

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2023.03.001

# PMP 柱前衍生 HPLC 法测定松乳菇多糖的单糖组成

徐 洲<sup>a</sup>, 达小梅<sup>b</sup>

(西昌学院 a. 攀西特色作物研究与利用四川省重点实验室; b. 农业科学学院, 四川 西昌 615013)

**摘要:**建立了一种 1-苯基-3-甲基-5-吡唑酮(PMP)柱前衍生高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法测定松乳菇多糖中单糖组成。通过单因素实验优化 PMP 衍生单糖的条件为反应时间 40 min, 反应温度 70 °C 和 PMP 浓度 0.8 mol/L。以 Agilent Zorbax SB-C18 色谱柱为分析柱, 磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH=6.9)-乙腈为流动相, 检测波长为 250 nm, 进样量 10 μL, 柱温 20 °C 检测单糖组成。在此色谱条件下, 各单糖线性关系良好( $r^2 \geq 0.9996$ ), 精密度高(RSD $\leq 2.23\%$ ), 重复性强(RSD $\leq 2.11\%$ ), 加标回收率为 97.16%~101.68%。该方法适用于松乳菇多糖中单糖组成的测定。

**关键词:** PMP; HPLC; 松乳菇多糖; 单糖

**中图分类号:** TS201.23    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1673-1891(2023)03-0001-06

## Determination of Monosaccharide Composition of Lactarius Deliciosus Polysaccharides by PMP Precolumn Derivatization HPLC

XU Zhou<sup>a</sup>, DA Xiaomei<sup>b</sup>

(a. Sichuan Key Laboratory of Panxi Crop Research and Utilization; b. College of Agricultural Sciences, Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** A high performance liquid chromatography (HPLC) method of precolumn derivatization with 1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone (PMP) has been established for the determination of monosaccharides composition of polysaccharides purified from lactarius deliciosus. The optimization data of the precolumn derivatization process were: reaction time 40 min, reaction temperature 70 °C, and PMP concentration 0.8 mol/L. HPLC conditions were Agilent Zorbax SB-C18 column; using phosphate buffer (0.05 mol/L, pH = 6.9)-acetonitrile as mobile phase; detection wavelength 250 nm; injection volume 10 μL; column temperature 20 °C. The determination results had good linear correlations with  $r^2 \geq 0.9996$ ; good accuracy (RSD  $\leq 2.23\%$ ) and repeatability (RSD  $\leq 2.11\%$ ); and the recovery rate was between the range of 97.16%~101.68%. This method can precisely determinate monosaccharides composition of polysaccharides purified from lactarius deliciosus polysaccharides.

**Keywords:** PMP; HPLC; lactarius deliciosus polysaccharides; monosaccharides

### 0 引言

松乳菇(*Lactarius deliciosus*)为乳菇科(Russulaceae)乳菇属(*Lactarius*)菌根性担子菌,是一种珍贵的野生可食用菌类<sup>[1]</sup>。松乳菇分布广泛,子实体味道鲜美,在西班牙、波兰和中国等诸多国家广受欢迎。如同其他食用菌一样,松乳菇不仅提供丰富的氨基酸、蛋白质、膳食纤维和矿物质等营养物质,同时也是糖醇、多酚和倍半萜等生物活性化合物的重

要来源<sup>[2]</sup>。此外,现代药理表明,松乳菇多糖是另一种毒副作用小、生物活性广的物质<sup>[3]</sup>。1969年, Ikekawa 等<sup>[4]</sup>首次发现香菇多糖对小鼠 S180 肉瘤细胞抑制效果良好,食用菌多糖逐渐进入人们的视野。随后的研究表明,食用菌多糖具有抗氧化、免疫调节、抗肿瘤、抗胃溃疡、降血糖等诸多生物活性,进而食用菌多糖成为目前研究的热点之一<sup>[5-7]</sup>。廖国会等<sup>[8]</sup>报道松乳菇菌丝体多糖对 DPPH 自由基、OH 自由基和 O<sup>2-</sup> 自由基都具有一定的清除能

