 170~370 ℃ 收集杏树枝木醋液的化学成分进行了 GC/MS 分析。【结果】90~170, 170~370 和 370~450 ℃ 3 个温度段收集杏树枝木醋液的 pH 分别为 3.41, 2.93 和 3.31; 有机酸含量为 3.66%, 5.38% 和 2.89%; 密度分别为 1.01, 1.05 和 1.02 g/mL。3 个温度段木醋液抑菌能力的分析结果表明, 170~370 ℃ 收集木醋液的抑菌能力较强。GC/MS 分析发现, 170~370 ℃ 收集木醋液的化学成分中, 酚类的相对含量为 55.06%, 醛类的相对含量为 12.66%, 酸类的相对含量为 7.33%; 苯酚含量相对最高(15.02%), 其次为糠醛(相对含量为 8.00%)和乙酸(相对含量为 6.55%)。【结论】杏树枝木醋液抑菌能力最强的收集温度为 170~370 ℃, 其主要化学成分为苯酚及其他酚类化合物。

[关键词] 杏树枝; 木醋液; 抑菌活性; GC/MS 分析; 化学成分

[中图分类号] S767.1⁺6

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)10-0091-06

Preparation, toxicity and components analysis of apricot branch wood vinegar

MAO Qiao-zhi^a, ZHAO Zhong^a, MA Xi-han^b

(a College of Forestry, Key Laboratory of Environment and Ecology in Western China, Ministry of Education;

b College of Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】Apricot branch was pyrolyzed to get wood vinegar. The vinegar's physical characters, chemical components and the anti-pathogens activity were tested to offer preliminary theory for apricot branch wood vinegar as a botanic antiseptic. 【Method】Based on pyrolysis theories, wood vinegar was collected ranging from 90—170, 170—370 and 370—450 ℃, then refined by standing 48 h, adsorptions and filtration. Physical and chemical characters, pH, organic acid and density, were tested. Anti-pathogens activity of the obtained wood vinegar on plant pathogens (*Colletotrichum lagenarium*, *Plasmopara viticola*, *Verticillium dahlia*, *Phytophthora capsic*, *Fusarium graminearum*) which can cause disease of agriculture and forestry cultivation were investigated. 【Result】The wood vinegar collected ranged from 90—170, 170—370 and 370—450 ℃, their results respectively were pH 3.41, 2.93, 3.31, organic acid 3.66%, 5.38%,

* [收稿日期] 2009-02-23

[基金项目] 国家林业局“948”项目(2004-4-52)

[作者简介] 毛巧芝(1982—), 女, 河南濮阳人, 硕士, 主要从事杏树枝综合利用研究。E-mail: maoqiaozhi@nwsuaf.edu.cn

[通信作者] 赵 忠(1958—), 男, 甘肃宁县人, 教授, 博士生导师, 主要从事半干旱地区植被恢复与重建研究。

E-mail: zhaozh@nwsuaf.edu.cn

2.89% and density 1.01, 1.05, 1.02 g/mL. GC/MS analysis showed that wood vinegar collected at 170—370 °C contained hydroxybenzenes, 55.06%; aldehydes, 12.66%; organic acids, 7.33%. Among all the components examined, the relative content of phenol was the highest 15.02%, furfural relative content was 8.00% and acetic acid relative content was 6.55%. 【Conclusion】 Apricot branch wood vinegar collected during 170—370 °C had the strongest anti-pathogens toxicity. Phenol and hydroxybenzenes were the main components of apricot branch wood vinegar.

Key words: apricot branch; wood vinegar; toxicity; GC/MS analysis; chemical component

化学农药对环境和食品的污染已越来越受到人们的重视,而农林业生产在短期内还离不开农药,以绿色环保无污染的生物源农药取代传统的化学农药已成为农药研究发展的主要方向。木醋液是木材干馏过程中得到的黑褐色液体,是一种含有多种有机物的混合物,具有促进植物生长、土壤消毒、杀菌、防虫防腐、除草和除臭等多种作用,已被广泛应用于化工、林业、农业畜牧业、食品加工业与医药卫生等领域^[1-3]。近年来各国都在进行木醋液的开发应用研究,日本、韩国在此方面走在前列,并开发出了用于治疗皮肤病的药品,以及含有木醋液提取成分的“森林饮料”等^[4]。

