

不同产地桑黄粗多糖的功效成分和结构分析

蔡凤娇^{1,2}, 赵艳芸¹, 李玉飞¹, 刘皓¹, 何超³, 杜虎⁴, 汪江波^{1*}

(1. 湖北工业大学生命科学与健康工程学院, 湖北武汉 430068) (2. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430068) (3. 湖北毕圣泉酒业有限公司, 湖北黄冈 438000) (4. 湖北康磁酒业有限公司, 湖北黄冈 438000)

摘要: 为了对比分析不同产地(吉林、河北、云南、西藏)桑黄粗多糖的功效成分含量以及结构的差异, 采用水提醇沉法对桑黄提取得到粗多糖, 利用高效液相色谱、傅里叶红外光谱、紫外光谱等仪器手段对样品进行初步结构表征以及功效成分含量的对比。结果显示, 西藏桑黄粗多糖的功效成分含量最高, 其多糖、总酚、总黄酮、总三萜的含量分别为58.81%、11.11%、20.96%、4.49%; 其热稳定性最好, 热重分析后的残留量最高, 质量分数达40.40%。桑黄粗多糖的单糖组成主要为葡萄糖, 甘露糖, 半乳糖, 其多糖光谱中存在O-H、C-H等多糖特征峰, 即四种粗多糖中都存在酸性多糖, 且四种粗多糖的晶体状态无显著差异。该研究对比分析了四个产地的桑黄粗多糖, 发现西藏桑黄粗多糖的四种功效成分含量及热稳定性最高, 不同产地的桑黄粗多糖的化学成分以及结构有一定的差异, 该研究为不同产地的桑黄粗多糖的开发利用提供参考。

关键词: 桑黄粗多糖; 水提醇沉; 功效成分; 结构表征

文章编号: 1673-9078(2026)02-126-132

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.2.1605

Functional Components and Structural Characteristics of Crude Polysaccharides from *Phellinus igniarius* (Sanghuang) of Different Origins

CAI Fengjiao^{1,2}, ZHAO Yanyun¹, LI Yufei¹, LIU Hao¹, HE Chao³, DU Hu⁴, WANG Jiangbo^{1*}

(1.School of Life and Health Sciences, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China) (2.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430068, China) (3.Hubei Bishengquan Wine Industry Co. Ltd., Huanggang 438000, China) (4.Hubei Kangci Wine Industry Co. Ltd., Huanggang 438000, China)

Abstract: Crude polysaccharides from different origins differ in their functional component content and structure. This study compared and analyzed the differences in the functional component content and structural features of crude polysaccharides extracted from *Phellinus igniarius* collected from different regions (Jilin, Hebei, Yunnan, and Tibet). Crude polysaccharides were obtained from *P. igniarius* using water extraction and ethanol precipitation methods. Preliminary structural characterization and analysis of the functional component content were performed using high-performance liquid chromatography, Fourier-transform infrared spectroscopy, and ultraviolet-visible spectroscopy. The results showed that crude polysaccharides of *P. igniarius* from Tibet contained the highest levels of functional components with polysaccharide, total phenol, total flavonoid, and total triterpene contents of 58.81%, 11.11%, 20.96%, and 4.49%, respectively. These samples exhibited the greatest thermal stability, as indicated by the highest residual mass (mass fraction of 40.40%) obtained from thermogravimetric analysis. The crude polysaccharides of *P. igniarius* were

引文格式:

蔡凤娇,赵艳芸,李玉飞,等.不同产地桑黄粗多糖的功效成分和结构分析[J].现代食品科技,2026,42(2):126-132.

CAI Fengjiao, ZHAO Yanyun, LI Yufei, et al. Functional components and structural characteristics of crude polysaccharides from *Phellinus igniarius* (Sanghuang) of different origins [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(2): 126-132.

收稿日期: 2024-10-29 ; 修回日期: 2025-01-09 ; 接受日期: 2025-01-16

基金项目: 湖北省区域科技创新计划项目 (2023EGA122)、湖北省重点研发计划项目 (2021BGD016)

作者简介: 蔡凤娇 (1988-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 功能性食品研发, E-mail: caifengjiao0925@163.com

通讯作者: 汪江波 (1962-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 酿酒新技术及装备研发和传统发酵过程的现代化改造, E-mail: jb117@163.com

primarily composed of glucose, mannose, and galactose. Characteristic O-H and C-H peaks were observed in their spectra, indicating the presence of acidic polysaccharides in all four samples and revealing no significant differences in their crystalline structures. In summary, this study comparatively analyzed the crude polysaccharides of *P. igniarius* from four different origins, demonstrating that the Tibetan samples possessed the highest concentrations of the four functional components and the greatest thermal stability, while showing distinct variations in the chemical composition and structure of crude polysaccharides from different regions. These findings provide a valuable reference for the development and utilization of crude polysaccharides of *P. igniarius* from diverse regions.

