

观光木叶片挥发油成分及其对超氧阴离子抑制与清除活性研究

何开跃¹, 李晓储², 张双全³, 樊英鑫¹, 邱金芬¹, 毕慧敏¹

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏省林科院, 江苏 南京 211153

3. 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要: 用有机溶剂萃取法从观光木 (*Tsoongiodendron odorum*) 叶片中分离出挥发油, 经 GC/MS/计算机进行成分分析和定量测定, 并且测定了其超氧阴离子抑制与清除活性。鉴定出 38 种化合物, 主要成分为酯类 (33.39%), 萜类 (18.31%), 醇类 (12.06%) 和芳香族化合物 (9.48%)。研究表明, 观光木叶片挥发油有较强的抑制与清除超氧阴离子活性。挥发油在稀释 100 倍时, 抑制超氧阴离子活性最大, 超过了植酸和没食子酸丙酯。在稀释 20 倍时, 总 SOD (T-SOD) 活性达 $495.10 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$, 其中 CuZn-SOD 活性为 $338.50 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$, 占 T-SOD 的 68.36%, Mn-SOD 活性为 $156.70 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$, 占 T-SOD 的 31.64%。本研究结果为进一步探讨观光木叶片挥发油的保健功能提供了科学依据。

关键词: 观光木; 挥发油; 化学成分; 超氧阴离子; SOD

中图分类号: TQ351.01

文献标识码: A

Study on Volatile Oil Components and Activities of Restraining and Eliminating Supper Oxygen Anion

HE Kaiyue¹, LI Xiaochu², ZHANG Shuang-quan³, FAN Yingxin¹, QIU Jinfen¹, BI Huimin¹

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, Jiangsu, China;

3. Nanjing Normal University, Nanjing 210097, Jiangsu, China)

Abstract The volatile oil from leaves of *Tsoongiodendron odorum* was isolated by organic solvent extraction and its components were analyzed and quantified by GC/MS/Computer Meanwhile, its activities of restraining and eliminating ultra oxygen anion were detected. The 38 compounds in *T. odorum* were identified and the main constituents were ester (33.39%), terpenoids (18.31%), alcohol (12.06%) and aromatic compounds (9.48%). The results showed that there were strong functions of restraining and eliminating ultra oxygen anion. When the volatile oil was diluted by 100 times, the activity of restraining ultra oxygen anion reached maximum, and its activity was stronger than that of PG and PA. When diluted 20 times, the activity of total SOD attained $495.10 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$, among which the CuZn-SOD was $338.50 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$, the 68.36% of T-SOD; Mn-SOD was $156.70 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$, the 31.64% of T-SOD.

Key words *Tsoongiodendron odorum*, volatile oils, chemical components, supper oxygen anion, SOD

收稿日期: 2006-01-25; 修回日期: 2006-09-20

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目“中国城市森林生态网络体系‘点’的研究与示范”(2001BA516A15-07)和国家林业局科技项目“城镇绿化乔木树及生态功能树种区试”(2002-17A)的协作研究内容之一

作者简介: 何开跃 (1959-), 女, 四川重庆人, 副教授, 博士。从事植物生理和生物化学研究。

通讯作者: 张双全, 南京师范大学教授

观光木 (*Tsoongiodendron odorum* Chun) 是我国特有的古老孑遗树种, 属于木兰科 (Magnoliaceae) 观光木属 (*Tsoongiodendron* Chun)^[1]。其高大挺拔, 树冠浓绿, 是一种常绿乔木。主要产于广东、广西、江西、福建等地。是我国二级保护植物。观光木树形美观, 材质优良, 适宜用作高级家具。每到 3—4 月开花时节, 淡红色的花朵散发出浓郁芳香, 是提取挥发油的佳品。关于植物挥发油的成分及活性, 美国 Mario Tellez 等人^[2]用有机溶剂从 Tarbush 叶片中分离出挥发油, 在进行 GC/MS 鉴定成分后, 测定了其抗真菌、藻类和白蚁的活性。Kumudini M 等^[3]用水蒸汽蒸馏法从青蒿 (*Artemisia douglasiana*) 中分离出挥发油, 并且测定了其抗真菌活性。对挥发油医药方面的生物活性, 目前主要观测到抑菌、消炎、抗肿瘤^[4]等作用, 关于芳香油抗氧化活性, 江琰等人^[5]发现生姜 (*Zingiber officinale* Rose C.) 和桔皮芳香油对食用油脂有较强的抗氧化作用。目前, 关于挥发油对超氧阴离子的直接抑制和清除作用, 还尚未见报道。超氧阴离子自由基 (O_2^-) 是氧自由基的一种^[6]。在需氧生物体中, 线粒体、内质网中细胞色素 P_{450} 以及核膜的电子传递链都能使生物体内普遍存在的氧分子获得一个电子还原生成 O_2^- 。产生的形式有非酶与酶促反应两种。其在体内主要通过超氧化物歧化酶 (SOD) 催化 O_2^- 歧化为 H_2O_2 , 逐步降解。 O_2^- 在细胞内可直接导致 DNA 损伤并可使过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶和肌酸激酶失活。

