

[科研报道]

不同产地西洋参中人参皂苷、多糖、金属元素含量测定

甄罗曦¹, 郑非凡¹, 杨慕慕¹, 程蒙², 陈丽枝³, 陈康², 王艳玲⁴, 王宇珊⁴, 罗朵生^{1*}, 周修腾^{1,2*}

[1. 广东药科大学, 广东省代谢病中西医结合研究中心, 广东广州 510006; 2. 中国中医科学院中药资源中心, 道地药材品质保障与资源持续利用全国重点实验室, 北京 100700; 3. 岛津企业管理(中国)有限公司, 北京 100020; 4. 黑龙江生态工程职业学院, 黑龙江哈尔滨 150025]

摘要: 目的 测定不同产地西洋参中人参皂苷 Rg1、Re、Rb2、Rg2、Rb1、Rc、Ro、Rf、Rb3、Rd、Rg3, 多糖, N、P、K、Mg、Ca、Fe、Mn、Cu、Zn、Na、Al、Ba、Li、Cr、Pb、Cd 的含量。方法 收集 18 个产地样品, UHPLC 法测定 11 种人参皂苷含量, 紫外-可见分光光度计测定多糖含量, 凯氏定氮法结合 ICP-MS 法测定 16 种金属元素含量, 再进行主成分分析和相关性分析。结果 11 种人参皂苷在各自范围内线性关系良好 ($r \geq 0.999$) , 平均加样回收率 96.439% ~ 106.399% , RSD 1.287% ~ 2.946% 。不同产地样品中多糖含量为 31.062 ~ 170.779 mg/g。6 个主成分累积方差贡献率为 83.007% , 吉林安图产药材质量最优。人参皂苷 Rb2、Rg2、Rc、Ro、Rb3 含量与各金属元素含量的相关性较强, 而其他人参皂苷含量与后者相关性较弱; 多糖含量与 P、Cu 含量呈显著或极显著正相关 ($P < 0.05$, $P < 0.01$)。结论 本研究揭示了不同产地西洋参中人参皂苷、多糖、金属元素含量的差异, 可为该药材质量评价、药效学相互作用研究提供科学依据。

关键词: 西洋参; 产地; 人参皂苷; 多糖; 金属元素; 含量测定; 主成分分析; 相关性分析

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2026)01-0204-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2026.01.029

西洋参 *Panax quinquefolium* L. 为五加科人参属多年生草本植物, 其入药部位为干燥根, 是药食同源的名贵中药材^[1-2] , 2025 年版《中国药典》记载其具有补气养阴、清热生津功效^[3]。现代研究表明, 西洋参含有皂苷、多糖、挥发油等多种活性成分^[4] , 具有抗肿瘤、抗氧化、降血糖等作用^[5] , 其中人参皂苷 (如 Rb1、Rg1、Rg3 等)、多糖含量高, 活性强^[6-8]。

在植物生长发育、代谢过程中, 金属元素发挥着不可或缺的作用^[9] , 其中氮、磷、钾等可参与调控植物生长代谢过程^[10] , 不仅影响有效成分的形成与积累, 而且与后者具有协同作用, 增强疗效^[11-14]。西洋参原产于加拿大和北美东温带森林地区, 在我国主要栽培于黑龙江、吉林、辽宁和山东^[15-17] , 近年来它作为药食同源药材市场需求增加, 栽培规模扩大, 但受生态环境影响不同产地药材质量存在差异^[18-21]。因此, 本实验收集 18 个产地西洋参, 测定人参皂苷 Rg1、Re、Rb2、Rg2、

Rb1、Rc、Ro、Rf、Rb3、Rd、Rg3, 多糖, N、P、K、Mg、Ca、Fe、Mn、Cu、Zn、Na、Al、Ba、Li、Cr、Pb、Cd 的含量, 以期为该药材质量评价、药效学相互作用研究提供理论依据。

1 材料

1.1 仪器 LC-40 超高效液相色谱仪、AP225WD 电子天平 (日本岛津公司); KQ5200DA 超声波清洗仪 (昆山市超声仪器有限公司); LD5-2A 低速离心机 (北京医用离心机厂); HH-S11-Ni2 电热恒温水浴锅 (北京三二八科学仪器有限公司); 756PC 紫外可见分光光度计 (上海舜宇恒平科学仪器有限公司); D3024R 离心机 (美国 SCILOGEX 公司)。

1.2 试剂 人参皂苷 Rg1、Re、Rb2、Rg2、Rb1、Rc、Ro、Rf、Rb3、Rd、Rg3 对照品 (批号 23011412、23012405、23050811、23052017、23021701、23061517、23052409、23071411、23120545、23071208、22033111, 纯度 ≥ 98% , 北京倍特仁康生物医药科

收稿日期: 2025-05-23

基金项目: 中国中医科学院科技创新工程项目 (CI2021B014)

