

防风气味与化学成分相关性研究

魏丽红, 常福瑞, 闫爽, 郝德国, 于东辉, 王冬梅, 刘晓秋*, 潘英妮*
(沈阳药科大学中药学院, 沈阳市中药药效物质研究与创新药开发重点实验室, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: **目的** 探究防风气味与化学成分的相关性。**方法** 收集野生、栽培及野生抽茎防风共 15 批, 采用紫外分光光度法测定多糖含量, 水蒸气蒸馏法测定挥发油含量, HPLC 法测定 4 种色原酮的含量。借助电子鼻测定不同防风粉末气味的响应值, 并使用 SIMCA 软件分析气味与化学成分之间的相关性。**结果** 防风挥发性气味的主要组成为萜烯类芳香化合物及烷烃化合物类。防风气味中 W2S 传感器 (部分芳香化合物) 与色原酮的含量呈显著正相关, W3S (烷烃类成分) 和 W6S (氢化物) 传感器和挥发油的含量呈显著正相关。**结论** 可根据 W2S 和 W3S、W6S 传感器响应值判断防风中色原酮与挥发油的含量, 但具体的气味浓郁程度是否会影响药效发挥还需要进一步研究。

关键词: 防风; 气味; 化学成分; 电子鼻

中图分类号: R284.1

文献标志码: B

文章编号: 1001-1528(2024)01-0324-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2024.01.056

防风来源于伞形科植物防风 *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk. 的干燥根, 具有祛风解表、胜湿止痛、止痉等功效, 现代临床多用于治疗感冒、头痛、风湿痹痛等^[1]。气味是中药材质量评价的重要指标, 中药传统性状鉴别多以人的感官鉴别为主, 具有一定的主观性和经验性, 鉴别结果的准确性和重现性较差。电子鼻技术实现了特征性气味的检测, 电子鼻也称人工嗅觉系统, 是模拟动物嗅觉器官开发出的高科技产品, 其主要工作机制是阵列中的每个传感器对不同被测气体的灵敏度不同, 不同气体在不同传感器上产生的响应高低不同, 最终形成传感器阵列对不同气体的响应图谱^[2]。目前, 电子鼻技术已经广泛应用于食品、农业、环境控制、鉴别中药材的真伪、产地等^[3-8]。与 2020 年版《中国药典》中防风性状描述一致的是野生防风, 由于防风临床疗效良好, 需求量大, 导致野生防风资源匮乏。目前市场上流通的主要是栽培品, 也常见野生防风中混有抽茎防风, 而药典规定抽茎防风不可药用, 临床对栽培防风的认可度也不高^[9]。传统中医理论认为, 药物形态、颜色、气味、质地与药性相关, 性状是决定药性的主要因素^[10]。本实验从气味出发, 借助电子鼻对不同防风粉末的整体气味进行客观化表达, 探究不同生长方式防风的气味与化学成分间的相关性及栽培防风、抽茎防风与野生防风的区别。

1 材料

1.1 仪器 PEN 型电子鼻 (北京盈盛恒泰科技有限公司); FW100 型粉碎机、DK-98-1 型电热恒温水浴锅 (天津

泰斯特仪器有限公司); LC-20AB 型高效液相色谱仪, 配置 SPD-20AUV 型检测器、LC-Solution 型色谱工作站 (日本岛津公司); TGL-16B 型高速离心机 (上海安亭科学仪器有限公司); 2600-UV/VIS 型紫外分光光度计 [尤尼柯 (上海) 仪器有限公司]。

1.2 试剂 升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷对照品 (纯度 $\geq 98\%$, 成都普菲德生物有限公司)。95% 硫酸、蒽酮 (天津市大茂化学试剂厂)。甲醇、甲酸为色谱纯 (天津市康科德科技有限公司); 乙酸乙酯为色谱纯 (国药集团化学试剂有限公司)。

1.3 药材 防风共 15 批, 经沈阳药科大学潘英妮教授鉴定为伞形科植物防风 *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk. 的干燥根, 具体见表 1。

2 挥发油含量测定

按照 2020 年版《中国药典》四部 2204 项下方法操作, 分别取栽培防风、野生防风、抽茎防风各 50 g, 粉碎, 过 60 目筛备用。将粉碎好的药材置圆底烧瓶中, 加 10 倍量纯净水和一定量的沸石, 振摇混合后, 连接挥发油测定器与回流冷凝管, 自冷凝管上端加水使其充满挥发油测定器的刻度部分, 并溢流入烧瓶为止, 圆底烧瓶置于电热套加热至沸腾并保持微沸至测定器中油量不再增加 (约 5 h), 停止加热, 放置片刻, 开启测定器的下端活塞, 将水缓缓放出, 至油层上端到达零刻度线上方 5 mm 处为止, 放置 1 h 以上, 再开启活塞使油层下降至其上端恰与零刻度线平齐, 读取挥发油量, 并计算挥发油含量。

