

粗茎秦艽根茎品质与栽培土壤化学因子的相关性分析

宋九华^{1,2}, 孟杰¹, 曾羽¹, 李瑶¹, 成涛³, 陈兴福^{1,①}

(1. 四川农业大学农学院, 四川 温江 611130; 2. 乐山师范学院化学系, 四川 乐山 614004; 3. 四川回春堂药业公司, 四川 遂宁 629000)

摘要: 对云南丽江鲁店乡 18 个样点粗茎秦艽 (*Gentiana crassicaulis* Duth. ex Burk.) 的根茎品质指标以及栽培土壤基本养分和矿质元素含量进行了测定; 在此基础上, 分析了根茎品质指标与土壤化学指标的相关性, 并采用逐步回归分析方法筛选出影响粗茎秦艽根茎品质的主要土壤化学因子。测定结果表明: 各样点间粗茎秦艽根茎的总灰分、酸不溶性灰分、水分、醇溶性浸出物、马钱苷酸和龙胆苦苷含量的差异较大, 平均值分别为 2.84%、0.28%、6.21%、28.57%、1.53% 和 4.70%, 均符合相关的药材标准。土壤 pH 值为 pH 4.67 ~ pH 6.83, 平均值为 pH 5.51; 土壤有机质、速效 N、速效 P 和速效 K 含量差异明显, 平均值分别为 7.38%、128.09 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、86.85 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 232.33 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 土壤中交换性 Ca、交换性 Mg、有效 Zn、有效 Mn、有效 Fe 和有效 Cu 含量也有较大差异, 平均值分别为 1391.16、91.87、2.81、56.18、51.07 和 0.92 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。相关性分析结果表明: 土壤速效 P 含量与粗茎秦艽根茎中醇溶性浸出物和龙胆苦苷含量分别呈极显著和显著正相关; 土壤有效 Fe 含量与根茎中总灰分、酸不溶性灰分、醇溶性浸出物和龙胆苦苷含量呈极显著或显著正相关; 土壤有效 Cu 含量与根茎中总灰分含量呈极显著正相关。逐步回归分析结果表明: 影响粗茎秦艽根茎中总灰分含量的土壤化学因子是有效 Zn、有效 Fe 和有效 Cu 含量, 影响根茎中酸不溶性灰分和龙胆苦苷含量的土壤化学因子是有效 Fe 含量, 影响根茎中醇溶性浸出物含量的是速效 P 含量; 而根茎中水分和马钱苷酸含量与各土壤化学因子均无明显的回归关系。综合分析结果显示: 云南丽江粗茎秦艽种植区域的土壤均呈弱酸性, 基本养分充足、矿质元素含量丰富, 适宜于粗茎秦艽的生长; 土壤有效 Fe 含量对粗茎秦艽根茎的品质指标影响最大, 在实际生产中应适当喷施含 Fe 的微肥。

关键词: 粗茎秦艽; 根茎; 品质指标; 土壤化学因子; 相关性分析; 逐步回归分析

中图分类号: Q948.113; S567.23⁺9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2014)04-0075-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2014.04.11

Analysis on correlation between quality of *Gentiana crassicaulis* rhizome and chemical factor of cultivated soil SONG Jiuhua^{1,2}, MENG Jie¹, ZENG Yu¹, LI Yao¹, CHENG Tao³, CHEN Xingfu^{1,①}
(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China; 2. Department of Chemistry, Leshan Normal College, Leshan 614004, China; 3. Sichuan Huichuntang Pharmaceutical Company, Suining 629000, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2014, 23(4): 75-82

Abstract: Quality indexes of rhizome of *Gentiana crassicaulis* Duth. ex Burk. and contents of basic nutrients and mineral elements in its cultivated soil from eighteen sampling points at Ludian Township in Lijiang of Yunnan Province were detected. On this basis, correlation between rhizome quality indexes and soil chemical indexes was analyzed, and the main soil chemical factors influencing quality of *G. crassicaulis* rhizome were selected by stepwise regression analysis method. The results show that differences in contents of total ash, acid-insoluble ash, water, ethanol-soluble extractive, loganic acid and gentiopicroside in *G. crassicaulis* rhizome among different sampling points are bigger with average values of 2.84%, 0.28%, 6.21%, 28.57%, 1.53% and 4.70%, respectively, all of them conform to the related medicinal material standards. Soil pH value is pH 4.67-pH 6.83 with an average of pH 5.51. Differences in contents of organic matter, available N, available P and available K in soil are obvious with average values of 7.38%, 128.09 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 86.85 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and 232.33 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,

收稿日期: 2014-04-10

基金项目: 四川省“十二五”农作物及畜禽育种攻关专项(2011NZ0098-12-01)

