

# 基于多指标联合多元统计分析的不同花色 唐古特大黄育种材料筛选

刘东<sup>1</sup>, 赵强<sup>1</sup>, 段莹<sup>1</sup>, 高展<sup>1</sup>, 孟瑾瑾<sup>2</sup>, 陈红刚<sup>1</sup>, 杜骏<sup>1</sup>

(1. 甘肃中医药大学, 甘肃兰州 730000; 2. 齐鲁理工学院, 山东济南 250000)

**摘要:**以18个不同花色唐古特大黄为研究材料,通过观察和测定根部性状及9种化合物含量,基于相关性分析、主成分分析、熵权TOPSIS法分析,对唐古特大黄育种材料进行综合质量评价,筛选表现优良的唐古特大黄育种材料。结果表明,QH003yyf(S2)、TGT(S14)、ZH002QS(S18)等材料无病害、单根质量高(0.97~1.54 kg)、须根和芦头粗(31.72~36.00 mm, 58.32~68.47 mm)且长(30.5~36.1 cm, 5.1~6.8 cm);18个不同花色唐古特大黄根部的大黄素、大黄酸、大黄酚、芦荟大黄素、大黄素甲醚的总含量符合药典标准要求,其中QH002yyf(S16)、DH002yyfA(S3)、HS002yyf(S1)、TGTYS(S6)、TGT(S14)、ZH001DH(S8)共6个材料的9种化合物总含量高,分别为48.86、46.41、45.88、44.96、44.23、43.81 mg·g<sup>-1</sup>;熵权TOPSIS法分析综合排序前2位的品系为QH004yyf(S7)和ZH002QS(S18)。综上,TGT(S14)和ZH002QS(S18)可作为唐古特大黄品种选育和栽培的基础材料。本研究建立的基于多指标联合多元统计分析筛选不同花色唐古特大黄育种材料的评价模式,也可用于其他育种材料的筛选评价。

**关键词:**唐古特大黄; 育种材料筛选; 花色; 根部性状; 多指标联合多元统计分析法

中图分类号:S567.23<sup>+</sup>9 文献标志码:A

## Screening of *Rheum tanguticum* breeding materials with different flower colors based on multi-index combined multivariate statistical analysis

LIU Dong<sup>1</sup>, ZHAO Qiang<sup>1</sup>, DUAN Ying<sup>1</sup>, GAO Zhan<sup>1</sup>, MENG Jinjin<sup>2</sup>, CHEN Honggang<sup>1</sup>, DU Tao<sup>1</sup>

(1. Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Qilu Institute of Technology, Jinan, Shandong 250000, China)

**Abstract:** To identify suitable breeding materials of *Rheum tanguticum*, eighteen *Rheum tanguticum* Maxim. plants with different flower colors were selected as research materials. Comprehensive quality evaluation was conducted by assessing root traits and quantifying the contents of nine compounds, using correlation analysis, principal component analysis, and the entropy weighted TOPSIS method. The results showed that QH003yyf (S2), TGT (S14), and ZH002QS (S18) were disease-free, and had large single root mass (0.97~1.54 kg), thick and long fibrous roots and reeds (31.72~36.00 mm, 30.5~36.1 cm; 58.32~68.47 mm, 5.1~6.8 cm). The total contents of emodin, rhein, chrysophanol, aloemodin, and physcion contained in roots of 18 *R. tanguticum* Maxim. were in accordance with Pharmacopoeia standards. QH002yyf (S16), DH002yyfA (S3), HS002yyf (S1), TGTYS (S6), TGT (S14), and ZH001DH (S8) were high in the total content of the nine compounds, in the order of 48.86, 46.41, 45.88, 44.96, 44.23, 43.81 mg·g<sup>-1</sup>. The top 2 of the comprehensive ranking analyzed by entropy weight TOPSIS method were QH004yyf (S7) and ZH002QS (S18). In this study, TGT (S14) and ZH002QS (S18) were selected as the foundational materials for breeding and cultivating *Rheum tanguticum* varieties. The evaluation model, established through multi-indicator joint multivariate statistical analysis for screening different flower colors in

收稿日期:2024-10-30

修回日期:2024-12-31

基金项目:国家中药材产业技术体系建设专项资金(CARS-21);甘肃省科技特派团专项“唐古特大黄种子丸粒化技术研究及栽培模式创新示范”(23CXNA0033)

作者简介:刘东(1994-),男,陕西凤县人,博士,研究方向为药用植物栽培及品种选育。E-mail:liudong804214@163.com

通信作者:杜骏(1967-),男,陕西凤翔人,教授,主要从事药用植物栽培、品种选育及种子种苗扩繁研究。E-mail:gslzdt@163.com

*Rheum tanguticum* breeding materials, can also be applied to the screening and evaluation of other breeding materials.

**Keywords:** *Rheum tanguticum* Maxim.; screening of breeding materials; color scheme; root traits; joint multivariate statistical analysis

大黄属于蓼科(Polygonaceae)大黄属(*Rheum*), 药典规定药用大黄来源为掌叶大黄(*Rheum palmatum* L.)、药用大黄(*Rheum officinale* Baill.)和唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)的干燥根和根茎<sup>[1]</sup>。药用大黄别名将军、黄良等,具有泻下攻积、清热泻火、凉血解毒、逐瘀通经、利湿退黄之功效,临床常用于实热积滞便秘、血热吐衄、痈肿疔疮、湿热痢疾等症<sup>[2-4]</sup>。

唐古特大黄作为正品大黄药材的重要来源,其资源储备量有限,野生资源主要分布于青海、西藏、甘肃、四川等省份的青藏高原地区<sup>[5]</sup>,青藏高原地区野生唐古特大黄的品质和药效俱佳,已出口至日本、韩国等地<sup>[6]</sup>。近年来,人类对唐古特大黄野生资源采挖过度,使其自然分布区域急剧缩小,已被列入濒危物种名单<sup>[7]</sup>,为满足市场需求,人工栽培唐古特大黄已成为趋势。唐古特大黄人工栽培已开展多年,但所用种源主要以采集野生种群或农户自行留种为主,缺乏优良的种源或品种,已有报道表明甘肃和青海等地出现唐古特大黄种源退化现象<sup>[8-9]</sup>。因此,搜集唐古特大黄种质资源,从中筛选出具有特异性、一致性和稳定性的变异类型,开展品种选育,对唐古特大黄产业发展和药材质量的保障具有重要意义。

吴佩根等<sup>[10]</sup>研究发现,不同唐古特大黄变异类型功效组分存在显著差异,游离蒽醌平均含量为 2.10~6.71 mg·g<sup>-1</sup>,结合蒽醌平均含量为 15.43~22.04 mg·g<sup>-1</sup>,番泻苷 A + B 的平均含量为 32.88~42.36 mg·g<sup>-1</sup>。唐古特大黄产区同一区域、同一块栽培田里存在不同花色的唐古特大黄,本团队在各唐古特大黄栽培产区和野生区域收集种质资源,根据花色的变异采集相应植株成熟的种子(18份),旨在通过观察唐古特大黄变异花色遗传是否稳定,评价不同花色药材之间的质量差异,选育药材产量高、质量好、遗传稳定的唐古特大黄新品系。通过 5 a 栽培发现,根据变异花色筛选的 18 份种质资源均出现花色遗传的性状分离现象(第 4 年开花),主要表现为同一种质中出现 2 种或 3 种不同花色的唐古特大黄,造成此现象的原因是母本在栽培区域或野外均是开放环境的自然授粉,其结实形成的种子是杂合子,在 F1 代出现性状分离的现象。因此,团队根据最初 18 份种质资源母本的花色,筛选每份种

