

NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥品质特性的影响

王相甜^{1,2}, 木泰华^{2*}, 马梦梅^{2*}

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要: 该试验以蒸制熟化的马铃薯泥为对象, 利用电子眼、应变控制流变仪、物性测试仪、扫描电子显微镜、激光共聚焦显微镜、X-射线衍射仪、核磁共振分析系统等, 研究 NaCl 添加量 (0%、0.5%、1.0%, *m/m*, 以薯泥计) 及 pH (6、7、8) 对马铃薯泥色泽、流变学特性、质构特性及微观结构等的影响规律。结果表明: 随 NaCl 添加量的增加, 马铃薯泥弹性由 81.86% 减小到 79.40%、硬度由 551.72 g 增大到 784.28 g, 网络结构受到一定的破坏。随 pH 的增加, 与 pH 为 6 时相比, 马铃薯泥的弹性由 81.44% 减小到 75.96%、硬度呈先降低后升高的趋势, 稳定性减弱; 当 pH 为 6 时, 马铃薯泥弹性最大 (81.44%), 硬度较小 (528.84 g), 形成了致密的凝胶网络结构。综上所述, 在不添加 NaCl、pH 为 6 时, 马铃薯泥具有最佳的加工特性。该研究可为采用 NaCl 及调节 pH 制备适用于主食及休闲食品加工的高品质马铃薯泥提供理论依据。

关键词: 马铃薯泥; 流变学特性; 质构特性; 微观结构; NaCl 添加量; pH

文章编号: 1673-9078(2021)11-250-260

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.11.0271

Effects of NaCl Addition and pH on Quality Characteristics of Mashed Potatoes

WANG Xiangtian^{1,2}, MU Taihua^{2*}, MA Mengmei^{2*}

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Science; Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)

Abstract: The effects of NaCl addition (0%, 0.5%, 1.0%, *m/m*), and pH (6, 7, 8) on the color, rheological, textural, and microstructural properties of mashed potatoes were investigated by using an electronic eye, rheometer, texture analyzer, scanning electron microscopy (SEM), confocal laser scanning microscopy (CLSM), X-ray diffraction (XRD), and nuclear magnetic resonance (NMR). The results showed that with the increase of NaCl addition, the springiness was decreased from 81.86% to 79.40%, the hardness was increased from 551.72 g to 784.28 g, while the network structure was destroyed. Furthermore, with the increase of pH, compared to pH6, the springiness was decreased from 81.44% to 75.96%, the hardness showed a trend of decreasing first and then increasing, while the stability was decreased. The highest springiness (81.44%) and lower hardness (528.84 g) were obtained for mashed potatoes at pH 6. Overall, the mashed potatoes exhibited the best processing characteristics at pH 6 without NaCl addition. Thus, the study can provide theoretical support for the preparation of high quality mashed potatoes suitable for processing staple and leisure food by NaCl and pH regulation.

Key words: mashed potatoes; rheological properties; textural properties; microstructural properties; NaCl addition; pH

引文格式:

王相甜, 木泰华, 马梦梅. NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥品质特性的影响[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 250-260

WANG Xiangtian, MU Taihua, MA Mengmei. Effects of NaCl addition and pH on quality characteristics of mashed potatoes [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(11): 250-260

收稿日期: 2021-03-15

基金项目: 国家重点研发计划-政府间国际科技创新合作重点专项 (2016YFE0133600); 国家农业科技创新工程项目 (GAAS-ASTIP-201X-IAPPST); 中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-2020-1FST-04; CAAS-ASTIP-201X-IAPPST); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (S2020JBKY-17)

作者简介: 王相甜 (1987-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 252659390@qq.com

通讯作者: 木泰华 (1964-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品化学与营养, E-mail: mutaihua@126.com; 马梦梅 (1988-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品化学与营养, E-mail: meimei881020@163.com

随着小麦供给形势紧张,全球粮食安全面临巨大考验。马铃薯作为第四大重要粮食作物,富含淀粉、蛋白质、膳食纤维等,营养价值全球公认^[1]。我国马铃薯资源丰富,种植面积和产量均居世界首位^[2],在保障国民经济发展和国家粮食安全方面发挥着重要作用。自2015年我国启动马铃薯主食化战略以来,以马铃薯全粉为原料生产馒头、面条等主食产品已成为现实^[3]。然而,马铃薯全粉加工能耗大、成本高,且全粉中的淀粉已完全糊化,加工适宜性差。因此,研发加工能耗低及品质特性好的新型马铃薯泥代替马铃薯全粉至关重要。

