

## 三七主根皂苷组分含量与生态因子的关系

冉余艳, 梁社往, 翁静, 史静, 何忠俊

### 引用本文:

冉余艳, 梁社往, 翁静, 史静, 何忠俊. 三七主根皂苷组分含量与生态因子的关系[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(9): 1908-1916.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1512>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 生物质炭、有机肥和钙镁磷肥对三七(*Panax Notoginseng*)Cd含量的影响

陈建清, 郭栋, 陈德, 李恋卿, 潘根兴

农业环境科学学报. 2016, 35(10): 1909-1916 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016-0353>

#### 复合钝化剂对镉污染土壤三七生长及生理特性的影响

刘娟, 李佳佳, 张乃明, 冯光泉

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2190-2197 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0077>

#### 皂角苷对红壤和黄褐土中 $Pb^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 的解吸特征

常红, 李利芬, 黄丽

农业环境科学学报. 2017, 36(1): 93-100 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016-0948>

#### 皂角苷对几种生活污水中Cu和Zn的去除

张斌, 黄丽, 张克强, 叶涛, 杜连柱, 秦璠琦

农业环境科学学报. 2016, 35(6): 1180-1187 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.06.022>

#### 生物表面活性剂皂角苷对柴油污染土壤脱附的强化作用

陆凡, 胡清华, 李廷强

农业环境科学学报. 2015, 34(1): 37-43 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.01.006>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

冉余艳, 梁社往, 翁静, 等. 三七主根皂苷组分含量与生态因子的关系[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(9): 1908–1916.

RAN Y Y, LIANG S W, WENG J, et al. Relationships between saponin component contents in *Panax notoginseng* taproot and ecological factors[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(9): 1908–1916.



开放科学 OSID

## 三七主根皂苷组分含量与生态因子的关系

冉余艳<sup>1</sup>, 梁社往<sup>2</sup>, 翁静<sup>1</sup>, 史静<sup>3</sup>, 何忠俊<sup>1\*</sup>

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201; 3. 云南农业大学研究生处, 昆明 650201)

**摘要:**为探究生态因子对三七[*Panax notoginseng*(Burk.) F. H. Chen]主根皂苷组分的影响,明确影响三七皂苷组分的主导因子,采用相关、逐步回归、通径和决策等分析方法逐层剖析,阐明三七主根皂苷组分含量与生态因子的数量关系。结果表明:三七主根三七皂苷R<sub>1</sub>含量与土壤pH、纬度、7月均温呈显著负相关,其中土壤pH、纬度是其主要决定性因子,7月平均温是其主要限制因子;三七主根人参皂苷R<sub>g<sub>1</sub></sub>含量主要受1月最低温、7月最高温和纬度的制约,其中以1月最低温影响最大;三七主根人参皂苷R<sub>b<sub>1</sub></sub>含量主要受大气湿度和主根钙含量的影响,这两者均为其决定性因子;三七主根总皂苷含量主要受1月最低温、纬度、主根钙含量、主根铜含量的影响。研究表明,三七主根总皂苷含量以及各皂苷组分含量具有明显的地域特征,较高的1月低温、大气湿度、土壤钙含量,较低的纬度、7月平均温是获得三七主根高皂苷含量的关键。

**关键词:**三七;主根;皂苷组分含量;生态因子

中图分类号:S567.236 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2022)09-1908-09 doi:10.11654/jaes.2021-1512

### Relationships between saponin component contents in *Panax notoginseng* taproot and ecological factors

RAN Yuyan<sup>1</sup>, LIANG Shewang<sup>2</sup>, WENG Jing<sup>1</sup>, SHI Jing<sup>3</sup>, HE Zhongjun<sup>1\*</sup>

(1. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Graduate Department, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** This study explored the effect of ecological factors on saponin components in the taproot of *Panax notoginseng* and determined the primary factors that affect saponin components in the taproot. The quantitative relationships between saponin component contents in the taproot of *P. notoginseng* and ecological factors were studied using comprehensive research methods of correlation, stepwise regression, path analysis, and decision analysis. The content of notoginsenoside R<sub>1</sub> in the taproot of *P. notoginseng* was significantly negatively correlated with soil pH, latitude, and mean temperature in July. Soil pH and latitude were the major determining factors, whereas mean temperature in July was the key limiting factor. The content of ginsenoside R<sub>g<sub>1</sub></sub> in the taproot of *P. notoginseng* was mainly restricted by the minimum temperature in January, maximum temperature in July, and latitude, among which the minimum temperature in January had the greatest effect. The content of ginsenoside R<sub>b<sub>1</sub></sub> in the taproot of *P. notoginseng* was mainly affected by atmospheric humidity and taproot Ca content, both of which were decisive factors. The total saponin content in the taproot of *P. notoginseng* was mainly affected by minimum temperature in January, latitude, and taproot Ca and Cu content. The contents of total saponins and saponin components in the taproot of *P. notoginseng* exhibited regional characteristics. The key to obtaining high saponin contents in the taproot of *P. notoginseng* is to increase the low temperature in January, atmospheric humidity, and soil Ca content and to decrease the latitude and mean temperature in July within a certain range.

**Keywords:** *Panax notoginseng*; taproot; saponin component contents; ecological factor

收稿日期:2021-12-31 录用日期:2022-02-21

作者简介:冉余艳(1995—),女,甘肃平川人,硕士研究生,研究方向为药用植物栽培。E-mail:1747644031@qq.com

\*通信作者:何忠俊 E-mail:hezongjun@hotmail.com

基金项目:国家自然科学基金项目(81860679);云南省社会发展科技计划项目(2010CA027)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (81860679); Yunnan Province Social Development Science and Technology Project (2010CA027)

药用植物有效成分是评价药材品质的重要指标,多为次生代谢物,其分化、合成不仅受自身基因的控制,还会受到环境因素(如光照、温度、水分、土壤等)的影响,一定的环境胁迫能刺激其形成和积累<sup>[1-2]</sup>。研究表明,产区地理位置和生态因子对景天三七(*Sedum aizoon*)有效成分的分化和形成起决定性作用<sup>[3]</sup>。黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi)的药效成分与温度呈正相关,且高温影响大于低温<sup>[4]</sup>;土壤温度、含水量对灵芝(*Ganoderma lucidum*)主要活性成分的积累具有显著影响,在一定范围内,降低土壤温度、增加土壤含水量,可显著提高灵芝品质<sup>[5]</sup>。7月平均温度是影响黄管秦艽(*Gentiana officinalis*)药材品质的主导生态因子<sup>[6]</sup>;经度、纬度和土壤阳离子交换量是滇重楼(*Paris polyphylla* var. *yunnanensis*)根茎总皂苷含量的主导生态因子<sup>[7]</sup>。