收稿日期:2023-07-17

基金项目:攀西特色作物研究与利用四川省重点实验室发展项目基金(XNFZ2107、SZKF2212)。

作者简介:徐洲(1991—),男,四川巴中人,副教授,博士,主要研究方向:天然产物及功能保健食品, e-mail: 285732360@qq.com。

力。钱叶等<sup>[9]</sup>、Ding 等<sup>[10]</sup>从松乳菇中分离出一种杂多糖,生物活性分析表明该多糖能够显著促进免疫细胞增殖,提升小鼠脏器系数,并抑制移植性肿瘤 S180 的生长。

作为松乳菇的主要功效成分,松乳菇多糖组成复杂,结构尚不明晰。由于自然界中组成多糖的单糖种类繁多且单糖残基之间连接复杂多变等特点,给多糖结构及特性研究带来了一定的难度。单糖组成作为多糖结构的一个重要信息,对多糖结构研究具有重要意义。目前,单糖组成测定的常用方法有气相色谱分析法(GC)、薄层色谱分析法(TLC)和高效液相色谱分析法(HPLC)等<sup>[11-13]</sup>。其中气相色谱分析法由于单糖不具挥发性,单糖分子需要甲基化或乙酰化转化为具有高热稳定性的挥发性衍生物,试验繁琐复杂,且衍生过程中容易产生多种副反应,影响分析结果<sup>[14]</sup>;薄层色谱分析法显色效果差,结果重现性不稳定<sup>[15]</sup>;此外,由于单糖不含紫外吸收官能团且电荷性质稳定,若直接采用高效液相色谱法分析需联合糖柱和示差折光检测器(RID),仪器价格昂贵且实验过程易受污染<sup>[16]</sup>。因此,先利用衍生化试剂柱前衍生,再结合高效液相色谱法分析被常用于单糖组成的分析。1-苯基-3-甲基-5-吡啶啉酮(PMP)作为一种高效的柱前衍生化试剂,碱性环境下 2 分子 PMP 能与 1 分子单糖定量缩合形成 PMP-单糖-PMP 衍生物,并在 250 nm 波长处有强吸收,而常用于单糖组成的分析中<sup>[17]</sup>。

本研究从松乳菇多糖的单糖组成入手,建立起 PMP 柱前衍生 HPLC 法分析测定松乳菇多糖中单糖组成的条件,并利用该方法测定松乳菇多糖的单糖组成及其比例,为后续松乳菇多糖结构解析奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

松乳菇多糖(LDPs):由四川农业大学植物学实验室提供;单糖标准品:美国 Sigma 公司;1-苯基-3-甲基-5-吡啶啉酮(PMP):上海瑞永生物科技有限公司;甲醇、乙腈:色谱纯,美国 Thermo Fisher 公司;三氟乙酸(TFA)、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、NaOH、HCl、氯仿等:分析纯,成都科龙化工试剂厂。

### 1.2 试验仪器

电子天平:BT-124S 型,德国 Sartorius 公司;数显恒温水浴锅:HH-6 型,常州智博瑞仪器制造有限公司;旋转蒸发器:RE-2000B 型,上海亚荣生化仪器厂;低温高速离心机: Sorvall ST 16R 型,美国

Thermo Fisher 公司;超纯水仪:UHP-III-10T 型,四川优普超纯科技有限公司;高效液相色谱仪:Agilent 1260 型,美国 Agilent 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 松乳菇多糖的酸水解

松乳菇多糖酸水解参照 Xu 等<sup>[18]</sup>报道的方法稍加修改。取 2 mL 质量浓度为 5 mg/mL 的松乳菇多糖溶液和 1 mL TFA 试剂于安瓿瓶中,并使用酒精喷灯密封。安瓿瓶置于 100 °C 水浴中充分水解 4 h,取出反应液并加入适量甲醇后减压蒸干直至多余 TFA 被完全移除。3 mL 蒸馏水复溶余下粉末后 8 000 r/min 离心 5 min,取上清备用。

