

不同粒度双孢蘑菇粉制备食用菌溶豆的食用品质比较

陈璵¹, 程世伦², 叶爽³, 史德芳⁴, 范秀芝⁴, 殷朝敏⁴, 姚芬⁴, 沈汪洋¹, 高虹^{4*}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北武汉 430023) (2. 钟祥兴利食品股份有限公司, 湖北荆门 431900) (3. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430064) (4. 国家食用菌加工技术研发分中心, 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 林下经济湖北省工程研究中心, 湖北武汉 430064)

摘要:以双孢蘑菇粉为主要添加料制备冻干型食用菌特色溶豆, 分析了不同粒度(20目、60目、100目、超微粉)的双孢蘑菇粉对溶豆的食用品质的影响。结果表明, 添加双孢蘑菇粉后, 溶豆的色泽明显变暗变深, 挥发性风味成分含量显著升高, 水合能力和质构特性变化明显; 随着添加双孢蘑菇粉粒度的降低, 溶豆色泽显著变亮变白, 挥发性风味成分含量逐渐增大; 溶豆的水合能力及感官评分均呈先升高后降低的趋势, 而复水时间及韧性、硬度和粗糙度等指标则呈现先减小后增大的趋势。研究发现, 添加双孢蘑菇粉超微粉可显著改善溶豆的色泽, 但对最终产品的口感产生了一定的负面影响; 当双孢蘑菇粉粒度为100目时, 溶豆的食用品质最佳, 其水合能力为2.82 g/g, 复水时间为51.38 s, 韧性(距离)为0.20 mm, 最大穿刺硬度为1083.00 g, 粗糙度为26.40。100目的双孢蘑菇粉适宜用于制备食用菌特色溶豆, 可较好地保证产品的食用品质。该研究可为双孢蘑菇特色食品的开发及综合利用提供一定的理论参考。

关键词: 溶豆; 双孢蘑菇; 超微粉碎

文章编号: 1673-9078(2022)02-197-205

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0537

Comparison on Eating Quality among Mushroom Yogurt Melts Added with Different Particle Sizes of *Agaricus bisporus* Powders

CHEN Cong¹, CHENG Shilun², YE Shuang³, SHI Defang⁴, FAN Xiuzhi⁴, YIN Chaomin⁴, YAO Fen⁴, SHEN Wangyang¹, GAO Hong^{4*}

(1.School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

(2.Zhongxiang Xingli Foods Co. Ltd., Jingmen 431900, China) (3.School of Biological Engineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430064, China) (4.National Research and Development Center for Edible Fungi Processing, Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Hubei Provincial Engineering Research Center of Under-forest Economy, Wuhan 430064, China)

Abstract: In this study, different particle size of *Agaricus bisporus* powders were added in yogurt to prepare freeze-dried mushroom yogurt melts. The effects of different particle size (20-mesh, 60-mesh, 100-mesh, ultra-fine powders) of *Agaricus bisporus* powders on the eating quality of yogurt melts were investigated. The results showed that the color of the products became darker and the concentration of volatile

引文格式:

陈璵,程世伦,叶爽,等.不同粒度双孢蘑菇粉制备食用菌溶豆的食用品质比较[J].现代食品科技,2022,38(2):197-205,+86

CHEN Cong, CHENG Shilun, YE Shuang, et al. Comparison on eating quality among mushroom yogurt melts added with different particle sizes of *Agaricus bisporus* powders [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 197-205, +86

收稿日期: 2021-05-21

基金项目: 湖北省揭榜制科技项目重大专项(2019AEE007); 科技人员服务企业专项行动·湖北专项(XQ202000178); 湖北省现代农业产业技术体系专项资金资助(HBHZDZB-2021-023)

作者简介: 陈璵(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 410825753@qq.com

通讯作者: 高虹(1971-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工与功能食品开发, E-mail: highong@163.com; 共同通讯作者: 沈汪洋(1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 谷物资源综合利用与开发, E-mail: whwangyangshen@126.com

flavor components increased, when the powders were added. Meanwhile, the hydration capacity and texture characteristics changed obviously. Concerning the particle size effect, with the decrease of the particle size of *Agaricus bisporus* powder added, the color of the products became brighter and whiter, and the content of volatile flavor components increased gradually. Remarkably, the hydration capacity and sensory evaluation increased firstly and then decreased while the rehydration time, toughness, hardness and roughness showed the opposite trend. It was worth noting that the addition of ultra-fine powder of *Agaricus bisporus* could significantly improve the color of yogurt melts, but it had a negative effect on the taste of the final products. Therefore, when the *Agaricus bisporus* powders added were 100-mesh powders, the eating quality of the product was the best, the hydration capacity was 2.82 g/g, the rehydration time was 51.38 s, the toughness (distance) was 0.20 mm, the maximum puncture hardness was 1083.00 g and the roughness was 26.40. The addition of 100-mesh *Agaricus bisporus* powders is suitable for the preparation of mushroom yogurt melts, which can keep the eating quality of the products well. The study could provide important reference for the development and comprehensive utilization of special food related to *Agaricus bisporus*.

Key words: yogurt melts; *Agaricus bisporus*; ultra-fine grinding

溶豆是以酸奶为主要原料, 添加或不添加花、果、蔬的浆(粉)等辅料, 经真空冻干或烘烤等工艺加工而成的一款新型婴幼儿辅食, 酸甜可口, 入口即化, 既可补充营养, 也能促进食欲、调理肠胃^[1]。溶豆类产品因其较佳的感官特性、营养价值备受消费者喜爱^[2]。段秋虹等^[3]和乔颖鑫等^[4]均以酸奶和鸡蛋清等原料制备了烘烤型酸奶溶豆, 欧阳锐等^[5]、Kay 等^[6]、Lao 等^[7]分别添加黄花梨冻干粉、玫瑰粉、羽衣甘蓝浆制备了冻干型酸奶溶豆。然而, 添加食用菌的酸奶溶豆目前还未见文献报道。

