

黄精种质资源根状茎表型及显微结构分析

袁帅^{1,2+}, 杨赛³⁺, 成宏⁴, 张静⁴, 周昌龙⁵, 王洲羿⁶, 李佳¹, 刁英^{1,2*},
胡中立^{2,7}

1. 武汉轻工大学 生命科学与技术学院, 湖北 武汉 430023;
2. 湖北恩施富硒资源野外科学观测研究站, 湖北 恩施 445023;
3. 华中科技大学同济医学院附属协和医院护理部, 湖北 武汉 430022;
4. 恩施土家族苗族自治州中心医院, 湖北 恩施 445099;
5. 重庆医科大学附属永川医院, 重庆 402160;
6. 黄冈市中医医院, 湖北 黄冈 438000;
7. 武汉大学 生命科学学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 根状茎表型及显微结构是根状茎类中药材鉴定的重要依据。本研究对29份不同产地的药用黄精种质资源开展根状茎表型性状及显微特征观察。结果表明,不同产地黄精表型性状特征存在较大差异,其中鲜重的变异系数最大(77.95%),色度变异系数最小(8.78%)。在遗传多样性分析中,芽头直径的遗传多样性指数最高(2.0646)。主成分分析与产量相关性指标具有较高的载荷率(分别为0.879、0.727、0.857、0.838、0.732)。根状茎表型聚类分析结果将黄精种质资源分为3个类别。此外,所选品种的显微结构维管束和黏液细胞相关特征也均存在差异。综上所述,不同产地黄精在表型性状特征和显微结构特征上均存在较大差异,为黄精种质资源的筛选与评价、品种鉴别提供理论依据。

关键词: 黄精; 种质资源; 根状茎; 表型性状; 显微结构

中图分类号: S567.239

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2025)03-0287-09

Analysis of phenotypic traits and microscopic structure in rhizomes of *Polygonatum* spp. germplasm resources

Yuan Shuai^{1,2+}, Yang Sai³⁺, Cheng Hong⁴, Zhang Jing⁴, Zhou Changlong⁵, Wang Zhouyi⁶, Li Jia¹,
Diao Ying^{1,2*}, Hu Zhongli^{2,7}

1. School of Life Science and Technology, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, Hubei, China;
2. Hubei Enshi Selenium-rich Resource Observation and Research Station, Enshi 445023, Hubei, China;
3. Nursing Department of Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, Hubei, China;
4. Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture Central Hospital, Enshi 445099, Hubei, China;
5. The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 402160, China;
6. Huanggang Hospital of TCM, Huanggang 438000, Hubei, China;
7. College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China)

Abstract: Phenotypic traits and microscopic structures of rhizomes as key indicators for the identification of medicinal rhizome herbs. This study conducted observations on the phenotypic traits and microscopic characteristics of rhizomes

收稿日期: 2025-03-17 修回日期: 2025-05-17 接受日期: 2025-06-09

作者简介: 袁帅(1999-),男,硕士,主要从事植物资源开发与生物技术利用, E-mail: 1348709647@qq.com; 杨赛(1986-),女,主管护师,主要从事药食两用植物资源开发与利用, E-mail: yangsai@hust.edu.cn; † 对本文有相同的贡献,为并列第一作者

* 通讯联系人: 刁英(1978-),女,教授,主要从事植物遗传育种、植物资源生物学与生物技术研究, E-mail: yingdiao@whpu.edu.cn

基金项目: 武汉轻工大学人才引进科研启动基金(2021RZ099)

引用格式: 袁帅, 杨赛, 成宏, 等. 黄精种质资源根状茎表型及显微结构分析[J]. 生物资源, 2025, 47(3): 287-295.

Yuan Shuai, Yang Sai, Cheng Hong, et al. Analysis of phenotypic traits and microscopic structure in rhizomes of *Polygonatum* spp. germplasm resources [J]. Biotic Resources, 2025, 47(3): 287-295.

of *Polygonatum* spp. germplasm resources from 29 different origins. The results indicated that there were significant variations in phenotypic traits among *Polygonatum* spp. from different regions. Among them, the coefficient of variation of fresh weight was the highest (77.95%), and that of chromaticity was the lowest (8.78%). In the genetic diversity analysis, the bud diameter exhibited the highest genetic diversity index (2.0646). Principal component analysis revealed high loading rates for yield-related trait indicators (0.879, 0.727, 0.857, 0.838, and 0.732, respectively). Cluster analysis of rhizome phenotypic traits categorized the *Polygonatum* spp. germplasm resources into three distinct groups. Additionally, variations were observed in the microscopic structures, particularly in the vascular bundles and mucilage cells of the selected varieties. In conclusion, significant differences exist in both phenotypic traits and microscopic structures of *Polygonatum* spp. from different regions, providing a theoretical foundation for the screening and evaluation of the germplasm resources, as well as for the variety identification.