#### 1.3.2 单糖的 PMP 衍生

单糖衍生过程参照王布雷等<sup>[19]</sup>报道的方法稍加修改。取单糖标准品或多糖酸水解样品溶液 400  $\mu\text{L}$  于试管中,并依次添加 500  $\mu\text{L}$  PMP 甲醇溶液(0.8 mol/L)和 600  $\mu\text{L}$  NaOH 溶液(0.3 mol/L)。充分混匀后置于 70 °C 水浴中反应 40 min。冷却至室温后添加 600  $\mu\text{L}$  HCl(0.3 mol/L)中和反应液。加入 2 mL 氯仿重复 3 次萃取除去过量 PMP,取上层水相,过 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜后待 HPLC 分析。

#### 1.3.3 HPLC 检测条件

Agilent Zorbax SB-C18 色谱柱(150 mm $\times$ 4.6 mm, 5.0  $\mu\text{m}$ );流动相:A-磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH=6.9)-乙腈(v/v=85:15),B-磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH=6.9)-乙腈(v/v=60:40);流动相 A 梯度变换:95-87-75-95%(0-10-28-30 min);流动相流速:1 mL/min;检测波长为 250 nm;进样量:10  $\mu\text{L}$ ;柱温:20 °C。

#### 1.3.4 线性关系考察

分别配置一系列浓度梯度的 D-甘露糖、L-鼠李糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-阿拉伯糖和 L-岩藻糖 8 种单糖标准溶液,按照 1.3.2 项下的衍生条件 PMP 衍生化后液相色谱分析。记录峰面积,以峰面积  $Y$  为因变量,8 种单糖的浓度  $X$  为自变量进行线性回归分析,得各单糖的线性方程和相关系数。

#### 1.3.5 精密度试验

取一定浓度的单糖混合液,PMP 衍生化后连续重复进样分析 6 次,记录各单糖峰面积,计算精密度。

#### 1.3.6 重复性试验

取多糖样品,按 1.3.1 项下制备成 6 份酸水解溶

液, PMP衍生化后进样分析, 记录峰面积, 计算相对标准误差(relative standard deviation, RSD)值。

### 1.3.7 加样回收试验

准确称取已知各单糖含量的松乳菇多糖样品, 并分别按高、中和低3种剂量加入D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和L-岩藻糖4种单糖标准品, 按1.3.1项下酸水解, PMP衍生化后进样分析, 记录各单糖峰面积, 计算回收率。

### 1.3.8 样品测定

准确称取松乳菇多糖样品, 按1.3.1项下酸水解, PMP衍生化后进样分析, 记录各单糖峰面积, 计算样品中单糖含量。

### 1.4 数据处理

所有试验均重复3次, 采用Microsoft Excel 2013统计数据, SPSS 18.0软件Duncan法进行显著性分析(差异显著水平为 $P < 0.05$ ), Origin Pro 9.2绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 单糖衍生物HPLC图谱

如图1所示, 8种单糖标准品PMP衍生物在30 min内均能出峰, 且信号较强。表明氯仿萃取能去除绝大部分过量的标记物(PMP), 且PMP出峰时间较检测物早, 不会形成信号干扰。在出峰时间范围内, 基线平稳, 无噪声与漂移。单糖衍生物峰形对称, 峰宽较窄, 无前伸峰与拖尾峰, 两两之间无信号干扰, 分离度好。按照保留时间先后, 8种单糖依次为D-甘露糖、L-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-阿拉伯糖和L-岩藻糖。

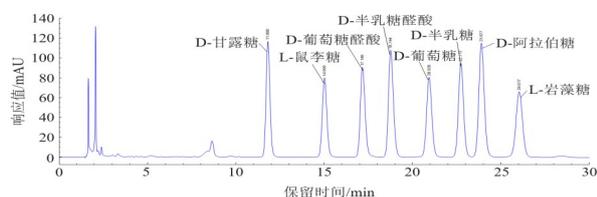


图1 8种单糖混合标准品高效液相色谱图

### 2.2 单糖衍生化条件优化

#### 2.2.1 反应时间对单糖衍生化的影响

由图2所示, 在反应温度 $70^{\circ}\text{C}$ 和PMP浓度 $0.6\text{ mol/L}$ 条件下, 当反应时间仅为20 min时, D-甘露糖、D-半乳糖和D-阿拉伯糖衍生物产率就能到达较高。与反应时间为20 min时相比, 当反应时间增加为40 min时, L-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖和L-岩藻糖5种单糖衍生物产率