食用菌味道鲜美可口, 是人们餐桌上的美味佳肴, 其营养结构健康, 富含蛋白质、多种必需氨基酸、矿物质元素、维生素和膳食纤维, 且具有低脂、低胆固醇、低热量等特点, 符合近年来备受推崇的天然、营养、保健的健康食材原则^[8,9]。双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*), 又名白蘑菇、洋蘑菇、口蘑, 是世界上栽培最广、消费最多的食用菌品种; 其肉质肥厚, 味道鲜美, 营养丰富, 含有多糖、多酚、麦角甾醇及萜类等多种生物活性物质, 具有一定的抗炎、抗癌、降血脂、护肝等保健功效^[10-12]。本课题组在前期研究中通过比较双孢蘑菇、香菇、平菇等多种市售常见的食用菌品种, 发现双孢蘑菇在麦角甾醇的含量上具有一定优势, 锌和赖氨酸的含量也相对较高。麦角甾醇是维生素 D₂ 的前体物质, 具有促进钙吸收、抗氧化等功效^[13]; 锌和赖氨酸与婴幼儿的体格与智力发育密不可分^[14,15]。2020 年 7 月 13 日, 美国食品药品监督管理局(FDA)发布 2020-13822 号文件, 提议修订食品添加剂法规, 批准使用维生素 D₂ 蘑菇粉作为特定食品类别中的营养添加剂^[16]。2020 年 8 月 6 日, 欧盟委员会发布实施条例(EU) 2020/1163, 授权将维生素 D₂ 蘑菇粉作为一种新型食品投放市场^[17]。在欧盟和美国的双认证下, 作为维生素 D₂ 蘑菇粉主要原料的双孢蘑菇具有非常好的市场前景, 适合开发面向生长发育期的儿童的辅助功能食品。

目前, 国内外对双孢蘑菇粉的相关研究主要集中于对面粉^[18]、面条^[19]、面包^[20]、蛋糕^[21]等小麦粉相关产品的营养和功能强化方面, 以及对双孢菇粉中麦角甾醇^[22]、多糖^[23]等生物活性物质的研究方面, 而双孢蘑菇粉在乳制品中的添加及相关研究, 目前还鲜有报道。

本课题组在前期研究中, 对添加双孢蘑菇浆和双孢蘑菇粉的食用菌特色溶豆的制作工艺和食用品质进行了比较, 发现在保证良好口感的前提下, 以菇粉形式添加的双孢蘑菇干物质含量比菇浆形式高出近 4 倍, 产品中多糖、蛋白质、麦角甾醇等成分含量更高, 且菇粉的添加过程更易控制, 也更易储存和运输^[24], 更适合工厂化的生产模式。

超微粉碎技术作为新型保健食品开发的一种重要途径, 在保证原料中主要营养成分不流失的基础上, 对食用菌中功能性成分的溶出和食用菌加工性质的改善具有一定的促进作用^[25]。本实验采用普通粉碎和超微粉碎分别制备了双孢蘑菇普通粉和超微粉, 并在前期研究的基础上重点研究了添加不同粒度的双孢蘑菇粉对冻干型食用菌特色溶豆的物理特性、挥发性风味成分和感官评价等食用品质的影响, 以期优化食用菌溶豆的制作工艺, 改善其食用品质。该溶豆产品的研究充分利用了食用菌在营养、风味与保健功能等方面的优势, 具有较好的市场前景。

1 材料与方法

1.1 原料

双孢蘑菇, 由钟祥兴利食品股份有限公司提供, 洗净后切片、100 °C 蒸汽漂烫 3 min、沥干并进行真空冷冻干燥, 普通粉碎后分别过 20、60、100 目筛, 取部分过 100 目筛的菇粉进行超微粉碎处理, 分别收集并密封, 4 °C 冷藏备用。老酸奶(内蒙古蒙牛乳业股份有限公司, 中国)。

1.2 仪器设备

FD5-2.5 型真空冷冻干燥机, 美国 Goldsim 公司; Winner 3003 型激光粒度分析仪, 济南微纳颗粒仪器股份有限公司; CR-10Plus 型小型色差计, 日本 Konica Minolta 公司; LG-500A 型植物粉碎机, 瑞安百信药机械厂; YR-8 型振动式细胞级超微粉碎机, 济南银润包装机械有限公司; TA.XT.Plus 物性测定仪, 英国 SMS 公司; PEN3 型电子鼻, 德国 Airsense 公司; 20、60、100 目面粉筛。

1.3 试验方法

1.3.1 双孢蘑菇溶豆的制备工艺

双孢蘑菇粉 → 过筛 老酸奶

↘ ↙

混合均匀 (菇粉添加量 4.5%) → 注入

模具 → 预冷冻 → 冻干过夜 → 溶豆

注: 前期预实验中, 对相同粒度、不同添加量的双孢蘑菇粉制备的溶豆进行感官评价后得知, 为保证制备的食用菌特色溶豆具有较好的食用品质, 双孢蘑菇粉的添加量不应高于 4.5%。

1.3.2 双孢蘑菇粉粒度分析

采用 Winner 3003 激光粒度分析仪在室温下分别测定利用普通粉碎和超微粉碎技术制备的双孢蘑菇粉的粒度分布, 粒度分析仪的量程为 0.10~300 μm, 采用的分析模式为 R-R 模式。粒度分布由 $D_{0.1}$ 、 $D_{0.5}$ 、 $D_{0.9}$ 值进行表征。 $D_{0.1}$ 、 $D_{0.5}$ 、 $D_{0.9}$ 值分别代表了样品粉末累积粒度分布百分比为 10%、50%、90% 所对应的粒径。粒径分布的宽度由粒径的均一度进行表征。均一度的计算公式如公式 (1) 所示:

$$\text{均一度} = \frac{D_{0.9} - D_{0.1}}{D_{0.5}} \quad (1)$$

1.3.3 双孢蘑菇溶豆颜色的测定

采用 CR-10Plus 色差计测定双孢蘑菇溶豆的颜色, 双孢蘑菇溶豆需磨成均匀粉末状并过 100 目筛。参考 Cui 等^[26]的方法略作改动, 测定时色差计先用标准白板校准之后, 以纯酸奶溶豆样品为色度的参照标准 (即 L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^*) , 每组溶豆重复测定 5 次, 取平均值。使用 CIE 颜色参数: L^* (亮度) 从黑 (0) 到白 (100), L^* 值越大, 表明颜色越亮; a^* (红绿程度) 从绿色 (-) 到红色 (+); b^* (黄蓝程度) 从蓝色 (-) 到黄色 (+); ΔE 表示实验组与空白组溶豆间的总色差变化。根据亨特白度计算公式计算样品的白度 W 。 ΔE 、 W 的计算公式如公式 (2) 和 (3) 所示:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (2)$$

