

绿豆淀粉魔芋凝胶基体的制备及性能表征

韩扬¹, 宗绪岩¹, 赵海锋², 李丽^{1*}

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川宜宾 644000)(2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510641)

摘要: 为改善纯魔芋凝胶品质及扩大魔芋凝胶在素食行业中的快速应用, 该研究以魔芋粉、绿豆淀粉为研究对象, 以硬度和持水力为评价指标, 通过单因素和正交试验得到制备绿豆淀粉魔芋凝胶基体的最优工艺。同时利用差式扫描量热仪(Differential scanning calorimeter, DSC)、傅立叶红外光谱(Fourier-transform infrared spectroscopy, FT-IR)、扫描电镜(Scanning electron microscope, SEM)和X-射线衍射(X-ray diffraction, XRD)等手段对添加绿豆淀粉前后的魔芋凝胶性能进行对比分析。结果表明, 制备绿豆淀粉魔芋凝胶基体最优工艺参数为淀粉量3.00 g、碱含量7.00%、冷冻时间1.50 h、溶胀时间1.50 h、柠檬酸浓度0.50% *m/V*。此条件下制备的绿豆淀粉魔芋凝胶基体硬度为1782.61 g, 持水力为92.63%, 较纯魔芋凝胶相比分别提高了54.30%、2.41%, 具有更好的凝胶状态和持水效果。性能表征分析进一步证明了绿豆淀粉与魔芋粉具有相容性, 绿豆淀粉魔芋混合体系相互作用加强, 形成了网络状的空间结构, 具有更好的质构特性。

关键词: 魔芋粉; 绿豆淀粉; 硬度; 持水力; 性能表征

文章编号: 1673-9078(2022)06-191-197

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.6.1012

Preparation and Characterization of Konjac Gel with Added Mung Bean Starch

HAN Yang¹, ZONG Xuyan¹, ZHAO Haifeng², LI Li^{1*}

(1.School of Biological Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin 644000, China)

(2.School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Konjac flour and mung bean starch combinations were evaluated to improve the quality of pure konjac gel and expand the rapid application of konjac gel in the food industry. Hardness and water holding capacity were adopted as evaluation indicators, and the optimal process for preparing the mung bean starch-konjac gel matrix was obtained through single-factor and orthogonal experiments. In addition, the properties of konjac gel before and after addition of mung bean starch were analyzed and compared by means of differential scanning calorimetry, Fourier-transform infrared spectroscopy, scanning electron microscopy, and X-ray diffraction. The results showed that the optimal process parameters for preparing mung bean starch-konjac gel matrix were a starch content of 3.00 g, an alkali content of 7.00%, a freezing and swelling time of 1.50 h each, and a citric acid concentration of 0.50% *m/V*. The hardness of the mung bean starch-konjac gel matrix prepared under this condition was 1782.61 g, and the water holding capacity was 92.63%, which were 54.30% and 2.41% higher, respectively, than those of pure konjac gel; hence, the combination demonstrated better gelling and water holding performances. The performance characterization analysis further showed that mung bean starch and konjac flour are compatible, and the interactions between them in the matrix system are strong, forming a networked spatial structure and giving improved texture characteristics.

Key words: konjac flour; mung bean starch; hardness; water holding capacity; performance characterization

引文格式:

韩扬,宗绪岩,赵海锋,等.绿豆淀粉魔芋凝胶基体的制备及性能表征[J].现代食品科技,2022,38(6):191-197,+279

HAN Yang, ZONG Xuyan, ZHAO Haifeng, et al. Preparation and characterization of konjac gel with added mung bean starch [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 191-197, +279

收稿日期: 2021-09-09

基金项目: 四川省科技计划项目(2018JZ0039); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室开放基金项目(PRKX2017Z11)

作者简介: 韩扬(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品精深加工, E-mail: 1303711464@qq.com

通讯作者: 李丽(1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: 41370663@qq.com

魔芋粉的主要功能成分是魔芋葡甘露聚糖(konjac glucomannan, KGM), 而 KGM 是一类具有高分子量的水溶性、中性植物多糖, 它来自于生长在稀林下的魔芋块茎^[1-3]。因其具有独特的代谢控制和胶凝能力, 已被广泛应用于魔芋豆腐、仿生食品等凝胶化食品中^[4,5], 这些凝胶化食品主要是在加热和强碱性条件下形成的。此外, 魔芋还具有抗高血糖和高胆固醇血症活性^[6]、通便^[7]、减肥^[8]以及开胃等作用。由于低热量、口感好和饱腹感强, 魔芋凝胶食品在市场上越来越受欢迎。

