

仙草-山药粉凝胶性能研究

李晓柯, 何传波, 魏好程, 熊何健*

(集美大学海洋食品与生物工程学院, 厦门 361021)

摘要: **目的** 分析仙草-山药粉凝胶性能。**方法** 以凝胶质构参数和持水性为指标, 分析仙草-山药粉凝胶的成胶条件, 并采用红外光谱、扫描电镜和示差扫描量热仪对其结构进行分析。**结果** 在仙草多糖(*Mesona chinensis* polysaccharide, MCP)浓度 0.6%、山药粉含量 2.0%、pH 为 10.0 的条件下, 仙草-山药粉凝胶性能最佳, 添加氯化钠会破坏凝胶网络结构。仙草-山药粉凝胶质构性能接近仙草-玉米淀粉凝胶, 且具有更强的持水能力。红外光谱、扫描电镜和热性能分析发现, 仙草-山药粉凝胶以非共价键形成网络结构, 凝胶壁厚且孔隙结构均一, 高温下不易解离, 具有良好的热稳定性。**结论** 仙草-山药粉凝胶性能良好, 山药可替代玉米淀粉应用于仙草凝胶类健康食品的工业化生产。

关键词: 仙草多糖; 山药粉; 凝胶; 质构特性

Study on the properties of *Mesona chinensis*-*Rhizoma dioscorea* gel

LI Xiao-Ke, HE Chuan-Bo, WEI Hao-Cheng, XIONG He-Jian*

(College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the properties of *Mesona chinensis*-*Rhizoma dioscorea* gels. **Methods** The gel-forming conditions of *Mesona chinensis*-*Rhizoma dioscorea* gels were analyzed using the gel texture parameters and water-holding capacity as indicators, and their structures were analyzed by infrared spectroscopy, scanning electron microscopy and differential scanning calorimetry. **Results** The best performance of the *Mesona chinensis*-*Rhizoma dioscorea* gels was achieved under the conditions of 0.6% *Mesona chinensis* polysaccharide concentration, 2.0% *Rhizoma dioscorea* powder content and pH 10.0, and the addition of sodium chloride would destroy the gel network structure. The textural properties of *Mesona chinensis*-*Rhizoma dioscorea* gels were close to those of *Mesona chinensis*-corn starch gels and had stronger water holding capacity. Infrared spectroscopy, scanning electron microscopy and thermal property analysis showed that the *Mesona chinensis*-*Rhizoma dioscorea* gels formed a network structure with non-covalent bonds, and the gel walls were thick and the pore structure was homogeneous, which was not easy to dissociate at high temperature and had good thermal stability. **Conclusions** *Mesona chinensis*-*Rhizoma dioscorea* gel has good performance, and *Rhizoma dioscorea* can be used as a substitute for corn starch in the industrial production of *Mesona chinensis* gel-based health foods.

KEY WORDS: *Mesona chinensis* polysaccharide; *Rhizoma dioscorea* powder; gel; texture characteristics

基金项目: 福建省区域发展项目(2019N3012)、福建省科技计划项目(2019N0014)

Fund: Supported by the Fujian Province Regional Development Project (2019N3012), and the Science and Technology Plan Project of Fujian Province (2019N0014)

*通信作者: 熊何健, 硕士, 研究员, 主要研究方向为食品化学与营养。E-mail: hjxiong@jmu.edu.cn

*Corresponding author: XIONG He-Jian, Master, Professor, College of Marine Food and Bioengineering, Jimei University, Xiamen 361021, China. E-mail: hjxiong@jmu.edu.cn

0 引言

仙草(*Mesona chinensis*), 又称凉粉草、仙人草, 属唇形科凉粉草属植物。仙草在我国种植地域广, 其中以福建和广东等地为主^[1]。仙草作为一种药食两用植物, 在民间常被用来熬煮凉茶或菱膏, 具有清利湿热、凉血解毒等功效^[2], 是暑期消热的佳品。仙草中含有多糖、黄酮、三分子类和酚类等多种化学成分, 其中多糖类约占仙草总重的 20%^[3]。仙草多糖(*Mesona chinensis polysaccharide*, MCP) 作为仙草中含量最多、用途最广的功能成分, 具有抗氧化、免疫调节、降血糖等多种生理功能^[4]。仙草多糖具有胶凝性, 在加热条件下, 可与淀粉形成良好的褐色凝胶^[5]。

