DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260324005
引用格式: 夏提古丽•阿不利孜, 段燕燕, 叶力夏提•达那别克, 等. 指纹图谱结合化学计量学评价不同产地党参与新疆引种栽培党参质量[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(16): 40–48.
Xiatiguli Abulizi, Duan Yanyan, Yelixiati Danabieke, et al. Quality evaluation of *Codonopsis pilosula* from different origins and Xinjiang introduced cultivation by fingerprint and chemometrics [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(16): 40–48. (in Chinese with English abstract).

指纹图谱结合化学计量学评价不同产地党参与新疆引种栽培党参质量

夏提古丽•阿不利孜[1], 段燕燕[1], 叶力夏提•达那别克[1], 张 娟[1], 马丽云[2], 朱 军[1*]

(1. 新疆维吾尔自治区药物研究院, 国家中医药管理局新疆中药民族药资源重点研究室, 新疆中药资源研究与开发重点实验室, 乌鲁木齐 830010; 2. 新疆华世丹药业股份有限公司, 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 目的 建立高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)指纹图谱结合化学计量学系统评价内蒙古、甘肃和山西等主产区党参与新疆引种栽培党参的质量差异。**方法** 采用 InertSustain C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 以乙腈(A)-0.1%磷酸溶液(B)为流动相梯度洗脱, 流速 1.0 mL/min, 检测波长 220 nm(党参苷 I、白术内酯 III)和 210 nm(党参炔苷宁、党参炔苷), 柱温 25 ℃, 进样量 10 μL。进行方法学验证, 建立指纹图谱并进行相似度评价, 采用聚类分析(hierarchical cluster analysis, HCA)、主成分分析(principal component analysis, PCA)及正交偏最小二乘法判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)探讨不同产地及栽培方式样品的质量差异。**结果** 4 种成分在各自浓度范围内线性关系良好($r^2 \geq 0.999$), 平均加样回收率为 94.74%~97.60%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)均小于 3.5%。18 批党参样品中 4 种成分含量差异显著, 传统主产区与新疆引种栽培党参在化学成分组成上存在明显差异。指纹图谱相似度为 0.910~0.996, 共标定 16 个共有峰。HCA 和 PCA 可将传统主产区与新疆引种党参完全区分, OPLS-DA 筛选出党参苷 I、党参炔苷为核心质量差异标志物; 新疆引种党参苷 I 含量最高达 0.940 mg/g, 为传统主产区平均值的 3.0 倍。**结论** 建立的 HPLC 多指标定量检测方法准确、可靠、稳定, 结合化学计量学技术可快速、高效区分不同产地党参, 适用于食品加工用党参的质量安全检测与产地鉴别, 为新疆引种党参的药食同源开发与质量管控提供科学依据。

关键词: 党参; 药食同源; 高效液相色谱指纹图谱; 化学计量学; 新疆引种栽培; 产地差异; 质量评价
中图分类号: TS207.3 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)16–0040–09

收稿日期: 2026-03-24
基金项目: 兵团科技计划项目(2023AB018-04); 新疆维吾尔自治区“两区”项目(2025LQ03018); “天山英才”医药卫生高层次人才培养计划项目(TSYC202401B1770)

第一作者: 夏提古丽•阿不利孜(1984—), 女, 高级实验师, 主要研究方向为中药学研究。E-mail: 369572138@qq.com
***通信作者:** 朱军(1982—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向为中药学研究。E-mail: 285362468@qq.com

Quality evaluation of *Codonopsis pilosula* from different origins and Xinjiang introduced cultivation by fingerprint and chemometrics

XIATIGULI A-Bu-Li-Zi[1], DUAN Yan-Yan[1], YELIXIATI Da-Na-Bie-Ke[1], ZHANG Juan[1], MA Li-Yun[2], ZHU Jun[1*]

(1. *Xinjiang Institute of Materia Medica*, *Xinjiang Key Laboratory of Chinese Materia Medica and Ethnic Materia Medica*, *Xinjiang Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Resources Research and Development*, *Urumqi* 830010, *China*; 2. *Xinjiang Huashidan Pharmaceutical Research Co*., *Ltd*., *Urumqi* 830011, *China*)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the system assessment of quality differences of *Codonopsis pilosula* introduced and cultivated in Xinjiang from the main production areas such as Inner Mongolia, Gansu and Shanxi by high performance liquid chromatography (HPLC) fingerprint combined with chemometrics. **Methods** An InertSustain C_{18} chromatographic column (250 mm×4.6 mm, 5 μm) was adopted. Gradient elution was performed using acetonitrile (A)-0.1% phosphoric acid solution (B) as the mobile phase at a flow rate of 1.0 mL/min. The detection wavelengths were set at 220 nm for tangshenoside I and atractylenolide III and 210 nm for lobetyolinning and lobetyolin. The column temperature was 25 ℃ and the injection volume was 10 μL. Methodological validation was carried out. Fingerprints were established for similarity evaluation. Hierarchical cluster analysis (HCA), principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least-squares discriminant analysis (OPLS-DA) were applied to investigate the quality differences among samples from different producing areas and with different cultivation modes. **Results** The 4 kinds of components exhibited favorable linear relationships within their respective concentration ranges ($r^2 \geqslant 0.999$). The average spike recoveries ranged from 94.74% to 97.60%, with all relative standard deviation (RSD) values below 3.5%. Significant differences were observed in the content of the 4 kinds of components among 18 batches of *Codonopsis pilosula* samples. Obvious discrepancies in chemical composition existed between samples from traditional major producing areas and Xinjiang-introduced cultivated *Codonopsis pilosula*. The fingerprint similarity values ranged from 0.910 to 0.996, and a total of 16 common peaks were calibrated. HCA and PCA could completely distinguish Xinjiang-introduced cultivated samples from those of traditional major producing areas. Tangshenoside I and lobetyolin were screened as core quality differential markers via OPLS-DA. The maximum tangshenoside I content in Xinjiang-introduced samples reached 0.940 mg/g, which was 3.0 times the average value of samples from traditional major producing areas. **Conclusion** The established HPLC method is accurate and reliable. Combined with chemometrics, it can quickly distinguish *Codonopsis pilosula* from different origins, which is suitable for its quality safety detection and origin identification, and provides a scientific basis for the development and quality control of Xinjiang introduced *Codonopsis pilosula*.