收稿日期: 2023-01-28

基金项目: 第四次全国中药资源普查 2019 年辽宁省龙港地区普查项目 (2019019); 国家中医药管理局全国中药特色技术传承人才培养项目 (国中医药人教函 [2019] 43 号); 沈阳药科大学中青年教师事业发展支持计划 (ZQN2021014)

作者简介: 魏丽红 (1998—), 女 (穿青人), 硕士生, 研究方向为中药学。E-mail: weilihong1998@163.com

* 通信作者: 刘晓秋 (1964—), 女, 教授, 博士生导师, 从事中药药效物质及其质量评价研究。E-mail: liuxiaoqi3388@126.com
潘英妮 (1979—), 女, 博士, 教授, 从事生药、中药质量控制及其药效物质研究。E-mail: panyingni@163.com

表 1 样品信息

编号	产地	生长方式	收集时间	收集地
Y1	辽宁省本溪市	野生	2020 年 8 月	本溪
Y2	内蒙古自治区海拉尔市	野生	2020 年 12 月	亳州
Y3	内蒙古自治区通辽市	野生	2020 年 12 月	亳州
Y4	辽宁省朝阳市	野生	2020 年 9 月	朝阳
Y5	辽宁省葫芦岛市	野生	2020 年 9 月	葫芦岛
Z1	辽宁省朝阳市	栽培	2020 年 12 月	安国
Z2	吉林省辽源市	栽培	2020 年 12 月	亳州
Z3	内蒙古自治区通辽市	栽培	2020 年 12 月	亳州
Z4	辽宁省新宾县	栽培	2020 年 12 月	亳州
Z5	河北省望都县	栽培	2020 年 12 月	安国
C1	辽宁省本溪市	野生抽茎	2020 年 8 月	本溪
C2	辽宁省西峰县	野生抽茎	2020 年 9 月	西峰
C3	辽宁省朝阳市	野生抽茎	2020 年 9 月	朝阳
C4	辽宁省锦州市	野生抽茎	2020 年 9 月	锦州
C5	辽宁省本溪市	野生抽茎	2020 年 9 月	本溪

3 多糖含量测定

3.1 对照品溶液制备 取无水葡萄糖对照品 25 mg，精密称定，置于 25 mL 量瓶中，蒸馏水定容至刻度，即得含 1.084 mg/mL 葡萄糖的贮备溶液。取 2.5 mL 至 25 mL 量瓶中，加入蒸馏水定容至刻度，配制成质量浓度为 0.108 4 mg/mL 的对照品溶液。

3.2 供试品溶液制备 精密称取野生防风、栽培防风、抽茎防风粉末各 0.5 g，置于 50 mL 圆底烧瓶中，加入 25 mL 95% 乙醇回流提取 2 次，每次 1 h，过滤，弃去滤液，回收滤渣，滤渣挥干溶剂后加 25 mL 蒸馏水回流 2 次，每次 1 h，合并 2 次提取液，转移至 100 mL 量瓶中，加水定容至刻度，取 1 mL，置于 50 mL 量瓶中，加水定容至刻度，即得。

3.3 蒽酮-浓硫酸试剂制备 精密称取蒽酮粉末 0.22 g，置于 100 mL 棕色量瓶中，加 80% 浓硫酸溶解，定容至刻度，即得。

3.4 最大吸收波长的确定 吸取对照品、供试品溶液各 1 mL，置于具塞试管中，冰水浴下分别缓慢加入 0.2% 的蒽酮-浓硫酸试剂 4 mL，混匀，冷却至室温；另取 0.2% 蒽酮-浓硫酸试剂 4 mL，加入 1 mL 蒸馏水，作为空白。将具塞试管置于沸水浴中加热 10 min，冷却至室温，在 200~800 nm 波长范围内进行扫描。结果，对照品、供试品溶液均在 580 nm 处具有最大吸收，故选定其作为最大吸收波长，见图 1。