作者简介: 宋九华(1974—),女,四川仁寿人,博士研究生,主要从事药用植物资源评价及次生代谢产物研究。

①通信作者 E-mail: chenxf64@sohu.com

respectively. Differences in contents of exchangeable Ca, exchangeable Mg, effective Zn, effective Mn, effective Fe and effective Cu in soil are also bigger with average values of 1 391.16, 91.87, 2.81, 56.18, 51.07 and $0.92 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. The result of correlation analysis shows that content of available P in soil appears extremely significantly and significantly positive correlations to contents of ethanol-soluble extractive and gentiopicroside in *G. crassicaulis* rhizome, respectively. Content of effective Fe in soil appears extremely significantly or significantly positive correlations to contents of total ash, acid-insoluble ash, ethanol-soluble extractive and gentiopicroside in rhizome. Content of effective Cu in soil appears extremely significantly positive correlation to content of total ash in rhizome. The result of stepwise regression analysis shows that soil chemical factors influencing content of total ash in *G. crassicaulis* rhizome are contents of effective Zn, effective Fe and effective Cu, that influencing contents of acid-insoluble ash and gentiopicroside in rhizome is content of effective Fe, that influencing content of ethanol-soluble extractive in rhizome is content of available P, while contents of water and loganic acid in rhizome have no significant regression to soil chemical factors. The results of comprehensive analysis indicate that soil of cultivated region of *G. crassicaulis* in Lijiang of Yunnan Province is weak acidic, its basic nutrients are abundant and mineral element contents are rich, it is suitable for *G. crassicaulis* to grow. Effect of effective Fe content in soil on quality indexes of *G. crassicaulis* rhizome is the most and it should be appropriately spraying micronutrient fertilizer containing Fe in actual production.

Key words: *Gentiana crassicaulis* Duth. ex Burk.; rhizome; quality index; soil chemical factor; correlation analysis; stepwise regression analysis

中药材秦艽为龙胆科 (*Gentianaceae*) 龙胆属 (*Gentiana* Linn.) 草本植物秦艽 (*G. macrophylla* Pall.)、麻花秦艽 (*G. straminea* Maxim.)、粗茎秦艽 (*G. crassicaulis* Duth. ex Burk.) 或小秦艽 (*G. dahurica* Fisch.) 的干燥根, 主要用于治疗风湿痹痛、中风半身不遂、筋脉拘挛、骨节酸痛、湿热黄疸、骨蒸潮热及小儿疳积发热等症^[1]。以龙胆苦苷 (gentiopicroside) 为主的环烯醚萜苷类化合物是中药材秦艽的特征成分^[2], 也是其主要的有效药用成分和苦味成分, 其中龙胆苦苷具有抑菌、保肝、抗炎和抗病毒等多方面作用, 而马钱苷酸 (loganic acid) 则具有一定的抗炎作用。

土壤是道地药材原植物养分的供应源, 植物从土壤中不断吸收养分以完成自身的代谢过程, 并生成和积累有效药用成分, 因此, 土壤因子的特性直接影响中药材的品质和产量^[3-7]。李佳峰等^[8]认为: 秦艽主要药效成分龙胆苦苷的含量与土壤的部分理化性质具有一定的相关性, 因此选择适合龙胆苦苷积累的土壤条件进行种植是获得优良秦艽药材原植物的重要环节。然而, 目前关于秦艽药材的研究主要集中在药理活性和有效成分分析等方面^[9-10], 而有关秦艽原植物中药用成分组成及含量与其种植区域环境因子间关系的研究报道却较少^[11], 尚未引起相关研究者的重视。

粗茎秦艽为中药材秦艽的原植物之一, 云南省玉

龙县为其道地产区^[12], 目前该县粗茎秦艽的生产面积近千公顷, 是国内最大的秦艽药材种植基地。为了解产地土壤理化性质对粗茎秦艽药材品质的影响, 作者以来源于云南省丽江市玉龙县鲁甸乡不同生产区域的粗茎秦艽根茎为研究对象, 对粗茎秦艽根茎的总灰分、酸不溶性灰分、水分、醇溶性浸出物、马钱苷酸和龙胆苦苷含量等品质指标以及土壤酸碱度和有机质、速效 N、速效 P、速效 K 含量及交换性 Ca、交换性 Mg、有效 Zn、有效 Mn、有效 Fe 和有效 Cu 含量等土壤化学指标进行测定和比较, 并对根茎品质指标与土壤化学指标的相关性进行分析; 在此基础上, 采用多元线性逐步回归分析法筛选出影响粗茎秦艽根茎品质的主要土壤化学因子, 以期为粗茎秦艽道地药材的人工栽培提供参考依据, 并为粗茎秦艽药材道地性研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 采样点的设置 根据粗茎秦艽道地产区云南省丽江市玉龙县鲁甸乡的地形和分布面积设置 18 个采样点。其中, 鲁甸村设 3 个采样点 (编号 1、2、3)、杵峰村设 5 个采样点 (编号 4、5、6、7、8)、安乐村设 4 个采样点 (编号 9、10、11、12)、拉美荣村设 6 个采样点 (编号 13、14、15、16、17、18)。

1.1.2 仪器和试剂 实验使用的主要仪器包括日立 Z-2000 型火焰原子吸收分光光度计(日本日立公司)、LC-2010A 型高效液相色谱仪(日本岛津公司)、KQ3200E 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)和 TU-1901 型紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。龙胆苦苷对照品(批号 MUST-12081505)购自成都曼思特生物制品有限公司;马钱苷酸对照品(批号 111865-201102)购自中国食品药品检定研究所;K、Ca、Mg、Fe、Mn 及 Zn 标准溶液(光谱纯)均由北京化工冶金研究院提供,其他试剂均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 样品采集及处理 于 2012 年 11 月在每个采样点按照“五点法”分别采集粗茎秦艽全株样品及耕作层土壤,每点分别采集粗茎秦艽样株 2 株及土壤样品 1 份,即每个采样点共采集样株 10 株、土样 5 份。取所有样株的根茎,洗净后于 40 °C 烘干并过 80 目筛,备用;将每个采样点的 5 份土样充分混合并自然风干,磨细后备用。

