

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240428011

冲泡即食冻干金耳汤块的制作及其仿生消化释糖性能研究

高金明¹, 冯 慧², 孙丽平^{2*}

(1. 山东畜牧兽医职业学院, 潍坊 261061; 2. 昆明理工大学食品科学与工程学院, 昆明 650500)

摘 要: **目的** 研究不同口味冲泡即食冻干金耳汤块的制作技术及其仿生消化释糖性能, 支持金耳产品的多元化开发。**方法** 以新鲜金耳为主要原料, 加以红枣、冰糖以及水果类(雪梨、火龙果)和根茎类(马蹄、山药、百合)食材, 通过程序升温真空冷冻干燥技术, 研发了 6 种不同口味的冲泡即食冻干金耳汤块, 通过分析汤料的共晶点和共熔点, 测定汤块的体积收缩率、水分含量、感官评价等品质特性, 及其体外仿生消化葡萄糖释放量和食糜黏度, 研究其品质特性和营养价值。**结果** 6 种口味汤料的共晶点在 $-22.3\sim 18.7^{\circ}\text{C}$ 的范围内, 共熔点在 $-4.7\sim 3.9^{\circ}\text{C}$ 范围内; 程序升温干燥过程中, 各口味汤块均呈现较低的体积收缩率; 干燥后汤料水分含量和水分活度分别在 $3.05\%\sim 3.75\%$ 和 $0.26\sim 0.31$ 之间, 具有适当的硬度和脆度, 冲泡溶出率高。体外仿生消化表明, 在相同摄食量下各口味冻干金耳汤块的葡萄糖释放量远低于白吐司, 消化食糜黏度高于白吐司。**结论** 6 种口味的金耳汤适宜采用程序升温真空冷冻干燥技术, 制成物理性能良好的冲泡即食食品, 产品易于产业化生产。同时, 其较低的葡萄糖释放量可满足消费者对高营养品质便捷食品的需求。

关键词: 金耳; 冲泡即食; 冻干汤块; 品质特性; 消化释糖

Preparation of freeze-dried instant solid soups from *Tremella aurantialba* and *in vitro* glucose release properties

GAO Jin-Ming¹, FENG Hui², SUN Li-Ping^{2*}

(1. Shandong Vocational Animal Science and Veterinary College, Weifang 261061, China;
2. Faculty of Food Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

ABSTRACT: Objective To study the preparation technology of freeze-dried *Tremella aurantialba* solid soups with different tastes and its bionic digestion and sugar releasing properties, and to support the diversified development of *Tremella aurantialba* products. **Methods** Using fresh *Tremella aurantialba* as the main raw material, adding red dates, rock sugar, fruits (snow pear, pitaya) and rhizomes (horseshoe, yam, lily), 6 kinds of instant freeze-dried solid soups with different tastes were developed through the temperature programmed vacuum freeze drying technology. By analyzing the eutectic point and melting point of the soups, determining the volumetric shrinkage, water content, sensory evaluation and other quality characteristics of the solid soups, as well as the glucose release and chyme viscosity during the *in vitro* bionic digestion, the quality and nutritional value of the solid soups were

基金项目: 云南省重点研发项目(202202AG050009)

Fund: Supported by the Yunnan Major Scientific and Technological Projects (202202AG050009)

*通信作者: 孙丽平, 博士, 教授, 主要研究方向为食品营养与安全控制。E-mail: lpsun@kmust.edu.cn

*Corresponding author: SUN Li-Ping, Ph.D, Professor, Faculty of Food Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China. E-mail: lpsun@kmust.edu.cn

characterized. **Results** The results showed that the eutectic points of 6 kinds of soups were in the range of -22.3 to -18.7°C and the eutectic melting points were in the range of -4.7 to -3.9°C . Six kinds of freeze-dried solid soups showed low volumetric shrinkage during the freeze-drying process of programmed temperature rise. The moisture content and water activity of the solid soups were in the range of 3.05% to 3.75% and 0.26 to 0.31, respectively. Six kinds of freeze-dried solid soups showed appropriate hardness and brittleness, and high rate of brewing dissolution. Six freeze-dried solid soups showed significantly lower glucose release quantity compared to white toast during *in vitro* bionic digestion. The viscosity of the digestive chyme of solid soups was higher than that of white toast. **Conclusion** The programmed temperature vacuum freeze-drying technology is suitable for producing instant solid soups from *Tremella aurantialba* with good physical properties, which is easy to industrialize. Meanwhile, its lower glucose release can meet consumers' demand for high nutritional quality and convenient food.

KEY WORDS: *Tremella aurantialba*; instant foods; freeze-dried solid soups; quality characteristics; digestive sugar release

0 引言

冲泡即食冻干汤块是速溶汤的一种。速溶汤是由米粮、果蔬、肉、鱼、水及其他成分混合烹制而成的汤料, 经过脱水所得到的一种方便食品^[1]。近年来, 随着生活节奏的加快和人们对健康饮食需求的提高, 方便、营养且易于制作的食品产品受到了广大消费者的欢迎。真空冷冻干燥是通过在真空下对食材中冻结的水分进行升华来达到干燥目的一种干燥技术, 包括冷冻、升华干燥和解析干燥 3 个阶段^[2]。相比于其他干燥技术, 真空冷冻干燥技术不仅可以保留汤料原本的色泽、形状与口感, 而且能够有效保留物质的细胞组织结构, 使物料不在干燥中干瘪, 从而得到复水效果更好的速溶汤块^[3]。

金耳(*Tremella aurantialba*), 又名黄木耳、脑耳等, 属担子菌门、银耳目、耳包革属, 富含多糖、蛋白质、矿物质、维生素等多种营养物质^[4]。金耳子实体颜色金黄, 入口爽滑且有弹性, 具有美容养颜、缓解肺热、止咳平喘、降血糖等功效, 是一种胶质性药食两用真菌^[5]。新鲜的金耳子实体朵型大、含水量较高, 为延长保质期, 多是初加工成切片干制品, 用于菌包配料等, 不利于金耳原料的综合开发和利用。目前已有研究研制了金耳复合果酱、金耳吐司、金耳面条等产品^[6-7], 但是仍未见产业化的金耳深加工产品。对于金耳的理论研究则多集中于金耳多糖的提取及其在饮料中应用^[8-9]。总体上, 金耳原料深加工产品研究不足、产品的类型丰富度不够, 使得极具营养价值的金耳原料未得到充分挖掘和利用。

