

郭旭, 田新, 郝佳, 等. 不同产地防风色原酮含量与土壤因子的关系 [J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(4): 30-37.

GUO Xu, TIAN Xin, HAO Jia, et al. Relationships between *Saposhnikovia divaricata* chromone content and soil factors in different regions[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(4): 30-37.

# 不同产地防风色原酮含量与土壤因子的关系

郭旭, 田新, 郝佳, 王云贺, 杨利民, 韩梅, 韩忠明

(吉林农业大学 中药材学院/生态恢复与生态系统管理省部共建国家重点实验室, 吉林 长春 130118)

**摘要:**【目的】分析防风药效成分与土壤因子的相关性, 筛选影响药效成分的主导因子。【方法】利用 HPLC 法测定 16 个产地 2 年生防风根中 4 种色原酮(升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、茅酚苷)含量, 测定根际土壤 15 种土壤因子, 通过相关性分析、聚类分析和多重线性回归分析研究防风色原酮含量与土壤因子的关系。【结果】产自河北大屯乡、河北金沟屯、山东烟台、吉林白城和内蒙文钟镇的防风色原酮含量较高, 其他 10 个产地的稍低, 宁夏隆德的最低; 防风色原酮总量与土壤电导率、有效磷含量和有效钙含量呈显著负相关 ( $P<0.05$ ), 与有效锰含量呈显著正相关 ( $P<0.05$ )。将 16 个产地分为四大产区: 吉林长春产区、山东烟台产区、宁夏隆德产区和其他产区(包括内蒙古、河北、辽宁等)。有效磷、有效锰和全磷含量可以解释防风总色原酮信息的 71.8%。【结论】不同产地防风药材有效成分含量具有显著差异, 在药材有效成分形成过程中土壤有效磷和有效锰起重要作用。

**关键词:** 防风; 色原酮; 土壤因子; 相关性; 聚类分析; 多重线性回归分析

中图分类号: R282.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2020)04-0030-08

## Relationships between *Saposhnikovia divaricata* chromone content and soil factors in different regions

GUO Xu, TIAN Xin, HAO Jia, WANG Yunhe, YANG Limin, HAN Mei, HAN Zhongming

(College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University/National Key Laboratory of Jinlin Province

Ecological Restoration and Ecosystem Management, Changchun 130118, China)

**Abstract:** 【Objective】To study the correlations between soil factors and effective components of *Saposhnikovia divaricata*, and screen out the leading factors affecting medicinal ingredients. 【Method】The contents of four kinds of chromone (prim-O-glucosylcimifugin, cimifugin, 5-O-methylvisamminol, sec-O-glucosylhamaudol) in two-year-old *S. divaricata* from 16 regions were determined by HPLC, and 15 soil factors in rhizosphere soil were measured. The relationships between chromone contents of *S. divaricata* and soil factors were studied by correlation analysis, cluster analysis and multiple linear regression analysis. 【Result】*S. divaricata* of Datun Town in Hebei, Jingoutun in Hebei, Yantai in Shandong, Baicheng in Jilin and Wenzhong Town in Inner Mongolia had higher chromone contents. *S. divaricata* of Longde in Ningxia had the lowest content while *S. divaricata* in other ten regions had the medium chromone contents. The total chromone content of *S. divaricata* was significantly negatively correlated with soil conductivity, available phosphorus content and available calcium content ( $P<0.05$ ), and positively correlated with available manganese content ( $P<0.05$ ). The

收稿日期: 2019-11-12 网络首发时间: 2020-06-18 13:59:18

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20200618.1357.002.html>

作者简介: 郭旭(1994—), 男, 硕士研究生, E-mail: [2674730665@qq.com](mailto:2674730665@qq.com); 通信作者: 韩忠明(1979—), 男, 副教授, 博士, E-mail: [hanzm2008@126.com](mailto:hanzm2008@126.com)

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC1710700); 吉林省教育厅“十三五”科学技术研究规划(JJKH20190936KJ); 吉林省市场监督管理厅标准化战略科研专项(BZKY1902)

16 regions were divided into four production areas including production area of Changchun in Jilin, production area of Longde in Ningxia, production area of Yantai in Shandong and other production areas (including Inner Mongolia, Hebei, Liaoning, etc.). Available phosphorus, available manganese and total phosphorus contents could explained 71.8% of the information of total chromone in *S. divaricata*. 【Conclusion】 There are significant differences in the qualities of *S. divaricata* from different regions. Available phosphorus and available manganese may play important roles in the formation of effective components of *S. divaricata*.

**Key words:** *Saposhnikovia divaricata*; chromone; soil factor; correlation; cluster analysis; multiple linear regression analysis

植物生长过程中有效成分的含量与生长环境密切相关<sup>[1]</sup>,生态因素影响中药材质量主要指气候、土壤、地质等生态因子影响药材的结构、性状和药效成分等,即环境饰变导致同种异地药材质量不同<sup>[2]</sup>。研究土壤因子对药材药效成分的影响及两者相互关系,筛选药效成分的主要影响因子,能够为评价不同产地药材的质量差异提供依据。土壤因子与药材质量具有一定的相关性,沈晓凤等<sup>[3]</sup>研究发现土壤因子有效性影响不同产地丹参药材品质;王利丽等<sup>[4]</sup>发现土壤中铁、锰、钾元素显著影响山茱萸药材化学指标,其他土壤元素没有明显影响。

防风 *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk 为伞形科防风属多年生草本植物,以秋季未抽薹植株的根入药,主产于东北及华北地区。防风作为传统中药,在我国有悠久的历史,最早收录于《神农本草经》并列为上品,是常用的大宗药材之一<sup>[5]</sup>,具有解热、镇痛、抗炎、抗菌、抗肿瘤、抗惊厥等积极的作用。近年来防风野生资源日益匮乏,

