

# 金耳营养成分分析及其溶液功能性研究

赵迎春<sup>1</sup>,冯慧<sup>2</sup>,孙丽平<sup>2</sup>

(1. 云南省食品药品审核查验中心,云南昆明 650106; 2. 昆明理工大学 食品科学与工程学院,云南昆明 650500)

**摘要:**基于国家标准方法测定营养成分、矿物质元素和蛋白氨基酸,利用三重四极杆串联质谱仪分析亲水性滋味成分和有机酸。采用频率扫描、振幅扫描与稳态剪切,测定金耳水提物在不同浓度下的模量、黏度与抗变形能力。基于金耳对葡萄糖吸附容量和 $\alpha$ -淀粉酶抑制率,表征金耳在体外消化中对葡萄糖释放及淀粉消化的影响。结果发现,金耳子实体富含多糖和矿物质,具有高钾低钠的特点,共检出15种蛋白氨基酸、13种亲水性滋味成分和6种有机酸;其水提物中多糖质量分数为75.63%,且随着浓度的增加,呈现出良好的凝胶性和弹性行为;此外,仿生消化体系中,添加0.5 g金耳粉后,表现出优异的控糖特性,其葡萄糖吸附能力为15.15 mmol/g且 $\alpha$ -淀粉酶抑制率高达20.91%。上述结果表明金耳子实体营养丰富,其溶液具有粘弹性行为和一定的体外控糖性能。

**关键词:**金耳;营养成分;流变学特性;体外控糖性能

**中图分类号:**TS201.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-8513(2025)02-0167-08

金耳(*Tremella aurantialba*),又称为黄木耳、脑耳等,属担子菌门,银耳科,耳包革属,是一种药食兼用的食用菌,形状类似大脑,胶质丰富,可归于“果冻蘑菇群”<sup>[1-2]</sup>。在中国,野生金耳主要分布于云南、四川等海拔较高的地区,目前已实现了人工商业化栽培<sup>[3]</sup>。金耳富含真菌多糖、蛋白质和微量元素等多种营养物质,营养价值极高<sup>[4]</sup>。

在我国,野生金耳作为民间药用材料具有悠久历史。据《本草纲目》记载,食用金耳具有生津止咳、滋阴润肺的作用,可用于痰多、盗汗、高血糖等疾病的治疗<sup>[5]</sup>。当前已有大量科学研究证实了金耳生物活性的多样性。蒋剑平等<sup>[6]</sup>研究表明金耳多糖可通过抑制哮喘大鼠支气管中炎症细胞的生长和浸润来改善气道炎症。Kihō等<sup>[7]</sup>研究发现金耳多糖可增强大鼠体内已糖激酶的活性,降低葡萄糖-6-磷酸酶的活性,从而具有降血糖的作用。Du等<sup>[8]</sup>研究发现从金耳中分离的酸性多糖能够对小鼠淋巴细胞的增殖产生显著的免疫刺激作用,具有增强免疫活性的作用。但目前关于金耳的研究多集中金耳多糖的提取和生物活性,而对于金耳子实体的营养性能、物理性能等的研究还不甚明确,从而使得金耳自身未被充分的开发和利用。

本文以金耳子实体为研究对象,从营养成分和金耳溶液性能2个方面出发,全面表征金耳子实体的营养性能、溶液性能及其体外控糖性能,以为金耳在食品中的开发和应用提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜金耳子实体采摘自云南菌视界生物科技有限公司。氨基酸标准品购自成都德思特生物科技有限公司;核苷酸标准品购自上海源叶生物科技有限公司;甲酸、甲酸铵、乙腈、 $\alpha$ -淀粉酶(50 U/mg)购自德国默克公司;葡萄糖质量分数测定试剂盒购自北京普利莱基因技术有限公司;透析袋(MWCO:8~14KD)购自美国联合碳化物公司;其他试剂均为分析纯。

收稿日期:2024-05-07。

基金项目:云南省重点研发项目(202202AG050009)。

作者简介:赵迎春(1981-),女,硕士,工程师。主要从事食品检验与分析研究。

通信作者:孙丽平(1981-),女,博士,教授。主要从事食品质量与安全研究。

## 1.2 主要仪器与设备

LGJ-10FD型冷冻干燥机购自北京松源华兴科技发展有限公司;L-8900全自动氨基酸分析仪购自日本日立公司;LCMS-8040三重四极杆串联质谱仪(QQQ-MS/MS)购自日本岛津公司;TU-1901紫外可见分光光度计购自北京普析通用仪器有限公司;MCR102模块化高级流变仪购自奥地利安东帕有限公司。