作者简介: 甄罗曦 (2001—), 女, 硕士在读, 从事中药药效评价及其应用研究。E-mail: 15937671339@163.com

*通信作者: 罗朵生 (1983—), 女, 研究员, 博士生导师, 从事中药药效评价及其应用研究。E-mail: lds0901@163.com

周修腾 (1986—), 男, 副研究员, 从事药用植物寄生及其共生作用机制研究。E-mail: zxt_0508@163.com

技有限公司)。多糖含量测定试剂盒(苯酚-硫酸法)(苏州格锐思生物科技有限公司)。乙腈、甲醇(色谱纯,美国Thermo Fisher Scientific公司);浓硫酸(分析纯,广州化学试剂厂);无水乙醇(分析纯,安徽泽升科技有限公司);纯水(香港屈臣氏公司)。

1.3 药材 18批西洋参均为4年生,经广东药科大学中药学院周良云副教授鉴定为五加科植物西洋参 *Panax quinquefolium L.* 的干燥根,产地见表1。

表1 西洋参产地

编号	产地	编号	产地
JL-1	吉林辉南	JL-10	吉林和龙
JL-2	吉林集安	JL-11	吉林蛟河
JL-3	吉林临江	HLJ-1	黑龙江密山
JL-4	吉林长白	HLJ-2	黑龙江鸡东
JL-5	吉林江源	HLJ-3	黑龙江宝清
JL-6	吉林敦化	HLJ-4	黑龙江穆棱
JL-7	吉林延吉	HLJ-5	黑龙江阳明
JL-8	吉林汪清	HLJ-6	黑龙江清河
JL-9	吉林安图	LN-1	辽宁桓仁

2 方法

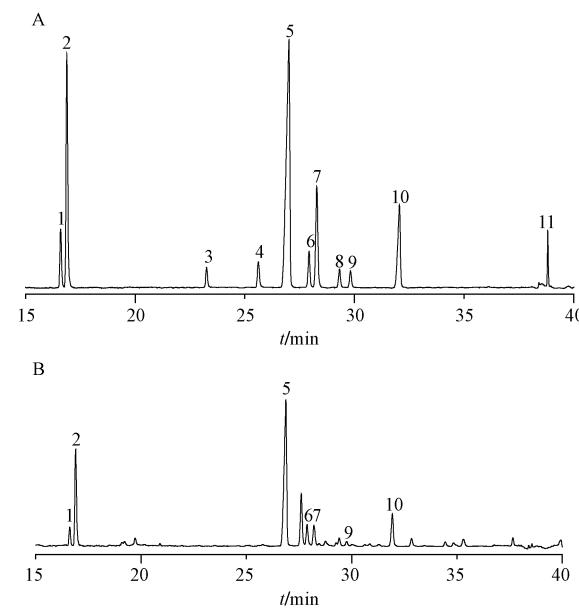
2.1 人参皂苷含量测定

2.1.1 对照品溶液制备 精密称取人参皂苷Rg1、Re、Rb2、Rg2、Rb1、Rc、Ro、Rf、Rb3、Rd、Rg3对照品适量,80%甲醇溶解,制成5 mg/mL储备液,取适量,80%甲醇定容至1 mL量瓶中,制成质量浓度分别为0.050、0.250、0.025、0.025、0.500、0.050、0.125、0.025、0.025、0.125、0.025 mg/mL的溶液,即得。

2.1.2 供试品溶液制备 精密称取药材粉末(过3号筛)0.5 g,加25 mL 80%甲醇,密塞,超声处理30 min,4 000 r/min离心10 min,精密量取12.5 mL上清液,置于蒸发皿中蒸干,残渣加80%甲醇溶解并转移至5 mL量瓶中,80%甲醇定容至刻度,摇匀,过0.22 μm微孔滤膜,即得。

2.1.3 色谱条件 ACQUITY UPLC BEH C₁₈色谱柱(2.1 mm×100 mm,1.7 μm);流动相乙腈(A)-水(含0.1%甲酸)(B),梯度洗脱(0~13 min,13%~22%A;13~18 min,22%~26%A;18~20 min,26%~30%A;20~35 min,30%~38%A;35~40 min,38%~75%A;40~40.01 min,75%~13%A;40.01~45 min,13%A);体积流量0.4 mL/min;柱温30 °C;检测波长203 nm;进样量5 μL。色谱图见图1。

2.2 多糖含量测定 参照多糖含量测定试剂盒(苯酚-硫酸法)说明书进行。



1. 人参皂苷 Rg1 2. 人参皂苷 Re 3. 人参皂苷 Rb2 4. 人参皂苷 Rg2 5. 人参皂苷 Rb1 6. 人参皂苷 Rc 7. 人参皂苷 Ro 8. 人参皂苷 Rf 9. 人参皂苷 Rb3 10. 人参皂苷 Rd 11. 人参皂苷 Rg3