均得到显著提升( $P < 0.05$ ), 而D-甘露糖、D-半乳糖和D-阿拉伯糖3种单糖衍生物产率虽略有下降, 但差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。若进一步延长反应时间, 所有单糖衍生物产率则逐渐呈现下降趋势, 这可能是由于反应时间过长会产生未知副反应, 从而使目标产物产率下降所导致。因而, 综合多方面考虑, 选择最佳衍生化时间为40 min。

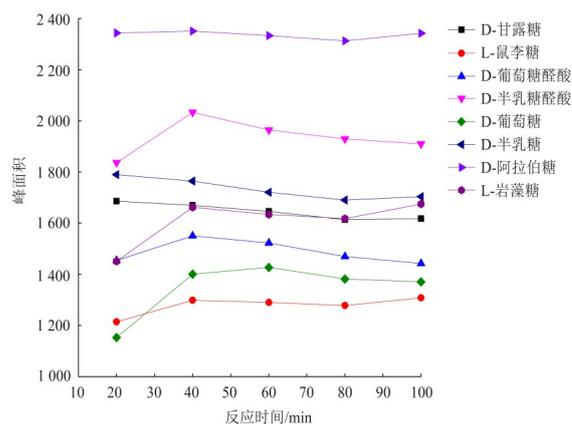


图2 衍生化反应时间对PMP单糖衍生物峰面积的影响

#### 2.2.2 反应温度对单糖衍生化的影响

当衍生化时间为40 min和PMP浓度为 $0.6\text{ mol/L}$ 时, 各单糖衍生物产率均随着反应温度的提升先升高后降低, 如图3所示。当温度为 $30^{\circ}\text{C}$ 时, 温度较低, 不能达到反应活化能, 致使产率较低。与反应温度为 $50^{\circ}\text{C}$ 相比, 当反应温度上升至 $70^{\circ}\text{C}$ 时, 虽然D-甘露糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸和D-阿拉伯糖4种单糖衍生物产率不再进一步增加, 但L-鼠李糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和L-岩藻糖4种单糖衍生物产率却显著上升( $P < 0.05$ )。而反应温度过高( $90^{\circ}\text{C}$ ), 会导致多种副反应, 影响衍生物产率。因而, 选择最佳衍生化反应温度为 $70^{\circ}\text{C}$ 。

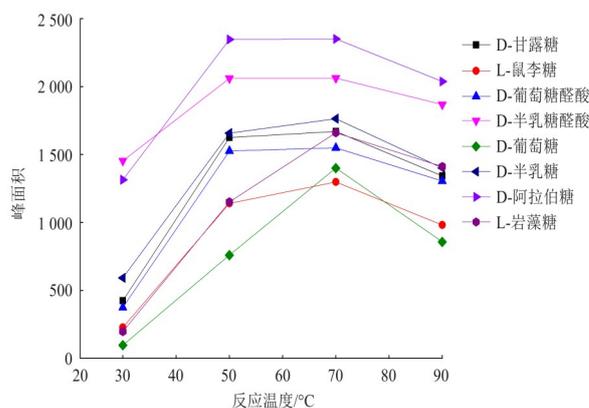


图3 衍生化反应温度对PMP单糖衍生物峰面积的影响

### 2.2.3 PMP 浓度对单糖衍生化的影响

如图 4 所示,当反应时间和温度分别为 40 min 和 70 °C 时,与 PMP 浓度仅为 0.4 mol/L 时相比,当 PMP 浓度为 0.6 mol/L 时,8 种单糖衍生物的产率均显著提升( $P < 0.05$ )。当 PMP 浓度进一步增大为 0.8 mol/L 时,D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-半乳糖和 D-阿拉伯糖 4 种单糖衍生物产率上升不明显( $P > 0.05$ ),而 D-甘露糖、L-鼠李糖、D-葡萄糖和 L-岩藻糖 4 种单糖衍生物产率却显著上升( $P < 0.05$ )。因此综合考虑,选择最适 PMP 浓度为 0.8 mol/L。