Key words: *Polygonatum* spp. ; germplasm resources; rhizome; phenotypic trait; microscopic structure

0 引言

黄精 (*Polygonatum* spp.) 为天门冬科 (Asparagaceae) 黄精属 (*Polygonatum*) 多年生草本, 在中国主要分布于四川、贵州、安徽、湖南、湖北等地^[1]。根据历代的《中国药典》规定, 将多花黄精 (*P. cyrtoneuma* Hua)、黄精 (*P. sibiricum* Red.) 及滇黄精 (*P. kingianum* Coll. et Hemsl.) 作为药用品种^[2]。因黄精具有滋补和免疫调节等作用而被广泛应用, 并且国家卫生健康委员会于 2002 年将其列为药食同源的中药材。因此, 黄精具有较大的开发应用潜力。在现代药理研究中, 黄精的多种生物活性得到了进一步的证实, 包括显著的抗疲劳和抗衰老作用, 同时对心血管系统也有一定的保护作用^[3-4]。此外, 黄精还被发现具有抗炎、抗氧化和抗肿瘤的潜在功效, 这些特性使得黄精在现代医学和健康产品领域中备受关注^[5-6]。

目前黄精的研究主要集中在以下几个方面: 药用价值、栽培技术与加工利用等方面^[7-11]。而关于黄精种质资源研究相对零散, 尤其是根状茎表型性状研究仅有少量报道^[12-13]。因此, 本研究以湖北省的核心种质资源为研究对象, 通过形态学特征的系统测定与统计分析, 并选取具有显著形态特征差异的黄精品种分析其显微结构特征, 为黄精种质资源的筛选与利用, 品种鉴别提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 仪器

UltraScanXE 型色度分析仪 (Hunter Lab) 公司, BCE124-1CCN 型电子天平 (Sartorius), CX23 生物显微镜 (Olympus), DL91150 高精度数显游标卡尺 (得力)。

1.2 材料

本实验收集的 29 个地区野生药用黄精种质资源, 具体信息见表 1。

1.3 方法

选取来自 29 个产地的黄精根状茎, 每个产地选取 3~7 个生长年份为 4 年且无病害的黄精根状茎, 洗净表面泥土后用吸水纸擦干表面水分后, 通过电子天平、游标卡尺及色度仪测定黄精根状茎的鲜重、最大长度、节点直径、色度、根状茎直径、芽头长度、芽头最大直径、茎痕直径, 不规则皱纹数则通过人工计数进行统计。上述除不规则皱纹外, 其余表型性状相关指标每次测定重复 3 次。测量标准见表 2。

根据形态与品种差异选取 5 个产地黄精进行显微结构分析, 取无腐烂、无病害的, 形态差异较大的黄精根状茎, 具体信息见图 1。切取根状茎中粗壮处组织置于 70% FAA 溶液 (源叶 R20517) 中固定 24 h 后送至武汉塞维尔生物科技有限公司制作石蜡切片, 置于显微镜下选择 100 倍、400 倍进行观察, 随机选取不同倍数下的 9 个视野拍照记录以便后续分析。

1.4 数据分析

测量数据通过 SPSS24.0 及 Origin 2024 进行统计分析并绘图。根状茎显微切片拍照后通过 Image J、Photoshop2024 软件进行处理分析。

用 Shannon-Wiener (H') 指数来衡量物种的均匀度和丰富度, 计算公式为:

$$H' = -\sum (P_i) \times (\ln P_i) \quad (P_i \text{ 为此物种个体数占总个体数比例})$$

基于表型性状的平均值 (μ) \pm 标准差 (σ) 将表型性状分为 10 级。其中第 1 级被定义为 $X_1 < (\mu - 2\sigma)$, 按 0.5 σ 增量递增, 第 10 级则为 $X_{10} > (\mu + 2\sigma)$ 。根据每个样本在某个表型性状中出现频率计算多样性指数。

2 结果与分析

2.1 表型性状多样性

由表 3 可知, 29 个产地黄精表型性状变异系数

表1 黄精采样信息
Table 1 Sample information of *Polygonatum* spp.