山杏树为蔷薇科植物杏(*Prunus armeniaca* L.)、山杏(*Prunus armeniaca* var. *ansu*)及西伯利亚杏(*Prunus sibirica*)等的统称。近年来,随着退耕还林工程的开展,西北、华北各省杏树的种植面积不断增加。据统计,目前我国杏树的种植面积已达 180 多万 hm^2 ^[5],每年整枝使大量的一年生枝条被废弃而造成资源浪费,但目前尚未见利用杏树枝制取木醋液并对其性质进行研究的报道。为此,本研究以杏树枝为原料经热解制取木醋液,研究了所得木醋液的理化性质及其对植物病原菌的抑制活性,以期为杏树枝木醋液作为一种新型植物源抗菌剂的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

(1) 杏树枝。采自陕西省麟游县,自然风干备用。

(2) 供试菌种。供试靶标菌有黄瓜炭疽病菌(*Colletotrichum lagenarium*)、葡萄霜霉病菌(*Plasmopara viticola*)、棉花黄萎病菌(*Verticillium dahliae*)、辣椒疫霉病菌(*Phytophthora capsici*)和小麦赤霉病菌(*Fusarium graminearum*)等 5 种农林常见致病植物病原菌,以上菌种均由西北农林科技大学资源环境学院微生物实验室提供。

(3) 培养基。所用培养基为马铃薯葡萄糖琼脂培养基(以下简称 PDA),按“马铃薯 200 g,葡萄糖 18 g,琼脂 15 g,蒸馏水 1 000 mL”配制而成。

1.2 试验仪器

干馏釜,南京林业大学林产化工学院制造,内径×高=130 mm×270 mm; YXQ-LS-100SII 立式压力蒸汽灭菌器,广州东南科仪有限公司; SPX-300B 生化培养箱,广州市海辉实验仪器有限公司; AIR TECH 超净工作台,苏净集团安泰公司; pH S-3C 型 pH 计,上海精密科学仪器有限公司; HWS-380 生化培养箱,宁波海曙塞福实验仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 杏树枝木醋液的制取和精制 将一年生整枝截留下的杏树枝风干,截断为 20 cm 小段,放入干馏釜,以 1.11 kW 的功率持续加热,利用冷凝装置冷凝烟气。以干馏釜内温度为准,参照制取木醋液的一般方法^[6-9],于釜内温度每升高 10 °C 时收集 1 次馏出液,自有馏出液流出开始(90 °C 左右),到干燥至恒质量无馏出液流出为止(450 °C),分 3 个温度段分别收集馏出液并称其质量。其中 90~170 °C 为第 1 个收集温度段,标记为 M_1 ; 170~370 °C 为第 2 个收集温度段,标记为 M_2 ; 370~450 °C 为第 3 个温度收集段,标记为 M_3 。收集馏出液冷凝即为粗制木醋液,粗制木醋液加入木炭粉,搅拌,静置,过滤^[10],即得精制木醋液。

杏树枝木醋液的得率用下式计算:

$$\text{得率}/\% = \frac{\text{杏树枝木醋液的质量}}{\text{杏树枝的质量}} \times 100\%。$$

木醋液精制得率用下式计算:

$$\text{精制得率}/\% = \frac{\text{木炭粉处理后的木醋液质量}}{\text{木炭粉处理前的木醋液质量}} \times 100\%。$$

1.3.2 杏树枝木醋液理化性质的测定 木醋液的 pH 值用 pH S-3C 型精密 pH 计测定;有机酸含量用 0.1 mol/L NaOH 标准溶液标定;木醋液的密度用密度瓶测定,并由此折算醋酸的质量分数^[11];木醋液的化学成分用直接进样法进行 GC/MS 分析,气

相色谱条件为:DB-WAX 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度 220 ℃,柱温 60 ℃,恒温 2 min 后,以 10 ℃/min 速率升温至 240 ℃,恒温 8 min;分流进样 80:1;载气流速 1.0 mL/min。质谱条件为:EI 源,电子能量 70 eV;离子源温度 250 ℃;扫描质量 35~400 amu^[7]。质谱标准库为 NIST 库。