## 1.3 试验方法

### 1.3.1 样品的制备

将新鲜金耳子实体洗净并切片,置于真空冷冻干燥机中进行冻干处理,随后使用破壁机粉碎并通过60目筛网筛分,得到冻干金耳粉。

### 1.3.2 基本营养成分的测定

冻干金耳粉中粗多糖的质量分数参考NY/T1676—2023《食用菌中粗多糖含量的测定分光光度法》测定<sup>[9]</sup>;脂肪的质量分数参考GB5009.6—2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》<sup>[10]</sup>中的索氏提取法测定;蛋白质的质量分数参考GB5009.5—2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》<sup>[11]</sup>中的凯氏定氮法测定;粗灰分的测定参考GB5009.4—2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》<sup>[12]</sup>中高温灼烧法。

### 1.3.3 矿物质元素的测定

依据GB 5009.268—2016《食品安全国家标准食品中多元素的测定》<sup>[13]</sup>规定的国标方法,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定硒、钾、钠、钙、镁、铜、铁、锰、锌9种矿物质元素的质量分数。

### 1.3.4 蛋白氨基酸的测定

取0.1 g样品于硬质玻璃水解管中,加入6 mL 6 mol/L的盐酸溶液。在110 °C下水解24 h后,将水解产物转至离心管并用去离子水冲洗2遍,调节pH至2.0~2.5,定容至500 mL。取4 mL水解液,在10 000 r/min下离心10 min。上清液经0.22 μm滤膜过滤后使用全自动氨基酸分析仪测定氨基酸组分<sup>[14]</sup>。

### 1.3.5 亲水性滋味成分的测定

亲水性滋味成分使用三重四极杆串联质谱仪测定<sup>[15]</sup>。0.5 g样品与35 mL超纯水涡旋混匀,超声辅助提取5 min,随后沸水浴5 min。冷却后,产物在10 000 r/min下离心10 min。取上清液稀释30倍后,经0.22 μm滤膜过滤后进行测定。测量条件为Syncronis HILIC色谱柱(1.7 μm, 2.1 mm × 100 mm),流动相A为甲酸和甲酸铵-超纯水,流动相B为甲酸和甲酸铵乙腈-超纯水,进样量为1 μL,柱温箱为35 °C,流动相流速为0.30 mL/min。

### 1.3.6 有机酸的测定

取0.4 g样品与50 mL超纯水涡旋混匀,超声辅助提取5 min,随后沸水浴5 min,冷却后在10 000 r/min下离心20 min。取上清液过0.22 μm滤膜,使用三重四极杆串联质谱检测上清液中的有机酸<sup>[16]</sup>。测量条件为Hypercarb C<sub>18</sub>色谱柱(3 μm, 2.1 mm × 100 mm),流动相A'为甲酸和甲酸铵-超纯水,流动相B'为乙腈,仪器进样量1 μL,柱温箱为45 °C,流动相流速为0.30 mL/min。

### 1.3.7 金耳水提物性能研究

#### 1) 样品制备与紫外光谱扫描

将5 g金耳粉按照1:160的质量:体积比与水混合,置于95 °C水浴中提取20 min。冷却后,以5 000 r/min离心15 min,得到水提物上清液。取1 mL水提物上清液稀释30倍后使用紫外分光光度计在波长为200~500 nm处对上清提取物进行扫描。剩余提取物上清液进行冷冻干燥。

#### 2) 多糖质量分数的测定

将冻干水提物用蒸馏水配制成1 mg/mL的溶液。将其稀释5倍后,使用苯酚硫酸法<sup>[9]</sup>测定多糖在提取物中的质量分数。

#### 3) 流变学特性研究

将冻干水提物配制成质量浓度为0.01、0.03和0.05 g/mL的溶液,参考Wang等<sup>[17]</sup>的测试方法并略作修改,使用25 mm的平板进行流变学测定。

25 °C、恒定应变1%、角频率为0.1~10 rad/s的条件下进行频率扫描,测定溶液的储能模量( $G'$ )和损耗模量( $G''$ )。在25 °C、固定频率1 Hz、应变范围为0.1%~100%的条件下进行振幅扫描,以确定溶液的线性粘弹区。

25℃、剪切速率为0.01~1000/s的条件下扫描进行稳态剪切测定,记录溶液黏度的变化。

### 1.3.8 体外控糖性能测定

#### 1) 葡萄糖吸附容量

参考Tang等<sup>[18]</sup>的方法测定金耳粉对葡萄糖的吸附容量。称取0.1、0.3、0.5g金耳粉,分别与30mL 100mmol/L葡萄糖溶液混匀。在室温下放置3h后使其达到平衡,在11000r/min下离心10min,测得上清液中的葡萄糖浓度。葡萄糖吸附容量( $Q$ )根据(1)式计算。

$$Q(\text{mmol/g}) = \frac{(C_0 - C) \times V}{G} \quad (1)$$

式中, $C_0$ 为原溶液葡萄糖浓度,单位为mmol/L; $C$ 为样品上清液中的葡萄糖浓度,单位为mmol/L; $G$ 为样品的重量,单位为g; $V$ 为葡萄糖溶液体积,单位为L。