三七[*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen]为五加科人参属多年生草本植物,多以地下部入药,主要药效成分是皂苷类,药理作用主要表现在血液系统、中枢神经系统、免疫系统等方面<sup>[8]</sup>。云南省文山州是三七的道地产区,该地三七的产量和品质均优于其他产区,文山三七道地性的决定性因素是地理位置和自然环境。近年来,随着三七连作障碍的加重,文山州适宜种植三七的土地资源已十分紧缺,三七种植地已由文山州及周边区域向曲靖、昆明、大理、腾冲、保山等地扩展,省外的广西、广东、四川、贵州部分地区也有三七种植<sup>[9]</sup>。三七对生境的要求极为严苛,盲目扩张是否会影响三七药材品质?目前,关于生态因子与三七有效成分的研究还不够深入,仅有地质背景、土壤理化性质、地球化学元素、气象条件等与三七生长状况、商品品质、药效成分等的比较和简单相关分析,以及文山与广西三七药效成分的比较<sup>[10-12]</sup>,且这些研究均是在云南文山州及其周边的红河州进行的。三七生长区域生态因子与三七有效成分综合分析评价的缺乏,十分不利于三七产业的可持续发展。随着三七产区的扩张,迫切需要探明生态因子与三七品质的关系。本文采用相关、逐步回归、通径和决策等分析方法,分析云南、贵州、四川、重庆共68个样点三七主根皂苷组分、总皂苷含量和48个生态因子的数量关系,探明影响三七主根皂苷组分的主导生态因子,并明确其主要决策因子和限制因子,以期对三七的引种栽培和环境调控提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集和采样区调查

三七大面积栽培种源仍为一混合群体,生产上采用“集团选择”的方法选留健康良种,绝大多数由文山供种。2019年10—11月和2020年10—11月,根据种植面积布置样点数,片区最少样点数控制在4个。采集3年生春三七(文山种源),共计68个样点(图1)。土壤、植株样品的采集用随机多点取样法,采样深度为0~20 cm。每个样点在种植地块随机均匀采集15~20株三七及根区土壤约1 kg。将鲜植株带回实验室,先用滴加洗洁精的自来水洗去泥土,然后用含2%柠檬酸的蒸馏水漂洗,去除表面的矿质元素,最后用蒸馏水反复冲洗干净。将主根与其他部位分开,105℃杀青后,70℃烘干至质量恒定,粉碎过100目筛,备用。土壤经风干处理后,过0.25 mm和2 mm筛备用。

现场测定经度、纬度、海拔、坡度、坡向,气象资料来自中国医学科学院药用植物研究所TCM-GIS系统。

### 1.2 样品测定

#### 1.2.1 土壤养分测定方法

土壤pH采用电位法,有机质采用外加热重铬酸钾容量法,全氮采用凯氏定氮法,全磷采用碳酸钠熔融-钼锑抗比色法,全钾采用氢氧化钠熔融-火焰光度法,碱解氮采用碱解扩散法,有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法,阳离子交换量采用乙酸铵交换法,有效钙、有效镁采用乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法,有效硫采用磷酸盐浸提-硫酸钡比浊法,有效硼采用沸水浸提-姜黄素比色法,有效铜采用草酸-草酸铵浸提法,有效铁、有效锰、有效铜、有效锌采用Mehlich 3法联合浸提,颗粒组成采用吸管法<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.2 植物养分元素测定方法

植物全氮、全磷采用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮,凯氏法定氮,钒钼黄比色法测磷。全硫采用HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>消煮、比浊法,硼采用干灰化、姜黄素法<sup>[14]</sup>。钾、钙、镁、铜、锌、铁、锰、钼采用HR-ICP-MS型电感耦合等离子体质谱仪(德国Finnigan MAT公司),参照DZ/T 0223—2001方法进行测定。

#### 1.2.3 主根皂苷组分的测定

仪器:Aglient1260系列高效液相色谱仪。

对照品溶液制备:准确称取一定量的三七皂苷

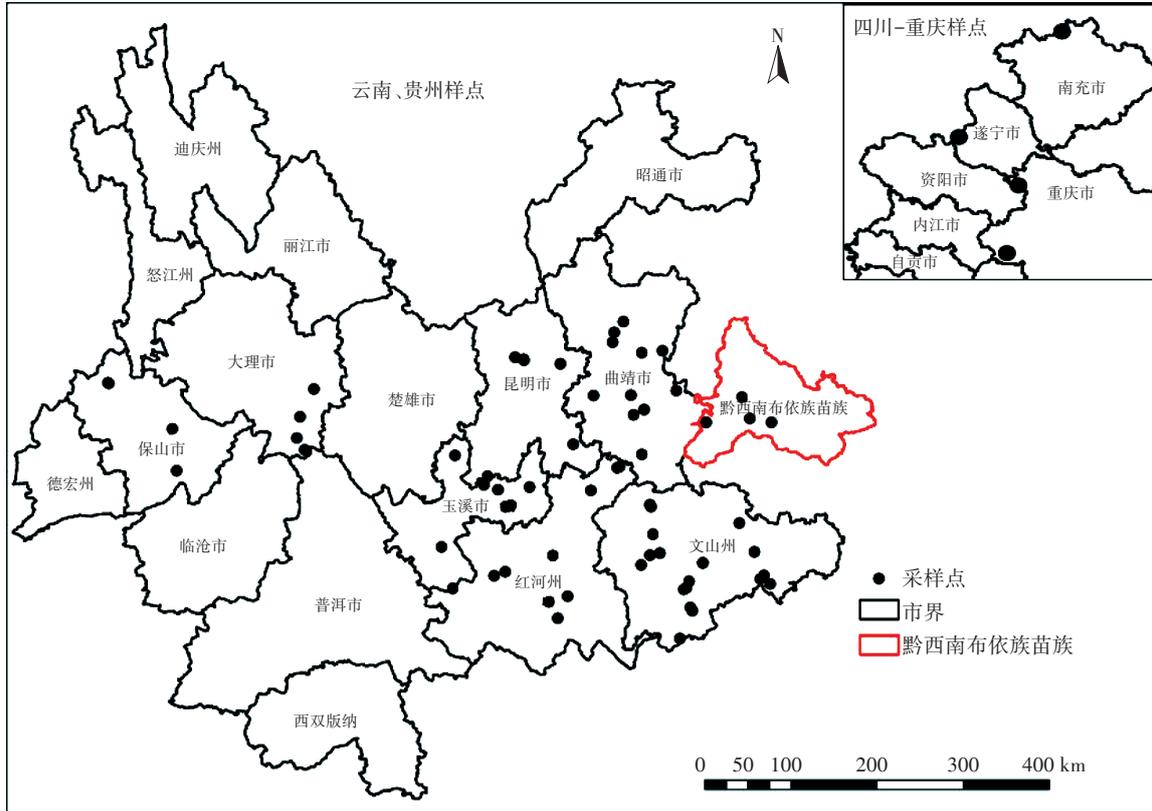


图1 三七采样点分布图

Figure 1 Distribution of sampling points of *Panax notoginseng*

R<sub>1</sub>、人参皂苷 R<sub>g<sub>1</sub></sub>、人参皂苷 R<sub>b<sub>1</sub></sub> 标准品,加入甲醇,制成浓度分别为 0.107 8、0.415 0、0.483 0 mg·mL<sup>-1</sup> 的对照品标液。

供试样品溶液制备:准确称取三七主根样品粉末 0.600 0 g,置于三角瓶中,加入 50 mL 甲醇(分析醇),封口摇匀,静置 4 h 后,超声提取 30 min,最后补足甲醇损失量,用 0.45 μm 微孔滤头过滤,备用。