图1 对照品(A)、供试品(B)UHPLC色谱图

2.3 金属元素含量测定 样品经微波消解后,采用凯氏定氮法结合ICP-MS法^[22-23]进行。

3 结果

3.1 人参皂苷含量测定

3.1.1 方法学考察

3.1.1.1 线性关系考察 取“2.1.1”项下储备液适量,80%甲醇定容至2 mL,制成人参皂苷Rg1、Re、Rb2、Rg2、Rb1、Rc、Ro、Rf、Rb3、Rd、Rg3质量浓度分别为0.2、1.0、0.1、0.1、2.0、0.2、0.5、0.1、0.1、0.5、0.1 mg/mL的母液,80%甲醇制成系列质量浓度,在“2.1.3”项色谱条件下进样测定。以对照品质量浓度为横坐标(X),峰面积为纵坐标(Y)进行回归,结果见表2,可知各人参皂苷在各自范围内线性关系良好。

表2 各人参皂苷线性关系

人参皂苷	回归方程	r	线性范围/(μg·mL ⁻¹)
人参皂苷 Rg1	$Y=4.530627.05X+1767.91$	0.9996	6.25~200
人参皂苷 Re	$Y=3.718368.81X+29742.52$	0.9992	31.25~1000
人参皂苷 Rb2	$Y=3.452129.74X-702.73$	0.9998	3.125~100
人参皂苷 Rg2	$Y=5.080942.15X+843.18$	0.9998	3.125~100
人参皂苷 Rb1	$Y=4.121331.09X+46336.67$	0.9995	62.5~2000
人参皂苷 Rc	$Y=3.137657.35X+1885.59$	0.9994	6.25~200
人参皂苷 Ro	$Y=4.164220.68X+6324.75$	0.9997	15.625~500
人参皂苷 Rf	$Y=3.522863.42X-381.26$	0.9998	3.125~100
人参皂苷 Rb3	$Y=3.246141.30X-850.31$	0.9996	3.125~100
人参皂苷 Rd	$Y=4.123623.48X+6839.70$	0.9996	15.625~500
人参皂苷 Rg3	$Y=4.750120.86X-4543.09$	0.9997	3.125~100

3.1.1.2 精密度试验 取“2.1.1”项下对照品溶液适量，在“2.1.3”项色谱条件下进样测定6次，测得人参皂苷Rg1、Re、Rb2、Rg2、Rb1、Rc、Ro、Rf、Rb3、Rd、Rg3峰面积RSD分别为0.626%、0.280%、0.832%、0.567%、0.232%、0.900%、0.297%、0.577%、0.280%、0.188%、0.378%，表明仪器精密度良好。

3.1.1.3 重复性试验 精密称取同一批样品6份，按“2.1.2”项下方法平行制备6份供试品溶液，在“2.1.3”项色谱条件下进样测定，测得人参皂苷Rg1、Re、Rb1、Rc、Ro、Rb3、Rd含量RSD分别为1.849%、0.047%、0.325%、1.606%、1.823%、0.047%、1.500%，表明该方法重复性良好。

3.1.1.4 稳定性试验 取同一份供试品溶液，于0、2、4、8、12、24 h在“2.1.3”项色谱条件下进样测定，测得人参皂苷Rg1、Re、Rb1、Rc、Ro、Rb3、Rd峰面积RSD分别为1.049%、0.454%、0.360%、0.467%、0.268%、1.428%、

0.667%，表明溶液在24 h内稳定性良好。

3.1.1.5 加样回收率试验 精密称取药材6份，每份0.25 g，加入适量对照品，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，在“2.1.3”项色谱条件下进样测定，计算回收率。结果，人参皂苷Rg1、Re、Rb2、Rg2、Rb1、Rc、Ro、Rf、Rb3、Rd、Rg3平均加样回收率分别为100.605%、104.080%、100.000%、97.733%、99.629%、96.608%、96.439%、100.565%、106.399%、95.428%、109.200%，RSD分别为2.187%、1.615%、2.722%、1.287%、1.442%、2.582%、2.499%、2.725%、2.946%、1.886%、1.679%。

3.1.2 人参皂苷含量测定 精密称取18个产地样品适量，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，在“2.1.3”项色谱条件下进样测定，计算含量，结果见表3。由此可知，各产地样品中人参皂苷Rf、Rg3均未检出，仅吉林江源、吉林和龙、黑龙江密山产者中含人参皂苷Rb2、Rg2。

表3 人参皂苷含量测定结果 (mg/g)