本研究从观光木叶片中提取出挥发油, 用气质联用法 (GC-MS) 测定其组成成分, 同时, 测定了其体外抑制超氧阴离子活性, 并且与天然抗氧化剂植酸 (PA) 和人工合成的抗氧化剂没食子酸丙酯 (PG) 进行比较。还测定了对 O_2^- 有清除能力的 SOD 活性。联系其组成成分初步推测是否有保健作用, 以期对城市森林生态保健树的筛选提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

观光木: 由江苏省林科院提供。植酸 (PA): 嘉善巨枫化工厂产品, 含量不少于 70.0%, 没食子酸丙酯 (PG): 国药集团化学试剂有限公司产品, 含量 98.5% ~ 102.5%, 两者实验浓度均取 0.02%。

1.2 实验方法

1.2.1 挥发油的提取 采取有机溶剂萃取法^[7]; 取新鲜叶片 60 g 研磨成粉状, 用索氏提取器进行提取, 加无水乙醇回流, 收集液体后滤去析出物, 经旋转蒸发后得到淡黄色挥发油。在挥发油成分分析时, 将乙醇本底去除。

1.2.2 挥发油的成分分析 采用气相色谱/质谱/计算机联用分析: 色谱型号: 美国 VARIAN cp-3800; 色谱柱: Chrompack Capillary Column cp-sil 19CB30m 0.25 mm / 0.25 μ m, 质谱型号: VARIAN Saturn 2000 进样量: 0.6 μ L; 载气: He; 流速: 0.8 mL \cdot min⁻¹; 柱温: 程序升温 50 $^{\circ}$ C (2 min), 3 $^{\circ}$ C \cdot min⁻¹, 升温至 150 $^{\circ}$ C, 7 $^{\circ}$ C \cdot min⁻¹ 升温至 240 $^{\circ}$ C (2 min); 进样口温度: 230 $^{\circ}$ C; 检测器温度: 150 $^{\circ}$ C; 电离方式: EI 电子能量: 70 eV, 采集方式: 扫描。在得到挥发油总离子流图后, 经解析并与计算机标准图谱对照, 同时参考相关文献^[8,9], 鉴定其化学成分。成分定量采用色谱峰面积归一化法。

1.2.3 挥发油抑制超氧阴离子活性测定 参照建成生物工程研究所试剂盒进行。

模拟人体中黄嘌呤与黄嘌呤氧化酶反应系统, 产生超氧阴离子自由基 O_2^- 加入传递物质及 gress 氏显色剂, 使反应体系呈现紫红色, 用分光光度计测定其吸光度。以维生素 C 作标准, 以蒸馏水为对照, 计算样品对 O_2^- 的影响能力。挥发油稀释 20、50、100、200、300 倍, 加入反应体系中, 重复 3 次。在反应体系中, 以每升样品在 37 $^{\circ}$ C 反应 40 min 所抑制的超氧阴离子自由基相当于 1 mg 的维生素 C 所抑制的超氧阴离子自由基的变化值为一个活力单位。用乙醇稀释, 实验中, 取挥发油 100 μ L。

计算公式为: 抑制超氧阴离子活力单位 = (对照管的吸光度 - 测定管的吸光度) / (对照管的吸光度 - 标准管的吸光度) \times 标准浓度 (0.15 mg \cdot mL⁻¹) \times 1000 mL \times 样品测试前的稀释倍数。