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

1.3.4 双孢蘑菇溶豆水合能力的测定

水合能力反映了粉体在加工过程中的持水能力, 对于改善食品硬度、黏度、口感等指标具有重要意义。参考秦学磊等^[27]的方法略作改动, 在研钵中将溶豆充分碾磨成均匀的细粉末状, 称取 0.5 g 不同粒度双孢蘑菇溶豆研磨的粉末于已知质量的离心管中, 向离心管中逐次少量地加入去离子水, 用玻璃棒缓慢搅拌均匀至粉体完全溶解。8000 r/min 冷冻离心 20 min 后, 弃去上清液 (若无上清液, 则再次加去离子水并混匀, 继续离心至有少量上清液为止)。称取离心管和沉淀的总质量。计算每克粉体吸收水分的质量, 即为溶豆粉体的水合能力, 计算方法如公式 (4) 所示:

$$\text{水合能力} = \frac{m_2 - m_1}{m} \quad (4)$$

式中:

m ——溶豆样品质量, g;

m_1 ——离心管质量, g;

m_2 ——离心管与沉淀的总质量, g;

每组重复测定 3 次, 取平均值。

1.3.5 双孢蘑菇溶豆复水时间的测定

复水时间可以从一定程度上反映出食用菌溶豆在人体口腔中的湿润分散特性。参考劳艳艳^[28]的方法进行测定。每组溶豆重复测定 5 次, 取平均值。

1.3.6 双孢蘑菇溶豆质构特性的测定

采用 TA.XT.Plus 质构仪测定双孢蘑菇溶豆成品的韧性、硬度等质构特性。参考 Kay 等^[29]的方法略作改动, 采用 TA.XT.Plus 质构仪中的饼干穿刺模式, 并选用底面直径为 2.0 mm 的平底圆柱形 P/2 探头在室温下进行测定, 测定时, 将供试溶豆样品平整置于测试台正中心位置, 使 P/2 探头对准溶豆正中心进行垂直穿刺。测定参数如下: 测前速度为 1.0 mm/s, 测时速度为 0.5 mm/s, 测后速度为 10.0 mm/s, 探头下压距离为 2 mm, 测量触发力为 5.0 g, 数据采集速率 400 Hz。在此测定模式中, 由 Exponent 软件提供计算支持。每组溶豆重复测定 5 次, 取平均值。

1.3.7 双孢蘑菇溶豆电子鼻分析

采用 PEN3 电子鼻对双孢蘑菇溶豆的挥发性风味成分进行分析。参考劳艳艳^[28]的方法略作改动, 将各组溶豆用研钵研磨至均匀细粉末状, 过 100 目筛, 称取 0.40 g 不同溶豆样品粉末于 40 mL 顶空瓶中, 然后加入 4.00 g 蒸馏水混合均匀, 在 28 °C 下静置 1 h, 等待样品气味完全释放后用电子鼻进行测定。其测量参数如下: 等待时间为 10 s; 设定测量时间为 300 s; 传感器清洗时间为 100 s; 载气流速为 600 mL/min。电子鼻配备了 10 个不同半导体材料制成的气体传感器,

各传感器对应的敏感物质类型如表 1 所示^[30]。

表 1 PEN3 电子鼻传感器阵列的性能

Table 1 Performance of the sensor arrays of the PEN3 electronicnose

| 阵列序号 | 金属氧化物传感器名称 | 性能描述 |
|------|------------|-----------------|
| 1 | W1C | 芳香成分, 苯类 |
| 2 | W5S | 灵敏度大, 对氮氧化合物很灵敏 |
| 3 | W3C | 芳香成分灵敏, 氨类 |
| 4 | W6S | 主要对硫化物有选择性 |
| 5 | W5C | 短链烷烃芳香成分 |
| 6 | W1S | 对甲基类灵敏 |
| 7 | W1W | 对硫化物灵敏 |
| 8 | W2S | 对醇类、醛酮类灵敏 |
| 9 | W2W | 芳香成分, 对有机硫化物灵敏 |
| 10 | W3S | 对长链烷烃灵敏 |

表 2 双孢蘑菇溶豆感官评定表

Table 2 Sensory evaluation standards of *Agaricus bisporus* yogurt melts

| 感官指标 | 7~9 分 | 4~6 分 | 1~3 分 |
|----------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| 色泽 (10%) | 颜色分布均匀 | 颜色分布较均匀 | 颜色分布不均匀 |
| 质地 (20%) | 硬度适中, 质地均匀, 酥脆, 易咀嚼 | 硬度适中, 质地较均匀, 较酥脆, 较易咀嚼 | 较硬, 质地不均匀, 不酥脆, 不易咀嚼 |
| 气味 (20%) | 具有较浓的酸奶特有气味, 无明显菇腥味 | 具有酸奶特有气味, 无明显菇腥味 | 无明显酸奶气味, 有明显菇腥味 |
| 口感 (50%) | 酸奶味浓, 入口即化, 无明显颗粒物 | 酸奶味较浓, 入口融化较快, 无明显颗粒物 | 酸奶味较淡, 入口融化较难, 有明显颗粒物 |

注: 按上表对样品进行感官评定, 结果取平均值。

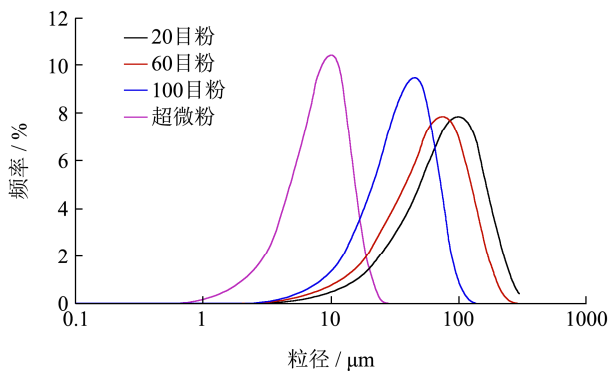


图 1 不同双孢蘑菇粉的粒径分布图

Fig.1 Particle sizes distribution of different *Agaricus bisporus* powders

各组双孢蘑菇粉的粒径分布范围及分布频率如表 3 和图 1 所示。结果表明, 经超微粉碎处理后, 双孢蘑菇粉的中位粒径 $D_{0.5}$ 与 100 目粉相比显著降低, 为 $7.84 \pm 0.11 \mu\text{m}$, 已达到超微粉级别^[31,32]; 90%的粉体粒径降至 $13.78 \mu\text{m}$ 以内, 平均粒径较普通粉大幅降低, 且均一度显著优于普通粉, 表明经超微粉碎处理后粉