1.2.2 根茎品质指标测定 粗茎秦艽根茎样品中总灰分、酸不溶性灰分、水分和醇溶性浸出物含量参照文献[1]的方法进行测定。

龙胆苦苷和马钱苷酸含量测定采用 HPLC 法^[13]。色谱条件:Sepax Gp-C₁₈(150 mm×4.6 mm,5 μm) 色谱柱;柱温 25 °C;流动相为乙腈-体积分数 0.1% 磷酸混合液,流速 1.0 mL·min⁻¹;检测波长 254 nm。

标准曲线绘制:精密称取龙胆苦苷和马钱苷酸对照品适量,分别用甲醇配制成质量浓度 6.0 mg·mL⁻¹ 的对照品储备液;再用甲醇配制成含有 1.2 mg·mL⁻¹ 龙胆苦苷和 0.6 mg·mL⁻¹ 马钱苷酸的对照品混合溶液;精密吸取上述对照品混合溶液 0.1、0.5、1.0、5.0、10.0、15.0、20.0 和 40.0 μL,按照前述色谱条件进行 HPLC 分析。以峰面积为纵坐标 y 、进样量为横坐标 x 绘制标准曲线。龙胆苦苷对照品的回归方程为 $y = (1.423 \times 10^7)x - (1.224 \times 10^4)$ ($r = 0.9998$),线性范围为 0.12 ~ 48.00 μg;马钱苷酸对照品的回归方程为 $y = (1.611 \times 10^6)x + (6.673 \times 10^3)$ ($r = 0.9996$),线性范围为 0.06 ~ 24.00 μg。

样品提取及测定:精确称取粗茎秦艽根茎干燥粉末约 0.5 g,准确加入 20 mL 甲醇,称量后超声提取 40 min,冷却后用甲醇补足质量;提取液用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液即为供试样品溶液。取 10 μL 供

试样品溶液,按照上述色谱条件进行分析,每个样品重复测定 3 次。依据龙胆苦苷和马钱苷酸对照品的回归方程、采用外标法分别计算样品中的龙胆苦苷和马钱苷酸含量。

1.2.3 土壤基本养分及矿质元素含量测定 采用酸度计电位法^{[14]163-165}测定土壤 pH 值;采用重铬酸钾氧化法^{[14]30-34}测定土壤有机质含量;采用碱解扩散法^{[14]56-57}测定土壤速效 N 含量;采用氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法^{[14]86-87}测定土壤速效 P 含量;采用中性乙酸铵溶液浸提-火焰光度法^{[14]106-107}测定土壤速效 K 含量;采用中性乙酸铵溶液浸提-原子吸收分光光度法^{[14]161-162}测定土壤交换性 Ca 和交换性 Mg 含量;采用原子吸收分光光度法^[15]测定土壤有效 Fe、有效 Mn、有效 Zn 和有效 Cu 的含量。各指标均重复测定 3 次。

1.3 数据处理与分析

采用 EXCEL 2007 软件对测定数据进行统计分析;利用 SPSS 11.0 统计分析软件对土壤化学因子与粗茎秦艽根茎品质指标进行相关性分析和逐步回归分析。

2 结果和分析

2.1 不同样点粗茎秦艽根茎品质指标的比较

云南丽江鲁甸乡不同样点粗茎秦艽根茎品质指标的比较见表 1。由表 1 可以看出:粗茎秦艽根茎的总灰分、酸不溶性灰分、水分、马钱苷酸及龙胆苦苷含量在不同样点间的差异较大,平均值分别为 2.84%、0.28%、6.21%、28.57%、1.53% 和 4.70%;变异范围分别为 2.31% ~ 3.42%、0.04% ~ 0.77%、5.44% ~ 7.34%、25.33% ~ 31.91%、1.11% ~ 2.02% 和 1.50% ~ 6.10%。其中,酸不溶性灰分含量的变异程度最大, RSD 值达到 85.41%;醇溶性浸出物含量的差异最小, RSD 值仅为 5.81%。

2.2 不同样点粗茎秦艽栽培土壤化学指标的比较

2.2.1 土壤酸碱性的比较 云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽种植区域不同样点的土壤 pH 值见表 2。由表 2 可以看出:粗茎秦艽种植区域不同样点土壤的酸碱性均有一定差异,变化范围为 pH 4.67 ~ pH 6.83,平均值为 pH 5.51, RSD 值为 11.07%。整体上看,粗茎秦艽种植区域土壤呈弱酸性。

2.2.2 土壤基本养分含量比较 云南丽江鲁甸乡粗

表1 云南丽江鲁甸乡不同样点粗茎秦艽根茎品质指标的比较($\bar{X}\pm SD, n=3$)Table 1 Comparison on quality indexes of *Gentiana crassicaulis* Duth. ex Burk. rhizome from different sampling points at Ludian Township in Lijiang of Yunnan Province ($\bar{X}\pm SD, n=3$)