防风药材需求量的增加使栽培防风成为市场主体,种植区域逐渐扩张<sup>[6]</sup>,产地和生产方式发生了较大变化<sup>[7]</sup>。2015年版《中国药典》<sup>[8]</sup>规定防风以色原酮(包括升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷)含量为评价标准。研究表明,不同产地防风的药效成分含量具有一定差异<sup>[9]</sup>,这种差异可能与不同产地生态环境有密切关系。本论文旨在研究不同产地栽培防风药材质量差异以及土壤因子与药材质量的关系,通过相关性分析、聚类分析和多重线性回归分析探讨在防风药材质量形成过程中土壤因子是否起到关键作用,为合理栽培种植防风提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2018年10月,在河北、山东、吉林、宁夏、甘肃、辽宁、内蒙古等省(自治区)的16个产地采集防风材料(表1),16个产地分别为河北承德大屯乡

表1 防风药材采集地信息

Table 1 Information of collection places of *Saposhnikovia divaricata*

产地 Region	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude
河北大屯乡 Datun Town in Hebei	E117°27'48"	N41°1'5"	520
河北金沟屯 Jingoutun in Hebei	E117°28'31"	N41°1'12"	560
山东烟台 Yantai in Shandong	E121°38'24"	N37°26'41"	50
宁夏隆德 Longde in Ningxia	E106°1'46"	N35°35'1"	600
吉林长春 Changchun in Jilin	E125°27'15"	N43°46'20"	251
甘肃兰州 Lanzhou in Gansu	E103°24'33"	N35°15'43"	2 424
吉林白城 Baicheng in Jilin	E122°45'46"	N45°19'46"	230
辽宁东碾子沟 Dongnianzigou in Liaoning	E119°55'54"	N40°59'17"	641
辽宁边杖子 Bianzhangzi in Liaoning	E119°78'3"	N41°36'4"	540
辽宁黄台子 Huangtaizi in Liaoning	E118°50'44"	N42°6'52"	650
内蒙大明镇 Daming Town in Inner Mongolia	E119°11'59"	N41°35'14"	550
内蒙唐家窝铺 Tangjiawopu in Inner Mongolia	E119°24'5"	N41°34'2"	611
内蒙汐子镇 Xizi Town in Inner Mongolia	E119°17'17"	N41°42'36"	541
内蒙牛营子 Niuyingzi in Inner Mongolia	E118°7'9"	N42°11'47"	720
内蒙杨家营子 Yangjiayingzi in Inner Mongolia	E118°48'44"	N42°9'5"	620
内蒙文钟镇 Wenzhong Town in Inner Mongolia	E118°53'1"	N42°7'18"	640

(河北大屯乡)、河北承德金沟屯(河北金沟屯)、山东烟台牟平区(山东烟台)、宁夏固原隆德(宁夏隆德)、吉林长春农大药园(吉林长春)、甘肃临夏和政县(甘肃兰州)、吉林白城洮南(吉林白城)、辽宁朝阳东碾子沟(辽宁东碾子沟)、辽宁朝阳边杖子(辽宁边杖子)、辽宁朝阳黄台子(辽宁黄台子)、内蒙赤峰大明镇(内蒙大明镇)、内蒙赤峰唐家窝铺(内蒙唐家窝铺)、内蒙赤峰汐子镇(内蒙汐子镇)、内蒙赤峰牛营子(内蒙牛营子)、内蒙赤峰杨家营子(内蒙杨家营子)、内蒙赤峰文钟镇(内蒙文钟镇)。每个产地随机采集 10 株 2 年生防风及相对应的根际土壤,采集根际土壤是通过抖落的方法,挖取完整的防风根系土壤,将大块、不含根系的土壤抖落,收集附着于防风根系表面的土壤。采集的防风根系经自来水洗净,蒸馏水冲洗后于 50 °C 烘干,称取质量,粉碎,备用。土壤样品烘干后过 100 目筛,储存备用。

## 1.2 方法

**1.2.1 色原酮提取及含量测定** 防风根系粉碎后过 100 目筛,精密称取 0.25 g 样品加入 5 mL 的 70%( $\phi$ ) 乙醇中,在 600 W、40 °C 条件下超声提取 45 min,收集滤液。采用 Agilent 1100 高效液相色谱仪测定含量,色谱柱 Diamonsil C<sub>18</sub>(4.6 mm×200 mm×5  $\mu$ m),柱温 30 °C,检测波长 254 nm。甲醇-水梯度洗脱:0~15 min,  $\phi$ (甲醇)20%~45%; 15~25 min,  $\phi$ (甲醇)45%~70%。流速 1 mL/min。根据峰面积计算防风 4 种色原酮(升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷)含量<sup>[9]</sup>。

**1.2.2 土壤因子的测定** 通过恒温箱烘烤的方法测定土壤水分,使用酸度计精准测定土壤样品的 pH 和电导率,使用重铬酸钾容量法(外加热法)测定土壤有机质(Organic matter)含量,通过半微量凯氏法对土壤全氮(Total nitrogen)含量进行消煮测定,通过碱解扩散法测定土壤碱解氮(Alkali-hydrolyzed nitrogen)含量,通过高氯酸-浓硫酸法测定土壤全磷(Total phosphorus)含量,通过碳酸氢钠法<sup>[10]</sup>测定土壤有效磷(Available phosphorus)含量,通过火焰光度法<sup>[11]</sup>测定土壤有效钾(Available potassium)、有效钙(Available calcium)、有效镁(Available magnesium)、有效铁(Available iron)、有效铜(Available copper)、有效锌(Available zinc)和有效锰(Available manganese)含量。

## 1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2013 和 SPSS 25.0 统计软件对数据进行整理和分析,相关性分析用 Pearson 相关系数法,聚类分析和多重线性回归分析分别采

