

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241227002

引用格式: 王艳莉, 张国兴. 灵芝提取物中灵芝多糖质量控制方法研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(5): 155–161.  
WANG YL, ZHANG GX. Study on the quality control of *Ganoderma lucidum* polysaccharides from *Ganoderma lucidum* extracts [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(5): 155–161. (in Chinese with English abstract).

# 灵芝提取物中灵芝多糖质量控制方法研究

王艳莉, 张国兴\*

(北京同仁堂健康药业股份有限公司, 北京 100176)

**摘要:** **目的** 建立灵芝提取物专属性鉴别方法, 实现多种单糖同步测定。**方法** 采用柱前衍生化反相液相色谱分析法, 分析灵芝提取物中单糖组成种类, 建立一测多评方法测定灵芝提取物中单糖含量结果。**结果** 3个厂家的灵芝提取物含有甘露糖、葡萄糖、半乳糖, 但有4批次各单糖间比例相差较大。一测多评经方法考察可以同时测定甘露糖、葡萄糖、半乳糖含量, 与外标法相对偏差均小于5%, 无显著性差异, 具有可行性。**结论** 本研究通过分析灵芝提取物中单糖组成及单糖间比例, 可作为鉴别灵芝提取物中灵芝多糖质量的辅助手段, 为企业在监控提取物质量提供参考思路。

**关键词:** 灵芝多糖; 质量控制; 单糖组成; 一测多评

## Study on the quality control of *Ganoderma lucidum* polysaccharides from *Ganoderma lucidum* extracts

WANG Yan-Li, ZHANG Guo-Xing\*

(Beijing Tongrentang Healthcare Pharmaceutical Co., Ltd., Beijing 100176, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a specific identification method for *Ganoderma lucidum* extract, and achieve the synchronous determination of a variety of monosaccharides. **Methods** The analysis of monosaccharide composition in *Ganoderma lucidum* extracts was conducted using a pre-column derivatization reversed-phase liquid chromatography method. A quantitative analysis of multi-components by single-marker method was established to determine the monosaccharide content in *Ganoderma lucidum* extracts. **Results** *Ganoderma lucidum* extract from 3 manufacturers contained mannose, glucose and galactose, but the proportion of monosaccharides in 4 batches was significantly different. The content of mannose, glucose and galactose could be determined by one test and multiple evaluation method at the same time. The relative deviation from external standard method was less than 5%, and there was no significant difference, which was feasible. **Conclusion** This study analyzes the monosaccharide composition and monosaccharide ratio in *Ganoderma lucidum* extract, which can serve as an auxiliary means for identifying the quality of *Ganoderma lucidum* polysaccharides in *Ganoderma lucidum* extract. It provides a reference for enterprises to monitor the quality of extracts.

**KEY WORDS:** *Ganoderma lucidum* polysaccharide; quality control; monosaccharide composition; quantitative analysis of multi-components by single-marker

收稿日期: 2024-12-27

第一作者: 王艳莉(1985—), 女, 硕士, 主要研究方向为中药、保健食品质量检验。E-mail: yanli1\_wang@trtjk.com

\*通信作者: 张国兴(1981—), 男, 主管药师, 主要研究方向为中药鉴定、保健食品质量管理。E-mail: guoxing\_zhang@trtjk.com

## 0 引言

灵芝是多孔菌科真菌赤芝 [*Ganoderma lucidum* (Leyss.ex Fr.) Karst.] 或紫芝 [*Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang] 的干燥子实体<sup>[1]</sup>。灵芝的多糖和三萜是其主要活性物质<sup>[2-6]</sup>，其灵芝水提物中主要活性物质是灵芝多糖。灵芝多糖具有抗氧化、抗肿瘤、抗衰老、抗疲劳、增强免疫等药理作用<sup>[7-10]</sup>。近年来灵芝提取物在药品、保健食品<sup>[11]</sup>、食品<sup>[12]</sup>、化妆品<sup>[13]</sup>等多个领域得到广泛应用，研究表明<sup>[14]</sup>含灵芝多糖的保健食品具有增强免疫的功能，在毒理学研究中未发现不良反应或毒副作用。

目前市场上的灵芝提取物质量参差不齐，因《中华人民共和国药典》和地方标准中均无灵芝提取物中多糖的检测方法，多用分光光度法测定灵芝多糖含量，而用此法检测时，灵芝提取物提取过程中添加淀粉或糊精等辅料也会被计为多糖，使结果严重偏高，因其不含功能成分而导致灵芝提取物的生物活性降低。如此阻碍了灵芝提取物产业的发展，同时也损害了消费者的利益。灵芝提取物质量标准的研究是一项艰巨且重要的工作。