淀粉是马铃薯泥的主要成分^[4],因缺乏面筋蛋白,无法形成三维网络结构,导致其加工制品易出现黏度及硬度大、弹性小、凝胶网络结构松散等瓶颈问题^[5]。已有研究表明,Na⁺、K⁺等可显著改善马铃薯淀粉、玉米淀粉和小麦淀粉的凝胶强度^[6,7],提高木瓜蛋白的硬度及黏附性^[8],而Ca²⁺、Mg²⁺等可降低玉米淀粉、大米淀粉的回生速率^[9],提高蛋清蛋白及大豆蛋白的凝胶强度^[10];这与盐离子可改变淀粉与蛋白质分子的溶解度、静电相互作用、水合作用等有关^[9]。此外,当pH由2增大至10时,玉米淀粉的凝胶硬度及马铃薯淀粉的糊化温度、峰值黏度可显著增大^[7];而pH由6.5增大至12.5时,大豆乳清蛋白的亮度降低,果胶-乳清蛋白溶液黏度逐渐减小^[11,12]。这可能是由于pH通过影响淀粉或蛋白质的氢键形成能力来改变凝胶体系的色泽和糊化特性^[11]。据此,我们推测,通过添加盐离子或调节pH可改善马铃薯泥的品质特性,然而该方面研究尚未见报道。

本研究以蒸制熟化的马铃薯为对象,研究不同NaCl添加量及pH对马铃薯泥色泽、流变学特性、质构特性、微观结构等的影响规律,并揭示其对马铃薯泥品质特性的作用机制,从而为马铃薯泥应用于主食及休闲食品的生产提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯(品种:新大坪)由甘肃省农业科学院提供。淀粉试剂盒,爱尔兰Megazyme公司;异硫氰酸荧光素(FITC)、罗丹明B荧光染色液,北京索莱宝科技有限公司;二甲基亚砜(DMSO),国药集团化学试剂公司;以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

CD-07型电动捶泥机,长沙昌合机械有限公司;

MesoMR23-060H-I型核磁共振分析系统,上海纽迈电子科技有限公司;DigiEye数慧眼图像颜色管理系统(电子眼分析仪),英国Verivide公司;MCR-301型应变控制流变仪,奥地利安东帕公司;TA-XT2i型物性测试仪,英国Stable Micro System公司;Leica TCS SP2型激光共聚焦显微镜,德国Leica公司;S-3400扫描电子显微镜,株式会社日立制作所;TENSOR27型傅里叶红外光谱仪,德国布鲁克光谱仪器公司;XPert PRO多用途粉末衍射仪,荷兰帕纳科公司。

1.3 方法

1.3.1 马铃薯泥的制作

新鲜马铃薯经清洗、去皮、切片(2~3 mm)、蒸制15 min并冷却至室温后,分别添加0%、0.5%、1.0% NaCl(m/m,以薯泥计),或用食品级柠檬酸调节马铃薯泥的pH至6、小苏打调整马铃薯泥的pH至7、8后,放入自动捶泥机,在频率为72次/min下捶打30 min。

新鲜马铃薯泥用于测定色泽、流变学特性、质构特性以及水分含量、水分分布状态、激光共聚焦显微镜。冷冻干燥的马铃薯泥用于测定直链淀粉/支链淀粉含量比例(直/支比)、相对结晶度、傅里叶变换红外光谱等。

1.3.2 马铃薯泥的色泽测定

电子眼分析仪开机稳定10 min,使用5 mm光圈,待校正结束后,将马铃薯泥放置仪器正中,逐个采集图像及数据。

1.3.3 马铃薯泥的流变学特性

采用平板-平板测量系统,探头(PP25)起始高度为70 mm,设置间隙1.5 mm,温度25℃,将马铃薯泥放置在平行板上并覆盖硅油,防止测试过程中水分损失^[5,13]。

1.3.3.1 静态流变学特性

剪切速率扫描范围0.01~10 rad/s,测定样品的黏度(η)随剪切速率($\dot{\gamma}$)变化情况。剪切应力(τ)与剪切速率($\dot{\gamma}$)的关系可采用Power-Law模型分析:

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

式中:

k —黏度系数,Pa·s ^{n} ;

n —流体指数。

1.3.3.2 动态流变学特性

应变扫描范围为0.01%~10%,测定储能模量(G')及损耗模量(G'')随应变(Strain)变化情况。用RHEOPLUS/32软件确定线性粘弹性区间(LVR)。

在LVR范围内,角频率(ω)由0.1增大到10 rad/s,得到 G' 及 G'' 随频率变化的结果。马铃薯泥的结构稳

定性采用 Power Law 模型分析:

$$G' = k(\omega)z' \quad (2)$$

式中:

z' —— G' 对 ω 的依赖程度;

k ——强度。

1.3.4 马铃薯泥的质构特性分析

采用质地剖面分析 (TPA) 模式, P/36R 探头进行测定。测试前、测试时、测试后速度分别为 2.0 mm/s、1.0 mm/s、1.0 mm/s, 触发力 5 g, 压缩比 40%^[8]。

