

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.06.010

于群, 张涛, 范柳萍. 浓缩预处理对速食银耳羹干燥品质的影响研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(6): 75-83.

YU Q, ZHANG T, FAN L P. Influence of initial moisture content on freeze-dried quality of instant *Tremella fuciformis* soup[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(6): 75-83.

# 浓缩预处理对速食银耳羹干燥品质的影响研究

于群, 张涛, 范柳萍✉

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 对干燥前的银耳羹进行浓缩预处理以减少速食银耳羹块的干燥时间, 探究去除水分程度(10%~50%)对速食银耳羹块品质的影响, 结果表明: 与无预处理样品相比, 当去除汤羹40%以内的水分时, 速食银耳羹块的复水能力、流变特性及摩擦特性无明显差异, 复原性较好, 每批次的干燥时间最多可减少9.5 h。当去除汤羹中50%的水分时, 初始复水时间内银耳叶片团聚较多, 吸水速度慢, 产品复水速率较慢, 复水能力降低幅度较大。因此, 通过浓缩预处理去除汤羹中40%以内的水分以减少速食银耳羹块的冷冻干燥时间。

**关键词:** 速食银耳羹; 冷冻干燥; 加工工艺; 预处理; 感官品质; 复水性

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)06-0075-09

## Influence of Initial Moisture Content on Freeze-Dried Quality of Instant *Tremella fuciformis* Soup

YU Qun, ZHANG Tao, FAN Liu-ping✉

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**Abstract:** The drying time was decreased by concentrating *T. Fuciformis* soup before drying. Effects of removing moisture content (10%~50%) on the quality of the instant *T. Fuciformis* soup was explored. Compared with the samples without pretreatment, when the water content of the soup was removed within 40%, rehydration capacity, rheological properties and tribology properties of instant *T. Fuciformis* soup showed no significant difference. In addition, drying time could be reduced by up to 9.5 h per batch. When 50% of the water in the soup was removed, the tremella pieces were seriously agglomerated during the initial rehydration time, the water absorption rate and the rehydration rate of the product were slow. The rehydration capacity decreased significantly compared with other samples. Therefore, drying time of instant *T. Fuciformis* soup could be reduced by removing less than 40% of the water in the soup through pretreatment.

收稿日期: 2023-05-24

基金项目: 方便果味银耳羹系列产品产业化关键技术研究(崇科 FA2020013); 中国博士后创新人才计划(BX20220137); 国家自然科学基金青年科学基金(32202026)

Supported by: Research on Key Technology of Industrialization of Fructus Tremella Soup Series Products (No.FA2020013); the China National Postdoctoral Program for Innovative Talents (No.BX20220137); Youth Fund of the National Natural Science Foundation of China (No.32202026)

作者简介: 于群, 女, 1993年出生, 博士, 助理研究员, 研究方向为果蔬加工。E-mail: yuqun930115@163.com

通讯作者: 范柳萍, 女, 1972年出生, 博士, 教授, 研究方向为功能食品。E-mail: fanliuping@jiangnan.edu.cn

**Key words:** Instant *T. fuciformis* soup; freeze drying; processing conditions; pretreatment; sensory quality; rehydration property

在我国, 银耳因其资源丰富、营养价值高而受到广泛欢迎, 然而当前市售银耳产品多为未经加工的干品, 存在营养成分利用率低、附加值低的问题。随着食品行业的发展, 各类基于银耳的加工产品相继被开发出。银耳羹是一种常见的银耳类产品, 但由于熬煮时间长、烹调不便, 无法适应现代人快节奏的生活方式, 因而银耳的经济食用价值极大降低。速食银耳羹块是一种冲泡即食的块状干制品, 是将熬煮完新鲜银耳羹经冷冻干燥后包装而制成, 食用时直接加适量水即可恢复与新鲜银耳羹相似的状态, 因其重量轻便、便于携带、食用方便而受到消费者欢迎。为了保证最终产品的外观及复原性, 速食银耳羹块的制备通常采用冷冻干燥技术, 但冷冻干燥方法存在耗时长、耗能大、成本高的问题<sup>[1]</sup>, 亟需从速食银耳羹块的制备出发, 在保证产品良好品质的基础上, 降低制备所需的能耗。当前, 各种预处理及联合干燥手段已广泛用来解决冷冻干燥所存在的问题, 然而大多研究集中于固体果蔬的干燥, 对于银耳羹这类以液体基质为主的物料尚缺乏相关研究。

在物料冷冻干燥前进行预处理去除部分水分, 可以减少升华干燥时间; 或在物料内部形成微孔通道, 改善热质传递条件。常用的预处理方法包括渗透、微波、超声、冻融、浓缩等<sup>[2-3]</sup>。Xin 等<sup>[4]</sup>探究了不同预处理方式对真空冷冻干燥效率和干燥秋葵质量的影响, 结果表明, 超声和不同冻融预处理的应用使干燥时间缩短了 25.00%~62.50%, 总能耗降低了 24.28%~62.35%, 其中超声和冻融预处理能够在一定程度上保证产品质量。Andrzej 等<sup>[5]</sup>也发现在冷冻干燥前进行热烫预处理可以减少约 30%的干燥时间。其中, 浓缩预处理是一种适用于初始含水量高的、减少干燥时间的重要方式<sup>[6-8]</sup>。Sharma<sup>[9]</sup>在冷冻干燥酸奶时, 发现当酸奶中的乳固体浓度从 14.7%增加到 18.8%时, 每单位产量的干燥时间会减少 25.8%, 酸奶的固体浓度从 18.8%进一步增加到 20.4%会

