

## 增稠剂对杏鲍菇冻干粉品质的影响

### Effects of different thickeners on the quality of freeze-dried *Pleurotus eryngii* powder

王海鸥<sup>1</sup> 高颖宇<sup>2</sup> 陈守江<sup>1</sup> 扶庆权<sup>1</sup>

WANG Hai-ou<sup>1</sup> GAO Ying-yu<sup>2</sup> CHEN Shou-jiang<sup>1</sup> FU Qing-quan<sup>1</sup>

张 伟<sup>1</sup> 王蓉蓉<sup>1</sup> 华 春<sup>1</sup>

ZHANG Wei<sup>1</sup> WANG Rong-rong<sup>1</sup> HUA Chun<sup>1</sup>

(1. 南京晓庄学院食品科学学院, 江苏 南京 211171; 2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014)

(1. School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 211171, China; 2. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

**摘要:**以堆积密度、吸湿性、速溶性为指标,采用单因素、正交试验及综合加权评分法,优化 3 种增稠剂的组合方式,研究麦芽糊精、黄原胶、羧甲基纤维素钠添加量对杏鲍菇冻干粉品质的影响。结果表明,单独添加 3 种增稠剂均可改善杏鲍菇冻干粉的品质,麦芽糊精最为显著,其次为黄原胶、羧甲基纤维素钠,且在麦芽糊精 15%、黄原胶 0.15%、羧甲基纤维素钠 0.8% 的组合条件下杏鲍菇冻干粉综合品质最好。

**关键词:**增稠剂;杏鲍菇冻干粉;品质;综合评分

**Abstract:** Effects of the addition amount of different thickeners (maltodextrin, xanthan gum, sodium carboxymethyl cellulose) on the quality of freeze-dried *Pleurotus eryngii* powder were studied by investigating the indexes of bulk density, hygroscopicity and instant solubility. In order to obtain a better product quality, the best combination of thickeners was optimized by single factor, orthogonal experiment and comprehensive analysis method. The results showed that adding three thickeners alone can improve the quality of freeze-dried *Pleurotus eryngii* powder. The effect of maltodextrin was the most significant, followed by xanthan gum and sodium carboxymethyl cellulose. The best combination was maltodextrin 15%, xanthan gum 0.15% and sodium carboxymethyl cellulose 0.8%.

**Keywords:** thickeners; vacuum freeze-drying *Pleurotus eryngii* powder; qualities; comprehensive evaluation score

**基金项目:**国家自然科学基金资助(编号:31872901);国家自然科学基金资助(编号:31301592);常州市科技支撑计划项目(编号:CE20152017);农业部现代农业装备重点实验室开放课题(编号:201604002)

**作者简介:**王海鸥,男,南京晓庄学院副教授,博士。

**通信作者:**华春(1963—),女,南京晓庄学院教授,硕士。

E-mail:176167168@qq.com

**收稿日期:**2018-05-06

真空冷冻干燥生产食用菌粉状食品,可最大程度上减少果蔬营养成分的损失,物料在低温和低压条件下干燥,避免了物料在干燥过程中的氧化变质现象,从而使干制品的色、香、味、形和营养成分能得到最大限度的保留。杏鲍菇含有 17 种氨基酸,并且赖氨酸、精氨酸的含量很高,研究发现干制杏鲍菇中的蛋白质和矿物质含量明显高于人们生活中常食用的干制银耳、黑木耳、香菇等,具有很高食用药用价值<sup>[1-3]</sup>。由于杏鲍菇富含蛋白质、纤维素等大分子物质,水溶液中这些成分在重力作用下易发生沉降,所以水溶后易出现析水分层、聚结和絮凝沉淀现象,致使产品感官品质降低<sup>[4-6]</sup>。杏鲍菇通过深加工制成粉体,风味物质得以保存,口感细腻,不仅利于保藏及运输,还可以用于人们日常生活中的饮食,其营养成分更加容易被人体吸收。如何提高杏鲍菇冻干粉水溶性相关品质,是其冷冻干燥加工亟待解决的问题。

