

DOI: 10.5846/stxb201912312854

杨芙蓉,冉家栋,刘海涛,宋经元,谢彩香.唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)功效组分地理变异及气候响应特征.生态学报,2021,41(9):3645-3655.

Yang F R, Ran J D, Liu H T, Song J Y, Xie C X. Geographic variation of functional components and the climatic response characteristics of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9):3645-3655.

## 唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)功效组分地理变异及气候响应特征

杨芙蓉<sup>1,2</sup>,冉家栋<sup>1,2</sup>,刘海涛<sup>1,2</sup>,宋经元<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:**通过研究道地药材唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)四种功效组分的地理变异,以及与多层次气候因子间的响应关系,揭示唐古特大黄不同化学型形成的生态学机制。运用聚类方法研究唐古特大黄成分地理变异的空间规律,并利用相关系数法分析气候因子与唐古特大黄成分的响应关系。结果表明:唐古特大黄功效组分存在明显的地理变异。青海和甘肃地区的唐古特大黄属于结合蒽醌化学生态型;而四川所产唐古特大黄为游离蒽醌化学生态型。不同时间尺度气候因子与唐古特大黄组分间的响应特征为:结合蒽醌类物质与年均温呈强负相关,多酚类物质与年均温和年降水为负相关,而与年均日照时数为正相关;结合蒽醌类物质与最冷季节温度呈强负相关,多酚类物质与最冷季节温度和最湿季降雨量呈强负相关;月均温和月均日照对结合蒽醌类物质和多酚类物质影响大,其中1月至6月平均气温和9月至12月平均气温与蒽醌类物质呈强负相关,多酚类物质与5月日照量、6月日照量和7月日照量表现出强正相关。地区间的温度和日照量差异是唐古特大黄不同化学型形成的气候原因。最冷季的低温和最湿季的日照量是影响唐古特大黄品质的关键气候因子和主要时间窗口。温度浮动大,日照量高且降水量少的低温区域有助于结合蒽醌类和多酚类物质的形成和累积。

**关键词:**唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.);功效组分;地理变异;不同时间尺度气候因子;响应特征

## Geographic variation of functional components and the climatic response characteristics of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.

YANG Furong<sup>1,2</sup>, RAN Jiadong<sup>1,2</sup>, LIU Haitao<sup>1,2</sup>, SONG Jingyuan<sup>1,2</sup>, XIE Caixiang<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:** To reveal the ecological mechanism for various chemical types of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf, this paper was designed to investigate the geographical variation of functional components, and further study the critical climate factors and the key period for various components based on the multi-scales climate factors. The methods of Cluster was applied for analyzing the geographical variation of chemical components of *R. tanguticum*. Coefficient of correlation was used to assess the relationships between the climate factors and the components. Two chemotypes were classified based on the accumulating data, one was the combined anthraquinone chemotype from Qinghai and Gansu province, and the other was the free anthraquinone chemotype from Sichuan province. The relationships between the climate factors and the chemical components were as follows: the anthraquinones were significantly negatively related to annually average temperature. Polyphenols were

基金项目:中国医学科学院医学与健康科技创新工程服务“一带一路”战略先导科研专项(2017-I2M-B&R-09)

收稿日期:2019-12-31; 网络出版日期:2021-03-08

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caixiangxie@163.com

negatively correlated with annually average temperature and annual precipitation, while positively correlated with annually average solar radiation. There was a significantly negative correlation between the combined anthraquinone composition and the temperature of the coldest season. Polyphenols were negatively related to the mean temperature of the coldest quarter and the precipitation of the wettest quarter; mean month temperature and solar radiation were crucial factors for the combined anthraquinone and polyphenols. Anthraquinones compounds were remarkably negatively related to the average temperature from January to June and September to December. Polyphenols showed a strong positive correlation with average month radiation in May, June and July. In conclusion, temperature and solar radiation were the vital factors related to the different chemotypes of *R. tanguticum*. The low temperature in the coldest season and the solar radiation in the wettest season were the main periods, and they were the key factors correlated with the quality of *R. tanguticum*. Low-temperature, high solar radiation and low precipitation were conducive to the accumulation of combined anthraquinone and polyphenols in *R. tanguticum*.

**Key Words:** *Rheum tanguticum*; function composition; geographic variation; the multi-scales climate factors; response characteristics

唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)为蓼科大黄属(*Rheum* Linn.)多年生高大草本植物,为中药材大黄的原植物之一,青海省是其著名的道地产区。唐古特大黄的药用历史悠久,具有泻下攻积、清热泻火、凉血解毒等功效<sup>[1]</sup>。现代药理学研究表明,与这三种主要功效相关的活性成分可分为四类,即具有抑菌功效的游离蒽醌类成分,具有泻下功效的结合蒽醌类成分和双蒽酮类成分,具有抗凝血功效的多酚类成分(主要是没食子酸和儿茶素)<sup>[2-6]</sup>。大黄为我国传统常用大宗中药材,《中华人民共和国药典》(2015版)收录的含大黄成分的中成药多达105种,全国中药制剂中含有大黄成分的比例高达10%<sup>[7]</sup>。

药用资源化学成分的种类及含量的地域性差异是中药材道地性的一种具体体现。特定生态环境条件与遗传基因相辅相成,充分体现了中药的特殊性、地道性和继承性。《本草经集注》“诸药所生,皆有境界”,《唐本草》“离其本土,则质同而效异”,这些记载都说明了生态环境对中药品质影响的重要性。有研究者认为“物种内质量变异有时大于种间差异”是现代道地论的核心思想<sup>[8]</sup>。另有学者研究发现,不同产地的唐古特大黄其功效组分含量有显著差异,且化学成分与环境因子间存在强关联性<sup>[9]</sup>。大黄是多道地产区药用植物的典型代表,青海和甘肃是唐古特大黄和掌叶大黄(*Rheum palmatum* L.)的主产区。因此,唐古特大黄品质地域性以及与其产地气候间的响应关系是阐释唐古特大黄道地性的重要环节。