### 2.3 分析方法考察

#### 2.3.1 线性关系及检测限

以峰面积  $Y$  为因变量,8 种单糖的浓度  $X$  为自变量进行线性回归分析,得各单糖的线性方程和相关系数,并以信噪比为 3 时所得到的各单糖的摩尔浓度为检测限。由表 1 可知,D-甘露糖、L-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-阿拉伯糖和 L-岩藻糖的摩尔浓度与峰面积之间

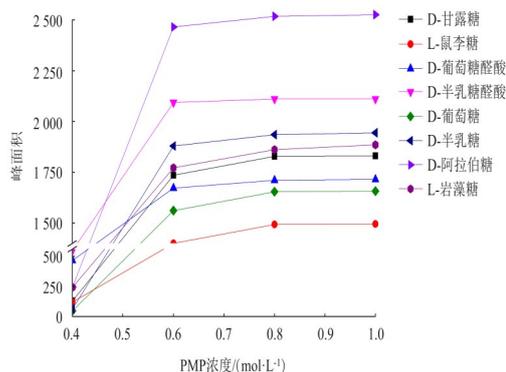


图 4 PMP 浓度对 PMP 单糖衍生物峰面积的影响

呈现良好的线性关系,相关系数( $r^2$ )均大于 0.999 5。D-甘露糖、L-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-阿拉伯糖和 L-岩藻糖的检测限分别为 2.32、4.14、13.59、6.23、1.49、2.95、4.79 和 7.66  $\mu\text{mol/L}$ 。

表 1 8 种单糖标准品的线性关系及检测限

单糖	保留时间/min	标准曲线 $Y=a+bX$		相关系数( $r^2$ )	检测限( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	RSD/%
		$a$	$b$			
D-甘露糖	11.800	2.585 0	-3.000	0.999 9	2.32	0.18
L-鼠李糖	14.999	2.051 6	-5.500	0.999 9	4.14	0.17
D-葡萄糖醛酸	17.149	2.445 9	-30.250	0.999 6	13.59	2.28
D-半乳糖醛酸	18.744	2.607 5	-13.250	0.999 8	6.23	2.15
D-葡萄糖	20.920	2.349 7	-0.500	0.999 7	1.49	0.51
D-半乳糖	22.717	2.669 9	-4.875	0.999 9	2.95	0.25
D-阿拉伯糖	23.877	2.581 6	-9.375	0.999 8	4.79	0.56
L-岩藻糖	26.017	2.251 6	-14.250	0.999 5	7.66	2.08

#### 2.3.2 精密度与重复性

如表 2 所示,D-甘露糖、L-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-阿拉伯糖和 L-岩藻糖 8 种单糖衍生物连续进样 6 次时,峰面积的 RSD 值分别为 0.18%、0.17%、2.23%、2.14%、0.51%、0.25%、0.56% 和 2.06%,表明本实验所用仪器精密度良好。此外,样品重复性试验结果表明,L-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸和 D-阿拉伯糖 4 种单糖未被检出,被检出的 D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和 L-岩藻糖 4 种单糖的 RSD 值分别

为 0.63%、2.17%、0.90% 和 0.94%,表明该方法用于单糖测定时重复性良好。

#### 2.3.3 加样回收率

按高、中和低 3 个水平向样品中加入 D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和 L-岩藻糖四种单糖标准品,检测并计算其回收率。如表 3 所示,D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和 L-岩藻糖的平均回收率分别为 101.68%、102.87%、98.39% 和 97.16%,RSD 值分别为 1.47%、3.10%、0.29% 和 1.34%。结果表明,各单糖回收率良好,数据准确可靠。

表2 方法精密度RSD及重复性RSD

项目	D-甘露糖	L-鼠李糖	D-葡萄糖 醛酸	D-半乳糖 醛酸	D-葡萄糖	D-半乳糖	D-阿拉伯 糖	L-岩藻糖
精密度RSD	0.18	0.17	2.23	2.14	0.51	0.25	0.56	2.06
重复性RSD	0.63	—	—	—	2.17	0.90	—	0.94