1.2.4 挥发油 SOD 活性测定 挥发油稀释 20 倍, 加入反应体系中, 通过黄嘌呤及黄嘌呤氧化酶反应系统产生超氧阴离子自由基 (O_2^-)。后者氧化羟胺形成亚硝酸盐, 在显色剂的作用下呈现紫红色, 用可见分光光度计测定其吸光度。当样品中含 SOD 或 SOD 模拟物时, 对 O_2^- 有专一抑制作用, 使形成的亚硝酸盐减少, 通过公式可求出样品中的总 SOD (T-

SOD)活性。经十二烷基硫酸钠 (SDS)及 KCl处理过的样品, Mn-SOD 活力丧失, 但 CuZn-SOD 活力不变, 由此可计算出 CuZn-SOD。将 T-SOD 减去 CuZn-SOD 即可计算出 Mn-SOD 活力。用乙醇稀释, 实验中, 取挥发油 100 μ L。

计算公式为: SOD 活力 = (对照管的吸光度 - 测定管的吸光度) / 对照管的吸光度 / 50% \times 反应体系的稀释倍数 \times 样本测试前稀释倍数。

1.2.5 统计分析 F 检验, 用 Duncan 法进行多重

比较, 进行方差分析, 计算标准误。

2 结果与讨论

2.1 挥发油成分及含量

60 g 观光木叶片提取出 5.40 g 挥发油, 出油率为 9.00%。同时测定了叶片的含水量, 为 63.60%。在得到观光木挥发油的总离子流图后, 进行色谱峰面积归一化法测定各成分的相对含量。经与标准图谱比对, 鉴定各化学成分, 结果见表 1。