1.3.8 双孢蘑菇溶豆的感官评价

选取 12 名具有相关技术培训经历的食品专业人员, 组成感官评定小组, 从色泽 (10%)、质地 (10%)、气味 (20%) 和口感 (50%) 对双孢蘑菇溶豆的产品感官进行衡量。具体评价标准见表 2^[1,29]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件中的 ANOVA 模块的 LSD 和 Duncan 方法对试验数据进行差异显著性分析, 采用 Origin 9.0.0 和 Excel 2019 软件进行图形绘制, 采用 PEN3 电子鼻自带的 WinMuster V1.6.2 软件进行主成分分析和载荷分析。实验结果以平均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 双孢蘑菇粉粒度的分析结果

体粒径集中在相对较窄的范围内, 粒度更为均匀^[33,34]。

表 3 双孢蘑菇粉的粒径分布

Table 3 Particle sizes of *Agaricus bisporus* powders

| 双孢蘑菇粉 | $D_{0.1}/\mu\text{m}$ | $D_{0.5}/\mu\text{m}$ | $D_{0.9}/\mu\text{m}$ | 均一度 |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| 20 目粉 | 23.29 ± 0.24^a | 75.33 ± 0.18^a | 158.83 ± 1.45^a | 1.80 ± 0.02^a |
| 60 目粉 | 17.64 ± 0.13^b | 57.03 ± 0.30^b | 120.47 ± 0.52^b | 1.80 ± 0.00^a |
| 100 目粉 | 12.96 ± 0.07^c | 34.20 ± 0.04^c | 63.48 ± 0.09^c | 1.48 ± 0.01^b |
| 超微粉 | 3.27 ± 0.04^d | 7.84 ± 0.11^d | 13.78 ± 0.23^d | 1.34 ± 0.01^c |

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$), 表 4~6 同。

2.2 添加不同粒度双孢蘑菇粉对溶豆颜色的影响

颜色是影响食品感官品质的重要指标之一。添加不同粒度双孢蘑菇粉对食用菌溶豆颜色的影响如表 4 所示。结果表明, 添加双孢蘑菇粉后的溶豆亮度 (L^*) 和白度 (W) 较空白组显著降低, 而红度和黄度明显

增大,其主要原因是双孢蘑菇在干燥和粉碎处理时加速了其褐变的过程,故添加到溶豆中后使产品色泽变深变暗,并呈现出一定的褐色^[35]。由表中数据还可发现,双孢蘑菇溶豆的 ΔE (总色差)、 a^* (红绿度)、 b^* (黄蓝度)值均随粉末粒度的减小而显著减小,而 L^* 和 W 值呈相反趋势,即添加的双孢蘑菇粉粒度越小,溶豆的色泽变化越小,越接近于纯酸奶溶豆,显得越

白亮。各实验组中,添加双孢蘑菇超微粉的溶豆的总色差变化最小,色泽最为白亮,与空白组的色泽最为接近,更易为普通消费者所接受。这可能是因为随着双孢蘑菇粉末粒度的减小,其比表面积增大,样品中的多糖、膳食纤维和蛋白质等内容物被更多地暴露出来,增加了光线的反射,提高了粉末的亮度^[36]。

表4 添加不同粒度双孢蘑菇粉对食用菌溶豆颜色的影响

Table 4 Color difference of mushroom yogurt melts added with different particle sizes of *Agaricus bisporus* powders

| 双孢蘑菇粉 | ΔE | L^* | a^* | b^* | W |
|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 空白(纯酸奶溶豆) | / | 63.16±0.11 ^a | 5.58±0.04 ^c | 17.36±0.27 ^c | 58.89±0.18 ^a |
| 20目粉 | 17.82±0.50 ^a | 45.80±0.51 ^e | 9.10±0.11 ^a | 19.40±0.21 ^a | 41.72±0.51 ^c |
| 60目粉 | 16.82±0.33 ^b | 46.74±0.33 ^d | 8.84±0.05 ^b | 19.24±0.16 ^{ab} | 42.69±0.33 ^d |
| 100目粉 | 15.85±0.60 ^c | 47.60±0.60 ^c | 7.96±0.11 ^c | 19.24±0.08 ^{ab} | 43.61±0.57 ^c |
| 超微粉 | 12.70±0.40 ^d | 50.66±0.36 ^b | 6.96±0.08 ^d | 19.08±0.30 ^b | 46.64±0.39 ^b |

2.3 添加不同粒度双孢蘑菇粉对溶豆水合能

力和复水时间的影响

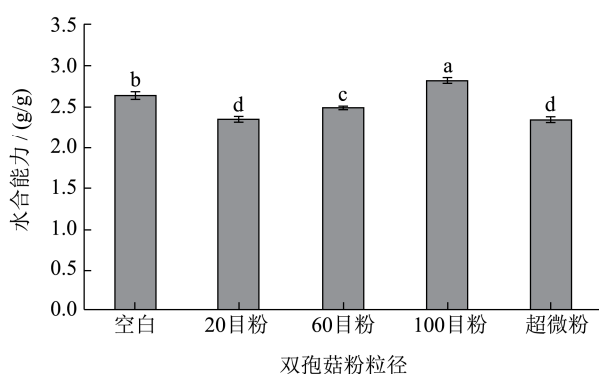


图2 添加不同粒度双孢蘑菇粉对食用菌溶豆水合能力的影响

Fig.2 Hydratability difference of mushroom yogurt melts added with different particle sizes of *Agaricus bisporus* powders