近年来, 研究证实引入 KGM 确实能够改善单一淀粉体系无法实现的功能属性。刘晓庆等^[9]向豌豆淀粉凝胶中引入改良剂(魔芋粉)能明显增加混合体系黏度, 降低凝胶化焓值。王勇等^[10]、Ning 等^[11]、Ma 等^[12]发现 KGM/玉米淀粉混合后具有协同增效的作用, 主要表现在随 KGM 添加量增大, KGM/玉米淀粉混合物黏稠性增大, 假塑性和粘弹性显著增强。龙明秀等^[13]研究表明魔芋胶的加入能显著抑制甘薯淀粉的长期回生。Fang^[14]发现在 10.00% *m/m* 糯马铃薯淀粉(WPS)中加入 1.00% *m/m* KGM 加速了剪切诱导凝胶的形成, 促进了 WPS 分子间双螺旋的形成。

在前期试验中发现纯魔芋凝胶确实存在硬度较低、碱味重和冷冻-解冻过程易脱水收缩等问题, 为改善其凝胶品质和满足仿生素食行业需求, 将不同淀粉引入到魔芋凝胶体系中, 最终发现绿豆淀粉的添加对魔芋凝胶特性的影响最大。而绿豆淀粉较其他类型淀粉具有直链淀粉含量高^[15,16], 凝胶效果好^[17], 凝胶制品色泽、口感和持水性能好而受到消费者和生产商的喜爱。

因此, 为改善纯魔芋凝胶存在的不足并进一步探究添加绿豆淀粉对魔芋凝胶内部性能的变化, 本研究以硬度和持水力为评价指标, 通过单因素和正交试验制备绿豆淀粉魔芋凝胶基体, 以差式扫描量热仪(DSC)、傅立叶红外光谱(FT-IR)、扫描电镜(SEM)和 X-射线衍射(XRD)等分析方式研究添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶基体的变化, 为应用绿豆淀粉魔芋凝胶基体快速生产仿生素食提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

魔芋粉(2A 级), 宜昌维特魔芋胶有限责任公司; 绿豆淀粉, 新乡良润全谷物食品有限公司; 食用纯碱(食品级), 日照金禾博源生化有限公司; 柠檬酸(食品级), 天津渤化永利化工股份有限公司

1.2 主要仪器设备

数显恒温六孔水浴锅, 宁波市鄞州群安实验仪器有限公司; CP124C 电子分析天平, 梅特勒-托利多仪器上海有限公司; DW-25L300 低温保存箱, 澳柯玛股份有限公司; RT16000C 台式高速冷冻离心机, 上海容威仪器有限公司; SCIENTZ-10N 冷冻干燥机, 宁波新芝生物科技有限公司; TA.XT2i 型物性测定仪, 英国 Stable Micro System 公司; 差示扫描量热仪, 德国耐驰公司; 扫描电子显微镜, 捷克 Tesan 公司; D2 PHASER X 射线衍射仪, 德国布鲁克公司; 傅立叶红外光谱仪, 美国 Thermo Fisher 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 复合凝胶制备工艺流程

食用纯碱、淀粉→加水混合(80 °C)→搅拌均匀→魔芋粉→搅拌均匀→室温静置溶胀→煮沸→冷却→冷冻→解冻→柠檬酸浸泡→擦干表面水分→成品

1.3.2 试验设计

固定 5.00% 魔芋粉含量进行单因素和正交试验, 其中碱含量为魔芋粉含量的百分数。在单因素试验得出最佳溶胀时间 1.50 h 和柠檬酸浸泡浓度为 0.50% (*m/V*) 的基础上, 选定硬度和持水力为评价指标, 以淀粉量、碱含量和冷冻时间为考察因素, 每个因素三个水平, 采用 $L_9(3)^3$ 进行正交优化, 得出绿豆淀粉魔芋凝胶最优工艺。正交试验设计见表 1。

表 1 绿豆淀粉魔芋凝胶正交设计表

Table 1 Orthogonal design table of mung bean starch konjac gel

水平	因素		
	淀粉量/g	碱量/%	冷冻时间/h
1	2.00	6.00	1.00
2	3.00	7.00	1.50
3	4.00	8.00	2.00

1.3.3 魔芋凝胶指标的测定方法

1.3.3.1 质构特性测定

复合凝胶采用 SMS P/0.5 探头进行 TPA 测试。运行参数包括^[18]: 测前速度 2.00 mm/s, 接触压力 5.00 g, 测试中后速度均为 1.00 mm/s, 变形量 50.00%, 间隔时间 2.00 s。

