

金耳多糖的研究进展

孙涛¹, 姜浩¹, 王燕玲¹, 王诗雨¹, 彭雯杰¹, 雷鹏^{1*}, 王瑞¹,
徐虹¹, 李莎¹, 孙达锋²

(¹南京工业大学食品与轻工学院 南京 211816

²中华全国供销合作总社昆明食用菌研究所 昆明 650032)

摘要 金耳是我国特有的一种稀有银耳目胶体食用菌,因优异的营养价值和生物活性而常被用作传统药物和食品。多糖是金耳的主要活性成分。研究表明,金耳多糖具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、抗高血脂症、抗糖尿病和免疫调节等多种功能。本文综述金耳多糖的制备、结构特征和生物活性以及工业应用等方面的研究进展,旨在为深入研究其抗衰老功效,开发为天然食品、功能食品提供理论参考。

关键词 金耳多糖;提取制备;结构特征;生物活性;应用开发

文章编号 1009-7848(2022)08-0386-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.08.041

金耳(*Naematelia aurantialba*)是担子菌门银耳目耳包革属的一种胶体食用菌^[1-2]。它是一种稀有的食用菌,因其良好的营养价值和生物活性,故在我国常被用作传统医药和食品^[3]。多糖是金耳中的主要活性成分之一。现已证明,金耳多糖(*Naematelia aurantialba* polysaccharide)具有多种功能,包括抗氧化、抗炎、抗肿瘤、降血脂、抗糖尿病和免疫调节等^[4]。许多研究者采用不同的方法制备金耳多糖,以提高其应用价值。不同来源(金耳子实体、菌丝体发酵液、孢子发酵液)、不同提取方法(热水提取、超声提取、酶提取等方法)制备的金耳多糖的化学组成、结构及生物活性具有一定差异。本文阐述金耳多糖的制备、结构特征、生物活性以及工业应用等方面的研究进展,为金耳多糖的进一步开发提供参考。

1 金耳多糖的制备

1.1 金耳多糖的提取

获得金耳多糖的途径大致包括 3 种:1) 从天然或者人工栽培的金耳子实体中提取,2) 从发酵

培养的菌丝体或发酵液中提取,3) 从发酵培养的金耳孢子发酵液中提取。目前,担子菌多糖的提取方法有溶液浸提法、酶解提取法、超声提取法、微波提取法、超临界萃取法以及多方法联合^[5-6]。从原理上说,以上方法均适用于金耳多糖的提取。然而,现有的金耳多糖的提取方法较为局限,主要采用以下 3 种方法:水提取法、超声波提取法和酶解法。

1.1.1 子实体提取途径 金耳子实体是由金耳寄生于毛韧革菌(*Stereum hirsutum*)而形成的,野生金耳生长在高山栎或高山刺栎等树干上,由于人类的大肆采集和生长环境恶劣造成野生金耳资源的匮乏。近年来,刘正南等^[7]将目光放在了人工栽培金耳的方向上,通过解决金耳生长困难的两个因素(其一是生长因子——金耳伴生菌,其二是其生存环境——高山栎),成功完成了金耳的引种驯化。在此基础上,不同研究者使用不同的提取方法并对金耳子实体多糖的提取工艺进行了优化(表 1)。

水提取法作为一种传统的食用菌多糖提取方法,由于其具有操作简单、所需设备少等优点成为了提取金耳多糖(包括子实体多糖和菌丝体多糖)最常见的方法,然而,其存在处理时间较长、能耗高和操作温度高等问题。高观世等^[8]采用热水浸提法对子实体进行处理并通过正交试验优化了提取工艺,最终金耳多糖的得率为 26.19%,最优条件

收稿日期:2021-08-31

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2021YFC2101700);国家级大学生创新创业训练计划项目(202110291042z)

作者简介:孙涛(1996—),男,博士生

通信作者:雷鹏 E-mail: lei-peng@njtech.edu.cn

为热水浸提 1.1 h, 温度 100 ℃, 浸提 3 次, 料液比 1:40。

超声波法是一种提取食用菌多糖的新型方法, 该方法提取金耳多糖的原理是利用超声波的空化效应释放大量能量从而产生的高剪切力使得金耳细胞壁破裂, 最终提高金耳多糖提取产率和效率。然而, 该方法存在 2 个问题: 1) 超声波辅助提取期间的升温难以监控, 这可能导致结果重现性低。2) 超声波处理会降低金耳多糖的分子质量和破坏多糖的三维分子结构从而改变金耳多糖的生物活性。钟姝霞等^[9]采用超声提取法对金耳子实体进行处理并通过正交试验优化了超声波浸提温度与超声波浸提功率, 最终金耳多糖的得率为 17.36%, 提取条件为超声波处理 30 min, 超声波处理功率 400 W, 浸提时间 30 min, 浸提温度 70 ℃, 料液比为 1:80。

金耳子实体生长于树木上, 其子实体上含有大量的纤维素及果胶, 利用纤维素酶、果胶酶等酶可以裂解细胞使得金耳多糖被释放出来。该技术

具有操作简便、特异性高、环保、高效、低能耗、操作温度低等优点。通常不破坏多糖的三维分子结构, 从而有助于维持其生物活性。然而, 高成本是酶提取法的主要缺点之一。此外, 由于酶活性会受到多个因素的影响, 如温度、溶解氧、金属离子等, 因此该方法在规模化工业生产中的应用具有很大局限性。游金坤等^[10]采用酶法处理金耳子实体并通过响应面试验优化了提取方法, 最终金耳多糖的得率为 (12.69±0.52)%, 最优条件为复合酶(果胶酶和纤维素酶)添加量 20.50 mg/g, 液料比 347:1, 提取温度 52 ℃, 提取时间 52 min。

同样由于天然或者人工栽培的金耳子实体资源的匮乏, 使得相关研究人员较少, 从而导致金耳多糖提取方法较为局限, 未涉及到一些更加高效、智能化的现代新兴技术, 如微波辅助提取法、亚临界水提取法、三相提取法、脉冲电场辅助提取法、纳米颗粒研磨提取法和高压匀浆提取法等。寻找一种或者几种从金耳子实体中获取金耳多糖的高效新兴提取方法仍然十分重要。

表 1 金耳子实体多糖的提取方法

Table 1 Extraction method of polysaccharides from *N. aurantialba* fruiting body

提取方法	考察方式	考察因素	最佳提取工艺	提取率/%	参考文献
水浸提法	-	-	1:20, 沸水 4 h, 3 次	-	[11]
	-	-	100 ℃, 10 h	8.00	[12]
	单因素实验	溶剂性质(酸碱性和)、提取次数	1:20, 沸水, 3 次	20.64	[13]
	单因素实验结合正交试验	料液比、提取次数	100 ℃, 1:40, 1.1 h, 3 次	26.19	[8]
超声提取法	响应面法	料液比、浸提温度、浸提时间	1:41, 60 ℃, 3 h	7.90	[14]
	单因素实验结合正交试验	料液比、超声功率、超声时间、浸提时间、提取温度	1:80, 400 W, 30 min, 30 min, 70 ℃	17.36	[9]
酶法	正交试验	酶种类、酶加量、酶解温度、酶解时间	果胶酶, 10%, 50 ℃, 3 h	4.60	[15]
	响应面法	果胶酶及纤维素酶复合酶添加量、提取液料比、提取温度、提取时间	20.50 mg/g, 347:1, 52 ℃, 52 min	12.69	[10]