古人用产地作为道地药材品质的映射体现出整体性思想,药材的道地性成因是中医药领域研究的热点。目前,对中药道地性形成的环境因子和生物因子等虽有所研究,但往往是针对个别因子的单因子影响研究,缺乏对环境因子的综合性和系统性研究<sup>[10-20]</sup>。目前,对不同产区大黄的成分差异及炮制方法,资源分布以及药理研究较多<sup>[21-28]</sup>,但对影响唐古特大黄品质形成的气候因子和响应特征的研究还比较少<sup>[29-30]</sup>,尤其是尚未见到有关唐古特大黄与多尺度气候因子的系统性研究。因此,本文基于不同产地唐古特大黄的药效组分含量对多产地的唐古特大黄进行生态型划分,并基于多尺度气候因子和多种数学统计方法,系统研究气候因子与唐古特大黄品质的响应特征,明确道地药材唐古特大黄的气候响应特征,探索唐古特大黄品质地理变异的气候成因,揭示大黄不同化学生态型形成的生态学机制,为唐古特大黄高品质种植区选址及其资源可持续发展提供研究依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 唐古特大黄样本

文中关于唐古特大黄样本点信息和化学药效组分含量的数据引自李莉对不同道地产区大黄药材质量特

征的研究结果<sup>[31]</sup>。本文调查的唐古特大黄样本点共 11 批,分别来自于大黄的主要产区四川、甘肃、宁夏、青海省。研究样本的采样信息见表 1,样本点分布图见图 1。

表 1 唐古特大黄样本点地理信息表

Table 1 *Rheum tanguticum* geographic information of sampling localities

产地 Region	编号 Number	采集时间 Harvest time	样本量 Sample volume	产地 Region	编号 Number	采集时间 Harvest time	样本量 Sample volume
四川松潘	S-SP	2013-10	5	青海同德	Q-TD	2013-09	6
四川唐克	S-TK	2013-10	4	青海达日	Q-DR	2013-09	5
四川德格	S-DG	2013-10	5	青海玛沁	Q-MQ	2013-09	4
青海久治	Q-JZ	2013-09	5	甘肃夏河	G-XH	2013-10	5
青海祁连	Q-QL	2013-09	5	甘肃天祝	G-TZ	2013-10	5
青海贵德	Q-GD	2013-08	7				



图 1 唐古特大黄采样点

Fig.1 Sampling localities of *Rheum tanguticum*

### 1.1.2 气候数据

本文所采用的气候数据包含三个时间尺度(表 2),首先是 4 个年均因子,来源于中国气象数据网共享平台;其次是 17 个反映季节性变化的综合气候因子,来源于世界气候数据库(<http://www.worldclim.org/>),为 1970—2000 年监测数据的平均值,空间分辨率为 2.5 min;然后是 4 个月均因子,反映温度、降水和日照等因子在月际间的动态变化。

## 1.2 方法

### 1.2.1 唐古特大黄品质测定

采用 HPLC 法测定唐古特大黄样品中游离蒽醌类(芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚)、总蒽醌(芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚)、结合蒽醌(总蒽醌含量-游离蒽醌含量)、多酚类(没食子酸、儿茶素)、双蒽酮苷类(番泻苷 A、番泻苷 B)等组分含量。Agilent1100 高效液相色谱仪(DAD 二极管阵列检测器),色谱柱为 Agilent Zorbax SB-C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm);流动相为 0.05% 的磷酸水溶液(A)-乙腈(B)梯度洗脱(0—10 min, 5%B—11%B; 10—30 min, 11%B—15%B; 30—45 min, 15%B—17%B; 45—60 min, 17%B—22%B; 60—75 min, 22%B—36%B; 75—90 min, 36%B—60%B; 90—105 min, 60%B;

105—110 min, 60%—5%B); 流速 1.0 mL/min; 检测波长 250nm; 柱温 40℃; 进样量 10μL。

表 2 环境变量

Table 2 Environment variables

	指标 Index	气候变量 Climatic variables
综合因子 Comprehensive factors	平均气温及变化系数	温度季节性变化系数 (Bio 4)
	极端温度影响	最热月份最高温 (Bio 5)、最冷月份最低温 (Bio 6)、最热季平均温度 (Bio 10)、最冷季平均温度 (Bio 11)
	降雨量及季节性分布	降雨量季节性变化 (Bio 15)
	极端水分条件	最湿月降雨量 (Bio 13)、最干月降雨量 (Bio 14)、最湿季降雨量 (Bio 16)、最干季降雨量 (Bio 17)
	水热是否同步	最湿季平均温度 (Bio 8)、最干季平均温度 (Bio 9)、最暖季降雨量 (Bio 18) 和最冷季降雨量 (Bio 19)
	温差特点	昼夜温差月均值 (Bio 2)、等温性 (Bio 3)、年温度变化范围 (Bio 7)
月均因子 Monthly factors	月际变化	月均温、月均降水量、月均水汽压、月均太阳辐射量
年均因子 Annual factors	年均值	年均温、年均相对湿度、年降水、年均日照时数

## 1.2.2 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 25.0 进行统计数据分析, 运用 Matlab、Prism 8.0 进行图表绘制。用 Analyze-Descriptive Statistics 法标准化处理不同量纲数据, 得到标准化结果后进行数据统计分析。聚类分析将数据线性标准化后采用系统聚类法, 分析方法采用组间联结和 Pearson 距离法。相关性分析采用 SPSS 中 Pearson 相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 唐古特大黄品质地理变异

不同产地间唐古特大黄 4 种功效组分间的含量具有明显的地理变异 (表 3)。图 2 显示青海和甘肃所产唐古特大黄聚成一类, 四川产唐古特大黄单独成一类。图 3 显示不同地区唐古特大黄 4 种功效组分含量有显著性变化, 尤其是游离蒽醌类、结合蒽醌类和多酚类化学物质含量随地域变化很大。根据 4 种功效组分含量, 唐古特大黄可划分为青海-甘肃型和四川型两种化学生态型。其中青海-甘肃型中结合蒽醌和多酚类物质含量比较高, 而四川型中游离蒽醌含量比较高。青海-甘肃型中结合蒽醌类含量比例为 66.9%, 而四川型中游离蒽醌类含量比例为 70%。图 4 显示不同地区大黄多酚类成分也具有明显地理变异, 其中青海-甘肃型样本中多酚类成分含量高于四川型样本, 而双蒽酮类成分没有明显的地域差异。

表 3 唐古特大黄样本组分含量结果/%

Table 3 Constituent content of *Rheum tanguticum* samples from various sampling localities

