

不同产地北柴胡中柴胡皂苷含量与土壤因子的关系

刘照东, 杨林林, 张 阳, 韩 梅, 林红梅*, 杨利民*

1. 吉林农业大学中药材学院 省部共建生态恢复与生态系统管理国家重点实验室, 吉林 长春 130118

2. 延边特色产业发展中心, 吉林 延边 133001

摘 要: **目的** 土壤是影响中药材活性成分形成和积累的重要生态因子, 以 11 个省市自治区 29 个样地野生和栽培北柴胡 *Bupleurum chinense* 为研究材料, 采用数学统计分析方法探讨柴胡皂苷积累与土壤因子的关系, 为实施土壤生态调控提高北柴胡品质提供依据。 **方法** 采用高效液相色谱法 (HPLC) 分析不同产地北柴胡柴胡皂苷 a、c、d、e、f 的含量; 采用常规方法测定土壤样品的 pH、有机质、电导率、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾、有效镁、有效铁、有效铜、有效锰; 通过聚类分析研究不同产地北柴胡皂苷差异; 通过主成分分析解释不同产地土壤因子差异; 通过 Pearson 相关性分析研究土壤因子与北柴胡柴胡皂苷含量的关系。 **结果** 北柴胡的柴胡皂苷测定结果显示河南禹州的柴胡皂苷含量最高, 其中柴胡皂苷 a 和 d 的含量分别为 0.71%、0.80%。对不同产地进行聚类分析, 根据柴胡皂苷差异 29 个样地分为 3 类。对柴胡皂苷含量与土壤因子进行 Pearson 相关性分析表明, 土壤的有机质、有效铁与各柴胡皂苷之间呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 有效铜、有效镁与各柴胡皂苷之间呈显著负相关 ($P < 0.05$)。不同产地土壤主成分分析表明, 得分较高的是样地 9、10、11、14、19、28, 这与不同产地北柴胡柴胡皂苷含量聚类分析的结果基本一致; 通过对不同产地北柴胡主要土壤指标分析发现, 在一定范围内土壤中有效铁含量与柴胡皂苷含量显著正相关, 这与 Pearson 相关性分析结果基本一致。 **结论** 研究结果提示在北柴胡生产实践中可以通过提高土壤有机质含量, 增施铁肥等农艺措施调控北柴胡柴胡皂苷含量。

关键词: 北柴胡; 柴胡皂苷; 土壤因子; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号: R282.12 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2020)20-5328-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.20.027

Effects of soil factors on saikosaponin content of *Bupleurum chinense* in different habitats

LIU Zhao-dong, YANG Lin-lin, ZHANG Yang, HAN Mei, LIN Hong-mei, YANG Li-min

1. State Key Laboratory of Ecological Recovery and Ecosystem Management, College of Chinese Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

2. Yanbian Characteristic Industry Development Center, Yanbian 133001, China

Abstract: Objective Soil is an important factor affecting the formation and accumulation of active ingredients in Chinese medicinal herbs. Taking 29 sample wild and cultivated *Bupleurum chinense* of 11 areas as study materials, using mathematical statistical analysis methods to explore the relationship between saikosaponin accumulation and soil factors in order to improve the quality of *B. chinense* by soil ecological regulation. **Methods** HPLC analysis of the contents of saikosaponins a, c, d, e, and f from different habitats; pH, organic matter, conductivity, soil water, total nitrogen, alkaline nitrogen, available phosphorus, available potassium, effective calcium, effective magnesium, effective iron, effective copper, and effective manganese were determined by conventional soil physicochemical property assay methods, cluster analysis method was used to analyze the content of saikosaponin from different habitats, analysis of the relationship between soil factors and the content of saikosaponin by Pearson correlation analysis, analysis of soil factors using principal component analysis. **Results** Determination of saikosaponin showed that higher content of saikosaponin in Henan province (habitat 5, habitat 6), total content of saikosaponin a and saikosaponin d in habitat 10 was 5.16 times the national standard. Cluster analysis of *B. chinense* from different origins, according to the content of saikosaponin, the *B. chinense* from 29 habitats were grouped into three types. Pearson correlation analysis of saikosaponin content and soil factors that the organic matter in the soil was significantly positively correlated with saponin a and total saponins ($P < 0.05$), there was a significant positive correlation between available zinc and available iron and each saikosaponin ($P < 0.05$) properly improve the organic matter, effective zinc,

收稿日期: 2020-03-02

基金项目: 吉林省科技发展计划重点研发项目 (20200404009YY); 国家中药材产业技术体系建设项目 (CARS-21)

作者简介: 刘照东 (1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为生态学。E-mail: 772706697@qq.com

*通信作者 杨利民 (1963—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药资源生态与药材质量调控。E-mail: ylmh777@126.com

林红梅 (1980—), 女, 副教授, 研究方向是药用植物资源生态。E-mail: baolinhm@126.com

effective iron content in the soil can promote the accumulation of saikosaponin. Analysis of the principal components of soil from different habitats, the higher score was habitat 9, habitat 10, habitat 11, habitat 14, habitat 19, habitat 28. This is basically consistent with the results of cluster analysis of saikosaponin content. Based on the analysis of the main soil indicators of *B. chinense* from different habitats that in a certain range, the higher organic and effective zinc content, the more favorable were the accumulation of saikosaponins. This was basically consistent with the results of Pearson correlation analysis. **Conclusion** These results indicated enhancement of organic matter, effective zinc, in the soil can improve the saikosaponin content in cultivated *B. chinense*.