Key words: crude polysaccharides; *Phellinus igniarius*; water extraction; ethanol precipitation; functional component; structural characterization

桑黄是一种生于桑树上的真菌，其子实体为木质，具有深色菌盖，马蹄状，外壳粗糙有纹路，内侧附着金黄色粉末。作为一种药用真菌，桑黄被世人熟知^[1]。桑黄在我国分布广泛，西藏、云南、山东、吉林、河北等地都有，其中西藏桑黄更受人们的喜爱。但是由于西藏野生桑黄的产量少，因此西藏桑黄的价格较高。

桑树桑黄的主要活性成分有多糖类、黄酮类、三萜类、香豆素、麦角甾醇类、芳香酸和多种氨基酸类^[2]，其中主要有效成分之一是桑黄多糖，具有抗炎、抗肿瘤、清除自由基等能力^[3]。随着医药行业的发展，桑黄多糖的开发和研究受到越来越多的重视。Jin等^[4]研究发现桑黄多糖（PIP）能抗肿瘤，可以显著抑制 HepG2 细胞生长，且会通过活性氧（ROS）介导的线粒体凋亡途径治疗肝癌。Zhu 等^[5]研究表明桑黄多糖促进免疫细胞增殖，可以增强小鼠的免疫力。由此，桑黄多糖可以表现出良好的生物活性，而多糖的生物活性与结构密切相关。

不同来源的桑黄多糖的结构存在一定差异^[6]。Liu 等^[7]以热水浸提法从桑黄菌丝体中提取到的桑黄多糖 IPS45-W，主要由甘露糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖和阿拉伯糖组成，通过红外光谱、热重分析和扫描电子显微镜对多糖进行了结构表征；Zhang 等^[8]以超声辅助热水提取法提取的桑黄多糖 PFSV-2，平均分子量为 20.38 kDa，通过高效液相色谱法确定其是由岩藻糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、木糖和甘露糖组成；有研究者^[9]对比了五种黑枣纯多糖（BJP）的结构特征以及体外抗氧化活性，这五种多糖的化学组成和结构特征都存在差异，抗氧化活性也不同，其中 BJP-3 的抗氧化活性最有效^[9]；Sheng 等^[10]对比了 4 个产地黄芪多糖 APSs 的结构，发现他们具有相同的糖苷键和单糖组成，其中内蒙古黄芪多糖的小分子糖含量较高，因此其抗氧化活性较好。不同来源和结构的多糖，其生物活性会有很大差异^[10,11]，因此深入全面的研究桑黄多糖具有非常重要的意义。

为此，本研究采用高效液相色谱仪、傅里叶红外光谱仪、紫外分光光度计等对样品进行功效成分含量

的测定以及结构分析，比较了不同产地的桑黄粗多糖的化学成分和结构特征，旨在为不同产地桑黄粗多糖的品质评价、质量控制以及桑黄粗多糖的开发利用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

桑黄（产地分别为：吉林长春，河北保定，云南文山，西藏林芝）；葡萄糖、福林酚、无水碳酸钠、苯酚、氢氧化钾、无水乙醇、浓硫酸、冰乙酸等常规试剂（分析纯），国药集团化学试剂有限公司；没食子酸、芦丁标准品、齐墩果酸标准品，自上海源叶生物有限公司。

1.2 仪器与设备

BJ-400T 多功能粉碎机，德清拜杰电器有限公司；VWR UV-1600PC 紫外可见分光光度计，美国 VWR 公司；DK-8D 恒温水浴锅，常州诺基仪器设备有限公司；AL 104 电子分析天平，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；Ultimate3000 高效液相色谱仪，赛默飞世尔科技（中国）有限公司；TGL-16M 立式冷冻离心机，常州市金坛高科仪器厂；TG16-WS 台式高速离心机，湖南湘仪实验仪器有限公司；RE-201D 旋转蒸发器，上海予申仪器有限公司；JSM6390LV 扫描电子显微镜，日本电子；Icolet iS10 傅里叶红外光谱仪，Thermofisher。

1.3 方法

1.3.1 桑黄粗多糖的制备

将桑黄切成 1 cm³ 的小块，置于破碎机中研碎成桑黄粉；取一定量的桑黄粉加入适量蒸馏水，于 60 ℃ 热水中浸提 2 h，然后过滤；将滤液进行旋蒸浓缩，取浓缩液体积四倍的乙醇溶液进行醇沉；4 ℃ 冰箱醇沉 12 h 后离心（8 000 r·min⁻¹，15 min），去上清，该步骤重复三次，最终取固形物进行冷冻干燥，得到桑黄粗多糖冻干粉。