编号	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷	人参皂苷
	Rg1	Re	Rb2	Rg2	Rb1	Rc	Ro	Rf	Rb3	Rd	Rg3
JL-1	1.698	11.734	—	—	26.962	3.795	1.098	—	0.799	6.741	—
JL-2	1.306	8.340	—	—	17.539	2.369	1.788	—	0.516	3.146	—
JL-3	1.449	8.647	—	—	25.540	2.499	1.150	—	0.550	4.348	—
JL-4	1.000	9.898	—	—	15.597	2.200	2.949	—	0.450	4.849	—
JL-5	1.799	2.649	0.750	0.250	2.749	3.049	1.499	—	0.400	1.250	—
JL-6	0.549	5.493	—	—	9.738	1.948	1.448	—	0.350	2.297	—
JL-7	0.600	8.348	—	—	16.097	1.750	1.500	—	0.400	3.399	—
JL-8	0.800	6.999	—	—	17.197	1.750	4.349	—	0.300	2.649	—
JL-9	0.899	10.839	—	—	22.527	3.347	2.048	—	0.699	4.545	—
JL-10	3.797	3.048	1.249	0.200	4.247	3.247	2.498	—	0.350	1.299	—
JL-11	0.849	9.690	—	—	17.283	2.298	2.747	—	0.450	3.746	—
HLJ-1	1.549	9.492	0.450	0.250	13.489	5.496	1.299	—	1.049	3.497	—
HLJ-2	0.500	7.249	—	—	10.298	2.050	2.250	—	0.450	2.549	—
HLJ-3	3.096	8.588	—	—	13.581	2.596	1.248	—	0.499	3.495	—
HLJ-4	0.600	6.292	—	—	10.338	1.698	1.898	—	0.350	2.497	—
HLJ-5	1.699	8.147	—	—	14.394	2.049	3.299	—	0.400	1.999	—
HLJ-6	1.099	9.041	—	—	11.838	2.198	1.249	—	0.500	2.697	—
LN-1	0.699	4.995	—	—	12.587	2.098	1.848	—	0.350	1.998	—

注：—表示未检出。

3.2 多糖含量测定 由表4可知，吉林和龙产药材中多糖含量最高，黑龙江密山、鸡东产者中最低。

3.3 金属元素含量测定 由表5可知，大量元素N、K含量在吉林江源产药材中最高，P含量在吉林蛟河产者中最高；中量元素Mg、Ca含量在黑龙

江密山产者中最高；微量元素Fe、Mn、Cu、Zn含量分别在吉林汪清、江源、敦化、安图产者中最高；非必需元素Na、Li含量分别在吉林和龙、集安产者中最高，Al、Ba含量在吉林汪清产者中最高。

3.4 主成分分析 通过SPSS 26.0软件进行分析，

表4 多糖含量测定结果

编号	含量/(mg·g ⁻¹)	编号	含量/(mg·g ⁻¹)
JL-1	45.918	JL-10	170.779
JL-2	93.517	JL-11	157.657
JL-3	88.349	HLJ-1	31.937
JL-4	62.496	HLJ-2	31.062
JL-5	145.917	HLJ-3	61.548
JL-6	82.107	HLJ-4	120.377
JL-7	87.874	HLJ-5	98.916
JL-8	67.084	HLJ-6	57.592
JL-9	98.763	LN-1	72.339

结果见表6, 可知6个主成分累积方差贡献率为83.007%, 可作为评价指标。再计算综合得分, 结果见表7, 可知吉林安图产药材的最高, 即质量最优。

3.5 相关性分析 通过SPSS 26.0软件进行双变量相关分析, ChiPlot软件进行数据可视化, 结果见图2。由此可知, 人参皂苷Rb2、Rg2、Rc、Ro含量与金属元素含量呈显著正相关或负相关, 而人参皂苷Rg1、Re、Rb1、Rd与后者相关性较弱; 多

表5 金属元素含量测定结果 (mg/kg)