增稠剂可以在粉体颗粒表面形成一层很薄的亲水性薄膜,复水时亲水性薄膜迅速吸水,从而增强了粉体的润湿性和分散性,待粉完全复水后,含有亲水性胶体的固体饮料黏度较高,可使其长时间放置不发生分层、沉淀等现象<sup>[7-9]</sup>。因此,探索不同种类增稠剂在杏鲍菇冻干粉上的应用效果具有非常重要的现实意义。麦芽糊精、黄原胶、羧甲基纤维素钠是食品工业中应用较为广泛的食品增稠剂,而目前未见有关不同增稠剂对杏鲍菇冻干粉影响的研究报道。本试验在前人研究的基础上,拟以新鲜杏鲍菇为原料,选取麦芽糊精、黄原胶、羧甲基纤维素钠作为配料,采用单因素和正交试验相结合,研究这 3 种增稠剂及其添加量对杏鲍菇冻干粉堆积

密度、吸湿性、速溶性等品质的影响,以期为杏鲍菇冻干粉加工技术创新和品质提升提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

新鲜杏鲍菇:购于南京苏果超市;

麦芽糊精、黄原胶、羧甲基纤维素钠(CMC-Na):食品级,市售;

氯化钠:分析纯,国药集团江苏有限公司;

冷冻干燥机:SCIENTZ-50F型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

料理机:JYL-C010型,九阳股份有限公司;

电子天平:XY2000-2C型,常州市幸运电子设备有限公司;

高剪切分散乳化机:F6型,上海涵今仪器仪表有限公司;

电热恒温水浴锅:HHS型,上海博迅实业有限公司;

摇摆式粉碎机:HK-0413型,济南旭众机械设备有限公司;

高品质电脑色差仪:3nh型,深圳市三恩时科技有限公司。

### 1.2 不同增稠剂调配杏鲍菇冻干粉工艺过程

1.2.1 原料处理 挑选新鲜、硬挺、无机械损伤的杏鲍菇,表面去杂、清洗沥干,切去顶部和底部,取中段为试验材料,并按照斜切(与生长方向呈30~45℃,切成椭圆状)方式切片,切片厚度约为3 mm,在沸水中烫漂1 min后立即取出,用自来水冷却至室温<sup>[10]</sup>,便于打浆。

1.2.2 打浆 经前期试验摸索,杏鲍菇和蒸馏水按照质量比的1:1比例放入料理机中,打浆时间约为3 min,获得均细料浆。

1.2.3 调配 取上述杏鲍菇原浆,分别加入不同量的麦芽糊精、黄原胶、羧甲基纤维素钠3种增稠剂,增稠剂的添加量以浆料的质量计算。

1.2.4 均质 调配好的浆料在常温下进行均质,时间3 min,均质2次。

1.2.5 预冻 提前开启真空冷冻干燥机制冷机组,在冷阱温度达到-40℃后。将上述均质好的杏鲍菇浆料装入料盘中,并同一批次送进冷阱中,将测温探头插入料液中心测定物料温度,密封后预冻4 h。

1.2.6 真空冷冻干燥 将预冻结后的杏鲍菇浆料从冷阱中迅速转入真空冷冻干燥机工作仓,继续进行真空冷冻干燥。密闭后开启真空泵,启动加热器进入冻干过程,通过前期试验摸索,加热隔板采用渐进式温升程序,“温度-时间”控制程序设定为:-30℃-1 h,-20℃-1 h,-10℃-1 h,0℃-1 h,10℃-2 h,20℃-2 h,30℃-2 h,40℃-2 h,50℃-至干燥终点,干燥仓压力控制在50 Pa以下,经前期多次杏鲍菇浆冷冻干燥试验测定表明,在冷冻干燥后期当物料温度升至(35.0±0.5)℃,实测物料湿基含水率在5%以下,因此监测物料温度达到(35.0±0.5)℃就判断冷冻干燥结束,此时解除真空状态、出料,获得真空冻干杏鲍菇浆块状样品。