1.3.2 桑黄化学组成的测定

1.3.2.1 糖含量

参照 GB/T 15672-2009《食用菌总糖含量测定方法》使用苯酚-硫酸法绘制标准回归曲线对桑黄中的糖含量进行测定,以葡萄糖质量浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)为横坐标,吸光度为纵坐标,做葡萄糖标准曲线方程为 $Y_1=0.0084X_1+0.0085$ ($R^2=0.9976$)。

1.3.2.2 总酚含量

参照付婷伟等^[12]的方法,使用福林酚法绘制标准回归曲线对桑黄中的总酚含量进行测定,以没食子酸标准溶液质量浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)为横坐标,吸光度为纵坐标,做没食子酸标准曲线方程为 $Y_2=0.0117X_2+0.0165$ ($R^2=0.9986$)。

1.3.2.3 总黄酮含量

参照宋吉玲等^[13]的方法,使用亚硝酸-硝酸铝法绘制标准回归曲线对桑黄中的总黄酮含量进行测定,以芦丁标准溶液质量浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)为横坐标,吸光度为纵坐标做芦丁标准曲线方程为 $Y_3=0.001X_3+0.0145$ ($R^2=0.9997$)。

1.3.2.4 总三萜含量

参照刘智慧等^[14]的方法,使用香草醛-高氯酸法绘制标准回归曲线对桑黄中的总三萜含量进行测定,以齐墩果酸标准溶液质量浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)为横坐标,吸光度为纵坐标做齐墩果酸标准曲线方程为 $Y_4=0.008X_4+0.0506$ ($R^2=0.9981$)。

1.3.3 桑黄粗多糖功效成分的测定

四种功效成分的测定参照 1.3.2。

1.3.4 单糖成分的测定

1.3.4.1 标准品衍生物的制备

称取甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、木糖、岩藻糖各 0.20 g,配制成 $0.20\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的单糖标准溶液,加 PMP-甲醇溶液 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 避光反应,二氯甲烷萃取三次后过 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 的滤膜,得到各标准品的衍生物。

1.3.4.2 多糖衍生物的制备

准确称取多糖 2 mg,加入 $4\text{ mL }2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 三氟乙酸,油浴锅中 $110\text{ }^\circ\text{C}$ 水解 2 h, $40\text{ }^\circ\text{C}$ 以内减压蒸干,蒸干后加甲醇复溶再次减压蒸干,重复 4~5 次。取水解后的糖溶液加 PMP-甲醇溶液 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 反应,二氯甲烷萃取后过 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 的滤膜,得到多糖样品的衍生物^[15,16]。

1.3.4.3 色谱条件

Thermo Hypersil GOLDTM C18 色谱柱 ($250\text{ mm}\times 4.6\text{ }\mu\text{m}$); 流动相 A 为 $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸铵,流动相 B 是乙腈,流动相 C 是水;柱温: $30\text{ }^\circ\text{C}$; 流量 $1.0\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; 进样方式: 自动进样; 进样量: $10\text{ }\mu\text{L}$;

运行时间: 45 min。

1.3.5 红外扫描分析

根据 Chen 等^[17]的方法进行轻微修改,四种桑黄粗多糖通过具有 ATR 附件的红外光谱仪进行测定,操作如下: 取适量冷冻干燥的桑黄粗多糖进行压片分析,在扫描范围 $4000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 内得到四种桑黄粗多糖的红外光谱图,其中分辨率为 4 cm^{-1} ,扫描次数为 64 次。

1.3.6 微观形态分析

使用扫描电子显微镜观测桑黄粗多糖冷冻干燥后的表面形态,操作时先在靶材上贴一层导电黏合剂,用牙签轻刮适量多糖粘于面上,吹去表面多糖,对其进行喷金处理,而后放入样品箱中,在 5 kV 加速电压下对桑黄粗多糖的外观形态进行观测,并拍照记录。

1.3.7 热重分析

使用热分析仪对桑黄粗多糖进行热重变化的测定,用以分析桑黄粗多糖的热稳定性。在氮气环境下,取 4 mg 样品在 $30\sim 600\text{ }^\circ\text{C}$ 温度范围内加热,加热速率为 $10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

1.3.8 X射线分析

称取桑黄粗多糖冻干粉进行测定,实验条件为: $\text{CuK}\alpha$ 射线, 40 kV 电压,起始角 30 ° ,终止角 80 ° ,扫描速度为 $2\text{ }^\circ/\text{min}$ 。