本研究以汤块的物理性能为基础, 探究真空冷冻干燥技术生产冲泡即食金耳汤块的可行性, 特别是在金耳原料中复配水果类和根茎类食材研制多口味金耳汤块的可行性。本研究还进一步探究了各口味汤块在体外仿生消化中葡萄糖释放情况, 来表征各产品品质特性和营养价值。本研究不仅为金耳原料的综合开发和利用提供了技术方案, 还为消费者提供了食用便捷、口味多样化的高

品质金耳制品。

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; 白吐司(碳水化合物含量为 47.3%)购自云南省昆明市呈贡区当地超市; 新鲜的雪梨、火龙果、马蹄、山药、百合采购自云南省昆明市呈贡区当地农贸市场; 冰糖、红枣购自网上京东商城。

葡萄糖含量测定试剂盒(北京普利莱基因技术有限公司); 进口透析袋(MWCO: 8~14 kD)(美国联合碳化物公司); 人工胃液(货号 R4110)、人工小肠液(含胰酶和磷酸盐, 货号 R30384)(上海源叶生物科技有限公司); 转化酶(货号 I885089, 默克化工技术上海有限公司)。

1.2 仪器与设备

Y-50C82 九阳电压力锅(九阳股份有限公司); LGJ-10FD 型冷冻干燥机(北京松源华兴科技发展有限公司); TA.XT plus 质构仪(英国 Stable Micro System 公司); DSC 214 差式扫描量热仪(德国耐驰公司); HH-4 数显恒温水浴锅(江苏金坛市析仪器有限公司); MCR 102 模块化高级流变仪(奥地利安东帕有限公司); Aqualab 4TE 水分活度仪(美国 Decagon 公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 冲泡即食金耳冻干块的制备

冲泡即食冻干金耳汤块参照文献[10]的制作方法, 除原味外, 以水果和根茎两类食材代替部分金耳原料以丰富汤块的口味, 制作 6 种不同口味冲泡即食冻干金耳汤块, 配方如表 1 所示, 制作工艺如图 1 所示, 根据汤料共晶点和共熔点优化的程序升温真空冷冻干燥曲线如表 2 所示。图 2 为各口味冻干汤块实物图, 图 3 为各口味冻干汤块以 1:10 料水比完全复水实物图。

表 1 不同口味冲泡即食冻干金耳汤块的配方(g)
Table 1 Formulas of instant freeze-dried solid soups from *Tremella aurantialba* with different tastes (g)

原料	原味	雪梨	火龙果	马蹄	山药	百合
金耳	200	100	100	100	100	100
冰糖	180	180	180	180	180	180
红枣	20	20	20	20	20	20
水	900	900	900	900	900	900
雪梨	—	140	—	—	—	—
火龙果	—	—	140	—	—	—
马蹄	—	—	—	140	—	—
山药	—	—	—	—	140	—
百合	—	—	—	—	—	140

注: —表示无此项。

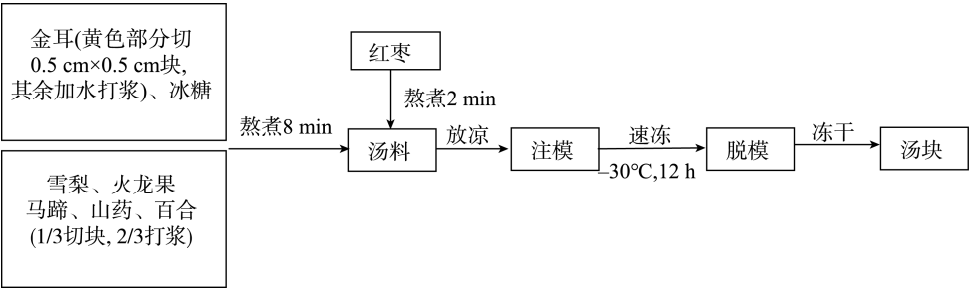


图 1 冲泡即食冻干金耳汤块工艺流程图
Fig.1 Technological process of instant freeze-dried solid soups from *Tremella aurantialba*

表 2 程序升温真空冷冻干燥曲线
Table 2 Curves of the temperature programmed vacuum freeze-drying technology

升温阶段	温度/℃	时间/h
1-平衡和预冻, 不启动真空	-35	2
2-启动真空, 升华阶段	-20	5
3-升华阶段	-10	13
4-解析	5	1.5
5-解析	20	3
6-解析	40	6
7-解析	45	10
8-解析	40	6

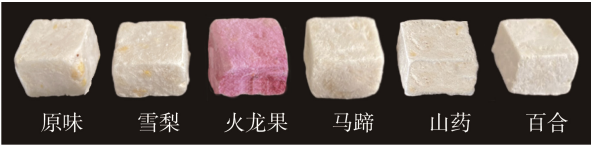


图 2 6 种口味冲泡即食冻干金耳汤块实物图
Fig.2 Physical pictures of instant freeze-dried solid soups of 6 kinds of tastes from *Tremella aurantialba*

1.3.2 汤料共晶点与共熔点的测定

参考史德芳等^[11]的方法并稍作修改, 取 20 mg 1.3.1 中熬制的汤料于专用坩埚中, 使用差式扫描量热仪, 在氮气流速为 40 mL/min 的条件下, 以 5℃/min 的速率从 25℃ 冷却至 -35℃, 得到含有共晶点的差示扫描量热

(differential scanning calorimetry, DSC)曲线, 在-35℃下等温 2 min 后, 以 5℃/min 的速率从-35℃升温至 20℃, 得到含有共熔点的 DSC 曲线。