#### 2) $\alpha$ -淀粉酶抑制率

配制质量浓度为0.04g/mL的马铃薯淀粉溶液,沸水中糊化20min。称取0.1、0.3、0.5g金耳粉,分别与30mL淀粉溶液、9mg $\alpha$ -淀粉酶混合,配制成金耳粉-淀粉-淀粉酶体系于透析袋中,随后将透析袋置于装有400mL蒸馏水的烧杯中。在37℃的恒温磁力搅拌水浴中进行搅拌酶解、透析60min,以淀粉-淀粉酶作为对照<sup>[19]</sup>。 $\alpha$ -淀粉酶抑制率( $I$ )根据(2)式计算。

$$I = \frac{(A_c - A_s)}{A_c} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $A_c$ 为对照葡萄糖质量浓度,单位为mg/mL; $A_s$ 为样品葡萄糖质量浓度,单位为mg/mL。

## 1.4 数据分析

采用统计软件与做图软件对数据进行分析,结果使用平均值 $\pm$ 标准差表示,每次实验至少设置3次平行。

## 2 结果与分析

### 2.1 金耳子实体的基本营养成分

采用国家标准方法对新鲜金耳子实体的基本营养成分进行了测定,结果表明,金耳子实体中的蛋白质、粗多糖、灰分和粗脂肪的质量分数分别9.72%、51.11%、6.51%和1.3%,此结果与曹瑶等<sup>[20]</sup>对于工厂化栽培金耳营养成分的测定结果一致。多糖作为金耳子实体胶质的主要成分,具有多种食药用保健功能,如降血糖、消炎、止咳平喘、增强免疫力、促进肠胃蠕动等<sup>[3,5]</sup>。蛋白质作为金耳的重要营养组分之一,其氨基酸组成比较合理,必需氨基酸质量分数高于FAO/WHO氨基酸模式,具有很高的营养价值和很好的生物利用度<sup>[21-22]</sup>。上述结果表明金耳子实体具备着良好的营养成分组合,将其融入日常饮食中,有助于提供机体所需的营养物质,满足人体的营养需要。

### 2.2 金耳子实体的矿物质的质量分数

饮食摄入充足的必需矿物质可以有助于维持身体的正常功能,对人体健康至关重要<sup>[23]</sup>。金耳子实体矿质组成测定结果如表1所示。可以看出,金耳中9种人体所需矿物质质量分数由高到低的排序为钾、镁、钙、铁、钠、铜、锌、锰、硒。金耳中钾质量分数为35170mg/kg,约为常见补钾食物香蕉中钾质量分数(3478mg/kg)的10倍。钾元素在人体内具有维持正常血压水平和酸碱平衡、改善机体疲劳等作用<sup>[24]</sup>。金耳中钠质量分数仅为241mg/kg,远低于常见肉制品、鱼类、蔬菜以及食用菌中的长裙竹荪、鸡腿菇和姬松茸等食物,在维持体液平衡的同时能降低患心血管疾病的风险<sup>[25-26]</sup>。金耳中矿物质种类丰富,具有高钾低钠的特点,是一种人体摄入矿物质元素的优质食物来源。

表1 金耳中主要矿物质元素的质量分数

mg/kg

| 矿物质 | 质量分数   | 矿物质 | 质量分数 | 矿物质 | 质量分数 |
|-----|--------|-----|------|-----|------|
| 硒   | <0.006 | 钙   | 117  | 铜   | 15.1 |
| 钾   | 35170  | 镁   | 773  | 铁   | 48.7 |
| 钠   | 241    | 锌   | 12.7 | 锰   | 2.61 |

### 2.3 金耳子实体的蛋白氨基酸组成

利用酸水解-氨基酸自动分析仪测定了金耳子实体中的蛋白质氨基酸组成及质量分数(表2)。由表2可知,酸水解后,从金耳子实体中共检测出15种蛋白氨基酸,其中包含了6种人体所必需氨基酸,占氨基酸总质量分数的31.51%。在15种氨基酸中,精氨酸(Arg)的质量分数最高,为12.85 mg/g,其次为谷氨酸。在6种人体所必需氨基酸中赖氨酸的质量分数最高,为5.91 mg/g;亮氨酸的质量分数最低,为2.44 mg/g。Arg作为人体半必需氨基酸,具有促进伤口愈合,改善肠道损伤,提高免疫反应等功效<sup>[27]</sup>。通常情况下,Arg可通过人体自身合成满足需求,但对于孕妇、蛋白质摄入不足人群以及烧伤、感染等的患者则需额外补充Arg,来改善妊娠过程、提升机体营养物质代谢、提升内皮依赖性舒张<sup>[28]</sup>。上述结果表明,金耳中蛋白氨基酸种类齐全,组成比例合理,既是金耳子实体对人体健康增益的重要物质基础,也是其呈现鲜甜滋味的重要物质基础。