编号 Number	游离蒽醌 Free anthraquinone	结合蒽醌 Anthraquinone	双蒽酮 Anthrone	多酚类 Polyphenol
S-SP	0.421±0.333	0.062±0.071	0.347±0.113	0.215±0.096
S-TK	2.477±0.977	0.037±0.018	0.155±0.072	0.225±0.114
S-DG	2.454±0.282	0.029±0.019	0.264±0.226	0.219±0.060
Q-JZ	0.551±0.180	4.377±0.765	0.302±0.100	0.813±0.320
Q-QL	0.817±0.185	4.504±1.344	0.252±0.082	1.266±0.447
Q-GD	1.823±0.489	4.470±1.351	0.614±0.377	0.753±0.487
Q-TD	0.969±0.369	4.589±1.558	0.223±0.065	0.621±0.110
Q-DR	1.212±0.162	7.489±0.843	0.291±0.073	0.862±0.215
Q-MQ	0.894±0.234	4.964±0.576	0.434±0.271	1.377±1.403
G-XH	0.758±0.213	3.513±0.971	0.180±0.095	0.941±0.094
G-TZ	0.701±0.103	3.929±0.813	0.370±0.131	1.449±0.351

表中各个采样点的英文字母编号所代表的产地信息名称对应表 1

## 2.2 唐古特大黄品质对气候因子的响应

基于年-季-月不同时间尺度的气候因子,逐次分析唐古特大黄品质与气候因子间的响应关系。

### 2.2.1 年均气候因子

图 5 显示唐古特大黄 4 种成分与年均日照时数呈正相关。游离蒽醌类物质与 4 个年均气候因子相关性最弱,其次是双蒽酮类物质,而结合蒽醌类物质和多酚类物质与 4 个年均气候因子都有一定的相关性。

表 4 可知结合蒽醌和多酚类物质与 4 种年均因子有较大相关性。其中,结合蒽醌类物质与年均温呈显著负相关;多酚类物质与年均温和年降水呈负相关,而与日照正相关。说明低温少雨且日照时间长的地区适宜结合蒽醌和多酚类物质的产生与积累。

### 2.2.2 季度气候因子

表 5 说明四类组分中只有结合蒽醌和多酚类物质与气候因子间有一定相关性,这与 2.2.1 中结论是一致的。

在 0.01 水平上,与结合蒽醌类物质具有显著负相关的气候因子 Bio 9(最干季平均温度)、Bio 11(最冷季平均温度),说明低温有利于结合蒽醌类物质的累积;在 0.05 水平上,与结合蒽醌类物质具有负相关性的气候因子有 Bio 3(等温性)、Bio 5(最热月份最高温)、Bio 6(最冷月份最低温)、Bio 10(最热季平均温度),说明温度变化剧烈的地区有助于结合蒽醌类物质的积累,最热月份和最冷月份温度越低对结合蒽醌物质形成越有利;而与 Bio 4(温度季节性变化系数)呈现显著正相关,说明温度变化剧烈有利于结合蒽醌物质形成。

在 0.01 水平上,多酚类物质与 Bio 3(等温性)负相关,与 Bio 4(温度季节性变化系数)正相关,说明一年中的温度变化剧烈有利于多酚类物质形成。在 0.05 水平上,与多酚类物质具有显著负相关的气候因子为 Bio 2

(昼夜温差月均值)、Bio 9(最干季平均温度)、Bio 11(最冷季平均温度)、Bio 16(最湿季降雨量)、Bio 18(最暖季降雨量),说明昼夜温差大和最冷季的低温有助于多酚类物质累积,同时降水量越少越有助于多酚类物质形成。

总之,温差大(昼夜温差,季节温差),温度低且降水量少的区域有助于唐古特大黄中结合蒽醌类和多酚类物质的形成和累积。

### 2.2.3 月均因子

通过 2.2.1 和 2.2.2 研究表明,降水量、均温和日照均影响唐古特大黄的组分形成,为深入研究气候因子对各成分的动态影响,进一步分析在月均尺度上三个因子与唐古特大黄功效组分间的相关性,结果见表 6、图 6、表 7。表 6 显示除了游离蒽醌与每月平均气温(7 月和 8 月除外)呈现正相关外,其他三种功效组分与每月平均气温都是负相关,符合 2.2.1 部分结论。其中,与结合蒽醌类物质呈强负相关的是 1 月至 6 月气温和 9 月至 12 月

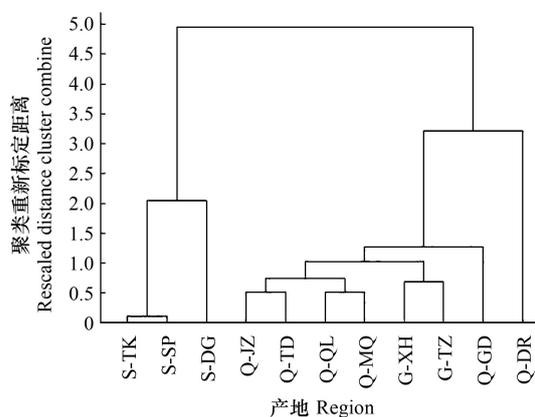


图 2 唐古特大黄化学成分聚类图

Fig.2 The cluster diagram of chemical compositions of *Rheum tanguticum*

S-SP: 四川松潘, S-TK: 四川唐克, S-DG: 四川德格, Q-JZ: 青海久治, Q-QL: 青海祁连, Q-GD: 青海贵德, Q-TD: 青海同德, Q-DR: 青海达日, Q-MQ: 青海玛沁, G-XH: 甘肃夏河, G-TZ: 甘肃天祝