研究表明灵芝中灵芝多糖多由甘露糖、木糖、D-半乳糖、D-葡萄糖、葡萄糖醛酸组成，而甘露糖、葡萄糖、半乳糖所占比例较大<sup>[15-18]</sup>。同一灵芝不同部位和不同分离提取方式得到的灵芝多糖，其单糖种类及比例也有差异<sup>[19-23]</sup>。结合文献，本研究前期实验对购进灵芝提取物分析，多有葡萄糖、半乳糖、甘露糖，因此选用这 3 种单糖进一步研究不同厂家多批次灵芝提取物中单糖组成及含量比例，一测多评同时测定 3 种单糖<sup>[24]</sup>，为进一步完善灵芝提取物的质量标准提供研究思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 试剂

半乳糖(纯度 100%，批号 100226-201807)、甘露糖(纯度 99.4%，批号 140651-201504)、葡萄糖(纯度 99.9%，批号 110833-201707)(中国食品药品检定研究院)。

三氟乙酸(批号: C10286001, 上海麦克林生化科技有限公司); 1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮(分析纯, 批号: K1925027, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 盐酸(分析纯, 批号: 20180907, 北京化工厂); 乙腈(色谱级, 批号 UN1648, 德国默克股份两合公司); 氢氧化钠(分析纯, 批号: 20180605)、磷酸氢二钠(分析纯, 批号: 20171214)、磷酸二氢钠(分析纯, 批号: 20180116)(国药集团化学试剂有限公司)。

#### 1.1.2 样品信息

3 个厂家共 15 批样品(均采用企标备案的提取工艺)。

### 1.2 仪器与设备

MSA225S-1CE-DI 十万级分析天平、Secura224-1CEU 万级分析天平(德国赛多利斯公司); Agilent 1260 高效液相色谱仪配紫外检测器、DK-S28 恒温水浴锅(上海精宏仪器有限公司); LT-DBX60N 精密可编程烘箱(立德泰勃科学仪器有限公司); Atlantis@T3 C<sub>18</sub> 柱(4.6 nm×250 nm, 5 μm)(美国沃特世公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制备

精密称取灵芝提取物约 0.5 g, 置于 100 mL 容量瓶中, 加纯化水 80 mL 左右, 于 100 °C 水浴上加热 1 h, 冷却至室温后补加水至刻度, 混匀后, 过滤, 弃去初滤液, 收集余下滤液。吸取滤液 5 mL, 置于 50 mL 离心管中, 加入 20 mL 无水乙醇, 置 4 °C 冰箱静置 4 h 以上, 以 4000 r/min 离心 5 min, 弃去上清液, 残渣加水溶解到 100 mL, 得灵芝多糖溶液。

量取 400 μL 灵芝多糖溶液置顶空瓶中, 加 4 mol/L 三氟乙酸 400 μL, 充入氮气封口, 在 110 °C 精密可编程烘箱中水解 4 h, 冷却至室温, 60 °C 水浴中用氮气吹干。在顶空瓶中加入纯化水 0.2 mL 溶解残渣, 加入 0.5 mol/L 1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮甲醇溶液与 0.3 mol/L 的氢氧化钠溶液各 400 μL, 混匀, 70 °C 水浴中反应 100 min, 再加入 0.3 mol/L 盐酸溶液 400 μL, 混匀, 用三氯甲烷洗涤 3 次, 弃去三氯甲烷液, 取上清液过 0.45 μm 滤膜后上高效液相色谱仪分析。

#### 1.3.2 仪器条件

Atlantis@T3 C<sub>18</sub> 柱(4.6 nm×250 nm, 5 μm)、检测波长为 250 nm、流速 1.0 mL/s、柱温 35 °C; 流动相 A 为乙腈、流动相 B (0.05 mol/L 磷酸二氢钠与磷酸氢二钠的混合水溶液, 体积比 12:88)梯度洗脱, 梯度洗脱如表 1。

表 1 流动相梯度洗脱  
Table 1 Mobile phase gradient elution

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0	15	85
30	20	80
55	25	75
56	15	85

#### 1.3.3 样品水解条件优化

改变水解所用三氟乙酸溶液的浓度(1、2、3、4、5 mol/L)、水解时间(1、2、3、4、5 h)、水解温度(80、90、100、110、120 °C)进行单因素实验及正交实验, 以水解衍生化后的甘露糖峰面积为考察指标, 选取最优水解条件。

### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据处理、图形

的绘制; 采用正交助手进行正交实验设计和正交结果分析; 采用 SPSS 29.0.1.0 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验

#### 2.1.1 三氟乙酸浓度的选择

取灵芝多糖溶液 5 份 400  $\mu\text{L}$ , 分别置顶空瓶中, 各加入 1、2、3、4、5 mol/L 三氟乙酸溶液 400  $\mu\text{L}$ , 充入氮气封口, 在 110  $^{\circ}\text{C}$  精密可编程烘箱中水解 4 h, 冷却至室温, 在 60  $^{\circ}\text{C}$  水浴中用氮气吹干。衍生后测定。以水解后的甘露糖浓度作为考察指标, 见图 1。随着三氟乙酸浓度的增大, 水解所得甘露糖浓度先增加后趋于平稳, 4 mol/L 时水解所得甘露糖浓度最大, 因此三氟乙酸溶液浓度选择 4 mol/L。

