

新疆产胡萝卜籽超临界CO₂萃取物化学成分分析及其抗菌和抗氧化活性考察^Δ

祖母来提·图尔逊*,马庆苓,马依努尔·拜克力[#](中国科学院干旱区植物资源化学重点实验室/省部共建新疆特有药用资源利用国家重点实验室培育基地/中国科学院新疆理化技术研究所,乌鲁木齐 830011)

中图分类号 R284.2 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2019)22-3100-05
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2019.22.15

摘要 目的:研究新疆产胡萝卜籽超临界CO₂萃取物(简称“胡萝卜籽萃取物”)的化学成分,并初步考察其抗菌和抗氧化活性,为该植物相关产品的开发及质量控制提供参考。方法:利用超临界CO₂萃取法萃取新疆产胡萝卜籽中的弱极性挥发性成分。采用气质联用技术并结合标准谱库对所得萃取物的化学成分进行鉴定,以峰面积归一化法计算各成分的相对百分含量。采用微量肉汤稀释法和琼脂培养基平板法考察胡萝卜籽萃取物对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、白色念珠菌的抗菌活性,同时采用薄层色谱-生物自显影法考察其抗氧化活性。结果:胡萝卜籽萃取物中共鉴定出20个化学成分(总相对百分含量为98.76%),主要成分为β-红没药烯、α-细辛脑、α-蒎烯、β-丁香烯、绵马酚等。胡萝卜籽萃取物对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、白色念珠菌均具有一定的抑制作用,其最低抑菌浓度分别为0.039、0.833、0.625 mg/mL,最低杀菌浓度分别为0.078、1.667、1.250 mg/mL;该萃取物对1,1-二苯基乙-三硝基苯肼(DPPH)自由基具有一定的清除能力。结论:超临界CO₂萃取所得的新疆胡萝卜籽萃取物中含有复杂的单萜和倍半萜类化合物,并具有一定的抗菌和抗氧化活性。

关键词 新疆;胡萝卜籽;超临界萃取;气质联用技术;化学成分;抗菌活性;抗氧化活性

Analysis of Chemical Constituents of Supercritical CO₂ Extract from Xinjiang *Daucus carota* Seed and Its Antibacterial and Antioxidant Activities Study

Zumret · Tursun, MA Qingling, Mahinur · Bakri (Key Lab of Plant Resources and Chemistry in Arid Regions, Chinese Academy of Sciences & National Key Laboratory Breeding Base of Xinjiang Indigenous Medicinal Plants Resource Utilization & Xinjiang Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

chemistry and pharmacological activities of the processed lateral root of Aconitum carmichaelii Debeaux[J]. *J Ethnopharmacol*, 2015, 16: 173-193.

[5] YU HJ, LIANG TT. A new alkaloid from the roots of Aconitum carmichaeli Debx[J]. *J Chin Chem Soc*, 2012, 59 (6): 693-695.

[6] DEZSO C, PETER F, KAROLY C, et al. C-19 and C-20 diterpene alkaloids from Aconitum toxicum RCHB[J]. *Cheminform*, 2010, 38(18): 2981-2986.

[7] 李正邦, 吕光华, 陈东林. 草乌中生物碱的化学研究[J]. 天然产物研究与开发, 1997, 9(1): 9-14.

[8] GAO F, LI YY, WANG D, et al. Diterpenoid alkaloids from the Chinese traditional herbal “Fuzi” and their cytotoxic activity[J]. *Molecules*, 2012, 17(5): 5187-5194.

[9] YUE JM, XU J, CHEN YZ. C₁₉-diterpenoid alkaloids of Aconitum kongboense[J]. *Phytochemistry*, 1994, 35 (3): 829-831.

[10] BOIDO V, EDWARDS OE, HANDA KL, et al. Alkaloids of Aconitum columbianum Nutt[J]. *Can J Chem*, 1984, 62 (4): 778-784.

[11] PELLETIER SW, DJARMATI Z, LAJSIC S, et al. Alkaloids of Delphinium staphisagria: the structure and stereochemistry of delphisine, neoline, chasmanine, and homochasmanine[J]. *Chem Inform*, 1976, 98(9): 2626-2636.