Key words: *Bupleurum chinense* DC; saikosaponin; soil factor; cluster analysis; principal component analysis

北柴胡 *Bupleurum chinense* DC. 为伞形科柴胡属多年生草本植物,《中国药典》2015 年版规定北柴胡或狭叶柴胡 *B. scorzonifolium* Willd. 的干燥根为药材柴胡的基原^[1]。北柴胡的药用历史悠久,是我国传统的大宗常用中药材,具有疏散退热、疏肝解郁、升举阳气等功效。北柴胡的主要药效成分是柴胡皂苷,属齐墩果烷型皂苷,含量较高的是柴胡皂苷 a、c、d,而柴胡皂苷 e、f 含量较少。《中国药典》2015 年版对柴胡质量的要求为柴胡皂苷 a、d 的总含量不少于 0.30%^[2-3]。

北柴胡广泛分布于我国东北、华北、西北等地,主产于黑龙江、吉林、辽宁、河北、河南、陕西、甘肃等省区^[4]。不同生态因子对药材结构、性状、药效成分等产生不同程度的影响,即环境胁迫导致同种异地药材质量的不同^[5-6]。有研究表明,不同产地北柴胡中柴胡皂苷含量差异较大^[7-8],但是,有关北柴胡药材质量与土壤因子关系的研究还较少,特别是大区域尺度的研究未见报道。土壤是生物与环境进行物质与能量交流的重要介质,是药材的“天然培养基”,能供应和协调药用植物生长对水分、养分、气体、热量的需要^[9]。因此研究北柴胡柴胡皂苷含量与土壤因子的关系,对于实施土壤生态调控提高北柴胡品质具有重要意义。

本研究以 11 个省市自治区 29 个样地的野生与栽培北柴胡及其土壤为材料,测定了不同产地北柴胡 5 种柴胡皂苷的含量及 12 个土壤理化指标,采用聚类分析、主成分分析和 Pearson 相关性分析等数学统计方法,研究了不同产地北柴胡中柴胡皂苷含量、土壤生态因子的差异及其相关性,为阐明土壤因子对北柴胡药材质量的影响和进一步实施土壤生态调控提高北柴胡药材质量提供科学依据。

1 材料与仪器

1.1 材料

样品分别于 2017 年 9—10 月、2018 年 9—10 月采自北柴胡主产区吉林、辽宁、河北、山西、内蒙、河南、山东、陕西、宁夏、湖北、四川 11 个省

份的 29 个野生与栽培样地,样地信息见表 1。所有样品由吉林农业大学杨利民教授鉴定为北柴胡 *Bupleurum chinense* DC.。29 个样地的地貌类型主要是平地,少部分为丘陵,采样时按照东南西北中 5 点采样法进行采集,每个方位采集 5 株北柴胡和 1 份土壤样品。采集土样的同时用环刀法取样 3 次。将植株小心装入自封袋中带回实验室,洗净除去泥沙。剪下北柴胡根部,在烘箱中 50 ℃烘干,粉碎机磨成粉末保存,用于北柴胡柴胡皂苷含量的测定。将土壤样品风干、磨细、过筛、装瓶以备各项指标的测定。

1.2 主要试剂与仪器

Agilent1260 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司),SB-800 型超声波清洗仪(宁波新芝生物科技有限公司),AUY220 型电子天平(日本岛津公司),电热恒温水浴锅(北京市光明医疗仪器有限公司)。

2 方法

2.1 柴胡皂苷含量测定

2.1.1 供试品溶液的制备 精密称取北柴胡根粉末 0.4 g,加入体积分数 5%的氨水甲醇溶液,超声 30 min,滤过至三角瓶中,剩余残渣再次加入 5%氨水甲醇溶液超声 30 min 并滤过,共重复 3 次,合并滤液。将柴胡皂苷提取液置于旋转蒸发器中 40 ℃蒸发浓缩,最后以甲醇定容于 10 mL 量瓶中,制得供试品溶液。

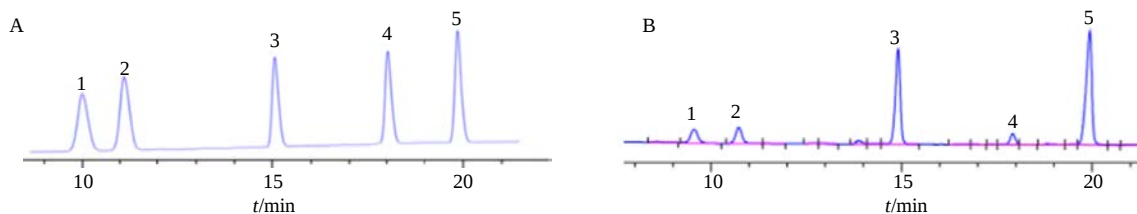
2.1.2 对照品溶液的制备 精密称取对照品柴胡皂苷 a、c、d、e、f 10 mg 置于 10 mL 量瓶中,加甲醇约 7 mL,振摇使之溶解,用甲醇稀释至刻度,摇匀,即得柴胡皂苷 a、c、d、e、f 对照品溶液(质量浓度为 1 mg/mL)。

2.1.3 色谱条件 色谱柱为 Agilent ZORBAX SB-C₁₈ (150 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相为乙腈(A)-水(B),梯度洗脱(0~5 min, 30%A; 5~10 min, 30%~35%A; 10~20 min, 35%~50%A; 20~25 min, 50%~52%A);体积流量 1.0 mL/min;柱温 25 ℃;检测波长 200 nm;进样量 20 μL^[10]。分离色谱图见图 2。

表 1 不同产地北柴胡样地信息

Table 1 Site information

样地编号	样地名称	地理坐标	海拔高度/m	年生
1	内蒙古宁城 1	N41°42'30" E119°17'31"	540	1
2	内蒙古宁城 2	N41°18'38" E119°08'06"	510	1
3	山东章丘 1	N36°32'42" E117°19'41"	648	1
4	河北涉县 1	N36°36'12" E113°37'24"	550	1
5	湖北房县 1	N32°4'15" E110°38'57"	370	1
6	吉林长春 1	N43°48'24" E125°24'59"	251	2
7	河北隆化 1	N41°34'59" E117°20'42"	870	2
8	河北隆化 2	N41°34'33" E117°18'38"	870	2
9	河北隆化 3	N41°24'55" E117°33'5"	610	2
10	河南禹州	N34°13'28" E113°10'59"	280	2
11	河南嵩县	N33°47'5" E112°6'30"	670	2
12	山西陵川	N35°43'40" E113°20'42"	1 210	2
13	山西新绛	N35°29'28" E111°3'0"	550	2
14	宁夏隆德	N35°34'13" E106°02'06"	2 003	2
15	内蒙古宁城 3	N41°34'6" E119°12'04"	610	2
16	内蒙古宁城 4	N41°42'30" E119°17'31"	540	2
17	内蒙古武川	N41°6'41" E111°45'25"	554	2
18	四川彭州 1	N31°33'55" E104°17'9"	677	2
19	四川彭州 2	N31°33'15" E104°34'36"	551	2
20	山东章丘 2	N36°32'42" E117°19'40"	645	2
21	陕西永寿	N34°45'53" E108°04'29"	1 140	2
22	湖北房县 2	N32°1'23" E110°58'59"	752	2
23	吉林伊通	N43°18'27" E125°7'34"	290	野生
24	吉林东辽	N43°5'42" E125°6'47"	340	野生
25	吉林东丰 1	N42°41'3" E125°21'32"	390	野生
26	吉林东丰 2	N42°40'28" E125°28'36"	410	野生
27	吉林龙潭区	N43°51'56" E126°38'52"	360	野生
28	辽宁庄河	N39°52'7" E122°57'57"	146	野生
29	吉林长春 2	N43°47'42" E125°27'30"	236	野生