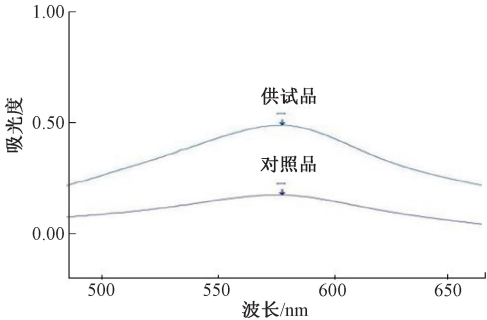


图 1 紫外全波长扫描图

3.5 线性关系考察 分别吸取 0.108 4 mg/mL 对照品溶液

0.2、0.4、0.6、0.8、0.9 mL，加蒸馏水至 1 mL，在冰水浴中缓慢加入蒽酮-浓硫酸试剂 4 mL 混匀，冷却至室温；另取蒸馏水 1 mL，同法加入蒽酮-浓硫酸试剂 4 mL 混匀，作为空白。将具塞试管置于沸水浴中加热 10 min，冷却至室温，于 580 nm 波长处测定吸光度，以对照品质量浓度为横坐标 (X)，吸光度为纵坐标 (A) 进行回归，得方程为 $A=0.007\ 9X+0.008\ 8$ ($r=0.999\ 3$)，在 21.68~97.56 mg/L 范围内线性关系良好。

3.6 精密度试验 精密称取同一批样品 (Y1) 0.5 g，按“3.4”项下方法操作，在 580 nm 波长处测定吸光度 5 次，测得其 RSD 为 0.85%，表明仪器精密度良好。

3.7 稳定性试验 精密称取同一批样品 (Y1) 0.5 g，按“3.4”项下方法操作，分别于 0、0.5、1.0、2.0、3.0 h 以水为空白，在 580 nm 波长处测定吸光度，测得其 RSD 为 0.22%，表明溶液在 3.0 h 内稳定性良好。

3.8 重复性试验 精密称取同一批药材 (Y1) 5 份，按“3.2”项下方法制备供试品溶液，以水为空白对照，按“3.4”项下方法在 580 nm 波长处测定吸光度，测得其 RSD 为 1.38%，表明该方法重复性良好。

3.9 加样回收率试验 精密称取总糖含量已知的样品 (Y1) 6 份，每份 0.25 g，加入 1.084 mg/mL 对照品溶液 4 mL，按“3.2”项下方法制备供试品溶液，以水为空白对照，按“3.4”项下方法在 580 nm 波长处测定吸光度，计算回收率，结果见表 2。

3.10 样品含量测定 按“3.2”项下方法制备供试品溶液，以水为空白对照，在 580 nm 波长处测定吸光度，计算含量。

4 防风整体气味测定

4.1 传感器信号分析 PEN 型电子鼻共有 10 根金属氧化物传感器，具体如表 3 所示。

4.2 样品方法处理筛选 以样品对传感器响应值为评价指标，筛选称样量、孵化温度、孵化时间。测量条件为手动进样，传感器清洗时间 80 s，测定时间 60 s，采样时间 15 s。

表 2 多糖加样回收率试验结果 (n=6)

称样量/g	原有量/mg	加入量/mg	测得量/mg	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
0.250 4	4.132	4.336	8.273	95.51	95.64	1.29
0.250 8	4.138	4.336	8.311	96.24		
0.250 6	4.135	4.336	8.294	95.92		
0.250 1	4.127	4.336	8.176	93.39		
0.250 3	4.130	4.336	8.334	96.96		
0.250 5	4.133	4.336	8.289	95.84		

表 3 PEN 型电子鼻标准传感器阵列与性能

序号	传感器	性能
1	W1C	对芳香成分灵敏
2	W5S	对氮氧化物很灵敏
3	W3C	对芳香成分灵敏
4	W6S	对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	甲烷类灵敏
7	W1W	萜烯类和硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫灵敏
10	W3S	对氮氧化物很灵敏

4.3 称样量 取过 40 目筛样品，分别精密称取 0.3、0.6、1.0、1.5 g 后测定传感器响应值，发现 1.0 g 时响应值最高，并且各称样量无明显差异，故确定称样量为 1.0 g。

4.4 孵化温度 精密称取过 40 目筛的样品 1.0 g，分别置于 35、45、60 ℃ 水浴加热 40 min 后测定传感器响应值，发现在 60 ℃ 时响应值最高，故确定孵化温度为 60 ℃。

4.5 孵化时间 精密称取过 40 目筛的样品 1.0 g，分别置于 60 ℃ 水浴中孵化 20、30、40 min 后测定传感器响应值，发现在 30 min 时响应值最高，故确定孵化时间为 30 min。