用 SPSS 25.0 软件中的聚类分析法和多重线性回归分析法。

## 2 结果与分析

### 2.1 防风色原酮含量

防风 4 种色原酮含量以及色原酮总量的测定结果见表 2。不同产地升麻素苷含量、升麻素含量、5-O-甲基维斯阿米醇苷含量、亥茅酚苷含量、色原酮总量、单株产量和单株色原酮总产量均具有显著差异。河北大屯乡、河北金沟屯、山东烟台、吉林白城、内蒙文钟镇色原酮总量较高,宁夏隆德的 4 种色原酮含量均普遍偏低,未达到药典标准(升麻素苷和 5-O-甲基维斯阿米醇苷质量分数大于 2.4 mg/g)<sup>[8]</sup>。升麻素苷含量最高的产地为河北大屯乡,最低为宁夏隆德;升麻素含量最高的产地为山东烟台,最低为宁夏隆德;5-O-甲基维斯阿米醇苷含量最高的产地是吉林白城,最低为宁夏隆德;亥茅酚苷含量最高的产地为内蒙大明镇,最低为内蒙唐家窝铺。不同产地防风的升麻素苷和 5-O-甲基维斯阿米醇苷含量差异较大,可能是决定药材质量的关键物质<sup>[12]</sup>。

### 2.2 防风单株产量及单株色原酮总量

防风单株产量及单株色原酮总量的测定结果见表 2。辽宁边杖子和辽宁东碾子沟的单株产量最高,分别为 11.025、10.262 g,吉林白城和山东烟台最低,分别为 5.777、6.302 g,最高单株产量是最低的 1.9 倍;河北大屯乡和山东烟台的单株色原酮总量最高,分别为 81.329、60.115 mg,宁夏隆德、内蒙牛营子和内蒙大明镇最低,分别为 12.394、21.224 和 21.476 mg,最高是最低的 6.6 倍。

### 2.3 防风土壤因子

16 个产地的土壤 pH 在 7.46~8.87 之间,土壤偏碱性,部分产地的土壤 pH 较接近;不同产地土壤电导率差异明显,范围为 74.30~158.60,电导率最高产地为吉林长春,最低为山东烟台,最高是最低的 2.1 倍;不同产地土壤水分、有机质和全氮含量差异明显,质量分数分别为 3.71%~12.96%、0.23%~4.09%、0.01%~0.32%,含量最高产地均为甘肃兰州,最低分别为内蒙文钟镇、河北金沟屯和内蒙大明镇;土壤中全磷质量分数相对较高,在 0.29~1.29 g/kg 之间,含量最高产地为河北金沟屯,最低为内蒙牛营子,最高是最低的 4.4 倍。

土壤中其他 9 种有效元素分别为有效氮、有效磷、有效钾、有效钙、有效镁、有效铁、有效铜、有效锌和有效锰,不同产地含量差异较为明显,质

表 2 不同产地防风产量及色原酮含量<sup>1)</sup>

Table 2 Chromone contents and yields of *Saposhnikovia divaricata* from different regions

产地 Region	w/(mg·g <sup>-1</sup> )					单株色原酮	
	升麻素苷 Prim-O- glucosylcimifugin	升麻素 Cimifugin	5-O-甲基维斯 阿米醇苷 5-O-methylvisamminol	亥茅酚苷 Sec-O- glucosylhamaudol	总色原酮 Total chromone	单株产量/g Yield per plant	总量/mg Total chromone content per plant
HCD	4.007±0.15a	0.213±0.01c	4.838±0.27b	0.112±0.01abc	9.170±0.42a	8.869±0.04de	81.329±0.37a
HCI	2.428±0.07d	0.080±0.01gh	2.663±0.13cd	0.139±0.01abc	5.310±0.21d	9.002±0.02d	47.801±0.12c
SDY	3.272±0.07c	1.113±0.02a	4.930±0.15ab	0.225±0.02a	9.539±0.24a	6.302±0.13h	60.115±1.25b
NXL	0.634±0.02i	0.002±0.01k	0.629±0.02i	0.164±0.03abc	1.430±0.05i	8.667±0.05ef	12.394±0.07l
JLC	1.095±0.15g	0.266±0.03b	1.844±0.31e	0.042±0.01c	3.238±0.42fg	7.750±0.12g	25.095±0.40ij
GSL	2.042±0.03e	0.195±0.01d	1.096±0.01h	0.199±0.05ab	3.512±0.01ef	9.458±0.08c	33.216±0.29g
JLB	2.356±0.21d	0.040±0.01j	5.232±0.48a	0.099±0.01abc	7.724±0.68b	5.777±0.18i	44.622±1.39d
LCD	1.405±0.03f	0.084±0.01gh	1.240±0.03gh	0.054±0.01bc	2.783±0.05gh	10.262±0.09b	28.559±0.26h
LCB	1.485±0.02f	0.112±0.01f	1.804±0.03e	0.074±0.01bc	3.475±0.05ef	11.025±0.11a	38.312±0.39e
LCH	1.477±0.03f	0.082±0.01gh	2.353±0.07d	0.039±0.03c	3.958±0.10e	9.359±0.19c	37.043±0.75ef
NCD	1.012±0.04g	0.077±0.01h	1.392±0.04fgh	0.229±0.24a	2.534±0.08h	8.475±0.12f	21.476±0.30k
NCT	0.803±0.03h	0.040±0.01j	1.642±0.10ef	0.031±0.01c	2.518±0.14h	9.443±0.12c	23.777±0.30j
NCX	1.143±0.01g	0.060±0.01i	2.577±0.02cd	0.081±0.01abc	3.860±0.03e	9.332±0.18c	36.022±0.70f
NMN	1.013±0.08g	0.097±0.01fg	1.367±0.23fgh	0.033±0.01c	2.504±0.31h	8.476±0.17f	21.224±0.43k
NMY	1.171±0.10g	0.158±0.01e	1.579±0.06efg	0.052±0.01bc	3.025±0.10fgh	8.584±0.37ef	25.967±1.11i
NCW	3.682±0.04b	0.189±0.01d	2.801±0.04c	0.083±0.01abc	6.765±0.07c	6.534±0.15h	44.203±0.99d