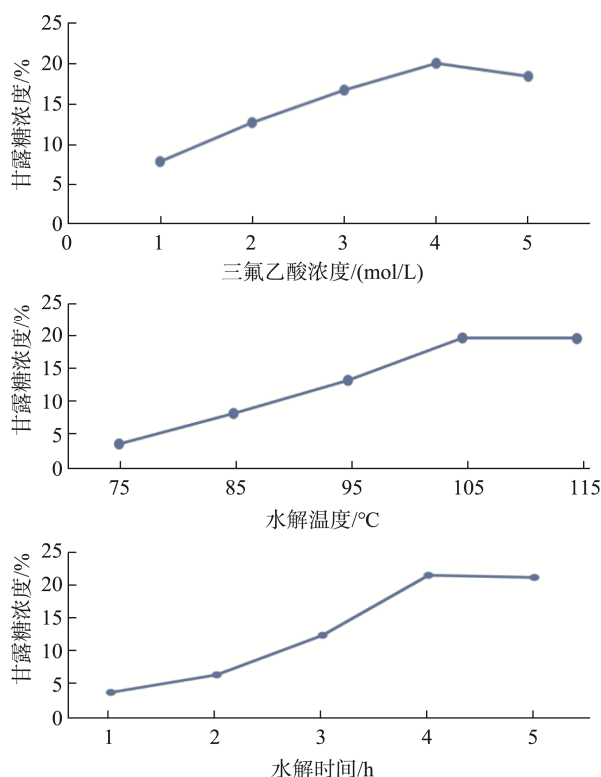


图1 单因素实验结果

Fig.1 Single factor experiment results

#### 2.1.2 水解温度的选择

精密量取灵芝多糖溶液 5 份各 400  $\mu\text{L}$ , 分别置顶空瓶中, 加 4 mol/L 三氟乙酸溶液 400  $\mu\text{L}$ , 充入氮气封口, 分别在 80、90、100、110、120  $^{\circ}\text{C}$  精密可编程烘箱中水解 4 h, 冷却至室温, 在 60  $^{\circ}\text{C}$  水浴中用氮气吹干。衍生后测定结果见图 1。以水解后的甘露糖浓度作为考察指标。随着水解温度的增大, 水解所得甘露糖浓度先增加后趋于平稳, 110  $^{\circ}\text{C}$  时水解所得甘露糖浓度最大, 因此水解温度选择 110  $^{\circ}\text{C}$ 。

#### 2.1.3 水解时间的选择

取灵芝多糖溶液 5 份各 400  $\mu\text{L}$ , 分别置顶空瓶中, 加

4 mol/L 三氟乙酸溶液 400  $\mu\text{L}$ , 充入氮气封口, 分别在 110  $^{\circ}\text{C}$  精密可编程烘箱中水解 1、2、3、4、5 h, 冷却至室温, 在 60  $^{\circ}\text{C}$  水浴中用氮气吹干。衍生后测定结果见图 1。以水解后的甘露糖浓度作为考察指标。随着水解时间的增加, 水解所得甘露糖浓度先增加后趋于平稳, 4 h 时水解所得甘露糖浓度最大, 因此水解时间选择 4 h。

#### 2.1.4 方差分析

通过表 2 方差分析结果, 三氟乙酸浓度、水解时间、水解温度 3 个因素对单糖水解浓度存在显著性差异。

表 2 方差分析  
Table 2 Analysis of variance

	平方和	自由度	均方	F	显著性
组间	485.924	4	121.481	20.866	$P < 0.001$
组内	58.220	10	5.822		
总计	544.144	14			

## 2.2 正交实验

根据单因素实验, 拟对水解灵芝多糖影响的三氟乙酸浓度、水解时间、水解温度 3 个因素, 选出 3 水平, 正交实验因素水平见表 3。

表 3 正交实验结果分析  
Table 3 Analysis of orthogonal test results

组号	A 三氟乙酸浓度/(mol/L)	B 水解温度/ $^{\circ}\text{C}$	C 水解时间/h	含量/%
1	3	100	2	44.8
2	3	110	3	49.5
3	3	120	4	41.9
4	4	100	3	46.1
5	4	110	4	50.3
6	4	120	2	49.4
7	5	100	4	45.2
8	5	110	2	40.6
9	5	120	3	38.5
$K_1$	45.4	45.4	44.9	
$K_2$	48.6	46.8	44.7	
$K_3$	41.4	43.3	45.8	
R	7.2	3.5	1.1	

从  $K$  值分析得到最优条件:  $A_2B_2C_3$ ; 即酸浓度 4 mol/L、水解温度 110  $^{\circ}\text{C}$ 、水解时间 4 h; 从极差可以看出, 三氟乙酸浓度影响最大, 3 个因素的重要程度为三氟乙酸浓度 > 水解温度 > 水解时间。

## 2.3 方法学实验结果

### 2.3.1 线性

以对照品质量浓度为横坐标( $X$ ,  $\mu\text{g/mL}$ )、峰面积为纵坐标( $Y$ )绘制标准曲线。甘露糖在 10~50  $\mu\text{g/mL}$  的范围内有