色谱条件:使用 SB-C<sub>18</sub> Analytical HPLC Column (4.6 mm × 250 mm, 5 μm) 色谱柱。检测波长 203 nm;柱温 25 °C;进样量 10 μL;流速 1.5 mL·min<sup>-1</sup>;流动相乙腈(B)-水(A),梯度洗脱(0~20 min, 20% B; 20~45 min, 20%~46% B; 45~47 min, 46%~55% B; 47~50 min, 55%~80% B)<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据处理

全部数据采用 Excel 进行处理,SPSS 25.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 三七主根皂苷组分特征

按行政区及地理位置,将采样点分为 7 个片区,分别为文山、文山周边(玉溪和红河)、昆明、曲靖、滇西(大理和保山)、贵州、四川-重庆。由表 1 可知,三七皂苷 R<sub>1</sub> 以滇西最高,显著高于贵州、四川-重庆,其余片区之间均无显著差异。人参皂苷 R<sub>g<sub>1</sub></sub> 以贵州最高,与文山无显著差异,显著高于其他片区;滇西与文山、文山周边、曲靖无显著差异,显著高于昆明、四川-

表 1 三七主根皂苷组分区域差异分析(%)

Table 1 Analysis of regional difference of saponin components in taproot of *Panax notoginseng*(%)

组分 Component	文山 Wenshan	文山周边 Around Wenshan	昆明 Kunming	曲靖 Qujing	滇西 West Yunnan	贵州 Guizhou	四川-重庆 Sichuan-Chongqing
三七皂苷 R <sub>1</sub>	0.54±1.16ab	0.50±1.07ab	0.54±0.90ab	0.50±0.89ab	0.59±0.98a	0.46±1.42b	0.30±0.68c
人参皂苷 R <sub>g<sub>1</sub></sub>	3.91±4.57ab	3.20±6.65cd	3.03±8.07d	3.12±5.03cd	3.71±4.98bc	4.42±3.24a	2.86±5.78d
人参皂苷 R <sub>b<sub>1</sub></sub>	3.33±5.91a	2.59±4.44bc	2.43±2.97c	2.38±4.79c	3.15±9.80ab	3.14±4.38ab	2.84±4.45abc
总皂苷	7.77±0.94a	6.29±1.09b	5.99±1.17b	6.00±1.01b	7.45±1.26a	8.01±0.84a	6.00±0.88b

注:表中数据均为平均值±标准差,数值后同行不同小写字母表示不同区域间差异显著(P<0.05)。

Note: All data in the table are the average values±SD. Different lowercase letters in the same line indicate significant differences (P<0.05).

重庆。三七皂苷  $R_{b1}$  以文山最高,其次为滇西、贵州、四川-重庆,这四者之间无显著差异;文山显著高于文山周边、昆明、曲靖。贵州总皂苷含量略高于文山、滇西,三者之间无显著差异,但显著高于其他片区。

## 2.2 三七主根皂苷组分与生态因子的相关分析

### 2.2.1 与地理气候因子的相关分析

由表2可知,三七皂苷  $R_1$  与海拔、日照呈极显著正相关,与纬度、7月平均温呈极显著负相关,与7月最高温呈显著负相关;与活动积温呈极显著负偏相关,与年均温、1月平均温、1月最低温呈显著负偏相关。人参皂苷  $R_{g1}$  与1月最低温呈极显著正相关,与年降水量、年均温、1月平均温、7月最高温、活动积温、湿度呈显著正相关,与纬度呈显著负相关;与1月平均温呈极显著负偏相关,与纬度、湿度呈显著负偏相关。人参皂苷  $R_{b1}$  与年降水量、1月平均温、1月最低温、7月最高温、湿度呈极显著正相关,与年均温、7月平均温呈显著正相关,与海拔呈极显著负相关;与年均温呈显著负偏相关。总皂苷与年降水量、1月平均温、1月最低温、湿度呈极显著正相关,与年均温、7月最高温呈显著正相关,与纬度、海拔呈显著负相关;与1月平均温呈极显著负偏相关,与纬度、1月最低温呈显著负偏相关。

### 2.2.2 与土壤因子的相关分析

由表3可知,三七皂苷  $R_1$  与有效铁呈显著正相

关,与土壤pH、盐基饱和度、有效钙呈极显著负相关;仅与土壤pH呈显著负偏相关。人参皂苷  $R_{g1}$  与全磷、有效磷呈显著负相关;与有效锌呈显著正偏相关。人参皂苷  $R_{b1}$  与全钾呈显著正相关,与全磷呈显著负相关;仅与盐基饱和度呈显著负偏相关。总皂苷与盐基饱和度、全磷呈显著负相关;仅与有效锌呈显著正偏相关。

### 2.2.3 与主根养分因子的相关分析

由表4可知,三七皂苷  $R_1$  与主根锰、锌呈显著正相关,与主根全钾呈显著负相关;仅与主根硫呈显著正偏相关。人参皂苷  $R_{g1}$  与主根钙、铜呈极显著正相关,与主根锌呈显著正相关;与主根钙、铜呈极显著正偏相关。人参皂苷  $R_{b1}$  与主根钙呈极显著正相关,与主根全氮、铜呈显著正相关;仅与主根钙呈显著正偏相关。总皂苷与主根钙、铜呈极显著正相关,与主根全氮、锌呈显著正相关;与主根钙呈极显著正偏相关,与主根铜呈显著正偏相关。

## 2.3 三七主根皂苷组分的主导因子分析

单相关分析是研究两个变量之间表面的、非本质的关系。偏相关分析是除去其他因素的影响,仅研究两者之间的相关关系,比单相关系数更能说明两者的线性相关程度。本研究采用单、偏相结合的方法,筛选出更多影响三七主根皂苷组分含量的显著因子,全面反映对主根皂苷组分影响显著的生态因子。为

表2 地理气候因子与三七主根皂苷组分的单、偏相关性分析

Table 2 Single and partial correlation analysis between geographical climatic factors and saponin components in taproot of *Panax notoginseng*

变量 Variable	单位 Unit	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Variance coefficient/%	三七皂苷 $R_1$		人参皂苷 $R_{g1}$		人参皂苷 $R_{b1}$		总皂苷	
					单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial
经度	(°)	103.45	1.71	1.65	-0.211	-0.060	0.072	-0.163	0.071	-0.133	0.056	-0.162
纬度	(°)	24.82	1.69	6.80	-0.403**	-0.182	-0.293*	-0.283*	-0.204	-0.239	-0.300*	-0.293*
海拔	m	1 730.19	459.42	26.55	0.316**	0.054	-0.217	-0.255	-0.344**	-0.087	-0.266*	-0.180
坡度	(°)	12.27	9.15	74.53	0.187	0.068	-0.082	-0.156	0.011	-0.057	-0.021	-0.108
坡向	(°)	174.13	97.70	56.11	-0.026	-0.209	0.043	0.012	0.110	-0.000 2	0.077	-0.014
年降水量	mm	1 124.94	166.74	14.82	0.189	-0.054	0.289*	0.096	0.395**	0.062	0.378**	0.081
年均温	℃	15.82	1.51	9.56	-0.171	-0.262*	0.296*	-0.116	0.280*	-0.279*	0.288*	-0.235
1月平均温	℃	7.70	1.66	21.55	0.104	-0.322*	0.305*	-0.378**	0.370**	-0.230	0.365**	-0.364**
7月平均温	℃	20.61	2.09	10.14	-0.336**	-0.167	0.187	-0.060	0.306*	-0.070	0.228	-0.087
1月最低温	℃	2.88	2.19	76.23	-0.062	-0.277*	0.384**	-0.204	0.447**	-0.229	0.432**	-0.260*
7月最高温	℃	25.52	1.90	7.44	-0.298*	-0.104	0.241*	0.043	0.344**	-0.046	0.280*	-0.010
活动积温	℃	4 652.28	773.47	16.63	-0.207	-0.342**	0.253*	-0.104	0.208	-0.207	0.225	-0.200
湿度	%	75.60	2.97	3.93	-0.149	-0.125	0.295*	-0.265*	0.406**	0.005	0.355**	-0.158
日照	h	2 005.69	300.74	14.99	0.323**	-0.044	-0.144	-0.214	-0.234	-0.075	-0.169	-0.164