表2 金耳的蛋白氨基酸组成

|           |             | mg/g       |              |
|-----------|-------------|------------|--------------|
| 氨基酸种类     | 质量分数        | 氨基酸种类      | 质量分数         |
| 天冬氨酸(Asp) | 5.38 ± 0.02 | 亮氨酸(Leu)*  | 2.44 ± 0.06  |
| 苏氨酸(Thr)* | 3.14 ± 0.03 | 异亮氨酸(Ile)* | 4.50 ± 0.02  |
| 丝氨酸(Ser)  | 3.24 ± 0.01 | 酪氨酸(Tyr)   | 3.67 ± 0.09  |
| 谷氨酸(Glu)  | 6.83 ± 0.20 | 苯丙氨酸(Phe)* | 3.04 ± 0.06  |
| 甘氨酸(Gly)  | 3.35 ± 0.04 | 赖氨酸(Lys)*  | 5.91 ± 0.17  |
| 丙氨酸(Ala)  | 3.74 ± 0.01 | 组氨酸(His)   | 5.90 ± 0.13  |
| 半胱氨酸(Cys) | 3.74 ± 0.26 | 精氨酸(Arg)   | 12.85 ± 0.20 |
| 缬氨酸(Val)* | 3.82 ± 0.02 |            |              |

注:\*表示人体必需氨基酸。

### 2.4 金耳子实体的亲水性滋味物质

采用超高效液相色谱-三重四极杆质谱技术测定了金耳子实体的亲水性滋味物质(表3)。根据表3,金耳中共检测出13种亲水性滋味物质,总质量分数为5 075.35 mg/100g,包括4种生物碱、1种核苷(Cd)、8种游离氨基酸。这些游离氨基酸分别为Ile、 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)、Ala、Arg、脯氨酸(Pro)、Glu、His、L-缬氨酸(L-val)。嘧啶、嘌呤和核苷类一般是微苦、增鲜的味觉属性,游离的氨基酸类根据其味觉属性可分为鲜味氨基酸、甜味氨基酸、酸味氨基酸、无味氨基酸和苦味氨基酸<sup>[16,28]</sup>。检出的8种游离氨基酸中GABA、Pro、Ala是甜味氨基酸,His、Ile和Arg是苦味氨基酸。这些亲水性滋味物质之间相互作用,是金耳具有清淡菌香、味微鲜甜独特滋味主要作用因素之一。

表3 金耳中亲水性滋味成分

|       |                      | mg/100 g          |  |
|-------|----------------------|-------------------|--|
| 分类    | 亲水性滋味物质              | 质量分数              |  |
| 生物碱   | 胞嘧啶(C)               | 1.35 ± 0.29       |  |
|       | 腺嘌呤(A)               | 25.35 ± 2.37      |  |
|       | 黄嘌呤(X)               | 6.20 ± 1.66       |  |
|       | 鸟嘌呤(G-1)             | 455.92 ± 236.69   |  |
| 核苷    | 胞嘧啶核苷(Cd)            | 59.06 ± 8.51      |  |
|       | $\gamma$ -氨基丁酸(GABA) | 132.56 ± 16.50    |  |
| 游离氨基酸 | 脯氨酸(Pro)             | 104.31 ± 12.30    |  |
|       | 丙氨酸(Ala)             | 17.00 ± 1.22      |  |
|       | 谷氨酸(Glu)             | 72.61 ± 13.52     |  |
|       | 组氨酸(His)             | 1.17 ± 0.00       |  |
|       | 异亮氨酸(Ile)            | 4 068.37 ± 539.50 |  |
|       | 精氨酸(Arg)             | 22.51 ± 0.01      |  |
|       | L-缬氨酸(L-val)         | 110.10 ± 14.74    |  |
|       | 总和                   | 5 075.35          |  |

## 2.5 金耳子实体的有机酸

有机酸是食品滋味形成的重要作用因素之一<sup>[29]</sup>. 金耳子实体中的有机酸如表4所示. 金耳子实体中共检测出6种有机酸,包括柠檬酸、乳酸、苹果酸、 $\alpha$ -酮戊二酸、奎宁酸、乌头酸,总酸质量分数为2 012.79 mg/100 g. 在6种有机酸中,苹果酸的质量分数最高,为1 651.58 mg/100 g. 有机酸的存在可以给金耳带来酸味的特征,并对其鲜甜风味产生影响. 苹果酸是食品中常见的有机酸之一,它能够赋予金耳一种清爽、酸甜的口感<sup>[30]</sup>. 其他的有机酸,如柠檬酸、乳酸和奎宁酸,也会为金耳的滋味添加特殊的风味元素.