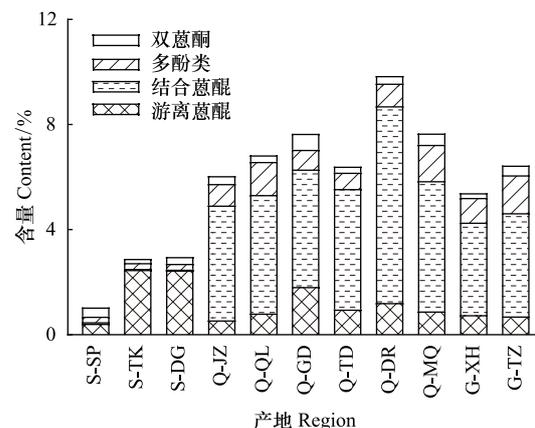


图 3 唐古特大黄 4 种功效组分含量堆积图

Fig.3 The stacked bar of function compositions

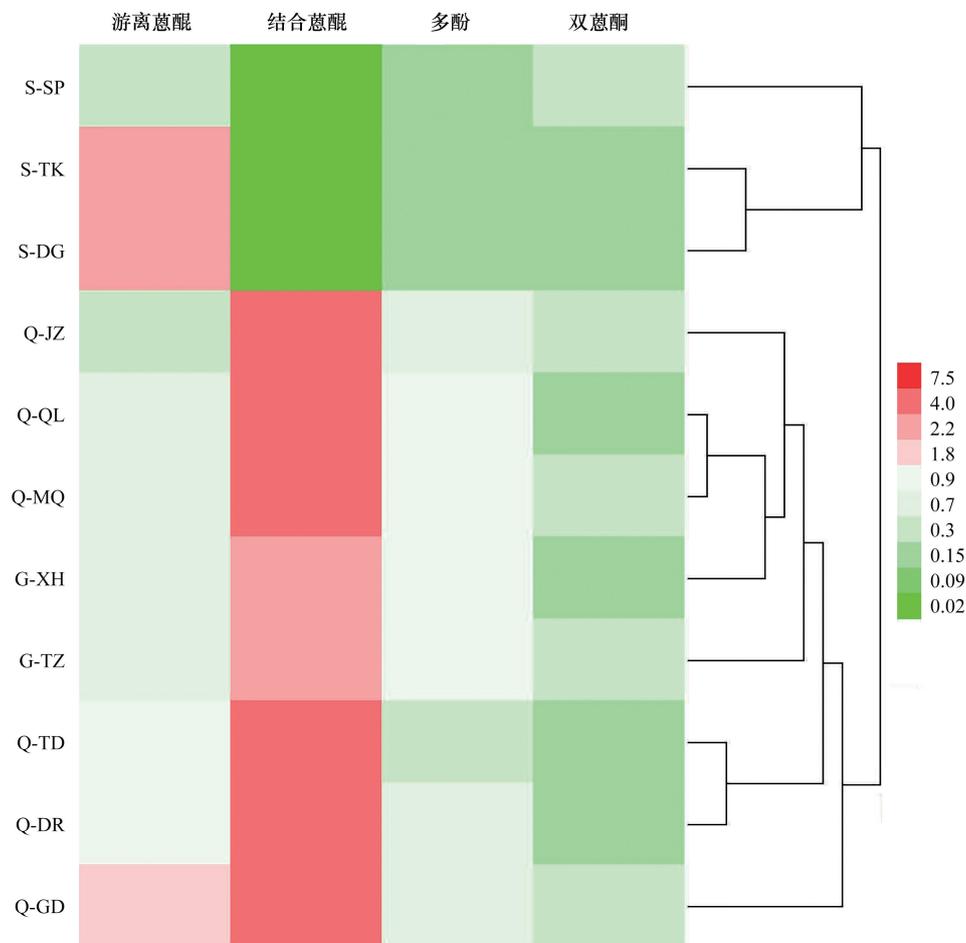


图4 唐古特大黄4种功效组分含量热图

Fig.4 The heatmap of functional compositions in *Rheum tanguticum*

气温,说明最干季节的低温对结合蒽醌累积有利。而月气温对多酚类物质的影响不显著,只有1月至4月气温和12月气温低温对多酚类物质累积有促进作用。

图6说明每月平均降水量只有对多酚类物质有一定的响应。多酚类物质与6—7月平均降水量、9—10月平均降水量呈负相关,说明在最湿季降水量越少越有助于多酚类物质形成。

表7说明,每月平均日照量与结合蒽醌和多酚类物质都呈正相关。尤其是多酚类物质在唐古特大黄生长季节呈现出与日照的强正相关性,说明在唐古特大黄的生长季,日照量对多酚类物质累积有促进作用。

### 2.3 大黄不同品质区气候特征

上述研究结果说明,只有月均温和月均日照量与结合蒽醌和多酚类物质呈强相关性。因此,通过分析这两种因子在唐古特大黄不同品质区的气候差异,以期获得唐古特大黄不同品质区的气候特征。

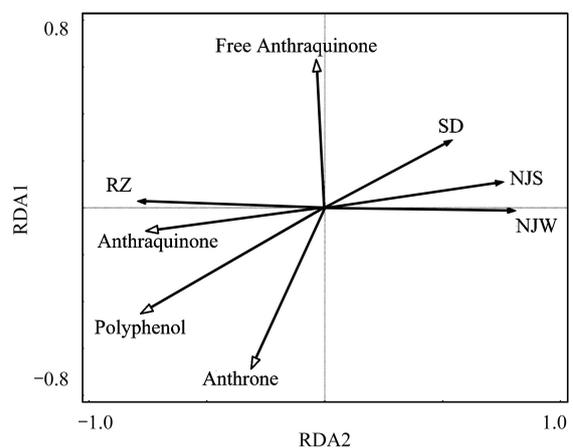


图5 唐古特大黄功效成分与年均因子相关性的冗余分析

Fig.5 Analysis (RDA) of relationships between functional composition in *Rheum tanguticum* and annual factors

表 4 唐古特大黄 4 种功效组分与年均气候因子的相关系数

Table 4 Correlation coefficients for relationships between annual climate factors and functional compositions in *Rheum tanguticum*

	年降水 Average annual precipitation	年均温 Average annual temperature	年均日照时数 Average annual solar radiation	年均相对湿度 Average annual humidity
游离蒽醌 Free anthraquinone	0.054	0.161	0.049	0.111
结合蒽醌 Anthraquinone	-0.587	-0.846 **	0.598	-0.432
多酚 Polyphenol	-0.651 *	-0.649 *	0.605 *	-0.513
蒽酮类 Anthrone	-0.297	-0.243	0.230	-0.427

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

表 5 唐古特大黄 4 种功效组分与季度气候因子间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients for relationships between seasonal climatic factors and four functional compositions of *Rheum tanguticum*