质资源中与母本花色一致的植株进行单株隔离授粉,采收 F2 代的种子开展下一轮选育试验。本研究将筛选出与母本花色一致的 F1 代进行采挖,在总结前人研究的基础上,对 18 个不同花色唐古特大黄的根部性状和 9 种化学成分含量的检测结果进行相关性分析(correlation analysis, CA)和主成分分析(principal component analysis, PCA),利用熵权 TOPSIS 法(distance-based technique for order of preference by similarity to ideal solution, DTOPSIS)分析挖掘影响药材质量的差异性标志物,建立基于多指标联合多元统计分析筛选不同花色唐古特大黄育种材料的评价模式,以期筛选具有育种价值的唐古特大黄育种材料,为下一轮的品种选育提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

田间试验于 2018—2022 年在甘肃中医药大学和政药用植物园(35°15'41"N, 103°24'33"E)进行,试验地位于甘肃省临夏回族自治州和政县松鸣镇吊滩村,海拔 2 430 m,全年无霜期 110 d,年均降水量 660 mm,年均气温 5.1℃,最高气温 29.0℃,最低气温 -21.4℃。土壤为黑垆土,试验田土壤肥力均一。

### 1.2 试验材料

课题组 2017 年收集的 18 份不同花色唐古特大黄种子经甘肃中医药大学杜翌教授鉴定为蓼科大黄属唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)种子,品种信息见表 1。2018 年 5 月在和政药用植物园同一块试验田育苗,2019 年 4 月移栽,2022 年 10 月地上部分枯萎后,按照编号采挖不同花色唐古特大黄根用于研究。

### 1.3 试验试剂

甲醇(色谱纯)和甲酸为天津市大茂化学试剂厂生产,纯净水为杭州娃哈哈集团有限公司生产。没食子酸(批号 18102509,纯度 ≥ 98.0%)、儿茶素(批号 22082516,纯度 ≥ 98.0%)、番泻苷 A(批号 22110866,纯度 ≥ 98.0%)、番泻苷 B(批号 22100919,纯度 ≥ 98.0%)、大黄素(批号 19120201,纯度 ≥ 98.0%)、大黄酚(批号 19120201,纯度 ≥ 98.0%)、大黄酸(批号 19010521,纯度 ≥ 98.0%)、芦荟大黄素(批号 19120201,纯度 ≥ 98.0%)、大黄素甲醚(批号

19120201,纯度 $\geq 98.0\%$ )共 9 种对照品均购自兰州普兰特生物科技有限公司。

表 1 唐古特大黄样品信息

Table 1 Information on samples of *Rheum tanguticum* Maxim.

序号 Number	样品编号 Sample number	花色 Color of flowers	来源 Source
S1	HS002yyf	深红色 Deep red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S2	QH003yyf	浅红色 Light red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S3	DH002yyfA	大红色 Bright red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S4	HS003yyf	黄绿色 Chartreuse	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S5	DH003yyf	大红色 Bright red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S6	TGTYS	红色 Red	四川阿坝 A'ba, Sichuan
S7	QH004yyf	浅红色 Light red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S8	ZH001DH	深红色 Deep red	甘肃甘南 Gannan, Gansu
S9	ZH002DH	深红色 Deep red	甘肃甘南 Gannan, Gansu
S10	ZH001HS	黄绿色 Chartreuse	甘肃甘南 Gannan, Gansu
S11	DH004yyfA	大红色 Bright red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S12	ZH001QH	浅红色 Light red	甘肃甘南 Gan'nan, Gansu
S13	DH002yyfB	大红色 Bright red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S14	TGT	红色 Red	四川阿坝 A'ba, Sichuan
S15	DH004yyfB	大红色 Bright red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S16	QH002yyf	浅红色 Light red	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S17	HS001yyf	黄绿色 Chartreuse	青海果洛 Guoluo, Qinghai
S18	ZH002QS	浅红色 Light red	甘肃甘南 Gannan, Gansu

#### 1.4 根部性状研究

2022 年 10 月地上部分枯萎后,按照编号采挖不同花色唐古特大黄,冲洗干净根部泥土,晾干表面水分后观察根部外在形态特征,调查单根鲜质量、单根干质量、折干率、芦头粗、芦头长、须根粗、须根长、根数等性状,随后切成 2~3 cm 厚片,描述断面颜色,放置室外凉棚下晾晒、阴干,称重,计算折干率。

#### 1.5 化学成分测定

1.5.1 色谱条件 伊力特 SinoChrom ODS-AP 色谱柱(4.6 mm $\times$ 150 mm, 5  $\mu$ m),流动相为甲醇(A) -

0.2%甲酸水(B),梯度洗脱(0~15 min, 8%~50% B; 15~30 min, 50%~75% B; 30~60 min, 75%~90% B; 60~65 min, 90%~8% B),流速 1.0 mL $\cdot$ min $^{-1}$ ,检测波长 268 nm,柱温 30 $^{\circ}$ C 的液相,进样量 10  $\mu$ L。标准品和样品色谱峰分离度好,峰形对称,标准和对照品的保留时间一致,9 个成分出现顺序依次为:没食子酸(8.98 min)、儿茶素(14.67 min)、番泻苷 B(22.64 min)、番泻苷 A(25.43 min)、芦荟大黄素(35.12 min)、大黄酸(40.63 min)、大黄素(46.13 min)、大黄酚(48.51 min)、大黄素甲醚(55.02 min)。

1.5.2 对照品溶液制备 精密称定没食子酸、儿茶素、番泻苷 B、番泻苷 A、芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚对照品各 1 mg,分别置于 10 mL 容量瓶中,甲醇定容,制得质量浓度为 0.1 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ 的单一对照品储备液,置于 4 $^{\circ}$ C 冰箱备用。再精密称定 9 种对照品各 1 mg 置于 10 mL 容量瓶中,甲醇定容,制得质量浓度为 0.1 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ (高浓度)的混合对照品储备液,随后取出 5 mL,稀释制备中(0.05 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ )、低(0.01 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ )浓度的混合对照品储备液,置于 4 $^{\circ}$ C 冰箱备用。

1.5.3 供试品溶液制备 将 18 个唐古特大黄药材粉碎,过 6 号筛,精密称取粉末 1 g,置于具塞三角瓶中,精密量取甲醇 50 mL,称定质量,超声温度控制在 30~40 $^{\circ}$ C 提取 2 h,室温放凉,用甲醇补足失重,摇匀,静置,0.22  $\mu$ m 微孔滤膜过滤,取滤液即得供试品溶液。

1.5.4 线性关系考察 分别精密量取混合对照品(0.1 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ )1、2、3、4、5 mL 于 5 mL 容量瓶中,加甲醇定容至刻度线,按照 1.5.1 小节所列色谱条件进行测定,以质量浓度为横坐标、峰面积为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程(表 2)。

1.5.5 方法学考察 (1)精密度试验。按照 1.5.1 小节所列色谱条件,取混合对照品溶液的高(0.1 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ )、中(0.05 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ )、低(0.01 mg $\cdot$ mL $^{-1}$ )3 个浓度,每个浓度连续进样 3 次,记录表 2 中 9 种化合物的峰面积和保留时间,计算各化学成分相对峰面积和相对保留时间的 RSD 值(相对标准偏差),结果均小于 2.5%,表明仪器精密度良好。

(2)稳定性试验。精密称取 TGTYS 药材细粉 1 g,按照 1.5.3 小节所列方法制得供试品溶液,在 1.5.1 小节所列色谱条件下,分别间隔 0、2、4、8、16、32、48 h 进样,记录表 2 中 9 种化合物的峰面积和保留时间,计算各化学成分相对峰面积和相对保留时间的 RSD 值,结果均小于 2.5%,表明供试品溶液在 48 h 内稳定。