注:\*显著相关  $P < 0.05$ , \*\*极显著相关  $P < 0.01$ ,  $n=68$ 。下同。

Note:\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ ,  $n=68$ . The same below.

表3 土壤因子与三七主根皂苷组分的单、偏相关性分析

Table 3 Single and partial correlation analysis between soil factors and saponin components in taproot of *Panax notoginseng*

变量 Variable	单位 Unit	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Variance coefficient/%	三七皂苷 R <sub>1</sub>		人参皂苷 R <sub>g<sub>1</sub></sub>		人参皂苷 R <sub>b<sub>1</sub></sub>		总皂苷	
					单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial
容重	g·cm <sup>-3</sup>	1.11	0.16	14.78	-0.019	0.242	-0.064	-0.068	-0.023	-0.201	-0.048	-0.122
砾石含量	%	4.44	6.08	136.89	0.067	0.055	0.101	0.165	-0.051	-0.159	0.035	0.005
粉/黏	%	0.72	0.46	63.22	-0.023	-0.085	-0.095	0.034	0.053	0.061	-0.026	0.044
pH		5.63	0.88	15.67	-0.513**	-0.281*	-0.164	0.014	-0.131	0.155	-0.204	0.066
阳离子交换量	cmol·kg <sup>-1</sup>	21.15	7.29	34.47	-0.055	0.158	0.006	0.061	-0.135	0.072	-0.072	0.082
盐基饱和度	%	39.67	19.32	48.70	-0.375**	0.166	-0.215	-0.281	-0.231	-0.286*	-0.270*	-0.282
有机质	g·kg <sup>-1</sup>	31.43	14.00	44.55	0.033	0.044	-0.069	0.047	-0.199	-0.053	-0.137	-0.001
全氮	g·kg <sup>-1</sup>	1.81	0.72	40.00	0.023	-0.059	-0.059	0.134	-0.211	0.053	-0.139	0.092
全磷	g·kg <sup>-1</sup>	1.30	0.62	48.08	0.033	0.049	-0.245*	-0.242	-0.269*	-0.185	-0.268*	-0.218
全钾	g·kg <sup>-1</sup>	12.75	7.56	59.26	0.097	0.039	0.020	0.117	0.240*	0.193	0.144	0.165
碱解氮	mg·kg <sup>-1</sup>	128.71	50.57	39.29	0.092	-0.023	-0.102	-0.192	-0.208	-0.042	-0.154	-0.124
有效磷	mg·kg <sup>-1</sup>	65.47	40.89	62.46	0.019	-0.041	-0.267*	-0.039	-0.153	0.042	-0.221	-0.002
速效钾	mg·kg <sup>-1</sup>	377.81	185.48	49.09	-0.033	-0.021	-0.072	-0.096	-0.061	0.079	-0.073	-0.010
有效钙	cmol·kg <sup>-1</sup>	9.80	7.77	79.25	-0.430**	-0.276	-0.069	0.081	-0.134	0.041	-0.146	0.039
有效镁	cmol·kg <sup>-1</sup>	1.77	1.27	72.00	-0.182	0.215	-0.035	0.033	-0.116	-0.111	-0.096	-0.022
有效硫	mg·kg <sup>-1</sup>	78.49	56.58	72.09	0.143	-0.089	0.036	-0.088	0.013	-0.194	0.039	-0.154
有效铁	mg·kg <sup>-1</sup>	53.34	29.32	54.97	0.274*	0.139	-0.158	-0.133	-0.034	-0.064	-0.077	-0.092
有效锰	mg·kg <sup>-1</sup>	41.26	34.77	84.27	0.164	-0.021	0.189	0.224	0.007	0.103	0.120	0.170
有效铜	mg·kg <sup>-1</sup>	3.15	2.47	78.40	0.162	0.157	-0.072	0.099	-0.098	0.087	-0.075	0.110
有效锌	mg·kg <sup>-1</sup>	3.59	2.42	67.21	0.097	0.080	-0.014	0.318*	-0.154	0.191	-0.078	0.274*
有效硼	mg·kg <sup>-1</sup>	0.49	0.43	87.01	0.076	-0.048	-0.081	0.113	-0.167	-0.032	-0.123	0.040
有效钼	mg·kg <sup>-1</sup>	0.35	0.49	138.49	0.062	0.234	0.207	0.137	0.082	-0.062	0.160	0.061

了使回归方程的收敛性更好,选择相关分析显著的因子作为评判指标。

分别选取对主根皂苷 R<sub>1</sub>、R<sub>g<sub>1</sub></sub>、R<sub>b<sub>1</sub></sub>、总皂苷(单、偏)相关影响显著的因子进行逐步回归,得到各皂苷的逐步回归方程,见表5。R<sub>1</sub>:纬度(X<sub>1</sub>)、海拔(X<sub>2</sub>)、年均温(X<sub>3</sub>)、1月平均温(X<sub>4</sub>)、7月平均温(X<sub>5</sub>)、1月最低温(X<sub>6</sub>)、7月最高温(X<sub>7</sub>)、活动积温(X<sub>8</sub>)、日照(X<sub>9</sub>)、pH(X<sub>10</sub>)、盐基饱和度(X<sub>11</sub>)、有效钙(X<sub>12</sub>)、有效铁(X<sub>13</sub>)、主根钾(X<sub>14</sub>)、主根硫(X<sub>15</sub>)、主根锰(X<sub>16</sub>)、主根锌(X<sub>17</sub>);R<sub>g<sub>1</sub></sub>:纬度(X<sub>1</sub>)、年降水量(X<sub>2</sub>)、年均温(X<sub>3</sub>)、1月平均温(X<sub>4</sub>)、1月最低温(X<sub>5</sub>)、7月最高温(X<sub>6</sub>)、活动积温(X<sub>7</sub>)、湿度(X<sub>8</sub>)、全磷(X<sub>9</sub>)、有效磷(X<sub>10</sub>)、有效锌(X<sub>11</sub>)、主根钙(X<sub>12</sub>)、主根铜(X<sub>13</sub>)、主根锌(X<sub>14</sub>);R<sub>b<sub>1</sub></sub>:海拔(X<sub>1</sub>)、年降水量(X<sub>2</sub>)、年均温(X<sub>3</sub>)、1月平均温(X<sub>4</sub>)、7月平均温(X<sub>5</sub>)、1月最低温(X<sub>6</sub>)、7月最高温(X<sub>7</sub>)、湿度(X<sub>8</sub>)、盐基饱和度(X<sub>9</sub>)、全磷(X<sub>10</sub>)、全钾(X<sub>11</sub>)、主根氮(X<sub>12</sub>)、主根钙(X<sub>13</sub>)、主根铜(X<sub>14</sub>);总皂苷:纬度(X<sub>1</sub>)、海拔(X<sub>2</sub>)、年降水量(X<sub>3</sub>)、年均温(X<sub>4</sub>)、1月平均