1)HCD: 河北大屯乡, HCI: 河北金沟屯, SDY: 山东烟台, NXL: 宁夏隆德, JLC: 吉林长春, GSL: 甘肃兰州, JLB: 吉林白城, LCD: 辽宁东碾子沟, LCB: 辽宁边杖子, LCH: 辽宁黄台子, NCD: 内蒙大明镇, NCT: 内蒙唐家窝铺, NCX: 内蒙汐子镇, NMN: 内蒙牛营子, NMY: 内蒙杨家营子, NCW: 内蒙文钟镇; 同列数据后的不同小写字母表示不同产地间差异显著(P<0.05, 单因素方差分析)

1)HCD: Datun Town in Hebei, HCI: Jingoutun in Hebei, SDY: Yantai in Shandong, NXL: Longde in Ningxia, JLC: Changchun in Jilin, GSL: Lanzhou in Gansu, JLB: Baicheng in Jilin, LCD: Dongnianzigou in Liaoning, LCB: Bianzhangzi in Liaoning, LCH: Huangtaizi in Liaoning, NCD: Daming Town in Inner Mongolia, NCT: Tangjiawopu in Inner Mongolia, NCX: Xizi Town in Inner Mongolia, NMN: Niuyingzi in Inner Mongolia, NMY: Yangjiayingzi in Inner Mongolia, NCW: Wenzhong Town in Inner Mongolia; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different regions(P<0.05, one-way ANOVA)

量分数分别为 37.38~282.35 mg/kg、2.77~47.46 mg/kg、45.84~718.85 mg/kg、325.68~1 303.58 mg/kg、83.20~128.46 mg/kg、0.97~31.19 mg/kg、0.55~1.44 mg/kg、0.38~2.49 mg/kg、0.59~5.14 mg/kg。有效氮、有效磷和有效钾含量最高的产地分别为甘肃兰州、辽宁黄台子和吉林长春, 含量最低的产地分别为辽宁东碾子沟、山东烟台和河北大屯乡, 含量最高产地分别是最低产地的 7.6、17.1、15.7 倍; 有效钙和有效镁含量最高产地均为宁夏隆德, 含量最低产地均为山东烟台, 含量最高产地分别是最低产地的 4.0、1.5 倍; 有效铁、有效铜、有效锌和有效锰含量最高产地分别为甘肃兰州、辽宁边杖子、山东烟台、河北大屯乡, 含量最低产地分别为辽宁黄台子、河北金沟屯、内蒙牛营子、内蒙汐子镇, 含量最高产地分别是最低产地的 32.1、2.6、6.6、8.7 倍(表 3)。

## 2.4 防风色原酮含量与土壤因子的相关性分析

防风色原酮含量与土壤因子的相关性分析见表 4。升麻素苷含量与土壤 pH 显著负相关(P<0.05), 与电导率极显著负相关(P<0.01), 与有效磷含量显著负相关(P<0.05), 与有效锰含量显著正相关(P<0.05); 升麻素含量与土壤 pH、有效磷含量、有效钙含量显著负相关(P<0.05), 与有效锌含量显著正相关(P<0.05); 5-O-甲基维斯阿米醇苷含量与土壤有效磷含量显著负相关(P<0.05); 亥茅酚苷含量与土壤 pH 显著负相关(P<0.05), 与有效铁含量显著正相关(P<0.05); 色原酮总量与土壤电导率、有效磷含量、有效钙含量显著负相关(P<0.05), 与有效锰含量显著正相关(P<0.05)。结果说明: 防风升麻素苷含量可能受土壤 pH、电导率、有效磷含量和有效锰含量影响, 升麻素含量可能受土壤 pH、有效磷含量、有效钙含量和有效锌含量影响, 5-O-甲基维斯



表 3 不同产地土壤因子<sup>1)</sup>

Table 3 Soil factors of different regions

产地 Region	pH	电导率 Conductivity	w/%			w(TP)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w/(mg·kg <sup>-1</sup> )								
			水分 Water	OM	TN		AN	AP	AK	ACa	AMg	AFe	ACu	AZn	AMn
HCD	8.17	90.90	6.01	0.24	0.07	0.93	71.00	19.01	45.84	577.57	87.47	2.15	0.65	1.81	5.14
HCJ	8.23	98.93	6.50	0.23	0.04	1.29	73.60	16.06	68.60	550.68	99.70	2.24	0.55	1.49	4.25
SDY	7.79	74.30	7.75	0.74	0.04	0.27	66.51	2.77	53.94	325.68	83.20	12.74	1.36	2.49	1.90
NXL	8.57	122.30	7.64	1.25	0.11	1.05	115.51	21.68	131.09	1303.58	128.46	7.24	1.02	0.91	1.45
JLC	8.41	158.60	8.25	2.59	0.10	0.54	113.18	37.13	718.85	586.08	118.72	6.59	0.98	0.93	4.06
GSL	7.46	93.30	12.96	4.09	0.32	1.03	282.35	24.37	118.24	911.68	152.05	31.19	1.19	2.25	2.47
JLB	8.45	112.80	4.54	2.34	0.23	0.38	148.18	17.83	133.60	826.22	104.33	4.68	0.77	0.80	2.16
LCD	8.76	95.30	6.64	1.02	0.09	0.45	37.38	32.68	106.72	758.03	85.13	2.98	1.12	0.67	0.80
LCB	8.60	124.30	7.45	2.48	0.07	0.52	92.18	17.94	126.41	676.61	104.26	3.26	1.44	0.76	1.59
LCH	8.75	123.00	8.51	2.23	0.07	0.53	81.68	47.46	134.13	669.33	97.33	0.97	0.87	0.84	1.19
NCD	8.57	94.10	4.75	2.55	0.01	0.58	224.01	36.92	103.25	673.07	119.63	3.43	1.05	1.90	2.94
NCT	8.81	116.13	6.44	1.52	0.08	0.37	81.68	19.30	101.27	758.03	85.13	2.31	0.97	0.42	0.93
NCX	8.66	136.40	11.49	0.88	0.09	0.74	78.18	28.18	90.53	661.80	100.80	3.59	1.22	2.26	0.59
NMN	8.87	113.10	10.86	1.42	0.05	0.29	103.85	27.69	88.72	966.56	115.80	1.18	1.01	0.38	1.28
NMY	8.86	115.70	4.36	0.44	0.06	0.52	54.85	15.57	82.67	609.47	105.85	1.36	1.24	0.80	1.00
NCW	8.81	122.03	3.71	2.48	0.07	0.54	281.18	39.65	110.46	834.33	103.72	2.13	0.92	0.89	0.67