[12] LI ZB, WANG FP. Structure of 6-epichasmanine[J]. *Chin Chem Lett*, 1996, 7(5): 443-444.

[13] YIN TP, CAI L, FANG HX, et al. Diterpenoid alkaloids from Aconitum vilmorinianum[J]. *Phytochemistry*, 2015, 116: 314-319.

[14] SULTANKHODZHAEW MN. Alkaloids of Aconitum nemorum[J]. *Chem Nat Comp*, 1995, 31(2): 233-234.

[15] YIN TP, CAI L, LI Y, et al. New alkaloids from Aconitum stapfianum[J]. *Nat Prod Bioprospect*, 2015, 5 (6): 271-275.

Δ 基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目 (No.2016D01A071)
* 主管药师。研究方向: 天然药物分析。电话: 0991-3838635。E-mail: 1340409087@qq.com
[#] 通信作者: 副研究员, 博士。研究方向: 民族药质量标准。电话: 0991-3838635。E-mail: mahinur@ms.xjb.ac.cn

(收稿日期: 2019-05-11 修回日期: 2019-09-27)
(编辑: 段思怡)

ABSTRACT OBJECTIVE: To study the chemical constituents of supercritical CO₂ extract from Xinjiang *Daucus carota* seed (called “*D. carota* seed extract” for short), and to preliminarily evaluate its antimicrobial and antioxidant activity, so as to provide reference for the development and quality control of related products of the plant. METHODS: The non-polar volatile part of Xinjiang *D. carota* seed was extracted by supercritical CO₂ extraction method. The chemical constituents of the extract were identified and quantified by GC-MS and standard spectral library. The relative percentage content of each component was calculated by peak area normalization method. The antibacterial activity of *D. carota* seed extract against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Candida albicans* were investigated by trace broth dilution method and AGAR medium plate method. Its antioxidant activity was investigated by TLC-bioautography method. RESULTS: Twenty chemical constituents were identified from *D. carota* seed extract (the total relative percentage content was 98.76%), mainly including β -bisabolene, α -asarone, α -pinene, β -caryophyllene, aspidinol, etc. *D. carota* seed extract has certain antimicrobial activity on *S. aureus*, *E. coli* and *C. albicans*. The minimum inhibitory concentrations were 0.039, 0.833, 0.625 mg/mL, and minimum bactericidal concentrations were 0.078, 1.667, 1.250 mg/mL, respectively. The extract has a certain scavenging ability to DPPH radical. CONCLUSIONS: *D. carota* seed extract obtained by supercritical CO₂ extraction contains monoterpenes and sesquiterpenes, and possesses certain antibacterial and antioxidant activity.

KEYWORDS Xinjiang; *Daucus carota* seed; Supercritical CO₂ extraction; GC-MS; Chemical component; Antibacterial activity; Antioxidant activity

胡萝卜(*Daucus carota* L.)是伞形科胡萝卜属植物,有“地下小人参”之称。胡萝卜籽是胡萝卜的干燥成熟果实,其药用记载始于明代的《本草纲目》,是我国习用传统中药。胡萝卜籽在新疆民间常用于利尿通淋、祛寒通经、调理经水、化排结石,已收载于《中华本草(维吾尔药卷)》^[1]中。不同产地同一种植物的化学成分和生物活性往往存在较大区别^[2]。新疆产胡萝卜不仅资源丰富,还因其如较大昼夜温差等特殊的生长环境,故而具有独特的口感^[3],而这些特性与其化学成分具有密切的关联。然而,笔者经文献检索发现,新疆产胡萝卜籽化学成分研究很少,只有对胡萝卜籽脂肪酸成分或微量元素的分析测定^[4-5],或对其挥发油进行分析^[6],但对其中具体的弱极性挥发性成分的研究较少。为了扩大新疆产胡萝卜籽的药用部位,充分开发利用其自然资源,本研究以新疆产胡萝卜籽为原料,采用超临界二氧化碳(CO₂)流体萃取法提取胡萝卜籽中的弱极性挥发性成分,并利用气质联用技术(GC-MS)进行分离和分析,再分别考察萃取物的抗菌活性和抗氧化活性,以期新疆产胡萝卜相关产品的开发及质量控制提供参考。