1.3.9 数据处理

利用 Excel 2016、Origin 2021 等统计分析软件对实验数据进行处理和作图分析,所有实验均为 3 次独立平行重复实验的结果。

2 结果与分析

2.1 四种桑黄功效成分的对比

桑黄中的主要活性成分有多糖、总酚、总黄酮、总三萜等,有研究表明^[18],桑黄的多糖、总酚、总黄酮和总三萜的含量分别为 0.59%、0.21%、0.11% 和 1.59%。对四种产地桑黄的功效成分进行分析,如表 1 所示,桑黄中的多糖是四种成分中含量最高的功效成分。其中西藏桑黄的多糖含量在四种产地的桑黄中最高,达 1.91%,其次是云南桑黄的糖含量,达 1.62%,而吉林桑黄的糖含量最低,仅有 1.09%;总酚含量较高的是西藏和吉林的桑黄,分别为 0.98% 和 0.89%;西藏桑黄的总黄酮含量最高,有 1.05%,是吉林和云南桑黄的两倍,是河北桑黄的三倍多;四种产地桑黄的总三萜含量相差不大,其中西藏桑黄的总三萜含量略高,有 0.36%。综上所述,西藏桑黄的功效成分含量最高。

表 1 不同产地的桑黄功效成分的含量 (%)

Table 1 The content of effective ingredients of *Phellinus igniarius* from different origins (%)

桑黄来源	多糖	总酚	总黄酮	总三萜
吉林	1.09±0.02 ^c	0.89±0.06 ^a	0.49±0.01 ^b	0.35±0.01 ^a
河北	1.37±0.03 ^{bc}	0.64±0.06 ^b	0.29±0.01 ^c	0.35±0.01 ^a
云南	1.62±0.07 ^{ab}	0.69±0.05 ^b	0.46±0.01 ^b	0.32±0.02 ^b
西藏	1.91±0.01 ^a	0.98±0.01 ^a	1.05±0.02 ^a	0.36±0.01 ^a

注：同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($P<0.05$)。

2.2 四种桑黄粗多糖功效成分的对比

桑黄粗多糖中除多糖外，仍存在其他功效成分，有研究表明^[19]，桑黄粗多糖的总糖、总酚、总黄酮和总三萜的含量分别为 38.73%、0.21%、0.11% 和 1.59%。对四种产地桑黄中提取的粗多糖进行功效成分含量的分析，由表 2 可知，西藏桑黄粗多糖的多糖含量在四种桑黄粗多糖中最高，质量分数达 58.81%，其次是云南桑黄粗多糖，含量最低的是吉林桑黄粗多糖，只有 37.69%；西藏桑黄粗多糖中的总酚和总黄酮含量也较其他三种桑黄粗多糖的高，分别达 11.11% 和 20.96%，而四种桑黄粗多糖中总三萜的含量相差不大。综上，西藏桑黄粗多糖的功效成分含量在四种桑黄多糖中最高。

表 2 不同产地的桑黄粗多糖功效成分的含量 (%)

Table 2 The content of effective ingredients of crude polysaccharide of *Phellinus igniarius* from different origins (%)

桑黄来源	多糖	总酚	总黄酮	总三萜
吉林	37.69 ± 2.19 ^c	3.49 ± 0.06 ^b	8.88 ± 0.37 ^b	3.51 ± 0.07 ^b
河北	45.42 ± 1.01 ^b	2.68 ± 0.05 ^b	6.64 ± 0.01 ^c	3.35 ± 0.16 ^b
云南	55.76 ± 0.08 ^a	3.28 ± 0.39 ^b	8.18 ± 0.11 ^b	4.44 ± 0.14 ^a
西藏	58.81 ± 0.08 ^a	11.11 ± 1.69 ^a	20.96 ± 0.74 ^a	4.49 ± 0.04 ^a

注：同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($P<0.05$)。

2.3 四种桑黄粗多糖的单糖组成分析

通过离子色谱法测定四种桑黄粗多糖的单糖组成，Yuan 等^[20]从桑黄中分离到一种杂多糖，发现其主要是由甘露糖、葡萄糖和半乳糖组成的。如表 3 所示，桑黄粗多糖是以葡萄糖为主的多糖，含有少量甘露糖，半乳糖，鼠李糖。由表 3 可知，吉林和西藏桑黄粗多糖中还含有木糖成分，且四种桑黄粗多糖的单糖含量有所不同，即不同产地的桑黄粗多糖的单糖组成和含量都有所差异。齐慧等^[17]对比破壁后与未

破壁的灵芝孢子，发现他们的单糖组成无显著差异，但破壁后的单糖含量升高，抗氧化能力更强。因此多糖的单糖组成和含量不同，其活性和功效成分也会有差别。

表 3 不同产地的桑黄粗多糖的单糖组成

Table 3 The monosaccharide composition of crude polysaccharide of *Phellinus igniarius* from different origins