编号	采样地点	物种名称	经度	纬度	生境
W-1	湖北宜昌	多花黄精	111°03'21.54"E	30°46' 49.12"N	林下
W-2	湖北宜昌	多花黄精	111°01'01.58"E	30°45' 2.78"N	林下
W-3	湖北宜昌	多花黄精	111°08' 59.80"E	30°46' 49.22"N	林下
W-4	湖北宜昌	多花黄精	111°05'38.01"E	30°44' 17.64"N	林下
W-5	湖北黄冈	多花黄精	115°46'34.98"E	30°55' 17.73"N	林下
W-6	湖北十堰	黄精	110°29'28.72"E	32°0' 35.85"N	林下
W-7	湖北十堰	滇黄精	110°44'1.82"E	32°35' 51.53"N	林下
W-8	湖北恩施	黄精	109°54'26.78"E	30°10' 24.96"N	林下
W-9	云南昭通	滇黄精	104°47'8.77"E	27°28' 29.32"N	阴坡
W-10	广西桂林	多花黄精	110°08'31.01"E	25°45' 58.76"N	林下
W-11	广西桂林	多花黄精	110°40' 2.23"E	25°36' 41.68"N	林下
W-12	广西桂林	多花黄精	110°29' 39.71"E	25°52' 51.76"N	林下
W-13	湖南益阳	多花黄精	111°03' 43.82"E	28°23' 18.30"N	林下
W-14	贵州遵义	滇黄精	107°45' 17.14"E	28°34' 17.09"N	阴坡
W-15	湖北咸宁	多花黄精	114°09' 36.00"E	29°18' 36.00"N	林下
W-16	湖北咸宁	多花黄精	114°13' 48.00"E	29° 33' 36.00"N	林下
W-17	湖北咸宁	多花黄精	114°39' 36.00"E	29° 25' 12.00"N	林下
W-18	湖北咸宁	多花黄精	114°03' 36.00"E	29° 16' 48.00"N	林下
W-19	陕西商洛	黄精	110°34' 45.53"E	33°23' 57.38"N	林下
W-20	陕西商洛	多花黄精	110°34' 45.53"E	33°23' 57.38"N	林下
W-21	四川广安	多花黄精	106°25' 38.97"E	30°20' 30.92"N	林下
W-22	江西九江	多花黄精	114°19' 59.45"E	29°17' 29.41"N	林下
W-23	湖北咸宁	多花黄精	114°48' 46.16"E	29°29' 14.13"N	林下
W-24	湖北十堰	黄精	111°03' 48.49"E	32°20' 5.73"N	阴坡
W-25	湖北黄冈	多花黄精	115°51' 57.93"E	30°23' 37.82"N	阴坡
W-26	湖北咸宁	多花黄精	114°11' 18.00"E	29° 41' 2.00"N	林下
W-27	湖北咸宁	多花黄精	114°05' 50.00"E	29° 41' 48.00"N	林下
W-28	湖北黄冈	多花黄精	115°45' 58.90"E	30° 59' 41.57"N	阴坡
W-29	湖北黄石	多花黄精	114°55' 54.38"E	29° 49' 14.04"N	林下

范围在 8.78%~77.95%，其中 29 个产地色度变异系数最小，仅为 8.78%，主要因为黄精根状茎表面颜色整体以黄色为主，整体差异较小。而鲜重变异系数最大，达到了 77.95%，其中鲜重最大则为 W-14(贵州遵义)滇黄精。除了不同品种间出现这种差异外，同一品种不同产地也存在一定差异，其余性状也均有一定程度变异。Shannon-Wiener 指数变化范围在 1.868 7~2.064 6，其中芽头直径多样性指数最高为 2.064 6，鲜重多样性指数最低为 1.868 7，9 个性状之间多样性指数整体波动较小，但结果均显示出较为丰富的遗传多样性。

2.2 主成分分析

对 29 个产地黄精种质资源的 9 个表型性状进行主成分分析，KMO 检验值为 0.634，Bartlett 球形

检验结果显著 ($P < 0.001$)，表明本次研究数据可以进行主成分分析。结果显示主要信息集中在前 5 个主成分中，前 5 个主成分累计贡献率为 91.490%。其中，PC1 特征值为 3.906，贡献率为 43.395%，载荷较高性状主要为鲜重、最大长度、节点直径、根状茎直径及芽头直径，与根状茎形态发育，生物量积累可能有关。PC2 特征值为 1.601，贡献率为 17.789%，载荷较高的性状为不规则皱纹数，反映根状茎表皮形态特征，可能与生长环境微变化相关。PC3 特征值为 1.175，贡献率为 13.060%，载荷较高性状为茎痕直径，指示茎秆基部发育状态，推测与次生代谢物运输能力有关。PC4 特征值为 0.902，贡献率为 10.023%，载荷较高性状为色度，表征表皮色素沉积差异。PC5 特征值

