

大球盖菇多糖提取工艺优化及其对复合型馒头品质及功能特性的影响

应月 胡卫华 王书萌 梁金言

湖北三峡职业技术学院, 中国·湖北 宜昌 443000

摘要: 目的: 为提高大球盖菇的综合利用价值, 开发功能性复合型馒头, 本研究优化了大球盖菇多糖的提取工艺, 并探究其对馒头品质、糊化特性及感官品质的影响。方法: 对比纤维素酶、木瓜蛋白酶及复合酶法提取大球盖菇多糖的效率。将提取的多糖按不同比例 (0%、1%、2%、3%) 添加至小麦粉中制作馒头, 采用快速黏度分析仪 (RVA) 测定面粉糊化特性, 质构仪分析馒头质构特性, 并进行了感官评价。结果: 复合酶法提取大球盖菇多糖得率最高, 达 4.76%。RVA 糊化特性表明, 添加多糖后峰值粘度和回生值均降低, 其中 3% 添加量时峰值粘度最低 (1525 cP), 回生值显著下降 (1023 cP), 表明抗老化能力增强。质构分析显示, 3% 添加量的馒头弹性和内聚性最佳, 硬度适中。感官评价总分在 1% 添加量时最高 (83.8 分), 但 3% 添加量在气味和口感方面优于 2% 添加量。结论: 复合酶法可高效提取大球盖菇多糖。综合考虑糊化特性、质构和感官品质, 3% 是大球盖菇多糖在馒头中的适宜添加量, 能够改善馒头的抗老化性并保持良好的食用品质。

关键词: 大球盖菇多糖; 复合酶提取; 馒头; 糊化特性; 质构特性; 感官品质

Optimization of Extraction Process of Polysaccharide from *Stropharia rugosoannulata* and Its Effect on Quality and Functional Properties of Composite Steamed Bread

Ying Yue, Hu Weihua, Wang Shumeng, Liang Jinan

Hubei Three Gorges Polytechnic, China Hubei Yichang 443000

Abstract: Objective: To improve the comprehensive utilization value of *Stropharia rugosoannulata* and develop functional composite steamed bread, this study optimized the extraction process of *S. rugosoannulata* polysaccharide and investigated its effects on the quality, pasting properties and sensory characteristics of steamed bread. Methods: The extraction efficiencies of cellulase, papain and their combination were compared. The extracted polysaccharide was added to wheat flour at different ratios (0%, 1%, 2%, 3%) to prepare steamed bread. The pasting properties of the flour were measured using a Rapid Visco Analyzer (RVA), texture properties of steamed bread were analyzed using a texture analyzer, and sensory evaluation was conducted. Results: The combined enzyme method gave the highest extraction yield of polysaccharide (4.76%). RVA pasting profiles showed that addition of polysaccharide decreased both peak viscosity and setback value. The lowest peak viscosity (1525 cP) and a significantly decreased setback value (1023 cP) were observed at 3% addition, indicating enhanced anti-staling capacity. Texture analysis revealed that steamed bread with 3% polysaccharide exhibited the best springiness and cohesiveness, with moderate hardness. The sensory evaluation showed the highest total score (83.8) at 1% addition, while the 3% addition was superior to the 2% addition in terms of odor and taste. Conclusion: The combined enzyme method can efficiently extract *S. rugosoannulata* polysaccharide. Considering pasting properties, texture and sensory quality, 3% is a suitable addition level of *S. rugosoannulata* polysaccharide in steamed bread, which can improve anti-staling performance while maintaining good eating quality.

Keywords: *Stropharia rugosoannulata* polysaccharide; Combined enzyme extraction; Steamed bread; Pasting properties; Texture properties; Sensory quality

0 引言

大球盖菇 (*Stropharia rugosoannulata*) 是国际食用菌贸易中重要的十大品种之一。该菇气味清香、口感嫩滑、营

养丰富, 并具有多种生物活性^[1-2]。其中, 大球盖菇多糖被认为是关键功效物质, 已发现其具备抗氧化、抗病毒、辅助降血糖以及缓解疲劳等生理功能^[3-4]。然而, 该菇成熟期