导致干燥时间减少 5.7%, 而感官评价表明乳固体增加到 18.8%时可接受度高。当浓缩预处理应用于速食汤料时, Liu 等<sup>[10]</sup>发现配料的添加增加了固形物含量, 提高了干燥速度, 缩短了干燥时间。

汤料在干燥过程中所需时间更长、能耗更高, 产品的外观要求也更高, 因此探究预处理方式对速食银耳羹块干燥品质的影响具有重要意义。本文的目的在于从速食银耳羹块的制备出发, 采用浓缩预处理方式旨在保证速食银耳羹块产品良好品质的条件下, 减少干燥时间, 降低所需能耗。一方面对制备的速食银耳羹块进行外观及质构等方面的评估, 另一方面通过比较新鲜汤羹与复水汤羹之间的差异以评估产品的复原性, 从而为速食银耳羹块的工业化生产及应用提供理论依据及技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 银耳羹的制备

鲜银耳: 无锡市欧尚超市。挑选新鲜银耳, 去除底部黄色及木质化部分, 充分清洗后剪成约 1.5 cm × 1.5 cm 小块, 沥干备用。

### 1.2 浓缩预处理过程

将银耳片按料液比 1 : 10 (w/w) 与水混合, 加入总重 4%的冰糖, 煮沸后于红外加热炉上熬煮 60 min, 期间保持水的恒量。取熬煮后的液体银耳汤羹, 蒸煮浓缩去除液体汤羹中 10%、20%、30%、40%、50%的水分, 装盒预冻, 将去除 10%、20%、30%、40%、50%水分的样品分别命名为 S1、S2、S3、S4、S5 无浓缩预处理的对照样品命名为 S0。

### 1.3 速食银耳羹和复水汤羹的制备

待银耳羹完全冷却后, 取 (1 ± 0.02) kg 银耳羹装盒, 盒子大小为 7 cm × 5 cm, 固定样品厚度为 2 cm, 每盒约装入 50 g 银耳羹, 随后将样品置于 -35 °C 冰箱中预冻 48 h。将预冻之后的样品置于冷冻干燥箱内冷冻干燥至水分含量小于 5%, 设置冷冻干燥机冷阱温度为 -54 °C, 干燥过程中

压力维持在 $(0.100 \pm 0.005)$  mbar, 干燥后的样品即得速食银耳羹。向制备好的速食银耳羹块中加入100 °C热水, 补充浓缩及干燥过程中损失的水分。

#### 1.4 共晶点和共熔点的测定

采用差式扫描量热仪(DSC)测定样品中液体银耳羹和固体银耳叶片的共晶点(Tf-DSC)和共熔点(Tm-DSC), 以10 °C/min的扫描速率进行25 °C至-30 °C、-30 °C至25 °C的温度扫描, 得到DSC曲线, 氮气流速设为50 mL/min。

#### 1.5 速食银耳羹质构性质的测定

采用质构仪测定干燥样品的硬度值及酥脆性数值, 参考Peng等<sup>[11]</sup>的方法并作适当修改, 具体为: 采用直径为2 mm的圆柱体探头, 测前速度为1 mm/s, 测时速度为1 mm/s, 测后速度为5 mm/s, 测试距离为8 mm, 触发力为15 g, 每个样品平行测定6次。

#### 1.6 复水汤羹

##### 1.6.1 总固形物、可溶性蛋白和多糖含量的测定

新鲜银耳羹及复水银耳羹的总固形物含量采用105 °C烘箱法干燥至重量恒定进行测定。可溶性蛋白的测定采用考马斯亮蓝G-250法, 结果根据牛血清白蛋白标准溶液计算。多糖含量按照苯酚-硫酸法进行检测。用还原率来表示汤羹中各物质含量复原情况, 计算公式为:

$$\text{还原率} = \frac{r_1}{r_2} \times 100\% \quad (1)$$

其中,  $r_1$  为复水汤羹样品中可溶性固形物、可溶性蛋白及多糖含量,  $r_2$  为相应新鲜汤羹中可溶性固形物、可溶性蛋白及多糖含量。

##### 1.6.2 流变特性的测定

稳态剪切测试: 采用40 mm平板, 设置间隙为1 mm, 测试之前样品平衡30 s, 在25 °C条件下进行剪切速率为0.01~1 000 s<sup>-1</sup>的扫描, 记录银耳羹汤羹黏度随剪切速率的变化。