表 1 观光木叶片挥发油化学成分分析结果

序号	保留时间 /min	化合物	分子式	分子量	相对含量 /%
1	3.037	2-Butanone, 3-hydroxy- 3-羟基-2-丁酮	C ₄ H ₈ O ₂	88	3.778
2	3.078	2-Propanol, 1-methoxy- 1-甲氧基-2-丙醇	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	3.687
3	3.124	2-Butanol, 3-methyl- 3-甲基-2-丁醇	C ₅ H ₁₂ O	88	2.971
4	3.190	Acetic acid, methoxy- 甲氧基乙酸	C ₃ H ₆ O ₃	90	6.131
5	3.299	2,3-Butanediol 2,3-丁二醇	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	0.937
6	3.336	Propanoic acid, 2-hydroxy methyl ester 2-羟基-丙酸甲酯	C ₄ H ₈ O ₃	104	1.853
7	3.409	Carbonic acid bis(1-methylethyl) ester 2-(1-甲基)碳酸酯	C ₇ H ₁₄ O ₃	146	0.439
8	3.439	Dihydroxyethyl acetate 二乙氧甲基乙酸	C ₇ H ₁₄ O ₄	162	0.356
9	3.772	Propane, 1,1'[(ethylenedioxy)]bis- 1,1-(亚乙基二氧基)二丙烷	C ₈ H ₁₈ O ₂	146	0.160
10	4.037	Butane, 1,2,4-trimethoxy- 1,2,4-三甲氧基丁烷	C ₇ H ₁₆ O ₃	148	0.512
11	4.242	Propanoic acid, 2-hydroxy, ethyl ester(s)- 2-羟基-丙酸乙酯	C ₅ H ₁₀ O ₃	118	0.389
12	4.579	Ethanol, 2-methoxy- 2-甲氧基乙醇	C ₃ H ₈ O ₂	76	0.374
13	4.733	Benzene, (2-methylpropyl)- 2-甲丙基苯	C ₁₀ H ₁₄	134	0.213
14	6.654	p-Xylene 对二甲苯	C ₈ H ₁₀	106	0.091
15	9.537	Decane 癸烷	C ₁₀ H ₂₂	142	0.411
16	11.666	trans-Sabinenehydrate 反-水合桉烯	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.534
17	12.727	Camphor 樟脑	C ₁₀ H ₁₆ O	152	1.084
18	15.001	6,7,8-Trimethyl-7H-dibenzo[c, h]xanthene-5,9-diol 6,7,8-三甲基-7H-二苯并[c, h]-xanthen-5,9-二醇	C ₂₄ H ₂₀ O ₃	356	2.374
19	15.074	4H-1-Benzopyran-4-one, 3,5,7-trimethoxy-2-(4-methoxyphenyl)- 4H-1-苯并吡喃-4-酮, 3,5,7-三甲氧基-2-(4-甲氧基苯)	C ₁₉ H ₈ O ₆	342	3.440
20	16.211	Pentane, 1-(1-ethoxyethoxy)- 1-(1-乙氧乙氧基)戊烷	C ₉ H ₂₀ O ₂	160	0.102
21	18.560	Tetradecane 十四烷	C ₁₄ H ₃₀	198	0.583
22	18.752	Phenol, 4-(1,1-dimethylethyl)-2-methyl- 4-(2-(1,1-二甲乙基)-2-甲基酚)	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.245
23	19.484	Phenol, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-4-ethyl 2,6-二(1,1-二甲乙基)-4-乙基酚	C ₁₆ H ₂₆ O	234	0.505
24	19.603	Caryophyllene 石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	204	2.190
25	20.261	Benzene, 1-cyclohexenyl- 1-环丁烯-1-苯	C ₁₀ H ₁₀	130	2.323
26	20.734	2-Hexyl-1-octanol 2-己基-1-辛醇	C ₁₄ H ₃₀ O	214	0.318
27	20.849	Vitamin A aldehyde 维生素 A 醛	C ₂₀ H ₂₈ O	284	0.627
28	21.086	Perhydrocyclop[a]azulene-4,5,6-triol, 1,1,4,6-tetraethyl 1,1,4,6-四甲基-4,5,6-三醇-全氢环丙奥	C ₁₅ H ₂₆ O ₃	254	1.692
29	21.252	Lanceol, cis 顺-溴白檀醇	C ₁₅ H ₂₄ O	220	2.805
30	21.485	Isocitronellol 异香茅醇	C ₁₀ H ₂₀ O	156	8.459
31	21.777	Cyclohexanol, 2-methyl-3-(1-methylethenyl)- 2-甲基-3-(1-甲乙基)-环己醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.905
32	21.838	Caryophyllene oxide 石竹烯环氧化物	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.922
33	22.058	3-Methyl-2-butenoic acid, cyclohexyl ester 3-甲基-2-丁烯酸环己酯	C ₉ H ₁₄ O ₂	154	30.580
34	22.348	2,6-Hexanedione, 3-methyl-3-(1-methylethyl)- 3-甲基-3-(1-甲乙基)-2,6-庚二酮	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	184	0.609
35	22.867	Cyclopropanol, 1-(3,7-dimethyl-octenyl)- 环丙醇, 1-(3,7-二甲基-1-辛烯)	C ₁₃ H ₂₄ O	196	0.255
36	23.152	3,5-Methano-2H-cyclopenta[b]furan-2,4(3H)-dione, 3,3a,6,6a-tetrahydro-3,3a,6,6a-tetrahydro-2,4(3H)-二酮	C ₈ H ₈ O ₃	152	1.216
37	24.513	Tetradecanoic acid, 12-methyl, methyl ester(s) 四酸-12-甲基-甲酯	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	0.135
38	28.134	trans-6-Carboxy-2-(p-methoxystyryl)Chromone 反-6-羧基-2-(对-甲氧基苯乙烯)色酮	C ₁₉ H ₁₄ O ₃	322	0.293

经鉴定分析, 发现其主要成分为酯类 (33.39%), 萜类 (18.31%), 醇类 (12.06%) 芳香族化合物 (9.48%), 酸类 (6.48%) 和烯炔类 (1.16%)。在萜类化合物中, 单萜含量 10.07%, 倍半萜: 7.60%, 二萜: 0.62%。本研究结果说明, 在观光木挥发性成分中, 有可能酯类、萜类、醇类和芳香族化合物是其香气的主要来源。此外还发现, 在挥发油的成分中, 尚含有少量的酚类化合物, 如二 (1,1-二甲乙基)-2-甲基酚和 2,6-二 (1,1-二甲乙基)-4-乙基酚, 含量总共为 0.75%。虽然含量少, 但其有何活性还需深入研究。

郝小燕等^[8]通过水蒸汽蒸馏分离得到观光木精油, 并且采用 GC-MS 法, 定性定量分析了其化学成分, 鉴定出 30 个化合物。本研究采用有机溶剂分离, 鉴定出 38 个化合物。本实验发现的少量酚类化合物尚未在前者出现, 值得关注。