表 2 9 种化合物线性关系

Table 2 Linear relationships of nine compounds

化合物 Component	回归方程 Regression equation	线性范围 Range of linearity /(mg · L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
没食子酸 Gallic acid	$y=46.202x+10.898$	5.0~500.0	0.9999
儿茶 Catechin	$y=24.419x-15.301$	4.5~450.0	0.9992
番泻苷 B Senoside B	$y=21.843x+153.25$	5.4~540.0	0.9990
番泻苷 A Senoside A	$y=17.495x+120.86$	5.2~520.0	0.9996
芦荟大黄素 Aloe emodin	$y=43.822x+238.4$	4.8~480.0	0.9991
大黄酸 Rhein	$y=39.622x+52.042$	5.0~500.0	0.9993
大黄素 Emodin	$y=50.245x+192.35$	3.4~340.0	0.9992
大黄酚 Chrysophanol	$y=53.448x+28.459$	5.0~500.0	0.9998
大黄素甲醚 Physcion	$y=66.885x-65.356$	5.0~500.0	0.9991

(3) 重复性试验。精密称取 TGTYS 药材细粉 6 份, 每份 1 g, 按照 1.5.3 小节所列方法制得供试品溶液, 在 1.5.1 小节所列色谱条件下进样, 记录表 2 中 9 种化合物的峰面积和保留时间, 计算各化学成分相对峰面积和相对保留时间的 RSD 值, 结果均小于 2.5%, 表明该试验方法重复性良好。

(4) 加样回收。精密称取 TGTYS 药材细粉 9 份, 每份 1 g, 分别加入高、中、低 3 个浓度的混合对照品溶液, 每个浓度 3 份, 按照 1.5.3 小节所列方法制得供试品溶液, 在 1.5.1 小节所列色谱条件下进样检测, 记录表 2 中 9 种化合物的峰面积, 计算回收率和 RSD 值, 回收率介于 96.1%~98.4%, RSD 值均小于 3.0%。

## 1.6 样品含量测定

按照 1.5.3 小节所列方法制备 18 个不同花色唐古特大黄供试品溶液, 每个样品 3 份, 参照前人研究方法<sup>[11]</sup>, 再按照 1.5.1 小节所列色谱条件对供试品溶液进样检测, 通过标准曲线计算 18 个不同花色唐古特大黄中没食子酸、儿茶素、番泻苷 B、番泻苷 A、芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚等化合物含量。

## 1.7 数据分析

采用 OriginPro 2021 软件和 SPSSAU 分析平台对数据进行分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同花色唐古特大黄的根部性状

18 份不同花色唐古特大黄根部性状调查分析结果如图 1(见 8 页)和表 3 所示, 观察不同花色唐古特大黄根表皮发现主要有棕红色和土黄色两种颜色, 其中 QH004yyf(S7)和 QH002yyf(S16)的根皮表面有大量害虫啃食残留的黑色疮斑和疤痕, 表皮极其不平整, 说明地下害虫喜食这两种唐古特大黄。样品断面主要有浅棕红色、土黄色、金黄色 3 种颜色, 大多数色泽较均一, 断面整体呈现一种颜色,

韧皮部颜色略不同, 但 TGTYS(S6)、QH003yyf(S2)、ZH002QS(S18)等样品断面的髓部变白发软, 呈现病态, 观察发现这种颜色的髓部慢慢会病变腐烂。根据根部性状各品种可以分成表皮深红断面棕红色(QH004yyf、ZH002QS)、表皮棕红断面土黄色(HS002yyf、QH003yyf、DH002yyfA、HS003yyf、TGTYS、ZH002DH、ZH001HS、ZH001QH、QH002yyf、HS001yyf)、表皮棕红断面金黄色(DH004yyfA)、表皮棕红断面棕红略带土黄(TGT)、表皮土黄断面土黄色(DH003yyf、ZH001DH、DH002yyfB)、表皮土黄断面金黄色(DH004yyfB)共 6 种类型。

分析 18 个不同花色唐古特大黄的单根鲜质量、单根干质量和折干率(表 3)发现, 单根鲜质量介于 0.43~1.71 kg 之间, 单根干质量介于 0.13~1.07 kg 之间, 折干率介于 21.88%~67.42%之间。从产量的角度而言, 应该选择保留单根质量大和折干率高的品系进行选育和栽培, 因此 QH003yyf(S2)、DH002yyfA(S3)、QH004yyf(S7)、ZH002DH(S9)、ZH001HS(S10)、TGT(S14)、ZH002QS(S18)等品种符合要求。根据须根粗(22.88~48.00 mm)、须根长(13.0~43.6 cm)、根数(2.5~7.0 个)、芦头长(2.5~7.9 cm)、芦头粗(46.64~77.26 mm)等性状变化, 再结合产地加工等因素, 品种选育和栽培时应该选择须根粗且长、芦头长且粗大的品系进行选育和栽培, 因此 QH004yyf(S7)、DH004yyfA(S11)、DH003yyf(S5)、TGT(S14)、QH003yyf(S2)、ZH002QS(S18)等符合要求。因此, 兼顾单根质量大、须根粗且长、芦头长且粗大的品系有 QH003yyf(S2)、QH004yyf(S7)、TGT(S14)、ZH002QS(S18), 因 QH004yyf(S7)根皮表面有虫害啃食残留的黑色疮斑和疤痕, 故将此品系也淘汰, 最终根据无病害、单根质量大、须根和芦头粗且长等根部性状特征筛选出适宜继续选育和栽培的品系有 QH003yyf(S2)、TGT(S14)、ZH002QS(S18)。

## 2.2 不同花色唐古特大黄的化合物含量

应用所建立的高效液相色谱法检测样品和对照品, 得到 18 个不同花色唐古特大黄的 9 种化合物含量(表 4), 其中, 没食子酸含量为 0.54~1.21 mg · g<sup>-1</sup>, 儿茶素含量为 12.02~19.42 mg · g<sup>-1</sup>, 番泻苷 B 含量为 1.16~2.82 mg · g<sup>-1</sup>, 番泻苷 A 含量为 2.79~7.29 mg · g<sup>-1</sup>, 芦荟大黄素含量为 1.70~5.02 mg · g<sup>-1</sup>, 大黄酸含量为 3.92~5.97 mg · g<sup>-1</sup>, 大黄素含量为 1.80~3.37 mg · g<sup>-1</sup>, 大黄酚含量为 2.75~6.05 mg · g<sup>-1</sup>, 大黄素甲醚含量为 1.25~2.48 mg · g<sup>-1</sup>。根据 2020 版中国药典<sup>[12]</sup>规定, 合格大黄药材中含有的大