应变扫描测试: 固定频率1 Hz, 25 °C条件下在应变范围0.1%~1 000%内扫描以确定线性粘弹区(LVR)。

频率扫描测试: 在1%的恒定应变下进行频率扫描测试, 温度为25 °C, 角频率范围为

0.1~10 rad/s, 测定汤羹的储能模量G'及损耗模量和G''。

温度扫描测试: 在1%的恒定应变下进行温度扫描以测定汤羹模量变化, 温度从25 °C线性升高至80 °C, 然后线性下降到25 °C, 升温和降温速率均设定为5 °C/min。为防止水分蒸发, 样品边缘滴加低黏度的液体石蜡油。

##### 1.6.3 摩擦特性的测定

使用微牵引力测定仪在25 °C下测定新鲜银耳羹及复水银耳羹的摩擦特性, 参照Farias等<sup>[12]</sup>的方法并做适当修改: 取40 g银耳羹加入基底中, 以聚二甲基硅氧烷(PDMS)为摩擦副, 滑滚比(SRR)设置为50%, 接触压力设为2 N, 滚动速度为1~500 mm/s, 固定步长为10。

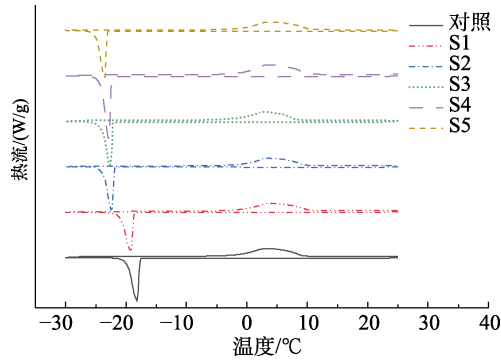
#### 1.7 数据处理

除特殊说明外, 所有实验均重复3次, 结果以平均值±标准偏差的形式表示。数据及图像处理分别采用Excel 2016和Origin 9.0, 数据分析采用SPSS 19.0软件, 并通过Duncan多重比较结果差异, 通过Clustvis网站对样品进行主成分分析(PCA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 浓缩预处理对速食银耳羹块干燥前共晶点和共熔点的影响

在冷冻干燥前浓缩去除银耳羹中的部分水分可以减少冷冻干燥过程中升华干燥所需要的时间。对料液比为1:10, 熬煮时间为60 min的银耳羹在干燥前进行浓缩预处理, 不同浓缩预处理后液体汤羹的共晶点和共熔点如图1所示, 由图可知, 各样品共熔点差异不大。去除水分越多, 液体汤羹的浓缩程度越大, 其共晶点就越低, 未经预处理的对照新鲜汤羹的共晶点为-17.19 °C, 当去除液体汤羹中50%的水分(S5样品)时, 共晶点降至-22.56 °C。由此可见, 浓缩预处理未引起共晶点的剧烈变化, 主要原因是液体汤羹中总可溶性固形物含量小, 浓缩后的体系含水率依旧很高, 因此, 在所实验范围内无需降低预冻温度以保证物料的完全冻结, 就预冻阶段来看, 浓缩预处理是降低冷冻干燥能耗的一种有效方法。



注：对照：新鲜汤羹；S1：去除 10%水分；S2：去除 20%水分；S3：去除 30%水分；S4：去除 40%水分；S5：去除 50%水分。  
Note: Control: fresh soup; S1: 10% moisture removal; S2: 20% moisture removal; S3: 30% moisture removal; S4: 40% moisture removal; S5: 50% moisture removal.

图 1 浓缩预处理对速食银耳羹块干燥前共晶点和共熔点的影响

Fig.1 Effect of concentrating pretreatment on eutectic point and co-melting point of instant T. Fuciformis soup before drying

## 2.2 浓缩预处理对速食银耳羹块质构特性的影响

速食银耳羹块干燥后产品的质构特性及浓

缩、干燥所需时间如表 1 所示，随着去除水分含量的增多，体系中固形物含量增加，产品的硬度和酥脆性均增大。未去除水分的对照速食银耳羹块产品硬度值为 95.37 g，酥脆性数值为 69.50 g，经浓缩预处理后，产品的硬度和酥脆性数值与对照样存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。此外，不同浓缩预处理样品之间的数值也存在显著性差异，说明干燥前浓缩去除不同含量的水分对最终产品的质构特性会产生较大影响。

当每批次冷冻干燥( $1 \pm 0.02$ ) kg 的银耳羹时，干燥前未经预处理样品的耗时约 54.00 h，当去除汤羹中 50%的水分时，浓缩过程仅需蒸煮 2.01 h，而干燥耗时降至 42.25 h，结果显示去除水分越多，干燥时间越短，相应的能耗及成本就越低。主要原因是预先去除汤羹中水分，整个体系中含水量降低，冷冻干燥过程中升华干燥的时间缩短，同时，银耳羹中水分的去除导致物料的厚度减小，这也是影响冷冻干燥时间的重要因素之一。

表 1 浓缩预处理对速食银耳羹块质构特性的影响

Table 1 Effect of concentrating pretreatment on textural properties of instant T. Fuciformis soup

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
硬度/g	95.37 ± 4.25 <sup>a</sup>	114.19 ± 4.51 <sup>b</sup>	128.33 ± 3.13 <sup>c</sup>	145.34 ± 8.03 <sup>d</sup>	164.07 ± 4.81 <sup>e</sup>	186.22 ± 2.35 <sup>f</sup>
酥脆性/g	69.50 ± 3.54 <sup>a</sup>	86.50 ± 4.95 <sup>b</sup>	101.00 ± 4.24 <sup>c</sup>	122.50 ± 3.54 <sup>d</sup>	141.50 ± 4.95 <sup>e</sup>	163.50 ± 4.95 <sup>f</sup>
浓缩时间/h	0	0.36 ± 0.04	0.67 ± 0.03	1.09 ± 0.05	1.56 ± 0.06	2.01 ± 0.07
干燥时间/h	54.00 ± 1.00	51.75 ± 1.00	49.50 ± 1.00	46.75 ± 1.00	44.50 ± 1.00	42.25 ± 1.00

注：不同小写字母表示同一行数据间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between the same row of data ( $P < 0.05$ ).