1.2.7 粉碎、筛分及包装 将获得的干料立即粉碎,筛分为粉状,粉末过80目筛,取筛上物进一步细磨后,再次过80目

筛后进行真空包装,待测定指标。

### 1.3 试验设计

1.3.1 单因素试验设计 在杏鲍菇浆料中加入不同浓度的添加剂,研究不同添加量对真空冷冻干燥杏鲍菇粉品质的影响。每组处理样品量100 mL,进行3次平行试验,选出较优添加量进行复配研究。

(1) 麦芽糊精质量分数:改变麦芽糊精质量分数(0%,5%,10%,15%,20%,25%,30%),以堆积密度、吸湿性、溶解性为指标,确定麦芽糊精添加量较优水平。

(2) 黄原胶质量分数:改变黄原胶质量分数(0.00%,0.05%,0.10%,0.15%,0.20%,0.25%,0.30%),以堆积密度、吸湿性、溶解性为指标,确定黄原胶添加量较优水平。

(3) CMC-Na质量分数:改变CMC-Na质量分数(0.0%,0.2%,0.4%,0.6%,0.8%,1.0%,1.2%),以堆积密度、吸湿性、溶解性为指标,确定CMC-Na添加量较优水平。

1.3.2 正交试验设计 在单因素的基础上,对上述3个因素各选出3个较优水平进行L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>)正交试验,不考察交互作用,综合研究杏鲍菇冻干粉的品质,以堆积密度、吸湿性、溶解性为指标综合考察分析,进行3次平行试验,确定最佳复合增稠剂配方。但各项指标的分析结果以及因素水平对各项指标的影响均各不相同。所以从各方面考虑,平衡兼顾各项指标在判断杏鲍菇冻干粉品质中的重要性,以优化筛选出使各项指标都尽可能好的条件。在本试验中,堆积密度指标越大越好,吸湿性和速溶性都是越小越好,根据各指标的重要程度对试验结果进行综合评分,使用隶属度来表示指标的分数,隶属度按式(1)计算:

$$R = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (1)$$

式中:

R——指标隶属度;

X——指标值;

X<sub>min</sub>——指标最小值;

X<sub>max</sub>——指标最大值。

指标最大值的隶属度为1,指标最小值的隶属度为0,0≤指标隶属度≤1。采用综合加权评分法进行分析。考虑到各个指标的重要程度,堆积密度、吸湿性、速溶性指标的权重比例分别为30%,35%,35%,采用综合加权评分法进行分析。加权综合评分值=堆积密度隶属度×30%+吸湿性隶属度×35%+速溶性隶属度×35%。

### 1.4 指标测定

1.4.1 堆积密度 取2.000 g杏鲍菇粉装入10 mL量筒中,轻轻振荡,待样品的体积恒定,此时读出量筒的刻度,即为杏鲍菇粉的体积<sup>[11]</sup>,杏鲍菇质量与体积的比即为堆积密度。平行测定3次。

1.4.2 吸湿性 称取1 g杏鲍菇粉于已称重的干玻璃皿中,将玻璃皿放置于底部盛有饱和NaCl溶液(环境相对湿度75.5%)的玻璃干燥器中,密封保存7 d<sup>[12]</sup>。平行测定3次,按式(2)计算吸湿性,取均值。

$$W = \frac{m_d}{m_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

$W$ ——吸湿率 %;

$m_d$ ——原干物质吸收水分的重量, g;

$m_0$ ——原干物质质量, g。

1.4.3 速溶性的测定 称取 5 g 杏鲍菇粉,置于装有 100 mL 60 °C 蒸馏水的烧杯中,并用玻璃棒轻轻搅拌,测定杏鲍菇粉完全溶解所需的时间<sup>[13]</sup>。