表 3 不同花色唐古特大黄根部性状

Table 3 Root traits of *Rheum tanguticum* Maxim. in different flower colors

序号 Number	单根鲜质量 Single root fresh mass/kg	单根干质量 Single root dry mass/kg	折干率 Drying rate/%	须根粗 Fibrous root thickness /mm	须根长 Fibrous root length/cm	根数 Root number	芦头长 Rhizome length/cm	芦头粗 Rhizome thickness /mm	描述 Description
S1	0.58	0.15	35.86	31.72	36.1	3.0	5.4	58.32	表皮棕红色,断面深土黄色,韧皮部土黄色,侧根较多 Brownish-red epidermis, deep earthy-yellow cross-section, earthy-yellow phloem, more lateral roots
S2	1.54	0.51	33.12	37.63	29.6	7.0	5.8	76.67	表皮棕红色,断面土黄色,韧皮部金黄色,髓部白色 Brownish-red epidermis, earthy-yellow cross-section, golden-yellow phloem, white pith
S3	0.95	0.52	54.74	37.02	27.0	4.0	4.5	55.63	表皮棕红色,断面深土黄色,韧皮部金黄色,须根明显 Brownish-red epidermis, deep earthy-yellow cross-section, golden-yellow phloem, fibrous root thickness was evident
S4	0.80	0.43	53.75	31.09	28.5	4.0	4.9	60.04	表皮棕红色,断面深土黄色,韧皮部土黄色 Brownish-red epidermis, deep earthy-yellow cross-section, earthy-yellow phloem
S5	0.81	0.37	45.68	30.82	30.8	5.0	7.0	56.78	表皮土黄色,断面土黄色,韧皮部金黄色 Earthy-yellow epidermis, earthy-yellow cross-section, golden-yellow phloem
S6	1.00	0.33	33.00	48.00	23.0	3.0	7.3	75.00	表皮棕红色,断面深土黄色,颜色较均一,髓部白色 Brownish-red epidermis, dark earthy-yellow cross-section, more uniform in color, white pith
S7	1.71	1.07	62.57	42.74	29.9	6.0	5.2	77.26	表皮棕红色,有疮斑,断面浅棕红色,韧皮部金黄色,每条根较粗壮 Brownish-red epidermis with sores, light brownish-red cross-section, golden-yellow phloem, each root was more robust
S8	1.00	0.40	40.00	45.50	24.2	3.0	5.4	48.01	表皮土黄色,断面土黄色,颜色均匀,根数较多 Earthy-yellow epidermis, earthy-yellow cross-section, uniform in color, high number of roots
S9	1.32	0.89	67.42	27.09	24.8	12.0	7.0	57.51	表皮棕红色,断面土黄色,韧皮部金黄色且较窄 Brownish-red epidermis, earthy-yellow cross-section, golden-yellow and narrower phloem
S10	1.60	0.58	46.88	29.45	43.6	4.0	5.1	66.69	表皮棕红色,断面土黄色,色泽较均一 Brownish-red epidermis, earthy-yellow cross-section, more homogeneous in color

续表 3

Continued table 3

序号 Number	单根鲜质量 Single root fresh mass/kg	单根干质量 Single root dry mass/kg	折干率 Drying rate/%	须根粗 Fibrous root thickness /mm	须根长 Fibrous root length/cm	根数 Root number	芦头长 Rhizome length/cm	芦头粗 Rhizome thickness /mm	描述 Description
S11	0.88	0.40	45.45	37.75	32.2	3.5	5.1	58.13	表皮棕红色,断面金黄色,中间土黄色 Brownish-red epidermis, golden-yellow cross-section, earthy-yellow center
S12	0.88	0.44	50.00	33.77	26.1	2.5	7.9	59.93	表皮棕红色,断面土黄色,须根明显,侧根较少 Brownish-red epidermis, earthy-yellow cross-section, fibrous root was obvious, fewer lateral roots
S13	0.63	0.19	30.16	37.02	27.0	4.0	4.5	55.63	表皮土黄色,断面土黄色,韧皮部金黄色 Earthy-yellow epidermis, earthy-yellow cross-section, golden-yellow phloem
S14	1.08	0.54	50.00	36.00	30.5	5.0	6.8	68.47	表皮棕红色,断面棕红色略带土黄色,侧根较少 Brownish-red epidermis, brownish-red and slightly earthy-yellow cross-section, fewer lateral roots
S15	0.43	0.13	30.23	22.88	13.0	4.0	2.5	46.64	表皮土黄色,断面金黄色,中间土黄色 Earthy-yellow epidermis, golden-yellow cross-section, earthy-yellow center
S16	0.79	0.27	34.18	32.24	23.5	3.0	7.3	60.79	表皮浅棕红色,疮斑较多,断面土黄色,侧根较少 Light brownish-red epidermis, more sores, earthy-yellow cross-section, fewer lateral roots
S17	0.69	0.25	36.23	32.11	19.3	4.0	4.3	57.87	表皮棕红色,断面土黄色,韧皮部金黄色较浅 Brownish-red epidermis, earthy-yellow cross-section, paler golden-yellow phloem
S18	0.97	0.47	48.45	32.51	31.9	5.0	5.1	64.96	表皮棕红色,断面棕红色,中间土黄色 Brownish-red epidermis, brownish-red cross-section, earthy-yellow center

黄素、大黄酸、大黄酚、芦荟大黄素、大黄素甲醚等 5 种成分的总含量不少于 1.5%,检测结果显示 18 个唐古特大黄样品均符合药典规定。根据检测成分总含量对 18 个不同花色唐古特大黄进行排序,前 6 名是 QH002yyf (S16)、DH002yyfA (S3)、HS002yyf (S1)、TGTYS (S6)、TGT (S14)、ZH001DH (S8),并且发现花色为黄绿色 (HS003yyf (S4)、ZH001HS (S10)、HS001yyf (S17)) 的唐古特大黄总含量较低。

## 2.3 多元统计分析体系评价不同花色唐古特大黄品种

### 2.3.1 相关性分析

不同花色唐古特大黄根部性状和 9 种成分含量的相关性分析结果如图 2 所示,

单根鲜质量与须根长、根数呈显著正相关关系,与单根干质量和芦头粗呈极显著正相关关系;单根干质量与芦头粗呈显著正相关关系,与根数呈极显著正相关关系。单根鲜质量和单根干质量是影响大黄产量的主要因素之一,因此应该选择须根长、芦头粗和根数多的品系作为育种材料。番泻苷 A 与芦荟大黄素含量呈极显著正相关关系;药典规定成分与番泻苷 A、大黄素甲醚含量呈显著正相关关系,与没食子酸、芦荟大黄素、大黄酸含量呈极显著正相关关系;9 种化学成分的总含量与大黄素甲醚含量呈显著正相关关系,与没食子酸、儿茶素、番泻苷

表 4 不同花色唐古特大黄根部 9 种化合物含量

Table 4 Content of 9 compounds in the roots of *Rheum tanguticum* Maxim. in different flower colors

编号 Number	没食子酸 Gallic acid /(mg·g <sup>-1</sup> )	儿茶素 Catechin /(mg·g <sup>-1</sup> )	番泻苷 B Sennoside B /(mg·g <sup>-1</sup> )	番泻苷 A Sennoside A /(mg·g <sup>-1</sup> )	芦荟大 黄素 Aloeomodrin /(mg·g <sup>-1</sup> )	大黄酸 Rhein /(mg·g <sup>-1</sup> )	大黄素 Emodin /(mg·g <sup>-1</sup> )	大黄酚 Chrysophanol /(mg·g <sup>-1</sup> )	大黄素 甲醚 Physcion /(mg·g <sup>-1</sup> )	药典规定成分 Pharmacopoeia ingredients /%	总含量 Total content /(mg·g <sup>-1</sup> )
S1	1.21	19.42	1.60	5.59	4.21	5.43	2.42	3.52	2.48	1.81	45.88
S2	1.17	17.96	2.73	3.12	4.11	5.04	3.20	3.58	2.03	1.80	42.94
S3	1.58	18.74	1.87	6.16	5.02	4.70	3.40	3.60	1.33	1.81	46.41
S4	0.61	12.02	1.81	3.16	2.78	5.70	3.37	3.32	1.25	1.64	34.02
S5	0.60	13.71	2.57	3.27	2.70	5.15	3.19	4.05	1.35	1.74	37.59
S6	1.19	18.46	1.16	6.72	4.20	5.26	2.49	4.08	1.40	1.64	44.96
S7	0.92	15.83	2.11	2.79	2.46	4.78	2.73	3.93	1.14	1.50	36.69
S8	1.02	17.00	2.21	4.46	3.75	5.74	2.37	5.19	2.07	1.91	43.81
S9	1.08	16.85	2.82	4.98	2.25	5.18	3.05	5.14	1.85	1.75	43.20
S10	0.88	14.48	2.60	3.11	2.56	4.42	2.73	4.59	1.23	1.55	36.60
S11	0.91	16.52	2.58	4.08	2.81	4.03	2.72	5.25	2.16	1.70	41.06
S12	1.03	16.06	2.24	6.15	3.99	4.94	1.92	4.63	1.27	1.68	42.23
S13	1.13	16.69	1.96	4.78	4.09	4.98	2.49	3.25	1.49	1.63	40.86
S14	1.15	18.08	2.32	5.16	4.06	4.17	2.86	4.61	1.82	1.75	44.23
S15	1.09	15.42	2.79	4.37	3.51	5.69	3.07	4.34	1.14	1.78	41.42
S16	1.15	17.68	2.34	7.29	4.24	5.97	2.20	6.05	1.94	2.04	48.86
S17	0.54	17.07	1.67	4.24	2.09	4.76	3.21	3.75	1.25	1.51	36.58
S18	0.77	16.45	1.96	4.35	2.90	3.92	1.80	4.27	1.91	1.50	36.58