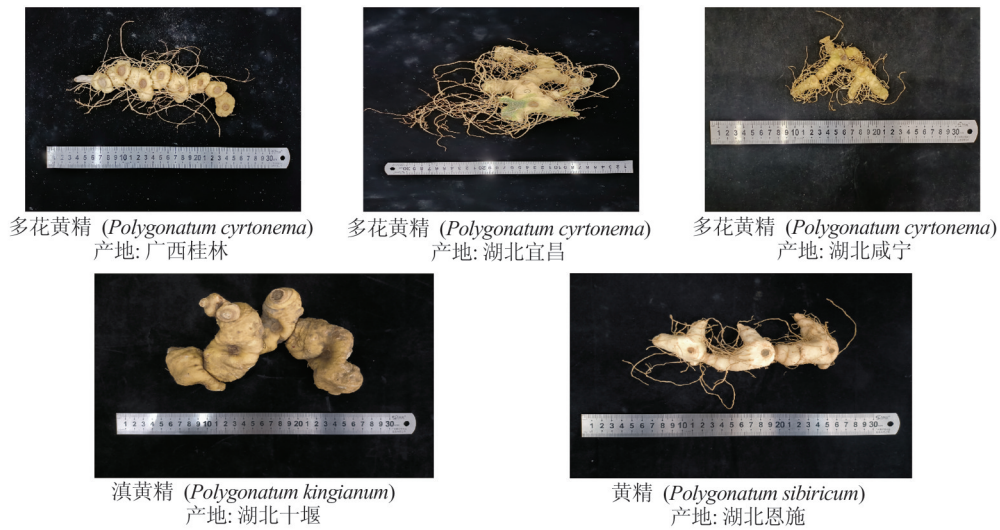


图1 部分产地黄精样品

Figure 1 *Polygonatum* spp. samples from various regions

表2 黄精根状茎表型性状测定指标

Table 2 Determination criteria for phenotypic traits of rhizomes of *Polygonatum* spp.

测量指标	测量标准
鲜重/g	新鲜黄精总重量
最大长度/cm	黄精根状茎最大长度
节点直径/cm	黄精每节连接处直径
色度	黄精表皮色度
根状茎直径/cm	测定每节膨大处直径
芽头长度/cm	芽头最大长度
芽头最大直径/cm	芽头底端最大直径
茎痕直径/cm	黄精每节圆形痕迹直径
不规则皱纹数	黄精表面皱纹数

为0.650,贡献率为7.223%,见表4。载荷较高性状为茎痕直径和芽头长度,可能与后期黄精生长发育有关。综合各性状对于贡献值特征大小可将产量相关性状:鲜重、最大长度、节点直径、根状茎直径作为黄精种质资源评价的指标。

2.3 聚类分析

本研究选取各产地黄精品种的鲜重、最大长度、节点直径、色度、根状茎直径、芽头长度、芽头直径、茎痕直径及不规则皱纹数等9个表型性状作为变量,对29份种质材料进行系统聚类分析(图2)。当欧氏平方距离阈值为15时,所有材料可划分为3个显著类群,而从分类结果来看,以根状茎鲜重与体积相关指标作为主要分类依据,其中第Ⅰ类群主要包含根状茎鲜重和体积指标较小的种质;第Ⅱ类群表现为根状茎体积及重量中等偏大;第Ⅲ类群以贵州遵义产滇黄精为代表,其主要特点为鲜重较大,并且图2显示29个产地材料的聚类分组结果与其地理来源无相关性。这种现象表明药用黄精的表型性状变异存在明显的不连续性。

2.4 相关性分析

29个产地黄精种质资源的9个表型性状相关

表3 表型性状变异和多样性分析

Table 3 Phenotypic trait variation and diversity analysis

性状	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	Shannon-Wiener指数
鲜重/g	25.44	420.32	157.82	123.02	77.95	1.868 7
最大长度/cm	9.66	50.99	15.67	5.11	32.61	1.906 0
节点直径/cm	0.76	3.44	1.72	0.74	43.02	1.998 4
色度	42.51	61.03	48.95	4.30	8.78	1.992 1
根状茎直径/cm	1.72	4.69	2.91	1.13	38.83	1.951 5
芽头长度/cm	1.01	4.08	2.17	1.04	47.93	2.034 6
芽头直径/cm	0.51	1.14	0.82	0.29	35.37	2.064 6
茎痕直径/cm	0.43	1.74	1.13	0.50	44.25	1.983 5
不规则皱纹数	18.00	70.00	35.08	14.67	41.82	1.967 2

表 4 表型性状主成分分析

Table 4 Principal component analysis of phenotypic traits

性状	主成分				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
鲜重/g	0.879	-0.341	0.172	-0.082	-0.198
最大长度/cm	0.727	0.306	0.375	0.253	-0.105
节点直径/cm	0.857	-0.375	0.074	-0.15	-0.121
色度	-0.101	-0.567	0.264	0.739	0.148
根状茎直径/cm	0.838	-0.453	-0.18	-0.112	0.014
芽头长度/cm	0.595	0.289	-0.459	0.319	0.394
芽头直径/cm	0.732	0.232	-0.416	-0.048	0.174
茎痕直径/cm	0.322	0.281	0.711	-0.261	0.475
不规则皱纹数	0.405	0.713	0.097	0.280	-0.390
特征值	3.906	1.601	1.175	0.902	0.650
方差贡献率/%	43.395	17.789	13.060	10.023	7.223
累计贡献率/%	43.395	61.184	74.244	84.268	91.490

性分析结果如图 3 所示,其中,根状茎鲜重与最大长度($P<0.01$)、根状茎直径($P<0.01$)均存在极显著正相关,表明根状茎纵向延伸与径向膨大呈现同步生长特征。最大长度与不规则皱纹数呈显著正相关($P<0.01$),表明根状茎在生长过程中其表皮扩张可能诱发褶皱形成,而表皮褶皱的形成又有利于其更好地适应土壤环境与吸收营养物

