

[质量控制]

基于含量测定、生物活性和熵权 TOPSIS 法评价党参品质

刘旭霞¹, 马海棠², 刘晓玲³, 陈正君⁴, 王欣³, 罗文蓉^{5*}, 杨扶德^{4*}

(1. 甘肃中医药大学陇药产业创新研究院, 甘肃兰州 730000; 2. 临夏回族自治州中医医院, 甘肃临夏 731100; 3. 甘肃中医药大学药学院, 甘肃兰州 730101; 4. 甘肃中医药大学期刊编辑部, 甘肃兰州 730101; 5. 甘肃省中医院药学部, 甘肃兰州 730050)

摘要: **目的** 评价党参品质。**方法** LC-MS 法测定 *L*-谷氨酸、*L*-苯丙氨酸、白术内酯Ⅲ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅰ、绿原酸、党参苷Ⅰ、芦丁、党参炔苷宁含量, 苯酚硫酸法测定多糖含量, 考察抗氧化、降血糖活性, 熵权 TOPSIS 法进行综合评价。**结果** 各成分含量及抗氧化、降血糖活性在不同产地药材中有一定差异。文县产药材综合评分最高, 威宁产者最低; 揉搓、储存 0 年药材综合评分最高, 揉搓、储存 3 年者最低。**结论** LC-MS 法结合熵权 TOPSIS 法科学客观, 可为党参品质评价及控制提供理论依据及方法参考。

关键词: 党参; 品质评价; 含量测定; 抗氧化活性; 降血糖活性; 熵权 TOPSIS 法

中图分类号: R282 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2026)08-2497-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2026.08.001

Quality evaluation of *Codonopsis Radix* based on content determination, biological activities and entropy weight TOPSIS method

LIU Xu-xia¹, MA Hai-tang², LIU Xiao-ling³, CHEN Zheng-jun⁴, WANG Xin³, LUO Wen-rong^{5*}, YANG Fu-de^{4*}

(1. Gansu Pharmaceutical Industry Innovation Research Institute, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China; 2. Linxia Hui Autonomous Prefecture Hospital of Traditional Chinese Medicine, Linxia 731100, China; 3. School of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730101, China; 4. Journal Editorial Department, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730101, China; 5. Department of Pharmacy, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT: **AIM** To evaluate the quality of *Codonopsis Radix*. **METHODS** LC-MS was adopted in the content determination of *L*-glutamic acid, *L*-phenylalanine, atractylenolide Ⅲ, atractylenolide Ⅱ, atractylenolide Ⅰ, chlorogenic acid, tangshenoside Ⅰ, rutin and lobetyolinin, and phenol-sulfuric acid method was applied to determining the content of polysaccharides, after which the anti-oxidant, hypoglycemic activities were investigated, comprehensive evaluation was performed by entropy weight TOPSIS method. **RESULTS** The contents of various constituents and anti-oxidant, hypoglycemic activities demonstrated certain differences in different producing areas of medicinal materials. The comprehensive score of medicinal materials produced in Wen County were the highest, while that produced in Weining was the lowest; the comprehensive score of medicinal materials kneaded and stored for 0 years were the highest, while that kneaded and stored for 3 years was the lowest. **CONCLUSION** LC-MS combined with entropy weight TOPSIS method is scientific and objective, which can provide theoretical basis and method ological reference for the quality evaluation and control of *Codonopsis Radix*.

KEY WORDS: *Codonopsis Radix*; quality evaluation; content determination; anti-oxidant activity; hypoglycemic activity; entropy weight TOPSIS method

收稿日期: 2025-12-04

基金项目: 国家药品监督管理局中药材及饮片质量控制重点实验室项目 (2024GSMPA-KL/5); 甘肃省重点研发计划项目 (23YFFA0069); 2025 年度甘肃省药品监管科学研究项目 (2025GSMPA072); 兰州市科技局校企合作项目 (2023-RC-9)

作者简介: 刘旭霞 (1994—), 女, 博士, 研究方向为中药鉴定及其品质评价。E-mail: gszylxx6823@163.com

* 通信作者: 罗文蓉 (1972—), 女, 主任中药师, 研究方向为药品质及其制剂。E-mail: gszylwr@163.com

杨扶德 (1972—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药鉴定及其品质评价。E-mail: gszzyfd@163.com

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，其性平，味甘，归肺、脾经^[1]，在我国栽培历史悠久，主要分布在甘肃、四川、山西、贵州、湖北、重庆等地^[2-3]。研究表明，品种、产地的生态环境会影响中药所含成分的含量，导致其质量产生差异^[4]；揉搓是党参传统加工方法，对该药材质量有重要影响，同时它富含多糖，如果储存方式不当或时间过长，会出现霉变、虫蛀、失味等变质现象，严重影响其质量和临床疗效。为了保证中药的有效性和安全性，近年来其品质评价受到越来越多的关注^[5-6]，而党参作为一种药食同源药材，建立其质量识别、评价体系具有重大意义。