良好的线性关系。其回归方程为  $Y=168663X-248.32$ ,  $r^2=0.9927$ 。葡萄糖在 10~50  $\mu\text{g/mL}$  的范围内有良好的线性关系。其回归方程为  $Y=196286X-1028.4$ ,  $r^2=0.9927$ 。半乳糖在 8~40  $\mu\text{g/mL}$  的范围内有良好的线性关系。其回归方程为  $Y=185988X-471.82$ ,  $r^2=0.9938$ 。

### 2.3.2 精密度

多糖溶液水解衍生后连续进样 5 次, 测定各单糖含量, 计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。由表 4 可知, 各个单糖含量的 RSD 值均小于 2%, 表明仪器方法精密度较好。

### 2.3.3 稳定性

多糖溶液水解衍生后在室温下存放, 在 0、1、2、3、5、12 h 分别测定 1 次。各个单糖含量的 RSDs 值均小于 2%, 表明各单糖衍生后在 12 h 内稳定。

### 2.3.4 加标回收实验

由表 4 数据得, 各个单糖含量的 RSDs 值均小于 2%, 表明该方法有良好的加标回收率。

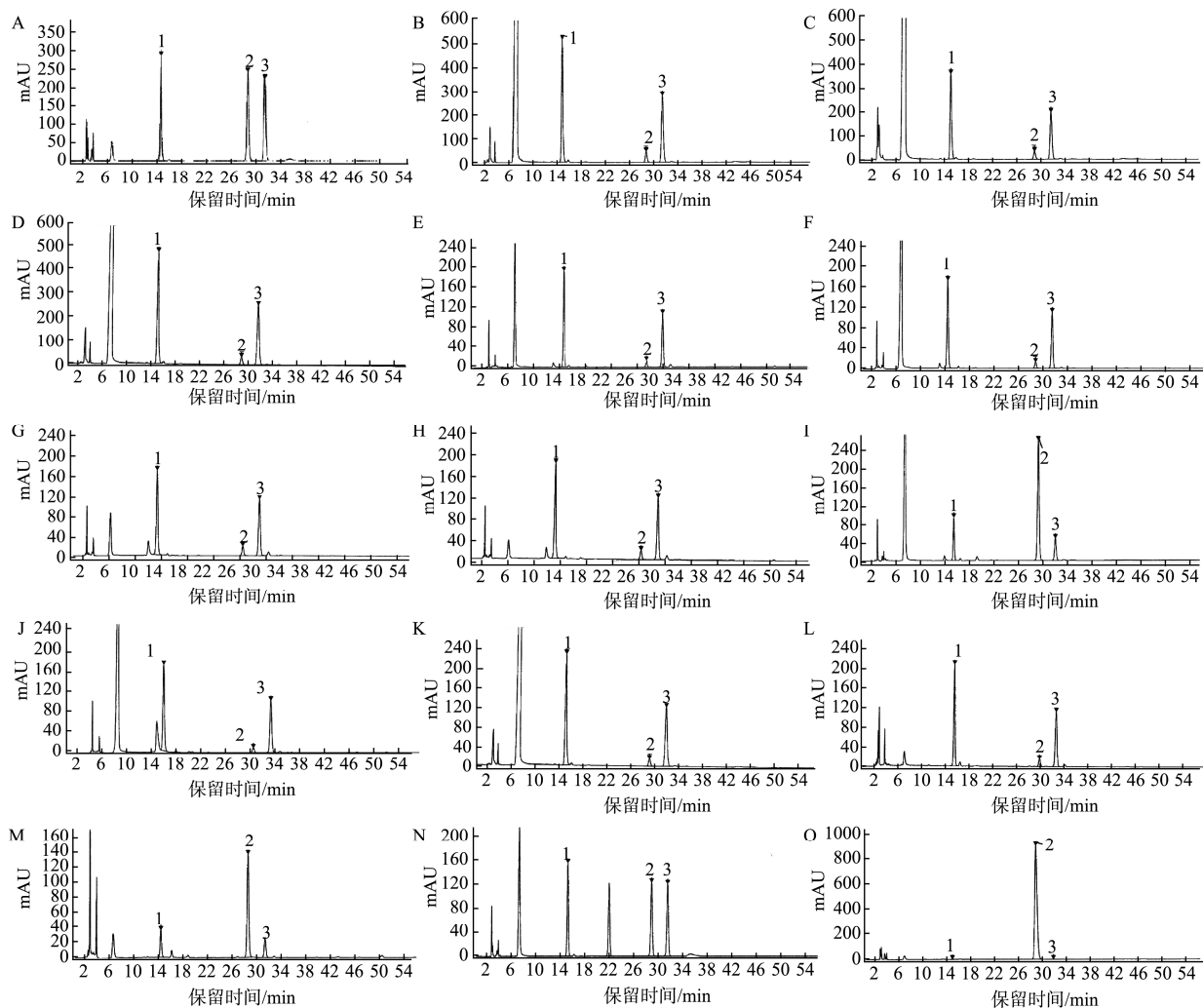
表 4 精密度、稳定性实验、加标回收实验结果( $n=6$ )