注:柱状图上字母不同表示差异性显著, $p < 0.05$, 下同。

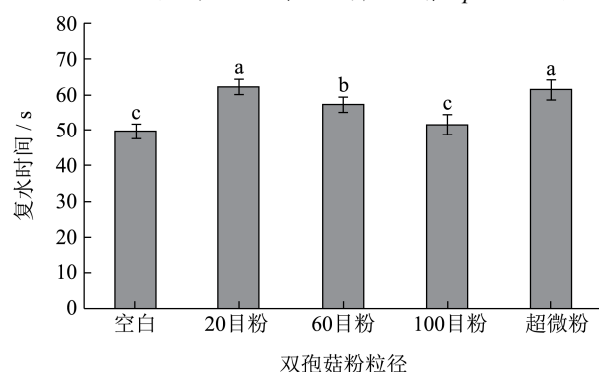


图3 添加不同粒度双孢蘑菇粉对食用菌溶豆复水时间的影响

Fig.3 Rehydration time difference of mushroom yogurt melts added with different particle sizes of *Agaricus bisporus* powders

溶豆的水合能力和复水时间在一定程度上反映了

其在人口腔中结合唾液的能力,对其湿润分散性等指标产生影响。不同粒度双孢蘑菇粉制成双孢蘑菇溶豆的水合能力和复水时间分别如图2、3所示。结果表明,空白组溶豆具有较好的水合能力,复水时间较短;随着添加的双孢蘑菇粉粒度减小,溶豆水合能力呈显著增大再减小的趋势,而复水时间呈相反趋势;实验组中,100目双孢蘑菇粉溶豆的水合能力最好,复水时间也最短,超微粉溶豆的水合能力较100目粉溶豆显著降低,而复水时间显著增大。这是因为随着粒度减小,粉体及其中膳食纤维和蛋白质的比表面积增大,导致了更多亲水基团的暴露,故水合能力增强,100目双孢蘑菇粉溶豆的水合能力比纯酸奶溶豆提高了6.89%;然而,虽然超微粉碎后的粉体比表面积增大,但其中的纤维素和蛋白质等大分子物质的空间结构被机械行为的强剪切力破坏,亲水基团分布减少,从而导致双孢蘑菇超微粉溶豆的水合能力下降,复水时间增大^[37],这与张康逸等^[38]、Gao等^[39]的研究结果一致。因此,从产品水合能力的角度考虑,溶豆中添加的双孢蘑菇粉粒度为100目时较为适宜。

2.4 添加不同粒度双孢蘑菇粉对溶豆质构特

性的影响

韧性、硬度和粗糙度是评价食物口感的重要指标。双孢蘑菇粉粒度过大、粉体粗糙,会使制得的溶豆颗粒感增强、粗糙度增加,而较低的韧性、硬度和粗糙度更能迎合溶豆消费者的需求。不同粒度双孢蘑菇粉制成的食用菌溶豆的质构特性差异如表5所示。结果表明,空白组(纯酸奶溶豆)的韧性和硬度较低,质地更为酥脆;添加双孢蘑菇粉后,溶豆的韧性、硬度和粗糙度均高于空白组,这可能与添加的双孢蘑菇粉

中富含膳食纤维有关^[40]。随着添加的双孢蘑菇粉粒度的减小,溶豆的韧性、硬度和粗糙度虽无特别显著的变化,但整体呈下降趋势。而经过超微粉碎处理后,由于双孢蘑菇粉体过细,可能在与酸奶混合的过程中产生了一定的团聚和黏附作用,使溶豆的均匀度下降,

粗糙度跨度明显变大,口感变差;双孢蘑菇超微粉制备的食用菌溶豆硬度较大,可能与超微粉粒度更小导致制备的溶豆结构更为紧凑致密有关^[28]。100目双孢蘑菇粉溶豆在韧性、硬度和粗糙度上品质相对较好,且更接近于纯酸奶溶豆,具有更好的质地与口感。

表5 添加不同粒度双孢蘑菇粉对食用菌溶豆质构特性的影响

Table 5 Texture property difference of mushroom yogurt melts added with different particle sizes of *Agaricus bisporus* powders

| 双孢蘑菇粉 | 韧性(距离)/mm | 最大穿刺硬度/g | 粗糙度 |
|-----------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 空白(纯酸奶溶豆) | 0.20±0.06 ^a | 882.15±172.16 ^a | 24.00±1.41 ^a |
| 20目粉 | 0.23±0.05 ^a | 1280.61±277.36 ^b | 43.20±7.01 ^b |
| 60目粉 | 0.22±0.06 ^a | 1225.88±213.34 ^b | 27.60±4.67 ^a |
| 100目粉 | 0.20±0.04 ^a | 1083.00±125.61 ^{ab} | 26.40±2.51 ^a |
| 超微粉 | 0.25±0.09 ^a | 1277.62±175.00 ^b | 31.20±10.33 ^a |

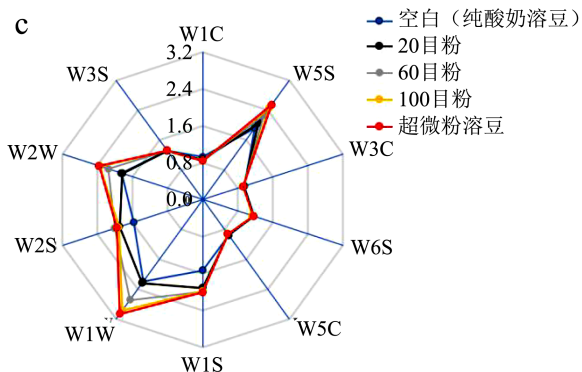
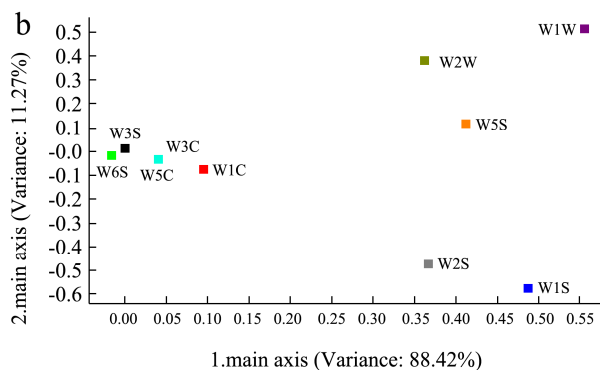
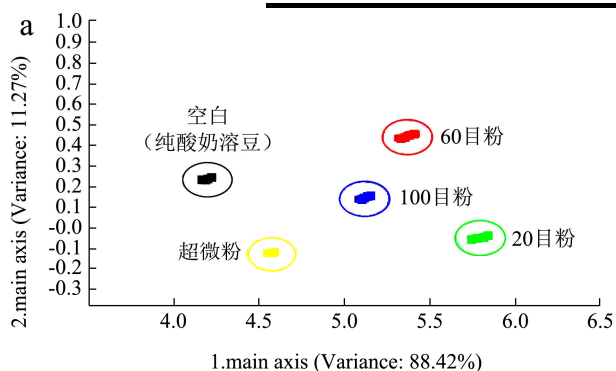