本实验采用 LC-MS 法测定党参中 *L*-谷氨酸、*L*-苯丙氨酸、白术内酯Ⅲ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅰ、绿原酸、党参苷Ⅰ、芦丁、党参炔苷宁含量，分光光度法测定多糖含量。由于多糖与党参降血糖^[7-10]、抗氧化^[11-14]活性密切相关，故本实验评价该药材上述作用，并采用熵权 TOPSIS 法对其品质进行综合评价，以期对相关研究提供参考。

1 材料

1.1 仪器 安捷伦 1290 型超高效液相色谱仪，配置安捷伦 G6460A 型三重四极杆质谱仪（美国安捷伦科技公司）；XS105 Dual Range 型电子天平（十万分之一，瑞士梅特勒-托利多公司）；SBL-10DT 型超声波恒温清洗机（宁波新芝生物科技股份有限公司）；高速离心机（湖南湘仪实验室仪器开发有限公司）；ML1612 型箱式电阻炉（天津拓至明

实验仪器设备有限公司）；双光束紫外可见分光光度计（济南海能仪器股份有限公司）；XQ 100 g 型多功能高速粉碎机（上海广沙工贸有限公司）；HHS-11-6 型电热恒温水浴锅（上海博讯实业有限公司）；可调式电热套（北京科伟永兴仪器有限公司）。

1.2 试剂与药材 党参苷Ⅰ（批号 16390，纯度≥98%）、白术内酯Ⅰ（批号 14232，纯度≥98%）、白术内酯Ⅱ（批号 14498，纯度≥98%）、白术内酯Ⅲ（批号 16202，纯度≥98%）、芦丁（批号 7916，纯度 90.2%）、*L*-苯丙氨酸（批号 63-91-2，纯度≥98%）、*L*-谷氨酸（批号 56-86-0，纯度≥98%）对照品均购于上海诗丹德生物技术有限公司；绿原酸对照品（批号 110753，纯度 98%）购于中国食品药品检定研究院；党参炔苷宁（批号 P14M9F56002，纯度 95.00%）、无水葡萄糖（纯度≥98%）对照品均购于上海源叶生物科技有限公司；2，2-联氮-二（3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸）二铵盐（ABTS，纯度≥98%）、1，1-二苯基-2-三硝基苯肼（纯度≥97.0%）、抗坏血酸（Vc，纯度≥98%）对照品均购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。α-葡萄糖苷酶（1 kU/mg）、阿卡波糖（纯度 98%）对照品均购于北京索莱宝科技有限公司；对硝基苯-α-*D*-葡萄糖苷对照品（pNPG，纯度≥99%）购于上海麦克林生化科技有限公司。党参于采收期（2023 年 10 月）采自四川、山西、甘肃、重庆、贵州，均为 2 年生，洗净后室温自然晾干，在 45 ℃下干燥 48 h，粉碎，过 4 号筛，4 ℃冷藏，约三四成干时进行手工揉搓，每次 3 min，边晒边揉，直至手掰不断，经甘肃中医药大学杨扶德教授鉴定为正品，具体见表 1。

表 1 党参信息
Tab. 1 Information of *Codonopsis Radix*

编号	基源	拉丁名	来源
GZ (GZ1~GZ5)	川党参	<i>Codonopsis tangshen</i> Oliv.	四川省甘孜县
PS (PS1~PS6)	党参	<i>Codonopsis pilosula</i> (Franch.) Nannf.	山西省平顺县
WY (WY1~WY7)	党参	<i>Codonopsis pilosula</i> (Franch.) Nannf.	甘肃省渭源县
WS (WS1~WS3)	党参	<i>Codonopsis pilosula</i> (Franch.) Nannf.	重庆市巫山县
WN (WN1~WN9)	党参	<i>Codonopsis pilosula</i> (Franch.) Nannf.	贵州省威宁县
WD (WD1~WD5)	素花党参	<i>Codonopsis pilosula</i> Nannf. var. <i>modesta</i> (Nannf.) L. T. Shen	甘肃省文县
UOY (UOY1~UOY5)	素花党参	<i>Codonopsis pilosula</i> Nannf. var. <i>modesta</i> (Nannf.) L. T. Shen	未揉搓、储存 0 年
UIY (UIY1~UIY5)	素花党参	<i>Codonopsis pilosula</i> Nannf. var. <i>modesta</i> (Nannf.) L. T. Shen	未揉搓、储存 1 年
KOY (KOY1~KOY5)	素花党参	<i>Codonopsis pilosula</i> Nannf. var. <i>modesta</i> (Nannf.) L. T. Shen	揉搓、储存 0 年
KIY (KIY1~KIY5)	素花党参	<i>Codonopsis pilosula</i> Nannf. var. <i>modesta</i> (Nannf.) L. T. Shen	揉搓、储存 1 年
K3Y (K3Y1~K3Y5)	素花党参	<i>Codonopsis pilosula</i> Nannf. var. <i>modesta</i> (Nannf.) L. T. Shen	揉搓、储存 3 年

