

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2022.60782

杨芙蓉, 冉家栋, 谢彩香. 基于化学成分和气候特征的当归品质空间变异规律[J]. 植物科学学报, 2022, 40(6): 782-790

Yang FR, Ran JD, Xie CX. Quality variation in *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels based on chemical composition and ecological characteristics[J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(6): 782-790

# 基于化学成分和气候特征的当归品质空间变异规律

杨芙蓉<sup>1,2</sup>, 冉家栋<sup>1,2</sup>, 谢彩香<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国医学科学院, 北京协和医学院药用植物研究所, 国家中医药管理局中药资源保护重点研究室, 北京 100193;

2. 中药资源教育部工程研究中心, 北京 100193)

**摘要:** 以甘肃省地道药材当归 (*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels) 为材料, 探讨当归品质的空间变异规律和气候特征。基于当归的 5 种化学成分含量分析其品质变异规律, 并结合不同时间尺度气候因子研究品质变异的主要气候成因。结果显示, 根据当归 5 种化学成分总含量可分为甘肃-云南高含量区和四川-湖北低含量区, 藁本内酯、阿魏酸、丁烯基苯酐是造成当归品质地理变异的 3 种主要化学成分。年平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温和年平均相对湿度是影响当归品质地理变异的主要气候因子, 且 4 - 10 月间的月平均气温与丁烯基苯酐和藁本内酯呈强负相关, 5 - 9 月间的月平均气温与阿魏酸呈强负相关, 说明花果期适当的低温、低湿有利于当归成分藁本内酯、阿魏酸、丁烯基苯酐的积累。研究结果解释了云南和甘肃低热量区当归品质相似的气候原因。

**关键词:** 当归; 化学成分; 品质变异; 气候特征; 相关性

中图分类号: S567.23<sup>+</sup>9

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2022)06-0782-09

## Quality variation in *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels based on chemical composition and ecological characteristics

Yang Fu-Rong<sup>1,2</sup>, Ran Jia-Dong<sup>1,2</sup>, Xie Cai-Xiang<sup>1,2\*</sup>

(1. Key Lab of Chinese Medicine Resources Conservation, State Administration of Traditional Chinese Medicine of the People's Republic of China, Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100193, China; 2. Engineering Research Center of Chinese Medicine Resources, Ministry of Education, Beijing 100193, China)

**Abstract:** Medicinal plant quality is the basis for ensuring the efficacy of medicinal materials. Here, we investigated the spatial variation characteristics of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels in Gansu Province, China, based on chemical composition and ecological characteristics. Quality variation patterns in *A. sinensis* were explored based on the contents of five chemical components as well as climatic factors at different time scales. Results showed that the quality of *A. sinensis* in Gansu, Yunnan, Sichuan, and Hubei could be divided into high-content (Gansu-Yunnan) and low-content regions (Sichuan-Hubei). Furthermore, ferulic acid, ligustilide, and 3-butylidenephthalide were the three main chemical components causing geographic variation in *A. sinensis* quality. Mean annual air temperature,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  activity accumulated temperature, and average annual relative humidity were the key climatic factors affecting geographic variation in *A. sinensis* quality. Average monthly air temperature from April to October showed a strong negative correlation with 3-butylidenephthalide and ligustilide content, while average monthly air temperature from May to September showed a strong

收稿日期: 2022-06-28, 修回日期: 2022-08-25。

基金项目: 中国医学科学院创新工程项目 (2017-I2M-B&R-09)。

This work was supported by a grant from the Innovation Project of the Chinese Academy of Medical Sciences (2017-I2M-B&R-09)。

作者简介: 杨芙蓉 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药资源学 (E-mail: xn961111@163.com)。

\* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: caixiangxie@163.com)。

negative correlation with ferulic acid content. These results suggest that appropriate low-temperature and low-humidity climates are beneficial for ligustilide, ferulic acid, and 3-butylenephthalide accumulation in *A. sinensis*, thus explaining the similar quality of *A. sinensis* in Yunnan and Gansu.

**Key words:** *Angelica sinensis*; Chemical composition; Quality variation; Climatic characteristics; Correlation analysis

中药当归为伞形科当归属植物当归 (*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels) 的干燥根，具有补血活血，调经止痛等功效<sup>[1, 2]</sup>。当归主产于我国甘肃、云南、四川、湖北等海拔较高的阴湿地区<sup>[3]</sup>，其中甘肃岷县地区所产“岷归”因其产量高、品质好、疗效佳，多项评价指标都优于其他产地而被称为当归的道地产区<sup>[4]</sup>。药用植物有效物质的合成和积累与生态环境密切相关<sup>[5-7]</sup>。研究表明，当归中的阿魏酸是有机酸中的主要活性成分；藁本内酯、洋川芎内酯 A、丁烯基苯酞和正丁基苯酞等苯酞类化合物是当归挥发油的主要成分，其中藁本内酯含油量最高，具有抗肿瘤、抗氧化和消炎解痛的药理作用<sup>[8]</sup>。