编号	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	Al	Ba	Li	Cr	Pb	Cd
JL-1	18 226.415	934.562	10 484.659	1 661.050	2 190.001	209.068	24.585	13.289	28.331	621.810	213.731	38.293	0.400	4.805	0.909	0.218
JL-2	14 106.870	784.590	9 684.336	1 823.539	2 763.634	1 084.666	44.880	12.054	36.827	856.667	1 200.350	37.977	1.819	37.995	0.078	0.360
JL-3	13 866.667	953.244	10 328.409	1 709.311	2 264.140	172.795	23.669	11.395	20.221	624.864	183.323	40.379	0.397	12.369	0.367	0.032
JL-4	13 658.537	674.571	10 136.173	1 530.218	2 344.750	1 583.630	85.826	10.413	29.193	698.411	1 526.950	47.698	1.734	34.885	1.262	0.212
JL-5	23 672.727	1 336.268	13 904.991	1 651.184	2 833.227	213.545	85.894	15.557	25.956	683.645	210.214	35.824	0.486	12.724	—	0.217
JL-6	15 582.609	1 114.579	11 486.945	1 197.762	2 021.681	184.525	62.379	15.975	32.369	697.810	260.684	25.710	0.514	17.721	—	0.260
JL-7	13 674.419	803.232	10 434.655	1 286.725	2 245.337	161.803	41.701	12.019	25.597	677.027	185.360	33.553	0.453	4.546	1.266	0.255
JL-8	11 290.323	741.939	9 369.453	1 755.429	2 611.454	11 290.323	64.367	12.694	42.779	855.888	1 773.514	59.096	1.801	33.355	—	0.138
JL-9	14 000.000	1 158.119	13 522.071	1 449.971	2 957.486	330.412	52.587	14.283	52.332	707.944	391.626	32.337	0.599	13.818	—	0.390
JL-10	16 244.275	954.330	10 419.922	1 487.372	2 842.956	277.998	34.572	12.992	18.263	1 031.971	266.685	38.488	0.549	19.957	—	0.106
JL-11	16 500.000	1 449.599	11 080.544	1 423.049	2 187.378	16 500.000	19.133	14.762	24.067	591.637	232.646	35.967	0.408	13.814	1.195	0.160
HLJ-1	15 362.832	829.849	13 100.827	1 981.012	3 430.007	204.685	46.767	12.271	26.110	778.350	259.217	37.869	0.464	12.050	4.531	0.251
HLJ-2	16 900.901	995.260	12 189.085	1 705.491	2 083.450	156.318	21.123	9.520	26.881	696.792	179.970	26.059	0.419	6.401	1.346	0.058
HLJ-3	12 930.081	1 075.781	11 179.070	1 786.527	2 112.163	147.995	19.060	12.817	31.249	612.664	166.232	23.008	0.399	4.791	1.873	0.102
HLJ-4	14 210.526	1 061.004	10 952.487	1 593.675	2 236.792	159.564	38.757	11.813	23.304	568.727	200.343	39.896	0.483	6.748	1.437	0.010
HLJ-5	15 669.725	1 062.308	11 114.912	1 462.907	2 068.182	102.724	18.841	11.662	21.564	590.607	155.464	26.136	0.432	4.771	—	0.047
HLJ-6	16 520.000	766.421	7 789.442	1 710.366	2 549.552	145.469	20.628	10.860	21.276	692.356	152.589	20.866	0.394	4.792	0.356	0.271
LN-1	13 889.764	875.176	9 558.652	1 557.918	2 340.529	160.720	24.411	13.283	17.065	499.860	158.643	44.786	0.389	5.069	2.150	0.182

注: —表示未检出。

表6 主成分分析结果

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	4.104	15.786	15.786
2	4.051	15.580	31.366
3	3.846	14.791	46.158
4	3.505	13.481	59.638
5	3.334	12.825	72.463
6	2.742	10.545	83.007

糖含量与P、Cu含量及人参皂苷Rb2含量呈显著正相关, 而与人参皂苷Re含量呈显著负相关。

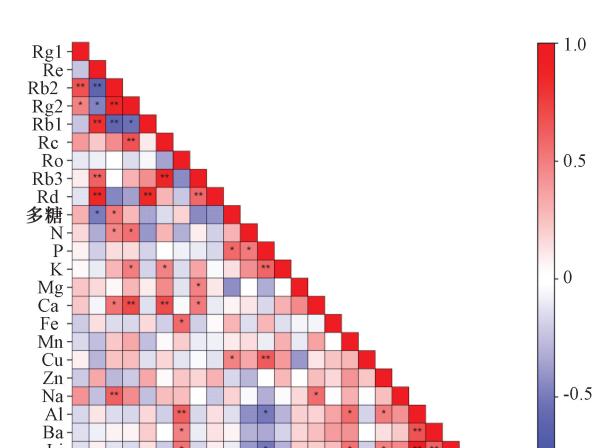
4 讨论

本实验首先分别考察不同提取溶剂(甲醇、乙醇)、提取方法(加热回流、超声提取)对人参皂苷提取效率的影响, 发现乙醇提取时较低, 而且提取液室温或4℃放置后容易析出沉淀, 同时加热、超声提取无显著差异, 再分别考察不同甲醇体积分数(60%、80%、100%)、超声时间(30、45、60 min)对人参皂苷提取效率的影响, 发现80%甲醇提取时更高, 而提取时间无显著影响, 最

结果见表6, 可知6个主成分累积方差贡献率为83.007%, 可作为评价指标。再计算综合得分, 结果见表7, 可知吉林安图产药材的最高, 即质量最优。

表5 金属元素含量测定结果 (mg/kg)