KEY WORDS: *Codonopsis pilosula*; medicinal and edible; high performance liquid chromatography fingerprint; chemometrics; Xinjiang introduced cultivation; origin difference; quality evaluation

0　引　言

党参为桔梗科植物党参[*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf.]、素花党参[*Codonopsis pilosula Nannf. var. modesta* (Nannf.) L. T. Shen]或川党参(*Codonopsis tangshen* Oliv.)的干燥根, 是国家卫生健康委员会认定的药食同源中药材, 既为中医临床补气要药, 又广泛应用于保健食品、普通食品的生产加工, 其质量安全直接关系到相关产品的食用安全性与功效性[1–2]。现代药理研究证实, 党参中的多糖、皂苷、炔苷类及内酯类化合物为核心活性成分, 具有增强机体免疫、改善胃肠功能、抗氧化和抗疲劳等作用[3–5], 也是评价其质量的关键指标。

党参传统主产于山西、甘肃、内蒙古和陕西等地区, 其中山西潞党参、甘肃纹党参等为道地药材, 市场认可度高[6]。随着药食同源产业的迅速发展, 党参的栽培区域不断拓展, 新疆凭借独特的光照、温度及土壤条件, 已逐渐成为重要的引种栽培基地[7–8]。国家卫生健康委员会已将党参列为药食同源中药材, 其质量安全与食用价值日益受到

食品产业的关注[2]。然而，目前新疆引种党参与传统主产区(如内蒙古、甘肃、山西)党参在化学成分、含量差异及整体质量特征方面的系统研究仍相对不足，导致产地溯源、质量控制及产业规范化发展缺乏科学依据[9]。因此，构建一套精准、可靠的党参质量评价体系，对不同产地党参进行有效鉴别与区分，已成为推动新疆党参产业健康发展与食品原料质量保障的重要需求[10]。

指纹图谱技术作为食品质量与安全的重要手段，能够全面反映样品的有效成分整体特征，已广泛应用于多种食品、食用农产品、药食同源原料的质量控制与产地溯源[11−12]。其中，基于高效液相色谱技术(high performance liquid chromatography, HPLC)的指纹图谱具有分离效率高、灵敏度高、稳定性好等优势，可全面表征党参中的主要活性成分分布特征[13]。进一步结合化学计量学方法，如聚类分析(hierarchical cluster analysis, HCA)、主成分分析(principal component analysis, PCA)及正交偏最小二乘法判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)等[14−15]，可实现对不同产地党参的精准区分，并筛选潜在的质量差异标志物，为党参质量的系统化评价提供技术支撑[16−23]。

本研究以 HPLC 为基础，建立党参多成分定量测定方法与指纹图谱体系，系统评价新疆引种党参与传统主产区党参的质量差异，并筛选核心差异性化学成分，有助于建立党参产地快速鉴别与质量控制方法，可为新疆引种党参的药食同源开发、标准化种植及食品深加工应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 药材来源

党参药材共 18 批，经新疆维吾尔自治区药物研究院王果平研究员鉴定为桔梗科植物党参的干燥根。样品经晒干、粉碎并过 40 目筛后，于 4 ℃条件下密封避光保存，备用。样品详细信息见表 1。

1.2 试剂与仪器

党参苷 I、党参炔苷宁、党参炔苷、白术内酯 III 对照品(纯度≥98%，成都曼思特生物科技有限公司)；乙腈、甲醇(色谱纯，美国 Thermo Fisher Scientific 公司)；磷酸(分析纯，国药集团化学试剂有限公司)；实验用水为超纯水(华润怡宝饮料有限公司)。

Waterse2695 型高效液相色谱仪(配备 2998 二极管阵列检测器，美国 Waters 公司)；CX-100 高速多功能粉粹机(上海精科实业有限公司)；KQ5200DA 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)；Hereaus Megafuge8R 型高速冷冻离心机(德国热电子 LED 有限公司)；AB265-S 型十万分之一电子天平(美国梅特勒-托利多公司)；InertSustain C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(日本岛津公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 对照品和样品溶液的配制

分别精密称取党参苷 I、党参炔苷宁、党参炔苷、白术内酯III对照品，加初始流动相制成 1 mg/mL 的单标储备液(白术内酯 III 先加少量甲醇助溶)；精密移取各单标储备液混合，加初始流动相稀释，得到党参苷 I 300 μg/mL、党参炔苷宁 60 μg/mL、党参炔苷 200 μg/mL、白术内酯 III 50 μg/mL 的混合对照品储备液。

精密称取党参细粉 2.000 g 置入 25 mL 具塞锥形瓶，加入色谱纯甲醇 10 mL，称重，超声处理(功率 200 W，频率 40 kHz，室温)30 min，冷却后补足失重，转移至 50 mL 离心管，6000 r/min 离心，取上清液 1 mL 减压蒸干，加 1 mL 初始流动相复溶，离心后取上清液过 0.45 μm 滤膜，即得。