## 1.5 数据处理

所有试验进行 3 次重复,所得数据采用 SPSS 17.0 统计分析软件进行描述性分析、显著性分析及方差分析等,显著水平为 0.05,采用 Duncan 法进行多重比较。结果以平均值±标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 麦芽糊精对杏鲍菇冻干粉品质的影响

麦芽糊精对杏鲍菇冻干粉 3 个指标影响的测试结果见表 1。堆积密度是果蔬粉质量的体现,经麦芽糊精处理的和未经处理的堆积密度之间存在显著差异( $P < 0.05$ )。未经麦芽糊精处理样品的堆积密度最低,仅为 0.313 g/mL,而 20% 处理的样品堆积密度最高,为 0.523 g/mL。这可能是麦芽糊精均匀地分布于粉体内部,使杏鲍菇粉末颗粒形成规则的微观形态,粉末的粒径分布较均匀,使结构更为紧密,堆积密度变大。而后随着麦芽糊精添加量增大,堆积密度减小,可能是添加量过高导致黏度较高,使粉末聚集,颗粒变大。

表 1 麦芽糊精添加量对杏鲍菇冻干粉堆积密度、吸湿性、速溶性的影响<sup>†</sup>

Table 1 Effects of maltodextrin addition on the bulk density, hygroscopicity and instant solubility of *Pleurotus eryngii* powder

麦芽糊精添加比例/%	堆积密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	吸湿性/%	速溶性/s
0	0.313±0.007 <sup>c</sup>	23.67±0.64 <sup>a</sup>	113.50±1.10 <sup>a</sup>
5	0.411±0.009 <sup>b</sup>	18.83±0.46 <sup>b</sup>	100.50±0.79 <sup>b</sup>
10	0.449±0.008 <sup>b</sup>	17.83±0.31 <sup>c</sup>	88.00±1.10 <sup>c</sup>
15	0.483±0.008 <sup>a</sup>	14.50±0.42 <sup>d</sup>	75.00±1.30 <sup>d</sup>
20	0.523±0.007 <sup>a</sup>	15.50±0.50 <sup>cd</sup>	82.00±1.50 <sup>cd</sup>
25	0.500±0.010 <sup>a</sup>	16.67±0.64 <sup>cd</sup>	82.50±0.80 <sup>cd</sup>
30	0.480±0.007 <sup>a</sup>	18.25±0.60 <sup>b</sup>	89.00±1.40 <sup>c</sup>

† 同列上标字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

加入麦芽糊精制得的杏鲍菇冻干粉的吸湿性均显著降低,15%组的降低最明显,说明在相对湿度为 75.5%的环境下,加入麦芽糊精的杏鲍菇粉吸湿性比纯杏鲍菇粉吸湿性小,且存在显著性差异( $P < 0.05$ ),未加入麦芽糊精的粉表面粗糙,多数呈现孔状结构,更加容易吸收大量外界的水分,吸湿率较高;加入麦芽糊精使得粉体分散性提高,不易吸潮,利于杏鲍菇粉的保存。由此可初步推断,麦芽糊精添加比例为

15%的粉品质最好,其次为 20%,25%的。

颗粒的溶解性是测定粉体品质的重要指标,不同处理下的产品溶解性比较见表 2,可以看出随着麦芽糊精添加量的增大,溶解时间先减小后部分呈较小程度的增大。在 15%添加比例时,溶解时间最短,效果最好,为 75.00 s。添加量为 20%,25%时效果次之,分别为 80.00,82.50 s,说明在此条件下溶解性提高。溶解时间最长的是 0%处理组,可能是粉体结构紧密,疏松度不够,不易吸水溶解。这与麦芽糊精易溶于水,增加产品的溶解性能及能调整产品的组织结构有关<sup>[7]</sup>。综合麦芽糊精添加量对杏鲍菇冻干粉的影响,选择添加 15%,20%,25%进行正交试验。