注:药典规定成分是指大黄素、大黄酸、大黄酚、芦荟大黄素、大黄素甲醚共 5 种成分含量的总和。

Note: Pharmacopoeia specifies that the ingredient is the sum of the contents of five ingredients: emodin, rhein, chrysophanol, aloemodin, and physcion.

A、芦荟大黄素含量呈极显著正相关关系。说明芦荟大黄素的含量在一定程度上可以反映没食子酸、儿茶素、番泻苷 A 和药典规定成分的含量高低,因此在试验条件和时间有限的情况下,可通过检测芦荟大黄素含量来快速预估唐古特大黄是否符合药典标准。然而,相关性分析仅提供根部性状与化学成分含量之间的相互关系,无法对不同花色唐古特大黄样品进行量化鉴别,为获得更为准确和有效的结果,需采用多种模式识别方法进行数据挖掘。

2.3.2 主成分分析 用 SPSSAU 在线数据分析平台对 18 个不同花色唐古特大黄根部性状和化学成分的 17 个指标进行主成分分析,得到主成分特征值和方差贡献率(表 5)、初始因子载荷矩阵表(表 6)。根据分析方法自主提取主成分为 5 个(特征值大于 1 为标准)<sup>[13-14]</sup>,前 5 个主成分特征值分别为 4.969、3.359、2.183、1.676 和 1.289,方差贡献率分别为 29.231%、19.758%、12.844%、9.862% 和 7.585%,代表了不同花色唐古特大黄 79.279% 的信息量,说明其对不同花色唐古特大黄评价具有很好的代表性。由表 6 可知,根据因子载荷的大小分析,因子载荷数

绝对值大于 0.4 表示该项与主成分有对应关系,在第 1、2、3 主成分中表现出有着强对应关系的农艺性状指标是单根鲜质量、单根干质量、芦头粗、须根粗、根数。

#### 2.4 熵权 TOPSIS 模型综合评价

利用 SPSSAU 平台计算样本中信息熵值  $e$  和信息效用值及权重系数  $w$ (表 7),并计算样本中各评价指标与正理想解( $D^+$ )和负理想解( $D^-$ )的距离及指标对最优解的贴近度  $C^{[15]}$ (表 8)。根据熵权 TOPSIS 法分析原则,按照相对接近度值( $C$ )对不同花色唐古特大黄进行排序, $C$  越大,越接近理想解,评价事物的综合性状越优,反之越差<sup>[16]</sup>。由表 8 可知,根据  $C$  值结果排序最优的样品为 QH004yyf,其次为 ZH002QS、DH002yyfA、HS003yyf。

### 3 讨论

#### 3.1 不同花色唐古特大黄根部性状评价

性状鉴别是药材真实性鉴定的重要环节,性状鉴别主要是辨状论质,即通过观察药材形状、大小、表面、质地、断面、气、味等指标进行判断<sup>[17-18]</sup>。本研

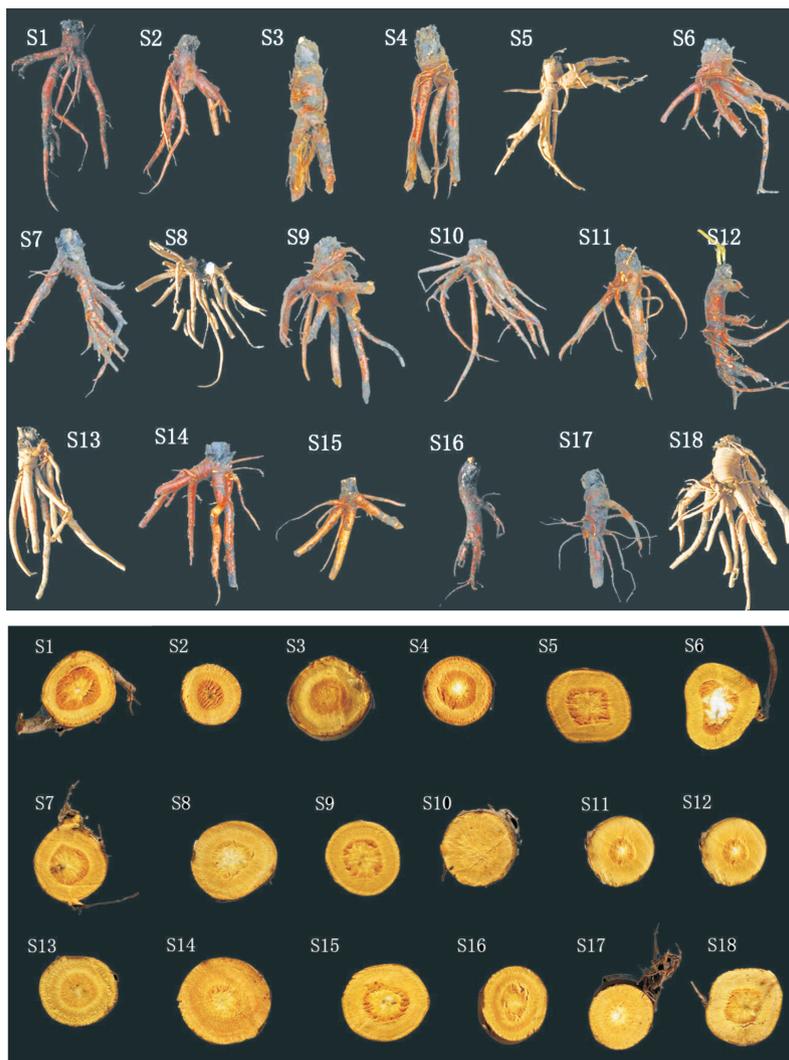
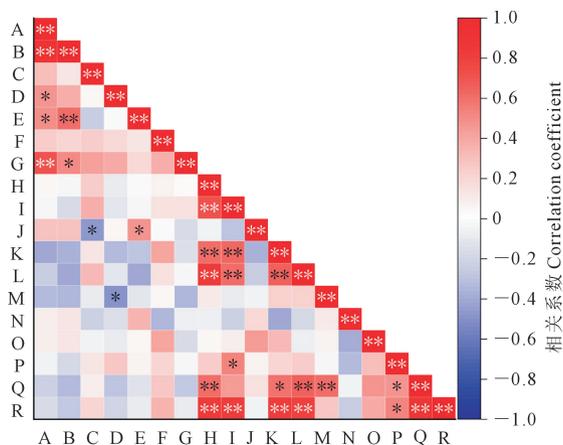


图 1 不同花色唐古特大黄根部形态

Fig.1 Root morphology of *Rheum tanguticum* Maxim. in different flower colors

注: \* 代表相关性显著 ( $P < 0.05$ ); \*\* 代表相关性极显著 ( $P < 0.01$ )。A 为单根鲜质量, B 为单根干质量, C 为须根粗, D 为须根长, E 为根数, F 为芦头长, G 为芦头粗, H 为没食子酸, I 为儿茶素, J 为番泻苷 B, K 为番泻苷 A, L 为芦荟大黄素, M 为大黄酸, N 为大黄素, O 为大黄酚, P 为大黄素甲醚, Q 为药典规定成分, R 为总含量。

Note: \* indicate significant correlation ( $P < 0.05$ ); \*\* indicate extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ). A is the fresh mass of single root, B is the dry mass of single root, C is fibrous root thickness, D is fibrous root length, E is the number of roots, F is rhizome length, G is rhizome thickness, H is gallic acid, I is catechin, J is sennoside B, K is sennoside A, L is aloemodin, M is rhein, N is emodin, O is chrysophanol, P is physcion, Q is the pharmacopoeia ingredient, R is the total content.