1.3.2 色谱条件

色谱柱为 InertSustain C_{18} (250 mm×4.6 mm, 5 μm)；流动相为乙腈(A)-0.1%磷酸溶液(B)；(梯度洗脱程序为：0~10 min, 95%~90% A; 10~30 min, 90%~85% A; 30~50 min, 85%~80% A; 50~65 min, 80%~70% A; 65~75 min, 70%~50% A; 75~80 min, 50%~30% A; 80~85 min, 30% A; 85~86 min, 30%~10% A; 86~93 min; 10% A; 93~95 min, 10%~95% A; 95~110 min, 95% A。检测波长为 220 nm(党参苷 I、白术内酯 III)、210 nm(党参炔苷宁、党参炔苷)，柱温 25 ℃，进样量 10 μL；流速：1.0 mL/min。

1.3.3 方法学考察

(1)线性范围

取 1.3.1 项下混合对照品储备液，用初始流动相稀释为系列浓度，按 1.3.2 项下色谱条件进样，以峰面积为纵坐标(*Y*)、标准品浓度为横坐标绘制标准曲线(*X*, μg/mL)，计算回归方程、相关系数及检出限(limit of detection, LOD)、定量限(limit of quantitation, LOQ)。

(2)精密度试验

取 1.3.1 项下对照品溶液适量，按 1.3.2 项下色谱条件连续进样测定 6 次，记录 4 种成分峰面积，计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。

(3)重复性试验

取同一批次(S10)党参细粉，按 1.3.1 项下平行制备 6 份供试品溶液，按 1.3.3 项下色谱条件进样分析并计算 4 种成分含量，计算 RSD。

(4)稳定性试验

精密吸取(S10)党参样品供试品溶液，按 1.3.2 项下色谱条件，分别于 0、3、6、9、12、24 h 时进样测定，记录峰面积，计算 RSD。

表 1　不同产地样品来源
Table 1　Sample from different origins

编号	产地(原产地)	编号	产地(新疆引种)
S1	内蒙古赤峰市	S10	阿勒泰地区哈巴河县试验田 01(甘肃首阳种源)
S2	内蒙古赤峰市	S11	乌鲁木齐市南山 01(甘肃渭源种源)
S3	内蒙古赤峰市	S12	阿勒泰地区布尔津县巴勒塔村(甘肃渭源种源)
S4	甘肃省陇西县	S13	阿勒泰地区哈巴河县试验田 02(甘肃陇西种源)
S5	甘肃省陇西县	S14	阿勒泰地区布尔津县库勒羊镇 01(甘肃渭源种源)
S6	甘肃省陇西县	S15	阿勒泰地区哈巴河县试验田 03(甘肃渭源种源)
S7	陕西省汉中市	S16	阿勒泰地区布尔津县库勒羊镇 02(甘肃首阳种源)
S8	陕西省汉中市	S17	乌鲁木齐市南山 02(甘肃首阳种源)
S9	陕西省汉中市	S18	新疆和田皮山县(甘肃首阳种源)

(5)加样回收率试验

取已知含量的党参样品(S10)粉末 6 份, 每份 1.000 g, 精密称定, 分别加入 1.3.1 项下对照品溶液适量, 依法制备供试品溶液, 按 1.3.2 项下色谱条件进样测定, 记录党参苷 I、党参炔苷宁、党参炔苷、白术内酯 III 的峰面积, 并计算加样回收率及 RSDs。

1.3.4　含量测定

取 18 批党参样品, 根据 1.3.1 项下方法制备溶液, 采用 1.3.2 项下色谱条件测定, 取续滤液 10 μL 注入液相色谱仪中, 记录党参苷 I、党参炔苷宁、党参炔苷、白术内酯 III 的峰面积, 计算计算党参苷 I、党参炔苷宁、党参炔苷、白术内酯 III 4 个成分的含量。

1.3.5　指纹图谱的建立与相似度分析

取 18 批党参样品的供试品溶液, 按 1.3.2 项下色谱条件进样, 记录 55 min 的 HPLC 色谱图。采用中药色谱指纹图谱相似度评价系统(2012 版), 以中位数法生成党参对照指纹图谱, 时间窗宽度设为 0.10 min, 经多点校正与自动匹配后, 标定共有峰, 并计算 18 批样品与对照指纹图谱的相似度, 相似度大于等于 0.90 判定为符合指纹图谱质量要求。

1.4　数据处理

将 18 批党参样品指纹图谱中标定的共有峰峰面积作为分析变量, 数据经归一化处理后, 采用 SPSS 26.0 软件进行 HCA, 采用组间联接法, 以平方欧氏距离为度量标准, 探究不同产地样品的聚类规律; 采用 SIMCA 14.1 软件进行 PCA 和 OPLS-DA, PCA 以特征值大于 1 为提取标准, 计算主成分贡献率与累计贡献率, 绘制 PCA 得分图; OPLS-DA 用于筛选不同产地党参的质量差异核心标志物, 所有分析结果均以可视化图表呈现, 为党参产地快速鉴别提供检测依据。

2　结果与分析

2.1　方法学验证

2.1.1　线性关系考察

4 种活性成分的线性关系、LODs 及 LOQs 结果见表 2, 所有成分在各自浓度范围内线性关系良好($r^2 \geqslant 0.999$), LODs 为 0.03~0.21 μg/mL, LOQs 为 0.11~0.58 μg/mL, 结果表明, 本方法对目标成分具有极低的检出限和定量限, 具备优异的灵敏度与选择性, 能够有效应对党参基质复杂、活性成分含量差异大的特点, 可满足食品级党参原料中痕量活性成分的定性筛查与准确定量分析需求, 方法学灵敏度符合检测要求。

2.1.2　精密度、重复性、稳定性与加样回收率

精密度试验中, 4 种成分峰面积 RSDs 为 0.20%~0.32%, 表明仪器精密度良好; 稳定性试验中, 峰面积 RSDs 为 0.45%~1.25%, 表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好; 重复性试验中, 4 种成分含量 RSDs 为 1.33%~2.97%, 表明方法重复性良好; 加样回收率试验中, 平均回收率 94.74%~97.60%, RSDs 为 1.46%~3.14%, 所有指标均符合 GB/T 27404—2024《实验室质量控制规范 食品理化检测》要求, 方法准确可靠。