### 2.2 黄原胶对杏鲍菇冻干粉品质的影响

黄原胶对杏鲍菇冻干粉 3 个指标影响的测试结果见表 2。经黄原胶处理的和未经处理的冻干粉堆积密度之间存在显著差异( $P < 0.05$ )。其中 0.05%处理组样品的堆积密度最低,仅为 0.244 g/mL,而 0.00%处理组样品的堆积密度最高,为 0.314 g/mL。黄原胶的添加使得堆积密度减小,可能是黄原胶具有较高的黏度,使粉末聚集,颗粒变大,导致粉末堆积密度较小;黏度变大会增大粒子之间附着结块的倾向,附着在一起的颗粒增大,而变得粗糙且间隙增大,增大了堆积的体积导致堆积密度较低。并且粉体空隙的大小与多少是引起粉体堆积体积差异的主要原因<sup>[14]</sup>,空隙较大有利于亲水基与水分子间的吸附溶解,这又导致了粉体分散性的不同<sup>[15]</sup>。

表 2 黄原胶添加量对杏鲍菇冻干粉堆积密度、吸湿性、速溶性的影响<sup>†</sup>

Table 2 Effects of xanthan gum addition on the bulk density, hygroscopicity and instant solubility of *Pleurotus eryngii* powder

黄原胶添加比例/%	堆积密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	吸湿性/%	速溶性/s
0.00	0.314±0.003 <sup>a</sup>	25.44±0.45 <sup>a</sup>	113.50±1.10 <sup>a</sup>
0.05	0.244±0.004 <sup>c</sup>	12.00±0.29 <sup>c</sup>	50.02±0.73 <sup>b</sup>
0.10	0.259±0.002 <sup>b</sup>	12.89±0.20 <sup>c</sup>	56.86±1.20 <sup>b</sup>
0.15	0.265±0.003 <sup>b</sup>	11.22±0.32 <sup>c</sup>	61.33±1.05 <sup>b</sup>
0.20	0.251±0.004 <sup>c</sup>	16.00±0.57 <sup>b</sup>	68.37±1.27 <sup>b</sup>
0.25	0.270±0.004 <sup>b</sup>	11.50±0.19 <sup>c</sup>	55.00±0.89 <sup>b</sup>
0.30	0.266±0.005 <sup>b</sup>	11.89±0.26 <sup>c</sup>	48.33±0.95 <sup>c</sup>

† 同列上标字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

杏鲍菇冻干粉即使密封包装在贮藏过程中也会从空气中吸收一定量水分,而引起粉体的潮解变质。在 75.5%的相对湿度环境下,加入黄原胶的杏鲍菇粉吸湿性比纯杏鲍菇粉吸湿性小,存在显著性差异( $P < 0.05$ )。且加入黄原胶制得的杏鲍菇冻干粉的吸湿性均显著降低,其中 0.15%的吸湿率最低,与 0.00%对照相比降低得最为明显。由此可初步推断 0.15%的粉品质最好,其次为 0.25%,0.30%,0.05%,0.10%,0.20%的。

黄原胶添加量的增加,使得溶解时间均比 0.00%处理组

小很多,且差异显著( $P<0.05$ )。在黄原胶添加量为 0.30% 时,溶解时间最短(48.33 s),溶解性最好。添加量为 0.05%, 0.25% 的效果次之,分别为 50.02,55.00 s,在此条件下溶解性提高。黄原胶具有良好的亲水性和稳定性,添加到杏鲍菇浆料中可以使杏鲍菇浆料中分子形成弱凝胶结构,并保持良好的持水能力。从单一增稠剂的不同添加使用量来看,为了同时确保杏鲍菇粉体的品质,黄原胶的添加量可选择 0.15%,0.25%,0.30% 进行正交试验。

2.3 CMC-Na 对杏鲍菇冻干粉品质的影响

CMC-Na 对杏鲍菇冻干粉 3 个指标测试结果见表 3。堆积密度随着 CMC-Na 的增加,呈先增大后下降的趋势。0.6% 与 0.0% 处理间存在显著差异( $P<0.05$ )。因 CMC-Na 优良的流变特性及凝胶稳定作用特性,可防止脱水收缩并提高膨松度,使粉体颗粒更为均匀,改善结构,另外容易控制水分。在 CMC-Na 的作用下杏鲍菇粉体表面会呈光滑球状,颗粒均一,粒度小,杏鲍菇冻干粉体的堆积密度就会增大。堆积密度增大说明粉体在水中的分散性越好越均匀一致。