2 方法与结果

2.1 各成分含量测定 采用 GC-MS 法。

2.1.1 对照品溶液制备 精密称取 *L*-谷氨酸、*L*-苯丙氨酸、白术内酯Ⅲ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅰ、绿原酸、党参苷Ⅰ、芦丁、党参炔苷宁对照品适量，制成质量浓度分别为 1.033 0、1.030 0、1.025 1、0.524 3、1.017 2、0.890 0、0.964 3、1.072 0、0.457 9 mg/mL 的储备液，在 4 ℃ 下保存，取适量，置于同一量瓶中，甲醇稀释并定容至 10 mL，摇匀，即得，甲醇逐级稀释成不同质量浓度。

2.1.2 供试品溶液制备 精密称取药材粉末 0.2 g，置于 50 mL 离心管中，加入 25 mL 70% 甲醇，超声提取 20 min，冷却至室温，70% 甲醇补足减失的质量，9 000 r/min 离心 10 min，取上清液，0.22 μm 微孔滤膜过滤，即得。

2.1.3 分析条件

2.1.3.1 色谱 Brownlee SPP C₁₈ 色谱柱(2.1 mm×100 mm，2.7 μm)；流动相水（含 0.1% 甲酸和 5 mmol/L 乙酸钠）（A）-乙腈（B），梯度洗脱（正离子模式，0~3 min，92%~85% A；3~4 min，

85%~15% A；4~7 min，15% A；7~8 min，15%~5% A；8~10 min，5%~92% A；10~11 min，92% A。负离子模式，0~3 min，92%~85% A；3~5 min，85% A；5~8 min，85%~30% A；8~9 min，30%~15% A；9~10 min，15%~92% A；10~11 min，92% A)；体积流量 0.3 mL/min；柱温 35 ℃；进样量 2 μL。

2.1.3.2 质谱 电喷雾离子源（ESI）；正负离子扫描；多反应监测（MRM）模式；干燥气温度 340 ℃；体积流量 11 L/min；雾化器压力 45 psi（1 psi=6.895 kPa）；毛细管电压-3 500 V（负离子）、4 000 V（正离子）。其他参数见表 2。

2.1.4 方法学考察

2.1.4.1 精密度试验 精密量取对照品溶液适量，在“2.1.3”项条件下进样测定 6 次，测得 *L*-谷氨酸、*L*-苯丙氨酸、白术内酯Ⅲ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅰ、绿原酸、党参苷Ⅰ、芦丁、党参炔苷宁峰面积 RSD 分别为 2.246%、2.059%、1.211%、1.194%、2.680%、0.440%、1.163%、2.210%、1.146%，表明仪器精密度良好。

表 2 各成分质谱参数

Tab. 2 Mass spectrometry parameters for various constituents

成分	t _R /min	母离子 m/z	子离子 m/z	碎裂电压/V	碰撞能量/eV	离子模式
<i>L</i> -谷氨酸	0.729	148.2	84.3 [*] , 130.1	60	15,5	ESI+
<i>L</i> -苯丙氨酸	1.068	166.1	103.2, 120.2 [*]	60	30,10	ESI+
绿原酸	2.092	352.9	191.0 [*]	70	15	ESI-
党参苷Ⅰ	4.297	677.0	261.0 [*] , 497.0	100	15,10	ESI-
白术内酯Ⅲ	5.168	249.0	231.0 [*] , 163.1	60	6,15	ESI+
芦丁	5.466	609.0	299.9 [*]	110	40	ESI-
白术内酯Ⅱ	5.451	233.1	187.1 [*] , 159.1	80	15,20	ESI+
白术内酯Ⅰ	5.705	231.0	128.0 [*] , 143.0	120	50,25	ESI+
党参炔苷宁	7.033	603.0	179.0, 322.9 [*]	80	15,15	ESI-

注：* 为定量离子。

2.1.4.2 重复性试验 精密称取药材粉末（WD1）0.2 g，按“2.1.2”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，在“2.1.3”项条件下进样测定，测得 *L*-谷氨酸、*L*-苯丙氨酸、白术内酯Ⅲ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅰ、绿原酸、党参苷Ⅰ、芦丁、党参炔苷宁含量 RSD 分别为 0.586%、1.056%、3.124%、2.581%、2.111%、0.751%、1.994%、1.975%、2.219%，表明该方法重复性良好。