温(X<sub>5</sub>)、1月最低温(X<sub>6</sub>)、7月最高温(X<sub>7</sub>)、湿度(X<sub>8</sub>)、盐基饱和度(X<sub>9</sub>)、全磷(X<sub>10</sub>)、有效锌(X<sub>11</sub>)、主根氮(X<sub>12</sub>)、主根钙(X<sub>13</sub>)、主根铜(X<sub>14</sub>)、主根锌(X<sub>15</sub>)。

由表5可知,三七皂苷 R<sub>1</sub>主要受纬度(X<sub>1</sub>)、7月平均温(X<sub>5</sub>)、活动积温(X<sub>8</sub>)、pH(X<sub>10</sub>)的综合影响,这4个因子能共同决定其含量变异的35.92%;人参皂苷 R<sub>g<sub>1</sub></sub>主要受纬度(X<sub>1</sub>)、1月最低温(X<sub>5</sub>)、7月最高温(X<sub>6</sub>)、主根钙(X<sub>12</sub>)、主根铜(X<sub>13</sub>)的综合影响,这5个因子能共同决定其含量变异的52.05%;人参皂苷 R<sub>b<sub>1</sub></sub>主要受湿度(X<sub>8</sub>)、盐基饱和度(X<sub>9</sub>)、全钾(X<sub>11</sub>)、主根钙(X<sub>13</sub>)、主根铜(X<sub>14</sub>)的综合影响,这5个因子能共同决定其含量变异的47.60%;总皂苷主要受纬度(X<sub>1</sub>)、海拔(X<sub>2</sub>)、1月最低温(X<sub>6</sub>)、7月最高温(X<sub>7</sub>)、盐基饱和度(X<sub>9</sub>)、有效锌(X<sub>11</sub>)、主根钙(X<sub>13</sub>)、主根铜(X<sub>14</sub>)的综合影响,这8个因子能共同决定其含量变异的66.10%。

2.3.1 主根三七皂苷 R<sub>1</sub>与生态因子的通径分析

通径分析是通过自变量与因变量之间表面直接相关性的分解,研究自变量对因变量的直接重要性和

表4 主根养分因子与三七主根皂苷组分的单、偏相关性分析

Table 4 Single and partial correlation analysis between nutrient factors and saponin components in taproot of *Panax notoginseng*

变量 Variable	单位 Unit	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Variance coefficient/%	三七皂苷 R <sub>1</sub>		人参皂苷 R <sub>g<sub>1</sub></sub>		人参皂苷 R <sub>b<sub>1</sub></sub>		总皂苷	
					单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial	单 Single	偏 Partial
全氮	%	0.98	0.35	35.89	0.079	0.090	0.195	-0.104	0.261*	0.095	0.247*	0.006
全磷	%	0.32	0.05	15.12	-0.089	-0.025	0.133	0.031	0.237	0.206	0.186	0.127
全钾	%	1.05	0.12	11.68	-0.249*	-0.212	-0.102	-0.202	-0.155	-0.189	-0.158	-0.236
钙	mg·kg <sup>-1</sup>	1 480.04	258.08	17.44	0.121	0.055	0.447**	0.417**	0.357**	0.299*	0.436**	0.395**
镁	mg·kg <sup>-1</sup>	1 041.81	173.62	16.67	-0.192	-0.211	-0.015	0.017	-0.028	-0.079	-0.040	-0.054
硫	mg·kg <sup>-1</sup>	792.22	172.57	21.78	0.137	0.261*	-0.007	-0.154	-0.116	-0.209	-0.051	-0.170
铁	mg·kg <sup>-1</sup>	306.73	258.19	84.17	0.221	0.093	0.217	0.042	0.104	-0.105	0.191	-0.023
锰	mg·kg <sup>-1</sup>	27.53	16.30	59.21	0.266*	0.131	0.162	0.142	0.181	0.162	0.205	0.179
铜	mg·kg <sup>-1</sup>	3.42	1.24	36.29	0.162	0.058	0.444**	0.352**	0.303*	0.203	0.411**	0.310*
锌	mg·kg <sup>-1</sup>	12.39	6.99	56.41	0.288*	0.136	0.254*	0.101	0.214	0.028	0.274*	0.085
硼	mg·kg <sup>-1</sup>	20.07	4.27	21.28	-0.002	0.085	-0.053	-0.010	-0.124	-0.046	-0.092	-0.021
钼	mg·kg <sup>-1</sup>	0.68	0.77	114.01	0.058	0.056	-0.179	-0.184	-0.138	-0.070	-0.162	-0.134

表5 三七主根皂苷组分的逐步回归方程

Table 5 Stepwise regression equation of saponin components in taproot of *Panax notoginseng*

组分 Component	逐步回归方程 Stepwise regression equation	R	R <sup>2</sup>
三七皂苷 R <sub>1</sub>	Y=15.360 5-0.320 0X <sub>1</sub> +0.162 7X <sub>5</sub> -0.000 6X <sub>8</sub> -0.489 5X <sub>10</sub>	0.599 3	0.359 2
人参皂苷 R <sub>g<sub>1</sub></sub>	Y=6.174 1-5.675 0X <sub>1</sub> -4.843 9X <sub>5</sub> +6.483 9X <sub>6</sub> +0.007 9X <sub>12</sub> +1.820 7X <sub>13</sub>	0.721 4	0.520 5
人参皂苷 R <sub>b<sub>1</sub></sub>	Y=-47.603 9+0.833 9X <sub>8</sub> -0.150 3X <sub>9</sub> +0.168 1X <sub>11</sub> +0.009 5X <sub>13</sub> +0.804 2X <sub>14</sub>	0.689 9	0.476 0
总皂苷	Y=16.653 6-0.943 4X <sub>1</sub> -0.002 1X <sub>2</sub> -0.738 5X <sub>6</sub> +0.659 4X <sub>7</sub> -0.029 2X <sub>9</sub> +0.067 0X <sub>11</sub> +0.001 8X <sub>13</sub> +0.227 5X <sub>14</sub>	0.813 0	0.661 0

间接重要性,从而为统计决策提供可靠的依据,用公式可表达为 $r=P+p$ ,其中 $r$ 为单相关系数、 $P$ 为直接通径系数、 $p$ 为间接通径系数。决策系数( $R_i^2$ )是反映自变量对因变量综合作用大小的参数,利用决策系数可以对通径分析结果进行明确的判断,并确定主要决定性变量和限制性变量,决策系数计算公式为 $R_i^2=2P_{iY}-P_i^2$ ,式中 $P_i$ 为直接通径系数、 $r_{iY}$ 为单相关系数<sup>[9]</sup>。