## 2.3 浓缩预处理对速食银耳羹块复水能力的影响

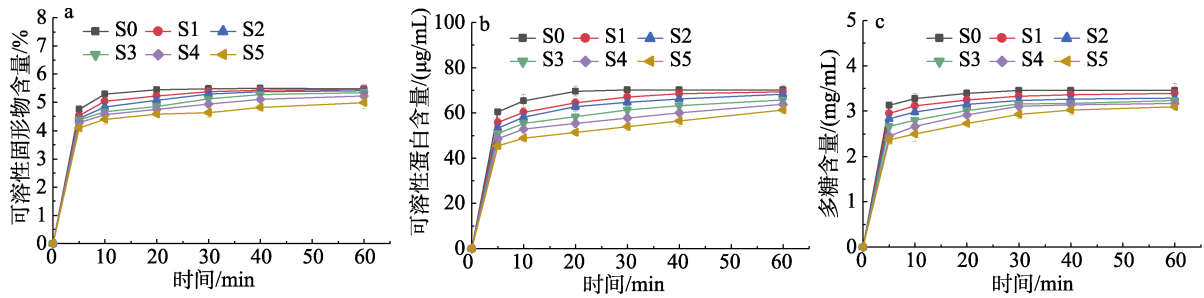
### 2.3.1 复水过程表征

将干燥后的速食银耳羹块复水，补充预处理及干燥过程中损失的水分，分别在复水 5 min、10 min、20 min、30 min、40 min 及 60 min 时取样测定液体汤羹中的主要物质含量以表征复水过程，结果如图 2 所示。所有样品中可溶性固形物、可溶性蛋白及多糖含量在前 5 min 内均上升较快，说明初始阶段速食银耳羹块有较快的复水速率，复水时间越长，汤羹中各物质含量趋于稳定，香菇片、蒜片等经冷冻干燥制备而成的干制品也有类似的复水过程<sup>[13-14]</sup>。对比去除不同水分含量的速食银耳羹块复水结果，发现在相同时间内，预处理去除水分越多，复水速率越慢。同时，去除水分越多的样品在体系相对平衡稳定时汤羹中单

位体积的物质含量也越低。可能的原因是汤羹中去除水分越多，干燥体系中含水量就越少，干燥过程中水分蒸发形成的孔隙就相对较少，复水速率降低，固体银耳片吸水速度降低，相同时间内复水液体汤羹与对照相比更稀。

### 2.3.2 复水后银耳羹表观结构观察

观察不同速食银耳羹块样品复水 1 min 时的状态，由图 3 可知，未经预处理的对照样品 (S0) 中固体银耳片吸水速度较快，大部分银耳片白色部分被浸润呈透明，剩余中间小块区域的未充分吸水的白色区域。随着去除水分含量的增多，复水 1 min 时体系中固体银耳片吸水速度越慢，剩余白色未充分吸收水分的区域越多。此外图中可以看出当去除汤羹中 50%的水分时，固体银耳片复水时团聚较为严重。



注：a：可溶性固形物含量；b：可溶性蛋白含量；c：多糖含量。  
Note: a: Soluble solid content; b: Soluble protein content; c: Polysaccharide content.

图 2 浓缩预处理后复水汤羹中物质含量变化

Fig.2 Ingredients content changes in liquid soup during rehydration after concentrating pretreatment