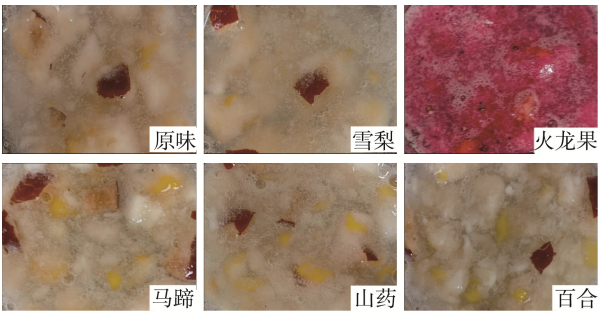


图 3 6 种口味冲泡即食冻干金耳汤块复水 2 min 实物图
Fig.3 Physical pictures of instant freeze-dried solid soups of 6 kinds of tastes from *Tremella aurantialba* rehydrated for 2 minutes

1.3.3 冻干后汤块品质的测定

(1)汤块体积收缩率的测定

参考 CUI 等^[12]的方法并稍作修改, 使用玻璃珠位移法测定冻干后不同口味汤块的体积收缩率。准备容积为 50 mL 的烧杯, 记录其重量(G_1), 然后分别记录其装满水和玻璃珠后的重量(G_2 和 G_3)。在装满玻璃珠后, 为保持表面平整, 用玻璃棒将其表面拉平。取 1 块待测冻干汤块样品置于烧杯中, 记录其重量(G_4), 倒入玻璃珠, 将烧杯装

满填平, 记录三者的重量(G_3)。玻璃珠密度根据式(1)计算, 待测冻干汤块样品体积根据式(2)计算, 体积收缩率根据式(3)计算。

$$\rho/(\text{g/mL})=\frac{G_3-G_1}{(G_2-G_1)\rho_1} \quad (1)$$

式中: G_1 为空烧杯的重量, g; G_2 为烧杯和水的重量, g; G_3 为烧杯和玻璃珠的重量, g; ρ_1 为水的密度, g/mL。

$$V/\text{mL}=\frac{G_3-[G_5-(G_4-G_1)]}{\rho} \quad (2)$$

式中: G_3 为烧杯和玻璃珠的重量, g; G_4 为烧杯和样品的重量, g; G_5 为烧杯、样品和玻璃珠的重量。

$$\text{体积收缩率}/\%=(1-\frac{V}{V_0})\times 100\% \quad (3)$$

式中: V 为样品体积/mL; V_0 为冻干前投入每个模具的金耳汤料的体积, 为 16.82 mL。

(2)汤块水分含量和水分活度的测定

冻干后各口味汤块的水分含量采用 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法直接干燥法进行测定; 水分活度使用水分活度仪测定。

(3)汤块质构特性的测定

使用配有 P/2 柱型探头的质构仪对各口味冻干汤块进行穿刺实验, 测定各口味冻干汤块的硬度和破裂距离。探头在测试前、测试间与测试后的速度分别设置为 1.5、1.0 和 10.0 mm/s, 穿刺距离为 9.0 mm, 触发力为 10 g。

(4)汤块溶出率的测定

参考 SOGABE 等^[13]的方法, 将准确称量好的各口味冻干汤块置于烘干恒重为 27.50 g、孔径为 40 目的带孔不锈钢篮子中, 浸没于 90℃、800 mL 的热水中, 静置 15 s 后取出, 沥水, 置于 105℃的烘箱中烘干至恒重。溶出率根据式(4)计算。

$$\text{溶出率}/\%=(1-\frac{M_1}{M_2})\times 100\% \quad (4)$$

式中: M_1 为称取的冻干汤块的重量/g; M_2 为容器中剩余样品恒重的重量/g。

1.3.4 汤块感官评价与体外仿生消化释糖量的测定

(1)感官评价

参考张园^[14]的方法并稍作修改, 对各口味冻干汤块进行感官评价。选 13 名受过培训的食品专业人士(年龄 23~26 岁, 女生 6 人, 男生 7 人)组成感官评价小组, 按照表 3 的感官评价标准对各口味冻干汤块的表现形态、复水性能、复水汤料的口感和气味进行评分, 并根据各项指标对各口味冻干汤块进行综合评价, 得分越高, 表明制备的产品的品质越好。

(2)体外仿生消化释糖量的测定

参考 ISABEL 等^[15]和王怀槟等^[16]的方法并修改, 各口味冻干汤块与水以料液比 1:10 (g/mL)的比例复水后使用

料理机将其打浆, 准确移取 5 mL 于离心管中, 进行体外仿生消化实验, 以 1 g 白吐司加 5 mL 水研碎作为对照。向上述处理的汤块样品和白吐司中分别加入 3~5 颗玻璃珠和 5 mL 胃液, 在 37℃水浴摇床中孵育 1 h, 仿生胃部消化过程, 得到胃部消化食糜。胃部结束后, 使用饱和 NaHCO_3 调节胃部消化食糜的 pH 至 6.8~7.0, 然后将食糜、30 mL 小肠液与 3 mL 转化酶(400 U/mL)依次加入到活化好的透析袋中, 将透析袋置于含有 700 mL 透析液(生理盐水)和磁力搅拌子的烧杯中, 在 37℃恒温水浴锅中搅拌孵育 3 h, 仿生小肠部消化过程, 得到小肠部消化食糜。仿生小肠部消化过程中, 分别在 0、20、40、60、90、120、150、180 min 时移取透析液 3 mL, 加入 0.3 mL 的糖化酶(100 U/mL)在 60℃的振荡水浴中反应 45 min。使用葡萄糖含量测定试剂盒对透析液中的葡萄糖含量进行测定。

表 3 冻干汤块感官评分表

Table 3 Sensory rating table for freeze-dried solid soups		
评价指标	评分标准	评分
表现形态(30)	汤块完整均匀, 基本无碎屑	21~30
	汤块较完整, 有少量碎屑	11~20
	汤块不完整, 碎屑多	0~10
复水性能(20)	复水良好, 分散均匀	14~20
	复水欠佳, 部分分散	7~13
	复水差, 基本未分散	0~6
复水汤料的口感(30)	口感爽滑、胶质丰富, 金耳味浓郁, 与配料协调	21~30
	口感较爽滑, 有胶质感及金耳味但与配料不协调	11~20
	口感不爽滑, 无胶质, 金耳味淡	0~10
复水汤料的气味(20)	金耳香味浓郁, 无异味	14~20
	金耳香味较淡	6~13
	无金耳香味且有其他异味	0~6