相对集中, 采后不耐贮藏, 因而亟需开发深度加工方式, 以降低资源损耗、提升整个产业链的价值。

在我国, 馒头是消费量最大的传统主食, 但仍存在产品形式单一、容易老化等问题。利用具有生物活性的天然产物(如蔬菜水果粉、食用菌粉末或多糖)来改良馒头, 已成为改善其营养品质和加工特性的有效手段^[5-6]。目前, 多数研究集中在食用菌粉或不同来源多糖对馒头品质的影响^[7], 针对大球盖菇多糖如何影响馒头面团糊化特性、最终产品的质构及感官品质的系统性探讨仍较缺乏。

基于此, 本研究首先评价了三种酶法提取大球盖菇多糖的效率, 筛选出最优方法; 随后, 将提取的多糖以不同比例添加到馒头中, 系统分析其对面粉糊化特性、馒头质构及感官品质的影响, 从而确定多糖的最佳添加量, 为开发兼具良好加工特性和食用品质的复合型馒头奠定科学基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大球盖菇子实体(市售, 45℃烘干后粉碎过 80 目筛); 小麦粉、安琪酵母(市售); 纤维素酶(酶活 ≥ 50 U/mg)、木瓜蛋白酶(酶活 ≥ 200 U/mg)、无水乙醇、浓硫酸、苯酚、葡萄糖标准品等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

恒温水浴锅、高速离心机、紫外可见分光光度计、真空冷冻干燥机、英国 SMS 公司 TA.XT plus 质构仪(搭配 TA/36 探头)、瑞典 Perten 公司 RVA TM 4500 型快速黏度分析仪、电子天平等。

1.3 大球盖菇多糖的提取与优化

对比三种酶法提取工艺: 准确称取 10 g 大球盖菇粉, 加入 150 mL 蒸馏水, 浸泡 1 h。

纤维素酶法: 加入 0.5% 纤维素酶, 50℃酶解 1 h。

木瓜蛋白酶法: 加入 0.5% 木瓜蛋白酶, 50℃酶解 1 h。

复合酶法: 加入 0.25% 纤维素酶 + 0.25% 木瓜蛋白酶, 50℃酶解 1 h。

酶解后沸水浴灭酶 5 min, 7000 r/min 离心 5 min 取上清。残渣重复提取一次, 合并上清液。加入 4 倍体积无水乙醇, 4℃沉淀过夜, 离心收集沉淀, 冷冻干燥得大球盖菇粗多糖。采用苯酚-硫酸法测定多糖含量, 按下式计算多糖得率:

多糖得率(%) = (粗多糖质量 / 粗多糖中多糖含

量) / 菇粉质量 $\times 100\%$

1.4 复合型馒头的制作

以小麦粉 300 g、酵母 3 g、水 144 g 为基础配方。将大球盖菇多糖分别按 0% (对照)、1%、2%、3% 的比例与小麦粉混合, 加入酵母和水, 和面制成面团。压面成型后于 38℃、湿度 75% 条件下醒发 75 min, 沸水蒸制 15 min, 冷却备用。

1.5 测定方法

1.5.1 糊化特性(RVA)测定

参照 AACC Method 76-21 标准方法, 使用 Perten RVA TM 4500 型快速黏度分析仪测定面粉的糊化特性。

样品准备: 称取适量混合粉(按不同多糖添加量), 根据仪器水分校正表调整样品和水质量, 使总质量恒定。

测试程序: 起始阶段: 50℃下以 960 rpm 搅拌 10 秒, 使样品均匀分散;

测试阶段: 转速降至 160 rpm, 保温至 1 分钟; 随后以约 7.5℃/min 的速率升温至 95℃(1 min $\rightarrow$ 6 min), 并在 95℃保持 2.5 分钟(至 8.5 min);

冷却阶段: 以约 7.5℃/min 的速率降温至 50℃(8.5 min $\rightarrow$ 11.5 min), 并在 50℃保持 1.5 分钟(至 13 min)。

参数记录: 由软件自动计算峰值粘度(Peak)、低谷粘度(Trough)、崩解值(Breakdown)、最终粘度(Final)、回生值(Setback)、峰值时间(Peak Time)和糊化温度(Pasting Temp)。

1.5.2 馒头质构特性(TPA)测定

将蒸制后冷却至室温的馒头样品, 切取中间等厚度的两片(约 20 mm), 放置于测试平台中心进行测试。每个样品平行测定 6 次, 去除异常值后取平均值。由软件计算硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性和回复性。使用 TA.XT plus 质构仪, 搭配 TA/36 圆柱形探头(直径 36 mm), 对馒头进行质地多面分析。参数设置如下:

测试模式: 应变模式, 压缩程度: 50%, 测前速度: 10.00 mm/s, 测中速度: 2.00 mm/s。

测后速度: 10.00 mm/s, 两次压缩间隔: 5.00 s, 触发模式: 自动(基于力), 触发力 10.0 g。

1.5.3 感官评价

选 12 名经过专业培训的人员(男女各半)组成感官评价小组, 在饭前 2 小时内按表 1 的标准对馒头进行评分。评价指标包括形态(25 分)、气味(20 分)、组织(25 分)、口感(30 分), 满分 100 分。

表1 复合型馒头感官评分标准

指标	评分标准
形态 (25)	25-20: 挺立度好, 表皮光滑有光泽, 无皱缩塌陷; 19-14: 挺立度一般, 表皮少量孔隙; 13-8: 较完整, 表面轻微扁平; 7-0: 形态差, 扁平不对称
气味 (20)	20-15: 具有馒头特有香气; 14-9: 滋味平淡; 8-0: 有异味
组织 (25)	25-20: 表皮光滑, 气孔均匀, 切片不断裂无掉渣; 19-14: 表皮较光滑, 气孔较均匀, 掉渣不明显; 13-8: 表皮有小气泡, 局部过硬, 切片断裂掉渣; 7-0: 表皮起泡大, 无弹性, 纹理不均
口感 (30)	30-22: 复原性好, 咬劲好, 咀嚼爽口不黏牙; 21-15: 复原性较慢, 咬劲一般, 略有黏牙; 14-7: 按压不复原, 咀嚼不爽口; 6-0: 质地硬, 复原性、咬劲均差

1.6 数据统计与分析

所有实验重复三次, 结果以平均值 ± 标准差表示。采用 SPSS 软件进行方差分析 (ANOVA), Duncan 多重比较检验组间差异显著性 ($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同酶法对大球盖菇多糖提取率的影响

三种酶法提取大球盖菇多糖的得率存在显著差异 ($p < 0.05$)。由表 2 可知, 复合酶法的平均得率最高 (4.41%), 最高可达 4.76%; 木瓜蛋白酶法次之 (3.30%); 纤维素酶法最低 (1.07%)。结果表明, 纤维素酶和木瓜蛋白酶的协同作用能够更有效地破坏大球盖菇细胞壁中的纤维素-蛋白质复合结构, 从而促进胞内多糖的溶出, 显著提高提取效率。因此, 后续馒头制作选用复合酶法提取的大球盖菇多糖。

表2 不同酶法提取大球盖菇多糖的得率对比

提取方法	多糖得率范围(%)	平均得率(%)
纤维素酶法	0.94 - 1.30	1.07 ± 0.15c
木瓜蛋白酶法	2.88 - 3.77	3.30 ± 0.35b
复合酶法	4.04 - 4.76	4.41 ± 0.30a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.2 大球盖菇多糖添加量对面粉糊化特性 (RVA) 的影响

淀粉糊化特性直接影响馒头的质构和老化速率。由表 3 可知, 随着大球盖菇多糖添加量的增加, 峰值粘度 (Peak)、低谷粘度 (Trough)、最终粘度 (Final) 和回生值 (Setback) 均呈现下降趋势。与对照组相比, 3% 添加量组的峰值粘度从 1655 cP 降至 1525 cP, 回生值从 1191 cP 显著降至 1023 cP ($p < 0.05$)。峰值粘度降低表明多糖干扰了淀粉颗粒的膨胀和破裂过程; 回生值降低则意味着淀粉老化趋势减缓, 馒头在贮藏过程中更不易变硬。糊化温度略有升高 ($87.15 \rightarrow 87.65^{\circ}\text{C}$), 可能与多糖与淀粉竞