1.3.5 马铃薯泥的微观结构分析

1.3.5.1 激光扫描共聚焦显微镜 (CLSM) 分析

取适量马铃薯泥, 分别用浓度为 0.25% (m/m) 的 FITC 和 0.025% (m/m) 的罗丹明 B 荧光染液进行染色, 于显微镜下观察。物镜放大倍数 20 \times , 目镜放大倍数 10 \times , FITC 和罗丹明 B 的激发波长分别为 488 和 568 nm, 发射波长分别为 518 和 625 nm^[14]。

1.3.5.2 扫描电子显微镜 (SEM) 分析

干燥后的马铃薯泥切取横切面 (长 \times 宽 \times 高=5 mm \times 5 mm \times 1 mm), 固定于导电金属样品台上, 真空条件下喷金处理, 喷金厚度为 15 nm。样品台置于 5 kV 加速电压下观测, 放大倍数为 150 \times ^[5]。

1.3.6 马铃薯泥的水分含量及水分分布状态测定

1.3.6.1 水分含量

将干燥的空铝盒及盖玻片放置于快速水分测定仪中恒重调零, 取出盖玻片将马铃薯泥 (0.600~0.700 g) 均匀平铺在盖玻片上, 放置于快速水分干燥仪中干燥 20~30 min。

1.3.6.2 水分分布状态 ($^1\text{H NMR}$)

称取 30.0 g 马铃薯泥放置于永久磁场中心位置, 用 CPMG 脉冲序列进行扫描, 磁体轻度 (BO)=0.47 T, 线圈直径 60 mm, 磁体温度 32 $^{\circ}\text{C}$ 。共振频率 SF=23.2 MHz, 采样间隔时间 17 μs , 回波时间 400 μs , 循环时间 1500 ms, 回波数 NECH=5000, 累加次数 NS=4 次^[15]。

1.3.7 马铃薯泥的 X-射线衍射 (XRD) 测定

冻干后的马铃薯粉于 XRD 下进行分析检测, 扫描电压 40 kV 扫描电流 40 mA, 用 $\text{CuK}\alpha$ 辐射源, $\lambda=1.5406$, 衍射角 2θ 扫描角度为 5~40 $^{\circ}$, 扫描速度 0.17 $^{\circ}/\text{s}$ 。采用 JADE 6.5 计算淀粉相对结晶度^[16]。

$$Dc = Ac / (Ac + Aa) \times 100\% \quad (3)$$

式中:

Dc ——相对结晶度, %;

Ac ——结晶区;

Aa ——非晶区。

1.3.8 马铃薯泥中淀粉直链/支链比值测定

利用淀粉试剂盒并参照使用说明书方法进行测定。简述如下: 粉碎后的样品用 DMSO 在沸水浴中溶解 15 min, 并间歇漩涡混合防止凝胶沉淀, 室温下静置 5 min, 加入 95% (V/V) 乙醇形成淀粉沉淀物, 静置 15 min 后离心, 弃上清液, 加入 DMSO 使之溶解, 分别于 510 nm 下读取直链淀粉及总淀粉吸光度。

1.3.9 马铃薯泥的傅里叶变换红外光谱 (FT-IR) 分析

马铃薯泥冻干粉与 KBr (1:50, m/m) 混合研磨 20 s 后压片。在 4000~400 cm^{-1} 频数范围内, 累计扫描 64 次, 扫描分辨率为 4 cm^{-1} 。采用 OriginPro8.5 计算蛋白质的二级结构^[5]。

1.3.10 统计分析

所有试验重复测定三次, 实验结果以平均值 \pm 标准差表示。用 SPSS 21 软件对结果进行方差分析, $p < 0.05$ 时具有显著性差异, 利用 OriginPro 8.5 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥色泽的影响