2.1.3　系统适应性实验

供试品溶液与混合对照品溶液的色谱图中, 党参苷 I、党参炔苷宁、党参炔苷、白术内酯 III 峰分离度良好, 基线稳定, 系统适应性符合检测要求(图 1)。

2.2　指纹图谱构建及相似度评价

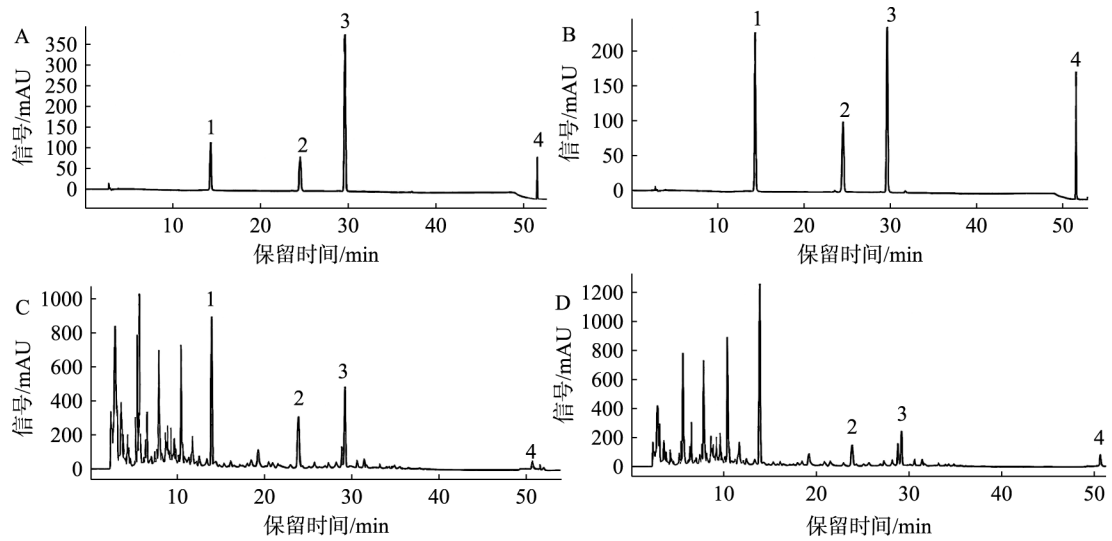
18 批党参样品的 HPLC 指纹图谱叠加图见图 2, 采用中药色谱指纹图谱相似度评价系统, 以中位数法生成党参对照指纹图谱, 共标定 16 个共有峰, 并指认出 4 个活性成分峰(党参苷 I、党参炔苷宁、党参炔苷、白术内酯 III), 为党参质量检测的特征峰。18 批样品共有峰相对保留时间的 RSDs 为 0.02%~0.63%, 表明不同批次党参样品的共有成分组成基本一致, 重现性良好。

18 批党参样品与对照指纹图谱的相似度计算结果显示, 相似度范围为 0.910~0.996, 均大于等于 0.90, 符合指纹图谱质量要求, 但不同样品间相似度存在一定差异, 表明传统主产区与新疆引种栽培党参的共有成分含量存在一定差异, 可通过指纹图谱结合化学计量学方法进一步区分。具体相似度评价结果见表 3。

表 2 党参中 4 种活性成分的线性关系考察结果

Table 2 Inspection results of linear relationship of 4 kinds of active components in *Codonopsis pilosula*

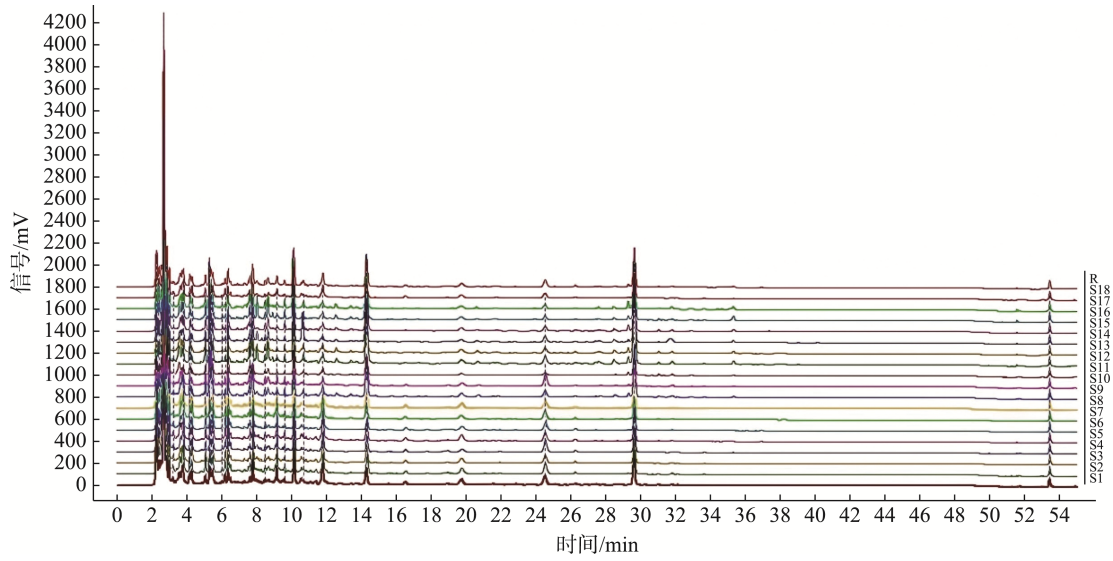
成分	回归方程	决定系数(r^2)	线性范围/(μg/mL)	LODs/(μg/mL)	LOQs/(μg/mL)
党参苷 I	Y=24.405X–685.01	0.9993	20~198	0.05	0.12
党参炔苷宁	Y=49.954X–323.92	0.9992	6~120	0.21	0.58
党参炔苷	Y=51.502X–1329.2	0.9991	20~200	0.03	0.11
白术内酯 III	Y=23.087X–126.64	0.9993	5~54	0.07	0.26