编号	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	Al	Ba	Li	Cr	Pb	Cd
JL-1	18 226.415	934.562	10 484.659	1 661.050	2 190.001	209.068	24.585	13.289	28.331	621.810	213.731	38.293	0.400	4.805	0.909	0.218
JL-2	14 106.870	784.590	9 684.336	1 823.539	2 763.634	1 084.666	44.880	12.054	36.827	856.667	1 200.350	37.977	1.819	37.995	0.078	0.360
JL-3	13 866.667	953.244	10 328.409	1 709.311	2 264.140	172.795	23.669	11.395	20.221	624.864	183.323	40.379	0.397	12.369	0.367	0.032
JL-4	13 658.537	674.571	10 136.173	1 530.218	2 344.750	1 583.630	85.826	10.413	29.193	698.411	1 526.950	47.698	1.734	34.885	1.262	0.212
JL-5	23 672.727	1 336.268	13 904.991	1 651.184	2 833.227	213.545	85.894	15.557	25.956	683.645	210.214	35.824	0.486	12.724	—	0.217
JL-6	15 582.609	1 114.579	11 486.945	1 197.762	2 021.681	184.525	62.379	15.975	32.369	697.810	260.684	25.710	0.514	17.721	—	0.260
JL-7	13 674.419	803.232	10 434.655	1 286.725	2 245.337	161.803	41.701	12.019	25.597	677.027	185.360	33.553	0.453	4.546	1.266	0.255
JL-8	11 290.323	741.939	9 369.453	1 755.429	2 611.454	11 290.323	64.367	12.694	42.779	855.888	1 773.514	59.096	1.801	33.355	—	0.138
JL-9	14 000.000	1 158.119	13 522.071	1 449.971	2 957.486	330.412	52.587	14.283	52.332	707.944	391.626	32.337	0.599	13.818	—	0.390
JL-10	16 244.275	954.330	10 419.922	1 487.372	2 842.956	277.998	34.572	12.992	18.263	1 031.971	266.685	38.488	0.549	19.957	—	0.106
JL-11	16 500.000	1 449.599	11 080.544	1 423.049	2 187.378	16 500.000	19.133	14.762	24.067	591.637	232.646	35.967	0.408	13.814	1.195	0.160
HLJ-1	15 362.832	829.849	13 100.827	1 981.012	3 430.007	204.685	46.767	12.271	26.110	778.350	259.217	37.869	0.464	12.050	4.531	0.251
HLJ-2	16 900.901	995.260	12 189.085	1 705.491	2 083.450	156.318	21.123	9.520	26.881	696.792	179.970	26.059	0.419	6.401	1.346	0.058
HLJ-3	12 930.081	1 075.781	11 179.070	1 786.527	2 112.163	147.995	19.060	12.817	31.249	612.664	166.232	23.008	0.399	4.791	1.873	0.102
HLJ-4	14 210.526	1 061.004	10 952.487	1 593.675	2 236.792	159.564	38.757	11.813	23.304	568.727	200.343	39.896	0.483	6.748	1.437	0.010
HLJ-5	15 669.725	1 062.308	11 114.912	1 462.907	2 068.182	102.724	18.841	11.662	21.564	590.607	155.464	26.136	0.432	4.771	—	0.047
HLJ-6	16 520.000	766.421	7 789.442	1 710.366	2 549.552	145.469	20.628	10.860	21.276	692.356	152.589	20.866	0.394	4.792	0.356	0.271
LN-1	13 889.764	875.176	9 558.652	1 557.918	2 340.529	160.720	24.411	13.283	17.065	499.860	158.643	44.786	0.389	5.069	2.150	0.182



注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

图2 西洋参中人参皂苷、多糖、金属元素含量相关性分析图

终确定为80%甲醇超声提取30 min。然后, 分别考察了不同体积流量(0.3、0.4、0.5 mL/min)、有

表7 主成分综合得分计算结果

编号	主成分1	主成分2/分	主成分3	主成分4	主成分5	主成分6	综合得分	排名
JL-1	-0.756	2.052	0.432	0.201	-0.155	0.417	0.379	5
JL-2	0.398	0.402	-0.431	-1.082	1.567	0.849	0.248	6
JL-3	-0.129	0.909	-0.092	-0.396	-1.047	0.328	-0.055	10
JL-4	1.244	0.013	0.056	-1.190	0.995	-0.605	0.132	7
JL-5	-0.324	-2.085	0.635	1.917	0.909	0.143	0.130	8
JL-6	-0.882	-0.669	-1.290	0.778	1.310	-0.829	-0.300	12
JL-7	-0.733	-0.042	-0.674	-0.401	0.272	-0.636	-0.371	14
JL-8	2.912	-0.047	-0.237	-0.640	0.443	-0.117	0.452	4
JL-9	-0.441	1.456	-0.079	1.284	1.856	0.002	0.668	1
JL-10	0.180	-1.305	-0.342	0.028	-0.557	3.253	0.061	9
JL-11	1.350	1.068	-0.392	2.284	-1.379	-0.225	0.516	3
HLJ-1	-0.151	-0.012	3.564	-0.180	0.175	0.020	0.604	2
HLJ-2	-0.479	-0.618	0.208	-0.668	-0.676	-1.033	-0.513	17
HLJ-3	-0.741	0.566	0.011	-0.231	-0.833	0.377	-0.151	11
HLJ-4	0.199	-0.786	-0.107	-0.010	-0.960	-1.042	-0.410	15
HLJ-5	-0.190	-0.095	-0.826	0.070	-1.108	-0.006	-0.361	13
HLJ-6	-1.368	0.036	-0.553	-1.333	-0.016	0.319	-0.529	18
LN-1	-0.091	-0.842	0.117	-0.430	-0.795	-1.217	-0.501	16