表4 金耳中的有机酸种类和质量分数

| 有机酸种类          | 质量分数             |
|----------------|------------------|
| 柠檬酸            | 87.58 ± 0.76     |
| 乳酸             | 165.33 ± 0.00    |
| 苹果酸            | 1 651.58 ± 23.10 |
| $\alpha$ -酮戊二酸 | 19.92 ± 0.44     |
| 奎宁酸            | 97.33 ± 0.00     |
| 乌头酸            | 0.06 ± 0.00      |
| 总和             | 2 012.79         |

## 2.6 金耳水提物性能

### 2.6.1 紫外可见光全波长扫描与多糖质量分数

多糖的紫外特征吸收波长主要在200 nm左右,核酸类物质的紫外吸收波长在260 nm,蛋白质则是在280 nm. 金耳水提物的紫外可见光全波长吸收曲线如图1所示,在260 nm处出现了一个吸收峰,表明金耳子实体水提物中有一定的核酸类物质,而蛋白质质量分数不明显. 经苯酚硫酸法测得金耳水提物中的多糖质量分数为75.63%. 由此可知,多糖为金耳水提物中的主要成分.

### 2.6.2 金耳水提物的流变学特性

测定金耳水提物的流变学特性,可了解金耳水提物在不同质量浓度下所具有的黏弹性状态,有助于金耳在食品加工中的应用以及金耳体外控糖机理的研究. 研究<sup>[31]</sup>认为具有一定黏弹性的食物基质,其在被消化过程中可阻滞消化基质中的葡萄糖释放至消化液中,也可对淀粉颗粒有一定的包裹作用,阻碍消化液中的淀粉酶与淀粉颗粒的接触,降低食物体系葡萄糖的释放. 食物物性学中 $G'$ 与 $G''$ 分别表征材料溶液的固体特性和流体特性. 当 $G'$ 的值小于 $G''$ 时,溶液表现为黏性行为;当 $G'$ 的值大于 $G''$ 时,溶液表现出凝胶状态,且凝胶强弱与两者差值呈正相关<sup>[32]</sup>.

金耳水提物流变学特性的测定结果如图2~4所示. 由图2可知,随着水提物质量浓度的增加, $G'$ 与 $G''$ 值由最初的 $G'$ 小于 $G''$ ,变为 $G'$ 大于 $G''$ ,这表明随着浓度的增加,水提物由黏性液体状态向凝胶状态转变. 振幅扫描可使溶液实现更快更大的变形,有助于进一步了解金耳水提物黏弹性质. $G'$ 和 $G''$ 两曲线的交点值的大小表示金耳溶液在应力下抗变形能力的大小<sup>[33]</sup>. 如图3所示,当金耳溶液的质量浓度增加, $G'$ 和 $G''$ 两曲线的交点值逐渐增大. 进一步表明,金耳水提物的抗变形能力随着浓度的增加而增强. 黏度表示流体抵抗其流动变形的强度,如图4所示,随着浓度的增加,金耳水提物的黏度呈现出上升趋势.

上述结果表明,金耳中水溶性物质充分水合后可能形成了有效的凝胶网络结构. 随着金耳水提物浓度的增加,该网络结构逐渐增强,粘弹性和稳定性随之提升,应对外界变化的能力也得到增强. 这一现象可能与金耳水提物中所含的多糖成分有关. Sun等<sup>[34]</sup>研究发现从金耳子实体菌株发酵液中分离出的多糖溶液具有非牛顿流体的粘弹特性.