注: 1. 党参苷I; 2. 党参炔苷宁; 3. 党参炔苷; 4. 白术内酯III; A. 对照品 210 nm; B. 对照品 220 nm; C. 样品 210 nm; D. 样品 220 nm。

图 1 党参 4 种活性成分的 HPLC 色谱图

Fig.1 HPLC chromatograms of 4 kinds of active components in *Codonopsis pilosula*



注: R 为党参对照指纹图谱。

图 2 18 批党参的 HPLC 叠加指纹图谱

Fig.2 HPLC overlay fingerprints of 18 batches of *Codonopsis pilosula*

2.3　党参中 4 种成分的含量测定

18 批党参样品中 4 种活性成分含量差异显著(表 4)。新疆引种党参(S10~S18)党参苷 I 含量普遍高于传统主产区, 其中 S15 样品含量最高(0.940 mg/g), 为传统主产区平均值(0.31 mg/g)的 3.0 倍; 部分新疆样品(如 S10)党参炔苷含量较低(0.01 mg/g)[24]。

2.4　化学计量学分析

2.4.1　聚类分析

HCA 结果显示(图 3A), 当平方欧氏距离约为 15 时, 18 批样品可明显分为两大类: 第 I 类为传统主产区样品(S1~S9), 第 II 类为新疆引种样品(S10~S18); 第 II 类可进一步分为两个亚类, 提示新疆不同引种地样品因种源、栽培环境等因素存在一定化学变异。HCA 结果表明, 传统主产区与新疆引种党参在整体化学成分组成上存在显著差异[21]。

表 3　党参样品指纹图谱相似度评价结果

Table 3　Similarity evaluation results of fingerprints of *Codonopsis pilosula* samples

编号	相似度	编号	相似度
S1	0.994	S10	0.910
S2	0.972	S11	0.958
S3	0.991	S12	0.935
S4	0.967	S13	0.994
S5	0.991	S14	0.964
S6	0.970	S15	0.939
S7	0.961	S16	0.996
S8	0.967	S17	0.993
S9	0.968	S18	0.995

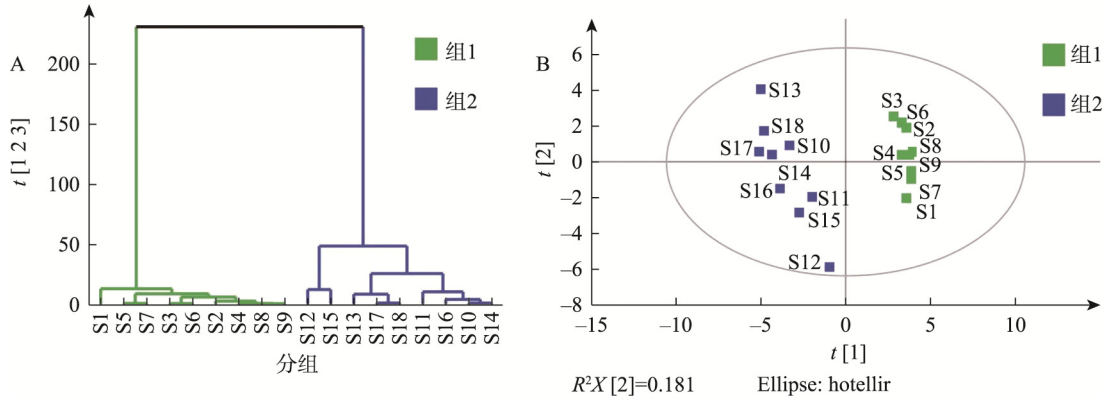
表 4　党参样品 4 种活性成分的含量(mg/g, *n*=3)

Table 4　Content of 4 kinds of active components in *Codonopsis pilosula* samples (mg/g, *n*=3)

编号	党参苷 I	党参炔苷宁	党参炔苷	白术内酯 III
S1	0.220±0.001	0.070±0.000	0.120±0.001	0.048±0.002
S2	0.240±0.001	0.080±0.000	0.100±0.001	0.052±0.003
S3	0.230±0.001	0.060±0.000	0.100±0.001	0.038±0.002
S4	0.210±0.001	0.090±0.000	0.100±0.001	0.038±0.001
S5	0.250±0.001	0.070±0.000	0.120±0.001	0.039±0.003
S6	0.200±0.001	0.060±0.000	0.080±0.001	0.039±0.002
S7	0.240±0.001	0.050±0.000	0.110±0.001	0.039±0.002
S8	0.600±0.002	0.050±0.000	0.210±0.001	0.039±0.002
S9	0.410±0.001	0.090±0.001	0.070±0.001	0.039±0.003
S10	0.260±0.001	0.020±0.000	0.010±0.001	0.041±0.002
S11	0.850±0.003	0.060±0.000	0.350±0.002	0.039±0.003
S12	0.770±0.002	0.040±0.000	0.250±0.001	0.038±0.002
S13	0.440±0.001	0.040±0.000	0.240±0.001	0.038±0.002
S14	0.720±0.002	0.020±0.000	0.210±0.001	0.062±0.001
S15	0.940±0.003	0.030±0.000	0.290±0.002	0.053±0.003
S16	0.720±0.002	0.030±0.000	0.220±0.001	0.049±0.002
S17	0.210±0.001	0.040±0.000	0.100±0.001	0.051±0.002
S18	0.650±0.002	0.050±0.000	0.250±0.001	0.056±0.003