山药(*Rhizoma dioscorea*)又名土薯、薯药等, 为薯蓣科植物薯蓣的块茎^[6]。山药作为传统的药食同源植物之一, 富含多种营养成分, 是常见的保健品原材料, 因具有抗肿瘤、降脂等生理功能作用而广受人们喜爱。近年来, 山药种植业发展迅速, 全国仅准山药种植面积达 20 万公顷以上, 已成为主产区农民增收的主产物之一^[7], 加快山药深加工产品的研发对促进山药产业的健康发展有重要意义。

山药富含淀粉, 经过切片、粉碎得到山药粉可部分替代淀粉质原料进行食品加工^[8]。FREITAS 等^[9]发现, 山药淀粉能够形成比木薯淀粉更强的凝胶结构。目前已有玉米淀粉、大米淀粉与仙草多糖制备凝胶的报道^[10-11], 但尚未有仙草-山药粉凝胶的研究报道。市场上现有的商品化仙草-淀粉凝胶类食品, 主要是利用玉米淀粉、大米淀粉等淀粉质原料加工的产品, 淀粉质原料营养单一, 且形成的凝胶持水性能不够理想, 容易出现产品析水现象^[12]。本研究利用山药和仙草两种传统的药食同源植物作为原材料, 开发仙草-山药粉凝胶产品, 营养丰富, 且能有效利用山药中粘蛋白的持水性, 有助于解决产品析水问题, 为功能性仙草-山药粉凝胶健康食品的开发提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂与仪器

仙草(福建省龙岩市); 山药粉、山药淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉(食品级, 南京甘汁园糖业有限公司)。

氯化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 小苏打(食品级, 深圳市振芯嘉贸易有限公司); 苯酚、硫酸(分析纯, 西陇化工股份有限公司); 溴化钾(色谱级, 上海麦克林生化科技有限公司)。

L550 型台式离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司); TA-XT plus 质构仪(英国 Stable Micro System 公司); Is50 傅立叶红外光谱仪(美国赛默飞有限公司); Q-2000 示差扫描量热仪(美国 TA 仪器公司); S-4800 扫描电子显微镜(日本日立技术有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 仙草提取液的制备

以仙草作为原料, 按照料液比 1:35 (g:mL), 加入浓度为 1.25% (*m:V*)的碳酸氢钠溶液, 沸水浴振荡浸提 3 h, 抽滤得到的褐色滤液即为仙草提取液, 使用苯酚硫酸法测定多糖浓度, 于 4℃冰箱放置备用。

1.2.2 仙草凝胶的制备

将一定量的仙草液, 加热至微沸后边搅拌边加入山药粉或淀粉悬混液, 在微沸状态下保持 40 s。将物料趁热倒入容器, 冷却至室温后, 放入 4℃的冰箱冷藏 12 h。

1.2.3 成胶条件对凝胶性能的影响

(1) MCP 浓度对凝胶性能的影响

以体系总体积为基础, 在山药粉含量为 2.0% (*m:V*, 下同)、pH 8.0 条件下, 将 1.2.1 中已知多糖浓度的仙草提取液进行稀释, 使体系中 MCP 浓度为 0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%, 分析 MCP 浓度对凝胶性能的影响。

(2) 山药粉含量对凝胶性能的影响

以体系总体积为基础, 在 MCP 浓度为 0.6%、pH 8.0 条件下, 调节山药粉配比为 1%、2%、3%、4%、5%, 分析山药粉含量对凝胶性能的影响。

(3) pH 对凝胶性能的影响

以体系总体积为基础, 在 MCP 和山药粉配比分别为 0.6%、2%条件下, 调节 pH 为 4、6、8、10、12, 分析 pH 对凝胶性能的影响。

(4) 氯化钠添加量对凝胶性能的影响

以体系总体积为基础, 在 MCP 和山药粉配比分别为 0.6%、2%、pH 为 8.0 的条件下, 调节体系氯化钠浓度为 0、0.010、0.015、0.020 mol/L, 分析氯化钠添加量对凝胶性能的影响。

(5) 不同种类淀粉质原料对凝胶性能的影响

以体系总体积为基础, 在 MCP 和淀粉质原料配比分别为 0.6%、2%、pH 为 8.0 条件下, 分析玉米淀粉、山药粉、山药淀粉、木薯淀粉不同淀粉质原料对凝胶性能的影响。