随着 CMC-Na 添加量的增加,粉体的吸湿率呈先减小后增大的趋势,但加入 CMC-Na 制得的杏鲍菇冻干粉的吸湿性均显著降低,0.6% 处理的降低最明显,说明在相对湿度为 75.5% 的环境下,加入 CMC-Na 的杏鲍菇粉吸湿性比纯杏鲍菇粉吸湿性小,且存在显著性差异( $P<0.05$ ),未加入 CMC-Na 的粉体表面粗糙导致孔状结构较多,易吸收水分,使得吸湿率较大,加入 CMC-Na 利于杏鲍菇粉的保存。由此可初步推断 0.6% 处理的粉品质最好,其次为 0.8%,1.0% 的。CMC-Na 能够在粉体表面形成一层保护膜,对杏鲍菇冻干粉体形成包埋作用,从而阻挡了其与外界气体等物质的交换作用,延长了储藏时间。

由 CMC-Na 分子结构式可知,在分子链中大量的—OH,—COONa 是亲水性基团,所以 CMC 是高吸水性物质,具有很好的亲水性,能吸水膨胀。杏鲍菇粉在水中易于分层、形成沉淀,CMC-Na 可提高稳定性。除 0.0% 对照处理组外,其他处理的溶解时间随着 CMC-Na 添加量的增加而增

加。在 CMC-Na 添加量为 0.2% 的时候,溶解时间最短,溶解性最好;添加量为 0.4% 及 0.6% 时效果其次。溶解时间最长的是 1.2% 处理组,可能是 CMC-Na 过量添加使得颗粒互相黏附结块的趋势更大,水分子难以进入使其溶解。综合 CMC-Na 添加量对杏鲍菇冻干粉的影响,选择添加 0.6%, 0.8%,1.0% 进行正交试验。

2.4 正交试验分析

在前期单因素的基础上,对上述 3 个因素各选出 3 个较优水平进行正交试验  $L_9(3^3)$ ,不考察交互作用,以堆积密度、吸湿性、速溶性为指标,进行 3 次平行试验,确定最佳复合增稠剂配方。试验按表 4 方法进行,正交试验方案、各项指标结果见表 5。

表 3 CMC-Na 添加量对杏鲍菇冻干粉堆积密度、吸湿性、速溶性的影响<sup>†</sup>

Table 3 Effects of CMC-Na addition on the bulk density, hygroscopicity and instant solubility of *Pleurotus eryngii* powder

CMC-Na 添加比例/%	堆积密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	吸湿性/%	速溶性/s
0.0	0.313±0.005 <sup>b</sup>	25.80±0.35 <sup>a</sup>	113.50±1.10 <sup>c</sup>
0.2	0.320±0.006 <sup>b</sup>	18.60±0.50 <sup>b</sup>	86.39±1.17 <sup>d</sup>
0.4	0.326±0.005 <sup>b</sup>	17.24±0.44 <sup>b</sup>	96.57±1.06 <sup>d</sup>
0.6	0.357±0.007 <sup>a</sup>	14.30±0.50 <sup>c</sup>	148.06±0.96 <sup>b</sup>
0.8	0.341±0.004 <sup>a</sup>	16.23±0.57 <sup>b</sup>	189.00±0.79 <sup>a</sup>
1.0	0.330±0.004 <sup>b</sup>	16.55±0.55 <sup>b</sup>	195.83±0.82 <sup>a</sup>
1.2	0.291±0.003 <sup>b</sup>	18.00±0.54 <sup>b</sup>	204.00±1.45 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同列上标字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