图 2 不同花色唐古特大黄根部性状及化合物含量的相关性分析

Fig.2 Correlation analysis of root traits and compound contents of *Rheum tanguticum* Maxim. in different flower colors

表 5 不同花色唐古特大黄主成分方差分析

Table 5 Analysis of variance of the principal components of *Rheum tanguticum* Maxim. in different flower colors

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
1	4.969	29.231	29.231
2	3.359	19.758	48.989
3	2.183	12.844	61.833
4	1.676	9.862	71.694
5	1.289	7.585	79.279
6	0.792	4.657	83.936
7	0.757	4.451	88.387
8	0.705	4.147	92.534
9	0.424	2.492	95.026
10	0.372	2.188	97.214
11	0.279	1.639	98.853
12	0.100	0.587	99.440
13	0.048	0.280	99.720
14	0.033	0.193	99.913
15	0.010	0.059	99.972
16	0.003	0.021	99.993
17	0.001	0.007	100.000

表 6 不同花色唐古特大黄 17 个指标初始因子载荷矩阵

Table 6 Initial factor loading matrix of 17 indicators of *Rheum tanguticum* Maxim. in different flower colors

指标 Index	初始因子载荷 Initial factor loading				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
没食子酸 Gallic acid	0.716	0.314	0.081	0.505	-0.126
儿茶素 Catechin	0.760	0.373	-0.052	0.233	-0.231
番泻苷 A Senoside A	0.885	0.028	0.092	-0.082	0.232
芦荟大黄 Aloemodin	0.845	0.066	-0.169	0.261	-0.075
化合物总含量 Total compound content	0.905	0.241	0.291	0.166	-0.022
单根鲜质量 Single root fresh mass	-0.446	0.824	0.002	0.172	0.114
单根干质量 Single root dry mass	-0.543	0.704	0.124	0.176	0.190
须根长 Fibrous root length	-0.290	0.524	-0.215	-0.294	-0.487
芦头长 Rhizome length	0.246	0.557	0.162	-0.355	0.451
芦头粗 Rhizome thickness	-0.185	0.735	-0.417	0.060	0.174
须根粗 Fibrous root thickness	0.302	0.458	-0.541	-0.019	0.244
根数 Root number	-0.415	0.386	0.504	0.419	0.031
番泻苷 B Senoside B	-0.355	0.104	0.792	0.078	-0.178
大黄酚 Chrysophanol	0.215	0.242	0.697	-0.459	0.182
大黄素 Emodin	-0.406	-0.229	0.046	0.718	0.000
大黄酸 Rhein	0.306	-0.425	0.234	0.162	0.488
大黄素甲醚 Physcion	0.443	0.312	0.270	-0.233	-0.527

表 7 不同花色唐古特大黄 17 个指标熵值法计算权重结果

Table 7 Results of the entropy value method of calculating the weights of 17 indicators of *Rheum tanguticum*

Maxim. in different flower colors			
样品编号 Sample number	信息熵值 $e$ Information entropy value	信息效用值 $d$ Information utility value	权重系数 $w/\%$ Weight coefficient
HS002yyf	0.7627	0.2373	5.55
QH003yyf	0.7560	0.2440	5.71
DH002yyfA	0.7732	0.2268	5.30
HS003yyf	0.7548	0.2452	5.73
DH003yyf	0.7689	0.2311	5.40
TGTYS	0.7418	0.2582	6.04
ZH002QS	0.7521	0.2479	5.80
ZH001QH	0.7670	0.2330	5.45
QH002yyf	0.7757	0.2243	5.24
HS001yyf	0.7538	0.2462	5.76
QH004yyf	0.7379	0.2621	6.13
DH002yyfB	0.7621	0.2379	5.56
TGT	0.7643	0.2357	5.51
DH004yyfB	0.7741	0.2259	5.28
ZH002DH	0.7958	0.2042	4.77
ZH001DH	0.7735	0.2265	5.30
ZH001HS	0.7473	0.2527	5.91
DH004yyfA	0.7624	0.2376	5.56

究中,不同花色唐古特大黄药材根部性状差异较大,根皮有棕红色和土黄色两种颜色,断面主要有金黄色和土黄色两种颜色。此结果与中国植物志中记载的唐古特大黄描述一致。本研究结合根部表面和髓部有无病变,以及单根质量大、须根和芦头粗且长等特点,筛选出适宜继续选育和栽培的品系有 QH003yyf (S2)、TGT (S14)、ZH002QS (S18)。王岩<sup>[19]</sup>在唐古特大黄种质资源药材质量评价研究中,采集的样品来自于四川省阿坝州,与本研究的 TGT (S14) 样品来自于同一地区,其中黄绿色裂叶种质与本研究的 TGT (S14) 样品性状描述一致,具备根茎粗大、主根明显、单株产量大的特点。唐进程等<sup>[20]</sup>基于“辨状论质”理论对唐古特大黄外观性状与内在质量的相关性研究中发现,根和根状茎的粗度和硬度越大、颜色偏橙色、苦味越小,药材中的没食子酸、番泻苷 A、番泻苷 B、大黄酸、大黄素及总蒽醌含量越高。因此,单根质量大、须根和芦头粗且长可作为不同花色唐古特大黄的适宜筛选指标。

### 3.2 不同花色唐古特大黄化学成分含量评价

研究发现,唐古特大黄中已被鉴别的各类化合物有 200 多种<sup>[21]</sup>,用作大黄质控的化学成分有大黄酸、大黄素、大黄酚、芦荟大黄素、大黄素甲醚共 5 种游离蒽醌类成分。近年来研究者针对大黄中蒽醌类(番泻苷 A、番泻苷 B)<sup>[22-23]</sup>、酚酸类(儿茶素、没食

表 8 不同花色唐古特大黄 17 个指标熵权-TOPSIS 评价结果

Table 8 Entropy weight-TOPSIS evaluation results of 17 indicators of *Rheum tanguticum* Maxim. in different flower colors

样品编号 Sample number	正理想解距离( $D^+$ ) Positive ideal solution distance	负理想解距离( $D^-$ ) Negative ideal solution distance	相对接近度 $C$ Relative proximity	排序 Sort
HS002yyf	258.512	2.411	0.009	17
QH003yyf	260.811	0.150	0.001	18
DH002yyfA	118.007	147.786	0.556	3
HS003yyf	146.618	119.264	0.449	4
DH003yyf	243.562	19.378	0.074	9
TGTYS	238.938	22.624	0.086	7
QH004yyf	0.000	260.855	1.000	1
ZH001DH	258.563	2.771	0.011	16
ZH002DH	193.276	68.911	0.263	6
ZH001HS	253.647	7.617	0.029	14
DH004yyfA	243.410	18.814	0.072	10
ZH001DH	248.407	13.298	0.051	12
DH002yyfB	241.950	19.526	0.075	8
TGT	251.313	9.941	0.038	13
DH004yyfB	244.875	16.609	0.064	11
QH002yyf	255.994	5.400	0.021	15
HS001yyf	191.747	70.787	0.270	5
ZH002QS	94.028	174.711	0.650	2