| 样点号 ¹⁾ No. of sampling point ¹⁾ | 含量/% Content | | | | | |
|----------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| | 总灰分 Total ash | 酸不溶性灰分 Acid-insoluble ash | 水分 Water | 醇溶性浸出物 Ethanol-soluble extractive | 马钱苷酸 Loganic acid | 龙胆苦苷 Gentiopicroside |
| 1 | 3.01±0.07 | 0.11±0.00 | 6.29±0.11 | 29.33±0.48 | 1.62±0.02 | 4.85±0.07 |
| 2 | 2.31±0.05 | 0.75±0.02 | 5.44±0.14 | 31.91±0.45 | 1.11±0.00 | 6.10±0.10 |
| 3 | 3.27±0.03 | 0.22±0.00 | 6.52±0.11 | 29.51±0.81 | 1.37±0.04 | 5.59±0.11 |
| 4 | 2.42±0.07 | 0.56±0.01 | 5.58±0.05 | 25.33±0.55 | 1.40±0.01 | 1.50±0.04 |
| 5 | 2.48±0.07 | 0.06±0.00 | 6.77±0.10 | 26.11±0.48 | 1.16±0.03 | 3.46±0.10 |
| 6 | 3.06±0.06 | 0.29±0.00 | 7.34±0.09 | 27.54±0.32 | 1.93±0.05 | 5.15±0.15 |
| 7 | 3.42±0.08 | 0.61±0.00 | 5.98±0.17 | 29.48±0.18 | 1.52±0.03 | 5.42±0.15 |
| 8 | 3.00±0.05 | 0.19±0.00 | 6.86±0.11 | 26.02±0.71 | 1.34±0.04 | 4.97±0.10 |
| 9 | 2.77±0.05 | 0.27±0.00 | 6.12±0.14 | 28.66±0.55 | 1.76±0.05 | 5.48±0.08 |
| 10 | 2.86±0.04 | 0.20±0.00 | 5.87±0.00 | 28.13±0.61 | 1.16±0.03 | 4.29±0.12 |
| 11 | 2.42±0.07 | 0.16±0.00 | 6.32±0.10 | 27.94±0.43 | 1.67±0.05 | 4.94±0.14 |
| 12 | 3.41±0.03 | 0.77±0.01 | 6.80±0.11 | 29.32±0.81 | 1.96±0.05 | 5.51±0.09 |
| 13 | 2.64±0.07 | 0.04±0.00 | 6.32±0.18 | 30.14±0.70 | 1.44±0.01 | 5.21±0.11 |
| 14 | 2.82±0.08 | 0.19±0.00 | 5.44±0.16 | 29.24±0.54 | 2.02±0.03 | 4.61±0.12 |
| 15 | 2.80±0.08 | 0.07±0.00 | 6.23±0.18 | 30.25±0.27 | 1.29±0.01 | 4.47±0.10 |
| 16 | 3.12±0.06 | 0.49±0.00 | 6.14±0.13 | 29.17±0.57 | 1.74±0.03 | 5.70±0.05 |
| 17 | 2.54±0.04 | 0.08±0.00 | 5.70±0.11 | 28.97±0.61 | 1.52±0.04 | 4.12±0.10 |
| 18 | 2.75±0.08 | 0.06±0.00 | 6.12±0.09 | 27.14±0.48 | 1.52±0.02 | 3.28±0.03 |
| 平均值 Average | 2.84±0.34 | 0.28±0.24 | 6.21±0.52 | 28.57±1.66 | 1.53±0.28 | 4.70±1.10 |

¹⁾ 1-3: 鲁甸村 Ludian Village; 4-8: 杵峰村 Chufeng Village; 9-12: 安乐村 Anle Village; 13-18: 拉美荣村 Lameirong Village.

表2 云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽种植区域不同样点土壤 pH 和基本养分含量比较($\bar{X}\pm SD, n=3$)Table 2 Comparison on pH and basic nutrient content in soil from different sampling points of cultivated region of *Gentiana crassicaulis* Duth. ex Burk. at Ludian Township in Lijiang of Yunnan Province ($\bar{X}\pm SD, n=3$)

| 样点号 ¹⁾ No. of sampling point ¹⁾ | pH 值 pH value | 有机质含量/% Content of organic matter | 速效 N 含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Content of available N | 速效 P 含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Content of available P | 速效 K 含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Content of available K |
|----------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | 6.48±0.21 | 7.36±0.25 | 118.09±4.11 | 97.64±20.41 | 112.69±4.31 |
| 2 | 5.10±0.11 | 5.14±0.18 | 93.78±2.38 | 132.43±29.11 | 109.65±2.39 |
| 3 | 6.10±0.23 | 5.56±0.21 | 91.47±3.29 | 110.77±16.69 | 138.89±4.56 |
| 4 | 5.99±0.21 | 10.36±0.33 | 128.86±4.34 | 37.09±9.17 | 290.84±9.63 |
| 5 | 4.68±0.14 | 5.79±0.21 | 170.53±4.14 | 55.13±10.78 | 270.46±10.82 |
| 6 | 5.73±0.19 | 4.63±0.17 | 99.27±3.57 | 48.56±12.14 | 152.08±6.08 |
| 7 | 5.57±0.18 | 8.43±0.31 | 153.85±3.54 | 123.35±27.84 | 265.69±10.13 |
| 8 | 5.74±0.15 | 4.88±0.18 | 74.11±2.67 | 37.57±9.39 | 93.44±3.74 |
| 9 | 4.67±0.17 | 5.11±0.12 | 139.15±5.01 | 59.07±11.77 | 324.58±11.98 |
| 10 | 4.80±0.16 | 12.37±0.37 | 152.99±5.51 | 78.10±15.53 | 224.06±8.96 |
| 11 | 6.02±0.20 | 12.77±0.28 | 251.75±7.06 | 87.53±21.14 | 428.72±17.15 |
| 12 | 5.41±0.18 | 5.96±0.22 | 144.28±5.19 | 119.13±23.79 | 117.46±4.70 |
| 13 | 5.02±0.17 | 11.21±0.41 | 242.55±6.73 | 178.88±24.72 | 324.19±10.97 |
| 14 | 5.27±0.13 | 4.88±0.18 | 90.28±3.25 | 20.92±5.23 | 154.01±6.16 |
| 15 | 6.83±0.23 | 9.49±0.23 | 137.55±4.95 | 44.47±11.12 | 613.31±24.53 |
| 16 | 5.05±0.17 | 5.37±0.20 | 95.91±3.45 | 151.34±21.84 | 269.81±10.48 |
| 17 | 5.55±0.12 | 5.77±0.21 | 68.84±2.38 | 100.57±22.14 | 164.31±6.57 |
| 18 | 5.10±0.14 | 7.84±0.19 | 52.28±1.81 | 80.71±20.00 | 127.64±5.11 |
| 平均值 Average | 5.51±0.61 | 7.38±2.74 | 128.09±54.25 | 86.85±43.63 | 232.33±134.35 |