气候变量 Climate variables	游离蒽醌 Free anthraquinone	结合蒽醌 Anthraquinone	多酚类 Polyphenol	蒽酮类 Anthrone
Bio 1	0.154	-0.861 **	-0.569	-0.259
Bio 2	0.249	-0.305	-0.629 *	-0.291
Bio 3	0.397	-0.622 *	-0.827 **	-0.247
Bio 4	-0.257	0.718 *	0.751 **	0.194
Bio 5	-0.015	-0.693 *	-0.288	-0.253
Bio 6	0.117	-0.711 *	-0.371	-0.092
Bio 7	-0.164	0.501	0.308	-0.039
Bio 8	0.034	-0.594	-0.189	-0.109
Bio 9	0.267	-0.825 **	-0.697 *	-0.244
Bio 10	-0.020	-0.615 *	-0.134	-0.139
Bio 11	0.210	-0.862 **	-0.675 *	-0.230
Bio 12	0.058	-0.576	-0.658 *	-0.283
Bio 13	0.174	-0.468	-0.544	-0.297
Bio 14	0.048	-0.467	-0.550	-0.045
Bio 15	0.203	0.464	0.488	0.138
Bio 16	0.197	-0.499	-0.623 *	-0.324
Bio 17	-0.067	-0.494	-0.558	-0.170
Bio 18	0.198	-0.488	-0.635 *	-0.313
Bio 19	-0.067	-0.494	-0.558	-0.170

表 5 中 Bio1—19 的气候因子对应于表 2 中的气候变量; \* 0.05 级别(双尾)相关性显著; \*\* 0.01 级别(双尾)相关性显著

表 6 唐古特大黄 4 种功效组分与月平均气温的相关系数

Table 6 Correlation coefficients for relationships between monthly average temperature and functional compositions of *Rheum tanguticum*

月平均气温 Monthly average temperature	游离蒽醌 Free anthraquinones	结合蒽醌 Anthraquinone	多酚类 Polyphenols	蒽酮类 Anthrone
tmean1	0.206	-0.848 **	-0.667 *	-0.224
tmean2	0.253	-0.882 **	-0.730 *	-0.229
tmean3	0.209	-0.878 **	-0.709 *	-0.264
tmean4	0.149	-0.869 **	-0.626 *	-0.272
tmean5	0.130	-0.797 **	-0.377	-0.247
tmean6	0.033	-0.643 *	-0.163	-0.156
tmean7	-0.086	-0.576	-0.076	-0.138
tmean8	-0.032	-0.594	-0.132	-0.139
tmean9	0.165	-0.838 **	-0.518	-0.317
tmean10	0.196	-0.853 **	-0.598	-0.301
tmean11	0.152	-0.838 **	-0.588	-0.256
tmean12	0.169	-0.850 **	-0.625 *	-0.232

tmean1—12 为 1—12 月份每月月均气温; \* 0.05 级别(双尾)相关性显著; \*\* 0.01 级别(双尾)相关性显著

图 7 显示两区域的月均温差呈现大-小-大的漏斗形,即 1 到 4 月份温差较大,而从 5 月到 8 月两区域间的温差变小,从 9 月到 12 月温差又变大。说明影响结合蒽醌和多酚类物质累积的主要时间窗口(最冷季)内,两区域间的月均温有较大差异。图 8 显示青海-甘肃区域内的每个月的月均日照量都高于四川区域,但在 5—8 月份期间,两地区间差值较小。根据表 5 和表 6 的结论,最冷季月均温与结合蒽醌物质和多酚类物质均呈负相关,而每月日照量与多酚类物质呈正相关,青海-甘肃地区由于最冷季(1 至 5 月份,9 至 12 月份)每月平均气温远低于四川地区,且每月日照量均高于四川地区,所以青海-甘肃地区结合蒽醌物质和多酚类物质含量高于四川地区,这恰恰阐释了青海-甘肃地区和四川地区的唐古特大黄品质存在差异的气候原因。

### 3 讨论

药用植物化学成分含量的地域性差异是中药材道地性的一种具体体现。“产之有地,采之有时,清洁加工,依古炮制”,说明一定的产地环境是保障道地药材好品质的重要环节<sup>[32]</sup>。

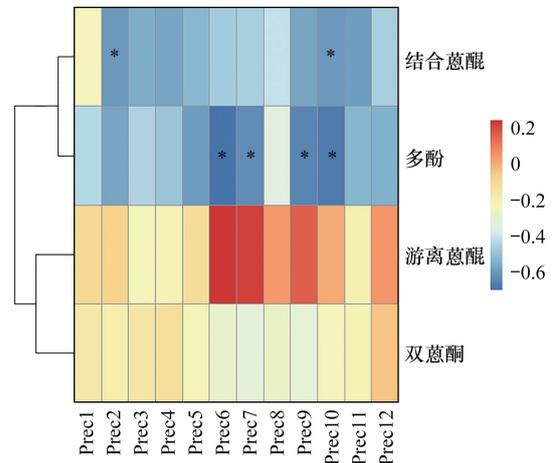


图 6 唐古特大黄 4 种功效组分与月平均降水量的相关系数  
**Fig. 6 Heatmap for correlation analysis of monthly average precipitation and functional compositions in *Rheum tanguticum***  
 Prec1—12: 1—12 月月均降水量; \* 0.05 级别(双尾)相关性显著; \*\* 0.01 级别(双尾)相关性显著

表 7 唐古特大黄 4 种功效组分与月平均日照量的相关系数

**Table 7 Correlation coefficients for relationships between monthly average solar radiation and function compositions of *Rheum tanguticum***

月均日照量 Monthly average solar radiation	游离蒽醌 Free anthraquinone	结合蒽醌 Anthraquinone	多酚类 Polyphenol	蒽酮类 Anthrone
srad1	0.020	0.438	0.548	0.110
srad2	-0.050	0.550	0.702 *	0.255
srad3	-0.043	0.593	0.659 *	0.222
srad4	-0.108	0.627 *	0.708 *	0.248
srad5	-0.149	0.609 *	0.741 **	0.242
srad6	-0.225	0.538	0.738 **	0.202
srad7	-0.277	0.612 *	0.761 **	0.206
srad8	-0.240	0.574	0.709 *	0.186
srad9	-0.077	0.599	0.663 *	0.170
srad10	0.027	0.606 *	0.596	0.156
srad11	0.277	0.420	0.337	0.103
srad12	0.242	0.398	0.286	0.105

srad1—12 为 1—12 月份每月月均日照量; \* 0.05 级别(双尾)相关性显著; \*\* 0.01 级别(双尾)相关性显著

#### 3.1 唐古特大黄化学成分地理变异

除双蒽酮类成分外,不同产地间唐古特大黄中功效组分含量具有明显的地理变异,可划分为青海-甘肃型和四川型两种化学生态型。其中,青海-甘肃型中结合蒽醌和多酚类物质含量比较高,而四川型是游离蒽醌含量比较高。由于大黄泄下功效的主要物质基础是结合蒽醌类物质,因此,青海和甘肃地区唐古特大黄的泄下功效比较强<sup>[33-34]</sup>。