1.1.2 菌丝体深层发酵途径 深层液体发酵技术常被用于蘑菇类真菌的研究^[16-17]。深层发酵技术培养的菌丝体较人工栽培的子实体, 具有周期短、不受季节限制、便于工业化等优点^[18-20], 金耳菌丝体液体深层发酵技术具有良好的发展前景。一些研究者在菌丝体深层发酵制备金耳多糖方向做出了

一些工作, 致力于探索最佳发酵优化条件和提取条件。邓超等^[21]以马铃薯、葡萄糖为发酵培养基, 在培养 14 d 后通过离心、醇沉、复溶、除蛋白、醇沉、冷冻干燥后得到了 66 mg/L 的金耳多糖。董昌金^[22]优化了发酵培养基的配方, 发现金耳菌丝体液体深层发酵最适碳源为玉米粉, 最适氮源为蛋

白脉。在此条件下,通过碱提取法得到了 3.136 g/L 的金耳多糖。菌丝体发酵是混菌的形式,很难分离出纯的金耳菌丝,这会造成发酵过程不稳定,产物结构不稳定等现象。

1.1.3 孢子发酵途径 银耳纲食用菌能够产生类似酵母的担孢子,无共生真菌存在时,孢子不会发育成菌丝,而是像酵母一样通过出芽的方式增殖,相较于传统食用菌的菌丝体发酵更容易调控,这也是一种大规模制备食用菌多糖的策略^[23-24]。目前,这一策略已被应用于银耳多糖的生产^[25-26]。金耳孢子的深层液体发酵技术是生产有价值的胞外多糖的一种稳定并且有效的替代方法。柴红梅等^[27]首次将金耳孢子应用于金耳多糖的发酵以及提取,以玉米粉、白糖、黄豆粉为培养基,最终经过发酵得到了 14.3 g/L 的多糖。蒋益等^[28]采用低能 N 离子诱变法得到了一株突变的金耳孢子,在 25 ℃ 下培养 5 d 得到 2.7 g/L 的金耳多糖。Sun 等^[24]在 7.5 L 的发酵罐中,以 40 g/L 葡萄糖和稀释了 10 倍的豆腐废水作为培养基,得到了最大产量为

(15.02±0.40) g/L 的金耳多糖,这意味着孢子发酵法制取金耳多糖有非常乐观的工业化前景。

1.2 金耳多糖的分离纯化

上述方法处理金耳子实体、菌丝体和孢子发酵液所获得的多糖为粗多糖,其中会存在蛋白质、色素、脂质、无机盐、单糖、氨基酸等化合物^[6]。由于这些化合物会对金耳多糖后续的结构解析、生物活性研究造成影响,因此,粗多糖的分离纯化工艺是提高多糖纯度的关键步骤。多糖常用分离纯化方法及其特点如表 2 所示。过氧化氢法和 Sevag 法分别是粗多糖脱色和脱蛋白最常用的化学方法^[25]。之后,可使用冻融、沉淀、超滤或柱层析等方法进一步纯化多糖。在这些纯化方法中,柱色谱由于成本低和效率高,成为最常用的方法^[29]。多糖可首先通过基于不同离子性质的阴离子交换色谱分离,并根据不同分子质量通过凝胶过滤色谱进一步纯化,获得具有相同聚合度和空间构象的单一多糖组分^[30]。

表 2 多糖常用分离纯化方法及其特点

Table 2 Common separation and purification methods of polysaccharides and its characteristics

分离纯化步骤	方法	原理	优点	缺点
脱色	H ₂ O ₂ 法	色素被 H ₂ O ₂ 氧化	脱色率高、方法简单	易造成多糖的水解,使生物活性降低
	透析法	半渗透膜的弥散和渗透	条件温和、能耗低、效率高且可去除单糖	透析膜易破损
	超滤法	利用微孔滤膜对色素进行过滤	条件温和、高效分离	孔径小,易堵塞,不易清洗
	活性炭法	具有多孔立体结构	操作简易	多糖损失量大
除蛋白	Sevage 法	蛋白质在有机溶剂中形成不可逆沉淀	反应温和、对多糖结构影响不大	效率低
	酶法	蛋白质被蛋白酶催化降解	环保、易操作	酶成本高
	超滤法	利用微孔滤膜对蛋白质进行过滤	条件温和、高效分离	孔径小,易堵塞,不易清洗
	三氯乙酸法	蛋白质在有机酸中形成不可逆沉淀	操作简单、效率较高	多糖结构被破坏
	吸附大孔树脂	具有多孔立体结构、比表面积大	吸附能力强、方便操作	残留物高,预处理难度大

金耳多糖分离纯化工艺总结见表 3。刘春卉等^[11]使用 H₂O₂ 法结合透析法对金耳多糖进行脱色处理,随后进一步使用 Sevage 法脱蛋白,最后使用 Sephadex G-100 得到了精制金耳多糖 TAF1、

TAF2。李卫旗等^[31]采用蛋白酶和 Sevage 法脱蛋白、苯酚脱色获得了多糖半纯品,而后使用 Sephadex G-200 得到了均一组分多糖 JP-1 和 JP-2。Du 等^[32]使用超滤膜一步完成了脱色和除蛋白步骤,依次

将金耳多糖经过 DEAE-Sephrose 和 Sephacryl S-500 柱层析得到了 5 个组分均一的金耳多糖, 分别是 TAPA、TAPB、TAPC、TAPD 和 TAPE。郑俊丽^[33]在使用醇沉法得到粗多糖后, 将粗多糖通过 D101 大孔树脂脱色, 通过 DEAE FF 16/10 阴离子交换层析和 Sephacryl S-400 HR 凝胶层析得