1.3.5 体外仿生消化食糜粘度测定

参考 GE 等^[17]的方法, 使用高级流变仪在对数变化剪切速率扫描为 0.1~100.0 1/s 的范围内对 1.3.4(2)中胃部消化食糜进行扫描; 在对数变化剪切速率扫描为 10~100 1/s 的范围内对 1.3.4(2)中小肠消化食糜进行扫描, 两次扫描均在 25℃下进行。

1.4 数据处理

结果使用平均值±标准偏差表示, 每次实验至少设置 3 次平行。采用 Origin 2019b 软件做图。通过 SPSS 26.0 统计软件对数据进行分析, 采用图基检验不同口味汤块之间的差异显著性($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同食品辅料对汤料共晶点和共熔点的影响

冷冻干燥是生产保质、增值食品的首选方法,共晶点和共熔点是冷冻干燥技术的关键控制参数。为降低能耗同时保持产品品质,首先要解析物料的共晶点和共熔点等物性参数,优化冻干工艺过程。物料预冻的最终温度一般要低于共晶点 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$, 升华干燥温度以共熔点为依据,在避免汤块发生融化崩解的前提下,尽量提高升华界面温度,加快干燥速度,降低冻干能耗^[11]。如图 4(a)所示,6 种口味的汤料在 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的降温过程都有一个放热峰,放热峰的终止点(共晶点)均在 $-22.3\sim -18.7^{\circ}\text{C}$ 的范围内;如图 4(b)所示,在 $-35\sim -20^{\circ}\text{C}$ 的升温过程中,所有汤料均产生一个吸热峰,各口味汤料的吸热峰起始点(共熔点)均在 $-4.7\sim -3.9^{\circ}\text{C}$ 范围内。从生产上来看,食品生产厂的常规冻库一般为 -30°C ,能满足本研究中汤块生产的预冻条件,无需另建预冻库。为避免样品温度处于共熔点时冰晶融化导致物料塌陷,所以接触式冻干机在升华干燥阶段加热板的温度可设置为加热温度上限,即接近共熔点,以提高升华速率;辐射型冻干机则可将加热板的温度设置到 40°C 或更高^[18]。本研究使用的是接触式冻干机,基于汤料理论共熔点为 $-4.7\sim -3.9^{\circ}\text{C}$,为了保证产品品质,设置了 -20°C 和 -10°C 两个升温阶段的升华干燥。从生产上来看,以水果与根茎类食材等质量代替部分金耳,对汤料的共晶点与共熔点影响不大,均可使用同一预冻条件和控温程序实现工业生产,在不增加生产负担的情况下,不仅丰富了产品品类,而且因水果和根茎类食材价格低于金耳,降低了生产成本。

2.2 各口味冻干金耳汤块的物性品质

2.2.1 汤块体积收缩率

各口味冻干金耳汤块的体积收缩率如表 4 所示,原味

金耳汤块的体积收缩率为 12.47%,以马蹄和百合代替部分金耳研制的冻干汤块的体积收缩率显著降低($P<0.05$),分别为 2.33%和 3.91%,与原味相比,分别下降了 83.48%和 68.64%。而火龙果和山药口味的冻干汤块与原味的体积收缩率相当。体积收缩率可反应汤料的主要食材在冻干过程中细胞结构的受损程度,也反映了复杂食品基质在干燥过程中多孔结构的形成,可用来评估冷冻干燥产品的稳定性和质量^[19]。有研究指出,冷冻干燥的物料体积收缩率的可接受值为 20%以下^[20],因此,本研究研制的 6 种口味的冻干金耳汤块在冷冻干燥过程中变形较小,均呈现令人可接受的外观。表明,冷冻干燥技术生产冲泡即食的金耳汤块可保持产品的外观质量,保证产品整体一致性,具有较好的产品预期。

2.2.2 汤块水分含量与水分活度

水分含量与水分活度是影响大多数食品保质期的关键参数,对于食品在无氧条件下的储存具有指导意义^[21]。干燥食品的贮存稳定性可以用水分活度表征,大多数致病菌不能在水分活度 0.85 以下生长,对于水分活度更耐受的酵母菌和霉菌也难以在 0.62 以下生长^[22]。通常,冻干产品的水分含量在 4%左右^[23],本研究研制的 6 种金耳汤块的水分含量和水分活度如表 4 所示。由表 4 可知,6 种口味冻干金耳汤块的水分含量在 3.05%~3.75%之间,原味汤块的水分含量为 3.47%,水果和根茎类食材的添加,均未显著影响产品的水分含量,但是百合与山药两种食材制备的汤块产品的水分含量差异显著($P<0.05$)。各口味冻干汤块的水分活度值在 0.26~0.31 之间,水分活度最高的是添加了百合的金耳汤块。但 6 种汤块的水分活度值均远远低于 0.62。由此可见,本研究研制的 6 种口味冻干汤块均具有较低的水分含量和水分活度值,这可能使其具有较高的储存稳定性,无需额外的防腐处理,保证了产品的质量和安全。

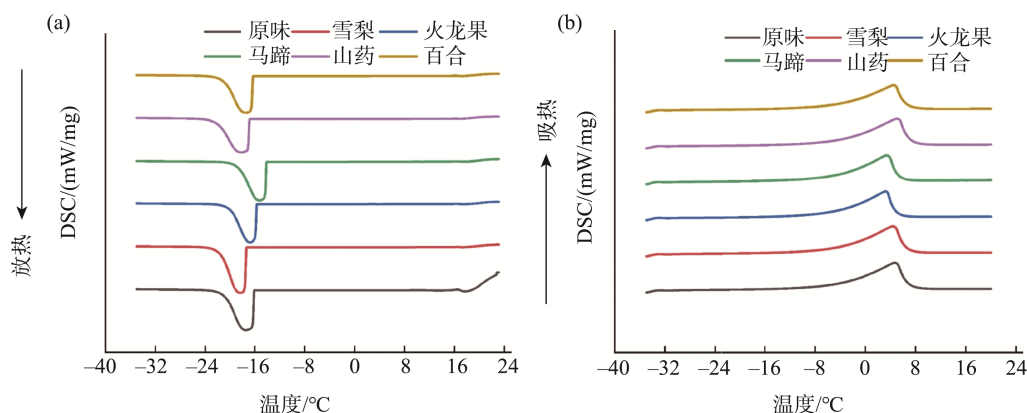


图4 汤料的共晶点(a)和共熔点(b)