1-柴胡皂苷 c 2-柴胡皂苷 f 3-柴胡皂苷 a 4-柴胡皂苷 e 5-柴胡皂苷 d
1-saikosaponin a 2-saikosaponin c 3-saikosaponin d 4-saikosaponin e 5-saikosaponin f

图 1 对照品 (A) 和供试品 (B) 溶液 HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC of reference substance (A) and sample (B)

2.1.4 方法学考察 取柴胡皂苷 a、c、d、e、f 混合对照品溶液，依次按比例 1/50、1/20、1/10、1/5、2/5、3/5、4/5、1/1 进行稀释，得到系列混合

对照品溶液。按照“2.1.3”项色谱条件，依次进样 20 μ L，以峰面积为纵坐标 (Y)，溶液质量浓度为横坐标 (X)，绘制标准曲线，结果线性关系良

好, 回归方程见表 2。

2.2 土壤因子测定

按土壤理化性质常规方法参照《土壤农化分析》测定土壤样品的 pH 值、有机质、电导率、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效铁、有效铜、有效锌、有效锰。

2.3 数据统计与分析

将获得的数据使用 Microsoft Excel 2016 软件进行处理, 采用 SPSS 19.0 进行 Pearson 相关性分析、聚类分析和主成分分析。

3 结果与分析

3.1 不同产地北柴胡柴胡皂苷含量分析

北柴胡柴胡皂苷 HPLC 测定结果显示, 5 种单体皂苷中, 柴胡皂苷 a、d 的含量最高, 是皂苷类中的主要成分, 而柴胡皂苷 e、f 的含量相对较低(表 2)。根据《中国药典》2015 年版规定的北柴

表 2 柴胡皂苷 a、c、d、e、f 的线性回归分析

Table 2 Regression analysis of saikosaponins a, c, d, e, and f

化合物	回归方程	r^2	线性范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
柴胡皂苷 a	$Y=15.376 X-25.358$	0.9992	5~200
柴胡皂苷 c	$Y=14.547 X-23.986$	0.9992	5~200
柴胡皂苷 d	$Y=18.291 X-32.379$	0.9993	5~200
柴胡皂苷 e	$Y=9.739 X-6.739$	0.9992	5~250
柴胡皂苷 f	$Y=7.866 X-6.466$	0.9998	5~300

胡质量标准(柴胡皂苷 a、柴胡皂苷 d 总含量不少于 0.30%), 大部分样地北柴胡样品符合《中国药典》2015 年标准, 其中柴胡皂苷 a 和 d 总含量达到标准的 1.36~5.16 倍。样地 9、10、11、28 中柴胡皂苷 a、柴胡皂苷 d 含量均较高, 其中样地 10 总皂苷含量最高为 2.09%。样地 25 的样品北柴胡总皂苷含量最低为 0.21%, 其中柴胡皂苷 a、d 的总量为 0.13%, 未达到《中国药典》2015 年标准。