由表6可知,三七皂苷 R<sub>1</sub>直接通径系数绝对值排序为纬度( $X_1$ )>活动积温( $X_8$ )>pH( $X_{10}$ )>7月平均温( $X_5$ )。X<sub>5</sub>的间接通径系数总和大于直接通径系数,且方向相反,抵消了直接通径的作用,致使其对三七皂苷 R<sub>1</sub>的总效应方向改变;其余因子对三七皂苷 R<sub>1</sub>的

直接作用大于间接作用,其中 $X_1$ 、 $X_8$ 的直接作用与间接作用方向相反,削弱了各因子对三七皂苷 R<sub>1</sub>的总效应, $X_{10}$ 的直接作用与间接作用方向相同,加强了直接通径作用。

4个因子的决策系数的大小依次为 $R_{10}^2>R_1^2>R_8^2>R_5^2$ ,其中 $R_1^2$ 、 $R_8^2$ 、 $R_{10}^2$ 为正,以 $R_{10}^2$ 最大,说明 $X_1$ 、 $X_8$ 、 $X_{10}$ 是三七皂苷 R<sub>1</sub>的主要决策因子,且 $X_{10}$ 是三七皂苷 R<sub>1</sub>的最主要决策因子。 $R_5^2$ 为负,其决策系数绝对值在4个入选因子中最高,说明 $X_5$ 是三七皂苷 R<sub>1</sub>的最主要限制因子。 $X_1$ 、 $X_5$ 、 $X_{10}$ 的决策系数绝对值较高(>0.001),且地域性明显,说明主根三七皂苷 R<sub>1</sub>有一定的地域特征。但由于这几个因子只能决定其含量变异的

表6 主根三七皂苷 R<sub>1</sub>与生态因子的通径分析Table 6 Path analysis between ecological factors and notoginsenoside R<sub>1</sub> in taproot of *Panax notoginseng*

因子 Factor	直接通径系数( $P_i$ ) Direct path coefficient	间接通径系数总和 Sum of indirect path coefficient	单相关系数( $r_{iY}$ ) Single correlation coefficient	决策系数( $R_i^2$ ) Decision coefficient	→X <sub>1</sub>	→X <sub>5</sub>	→X <sub>8</sub>	→X <sub>10</sub>
X <sub>1</sub>	-0.456	0.053	-0.403	0.160		0.125	0.083	-0.155
X <sub>5</sub>	0.287	-0.624	-0.336	-0.276	-0.199		-0.263	-0.161
X <sub>8</sub>	-0.411	0.205	-0.207	0.001	0.092	0.184		-0.072
X <sub>10</sub>	-0.364	-0.148	-0.513	0.241	-0.194	0.127	-0.081	

35.92%,说明主根三七皂苷  $R_1$  还受其他因素的影响。

### 2.3.2 主根人参皂苷 $R_{g1}$ 与生态因子的通径分析

由表7可知,人参皂苷  $R_{g1}$  直接通径系数绝对值排序为7月最高温( $X_6$ )>1月最低温( $X_5$ )>纬度( $X_1$ )>主根铜( $X_{13}$ )>主根钙( $X_{12}$ )。  $X_5$  对人参皂苷  $R_{g1}$  的间接作用总和大于直接作用,且方向相反,大幅削弱了其对人参皂苷  $R_{g1}$  的直接效应;其余因子对人参皂苷  $R_{g1}$  的直接作用均大于间接作用总和,其中  $X_1$ 、 $X_6$  的直接作用与间接作用方向相反,削弱了各因子对人参皂苷  $R_{g1}$  的综合效应; $X_{12}$ 、 $X_{13}$  的直接作用与间接作用方向一致,加强了各因子对人参皂苷  $R_{g1}$  的综合效应。

5个因子的决策系数的大小依次为  $R_{13}^2 > R_{12}^2 > R_1^2 > R_6^2 > R_5^2$ , 其中  $R_{12}^2$ 、 $R_{13}^2$  为正,且  $R_{13}^2 > R_{12}^2$ , 说明  $X_{12}$ 、 $X_{13}$  是人参皂苷  $R_{g1}$  的主要决策因子,且  $X_{13}$  是人参皂苷  $R_{g1}$  的最主要决策因子; $R_1^2$ 、 $R_6^2$ 、 $R_5^2$  为负,以  $R_5^2$  最小,说明  $X_1$ 、 $X_5$ 、 $X_6$  是人参皂苷  $R_{g1}$  的主要限制因子,且  $X_5$  是人参皂苷  $R_{g1}$  的最主要限制因子。 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_1$  的决策系数绝对值较高(>0.183),且地域性明显,说明主根人参皂苷  $R_{g1}$  有明显的地域特征。

### 2.3.3 主根人参皂苷 $R_{b1}$ 与生态因子的通径分析

由表8可知,人参皂苷  $R_{b1}$  直接通径系数绝对值排序为盐基饱和度( $X_9$ )>湿度( $X_8$ )>主根钙( $X_{13}$ )>全钾( $X_{11}$ )>主根铜( $X_{14}$ )。仅  $X_{14}$  的间接通径系数总和大于直接通径系数,其余因子直接通径系数均大于间接通径系数总和。 $X_9$ 、 $X_{13}$  的直接通径系数和间接通径

系数总和方向相反,对直接通径的效果有所削弱, $X_8$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{14}$  的直接通径系数和间接通径系数总和方向相同,增强了各因子对主根人参皂苷  $R_{b1}$  的总效应。

5个因子的决策系数均为正值,大小排序为  $R_8^2 > R_{13}^2 > R_{14}^2 > R_{11}^2 > R_9^2$ , 以  $R_8^2$  最大,说明  $X_8$  是人参皂苷  $R_{b1}$  的最主要决策因子。片区间湿度差异明显,四川-重庆、贵州、文山片区湿度较高,曲靖、文山周边次之,昆明最低, $X_9$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{11}$  主要与土壤母质类型有关,说明主根人参皂苷  $R_{b1}$  有一定的地域特征。

### 2.3.4 三七主根总皂苷与生态因子的通径分析

由表9可知,总皂苷直接通径系数绝对值依次为1月最低温( $X_6$ )>纬度( $X_1$ )>7月最高温( $X_7$ )>海拔( $X_2$ )>盐基饱和度( $X_9$ )>主根钙( $X_{13}$ )>主根铜( $X_{14}$ )>有效锌( $X_{11}$ )。  $X_6$ 、 $X_{11}$  对总皂苷的间接作用总和大于直接作用,且方向相反,从而改变了直接通径对总皂苷的作用方向;其余因子对总皂苷的直接作用大于间接作用总和,其中  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_7$ 、 $X_9$  的直接作用与间接作用总和方向相反,削弱了各因子对总皂苷的总效应; $X_{13}$ 、 $X_{14}$  的直接作用与间接作用总和方向相同,增强了各因子对总皂苷的直接作用,使  $X_{13}$ 、 $X_{14}$  与总皂苷的相关性较高。