1.3.3.2 持水性能测定

称取一定质量的复合凝胶吸干表面水分, 用滤纸包裹住凝胶样品放置于 50 mL 离心管中, 配平后于 5000 r/min 离心 15 min^[19], 离心前的凝胶质量记为 m_1 , 离心后的凝胶质量记为 m_2 , 持水力(Water holding

capacity, WHC) 计算公式如下所示:

$$\text{持水力(WHC)/\%} = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%$$

1.3.3.3 水分含量测定

参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》直接干燥法。

1.3.3.4 共晶点测定

通过差式扫描量热仪(DSC)测定魔芋凝胶共晶点。将约 10.00 mg 的魔芋凝胶密封在铝盘中,以空密封盘为参照,在 0 °C~40 °C 温度范围内以 5 °C/min 的冷却速率进行降温,得到魔芋凝胶共晶点。共晶点为 DSC 曲线中共晶峰的起始温度,该温度是曲线下降的峰斜率的 C 辅助线与基线的交点^[20]。

1.3.3.5 傅立叶红外光谱测定

根据 Ye 等^[21]方法加以修改,将真空冷冻干燥后的魔芋凝胶充分研磨和筛分(100 目),将样品室温保存在玻璃干燥器中 24 h 以达到水分平衡。用玛瑙研钵将干燥样品与 KBr 按 1:100 (m/m) 研磨,用红外光谱仪在 400~4000 cm⁻¹ 波长范围内扫描测定。

1.3.3.6 XRD 测定

将冷冻干燥样品存放于干燥器中进行 X-射线衍射测定,测定条件为:管电压 30 kV、管电流 10 mA,衍射角 2θ 变化范围为 5~90°,步长为 0.02°,扫描速率为 12 °/min,相对结晶度由计算软件直接得出。

1.3.3.7 扫描电镜测定

称取 4.00 mg 冻干魔芋凝胶样品,喷金 10 min,最大加速电压 15 kV,在 500× 下观察魔芋凝胶表面形貌^[22]。

1.4 数据分析

采用 SPSS 26、Origin 2018 和 Excel 软件对结果进行统计分析,数据结果以平均值±标准偏差表示。

2 结果与讨论

2.1 纯魔芋凝胶 TPA 指标相关性分析

表 2 纯魔芋凝胶各 TPA 指标相关性分析

Table 2 Correlation analysis of TPA indexes of pure konjac gel

指标	硬度	弹性	内聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性
硬度	1					
弹性	0.968	1				
内聚性	0.994	0.989	1			
胶黏性	1.000*	0.974	0.997	1		
咀嚼性	0.984	0.997*	0.998*	0.989	1	
回复性	0.990	0.994	0.999*	0.993	0.999*	1

注: *表示在 0.05 水平上有显著性差异。

2.2 正交试验结果

表 3 绿豆魔芋凝胶正交试验设计及结果

Table 3 Orthogonal test design and results of mung bean konjac gel

试验序号	因素				Hardness/g	WHC/%
	A (淀粉量)	B (碱含量)	C (冷冻时间)			
1	1	1	1	1004.34	86.96	
2	1	2	2	1137.06	90.62	
3	1	3	3	1562.89	89.80	
4	2	1	2	1658.17	90.98	
5	2	2	3	1778.03	91.54	
6	2	3	1	1239.60	88.39	
7	3	1	3	1536.97	90.05	
8	3	2	1	1349.51	91.05	
9	3	3	2	1692.98	91.73	
k _{H1j}	1234.76	1399.83	1197.82			
k _{H2j}	1558.60	1421.53	1496.07			
k _{H3j}	1526.49	1498.49	1625.96			
R ₁	323.84	98.67	428.15			
k _{W1j}	89.12	89.33	88.80			
k _{W2j}	90.31	91.07	91.11			
k _{W3j}	90.94	89.97	90.46			
R ₂	1.82	1.74	2.31			