2.2 观光木叶片挥发油抑制超氧阴离子活性

本研究发现观光木叶片挥发油具有抑制 O₂⁻ 的活性, 在挥发油稀释 100 倍时, 活性最大 (见图 1) 植

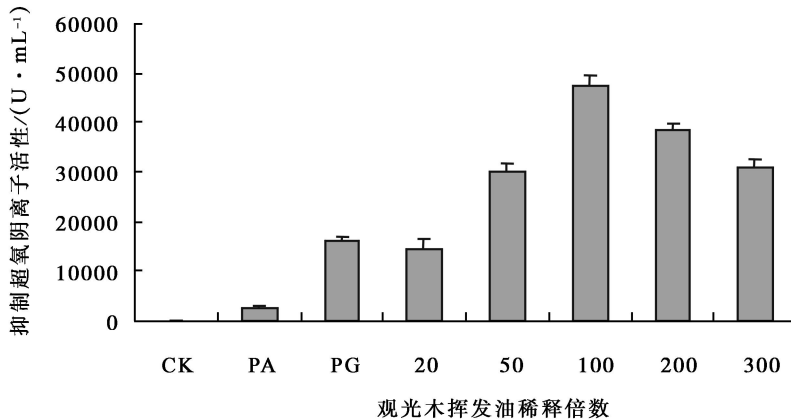


图 1 观光木挥发油抑制超氧阴离子活性

表 2 观光木叶片挥发油模拟 SOD 酶活性

样品	SOD 活性 / (U · mL ⁻¹)			金属离子 SOD 占 T-SOD 的百分比 / %	
	T-SOD	CuZn-SOD	Mn-SOD	CuZn-SOD	Mn-SOD
对照	1.7 ± 0.50				
观光木	495.1 ± 112.47 *	338.50 ± 48.37	156.70 ± 112.67	68.36	31.64

注: * * 表示差异极显著。

由表 2 可知, 观光木挥发油有模拟 SOD 活性, 其 T-SOD 活性达 495.1 U · mL⁻¹, 其中 CuZn-SOD 活性为 338.5 U · mL⁻¹ 占 T-SOD 的 68.36%, Mn-SOD 活性为 156.7 U · mL⁻¹, 占 T-SOD 的 31.64%。本结果说明, 观光木挥发油模拟 SOD 活性以 CuZn-SOD 活性为主。

机体内酶促抗氧化体系主要有 SOD, 抗过氧化

酸 (PA)^[10] 是肌醇的六磷酸酯, 存在于大多数谷类、坚果类和豆类植物中。它是金属离子的螯合剂, 是天然的抗氧化剂, 其抗氧化性能主要由于它对铁离子高度螯合作用所致。没食子酸丙酯 (PG)^[11] 是一种人工合成的酚类化合物。许多动物实验表明, 酚类化合物具有抗氧化作用, 其含有的共轭环结构和羟基, 可以清除氧自由基, 成为稳定性自由基, 其羧基可使金属介导的脂质过氧化受到抑制。并且, 酚类还对有促氧化剂作用的脂氧酶与环氧酶活性有抑制作用, 已发现许多植物提取物具有抗氧化作用^[12-15], 其中有许多经动物实验证实为较好的天然抗氧化剂, 成为医药研究和食品工业的天然资源。与 PA 和 PG 相比, 观光木挥发油稀释 100 倍 > 200 倍 > 300 倍 > 稀释 50 倍 > PG > PA。由于挥发油是植物在正常情况下自然挥发的物质, 因此这些挥发物质的抗氧自由基成分对人体来说, 是有益无害的。

2.3 观光木叶片挥发油模拟 SOD 酶活性

将观光木叶片挥发油进行模拟 SOD 酶活性测定, 结果见表 2。

氢酶 (CAT), 谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-POD), 谷胱甘肽-S-转移酶 (ASA-POD), 抗坏血酸过氧化物酶 (GST) 等组成。而细胞内清除自由基主要由 SOD, ASA, GSH 等担任, 其中 SOD 占了 90% 以上, 因此是 O₂⁻ 最重要的净化剂。它通过清除 O₂⁻ 以及降低由 O₂⁻ 所产生的其他自由基而对细胞起保护作用。生物体内 SOD 有 CuZn-SOD, Mn-SOD 和 Fe-SOD 三