1)HCD: 河北大屯乡, HCJ: 河北金沟屯, SDY: 山东烟台, NXL: 宁夏隆德, JLC: 吉林长春, GSL: 甘肃兰州, JLB: 吉林白城, LCD: 辽宁东碾子沟, LCB: 辽宁边杖子, LCH: 辽宁黄台子, NCD: 内蒙大明镇, NCT: 内蒙唐家窝铺, NCX: 内蒙沙子镇, NMN: 内蒙牛营子, NMY: 内蒙杨家营子, NCW: 内蒙文钟镇; OM: 有机质, TN: 全氮, TP: 全磷, AN: 碱解氮, AP: 有效磷, AK: 有效钾, ACa: 有效钙, AMg: 有效镁, AFe: 有效铁, ACu: 有效铜, AZn: 有效锌, AMn: 有效锰

1)HCD: Datun Town in Hebei, HCJ: Jingoutun in Hebei, SDY: Yantai in Shandong, NXL: Longde in Ningxia, JLC: Changchun in Jilin, GSL: Lanzhou in Gansu, JLB: Baicheng in Jilin, LCD: Dongniansizigou in Liaoning, LCB: Bianzhangzi in Liaoning, LCH: Huangtaizi in Liaoning, NCD: Daming Town in Inner Mongolia, NCT: Tangjiawopu in Inner Mongolia, NCX: Xizi Town in Inner Mongolia, NMN: Niuyingzi in Inner Mongolia, NMY: Yangjiayingzi in Inner Mongolia, NCW: Wenzhong Town in Inner Mongolia; OM: Organic matter, TN: Total nitrogen, TP: Total phosphorus, AN: Alkali-hydrolyzed nitrogen, AP: Available phosphorus, AK: Available potassium, ACa: Available calcium, AMg: Available magnesium, AFe: Available iron, ACu: Available copper, AZn: Available zinc, AMn: Available manganese

表 4 防风色原酮含量及产量与土壤因子的相关性分析<sup>1)</sup>Table 4 Correlation analyses of chromone contents and yields of *Saposhnikovia divaricata* with soil factors

因子 Factor	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$
$Y_1$	-0.259	-0.641*	-0.683**	-0.354	-0.028	-0.039	0.161	-0.585*	-0.296	-0.512	-0.309	0.188	-0.319	0.526	0.625*
$Y_2$	0.072	-0.550*	-0.503	-0.211	-0.212	-0.128	-0.306	-0.548*	-0.093	-0.562*	-0.272	0.320	0.382	0.548*	0.068
$Y_3$	-0.492	-0.326	-0.426	-0.336	-0.043	-0.191	-0.218	-0.565*	-0.177	-0.516	-0.509	-0.096	-0.343	0.233	0.408
$Y_4$	0.029	-0.649*	-0.450	0.107	0.185	0.207	0.241	-0.735	-0.287	-0.033	0.179	0.533*	0.381	0.341	0.126
$Y$	-0.378	-0.512	-0.575*	-0.356	-0.033	-0.136	-0.095	-0.628*	-0.227	-0.559*	-0.440	0.063	-0.283	0.405	0.694*
$Z_1$	0.253	0.264	0.136	0.059	-0.122	-0.105	0.275	0.312	-0.164	0.166	0.029	-0.083	0.207	-0.194	-0.214
$Z_2$	-0.134	-0.494	-0.467	-0.349	-0.031	-0.235	0.153	-0.417	-0.270	-0.598*	-0.483	0.020	-0.297	0.479	0.540*

1) $X_1$ : 水分含量,  $X_2$ : pH,  $X_3$ : 电导率,  $X_4$ : 有机质含量,  $X_5$ : 全氮含量,  $X_6$ : 碱解氮含量,  $X_7$ : 全磷含量,  $X_8$ : 有效磷含量,  $X_9$ : 有效钾含量,  $X_{10}$ : 有效钙含量,  $X_{11}$ : 有效镁含量,  $X_{12}$ : 有效铁含量,  $X_{13}$ : 有效铜含量,  $X_{14}$ : 有效锌含量,  $X_{15}$ : 有效锰含量;  $Y_1$ : 升麻素苷含量,  $Y_2$ : 升麻素含量,  $Y_3$ : 5-O-甲基维斯阿米醇苷含量,  $Y_4$ : 亥茅酚苷含量,  $Y$ : 色原酮总量;  $Z_1$ : 单株产量,  $Z_2$ : 单株色原酮总量; “\*”表示在0.05水平显著相关, “\*\*”表示在0.01水平显著相关(双尾检测)

1) $X_1$ : Moisture content,  $X_2$ : pH,  $X_3$ : Conductivity,  $X_4$ : Organic matter content,  $X_5$ : Total nitrogen content,  $X_6$ : Alkali-hydrolyzed nitrogen content,  $X_7$ : Total phosphorus content,  $X_8$ : Available phosphorus content,  $X_9$ : Available potassium content,  $X_{10}$ : Available calcium content,  $X_{11}$ : Available magnesium content,  $X_{12}$ : Available iron content,  $X_{13}$ : Available copper content,  $X_{14}$ : Available zinc content,  $X_{15}$ : Available manganese content;  $Y_1$ : Prim-O-glucosylcimifugin content,  $Y_2$ : Cimifugin content,  $Y_3$ : 5-O-methylvisaminol content,  $Y_4$ : Sec-O-glucosylhamaudol content,  $Y$ : Total chromone content;  $Z_1$ : Yield per plant,  $Z_2$ : Total chromone content per plant; “\*” indicates significant correlation at 0.05 level, “\*\*” indicates significant correlation at 0.01 level (Double tail detection)