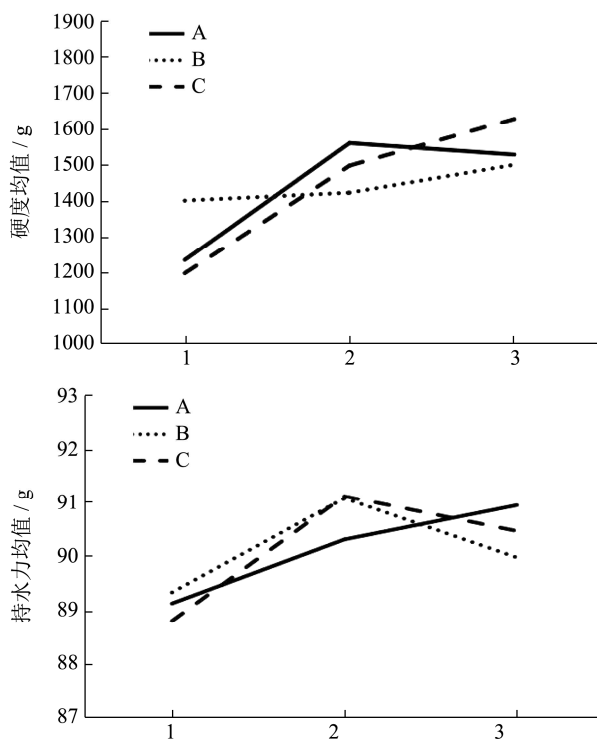


图1 硬度和持水力均值主效应图

Fig.1 The main effect diagram of hardness and water holding capacity mean value

为简化 TPA 测试结果的分析指标,对纯魔芋凝胶 TPA 数据进行了相关性分析,TPA 测试条件均在室温条件下进行。由表 2 可知纯魔芋凝胶硬度与弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性和回复性均呈正相关,表明魔芋凝胶硬度越大,弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性和回复性数值也越大。而魔芋凝胶咀嚼性和胶黏性由硬度相关公式计算得出,弹性、回复性和内聚性分别反映了魔芋凝胶形变后恢复的程度、形变后恢复的能力以及内部结合力的大小。对魔芋凝胶来讲,TPA 测试指标数值越大,凝胶状态和品质越好,这与雷雯等^[23]发现以魔芋豆腐硬度表征全质构特性研究结果一致。因此,后续试验采用硬度值表征其他 TPA 测试结果以体现魔芋凝胶全质构特性,从而进一步分析凝胶品质。

以表 2 简化 TPA 指标可得正交试验结果。由表 3 极差分析可知,各因素对硬度(Hardness)、持水力(WHC)的影响依主次排序分别是 C>A>B、C>A>B,即冷冻时间对绿豆淀粉魔芋凝胶硬度和持水力影响最大,其次分别是淀粉量和碱含量。根据不同评价指标可得绿豆淀粉魔芋凝胶硬度最佳组合为 A₂B₃C₃,持水力最优组合为 A₃B₂C₂。

结合硬度和持水力均值主效应图(图 1)可知,绿豆淀粉添加量在 A₂ 和 A₃ 时持水力差异不显著($p>0.05$),而 A₂ 魔芋凝胶硬度达最大值,因此绿豆淀粉添加量选 A₂ 较合适;碱含量选 B₂ 较合适,原因

是 B₂ 持水效果最佳且 B₁、B₂、B₃ 硬度相差不大;冷冻时间选 C₂,因为 C₃ 时绿豆淀粉魔芋凝胶硬度虽最大但持水力下降,长时间冷冻凝胶样品也会造成生产成本上升。综合比较,确定绿豆淀粉魔芋凝胶最佳工艺配方为 A₂B₂C₂,即淀粉量 3.00 g,碱含量 7.00%,冷冻时间 1.50 h。

验证试验(见表 4)发现当单因素试验结果溶胀时间为 1.50 h、柠檬酸浸泡浓度为 0.50% (m/V) 时,淀粉量为 3.00 g,碱含量为 7.00%,冷冻时间为 1.50 h 制备的绿豆淀粉魔芋凝胶硬度为 1782.61 g、持水力为 92.63%,均高于各正交试验结果,因此确定制备绿豆淀粉魔芋凝胶最佳配方 A₂B₂C₂。

2.3 添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶分析

2.3.1 凝胶性能分析

绿豆淀粉魔芋凝胶为正交试验最优配方 A₂B₂C₂,添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶硬度值和持水力结果见表 4。本研究发现绿豆淀粉魔芋凝胶硬度和持水力上升较明显,凝胶硬度、持水力较纯魔芋凝胶分别提高了 54.30%、2.41%,这与孙健等^[24]在魔芋豆腐中添加羟丙基变性淀粉使复合凝胶强度增大的研究结果类似,原因可能是魔芋粉与绿豆淀粉混合后体系浓度增大,两者间分子作用力加强,而绿豆淀粉直链淀粉含量较高^[25],能形成硬度更大的凝胶产品,使绿豆淀粉魔芋凝胶结构更稳定,持水效果更明显。