1.2.4 凝胶持水力的测定

准确称量 3 g 凝胶置于 50 mL 离心管, 在 4300×g 的条件下离心 20 min, 测 3 组平行数据, 按照公式(1)计算凝胶持水力(water holding capacity, WHC):

$$WHC = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \quad (1)$$

式中: m_0 为离心前凝胶质量, g; m_1 为离心管质量, g; m_2 为离心后凝胶质量, g。

1.2.5 凝胶质构特性的测定

取出凝胶完全的仙草冻, 待回升至室温后, 参考 WANG 等^[13]的方法, 采用圆形探头 P/36R 进行全质构测定, 选择 P/5s 探头测定凝胶强度, 测定时所用方法: 测试前速度 1.5 mm/s, 测试速度 2.0 mm/s, 测试后速度 2.0 mm/s, 测试距离 10 mm, 触发力 5×g, 测 3 组平行数据。

1.2.6 凝胶红外光谱分析

参考 REN 等^[14]的方法。凝胶经冷冻干燥后, 与溴化钾按 1:30 (*m:m*)混合研磨, 用压片机压成薄片后采集红外光谱图。

1.2.7 凝胶扫描电镜分析

通过扫描电镜观察冻干凝胶的微观结构。使用薄刀片小心将冻干凝胶切片, 经过喷金处理后, 通过扫描电镜观察凝胶结构。

1.2.8 热性能分析

用 TA Q2000 差示扫描量热仪测定凝胶热性能。取冻干凝胶粉碎, 放入铝坩埚中密封, 用空坩埚作为空白参考, 温度以 10°C/min 的增长速率, 从 20°C 升温至 150°C, 记录其热流变化曲线。

1.3 数据处理

每组实验设置 3 个平行, 采用 SPSS 22.0 统计分析软件、Origin 9.0 作图分析软件对实验数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 成胶条件对凝胶质构和持水性的影响

2.1.1 MCP 含量对于凝胶性能的影响

MCP 含量大于 0.2% 时, 凝胶才能成型。由表 1 结果显示, 随着 MCP 浓度增加, 凝胶的硬度、咀嚼性和强度都随之增加, 并在多糖含量 0.6% 时达到峰值, 继续升高多糖含量指标值反而下降。多糖含量由 0.2% 增加到 0.3% 时, 凝胶

弹性相对下降, 而持水性显著上升 ($P < 0.05$), 此后继续增加多糖含量, 凝胶弹性和持水性相对稳定。硬度和凝胶强度是评价食品质地的重要指标^[15], MCP 通过与淀粉分子间相互作用以及淀粉的短期回生, 使凝胶呈现较好强度和硬度^[16]。当过量添加 MCP 时, 由于多糖自聚集阻碍了与直链淀粉之间的相互作用, 会引起凝胶强度和硬度的下降^[17]。持水力反映了凝胶网络的保水能力, MCP 的适量增加使凝胶结构更致密, 会促进凝胶持水力的提高^[18]。MCP 含量为 0.6% 时, 凝胶性能最佳。

2.1.2 山药粉含量对凝胶性能的影响

由表 2 结果显示, 在山药粉含量为 2.0% 时, 凝胶硬度、咀嚼性、强度最大, 弹性和持水性也相对较高, 超过 2.0% 时, 硬度、咀嚼性、强度指标值反而下降。凝胶强度与淀粉质原料中直链淀粉浸出量密切相关^[19], YURIS 等^[20]研究认为, 较高淀粉浓度会减少直链淀粉的有效浸出量, 导致形成弱质仙草凝胶。山药粉含量为 2.0% 时, 凝胶性能最佳。

2.1.3 pH 对于凝胶性能的影响

由表 3 结果显示, 在 pH 为 6.0~10.0 范围内, 凝胶的硬度、咀嚼性、强度随着 pH 升高而增加, 持水性相对稳定; 当 pH 超过 10.0 继续升高时, 以上指标显著降低。凝胶弹性受 pH 变化的影响较小。当处在过高 pH 时, 相同电荷之间排斥增强, 导致多糖难以与淀粉结合, 降低凝胶强度^[21], 同时可能引起 MCP 解聚, 导致网络节点数目减少, 凝胶硬度下降^[22]。pH 为 10.0 时, 凝胶性能最佳。

表 1 MCP 含量对凝胶特性的影响 ($n=3$)
Table 1 Effects of MCP content on gel characteristics ($n=3$)