到不同组分均一纯多糖 TAP-1、TAP-2、TAP-3。

不同的分离纯化方法会对金耳多糖的结构解析以及其生物活性造成很大的影响, 优化并建立不同来源金耳多糖的提取分离及其纯化的方法库是一个急需解决的问题。

表 3 金耳多糖的分离纯化方法

Table 3 Separation and purification of *N. aurantialba* polysaccharide

多糖来源	分离纯化步骤			多糖组分	参考文献
	脱色	除蛋白	柱色谱		
子实体	H ₂ O ₂ 法、透析法	Sevage 法	Sephadex G-100	TAF1、TAF2	[11]
子实体	-	酶法、Sevage 法	Sepharose 4B	峰 A、峰 B	[12]
子实体	苯酚脱色	酶法、Sevage 法	Sephadex G-200	JP-1、JP-2	[31]
子实体	超滤法	超滤法	DEAE-Sephrose、 Sephacryl S-500	TAPA、TAPB、TAPC、TAPD、 TAPE	[32]
子实体	-	-	DEAE Sepharose	TAP-1、TAP-2、TAP-3	[34]
菌丝体发酵液	H ₂ O ₂ 法、透析法	Sevage 法	Sephadex G-100	TAF1、TAF2	[11]
菌丝体发酵液	-	Sevage 法	-	CLQP	[21]
菌丝体发酵液	大孔树脂吸附法	Sevage 法	DEAE FF 16/10、 Sephacryl S-400 HR	TAP-1、TAP-2、TAP-3	[33]
孢子发酵液	透析法	Sevage 法	-	TAPS	[24]

2 金耳多糖的结构特征

担子菌多糖是一种结构复杂的天然高分子物质, 其活性会受结构的影响, 且据报道不同来源、不同提取方法以及不同提取条件都会造成多糖结构的差异, 从而影响其生物活性^[35-36]。一般来说, 多糖的结构表征需要明确多糖的分子质量、单糖组成、糖苷键类型以及糖残基的连接顺序^[37]。这些特征可以通过一些先进的分析仪器结合现代分析方法来确定, 包括气相色谱 (GC)、高效液相色谱 (HPLC)、傅里叶变换红外光谱 (FT-IR)、紫外分析、核磁共振 (NMR)、原子力显微镜 (AFM) 和扫描电镜 (SEM) 等^[38]。不同来源的金耳多糖结构特征见表 4。

刘春卉等^[11]采用了薄层层析、柱层析和 FT-IR 法初步探究了子实体多糖的多糖组成。薄层层析结果表明, 子实体多糖由木糖、甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、葡萄糖醛酸等单糖组成; Sephadex G-100 柱层析的结果表明, 金耳多糖的分子质量范围为 $3.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$ u; FT-IR 的结果表明金耳多糖存

在吡喃环, α -(1 \rightarrow 3) 和 β -糖苷键。Du 等^[32, 39-40]采用 FT-IR 和 NMR 分别探究了两种均一组分 (TAPA1 和 TAPB1) 的金耳多糖的多糖结构。结果表明两种多糖在单糖种类保持一致, 均含有甘露糖、木糖和葡萄糖醛酸, 然而在单糖比例上有所区别。在糖苷键的连接方式上, 两种多糖的主要连接方式都为 α -(1 \rightarrow 3)-甘露糖。由于金耳多糖的分子质量过大, 导致结构难以解析, Yuan 等^[34]使用自由基对金耳多糖进行解聚处理得到低分子质量的金耳多糖, 然后运用 NMR 技术对低分子质量的金耳多糖的结构进行了详细地解析。结果显示, 金耳多糖主链的连接方式为 α -(1 \rightarrow 3)-甘露糖- α -(1 \rightarrow 2), 侧链由 β -木糖和 β -葡萄糖醛酸形成的链连接到 α -甘露糖的 C-2 位置, 乙酰基连接到甘露糖的第 6 个羟基位置。

从表 4 中可以发现一个有意思的现象, 来源于金耳子实体和孢子发酵液的金耳多糖其主要单糖组成主要为木糖、甘露糖和葡萄糖醛酸, 而来源于金耳菌丝体的多糖其主要单糖组成和上述两种

不一致且自身有无规律可言,这是因为菌丝体发酵是混菌的形式很难分离出纯的金耳菌丝,会造成发酵过程不稳定,产物结构不稳定。综上所述,来源于金耳孢子的发酵型金耳发酵多糖更有替代金耳子实体提取型金耳多糖的潜力。

目前对金耳多糖的分子质量、单糖组成、糖苷键连接方式等结构的研究结果存在差异,这可能是由于多种因素影响造成的,如多糖来源、子实体产地、样品生长状态、提取方法、分离纯化方法等。

表4 不同来源的金耳多糖的结构特征

Table 4 Structural features of *N. aurantialba* polysaccharide from different sources

多糖来源	提取方法	分子质量/u	单糖组成(物质的量比)	糖苷键连接方式	参考文献
子实体	热水浸提法	$3.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$	Xyl, Man, Rha, Glc, GlcA	$\alpha-(1 \rightarrow 3)$	[11]
子实体	热水浸提法	$10^5 \sim 10^6$	Glc, Man, Gal	-	[12]
子实体	热水浸提法	1.8×10^5	Glc, Gal, Rha, Xyl, Man	$\beta-(1 \rightarrow 3), \beta-(1 \rightarrow 4)$	[31]
子实体	热水浸提法	7.6×10^5	Man:Xyl:GlcA=3.1:2.9:1.2	$\alpha-(1 \rightarrow 3)-\text{Man}$	[32]
子实体	热水浸提法	1.35×10^6	Man:Xyl:GlcA=1.5:4:1	$\alpha-(1 \rightarrow 3)-\text{Man}$	[40]
子实体	热水浸提法	6.24×10^5	Man:Xyl:GlcA=3.0:1.0:1.0	$\alpha-(1 \rightarrow 3)-\text{Manp}-\alpha-(1 \rightarrow 2), \beta-(1 \rightarrow 3)-\text{Xylp}, \beta-(1 \rightarrow 4)-\text{GlepA}$	[34]
菌丝体发酵液	碱溶液提取法	NA	Fuc, Xyl, Rha, Ara, Glc, Gal	$\alpha-(1 \rightarrow 3), \alpha-(1 \rightarrow 4), \alpha-(1 \rightarrow 6)$	[41]
菌丝体发酵液	热水浸提法	$3.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4$	Gal, Glc, Man, Fuc, Rha	-	[11]
菌丝体发酵液	离心醇沉法	1.4×10^4	Ara:Xyl:Man:Glc:Gla=0.1:1:4.5:13.6:12.7	-	[21]
菌丝体发酵液	离心醇沉法	1.37×10^6	Fuc:Ara:Xyl:Man:Glc:Gla=0.19:0.13:3.75:7.10:1.00:0.075	$\alpha-(1 \rightarrow 3)-\text{Man}, \alpha-(1 \rightarrow 3)-\text{Glc}$	[33]
孢子发酵液	离心醇沉法	2.92×10^6	Man-N:Man:GlcA:Glc:Gal:Xly =3.3:52.0:4.1:2.4:1.8:36.4	-	[24]

注:Glc. 葡萄糖;Man. 甘露糖;Gal. 半乳糖;Xyl. 木糖;Ara. 阿拉伯糖;Rha. 鼠李糖;Fuc. 岩藻糖;GlcA. 葡萄糖醛酸;GalA. 半乳糖醛酸;NA. 未报道。