8个因子决策系数的排序依次为  $R_{13}^2 > R_{14}^2 > R_9^2 > R_{11}^2 > R_7^2 > R_1^2 > R_6^2$ , 其中  $R_9^2$ 、 $R_{13}^2$ 、 $R_{14}^2$  为正,以  $R_{13}^2$  最大,说明  $X_9$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{14}$  是总皂苷的主要决策因子,且  $X_{13}$  是总皂苷的最主要决策因子; $R_1^2$ 、 $R_6^2$ 、 $R_7^2$ 、 $R_{11}^2$  为负,以  $R_6^2$  最小,说明  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_{11}$  是总皂苷的主要限制因子,且  $X_6$  是总

表7 主根人参皂苷  $R_{g1}$  与生态因子的通径分析

Table 7 Path analysis between ecological factors and ginsenoside  $R_{g1}$  in taproot of *Panax notoginseng*

因子 Factor	直接通径系数( $P_i$ )	间接通径系数总和	单相关系数( $r_{iy}$ )	决策系数( $R_i^2$ )					
	Direct path coefficient	Sum of indirect path coefficient	Single correlation coefficient	Decision coefficient	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_6$	$\rightarrow X_{12}$	$\rightarrow X_{13}$
$X_1$	-1.385	1.092	-0.293	-1.106		0.483	0.668	-0.037	-0.022
$X_5$	-1.535	1.919	0.384	-3.535	0.435		1.309	0.116	0.060
$X_6$	1.778	-1.537	0.241	-2.306	-0.520	-1.130		0.076	0.037
$X_{12}$	0.294	0.153	0.447	0.176	0.176	-0.603	0.461		0.118
$X_{13}$	0.326	0.118	0.444	0.183	0.093	-0.280	0.199	0.106	

表8 主根人参皂苷  $R_{b1}$  与生态因子的通径分析

Table 8 Path analysis between ecological factors and ginsenoside  $R_{b1}$  in taproot of *Panax notoginseng*

因子 Factor	直接通径系数( $P_i$ )	间接通径系数总和	单相关系数( $r_{iy}$ )	决策系数( $R_i^2$ )					
	Direct path coefficient	Sum of indirect path coefficient	Single correlation coefficient	Decision coefficient	$\rightarrow X_8$	$\rightarrow X_9$	$\rightarrow X_{11}$	$\rightarrow X_{13}$	$\rightarrow X_{14}$
$X_8$	0.373	0.034	0.406	0.164		-0.113	0.028	0.086	0.033
$X_9$	-0.437	0.205	-0.231	0.011	0.097		-0.021	0.115	0.015
$X_{11}$	0.191	0.049	0.240	0.055	0.054	0.047		-0.036	-0.016
$X_{13}$	0.370	-0.014	0.357	0.127	0.086	-0.135	-0.019		0.054
$X_{14}$	0.150	0.153	0.303	0.068	0.082	-0.042	-0.020	0.134	

表9 三七主根总皂苷与生态因子的通径分析

Table 9 Path analysis between total saponins in taproot of *Panax notoginseng* and ecological factors

因子 Factor	直接通径系数( $P_i$ ) Direct path coefficient	间接通径系数总和 Sum of indirect path coefficient	单相关系数( $r_{ij}$ ) Single correlation coefficient	决策系数( $R_i^2$ ) Decision coefficient	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_6$	$\rightarrow X_7$	$\rightarrow X_9$	$\rightarrow X_{11}$	$\rightarrow X_{13}$	$\rightarrow X_{14}$
$X_1$	-1.239	0.939	-0.300	-0.791		0.351	0.396	0.366	-0.129	0.016	-0.047	-0.015
$X_2$	-0.760	0.494	-0.266	-0.174	0.572		0.804	-0.923	0.145	0.035	-0.104	-0.035
$X_6$	-1.260	1.692	0.432	-2.676	0.389	0.485		0.716	-0.035	-0.049	0.144	0.040
$X_7$	0.973	-0.694	0.280	-0.403	-0.466	0.720	-0.927		-0.103	-0.038	0.095	0.025
$X_9$	-0.439	0.169	-0.270	0.044	-0.363	0.251	-0.099	0.229		0.016	0.114	0.021
$X_{11}$	0.126	-0.204	-0.078	-0.035	-0.158	-0.208	0.486	-0.291	-0.055		-0.012	0.035
$X_{13}$	0.368	0.068	0.436	0.186	0.157	0.214	-0.495	0.253	-0.136	-0.004		0.079
$X_{14}$	0.219	0.191	0.411	0.132	0.083	0.119	-0.230	0.109	-0.043	0.020	0.133	

皂苷的最主要限制因子。 $X_1$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 的决策系数绝对值较高(>0.186),且地域性明显,说明三七主根总皂苷有明显的地域特征。

### 3 讨论

本研究中,供试三七主根总皂苷含量均达到国家药典<sup>[6]</sup>要求,贵州、文山、滇西总皂苷含量显著高于文山周边、昆明、曲靖、四川-重庆。与赵江<sup>[15]</sup>的研究结果相比,道地产区文山总皂苷含量较为一致,昆明周边、滇西总皂苷含量偏低,这可能与采样范围、片区划分不一致有关。陈茵<sup>[11]</sup>对云南省21个产区三七皂苷组分含量进行研究,发现云南省传统产区与新产区皂苷组分含量均无显著差异,与本研究结果不同,可能是采样点较少及采样范围不一致所致。孟祥霄等<sup>[17]</sup>对326个三七样点进行产地适宜性研究发现,云南东南部、贵州西南部是最适栽培区,与本研究结果较为一致。林洁等<sup>[18]</sup>也指出,贵州种植三七的品质良好。因此,为了保证三七质量稳定,可考虑在贵州西南部引种植三七。

综合相关分析、逐步回归和通径分析结果,主根三七皂苷 $R_1$ 与土壤pH、纬度、7月平均温呈显著负相关,土壤pH、纬度是其主要决定性因子,7月平均温是其主要限制因子。因此,要获得高主根三七皂苷 $R_1$ 含量,需要控制在低纬度和低土壤pH的地域,且7月平均温需限制在较低范围;主根人参皂苷 $R_{g1}$ 含量主要受1月最低温、7月最高温和纬度的制约,三者均为 $R_{g1}$ 的限制性因子,其中以1月最低温影响最大,说明较高的1月最低温和7月最高温,较低的纬度可获得较高的 $R_{g1}$ 含量;主根人参皂苷 $R_{b1}$ 含量主要受大气湿度和主根钙的影响,两者均为其决定性因子,均与 $R_{b1}$ 呈极显著正相关,因此,高的大气湿度和土壤钙含量可获得高 $R_{b1}$ 含量。三七主根总皂苷主要受1月最

低温、纬度、主根钙、主根铜的影响,高的1月最低温、较低的纬度和高的主根钙、铜含量可获得高的总皂苷含量。三七中钙、铜含量和土壤中有有效态钙、铜含量显著相关,这也与目前三七产区绝大多数在石灰岩母质上相一致<sup>[19]</sup>。三七主根单体皂苷 $R_{g1}$ 、 $R_{b1}$ 远高于 $R_1$ , $R_1$ 仅占总皂苷的5%~9%。因此,三七主根总皂苷含量主要取决于 $R_{g1}$ 、 $R_{b1}$ 含量的高低。综合考虑,较高的1月最低温、大气湿度、土壤钙含量,较低的纬度、7月平均温是获得三七主根高皂苷含量的关键。