表 2 北柴胡柴胡皂苷含量

Table 2 Content of saikosaponin

样地编号	柴胡皂苷 a/%	柴胡皂苷 c/%	柴胡皂苷 d/%	柴胡皂苷 e/%	柴胡皂苷 f/%	柴胡总皂苷/%
1	0.15±0.004c	0.040±0.001d	0.199±0.002b	0.012±0.003d	0.024±0.006ab	0.430±0.015cd
2	0.135±0.009d	0.036±0.004d	0.153±0.005c	0.036±0.004b	0.036±0.017a	0.396±0.018d
3	0.284±0.001a	0.097±0.001b	0.358±0.006a	0.086±0.005a	0.031±0.002ab	0.856±0.002a
4	0.162±0.011c	0.076±0.005c	0.191±0.032b	0.026±0.006b	0.019±0.006bc	0.474±0.042c
5	0.196±0.001b	0.132±0.021a	0.210±0.003b	0.037±0.006c	0.003±0.002c	0.579±0.028b
6	0.471±0.027b	0.132±0.029ef	0.472±0.024b	0.051±0.002de	0.212±0.019 5b	1.337±0.058c
7	0.211±0.055de	0.486±0.026c	0.230±0.060e	0.054±0.008cd	0.031±0.026 7e	1.011±0.062d
8	0.275±0.023cd	0.566±0.043b	0.302±0.024de	0.091±0.005b	0.016±0.005 3e	1.248±0.054c
9	0.397±0.008b	0.773±0.052a	0.416±0.006bc	0.142±0.003a	0.156±0.022 9c	1.882±0.018ab
10	0.716±0.025a	0.145±0.010e	0.803±0.021a	0.138±0.008a	0.293±0.016 7a	2.094±0.029a
11	0.766±0.097a	0.105±0.021ef	0.782±0.098a	0.040±0.007e	0.190±0.030 8b	1.882±0.165ab
12	0.396±0.100b	0.085±0.026f	0.505±0.143b	0.103±0.019b	0.150±0.022c	1.238±0.174c
13	0.249±0.025cde	0.238±0.032d	0.307±0.039de	0.093±0.010b	0.103±0.010d	0.989±0.051d
14	0.302±0.003c	0.098±0.001ef	0.318±0.001cde	0.067±0.002c	0.125±0.001cd	0.910±0.004d
15	0.283±0.026cd	0.106±0.008ef	0.365±0.034cd	0.011±0.001f	0.110±0.023d	0.875±0.103b
16	0.184±0.005e	0.102±0.006ef	0.223±0.015e	0.022±0.001f	0.097±0.006d	0.629±0.023e
17	0.230±0.007cd	0.030±0.001f	0.257±0.008d	0.022±0.001c	0.045±0.001cd	0.538±0.016d
18	0.153±0.002e	0.082±0.003c	0.142±0.013e	0.012±0.003de	0.092±0.003b	0.481±0.015d
19	0.369±0.012b	0.175±0.008b	0.329±0.016c	0.015±0.001cde	0.049±0.011c	0.936±0.031b
20	0.495±0.071a	0.292±0.004a	0.504±0.064a	0.113±0.006a	0.203±0.009a	1.607±0.145a
21	0.212±0.013d	0.046±0.001e	0.172±0.015e	0.019±0.001cd	0.022±0.011c	0.449±0.024d
22	0.206±0.001d	0.074±0.004d	0.435±0.003b	0.007±0.001e	0.066±0.031b	0.722±0.003c
23	0.243±0.008c	0.061±0.003d	0.185±0.011c	0.017±0.004c	0.162±0.013a	0.667±0.017c
24	0.228±0.022c	0.058±0.005d	0.151±0.012d	0.007±0.001d	0.003±0.001f	0.444±0.022e
25	0.109±0.030d	0.027±0.001c	0.074±0.007e	0.004±0.002d	0.031±0.001e	0.210±0.037f
26	0.246±0.009c	0.082±0.012c	0.159±0.009d	0.009±0.001d	0.028±0.009c	0.524±0.010d
27	0.444±0.034b	0.189±0.001b	0.334±0.031b	0.027±0.001b	0.139±0.011a	1.133±0.031b
28	0.845±0.018a	0.258±0.018a	0.578±0.013a	0.060±0.007a	0.108±0.031b	1.849±0.024a
29	0.230±0.019c	0.055±0.005d	0.187±0.009c	0.021±0.001bc	0.030±0.008c	0.523±0.033d

不同字母表示差异显著, $P < 0.05$

Different letters indicate significant difference, $P < 0.05$

3.2 不同产地北柴胡聚类分析

以北柴胡中柴胡皂苷为变量, 对不同产地北柴胡进行聚类分析。由图可知(图 2), 通过系统聚类分析, 当欧氏距离为 10 时, 将 29 个样地聚为 3 类, 将柴胡皂苷 a 和 d 的总含量较高的样地 9、10、11、28 4 个样地聚为一类。将柴胡皂苷 a 和 d 的总含量较低且总皂苷含量也较低的样地 1、2、4、5、16、17、18、21、23、24、25、26、29 13 个样地聚为一类。将其余的 12 个样地聚为一类, 此类样品柴胡的总皂苷含量处于中等水平。

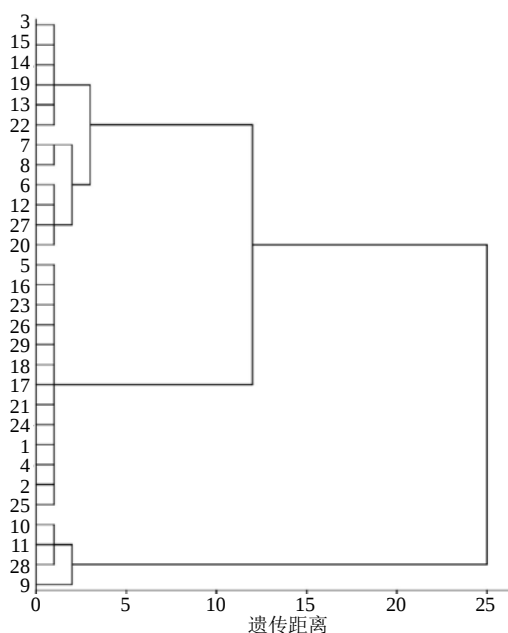


图 2 不同产地北柴胡样品的树状聚类图

Fig. 2 Dendrogram of *B. chinense* from different origins

3.3 北柴胡样地土壤因子差异及养分含量分析

对不同产地北柴胡土壤基本性质进行测定(表 3)。从表中可以看出不同产地土壤 pH 值在 6.21~8.49, 所有栽培样地土壤为中性至弱碱性, 多数野生样地为偏弱酸性; 有机质质量分数在 0.23%~11.89%, 其中样地 29 的有机质质量分数最高是 11.89%, 参考全国土壤养分含量分级标准, 样地 29 有机质含量是 1 级标准属于极丰富水平(表 4); 电导率在 34.70~317.66 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 其中样地 19 的电导率最高是 317.66 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 样地 24 的电导率最低是 34.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 碱解氮质量分数在 20.41~569.33 mg/kg, 其中样地 27 的碱解氮质量分数最高是 332.50 mg/kg, 样地 13 的含量最低是 20.41 mg/kg, 参考全国土壤养分含量分级标准样地 27 碱解氮含量是 1 级标准处于极丰富水平, 样地 13 碱