多糖	单糖组成
吉林桑黄粗多糖	甘露糖：鼠李糖：葡萄糖：半乳糖：木糖 = 2.15:0.51:4.24:2.83:0.27
河北桑黄粗多糖	甘露糖：鼠李糖：葡萄糖：半乳糖 = 0.89:0.24:7.35:1.51
云南桑黄粗多糖	甘露糖：鼠李糖：葡萄糖：半乳糖 = 1.30:0.20:6.76:1.74
西藏桑黄粗多糖	甘露糖：鼠李糖：葡萄糖：半乳糖：木糖 = 0.90:0.02:4.63:1.34:3.12

2.4 四种桑黄粗多糖的傅里叶红外光谱分析

四种桑黄粗多糖的红外光谱如图 1 所示。桑黄粗多糖在 3 350 cm^{-1} 处出现宽峰，这是 O-H 伸缩振动的特征吸收峰，在 2 924 cm^{-1} 处是 C-H 伸缩振动峰，这说明这四种物质都具有多糖特征峰^[21]；1 626 cm^{-1} 是羰基的 C=O 伸缩振动^[22]；1 409 cm^{-1} 是 -COOH 的伸缩振动峰，1 307 cm^{-1} 是 C-H 弯曲振动吸收峰^[23]；1 024 cm^{-1} 是 C-O-C 伸缩振动峰值。

红外检测发现这四种多糖结构没有太大差别，四种粗多糖都具有多糖特征峰，桑黄粗多糖中均含有羧基基团，证明其中含有一定量糖醛酸，即这四种粗多糖中都存在酸性多糖。

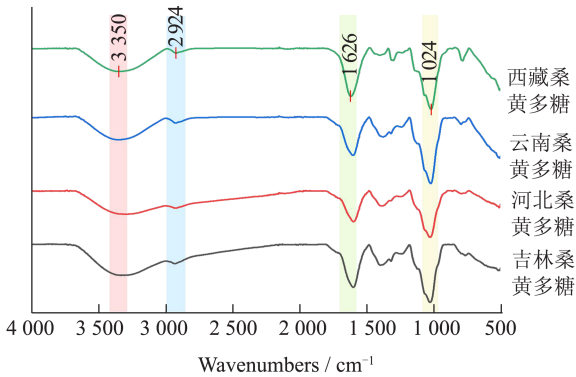


图 1 不同产地的桑黄粗多糖傅里叶变换红外光谱图

Fig.1 FT-IR spectra of crude polysaccharide of *Phellinus igniarius* from different origins

2.5 四种桑黄粗多糖的扫描电镜分析

扫描电镜图像为多糖的不同形态特征提供了直观的证据。通过扫描电镜 (SEM) 观察到四种不同产地的桑黄粗多糖的表面形态，如图 2 所示，四种桑黄粗

多糖在大小及形态上有所差异。放大 500 倍可看到四种桑黄粗多糖均为表面粗糙且不规则的块状，放大 2 000 倍可观察到吉林桑黄粗多糖为不规则块状，河北桑黄粗多糖为不规则晶体状，且表面有许多孔隙，而云南桑黄粗多糖呈不规则岩石状，西藏桑黄粗多糖为堆叠状且孔隙与河北桑黄多糖一般大；放大 5 000 倍可以观察到，吉林桑黄粗多糖为颗粒状，河北桑黄粗多糖为不规则球状或杆状，堆叠在一起，有明显间隙，云南桑黄粗多糖表面粗糙有不规则结晶状凸起，可能是多糖晶体结构，西藏桑黄粗多糖不规则球状，堆叠在一起，有明显间隙。由图可知，不同产地的桑黄提取的粗多糖在形态上明显差异。通过扫描电镜观察到的多糖形态差异可能是由于四种多糖不同的化学成分、分子大小以及结构有关^[24]。