Fig.4 Eutectic point (a) and melting point (b) of soup

2.2.3 汤块溶出率

各口味金耳汤块的冲泡溶出率如表 4 所示。由 4 表可知, 在 15 s 的冲泡时间内, 原味金耳汤块的溶出率为 3.54%。添加水果和根茎类食材后, 显著的提高了汤块的溶出率($P<0.05$), 溶出率最高的是添加火龙果的金耳汤块, 可达为 18.20%。以金耳为主要原料, 不复配其他食材研制的汤块所具有的较低的冲泡溶出率, 可能是由于金耳添加量高, 在熬煮过程中产生了胶质, 其在复水过程中, 表面胶质在热水中迅速吸水膨胀, 阻滞了水分子向内扩散, 导致汤块内部仍以聚集体的形式存在^[12]。以水果和根茎类食材替代部分金耳, 显著提升汤块溶出率, 这可能是其他食材降低了金耳胶质的团聚作用。整体上, 本研究研制的 6 种口味的金耳冻干汤块在 2 min 时就已达到了较好的复水作用, 保证了其便捷即食性, 适当复配其他食材不仅丰富了产品的种类和口感, 还提升了产品的冲泡性能。

2.2.4 汤块质构特性

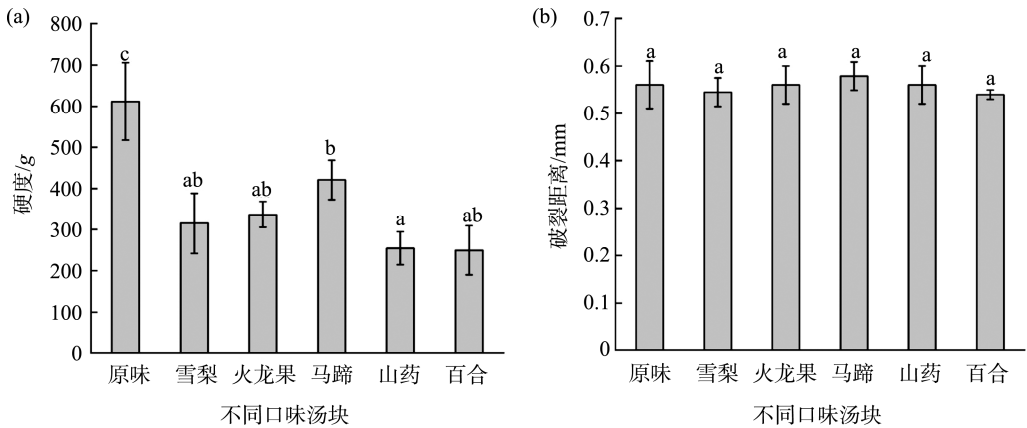
各口味冻干金耳汤块的硬度和破裂距离测定结果如

图 5 所示。由图 5(a)可知, 6 种口味的金耳汤块中, 未添加其他食材的原味汤块的硬度最高, 以水果和根茎类食材代替部分金耳后能够显著降低汤块的硬度($P<0.05$)。一方面可能是因为原味汤料中的金耳含量高, 黏度大, 孔隙度较低, 另一方面, 较高的体积收缩率也会导致硬度值增高^[24-25]。如图 5(b)所示, 6 种口味冻干金耳汤块的穿刺破裂距离无显著差异。物料穿刺破裂距离的大小可表示其脆度, 两者呈现负相关^[26]。汤料内部的水分在冻干过程中直接通过升华作用排出, 汤块内部则形成疏松多孔结构, 且所有汤块均由同一冻干工艺而成, 因此各口味冻干汤块在脆度上不存在显著性差异^[27]。冲泡即食冻干金耳汤块在运输过程中容易受到各种机械应力, 需要一定的物理强度保持外观。目前工业生产中多使用真空充气软包装技术对冻干汤块进行包装, 一方面可以减缓氧气对物料的氧化劣变, 另一方面可保护硬度低、脆度高的物料的完整性^[28]。本研究中 6 种口味冻干金耳汤块具有一定的硬度和脆度, 可复合真空充气软包装技术, 保证其在运输中的完整性。

表 4 冻干汤块的水分含量、水分活度、体积收缩率和溶出率
Table 4 Water content, water activity, volume shrinkage rate, and dissolution rate of freeze-dried solid soups

口味	体积收缩率/%	水分含量/%	水分活度	溶出率/%
原味	12.47±3.25 ^b	3.47±0.04 ^{ab}	0.27±0.01 ^{ab}	3.54±0.76 ^a
雪梨	7.22±1.73 ^{ab}	3.74±0.15 ^b	0.27±0.01 ^b	13.64±0.48 ^d
火龙果	12.73±1.17 ^b	3.42±0.44 ^{ab}	0.29±0.01 ^c	18.20±0.94 ^f
马蹄	2.33±0.18 ^a	3.26±0.07 ^{ab}	0.26±0.01 ^a	16.06±1.24 ^c
山药	13.57±1.05 ^b	3.75±0.16 ^b	0.29±0.01 ^c	11.33±1.24 ^{bc}
百合	3.91±0.78 ^a	3.05±0.03 ^a	0.31±0.01 ^d	11.61±1.11 ^c

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。



注: 不同小写字母表示组间存在显著差异($P<0.05$)。

图5 冻干汤块的硬度(a)与脆度(b)
Fig.5 Hardness (a) and brittleness (b) of freeze-dried solid soups