表 4 试验因素水平及其编码表

Table 4 Experimental factors and levels %

水平	A 麦芽糊精	B 黄原胶	C CMC-Na
1	15	0.15	0.6
2	20	0.25	0.8
3	25	0.30	1.0

表 5 不同增稠剂复配杏鲍菇冻干粉正交试验设计及结果

Table 5 The orthogonal design and results of vacuum freeze-drying *Pleurotus eryngii* powder with different thickeners

试验号	A	B	C	堆积密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	吸湿性/%	速溶性/s	综合评分
1	1	1	1	0.748±0.008	18.37±0.19	119.45±0.82	0.878
2	1	2	2	0.574±0.007	21.00±0.58	107.68±0.88	0.777
3	1	3	3	0.487±0.007	17.63±0.20	124.24±0.67	0.642
4	2	1	2	0.459±0.006	16.61±0.05	101.68±0.78	0.482
5	2	2	3	0.405±0.007	17.37±0.41	94.48±0.95	0.433
6	2	3	1	0.512±0.006	15.93±0.25	52.19±0.69	0.291
7	3	1	3	0.550±0.007	14.50±0.29	89.24±0.97	0.427
8	3	2	1	0.674±0.008	11.90±0.32	50.71±1.02	0.272
9	3	3	2	0.636±0.008	13.25±0.63	42.24±1.14	0.254
$k_1$	0.766	0.596	0.480				
$k_2$	0.402	0.494	0.504				
$k_3$	0.318	0.396	0.501				
R	0.448	0.200	0.021				

由表 5 可知,各因素对杏鲍菇冻干粉堆积密度、吸湿性、速溶性 3 个综合指标的影响程度依次为麦芽糊精>黄原胶>CMC-Na;正交优化配方为麦芽糊精 15%、黄原胶 0.15%、CMC-Na 0.8%。

对正交设计综合评分结果进行方差分析,结果见表 6。由表 6 可知,3 种因素综合评分方差分析的 P 值各不相同,表明 3 种因素对杏鲍菇冻干粉综合指标的影响程度各不相同,比较 P 值结果,麦芽糊精的浓度对杏鲍菇冻干粉的综合指标影响最为显著(显著水平为 0.014),但黄原胶、CMC-Na 的影响不显著,与表 5 中的结论一致。

表 6 综合评分方差分析<sup>†</sup>

Table 6 Variance analysis in comprehensive score

方差来源	平方和	自由度	均方差	F 值	P 值
A	0.340	2	0.170	69.900	0.014
B	0.060	2	0.030	12.347	0.075
C	0.001	2	0.001	0.212	0.825
误差	0.005	2	0.002		

<sup>†</sup> P<0.05 表示差异显著,P>0.05 表示差异不显著。

## 2.5 验证实验

在最优条件下调配杏鲍菇冻干粉,测定指标做验证实验,结果见表 7。在最优条件下,得到杏鲍菇冻干粉堆积密度为 0.753 g/mL、吸湿性为 11.40%、速溶性为 41.02 s,与正交试验表中的第 1 组试验作对比,可知该方案最优。

表 7 增稠剂最佳组合验证实验

Table 7 Validation testing for best combination of thickeners

序号	堆积密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	吸湿性/%	速溶性/s	综合评分
1	0.753	11.60	40.89	0.898
2	0.751	11.50	41.24	0.903
3	0.754	11.10	40.94	0.896
平均值	0.753	11.40	41.02	0.899

## 3 结论

本试验采用单因素和正交试验相结合,研究了麦芽糊精、黄原胶、羧甲基纤维素钠 3 种增稠剂及其添加量对杏鲍菇冻干粉堆积密度、吸湿性、速溶性品质的影响。研究表明,杏鲍菇冻干粉增稠剂的最佳组合为麦芽糊精 15%、黄原胶