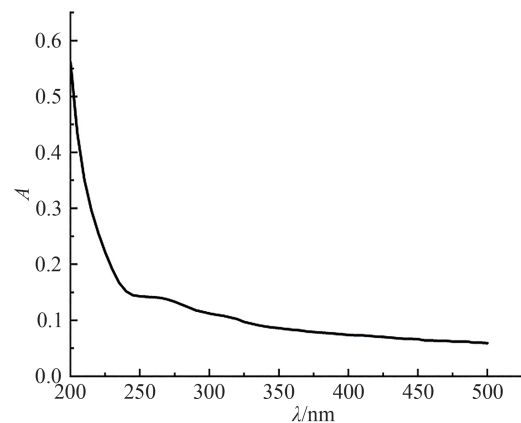


图1 金耳水提物紫外可见光全波长扫描

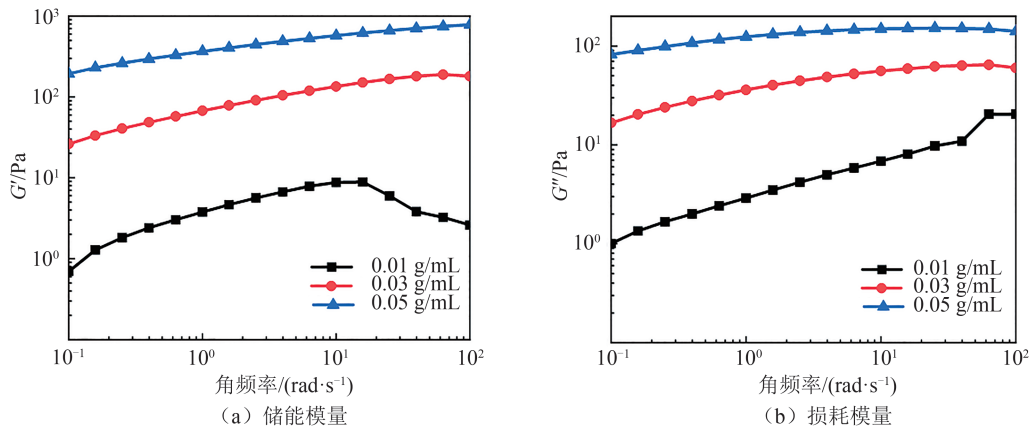


图 2 金耳水提物溶液储能模量和损耗模量随质量浓度的变化

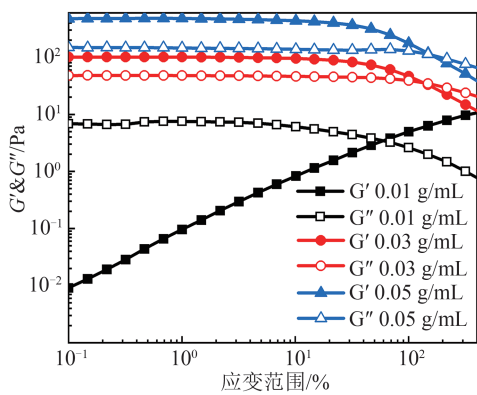


图 3 金耳水提物溶液储能模量和损耗模量随应力的变化

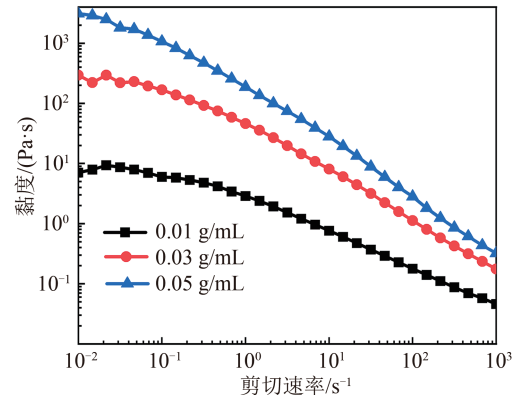
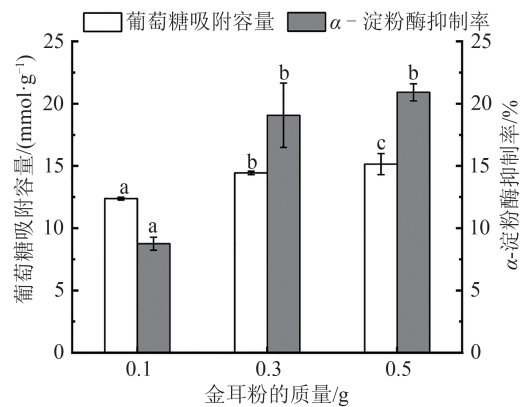


图 4 金耳水提物黏度随剪切速率的变化

### 2.7 金耳的体外释控糖性能

葡萄糖吸附的容量能够反映金耳在体外模拟消化吸收过程中阻滞葡萄糖释放的能力. 碳水化合物经淀粉酶等消化酶水解后才能被人体消化利用, 抑制  $\alpha$ -淀粉酶活性可抑制淀粉水解释放葡萄糖的量<sup>[35]</sup>. 如图 5 所示, 随着金耳粉添加量的增加, 其对葡萄糖吸附能力逐渐增大, 从 12.37 mmol/g 上升至 15.15 mmol/g,  $\alpha$ -淀粉酶的抑制率也呈现出上升趋势, 由 8.76% 增至 20.91%. 葡萄糖吸附容量与  $\alpha$ -淀粉酶抑制率的上升表明金耳具有良好的控糖潜能. 上述结果可能与金耳水提物溶液的黏弹性质有关. 研究<sup>[36]</sup>表明, 食物消化体系黏度的增加会阻碍淀粉与淀粉酶的接触, 降低淀粉酶对淀粉颗粒的可及性, 同时黏度的增加增强了内部网格结构对葡萄糖分子的截留作用, 从而增强对葡萄糖释放的阻滞能力. 大量研究<sup>[37-38]</sup>也表明, 蘑菇多糖在体外和体内均有明显的降糖作用, 其可通过氢键或对淀粉颗粒的包封、交联, 在淀粉颗粒表面形成一层物理屏障, 降低了淀粉酶对淀粉的水解作用.