### 4 结论

(1)三七主根皂苷组分及总皂苷含量均具有地域性特征,三七皂苷 $R_1$ 含量较高的是滇西、文山、昆明,人参皂苷 $R_{g1}$ 、人参皂苷 $R_{b1}$ 、总皂苷含量较高的为文山、滇西、贵州。

(2)三七主根三七皂苷 $R_1$ 与土壤pH、纬度、7月均温呈显著负相关,土壤pH、纬度是其主要决定性因子,7月平均温是其主要限制因子。三七主根人参皂苷 $R_{g1}$ 含量主要受1月最低温、7月最高温和纬度的制约,三者均为人参皂苷 $R_{g1}$ 的限制性因子,其中以1月最低温影响最大。三七主根人参皂苷 $R_{b1}$ 含量主要受大气湿度和主根钙含量的影响,二者均为其决定性因子。三七主根总皂苷主要受1月最低温、纬度、主根钙含量、主根铜含量的影响,高的1月低温,较低的纬度,高的主根钙、铜含量可获得高的总皂苷含量。

(3)较高的1月最低温、大气湿度、土壤钙含量,较低的纬度、7月平均温是获得三七主根高皂苷含量的关键。

#### 参考文献:

[1] 曾燕,郭兰萍,杨光,等. 环境生态因子对药用植物皂苷成分的影响

- [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(17):313-318. ZENG Y, GUO L P, YANG G, et al. Effect of environmental ecological factors on saponins of medicinal plant[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formula*, 2012, 18(17):313-318.
- [2] 马文琪, 王红阳, 张文晋, 等. 生态因子对人参外形和皂苷类成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(8):1920-1926. MA W Q, WANG H Y, ZHANG W J, et al. Effects of ecological factors on shape and ginsenoside of *Panax ginseng*[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46(8):1920-1926.
- [3] 任平, 付博, 刘晨, 等. 景天三七主要活性成分与土壤、气象因子的相关性[J]. 生态环境学报, 2019, 28(5):908-917. REN P, FU B, LIU C, et al. Correlation between the active components and soil and meteorological factors of *Sedum aizoon*[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2019, 28(5):908-917.
- [4] 宫福雨, 程林, 韩梅, 等. 黄芩药效成分积累的生态因子特征分析[J]. 中药材, 2020, 43(7):1570-1576. GONG F Y, CHENG L, HAN M, et al. Characteristics analysis of ecological factors in accumulation of effective components in *Scutellaria baicalensis*[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2020, 43(7):1570-1576.
- [5] 石云龙, 韩梅, 孙卓, 等. 林下栽培灵芝主要活性成分与生态因子的关系[J/OL]. 吉林农业大学学报:1-10[2021-12-11]. <https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2021.5642>. SHI Y L, HAN M, SUN Z, et al. Relationship between main active components of *Ganoderma lucidum* and ecological factors[J/OL]. *Journal of Jilin Agricultural University*: 1-10 [2021-12-11]. <https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2021.5642>.
- [6] 夏鹏飞, 马肖, 杨蕊菁, 等. 甘肃不同产地黄芩质量与气候因子的相关性[J]. 国际药学研究杂志, 2020, 47(1):51-56. XIA P F, MA X, YANG R J, et al. Correlation between quality and climatic factors for *Gentiana officinalis* from different producing area in Gansu Province[J]. *Journal of International Pharmaceutical Research*, 2020, 47(1):51-56.
- [7] 何忠俊, 黄希, 梁社往, 等. 滇重楼根茎皂苷含量与生态因子的关系[J]. 生态环境学报, 2016, 25(3):409-414. HE Z J, HUANG X, LIANG S W, et al. Relationships between total saponin content in rhizome of *Paris polyphylla* var. *yunnannensis* and ecological factors[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2016, 25(3):409-414.
- [8] 崔秀明, 陈中坚. 三七药材的道地性研究[M]. 昆明:云南科技出版社, 2007. CUI X M, CHEN Z J. Study on the genuine nature of *Panax notoginseng*[M]. Kunming:Yunnan Science and Technology Press, 2007.
- [9] 何忠俊, 梁社往, 丁颖, 等. 三七主根稳定碳同位素组成与生态因子的关系[J]. 生态环境学报, 2015, 24(4):561-568. HE Z J, LIANG S W, DING Y, et al. Relationships between stable carbon isotopic composition in taproot of *Panax notoginseng* and ecological factors[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2015, 24(4):561-568.
- [10] 金航, 崔秀明, 陈中坚, 等. 三七栽培土壤地质背景分区特征[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2009, 31(增刊1):440-445. JIN H, CUI X M, CHEN Z J, et al. District characteristic of geological background soil on cultivation in *Panax notoginseng*[J]. *Journal of Yunnan University(Natural Sciences)*, 2009, 31(Suppl 1):440-445.
- [11] 陈茵. 云南产区三七产量和品质及其与环境因子关系研究[D]. 昆明:云南农业大学, 2014. CHEN Y. Yield and quality of *Panax notoginseng* and its correlation with environmental factors in the producing areas of Yunnan Province[D]. Kunming:Yunnan Agricultural University, 2014.
- [12] 冯旭芹, 崔秀明, 陈中坚, 等. 三七有效成分与气候生态因子的相关性分析[J]. 中国农业气象, 2006, 27(1):16-18, 22. FENG X Q, CUI X M, CHEN Z J, et al. Analysis of correlation between effective components of Burk (*Panax notoginseng*) and meteorological factors[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2006, 27(1):16-18, 22.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 三版. 北京:中国农业出版社, 2005. BAO S D. Soil agrochemical analysis[M]. 3rd Edition. Beijing:China Agricultural Press, 2005.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978. Nanjing Institute of Soil Sciences, Chinese Academy of Sciences. Physical and chemical analysis of soil[M]. Shanghai:Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [15] 赵江. 不同地区三七皂苷含量及其HPLC指纹图谱特征研究[D]. 昆明:云南农业大学, 2014. ZHAO J. Study on the saponin components and HPLC fingerprint characteristic *Panax notoginseng* in different areas[D]. Kunming:Yunnan Agricultural University, 2014.
- [16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版, 2020:243. National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China, Part I [M]. Beijing:China Medical Science and Technology Press, 2020:243.
- [17] 孟祥霄, 黄林芳, 董林林, 等. 三七全球产地生态适宜性及品质生态学研究[J]. 药学报, 2016, 51(9):1483-1493. MENG X X, HUANG L F, DONG L L, et al. Analysis of global ecology of *Panax notoginseng* in suitability and quality[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2016, 51(9):1483-1493.
- [18] 林洁, 赵致, 罗春丽, 等. 贵州引种三七的品质分析[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(9):2226-2228. LIN J, ZHAO Z, LUO C L, et al. Quality analysis of *Panax notoginseng* introduced in Guizhou[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2020, 31(9):2226-2228.
- [19] 崔秀明, 徐珞珊, 王强, 等. 云南三七道地产区地质背景及土壤理化状况分析[J]. 中国中药杂志, 2005(5):332-335. CUI X M, XU L S, WANG Q, et al. Analysis on the geologic background and physicochemical properties of soil for the cultivation of *Panax notoginseng* in Yunnan Province[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2005(5):332-335.

(责任编辑:李丹)