2.4.2　主成分分析

为进一步验证聚类分析结果并揭示不同产地党参样品的化学差异特征, 采用 SIMCA 14.1 软件对 18 批党参样品 HPLC 指纹图谱中 16 个共有峰的峰面积数据进行 PCA。以特征值大于 1 为提取标准, 共提取出 3 个主成分, 其累计方差贡献率为 75.3% (PC1: 49.8%, PC2: 18.1%, PC3: 7.4%), 表明模型具有良好的解释能力和预测稳定性。PCA 得分图显示(图 3B), 18 批党参样品在二维空间中被明显划分为两个区域: 传统主产区样品(S1~S9)集中分布于得分图的左侧区域, 而新疆引种栽培样品(S10~S18)则主要分布于右侧区域, 呈现出良好的分离趋势, 进一步验证了聚类分析的结果。结合表 4 含量测定结果可知, 新疆引种样品中党参苷 I 含量普遍较高, 而部分样品党参炔苷含量较低, 提示这些成分可能是导致两类样品分离的重要因素。



注: A 为 HCA 树状图, B 为 PCA 得分图。

图 3 18 批党参的 HPLC 指纹图谱 HCA 和 PCA

Fig.3 HCA and PCA of HPLC fingerprints of 18 batches of *Codonopsis pilosula*

2.4.3 正交偏最小二乘法判别分析

为进一步区分传统主产区与新疆引种栽培党参的化学成分差异，并筛选出导致两类样品差异的关键标志物，本研究在 PCA 基础上，以 18 批党参样品中 4 种活性成分的含量为变量，构建 OPLS-DA 模型。OPLS-DA 作为一种监督模式识别方法，能够有效剔除与分类无关的系统变异，增强组间区分能力。

OPLS-DA 得分图(图 4A)显示，传统主产区样品(S1~S9)与新疆引种样品(S10~S18)沿主成分轴明显分为两类，组内聚集性良好，组间分离趋势显著，进一步验证了 HCA 和 PCA 的分析结果。模型参数显示，R^2X=0.628，R^2Y=0.982，Q^2=0.965，累计预测能力 Q^2 (cum)为 0.494，表明模型具有良好的解释能力和预测能力，未出现过度拟合。为识别导致两类样品差异的关键化学成分，进一步计算各变量的变量投影重要性(variable importance in the projection, VIP)。如图 4B 所示，以 VIP>1 筛选标准，共筛选出 2 个，分别为党参苷 I (VIP=1.47)和党参炔苷(VIP=1.21)，说明这两个成分在区分传统主产区与新疆引种党参中发挥了重要作用，可作为产地鉴别与质量评价的核心差异标志物。该结果与含量测定结果一致，新疆引种样品中党参苷 I 含量显著高于传统主产区，而部分样品党参炔苷含量相对较低。

综上所述，OPLS-DA 分析结果明确了党参苷 I 和党参炔苷为区分两类样品的关键质量标志物，为党参药材的产地溯源、食品原料质量安全控制提供了科学依据[25–26]。

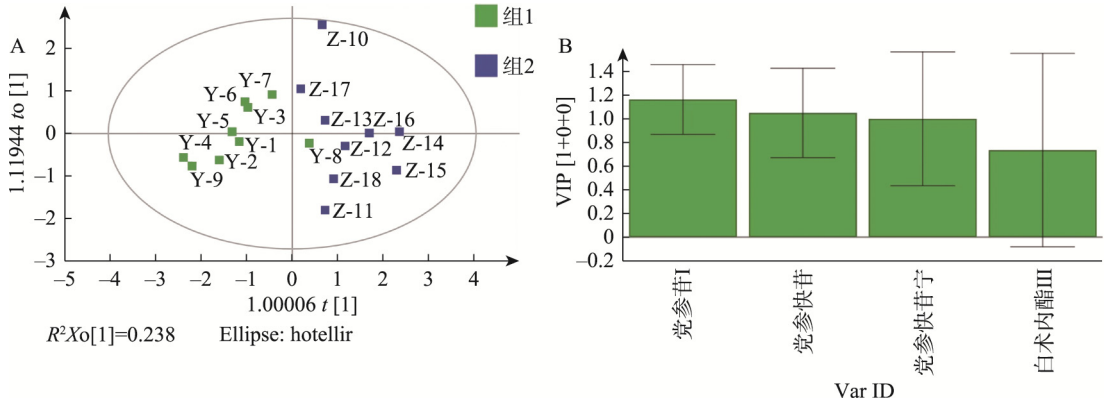


图 4 18 批党参样品的 OPLS-DA 得分图(A)与 VIP 图(B)

Fig.4 OPLS-DA score plot (A) and VIP plot (B) of 18 batches of *Codonopsis pilosula*

3 讨论与结论

党参作为药食同源中药材，其质量安全与产地鉴别是食品加工与市场监管的关键环节[17]。本研究建立的同时测定党参 4 种活性成分的 HPLC 检测方法，经方法学验证，线性关系考察、精密度、重复性、稳定性及加样回收率均符合 GB/T 27404—2024 要求，方法准确、可靠、稳定，可用于食品加工用党参的质量控制与品质评价。

指纹图谱分析结果显示，18 批党参样品的相似度均大于等于 0.90，表明不同产地党参的共有成分组成基本一致，质量总体可控；但不同样品间相似度存在一定差异，结合含量测定结果可知，新疆引种栽培党参的党参苷 I 含量普

遍高于传统主产区, 而部分样品党参炔苷含量较低, 这可能与新疆独特的生态环境(光照充足、昼夜温差大)有关, 光照和温度可影响中药材中次生代谢产物的合成与积累[27]。化学计量学分析结果表明, HCA、PCA 可将传统主产区与新疆引种栽培党参完全区分, OPLS-DA 筛选出党参苷 I、党参炔苷为核心差异标志物, 为党参的产地快速鉴别提供了特异性指标, 可应用于食品生产中党参原料的产地溯源与质量管控[20,28]。