子酸)<sup>[24-25]</sup>成分的含量和药理作用<sup>[26]</sup>进行了研究。陆文瑾等<sup>[27]</sup>利用 HPLC 法同时测定大黄药材中 8 个非蒽醌类成分的含量时发现,没食子酸含量介于 0.22 ~ 11.69 mg · g<sup>-1</sup> 之间,儿茶素含量介于 3.15 ~ 46.86 mg · g<sup>-1</sup> 之间,成分含量波动幅度较大。本研究测定的大黄中没食子酸和儿茶素含量略低于上述研究的最高含量,但各成分含量较为稳定。与前人研究结果有差异可能是因为前人试验材料为购买于市场的药材饮片,原植物的生长年限、来源等信息不明,质量参差不齐,且没食子酸和儿茶素在药材储藏过程中稳定较差;而本研究药材均是课题组栽培 5 a 的唐古特大黄,生长年限一致,而且采收干燥后立即进行了成分含量检测,故没食子酸和儿茶素含量变化幅度小。且本研究唐古特大黄样品中没食子酸和儿茶素等 9 种化学成分的含量均高于刘月红等<sup>[28]</sup>通过高效液相法测定的大黄中 14 种化学成分含量,本研究中 9 种化学成分的总含量为 34.02 ~ 48.86 mg · g<sup>-1</sup>,其中大黄酸、大黄素、大黄酚、芦荟大黄素、大黄素甲醚的总含量大于 1.5%,符合药典质量标准要求。根据成分检测的结果(表 4),对 18 个不同花色唐古特大黄 9 种化合物的总含量进行排序,前 6 名为 QH002yyf (S16)、DH002yyfA (S3)、HS002yyf (S1)、TGTYS (S6)、TGT (S14)、ZH001DH (S8),并且发现花色为黄绿色 (HS003yyf (S4)、ZH001HS (S10)、HS001yyf (S17)) 的唐古特大黄的化合物总含量较低。

### 3.3 不同花色唐古特大黄综合分析评比

本研究中相关性分析结果显示(图 2),唐古特大黄的单根鲜质量与须根长、根数、单根干质量、芦头粗,单根干质量与芦头粗、根数,番泻苷 B 含量与根数、须根粗,大黄酸与须根长,芦荟大黄素与没食子酸、儿茶素、番泻苷 A 含量和药典规定成分之间均存在正相关关系,因此在试验条件和时间有限的情况下,可通过检测芦荟大黄素含量快速预估唐古特大黄是否符合药典标准。此外,番泻苷 B 含量与根数呈显著正相关关系,与须根粗呈显著负相关关系;大黄酸与须根长呈显著负相关关系,可推测唐古特大黄须根中番泻苷 B 的含量较高。彭博扬等<sup>[29]</sup>在生长年限及药材规格等级对唐古特大黄药效成分含量的影响研究中发现,唐古特大黄的生长年限和药材规格等级对二蒽酮成分、游离型蒽醌、鞣质等成分含量均有影响。因此,本研究对须根中番泻苷 B 含量的推测是合理的。且颜永刚等<sup>[30]</sup>在开展生长年限对大黄成分含量影响的研究中发现,不同的海拔范围内,随着生长年限的增加,大黄中芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚、(+)-儿茶素的含量有不同程度的升高。本研究中,利用 SPSSAU 在线平台进行熵权 TOPSIS 法分析发现,排序前 2 名的大黄品系分别为 QH004yyf (S7) 和 ZH002yyfA (S18),此结果与前文中根据单根质量大、须根和芦头粗且长的筛选结果 (ZH002QS

(S18)、QH003yyf(S2)、TGT(S14))一致, QH004yyf(S7)由于根皮表面有虫害造成的大面积疤痕,因此被淘汰。

## 4 结 论

结合不同花色唐古特大黄根部性状、化合物含量及相关性分析、熵权 TOPSIS 法模型的综合评价,根据无病变、单根质量大、须根和芦头粗且长等性状指标筛选出 QH003yyf(S2)、TGT(S14)、ZH002QS(S18)共 3 个品系表现较优,根据化合物总含量的排序筛选出 QH002yyf(S16)、DH002yyfA(S3)、HS002yyf(S1)、TGTYS(S6)、TGT(S14)、ZH001DH(S8)6 个品系表现较优,熵权 TOPSIS 法分析综合排序前 2 的品系为 QH004yyf(S7)和 ZH002QS(S18)。综合分析最终筛选出 TGT(S14)和 ZH002QS(S18)两个品系可作为唐古特大黄品种选育和栽培的基础材料。此外,本研究建立的基于多指标联合多元统计分析筛选不同花色唐古特大黄育种材料的评价模式,可用于唐古特大黄的品质评价。

## 参 考 文 献:

- [1] 关鉴茹, 郭娜, 吕小旭, 等. 华亭大黄幼苗对入侵植物野苣荬胁迫的生理响应[J]. 草原与草坪, 2023, 43(6): 66-72.  
GUAN J R, GUO N, LV X X, et al. Physiological responses of huating rhubarb seed-lings to the stress of invasive plant *Lactuca serriola*[J]. Grassland and Turf, 2023, 43(6): 66-72.
- [2] 周祯祥, 唐德才. 中药学[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2016: 146-147.  
ZHOU Z X, TANG D C. Chinese pharmacognosy [M]. Beijing: Chinese Traditional Medicine Press, 2016: 146-147.
- [3] LU C X, WANG H X, LU W P, et al. Antibacterial properties of anthraquinone extracted from rhubarb against *Aeromonas hydrophila*[J]. Fisheries Science, 2011, 77(3): 375.
- [4] AZELMAT J, LARENTE J F, GRENIER D. The anthraquinone rhein exhibits synergistic antibacterial activity in association with metronidazole or natural compounds and attenuates virulence gene expression in *Porphyromonas gingivalis*[J]. Archives of Oral Biology, 2015, 60(2): 342-346.
- [5] 魏小琴, 陈晓文. 基于 GMPGIS 模型的大黄全国生态适宜区和生态特征研究[J]. 信息技术与信息化, 2020, (7): 59-62.  
WEI X Q, CHEN X W. Study on national ecologically suitable areas and ecological characteristics of rhubarb based on GMPGIS model[J]. Information Technology & Informatization, 2020, (7): 59-62.
- [6] 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[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7251-7257.  
WANG A L, LI W W. Genetic diversity of an endangered species, *Rheum tanguticum* (*Polygonaceae*), on the Qinghai-Tibetan plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(21): 7251-7257.
- [7] 傅立国. 中国植物红皮书-稀有濒危植物(一)[M]. 北京: 科学出

版社, 1991: 161.

FU L G. Red book of Chinese Plants-rare and endangered plants[M]. Beijing: Science Press, 1991: 161.