表 4 添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶性能分析

Table 4 Performance analysis of konjac gel before and after adding mung bean starch

样品	硬度/g	持水力/%
纯魔芋凝胶	1155.32±37.86	90.45±0.92
绿豆淀粉魔芋凝胶	1782.61±29.21	92.63±2.00

2.3.2 水分含量与共晶点分析

共晶点是指体系中水分完全冻结成冰晶时的温度^[26]。由表 5 可知纯魔芋凝胶和绿豆淀粉魔芋凝胶水分含量分别为 5.25 g/100 g 和 7.77 g/100 g,共晶点分别为 -16.10 °C 和 -11.60 °C,绿豆淀粉魔芋凝胶水分含量、共晶点较纯魔芋凝胶分别提高了 2.52 g/100 g、4.50 °C,淀粉的引入提升了魔芋凝胶的水分含量,这与 Shang 等^[27]研究结果类似。表 5 发现魔芋凝胶共晶点与水分含量呈正相关,这与张坚强等^[28]发现绿茶水分含量越高,共晶点越高的研究结果一致,可能是纯魔芋凝胶含水量较低,溶质浓度相对较高,冻结过程中固化变慢,共晶点越低,也可能是直链淀粉与魔芋的相互作用导致。同时,由于试验冷冻温度是 -20 °C,而两者的共晶点均在 -20 °C 以上,说明添加绿豆淀粉

前后制备的凝胶均能在-20 °C条件下完全冻结。

表5 添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶共晶点与水分含量

Table 5 The eutectic point and moisture content of konjac gel before and after adding mung bean starch

样品	共晶点/°C	水分含量/(g/100 g)
纯魔芋凝胶	-16.10	5.25±0.26
绿豆淀粉魔芋凝胶	-11.60	7.77±0.01

2.3.3 傅立叶红外光谱分析

FT-IR 通常用于鉴定多糖结构中的有机官能团，当化学基团在分子水平上发生变化时，可以在光谱中观察到差异，例如吸收峰的增强和吸收带的移动^[4]。

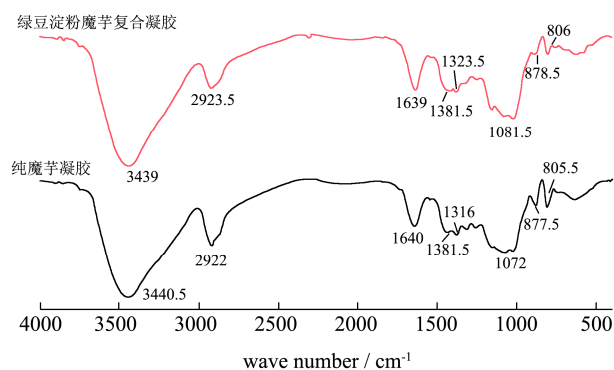


图2 添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶 FT-IR 图谱

Fig.2 FT-IR spectrum of konjac gel before and after adding mung bean starch

图2 显示了纯魔芋凝胶和绿豆淀粉魔芋凝胶傅立叶光谱图，它们的吸收峰具有相似的频率和形状，但未产生新的吸收峰。添加绿豆淀粉前后制备的魔芋凝胶在 3440.00 cm⁻¹ 附近有一个很强的吸收峰，即-OH 的伸缩振动峰，这是多糖化合物的特征吸收峰。魔芋凝胶在 2922.00 cm⁻¹ 附近吸收峰较弱，可以描述为 C-H 基团的伸缩振动。吸收带位于 1640.00 cm⁻¹ 附近可以指定为分子内或分子间的氢键^[29]，吸收波数的减少主要是指氢键程度和强度变化的函数^[30]，而绿豆淀粉魔芋凝胶吸收带在 1639.00 cm⁻¹ 处，这表明绿豆淀粉与魔芋粉之间的氢键作用力增强。多项研究指出 KGM 在 1720.00 cm⁻¹ 附近的特征峰表征乙酰基的存在^[31-33]，而魔芋凝胶主要是在碱性加热条件下发生脱乙酰作用，但图2中并未发现 1720.00 cm⁻¹ 左右的吸收峰，表明添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶乙酰基的羰基伸缩振动峰消失，乙酰基完全去除。峰值在 1381.00 cm⁻¹ 处归结于乙酰基上甲基的弯曲振动。1315.00 cm⁻¹ 附近的吸收峰可能是由于 C-OH 或 C-H 的拉伸振动。1080.00 cm⁻¹ 的特征峰代表 C-O 单键引起的伸缩振动。特征吸收峰位于 878.00 cm⁻¹ 和 806.00 cm⁻¹ 被认为是魔芋葡甘露聚糖中糖苷键和甘露糖苷键的拉伸振动^[34]，这与 Li 等^[35] 关于 KGM-GA 复合凝胶傅立叶光谱分析结果一致。