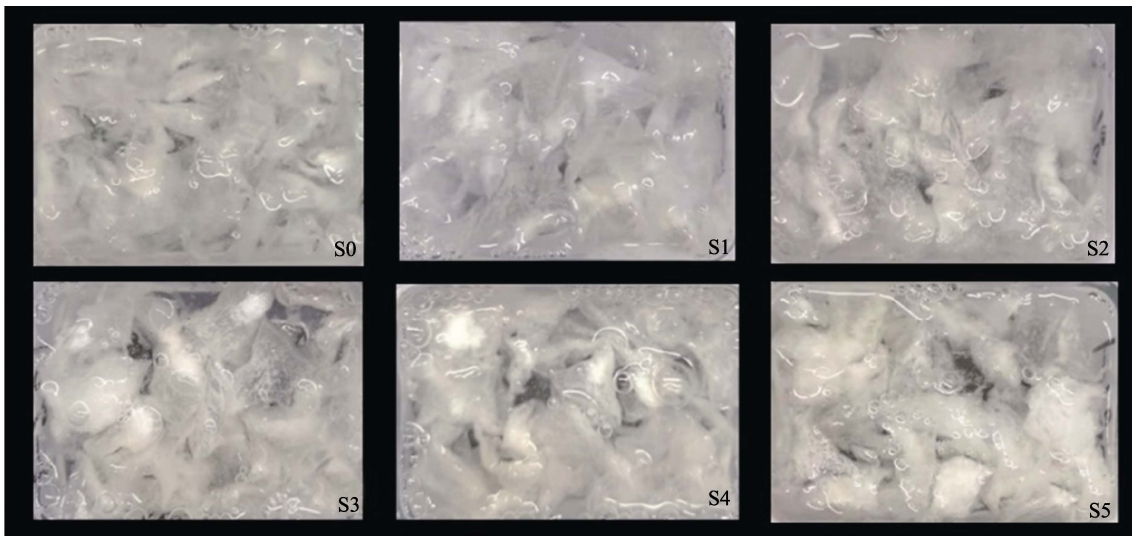


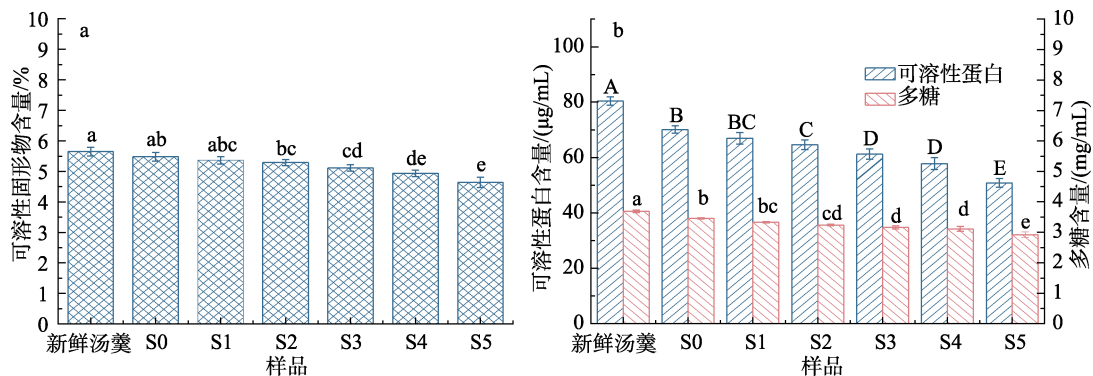
图 3 复水 1 分钟时银耳羹实物图

Fig.3 Photos of *T. Fuciformis* soup in 1 min of rehydration

### 2.3.3 复水后可溶性固形物、可溶性蛋白及多糖含量

测定了复水相对稳定 (30 min) 时汤羹中可溶性固形物、可溶性蛋白及多糖含量, 结果如图 4 所示。当以新鲜银耳羹为对照时, 由图可知, 预处理去除水分越多, 汤羹中各物质含量越低, 汤羹越难还原至熬煮完之后的状态。此外, 综合

可溶性固形物、可溶性蛋白及多糖含量的数据来看, 预处理去除汤羹中 50% 水分 (S5) 的样品与其余样品之间具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 这可能与样品中固体银耳片团聚严重有关, 且由图 2 可知, 相应速食银耳羹块的复水速率慢, 相同时间内复水程度不如其他样品。



注：a：可溶性固形物含量；b：可溶性蛋白及多糖含量。  
Note: a: Soluble solid content; b: Soluble protein and polysaccharide content.

图 4 浓缩预处理对速食银耳羹块复水能力的影响

Fig.4 Effect of concentrating pretreatment on rehydration capacity of instant *T. Fuciformis* soup



### 2.3.4 主成分分析浓缩预处理对速食银耳羹块复水能力的影响

预处理去除银耳汤羹中的水分可以有效减少冷冻干燥时间,实验结果表明去除不同含量的水分对速食银耳羹块的品质影响存在差异。通过比较复水前后液体汤羹中黏度、可溶性固形物、可溶性蛋白及多糖差异,采用主成分分析法对不同条件下制备的速食银耳羹块的复水能力情况进行聚类分析,结果如图 5 所示。PC1 及 PC2 的主成分贡献率为 98.7%,图中点距离的远近直接表明样品之间的相似程度,由图可以明显看出, S1、S2、S3 及 S4 样品与未进行浓缩预处理的 S0 样品距离相对接近,而 S5 与其余样品相距较远,说明当去除汤羹中 50%的水分后再进行干燥时,速食银耳羹块产品的复水能力与未处理组相差较大,去除 40%以内的水分时可以保证在不过多损害产品复水能力的基础上相应减少干燥时间,降低冷冻干燥能耗。