解氮含量是 6 级标准处于极缺乏水平(表 4); 速效磷质量分数在 2.39~528.29 mg/kg, 其中样地 17 的速效磷质量分数最高是 528.29 mg/kg, 参考全国土壤养分含量分级标准, 样地 17 速效磷质量分数是 1 级标准属于极丰富水平(表 4); 速效钾质量分数在 79.86~980.03 mg/kg, 其中样地 22 的速效钾质量分数最高是 980.03 mg/kg, 参考全国土壤养分含量分级标准样地 22 的速效钾含量是 1 级标准属于极丰富水平, 其余大部分样地速效钾的含量都很高, 大多都是 1 级或 2 级标准(表 4); 全氮质量分数在 0.05%~0.83%, 其中样地 27 的全氮质量分数最高是 0.83%, 是其他样地的 1.60~16.68 倍; 有效镁质量分数在 71.13~537.33 mg/kg, 其中样地 14 的有效镁质量分数最高是 537.38 mg/kg, 其余大部分样地的有效镁含量均较高只有样地 7 的有效镁含量较低是 71.13 mg/kg; 有效铁质量分数在 10.63~196.92 mg/kg, 其中样地 16 的有效铁质量分数最低是 10.63 mg/kg, 参考全国土壤养分含量分级标准样地 16 有效铁含量是 2 级标准属于丰富水平(表 4); 有效锰质量分数范围在 5.09~207.58 mg/kg, 其中样地 29 的有效锰质量分数最高是 207.58 mg/kg, 参考全国土壤养分含量分级标准样地 29 的有效锰含量是 1 级标准属于极丰富水平(表 4); 有效铜质量分数范围在 0.50~7.05 mg/kg, 其中样地 1 的有效铜质量分数最高是 7.05 mg/kg, 参考全国土壤养分含量分级标准样地 1 有效铜含量是 1 级标准属于极丰富水平; 有效锌质量分数范围在 0.04~7.43 mg/kg, 样地 1 的有效锌质量分数最高为 3.42 mg/kg, 参考全国土壤养分含量分级标准样地 1 的有效锌含量是 1 级标准属于极丰富水平(表 4)。

3.4 北柴胡土壤因子与柴胡皂苷相关性分析

采用 SPSS 19.0 对不同产地北柴胡土壤因子与柴胡皂苷含量进行 Pearson 相关性分析, 由表 5 可知, 柴胡皂苷 a 与有机质、有效铁呈极显著正相关($P<0.01$), 与有效铜呈显著负相关($P<0.05$); 柴胡皂苷 c 与有效铁呈显著正相关($P<0.05$), 与有效铜呈显著负相关($P<0.05$), 与有效镁呈极显著负相关($P<0.01$); 柴胡皂苷 d 与有机质、有效铁呈极显著正相关($P<0.01$), 柴胡皂苷 e 与有效铁呈极显著正相关($P<0.01$), 与有效铜呈显著负相关($P<0.05$), 与有效镁呈极显著负相关($P<0.01$); 柴胡皂苷 f 与有效铁呈显著正相关($P<0.05$); 柴胡总皂苷与有机质、有效铁呈极显著正