质;节点直径与根状茎直径、芽头直径与芽头长度、根状茎直径及节点直径均达极显著相关水平($P<0.01$),反映了各根状茎部位维度指标的系统协调发育模式。

2.5 显微结构分析

根据显微制片结果对黄精根状茎的黏液细胞、维管束进行分析。黏液细胞长短径间存在一定差异,其中长短径最大的为产自广西桂林的多花黄精,长短径分别为(136.03 ± 49.6) μm , (104.38 ± 36.72) μm 。最大达到了不同产地的多花黄精及黄精的维管束类型均为外韧型,而滇黄精为周木型。并且维管束直径范围在 $75.29\sim 264$ μm , 3 个药用黄精品种间存在一定差异,并且来自 3 个不同产地的多花黄精也存在一定差异,见表 5 和表 6。

根据图 4 可以看出黄精根状茎黏液细胞形态较为相似,均为近圆形。观察维管束类型发现多花黄精和黄精均以外韧型为主,多花黄精中偶见周木型维管束,而滇黄精则以周木型为主。统计导管数量发现维管束类型在同种与不同种间均有差异,其中滇黄精的周木型维管束导管数量要多于外韧型。导管为提供水分与无机盐物质的通道,滇黄精因其根状茎粗大也被称为“大黄精”,而其导管数量多有利于其根状茎生长。

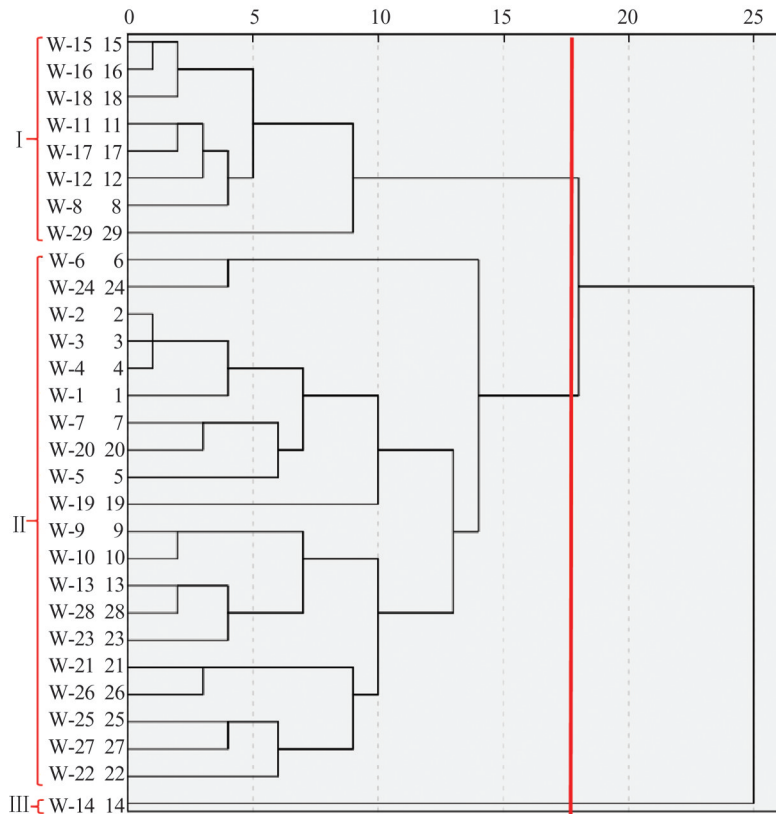


图 2 表型性状聚类分析

Figure 2 Cluster analysis of phenotypic traits

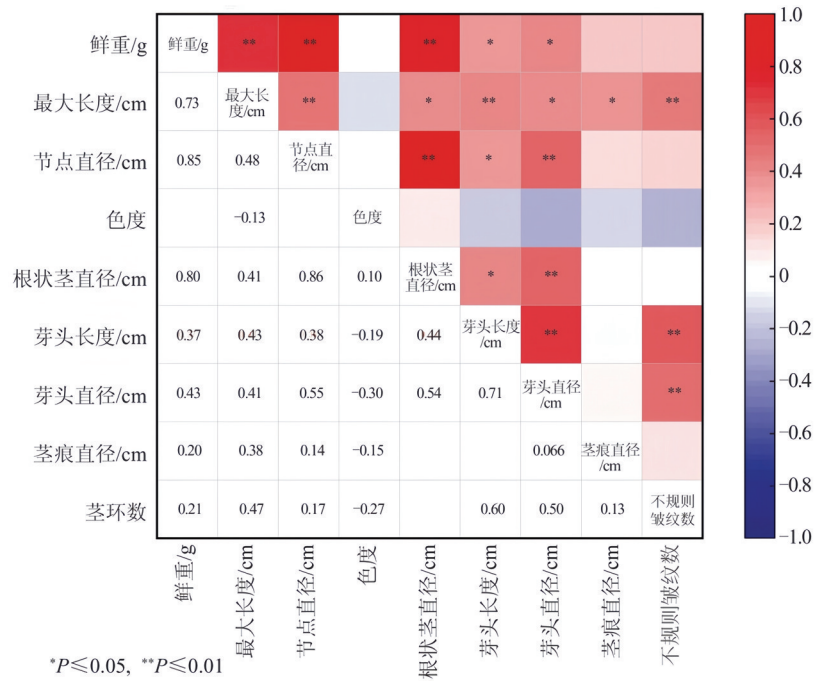


图3 表型性状相关性分析

Figure 3 Correlation analysis of phenotypic traits

表5 黄精根状茎黏液细胞各个参数比较

Table 5 Comparative analysis of parameters of mucous cells in the rhizomes of *Polygonatum* spp.