4.6 分析条件 采用直接顶空吸气法，直接将进样针头插入含样品的进样瓶中吸气，测定条件为室温 (22±2)℃，采样时间每组 15 s，传感器自清洗时间 10 s，分析采样时间 60 s，每批样品连续测量 2 次。以采样时间为横坐标，传感器响应电压为纵坐标绘制响应曲线，结果见图 2。

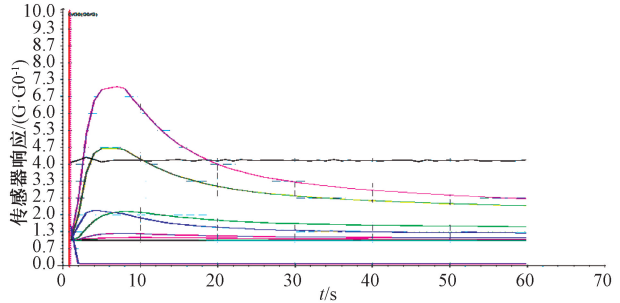


图 2 防风对电子鼻的响应曲线

4.7 精密度试验 取样品适量，测定 10 个传感器响应值，重复 5 次，测得其 RSD 均小于 2.0%，表明仪器精密度良好。

4.8 样品分析 取样品适量，在“4.6”项条件下进样分析，平行 3 次，取平均值。

5 结果

5.1 色原酮、挥发油、多糖含量与电子鼻传感器响应值 15 批样品中色原酮（升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷）、挥发油、多糖含量测定结果见表 4，电子鼻不同传感器响应值结果见表 5，可知野生防风各组响应值波动均大于栽培防风和抽薹防风，表明前者气味较浓郁。

5.2 传感器分析 Loading 分析是针对电子鼻传感器的分析，可准确计算出 10 根传感器的敏感成分信息及区分样品的能力^[11]。利用 Loading 分析法对防风药材电子信号进行分析，结果见图 3，可知 7 号传感器（W1W）和 9 号传感器（W2W）对第一主成分的贡献率最大，5 号传感器（W5C）对第二成分的贡献率最大。结合表 5 可知，7 号传感器对于萜烯类灵敏度较高，9 号传感器对于芳香类灵敏度较高，5 号传感器对于烷烃类灵敏度较高，推测防风挥发性成分可能是萜烯类芳香化合物及烷烃化合物。

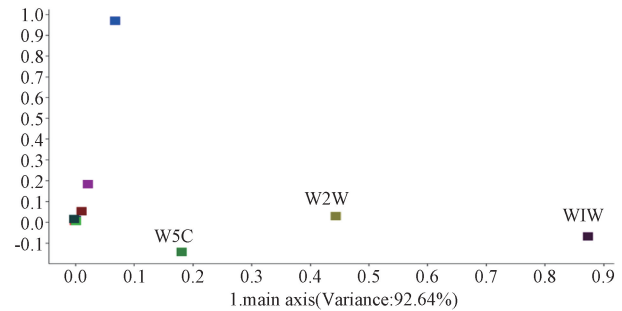


图 3 Loading 分析结果

5.3 PCA 分析 主成分分析（PCA）是将数据降维，分为第一、第二主成分贡献率，通过比较两者总贡献率反映原始数据信息，以此判断电子鼻技术对样品的识别能力^[12-13]。将 3 种样品传感器响应值进行 PCA 分析，结果见图 4，区分度见表 6，可知第一、第二主成分贡献率达 99.318%。由表 6 可知，抽薹防风和其他 2 种防风的区分度较大，但栽培防风和野生防风有部分重合在一起，区分度不够显著。

5.4 LDA 分析 利用线性判别分析（LDA）缩小组内差距，扩大组间差距^[14]。组间差距越大，差异性越大，若第一、第二主成分之和的贡献率相近，说明样品之间气味值的区分度较小。由图 5 可知，3 种防风第一主成分贡献率为 27.96%，第二主成分贡献率为 16.59%，总区分率为 44.55%，表明三者之间的区分度有部分重合，整体区分度不高。

表 4 防风中主要成分含量测定结果 (%)