#### 3.2 唐古特大黄品质与气候因子的响应

本文首次采用不同时间尺度的气候因子,研究影响唐古特大黄品质形成的关键气候因子和主要时间窗口。

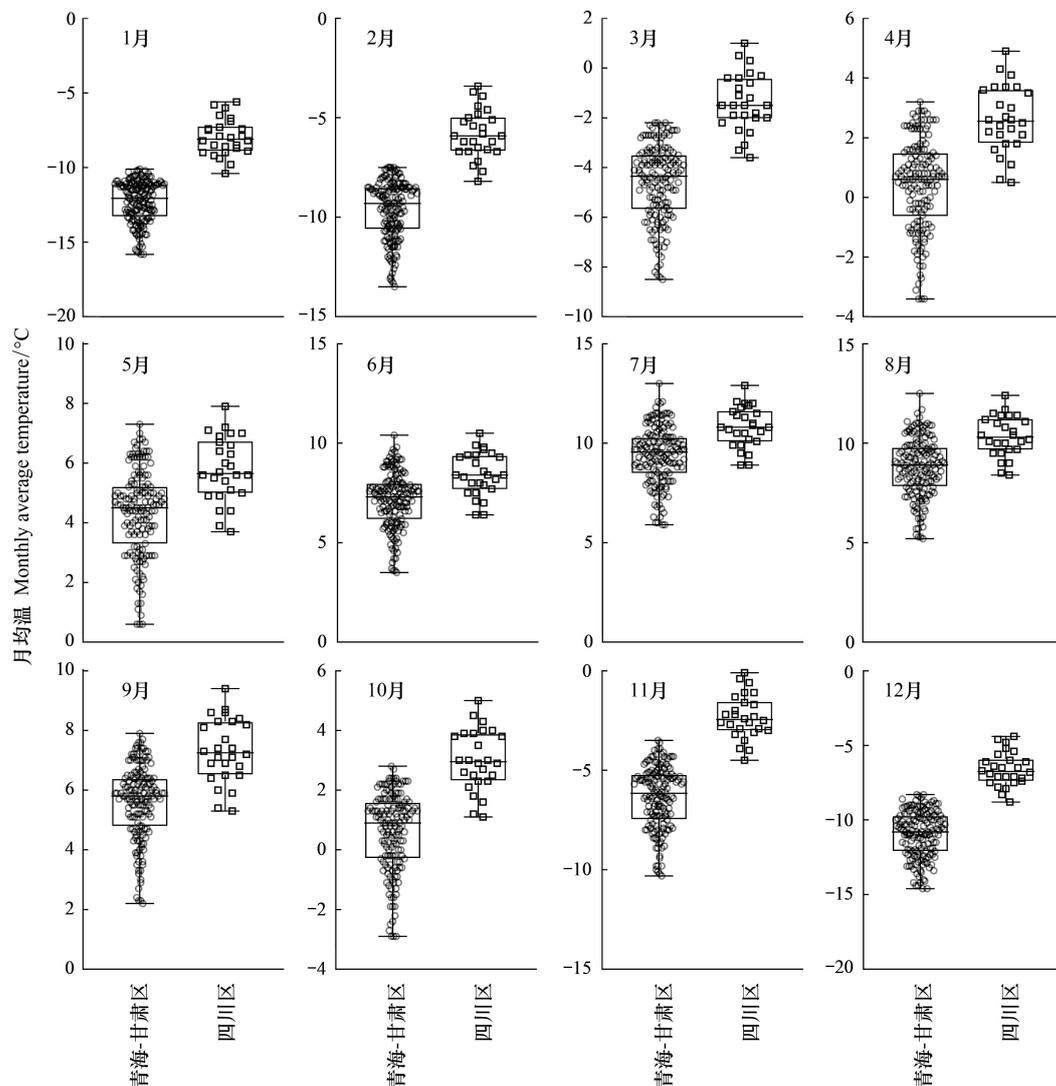


图7 不同地区月均温箱线图

Fig.7 Boxplot of monthly average temperature in different regions

(1) 在年均因子层次上,结合蒽醌和多酚类 2 种组分与 4 种年均因子具有一定的相关性。低温少雨且日照时间长的地区适宜结合蒽醌和多酚类物质的积累。由于甘肃-青海和四川地区在温度、日照和降水方面的差异,导致了不同地区唐古特大黄在结合蒽醌和多酚类物质含量存在明显差异。

(2) 在季均因子层次上,温度变化剧烈且最冷季度时(最干季度)温度低的地区,有利于结合蒽醌类物质的累积。同时,温度变化幅度大(昼夜温差、季节性浮动),最冷季温度低且降水量少的地区,有助于多酚类物质形成。这与年均尺度因子结论一致。

(3) 在月均因子层次上,只有结合蒽醌和多酚类物质与月均温度因子和日照因子间具有强相关性,这一结论在三个时间尺度上具有一致性。结果表明,最冷季度时温度越低越有利于结合蒽醌类物质和多酚类物质的累积。每月平均日照量与结合蒽醌和多酚类物质都呈正相关,尤其是对多酚类物质影响最大。相关性研究数据表明,多酚类物质在唐古特大黄生长季节呈现出与日照的强正相关性,说明在唐古特大黄的生长季,高日照量对多酚类物质累积有促进作用。

总而言之,月均温和月均日照量是导致青海-甘肃和四川两个产区唐古特大黄品质差异的主要气候原因,且两地区间气候差异的主要时间窗口为 1—6 月份和 9—12 月份。这与车国东等<sup>[35]</sup>所研究栽培唐古特大黄