Table 4 Precisions, stabilities test, standard recovery test results ( $n=6$ )

项目	精密度		稳定性		加标回收实验	
	平均值/%	RSDs/%	平均值/%	RSDs/%	平均值/%	RSDs/%
甘露糖	24.6	0.8	25.2	0.9	95.3	1.0
葡萄糖	3.40	0.5	3.70	1.4	96.0	1.3
半乳糖	21.2	1.5	21.6	1.0	96.0	1.1

## 2.4 灵芝多糖中单糖组成测定结果

将 3 个厂家共 15 批样品水解衍生后, 进行色谱分析。由图 2 可以看出 3 个厂家的单糖组成大部分一致, 均含有甘露糖、半乳糖、葡萄糖; 其中图 2O 样品中甘露糖、半乳糖含量较小, 葡萄糖含量很高。样品图 2G、H 含有其他单糖, 图 2N 还含有葡萄糖醛酸, 可能因灵芝种类或提取部位不同。



注: A~O为15批不同厂家灵芝提取物中灵芝多糖单糖组成, 1号峰为甘露糖, 2号峰为葡萄糖, 3号峰为半乳糖。

图2 15批样品中单糖色谱图

Fig.2 Chromatograms of monosaccharides in 15 batches of samples

## 2.5 一测多评测定单糖含量

### 2.5.1 相对校正因子计算

通过对不同厂家的灵芝提取物中单糖测定结果, 均含有甘露糖、葡萄糖、半乳糖 3 个单糖, 配制不同浓度的混合对照品溶液, 以甘露糖为内参物, 计算相对校正因子。结果见表 5。

表 5 相对校正因子计算结果

Table 5 Results of the calculation of the relative correction factor

质量浓度/(mg/mL)	相对校正因子	
	$f_{\text{葡萄糖/甘露糖}}$	$f_{\text{半乳糖/甘露糖}}$
1	1.1967	0.9325
2	1.1568	0.9294
3	1.1147	0.9388
4	1.1484	0.9256
5	1.1181	0.9131
平均值	1.1469	0.9279
RSDs/%	2.91	1.03

### 2.5.2 不同色谱柱及高效液相色谱仪考察

配制甘露糖、葡萄糖、半乳糖 3 种单糖混合标准品溶液, 衍生后选 Agilent 1260 型、Waters 2695 型高效液相色谱仪, 分别用 Atlantis@T3 Waters C<sub>18</sub> (4.6 nm×250 nm, 5 μm)、Thermo BDS-HYPERSIL C<sub>18</sub> (4.6 nm×250 nm, 5 μm)、Agilent ZORBAX SB-C<sub>18</sub> (4.6 nm×250 nm, 5 μm) 3 个色谱柱记录峰面积, 计算相对校正因子。结果如表 6 所示, 葡萄糖、半乳糖和内参物甘露糖之间的相对校正因子 RSD 值 <3%, 结果表明不同高效液相色谱仪和不同色谱柱对相对校正因子无影响。

表 6 不同仪器和色谱柱测定的相对校正因子

Table 6 Relative correction factors for different instrument and column determinations

仪器	色谱柱	相对校正因子	
		$f_{\text{葡萄糖/甘露糖}}$	$f_{\text{半乳糖/甘露糖}}$
Agilent 1260	Waters	1.139	0.9004
	Thermo	1.1634	0.9239
	Agilent	1.1602	0.9108
Waters 2695	Waters	1.142	0.898
	Thermo	1.1688	0.9186
	Agilent	1.1917	0.9184
	平均值	1.1608	0.9117
	RSDs/%	1.66	1.16

### 2.5.3 不同流速考察

色谱条件不变, 设定仪器流速为 0.8、1.0、1.2 mL/min, 注入衍生后葡萄糖、甘露糖、半乳糖混合对照品溶液, 记录峰面积, 计算相对校正因子。葡萄糖、半乳糖和内参物甘露糖之间的相对校正因子 RSD 值均小于 3%, 结果如表

7 所示, 表明流动相的流速不同对相对校正因子没有显著性差异。

表 7 不同流速测定的相对校正因子

Table 7 Relative correction factors for different flow rate determinations

流速/min	相对校正因子	
	$f_{\text{葡萄糖/甘露糖}}$	$f_{\text{半乳糖/甘露糖}}$
0.8	1.1432	0.9062
1.0	1.1391	0.9005
1.2	1.1443	0.9049
平均值	1.1422	0.9039
RSDs/%	0.24	0.33

### 2.5.4 不同柱温考察

色谱条件不变, 设定柱温为 25、30、35 °C。注入衍生后葡萄糖、甘露糖、半乳糖混合对照品溶液, 记录峰面积, 计算相对校正因子。葡萄糖、半乳糖和内参物甘露糖之间的相对校正因子 RSDs 值均小于 3%, 结果如表 8 所示, 表明不同柱温对各单糖相对校正因子没有显著性差异。