1 材料

1.1 仪器

FW-100 型高速粉碎机(北京市永光明医疗仪器厂);CPA 124S 型电子天平(德国 Sartorius 公司);Speed™ SFE-2 型超临界流体萃取仪(美国 Appellied Separations 公司);Auto System XL GC-TurboMass 型 GC-MS 仪(美国 Perkin Elmer 公司);HZ200LB 型恒温摇床(上海精胜科技仪器有限公司);SPX-250B-Z 型生化培养箱(上海精若科学仪器有限公司);ATS4 型全自动点样仪、Visualizer 型薄层色谱成像系统(瑞士 CAMAC 公司)。

1.2 药品与试剂

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH, 美国 Sigma 公

司);M-H 琼脂培养基(北京索莱宝科技有限公司,批号:20180817);沙氏琼脂培养基(青岛尼赛欣合生物技术有限公司,批号:20181025);HPTLC 正相硅胶 60 F254 玻璃板(20 cm×10 cm,德国 Merck 公司);CO₂(新疆康迪实业发展有限公司,纯度:≥99.5%);灭菌 0.9% 生理盐水(自制);氯化钠、无水乙醇、正己烷、乙酸乙酯、甲酸、二甲基亚砜(DMSO)均为分析纯,购自天津市百世化工有限公司;水为蒸馏水。

1.3 药材

胡萝卜籽购自新疆恩萨尔维吾尔医饮片药业有限公司(批号:HLBZ-YP-170926),经中国科学院新疆理化技术研究所鲁春芳副研究员鉴定为伞形花科植物胡萝卜属植物胡萝卜(*D. carota* L.)的新鲜种子。

1.4 标准菌株

金黄色葡萄球菌(ATCC 6538)、大肠杆菌(ATCC 11229)、白色念珠菌(ATCC 10231)均由广东省微生物培养中心提供。

2 方法

2.1 胡萝卜籽中弱极性挥发性成分的萃取

选用胡萝卜籽,精选除去杂质,以适量水清洗 1 次,自然风干 12 h,粉碎过筛(40 目)。取胡萝卜籽粉末 1 kg,以 CO₂ 为溶媒,采用超临界 CO₂ 萃取法以超临界流体萃取仪进行萃取。设置萃取釜体积为 5 L、萃取压力为 10 MPa、萃取温度为 28 ℃,萃取时间为 2 h;分离釜 I 的压力为 6 MPa、温度为 30 ℃;分离釜 II 的压力为 6 MPa、温度为 34 ℃;CO₂ 的流量为 20 kg/h。每 0.5 h 收集 1 次萃取物,合并有特殊气味的淡黄色透明油状溶液,即得胡萝卜籽超临界 CO₂ 萃取物(以下简称“胡萝卜籽萃取物”)。共收集获得胡萝卜籽萃取物 73 g,收率为 7.3%。

2.2 胡萝卜籽萃取物的成分分析

采用 GC-MS 法进行分析。

2.2.1 色谱条件 色谱柱:PE-5MS 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);载气:氦气;柱前压:14 kPa;程序升温:柱温80℃保持5 min,以1.5℃/min升至200℃,再以2.5℃/min升至250℃,保持30 min;进样口温度:270℃;进样量:0.5 μL,分流比:20:1。

2.2.2 质谱条件 离子源:电子轰击离子源(EI);碰撞电子能量:70 eV;离子源温度:180℃;传输线温度:280℃;扫描范围:35~500 amu。

2.2.3 弱极性挥发性成分的结构确证及含量计算 采用NIST 2014 质谱数据库软件对检测到的原始GC-MS 图谱进行化学成分检索匹配,并结合相关文献,人工解析质谱图谱,鉴定并确证化合物结构;同时,采用峰面积归一法计算各化学成分的相对百分含量。

2.3 胡萝卜籽萃取物的抗菌活性考察

2.3.1 菌种的复苏及菌悬液的制备 按无菌操作法^[7-8],将各标准菌株接种至相应的培养基上进行复苏(细菌用M-H 琼脂培养基在37℃条件下培养18~24 h;真菌用沙氏琼脂培养基在37℃条件下培养24~48 h),转接到新鲜培养基1次。用灭菌生理盐水调整菌悬液浓度约为 1.5×10^8 CFU/mL;再取少量菌悬液,按100倍稀释法用灭菌生理盐水稀释至 1.5×10^6 CFU/mL,备用。