具有相同字母代表同一组没有显著性差异; 没有相同字母代表同一组具有显著性差异

图 5 金耳的葡萄糖吸附容量和  $\alpha$ -淀粉酶抑制率

### 3 结语

通过对金耳的营养成分、流变学特性以及其体外控糖性能进行充分的解析, 发现金耳子实体营养价值高, 含有多种氨基酸与矿物质, 具有高钾低钠的特点. 金耳水提物的主要成分为多糖, 且其黏度和模量随着质量浓度的增加而增加, 表现良好的凝胶性和弹性行为. 体外控糖结果则显示, 金耳具有良好的葡萄糖吸附能

力和 $\alpha$ -淀粉酶抑制能力,这可能与其溶液表现出的粘弹性行为有关.综上所述,金耳作为优质食物来源,基于自身的营养价值、物理性能以及溶于水后的粘弹性行为,使其在营养健康产品的开发上具有极大的应用价值.而对于金耳整体在食品中的应用以及其凝胶状物质的形成原因与降糖作用的机理还需进一步的研究.

#### 参考文献:

- [1] 罗晓莉,张沙沙,张微思,等.不同干燥方法对护色后金耳切片品质的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(5):227-232.
- [2] 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.
- [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.
- [4] 曹瑶,李荣春,杨林雷,等.工厂化栽培金耳的氨基酸组成及蛋白质营养评价[J].食药菌,2021,29(2):152-156.
- [5] 何容,罗晓莉,李建英,等.金耳研究现状与展望[J].食药菌,2019,27(1):41-47.
- [6] 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.
- [7] KIHO 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, and Biochemistry, 2000,64(2):417-419.
- [8] 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.
- [9] 中华人民共和国农业农村部.食用菌中粗多糖的测定分光光度法:NY/T 1676—2023[S].2023:1-6.
- [10] 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.食品安全国家标准食品中脂肪的测定:GB5009.6—2016[S].2016:1-2.
- [11] 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.食品安全国家标准食品中蛋白质的测定:GB5009.5—2016[S].2016:1-3.
- [12] 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.食品安全国家标准食品中灰分的测定:GB5009.4—2016[S].2016:1-4.
- [13] 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.食品安全国家标准食品中多元素的测定:GB5009.268—2016[S].2016:1-5.
- [14] LI X, GUO Y, ZHUANG Y L, et al. Nonvolatile taste components, nutritional values, bioactive compounds and antioxidant activities of three wild *Chanterelle mushrooms*[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2018,53:1855-1864.
- [15] 施丽娟,陈宁,王丹,等.超高效液相色谱-三重四极杆串联质谱法定量分析云南大叶种茶酚类成分[J].食品科学,2022,43(8):271-280.
- [16] SHEN Q L, HE Z D, DING Y Y, et al. Effect of different drying methods on the quality and nonvolatile flavor components of *Oudemansiella raphanipes*[J]. Foods, 2023;12(3):676.
- [17] WANG B, ZHANG W M, BAI X P, et al. Rheological and physicochemical properties of polysaccharides extracted from stems of *Dendrobium officinale*[J]. Food Hydrocolloids, 2020,103:105706.
- [18] TANG C D, WU L R, ZHANG F S, et al. Comparison of different extraction methods on the physicochemical, structural properties, and *in vitro* hypoglycemic activity of bamboo shoot dietary fibers[J]. Food Chemistry, 2022,386:132642.
- [19] MA M M, MU T H. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin[J]. Food Chemistry, 2016,194:237-246.
- [20] 曹瑶,李荣春,杨林雷,等.工厂化栽培金耳的营养成分测定及品质评价[J].食药菌,2021,29(4):318-322.
- [21] 韩志强,杨慧珍,李光乐,等.金耳的营养成分分析及其在食品工业中的应用[J].现代食品,2023,29(16):118-120.
- [22] 黄瑶雁,叶婉琳,林继辉,等.艾草对米酒品质的影响研究和艾草米酒发酵工艺优化[J].云南民族大学学报(自然科学版),2024,33(1):50-55.
- [23] 周利兵.青海牦牛骨主要矿物质元素的主成分分析[J].云南民族大学学报(自然科学版),2006,(2):141-143.
- [24] 梁水连,吕岱竹,周若浩,等.香蕉中5种矿物质元素含量测定及营养评价[J].食品科学,2019,40(24):241-245.
- [25] HAO Z, LIANG L, PU D, et al. Analysis of sodium content in 4082 kinds of commercial foods in China[J]. Nutrients, 2022,14:2908.
- [26] 颜戊利,王林静.食用菌矿物质含量测定和营养评价[J].食品科技,2010,35(7):81-84.
- [27] WU G Y. Functional amino acids in nutrition and health[J]. Amino Acids, 2013,45:407-411.
- [28] WU M M, XIAO H, SHAO F Y, et al. Arginine accelerates intestinal health through cytokines and intestinal microbiota[J].