0.15%、羧甲基纤维素钠 0.8%,可有效增强粉体的润湿性和分散性,水溶液无分层、沉淀。

本试验仅仅探究了 3 种常用增稠剂对杏鲍菇冻干粉品质的影响,而增稠剂种类繁多,其他种类增稠剂的应用效果还有待继续探索,且各类增稠剂对杏鲍菇冻干粉品质影响的物理和化学作用机制还有待深入研究,以期为该类产品的加工技术创新提供更多基础理论支持。

## 参考文献

- [1] 史瑞婕,郭丰铭,董亚楠,等.杏鲍菇蛋白质功能特性研究[J].食品科技,2018,43(2):131-136.
- [2] 李晓贝,周峰,杨焱,等.栽培基质对杏鲍菇子实体蛋白质营养价值的影响[J].食品科学,2015,36(23):262-267.
- [3] 孙亚男,李文香,胡欣蕾,等.杏鲍菇多肽提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J].食品与机械,2017,33(4):144-149.
- [4] 邢亚阁,蒋丽,曹东,等.不同干燥方式对杏鲍菇营养成分的影响[J].食品工业,2015,36(4):1-3.
- [5] 徐冲,陈杰,陈丽媛,等.真空冷冻干燥技术在食用菌加工中的应用研究[J].微生物学杂,2015,35(6):96-99.
- [6] 孙翠,王钰,沈小瑞,等.杏鲍菇热风-真空冷冻干燥工艺优化[J].食品与机械,2017,33(2):189-193.
- [7] 刘文慧,王颖,王静,等.麦芽糊精在食品工业中的应用现状[J].中国食品添加剂,2007(2):183-186.
- [8] 曹卫春.黄原胶和 CMC 复配对酸性乳饮料稳定性的影响[D].无锡:江南大学,2006:1-67.
- [9] 杨金姝.羧甲基纤维素钠在食品工业中的应用研究[J].农产品加工:学刊,2014(22):76-78.
- [10] 高颖宇,时海波,侯会,等.切片形式对杏鲍菇真空冻结干燥特性与品质的影响[J].食品科技,2017,42(10):80-85.
- [11] ZHANG Zi-pei, SONG Hui-ge, PENG Zhen, et al. Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(10): 406-413.
- [12] 周禹含,毕金峰,陈芹芹,等.超微粉碎对枣粉品质的影响[J].食品与发酵工业,2013,39(10):91-96.
- [13] 辛修锋,余小林,胡卓炎,杨梅颗粒固体饮料的工艺研究[J].食品与发酵工业,2009,35(2):162-165.
- [14] 王储炎.桑椹果醋、果粉生物加工技术及功能特性的研究[D].镇江:江苏科技大学,2013:1-145.
- [15] 王储炎,阎晓明,等.不同干燥方式对桑椹果粉物理特性的影响[J].蚕业科学,2013,39(2):340-345.

(上接第 210 页)

- [12] 李玉珠,龙谋,汤艳燕,等.玫瑰茄浸提及其发酵酒工艺优化及发酵前后有机酸和酚酸的比较[J].食品科学,2018,39(4):66-76.
- [13] 魏爱春,杨修仕,么杨,等.藜麦营养成分及生物活性研究进展[J].食品科学,2015,36(15):272-276.
- [14] 高凯,张文涛,汤尧,等.加拿大产藜麦可溶性酚类物质组成及抗氧化活性[J].食品与发酵工业,2016,42(7):107-113.
- [15] HAN Lin, FANG Chun, ZHU Rue-xue, et al. Inhibitory effect of phloretin on  $\alpha$ -glucosidase: Kinetics, interaction mechanism

and molecular docking [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 95: 520-527.

- [16] PENG Xin, ZHANG Guo-wen, LIAO Yi-jing, et al. Inhibitory kinetics and mechanism of kaempferol on  $\alpha$ -glucosidase [J]. Food Chemistry, 2016, 190: 207-215.
- [17] XIAO J, KAI G, YAMAMOTO K, et al. Advance in dietary polyphenols as  $\alpha$ -glucosidases inhibitors: a review on structure-activity relationship aspect[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(8): 818.