不同产地当归有效成分种类和含量存在显著差异<sup>[9-11]</sup>。张金渝等<sup>[12]</sup>发现云南大理所产当归的挥发油含量明显高于云南沾益县。多位研究者发现甘肃省不同产区当归中化学成分也有明显差异<sup>[13-17]</sup>。但是目前的研究多聚焦于当归化学成分、药理、方剂配伍应用等方面<sup>[18-23]</sup>，对当归化学品质的地域差异研究主要集中在化学成分含量或种类差异分析方面<sup>[24]</sup>，而气候因子对当归品质影响研究开展较少<sup>[25-31]</sup>，尤其缺少气候因子对药材品质的动态影响分析。研究表明，生态小环境对植物生长发育发挥着重要作用<sup>[32, 33]</sup>，气候因子的动态变化会直接影响药用植物次生代谢产物的形成和累积<sup>[34]</sup>，因此，药用植物有效成分合成累积的精细时空规律研究是阐释药用植物品质地域差异的关键。本文研究了不同产区当归品质的地域变异规律及其与气候因子间的动态关系，并结合物候期阐释当归品质区域变异的气候特征，以期为实施中药材生产质量管理规范和药材质量控制提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 植物材料

1.1.1 当归样品及含量数据来源

本研究选用的当归样品采集于 2012 年 10 -

11 月间(均为 2 年生)，主要来自于甘肃、四川、湖北、云南等 4 个当归主产区，经药用植物研究所林余霖研究员鉴定为伞形科植物当归<sup>[35]</sup>。

表 1 当归样本点地理信息表  
Table 1 Geographic distribution information of *Angelica sinensis* sampling points

| 编号<br>Number | 来源<br>Region | 经纬度<br>Latitude and longitude |
|--------------|--------------|-------------------------------|
| GS1          | 甘肃岷县         | 34.39°N, 104.09°E             |
| GS2          | 甘肃岷县         | 34.29°N, 104.10°E             |
| GS3          | 甘肃宕昌县        | 34.27°N, 104.18°E             |
| GS4          | 甘肃省岷县        | 34.55°N, 104.12°E             |
| GS5          | 甘肃渭源县        | 35.10°N, 104.04°E             |
| YN1          | 云南鹤庆县        | 26.47°N, 100.08°E             |
| YN2          | 云南鹤庆县        | 26.48°N, 100.08°E             |
| YN3          | 云南鹤庆县        | 26.48°N, 100.08°E             |
| SC1          | 四川中江县        | 30.96°N, 104.53°E             |
| SC2          | 四川中江县        | 30.96°N, 104.53°E             |
| SC3          | 四川中江县        | 30.96°N, 104.53°E             |
| SC4          | 四川中江县        | 30.96°N, 104.53°E             |
| HB1          | 湖北房县         | 32.09°N, 110.75°E             |
| HB2          | 湖北房县         | 32.15°N, 110.74°E             |
| HB3          | 湖北房县         | 32.07°N, 110.71°E             |

1.1.2 环境变量

本文采用两大类环境变量，第 1 类是来源于中国气象数据网共享平台和世界气候数据库 (<http://www.worldclim.org/>) 的气候因子，第 2 类是 Harmonized World Soil Database 中的土壤因子。

1.2 方法

1.2.1 当归成分含量测定

采用超高效液相色谱 (UPLC) 法测定当归有效成分含量，Acquity UPLC 超高效液相色谱仪-二极管阵列检测器 (DAD) (Waters, Milford, USA)。BEH C18 色谱柱 (2.1 mm × 100 mm, 1.7 μm)；流动相 0.1% 甲酸 (A)：乙腈 (B)，梯度洗脱见表 2；流速 0.3 mL/min；柱温 35℃；检测波长：阿魏酸、洋川芎内酯 A、正丁基苯酞、藁本内酯 (281 nm)、

丁烯基苯酞(261 nm); 进样量 2  $\mu\text{L}$ <sup>[35]</sup>。

表 2 梯度洗脱表  
Table 2 Gradient elution procedure

| 时间<br>Time / min | 流动相比例 A : B<br>Mobile phase ratio A : B |
|------------------|---|
| 0 → 4            | 95 : 5                                  |
| 4 → 7            | 95 : 5 → 76 : 24                        |
| 7 → 8            | 76 : 24 → 72 : 28                       |
| 8 → 10           | 72 : 28 → 50 : 50                       |
| 10 → 12          | 50 : 50 → 30 : 70                       |
| 12 → 15          | 30 : 70 → 0 : 100                       |
| 15 → 16          | 0 : 100 → 95 : 5                        |

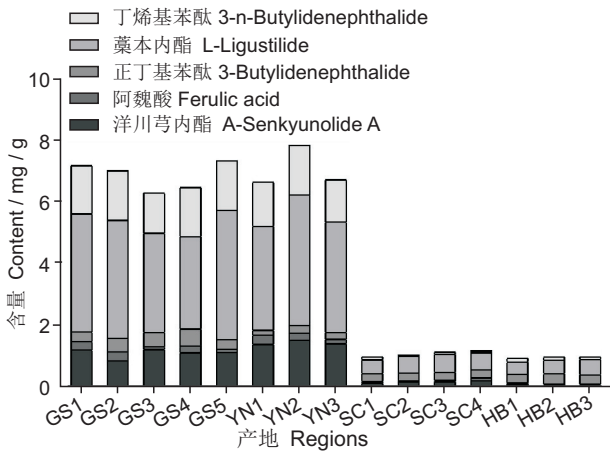
1. 2. 2 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 软件统计数据, 运用 Prism 8.0 软件绘图。用 Analyze-Descriptive Statistics 法标准化不同量纲数据后进行统计分析。采用系统聚类法和组间联结进行聚类分析, 年均因子聚类采用 Pearson 距离法。相关性分析先用 S-K 检验数据正态性, 后采用 Spearman 分析。