阿米醇苷含量可能受土壤有效磷含量影响, 亥茅酚苷含量可能受土壤 pH 和有效铁含量影响, 色原酮总量可能受电导率、有效磷含量、有效钙含量和有效锰含量影响。防风色原酮含量与土壤因子的相关性分析充分表明根际土壤因子参与并影响药材品质的形成, 色原酮含量与土壤因子具有一定的相关性<sup>[13-15]</sup>。

### 2.5 防风单株产量及单株色原酮总量与土壤因子的相关性分析

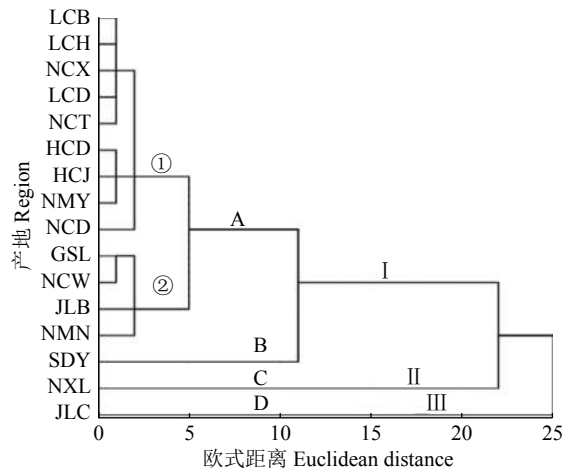
防风单株产量及单株色原酮总量与土壤因子的相关性分析见表 4。单株产量与土壤因子不具有显著相关性; 单株色原酮总量与土壤有效钙含量显著负相关 ( $P<0.05$ ), 与有效锰含量显著正相关 ( $P<0.05$ )。结果说明: 防风单株产量可能不受土壤因子影响, 单株色原酮总量可能受有效钙和有效锰含量影响。

### 2.6 防风色原酮总量与土壤因子的聚类分析

以防风色原酮总量和根际土壤因子为评价指标进行聚类分析, 结果见图 1。在欧氏距离 15~20 之间被分为 I、II、III 大类, 宁夏隆德单独聚为 II 大类, 吉林长春单独聚为 III 大类, 其余产地聚为 I 大类; 缩小欧氏距离至 5~10 之间又被分为 A、B、C、D 4 类, I 大类分为 A、B 2 类, 山东烟台单独聚为 B 类; 继续缩小欧氏距离至 0~5, A 类又分为 ①和② 2 小类, ①包括 9 个产地, 分别是辽宁边杖子、辽宁黄台子、内蒙汐子镇、辽宁东碾子沟、内蒙唐家窝铺、河北大屯乡、河北金沟屯、内蒙杨家营子和内蒙大明镇, ②包括 4 个产地, 分别是甘肃兰州、内蒙文钟镇、吉林白城和内蒙牛营子。聚类分析结果显示, 以欧氏距离 5~10 为标准, 16 个产地分为 4 个产区, 吉林长春产区、宁夏隆德产区、山东烟台产区和其他产区 (包括内蒙、河北、辽宁等)。原因可能是药材质量差异和地理位置导致的土壤元素含量差异, 山东烟台和吉林长春药材质量较高且距离内蒙药材产区较远单独聚为两类; 宁夏隆德药材质量最低, 同样距离内蒙药材产区较远聚为一类; 其他产地药材质量相似、地理位置相近聚为一类。聚类分析结果充分说明土壤因子影响药材质量<sup>[16-18]</sup>。

### 2.7 防风色原酮总量与根际土壤因子多重线性回归分析

以防风色原酮总量为因变量、土壤因子为自变量进行多重线性回归分析, 表 5 为拟合模型的拟合优度情况简报, 重要指标  $R^2$  (决定系数) 反映了回归贡献的相对程度<sup>[19]</sup>, 模型 1 含有变量有效磷含量,



I、II、III 是在欧氏距离 15~20 分类, A、B、C、D 是在欧氏距离 5~10 分类, ①和②是在欧氏距离 0~5 分类; LCB: 辽宁边杖子, LCH: 辽宁黄台子, NCX: 内蒙汐子镇, LCD: 辽宁东碾子沟, NCT: 内蒙唐家窝铺, HCD: 河北大屯乡, HCJ: 河北金沟屯, NMY: 内蒙杨家营子, NCD: 内蒙大明镇, GSL: 甘肃兰州, NCW: 内蒙文钟镇, JLB: 吉林白城, NMN: 内蒙牛营子, SDY: 山东烟台, NXL: 宁夏隆德, JLC: 吉林长春

I, II and III were divided between Euclidean distance 15~20; A, B, C and D were divided between Euclidean distance 5~10; ① and ② were divided between Euclidean distance 0~5; LCB: Bianzhangzi in Liaoning, LCH: Huangtaizi in Liaoning, NCX: Xizi Town in Inner Mongolia, LCD: Dongnianzigu in Liaoning, NCT: Tangjiawopu in Inner Mongolia, HCD: Datun Town in Hebei, HCJ: Jingoutun in Hebei, NMY: Yangjiayingzi in Inner Mongolia, NCD: Daming Town in Inner Mongolia, GSL: Lanzhou in Gansu, NCW: Wenzhong Town in Inner Mongolia, JLB: Baicheng in Jilin, NMN: Niuyingzi in Inner Mongolia, SDY: Yantai in Shandong, NXL: Longde in Ningxia, JLC: Changchun in Jilin

图 1 不同产地防风色原酮总量与根际土壤因子的聚类分析  
Fig. 1 Cluster analyses between *Saposhnikovia divaricata* total chromone content and rhizosphere soil factors in different regions