图4 添加不同粒度双孢蘑菇粉的食用菌溶豆的电子鼻分析
Fig.4 Electronicnose analysis of mushroom yogurt melts added with different particle sizes of *Agaricus bisporus* powders

注: a: PCA 主成分分析; b: Loading 载荷分析; c: 雷达图。

2.5 添加不同粒度双孢蘑菇粉的溶豆风味成

分分析

双孢蘑菇不仅营养丰富,还具有特殊的菇味,对于改善食品的感官品质具有一定作用。添加不同粒度双孢蘑菇粉的食用菌溶豆的电子鼻主成分分析(PCA)结果如图4a所示。由图可知,第一主成分和第二主成分的贡献率分别为88.42%和11.27%,贡献率之和为99.69%,远远大于80%,说明这两个主成分代表了样品的主要信息特征,可作为判定样品是否具有挥发性风味成分差异的依据。纯酸奶溶豆组(空白)与双孢蘑菇粉溶豆组的距离较远,说明其所含挥发性风味成分差异较大,这是由于双孢蘑菇粉中含有其特有的挥发性风味成分。添加不同粒度双孢蘑菇粉的溶豆组间可被明显区分开来,相互没有重叠,说明粒度对双孢蘑菇粉气味的释放和挥发具有一定的影响^[41]。

溶豆的电子鼻主成分载荷分析结果如图4b所示。由图可知,W1W、W5S、W2W、W1S和W2S这五个传感器的响应点距离原点较远,对样品间的风味区分贡献较大^[42]。

PEN3型电子鼻的10个传感元件对添加不同粒度双孢蘑菇粉制成的溶豆样品分析的雷达图如图4c所示,能够直观地反映出各组溶豆样品间的风味差异。由图可知,四组样品的挥发性风味成分的整体风味强度轮廓较为相似,说明各组样品在挥发性风味成分的组成上具有一定的相似性。纯酸奶溶豆(空白组)挥发性气味最弱,与添加双孢蘑菇粉的溶豆在检测出的几种挥发性风味成分的含量上存在明显差异,其中传感器W1W、W5S、W2W、W1S和W2S的响应强度差异较为明显,进一步佐证了载荷分析的结果,即说明添加了双孢蘑菇粉的溶豆在无机硫化物、氮氧化合

物、有机硫化物、甲基类、醇类和醛酮类等挥发性风味成分的含量上较纯酸奶溶豆更高^[43]。另一方面,由图 4c 可知,溶豆中添加的双孢蘑菇粉粒度越小,检测出的挥发性风味成分含量越高,这与李爱民等^[44]、曲清莉等^[45]的实验结果一致,主要与双孢蘑菇粉粒度降低及比表面积增大促进了粉体细胞中挥发性成分的释

放有关;超微粉碎严重破坏了细胞结构,更有利于细胞内挥发性风味成分在粉碎过程中释放出来。

2.6 添加不同粒度双孢蘑菇粉对双孢蘑菇溶豆感官评价的影响

表 6 添加不同粒度双孢蘑菇粉的溶豆的感官评分

Table 6 Sensory evaluation scores of yogurt melts added with different particle sizes of *Agaricus bisporus* powders

| 双孢蘑菇粉 | 色泽 (10%) | 质地 (20%) | 气味 (20%) | 口感 (50%) | 总分 |
|------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 空白 (纯酸奶溶豆) | 8.50±0.52 ^a | 7.83±0.94 ^a | 7.42±0.67 ^a | 8.33±0.65 ^a | 8.07±0.39 ^a |
| 20 目粉 | 5.83±0.83 ^c | 4.33±0.78 ^d | 5.00±0.74 ^d | 4.92±0.90 ^c | 4.91±0.49 ^c |
| 60 目粉 | 7.08±0.79 ^b | 6.83±0.72 ^b | 5.83±0.58 ^c | 5.83±0.72 ^b | 6.16±0.34 ^c |
| 100 目粉 | 7.25±0.45 ^b | 7.17±0.72 ^b | 6.33±0.65 ^{bc} | 6.25±0.75 ^b | 6.55±0.50 ^b |
| 超微粉 | 7.08±0.79 ^b | 5.33±0.89 ^c | 6.42±0.51 ^b | 5.17±0.94 ^c | 5.64±0.49 ^d |

纯酸奶溶豆色泽白亮,质地酥松,入口即化,酸甜可口,感官品质较佳。添加不同粒度双孢蘑菇粉的溶豆的感官评价如表 6 所示,结果表明,空白组的溶豆感官评分最高,为 8.07,添加 20 目双孢蘑菇粉的溶豆感官评分最低,为 4.91,且溶豆感官总分随添加的双孢蘑菇粉粒度的降低呈先上升后下降的趋势,这与溶豆的水合能力及质构特性的测定结果一致。随着添加双孢蘑菇粉粒度的降低,粉体的比表面积和水合能力逐渐增大,促进了双孢蘑菇粉与酸奶的充分混合及溶豆产品入口融化的特性,从而使食用菌溶豆具有更好的色泽、质地与口感。而当粉体粒度降低至超微粉级别后,在水合能力增大的同时,粉体间的分子相互作用力也相应增大,故可能产生了一定的黏附和团聚作用,使溶豆的水溶性和湿润分散性下降,溶豆不能入口即化,硬度和咀嚼性增强,因而使质地与口感评分显著降低。因此,从感官评价的角度,溶豆中添加的双孢蘑菇粉粒度为 100 目时较为适宜,其感官评分为 6.55。