表 3 不同产地北柴胡土壤理化指标

Table 3 Basic properties of *B. chinense* in different origins

产地	pH	有机质/%	电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	碱解氮/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
1	7.374±0.087jkl	0.539±0.133l	241.067±40.625c	81.083±2.021g	349.193±11.743b	173.803±4.025hi
2	7.356±0.233kl	0.627±0.033kl	127.367±9.459h	74.083±7.286ghi	46.564±1.157d	339.830±35.897d
3	8.437±0.075ab	6.908±0.360e	106.233±4.188i	151.667±4.041f	12.806±0.781d	252.938±2.337f
4	7.799±0.118efgh	3.026±0.649gh	84.267±3.573j	287.000±7.000c	9.457±0.596d	191.859±1.627gh
5	8.532±0.115a	4.688±1.097f	176.367±4.067efg	231.000±7.000d	6.788±1.197d	193.164±0.485gh
6	7.657±0.141ghi	5.007±0.228f	54.633±0.833k	74.375±7.578ghi	66.144±2.856d	131.273±3.986kl
7	6.797±0.063m	2.238±0.366i	46.233±6.768k	39.375±4.375jk	28.522±2.530d	127.893±23.592klm
8	7.159±0.061l	2.276±0.301i	45.000±5.011k	39.375±7.578jk	43.749±2.516d	140.132±27.145jk
9	6.705±0.029mn	2.162±0.197i	45.933±0.723k	46.667±10.104hijk	43.482±3.655d	179.591±18.649ghi
10	7.869±0.161efg	3.603±0.066g	85.000±2.821j	55.417±6.683ghij	15.707±0.642d	169.559±1.843hi
11	6.646±0.196mn	2.429±0.284hi	50.400±1.179k	43.750±4.375ijk	2.745±0.260d	134.442±19.371jkl
12	8.214±0.047bcd	3.148±0.174gh	78.400±4.657j	55.417±10.104ghij	27.992±0.323d	116.061±4.506klmn
13	8.355±0.050abc	1.270±0.215jk	80.667±2.857j	20.417±5.052k	10.807±0.279d	173.328±10.287hi
14	8.019±0.076de	0.242±0.038l	177.900±13.564ef	78.750±14.000gh	57.920±2.004d	79.867±2.106p
15	8.193±0.402cd	0.484±0.156l	225.000±10.392c	56.583±7.286ghij	89.319±5.044d	96.146±7.805nop
16	7.769±0.056fgh	2.145±0.184i	278.333±8.622b	145.250±3.500f	228.275±286.386c	702.573±38.279b
17	7.928±0.055def	0.330±0.087l	198.933±25.519d	32.083±4.041jk	528.299±8.017a	86.575±8.235op
18	7.706±0.200fghi	0.191±0.002l	157.000±2.651g	332.500±3.500b	39.247±0.799d	395.418±6.148q
19	7.515±0.152ijk	1.397±0.200j	317.667±1.528k	231.000±7.001d	33.799±1.351d	341.736±11.846q
20	7.903±0.271ef	1.815±1.214ij	163.800±39.140fg	73.500±3.500ghi	5.878±1.031d	287.328±17.477e
21	8.496±0.063a	0.255±0.015l	186.967±1.457de	133.000±0.001f	7.767±1.517d	125.116±1.589klm
22	7.601±0.071hij	0.232±0.008l	169.767±2.139efg	150.500±3.500f	14.485±1.374d	980.031±15.955a
23	6.386±0.121op	7.074±0.058e	49.733±1.270k	249.667±58.287d	9.157±0.480d	112.208±4.208lmn
24	6.248±0.081p	3.483±1.156g	34.700±2.982k	77.000±18.520gh	3.019±1.287d	106.344±9.088mno
25	6.342±0.133op	8.404±0.599d	47.033±3.075k	319.667±29.143bc	12.196±0.399d	104.011±3.250mnop
26	6.285±0.146op	13.026±0.152a	44.767±1.422k	242.667±8.083d	2.399±0.393d	242.355±3.420f
27	6.507±0.051no	9.534±0.058c	133.767±15.592h	569.333±74.849a	18.424±1.118d	407.725±29.397c
28	6.216±0.146p	7.307±0.299l	46.333±1.767k	193.667±22.502e	5.288±0.358d	156.607±7.072ig
29	6.303±0.164op	11.895±0.100b	54.500±2.000k	245.000±7.000d	12.096±0.700d	203.704±7.497g
产地	有效磷/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮/%	有效铁/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效锰/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效铜/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效锌/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
1	352.557±5.677ef	0.070±0.002ef	26.274±1.199j	10.422±1.494kl	7.053±0.304a	7.431±0.194a
2	384.109±11.345def	0.085±0.003def	10.450±0.381e	20.690±3.747ij	2.786±0.044c	4.002±0.199cd
3	231.905±26.521hij	0.178±0.006cdef	21.397±0.814k	38.896±2.481f	2.348±0.072d	2.411±0.086fg
4	379.156±43.609def	0.110±0.012def	59.576±2.986g	26.393±0.637hi	0.715±0.113lmn	0.032±0.004o
5	416.273±28.461cde	0.139±0.008def	60.695±3.943fg	26.921±0.264hi	0.827±0.025kl	0.043±0.007o
6	524.853±67.150a	0.156±0.002cdef	6.028±0.564lmnop	5.925±0.812l	0.749±0.04lm	2.545±0.235fg
7	71.133±34.882n	0.084±0.001def	7.790±0.607lmn	13.946±2.685jk	0.597±0.161mn	2.796±0.469f
8	143.187±5.845klm	0.089±0.003def	6.739±1.329lmno	10.257±1.002kl	0.657±0.071lmn	2.488±0.537
9	88.443±88.541lmn	0.076±0.004ef	196.929±3.757b	18.637±1.158j	0.633±0.122lmn	2.532±0.366fg
10	130.433±43.362lmn	0.126±0.001def	40.075±1.524h	6.944±0.311kl	0.824±0.157kl	2.353±0.095ghi
11	344.217±12.858fg	0.090±0.001def	170.939±10.843c	8.567±2.378kl	0.698±0.157lmn	2.299±0.535ghi
12	202.047±7.761gh	0.121±0.003def	164.655±3.493d	5.090±0.179l	0.66±0.15lmn	2.115±0.199hi
13	273.843±60.101	0.064±0.001ef	2.250±0.339opq	6.879±0.159kl	0.52±0.073n	2.349±0.217ghi
14	537.339±11.175a	0.054±0.002ef	4.244±1.178mnopq	17.686±2.918j	1.717±0.127	0.541±0.173n
15	397.776±15.739def	0.067±0.002ef	0.778±0.517q	6.160±3.676l	2.128±0.155ef	0.899±0.065lm
16	425.245±21.427cd	0.193±0.003cdef	2.411±0.363opq	25.955±5.193hi	1.672±0.070hi	2.071±0.03hij
17	401.484±11.655def	0.050±0.001f	1.630±0.618pq	13.919±2.679jk	2.308±0.079de	0.970±0.010l
18	481.267±7.716abc	0.146±0.001def	23.864±0.259jk	28.184±0.383h	3.768±0.176b	3.420±0.101e
19	173.488±15.169jkl	0.514±0.576b	31.096±0.406i	31.376±0.822gh	2.033±0.093fg	1.743±0.195jk
20	219.899±43.555hij	0.193±0.012cdef	22.973±0.853jk	39.513±4.833f	2.257±0.027de	2.385±0.086ghi
21	429.422±7.781cd	0.169±0.001cdef	65.461±3.089f	26.050±0.762hi	0.612±0.09mn	0.036±0.003o
22	393.693±25.178def	0.226±0.012cde	59.576±2.986g	26.393±0.637hi	0.715±0.113lmn	0.032±0.004o
23	388.922±123.97def	0.183±0.012cdef	7.930±0.558lm	92.379±1.509d	1.838±0.092gh	2.569±0.018fg
24	436.021±86.18bcd	0.064±0.003ef	3.050±0.898nopq	53.694±2.905e	1.266±0.036j	0.587±0.051mn
25	351.026±16.450ef	0.161±0.001cdef	4.472±0.538mnopq	97.984±4.616d	1.024±0.040k	3.808±0.049d
26	268.432±47.118hi	0.331±0.021c	2.813±0.388opq	122.525±18.107c	1.661±0.083hi	2.058±0.096ij
27	503.964±14.617ab	0.834±0.011a	208.087±2.064a	142.976±2.293b	1.724±0.319hi	4.544±0.047b
28	113.724±28.183lmn	0.147±0.008def	85.257±5.816e	35.830±3.727fg	0.529±0.033n	1.479±0.073k
29	404.438±51.377def	0.258±0.014cd	192.705±3.183b	207.581±6.570a	1.567±0.060i	4.238±0.059bc

不同字母表示具有显著差异性, $P < 0.05$ Different letters indicate significant differences, $P < 0.05$

表 4 土壤理化指标分级标准

Table 4 Soil physical and chemical index classification standard

级别	有机质/%	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	全氮/%	有效铁/(mg·kg ⁻¹)	有效锰/(mg·kg ⁻¹)	有效铜/(mg·kg ⁻¹)	有效锌/(mg·kg ⁻¹)
1 级	>4.00	>150	>40	>200	>0.20	>20	>30	>1.80	>3.00
2 级	3.01~4.00	121~150	20~40	150~200	0.15~0.20	10.10~20.00	15.10~30.0	1.10~1.80	1.01~3.00
3 级	2.01~3.00	90~120	10~20	100~150	0.1~0.15	4.60~10.00	5.10~15.00	0.21~1.00	0.51~1.00
4 级	1.00~2.00	60~90	5~10	50~100	0.07~0.10	2.60~4.50	1.10~5.00	0.11~1.20	0.31~0.50
5 级	0.60~1.00	30~60	3~5	30~50	0.05~0.07	<2.60	<1.10	<0.11	<0.31