种类	挥发油	多糖	升麻素苷	升麻素	5- <i>O</i> -甲基维斯阿米醇苷	亥茅酚苷	升麻素苷+5- <i>O</i> -甲基维斯阿米醇苷	色原酮总和
Y1	0. 22	1. 65	0. 185	0. 027	0. 094	0. 016	0. 279	0. 322
Y2	0. 23	2. 28	0. 175	0. 039	0. 087	0. 012	0. 262	0. 313
Y3	0. 21	2. 31	0. 183	0. 032	0. 102	0. 019	0. 285	0. 336
Y4	0. 19	1. 85	0. 188	0. 025	0. 114	0. 015	0. 332	0. 342
Y5	0. 22	2. 24	0. 177	0. 033	0. 095	0. 014	0. 272	0. 319
平均值	0. 21	2. 06	0. 181	0. 031	0. 098	0. 015	0. 286	0. 326
RSD/%	0. 07	1. 41	1. 13	1. 72	1. 03	1. 37	0. 94	1. 77
Z1	0. 16	3. 22	0. 123	0. 016	0. 125	0. 004	0. 248	0. 268
Z2	0. 13	3. 11	0. 138	0. 021	0. 105	0. 001	0. 253	0. 265
Z3	0. 15	4. 09	0. 161	0. 028	0. 092	0. 001	0. 253	0. 282
Z4	0. 14	4. 12	0. 154	0. 025	0. 103	0. 001	0. 257	0. 283
Z5	0. 18	4. 31	0. 164	0. 021	0. 088	0. 002	0. 252	0. 275
平均值	0. 15	3. 77	0. 148	0. 022	0. 103	0. 002	0. 253	0. 275
RSD/%	1. 26	1. 48	1. 16	1. 27	1. 41	0. 72	1. 27	0. 29
C1	0. 17	0. 85	0. 167	0. 035	0. 079	0. 007	0. 256	0. 288
C2	0. 14	1. 02	0. 149	0. 021	0. 095	0. 006	0. 244	0. 291
C3	0. 11	0. 94	0. 153	0. 027	0. 088	0. 005	0. 241	0. 303
C4	0. 14	1. 11	0. 141	0. 019	0. 092	0. 001	0. 233	0. 251
C5	0. 11	0. 97	0. 166	0. 015	0. 075	0. 003	0. 241	0. 259
平均值	0. 13	0. 98	0. 156	0. 023	0. 086	0. 004	0. 243	0. 278
RSD/%	1. 87	0. 88	0. 72	0. 33	0. 93	0. 55	0. 34	0. 79

表 5 防风气味响应值测定结果

编号	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
Y1	1. 154	2. 434	1. 028	0. 993	1. 028	2. 627	9. 102	1. 393	5. 751	0. 979
Y2	1. 098	2. 784	1. 018	0. 996	1. 02	2. 131	10. 606	1. 268	5. 691	0. 989
Y3	1. 031	1. 381	1. 003	0. 991	1. 002	1. 29	2. 946	1. 057	2. 253	0. 97
Y4	1. 121	3. 148	1. 018	0. 988	1. 017	2. 08	12. 503	1. 315	6. 242	0. 965
Y5	1. 038	1. 684	1. 007	1. 001	1. 006	1. 986	3. 926	1. 078	3. 207	1. 006
平均值	1. 088	2. 286	1. 015	0. 994	1. 014	2. 023	7. 817	1. 222	4. 629	0. 982
RSD/%	4. 88	32. 41	0. 98	0. 50	1. 07	23. 69	53. 62	12. 13	38. 43	1. 66
Z1	1. 068	1. 195	1. 015	1. 001	1. 009	2. 274	2. 751	2. 213	2. 195	0. 997
Z2	1. 082	1. 247	1. 017	1	1. 014	2. 525	3. 221	1. 274	2. 456	0. 999
Z3	1. 094	1. 372	1. 018	1	1. 014	2. 597	3. 323	1. 296	2. 490	1. 003
Z4	1. 118	1. 419	1. 026	1. 003	1. 023	3. 866	3. 692	1. 413	2. 690	1. 005
Z5	1. 059	1. 207	1. 011	1	1. 009	1. 744	2. 555	1. 164	1. 997	0. 997
平均值	1. 084	1. 288	1. 017	1. 001	1. 014	2. 601	3. 108	1. 472	2. 366	1. 001
RSD/%	2. 13	7. 87	0. 54	0. 13	0. 56	30. 07	14. 68	28. 77	11. 46	0. 36
C1	1. 034	1. 684	1. 005	0. 991	1. 002	1. 334	3. 463	1. 072	2. 484	0. 981
C2	1. 041	1. 443	1. 004	0. 996	1. 009	1. 467	2. 918	1. 108	2. 212	0. 99
C3	1. 084	1. 757	1. 007	0. 986	1. 009	2. 591	4. 944	1. 298	3. 209	0. 963
C4	1. 061	1. 367	1. 01	0. 989	1. 009	1. 745	3. 131	1. 166	2. 315	0. 976
C5	1. 044	1. 238	1. 003	0. 992	1. 002	1. 528	2. 465	1. 134	1. 959	0. 982
平均值	1. 053	1. 498	1. 006	0. 991	1. 006	1. 733	3. 384	1. 156	2. 436	0. 978
RSD/%	1. 91	14. 53	0. 28	0. 37	0. 38	28. 97	27. 90	7. 51	19. 39	1. 02