多糖含量/%	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/mJ	凝胶强度/(g*mm)	持水性
0.2	244.95±15.55 ^f	1.00±0.00 ^a	130.85±2.33 ^e	37.39±5.58 ^f	0.71±0.07 ^b
0.3	454.71±5.92 ^c	0.98±0.01 ^{ab}	253.62±0.54 ^d	76.41±8.00 ^c	0.86±0.02 ^a
0.4	729.70±5.81 ^d	0.97±0.00 ^b	342.16±11.42 ^c	125.82±3.17 ^d	0.85±0.02 ^a
0.5	1084.32±7.29 ^c	0.98±0.02 ^{ab}	604.63±11.84 ^b	153.78±4.44 ^c	0.87±0.01 ^a
0.6	1319.98±9.40 ^a	0.97±0.01 ^b	670.06±5.66 ^a	212.42±4.55 ^a	0.87±0.03 ^a
0.7	1257.63±8.62 ^b	0.96±0.01 ^b	667.02±8.33 ^a	183.87±4.39 ^b	0.87±0.02 ^a

注: 同一参数的均值后标注不同的字母表示存在显著性差异 ($P < 0.05$), 下同。

表 2 山药粉含量对凝胶特性的影响 ($n=3$)
Table 2 Effects of *Rhizoma dioscorea* powder content on gel characteristics ($n=3$)

山药粉含量/%	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/mJ	凝胶强度/(g*mm)	持水性
1.0	135.99±3.24 ^c	1.00±0.00 ^a	79.36±11.84 ^c	ND	0.57±0.01 ^c
2.0	1597.47±9.99 ^a	0.97±0.00 ^b	799.96±11.64 ^a	163.40±1.00 ^a	0.88±0.02 ^b
3.0	1457.59±7.24 ^b	0.97±0.00 ^{bc}	742.14±6.21 ^b	160.93±8.48 ^a	0.88±0.01 ^b
4.0	1428.75±5.25 ^c	0.97±0.01 ^{bc}	722.38±8.23 ^c	134.16±6.58 ^b	0.87±0.01 ^b
5.0	1167.05±8.78 ^d	0.96±0.00 ^c	519.42±8.41 ^d	116.49±1.00 ^c	0.92±0.02 ^a

注: ND 表示未检出。

表 3 pH 对凝胶特性的影响($n=3$)
Table 3 Effects of pH on gel characteristics ($n=3$)

pH	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/mJ	凝胶强度/(g*mm)	持水性
6.0	1301.77±3.38 ^c	0.99±0.01 ^a	806.95±5.22 ^b	144.97±4.86 ^b	0.85±0.02 ^a
8.0	1389.39±9.50 ^b	1.00±0.01 ^a	804.22±7.04 ^b	167.27±9.54 ^a	0.86±0.03 ^a
10.0	1581.85±5.19 ^a	0.99±0.01 ^a	949.67±8.70 ^a	171.87±5.95 ^a	0.86±0.01 ^a
12.0	1044.05±7.30 ^d	0.98±0.01 ^a	590.69±5.64 ^c	85.96±2.30 ^c	0.77±0.04 ^b

2.1.4 氯化钠添加量对凝胶特性的影响

由表 4 结果显示,随着氯化钠含量增加,凝胶硬度、弹性、咀嚼性、凝胶强度和持水性都随之下落,氯化钠表现出凝胶破坏作用,这与尹怀霞^[23]研究结果相一致。盐离子可以通过竞争水分、静电作用和静电屏蔽等影响凝胶性能^[24],氯化钠可能通过降低淀粉溶解度,导致直链淀粉浸出减少,从而降低了凝胶性能^[25]。

2.1.5 不同种类淀粉质原料对凝胶特性的影响

已有研究表明,由于直链淀粉含量以及淀粉颗粒大小等因素存在差异,导致淀粉质原料种类对于凝胶特性有着重要的影响^[26]。由表 5 结果可知,淀粉添加量为 2%时,木薯淀粉形成的硬度、咀嚼性和凝胶强度最差,山药淀粉所形成的凝胶质构性能较好,但硬度显著低于山药粉凝胶,且相对于山药淀粉,山药粉既保留了山药的各种营养成分,也避免了自身加工的复杂性。玉米淀粉凝胶的硬度最强,但持水性能最差,山药粉与 MCP 形成的凝胶与玉米淀粉凝胶性能相近,具备较好的硬度、弹性、咀嚼性、凝胶强度,以及更强的持水性。因此,可利用山药粉替代玉米淀粉进行仙草凝胶类食品的工业化生产。