表 5 北柴胡有效成分与土壤因子相关性分析

Table 5 Correlation coefficient of *B. chinense* effective component content and soil factors

指标	相关系数					
	柴胡皂苷 a	柴胡皂苷 c	柴胡皂苷 d	柴胡皂苷 e	柴胡皂苷 f	柴胡总皂苷
pH	-0.168	-0.173	0.096	0.203	0.017	-0.058
有机质	0.610**	0.238	0.476**	0.348	0.268	0.550**
电导率	-0.232	-0.303	-0.132	-0.353	-0.185	-0.285
全氮	0.107	-0.093	-0.033	-0.198	0.056	-0.013
速效氮	-0.070	-0.254	-0.297	-0.369	-0.155	-0.266
速效磷	-0.235	-0.098	-0.161	-0.197	-0.112	-0.190
速效钾	-0.116	-0.126	0.040	-0.232	-0.189	-0.126
有效铁	0.503**	0.384*	0.552**	0.585**	0.458*	0.617**
有效铜	-0.391*	-0.401*	-0.359	-0.440*	-0.290	-0.471*
有效镁	-0.275	-0.535**	-0.322	-0.529**	-0.053	-0.449*
有效锌	-0.030	0.037	-0.089	0.055	-0.055	-0.016
有效锰	-0.146	-0.206	-0.350	-0.319	-0.183	-0.299

*相关性显著 ($P < 0.05$); **相关性极显著 ($P < 0.01$)*Correlation is significant ($P < 0.05$); **Correlation is very significant ($P < 0.01$)

相关 ($P < 0.01$), 与有效铜、有效镁呈显著负相关 ($P < 0.05$)。综上所述, 土壤中的有机质、有效铁对柴胡皂苷的积累具有重要作用, 即适当的提高土壤中的有机质、有效铁的含量可以促进柴胡皂苷成分的积累。

3.5 不同产地北柴胡土壤因子主成分分析

采用 SPSS 19.0 对土壤因子进行主成分分析, 表 6 中显示前 4 个主成分累计贡献率达 70% 以上, 即这 4 个主成分就能解释大部分数据, 所以对这 4 个主成分进行提取分析。由表 7 可知主成分 1 中, 因子载荷量较大的变量分别是有机质、全氮、有效铁, 主成分 2 中因子载荷量较大的变量是电导率、有效铜、有效镁, 主成分 3 中因子载荷量较大的变量是有效锌, 主成分 4 中因子载荷量较大的变量是速效钾, 由表 6 可知主成分 1 方差贡献率为 27.29%, 主成分 2 方差贡献率为 21.20%, 主成分

表 6 土壤指标方差分解主成分提取分析表

Table 6 Extraction of principal components analysis

主成分	始初特征值			提取求和的平方载荷		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.276	27.296	27.296	3.276	27.296	27.296
2	2.545	21.208	48.504	2.545	21.208	48.504
3	1.698	14.153	62.657	1.698	14.153	62.657
4	1.371	11.426	74.084	1.371	11.426	74.084
5	0.957	7.976	82.059			
6	0.552	4.599	86.658			
7	0.464	3.870	90.528			
8	0.408	3.404	93.932			
9	0.245	2.046	95.977			
10	0.234	1.953	97.930			
11	0.152	1.268	99.198			
12	0.096	0.802	100.000			

表 7 各土壤指标主成分载荷矩阵

Table 7 Component matrix (a) of soil

土壤因子	主成分			
	1	2	3	4
pH	-0.656	0.138	0.455	0.209
有机质	0.829	-0.260	0.001	0.452
电导率	-0.377	0.702	0.409	0.249
全氮	0.842	0.269	0.270	0.209
速效氮	0.017	0.319	0.247	-0.009
速效磷	-0.430	0.510	-0.428	0.188
速效钾	0.155	0.279	0.555	0.520
有效铁	0.791	-0.627	0.078	0.428
有效铜	-0.161	0.726	-0.409	0.305
有效镁	0.052	0.617	0.242	-0.487
有效锌	0.357	0.326	-0.677	0.344
有效锰	0.562	0.215	-0.095	-0.283

3、主成分 4 的方差贡献率均较小, 分别为 14.15%、11.42%, 所以主成分 1、主成分 2 中的有机质、全氮、有效铁、电导率、有效铜、有效镁, 对土壤的影响较为显著, 主成分 3、4 中的变量对土壤的影响较弱。

对各产地主成分得分及综合得分进行计算, 由表 8

表 8 各产地主成分得分及综合得分

Table 8 Principal component scores and composite score

样地编号	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	综合得分
1	-0.28	-2.29	-1.20	0.65	-0.66
2	-0.66	1.09	-0.76	0.00	-0.06
3	0.28	-0.12	0.20	1.21	0.22
4	-0.28	-0.63	1.25	-1.02	-0.15
5	-0.86	-0.01	1.93	-0.54	-0.03
6	0.10	0.64	0.08	-0.17	0.15
7	-1.69	4.05	-3.69	2.18	0.12
8	1.89	0.14	-1.14	-1.49	0.21
9	-0.28	0.47	2.57	1.70	0.58
10	6.42	2.13	1.05	1.51	2.53
11	-0.68	1.99	2.00	0.69	0.60
12	-0.90	1.18	-0.09	0.16	0.01
13	1.41	0.32	-0.89	-1.65	0.14
14	1.72	0.54	0.73	-1.23	0.55
15	-2.12	0.99	0.48	-0.69	-0.38
16	-2.95	2.04	-1.17	-0.16	-0.56
17	-0.17	-0.98	-0.71	-1.02	-0.47
18	-0.56	-3.16	0.02	2.59	-0.52
19	-0.23	1.54	1.93	-0.17	0.52
20	0.07	-0.58	0.84	0.73	0.10
21	-1.51	0.63	1.29	-0.92	-0.20
22	2.32	0.09	-0.45	-1.03	0.47
23	-1.37	-0.83	0.14	-0.49	-0.59
24	0.03	-0.90	-0.50	-1.97	-0.48
25	-0.23	-2.09	-1.00	0.47	-0.59
26	-0.51	-1.94	-0.85	0.40	-0.63
27	-0.11	1.14	-0.16	0.64	0.26
28	3.26	0.74	-1.23	-1.32	0.72
29	1.51	-2.54	-0.53	0.96	-0.09