1.3.3 杏树枝木醋液对 5 种植物病原菌抑菌活性的测定 采用菌丝生长速率抑制法测定杏树枝木醋液对 5 种植物病原菌的抑菌活性^[12]。试验前,先将植物病原菌接种于 PDA 培养基上,于 28 ℃ 培养 1 周后,用接种环切取直径 6 mm 的菌种片,以无菌水作对照。将 PDA 培养基熔化冷却至 50 ℃,在每 100 mL 培养基中加入不同温度段收集的木醋液各

2 mL,充分摇匀后导入培养皿,待冷却凝固后培养植入菌种片,最后将各培养皿放入 28 ℃ 培养箱中恒温培养 72 h。取出后用游标卡尺测量其菌落直径大小,每处理重复 3 次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 杏树枝木醋液的制取

试验过程中发现(图 1),干馏釜内温度升至 90 ℃ 左右时开始有液体馏出,当釜内温度增至 450 ℃ 时再无木醋液馏出,停止试验。多次重复试验结果表明,杏树枝粗木醋液的得率约为 55.39%,其中 M₁ 段收集量约为总收集量的 35.82%,M₂ 段收集量约为总收集量的 61.46%,M₃ 段收集量约为总收集量的 2.72%。

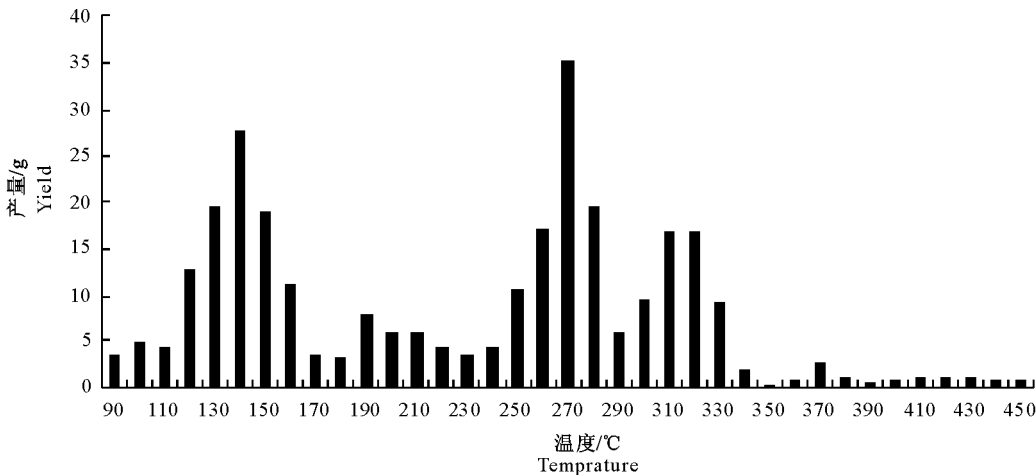


图 1 杏树枝热解时出液量随干馏温度的变化

Fig.1 Quantity variation of apricot branch along with the temperature change by pyrogenation

2.2 杏树枝木醋液的理化性质

由表 1 可知,杏树枝木醋液的 pH、有机酸含量、密度和精制得率因收集温度段的不同而变化,其数

值范围与已有的文献报道相一致^[4,6]。其中以 M₂ 段收集木醋液的有机酸含量最高、密度最大、pH 最低。

表 1 不同温度段收集的杏树枝木醋液的部分理化性质分析

木醋液 Wood vinegar	pH	有机酸含量/% Total organic acid	密度/(g·mL ⁻¹) Density	精制得率/% Refined yield rate
M ₁	3.41	3.66	1.01	92.33
M ₂	2.93	5.38	1.05	72.58
M ₃	3.31	2.89	1.02	60.22

2.3 杏树枝木醋液对 5 种植物病原菌的抑菌效果

抑菌作用越强,则植物病原菌的菌落直径越小。由表 2 可知,不同温度段收集的木醋液对供试植物病原菌均有较为显著的抑菌作用。其中 M₂ 木醋液对植物病原菌的抑制作用最强,尤其对辣椒疫霉病菌和小麦赤霉病菌的抑制作用最为显著。3 种木醋液中,M₁ 的抑菌作用相对较弱,但依然优于对照。