2.2 红外光谱分析

仙草-淀粉形成凝胶过程中未出现新的吸收峰,并未

形成共价键, MCP 和淀粉之间应该是以氢键相互作用形成凝胶^[27]。如图 1,混合凝胶体系在 3443 cm^{-1} 处和 2933 cm^{-1} 处产生的吸收峰,是由于淀粉分子中的-OH 基团和-CH 基团所引起的,与淀粉分子红外谱图相比,凝胶体系的羟基吸收带偏移,说明凝胶体系内淀粉分子与 MCP 之间确实存在氢键^[28]。C-O 键的拉伸与 1154 cm^{-1} 、1078 cm^{-1} 和 1024 cm^{-1} 处产生的特征峰有一定的关联^[29];无水葡萄糖环伸缩振动引起了混合体系在 762 cm^{-1} 、575 cm^{-1} 处产生的振动吸收峰^[30]。

2.3 扫描电镜分析

仙草-淀粉凝胶呈现蜂窝状结构^[31],凝胶表面孔洞与水分子分布密切相关,仙草与淀粉之间的相互作用会促进水分挤出,形成孔洞。孔径越大,多糖-淀粉、淀粉-淀粉间作用力越强,导致水分与均相凝胶相分离^[32-33]。

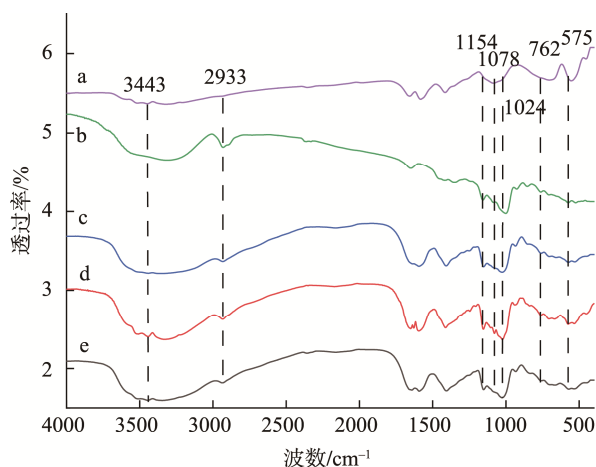
图 2 为 3 种凝胶样品扫描电镜图,不同淀粉质原料形成的凝胶微观结构表现出明显差异。玉米淀粉凝胶孔洞大小分布不均,存在密集的细小孔洞,网络结构不均。山药粉凝胶孔洞大小分布均匀,孔壁厚,而山药淀粉凝胶孔洞较大。3 种凝胶表面观察到白色颗粒,可能是未完全糊化的淀粉颗粒。

表 4 氯化钠添加量对凝胶特性的影响($n=3$)
Table 4 Effects of sodium chloride content on gel characteristics ($n=3$)

氯化钠含量/(mol/L)	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/mJ	凝胶强度/(g*mm)	持水性
0	1469.56±11.02 ^a	0.97±0.01 ^a	744.67±5.32 ^a	84.83±3.75 ^a	0.89±0.01 ^a
0.010	953.50±12.22 ^b	0.96±0.00 ^a	450.91±7.63 ^b	48.71±2.02 ^b	0.76±0.03 ^b
0.015	531.12±9.14 ^c	0.94±0.01 ^b	176.76±6.43 ^c	27.81±3.03 ^c	0.71±0.02 ^b
0.020	458.17±8.94 ^d	0.94±0.01 ^b	167.79±6.01 ^c	11.09±1.03 ^d	0.71±0.03 ^b

表 5 不同淀粉质原料对凝胶特性的影响($n=3$)
Table 5 Effects of different starchy raw materials on gel characteristics ($n=3$)

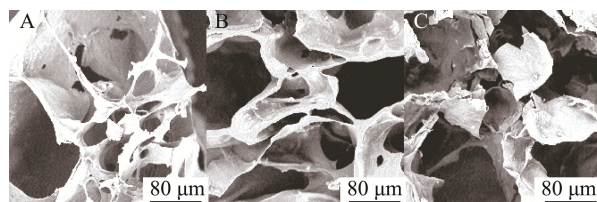
淀粉质原料	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/mJ	凝胶强度/(g*mm)	持水性
玉米淀粉	1552.31±11.93 ^a	0.98±0.01 ^a	673.96±6.98 ^b	142.14±8.87 ^b	0.57±0.02 ^b
山药粉	1541.19±7.60 ^a	0.95±0.02 ^a	667.20±5.80 ^b	159.67±7.87 ^b	0.85±0.02 ^a
山药淀粉	1267.49±7.20 ^b	0.97±0.01 ^a	833.20±3.21 ^a	289.99±7.50 ^a	0.89±0.02 ^a
木薯淀粉	845.13±10.94 ^c	0.98±0.02 ^a	583.53±5.89 ^c	79.98±4.55 ^c	0.87±0.04 ^a