表3 样品中单糖的回收率

单糖	加标剂量	加标浓度/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	样品 浓度/( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	检测浓度值/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
D-甘露糖	高	50	141.59	193.29	103.42	101.68	1.47
	中	40	141.59	180.14	96.39		
	低	25	141.59	167.89	105.22		
D-葡萄糖	高	400	1 394.22	1 795.05	100.21	102.87	3.10
	中	350	1 394.22	1 753.77	102.73		
	低	250	1 394.22	1 658.44	105.68		
D-半乳糖	高	650	1 928.49	2 598.80	103.13	98.39	0.29
	中	450	1 928.49	2 383.19	101.04		
	低	300	1 928.49	2 201.53	91.01		
L-岩藻糖	高	550	952.99	1 494.16	98.39	97.16	1.34
	中	400	952.99	1 336.64	95.91		
	低	350	952.99	1 296.23	98.07		

## 2.4 样品测定

待测松乳菇多糖样品酸水解后的PMP衍生物色谱图如5所示。比对标准品各物质保留时间可知,松乳菇多糖由D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和L-岩藻糖4种单糖组成。根据峰面积和线性方程计算松乳菇多糖中D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和L-岩藻糖的质量分数分别为3.21%、31.56%、43.66%和21.57%。

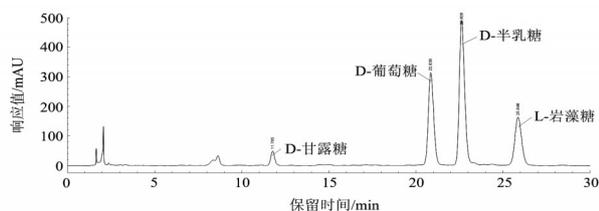


图5 松乳菇多糖样品的高效液相色谱图

## 3 讨论与结论

单糖因结构相似性高,不含紫外吸收基团,且富含羟基呈低疏水性等特点,而无法直接利用常见的

高效液相色谱仪所配置的反相色谱柱和紫外检测器有效分离并进行定性定量分析。PMP(1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮)作为一种有效的衍生化试剂,可与糖类反应引入紫外吸收基团并提升疏水性而常用于糖类的分析。然而PMP作为衍生试剂衍生化单糖时容易受反应时间、反应温度和PMP浓度等条件的影响而影响衍生化效果。基于此,本试验通过单因素实验优化PMP衍生单糖的最佳条件为:反应时间40 min、反应温度70 °C和PMP浓度0.8 mol/L。采用Agilent Zorbax SB-C18色谱柱,以磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH=6.9)-乙腈为流动相梯度洗脱,成功构建HPLC分析松乳菇多糖单糖组成的测定方法。考察试验结果表明,该分析方法线性关系好,精密度高、重复性强且回收率高,能简便、快速、准确地运用于松乳菇多糖中单糖组成分析。综合利用PMP衍生法和HPLC法进行分析,得出松乳菇多糖的单糖组成为D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和L-岩藻糖4种,其质量分数分别为3.21%、31.56%、43.66%和21.57%。

单糖组成作为多糖一级结构的重要信息,决定着多糖的空间高级结构,进而影响多糖的生物活性<sup>[20]</sup>。因而,多糖的单糖组成分析对多糖高级空间结构解析及构效关系评判具有重要的意义。本试验采用PMP柱前衍生HPLC法测定松乳菇多糖中单糖组成,有效克服了薄层色谱分析法灵敏度低、分离效果差和难以定量测定及气相色谱分析法操作