2 结果与分析

2. 1 不同产地当归有效成分含量

本研究中, 当归 5 种有效成分阿魏酸、洋川芎内酯 A、正丁基苯酞、藁本内酯、丁烯基苯酞的含量测定结果如图 1 所示。



GS: 甘肃 (Gansu); HB: 湖北 (Hubei); SC: 四川 (Sichuan); YN: 云南 (Yunnan)。下同。

图 1 当归有效成分含量  
Fig. 1 Active component content in *Angelica sinensis*

根据 5 种化学成分总含量, 当归品质可划分为两大化学型, 即甘肃-云南高含量区和四川-湖北低含量区。其中, 阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯、丁烯基苯酞在甘肃-云南地区的平均值分别为 1.2、0.2、3.7、1.5 mg/g, 而四川-湖北地区仅为 0.1、0.047、0.49、0.08 mg/g。正丁基苯酞含量在两地区间相差不大。同时, 主成分分析结果显示, 阿魏酸、藁本内酯、丁烯基苯酞是当归品质地理变异的主要化学成分。

2. 2 多尺度气候因子与当归化学成分相关性

气候因子对当归成分的影响具有动态性和连续性, 本研究分别基于不同时间尺度的气候因子与当归 5 种化学成分含量进行相关性分析。

2. 2. 1 年均因子

本研究发现, 阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯、丁烯基苯酞含量与年均温、年均相对湿度以及  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温均呈显著负相关(表 3), 而与年均日照量呈显著正相关, 说明这 4 种化学成分随热量因子和湿度因子增加而降低, 随光照因子增加而增加, 即适当的低温、低湿、强日照条件有利于其含量积累。而正丁基苯酞仅与年降水呈显著负相关, 说明正丁基苯酞含量受气候因子影响弱于其他 4 种成分。

2. 2. 2 季度因子

当归中阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯、丁烯基苯酞 4 种化学成分与最热月份最高温 (bio5)、最湿季平均温度 (bio8)、最热季平均温度 (bio10)、最干月降水量 (bio14)、最干季降水量 (bio17)、最冷季降水量 (bio19) 均呈显著负相关(图 2), 说明生长季的低温以及冬季低湿有利于 4 种成分形成; 同时也说明昼夜温差大也有助于这 4 种成分累积。相关性分析结果也显示, 气温浮动和当归生长季的少雨都有助于正丁基苯酞含量累积, 这与 2.2.1 中的结论相呼应。

2. 2. 3 月均因子

本研究发现(图 3), 当归中 5 种化学成分含量与月均温均呈负相关, 说明在当归的全生育期内, 相对低温有助于有效成分的积累。干季少雨有利于当归活性成分的积累(附表 1<sup>1)</sup>)。阿魏酸含量、洋川芎内酯 A、藁本内酯以及丁烯基苯酞的含量在干

1) 如需查阅附表内容请登录《植物科学学报》网站 (<http://www.plantscience.cn>) 查看本期文章。

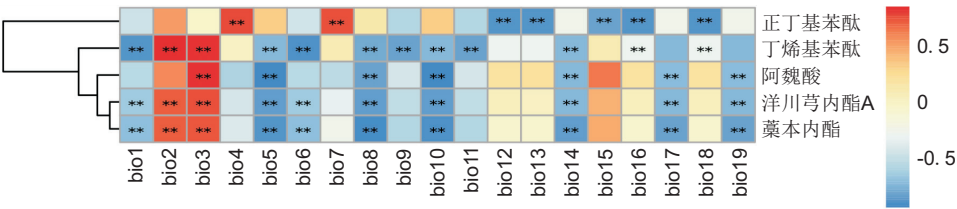
表 3 当归 5 种成分含量与年均气候因子的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between annual climate factors and chemical component content

| 化学成分<br>Chemical components | 年均降水量<br>Average annual precipitation | 年均温<br>Average annual temperature | 年均日照量<br>Average annual solar radiation | 年均相对湿<br>Average annual humidity | ≥ 10℃活动积温<br>≥ 10℃ total active temperature |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|---|
| 阿魏酸 Ferulic acid            | 0.184                                 | -0.553 *                          | 0.774 **                                | -0.763 **                        | -0.583 *                                    |
| 洋川芎内酯 A Senkyunolide A      | 0.013                                 | -0.645 **                         | 0.718 **                                | -0.734 **                        | -0.577 *                                    |
| 正丁基苯酞 3-n-Butylphthalide    | -0.869 **                             | -0.475                            | -0.087                                  | 0.058                            | -0.489                                      |
| 藁本内酯 Ligustilide            | -0.085                                | -0.699 **                         | 0.729 **                                | -0.717 **                        | -0.670 **                                   |
| 丁烯基苯酞 3-Butylenephthalide   | -0.212                                | -0.768 **                         | 0.736 **                                | -0.737 **                        | -0.722 **                                   |

注：\* 0.05 级别(双尾)相关性显著；\*\* 0.01 级别(双尾)相关性显著。

Notes: \* Indicates significant differences at  $P < 0.05$  level, \*\* indicates significant differences at  $P < 0.01$  level.