争水分有关。崩解值 (Breakdown) 在添加组中略有波动, 但变化不大。总体而言, 添加大球盖菇多糖有利于延缓馒头的老化, 延长货架期。

表3 不同大球盖菇多糖添加量对面粉糊化特性的影响

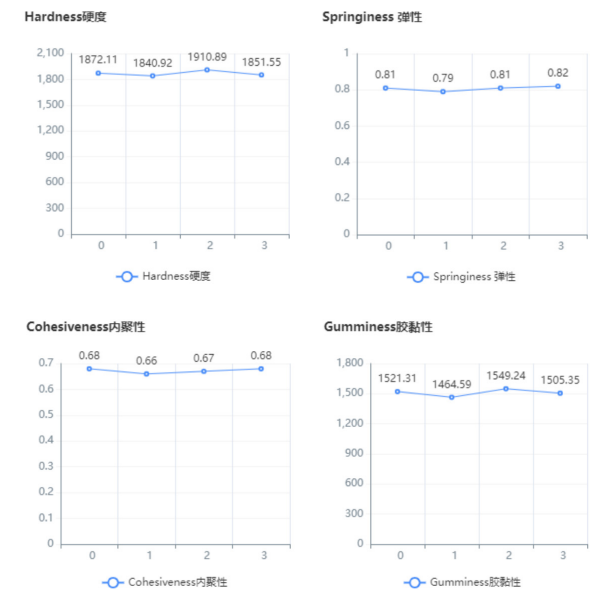
添加量 (%)	Peak (cP)	Trough (cP)	Breakdown (cP)	Final (cP)	Setback (cP)	Peak Time (min)	Pasting Temp ($^{\circ}\text{C}$)
0	1655	890	765	2081	1191	6.93	87.15
1	1611	837	774	1972	1135	6.93	87.70
2	1545	815	730	1844	1029	6.93	87.65
3	1525	772	753	1795	1023	6.93	87.65

2.3 大球盖菇多糖添加量对馒头质构特性的影响

质构特性是评价馒头品质的关键指标。由表 4 可知, 随着大球盖菇多糖添加量的增加, 馒头的硬度和咀嚼性呈先降后升再降的趋势, 在添加量为 2% 时达到峰值 (1910.89 g 和 1503.37), 而 1% 添加量时最低。弹性和内聚性则在添加量超过 1% 后持续上升, 在 3% 添加量时达到最佳 (0.819 和 0.683)。回复性整体呈下降趋势。综合来看, 3% 添加量的馒头在保持适中硬度的同时, 具有最佳的弹性和内聚性, 总体质构特性最为均衡。这可能是因为适量的大球盖菇多糖能够与面筋蛋白相互作用, 增强网络结构; 而过量添加则可能因竞争性吸水对面筋结构产生稀释或干扰作用。

表4 不同大球盖菇多糖添加量对馒头质构特性的影响

添加量(%)	硬度(g)	弹性	内聚性	胶黏性(g)	咀嚼性(g)	回复性
0	1872.11	0.808	0.676	1521.31	1467.42	0.472
1	1840.92	0.790	0.664	1464.59	1405.20	0.445
2	1910.89	0.815	0.668	1549.24	1503.37	0.433
3	1851.55	0.819	0.683	1505.35	1459.37	0.450





2.4 大球盖菇多糖添加量对馒头感官品质的影响

感官评价结果如表 5 所示。添加 1% 大球盖菇多糖的馒头总分最高 (83.8 分)，其形态 (21.6)、组织 (21.6) 和口感 (24.0) 评分均较高，表明少量多糖添加有助于保持馒头的外观和内部结构。随着添加量增加至 2% 和 3%，总分有所下降，主要由于形态 (20.6 → 18.8) 和组织 (18.4 → 19.0) 得分降低。但值得注意的是，3% 添加量在气味 (17.2) 和口感 (22.4) 上优于 2% 添加量，且总分 (77.4) 略高于 2% 组 (76.6)。综合考虑质构特性 (3% 组弹性、内聚性最佳)，3% 添加量在保持可接受感官品质的前提下，能提供更佳的抗老化性能。

表5 不同大球盖菇多糖添加量对馒头感官评分的影响

添加量(%)	形态 (25分)	气味 (20分)	组织 (25分)	口感 (30分)	总分 (100分)
0	22.2	16.6	22.2	25.2	86.2
1	21.6	16.6	21.6	24.0	83.8
2	20.6	15.6	18.4	22.0	76.6
3	18.8	17.2	19.0	22.4	77.4

3 讨论

本实验比较了三种酶法提取大球盖菇多糖的效果，发现纤维素酶与木瓜蛋白酶联用的得率最高，显著高于单一酶法。这一结果与卢琪等^[3]关于酶辅助提取可提升食用菌多糖得率的报道一致。推测复合酶之所以更有效，是因为它能协同作用，更彻底地破坏细胞壁结构，使胞内多糖更充分溶出。