种,这三种 SOD 都可以催化 O_2^- 歧化为 H_2O_2 和 O_2 , 在结构组成上,后两者性质相似,与前者差别较大^[16]。Fe-SOD 只存在于植物中。据报道^[17],在这三种 SOD 中,CuZn-SOD 是清除 O_2^- 的主要酶,但该酶可被其它类型的活性氧(如 H_2O_2 , OH 等)氧化失活。本研究通过测定观光木挥发油的模拟 SOD 活性,发现在总 SOD 活性中,以 CuZn-SOD 活性为主,占约 68% ~ 69%,而 Mn-SOD 活性约占 31% ~ 32%。这一结果与有关报道相一致^[6]。

3 小结

观光木叶片挥发油主要成分为酯类,萜类,醇类和芳香族化合物。挥发油在稀释 100 倍时,抑制超氧阴离子活性最强,超过了植酸和没食子酸丙酯。在稀释 20 倍时,其总 SOD 活性达 $495.1 U \cdot mL^{-1}$,其中 CuZn-SOD 活性为 $338.5 U \cdot mL^{-1}$,占 T-SOD 的 68.36%,Mn-SOD 活性为 $156.7 U \cdot mL^{-1}$,占 T-SOD 的 31.64%。本研究为进一步确定观光木的保健功能提供科学依据。

参考文献:

- [1] 守朝框,徐荣章,张清华.中国珍稀濒危保护植物[M].北京:中国林业出版社,1989:175~177
- [2] Marió Tellez Extracts of *F. lourensii cernua* (L): Volatile constituents and antifungal, antialgal and antitumor bioactivities[J]. Journal of Chemical Ecology, 2001, 27(11): 2263~2273
- [3] Kumudini M, Kuhajek Jeane M, Sturtz George D, et al. Vulgarone B: the antifungal constituent in the steam-distilled fraction of *Artemisia douglasiana* [J]. Journal of Chemical Ecology, 2003, 29(8): 1771~1780
- [4] 孔垂华,黄寿山,胡飞.胜红蓊化感作用研究 V. 挥发油对真菌、昆虫和植物的生物活性及其化学成份 [J]. 生态学报, 2001, 21(4): 584~587
- [5] 江琰,刘克武,刘晓雯.几种植物芳香油对食用油脂抗氧化作用的研究 [J]. 粮油加工, 2000, 66(2): 14~15
- [6] 潘家祐,江明华.生化药理学[M].上海:复旦大学出版社,2004:76~114
- [7] 刘约权,李贵深.实验化学(上册) [M].北京:高等教育出版社,1999:48~84
- [8] 郝小燕,洪鑫,余珍,等.观光木和云南含笑精油化学成分的研究和比较 [J]. 贵州科学, 1999, 17(4): 287~290
- [9] 宋晓凯,吴立军,屠鹏飞.近五年木兰科植物生物活性研究及应用进展 [J]. 中草药, 2002, 33(10): 958~960
- [10] 张根旺,毕艳兰,徐学兵.植酸及其它几种抗氧化剂抗氧化作用的研究 [J]. 中国粮油学报, 1996, 11(4): 45~49
- [11] 李中,杨建会,史霖.没食子酸丙酯对三硝基甲苯所致肝损伤的保护作用 [J]. 卫生毒理学杂志, 1998, 12(3): 155~156
- [12] 赵新淮,刘宏芳,王海亮.几种植物抗氧化作用的化学生物学评价 [J]. 东北农业大学学报, 2003, 34(4): 368~371
- [13] 冯仁田,何维,越智宏论.几种药食兼用植物提取物抗氧化作用的体外研究 [J]. 中药材, 2000, 23(11): 690~693
- [14] 曾小玲.七种菊科植物抗活性氧作用的研究对超氧阴离子自由基的清除作用 [J]. 中国现代医学杂志, 1999, 9(2): 44~52
- [15] 蒋惠娣,季燕萍,张水利.紫珠属药用植物体外抗氧化作用 [J]. 中药材, 1999, 22(3): 139~141
- [16] 林文洁,陈丽晖.植物体中的自由基 [J]. 海南大学学报自然科学版, 1998, 16(4): 370~375
- [17] 黎瑞珍,杨庆建,陈锐.抗超氧化物歧化酶(SOD)活性测定及其应用研究 [J]. 琼州大学学报, 2004, 11(5): 34~36