2.3.2 胡萝卜籽萃取物的最低抑菌浓度(MIC)测定

采用微量肉汤稀释法^[9-11]进行测定。按无菌操作法^[7-8],取一次性无菌96孔板(每排12孔),分别加入M-H 肉汤培养基100 μL,然后取质量浓度为20 mg/mL的胡萝卜籽萃取物药液(以DMSO为溶剂配制)100 μL加入第1孔,混匀后吸取100 μL加入第2孔,如此连续倍比稀释至第10孔,第10孔中吸取100 μL弃去,上述10个孔作为试验组;第11孔只加培养基和菌液,作为生长对照组,用以观察培养基是否适合菌株生长;第12孔只加培养基,作为培养基对照组,用以观察培养基是否被污染。另吸取 1.5×10^6 CFU/mL的菌悬液各100 μL,依次加入到上述1~11孔中,于摇床上充分混匀,各孔菌浓度均为 7.5×10^5 CFU/mL;吸取M-H 肉汤培养基100 μL加入到第12孔中,于摇床上充分混匀。将96孔板加盖后置于37℃培养箱中培养18~24 h,取出观察菌株生长情况。在黑色背景光源下,若与生长对照组中生长特性相同(如肉汤浑浊或孔底出现浑浊),则判断为有菌生长。以无菌生长试验孔所对应的最低药物质量浓度记为该药物的MIC。每种菌株平行操作3次。

2.3.3 胡萝卜籽萃取物的最低杀菌浓度(MBC)测定

采用琼脂培养基平板法^[10]进行测定。分别从“2.3.2”项下未见细菌生长的孔中吸取培养液100 μL,分别接种至M-H 琼脂培养基中,用无菌棉签均匀涂布,置于37℃培养箱中培养18~24 h。用活菌计数法检查平板上菌

落,以每皿平均菌落数小于5对应的最低药物质量浓度记为该药物的MBC。每种菌株平行操作3次。

2.4 胡萝卜籽萃取物的抗氧化活性考察

采用薄层色谱(TLC)-生物自显影技术^[12-13]进行考察。将胡萝卜籽萃取物用无水乙醇稀释100倍,分别精密量取1、2、3、4、5 μL点样于10 cm×10 cm的薄层硅胶板上,然后以正己烷-乙酸乙酯-甲酸(3:1:05,V/V/V)为展开系统进行展开,晾干,分别在366、254 nm紫外灯下观察斑点的数量和大小。

取上述展开后的薄层板,喷以含0.04% DPPH 的乙醇溶液,于40℃下加热30 min后在自然光下观察^[12-13]。在薄层板粉色背景下,样品展开后的白色斑点颜色越深、面积越大,则表明该成分对DPPH 自由基的清除活性越强,以评价药物的抗氧化活性。

3 结果

3.1 胡萝卜籽萃取物的GC-MS 分析结果

经GC-MS 分析,获得胡萝卜籽萃取物的总离子流图(见图1)。结合质谱图,经计算机检索并结合文献调研,共鉴定出20个化合物;同时,经峰面积归一化法计算其相对百分含量,所鉴定出的化合物总相对百分含量为98.76%,结果见表1。

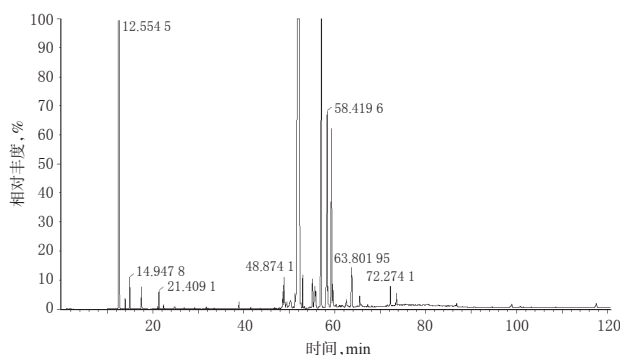


图1 胡萝卜籽萃取物GC-MS 总离子流图

Fig 1 Total ion flow diagram of *D. carota* seed extract by GC-MS

3.2 胡萝卜籽萃取物的抗菌活性

抗菌试验结果显示,胡萝卜籽萃取物对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、白色念珠菌均有不同程度的抑制作用,详见表2。