2.1.4.3 稳定性试验 精密称取药材粉末（WD1）0.2 g，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，室温下于 0、2、4、8、12、24 h 在“2.1.3”项条件下进样测定，测得 *L*-谷氨酸、*L*-苯丙氨酸、白术内

酯Ⅲ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅰ、绿原酸、党参苷Ⅰ、芦丁、党参炔苷宁含量 RSD 分别为 0.382%、0.956%、2.935%、2.106%、3.057%、0.434%、1.601%、2.069%、0.409%，表明溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.1.4.4 加样回收率试验 取各成分含量已知的药材粉末（WD1）6 份，每份约 0.1 g，按 1:1 比例加入对照品，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，在“2.1.3”项条件下进样测定，计算回收率。结果，*L*-谷氨酸、*L*-苯丙氨酸、白术内酯Ⅲ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅰ、绿原酸、党参苷Ⅰ、芦丁、党参炔苷宁平均加样回收率分别为 98.983%、

99.142%、99.484%、101.127%、97.502%、103.563%、100.077%、106.275%、99.124%，RSD 分别为 4.760%、1.904%、2.886%、3.050%、3.981%、2.039%、3.565%、4.566%、4.676%。

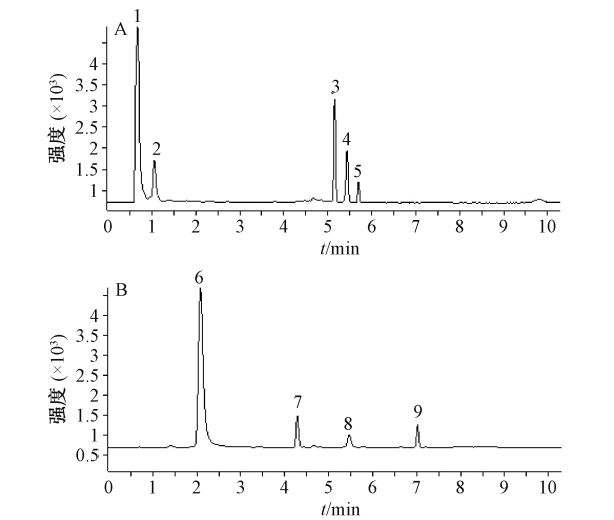
2.1.4.5 线性关系考察 精密量取对照品溶液适

量，在“2.1.3”项条件下进样测定。以各成分质量浓度为横坐标（*X*），峰面积为纵坐标（*Y*）进行回归，并分别以 *S/N* = 3、*S/N* = 10 对应的质量浓度为检出限（LOD）、定量限（LOQ），结果见表 3，可知各成分在各自范围内线性关系良好。

表 3 各成分线性关系
Tab. 3 Linear relationships of various constituents

成分	回归方程	<i>R</i> ²	线性范围/(ng·mL ⁻¹)	LOD/(ng·mL ⁻¹)	LOQ/(ng·mL ⁻¹)
<i>L</i> -谷氨酸	<i>Y</i> = 5.294 3 <i>X</i> + 487.578 4	0.998 7	123.960~3 099.000	1.994	6.645
<i>L</i> -苯丙氨酸	<i>Y</i> = 28.709 2 <i>X</i> + 526.525 1	0.999 1	34.608~1 265.200	3.873	12.909
绿原酸	<i>Y</i> = 2.415 4 <i>X</i> + 226.127 6	0.998 9	112.761~2 819.025	1.264	4.214
党参苷 I	<i>Y</i> = 0.510 3 <i>X</i> - 51.262 3	0.999 5	524.300~13 107.500	60.492	201.640
白术内酯Ⅲ	<i>Y</i> = 24.656 7 <i>X</i> + 20.291 0	0.999 2	4.272~506.806	0.136	0.453
白术内酯Ⅱ	<i>Y</i> = 55.747 4 <i>X</i> - 28.103 4	0.999 1	2.314~287.858	0.350	1.167
白术内酯 I	<i>Y</i> = 12.252 8 <i>X</i> - 7.863 6	0.999 0	1.329~33.225	0.136	0.453
芦丁	<i>Y</i> = 1.961 5 <i>X</i> - 1.032 7	0.999 9	3.900~222.500	0.897	2.990
党参炔苷宁	<i>Y</i> = 0.181 0 <i>X</i> + 4.977 7	0.999 8	91.85~2 896.250	4.520	15.066

2.1.5 结果分析 取药材适量，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，在“2.1.3”项条件下进样测定，计算含量，平行 3 次，总离子流图见图 1，结果见表 4。由此可知，WD、PS、GZ、UOY、KOY 中各成分含量较高，表明随着储存时间延长，它们均有一定程度的降解。