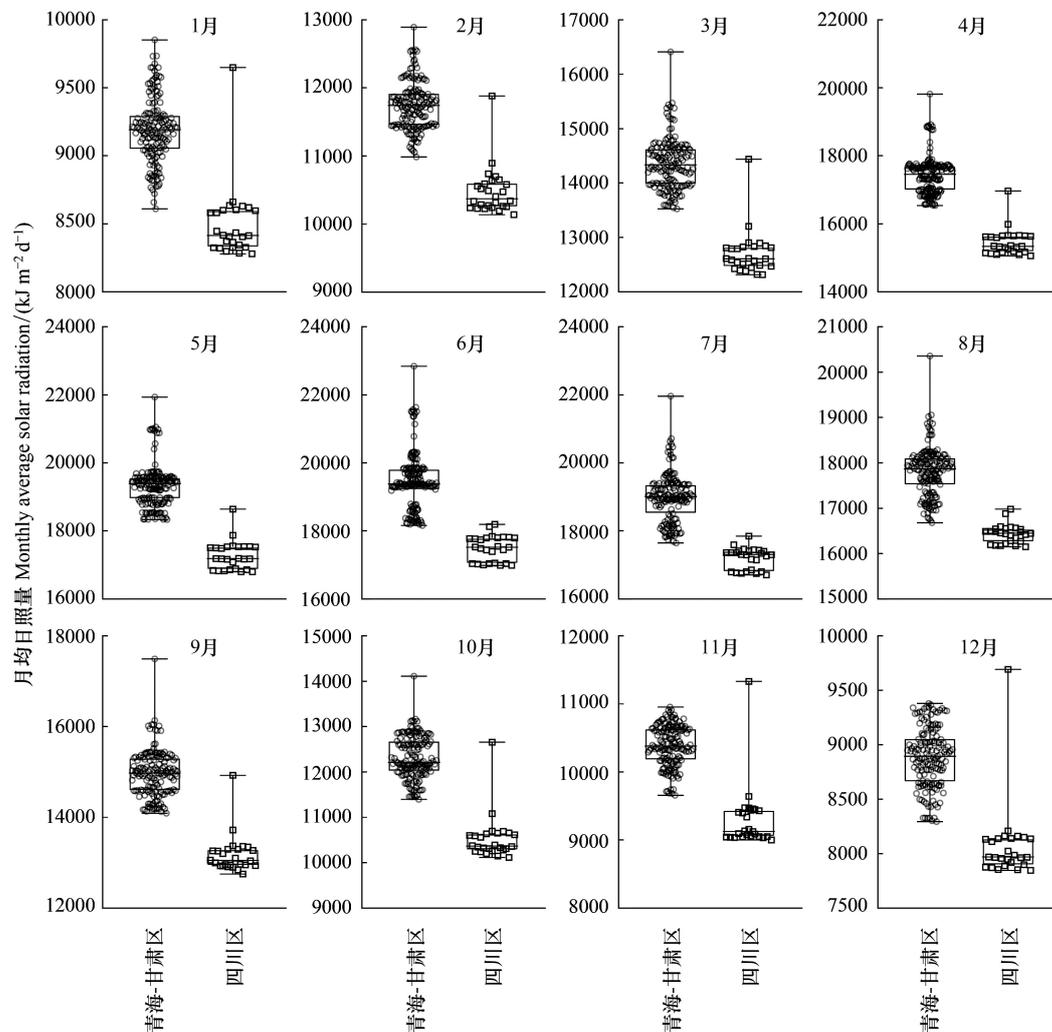


图8 不同地区月均日照量箱线图

Fig.8 Boxplot of monthly average solar radiation in different regions

蒽醌含量的季节动态变化结果相一致。本文基于多层次气候因子的相关性研究结果,探讨了道地药材唐古特大品质地域差异的气候成因。

### 3.3 唐古特大黄品质形成因素探讨及研究展望

中药材品质的形成受环境、遗传等诸多因素的影响。有学者发现不同道地产区唐古特大黄药材质量产生差异的原因与其遗传背景差异有关系<sup>[36-37]</sup>。此外,有学者认为环境是影响唐古特大黄组分的主要因素,其次才是种源<sup>[38]</sup>。而环境主要是包括气候和土壤因素,土壤对药用植物的生长发育、活性成分的合成积累有较大影响<sup>[39]</sup>。有研究表明药用植物锁阳两个道地产区土壤微生物群落存在多样性差异<sup>[40]</sup>;不同的土壤营养元素和无机元素差异导致大黄药材功效组分间的含量有显著差异,这也进一步说明土壤因素也是形成药材道地性的主导因子<sup>[41]</sup>。由此可知,不同地区的气候和土壤条件差异是导致药材品质区域变异的主要生态因素。本文着重从多层次气候因子角度深入研究造成唐古特大黄品质差异的气候原因,探索影响唐古特大黄品质形成的关键气候因子和主要时间窗口,在后续的唐古特大黄品质研究中会继续考虑土壤条件对唐古特大黄品质的影响。同时,进一步对唐古特大黄进行代谢组学研究和产区试种,期望全面揭示唐古特大黄道地性的生态机制。