本研究结果显示, 所有引种党参样品均可检出党参炔苷, 符合 2025 年版《中国药典》要求, 质量总体可控, 具备作为药食同源原料的规模化种植潜力; 但部分新疆引种样品的党参炔苷含量较低, 后续可针对差异成分(党参炔苷)优化栽培技术(如种源筛选、栽培条件调控), 提升新疆引种党参的品质, 使其更符合食品加工与药用的质量需求[29]。

综上所述, 本研究建立的 HPLC 多指标定量检测方法结合指纹图谱与化学计量学技术, 可快速、高效区分不同产地党参, 产地鉴别与原料溯源, 为新疆引种党参的药食同源开发与质量管控提供了科学依据。后续可进一步扩大样品采集范围, 结合分子生物学技术、组学分析技术[30–31], 建立更完善的党参质量检测与产地鉴别体系, 为党参产业的高质量发展提供技术支撑。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-一部: 2025 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025: 10.
National Pharmacopoeia Commission. People's republic of China (PRC) pharmacopoeia-part I: 2025 edition [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2025: 10.

[2] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 关于发布药食同源中药材目录的公告(2020 年第 9 号)[Z]. 2020.
National Health Commission, State Administration for Market Regulation. Announcement on catalogue of medicinal and edible traditional Chinese medicinal materials (2020 No.9) [Z]. 2020.

[3] 夏召弟, 马若昕, 王凤云, 等. 党参免疫调节活性及其机制的研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(13): 4334–4345.
Xia Zhaodi, Ma Ruoxin, Wang Fengyun, et al. Research progress on immunomodulatory activity and mechanism of *Codonopsis Radix* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(13): 4334–4345.

[4] 谢琦, 程雪梅, 胡芳弟, 等. 党参化学成分、药理作用及质量控制研究进展[J]. 上海中医药杂志, 2020, 54(8): 94–104.
Xie Qi, Cheng Xuemei, Hu Fangdi, et al. Research advance on chemical constituents, pharmacological action and quality control of *Radix Codonopsis* [J]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2020, 54(8): 94–104.

[5] Xie Qi, Sun Yuting, Cao Lanlan, et al. Antifatigue and antihypoxia activities of oligosaccharides and polysaccharides from *Codonopsis pilosula* in mice [J]. Food & Function, 2020, 11(7): 6352–6362.

[6] 张向东, 高建平, 曹铃亚, 等. 中药党参资源及生产现状[J]. 中华中医药学刊, 2013, 31(3): 496–498.
Zhang Xiangdong, Gao Jianping, Cao Lingya, et al. Survey of *Codonopsis* germplasm resource and production status [J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2013, 31(3): 496–498.

[7] 李勇, 王晓琴, 杨海燕, 等. 新疆中药材种植产业发展现状与对策[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(6): 1131–1138.
Li Yong, Wang Xiaoqin, Yang Haiyan, et al. Current situation and countermeasures of Chinese medicinal materials planting industry in Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57(6): 1131–1138.

[8] 新疆药品监督管理局. 新疆中药民族药产业发展规划(2021—2025)[Z]. 2021.
Xinjiang Medical Products Administration. Development plan for xinjiang traditional Chinese medicine and ethnic medicine industry (2021—2025) [Z]. 2021.

[9] 刘敏, 赵军, 王艳. 药食同源中药材党参的多指标定量与产地溯源研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(5): 789–796.
Liu Min, Zhao Jun, Wang Yan. Multi-index quantification and origin traceability of medicinal and edible *Codonopsis pilosula* [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2023, 35(5): 789–796.

[10] 王艳, 李建科, 张艳荣. 高效液相色谱指纹图谱结合化学计量学在药食同源中药材质量评价中的应用[J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 421–428.
Wang Yan, Li Jianke, Zhang Yanrong. Application of HPLC fingerprint combined with chemometrics in quality evaluation of medicinal and edible traditional Chinese medicines [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(18): 421–428.

[11] 严赟, 郭雯雯, 林小娟, 等. 高效液相色谱指纹图谱结合化学计量学方法评价瑶药材网络鸡血藤根的质量[J]. 中南药学, 2022, 20(8): 1890–1894.
Yan Yun, Guo Wenwen, Lin Xiaojuan, et al. Quality evaluation of Yao medicine *Millettia reticulata* Radix with HPLC fingerprint coupled with chemometrics [J]. Central South Pharmacy, 2022, 20(8): 1890–1894.

[12] 黄延盛, 张欣, 刘耀军, 等. 我国不同产地党参指纹图谱分析比较[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(23): 158–167.
Huang Yansheng, Zhang Xin, Liu Yaojun, et al. A comparative on fingerprint analysis of *Codonopsis pilosula* from different producing regions in China [J]. Food Research and Development, 2022, 43(23): 158–167.

[13] Gao Shiman, Liu Jiushi, Wang Min, et al. Quantitative and HPLC fingerprint analysis combined with chemometrics for quality evaluation of *Codonopsis radix* processed with different methods [J]. Chinese Herbal Medicines, 2019, 11(2): 160–168.

[14] 祁金丽, 梁洁, 胡珏, 等. 党参的质量控制状况及质量标志物预测分析[J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(5): 255–258.
Qi Jinli, Liang Jie, Hu Jue, et al. Quality control status and predictive analysis of quality markers of Dangshen (*Radix codonopsis*) [J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2022, 40(5): 255–258.