注：A 为正离子模式，B 为负离子模式。
1. *L*-谷氨酸 2. *L*-苯丙氨酸 3. 白术内酯Ⅲ 4. 白术内酯Ⅱ
5. 白术内酯 I 6. 绿原酸 7. 党参苷 I 8. 芦丁 9. 党参炔苷宁
1. *L*-glutamic acid 2. *L*-phenylalanine 3. atractylenolide Ⅲ
4. atractylenolide Ⅱ 5. atractylenolide I 6. chlorogenic acid
7. tangshenoside I 8. rutin 9. lobetyolinin

图 1 各成分总离子流图
Fig. 1 Total ion current diagrams of various constituents
2500

2.2 多糖含量测定 采用苯酚硫酸法。

2.2.1 样品溶液制备 参照文献 [15-18] 报道，并作适当修改。称取药材细粉 0.4 g，加入 80 mL 95%乙醇过夜，超声提取 2 次，每次 1 h，除去色素、脂肪后过滤，滤渣加入 100 mL 蒸馏水浸泡过夜，85 ℃超声提取 2 次，每次 2 h，过滤，热水洗涤残渣，合并滤液并浓缩至 1/4 体积，加入 5 倍量 95%乙醇，搅拌均匀，置于 4 ℃冰箱中过夜，次日将沉淀分离，超纯水溶解并定容至 100 mL，摇匀，即得。

2.2.2 线性关系考察 精密称取葡萄糖对照品 20.00 mg，超纯水溶解并定容至 50 mL 量瓶中，得质量浓度为 0.40 mg/mL 的储备液，稀释至 0.04 mg/mL，分别精密吸取 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mL，置于 20 mL 试管中，加入超纯水至 3.0 mL，精密加入 2.0 mL 5%苯酚溶液，摇匀，加入 5.0 mL 浓硫酸，混匀，100 ℃水浴 15 min 后迅速冷却，以水溶液为空白，在 490 nm 波长处测定吸光度。以对照品质量浓度为横坐标（*X*），吸光度为纵坐标（*A*）进行回归，得方程为 *A* = 0.063*X* - 0.025 4 (*r* = 0.998 0)，在 2.00~12.00 μg/mL 范围内线性关系良好。

2.2.3 结果分析 取药材细粉适量，按“2.2.1”项下方法制备样品溶液，精密吸取 0.1 mL，置于 20 mL 试管中，按“2.2.2”项下方法显色，在 490 nm 波长处测定吸光度，结果见表 5。由此可

表 4 各成分含量测定结果 (n=3)
Tab. 4 Results for content determination of various constituents (n=3)

编号	含量/(μg·g ⁻¹)								
	L-谷氨酸	L-苯丙氨酸	白术内酯Ⅲ	白术内酯Ⅱ	白术内酯Ⅰ	绿原酸	党参苷Ⅰ	芦丁	党参炔苷Ⅲ
PS	341.51	128.57	27.67	35.02	4.06	34.11	814.71	2.05	168.67
GZ	100.55	28.49	2.98	3.18	0.78	79.22	1 294.11	2.55	201.96
WD	111.41	157.00	62.17	14.28	4.14	57.37	1 466.12	1.86	362.85
WY	135.31	120.84	9.94	3.49	3.25	35.05	344.60	2.65	26.27
WS	39.25	17.91	4.81	0.11	2.04	60.82	98.41	1.56	66.08
WN	43.78	12.40	1.23	0.51	0.78	14.85	248.06	1.27	57.97
UOY	110.44	153.77	60.17	13.00	3.22	55.26	1 464.27	1.56	360.08
UIY	98.22	135.87	44.94	9.12	2.48	37.02	1 306.05	1.06	285.93
KOY	111.22	156.37	61.47	13.87	3.68	56.14	1 465.15	1.68	361.01
K1Y	101.31	141.26	52.67	12.17	2.35	42.55	1 323.96	1.37	308.82
K3Y	86.01	123.90	37.03	8.95	1.95	19.65	1 060.08	0.56	231.74

知,GZ、WD 中多糖含量最高,其次是 PS、WY 中,WS、WN 中最低;揉搓、储存 0 年药材中多糖含量最高,表明药材揉搓后可防止该类成分流失,并且储存 3 年后其含量最低。

表 5 多糖含量测定结果 (n=3)
Tab. 5 Results for content determination of polysaccharides (n=3)

类型	编号	多糖含量/%
不同来源	PS	13.79
	GZ	19.73
	WD	18.14
	WY	13.11
	WS	6.08
	WN	7.01
	UOY	18.86
不同储存时间/是否揉搓	UIY	13.83
	KOY	19.59
	K1Y	14.88
	K3Y	5.78