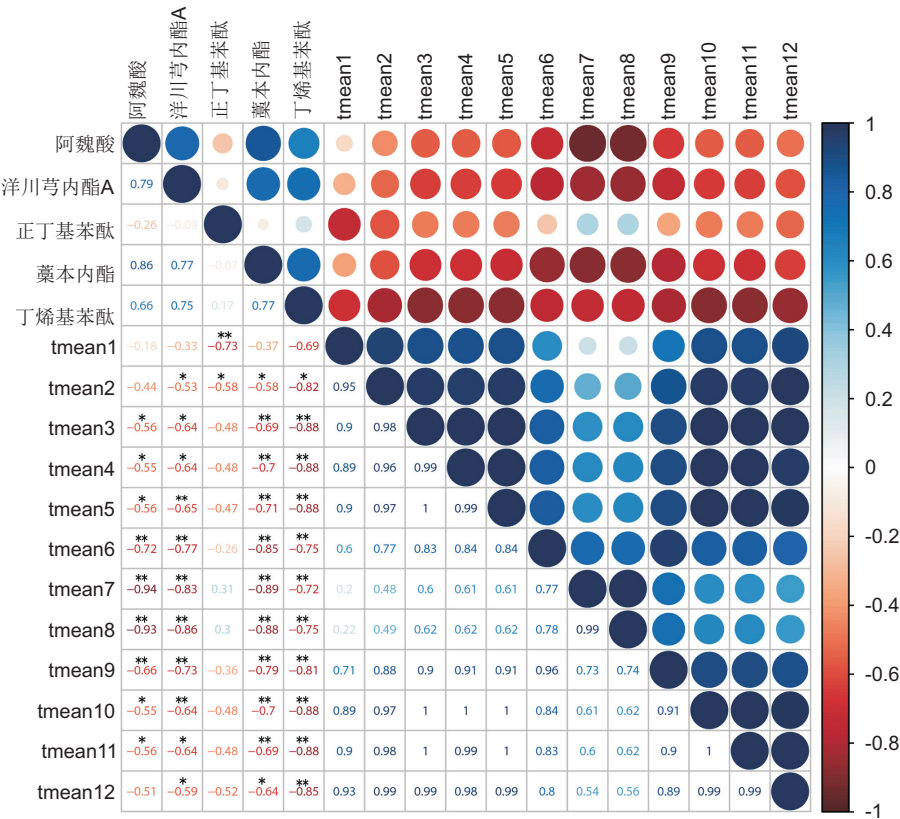


\* 表示 0.05 级别(双尾)相关性显著；\*\* 表示 0.01 级别(双尾)相关性显著。下同。

\* indicates significant differences at  $P < 0.05$  level, \*\* indicates significant differences at  $P < 0.01$  level. Same below.

图 2 当归 5 种成分含量与季度气候因子的相关性热图

Fig. 2 Heatmap of correlation analysis between seasonal climatic factors and chemical component content



tmean1~12: 1 - 12 月平均温度。

tmean1 - 12: Average monthly temperatures from January to December.

图 3 当归 5 种成分含量与月均温的相关系数

Fig. 3 Correlation coefficients between average monthly temperature and chemical component content



旱季(1-5月与11-12月)与月均太阳辐射量呈显著正相关;而正丁基苯酐含量与6-8月月均太阳辐射量呈显著正相关(附表2<sup>1)</sup>)。说明较高的月均太阳辐射量有利于当归中五种成分的积累,与2.2.1中的结论一致。阿魏酸、洋川芎内酯A、藁本内酯以及丁烯基苯酐含量与1-12月月均水汽压呈显著负相关;正丁基苯酐含量与7-8月月均水汽压呈负相关(附表3<sup>2)</sup>)。说明在当归的全生育期,相对较低的月均水汽压利于当归有效成分的积累。

由此可见,阿魏酸、洋川芎内酯A、藁本内酯、丁烯基苯酐4种化学成分均与年均温呈显著负相关;与热季期间的温度呈显著负相关;尤其是与5-9月的温度呈显著负相关。对于降水量因子而言,上述4种成分与年均降水没有明显的相关性;但根据季度因子发现这4种成分与干季降水量(bio17)呈显著负相关,而与最湿季度降水量(bio16)呈正相关,从而导致在年均降水水平上显示弱正相关;同时也表明,4种成分与1-5月的月均降水呈显著负相关。多层次气候因子体系可分析气候因子对化学成分影响的动态变化以及累积的关键时间窗口,可为田间管理措施提供一定依据,

也可为深入研究高品质药用植物形成机理提供参考。

2.3 当归不同品质区气候特征

为探索当归不同品质区的气候差异,根据当归采样点处的4种月均因子做全年的动态曲线(图4)。结果显示,就月均温和月均水汽压因子而言,甘肃-云南高含量区这两个因子曲线的变化趋势和数值相近,而湖北-四川低含量区相似。甘肃-云南区的月均温全年低于四川-湖北区,两地区间月均气温在最热季相差大约10℃;甘肃-云南区的月均水汽压全年低于四川-湖北区,四川-湖北地区水汽压在7和8月可高达约280 kPa,而甘肃和云南仅为100~150 kPa,差值约150 kPa。

而月均降水量和月均太阳辐射量这两个因子在两个品质区之间没有一定的规律性。

2.4 当归采样区土壤特征

本研究选取代表土壤肥力2个指标(有机碳比例(S\_OC)、阳离子交换能力(S\_CEC\_SOIL));土壤酸碱度2个指标(酸碱度(S\_PH\_H2O)、碳酸钙含量(S\_CACO<sub>3</sub>))和土壤质地3个指标(土壤类型(S\_USDA\_TEX\_CLASS)、沙子比例(S\_SAND)、砂砾比例(S\_GRAVEL)),共7个指