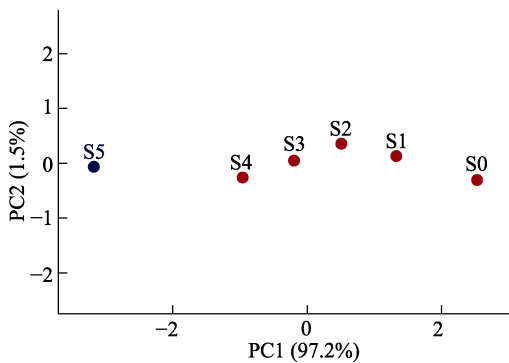
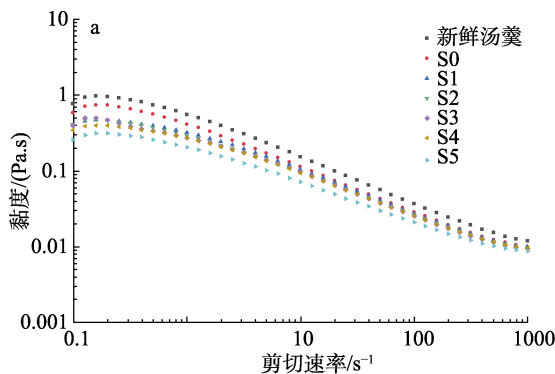


图 5 速食银耳羹块的复水能力主成分分析  
Fig.5 Principal component analysis of rehydration capacity of instant T. Fuciformis soup



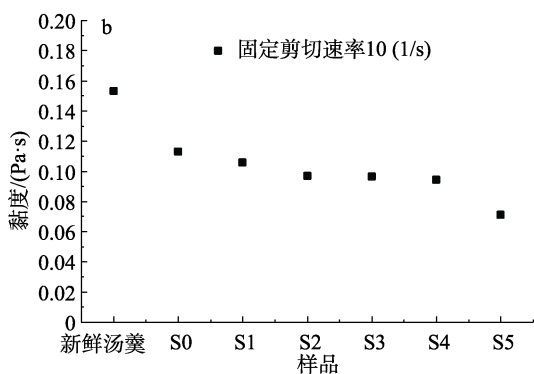
### 2.4 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后流变特性的影响

#### 2.4.1 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后稳态流变性质的影响

图 6 测定了熬煮完新鲜液体汤羹、无预处理后速食银耳复水汤羹及不同程度预处理后复水汤羹的黏度变化。由图 6 (a) 可知,所有汤羹样品均表现出剪切稀化行为,随着剪切速率的增大,溶液中分子内及分子间相互作用力的破坏就越大<sup>[15]</sup>。经冷冻干燥后复水样品的黏度达不到熬煮后新鲜汤羹的状态,未经浓缩预处理的汤羹样品与新鲜汤羹黏度曲线最为接近,去除水分含量越多,复水后液体汤羹的黏度曲线就与对照样及未预处理样品之间的距离越远,这与复水后汤羹中物质含量的变化趋势一致,说明相同复水时间内,去除水分含量越多的样品越难恢复到与熬煮完相似的状态。图 6 (b) 为固定剪切速率为 10 s<sup>-1</sup> 时各样品黏度数值,与对照新鲜汤羹相比,复水后的速食银耳羹块样品黏度降低,且由图可知当去除汤羹水分 40%以内时,黏度变化较小,去除 50%的水分时,复水后汤羹黏度与其他样品相比差距较大。

#### 2.4.2 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后频率扫描结果的影响

图 7 为不同条件下液体汤羹的频率扫描结果,在测试范围内,储能模量 (G') 和损耗模量 (G'') 均随频率的增大而上升,由于 G' 的增幅大于 G'', 损耗因子 (tanδ) 随频率的增大而下降,表明汤羹样品在整个过程中有逐渐倾向于形成弱凝胶的趋势。所有样品复水后的频率扫描曲线与

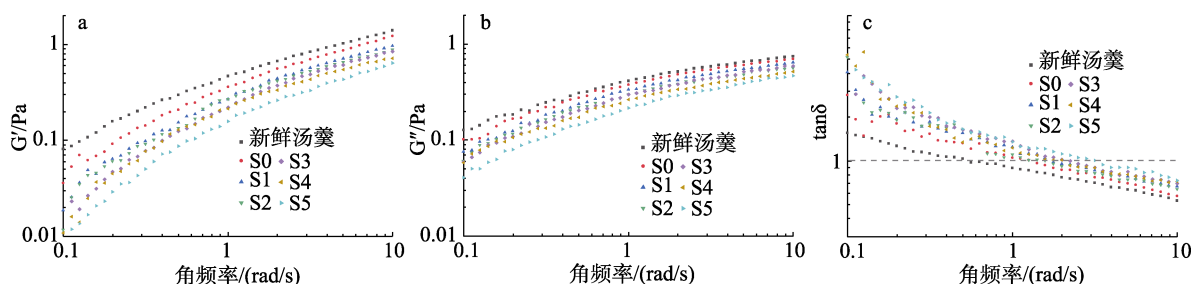


注: a: 稳态流变特性; b: 剪切速率为 10 (1/s) 时样品黏度。

Note: a: Steady-state rheological properties, b: Sample viscosity at a shear rate of 10 (1/s).

图 6 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后稳态流变性质的影响

Fig.6 Effect of concentrating pretreatment on viscosity changes of instant T. Fuciformis soup after rehydration



注: a: 储能模量变化; b: 损耗模量变化; c: 损耗因子变化。

Note: a: Energy storage modulus change; b: Loss modulus change; c: Loss factor change.