注: a~e 分别是 MCP、玉米淀粉、仙草-玉米淀粉凝胶、仙草-山药粉凝胶、仙草-山药淀粉凝胶。

图 1 不同凝胶体系红外光谱图

Fig.1 Infrared spectra of different gel systems



注: A~C 分别是仙草-玉米淀粉凝胶、仙草-山药粉凝胶、仙草-山药淀粉凝胶。

图 2 不同凝胶体系扫描电镜分析

Fig.2 Analysis of scanning electron microscopy of different gel systems

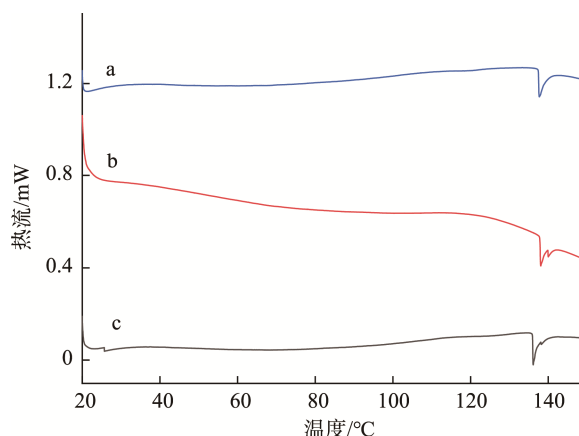
2.4 热性能分析

凝胶热性能反映凝胶的热稳定性, 3 种凝胶体系在热的作用下焓值变化曲线见图 3, 仙草-山药粉凝胶起始熔融温度与其他淀粉质凝胶无明显差异(山药粉、山药淀粉、玉米淀粉凝胶体系的起始熔融温度分别为 137.7、135.1、136.6°C), 凝胶解离温度较高, 凝胶产品适用于商业灭菌^[22]。示差扫描量热仪所测定的热焓值反应了淀粉双螺旋的程度和晶体熔化所需的热量^[34]。玉米淀粉、山药粉、山药淀粉凝胶体系焓值分别为 2.291、1.338、1.160 J/g。仙草-玉米凝胶在冷却过程中形成了比山药粉、山药淀粉凝胶体系强度更大的双螺旋结构, 这与质构分析中仙草-玉米凝胶硬度最大结果相一致。

3 结论

仙草和山药能形成良好的凝胶体结构, 最佳成胶条件为 MCP 浓度 0.6%、山药粉含量 2.0%、pH 10.0, 氯化钠的加入对凝胶结构有破坏作用。仙草-山药粉凝胶性能显著优于仙草-木薯淀粉凝胶, 凝胶硬度显著高于仙草-山药淀粉凝胶, 与仙草-玉米淀粉凝胶性能接近, 且具有更强的持水能

力, 保留了山药自身的营养成分。仙草-山药粉凝胶以非共价键形成网络结构, 凝胶壁厚且孔洞大小均一, 具有良好的热稳定性, 适用于商业灭菌。因此, 可利用山药替代目前工业化生产中常用的玉米淀粉进行仙草凝胶类食品的加工, 研制功能性仙草凝胶产品, 促进仙草、山药深加工产品的开发。