表 6 3 种防风区分度

种类	野生防风	栽培防风	抽薹防风
野生防风	—	0. 119	0. 415
栽培防风	0. 119	—	0. 278
抽薹防风	0. 415	—	—

5.5 防风气味与主要成分含量相关性分析 采用 SIMCA 14.0 软件中的双变量分析法, 对电子鼻传感器响应值与防

风主要成分进行相关性分析, 结果见图 6~7。由此可知, 色原酮(升麻素苷、升麻素、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷)含量仅与 W2S 传感器呈显著正相关, 与 W5S、W2W 呈显著负相关, 说明 W2S 传感器响应值越高, 该类成分含量越高; 挥发油含量与 W6S 和 W3S 呈显著正相关, 与 W5S 和 W2W 呈显著负相关, 说明前两者传感器响应值越高, 该类成分含量越高。

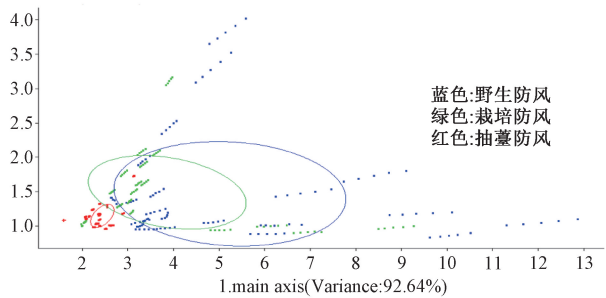


图 4 3 种防风 PCA 分析图

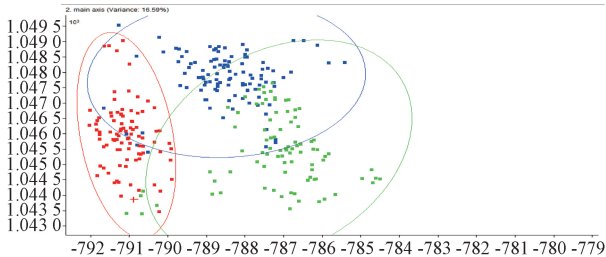


图 5 LDA 分析结果

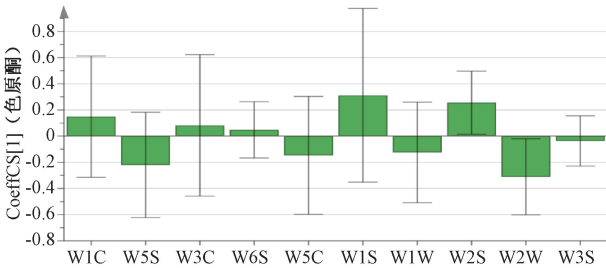


图 6 色原酮与防风气味相关性分析图

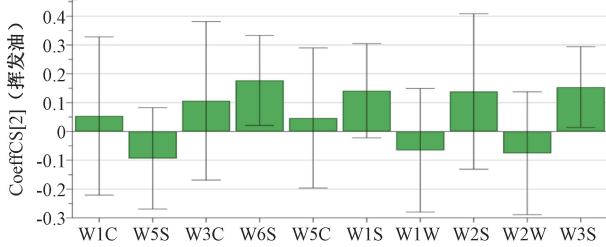


图 7 挥发油与防风气味相关性分析图

6 讨论

由 3 种防风化学物质含量测定结果可知，野生防风挥发油含量最高，其次是栽培防风，最后为抽薹防风。防风挥发油的组成主要为脂肪族和萜类化合物，具有较好的镇痛、抗炎、止血等作用^[15-16]。推测野生防风的药效优于栽培防风可能与其挥发油含量高有关。野生防风的色原酮总量最高，抽薹防风和栽培防风含量相近，15 批样品中升麻素苷和 5-O-甲基维斯阿米醇苷的含量均符合 2020 年版《中国药典》要求。防风抽薹后色原酮总量并不减少，与文献^[17]报道一致。栽培防风的含糖含量高于野生防风及抽薹防风，与栽培环境中水、肥等营养物质充足有关^[18]。防风在抽薹后多糖含量下降，推测是因为植物进入生长繁殖期