3 金耳多糖的生物活性

从金耳中分离出的结构多样的多糖已被众多研究者证明具有多种生物活性,包括免疫调节、抗肿瘤、抗氧化、抗炎、降血糖血脂等作用^[4]。本文对国内外关于金耳多糖生物活性的研究成果进行归纳总结,旨在为金耳多糖的进一步研究提供理论基础。

3.1 免疫调节及抗肿瘤作用

金耳多糖最主要的生物学活性就是能够加强机体的免疫功能^[42]。近年来,研究学者通过大量的试验对比后发现,以最常使用的小白鼠为对象,金耳多糖能显著增强小白鼠细胞的吞噬能力和免疫能力,并且发现机体免疫调节的效用和金耳多糖的使用量成正比^[43-44]。同样,也有一些研究员将粗多糖的提取用在动物实验中,观察其免疫调节作

用,结果显示皮下注射会稍逊于口服所获得的效果^[45]。Yuan等^[34]发现TAP-3(金耳子实体多糖)具有明显的免疫增强活性,可促进巨噬细胞分泌NO,IL-1 β 和TNF- α 。TAP-3的关键膜受体被鉴定为TLR4,其链长对其免疫调节活性至关重要。

癌症是现代最严重的疾病之一,其具有高发病率和高死亡率^[46]。在小鼠肿瘤模型中通常使用腹腔注射法和口服法来评价多糖抑制肿瘤的效果^[46],苑小林等^[12]发现腹腔注射的抑瘤效果更佳。

金耳多糖的免疫调节及抗肿瘤作用机制如图1所示,金耳多糖可以通过激活且增强吞噬细胞的活性,促进细胞因子和细胞毒性成分的释放,进而发挥其免疫调节和抗肿瘤作用。

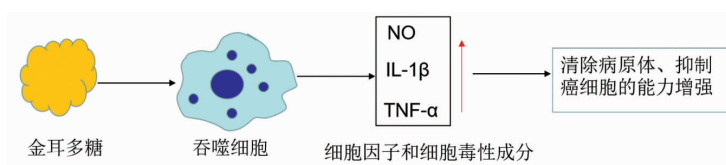


图 1 金耳多糖的免疫调节及抗肿瘤作用机制

Fig.1 Immune regulation and anti-tumor mechanism of *N. aurantialba* polysaccharides

3.2 抗氧化作用

邓云霞等^[47]的研究表明,金耳多糖不仅可以增强红细胞的羟自由基清除能力抑制红细胞溶血,而且能够通过降低肝细胞内的丙二醛含量抑制肝线粒体肿胀。王宣东^[30]研究发现金耳多糖具有优良的清除 DPPH 自由基和羟自由基的能力且在一定质量浓度范围(0~1 500 μg/mL)内金耳多糖的抗氧化能力与添加量成正比。Du 等^[32]发现金耳子实体提取多糖 TAPB1 具有清除超氧阴离子自由基和 H₂O₂ 的能力。

活性氧(ROS)是一类由氧组成或包含氧并且在自然界中具有活性的物质。体内常见的 ROS 包括超氧阴离子(O²⁻),过氧化氢(H₂O₂),高活性羟基(-OH),脂质过氧化物和氮氧化物等^[46]。很多疾病都是由于氧化应激造成的,具有抗氧化作用的物质——金耳多糖可以改善这种情况。金耳多糖的抗氧化作用机制如图 2 所示。金耳多糖通过显著提高抗氧化活性物质【如过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽(GSH)等]水平,清除活性氧(ROS)自由基,从而降低脂质过氧化产物如丙二醛(MDA)的含量,表现出较高的抗氧化活性。

3.3 降血糖及降血脂作用

苏槟楠等^[48]发现,金耳发酵液多糖会降低家兔的血糖升高数值,表现为血糖波动不大,表明金

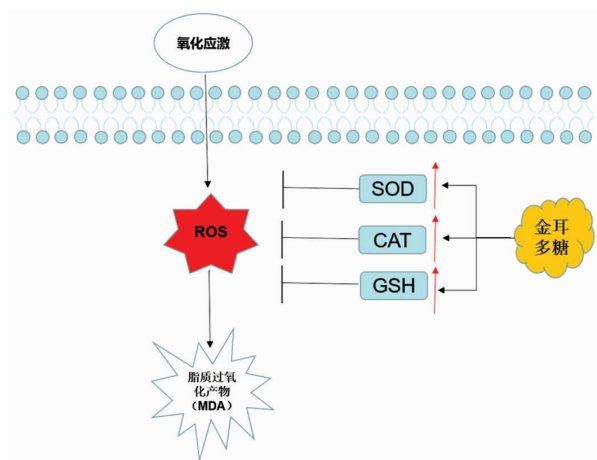


图 2 金耳多糖的抗氧化作用机制

Fig.2 Antioxidant mechanism of *N. aurantialba* polysaccharides

耳多糖具有降血糖的作用。翟伟菁等^[49]和 Kiho 等^[50]发现金耳多糖的降血糖机制为使葡萄糖代谢加速,即在不影响磷酸果糖激酶的同时,金耳多糖会降低葡萄糖-6-磷酸酶的活性,令高血糖大鼠肝中的己糖激酶活性到明显提高。汪虹^[51]发现金耳菌丝体多糖可以有效降低小鼠血液中胆固醇和甘油三酯的含量。金耳多糖的降血糖及降血脂的作用机制如图 3 所示,金耳多糖在调节肠道菌群、改善宿主代谢和调节细胞信号通路等几个方面,发挥了降血糖以及降血脂的作用,而更加深入和具体机制尚不清楚。

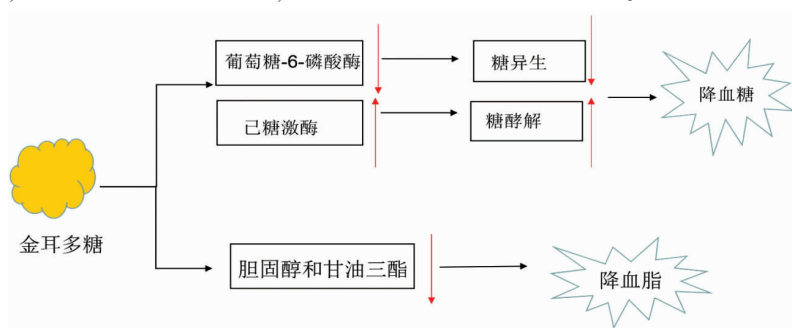


图 3 金耳多糖的降血糖及降血脂作用机制

Fig.3 Hypoglycemic and hypolipidemic mechanism of *N. aurantialba* polysaccharides