¹⁾ 1-3: 鲁甸村 Ludian Village; 4-8: 杵峰村 Chufeng Village; 9-12: 安乐村 Anle Village; 13-18: 拉美荣村 Lameirong Village.

茎秦艽种植区域不同样点土壤的基本养分含量见表2。由表2可知:各样点土壤的有机质含量差异较大,平均值为7.38%,其中,11号样点土壤的有机质含量最高(12.77 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),6号样点土壤的有机质含量最低(4.63 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),前者为后者的近3倍。

土壤速效N含量的差异也较明显,平均值为128.09 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中,速效N含量很丰富(含量高于150 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占28%;速效N含量较丰富(含量120~150 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占22%,速效N含量中等(含量90~120 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占33%,速效N缺乏(含量低于90 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占17%。说明云南丽江大部分粗茎秦艽栽培地土壤速效N含量属于中等适宜范围,少部分栽培地土壤的速效N含量极低或极高。

土壤速效P含量相差也较大,RSD值为50.24%,平均值为86.85 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中,速效P含量很丰富(含量高于40 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占83%,速效P含量处于丰富水平(含量20~40 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点仅占17%,13号样点土壤的速效P含量最高(178.88 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)。显示云南丽江粗茎秦艽栽培地土壤的速效P含量均

处于较高水平。

土壤速效K含量的差异也非常大,平均值为232.33 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中,速效K含量非常丰富(含量高于200 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占50%,速效K含量丰富(含量150~200 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占17%,速效K含量处于中等水平(含量100~150 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占28%,仅8号样点土壤的速效K含量低于100 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (仅占5%)。显示云南丽江粗茎秦艽栽培地土壤的速效K含量整体处于较丰富的水平。

2.2.3 土壤矿质元素含量比较 云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽种植区域不同样点土壤的矿质元素含量见表3。粗茎秦艽种植区域不同样点土壤中矿质元素含量的差异均较大,其中,有效Cu含量差异最大,RSD值高达120.65%;各矿质元素含量平均值由高到低依次为交换性Ca含量、交换性Mg含量、有效Mn含量、有效Fe含量、有效Zn含量、有效Cu含量。

在18个样点土壤中,交换性Ca含量丰富(500~1000 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占22%,交换性Ca含量较丰富(高于1000 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占78%;交换性Mg含量丰富(100~200 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占44%,交换性Mg

表3 云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽种植区域不同样点土壤矿质元素含量比较($\bar{X} \pm SD, n=3$)
Table 3 Comparison on mineral element contents in soil from different sampling points of cultivated region of *Gentiana crassicaulis* Duth. ex Burk. at Ludian Township in Lijiang of Yunnan Province ($\bar{X} \pm SD, n=3$)