2.3 各口味冻干金耳汤块感官评价与体外仿生消化释糖量

2.3.1 汤块的感官评价

各口味冻干金耳汤块的感官评价如表 5 所示。与原味相比, 分别以水果和根茎类食材代替部分金耳, 研制的冻干汤块具有更高的感官评分, 其中最受欢迎的是火龙果口味的金耳汤块, 其呈现较好的口感和火龙果所特有的清香气味。综合 6 种口味金耳汤块的物性品质, 可以发现新鲜的金耳复合水果和根茎类食材, 可研制得到复水性和口感更好的冲泡即食冻干金耳汤块, 且几乎不影响汤块的形态与气味。从总体评价来看, 尽管以火龙果代替部分金耳所获得的冻干汤块总体评价最高为 98 分, 但所有口味冻干汤块的总体评价均在 95 分以上, 均呈现令人满意的外观、口感和气味。

表 5 冻干汤块的感官评价得分

Table 5 Sensory evaluation scores of freeze-dried solid soups

口味	形态 (30 分)	复水 (20 分)	口感 (30 分)	气味 (20 分)	总体评价 (100 分)
原味	27	12	21	15	95
雪梨	27	15	24	15	97
火龙果	26	17	25	16	98
马蹄	26	16	25	15	96
山药	26	17	25	15	95
百合	27	16	24	15	97

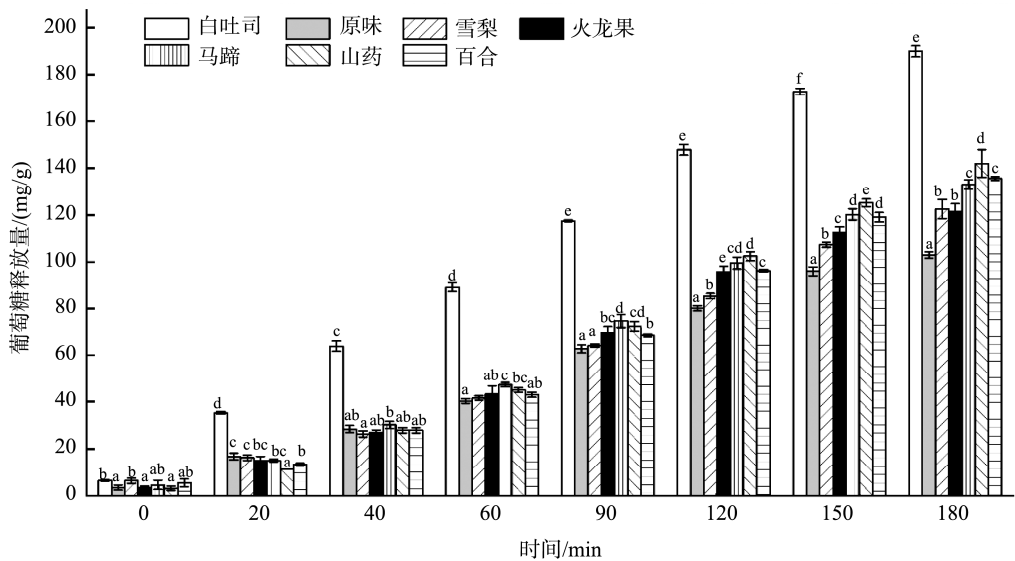
2.3.2 汤块在体外仿生消化中葡萄糖释放量

膳食中可利用碳水化合物消化率直接影响人体血糖稳态, 关联人体健康^[29-30]。很多研究采用体外仿生消化

模型测定葡萄糖的释放量来表征可利用碳水的消化率^[31]。本研究中, 6 种口味冻干金耳汤块的仿生消化释糖量如图 6 所示。在 6 种冻干金耳汤块中, 未复配其他食材的原味金耳汤块呈现最低的葡萄糖释放量, 这可能是因为相比于其他配方的汤块, 原味金耳汤块中含有更多的金耳胶质。随着仿生消化孵育时间的增加, 复配雪梨与火龙果的金耳汤块的消化释糖量逐渐低于 3 种根茎类口味的冻干汤块, 这可能是因为相同质量下水果中可利用碳水的含量低于根茎类。6 种口味的金耳汤块在消化孵育中葡萄糖释放量均显著($P<0.05$)低于白吐司, 这可能与金耳中所含的胶质多糖、膳食纤维等不可消化性碳水化合物有关。研究表明, 膳食纤维形成的纤维网络结构能对葡萄糖分子起到一定的束缚作用, 阻滞其释放至消化液中^[32]; 而金耳多糖则会增加食糜体系的黏度, 阻碍淀粉酶、转化酶等消化酶与淀粉颗粒、糊精等可消化碳水化合物的接触, 降低葡萄糖的产生率^[33]。

2.4 汤块消化食糜的黏度

对消化食糜流变黏度的研究有助于进一步了解消化物在消化过程中的物理变化以及流动与消化吸收之间关系^[34]。图 7 显示了白吐司与各口味冻干汤块在体外胃和小肠仿生消化结束后食糜的稳定剪切黏性。可以发现, 随着剪切速率的增大, 各试样的胃与小肠的食糜黏度值均呈现出下降的趋势, 这是因为剪切力的作用造成了食糜的稀化^[35]。在相同剪切速率下, 6 种金耳汤块的食糜黏度均高于白吐司, 且原味汤块的食糜黏度最高, 这可能是金耳中的胶质多糖在复水且充分溶胀后形成了紧密的凝胶网络结构, 金耳含量越高, 凝胶网络结构越紧密。此外, 胃部食糜的黏度均高于肠部消化食糜的黏度, 是因为在小肠消化阶段又加入的小肠液对食糜产生了稀释作用, 还有可能是食物