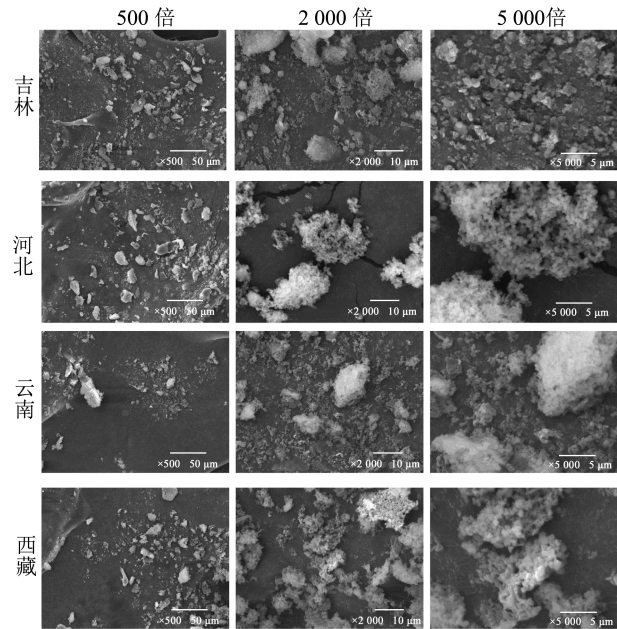
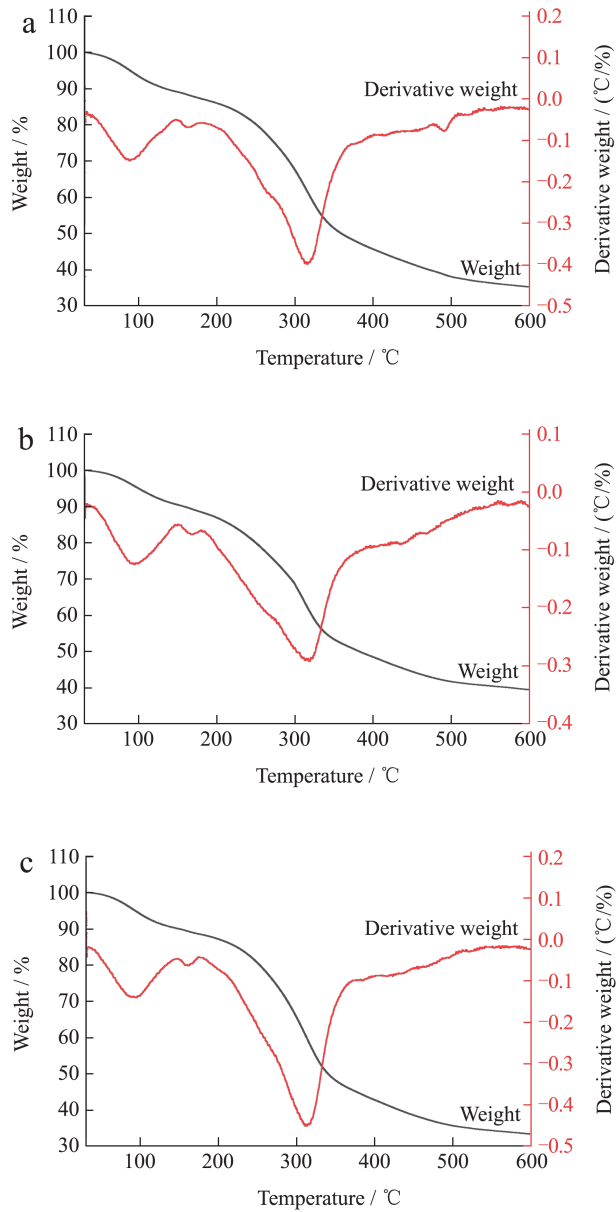


图 2 不同产地桑黄粗多糖的扫描电子显微镜图
Fig.2 SEM image of crude polysaccharide of *Phellinus igniarius* from different origins

2.6 四种桑黄粗多糖的热重分析

不同产地的桑黄粗多糖具有不同的热稳定性，结合图 3 和表 4 可知，四种桑黄粗多糖均发生了三次失重过程，第一阶段是从 30 ℃升温到 160 ℃左右的过程，四种桑黄粗多糖的损失率大约为 10%，其中吉林和西藏桑黄多糖的质量损失大于其他两种多糖，这说明河北和云南桑黄多糖分子中的自由水和结合水较多^[25]；第二阶段是从 160 ℃升温至 350 ℃，四种桑黄粗多糖

的损失率大约为 45%，这一阶段多糖损失率明显，其中云南桑黄多糖质量损失最大，达 52.37%，河北桑黄多糖质量损失最小，只有 44.22%，这是由于这一阶段中，多糖发生了热分解反应，温度升高使得糖苷键断裂，因此多糖分子分解成气态或固态焦化物^[26,27]，质量减少；第三阶段为 350 ℃至 600 ℃，在此阶段中，四种多糖损失较少，损失率变化较平稳。结果显示西藏桑黄粗多糖的残留量最多，有 40.40%，即西藏桑黄粗多糖质量损失最少，因此其热稳定性最好，其次是吉林桑黄多糖和河北桑黄多糖，热稳定性最差的是云南桑黄多糖。



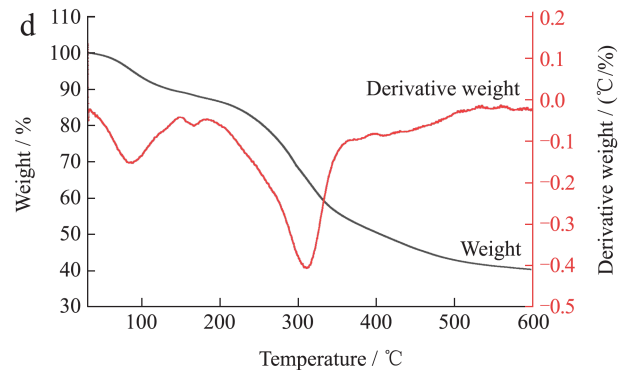


图 3 不同产地桑黄粗多糖的热重曲线图

Fig.3 TGA curves of crude polysaccharide of *Phellinus igniarius* from different origins