因 M₂ 木醋液对植物病原菌具有较强抑制作

用,因而具有作为植物源抗菌剂的开发利用潜力,以应用于农林病害的防治。

2.4 杏树枝木醋液化学成分的 GC/MS 分析

因 M₂ 木醋液具有较强的抑菌活性,为探究其抑菌作用与其化学组成成分之间的关系,特别对 170~370 ℃ 收集的杏树枝木醋液(M₂)进行了 GC/MS 分析,共得到 60 个检出峰,其总离子流图如图 2 所示。

表 2 不同温度段收集的杏树枝木醋液对 5 种供试植物病原菌的抑制效果

Table 2 Anti-pathogen activities of apricot branch wood vinegar collected at different temperature ranges

木醋液 Wood vinegar	抑菌圈直径/mm				
	辣椒疫霉病菌 <i>Phytophthora capsici</i>	小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	棉花黄萎病菌 <i>Verticillium dahliae</i>	黄瓜炭疽病菌 <i>Colletotrichum lagenarium</i>	葡萄霜霉病菌 <i>Plasmopara viticola</i>
M ₁	37 c	33 b	33 c	30 c	29 bc
M ₂	5 a	5 a	15 a	15 a	12 a
M ₃	25 b	30 b	26 b	22 b	25 b
CK	60 d	42 c	36 c	32 c	36 c

注:同列数据后标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different letters in the same column mean significant difference ($P<0.05$).

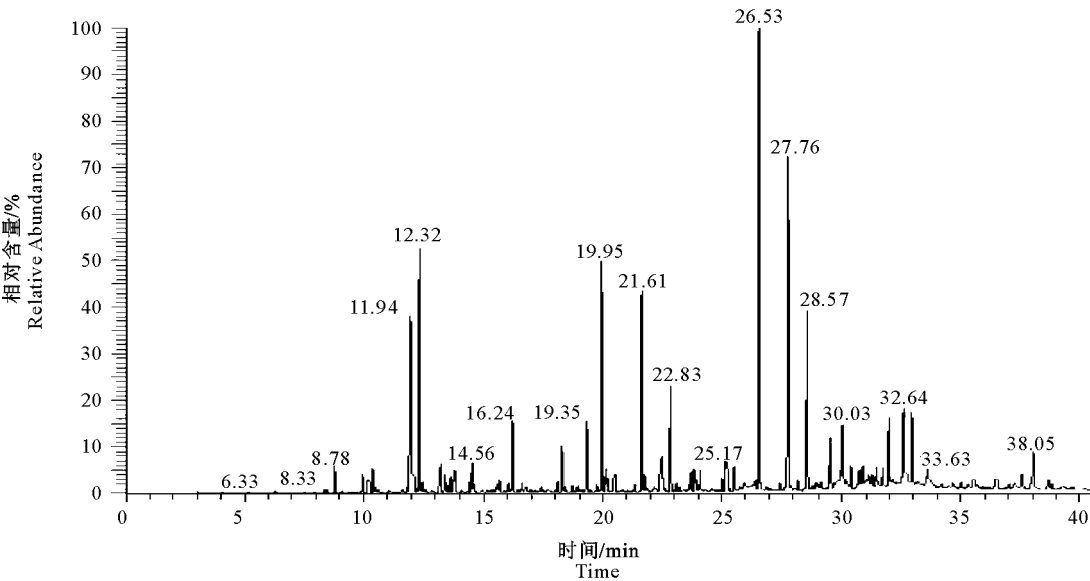


图 2 170~370 ℃收集的杏树枝木醋液化学成分的 GC/MS 总离子流图

Fig. 2 GC/MS ion flow of apricot branch wood vinegar components collected during 170—370 ℃