3.3 胡萝卜籽萃取物的抗氧化活性

在366、254 nm 紫外灯下可以看到8个清晰斑点,分离效果较好,表明胡萝卜籽萃取物中各个成分得到了有效分离,详见图2A、2B。经DPPH 反应后显示,8个斑点均呈不同深浅的白色,表明胡萝卜籽萃取物中的大部分化学成分都具有DPPH 自由基清除能力,提示其具有一定的抗氧化活性,详见图2C。

4 讨论

胡萝卜籽虽在古籍中早有记载,具有明显的防治疾

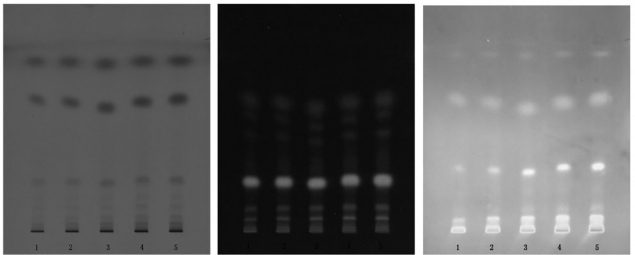
表1 胡萝卜籽萃取物化学成分分析结果

Tab 1 Chemical component analysis results of *D. carota* seed extract

编号	保留时间,min	化学成分	分子式	分子量	相对百分含量,%
1	12.55	α -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	136	5.87
2	39.03	长叶薄荷酮	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.10
3	48.59	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.21
4	48.87	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳四烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.60
5	50.33	3,4,5-三甲氧基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₄	184	0.29
6	51.35	4(14),11-桉叶二烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.30
7	52.33	β -红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	204	69.30
8	53.00	α -石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.41
9	55.18	石竹烯氧化物	C ₁₅ H ₂₂ O	220	0.68
10	55.63	胡萝卜脑	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	238	0.59
11	57.13	α -细辛脑	C ₁₅ H ₂₆ O ₃	208	10.19
12	58.41	β -丁香烯	C ₁₅ H ₂₄	204	5.27
13	59.36	绵马酚	C ₁₅ H ₁₆ O ₄	224	3.04
14	59.65	7,11-二甲基-3-亚甲基-1,6,10-十二碳三烯	C ₁₅ H ₂₄	204	0.16
15	62.61	橙花叔醇	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.20
16	63.80	3',4',5'-三甲氧基苯乙酮	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	210	0.76
17	72.27	蛇床子素	C ₁₅ H ₂₆ O ₃	244	0.34
18	73.64	油酸乙酯	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310	0.17
19	98.92	亚油酸乙酯	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	308	0.12
20	117.55	二十九烷	C ₂₉ H ₆₀	408	0.16

表2 胡萝卜籽萃取物的MIC和MBC测定结果(n=3)
Tab 2 Detemination results of MIC and MBC of *D. carota* seed extract(n=3)

菌种	抑菌		杀菌	
	稀释倍数	MIC,mg/mL	稀释倍数	MBC,mg/mL
金黄色葡萄球菌	1:512	0.039	1:256	0.078
大肠杆菌	1:24	0.833	1:12	1.667
白色念珠菌	1:32	0.625	1:16	1.250



A. 254 nm 波长下色谱图 B. 366 nm 波长下色谱图 C. DPPH 反应后的色谱图
注:1~5.点样体积分别为 1、2、3、4、5 μ L
Note: 1-5. sampling volume is 1, 2, 3, 4, 5 μ L, respectively

图2 胡萝卜籽萃取物TLC图

Fig 2 TLC diagrams of *D. carota* seed extract

病和增强机体免疫能力,但目前在保健和医疗领域的应用很少,市场上主要的相关保健产品有胡萝卜汁、胡萝卜营养咀嚼片、胡萝卜保健酒等^[14]。中医药是中华民族的瑰宝,国家鼓励运用现代科学技术和传统中医药研究方法开展中医药科学研究,以促进中医药理论和技术方法的继承和创新。胡萝卜籽作为传统的药食同源类中药,研究者应充分利用其活性成分,开发为功能性食品、药品、保健品等,使该植物资源的利用价值最大化。