采样点	物种名称	黏液细胞		
		长径/ μm	短径/ μm	形态
湖北宜昌	多花黄精	92.76±15.07	77.28±13.82	近圆形
湖北咸宁	多花黄精	116.31±24.01	93.46±16.25	近圆形
湖北十堰	滇黄精	106.20±16.75	94.84±13.79	近圆形
湖北恩施	黄精	104.64±14.40	86.05±6.48	近圆形
广西桂林	多花黄精	136.03±49.60	104.38±36.72	近圆形

3 讨论与结论

植物表型性状分析已广泛运用于农作物、中药材等领域,对于种质资源评价具有重要意义。目前,表型性状分析已在半夏、铁皮石斛、杜仲等中药材种质资源评价中得到了较为广泛的应用^[14-16]。

一般认为变异指数大于10%即存在差异,也有将表型变异等级定义为3级别,弱变异型(<20%)、中度变异型(20%~40%)、高度变异型(>40%)^[17]。综上,29个产地的药用黄精品种表型性状均具有一定变异其中变异系数最低为色度(8.78%),其中三种黄精表皮主要以黄色为主,而黄精表皮淡黄色至黄棕色,滇黄精与多花黄精则为灰黄色或黄褐色。29个产地黄精种质资源中,变异系数最大的为鲜重(77.95%),其余表型也均具有一定差异。3个药用品种黄精整体颜色以黄色为主,其差异并不大。鲜重则可能因品种、产地地理条件,气候因素和遗传背景存在差异导致其鲜重存在差异。遗传多样性分析中则显示出9个表型性状 Shannon-Wiener 指数在 1.868 7~2.064 6,但从整体来看,9个表型性状在不同产地间显示出较高遗传多样性。主成分分析中贡献度率较大

表6 黄精根状茎维管束各个参数比较

Table 6 Comparative analysis of various parameters of vascular bundles in the rhizomes of *Polygonatum* spp.

采样点	物种名称	维管束			
		直径/ μm	类型	分布状态	导管数
湖北宜昌	多花黄精	132.09~234.72	外韧型	散生	30~51
湖北咸宁	多花黄精	85.51~140.854	外韧型	散生	17~39
湖北十堰	滇黄精	122.42~264.92	周木型,偶见外韧型	散生	22~58
湖北恩施	黄精	75.29~233.79	外韧型	散生	10~32
广西桂林	多花黄精	110.83~173.24	外韧型,偶见周木型	散生	4~27

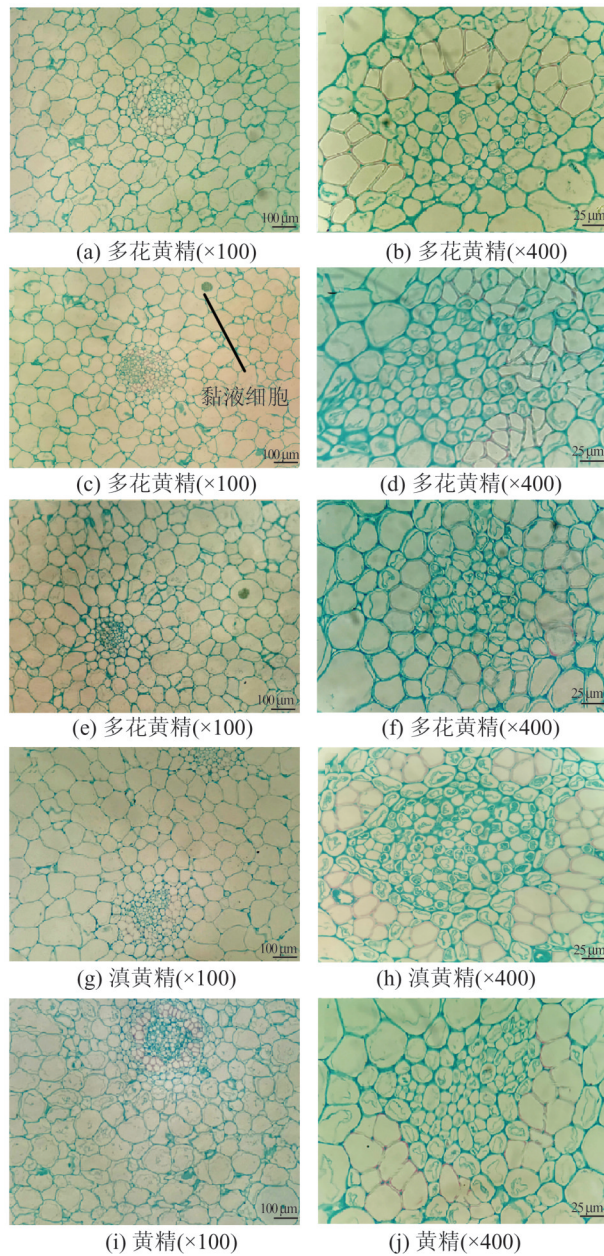


图4 黄精根状茎显微切片

Figure 4 Microscopic sections of rhizomes of *Polygonatum* spp.