质谱图经计算机检索和人工解析,共检出 48 种 所示。
成分,占总出峰面积的 87. 21%,具体分析结果如表 3

表 3 170~370 ℃温度段杏树枝木醋液的 GC/MS 分析

Table 3 GC/MS analysis of apricot branch wood vinegar collected at 170—370 ℃

序号 No.	保留时间/min Time	化合物名称 Component	分子质量 Molecular weight	分子式 Molecular formulum	相对含量/% Relative area	相似度% Probabi- lity
1	11.88	乙酸 Acetic acid	60	C ₂ H ₄ O ₂	6.55	94.07
2	12.33	糠醛 Furfural	96	C ₅ H ₄ O ₂	8.00	81.19
3	13.37	3-甲基-2-环戊烯-1-酮 3-methyl-2-cyclopentenone	96	C ₆ H ₈ O	0.24	85.00
4	13.53	苯甲醛 Benzaldehyde	106	C ₇ H ₆ O	0.86	80.51
5	13.79	2,3-二甲基-2-环戊烯-1-酮 2,3-dimethyl-2-cyclopentenone	110	C ₇ H ₁₀ O	0.69	80.61
6	14.55	5-甲基-2-呋喃甲醛 5-methyl-2-furan carboxaldehyde	110	C ₆ H ₆ O ₂	2.15	94.33
7	16.06	苯乙酮 Acetophenone	120	C ₈ H ₈ O	0.17	84.63
8	16.24	2-呋喃甲醇 2-furan methanol	98	C ₅ H ₆ O ₂	0.34	81.42
9	19.35	3-甲基-1,2-环戊烷 3-methyl-1,2-cyclopentanedione	112	C ₆ H ₈ O ₂	0.33	83.39
10	19.96	2-甲氧基酚 2-methoxy-phenol	124	C ₇ H ₈ O ₂	2.12	74.35
11	20.14	2-甲氧基-5-甲基酚 2-methoxy-5-methylphenol	138	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.35	88.32
12	20.23	苯甲基醇 Benzyl alcohol	108	C ₇ H ₈ O	1.26	82.05
13	20.83	2,6-二甲氧基酚 2,6-dimethyl-phenol	122	C ₈ H ₁₀ O	0.69	80.19
14	21.37	2-甲氧基-4-甲基酚 2-methoxy-4-methyl-phenol	138	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.20	82.52