本研究采用超临界CO₂萃取新疆产胡萝卜籽的弱

极性挥发性部位,并通过体外活性测试方法证实其对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、白色念珠菌均具有抑制活性,对DPPH自由基具有明显的清除能力,这与其化学成分有关。GC-MS分析结果显示,胡萝卜籽萃取物中含有大量复杂的单萜和倍半萜烯类化合物,主要包括 β -红没药烯、 α -细辛脑、 α -蒎烯、 β -丁香烯、绵马酚等活性成分。其中, β -红没药烯是一种很好的抗氧化剂,具有抗氧消炎之功效^[15]; α -细辛脑具有抗菌消炎、止咳、祛痰、平喘、镇静、解痉、抗惊厥、抗癫痫等药理作用^[16]; α -蒎烯有明显的镇咳和祛痰作用,并有抗真菌作用; β -丁香烯具有一定的平喘作用,是治疗老年慢性支气管炎的有效成分之一^[17]; 绵马酚具有抗微生物、驱虫作用,在临床上可用作驱肠虫剂^[18]; α -石竹烯具有一定的平喘作用,可用于治疗老年慢性支气管炎; 石竹烯氧化物则可治疗皮肤霉菌病,尤其适用于短期治疗甲霉菌病,同时还具有祛风除湿、清热解毒、利尿消肿的功效^[19]。

综上,本研究通过对新疆产胡萝卜籽超临界CO₂萃取物化学成分的分析及其抗菌、抗氧化等生物活性的初步评价,为新疆产胡萝卜资源的合理利用提供了一定依据。但该植物中具有抗菌和抗氧化活性的具体有效成分及其机制仍有待进一步研究。

参考文献

[1] 国家中医药管理局中华本草编委会. 中华本草: 维吾尔药卷[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 266.

[2] 叶洲辰, 吴友根, 于靖, 等. 不同产地油茶籽油提取物的抗氧化活性比较分析及其营养评价[J]. 生物技术通报, 2019, 35(27): 26-34.

[3] 曾献春, 孟冬丽, 祝常青. 新疆地产胡萝卜汁乳酸菌发酵饮料的研制[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2006, 25(4): 61-65.

[4] 张文叶, 张峻松, 贾春晓, 等. 超临界CO₂萃取山胡萝卜籽油的脂肪酸成分分析[J]. 中国粮油学报, 2009(9): 87-89.

[5] 王晨晖, 殷超, 孙凤, 等. 微波辅助ICP-AES法分析维药材胡萝卜籽中的微量元素[J]. 中国老年学杂志, 2012(5): 1858-1860.

[6] 刘睿婷, 刘玲玲, 熊梅, 等. 新疆胡萝卜籽挥发油的气相色谱-质谱法分析[J]. 中国调味品, 2011, 36(9): 104-106.

[7] 杜连祥, 路福平. 微生物学实验技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 7-12.

[8] 梁硕, 杨志萍, 费振鸿, 等. 罗汉果抑菌性能的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(7): 207-209.

[9] 徐叔云, 卞如濂, 陈修. 药理实验方法学[M]. 3版. 北京: 人民卫生出版社, 2001: 1647-1662.

[10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 四部[S]. 2015年版. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 160-164.

[11] 华亚南, 陈辉, 张其中. 100种中草药水提物体外抑杀无

3种根瘤菌对干旱和盐胁迫条件下穿心莲种子萌发的影响^Δ

石志棉*,杜 勤#,苏雨苗,刘潇晗(广州中医药大学中药学院,广州 510006)

中图分类号 R931.2 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2019)22-3104-05
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2019.22.16