图 7 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后频率扫描结果的影响

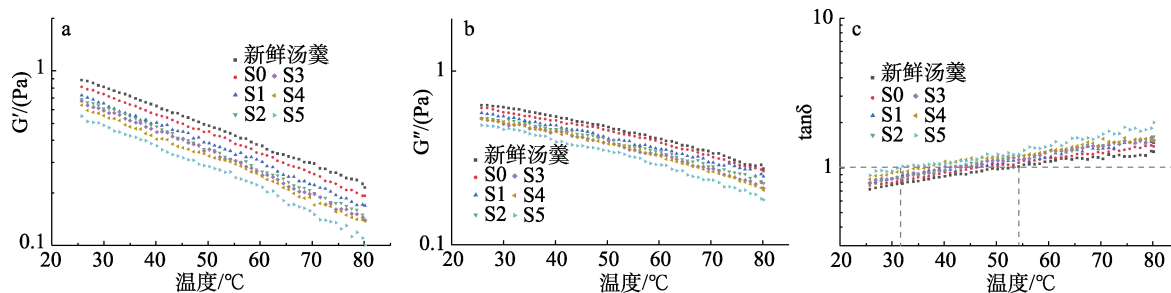
Fig.7 Effect of concentrating pretreatment on frequency sweeps of instant *T. Fuciformis* soup after rehydration

对对照样趋势一致,说明预处理没有影响汤羹的流变性质。去除水分含量越少,曲线与对照样越接近,模量也越高,体系中网络结构越多<sup>[16]</sup>,汤羹中单位体积的银耳多糖含量就越高,复原性越好。图 7(c)中  $\tan\delta$  下降幅度也表明去除水分越多,复水后的汤羹凝胶性也就越弱。

#### 2.4.3 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后温度扫描结果的影响

图 8 为不同液体汤羹的  $G'$ 、 $G''$  和  $\tan\delta$  随温度的变化结果。由图可知,随着温度的升高,  $G'$ 、

$G''$  下降,由于  $G'$  降幅大于  $G''$ ,导致  $\tan\delta$  下降,说明在扫描过程中汤羹样品变稀,逐渐失去弱凝胶状态而向溶液状态转变。曲线趋势进一步说明预处理去除水分后未影响汤羹的流变性质,此外,去除水分越多,模量就越低,相应曲线与对照样品之间的距离也越远,复原性越差。图 8(c)中  $\tan\delta = 1$  对应的温度差异 (32.2~54.7 °C) 说明不同样品之间体系状态的转变临界点不同,表明浓缩预处理去除不同含量水分的复水液体汤羹中多糖含量也不相同。



注: a: 储能-模量变化; b: 损耗模量变化; c: 损耗因子变化。

Note: a. Energy storage - modulus change; b. Loss modulus change; c. Loss factor change.

图 8 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后温度扫描结果的影响

Fig.8 Effect of concentrating pretreatment on temperature sweeps of instant *T. Fuciformis* soup after rehydration

#### 2.5 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后摩擦特性的影响

食物进入口腔后会与舌头及上颚产生摩擦,进而影响其口感,因此摩擦学被广泛应用于评价食物品质<sup>[17]</sup>。食用银耳羹初期阶段流变特性占主导,经过舌头与上颚之间的挤压后,摩擦性质占主要作用。借助仪器设备通过体外方法测定银耳羹的摩擦学特性可以建立与银耳羹口感之间的关联,以便更客观地评价其品质。不同滚动速度下新鲜银耳羹及复水银耳羹摩擦系数变化如图 9 所

示,所有样品均在摩擦系数短暂升高后出现了峰,说明银耳羹的摩擦性能由边界润滑过渡到混合润滑,主要是因为初始阶段两个表面直接接触,随着实验的延续,接触面之间逐渐形成了薄膜<sup>[18]</sup>。随着滚动速度的增大,各样品的摩擦系数均降低,主要原因是上试样的滚动带动接触区域的银耳羹的运动逐渐增大,银耳羹运动的区域变大。然而,当接触区域的银耳羹完全运动起来后,滚动速度的增大对银耳羹的影响减小,进而导致摩擦系数降低的速率减缓。

对比不同样品之间的差异,发现在整个过程中摩擦系数大小按新鲜银耳羹 < S0 < S1 < S2 < S3 < S4 < S5 排列,复原性越好的速食银耳羹块样品摩擦系数越小,润滑性能越好。同时, S5 样品与其余样品相比差异较大,主要原因是速食银耳羹块样品复水后黏度最低,部分银耳片未能充分吸收水分,较为粗糙的体系导致了较高的摩擦系数,而 S1 至 S4 样品的摩擦曲线结果表明:浓缩预处理去除 40% 以内的水分所制备的速食银耳羹块,复水后口感与未除水及新鲜银耳羹较为接近。