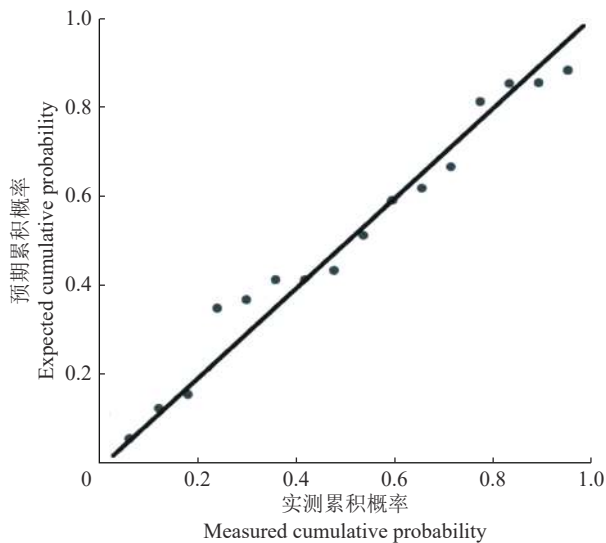
$R^2=0.365$ , 说明有效磷含量可以解释 36.5% 的防风色原酮总量信息; 模型 2 含有变量有效磷和有效锰含量,  $R^2=0.568$ , 说明这 2 个变量可以解释 56.8% 的防风色原酮总量信息; 模型 3 含有变量有效磷、有效锰和全磷含量,  $R^2=0.718$ , 说明有效磷、有效锰和全磷含量 3 个变量可以解释 71.8% 的防风色原酮总量信息。模型 3 为最终的拟合结果, 有效磷、有效锰和全磷含量 3 个变量可以有效解释防风色原酮总量信息, 其他变量对防风色原酮信息的解释较小, 无统计学意义, 未引入模型中。模型偏回归系数 (表 5) 是对线性回归分析是否具有统计学意义的检测, 有效磷含量  $t=-0.579$ ,  $P<0.01$ ; 有效锰含量  $t=-0.671$ ,  $P<0.01$ ; 全磷含量  $t=-0.445$ ,  $P<0.05$ ; 说明变量的各项偏回归系数均具有统计学意义, 回归方程为  $Y=7.252-0.132X_8-1.206X_{15}-3.631X_7$ 。图 2 为因变量累计概率和模型预测值累计概率间的正态 P-P 图, 其散点基本围绕参考直线均匀分布, 说明试验数据符合线性回归模型的适用条件, 具有一定独立性、正态性和方差齐性。

表 5 防风色原酮总量与根际土壤因子多重线性回归分析模型及模型偏回归系数<sup>1)</sup>Table 5 Models of multiple linear regression analyses between *Saposhnikovia divaricata* total chromone content and rhizosphere soil factors and partial regression coefficients of different models

模型 Model	$R$	$R^2$	调整 $R^2$ Adjusted $R^2$	估计的标准误差 Estimated standardized error
1	0.604	0.365	0.316	2.077 78
2	0.754	0.568	0.496	1.783 11
3	0.847	0.718	0.641	1.504 74

模型 Model	项目 Item	$B \pm SE$	$\beta$	$t$	$P$
1	常量 Constant	7.644±1.335		5.726	0.000
	有效磷含量 Available phosphorus content	-0.137±0.050	-0.604	-2.732	0.017
2	常量 Constant	5.758±1.394		4.132	0.010
	有效磷含量 Available phosphorus content	-0.131±0.043	-0.574	-3.018	0.011
	有效锰含量 Available manganese content	-0.813±0.342	-0.452	2.377	0.035
3	常量 Constant	7.252±1.328		5.460	0.000
	有效磷含量 Available phosphorus content	-0.132±0.037	-0.579	-3.609	0.004
	有效锰含量 Available manganese content	-1.206±0.331	-0.671	-3.642	0.004
	全磷含量 Total phosphorus content	-3.631±1.501	-0.445	-2.419	0.034

1)  $B$ : 非标准化系数,  $\beta$ : 标准化系数1)  $B$ : Unstandardized coefficient,  $\beta$ : Standardized coefficient图 2 防风色原酮总量回归标准化残差的标准  $P-P$  图Fig. 2 Standard  $P-P$  chart for regressive standardized residuals of *Saposhnikovia divaricata* total chromone content

### 3 讨论与结论

生态因子是影响药材药效成分含量的重要因素,包括气候因子、土壤因子及地理因素等。适宜的生态环境能促进药材的生长发育,有利于有效成分的合成和积累,从而提高药材质量。周国富等<sup>[20]</sup>研究生态因子对黄芩 5 种主要指标成分的影响时发现黄芩有效成分含量与气候因子密切相关,尤其是温度和降水量。卫昊等<sup>[21]</sup>在黄芩 7 种黄酮类有效

成分含量的研究中发现,随海拔升高,黄酮类成分含量呈显著上升趋势。这些结果充分说明气候因子对药用植物质量有重要影响。

土壤因子是植物生长发育的基础,土壤的物理、化学性质以及所含的各种元素对药材生长发育及次生代谢物积累均具有重要影响<sup>[22]</sup>。土壤中的磷元素对植物吸收营养具有积极作用,能够促进植物碳水化合物的合成和运输,提高土壤中磷含量,增强植物抗旱、抗寒能力。土壤中的锰元素是植物生长发育不可缺少的微量元素之一,锰可以促进植物光合作用,调节植物体内氧化还原反应,含量充足时可以增强植物病害抗性。防风本身就具有抗旱、抗寒能力,土壤中磷元素含量过高可能会导致磷元素不能被防风根系有效吸收,从而影响防风药效成分的形成;土壤中锰元素含量少会导致防风光合作用受到影响,增加患病几率,从而导致药材药效成分含量降低。孙晶波等<sup>[23]</sup>研究了根际土壤化学性质对防风色原酮和香豆素含量的影响,发现速效磷是影响防风有效成分的关键因素,锰含量增加虽然可以促进防风色原酮和香豆素类成分的形成,但却会抑制防风对锰元素的摄取与累积,促进防风对钙元素的吸收。本研究结果与其结论部分相似,防风色原酮含量与部分土壤因子具有一定相关性,包括 pH、电导率、有效磷含量、有效锰含量等。以防风色原酮总量为因变量、土壤因子为自变量进行多重线性回归分析,发现有效磷、有效锰、和全磷含量 3 个