表 8 不同柱温测定的相对校正因子

Table 8 Relative correction factors for different column temperature determinations

柱温/°C	相对校正因子	
	$f_{\text{葡萄糖/甘露糖}}$	$f_{\text{半乳糖/甘露糖}}$
25	1.1519	0.9147
30	1.1391	0.9005
35	1.1479	0.9102
平均值	1.1463	0.9085
RSDs/%	0.57	0.80

### 2.5.5 一测多评法待测成分色谱峰定位

本研究以甘露糖为内参物, 通过计算相对保留值与保留时间差, 如表 9 所示, 发现相对保留时间差 RSDs 值大于 5%; 相对保留值 RSDs 值小于 5%, 因此选用相对保留值作为待测成分色谱峰定位依据。

表 9 不同仪器和色谱柱测定的相对保留值

Table 9 Relative retention values for different instrument and column determinations

仪器	色谱柱	相对保留值	
		$t_{\text{葡萄糖/甘露糖}}$	$t_{\text{半乳糖/甘露糖}}$
Agilent 1260	Waters	1.99	2.22
	Thermo	1.94	2.12
	Agilent	1.97	2.18
Waters 2695	Waters	1.89	2.06
	Thermo	1.99	2.23
	Agilent	1.98	2.18
	平均值	1.96	2.165
	RSDs/%	1.99	2.98

### 2.5.6 一测多评和外标法比较

15 批不同厂家的灵芝提取物, 有两批甘露糖、半乳糖峰面积较小, 因此对其余 13 批灵芝提取物比较一测多评法和外标法测定的单糖含量。一测多评法和外标法测定的单糖含量相对偏差均小于 5%, 结果如表 10~11 所示, 表明一测多评法和外标法测定的结果没有显著性差异。

表 10 一测多评法和外标法测定不同厂家灵芝提取物的单糖含量(%)

Table 10 Monosaccharide content of *Ganoderma lucidum* extracts from different manufacturers was determined by one test and multiple evaluation method and external standard method (%)

编号	甘露糖		葡萄糖		半乳糖		
	外标法	外标法	一测多评	相对偏差	外标法	一测多评法	相对偏差
1	29.89	3.77	3.87	2.62	20.06	20.64	2.99
2	21.55	2.90	2.97	2.39	14.23	14.64	2.84
3	29.59	2.81	2.88	2.46	19.63	20.20	2.86
4	18.34	2.10	2.16	2.82	12.73	13.10	2.86
5	20.03	2.01	2.06	2.46	13.47	13.86	2.85
6	20.62	3.09	3.17	2.56	14.99	15.43	2.89
7	20.76	2.81	2.89	2.81	15.15	15.59	2.86
8	7.82	40.60	41.66	2.58	5.95	6.12	2.82
9	23.03	1.70	1.75	2.90	14.74	15.16	2.81
10	6.94	35.43	36.35	2.56	4.82	4.96	2.86
11	7.82	40.62	41.68	2.58	5.95	6.12	2.82
12	2.17	11.00	11.28	2.51	1.62	1.67	3.04
13	7.56	9.17	9.41	2.58	7.09	7.30	2.92

表 11 不同厂家灵芝提取物的单糖含量比例

Table 11 Proportion of monosaccharide content of *Ganoderma lucidum* extracts from different manufacturers

序号	半乳糖/甘露糖	葡萄糖/甘露糖
1	0.7	0.1
2	0.7	0.1
3	0.7	0.1
4	0.7	0.1
5	0.7	0.1
6	0.7	0.1
7	0.7	0.1
8	0.8	5.2
9	0.6	0.1
10	0.7	5.1
11	0.8	5.2
12	0.7	5.1
13	0.9	1.2

## 3 结论与讨论

随着灵芝被纳入药食同源及《保健食品原料目录》以来, 其提取物应用的越来越广泛, 而采用分光光度法已不能真实反映灵芝提取物中灵芝多糖质量<sup>[25]</sup>, 本研究通过柱

前衍生化反相液相色谱分析法<sup>[26-27]</sup>测定单糖含量, 3 个厂家灵芝提取物中大部分含有葡萄糖、甘露糖、半乳糖, 除四批提取物单糖比例差的较大以外, 其余批次单糖比例差别不大。可考虑在灵芝提取物标准中增加葡萄糖、甘露糖、半乳糖含量检测及含量比例, 来整体把控购进的灵芝提取物的质量。但本次研究所用样品批次还不够多, 还需在实际运用中进一步完善。

一测多评方法使用单个对照品对多个组分进行同步测定, 近年来一测多评也多用于中药的质量评价<sup>[28-30]</sup>, 该方法简便快捷、能提高检测效率, 节省成本。本研究建立以甘露糖为内参物, 同时测定灵芝提取物中甘露糖、葡萄糖、半乳糖含量, 与外标法比较, 无显著性差异, 具有可行性。