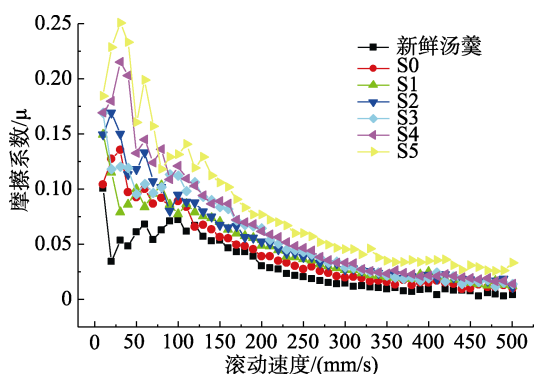


图 9 浓缩预处理对速食银耳羹块复水后摩擦特性的影响  
 Fig.9 Effect of concentrating pretreatment on tribology properties of instant *T. Fuciformis* soup after rehydration

### 3 结论

在干燥前浓缩去除银耳羹中一定程度的水分可以在保证速食银耳羹块良好品质的基础上有效减少冷冻干燥所需时间。在所研究范围(10%~50%)内,去除水分越多,干燥后产品的硬度及酥脆性数值就越大,复水能力也有所降低。速食银耳羹块复水后的流变特性及摩擦特性与新鲜汤羹及无预处理汤羹趋势一致,但随着去除水分的增多,体系黏度、粘弹性及整体口感降低。与无预处理样品相比,当去除汤羹 40% 以内的水分时,速食银耳羹块的复水能力、流变特性及摩擦特性无明显差异,复原性较好。此外,能在保证产品良好品质的基础上每批次最多减少 9.5 h 的干燥时间。当去除汤羹中 50% 的水分时,初始复水时间内银耳叶片团聚严重,吸水速度慢,产品复水速率较慢,且与其他样品相比,复水能力降低幅度较大。因此,可以通过浓缩预处理去除汤羹中 40% 以内的水分来减少冷冻干燥时间。

### 参考文献:

- [1] ZHANG D W. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 78: 72-82.
- [2] 吴阳阳, 李敏, 关志强, 等. 预处理方法在食品冷冻干燥中的应用分析[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(9): 6.  
WU Y Y, LI M, GUAN Z Q, et al. Application analysis of pretreatment method in food freeze-drying[J]. *Food research and development*, 2015, 36(9): 6.
- [3] TSOUROUFLIS S, FLINK J M, KAREL M J, et al. Loss of structure in freeze-dried carbohydrates solutions: Effect of temperature, moisture content and composition[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1976, 27: 509-519.
- [4] XIN X A, LEI Z A, YF A, et al. Ultrasound freeze-thawing style pretreatment to improve the efficiency of the vacuum freeze-drying of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and the quality characteristics of the dried product[J]. *Ultrasonics sonochemistry*, 70: 105300.
- [5] ANDRZEJ K, DARIUSZ D, STANIS A R, et al. Effect of pre-treatment conditions and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical properties of pepper[J]. *LWT, Food science & technology*, 2018, 98: 25-30.
- [6] MALIK N, GOUSETI O, BAKALIS S J. Effect of freezing on microstructure and reconstitution of freeze-dried high solid systems[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 83: 473-484.
- [7] YAGOURB E, MA H, FAKAYODE O A, 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 Science & Technology*, 2021, 144: 111238.
- [8] 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 chemistry*, 2021, 341: 128290.
- [9] SHARMA N K, ARORA C P, MITAL B K. Influence of concentration of milk solids on freeze-drying rate of yoghurt and its quality[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2010, 15(3): 187-198.
- [10] LIU B, TECHNOLOGIES E. A novel strategy for improving drying efficiency and quality of cream mushroom soup based on microwave pre-gelatinization and infrared freeze-drying[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 66(4): 102516.
- [11] PENG J, BI J, YI J, et al. Characteristics of cell wall pectic polysaccharides affect textural properties of instant controlled pressure drop dried carrot chips derived from different tissue zone[J]. *Food Chemistry*, 2019, 293(SEP.30): 358-367.
- [12] FARIAS B V, HSIAO L C, KHAN S. Rheological and tribological behavior of gels and emulsions containing polymer



- and phospholipid[J]. ACS Applied Polymer Materials, 2020, 2, 1623-1633.
- [13] QIU Y, BI J, JIN X, et al. Investigation on the rehydration mechanism of freeze-dried and hot-air dried shiitake mushrooms from pores and cell wall fibrous material[J]. Food Chemistry, 2022, 383: 132360.
- [14] ZHOU C, ZHANG Y B, ABU E A, et al. Rehydration characteristics of vacuum freeze and hot air-dried garlic slices[J]. LWT-Food Science & Technology, 2021, 143(1): 111158.
- [15] CHEN Q, ZHANG J, ZHANG Y, et al. Rheological properties of pea protein isolate-amylose/amylopectin mixtures and the application in the high-moisture extruded meat substitutes[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 117(3): 106732.
- [16] NI Y, FAN L, SUN Y. Interfacial properties of cellulose nanoparticles with different lengths from ginkgo seed shells[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 109(1): 106121.
- [17] YANG N, FENG Y, SU C, et al. Structure and tribology of k-carrageenan gels filled with natural oil bodies[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 107(2): 105945.
- [18] YOUNG P W, MILLS T B, NORTON I T. Influence of pH on fluid gels produced from egg and whey protein isolate[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 111: 106108. 完

备注：本文的彩色图表可从本刊官网（<http://lyspkj.ijournal.cn>）、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。