3.4 其它作用

金耳多糖还具有抗炎^[52-53]、抗辐射^[54]、抗血栓^[55-56]、护肝^[57-58]、祛痰止咳^[59-60]、促进造血^[61]和改善肠胃道^[62]等生物活性。目前,关于金耳多糖生物活性研究仍然处于初级阶段,主要是因为其研究方面较广但是深度不够。为了加强金耳多糖的理论基础,可以使用生物学模型并结合现代技术如代谢组学、转录组学以及蛋白组学等方法进一步研究并评价金耳多糖的生物活性。

4 金耳多糖在食品行业的应用

金耳多糖具有许多良好的生理、药理效用,在现在市面上能看到的以金耳多糖为原料开发出的食品中,保健产品在其中占据较大的比例。

4.1 金耳多糖饮料

1) 创新型营养保健饮料 这种新型营养保健饮料以高质量的金耳菌种作为主要的原料。李艳琴^[63]研究出了其最佳的发酵条件,在此条件下发酵得到的粗多糖菌丝较多、味淡,发酵液呈现金黄色,同时还具有蜂蜜与苹果的气味。

2) 金耳液发酵饮料 金耳发酵液不易腐败、香味浓厚,能够保持长时间不变色^[64]。用相关原料制成的培养基在合适的温度、碳氮比、酸碱度等条件下进行发酵培养得到代谢产物和培养物,然后调节其酸甜比例和改良基质,这样得到的金耳发酵液十分适合制成饮料。这种饮料的品质优良,金耳的活性多糖含量极高,也具有有良好的保健效益,能止咳化痰,具有很高的营养价值^[65]。

3) 金耳发酵豆乳 雷鹏^[66]以金耳为发酵菌株制备了一种富含金耳多糖、蛋白质、膳食纤维等营养物质的金耳发酵豆乳。

4.2 金耳多糖咀嚼片

严明^[67]发明了一款以金耳多糖为原料的咀嚼片,该咀嚼片具有味道清新、能增强免疫功能等优点。

4.3 食品添加剂

高观世等^[68]研究发现,当金耳子实体的粗多糖含量达到一定数值(质量分数:1%~3%)后,可以作为一种功能型食品添加剂以改善面团的胶体性能,增加面团的吸水性和持水性,使面包口感柔软。

5 结语

金耳作为一种中国独有的、珍稀的胶质食用真菌,其富含各种活性物质,其中最主要的成分为金耳多糖,金耳多糖具有多种生理功能如免疫调节、抗炎、抗氧化和抗肿瘤功能。国内外学者对于金耳多糖的研究多集中于探究子实体多糖的提取、纯化和生物活性。然而,金耳子实体多糖的研究仍然存在一些问题,如金耳子实体多糖的结构仍然不够清晰,其原因包括但不限于:1)金耳子实体是由金耳与伴生菌共同发育而来,其产生的金耳多糖为非均质多糖,含有大量纤维素、半纤维素等物质,这给金耳子实体多糖的结构解析增加了许多困难;2)多糖来源、子实体产地、样品生长状态、提取方法、分离纯化方法等不同造成金耳子实体多糖的结构具有一定的差异。

深层液体发酵有很大的研究前景,其具有发酵时间短、多糖性质稳定、提取工艺简单等优点。然而,目前利用发酵法制备金耳多糖的研究比较少。综上所述,金耳多糖未来应着眼于优化并建立不同来源金耳多糖的提取分离及其纯化的方法库,加强金耳多糖结构研究及其活性评价,在分子以及细胞水平上解析金耳多糖的作用机制,在金耳深层液体发酵技术的基础上开发适合工业化生产金耳多糖的工艺,开发更多的金耳多糖产品,使其走进人们的生活中,改善人们的生活品质。

参 考 文 献

- [1] 刘波. 中国真菌志: 第2卷[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 63-65.
LIU B. Chinese flora: Volume 2[M]. Beijing: Science Press, 1992: 63-65.
- [2] 杨林雷, 李荣春, 曹瑶, 等. 金耳的学名及分类地位考证[J]. 食药菌, 2020, 28(4): 252-255.
YANG L L, LI R C, CAO Y, et al. Research on the scientific name and taxonomic status of 'Jin Er' [J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2020, 28(4): 252-255.
- [3] 邓利, 李燮昕, 吕龙, 等. 金耳的食药价值与在食品工业中的应用研究概况[J]. 食药菌, 2019, 27(2): 112-116.
DENG L, LI X X, LÜ L, et al. Overview of edible

- and medicinal value of *Tremella aurantialba* and its application in food industry[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2019, 27(2): 112-116.
- [4] 刘书畅, 马布平, 罗祥英, 等. 金耳研究进展综述[J]. 食药菌, 2017, 25(5): 359-362.
LIU S C, MA B P, LUO X Y, et al. Research advances on *Tremella aurantialba*[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2017, 25(5): 359-362.
- [5] LEONG Y K, YANG F C, CHANG J S. Extraction of polysaccharides from edible mushrooms: Emerging technologies and recent advances [J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 251: 117006.
- [6] GONG P, WANG S Y, LIU M, et al. Extraction methods, chemical characterizations and biological activities of mushroom polysaccharides: A mini-review[J]. Carbohydrate Research, 2020, 494: 108037.
- [7] 刘正南, 郑淑芳. 金耳的生理特性及有效优良菌种的制备原理[J]. 中国食用菌, 1995, 14(5): 10-11.
LIU Z N, ZHENG S F. The manufacturing principles of the effective fine species and its physiological nature of fungus of *Tremella aurantialba*[J]. Edible Fungi of China, 1995, 14(5): 10-11.
- [8] 高观世, 郑跃玲. 影响金耳多糖提取率因素的正交试验[J]. 中国食用菌, 2001, 20(4): 41-43.
GAO G S, ZHENG Y L. Orthogonal experiments on a few factors affecting extracting rate of polysaccharide from dry fruit body of *Tremella aurantialba*[J]. Edible Fungi of China, 2001, 20(4): 41-43.
- [9] 钟姝霞, 邓杰, 万世旅, 等. 超声波辅助提取金耳多糖的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(21): 54-57.
ZHONG S X, DENG J, WAN S L, et al. Optimization of polysaccharides extracting process from tremella by ultrasonic assisted[J]. Food Research and Development, 2016, 37(21): 54-57.
- [10] 游金坤, 朱岩, 高观世, 等. 水酶法提取金耳多糖的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 189-194.
YOU J K, ZHU Y, GAO G S, et al. Optimization of aqueous enzymatic extraction of polysaccharide from *Tremella aurantialba*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(4): 189-194.
- [11] 刘春卉, 谢红, 刘芟华, 等. 金耳子实体和发酵菌丝体多糖的分离纯化与结构的比较研究[J]. 菌物系统, 1998, 17(3): 246-250.
LIU C H, XIE H, LIU J H, et al. Isolation, purification and structural comparison investigation of polysaccharides of artificial cultivated fruit body and fermented mycelia of *Tremella aurantialba* [J]. Mycosystema, 1998, 17(3): 246-250.
- [12] 苑小林, 张培德, 陈石根. 金耳水溶性多糖的部分化学性质及抑瘤试验[J]. 复旦学报(自然科学版), 1996, 35(6): 703-706.
YUAN X L, ZHANG P D, CHEN S G. Preliminary study on chemical properties of a soluble polysaccharide from the mushroom *Tremella aurantia*, and its oncosuppressive activity[J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 1996, 35(6): 703-706.
- [13] 李卫旗, 陈云龙, 皇甫宏. 金耳多糖的提取及其性能研究[J]. 菌物系统, 1999, 18(3): 330-333.
LI W Q, CHENG Y L, HUANGFU H. Study on isolation and properties of polysaccharide from *Tremella aurantialba*[J]. Mycosystema, 1999, 18(3): 330-333.
- [14] 张家晨, 秦良云, 刘怡, 等. 响应面法优化西藏金耳多糖提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(11): 113-117.
ZHANG J C, QIN L Y, LIU Y, et al. Study on optimization of polysaccharide extraction from *Tremella aurantialba* in Tibet by response surface methodology [J]. Food Research and Development, 2020, 41(11): 113-117.
- [15] 汪虹, 瞿伟菁, 曹群华, 等. 酶法提取金耳多糖的研究简报[J]. 食用菌, 2002, 24(2): 7-8.
WANG H, QU W J, CAO Q H, et al. Study on isolation and properties of polysaccharide from *Tremella ourantialba*[J]. Edible Fungi, 2002, 24(2): 7-8.
- [16] 李娜, 冯杰, 冯娜, 等. 灵芝液态深层发酵三萜类化合物研究进展[J]. 微生物学通报, 2020, 47(10): 3451-3469.
LI N, FENG J, FENG N, et al. Research progress in submerged fermentation for triterpenes of *Ganoderma*[J]. Microbiology China, 2020, 47(10): 3451-3469.
- [17] 张佳婵, 邵卿, 王倩, 等. 灵芝菌丝体多糖对皮肤成纤维细胞氧化应激损伤的防护机制[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 174-183.
ZHANG J C, SHAO Q, WANG Q, et al. Extraction and purification of *Ganoderma lucidum* polysaccharides and mechanistic study of their protective effect against oxidative stress injury in human skin