注: a~c 分别是仙草-玉米淀粉凝胶、仙草-山药粉凝胶、仙草-山药淀粉凝胶。

图 3 不同凝胶体系热性能分析

Fig.3 Analysis of thermal properties of different gel systems

参考文献

- [1] 上官宇晨, 黄丽媛, 黄熊, 等. 大孔树脂纯化仙草黄酮及成分测定[J]. 中国调味品, 2021, 46(6): 149-153.
SHANGGUAN YC, HUANG LY, HUANG X, *et al.* Purification of flavonoids from *Mesona Blume* by macroporous resin and determination of components [J]. *China Cond*, 2021, 46(6): 149-153.
- [2] 李保强, 王利强, 韩恩泽, 等. 仙草胶的研究现状及发展趋势[J]. 包装与食品机械, 2019, 37(3): 55-60.
LI BQ, WANG LQ, HAN ENZ, *et al.* Current research status and future development trend of Hsian-tsoo gum [J]. *Packag Food Mach*, 2019, 37(3): 55-60.
- [3] 何传波, 邓婷, 魏好程, 等. 仙草多糖对细胞氧化损伤的保护作用[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 160-168.
HE CB, DENG T, WEI HC, *et al.* Protective effect of polysaccharide from *Mesona blumes* on oxidative damage of cells [J]. *Food Sci*, 2020, 41(13): 160-168.
- [4] 黄颖楨, 陈菁瑛, 赵云青, 等. 仙草最佳采收期研究[J]. 福建农业学报, 2013, 28(9): 888-891.
HUANG YY, CHEN QY, CHEN YQ, *et al.* Optimal harvest time for *Mesona chinensis Benth* [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2013, 28(9): 888-891.
- [5] 程伟伟, 栗俊广, 蒋爱民, 等. 仙草多糖的研究进展及在肉品中的应用前景[J]. 肉类研究, 2014, 28(9): 26-29.
CHENG WW, LI JG, JIANG AIM, *et al.* Recent progress in research on Hsian-tsoo polysaccharides and their application prospects [J]. *Meat Res*, 2014, 28(9): 26-29.
- [6] 董庆海, 吴福林, 王涵, 等. 山药的化学成分和药理作用及临床应用研究进展[J]. 特产研究, 2018, 40(4): 98-103.
DONG QH, WU FL, WANG H, *et al.* Research progress on chemical constituents, pharmacological activity and clinical application of Chinese yam [J]. *Special Wild Econ Anim Plant Res*, 2018, 40(4): 98-103.
- [7] 韦本辉. 我国淮山药产业发展现状及对策[J]. 现代农业科技, 2012, (3):