## 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 2020 版(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.  
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China. 2020 Edition (Part 1) [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [2] 鞠瑞鑫, 李云华, 田荣, 等. 不同来源赤芝活性成分分析及质量评价[J]. 食用菌学报, 2023, 30(5): 70-82.  
JU R, LI YH, TIAN R, et al. Active ingredient analysis and quality evaluation of *Ganoderma lucidum* from different places [J]. Acta Edulis Fungi, 2023, 30(5): 70-82.
- [3] 罗虹建, 林冬梅, 王联福, 等. 灵芝活性成分分析与质量评价研究进展[J]. 药物分析杂志, 2023, 43(1): 51-60.  
LUO HJ, LIN DM, WANG LF, et al. Research progress on active ingredient analysis and quality evaluation of *Ganoderma lucidum* [J]. Acta Edulis Fungi, 2023, 30(5): 70-82.
- [4] WANG L, LI JQ, ZHANG J, et al. Traditional uses, chemical components and pharmacological activities of the genus *Ganoderma* P. Karst.: A review [J]. RSC Advances, 2010. DOI: 10.1039/d0ra07219b
- [5] XING-RONG, PEN G, SYBILLE B, et al. Structural diversity, hypothetical biosynthesis, chemical synthesis, and biological activity of *Ganoderma meroterpenoids* [J]. Natural Product Reports, 2023, 40(8): 1354-1392.
- [6] JIANG MH, WU ZER, LIU L, et al. The chemistry and biology of fungal meroterpenoids (2009-2019) [J]. Organic & Biomolecular Chemistry, 2021, 19(8): 1644-1704.
- [7] 叶志能, 李德远, 王斌, 等. 灵芝多糖研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(1): 225-228.  
YE ZN, LI DY, WANG B, et al. Research progress on *Ganoderma Lucidum* polysaccharide [J]. Food Research and Development, 2012, 33(1): 225-228.
- [8] 郑心怡, 马国. 抗衰老中药的研究进展[J]. 药学研究, 2021, 40(6): 386-391.  
ZHENG XY, MA G. Research progress on studies of the antiaging traditional Chinese medicine [J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2021, 40(6): 386-391.
- [9] 蒋丹容, 康晓平, 林冬梅, 等. GLPP 对糖尿病肾病小鼠肾脏的抗氧化应激及免疫炎症的作用及机制研究[J/OL]. 中国免疫学杂志, 1-20. [2024-12-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1126.R.20241031.1838.002.html>  
JIANG DR, KANG XP, LING DM, et al. Effects and mechanisms of