变量可以解释 71.8% 的防风色原酮总量信息,进一步验证了有效磷和有效锰在防风药材质量形成过程中起到的重要作用。辽宁黄台子、内蒙文钟镇、吉林长春和内蒙大明镇等产地有效磷含量较高,内蒙文钟镇、内蒙汐子镇和辽宁东碾子沟等产地有效锰含量较低,建议这些产地在施肥时适当减少磷肥的使用,增加锰肥的比例。

不同地区不同土壤类型可能导致防风有效成分含量及产量的显著差异,本文通过不同产地防风单株产量及单株色原酮总量与土壤因子的相关性分析,发现单株产量与土壤因子不具相关性,单株色原酮总量与有效钙含量显著负相关,与有效锰含量显著正相关,说明土壤中有有效钙含量高可能会降低防风单株色原酮总量,有效锰含量高可能会提高防风单株色原酮总量。本研究测定了不同产地防风药材产量及色原酮含量,总结出 5 个种植防风具有经济效益的地区,分别是河北大屯乡、河北金沟屯、山东烟台、吉林白城和内蒙文钟镇。这 5 个产地的防风色原酮含量、单株产量、单株色原酮总量都普遍偏高。另外,本研究通过对不同产地防风色原酮总量以及土壤因子进行聚类分析,将 16 个产地分为四大产区:吉林长春产区、山东烟台产区、宁夏隆德产区、其他产区(包括内蒙、河北、辽宁等产地),合理有效地使防风药材质量相似或相近的产地聚为一类。

因此,不同产地防风有效成分的差异与根际土壤环境密切相关,本研究为选择防风栽培环境以及适当施肥提供了必要的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 孙晶波,杨鹤,刘岩硕,等.防风挥发油与其根际土壤的相关性研究[J].中草药,2013,44(7):891-895.
- [2] 杨利民,张永刚,林红梅,等.中药材质量形成理论与控制技术研究进展[J].吉林农业大学学报,2012,34(2):119-124.
- [3] 沈晓风,张琦,严铸云,等.根际土壤元素有效性与丹参质量的相关性分析[J].中国中药杂志,2016,41(7):1212-1217.
- [4] 王丽丽,张涛,陈随清,等.土壤中无机元素与山茱萸药材质量的相关性分析[J].中药材,2011,34(8):1167-1172.
- [5] 森立之.神农本草经[M].上海:银联出版社,1995.
- [6] 杨景明,姜华,孟祥才.中药防风质量评价的现状与思考[J].中药材,2016,39(7):1678-1681.
- [7] 孙志蓉,杜永航,李月,等.防风产地及品种变迁的研

究[C]//第十届中药鉴定学术会议暨 WHO 中药材鉴定方法和技术研讨会论文集.西安:中华中医药学会,2010.

- [8] 国家药典委员会.中华人民共和国药典一部[S].北京:中国医药科技出版社,2015:150.
- [9] 韩忠明,王云贺,李轶雯,等.防风色原酮微波辅助提取及含量动态变化研究[J].中药材,2011,34(3):465-468.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [11] 宋正蕊,陈秀梁,熊启瑞.不同产地当归中 7 种微量元素含量检测分析[J].中国检验检疫,2019(2):39-40.
- [12] ZHANG H Z, LIU D H, ZHANG D K, et al. Quality assessment of *Panax notoginseng* from different regions through the analysis of marker chemicals, biological potency and ecological factors[J]. *PLoS One*, 2016, 11(10): e0164384.
- [13] 杨林林,张涛,杨利民,等.人参叶片中人参皂苷含量、关键酶基因表达和生态因子的相关性分析[J].华南农业大学学报,2018,39(3):39-47.
- [14] 赵钰,杨林林,韩梅,等.北柴胡不同部位柴胡皂苷含量与其关键酶基因表达量的相关性研究[J].中草药,2019,50(10):2433-2441.
- [15] 杨辉,贾光林,刘志英,等.不同产地甘草主要有效成分与生态因子的相关性研究[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2013,30(4):289-294.
- [16] 薛启,王康才,梁永富,等.氮锌互作对藿香生长、产量及有效成分的影响[J].中国中药杂志,2018,43(13):2654-2663.
- [17] 尹海波,张囡,罗宏,等.不同产地牻牛儿苗无机元素的主成分分析和聚类分析[J].中国中药杂志,2010,35(15):1935-1938.
- [18] 张建逵,康廷国,窦德强.林下山参与园参无机元素的聚类分析和主成分分析[J].中草药,2012,43(9):1835-1840.
- [19] 周登远,王红梅,崔壮,等.临床医学研究中的统计分析和图形表达实例讲解[M].北京:北京科学技术出版社,2017:119-125.
- [20] 周国富,刘金欣,李晓娟,等.黄芩生态适宜性评价及生态因子对 5 种主要指标性成分的影响[J].中国实验方剂学杂志,2016,22(20):28-32.
- [21] 卫昊,郭玲玲,李柳柳,等.不同海拔和光照对黄芩中 7 种黄酮类有效成分含量的影响[J].中草药,2019,50(6):1472-1476.
- [22] 康传志,周涛,江维克,等.土壤基本养分及无机元素对栽培太子参药材质量的影响[J].中药材,2015,38(4):674-678.
- [23] 孙晶波,杨鹤,李鑫,等.根际土壤化学性质对防风色原酮、香豆素含量的影响[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(4):88-92.

【责任编辑 李庆玲】