机相(乙腈、甲醇)、水相(水、0.1%甲酸、0.05%磷酸)对分离效果的影响,发现体积流量为0.4 mL/min、流动相为乙腈时指纹图谱基线平稳,分离度较好,而且人参皂苷Ro色谱峰峰形受pH值影响较大,最终确定水相为0.1%甲酸。

含量测定结果显示,18个产地西洋参中均不含人参皂苷Rf,与文献[24]报道一致。2025年版《中国药典》规定,西洋参中人参皂苷Rg1、Re、Rb1总含量不得低于2.0%^[3],而本实验发现吉林江源、敦化、和龙,黑龙江鸡东、穆棱,辽宁恒仁产者均未达标,其原因首先可能是课题组未在采收期内采样,研究表明,3~5年西洋参中人参皂苷含量随着时间延长缓慢增加,在9月份达到最大积累^[25];其次,产地生态环境也是影响西洋参品质的因素之一^[20],孙晓等^[26]报道温度、光照、降水量等环境因子均会导致其所含人参皂苷含量存在差异;再次,干燥方式也会影响人参皂苷含量,在传统晾晒方式下其损耗较多,而冻干或高温短时间干燥能更好地保留该类成分^[27-28]。综上所述,在多因素影响下不同产地西洋参中人参皂苷含量存在差异,而且干燥方式与时间延长会导致该类成分的流失。

金属元素是评价药材质量的关键指标,同时也是影响药材有效成分的主要因素^[29]。姚厚军等^[30]研究表明,毫芍多糖含量与Cu含量具有显著相关性。索滨华等^[31-32]发现,P可增加人参多糖、总皂苷含量。谢彩香等^[33]报道,N含量与人参Rb2等

6种人参皂苷含量呈正相关。高丽芳等^[34]证明,N、P、K可影响三七总皂苷、5种单体皂苷含量。本实验发现,人参皂苷Rb2含量与N含量,人参皂苷Rg2含量与N、K含量,人参皂苷Re含量与K含量均呈显著正相关,多糖含量与P、Cu含量呈显著正相关,P含量与N、K含量呈显著正相关,与前期报道一致。因此,在种植西洋参时科学施用氮磷钾肥,可促进人参皂苷、多糖的合成与积累,从而提高药材品质。

另外,西洋参中部分人参皂苷的合成与金属元素密切相关,并且具有元素特异性。其中,P、Cu可能参与多糖合成代谢途径;多糖与人参皂苷Rb2可能在某些生理过程中具有协同作用,但与人参皂苷Re之间可能存在拮抗作用,从而影响西洋参药效与品质;各金属元素之间具有较强的相关性,而且大多为正相关,表明它们在西洋参生长代谢过程中可能相互作用、聚集,从而影响药材生长发育和药用品质。

参考文献:

- [1] 贾婵.不同产地西洋参的品质评价[D].北京:北京协和医学院,2018.
- [2] 于晓艳,张宇弛,方粟一,等.西洋参的化学成分和药理作用研究进展[J].中医药学报,2024,52(4):99-104.
- [3] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[S].北京:中国医药科技出版社,2025.
- [4] 汤慧丽,王宪昌,李佳,等.西洋参皂苷类成分及其生物活性、质量控制的研究进展[J].中国中药杂志,2022,47(1):36-47.