2.3 抗氧化活性评价

2.3.1 溶液制备 甲醇分别制成 1.0 mg/mL Vc 储备液、0.04 mg/mL DPPH 溶液;超纯水分别制成 7.0 mmol/L ABTS 母液、2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液,按 1:1 比例混合,避光环境中反应 24 h,作为 ABTS⁺溶液,实验时稀释至 734 nm 波长处吸光度为 0.70±0.02,上述溶液置于 4 ℃冰箱中低温避光冷藏。

2.3.2 DPPH 自由基清除能力测定 参照文献[19-20]报道,并作适当修改。将 2 mL DPPH 溶液与 2 mL 样品溶液混合,常温避光反应 30 min,在 517 nm 波长处测定吸光度,以 Vc 为阳性对照,平行 3 次,取平均值,计算清除率,公式为清除率=

$$(1-\frac{A_1-A_2}{A_0}) \times 100\%$$
。其中, A₀ 为 DPPH 溶液+甲

醇吸光度, A₁ 为 DPPH 溶液+样品溶液吸光度, A₂ 为样品溶液+甲醇吸光度。

2.3.3 ABTS⁺自由基清除能力测定 参照文献[21]报道,并作适当修改。将 3 mL ABTS 反应液与 1 mL 样品溶液混合,常温避光反应 15 min,在 734 nm 波长处测定吸光度,以 Vc 为阳性对照,平行 3 次,取平均值,按“2.3.2”项下公式计算清除率。

2.3.4 结果分析 如图 2 所示,DPPH 自由基最高清除率为 14.86%,最低为 1.80%,而 ABTS⁺自由基最高清除率为 10.23%,最低为 0.34%;WD、GZ 抗氧化活性较强,其次是 PS、WY,WS、WN 较弱;UOY、KOY 抗氧化活性较强,其次是 UIY、K1Y, K3Y 较弱,表明随着药材储存过程中有效成分含量降低,抗氧化活性也随之减弱。

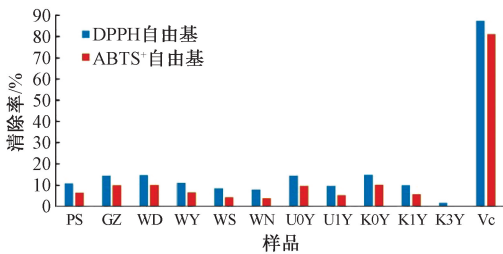


图 2 党参抗氧化活性评价结果
Fig. 2 Results for anti-oxidant activity evaluation of Codonopsis Radix

2.4 降血糖活性评价

2.4.1 溶液制备 超纯水制成 20 mmol/L 磷酸盐缓冲液,并调整其 pH 值为 6.8;20 mmol/L 磷酸盐缓冲液制成 10 mmol/L pNPG 溶液、1.0 mg/mL 阿卡波糖溶液、2.0 U/mL α-葡萄糖苷酶溶液。

2.4.2 α-葡萄糖苷酶抑制活性评价 参照徐柠檬等^[22]报道,并作适当修改。吸取 0.5 mL α-葡萄糖苷酶溶液至试管中,加入 0.5 mL 样品溶液(阳性

对照加入阿卡波糖溶液，空白对照加入磷酸盐缓冲液)，再加入 1.5 mL 磷酸盐缓冲液，37 ℃ 水浴反应 10 min，最后加入 0.5 mL pNPG 溶液，混匀，37 ℃ 水浴反应 20 min，冰水浴冷却以停止反应，在 405 nm 波长处测定吸光度，计算抑制率，公式为抑制率= $(1-\frac{A_1-A_2}{A_0}) \times 100\%$ 。其中， A_0 为空白对照吸光度， A_1 为反应液吸光度， A_2 为样品溶液背景吸光度。

2.4.3 结果分析 如图 3 所示，最高抑制率为 32.81%，最低为 7.13%，表明品种、产地及加工储藏方式对药材降血糖活性具有一定影响。

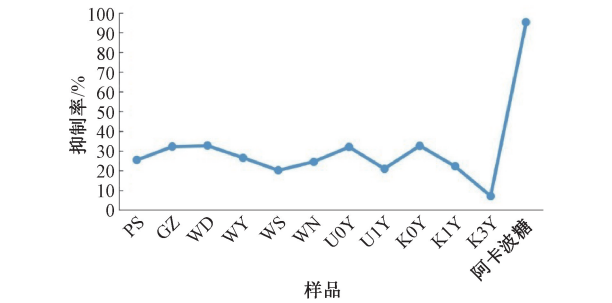


图 3 党参降血糖活性评价结果

Fig.3 Results for hypoglycemic activity evaluation of Codonopsis Radix

2.5 熵权 TOPSIS 法 熵权 TOPSIS 法能充分利用原始数据，通过信息熵来评价数据的离散程度，熵权越大，指标对综合决策的影响越大。以各成分含量及生物活性为评价指标，采用网页版 SPSSPRO 软件 (<https://www.spsspro.com/>) 进行综合评价，权重见表 6，结果见表 7，可知药材品质依次为 WD>PS>GZ>WY>WS>WN、K0Y>U0Y>K1Y>U1Y>K3Y。