从纯魔芋凝胶到绿豆淀粉魔芋凝胶，多糖分子间氢键作用加强，且傅立叶光谱图中吸收峰没有显示出显著性的化学结构差异和形成新的基团，化学键未发生显著变化，说明添加绿豆淀粉对魔芋凝胶的化学结构影响微弱。

2.3.4 XRD 分析

图3 显示了添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶的 X-射线衍射图，天然 KGM 由径向排列的胶束组成，结晶度较差，晶体结构非常不规则^[36]。

由图3 可看出，添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶显示出典型的非晶型结构，均在 2θ=20 °附近出现强衍射峰，各样品间未出现显著性差异，这与 Huang 等^[37] 的研究结果相似。纯魔芋凝胶、绿豆淀粉魔芋凝胶结晶度分别为 30.30%、25.90%，结晶度下降了 4.40%，可能是直链淀粉与 KGM 间的相互作用。同时，绿豆淀粉与魔芋粉共混后 X-射线衍射图未形成新的结晶峰，表明引入绿豆淀粉对魔芋体系晶体结构影响较小。

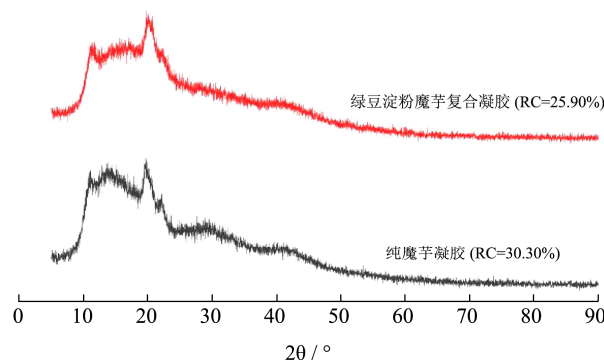


图3 添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶 XRD 图

Fig.3 X-ray diffraction of konjac gel before and after adding mung bean starch

2.3.5 扫描电镜分析

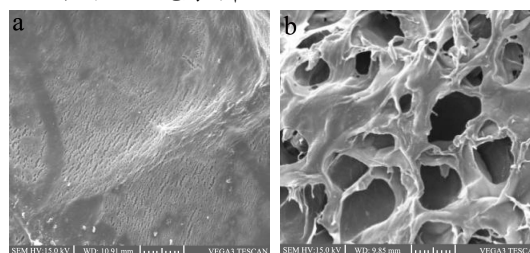


图4 添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶扫描电镜图

Fig.4 SEM of konjac gel before and after adding mung bean starch

注：a：纯魔芋凝胶；b：绿豆淀粉魔芋凝胶。

用扫描电镜研究了真空冷冻干燥后的纯魔芋凝胶与绿豆淀粉魔芋凝胶的微观结构。从图4a 中可以观察到纯魔芋凝胶表面平坦，孔隙小且呈撕裂状，孔洞分布不均匀。而绿豆淀粉魔芋凝胶结构发生了明显的变化（图4b），微观结构主要呈立体状且孔径增大，孔

洞通过片状连接,片与片之间搭建形成网状空间结构,这跟 Sun 等^[26]发现 PtS-KGM 具有连续的三维结构类似。分析原因可能是绿豆淀粉填充在魔芋多糖网络结构中,较高浓度的聚集分子使两者相互作用加强,使其形成稳定的网络结构^[38]。因此,绿豆淀粉能在一定程度上改善纯魔芋凝胶品质。

3 结论

本文研究了绿豆淀粉魔芋凝胶基体的制备工艺及添加绿豆淀粉前后魔芋凝胶变化的影响。结果表明,在淀粉量为 3.00 g,碱含量为 7.00%,冷冻时间为 1.50 h,溶胀时间为 1.50 h,柠檬酸浓度为 0.50% (m/V) 时可获得硬度为 1782.61 g、持水力为 92.63%的绿豆淀粉魔芋凝胶基体,此工艺条件下制备的混合凝胶具有更好的凝胶品质和持水性能。同时,性能表征证明了添加绿豆淀粉对魔芋凝胶的化学结构和晶体结构影响较小,两者具有很好的相容性,微观分析进一步证明了绿豆淀粉魔芋凝胶形成了更稳定的网络空间结构,改善了魔芋凝胶品质。因此,添加绿豆淀粉制备复合凝胶在一定程度上能够解决魔芋凝胶现存问题并对新型仿生素食的开发与应用提供理论依据。