- GLPP on antioxidant stress and immune inflammation in kidney of diabetes nephropathy mice [J/OL]. Chinese Journal of Immunology, 1–20. [2024-12-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1126.R.20241031.1838.002.html>
- [10] 张帅,高媛,杨杨,等.多糖的生物活性及其对胃肠道功能的影响[J].中国食品学报,2024,24(10):438–448.
- ZHANG S, GAO Y, YANG Y, *et al.* Biological activity of polysaccharides and their impact on gastrointestinal function [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(10): 438–448.
- [11] 杨潺.松杉灵芝复方口服液的制备工艺、质量评价及抗疲劳作用研究[D].长春:长春中医药大学,2024.
- YANG C. Study on preparation technology, quality evaluation and anti-fatigue effect of *Ganoderma tsugae* compound oral liquid [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2024.
- [12] 钟宝,向思敏,台雪月,等.灵芝孢子粉复合饮料的加工工艺研究[J].农产品加工,2024(13)43–46.
- ZHONG B, XIANG SM, TAI XY, *et al.* Research on processing technology of *Ganoderma lucidum* spore powder compound beverage [J]. Farm Products Processing, 2024(13): 43–46.
- [13] 周栩妍.灵芝糖蛋白对皮肤光老化修复作用及其微乳的制备工艺研究[D].长春:长春中医药大学,2023.
- ZHU XY. Study on the photoaging skin repair effect of *Ganoderma lucidum* glycoprotein and its microemulsion preparation process [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2023.
- [14] 王磊,梁峰,赵宏伟,等.含灵芝多糖的复方制剂免疫调节功能及安全性评价[J].食品工业科技,2024,45(21):338–349.
- WANG L, LIANG F, ZHAO HW, *et al.* Immunomodulatory function and safety evaluation of compound preparation containing *Ganoderma lucidum* polysaccharides [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(21): 338–349.
- [15] 叶素丹.灵芝多糖相对分子量检测及其单糖组分分析[J].浙江化工,2015,46(12):52–54.
- Ye SD. Determination of molecular weight of ganoderma lucidum polysaccharides and its monosaccharides components analysis [J]. Zhejiang Chemical Industry, 2015, 46(12): 52–54.
- [16] ZHAO LY, DONG YH, CHEN GT. Extraction, purification, characterization and antitumor activity of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* [J]. Carbohydrate Polymers: Scientific and Technological Aspects of Industrially Important Polysaccharides, 2010, 80(3): 783–789.
- [17] 王庆福,黄清铨,王丽宁,等.灵芝子实体中粗多糖的制备及其抑制血管生成活性初步评价[J/OL].菌物学报,1–16.[2024-12-21].<https://doi.org/10.13346/j.mycosystema.240208>
- WANG QF, HUANG QH, WANG LN, *et al.* Preparation of crude polysaccharide from *Ganoderma lingzhi* and preliminary evaluation of its angiogenic inhibitory activities [J]. Mycosystema, 1–16. [2024-12-21]. <https://doi.org/10.13346/j.mycosystema.240208>
- [18] CHEN YO, YANG XZ, BI J, *et al.* Structural characterization and biological activities of a novel polysaccharide containing *N*-acetylglucosamine from *Ganoderma sinense* [J]. International Journal of Biological Macromolecules: Structure, Function and Interactions, 2020, 158(1). DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.028
- [19] 张汇,鄢嫣,聂少平,等.黑灵芝不同部位多糖成分分析及抗氧化活性[J].食品科学,2011,32(1):56–61.
- ZHANG H, YAN Y, NIE SP, *et al.* Monosaccharide composition and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from different parts of *Ganoderma atrum* [J]. Food Science, 2011, 32(1): 56–61.
- [20] LI XL, ZHOU AG, LI XM. Inhibition of *Lycium barbarum* polysaccharides and *Ganoderma lucidum* polysaccharides against oxidative injury induced by  $\gamma$ -irradiation in rat liver mitochondria [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 69(1): 172–178.
- [21] LIU YJ, SHEN J, XIA YM, *et al.* The polysaccharides from *Ganoderma lucidum*: Are they always inhibitors on human hepatocarcinoma cells? [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90(3): 1210–1215.
- [22] ZHANG J, LIU YJ, PARK HS, *et al.* Antitumor activity of sulfated extracellular polysaccharides of *Ganoderma lucidum* from the submerged fermentation broth [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(2): 1539–1544.
- [23] MIYAZAKI T, NISHIJIMA M. Studies on fungal polysaccharides. XXVII. Structural examination of a water-soluble, antitumor polysaccharide of *Ganoderma lucidum* [J]. Chem Pharm Bull, 1981, 29(12): 3611–3616.
- [24] 胡瑞雪,梁元昊,徐文丽,等.一测多评法在中药中的应用及研究进展[J].药物分析杂志,2019,39(11):1968–1979.
- HU RX, LIANG YH, XU WL, *et al.* Application and research progress of QAMS in traditional Chinese medicine [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2019, 39(11): 1968–1979.
- [25] 罗爱勤,陈亮,李菁.灵芝孢子多糖含量不同方法测定的比较[J].中国中医药现代远程教育,2016,14(19):132–134.
- LUO AIQ, CHEN L, LI J. Comparison of different methods for determination of polysaccharide in ganoderma lucidum spore [J]. Chinese Medicine Modern Distance Education of China, 2016, 14(19): 132–134.
- [26] 赵春霞,余河水,王春华,等.中药多糖定性及定量研究进展[J].中成药,2019,41(9):2184–2192.
- ZHANG CX, YU HS, WANG CH, *et al.* Research progress on qualitative and quantitative analysis of sugars in traditional Chinese medicine [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2019, 41(9): 2184–2192.
- [27] 万晓莹,刘振丽,宋志前,等.中药多糖含量测定方法研究[J].中国中医基础医学杂志,2021,27(7)1175–1178.
- WANG XY, LIU ZL, SONG ZQ, *et al.* Research on the determination methods of polysaccharide content in traditional Chinese medicine [J]. Journal of Basic Chinese Medicine, 2021, 27(7): 1175–1178.
- [28] 黄婷,柳贤福,陈汝旭,等.一测多评法同时测定不同配伍比例枳实-厚朴药对中11种成分的含量[J].中成药,2024,46(12):3911–3917.
- HUANG T, LIU XF, CHEN RX, *et al.* Simufaneous content determination of elevn constituents in different compatibility ratios of *Fructus aurantii Imm. aturus-magnoliae officinalis cortex drug pair bu QAMS* [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2024, 46(12): 3911–3917.
- [29] 唐飞飞,丁昊玥,方丹纯,等.一测多评法同时测定花椒和竹叶花椒中4个黄酮成分[J].药物分析杂志,2024,44(8):1320–1330.
- TANG FF, DING WY, FANG DC, *et al.* Simultaneous determination of 4 flavonoids in *Zanthoxyli pericarpium* and *Pericarpium zanthoxyli* Armati by QAMS [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2024, 44(8): 1320–1330.
- [30] 舒波,雷果平,袁斌.一测多评法测定法制半夏曲中11种成分含量及其GRA、EW-TOPSIS质量评价[J].医药导报,2024,43(7):1120–1126.
- SHU B, LEI GP, YUAN B. Detemination of 11 components in Fazhi Banxia Qu by QAMS and quality evaluation of theirs GRA and EW-TOPSIS [J]. Herald of Medicine, 2024, 43(7): 1120–1126.

(责任编辑:蔡世佳 韩晓红)