[15] 王超楠, 高军, 王隶书, 等. 中药党参药效活性成分的质量控制研究进展[J]. 中国药师, 2021, 24(1): 127–132.
Wang Chaonan, Gao Jun, Wang Lishu, et al. Research progress in quality control of active components in *Codonopsis pilosula* [J]. China Pharmacist, 2021, 24(1): 127–132.

[16] 刘晓慧, 何文静, 关人通, 等. 不同国家(地区)党参药材质量标准比较[J]. 兰州大学学报(医学版), 2024, 50(4): 20–28.
Liu Xiaohui, He Wenjing, Guan Rentong, et al. A comparison of the

quality standards of *Codonopsis pilosula* in different countries (regions) [J]. Journal of Lanzhou University (Medical Sciences), 2024, 50(4): 20–28.

[17] Zhang L, Wang X, Chen S, et al. Metabolomic profiling of wild and cultivated *Codonopsis pilosula* using UPLC-Q-TOF-MS combined with multivariate statistical analysis [J]. Phytochemical Analysis, 2020, 31(5): 612–623.

[18] 张丽, 王强, 刘春生. 化学计量学在中药指纹图谱分析中的应用进展[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(10): 2397–2404.
Zhang Li, Wang Qiang, Liu Chunsheng. Application progress of chemometrics in traditional Chinese medicine fingerprint analysis [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(10): 2397–2404.

[19] 张雪梅, 马明芳, 李建科. 新疆引种道地中药材的质量评价研究进展[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(8): 1890–1898.
Zhang Xuemei, Ma Mingfang, Li Jianke. Research progress on quality evaluation of authentic medicinal herbs introduced in Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2022, 59(8): 1890–1898.

[20] 兰晓燕, 周利, 李翔, 等. 党参的研究进展及其质量标志物的预测分析[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(8): 2020–2040.
Lan Xiaoyan, Zhou Li, Li Xiang, et al. Research progress of *Codonopsis radix* and prediction of its Q-markers [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2023, 48(8): 2020–2040.

[21] 黄娜娜, 李俊, 普俊学, 等. 党参 HPLC 指纹图谱结合多种化学模式识别研究[J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(16): 2103–2111.
Huang Nana, Li Jun, Pu Junxue, et al. Study on HPLC fingerprint of *Codonopsis radix* combined with multiple chemical pattern recognition [J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2022, 39(16): 2103–2111.

[22] 祝明, 陈碧莲, 石上梅. 中药指纹图谱技术在中国药典 2015 年版一部中的应用[J]. 中国现代应用药学, 2016, 33(5): 611–614.
Zhu Ming, Chen Bilian, Shi Shangmei. Application of fingerprint technology on traditional Chinese medicine in Chinese pharmacopoeia (2015 edition) volume I [J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2016, 33(5): 611–614.

[23] 韦建荣. 《中国药典》中药材指纹图谱研究文献统计分析[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(5): 1289–1290.
Wei Jianrong. Statistical analysis of the literature on fingerprint of Chinese herbal medicine in China pharmacopoeia [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2009, 20(5): 1289–1290.

[24] 段耿婷, 刘付松, 张澜, 等. 不同产地党参总硒、多糖及蛋白质含量比较[J]. 中南药学, 2023, 21(3): 777–783.
Duan Gengting, Liu Fusong, Zhang Lan, et al. Comparison of total selenium, polysaccharide and protein in *Codonopsis pilosula* from different habitats [J]. Central South Pharmacy, 2023, 21(3): 777–783.

[25] Gao Shiman, Liu Jiushi, Wang Min, et al. Exploring on the bioactive markers of *Codonopsis radix* by correlation analysis between chemical constituents and pharmacological effects [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2019, 236: 31–41.

[26] Bai Ruibin, Wang Yanping, Fan Jingmin, et al. Intra-regional classification of *Codonopsis radix* produced in Gansu Province (China) by multi-elemental analysis and chemometric tools [J]. Scientific Reports, 2022, 12: 8549.

[27] 王静怡, 李艳, 张丹参. 基于 HPLC 指纹图谱结合化学计量学评价不同栽培模式潞党参的质量[J]. 食品工业科技, 2024, 45(12): 234–241.
Wang Jingyi, Li Yan, Zhang Danshen. Quality evaluation of Ludang *Codonopsis pilosula* under different cultivation modes by HPLC fingerprint combined with chemometrics [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(12): 234–241.

[28] Li Y, Zhang Q, Wang J, et al. Quality assessment of *Codonopsis pilosula* from different geographical origins using UHPLC-Q-TOF-MS combined with chemometrics [J]. Industrial Crops and Products, 2024, 198: 116892.

[29] 谷聪, 曹玲亚, 苏强, 等. 党参原产地及其迁地引种后 AFLP 与 HPLC 指纹图谱分析[J]. 中药材, 2016, 39(8): 1716–1722.
Gu Cong, Cao Lingya, Su Qiang, et al. AFLP and HPLC fingerprints analysis of *Codonopsis* species from original areas and the same planting base [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2016, 39(8): 1716–1722.

[30] 姚昱吏, 南丹慧, 康荣峰, 等. 组学技术在党参质量评价及药理机制研究中的应用[J]. 天然产物研究与开发, 2025, 37(2): 360–369.
Yao Yuli, Nan Danhui, Kang Rongfeng, et al. Application of omics technology in quality evaluation and pharmacological mechanism of *Codonopsis pilosula* [J]. Natural Product Research and Development, 2025, 37(2): 360–369.

[31] 窦霞, 杨锡仓, 甄小龙, 等. 党参及其不同炮制品 HPLC 指纹图谱研究[J]. 中药材, 2017, 40(5): 1092–1095.
Dou Xia, Yang Xicang, Zhen Xiaolong, et al. Study on HPLC fingerprint of *Codonopsis pilosula* and its different processed products [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2017, 40(5): 1092–1095.

(责任编辑: 蔡世佳 曹岱琳)