- International Immunopharmacology, 2020, 81: 106029.
- [29] 包秀萍, 刘煜宇, 徐兰兰, 等. 打叶复烤在线添加功能生物料液提升下部烟叶模块的品质研究[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2024, 33(4): 435 – 442.
- [30] 孙丽平, 常惟丹, 鲍长俊, 等. 云南产 6 种野生食用牛肝菌的营养成分及抗氧化特性研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(12): 279 – 286.
- [31] FENG H, LUO L F, WANG L Y, et al. Effects of *Tremella aurantialba* on physical properties, *in vitro* glucose release, digesta rheology, and microstructure of bread[J]. Journal of Food Science, 2023, 88: 4853 – 4866.
- [32] ZHANG Z G, CHEN Z S, ZHANG C, et al. Physicochemical properties and biological activities of *Tremella hydrocolloids*[J]. Food Chemistry 2023, 407: 135164.
- [33] ZHOU R, KANG Y H. Synergistic interaction of *Auricularia auricula-judae* polysaccharide with yam starch: effects on physicochemical properties and *in vitro* starch digestibility[J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27, 1579 – 1588.
- [34] SUN T, XU X Y, MA Y H, et al. Structure, rheology, and antifreeze property of the exopolysaccharide from *Tremella aurantialba* through basidiospore fermentation [J]. Food Hydrocolloids, 2023, 142: 108848.
- [35] 王司琪, 王佳佳, 李泊铮, 等. 提取方法对玉米耳膳食纤维结构特征和功能特性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(24): 93 – 101.
- [36] ZHENG J, WANG N, YANG J L, et al. New insights into the interaction between bamboo shoot polysaccharides and lotus root starch during gelatinization, retrogradation, and digestion of starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 254: 127877.
- [37] YANG S, YAN J, YANG L, MENG Y, et al. Alkali – soluble polysaccharides from mushroom fruiting bodies improve insulin resistance[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 126: 466 – 474.
- [38] TU J C, BRENNAN M, BRENNAN C. An insight into the mechanism of interactions between mushroom polysaccharides and starch[J]. Current Opinion in Food Science, 2021, 37: 17 – 25.

## Nutrient analysis and solution functionality study of *Tremella aurantialba*

ZHAO Ying-chun<sup>1</sup>, FENG Hui<sup>2</sup>, SUN Li-ping<sup>2</sup>

(1. Center for Food and Drug Inspection of Yunnan Province, Kunming 650106, China; 2. Faculty of Food Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Macronutrient compositions, nine mineral elements and amino acids were determined based on the national standard methods. Hydrophilic taste components and organic acids were determined using a triple quadrupole – tandem mass spectrometer. The water extracts of *Tremella aurantialba* were prepared and the polysaccharide content was determined. The modulus, viscosity and resistance to deformation of the extracts at different concentrations were investigated by frequency scanning, amplitude scanning and steady state shear. The glucose adsorption capacity and  $\alpha$  – amylase inhibition ability of *Tremella aurantialba* were measured by evaluating its inhibiting effects on glucose release and starch digestion during *in vitro* digestion. The results showed that *Tremella aurantialba* was rich in polysaccharides, protein and mineral elements. *Tremella aurantialba* showed high content of potassium and low content of sodium. 15 protein amino acids, 13 hydrophilic taste components and 6 organic acids were detected from *Tremella aurantialba*. The polysaccharide content of its water extract reached 75.63%, and it exhibited improved gelation and elastic behavior with increasing concentration. In addition, the addition of 0.5 g of *Tremella aurantialba* powder in the *in vitro* system showed good glucose adsorption ability (15.15 mmol/g) and  $\alpha$  - amylase inhibition rate (20.91%). In summary, *Tremella aurantialba* is a kind of high-quality food materials for the development of healthy products.

**Key words:** *Tremella aurantialba*; nutrient composition; rheological properties; *in vitro* sugar control

(责任编辑 王煜丹)