3 结论

本实验明确了不同粒度双孢蘑菇粉对溶豆食用品质的影响效果。结果表明,随着添加的双孢蘑菇粉粒度越小,溶豆色泽越白亮,挥发性风味成分含量越高;溶豆的水合能力及感官评分呈先升高后下降的变化趋势,而复水时间、韧性、硬度和粗糙度等指标则与之相反。尽管超微粉溶豆具有更好的色泽,但 100 目粉溶豆的水合能力、质构特性和感官评分等指标更佳。综合分析可知,100 目粉时可使溶豆具有更好的食用品质。

参考文献

- [1] 刘昀,张婷,石琳,等.天然彩色酸奶溶豆的制备工艺及其优化[J].现代食品,2020,3:108-111
LIU Yun, ZHANG Ting, SHI Lin, et al. Preparation technology and optimization of natural color yogurt beans [J]. Modern Food, 2020, 3: 108-111
- [2] Wang J, Aalaei K, Skibsted L H, et al. Bioaccessibility of calcium in freeze-dried yogurt based snacks [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 129: 109527
- [3] 段秋虹,郭楠楠,游新侠,等.烘烤型酸奶溶豆的研制[J].食品工业,2018,39(3):16-19
DUAN Qiuhong, GUO Nannan, YOU Xinxia, et al. Study on the producing of baking yogurt melts [J]. The Food Industry, 2018, 39(3): 16-19
- [4] 乔颖鑫,曹萌,李代,等.奶酪溶豆的研制[J].现代食品,2019, 7:87-91
QIAO Yingxin, CAO Meng, LI Dai, et al. Study on the producing of yoghurt melts [J]. Modern Food, 2019, 7: 87-91
- [5] 欧阳锐,陈欢,吴煌琳,等.响应面法优化冻干黄花梨酸奶溶豆的制备及其品质分析[J].宁德师范学院学报(自然科学版),2020,32(4):390-396
OUYANG Rui, CHEN Huan, WU Huanglin, et al. Optimizing the preparation and quality analysis of vacuum-freeze drying Huanghua pear yogurt melts by response surface methodology [J]. Journal of Ningde Normal University (Natural Science), 2020, 32(4): 390-396
- [6] Hnin K K, Zhang M, Devahastin S, et al. Influence of novel infrared freeze drying of rose flavored yogurt melts on their physicochemical properties, bioactive compounds and energy consumption [J]. Food and Bioprocess Technology: An International Journal, 2019, 12(12): 2062-2073

- [7] Lao Y, Zhang M, Devahastin S, et al. Effect of combined infrared freeze drying and microwave vacuum drying on quality of kale yoghurt melts [J]. *Drying Technology*, 2019, 38(5-6): 1-13
- [8] Rathore H, Prasad S, Sharma S. Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: a review [J]. *Pharma Nutrition*, 2017, 5(2): 35-46
- [9] Bożena Muszyńska, Agata Grzywacz-Kisielewska, Katarzyna Kała, et al. Anti-inflammatory properties of edible mushrooms: a review [J]. *Food Chemistry*, 2018, 243: 373-381
- [10] 孙若兰,肖靛,易有金,等.双孢蘑菇采后贮藏保鲜研究进展[J].*食品科学*,2021,42(1):333-340
SUN Ruolan, XIAO Liang, YI Youjin, et al. Progress in techniques for postharvest quality preservation of *Agaricus bisporus* [J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 333-340
- [11] Ramos M, Burgos N, Barnard A, et al. *Agaricus bisporus* and its by-products as a source of valuable extracts and bioactive compounds [J]. *Food Chemistry*, 2019, 292: 176-187
- [12] WU Weina, NI Xiaoyu, SHAO Ping, et al. Novel packaging film for humidity-controlled manipulating of ethylene for shelf-life extension of *Agaricus bisporus* [J]. *LWT*, 2021, 145 (6): 111331
- [13] 高虹,陈丽冰,周康,等.超声-闪式联合提取香菇柄麦角甾醇及其抗肿瘤活性[J].*中国食品学报*,2017,17(9):66-73
GAO Hong, CHEN Libing, ZHOU Kang, et al. Ultrasonic combined with flash extraction of ergosterol from *Lentinula edodes* stipe and its antitumor activity [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(9): 66-73
- [14] Lassi Z S, Kurji J, Oliveira C, et al. Zinc supplementation for the promotion of growth and prevention of infections in infants less than six months of age [J]. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020, 4(4): CD010205
- [15] Lisha Huang, Jacomine E Hogewind-Schoonenboom, Femke de Groof, et al. Lysine requirement of the enterally fed term infant in the first month of life [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2011, 94(6): 1496-1503
- [16] 美国拟批准维生素 D₂ 蘑菇粉作为特定食品的营养添加剂 [J].*食药菌*,2020,28(4):288
The United States intends to approve vitamin D₂ mushroom powder as a nutritional additive in certain foods [J]. *Edible and Medicinal Mushrooms*, 2020, 28(4): 288
- [17] European Commission, Directorate-General for Health and Food Safety. Commission Implementing Regulation (EU) 2020/1163 of 6 August 2020 authorising the placing on the market of vitamin D₂ mushroom powder as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 [J]. *Official Journal of the European Union*, 2020, 63: 1-5
- [18] A Sulieman Abdellatif, Zhu Kexue, Peng Wei, et al. Compositional, functional and pasting properties of composite flour fortified with button mushroom (*Agaricus bisporus*) powder and inulin [J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2017, 5(8): 614-621
- [19] 赵玮,樊红秀,刘振春.双孢菇挂面的研制[J].*食品科学*,2011, 32(6):314-317
ZHAO Wei, FAN Hongxiu, LIU Zhenchun. Development of Fine Dried Noodles with *Agaricus bisporus* [J]. *Food Science*, 2011, 32(6): 314-317
- [20] Yumeng Zhang, Chengcheng Ruan, Zhimei Cheng, et al. Mixolab behavior, quality attributes and antioxidant capacity of breads incorporated with *Agaricus bisporus* [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 56(8): 3921-3929
- [21] Bindvi Arora, Shwet Kamal, Ved Prakash Sharma. Sensory, nutritional and quality attributes of sponge cake supplemented with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder [J]. *Nutrition & Food Science*, 2017, 47(4): 578-590
- [22] Lee Nam Keun, Aan Byung-Yong. Optimization of ergosterol to vitamin D₂ synthesis in *Agaricus bisporus* powder using ultraviolet-B radiation [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2016, 25(6): 1627-1631
- [23] Liu G, Ye J, Li W, et al. Extraction, structural characterization, and immunobiological activity of ABP Ia polysaccharide from *Agaricus bisporus* [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 162: 975-984
- [24] 李波,靳羽慧,聂远洋,等.金针菇添加形式对面条品质特性的影响[J].*食品工业科技*,2019,40(7):57-63
LI Bo, JIN Yuhui, NIE Yuanyang, et al. Effect of adding method of *Flammulina velutipes* on the qualities of noodles [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(7): 57-63
- [25] 高虹,史德芳,何建军,等.超微粉碎对香菇柄功能成分和特性的影响[J].*食品科学*,2010,31(5):40-43
GAO Hong, SHI Defang, HE Jianjun, et al. Effect of superfine grinding on functional components and properties of *Lentinus edodes* stems [J]. *Food Science*, 2010, 31(5): 40-43
- [26] Cui Huliang, Zhang Yanan, Shi Xiaolu, et al. The numerical classification and grading standards of daylily (*Heimerocallis*)