后，大量的多糖营养物质转化为其他成分。

本实验借助电子鼻对不同防风粉末的整体气味进行客观化表达。对 3 种防风进行气味与化学成分之间相关性的分析得出，防风中响应值较高的是萜烯类芳香性化合物，该结果与文献^[19]报道一致。根据电子鼻对气味的响应值来看，野生防风>抽薹防风>栽培防风。而当色原酮的含量较高时，其在电子鼻的响应值也较高，可见气味与化学成分的含量具有一定的相关性。结合 SIMCA 软件对防风电子鼻气味值与色原酮类、挥发油含量进行相关性分析，可以得出 W2S 传感器、W3S 和 W6S 传感器与色原酮类、挥发油含量呈显著正相关，传感器响应值越高，防风中对应的成分含量越高。综上所述，可根据电子鼻中 W2S、W3S 和 W6S 传感器响应值判断防风中色原酮类与挥发油的含量，但气味浓郁程度是否会影响药效发挥还需要进一步研究。

参考文献：

[1] 李时珍. 本草纲目[M]. 王庆国, 校注. 北京: 中国中医药出版社, 2013: 441.

[2] Zheng S H, Ren W G, Huang L F. Geoherbalism evaluation of *Radix Angelica sinensis* based on electronic nose[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2015, 105: 101-106.

[3] 杜瑞超, 冯 怡, 徐德生, 等. 电子鼻技术及其在中药行业中的应用前景[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(5): 348-351.

[4] Wilson A D. Diverse applications of electronic-nose technologies in agriculture and forestry[J]. *Sensors (Basel)*, 2013, 13(2): 2295-2348.

[5] 杨文玺, 刘亚令, 魏胜利, 等. 电子鼻在中药材质量评价中应用的研究进展[J]. 北方药学, 2013, 10(7): 70-71.

[6] 李翠琴, 李永丽. 近五年来电子鼻在食品检测中的应用[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(11): 11-13.

[7] 方向生, 施汉昌, 何 苗, 等. 电子鼻在环境监测中的应用与进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(10): 112-117; 122.

[8] 崔治家, 夏鹏飞, 张启立, 等. 电子鼻技术区分不同产地不同采收时间不同处理方法的枸杞子研究[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(9): 2163-2166.

[9] 孟祥才, 孙 晖, 孙小兰, 等. 直播、移栽和抽薹防风与野生防风药理作用比较[J]. 现代中药研究与实践, 2012, 26(5): 31-33.

[10] 闻崇辉, 黄佳滢, 朱锐灵, 等. 中药材资源质量评价方法的研究进展[J]. 生物资源, 2020, 42(6): 670-677.

[11] 张 井, 张维一, 徐 静, 等. 电子鼻技术在芝麻油品牌识别及掺假鉴别中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 239-243; 249.

[12] 杜 焰, 冯 怡, 徐德生, 等. 基于主成分分析的中药粉体流动性表征研究[J]. 中成药, 2012, 34(7): 1258-1263.

[13] 夏成凯, 宋芊芊, 方成武. 基于电子鼻技术区分不同产地的牡丹皮药材[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(21): 2633-2637.

[14] 安莹, 孙桃. 基于电子鼻不同识别模式对不同品牌酱油的区分与识别[J]. 中国调味品, 2016, 41(2): 60-64; 68.

[15] 陈雨秋, 张涛, 陈长宝, 等. 防风的化学成分、提取工艺及药理作用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 43-48.

[16] 黎建斌, 刘丽萍, 丘振文. 生防风挥发油抗炎止血作用的药理研究[J]. 新中医, 2007, 39(8): 105-106.

[17] 刘丽娜, 张南平, 金红宇, 等. 野生抽薹与未抽薹防风中色原酮类成分比较研究[J]. 中国药理学杂志, 2020, 55(8): 637-642.

[18] 黄艳茹, 任晓蕾, 霍金海, 等. 影响防风质量因素的研究概况[J]. 中医药信息, 2017, 34(6): 134-138.

[19] 徐佳. 野生和栽培防风颜色气味与质量的相关性研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2014.