注：a~d 分别为吉林、河北、云南、西藏桑黄粗多糖的热重曲线图。

2.7 四种桑黄粗多糖的X射线衍射测定分析

采用 XRD 可以通过衍射峰的宽窄和大小检测多糖的结晶类型，其中宽峰表示非晶体状态，窄峰表示

的是晶体状态^[28]。由图 4 可知，四种粗多糖样品均在 10°(2θ) 和 22°(2θ) 附近均有宽衍射峰，且大部分都是无定形态；在 32°(2θ) 有少量峰值较小的尖峰出现，这说明桑黄粗多糖中存在小部分晶体聚合物。综合分析，四种桑黄粗多糖是以结晶态聚合物和非结晶态聚合物的形式^[27]共存的。

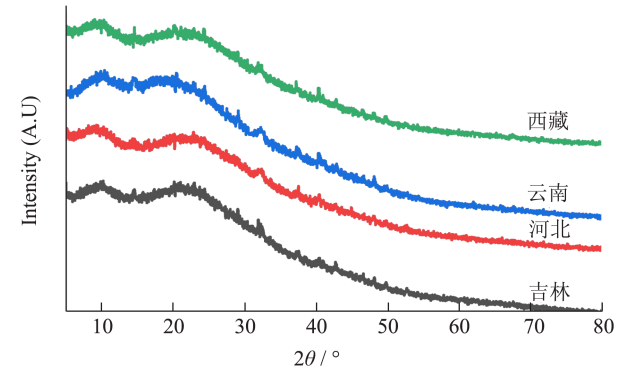


图 4 不同产地桑黄粗多糖的 X 射线衍射图

Fig.4 XRD of crude polysaccharide of *Phellinus igniarius* from different origins

表 4 不同产地的桑黄粗多糖的热重分析表

Table 4 The thermogravimetric analysis table of crude polysaccharide of <i>Phellinus igniarius</i> from different origin							
桑黄多糖	第一阶段		第二阶段		第三阶段		残留量/%
	降解速率/(%/min)	质量损失/%	降解速率/(%/min)	质量损失/%	降解速率/(%/min)	质量损失/%	
吉林	0.87	12.31	2.04	49.00	0.14	3.16	35.53
河北	0.79	9.78	1.74	44.22	0.28	6.54	39.46
云南	0.82	10.62	2.15	52.37	0.15	3.49	33.52
西藏	0.85	11.70	1.93	45.80	0.09	2.10	40.40

3 结论

本研究对四种产地的桑黄粗多糖的功效成分和结构进行了对比和分析。结果表明：西藏桑黄粗多糖中的多糖、总酚、总黄酮和总三萜的含量分别为 58.81%、11.11%、20.96% 和 4.49%，均显著高于其他三种粗多糖；西藏桑黄粗多糖的热稳定性最高，热重分析后残留量达 40.40%，其次是吉林和河北桑黄的多糖，云南桑黄多糖热稳定性最差，残留量只有 33.52%。四种桑黄粗多糖均主要由葡萄糖，甘露糖和半乳糖组成，都存在酸性多糖，其晶体状态无显著差异。综上所述，不同产地桑黄粗多糖的功效成分和结构有所差异，这为后续桑黄粗多糖的开发利用提供了理论基础。

参考文献

[1] LUAN F, PENG X, ZHAO G, et al. Structural diversity and

bioactivity of polysaccharides from medicinal mushroom *Phellinus* spp: A review [J]. Food Chemistry, 2022, 397: 133731.

[2] 张俊,孙小武,颜新培,等.不同来源和采收时期桑黄子实体的主要活性成分含量比较[J].蚕业科学,2021,47(6):7.

[3] 赵立磊.桑黄多糖在对乙酰氨基酚诱导急性肝损伤中的保护作用研究[D].长春:吉林大学,2023.

[4] JIN X, CHEN N G, ZHANG T S, et al. *Phellinus igniarius* polysaccharides induced mitochondrial apoptosis of hepatic carcinoma by enhancing reactive oxygen species-mediated AKT/p53 signaling pathways [J]. Natural Product Research, 2024, 38(10): 1748-1752.

[5] ZHU X Y, GUO R R, SU X Y, et al. Immune-enhancing activity of polysaccharides and flavonoids derived from *Phellinus igniarius* YASH1 [J]. Frontiers in Pharmacology, 2023, 14: 1124607.