复杂和仪器设备要求严格等缺点<sup>[21-22]</sup>。此外,本研究结果还表明,鲜艳乳菇多糖为一种由D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖和L-岩藻糖4种单糖组成的杂多糖,其单糖组成与前人报道的凤尾菇、白黑菇和盾尖蚁巢伞等食用菌多糖的单糖组成具有相似性,暗示可能具有相似结构和生物活性<sup>[23]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 杨明毅,徐虹.松乳菇的研究与开发[J].中国野生植物资源,2001,20(2):29-30.
- [2] 敖常伟,惠明,李忠海,等.松乳菇营养成分分析及松乳菇多糖的提取分离[J].食品工业科技,2003,24(9):77-79.
- [3] 李河,周国英,兰贵红.松乳菇子实体多糖提取工艺及其组分的研究[J].食用菌学报,2007,14(3):58-61.
- [4] IKEKAWA T, UEHARA N, MAEDA Y, et al. Antitumor activity of aqueous extracts of edible mushrooms [J]. Cancer Research, 1969, 29(3): 734-735.
- [5] 刘苏,姜玥,罗建平,等.5种食用菌多糖理化性质及免疫活性的比较研究[J].食品科学,2015,36(13):252-256.
- [6] MENG X, LIANG H, LUO L. Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on the structural characteristics, antitumor mechanisms and immunomodulating activities[J]. Carbohydrate Research, 2016, 424: 30-41.
- [7] 龙凯,李东文,苏明声,等.桦褐孔菌菌质多糖改善 HepG2 细胞胰岛素抵抗作用的研究[J].食用菌学报,2017,24(4):39-43.
- [8] 廖国会,龙家寰,秦立新,等.松乳菇多糖提取工艺优化及抗氧化活性评价[J].食品工业科技,2018,4:129-136.
- [9] 钱叶,丁祥,曾益春,等.松乳菇多糖刺激免疫细胞增殖及诱导肿瘤细胞凋亡的研究[J].食品科学,2017,38(5):220-226.
- [10] DING X, HOU Y, HOU W. Structure feature and antitumor activity of a novel polysaccharide isolated from *Lactarius deliciosus* Gray[J]. Carbohydrate polymers, 2012, 89(2): 397-402.
- [11] 王贵春,陈雪峰,刘宁,等.柱前衍生化高效液相色谱法分析发菜胞外多糖的单糖组成[J].食品工业科技,2015,36(10):59-61.
- [12] 邓勇,张杰良,王兰英,等.薄层色谱法分析不同虫草多糖的单糖组成[J].药物分析杂志,2018,38(1):13-21.
- [13] 林勤保,蒋梅峰,杨春.气相色谱-质谱联用法测定大枣低聚糖的单糖组成[J].食品科学,2009,30(16):210-212.
- [14] 戴金凤,李磊.紫萁多糖单糖组成及摩尔比 GC 分析[J].江西农业大学学报,2001,23(4):492-494.
- [15] 付海宁,赵峡,于广利,等.盐藻多糖单糖组成分析的四种色谱方法比较[J].中国海洋药物,2008,27(4):30-34.
- [16] 许杜娟,夏泉,刘钢,等.高效液相法测定黄芪中性多糖的单糖组成[J].中国实验方剂学杂志,2008(9):4-6.
- [17] 孙志伟,刘凌君,户宝军,等.1-(2-萘基)-3-甲基-5-吡啶酮衍生试剂的制备及其在高效液相色谱-质谱法测定糖类化合物中的应用[J].色谱,2008,26(2):200-205.
- [18] XU Z, LI X, FENG S, et al. Characteristics and bioactivities of different molecular weight polysaccharides from camellia seed cake[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 1025-1032.
- [19] 王布雷,王玉洁,杨泽身,等.油橄榄叶多糖的体外抗氧化和抑菌活性分析[J].天然产物研究与开发,2016,28(8):1284-1288.
- [20] 张冀仲.多糖的结构与功能[J].生物学通报,1992(1):3-4.
- [21] 冯学珍,陈颖,伍善广.石莼多糖的单糖组成成分分析[J].食品工业科技,2014,35(7):91-94.
- [22] 陈传平,吴剑锋,陈乃东.金樱子多糖单糖组成的 TMS 柱前衍生化/GC-MS 研究[J].天然产物研究与开发,2017,12(29):2063-2067.
- [23] MAITY P, SEN I K, CHAKRABORTY I, et al. Biologically active polysaccharide from edible mushrooms: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 172: 408-417.