| 样点号 ¹⁾ No. of sampling point ¹⁾ | 含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Content | | | | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 交换性Ca Exchangeable Ca | 交换性Mg Exchangeable Mg | 有效Zn Effective Zn | 有效Mn Effective Mn | 有效Fe Effective Fe | 有效Cu Effective Cu |
| 1 | 2 568.63±41.92 | 145.86±4.23 | 3.65±0.12 | 113.52±3.09 | 68.81±2.05 | 1.20±0.10 |
| 2 | 1 247.18±34.12 | 63.54±1.77 | 6.94±0.21 | 65.85±2.39 | 80.07±3.21 | 0.36±0.11 |
| 3 | 1 754.46±39.12 | 129.70±3.02 | 2.80±0.11 | 44.81±1.63 | 93.76±2.75 | 3.91±0.09 |
| 4 | 1 396.32±39.10 | 95.68±2.17 | 1.43±0.05 | 31.42±1.13 | 10.83±0.23 | 0.09±0.02 |
| 5 | 580.28±16.25 | 34.70±1.08 | 3.47±0.13 | 80.73±2.01 | 17.58±0.70 | 0.50±0.02 |
| 6 | 1 843.13±51.61 | 190.48±5.90 | 2.30±0.08 | 78.81±2.84 | 75.57±3.02 | 1.83±0.11 |
| 7 | 1 035.00±28.98 | 112.00±3.47 | 5.31±0.18 | 83.28±3.00 | 84.37±3.37 | 3.46±0.12 |
| 8 | 1 629.94±45.64 | 118.30±3.67 | 1.34±0.05 | 46.77±1.65 | 34.90±1.40 | 0.27±0.04 |
| 9 | 810.55±22.70 | 60.90±1.09 | 2.37±0.07 | 49.26±1.73 | 48.85±1.75 | 0.58±0.06 |
| 10 | 1 091.75±30.57 | 75.51±2.14 | 2.45±0.08 | 34.77±1.25 | 37.22±1.44 | 0.09±0.05 |
| 11 | 2 211.23±44.91 | 134.52±3.57 | 6.62±0.13 | 73.84±2.66 | 13.18±0.53 | 0.28±0.02 |
| 12 | 662.87±18.56 | 33.70±1.00 | 1.40±0.04 | 33.41±1.20 | 117.42±4.70 | 0.40±0.13 |
| 13 | 729.07±20.41 | 36.97±1.05 | 2.75±0.06 | 30.62±1.11 | 60.37±2.41 | 0.67±0.05 |
| 14 | 1 015.59±28.54 | 51.27±0.98 | 1.16±0.04 | 56.27±2.03 | 32.88±1.12 | 0.68±0.02 |
| 15 | 2 024.61±36.69 | 110.25±2.42 | 1.91±0.06 | 22.56±0.77 | 29.15±1.17 | 0.28±0.04 |
| 16 | 1 377.12±38.56 | 76.37±2.30 | 0.56±0.02 | 68.64±2.48 | 56.66±2.17 | 1.31±0.06 |
| 17 | 1 748.56±40.96 | 130.53±4.07 | 1.69±0.06 | 65.09±1.34 | 20.40±0.78 | 0.50±0.03 |
| 18 | 1 314.55±36.81 | 53.38±1.64 | 2.53±0.08 | 31.61±1.14 | 37.24±1.39 | 0.18±0.05 |
| 平均值 Average | 1 391.16±559.88 | 91.87±44.66 | 2.81±1.81 | 56.18±24.28 | 51.07±30.47 | 0.92±1.11 |

¹⁾1-3: 鲁甸村 Ludian Village; 4-8: 杵峰村 Chufeng Village; 9-12: 安乐村 Anle Village; 13-18: 拉美荣村 Lameirong Village.

含量中等($50 \sim 100 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占39%,交换性Mg含量缺乏(低于 $50 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占17%;有效Zn含量很丰富(高于 $3.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占28%,有效Zn含量丰富($1.0 \sim 3.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占67%,有效Zn含量中等($0.5 \sim 1.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点仅占5%;仅15号样点土壤有效Mn含量丰富($15 \sim 30 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),其余样点土壤有效Mn含量都很丰富(高于 $30 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$);有效Fe含量丰富($10 \sim 20 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占17%,有效Fe含量较丰富(高于 $20 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占83%;有效Cu含量较丰富(高于 $1.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占17%,有效Cu含量丰富($1.0 \sim 1.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占11%(即1号和16号样点),有效Cu含量缺乏(低于 $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占11%(即4号和10号样点),有效Cu含量中等($0.1 \sim 1.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)的样点占61%。总体上看,粗茎秦艽种植区域不同样点土壤中微量元素Mn、Fe、Zn和Cu的含量均较高。

2.3 粗茎秦艽根茎品质与种植区域土壤化学指标的相关性分析

云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽种植区域土壤化学指标与粗茎秦艽根茎品质指标的相关性分析结果见表4。粗茎秦艽根茎中的醇溶性浸出物和龙胆苦苷含量与土壤速效P含量分别呈极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)正相关,相关系数分别为0.590和0.512;根茎中总灰分和龙胆苦苷含量与土壤有效Fe含量均呈极显著正相关,相关系数分别为0.698和0.677;根茎中酸不溶性灰分和醇溶性浸出物含量与土壤有效Fe含量均呈显著正相关,相关系数分别为0.552和0.540;根茎的总灰分含量与土壤有效Cu含量呈极显著正相关,相关系数为0.640。分析结果显示:部分土壤基本养分和矿质元素含量对粗茎秦艽根茎品质指标有明显影响,尤其是土壤速效P和有效Fe含量的影响较大。

表4 云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽根茎品质指标与其种植区域土壤化学指标的相关系数¹⁾

Table 4 Correlation coefficient between quality indexes of *Gentiana crassicaulis* Duth. ex Burk. rhizome and soil chemical indexes of its cultivated region at Ludian Township in Lijiang of Yunnan Province¹⁾

| 土壤化学指标 Soil chemical index | 相关系数 Correlation coefficient | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | 总灰分含量 Content of total ash | 酸不溶性灰分含量 Content of acid-insoluble ash | 水分含量 Content of water | 醇溶性浸出物含量 Content of ethanol-soluble extractives | 马钱苷酸含量 Content of loganic acid | 龙胆苦苷含量 Content of gentiopicroside |
| pH | 0.163 | -0.108 | 0.133 | 0.064 | 0.027 | -0.084 |
| 有机质含量 Organic matter content | -0.280 | -0.201 | -0.208 | -0.081 | -0.302 | -0.335 |
| 速效N含量 Available N content | -0.208 | -0.096 | 0.124 | 0.057 | -0.067 | 0.064 |
| 速效P含量 Available P content | 0.176 | 0.272 | -0.061 | 0.590 ** | -0.078 | 0.512 * |
| 速效K含量 Available K content | -0.260 | -0.238 | -0.068 | 0.072 | -0.157 | -0.134 |
| 交换性Ca含量 Exchangeable Ca content | -0.019 | -0.289 | 0.097 | 0.023 | 0.019 | 0.001 |
| 交换性Mg含量 Exchangeable Mg content | 0.181 | -0.149 | 0.298 | -0.101 | 0.110 | 0.073 |
| 有效Zn含量 Effective Zn content | -0.306 | 0.170 | -0.141 | 0.320 | -0.324 | 0.278 |
| 有效Mn含量 Effective Mn content | 0.069 | 0.011 | 0.121 | 0.059 | 0.174 | 0.251 |
| 有效Fe含量 Effective Fe content | 0.698 ** | 0.552 * | 0.297 | 0.540 * | 0.263 | 0.677 ** |
| 有效Cu含量 Effective Cu content | 0.640 ** | 0.156 | 0.209 | 0.248 | 0.111 | 0.406 |