注: 同一组柱形图上的不同字母存在显著性差异($P<0.05$)。

图6 冻干汤块与白吐司的体外释糖量

Fig.6 In vitro glucose release of freeze-dried solid soups cubes and white toast

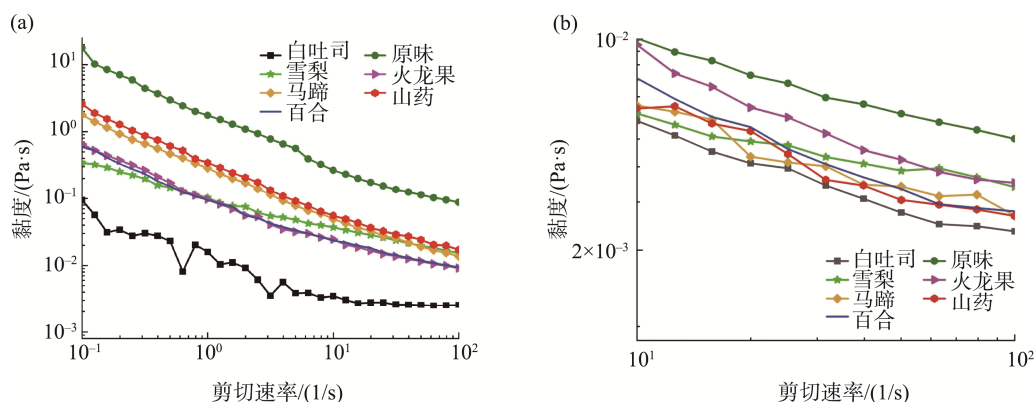


图7 胃部(a)和小肠(b)消化食糜黏度

Fig.7 Gastric (a) and small intestine (b) digestive chyme viscosity

中的大分子物质如碳水化合物、蛋白质等经小肠液中的消化酶类降解成了小分子^[36]。前期金耳吐司的仿生消化研究中也发现了类似的结果, 金耳的添加能显著提高食糜的黏度, 降低消化体系向消化液中释放的葡萄糖的量^[37]。

3 结 论

本研究以金耳为主要原料, 复配红枣、冰糖、水果与根茎类食材, 经程序升温真空冷冻干燥制得了不同口味的冲泡即食冻干金耳汤块, 通过对汤块的物性品质、感官评价、仿生消化葡萄糖释放量和食糜黏度进行测定, 量化了各口味汤块的品质特性和营养价值。研究表明, 6种汤料均具有一致的共晶点与其熔点, 可用同一工艺进行冻干生产, 制得的冻干汤块都呈现较低的体积收缩率、水分含量和水分活度, 具有较高的冲泡溶出率以及合适的硬度和脆度, 使其具有较高的可食品质和储运稳定性。6种口味的金耳汤块均具有较高的感官品质, 与白吐司相比, 6种口味的金耳汤块在放生消化孵育中具有较低的葡萄糖释放量, 较高的食糜黏度。综上, 本研究中创新性的复合水果和根茎类食材研制的多口味冲泡即食冻干金耳汤块, 不仅为消费者提供了多样化的健康、营养、方便、快捷的即食产品, 也为金耳原料的综合利用提供了技术支持。

参考文献

- [1] LI Y, LI JW, FAN LP. Effects of combined drying methods on physicochemical and rheological properties of instant *Tremella fuciformis* soup [J]. Food Chem, 2022, 396: 133644.
- [2] FISSORE D, PISANO R, BARRESI AA. Process analytical technology for monitoring pharmaceuticals freeze-drying-A comprehensive review [J]. Dry Technol, 2018, 36(15): 1839-1865.
- [3] LI GP, WANG Q, ZHOU HC. Research on the application of vacuum freeze-drying technology for food [R]. E3S Web of Conferences, 2023.
- [4] 孙涛, 姜浩, 王燕玲, 等. 金耳多糖的研究进展[J]. 中国食品学报, 2022, 22(8): 386-397.

SUN T, JIANG H, WANG YL, et al. Research advances on *Naematelia*

aurantialba polysaccharides [J]. J Chin Instit Food Sci Technol, 2022, 22(8): 386-397.

- [5] YUAN QX, ZHANG XD, MA MY, 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]. Carbohydr Polym, 2020, 238: 116184.
- [6] 郝瑞芳, 吉哲慧. 功能性金耳苹果复合果酱的研制[J]. 农产品加工, 2021, 527(9): 6-9.
- HAO R, JI ZH. Development of functional *Tremella aurantialba* and apple compound jam [J]. Farm Prod Process, 2021, 527(5): 6-9.
- [7] 何容, 孙达锋, 罗晓莉, 等. 金耳吐司配方的筛选研究[J]. 中国食用菌, 2022, 41(2): 53-58, 65.
- HE R, SUN DF, LUO XL, et al. Study on formula selection of toast with *Tremella aurantialba* [J]. Edible Fungi China, 2022, 41(2): 53-58, 65.
- [8] SUN T, JIANG H, YANG K, et al. Nutritional function and flavor evaluation of a new soybean beverage based on *Tremella aurantialba* fermentation [J]. Foods, 2022, 11(3): 272.
- [9] YAN YH, WANG MT, CHEN N, et al. Isolation, structures, bioactivities, application and future prospective for polysaccharides from *Tremella aurantialba*: A review [J]. Front Immunol, 2022, 13: 1091210.
- [10] 冯慧, 沈秋莲, 孙丽平, 等. 一种冲泡即食冻干金耳汤块的前脱模制作方法: 中国, CN202210671772.2[P]. 2022-09-20.
- FENG H, SHEN QL, SUN LP, et al. A method for the preparation of freeze-dried instant solid soups of *Tremella aurantialba*: China, CN202210671772.2 [P]. 2022-09-20.
- [11] 史德芳, 范秀芝, 殷朝敏, 等. 基于能耗分析的真空冷冻干燥食用菌汤块制备中试[J]. 农业工程学报, 2021, 37(10): 253-260.
- SHI DF, FAN XZ, YIN CM, et al. Pilot-plant test of mushroom instant soup by vacuum freeze drying based on energy consumption analysis [J]. Trans Agric Eng, 2021, 37(10): 253-260.
- [12] CUI ZW, LI CY, SONG CF, et al. Combined microwave-vacuum and freeze drying of carrot and apple chips [J]. Drying Technol, 2008, 26: 1517-1523.
- [13] SOGABE T, OHIRA K, KAWAI K. Effect of polymer addition on the physical properties of freeze-dried soup solid [J]. J Food Sci Technol, 2022, 59(4): 1510-1519.
- [14] 张园. 速食花蛤蛋花汤的工艺研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2017.