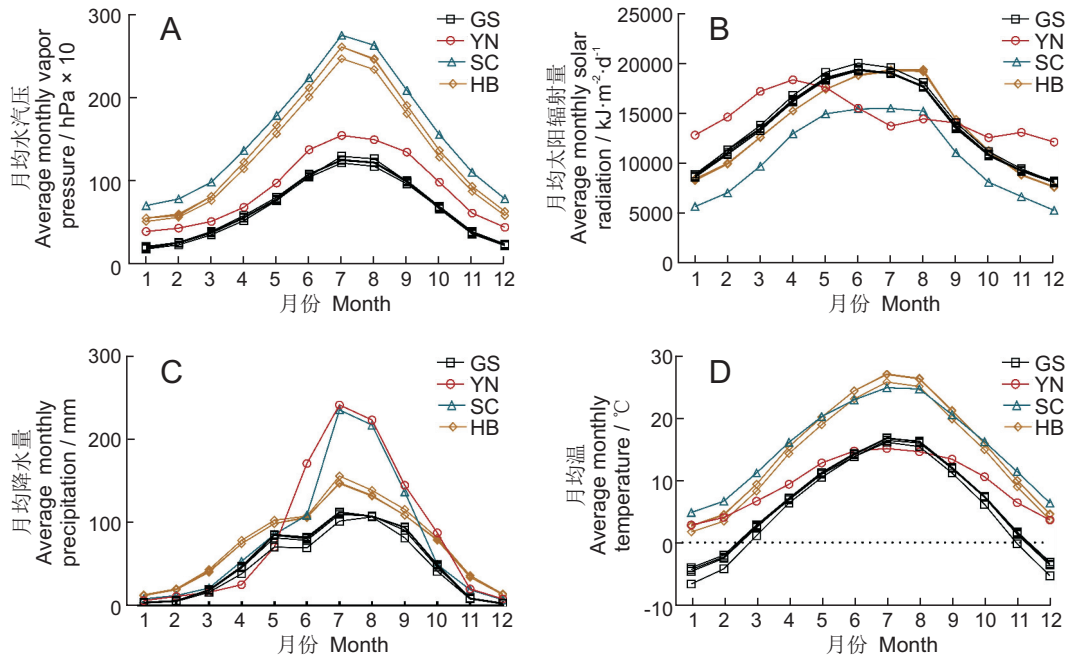


图 4 不同产地月均因子动态曲线图  
Fig. 4 Mean monthly factor dynamic curve in different regions

标, 研究不同地区土壤理化性质差异。

土壤肥力分析结果显示, 甘肃地区土壤中  $S_{-}CEC_{-}SOIL$  平均数值最高(保肥性好), 土壤中也含有较高的有机碳(较肥沃)。同时, 土壤类型分析表明甘肃地区土壤多属于壤土, 且平均砂砾比例相对最高, 说明甘肃地区土壤排水良好, 同时又富含有机质, 符合当归生物学特性土层深厚, 肥沃疏松, 排水良好, 富含有机质的腐殖土、砂壤土中。土壤酸碱度显示云南土壤属于微酸性, 而甘肃地区多属于微碱性土壤。

## 3 讨论

### 3.1 当归药材中的化学成分地理变异规律

药材因产地不同而呈现品质差异, 因此衍生出药材品质标杆的“道地药材”<sup>[36]</sup>。庄志宏等<sup>[14]</sup>的研究结果说明不同产地当归中阿魏酸含量甘肃最高, 其次是云南。赵奎君等<sup>[17]</sup>的研究发现甘肃、云南、四川、陕西4个省区中, 甘肃产当归中阿魏酸、藁本内酯和总多糖含量最高, 其次是云南地区。吴雪荣<sup>[37]</sup>的研究发现甘肃和云南地区的当归阿魏酸含量不相上下。可见, 上述研究中甘肃和云南地区的当归品质有一定的相似性。本研究结果表明甘肃和云南产区当归品质相似, 而四川和湖北地区表现出一致性。

### 3.2 气候因子与当归化学成分相关性

药用植物化学成分积累随着生长季节和生长年限发生着动态变化<sup>[38, 39]</sup>, 主要原因是次生代谢产物的调控酶及相关基因受到外界环境刺激后的特异性表达, 导致次生代谢物在特定时间内合成并释放<sup>[40, 41]</sup>。

本研究发现, 当归中的正丁基苯酞受气候因子影响较小, 而阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯、丁烯基苯酞含量与气候因子具有强相关性。白贞芳等<sup>[42]</sup>的研究显示, 当归中的阿魏酸5月份含量较高, 随着时间推移, 其含量逐渐递减, 8月份时阿魏酸含量最低, 9月底到10月初含量突然急剧增高。本文中阿魏酸与月均温和月均水汽压全年呈负相关, 而月均温和水汽压全年的动态趋势是先增高, 在7、8月份达到最高, 而后逐渐下降; 尤其是与月均太阳辐射量相关性更为一致, 根据阿魏酸成分与气候因子相关性可以预测其含量变化应该是先增高, 再降低, 而后又升高的趋势, 与白贞芳等<sup>[42]</sup>的研究结果一致。

本研究发现, 较低的温度、湿度、降水以及较高的太阳辐射量有助于当归中阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯和丁烯基苯酞的积累, 与栗孟飞等<sup>[43]</sup>的研究结果一致。当归4种成分(阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯、丁烯基苯酞)在生长周期内, 与太阳辐射量呈强正相关-弱正相关-负相关-弱正相关-强正相关的动态趋势, 而与月均降水量呈强负相关-弱负相关-强负相关, 因此在当归田间种植管理中, 在7-9月对当归加以遮荫和排涝或许对成分累积有积极作用。

阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯、丁烯基苯酞含量年均温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温呈显著负相关, 与年均日照量呈显著正相关, 说明低温长日照有利于当归有效成分的形成积累, 这也符合当归是低温长日照类植物的生物学特性。本研究结果表明阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯和丁烯基苯酞这4种化学成分含量与3-11月月均温、1-5月月降水以及1-12月月均水汽压呈显著负相关; 与1-5月、11-12月月均太阳辐射量呈显著正相关, 因此, 不同当归栽培地区应根据本地的气候条件适当调整农艺措施和田间管理活动。

### 3.3 当归不同产地生态特征

甘肃和云南虽然空间距离较远, 但当归成分却很相似。甘肃-云南品质区的月均温和月均水汽压全年曲线走势一致, 且湖北-四川品质区的月均温和月均水汽压全年曲线走势也一致, 可能月均温和月均水汽压对当归化学成分积累影响较大, 有待后续进行控制栽培实验深入研究。研究发现, 当归4种成分与月均温和月均水汽压全年呈负相关, 而甘肃-云南区品质区的气候特征为月均温不超过  $18^{\circ}\text{C}$  且月均水汽压不超过  $155\text{ kPa}$ , 具有此低温、低水汽压特征的地区包括甘肃南部、云南北部迪庆以及四川西部阿坝和甘孜高原一带, 后续将加大对上述地区当归品质的研究。尽管青海和西藏大部分地区也属于此气候特征区域, 但由于没有考虑极端低温对当归的影响, 所以青藏地区当归品质尚需进一步考察和研究。

当归产区土壤理化性质指标分析结果显示, 甘肃地区土壤肥力较好, 且砂砾比例相对最高, 排水性好, 根部病虫害少。而云南地区土壤为粘壤土, 砂砾比例低且排水性差, 同时由于该地区降水量大, 容易造成土壤水分含量过高而引起根腐病, 因此, 云南地区若能做好土地的排涝工作, 水热条件

和甘肃也比较相似,也是高品质当归的潜在生产区域。

## 参考文献:

- [1] 邱丽丽,毛敏,梅全喜,张勤帅,丁菊英.当归补血活血功效及其妊娠用药安全性考辩[J].时珍国医国药,2017,28(1):157-160.  
Qiu LL, Mao M, Mei QX, Zhang QS, Ding JY. The study of textual research on *Materia Medica* and analysis about the blood nourishing and blood circulation activating efficacy of *Angelica sinensis* and the safety of medication in pregnancy women[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2017, 28(1): 157-160.
- [2] 任国瑾,朱顺娟,夏鹏飞,罗倩,韦凌霞,等.基于变异系数的模糊物元模型评价当归不同提取部位润肠通便的效果[J].中国临床药理学杂志,2018,34(10):1191-1194.  
Ren GJ, Zhu SJ, Xia PF, Luo Q, Wei LX, et al. Evaluating the effect of moisturizing intestine to relaxing the bowels of *Angelica*'s different extracted parts with Fuzzy Matter-element model based on variation coefficient weight[J]. *The Chinese Journal of Clinical Pharmacology*, 2018, 34(10): 1191-1194.
- [3] 孙红梅.当归药材资源调查与品质特征的研究[D].北京:中国协和医科大学,2010:2-6.
- [4] 顾志荣,师富贵,王永琦,车富刚.不同产地当归药材质量研究进展[J].甘肃中医学院学报,2014,31(5):80-83.
- [5] 王永炎,张文生.中药材道地性研究状况与趋势[J].湖北民族学院学报(医学版),2006,23(4):1-4.
- [6] 卫亚洁,王佳宇,王安冬,白光灿,侯文珍,等.当归的道地性评价研究现状[J].中医药导报,2017,23(5):96-98.  
Wei YJ, Wang JY, Wang AD, Bai GC, Hou WZ, et al. Current situation on genuineness of Danggui (*Angelica sinensis*) [J]. *Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2017, 23(5): 96-98.
- [7] 金尧.不同生态因子对当归产量及阿魏酸含量的影响[D].兰州:甘肃中医学院,2014:13-19.
- [8] 张来宾,吕洁丽,陈红丽,段金殿,刘军伟.当归中苯酐类成分及其药理作用研究进展[J].中国中药杂志,2016,41(2):167-176.  
Zhang LB, Lü JL, Chen HL, Duan JA, Liu JW. Research progress of structures and pharmacological activities of phthalides from *Angelica sinensis* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2016, 41(2): 167-176.
- [9] 顾志荣,陈晖,王亚丽,文喜艳,孙宇靖.不同生长环境当归药材薄层色谱鉴别研究[J].时珍国医国药,2014,25(9):2164-2166.  
Gu ZR, Chen H, Wang YL, Wen XY, Sun JY. Study on identification of *Angelicae Sinensis* radix from different growth environment by TLC [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2014, 25(9): 2164-2166.
- [10] 南海军,滕希峰,王峰,张宏意,谭玉彬.不同产地当归药材中藁本内酯含量调查分析[J].食品与药品,2015,17(6):393-395.  
Nan HJ, Teng XF, Wang F, Zhang HY, Tan YB. Investigation of ligustilide in *Angelicae Sinensis Radix* from different habitats [J]. *Food and Drug*, 2015, 17(6): 393-395.
- [11] 陈方,向阳,朱立彬,张宝徽,郑国华,胡俊杰.当归药材质量标准提升研究[J].中国药师,2018,21(10):1861-1864.  
Chen F, Xiang Y, Zhu LB, Zhang BH, Zheng GH, Hu JJ. Quality standard improvement for *Angelica sinensis* [J]. *China Pharmacist*, 2018, 21(10): 1861-1864.
- [12] 张金渝,王元忠,赵振玲,杨美权,杨维泽,等.云当归挥发油化学成分的气相色谱-质谱联用分析[J].时珍国医国药,2010,21(1):33-34.
- [13] 李成义,王延惠,魏学明,李硕,王明伟.HPLC测定不同产地当归中阿魏酸的含量[J].西部中医药,2012,25(1):34-36.  
Li CY, Wang YH, Wei XM, Li S, Wang MW. Determination of ferulic acid content in Danggui from different habitats by HPLC [J]. *Western Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2012, 25(1): 34-36.
- [14] 庄志宏,吴剑坤,陈志峰,黄建,何晓东,等.不同产地当归中阿魏酸的含量测定[J].北京中医药,2011,30(8):624-625.
- [15] 刘香南,张明童,赵建邦,宋平顺,丁永辉.甘肃栽培当归性状个体差异与质量的相关性研究[J].中药材,2013,36(6):871-874.  
Liu XN, Zhang MT, Zhao JB, Song PS, Ding YH. Research on relevance between macroscopic feature individual differences and quality of Gansu cultivated *Angelica sinensis* [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2013, 36(6): 871-874.
- [16] 李维莉,马银海,钱丽波,彭金梅.不同产地云归中阿魏酸的含量测定[J].湖北农业科学,2013,52(1):183-185.  
Li WL, Ma YH, Qian LB, Peng JM. Determination of the contents of ferulic acid in *Angelica sinensis* from different regions [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(1): 183-185.
- [17] 赵奎君,钟萌,谢俊大.不同产地当归中阿魏酸、藁本内酯及总多糖含量比较[J].中国中医药信息杂志,2007,14(12):37-38.  
Zhao KJ, Zhong M, Xie JD. Contents comparison of ferulic acid, ligustilide and total polysaccharide in radix *angelicae sinensis* from different regions [J]. *Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine*, 2007, 14(12): 37-38.
- [18] 胡静,李科,李爱平,刘月涛,秦雪梅.当归补血汤物质基础