- fibroblast cells [J]. Food Science, 2020, 41 (13): 174-183.
- [18] 张丽丽, 范琳琳, 聂启兴, 等. 发酵虫草菌丝体多糖提取条件优化及其结构分析[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 91-96.
- ZHANG L L, FAN L L, NIE Q X, et al. Optimization of extraction and structural analysis of polysaccharide from *Paecilomyces hepiali* Chen & Dai[J]. Food Science, 2017, 38(14): 91-96.
- [19] 江洁, 王艳, 李佳桐, 等. 羊肚菌菌丝体锌多糖的体内、体外抗氧化作用[J]. 食品科学, 2018, 39 (13): 211-215.
- JIANG J, WANG Y, LI J T, et al. Antioxidant activities *in vivo* and *in vitro* of zinc-containing polysaccharides from *Morchella esculenta* mycelium [J]. Food Science, 2018, 39(13): 211-215.
- [20] 叶玉洁, 石光, 周正乙, 等. 桑黄菌丝体与子实体成分的比较分析[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 246-251.
- YE Y J, SHI G, ZHOU Z Y, et al. Comparative chemical composition of mycelium and fruit body of *Phellinus igniarius*[J]. Food Science, 2019, 40(24): 246-251.
- [21] 邓超, 付海田, 尚京迎, 等. 金耳发酵液多糖的制备、分析及生物活性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(1): 67-73.
- DENG C, FU H T, SHANG J Y, et al. Preparation, chemical analysis and biological activity of polysaccharides from fermented *Tremella aurantialba* [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 36(1): 67-73.
- [22] 董昌金. 金耳菌丝体液体深层发酵和多糖提取研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 342-344.
- DONG C J. Study on the liquid-submerged fermentation and polysaccharide extraction of *Tremella aurantialba* mycelia [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(1): 342-344.
- [23] 蒋益, 郑惠华, 刘广建, 等. 响应面优化超声波辅助提取金耳多糖的研究[J]. 食用菌, 2019, 41(6): 60-64.
- JIANG Y, ZHENG H H, LIU G J, et al. Study on optimization of ultrasonic-assisted extraction of *Tremella aurantialba* polysaccharide by response surface methodology [J]. Edible Fungi, 2019, 41(6): 60-64.
- [24] SUN T, WANG R, SUN D F, et al. High-efficiency production of *Tremella aurantialba* polysaccharide through basidiospore fermentation [J]. Bioresource Technology, 2020, 318: 124268.
- [25] WU Y J, WEI Z X, ZHANG F M, et al. Structure, bioactivities and applications of the polysaccharides from *Tremella fuciformis* mushroom: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 1005-1010.
- [26] MA X, YANG M, HE Y, et al. Plackett-Burman combined with Box-Behnken to optimize the medium of fermented *Tremella* polysaccharide and compare the characteristics before and after optimization [J]. Journal of Food Quality, 2020, 2020: 1-14.
- [27] 柴红梅, 赵永昌, 李树红, 等. 金耳酵母状孢子发酵产多糖研究[J]. 中国食用菌, 2008, 27(3): 39-40.
- CHAI H M, ZHAO Y C, LI S H, et al. Study on the polysaccharide production from yeast-like conidia of *Tremella aurantialba*[J]. Edible Fungi of China, 2008, 27(3): 39-40.
- [28] 蒋益, 郑惠华, 刘广建, 等. 低能 N 离子注入诱变选育金耳多糖高产菌株的研究[J]. 食用菌, 2019, 41(5): 23-26.
- JIANG Y, ZHENG H H, LIU G J, et al. Selection of a high producing strain of *Tremella aurantialba* polysaccharide by low energy N ion injection mutagenesis[J]. Edible Fungi, 2019, 41(5): 23-26.
- [29] HUANG G L, CHEN F, YANG W J, et al. Preparation, deproteinization and comparison of bioactive polysaccharides[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109(7): 564-568.
- [30] 王宣东. 金耳多糖的提取, 分离和纯化及抗氧化活性的研究[D]. 聊城: 聊城大学, 2018.
- WANG X D. Study on extraction, isolation and purification of polysaccharide from *Tremella aurantialba* and its antioxidant activity[D]. Liaocheng: Liaocheng University, 2018.
- [31] 李卫旗, 何国庆, 李志昂. 金耳水溶性多糖 JP-2 的分离及化学结构的研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 13-17.
- LI W Q, HE G Q, LI Z A. Study on separation and chemical structure of water soluble polysaccharide JP-2 in *Tremella aurantialba*[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(3): 13-17.
- [32] DU X J, ZHANG Y, MU H M, et al. Structural