¹⁾ *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.4 影响粗茎秦艽根茎品质的主要土壤化学因子分析和筛选

由于土壤因子对植物药材品质指标的影响各不相同,加之自然界中各种生态因子的相互作用和相互影响,因而,简单的相关性分析不能完全客观地反映自变量与因变量之间的实际关系,而应采用多元线性逐步回归分析法^[16]寻找影响药材品质的主要土壤因子。以粗茎秦艽种植区域土壤的pH值(X_1)、有机质

含量(X_2)、速效N含量(X_3)、速效P含量(X_4)、速效K含量(X_5)、交换性Ca含量(X_6)、交换性Mg含量(X_7)、有效Zn含量(X_8)、有效Mn含量(X_9)、有效Fe含量(X_{10})及有效Cu含量(X_{11})为自变量,粗茎秦艽根茎的总灰分含量(Y_1)、酸不溶性灰分含量(Y_2)、水分含量(Y_3)、醇溶性浸出物含量(Y_4)、马钱苷酸含量(Y_5)及龙胆苦苷含量(Y_6)为因变量,应用多变量逐步回归分析法剔除对粗茎秦艽根茎品质指标影响较小

的土壤因子,最终获得粗茎秦艽根茎品质指标与主要土壤化学因子的回归方程和决定系数(R^2): $Y_1 = 2.657 - 0.080X_8 + 0.006X_{10} + 0.127X_{11}$ ($R^2 = 0.753$); $Y_2 = 0.060 + 0.004X_{10}$ ($R^2 = 0.304$); $Y_4 = 26.613 + 0.022X_4$ ($R^2 = 0.348$); $Y_6 = 3.456 + 0.024X_{10}$ ($R^2 = 0.459$)。而土壤化学指标与粗茎秦艽根茎的水分含量(Y_3)和马钱苷酸含量(Y_5)均无明显的回归关系。

由上述回归方程可见,对粗茎秦艽根茎总灰分含量影响最大的土壤化学因子分别是土壤的有效 Zn 含量(X_8)、有效 Fe 含量(X_{10})和有效 Cu 含量(X_{11}),相关系数分别为-0.080、0.006 和 0.127,决定系数为 0.753;土壤有效 Fe 含量(X_{10})分别与粗茎秦艽根茎的酸不溶性灰分含量(Y_2)和龙胆苦苷含量(Y_6)呈正相关,相关系数分别为 0.004 和 0.024;土壤速效 P 含量(X_4)与粗茎秦艽根茎的醇溶性浸出物含量(Y_4)呈正相关,相关系数为 0.022,决定系数为 0.348。

3 讨论和结论

3.1 云南丽江产粗茎秦艽根茎的品质状况以及种植区域土壤适应性评价

秦艽药材的质量标准为:总灰分含量不超过 8.0%,酸不溶性灰分含量不超过 3.0%,水分含量不超过 9.0%,醇溶性浸出物含量则不少于 24.0%,马钱苷酸和龙胆苦苷总量不低于 2.5%^[1]。本研究结果显示:来源于云南丽江鲁甸乡不同样点的粗茎秦艽根茎中总灰分、酸不溶性灰分和水分含量均明显低于这一标准,而马钱苷酸、龙胆苦苷和醇溶性浸出物含量均明显高于这一标准,说明云南丽江产粗茎秦艽根茎的质量优良。

根据相关文献^[16]报道的云南省土壤养分分级标准,供试 18 个样点的土壤有机质含量都达到丰富水平(高于 3.01%);速效 K 含量普遍较高,均处于中等以上水平;土壤速效 P 含量达到极丰富或丰富的水平,其平均值超过云南省一级土壤的速效 P 含量(高于 40 mg·kg⁻¹)标准的 2 倍;土壤速效 N 含量多处于中等或丰富水平,仅少量样点的土壤速效 N 含量处于极高或缺乏水平;土壤多呈弱酸性;土壤中交换性 Ca 含量、交换性 Mg 含量、有效 Zn 含量、有效 Mn 含量和有效 Fe 含量丰富,仅有效 Cu 含量处于中等水平,这可能与当地药农在种植粗茎秦艽过程中坚持喷施微肥有关。总体而言,云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽种植区