摘 要 目的:研究费氏中华根瘤菌、放射型根瘤菌和田菁茎瘤固氮根瘤菌对干旱和盐胁迫条件下穿心莲种子萌发的影响。方法:采用聚乙二醇6000(以下简称“PEG”)和氯化钠(NaCl)浸种处理,分别建立穿心莲种子的干旱胁迫和盐胁迫模型。采用培养皿纸上发芽法,考察不同浓度PEG(0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 g/mL)和NaCl(50、100、150、200 mmol/L)对穿心莲种子萌发指标(发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数)的影响;分别采用费氏中华根瘤菌、放射型根瘤菌和田菁茎瘤固氮根瘤菌对穿心莲种子进行预处理后,同法考察其在干旱胁迫或盐胁迫条件下的各项萌发指标。结果:选取0.15 g/mL PEG溶液和50 mmol/L NaCl溶液分别构建穿心莲种子干旱胁迫和盐胁迫模型。费氏中华根瘤菌预处理可显著提高干旱胁迫条件下穿心莲种子的各项萌发指标以及盐胁迫条件下的发芽指数和活力指数,但同时可显著降低盐胁迫条件下的发芽率和发芽指数($P<0.05$);放射型根瘤菌处理可显著提高干旱胁迫条件下穿心莲种子各项萌发指标以及盐胁迫条件下的发芽势、发芽指数和活力指数($P<0.05$);田菁茎瘤固氮根瘤菌预处理可显著提高干旱胁迫条件下穿心莲种子的发芽率、发芽指数和活力指数以及盐胁迫条件下的发芽率和发芽势($P<0.05$)。结论:3种根瘤菌处理均可在不同程度上改善穿心莲种子在干旱或盐胁迫条件下的发芽能力。本研究可为干旱条件下穿心莲的种植和栽培,以及将滩涂地区作为穿心莲的种植地提供技术支持。

关键词 穿心莲;种子;萌芽;根瘤菌;干旱胁迫;盐胁迫

Effects of 3 Kinds of Rhizobia on Germination of *Andrographis paniculata* Seed under Drought and Salt Stress Condition
SHI Zhimian, DU Qin, SU Yumiao, LIU Xiaohan (School of Pharmaceutical Sciences, Guangzhou University of TCM, Guangzhou 510006, China)

乳链球菌的药效研究[J].生态科学,2015,34(3):26-30.

[12] CHINTALURI AK, KOMARRAJU AL, CHINTALURI VK, et al. Comparative study of antimicrobial activity of essential oils of selected plants of Rutaceae and TLC bioautographic studies for detection of bioactive compounds [J]. *J Essent Oil Res*, 2015, 27(1): 9-16.

[13] MUSTAFA A, NESLIHAN S. Antimicrobial, DPPH scavenging and tyrosinase inhibitory activities of *Thymus vulgaris*, *Helichrysum arenarium* and *Rosa damascena* Mill. ethanol extracts by using TLC bioautography and chemical screening methods[J]. *J Liq Chromatogr Relat Technol*, 2019. DOI: 10.1080/10826076.2019.1591977.

[14] 陈瑞娟,毕金峰,陈芹芹,等.胡萝卜的营养功能、加工及其综合利用研究现状[J].食品与发酵工业,2013,39(10):201-206.

[15] 许俊洁,卢金清,李肖爽,等.神农香菊挥发油体外抗氧化活性的谱效关系研究[J].药物分析杂志,2016,36(10):1823-1830.

[16] 赵李宏,吴建梅,武凤兰. α -细辛脑近10年研究概述[J].中国中药杂志,2007,27(7):562-565.

[17] YANG DP, WANG FS, ZHANG HD. Chemical constituents and antifungal activities of essential oil from leaves of *Phoebe faberi*[J]. *GUIHAIA*, 2000, 20(2):181-184.

[18] HUA X, YANG Q, ZHANG W, et al. Antibacterial activity and mechanism of action of aspidinol against multi-drug-resistant methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. *Front Pharmacol*, 2018. DOI: 3389/fphar.2018.00619.

[19] 王陈翔,林观样,周子晔. GC-MS法测定山鸡椒叶中挥发油成分[J].中华中医药学刊,2011,29(8):1898-1899.

^Δ 基金项目:广东省科技计划项目(No.2015A030302070、2016A030303052);2018年省级中药资源普查项目(No.GZYKJS-2018-004)

* 硕士研究生。研究方向:药用植物与生物技术。E-mail: 877475487@qq.com

通信作者:教授,硕士生导师,博士。研究方向:药用植物与生物技术。电话:020-39356380。E-mail: duqin@gzucm.edu.cn

(收稿日期:2018-11-29 修回日期:2019-09-27)

(编辑:段思怡)