- elucidation and antioxidant activity of a novel polysaccharide (TAPB1) from *Tremella aurantialba*[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 459–464.
- [33] 郑俊丽. 基于抑制非酶糖基化效果的金耳液体发酵研究及其活性物质的初步分析[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- ZHENG J L. Study on submerged fermentation of *T. aurantialba* based on inhibition of non-enzymatic glycosylation and preliminary analysis of the active substance[J]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [34] YUAN Q X, ZHANG X D, MA M Y, et al. Immunoenhancing glucuronoxylomannan from *Tremella aurantialba* Bandoni et Zang and its low-molecular-weight fractions by radical depolymerization: Properties, structures and effects on macrophages[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 238: 116184.
- [35] 邵双宇, 司夏利, 张岩松, 等. 食用菌多糖分析方法研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(19): 272–280.
- SHAO S Y, SI X L, ZHANG Y S, et al. Recent advances in analytical methods for polysaccharides from edible mushroom[J]. Food Science, 2020, 41(19): 272–280.
- [36] YANG M Y, BELWAL T, DEVKOTA H P, et al. Trends of utilizing mushroom polysaccharides (MPs) as potent nutraceutical components in food and medicine: A comprehensive review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 92: 94–110.
- [37] TANG W, LIU D, YIN J Y, et al. Consecutive and progressive purification of food-derived natural polysaccharide: Based on material, extraction process and crude polysaccharide[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 99: 76–87.
- [38] 常丽坤, 张文晋, 曹也, 等. 苍术多糖提取分离、结构解析及生物活性研究进展[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(9): 2133–2141.
- CHANG L K, ZHANG W J, CAO Y, et al. Extraction and separation, structure analysis and biological activity of polysaccharides from *Atractylodis rhizoma*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(9): 2133–2141.
- [39] DU X J, ZHANG J S, LV Z W, et al. Chemical modification of an acidic polysaccharide (TAPA1) from *Tremella aurantialba* and potential biological activities[J]. Food Chemistry, 2014, 143: 336–340.
- [40] DU X J, ZHANG J S, YANG Y, et al. Structural elucidation and immuno-stimulating activity of an acidic heteropolysaccharide (TAPA1) from *Tremella aurantialba* [J]. Carbohydrate Research, 2009, 344(5): 672–678.
- [41] 邓云霞. 金耳胞外多糖的结构分析及其生物学活性的探讨[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- DENG Y X. Study on structural analysis and biological activities of polysaccharides from fermentation filtrate of *Tremella aurantialba* [D]. Shanghai: East China Normal University, 2004.
- [42] LEE G W, KIM H Y, HUR H, et al. Antitumor and immuno-modulatory effect of crude polysaccharides from fruiting body of *Tremella aurantialba* against mouse sarcoma 180[J]. The Korean Journal of Mycology, 2008, 36(1): 66–74.
- [43] DENG C, SUN Y Y, FU H T, et al. Antioxidant and immunostimulatory activities of polysaccharides extracted from *Tremella aurantialba* mycelia [J]. Molecular Medicine Reports, 2016, 14(5): 4857–4864.
- [44] 王金华, 薛宝云, 戴宝强, 等. 金耳发酵液多糖免疫调节作用的实验研究[J]. 中国中医药科技, 1997, 4(5): 282–283.
- WANG J H, XUE B Y, DAI B Q, et al. Immunomodulatory effects of polysaccharides from the fermentation broth of *Tremella aurantialba*[J]. Chinese Journal of Traditional Medical Science and Technology, 1997, 4(5): 282–283.
- [45] 李晓明, 陈敏, 戴如琴, 等. 金耳菌发酵液多糖组分 A 的初步研究[J]. 中国中药杂志, 1997, 22(12): 743.
- LI X M, CHEN M, DAI R Q, et al. A preliminary study on extracellular polysaccharide isolated from fermented *Tremella aurantialba* Schw. ex Fr[J]. Chinese Journal of Traditional Medical Science and Technology, 1997, 22(12): 743.
- [46] PANDYA U, DHULDHAJ U, SAHAY N S. Bioactive mushroom polysaccharides as antitumor: An overview [J]. Natural Product Research, 2019, 33(18): 2668–2680.
- [47] 邓云霞, 瞿伟菁. 金耳胞外多糖体外抗氧化作用研究[J]. 食用菌学报, 2007, 14(3): 47–49.
- DENG Y X, QU W J. *In vitro* antioxidant effects of exopolysaccharides derived from *Tremella aurantialba* [J]. Acta Edulis Fungi, 2007, 14(3): 47–49.
- [48] 苏槟楠, 王常青, 韩建欣, 等. 金耳发酵液对糖尿病小鼠降血糖作用的研究[J]. 中国食用菌, 2006,