的5个成分主要为产量相关性状,根据其累计贡献率结果来看可将鲜重、最大长度、节点直径、根状茎直径4个指标作为黄精种质资源评价依据之一。而聚类分析中所划分3类的主要差异则也是以产量性状中的鲜重为主,其中W-14(贵州遵义)滇黄精鲜重最大,且单独聚为一类。而黄精与多花黄精因不同产地的环境差异而具有一定差异,但整体相对于滇黄精较小。相关性分析中以产量相关性状间具有极显著正相关为主,并且还发现其根状茎长度与其表面不规则皱纹数量呈正相关,这可能是生长过程表皮扩张可能诱发褶皱形成这一

现象。现有结论已表明,植物根状茎表皮褶皱对于有利于其适应土壤环境和吸收营养物质,而目前尚未有关于黄精表皮褶皱相关研究。因此,后续可进一步研究黄精表皮褶皱对其根状茎生长发育影响的相关机制。

根状茎显微结构发现在不同品种间维管束类型存在差异,多花黄精和黄精主要以外韧型为主,其中多花黄精偶见周木型维管束,滇黄精则以周木型为主,偶见外韧型,这一现象与《中华人民共和国药典中药材显微鉴别彩色图鉴》中的结果略有差异^[18],但有研究发现滇黄精维管束以外韧型为主^[19],同时还有研究发现其滇黄精中存在周木型和外韧型两种维管束^[20]。关于这一类现象可能还需进一步研究。而导管作为输送水分和无机盐重要结构其数量差异对于黄精根状茎生长发育具有一定影响。黏液细胞相关特征中细胞长短径存在一定差异,但细胞形态基本一致。黄精中多糖类化合物主要分布于黏液细胞中,多糖作为其核心药用成分其含量对于其品质高低具有重要意义^[21]。后续可进一步对黄精根状茎进行组织化学定位,从微观角度进一步评价不同地区黄精种质资源差异。

随着人们保健意识的不断加强,黄精的关注度也在日益上涨。而目前市面上黄精品质参差不齐,需要尽快选育出优质品种来更好满足市场需求。本文通过研究29个产地药用黄精的表型性状发现其具有表型性状变异丰富,且遗传多样性较高,同时根状茎显微特征结果比较也具有一定差异,为黄精种质资源筛选、品种鉴别提供参考。但由于此次收集材料以主要以多花黄精为主,其他两个品种相对较少。因此,后续需进一步扩大品种类别和数量从而开展进一步研究。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第15卷[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China Vol 15 [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
Chinese Pharmacopoeia Commission. The People's Republic of China (PRC) pharmacopoeia [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [3] Huang Y Q, Wang Y T, Deng J, et al. Research on the anti-oxidant and anti-aging effects of *Polygonatum kingianum* saponins in *Caenorhabditis elegans* [J]. He-