续表 3 Continued table 3

序号 No.	保留时间/min Time	化合物名称 Component	分子质量 Molecular weight	分子式 Molecular formulum	相对含量/% Relative area	相似度% Probabi-lity
15	21. 61	2-甲氧基-5-甲基酚 2-methoxy-5-methylphenol	138	C ₈ H ₁₀ O ₂	2. 32	80. 35
16	22. 46	苯酚 Phenol	94	C ₆ H ₆ O	15. 02	89. 45
17	22. 84	4-乙基-2-甲氧基酚 4-ethyl-2-methoxy-phenol	152	C ₉ H ₁₂ O ₂	1. 33	87. 37
18	23. 07	2,3,5-三甲基酚 2,3,5-trimethyl-phenol	136	C ₉ H ₁₂ O	0. 24	84. 92
19	23. 52	2-乙基酚 2-ethyl-phenol	122	C ₈ H ₁₀ O	0. 28	89. 54
20	23. 70	4-甲基苯酚 4-methyl-phenol	108	C ₇ H ₈ O	6. 07	87. 29
21	23. 83	3-甲基苯酚 3-methyl-phenol	108	C ₇ H ₈ O	10. 21	87. 15
22	24. 75	2,3-二甲基酚 2,3-dimethyl-phenol	122	C ₈ H ₁₀ O	1. 02	85. 37
23	25. 28	3-乙基酚 3-ethyl-phenol	122	C ₈ H ₁₀ O	0. 83	87. 60
24	25. 49	2-甲氧基-4-乙烯基苯酚 2-methoxy-4-vinylphenol	150	C ₉ H ₁₀ O ₂	0. 19	85. 80
25	25. 68	2,3,5-三甲基酚 2,3,5-trimethyl-phenol	136	C ₉ H ₁₂ O	0. 32	81. 34
26	25. 89	3,4-二甲基酚 3,4-dimethyl-phenol	122	C ₈ H ₁₀ O	1. 93	81. 95
27	26. 53	2,6-二甲氧基酚 2,6-dimethoxy-phenol	154	C ₈ H ₁₀ O ₃	6. 10	80. 16
28	27. 77	1,2,4-三甲氧基苯 1,2,4-trimethoxy benzene	168	C ₉ H ₁₂ O ₃	5. 48	83. 33
29	28. 58	1,2,3-三甲氧基-5-甲苯 1,2,3-trimethoxy-5-methyl-benzene	182	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	2. 71	88. 95
30	28. 96	苯甲酸 Benzoic acid	122	C ₇ H ₆ O ₂	0. 42	81. 59
31	29. 21	2,3-二氢-1 氢键-茛酚 2,3-dihydro-1H-indenol	134	C ₉ H ₁₀ O	0. 17	84. 83
32	30. 03	3-甲氧基邻苯二酚 3-methoxy-1,2-benzenediol	140	C ₇ H ₈ O ₃	0. 59	95. 04
33	30. 23	3-甲氧基-5-甲基酚 3-methoxy-5-methylphenol	138	C ₈ H ₁₀ O ₂	0. 23	88. 24
34	30. 40	2,6-二甲氧基 4 乙烯基苯酚 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-phenol	194	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	0. 24	93. 33
35	30. 78	香草醛 Vanillin	152	C ₈ H ₈ O ₃	0. 84	81. 32
36	31. 76	1-(4 羟基-3 甲氧基)醚 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-ethanone	166	C ₉ H ₁₀ O ₃	0. 32	89. 17
37	32. 00	1-(4 羟基-3 甲氧基)-2-酮 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-propanone	180	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	0. 75	95. 76
38	32. 17	3-甲基邻苯二酚 3-methyl-1,2-benzene diol	124	C ₇ H ₈ O ₂	1. 48	99. 41
39	32. 64	1,2-二羟基苯 1,2-benzenediol	110	C ₆ H ₆ O ₂	2. 38	83. 87
40	33. 15	2,5-二甲基对苯二酚 2,5-dimethyl hydroquinone	138	C ₈ H ₁₀ O ₂	0. 73	87. 27
41	35. 21	4-乙基儿茶酚 4-ethyl catechol	138	C ₈ H ₁₀ O ₂	0. 18	93. 31
42	35. 56	3,4-二氢健-6-羟基-1,2-呋喃 3,4-dihydro-6-hydroxy-2H-1-benzopyran-2-one	164	C ₉ H ₈ O ₃	0. 20	89. 25
43	36. 50	4-羟基-3,5-2 甲氧基苯甲醛 4-hydroxy-3,5-dimethoxy-benzaldehyde	182	C ₉ H ₁₀ O ₄	0. 26	82. 21
44	37. 29	4-羟基-3-甲氧基苯乙酸 4-hydroxy-3-methoxy-benzene acetic acid	182	C ₉ H ₁₀ O ₄	0. 36	90. 49
45	37. 58	4-羟基-3,5-二甲氧基苯乙醛 1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-ethanone	196	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	0. 55	93. 40
46	38. 07	去甲绵马酚 Desaspidinol	210	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	0. 69	61. 85
47	38. 68	对苯二酚 Hydroquinone	110	C ₆ H ₆ O ₂	0. 27	95. 36
48	38. 84	4-苯基苄基酮 4-Phenylpropiophenone	210	C ₁₅ H ₁₄ O	0. 29	61. 50

由表 3 可知,170~370 ℃收集的杏树枝木醋液中,酚类物质相对含量最高,占有检出物的 55.06%,其中苯酚的相对含量为 15.02%;醛类物质的相对含量也较高,为 12.66%,其中糠醛的相对含量达到 8.00%;酸的含量为 7.33%,其中乙酸含量为 6.55%;酮类物质含量为 2.14%。此外还含有少量的醇、苯、呋喃和酯类衍生物。酚类、酸类、醛类和酮类的总含量为 77.19%,是杏树枝木醋液的主要组成成分。酚类物质具有较强的抗菌活性,如苯酚等。杏树枝木醋液中的酚类化合物含量最高,种类最多,因此推测,酚类化合物是 170~370 ℃收集

杏树枝木醋液的主要抑菌活性成分。

3 讨论与结论

木醋液性质因制取工艺、精制方法和原材料的不同而有差异。一年生整枝得到的杏树枝多无法得到充分利用,本研究利用干馏热解的方法制取杏树枝木醋液,根据木材热解的不同进程分段收集,有利于富集有效成分。利用农林常见的致病菌对所得木醋液的抑菌活性进行室内毒力测定,证实杏树枝木醋液具有良好的抑菌能力,为将杏树枝木醋液作为一种植物源抑菌剂提供了理论依据。化学成分分析