- 研究进展[J]. 中草药, 2020, 51(21): 5658–5663.
- Hu J, Li K, Li AP, Liu YT, Qin XM. Research progress on material basis of Danggui Buxue Decoction[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2020, 51(21): 5658–5663.
- [19] 杨英来, 崔方, 胡芳, 郭龙, 杨涛, 等. 当归补血、活血作用的谱效关系研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(22): 3923–3927.
- Yang YL, Cui F, Hu F, Guo L, Yang T, et al. Investigation on chromatogram-pharmacodynamics relationship of *Angelica sinensis* on effect of replenishing blood[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2013, 38(22): 3923–3927.
- [20] Li CY, Qi LW, Li P. Correlative analysis of metabolite profiling of Danggui Buxue Tang in rat biological fluids by rapid resolution LC-TOF/MS[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2011, 55(1): 146–160.
- [21] Gong AGW, Huang VY, Wang HY, Lin HQ, Dong TTX, Tsim KWK. Ferulic acid orchestrates anti-oxidative properties of Danggui Buxue Tang, an ancient herbal decoction: elucidation by chemical knock-out approach[J]. *PLoS One*, 2016, 11(11): e0165486.
- [22] 邓雪琪, 管小军, 黄娜娜, 李俊. HPLC法同时测定当归中8种成分[J]. 中成药, 2020, 42(8): 2075–2079.
- Deng XQ, Guan XJ, Huang NN, Li J. Simultaneous determination of eight constituents in *Angelica sinensis* by HPLC[J]. *Chinese Traditional Patent Medicine*, 2020, 42(8): 2075–2079.
- [23] 李霞, 曹旺, 唐标, 邓常清. 基于网络药理学探讨黄芪-当归配伍活性成分改善血管内膜增生的作用机制[J]. 中草药, 2020, 51(15): 3987–3995.
- Li X, Cao W, Tang B, Deng CQ. Mechanism of *Astragali radix-Angelicae sinensis radix* compatibility active ingredients in improving intimal hyperplasia based on network pharmacology[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2020, 51(15): 3987–3995.
- [24] 谢田朋, 柳娜, 王雅莉, 景明. 不同产地当归品质的研究进展[J]. 中医药学报, 2020, 48(1): 72–75.
- Xie TP, Liu N, Wang YL, Jing M. Quality research progress of *Angelica sinensis* from different regions[J]. *Acta Chinese Medicine and Pharmacology*, 2020, 48(1): 72–75.
- [25] 谢彩香, 索风梅, 贾光林, 宋经元, 黄林芳, 陈士林. 人参皂苷与生态因子的相关性[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7551–7563.
- Xie CX, Suo FM, Jia GL, Song JY, Huang LF, Chen SL. Correlation between ecological factors and ginsenosides[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7551–7563.
- [26] 张新慧, 张恩和. 当归叶片光合参数日变化及其与环境因子的关系[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2314–2319.
- Zhang XH, Zhang EH. Diurnal dynamics of photosynthetic parameters in leaves of *Angelica sinensis* and its relation to environmental factors[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(11): 2314–2319.
- [27] 徐小琼, 张小波, 陈娟, 赵文龙, 晋玲. 甘肃产当归生态适宜性研究[J]. 中草药, 2020, 51(12): 3304–3307.
- Xu XQ, Zhang XB, Chen J, Zhao WL, Jin L. Study on ecological suitability of *Angelica sinensis* in Gansu Province[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2020, 51(12): 3304–3307.
- [28] 王婕. 当归药材的质量标准与道地性研究[D]. 甘肃: 兰州大学, 2012: 48–61.
- [29] 张东方, 张琴, 郭杰, 孙成忠, 吴杰, 等. 基于 MaxEnt 模型的当归全球生态适宜区和生态特征研究[J]. 生态学报, 2017, 37(15): 5111–5120.
- Zhang DF, Zhang Q, Guo J, Sun CZ, Wu J, et al. Research on the global ecological suitability and characteristics of regions with *Angelica sinensis* based on the MaxEnt model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(15): 5111–5120.
- [30] 黄林芳, 谢彩香, 陈士林, 段宝忠, 孙成忠, 等. 沙生药用植物锁阳产地适宜性的定量评价[J]. 植物学报, 2010, 45(2): 205–211.
- Huang LF, Xie CX, Chen SL, Duan BZ, Sun CZ, et al. Regional suitability evaluation on desert herb *Cynomorium* [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2010, 45(2): 205–211.
- [31] 贾光林, 黄林芳, 索风梅, 宋经元, 谢彩香, 孙娟. 人参药材中人参皂苷与生态因子的相关性及人参生态区划[J]. 植物生态学报, 2012, 36(4): 302–312.
- Jia GL, Huang LF, Suo FM, Song JY, Xie CX, Sun J. Correlation between ginsenoside contents in *Panax ginseng* roots and ecological factors, and ecological division of ginseng plantation in China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(4): 302–312.
- [32] 信志红, 郭建平, 谭凯炎, 刘凯文, 杨荣光, 等. 冬小麦氨基酸品质与气候生态因子关系研究[J]. 干旱气象, 2020, 38(1): 148–156.
- Xin ZH, Guo JP, Tan KY, Liu KW, Yang RG, et al. Relationship between amino acid quality of winter wheat and meteorological ecological factors[J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2020, 38(1): 148–156.
- [33] 季倩雯, 郑成洋, 张磊, 曾发旭. 河北塞罕坝樟子松径向生长动态变化及其与气象因子的关系[J]. 植物生态学报, 2020, 44(3): 257–265.
- Ji QW, Zheng CY, Zhang L, Zeng FX. Stem radial growth dynamics of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and their relationship with meteorological factor in Saihanba, Hebei, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2020, 44(3): 257–265.
- [34] 何冬梅, 王海, 陈金龙, 赖长江生, 严铸云, 黄璐琦. 中药微生态与中药道地性[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(2): 290–302.
- He DM, Wang H, Chen JL, Lai CJS, Yan ZY, Huang LQ. Microecology and geoherbism of traditional Chinese medicine [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, 45(2): 290–302.