[6] 程亚楠,张金华,田胜兰,等.不同来源多花黄精多糖的结构特性及抗氧化活性比较[J].现代食品科技,2023,39(7):145-153.

[7] LIU J Z, SONG J Y, GAO F S, et al. Extraction, purification, and structural characterization of polysaccharides from *Sanghuangporus vaninii* with anti-inflammatory activity [J]. Molecules, 2023, 28(16): 6081.

- [8] ZHANG Z F, SONG T T, CHEN J F, et al. Recovery of a hypolipidemic polysaccharide from artificially cultivated *Sanghuangporus vaninii* with an effective method [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2023, 9: 1095556.
- [9] YUAN L L, QIU Z C, YANG Y M, et al. Preparation, structural characterization and antioxidant activity of water-soluble polysaccharides and purified fractions from blackened jujube by an activity-oriented approach [J]. *Food Chemistry*, 2022, 385: 132637.
- [10] SHENG Z L, LIU J M, YANG B. Structure differences of water soluble polysaccharides in *Astragalus membranaceus* induced by origin and their bioactivity [J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1755.
- [11] YE S Y, GAO Y, HU X Y, et al. Research progress and future development potential of *Flammulina velutipes* polysaccharides in the preparation process, structure analysis, biology, and pharmacology: A review [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 267(P1): 131467.
- [12] 付婷伟,周紫薇,邵颖,等.桑黄总黄酮的提取、组分分析及其生物活性评价[J].食品工业科技,2024,45(7):191-200.
- [13] 宋吉玲,陆娜,闫静,等.桑枝屑对瓦尼桑黄主要活性成分含量和体外抗氧化活性的影响[J].菌物学报,2023,42(4):949-960.
- [14] 刘智慧,何宏魁,曹润洁,等.灵芝及其制品中总三萜含量检测方法条件的优化及其验证[J].酿酒,2022,49(3):72-75.
- [15] 刘利娜.桑黄多糖分离纯化、结构表征及其活性研究[D].合肥:安徽中医药大学,2023.
- [16] 齐慧,武小芬,刘安,等.破壁前后灵芝孢子粗多糖含量、结构及单糖组成对比分析[J].食品研究与开发,2024,45(18):15-22.
- [17] CHEN Z, ZHANG W, TANG X, et al. Extraction and characterization of polysaccharides from *Semen cassiae* by microwave-assisted aqueous two-phase extraction coupled with spectroscopy and HPLC [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 144: 263-270.
- [18] 刘锦程.桑黄多糖提取工艺优化及其复合咀嚼片的研制[D].泰安:山东农业大学,2023.
- [19] 刘梦凡,殷朝敏,张琪,等.比较3种杨树桑黄提取物体外抗氧化、降血糖和抑菌活性[J].食品安全质量检测学报,2024,15(3):18-25.
- [20] YUAN Q, ZHAO L, LI Z, et al. Physicochemical analysis, structural elucidation and bioactivities of a high-molecular-weight polysaccharide from *Phellinus igniarius* mycelia [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 120(Pt B): 1855-1864.
- [21] LI S, HU N N, ZHU J Y, et al. Influence of modification methods on physicochemical and structural properties of soluble dietary fiber from corn bran [J]. *Food Chemistry: X*, 2022, 14: 100298.
- [22] 杨艳君,李畅,陈菲菲,等.淫羊藿多糖组成分析及其免疫调节作用研究[J].中国中药杂志,2022,47(16):4358-4364.
- [23] LIU D, TANG W, YIN J Y, et al. Monosaccharide composition analysis of polysaccharides from natural sources: Hydrolysis condition and detection method development [J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 116: 106641.
- [24] 屈雅宁,许梦粤,李慧,等.干酪乳杆菌发酵豆粉粗多糖结构特征与抗氧化活性[J].中国食品学报,2024,24(8):112-121.
- [25] CAO B, SUN Y K, YUAN J P, et al. Co-pyrolysis characteristics of polysaccharides-cellulose and the co-pyrolyzed compound distributions over two kinds of zeolite catalysts [J]. *International Journal of Energy Research*, 2020, 44(8): 6350-6362.
- [26] 钟思彦,邹波,吴继军,等.黄皮多糖结构表征及抗氧化与益生活性研究[J].食品与发酵工业,2025,51(3):234-242.
- [27] LIU J, ZOU J B, WANG J Y, et al. Extraction, purification, structural features, and pharmacological properties of polysaccharides from *Houttuynia cordata*: A review [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 279(P2): 135230.
- [28] LIU S, NIU L Y, TU J, et al. The alleviative effect of curdlan on the quality deterioration of konjac glucomannan thermo-irreversible gels after commercial sterilization at 121 °C [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 238: 124134.