- ZHANG Y. Study on processes of instant *Venerupis vraiegata* egg drop soup [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2017.
- [15] ISABEL G, ALEJANDRA GA, FULGENCIO SCR. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index [J]. *Nutr Res*, 1997, 17(3): 427–437.
- [16] 王怀槿, 彭星光, 刘宏生, 等. 碳水化合物食品血糖生成指数值体外、内预测方法的研究进展[J]. *食品科学*, 2023, 44(15): 407–417.
- WANG HB, PENG XG, LIU HS, *et al*. Current development of in vitro and in vivo methods for predicting glycemic indexes of carbohydrate foods [J]. *Food Sci*, 2023, 44(15): 407–417.
- [17] GE F, WU P, CHEN XD. Evolutions of rheology, microstructure and starch hydrolysis of pumpkin-enriched bread during simulated gastrointestinal digestion [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2021, 56(11): 6000–6010.
- [18] 孟灵旭. 人参冻干工艺优化及不同干燥方式的比较研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2023.
- MENG LX. Comparative study on optimization of lyophilization and different drying methods of ginseng [D]. Changchun: Changchuan University of Chinese Medicine, 2023.
- [19] JIANG N, LIU C, LI D, *et al*. Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 82: 216–226.
- [20] REN ZF, YU XJ, YAGOUR AA, *et al*. Combinative effect of cutting orientation and drying techniques (hot air, vacuum, freeze and catalytic infrared drying) on the physicochemical properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 144: 111238.
- [21] MANNHEIM CH, LIU JX, GILBERT SG. Control of water in foods during storage [J]. *J Food Eng*, 1994, 22: 509–532.
- [22] MOHAMMAD SR. Food stability beyond water activity and glass transition: Macro-micro region concept in the state diagram [J]. *Int J Food Propert*, 2009, 12(4): 726–740.
- [23] 刘军, 彭润玲. 真空冷冻干燥[M]. 北京: 化学工业出版社, 2021.
- LIU J, PENG RL. Vacuum freeze-drying technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2021.
- [24] 郭玉霞, 毕金峰, 易建勇, 等. 添加果皮对真空冷冻干燥重组芒果和火龙果脆片品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(3): 178–189.
- GUO YX, BI JF, YI JY, *et al*. Effect of adding peel on quality of freeze-dried restructured mango and pitaya chips [J]. *Chin J Food Sci*, 2022, 22(3): 178–189.
- [25] LUO D, WU J, MA Z, *et al*. Production of high sensory quality shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) by pulsed air-impingement jet drying (AID) technique [J]. *Food Chem*, 2021, 341: 128290.
- [26] CHEN XH, ZHANG M, TENG XX, *et al*. Internal structure design for improved shape fidelity and crispness of 3D printed pumpkin-based snacks after freeze-drying [J]. *Food Res Int*, 2022, 157: 111220.
- [27] 高兴洋, 安辛欣, 赵立艳, 等. 真空低温油炸和真空冷冻干燥对香菇脆片品质及挥发性风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 88–93.
- GAO XY, AN XX, ZHAO LY, *et al*. Effects of vacuum frying versus freeze drying on quality and volatile components of Shiitake (*Lentinula edodes*) chips [J]. *Food Sci*, 2015, 36(17): 88–93.
- [28] 王仲礼. 食品的真空和真空充气软包装技术及其包装机[J]. *粮油加工*, 2002, 8: 38–39.
- WANG ZL. Vacuum and vacuum inflatable soft packaging technology for food and its packaging machine [J]. *Cere Oils Process*, 2002, 8: 38–39.
- [29] FENG H, LUO LF, WANG LY, *et al*. Effects of Tremella aurantialba on physical properties, *in vitro* glucose release, digesta rheology, and microstructure of bread [J]. *J Food Sci*, 2023, 88: 4853–4866.
- [30] NIRMALAN N, NIRMALAN M. Hormonal control of metabolism: Regulation of plasma glucose [J]. *Anaesth Intens Care Med*, 2017, 18(10): 502–507.
- [31] PARADA J, AGUILERA JM. Review: Starch matrices and the glycemic response [J]. *Food Sci Technol Int*, 2011, 17(3): 187–204.
- [32] 何泽东, 沈秋莲, 冯慧, 等. 白参菌复合小麦粉馒头及其淀粉消化性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(17): 252–260.
- HE ZD, SHEN QL, FENG H, *et al*. Study on the *Schizophyllum commune* composite wheat flour steamed bread and its starch digestibility [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(17): 252–260.
- [33] TU J, BRENNAN M, BRENNAN C. An insight into the mechanism of interactions between mushroom polysaccharides and starch [J]. *Curr Opin Food Sci*, 2021, 37: 17–25.
- [34] LENTLE RG, JANSSEN PWM. Physical characteristics of digesta and their influence on flow and mixing in the mammalian intestine: A review [J]. *J Comparat Physiol B*, 2008, 178: 673–690.
- [35] DING QZ, LI ZK, WU W, *et al*. Physicochemical and functional properties of dietary fiber from *Nannochloropsis oceanica*: A comparison of alkaline and ultrasonic-assisted alkaline extractions [J]. *LWT-Food Sci Technol* 2020, 133: 110080.
- [36] 位元元, 张洪斌, 马爱勤, 等. 透明质酸多糖增稠适用于吞咽困难的肠内营养制剂及其流变学性质[J]. *食品科学*, 2019, 40(1): 50–55.
- WEI YY, ZHANG HB, MA AIQ, *et al*. Rheological properties of hyaiuronan thickened enteral nutritional preparations for dysphagia management [J]. *Food Sci*, 2019, 40(1): 50–55.
- [37] JITNGARMKUSOL S, HONGSUWANKUL J, TANANUWONG K. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours [J]. *J Food Chem*, 2008, 110: 23–30.
- [38] FENG H, LUO LF, WANG LY, *et al*. Effects of Tremella aurantialba on physical properties, *in vitro* glucose release, digesta rheology, and microstructure of bread [J]. *J Food Sci*, 2023, 88: 4853–4866.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



高金明, 硕士, 讲师, 主要研究方向为食品营养与产业化研究。

E-mail: 13805368753@163.com



孙丽平, 博士, 教授, 主要研究方向为食品营养与安全控制。

E-mail: lpsun@kmust.edu.cn