3 讨论

本实验发现，党参按基源可分为川党参组(GZ)、党参组 (PS、WY、WS、WN) 和素花党参组 (WD)，各成分含量依次为素花党参>川党参>党参，可能与调控次生代谢关键酶的高表达相关；同一品种不同产地党参中各成分含量呈现 PS>WY>WN>WS 的地域差异，表明产地环境作为非生物因素，对同一基源的物质基础具有显著修饰作用，其中山西省平顺县、甘肃省渭源县作为北方高海拔山区，昼夜温差大，光照充足，有利于次生代谢产物积累^[23]，而重庆市巫山县高湿酸性土壤易引发病虫害^[24]，导致各成分含量偏低，提示栽培药材时需结合其基源特性，选择山西、甘肃等适宜的生

表 6 各指标权重

Tab.6 Weights of various indices

指标	不同来源		不同储存时间/是否揉搓	
	信息熵值	权重/%	信息熵值	权重/%
ABTS ⁺ 自由基清除率	0.773	6.751	0.835	6.989
DPPH 自由基清除率	0.783	6.449	0.844	6.606
L-苯丙氨酸含量	0.712	8.553	0.816	7.781
L-谷氨酸含量	0.664	9.983	0.834	7.036
白术内酯 I 含量	0.741	7.701	0.764	10.018
白术内酯 II 含量	0.562	13.017	0.709	12.318
白术内酯 III 含量	0.589	12.202	0.814	7.894
党参苷 I 含量	0.761	7.100	0.845	6.567
党参炔苷宁含量	0.734	7.899	0.825	7.427
多糖含量	0.795	6.083	0.845	6.550
降血糖活性	0.847	4.535	0.838	6.848
芦丁含量	0.83	5.046	0.837	6.928
绿原酸含量	0.842	4.682	0.834	7.038

表 7 党参综合得分及排序

Tab.7 Comprehensive scores and rankings of Codonopsis

Radix		正理想解	负理想解	综合得分	排序
类型	编号	距离	距离	(C 值)	
不同来源	PS	0.435	0.697	0.615	2
	GZ	0.672	0.629	0.484	3
	WD	0.356	0.846	0.704	1
	WY	0.682	0.465	0.405	4
	WS	0.914	0.198	0.178	5
	WN	0.965	0.086	0.082	6
不同储存时间/是否揉搓	U0Y	0.114	0.922	0.890	2
	U1Y	0.614	0.445	0.420	4
	K0Y	0.000	1.000	1.000	1
	K1Y	0.435	0.597	0.579	3
	K3Y	1.000	0.000	0.000	5

态区。同时，党参随着储存时间延长各成分含量逐渐降低，建议定期检测该药材以保障其药效。另外，揉搓通过物理破坏细胞壁来促进党参成分释放，故适度处理可提升该药材品质，为其传统加工工艺的现代化提供了数据支撑。

抗氧化、降血糖活性实验结果显示，成分含量较高的党参中 DPPH、ABTS⁺ 自由基清除率及 α-葡萄糖苷酶抑制率更高，熵权 TOPSIS 法进一步验证了上述关系，即 WD、GZ、PS 因其成分含量与生物活性最优，品质位于前列；揉搓储存 0 年药材因其成分未降解，活性较强，从而品质更好。

4 结论

本实验建立了基于成分和活性的综合评价体系，能客观反映党参品质，可为该药材及其他药食同源中药的质量评价提供参考。

参考文献:

[1] 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, 2020; 293.

[2] Bai R B, Wang Y P, Fan J M, *et al.* Intra-regional classification of *Codonopsis Radix* produced in Gansu province (China) by multi-elemental analysis and chemometric tools[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 8549.

[3] Canizo B V, Escudero L B, Pérez M B, *et al.* Intra-regional classification of grape seeds produced in Mendoza province (Argentina) by multi-elemental analysis and chemometrics tools[J]. *Food Chem*, 2018, 242; 272-278.

[4] Zhao H Y, Wang F, Yang Q L. Origin traceability of peanut kernels based on multi-element fingerprinting combined with multivariate data analysis[J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100(10): 4040-4048.

[5] D'Archivio A A, Foschi M, Aloia R, *et al.* Geographical discrimination of red garlic (*Allium sativum* L.) produced in Italy by means of multivariate statistical analysis of ICP-OES data[J]. *Food Chem*, 2019, 275; 333-338.