- [8] 李莉, 刘凯, 魏胜利, 等. 我国唐古特大黄主产区资源现状调查及其可持续利用途径分析[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(8): 1407-1412.  
LI L, LIU K, WEI S L, et al. Resource situation investigation about *Rheum tanguticum* and its sustainable utilization analysis in main production area of China[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2014, 39(8): 1407-1412.
- [9] 佚名. 青海省人民政府关于公布青海省重点保护野生植物名录(第一批)的通告[J]. 青海草业, 2009, 18(1): 50-51.  
Anon. Circular of the people's government of Qinghai Province on the announcement of the list of key protected wild plants in Qinghai Province[J]. Qinghai Prataculture, 2009, 18(1): 50-51.
- [10] 吴佩根, 程小丽, 刘春生, 等. 不同唐古特大黄变异类型功效组分含量的差异研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(14): 2607-2611.  
WU P G, CHENG X L, LIU C S, et al. Study on difference of functional components content of different *Rheum tanguticum* variation type[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2016, 41(14): 2607-2611.
- [11] ZHAO S, XIONG F, WANG L L, et al. Study on the quality characteristics and geographical origin authentication of wild *Rheum tanguticum* in three authentic regions[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 123: 105463.
- [12] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020 年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 24.  
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: 2020 Edition, Volume 1[S]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2015: 24.
- [13] 燕霞, 朱雪妍, 何颂华, 等. HPLC—测多评法同时测定壮药罗汉茶中 6 种黄酮类成分及多元统计分析[J]. 中国药房, 2021, 32(20): 2485-2491.  
YAN X, ZHU X Y, HE S H, et al. Simultaneous determination of 6 flavonoids in Zhuang medicine *Engelhardia roxburghiana* by HPLC-QAMS and multivariate statistical analysis [J]. China Pharmacy, 2021, 32(20): 2485-2491.
- [14] 陈巍, 杨海峰, 陈毓, 等. 基于多指标成分定量联合多元统计分析评价不同产地鹅不食草药材质量[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(9): 1573-1583.  
CHEN W, YANG H F, CHEN Y, et al. Quality evaluation of Centipedeae Herba from different origins based on multi-component quantification combined with multivariate statistical analysis [J]. Natural Product Research and Development, 2024, 36(9): 1573-1583.
- [15] 杨福红, 王盼, 赵鑫, 等. 减量分期施用水溶肥对菘蓝产量和品质的影响[J]. 中成药, 2023, 45(8): 2782-2786.  
YANG F H, WANG P, ZHAO X, et al. *Isatis tinctoria* germplasm resources evaluation[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2023, 45(8): 2782-2786.
- [16] 赵鑫, 李君君, 权文越, 等. 基于熵权 TOPSIS 评价半夏不同干燥方法对质量的影响[J]. 中药材, 2022, 45(2): 327-330.

- ZHAO X, LI J J, QUAN W Y, et al. Evaluation of the effect of different drying methods on the quality of *Pinellia ternata* based on entropy weight TOPSIS [J]. Journal of Chinese medicinal materials, 2022, 45(2): 327-330.
- [17] 刘书斌, 杨晓玲, 李喜香, 等. 基于性状鉴别与灰色关联法对不同规格大黄饮片质量比较研究[J]. 甘肃中医药大学学报, 2022, 39(2): 1-6.
- LIU S B, YANG X L, LI X X, et al. Comparative study on quality of *Rhei Radix et Rhizoma* decoction pieces with different specifications based on macroscopic identification and grey relational analysis [J]. Journal of Gansu University of Chinese Medicine, 2022, 39(2): 1-6.
- [18] 卫莹芳. 中药鉴定学图表解[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 80-84.
- WEI Y F. Chinese medicine identification [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2011: 80-84.
- [19] 王岩. 唐古特大黄种质资源与药材质量评价[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- WANG Y. Study on evaluation of germplasm and quality of medicinal materials in *Rheum tanguticum* [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.
- [20] 唐进程, 祁晓娟, 赵江怡, 等. 基于“辨状论质”理论对唐古特大黄外观性状与内在质量的相关性研究[J]. 中国现代中药, 2023, 25(9): 1887-1894.
- TANG J C, QI X J, ZHAO J Y, et al. Correlation between appearance traits and internal quality of *Rheum tanguticum* Maxim.ex Balf. based on theory of "quality evaluation through morphological identification" [J]. Modern Chinese Medicine, 2023, 25(9): 1887-1894.
- [21] 魏银贵, 李建, 程培秀. 大黄及其伪品的鉴别[J]. 中国医药指南, 2013, (19): 483-484.
- WEI Y G, LI J, CHENG P X. Identification of rhubarb and its counterfeit species [J]. Guide of China Medicine, 2013, (19): 483-484.
- [22] 禹亚杰, 包锐, 尚宁宁, 等. 不同生长年限栽培唐古特大黄根、根茎总蒽醌含量差异测定[J]. 中药与临床, 2024, 15(4): 1-4.
- YU Y J, BAO R, SHANG N N, et al. Comparison of total anthraquinone components in roots and rhizomes of cultivated *Rheum tanguticum* Maxim.ex Balf. with different growth years [J]. Pharmacy and Clinics of Chinese Materia Medica, 2024, 15(4): 1-4.
- [23] 黄凤, 尹显梅, 唐国琳, 等. 基于 PCA 及 CA 的唐古特大黄蒽醌类、二蒽酮类及鞣质类含量研究[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(5): 920-926.
- HUANG F, YIN X M, TANG G L, et al. Research on contents of anthraquinones, dianthrones and tannins in *Rheum tanguticum* on PCA and CA [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2019, 44(5): 920-926.
- [24] 王君梅, 郭政, 王志旺, 等. 唐古特大黄有效成分与色度相关性分析[J]. 中国中医药信息杂志, 2022, 29(3): 105-109.
- WANG J M, GUO M, WANG Z W, et al. Correlation analysis of effective components and chromaticity of *Rheum tanguticum* Maxim [J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2022, 29(3): 105-109.
- [25] 沈娜, 崔玉磊, 周华坤, 等. 生长年限、采收期及施肥对唐古特大黄中儿茶素含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(10): 38-42.
- SHEN N, CUI Y L, ZHOU H K, et al. Contents of catechin in radix and rhizoma of *Rheum tanguticum* at different growing stages and harvesting stages and with different fertilizer doses [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2018, 24(10): 38-42.
- [26] 曹强, 郭亚菲, 叶蕾蕾, 等. 唐古特大黄二氯甲烷部位抗炎活性谱效关系研究[J]. 中成药, 2023, 45(5): 1544-1550.
- CAO Q, GUO Y F, YE L L, et al. Study on the spectrum-effect relationship between the dichloromethane fraction of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf and its anti-inflammatory activity [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2023, 45(5): 1544-1550.
- [27] 陆文瑾, 窦志华, 曹瑞, 等. HPLC 法同时测定大黄药材中 8 个非蒽醌类成分的含量[J]. 中国药房, 2019, 30(14): 1975-1980.
- LU W J, DOU Z H, CAO R, et al. Simultaneous determination of 8 non-anthraquinone constituents in *Rheum palmatum* by HPLC [J]. China Pharmacy, 2019, 30(14): 1975-1980.
- [28] 刘月红, 黄政海, 董玲, 等. 高效液相色谱法同时测定大黄中 14 种成分的含量[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(23): 4514-4519.
- LIU Y H, HUANG Z H, DONG L, et al. Simultaneous content determination of 14 components in *Rhei Radix et Rhizoma* by high performance liquid chromatography method [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2017, 42(23): 4514-4519.
- [29] 彭博扬, 丁一明, 唐进程, 等. 生长年限及药材规格等级对唐古特大黄药效成分含量的影响[J]. 北京中医药大学学报, 2022, 45(8): 842-849, 854.
- PENG B Y, DING Y M, TANG J C, et al. Effects of growth year and specification grade on content of active compounds of *Rheum tanguticum* [J]. Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2022, 45(8): 842-849, 854.
- [30] 颜永刚, 王红艳, 邓翀, 等. 生长年限、海拔和光照对大黄中 8 种成分的影响研究[J]. 中草药, 2017, 48(11): 2285-2291.
- YAN Y G, WANG H Y, DENG C, et al. Effects of growth years, altitude, and light factors on contents of eight components in *Rheum officinale* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2017, 48(11): 2285-2291.