域的土壤肥力水平均较高,矿质元素含量也很丰富,而且这些土壤均为透水保肥力较强的轻壤或沙壤土,因此,云南丽江鲁甸乡粗茎秦艽种植区域的土壤对其根茎的生长有益。

3.2 土壤因子对粗茎秦艽根茎品质的影响

相关性和逐步回归分析结果表明:影响粗茎秦艽根茎品质的土壤基本养分因子为速效 P 含量,与粗茎秦艽根茎中醇溶性浸出物和龙胆苦苷含量分别呈极显著和显著正相关,其中,龙胆苦苷是粗茎秦艽药材有效成分水溶性裂环烯醚萜苷类化合物中最主要的成分之一,在粗茎秦艽药材高效液相色谱指纹图谱中占共有峰面积的 80% 左右^[17],其含量高低对粗茎秦艽药材品质有重要影响,在一定范围内土壤的速效 P 含量高将有利于粗茎秦艽根茎中龙胆苦苷的积累。土壤中的有机质含量与粗茎秦艽根茎中的龙胆苦苷含量呈负相关,虽然其相关性未达到显著水平,但与文献^[18]报道的结果相符。因此,在粗茎秦艽的栽培过程中应注意适当增施 P 肥,合理控制有机肥的使用。关于最佳施肥时间以及混合肥料的最佳配比等则需进一步的深入研究。

本研究中,栽培地土壤的有效 Fe 含量与粗茎秦艽根茎的总灰分、酸不溶性灰分、醇溶性浸出物和龙胆苦苷含量均呈显著或极显著正相关。由于土壤中 Fe 的有效性较低,其在植物体内的移动性也较差^[19],因此,建议当地农户多采取叶面喷施含 Fe 微肥的方法施肥,以促进粗茎秦艽体内有效成分的积累。

综上所述,云南丽江粗茎秦艽药材品质与土壤化学因子有一定的相关性,尤其是土壤的速效 P 和有效 Fe 含量对粗茎秦艽的药材品质有显著影响,说明速效 P 和有效 Fe 含量较为丰富的土壤是生产高品质粗茎秦艽药材的基础。由于逐步回归分析获得的 R^2 值均很小,说明各土壤化学指标只能部分解释对应的粗茎秦艽药材品质指标,不能完全用土壤主导因子预测对应的粗茎秦艽药材的质量指标水平。另外,在实际栽培过程中还要充分考虑各元素吸收过程中存在的协同或拮抗作用。

在实际生产中,为了获取高品质粗茎秦艽药材,应选择弱酸性且速效 P 含量较高的土地进行种植,并注意在植株叶面适当喷施含 Fe 的微肥。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010 年版(一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 253-254.

- [2] 曹晓燕, 王政军, 王喆之. 4种秦艽属植物不同器官中4种环烯醚萜苷成分含量的比较分析[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(1): 58-63.
- [3] 唐仕欢, 杨洪军, 黄璐琦. 论自然环境因子变化对中药药性形成的影响[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(1): 126-128.
- [4] 杨俊东, 陈兴福, 杨文钰, 等. 川泽泻质量与其根际土壤理化性质的相关性分析[J]. 中草药, 2012, 43(3): 581-587.
- [5] 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.
- [6] 魏强, 李福安. 青海不同生长环境对麻花苳质量的影响[J]. 中药材, 2012, 35(4): 534-538.
- [7] 张自萍, 史晓文, 曹丽华, 等. 枸杞品质及其与土壤肥力关系的研究[J]. 中草药, 2008, 39(8): 1238-1242.
- [8] 李佳峰, 岳明, 魏朔南. 秦艽等龙胆属植物中龙胆苦苷含量测定及其与土壤元素和pH值相关性研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2012, 19(10): 50-54.
- [9] 汪海英, 袁冬平, 李福安. 秦艽总苷抑瘤作用研究[J]. 山东中医杂志, 2010, 29(10): 704-705.
- [10] 王琳, 聂艳琼, 孙娜, 等. 秦艽的化学成分、分子生药学和药理学研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(18): 9629-9630, 9638.
- [11] 孙菁, 王延花, 徐文华, 等. 小秦艽根部脂肪酸成分的主成分分析及其与生态因子的相关性[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(2): 49-52.
- [12] 吴新荣, 赵志礼, 王峥涛. 粗茎秦艽道地药材及土壤中有机质与无机元素的分析[J]. 中国中医药信息杂志, 2010, 17(9): 39-40.
- [13] 宋九华, 杨文钰, 孟杰, 等. HPLC波长切换法同时测定粗茎秦艽中6个成分的含量[J]. 化学研究与应用, 2014, 26(7): 1136-1140.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 张重义, 李萍, 陈君, 等. 金银花道地与非道地产区土壤微量元素分析[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(3): 207-212.
- [16] 杨永红, 戴丽君, 何昆鸿, 等. 土壤营养与人工栽培滇重楼品质相关性评价[J]. 中药材, 2012, 35(10): 1557-1561.
- [17] 陈千良, 石张燕, 涂光忠, 等. 陕西产秦艽的化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(19): 1519-1522.
- [18] 魏莉霞, 漆燕玲, 赵玮, 等. 栽培因子对秦艽产量和龙胆苦苷含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 10022-10023.
- [19] 谢强, 史双双, 张永辉, 等. 泸州植烟土壤中微量元素含量与烟叶品质的关系[J]. 南方农业学报, 2012, 43(2): 200-204.

(责任编辑: 佟金凤)

《植物资源与环境学报》启事

为了扩大科技期刊的信息交流、充分实现信息资源共享,《植物资源与环境学报》已先后加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”等数据库,因此,凡在本刊发表的论文将编入数据库供上网交流、查阅及检索,作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另付。如作者不同意将文章编入数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《植物资源与环境学报》仅接受网上投稿,惟一投稿网址: <http://www.cnbg.net/Tg/Contribute/Login.aspx>。投稿咨询电话: 025-84347014; E-mail: zwzy@cnbg.net; QQ: 2219161478。

《植物资源与环境学报》编辑部
2014-11