[6] Zheng G Q, Zheng Z Y, Xu X, *et al.* Variation in fruit sugar composition of *Lycium barbarum* L. and *Lycium chinense* Mill. of different regions and varieties[J]. *Biochem Syst Ecol*, 2010, 38(3): 275-284.

[7] Mao Y P, Song Y M, Pan S W, *et al.* Effect of *Codonopsis Radix* and *Polygonati Rhizoma* on the regulation of the IRS1/PI3K/AKT signaling pathway in type 2 diabetic mice[J]. *Front Endocrinol*, 2022, 13: 1068555.

[8] Jia W J, Bi Q M, Jiang S R, *et al.* Hypoglycemic activity of *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. *in vitro* and *in vivo* and its chemical composition identification by UPLC-Triple-TOF-MS/MS[J]. *Food Funct*, 2022, 13(5): 2456-2464.

[9] Wang R Y, Su P J, Li B, *et al.* Two new aromatic derivatives from *Codonopsis pilosula* and their α -glucosidase inhibitory activities[J]. *Nat Prod Res*, 2022, 36(19): 4929-4935.

[10] Wang Y G, Wang C L, Xue H Y, *et al.* Comparative analysis of three kinds of extraction kinetic models of crude polysaccharides from *Codonopsis pilosula* and evaluate the characteristics of crude polysaccharides[J]. *Biomass Convers Biorefin*, 2022, 19: 1-7.

[11] Luan F, Ji Y F, Peng L X, *et al.* Extraction, purification, structural characteristics and biological properties of the polysaccharides from *Codonopsis pilosula*: A review[J]. *Carbohydr Polym*, 2021, 261; 117863.

[12] 李思维, 卫倩倩, 宋 宵, 等. 党参多糖的抗氧化及降糖活性研究[J]. *临床医学研究与实践*, 2020, 5(32): 8-11.

[13] 王海娟, 倪 琳, 宋平顺, 等. 不同产地党参体外抗氧化活性研究[J]. *中国现代中药*, 2024, 26(6): 997-1004.

[14] 刘宽辉, 谢诗慧. 党参多糖的抗氧化活性研究及其对蛋鸡血清免疫、抗氧化功能的影响[J]. *饲料研究*, 2024, 47(6): 56-60.

[15] Meng X Q, Kuang H X, Wang Q H, *et al.* A polysaccharide from *Codonopsis pilosula* roots attenuates carbon tetrachloride-induced liver fibrosis *via* modulation of TLR4/NF- κ B and TGF- β 1/Smad3 signaling pathway[J]. *Int Immunopharmacol*, 2023, 119; 110180.

[16] Li N, Yang C, Xia J, *et al.* Molecular mechanisms of *Codonopsis pilosula* in inhibiting hepatocellular carcinoma growth and metastasis[J]. *Phytomedicine*, 2024, 128; 155338.

[17] 张欣雅, 吴灵雁, 唐嘉浩, 等. 9 个产地麦冬中鲁斯可皂苷元、多糖与 3 种黄酮类成分的含量测定与相关性分析[J]. *中成药*, 2024, 46(5): 1730-1733.

[18] 张小慧, 全立国, 王亦冰, 等. 不同商品规格等级党参药材的质量分析[J]. *中国药房*, 2023, 34(11): 1363-1367.

[19] 乔艳艳, 蒋洪洲, 李冬男, 等. 蓝莓多糖的结构解析、抗氧化及抗菌活性[J]. *食品科学*, 2024, 45(21): 94-103.

[20] 王梦洋, 张鹤鑫, 李 梅, 等. 烘烤对带壳核桃内源性功能组分及抗氧化活性的影响[J]. *食品工业科技*, 2025, 46(11): 81-92.

[21] 张玲赫, 谢 浩, 努尔买买提. 微波辅助低共熔溶剂提取新疆野生樱桃李多糖工艺及抗氧化、抑菌活性分析[J]. *食品工业科技*, 2025, 46(10): 228-236.

[22] 徐柠檬, 资璐熙, 李为兰, 等. 龙竹竹叶不同极性溶剂萃取物的抗氧化及体外降血糖和降血脂活性研究[J]. *林产化学与工业*, 2024, 44(4): 70-78.

[23] 孙晓琛, 栗锦鹏, 原静静, 等. 基于转录组测序分析干旱胁迫对党参不同组织基因表达的调控[J]. *中草药*, 2022, 53(14): 4465-4475.

[24] 陶荣浩, 胡婧怡, 鲍广灵, 等. 我国南方农田土壤酸化现状和危害及防治措施综述[J]. *生态科学*, 2025, 44(2): 271-279.