参考文献

- [1] ZHAO Dan, ZHOU Yun, LIU Hangda, et al. Effects of dough mixing time before adding konjac glucomannan on the quality of noodles [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(12): 3837-3846
- [2] LI Xing, JIANG Fatang, NI Xuewen, et al. Preparation and characterization of konjac glucomannan and ethyl cellulose blend films [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 44(1): 229-236
- [3] Yan Hu, Jing Tian, Jian Zou, et al. Partial removal of acetyl groups in konjac glucomannan significantly improved the rheological properties and texture of konjac glucomannan and κ -carrageenan blends [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 123: 1165-1171
- [4] Youyou Jiang, Chagam Koteswara Reddy, Kehao Huang, et al. Hydrocolloidal properties of flaxseed gum/konjac glucomannan compound gel [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 133: 1156-1163
- [5] Joanna Kruk, K Kaczmarczyk, A Ptaszek, et al. The effect of temperature on the colligative properties of food-grade konjac gum in water solutions [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 174: 456-463
- [6] Melinda Chua, Timothy C Baldwin, Trevor J Hocking, et al. Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophallus konjac* K. Koch ex N.E.Br [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 128(2): 268-278
- [7] Hsiao-Ling Chen, Han-Chung Cheng, Wen-Tsu Wu, et al. Supplementation of konjac glucomannan into a low-fiber Chinese diet promoted bowel movement and improved colonic ecology in constipated adults: a placebo-controlled, diet-controlled trial [J]. Journal of the American College of Nutrition, 2008, 27(1): 102-108
- [8] Sirotkin Alexander V. Can konjac (*Amorphophallus konjac* K. Koch) and its constituent glucomannan be useful for treatment of obesity [J]. Obesity Medicine, 2021, 24: 100343
- [9] 刘晓庆,刘松继,陈江平,等.不同改良剂对豌豆淀粉凝胶化及凝胶特性的影响[J].中国粮油学报,2020,35(1):143-148
LIU Xiaoqing, LIU Songji, CHEN Jiangping, et al. Effects of different modifiers on gelatinization and gel properties of pea starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(1): 143-148
- [10] 王勇,裴晶莹,许敏,等.魔芋胶和玉米淀粉混合物黏弹特性的研究[J].食品安全质量检测学报,2019,10(20):6788-6792
WANG Yong, PEI Jingying, XU Min, et al. Study on the viscoelastic properties of the mixture of konjac gum and corn starch [J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2019, 10(20): 6788-6792
- [11] Ning Yuejia, Bo Cui, Chao Yuan. Decreasing the digestibility of debranched corn starch by encapsulation with konjac glucomannan [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 107: 105966
- [12] Shuping Ma, Peilei Zhu, Mingchun Wang. Effects of konjac glucomannan on pasting and rheological properties of corn starch [J]. Food Hydrocolloids, 2019, APRa: 234-240
- [13] 龙明秀,吴凤玉,田竹希,等.魔芋胶对甘薯淀粉流变学特性及粉条品质的影响[J].现代食品科技,2018,34(12):26-33
LONG Mingxiu, WU Fengyu, TIAN Zhuxi, et al. The effect of konjac gum on the rheological properties of sweet potato starch and the quality of noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(12): 26-33
- [14] Fang Fang. Shear-induced synergistic effects of konjac glucomannan and waxy potato starch on viscosity and gel strength [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 114(1): 106540
- [15] Mengdi Yao, Yu Tian, Wenjian Yang, et al. The multi-scale structure, thermal and digestion properties of mung bean starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 131: 871-878
- [16] 刘襄河,郑丽璇,郑丽勉,等.双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量[J].广东农业科学,2013, 40(18):97-100