- [5] 钟运香, 袁 娇, 刘丰惠, 等. 西洋参化学成分、药理作用及质量控制研究进展[J]. 中国中医药现代远程教育, 2020, 18(7): 130-133.
- [6] 张燕停, 任利鹏, 魏晓明, 等. UPLC 法测定西洋参不同部位中皂苷类成分及质量评价研究[J]. 特产研究, 2024, 46(2): 115-122; 127.
- [7] 苗 琳, 曲秋颖, 段媛媛, 等. 西洋参多糖分离纯化及其生物活性研究进展[J]. 中国果菜, 2024, 44(10): 31-35.
- [8] Lee C H, Kim J H. A review on the medicinal potentials of ginseng and ginsenosides on cardiovascular diseases[J]. *J Ginseng Res*, 2014, 38(3): 161-166.
- [9] 安晓静, 刘尚年, 王海英, 等. 中微量营养元素在药用植物栽培中的应用进展[J]. 中药材, 2024, 47(4): 1045-1052.
- [10] 刘大会, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 矿质营养对药用植物黄酮类成分合成的影响[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(18): 2367-2371.
- [11] 王 婕, 葛笑兰, 张小倩. 不同产地西洋参中金属元素含量测定及差异性分析[J]. 怀化学院学报, 2023, 42(5): 11-16.
- [12] 罗益远, 刘娟秀, 侯 媛, 等. 何首乌不同产地及商品药材中无机元素的 ICP-MS 分析[J]. 中草药, 2015, 46(7): 1056-1064.
- [13] 王 影, 查 琳, 杨怀雷, 等. 人参与制品中重金属研究概述[J]. 人参研究, 2019, 31(6): 47-52.
- [14] 冯克然, 张玉婷, 王钢力, 等. 应用 ICP-MS 同时测定人参和西洋参提取物中 47 种元素[J]. 分析仪器, 2018(4): 26-33.
- [15] 田丽霞. 微生物及气候因子对西洋参品质的影响[D]. 北京: 北京协和医学院, 2023.
- [16] Pang S, Piao X, Zhang X, et al. Discrimination for geographical origin of *Panax quinquefolius* L. using UPLC Q-Orbitrap MS-based metabolomics approach[J]. *Food Sci Nutr*, 2023, 11(8): 4843-4852.
- [17] Wang Z P, Wang T T, Hu J, et al. Comparisons of wild and cultivated American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) genomes provide insights into changes in root growth and metabolism during domestication[J]. *Plant Biotechnol J*, 2024, 22(7): 1963-1965.
- [18] 乔 萍. 人参与西洋参种质资源评价及分子标记开发[D]. 南昌: 江西中医药大学, 2023.
- [19] 吴首蓉, 郭晓宇, 屠鹏飞, 等. 西洋参化学成分、生物活性、品质评价及产品开发研究进展[J]. 药学学报, 2022, 57(6): 1711-1725.
- [20] 王晓蕾, 王常顺, 雷 蓉, 等. 基于多成分含量测定及化学计量学的西洋参产地差异分析[J]. 中医药学报, 2023, 51(12): 39-45.
- [21] 邵 财, 孙 海, 关一鸣, 等. 白鲜不同生育时期营养元素积累规律及分配特征[J]. 东北林业大学学报, 2025, 53(1): 35-42.
- [22] 杨晨阳, 任志秋. 微波消解—凯式定氮法在大豆蛋白质含量测定中的应用[J]. 粮食储藏, 2011, 40(3): 50-52.
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009. 268-2016. 食品安全国家标准食品中多元素的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-14.
- [24] 张燕停, 陆雨顺, 张 悅, 等. 人参皂苷指纹图谱在山东产西洋参质量控制中的应用[J]. 药物分析杂志, 2024, 44(3): 512-521.
- [25] 许云章, 任 烨, 王静霞, 等. 不同生长年限、不同采收月份加拿大原产地西洋参根中 9 种人参皂苷和 2 种拟人参皂苷含量动态变化研究[J]. 中药材, 2014, 37(10): 1743-1748.
- [26] 孙 晓, 钱秋玉, 郑司浩, 等. 基于遗传-化学-生态特征的西洋参品质生态型研究[J]. 药学学报, 2019, 54(9): 1695-1705.
- [27] 杨 洋, 赵大庆, 李佳奇, 等. 基于指纹图谱结合化学计量法对不同干燥方式下西洋参皂苷类成分的分析[J]. 中华中医学刊, 2021, 39(10): 21-25; 262.
- [28] 张翠翠, 艾 雯, 李 琳, 等. 不同干燥方式对西洋参中人参皂苷含量的影响[J]. 当代化工, 2023, 52(11): 2571-2575.
- [29] 林春松, 黄青云, 张雪芹, 等. 临夏不同产地款冬花有效成分与矿质元素含量的相关性研究[J]. 江西农业学报, 2023, 35(3): 62-67.
- [30] 姚厚军, 陈乃东, 陈乃富, 等. 不同栽培年限毫芍多糖与微量元素动态积累规律研究[J]. 生物学杂志, 2017, 34(5): 66-69.
- [31] 索滨华, 张 平, 郭世伟, 等. 磷肥与参根磷素营养碳水化合物和皂甙的相互关系[J]. 吉林农业大学学报, 1994, 16(4): 87-91.
- [32] 陈莹莹, 李 洁, 赵贵萍, 等. 人生长过程对外源磷肥的需求规律研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2024, 26(5): 1213-1222.
- [33] 谢彩香, 索风梅, 贾光林, 等. 人参皂苷与生态因子的相关性[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7551-7563.
- [34] 高丽芳, 王艳林, 龙月娟, 等. 大量元素缺乏对三七生长、养分吸收利用及品质的影响[J]. 中药材, 2024, 47(6): 1369-1376.