- liyon, 2024, 10(15): e35556.
- [4] Xu X R, Shan M M, Chu C Q, et al. Polysaccharides from *Polygonatum kingianum* Collett & Hemsl ameliorated fatigue by regulating NRF2/HO-1/NQO1 and AMPK/PGC-1 α /TFAM signaling pathways, and gut microbiota [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 266(Pt 2): 131440.
- [5] 许慧,代磊,邓鹏飞,等. 基于网络药理学黄精抗炎活性成分及作用机制研究[J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49(1): 144-149.
- Xu H, Dai L, Deng P F, et al. Study on the anti-inflammatory active components and mechanism of *Polygonati Rhizoma* based on network pharmacology [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2022, 49(1): 144-149.
- [6] 张国文,杜泽飞,孙健玮. 黄精化学成分与抗肿瘤作用的研究进展[J]. 中国当代医药, 2023, 30(28): 31-34, 39.
- Zhang G W, Du Z F, Sun J W. Research progress on chemical constituents and antitumor effects of *Polygonum sibiricum* [J]. China Modern Medicine, 2023, 30(28): 31-34, 39.
- [7] 何沛煜,张军银,赵永艳,等. 黄精药用价值及保健食品应用研究进展[J]. 海峡药学, 2021, 33(12): 31-35.
- He P Y, Zhang J Y, Zhao Y Y, et al. Advances of medicinal value and health food application of *Polygonatum* [J]. Strait Pharmaceutical Journal, 2021, 33(12): 31-35.
- [8] 钱红月,董琦,肖移生. 江西省黄精加工与炮制的现状与分析[J]. 中国民族民间医药, 2022, 31(20): 116-118.
- Qian H Y, Dong Q, Xiao Y S. Present situation and analysis of handling and processing of *Polygonatum* in Jiangxi Province [J]. Chinese Journal of Ethnopharmacology and Ethnopharmacy, 2022, 31(20): 116-118.
- [9] 刘跃钧,曾岳明,叶征莺,等. 多花黄精栽培技术研究进展[J]. 中国现代中药, 2022, 24(4): 715-720.
- Liu Y J, Zeng Y M, Ye Z Y, et al. Advances in cultivation technologies of *Polygonatum cyrtanema* [J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(4): 715-720.
- [10] 查若璿,贾韬,吴敏,等. 我国黄精质量研究动态的知识图谱可视化分析[J]. 现代食品, 2025(1): 18-23.
- Zha R X, Jia T, Wu M, et al. Visualization analysis of knowledge graph on the quality research trends of *Polygonati Rhizoma* in China [J]. Modern Food, 2025(1): 18-23.
- [11] 黄文娟,杨马进,叶昌华,等. 黄精基原植物种子繁育研究进展[J]. 生物资源, 2023, 45(6): 564-571.
- Huang W J, Yang M J, Ye C H, et al. Research progress in seed propagation of original plant of *Polygonati Rhizoma* [J]. Biotic Resources, 2023, 45(6): 564-571.
- [12] 马婧洁,尹海波,王丹,等. 栽培黄精种质资源表型性状分析及综合评价[J]. 现代中药研究与实践, 2024, 38(4): 5-10.
- Ma J J, Yin H B, Wang D, et al. Analysis and evaluation of phenotypic traits of cultivated *Polygonatum sibiricum* Delar. ex Redoute germplasm resources [J]. Research and Practice on Chinese Medicines, 2024, 38(4): 5-10.
- [13] 朱灵芝,梁焕焕,胡小红,等. 不同种源多花黄精的物候期及表型性状研究[J]. 南方林业科学, 2024, 52(3): 5-9, 26.
- Zhu L Z, Liang H H, Hu X H, et al. Study on phenological stage and phenotypic traits of *Polygonatum cyrtanema* from different provenances [J]. South China Forestry Science, 2024, 52(3): 5-9, 26.
- [14] 许祎珂. 不同来源半夏表型、遗传多样性和抗旱性研究[D]. 西安:陕西中医药大学, 2024.
- Xu Y K. Study on phenotype, genetic diversity and drought resistance of *Pinellia ternata* from different sources [D]. Xi'an: Shanxi University of Chinese Medicine, 2024.
- [15] 文大成,黄明进,罗影子,等. 不同产地及栽培模式下铁皮石斛农艺性状与品质分析[J]. 特产研究, 2022, 44(1): 61-66.
- Wen D C, Huang M J, Luo Y Z, et al. Analysis of agronomic characters and quality of *Dendrobium officinale* Kimura et Migo. in different producing areas and cultivation modes special [J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2022, 44(1): 61-66.
- [16] 冯森. 基于叶片表型性状及HPLC指纹图谱的杜仲质量评价研究[D]. 吉首:吉首大学, 2022.
- Feng M. Evaluation of eucommia ulmoides leaves based on leaf phenotype and HPLC fingerprint [D]. Jishou: Jishou University, 2022.
- [17] 唐毓玮,彭绿春,段福君,等. 15个高山杜鹃品种的花表型性状多样性分析[J]. 分子植物育种, <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231025.1128.004>.
- Tang Y W, Peng L C, Duan F J, et al. Analysis of floral phenotypic trait diversity of 15 *Rhododendron* cultivars [J]. Molecular Plant Breeding, <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231025.1128.004>.
- [18] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典中药材显微鉴别彩色图鉴[M]. 北京:人民卫生出版社, 2009: 377-378.
- National Pharmacopoeia Commission. The People's Republic of China (PRC), an illustrated handbook on

- microscopic identification of Chinese crude drugs for Chinese pharmacopoeia[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2009: 377-378.
- [19] 宋思情,马英姿,宋荣,等. 11种黄精属植物根和根状茎显微结构的比较[J]. 经济林研究, 2023, 41(2): 214-222.
- Song S Q, Ma Y Z, Song R, et al. Microstructure comparison of roots and rhizomes of 11 species of *Polygonatum* [J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(2): 214-222.
- [20] 杨发建. 黄精属6种药用植物生药学的初步研究[D]. 昆明:云南中医学院, 2016.
- Yang F J. Preliminary study on pharmacognosy of six species medicinal plants of *Polygonatum* [D]. Kunming: Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2016.
- [21] 程铭恩,王德群. 黄精属5种药用植物根状茎的结构及其组织化学定位[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(13): 2068-2072.
- Cheng M E, Wang D Q. Anatomical structure and histochemical localization about rhizomes of five species of *Polygonatum* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2013, 38(13): 2068-2072.