从糊化特性来看，添加大球盖菇多糖后，RVA 测得的峰值粘度和回生值均有所下降，其中回生值的降低尤为明显。这与罗庆龄等^[11]报道的食用菌多糖具有抑制淀粉回生功能的结论相符。回生值降低意味着馒头在贮藏过程中不易变硬，有助于延长产品的食用保质期。其可能机制在于多糖与淀粉分子之间形成氢键相互作用，从而干扰了淀粉链的有序重排。

质构测试结果显示，多糖添加量为 3% 时，馒头的弹性和内聚性达到最佳。适度添加多糖有助于与面筋蛋白发生相互作用，增强面筋网络的稳定性^[13]。但若添加过多

(如超过 3%)，多糖较强的吸水能力会与面筋蛋白竞争水分，反而干扰面筋网络的形成，导致馒头形态塌陷、内部组织结构劣变。

在感官评价中，1% 添加量的总分最高，但 3% 添加量在气味和口感上的得分优于 2% 组，总分也略高于 2% 组。综合糊化与质构数据，3% 添加量在抗老化性能、弹性和内聚性方面均表现良好，是在加工特性与食用品质之间取得较好平衡的添加比例。

4 结语

采用纤维素酶与木瓜蛋白酶复合提取法，可以获得较高的大球盖菇多糖得率，最高达到 4.76%。将该多糖按不同比例添加到馒头中，会明显改变面粉的糊化特性以及馒头的质构和感官品质。RVA 分析表明，多糖的加入使峰值粘度和回生值降低，当添加量为 3% 时这一趋势最为突出，说明馒头的抗老化能力得到增强。综合质构 (弹性高、内聚性好)、感官 (可接受程度尚可) 和糊化特性 (回生值低) 三方面指标，确定 3% 为大球盖菇多糖在复合型馒头中的适宜添加量。本研究为大球盖菇加工副产物的高值化利用以及功能性主食产品的开发提供了实验依据和理论参考。

参考文献:

- [1] 刘娟, 闵冬青, 唐可兰等. 大球盖菇的研究现状及发展前景[J]. 湖南农业科学, 2021(6): 117-119.
- [2] 邵华. 大球盖菇多糖对大鼠运动疲劳恢复的影响[J]. 中国食用菌, 2020, 39(7): 68-71.
- [3] 卢琪, 薛淑静, 杨德等. 3 种提取方法对大球盖菇粗多糖抗氧化性能的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(11): 171-178.
- [4] HAMZA A, GHANEKAR S, SALTHOSH KUMAR D. Current trends in health-promoting potential and biomaterial applications of edible mushrooms for human wellness[J]. Food Bioscience, 2023, 51: 102290.
- [5] 杜密英, 戴瑞, 李杰等. 金花茶粉添加量对馒头品质及抗氧化性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 15-16.
- [6] 江梦影, 赵一鸣, 荆旻歌等. 黑米酒糟添加量对馒头品质及生理活性的影响[J/OL]. 食品工业科技, 2023.
- [7] TEPSONGKROH B, JANGCHUD K, JANGCHUD A, et al. Healthy brown rice-based extrudates containing straw mushrooms: effect of feed moisture and mushroom powder

contents[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(9): e14089.

[8] 张婷阳, 张伶, 蒋雨秦等. 玫瑰花渣多糖提取工艺优化及体外抗氧化活性分析[J/OL]. 食品工业科技, 2024.

[9] 琚晶晶, 胡飞阳, 赵保堂等. 当归多糖提取方法对其提取率及理化性质的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(02): 195-202.

[10] 罗庆龄, 刘滢, 吴雨晨等. 食用菌多糖对淀粉性能的影响及其在淀粉质食品中的应用进展[J]. 食品科学, 2023, 44(19): 372-384.

[11] 张博华, 张明, 范祺等. 三种食用菌多糖及其复合多糖功能性评价研究[J]. 中国果菜, 2021, 41(6): 74-79.

[12] GONG P, WANG S Y, LIU M, et al. Extraction methods, chemical characterizations and biological activities of mushroom polysaccharides: A mini-review[J]. Carbohydrate Research, 2020, 494: 108037.

基金项目: 湖北三峡职业技术学院 2024 年度校级自然科学研究项目。

作者简介: 应月 (1987.01-), 女, 汉族, 湖北宜昌人, 讲师, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工。