- [35] 任伟光, 李文涛, 黄林芳. 当归颜色与其道地性分析[J]. 中国医院药学杂志, 2015, 35(10): 890–894.  
Ren WG, Li WT, Huang LF. Analysis of correlation between color of *Angelicae sinensis radix* and geo-herbalism [J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2015, 35(10): 890–894.
- [36] 段金廛, 肖小河, 宿树兰, 赵润怀, 严辉. 中药材商品规格形成模式的探讨: 以当归为例[J]. 中国现代中药, 2009, 11(6): 14–17.
- [37] 吴雪荣. 当归中有效成分含量与不同产地的相关性分析[J]. 中医临床研究, 2015, 7(28): 15–16.  
Wu XR. A correlation analysis of effective component content of Danggui in different origin[J]. *Clinical Journal of Chinese Medicine*, 2015, 7(28): 15–16.
- [38] Verma N, Shukla S. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites[J]. *J Appl Res Med Aromat Plants*, 2015, 2(4): 105–113.
- [39] Hu ML, Li YQ, Bai M, Wang YL, Wu H. Variations in volatile oil yields and compositions of *Magnolia zenii* Cheng flower buds at different growth stages [J]. *Trees*, 2015, 29(6): 1649–1660.
- [40] Naghiloo S, Movafeghi A, Delazar A, Nazemiyeh H, As-naashari S, Dadpour MR. Ontogenetic variation of volatiles and antioxidant activity in leaves of *Astragalus compactus* Lam. (Fabaceae) [J]. *Excli J*, 2012, 11: 436–443.
- [41] Morariu A, Caulet PR. Morphine content variation in *Papaver somniferum* L. during phenological development[J]. *Agronomy Series of Scientific Research*, 2011, 54.
- [42] 白贞芳, 李萌, 王杰, 詹雪艳. 当归成药期次生代谢产物含量变化与早期抽薹相关性研究[J]. 中国现代中药, 2019, 21(11): 1532–1536.  
Bai ZF, Li M, Wang J, Zhan XY. Study on relativity between the changes of secondary metabolites contents with early bolting of *Angelica sinensis*[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2019, 21(11): 1532–1536.
- [43] 栗孟飞, 刘学周, 魏建和, 张真, 陈思瑾, 等. 基于生物量、活性物质积累和抗氧化能力的当归高海拔种植区域选择[J]. 中草药, 2020, 51(2): 474–481.  
Li MF, Liu XZ, Wei JH, Zhang Z, Chen SJ, et al. Selection of high altitude planting area of *Angelica sinensis* based on biomass, bioactive compounds accumulation and antioxidant capacity[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2020, 51(2): 474–481.

(责任编辑: 周 媛)