氮、磷、钾肥施用量对白花前胡产量和品质的影响

郭 瑀, 徐 广, 罗 敏, 谭秋生, 罗 舜, 邓才富*
(重庆市药物种植研究所, 重庆市道地药材规范化生产工程技术研究中心, 重庆 400485)

摘要: **目的** 提高栽培白花前胡产量和品质, 解决市场上前胡供不应求且指标成分不达标的问题。**方法** 采用大田实验, 分别研究施氮 (N1 36.8、N2 73.6、N3 110.4 kg/hm²)、施磷 (P1 24、P2 48、P3 72 kg/hm²)、施钾 (K1 41.6、K2 83.2、K3 124.8 kg/hm²) 对产量及前胡甲素、前胡乙素、浸出物、植株养分、土壤有效养分含量的影响。**结果** 与不施肥相比, 合理施肥可提高根际土壤有效养分含量, 促进根部生物量增加, 防止地上部徒长, 增加根部氮、磷、钾含量, 提高前胡甲素和前胡乙素含量, 稳定浸出物含量。其中, P1、K2 处理分别提高前胡乙素含量至 0.32%、0.26%, 达到了 2020 年版《中国药典》相关要求。**结论** 合理施用磷、钾肥可提高前胡产量及品质, 两者适宜施用量分别为 24、83.2 kg/hm²。

关键词: 白花前胡; 施肥; 产量; 指标成分; 品质

中图分类号: R282.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2024)01-0329-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2024.01.057

前胡是我国传统中药材, 具有宣散风热、降气祛痰的功效^[1], 也是多种中成药的重要原料, 在中药材市场中占据重要地位, 年需求巨大, 而年供给量不足^[2-3]。目前, 前胡主要由人工栽培提供, 但质量跟踪发现, 多地栽培前胡质量几乎都不能达到 2020 年版《中国药典》“同时满足白花前胡甲素不得少于 0.90%, 白花前胡乙素不得少于 0.24%”的要求^[4-5], 且栽培前胡与野生前胡品质差距较大, 质量提升工作迫在眉睫^[6-7]。栽培前胡质量不达标, 将直接影响中医临床用药安全, 也造成了很多中医医生“症对方准药不灵”的困惑, 必将严重制约我国中医药产业的健康发展^[8]。

相关研究表明, 大量营养元素氮、磷、钾参与了根茎类中药材甘草的根系发育^[9]; 黄芪的有效成分黄芪甲苷含量与根部氮、钾的积累量呈正相关关系^[10]。植物体内的氮、磷、钾主要由土壤提供, 然而, 随着规模化种植的发展, 土壤养分含量往往不能满足中药材生长需求^[11]。因此, 可采用合理施肥的方式提高根茎类中药材产量和品

质^[12]。合理施肥既能促进朝鲜白头翁、印度人参、黄芪等根茎类中药材生长发育、提高产量, 又能提高药材品质^[13-15]。目前, 仍缺少氮、磷、钾对白花前胡品质的影响及其影响效应大小的相关研究。因此, 本实验以白花前胡 *Peucedanum praeruptorum* Dunn 为材料, 采用大田实验的方式, 研究氮、磷、钾肥分别施用后对前胡生物量、前胡甲素、前胡乙素、浸出物、植株养分含量及土壤养分含量的影响, 分析施肥处理后前胡的品质特征, 总结氮、磷、钾影响前胡品质形成的因素, 为前胡的高效生产和中药材生产质量管理规范的完善提供的参考依据。

1 材料与方法

1.1 药材 白花前胡购自药材市场, 经重庆市药物种植研究所邓才富研究员鉴定为伞形科植物白花前胡 *Peucedanum praeruptorum* Dunn。白花前胡甲素、白花前胡乙素对照品 (批号 1117111-201904、111904-201804, 中国食品药品检定研究院)。AL104 电子天平 (瑞士 Mettler-Toledo 公司); DHG 电热恒温鼓风干燥箱 (上海龙跃仪器设备有限公司);

收稿日期: 2023-01-10

基金项目: 重庆市自然科学基金项目 (cstc2020jcyj-msxmX0815, cstc2021jcyj-msxmX0664); 重庆市激励绩效项目 (cstc2021jljx-cstc2021-jxjl014)

作者简介: 郭 瑀 (1994—), 助理研究员, 从事植物营养、中药质量研究。E-mail: 575574538@qq.com

* 通信作者: 邓才富 (1971—), 研究员, 从事中药材规范化生产与产地加工技术研究推广工作。E-mail: dcf0509@126.com