## 参考文献(References):

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 23-24.
- [2] 李锋, 王胜春, 王新, 任秦有, 王文, 尚刚伟, 张莉, 张珊红. 大黄泻下效应的药理学新解释. 中国中药杂志, 2008, 33(4): 481-484.
- [3] 李傲, 王家葵, 孟宪丽. 掌叶大黄不同商品规格等级间泻下作用及组分含量的相关性分析. 中国药房, 2010, 21(43): 4036-4038.
- [4] Shang X F, Zhao Z M, Li J C, Yang G Z, Liu Y Q, Dai L X, Zhang Z J, Yang Z G, Miao X L, Yang C J, Zhang J Y. Insecticidal and antifungal activities of *Rheum palmatum* L. anthraquinones and structurally related compounds. *Industrial Crops and Products*, 2019, 137: 508-520.
- [5] Pham D Q, Ba D T, Dao N T, Choi G J, Vu T T, Kim J C, Giang T P L, Vu H D, Dang Q L. Antimicrobial efficacy of extracts and constituents fractionated from *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. rhizomes against phytopathogenic fungi and bacteria. *Industrial Crops and Products*, 2017, 108: 442-450.
- [6] 王拴旺, 张发斌, 张长荣, 李富鑫. 青海 4 个主产区唐古特大黄止血作用的研究. 中华中医药杂志, 2015, 30(7): 2613-2614.
- [7] 黄凤, 唐国琳, 尹显梅, 仇敏, 李卫东, 蒋桂华. 《中国药典》中大黄在中药制剂的使用及其质量控制探讨. 中药与临床, 2018, 9(4): 20-24.
- [8] 王永炎, 张文生. 中药材道地性研究状况与趋势. 湖北民族学院学报: 医学版, 2006, 23(4): 1-4.
- [9] 张峰. 唐古特大黄不同居群药用部位化学成分差异与环境因子的相关性分析[D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.
- [10] 张小波, 周涛, 郭兰萍, 黄璐琦, 江维克, 杨占南, 马超一. 苗药大果木姜子挥发油成分变化及其地理分布. 生态学报, 2011, 31(18): 5299-5306.
- [11] 孙晓, 钱秋玉, 郑司浩, 陈海梅, 黄林芳. 基于遗传-化学-生态特征的西洋参品质生态型研究. 药学报, 2019, 54(9): 1695-1705.
- [12] 卢晓. 土壤因子对中药材产区预测分析的影响研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2018.
- [13] 李琳. 基于化学—遗传—生态特征的中药材品质变异研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2018.
- [14] 郭杰, 张琴, 孙成忠, 文检, 谢彩香. 人参药材中人参皂苷的空间变异性及影响因子. 植物生态学报, 2017, 41(9): 995-1002.
- [15] 李金花, 曾锐, 李文涛, 黄林芳. 秦艽品质与气候因子相关性分析. 世界中医药, 2016, 11(5): 801-806.
- [16] 李倩, 梁宗锁, 董娟娥, 付亮亮, 蒋传中. 丹参品质与主导气候因子的灰色关联度分析. 生态学报, 2010, 30(10): 2569-2575.
- [17] 贾光林, 黄林芳, 索凤梅, 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其生态区划. 植物生态学报, 2012, 36(4): 302-312.
- [18] 黄林芳, 索凤梅, 宋经元, 温美佳, 贾光林, 谢彩香, 陈士林. 中国产西洋参品质变异及生态型划分. 药学报, 2013, 48(4): 580-589.
- [19] 谢彩香, 索凤梅, 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. 生态学报, 2011, 31(24): 7551-7563.
- [20] 刘佳, 李莉, 胡会娟, 商彤, 孟磊, 李永杰, 魏胜利. 不同道地产区大黄功效组分含量的差异分析. 中国现代中药, 2017, 19(5): 662-669.
- [21] 刘何春, 周国英, 聂秀青, 熊丰. 栽培唐古特大黄中多糖和蒽醌含量的动态变化研究. 药物分析杂志, 2018, 38(5): 782-789.
- [22] 龚小红, 赵梦杰, 党珏, 罗林, 彦培傲, 袁岸, 李芸霞, 彭成. 基于主成分分析不同产地大黄 13 个成分量的比较研究. 中草药, 2017, 48(23): 4994-4999.
- [23] 黄凤, 尹显梅, 唐国琳, 连艳, 刘晓芬, 徐鑫梅, 蒋桂华. 基于 PCA 及 CA 的唐古特大黄蒽醌类、二萜酮类及鞣质类含量研究. 中国中药杂志, 2019, 44(5): 920-926.
- [24] 拱健婷, 李莉, 邹慧琴, 张金霞, 徐东, 毛克臣, 陈慧荣, 张明明, 杨瑞琦. 基于灰色关联分析和功效组分的大黄药材质量评价. 世界科学技术-中医药现代化, 2018, 20(10): 1808-1815.
- [25] 马丹, 顾志荣, 甘玉伟, 赵克加, 郭玫. 唐古特大黄及其不同炮制品的近红外光谱分析. 中药材, 2015, 38(9): 1842-1845.
- [26] Cui H X, Zhang L S, Luo Y, Yuan K, Huang Z Y, Guo Y. A purified anthraquinone-glycoside preparation from rhubarb ameliorates type 2 diabetes mellitus by modulating the gut microbiota and reducing inflammation. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10: 1423.
- [27] Zhao X H, Han F, Li Y L, Yue H L. Preparative isolation and purification of three stilbene glycosides from the Tibetan medicinal plant *Rheum tanguticum* Maxim. Ex Balf. by high-speed counter-current chromatography. *Phytochemical Analysis*, 2013, 24(2): 171-175.
- [28] 黄凤, 蒋桂华. 大黄栽培研究进展. 中药材, 2019, 42(1): 230-234.
- [29] 李磊, 孙平, 冯成强. 气象因子对唐古特大黄蒽醌类成分含量的影响分析. 中国药房, 2010, 21(43): 4105-4107.
- [30] 魏文龙, 曾锐, 黄林芳. 掌叶大黄品质与气候因子相关性分析. 世界科学技术-中医药现代化, 2015, 17(9): 1849-1854.
- [31] 李莉. 不同道地产区大黄资源现状与药材质量特征及其形成机制研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2014.
- [32] 鄢丹, 王伽伯, 李俊贤, 马丽娜, 肖小河. 论道地药材品质辨识及其与生态环境的相关性研究策略. 中国中药杂志, 2012, 37(17): 2672-2675.
- [33] 王家葵, 李傲, 王慧, 徐晓玉. 正品大黄不同品种间泻下效价强度比较研究. 中国中药杂志, 2006, 31(23): 1987-1991.
- [34] 吴晓青. 生、熟大黄“生泻熟缓、生熟异治”炮制机理研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2015.
- [35] 车国冬, 李玉林, 王凌云, 周国英, 索有瑞, 陈桂琛. 栽培唐古特大黄蒽醌含量的季节动态变化. 西北植物学报, 2006, 26(11): 2378-2382.
- [36] 张晓芹. 基于 matK 基因研究大黄功效组分地理变异形成的分子谱系地理学证据[D]. 北京: 北京中医药大学, 2014.
- [37] 王爱兰, 李维卫. 青藏高原濒危植物唐古特大黄的遗传多样性. 生态学报, 2017, 37(21): 7251-7257.
- [38] 商彤, 胡会娟, 孟磊, 丁一明, 李永杰, 张明明, 李莉, 魏胜利. 遗传和环境对唐古特大黄功效成分含量的影响研究. 中国中药杂志, 2018, 43(11): 2246-2253.
- [39] 李宗梅, 李秀珍, 常禹, 刘森, 胡远满, 陈宏伟, 窦德强, 康廷国, 徐亮, 杜天明. 不同土壤因子对中药牛蒡子品质的影响. 土壤通报, 2011, 42(1): 106-111.
- [40] 孙晓, 林余霖, 李葆莉, 黄林芳. 干旱区沙生药用植物锁阳土壤微生物群落分析与功能预测. 药学报, 2020, 55(6): 1334-1344.
- [41] 赵杨景, 陈四保, 高光耀, 冯毓秀, 杨世林, 徐丽珍, 杜力军, 胡世林, 冯雪峰. 道地与非道地当归栽培土壤的理化性质. 中国中药杂志, 2002, 27(1): 19-22.