可知综合得分较高的是样地 9、10、11、14、19、28，其中样地 9、10、11、28 样品中柴胡皂苷 a 和 d 的总含量较高，得分中等的是样地 2、3、5、6、7、8、12、13、20、21、22、27、29，其中大部分样地样品的总皂苷含量处于中等水平，得分较低的是样地 1、4、15、16、17、18、23、24、25、26，其中大部分样地样品中柴胡皂苷含量也较低。

通过上述分析推测影响北柴胡柴胡皂苷含量的主要土壤因子是有机质、全氮、有效铁、电导率、有效铜、有效镁，其次是有效锌、速效钾。根据“3.1”项、“3.3”项结果显示，综合得分较低且柴胡皂苷含量较低样地的土壤中有有效铁含量较低，但是有效镁以及有效铜含量较高，推测在一定范围内，有效铁含量越高越有利于柴胡皂苷

的积累；而有效镁、有效铜含量越高越不利于柴胡皂苷的积累。

4 讨论

综上所述，11 个省市自治区 29 个样地北柴胡的柴胡皂苷含量差异明显，导致北柴胡质量差异的土壤因子主要是土壤有机质、有效铁、有效镁和有效铜。在选择北柴胡生产基地时，应适当考虑有机质、有效铁含量较丰富，而有效镁、有效铜含量较贫瘠的土壤。土壤有机质 2 级、有效铁 3 级的土壤更有利于优质北柴胡的生产，或在北柴胡生产实践中适当增施铁肥和有机肥。

植物的生长发育离不开土壤，土壤理化性质的优劣直接影响药用植物的生长发育、产量及次生代谢产物的种类和数量^[11-12]。Cheng 等^[13]研究发现适当的干旱有利于黄芩苷的积累。林红梅^[14]研究发现土壤中较高的 Cu、Mn、Zn 元素含量对人参单体皂苷合成有一定的促进作用，而 Na 元素含量的增加不利于人参皂苷合成。谢彩香等^[15]研究发现适当提高土壤中有有效硼、有效铁和碱解氮的含量可以促进人参皂苷成分的积累。吴毓苗^[16]认为适当提高全钾和速效钾有利于人参皂苷的积累。Li 等^[17]研究发现当施磷量高于 20 kg/公顷桔梗皂苷含量开始降低。王露^[18]研究发现在一定范围内控制土壤中有有效钼的含量，可以提高柴胡皂苷 a、d 的含量。朱再标^[19]认为土壤中的氮元素对柴胡产量及柴胡皂苷 a 含量影响较大。

基于聚类分析、主成分分析和 Pearson 相关分析，本实验揭示了土壤有机质、有效铁含量的丰亏是导致不同产地北柴胡柴胡皂苷含量差异的主导土壤生态因子。在 1.39%~3.60%内，有机质含量越高越有利于柴胡皂苷的积累；有效铁含量在 3.05~31.09 mg/kg 内，柴胡皂苷含量随有效铁含量的升高呈递增趋势。在北柴胡生产实践中，可以通过适当提高土壤有机质含量，增施铁肥等农艺措施来调控北柴胡柴胡皂苷含量。本研究为北柴胡精准施肥、土壤养分管理及选择适宜发展区域提供了参考依据，但是，土壤生态因素比较复杂，需要进一步通过控制性试验更深入地阐释土壤因子对柴胡皂苷含量及其合成积累的影响。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [2] 黄涵笠, 王潇晗, 付航, 等. 柴胡属药用植物资源研究进展 [J]. 中草药, 2017, 48(14): 2989-2996.

- [3] 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.
- [4] 谭玲玲, 陈莹, 蔡霞, 等. 北柴胡的生物学及化学成分的研究进展 [J]. 中草药, 2005, 36(9): 155-157.
- [5] 叶耀辉, 史毅, 张博文, 等. 不同产地北柴胡药材的UPLC/Q-TOF-MS 指纹图谱分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(18): 124-129.
- [6] 龚建华, 石森林. 五个产地北柴胡中皂苷含量的比较 [J]. 中华中医药学刊, 2014, 32(1): 200-203.
- [7] 刘沁舫, 谭利, 白焱晶, 等. 柴胡属植物皂苷近10年研究概况 [J]. 中国中药杂志, 2002, 27(1): 11-15.
- [8] 焦晓林, 高微微. 环境因子对药用植物三萜皂苷合成影响的研究进展 [J]. 中草药, 2011, 42(2): 398-402.
- [9] 翟娟园, 吴卫, 廖凯, 等. 土壤环境对川白芷产量和品质的影响研究 [J]. 中草药, 2010, 41(6): 984-988.
- [10] 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.
- [11] 钟霞军, 谈远锋. 土壤因素对道地药材品质影响的研究进展 [J]. 南方农业学报, 2012, 43(11): 1708-1711.
- [12] 郭巧生, 梁迎暖, 张重义, 等. 土壤因子对怀菊质量影响研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(2): 123-128.
- [13] Cheng L, Han M, Yang L. Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of *Scutellaria baicalensis* Georgi under drought stress [J]. *Industrial Crops & Products*, 2018, 122(3): 473-482.
- [14] 林红梅. 生态因子对人参皂苷含量及其生物合成关键酶基因表达的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.
- [15] 谢彩香, 索风梅, 贾光林, 等. 人参皂苷与生态因子的相关性 [J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7551-7563.
- [16] 吴毓苗. 三七不同生育期皂苷积累状况研究 [D]. 昆明: 云南中医学院, 2018.
- [17] Li X Z, Dan L. Effects of different phosphorus applications on growth and platycodin content of Balloon Flower (*Platycodon grandiflorum*) [J]. *Sci Horticult*, 2014, 178(8): 8-13.
- [18] 王露. 青川北柴胡生长土壤养分特性研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [19] 朱再标. 柴胡配方施肥及需水规律研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.