- flower color [J]. PloS One, 2019, 14(6): e0216460
- [27] 秦学磊,张国治,聂波,等.不同干燥工艺对胡萝卜品质影响的研究[J].粮食加工,2017,42(6):49-55
QIN Xuelei, ZHANG Guozhi, NIE Bo, et al. Study on the effects of different drying methods on the quality of carrots [J]. Grain Processing, 2017, 42(6): 49-55
- [28] 劳艳艳.基于羽衣甘蓝的蔬菜酸奶溶豆高效干燥制备及其特性研究[D].无锡:江南大学,2020
LAO Yanyan. Study on the efficient drying technology and the effects on characteristics of vegetable yogurt melts based on kale [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020
- [29] Kay Khaing Hnin, Min Zhang, Sakamon Devahastin, et al. Combined infrared freeze drying and infrared drying of rose-flavored yogurt melts - effect on product quality [J]. Food and Bioprocess Technology: An International Journal, 2020, 13(8): 1356-1367
- [30] Jia Wen-shen, Liang Gang, Tian Hui, et al. Electronic nose-based technique for rapid detection and recognition of moldy apples [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2019, 19(7): 1526
- [31] 朱宏,仇菊,梁克红,等.添加辣木叶粉对小麦粉面团品质的影响[J].食品科学,2019,40(14):36-40
ZHU Hong, QIU Ju, LIANG Kehong, et al. Effect of adding *Moringa oleifera* leaf powder on wheat dough quality [J]. Food Science, 2019, 40(14): 36-40
- [32] 史德芳,周明,郭鹏,等.气流和机械碾轧超微粉碎香菇柄的效果比较[J].农业工程学报,2012,28(8):280-286
SHI Defang, ZHOU Ming, GUO Peng, et al. Effects comparison of superfine pulverizing of *Lentinus edodes* stem by air jet milling and wheel grinding [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(8): 280-286
- [33] Zipei Zhang, Huige Song, Zhen Peng, et al. Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(3): 406-413
- [34] Xiaoyan Zhao, Qiang Ao, Fangling Du, et al. Surface characterization of ginger powder examined by X-ray photoelectron spectroscopy and scanning electron microscopy [J]. Colloids and Surfaces, B: Biointerfaces, 2010, 79(2): 494-500
- [35] Xu Dongying, Gu Sitong, Zhou Fuhui, et al. Mechanism underlying sodium isoascorbate inhibition of browning of fresh-cut mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 173(3): 111357
- [36] 林丽静,黄晓兵,龚霄,等.超微粉碎对芒果皮理化特性的影响[J].食品工业,2017,38(4):152-154
LIN Lijing, HUANG Xiaobing, GONG Xiao, et al. Influence of micronization on the physicochemical properties of mango peel [J]. The Food Industry, 2017, 38(4): 152-154
- [37] 陈如,何玲.超微粉碎对苹果全粉物化性质的影响[J].食品科学,2017,38(13):150-154
CHEN Ru, HE Ling. Effect of superfine grinding on physicochemical properties of apple powder [J]. Food Science, 2017, 38(13): 150-154
- [38] 张康逸,何梦影,康志敏,等.青麦仁代餐粉的配方优化[J].现代食品科技,2020,36(1):184-191
ZHANG Kangyi, HE Mengying, KANG Zhimin, et al. Optimization of green wheat berry meal replacement powder formula [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 184-191
- [39] Gao W, Chen F, Zhang L, et al. Effects of superfine grinding on asparagus pomace. Part I: Changes on physicochemical and functional properties [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(6): 1827-1833
- [40] 林丽静,姜永超,龚霄,等.改性菠萝皮渣膳食纤维添加对饼干品质的影响[J].食品工业,2021,42(2):135-138
LIN Lijing, JIANG Yongchao, GONG Xiao, et al. Effect of biscuit quality by added dietary fiber of modified pineapple pomace [J]. The Food Industry, 2021, 42(2): 135-138
- [41] 马宁,仇莉丽,章泽华,等.食用菌复配即食杂粮粉的营养品质及特征风味成分分析[J].食品工业科技,2020,41(3):251-258
MA Ning, QIU Lili, ZHANG Zehua, et al. Analysis of nutritional quality and characteristic flavor composition of edible mushrooms compound instant coarse cereal flour [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 251-258
- [42] 葛珍珍,王维静,高珊珊,等.微发酵对面条风味及其储藏过程中品质特性的影响[J].食品工业科技,2021,42(13):95-102
GE Zhenzhen, WANG Weijing, GAO Shanshan, et al. Effect of slight fermentation on the flavor and storage quality of noodles [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 95-102

(下转第 86 页)