- 352–354.
- WEI BH. Development status and countermeasures of *Dioscorea opposita* Thunb industry in China [J]. Mod Agric Sci Technol, 2012, (3): 352–354.
- [8] 杨育静, 丁家琪, 白辰雨, 等. 山药粉添加量对猪肉丸品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(6): 56–62.
- YANG YJ, DING JQ, BAI CY, *et al.* Effects of addition amounts of yam powder on quality of pork balls [J]. J Northeast Agric Univ, 2021, 52(6): 56–62.
- [9] FREITAS RA, PAULA RC, FEITOSA JPA, *et al.* Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches [J]. Carbohydr Polym, 2004, 55(1): 3–8.
- [10] LUO Y, HAN X, SHEN M, *et al.* Mesona chinensis polysaccharide on the thermal, structural and digestibility properties of waxy and normal maize starches [J]. Food Hydrocolloid, 2021, 112: 106317.
- [11] FENG T, YE R, ZHUANG H, *et al.* Thermal behavior and gelling interactions of *Mesona blumes* gum and rice starch mixture [J]. Carbohydr Polym, 2012, 90(1): 667–674.
- [12] 罗玉. 凉粉草多糖对不同直链含量玉米淀粉凝胶特性的影响及凉粉草布丁产品的研发[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- LUO Y. Effects of *Mesona chinensis* polysaccharides on gel properties of maize starch with different amylose content and the development of new *Mesona chinensis* pudding [D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [13] WANG W, SHEN M, JIANG L, *et al.* Influence of *Mesona blumes* polysaccharide on the gel properties and microstructure of acid-induced soy protein isolate gels [J]. Food Chem, 2020, 313: 126125.
- [14] REN Y, RONG L, SHEN M, *et al.* Interaction between rice starch and *Mesona chinensis* Benth polysaccharide gels: Pasting and gelling properties [J]. Carbohydr Polym, 2020, 240: 116316.
- [15] PAN T, GUO H, LI Y, *et al.* The effects of calcium chloride on the gel properties of porcine myosin- κ -carrageenan mixtures [J]. Food Hydrocolloid, 2017, 63: 467–477.
- [16] REN Y, JIANG L, WANG W, *et al.* Effects of *Mesona chinensis* Benth polysaccharide on physicochemical and rheological properties of sweet potato starch and its interactions [J]. Food Hydrocolloid, 2020, 99: 105371.
- [17] XIAO W, SHEN M, REN Y, *et al.* Mesona chinensis polysaccharides promote molecular crosslinking and gel formation of debranched waxy maize starch [J]. LWT, 2021, 148: 111773.
- [18] JIANG L, REN Y, XIAO Y, *et al.* Effects of *Mesona chinensis* polysaccharide on the thermostability, gelling properties, and molecular forces of whey protein isolate gels [J]. Carbohydr Polym, 2020, 242: 116424.
- [19] BILIADERIS CG, JULIANO BO. Thermal and mechanical properties of concentrated rice starch gels of varying composition [J]. Food Chem, 1993, 48(3): 243–250.
- [20] YURIS A, MATIA-MERINO L, HARDACRE AK, *et al.* Molecular interactions in composite wheat starch-*Mesona chinensis* polysaccharide gels: rheological, textural, microstructural and retrogradation properties [J]. Food Hydrocolloid, 2018, 79: 1–12.
- [21] 马星. 凉粉草胶的超声辅助提取及胶体性质研究[D]. 南宁: 广西大学, 2010.
- MA X. Study on extracting *Mesona blumes* gum with ultrasound and the gel property [D]. Nanning: Guangxi University, 2010.
- [22] 邓婷. 仙草多糖的分离纯化及凝胶特性研究[D]. 厦门: 集美大学, 2017.
- DENG T. Study on extraction, purification and gelation properties of *Mesona blume* polysaccharides [D]. Xiamen: Jimei University, 2017.
- [23] 尹怀霞. 仙草胶的制备及其功能性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2007.
- YI HX. Study on preparation and function of *Mesona blume* gum [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2007.
- [24] LUO Y, SHEN M, HAN X, *et al.* Gelation characteristics of *Mesona chinensis* polysaccharide-maize starches gels: Influences of KCl and NaCl [J]. J Cere Sci, 2020, 96: 103108.
- [25] 夏秋霞, 史莹莹, 段腾飞. 葛根淀粉凝胶的加工工艺研究[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2020, 34(1): 50–53.
- XIA QX, SHI YY, DUAN TF. Study on processing technology of Kudzu starch gel [J]. J Lanzhou Univ Arts Sci (Nat Sci Ed), 2020, 34(1): 50–53.
- [26] 赵敏. 淀粉类凝胶食品制备及特性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
- ZHAO M. Study on the preparation and characteristics of starch gel foods [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2014.
- [27] REN Y, WU Z, SHEN M, *et al.* Improve properties of sweet potato starch film using dual effects: Combination *Mesona chinensis* Benth polysaccharide and sodium carbonate [J]. LWT, 2021, 140: 110679.
- [28] YE J, YANG R, LIU C, *et al.* Improvement in freeze-thaw stability of rice starch gel by inulin and its mechanism [J]. Food Chem, 2018, 268: 324–333.
- [29] 孟杰, 云雪艳, 陈倩茹, 等. 沙蒿籽胶对马铃薯淀粉凝胶的热学性能、质构特性、流变特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 66–74.
- MENG J, YUN XY, CHEN QR, *et al.* Effects of *Artemisia sphaerocephala* Krasch Gumon on the thermal, textural and rheological properties of potato starch gel [J]. Sci and Technol Food Ind, 2021, 42(16): 66–74.
- [30] 王立丹, 朱晓敏, 洪昌业, 等. 玉米淀粉糖的特性测定及其在馒头中的应用[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(9): 42–47.
- WANG LD, ZHU XM, HONG CY, *et al.* The characteristics and the application in steamed bread of corn starch sugar [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2018, 33(9): 42–47.
- [31] XIAO Y, SHEN M, LUO Y, *et al.* Effect of *Mesona chinensis* polysaccharide on the pasting, rheological, and structural properties of tapioca starch varying in gelatinization temperatures [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 156: 137–143.
- [32] LIU SC, XIAO YH, SHEN MY, *et al.* Effect of sodium carbonate on the gelation, rheology, texture and structural properties of maize starch-*Mesona chinensis* polysaccharide gel [J]. Food Hydrocolloid, 2019, 87: 943–951.
- [33] LUO Y, SHEN M, LI E, *et al.* Effect of *Mesona chinensis* polysaccharide on pasting, rheological and structural properties of corn starches varying in amylose contents [J]. Carbohydr Polym, 2020, 230: 115713.
- [34] XIE J, REN Y, XIAO Y, *et al.* Interactions between tapioca starch and *Mesona chinensis* polysaccharide: Effects of urea and NaCl [J]. Food Hydrocolloid, 2021, 111: 106268.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



李晓柯, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。

E-mail: 11045304597@163.com



熊何健, 硕士, 研究员, 主要研究方向为食品化学与营养。

E-mail: hjxiong@jimu.edu.cn