- LIU Xianghe, ZHENG Lixuan, ZHENG Limian, et al. Determination of amylose, amylopectin and total starch content in common starch raw materials by dual-wavelength method [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(18): 97-100
- [17] 王林.淀粉的糊化与凝胶特性及食用品质研究[J].保鲜与加工,2021,21(2):67-73
WANG Lin. Study on the gelatinization and gel properties and edible quality of starch [J]. Preservation and Processing, 2021, 21(2): 67-73
- [18] 任艳艳,李斌,商龙臣,等.湿热降解对花魔芋魔芋胶/ κ -卡拉胶复配凝胶性能的影响[J].食品与机械,2020,36(7):17-22, 54
REN Yanyan, LI Bin, SHANG Longchen, et al. The effect of damp heat degradation on the gel properties of konjac konjac gum/ κ -carrageenan compound gel [J]. Food and Machinery, 2020, 36(7): 17-22, 54
- [19] 温成荣.魔芋葡甘聚糖/变性淀粉复配性质及应用研究[D].福建:福建农林大学,2010
WEN Chengrong. Research on the properties and application of konjac glucomannan/modified starch [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010
- [20] Lin W, Dalmazzone D, Fürst W, et al. Accurate DSC measurement of the phase transition temperature in the TBPB-water system [J]. The Journal of Chemical Thermodynamics, 2013, 61: 132-137
- [21] Jiangping Ye, Rong Yang, Chengmei Liu, et al. Improvement in freeze-thaw stability of rice starch gel by inulin and its mechanism [J]. Food Chemistry, 2018, 268: 324-333
- [22] Khalid Gul, Charanjit Singh Riar, Anu Bala, et al. Effect of ionic gums and dry heating on physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of water chestnut starch [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59(1): 348-355
- [23] 雷雯,钟耕,张东霞,等.掺入外源淀粉的魔芋豆腐体外消化和发酵性能研究[J].食品与机械,2020,36(1):24-29,49
LEI Wen, ZHONG Geng, ZHANG Dongxia, et al. Study on *in vitro* digestion and fermentation performance of konjac tofu mixed with exogenous starch [J]. Food and Machinery, 2020, 36(1): 24-29, 49
- [24] 孙健,雷小涛,徐焱春,等.羟丙基变性淀粉在魔芋豆腐中的应用研究[J].安徽农学通报,2016,22(11):126-127
SUN Jian, LEI Xiaotao, XU Yanchun, et al. Application of hydroxypropyl modified starch in konjac tofu [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(11): 126-127
- [25] Lin Siyu, Liu Xiane, Cao Yao, et al. Effects of xanthan and konjac gums on pasting, rheology, microstructure, crystallinity and *in vitro* digestibility of mung bean resistant starch [J]. Food Chemistry, 2020, 339: 128001
- [26] 李晶.冷冻影响脱乙酰魔芋葡甘聚糖凝胶的机制与应用[D].武汉:华中农业大学,2014
LI Jing. The mechanism and application of freezing effect on deacetylated konjac glucomannan gel [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014
- [27] Shang Longchen, Wu Cenlin, Wang Shishuai, et al. The influence of amylose and amylopectin on water retention capacity and texture properties of frozen-thawed konjac glucomannan gel [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 113: 106521
- [28] 张坚强,董春旺,叶阳,等.绿茶共晶点、共熔点及其变化规律研究[J].中国食品学报,2015,15(1):47-53
ZHANG Jianqiang, DONG Chunwang, YE Yang, et al. Study on the eutectic point, eutectic point and its change law of green tea [J]. Chinese Journal of Food Science, 2015, 15(1): 47-53
- [29] Ying Sun, Mingchun Wang, Shuping Ma, et al. Physicochemical characterization of rice, potato, and pea starches, each with different crystalline pattern, when incorporated with Konjac glucomannan [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 101: 105499
- [30] Tao Feng, Ran Ye, Haining Zhuang. Thermal behavior and gelling interactions of *Mesona blumes* gum and rice starch mixture [J]. Carbohydrate Polymers: Scientific and Technological Aspects of Industrially Important Polysaccharides, 2012, 90(1): 667-674
- [31] Wang, Lin, Lin, et al. Synthesis and characteristics of konjac glucomannan films incorporated with functionalized microcrystalline cellulose [J]. Colloids and Surfaces, A. Physicochemical and Engineering Aspects, 2019, 563: 237-245
- [32] 唐兰兰,张世奇,刘雄,等.热处理下不同有机酸对魔芋水溶胶流变行为的影响研究[J].食品与发酵工业,2022,48(8): 227-232
TANG Lanlan, ZHANG Shiqi, LIU Xiong, et al. The effect of different organic acids on the rheological behavior of konjac hydrosol under heat treatment [J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(8): 227-232

(下转第 279 页)