- 25(5): 43-44.
- SU B N, WANG C Q, HAN J X, et al. Study on effect of fermentative liquid of *Tremella aurantialba* on reducing blood sugar in diabetic mice[J]. Edible Fungi of China, 2006, 25(5): 43-44.
- [49] 翟伟菁, 张学锋, 唐绍祥, 等. 金耳化痰止咳降血糖的药理试验[J]. 上海农业学报, 1998, 14(1): 58-62.
- QU W J, ZHANG X F, TANG S X, et al. Pharmacological experiments on efficacies of *Tremella aurantialba* in relieving cough, reducing phlegm and decreasing blood sugar[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 1998, 14(1): 58-62.
- [50] KIHNO T, MORIMOTO H, KOBAYASHI T, et al. Effect of a polysaccharide (TAP) from the fruiting bodies of *Tremella aurantia* on glucose metabolism in mouse liver[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2000, 64(2): 417-419.
- [51] 汪虹. 金耳药理活性及其多糖结构研究进展[J]. 食用菌学报, 2005, 12(4): 53-56.
- WANG H. Advances in the study on the pharmacology and structure analysis of polysaccharide of *Tremella aurantialba*[J]. Acta Edulis Fungi, 2005, 12(4): 53-56.
- [52] 蒋剑平, 熊耀康. 金耳多糖对哮喘大鼠气道炎症反应的影响[J]. 中草药, 2009, 40(10): 1623-1626.
- JIANG J P, XIONG Y K. Effects of polysaccharides from *Tremella aurantialba* on airway inflammatory responses in asthmatic rats[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2009, 40(10): 1623-1626.
- [53] 王昭晶, 罗巛辉, 曾亚威. 4种银耳属多糖的理化特征, 微观结构及其抗氧化和抗炎症作用研究[J]. 中国药理学杂志, 2019, 54(21): 1788-1793.
- WANG Z J, LUO D H, ZENG Y W. Physicochemical properties, microstructure, and antioxidant and anti-inflammation effects of four major polysaccharides from *Tremella*[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2019, 54(21): 1788-1793.
- [54] 郭丰莉, 陈如松, 李茂河. 金耳抗辐射损伤效果的实验研究[J]. 辐射防护通讯, 1993(3): 35-40.
- GUO F L, CHEN R S, LI M H. Study on radiation resistance of *Tremella aurantialba*[J]. Radiation Protection Bulletin, 1993(3): 35-40.
- [55] 刘春卉, 谢红, 苏槟楠, 等. 金耳多糖营养液的功能学研究[J]. 食用菌, 2001, 23(5): 41-42.
- LIU C H, XIE H, SU B N, et al. A functional study of a polysaccharide nutritive beverage of *Tremella aurantialba*[J]. Edible Fungi, 2001, 23(5): 41-42.
- [56] 申高梅, 赵虹, 党雁华, 等. 金耳胶囊对脑血管病的治疗作用[J]. 脑与神经疾病杂志, 1997, 5(3): 183-187.
- SHEN G M, ZHAO H, DANG Y H, et al. Therapeutic effect of *Tremella aurantialba* polysaccharide peptide capsule on cerebrovascular disease[J]. Journal of Brain and Nervous Diseases, 1997, 5(3): 183-187.
- [57] 王宁, 王增苏. 金耳糖肽胶囊治疗慢性肝炎, 肝硬化31例[J]. 山西中医, 1994, 10(5): 11-12.
- WANG N, WANG Z S. Treatment of 31 cases of chronic hepatitis and cirrhosis with peptide capsule of *Tremella aurantialba*[J]. Shanxi Journal of Traditional Chinese Medicine, 1994, 10(5): 11-12.
- [58] 孟丽君, 赵玉明, 刘芝华. 金耳糖肽胶囊的基础药理学研究[J]. 食用菌学报, 2000, 7(3): 31-36.
- MENG L J, ZHAO Y M, LIU J H. Basic pharmacological studies on *Tremella aurantialba* polysaccharide peptide capsule[J]. Acta Edulis Fungi, 2000, 7(3): 31-36.
- [59] 蒋剑平, 熊耀康, 俞冰, 等. 金耳多糖对豚鼠哮喘模型肺功能的影响[J]. 中华中医药杂志, 2013, 28(1): 206-209.
- JIANG J P, XIONG Y K, YU B, et al. Effect of *Tremella mesenterica* polysaccharides on pulmonary function in asthmatic model of guinea pigs[J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2013, 28(1): 206-209.
- [60] 俞冰, 熊耀康. 复方金耳液止咳、平喘作用[J]. 医学研究杂志, 2006, 35(7): 36-38.
- YU B, XIONG Y K. Antitussive and anti-asthmatic effect of compound liquor from *Tremella aurantialba*[J]. Journal of Medical Research, 2006, 35(7): 36-38.
- [61] 谢红, 刘春卉, 苏槟楠, 等. 金耳 8254 的营养价值和药理研究[J]. 中国食用菌, 2000, 19(6): 39-41.
- XIE H, LIU C H, SU B N, et al. Nutritive value and pharmacological research on *Tremella aurantialba* 8254[J]. Edible Fungi of China, 2000, 19(6): 39-41.
- [62] 刘春卉, 荣福雄, 陆桂莲. 金耳多糖的研究初报[J]. 食用菌, 1996, 18(3): 4-5.
- LIU C H, RONG F X, LU G L. Preliminary study

- on polysaccharide from *Tremella aurantialba*[J]. *Edible Fungi*, 1996, 18(3): 4-5.
- [63] 李艳琴. 金耳高级营养保健饮料的研究-Ⅱ金耳饮料的研制及营养成分分析[J]. *山西农业大学学报*, 1997, 17(1): 42-45.
- LI Y Q. The study on the higher-nutrition health care drink of *Tremella aurantialba* schw.ex fr. —Ⅱ the study on the drink of *Tremella aurantialba* schw.ex fr. and analysis of nutrition composition [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 1997, 17(1): 42-45.
- [64] 吴素蕊. 一种金耳保健饮料及其制备方法: 201410408378.5[P]. 2016-09-21[2021-03-31].
- WU S R. A *Tremella aurantialba* healthcare beverage and its preparation: 201410408378.5[P]. 2016-09-21[2021-03-31].
- [65] 苏槟楠, 谢红, 刘春卉, 等. 低糖型金耳饮料口感调配研究初探[J]. *太原科技*, 2003(6): 75-76.
- SU B N, XIE H, LIU C H, et al. Preliminary study on taste-preparing of low-sugar beverage of *Tremella aurantialba*[J]. *Taiyuan Science and Technology*, 2003(6): 75-76.
- [66] 雷鹏. 一种金耳菌及其在制备金耳发酵豆乳中的应用: 202010618454.0[P]. 2020-09-22[2021-03-31].
- LEI P. A *Tremella aurantialba* strain and its application to the preparation of fermented soymilk with *Tremella aurantialba*: 202010618454.0[P]. 2020-09-22[2021-03-31].
- [67] 严明. 一种金耳多糖咀嚼片及其制备方法: 201910973358.5[P]. 2019-12-13[2021-03-31].
- YAN M. A *Tremella aurantialba* polysaccharide chewable chip and its preparation: 201910973358.5[P]. 2019-12-13[2021-03-31].
- [68] 高观世, 郑跃玲, 李云生. 金耳粗多糖在面包生产中的应用[J]. *食品工业*, 2001, 6: 27-28.
- GAO G S, ZHNEG Y L, LI Y S. Raw polysaccharide of *Tremella aurantialba* and its application in bread making[J]. *The Food Industry*, 2001, 6: 27-28.

Research Advances on *Naematelia aurantialba* Polysaccharides

Sun Tao¹, Jiang Hao¹, Wang Yanling¹, Wang Shiyu¹, Peng Wenjie¹, Lei Peng^{1*}, Wang Rui¹,
Xu Hong¹, Li Sha¹, Sun Dafeng²

(¹College of Food and Light Industry, Nanjing Tech University, Nanjing 211816

²Kunming Institute of Edible Fungi, China Federation of Supply and Marketing Cooperatives, Kunming 650032)

Abstract *Naematelia aurantialba* is a rare colloidal edible fungus endemic to China. It is often used as traditional medicine and food due to its excellent nutritional value and biological activity. Many studies reported that polysaccharide was the main active component of *N. aurantialba*. Also, the study showed that *Naematelia aurantialba* polysaccharide has many functions such as anti-oxidation, anti-inflammation, anti-tumor, anti-hyperlipidemia, anti-diabetes and immune regulation. In this paper, the research progress on the preparation, structural characteristics, biological activity and industrial application of *N. aurantialba* polysaccharides was reviewed, in order to provide important theoretical basis for the further study of its anti-aging effect and the development of natural food, functional food.

Keywords *Naematelia aurantialba* polysaccharides; extraction and preparation; structural characterization; biological activity; application and development