表明,杏树枝木醋液的主要成分为苯酚及其他酚类化合物。

1)采用干馏釜制取杏树枝木醋液,产生木醋液的温度段为 90~450 ℃,粗木醋液得率为 55.39%。分段(90~170,170~370,370~450 ℃)收集可得到具有不同理化性质的木醋液。经静置、木炭粉吸附及过滤等精制处理后,精制木醋液的得率随干馏温度的上升而降低。

2)各温度段杏树枝木醋液对供试靶标菌(黄瓜炭疽病菌、葡萄霜霉病菌、棉花黄萎病菌、辣椒疫霉病菌和小麦赤霉病菌)均有显著的抑制作用,其中以 170~370 ℃收集木醋液的抑菌效果最好,说明杏树枝木醋液具有较强的抑菌活性,可作为新型植物源抑菌剂加以开发利用。

3)抑菌作用最强的 170~370 ℃收集的杏树枝木醋液含有 48 种化学成分,其主要成分为酚类、醛类、酸类和酮类,还有少量的醇类、呋喃衍生物和酯类等。其中苯酚相对含量最高,为 15.02%,是此温度段木醋液的主要组成成分。由此推测酚类化合物是 170~370 ℃收集杏树枝木醋液的主要抑菌活性组分。

[参考文献]

[1] Hisashi Y, Hisako W, Sadao Y, et al. Promoting effect of wood vinegar compounds on fruit-body formation of *Pleurotus ostreatus* [J]. *Mycoscience*, 1995, 36: 173-177.

[2] Tasuku N, Nami K S, Toshimitsu H, et al. Chemical characterization of pyrolysis liquids of wood-based composites and evaluation of their bio-efficiency [J]. *Building and Environment*, 2007, 42: 1236-1241.

[3] Jun M, Tohru U, Takeshi F. Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants [J]. *The Japan Wood Research Society*, 2003, 49: 262-270.

[4] 王海英, 杨国亭, 周 丹. 木醋液研究现状及其综合利用 [J]. *东北林业大学学报*, 2004, 9(5): 55-57.

Wang H Y, Yang G T, Zhou D. Research situation and compre-

hensive utilization of wood vinegar [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, 9(5): 55-57. (in Chinese)

[5] 田建保, 戴桂林, 杨晓华. 杏业生产现状及发展前景 [J]. *北京农业*, 2004, 26(8): 9.

Tian J B, Dai G L, Yang X H. Status and development prospects of apricot production [J]. *Beijing Agriculture*, 2004, 26(8): 9. (in Chinese)

[6] 张文标, 华毓坤, 王伟龙, 等. 高纯度竹醋液生产和加工工艺的研究 [J]. *林产化学与工业*, 2003, 23(1): 46-50.

Zhang W B, Hua Y K, Wang W L, et al. Study on technology of high purity bamboo vinegar production [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2003, 23(1): 46-50. (in Chinese)

[7] 尉 芹, 马希汉, 郑 滔. 核桃壳木醋液的制取、成分分析及抑菌试验 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 276-279.

Wei Q, Ma X H, Zheng T. Preparation, chemical constituents analysis and antimicrobial activities of pyroligneous acid of walnut shell [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(7): 276-279. (in Chinese)

[8] Jale Y, Christoph K, Mehmet S, et al. Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products [J]. *Fuel Processing Technology*, 2007, 88: 942-947.

[9] Looa A Y, Jaina K, Darahb I. Antioxidant activity of compounds isolated from the pyroligneous acid, *Rhizophora apiculata* [J]. *Food Chemistry*, 2008, 107: 1151-1160.

[10] 吴哲洙, 王思宏, 崔香兰, 等. 木醋液精制方法的探讨 [J]. *延边大学学报: 自然科学版*, 2003, 29(3): 203-207.

Wu Z Z, Wang S H, Cui X L, et al. The Studies of treatment methods of crude pyroligneous acid [J]. *Journal of Yanbian University: Natural Science*, 2003, 29(3): 203-207. (in Chinese)

[11] 朴 哲, 闫吉昌, 崔香兰, 等. 木醋液的精制及有机成分研究 [J]. *林产化学与工业*, 2003, 6(2): 17-20.

Pu Z, Yan J C, Cui X L, et al. Refining process and organic component of wood vinegar [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2003, 6(2): 17-20. (in Chinese)

[12] 周德庆. 微生物学实验手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986.

Zhou D Q. Microbiology experiment manuals [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1986. (in Chinese)