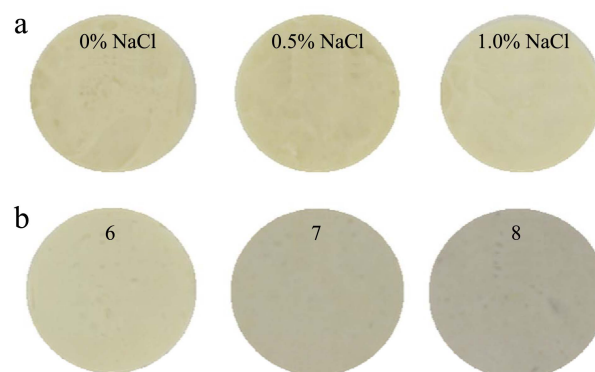


图1 不同 NaCl 添加量 (a) 及 pH (b) 的马铃薯泥电子眼分析仪扫描图

Fig.1 Effects of NaCl addition (a) and pH (b) on the digieye of mashed potatoes

不同 NaCl 添加量对马铃薯泥色泽影响见图 1a, 随着 NaCl 添加量的增加, 马铃薯泥的亮度 (L^*) 增大。为了定量研究 NaCl 添加量对马铃薯泥亮度、红度 (a^*)、黄度 (b^*) 的影响, 采用电子眼分析仪自带软件计算 L^* 、 a^* 、 b^* , 结果见表 1。当 NaCl 添加量为 1.0% 时, 与未添加 NaCl 相比, L^* 增加了 2.44, a^* 增加了 1.03; 而 b^* 随 NaCl 添加量的增加呈现先增大后减小的趋势。白洁等^[17]研究发现, 添加 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ (0.5%、1.0%, m/m) 可显著提高豌豆淀粉凝胶 L^* , 但 a^* 、 b^* 无显著性差异。其原因是盐离子可增加蛋白质分子表面的电荷, 增强蛋白质与水分子的作用力, 发生盐溶现象^[18], 从而提高亮度。

表 1 不同 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥色泽的影响

Table 1 Effects of NaCl addition and pH on the color of mashed potatoes

potatoes				
项目		亮度 L^*	红度 a^*	黄度 b^*
NaCl 添加量/%	0	86.67±1.18 ^a	-0.84±0.04 ^a	23.72±0.90 ^b
	0.5	86.05±1.40 ^a	-0.44±0.18 ^b	25.41±1.30 ^c
	1.0	89.11±0.51 ^b	0.19±0.05 ^c	22.27±0.91 ^a
pH	6	88.74±1.18 ^c	-0.72±0.29 ^A	21.41±1.16 ^C
	7	79.37±0.86 ^B	1.67±0.38 ^B	16.35±0.95 ^B
	8	74.76±1.27 ^A	2.04±0.68 ^C	11.37±0.94 ^A

注：同一列中不同的小写字母表示马铃薯泥色泽随 NaCl 添加量的不同呈显著差异 ($p<0.05$)；不同的大写字母表示马铃薯泥的色泽随 pH 的变化呈显著差异 ($p<0.05$)。

不同 pH 对马铃薯泥色泽的影响见图 1b，当 pH 由 6 增加至 8 时，马铃薯泥逐渐变暗。从表 1 中也可以看出，随 pH 的增加，马铃薯泥的 L^* 由 88.74 降低至 74.76， a^* 由 -0.72 增大至 2.04， b^* 由 21.41 降低至 11.37。陈海英等^[19]采用不同 pH (1~10) 对水蜜桃进行浸渍，结果显示水蜜桃 L^* 值在碱性溶液中降低，这是由于水蜜桃中的酚类物质被氧化成苯醌，并生成褐色物质。在碱性条件下捶制马铃薯泥，使其细胞壁通透性增强，细胞中的酚类物质、色素类物质（如花青素等）被释放^[20]，易被氧化形成褐色物质。

2.2 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥流变学特性的影响

2.2.1 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥静态流变学特性的影响

2.2.1.1 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥静态流变学特性的影响

静态流变学主要研究剪切应力和表观黏度随剪切速率变化的规律。由图 2a 可知，未添加及添加 NaCl 后，马铃薯泥的黏度均随剪切速率的增加而减小，呈现剪切变稀的现象。在 NaCl 添加量为 0.5% 时，马铃薯泥的表观黏度最大。用公式 (1) 对图 2a 进行拟合， n 为流动特征指数， n 值越小，假塑性越强； k 为稠度系数， k 值越大说明稠度越高^[21]。从表 2 中可以看出， R^2 均大于 0.90，说明方程拟合较好。同时，该结果也表明，NaCl 添加量对马铃薯泥的 n 值无显著性影响，但可显著提高马铃薯泥的稠度系数 ($p<0.05$)，当 NaCl 添加量为 0.5% 时，稠度系数最大 (605.88 Pa·sⁿ)。可能的原因是，阳离子的交联作用使淀粉、蛋白质等分子间的缠绕作用增强或阴阳离子间的静电作用力增加，从而使体系流动阻力增大^[22]。郑桐等^[23]研究表明，添加 NaCl、KCl (0.1~1.0 mol/L) 对豌豆淀粉的 n 值影响较小，但 k 值均增大，说明盐离子对淀粉体系有

增稠作用，这与本研究结果相似。

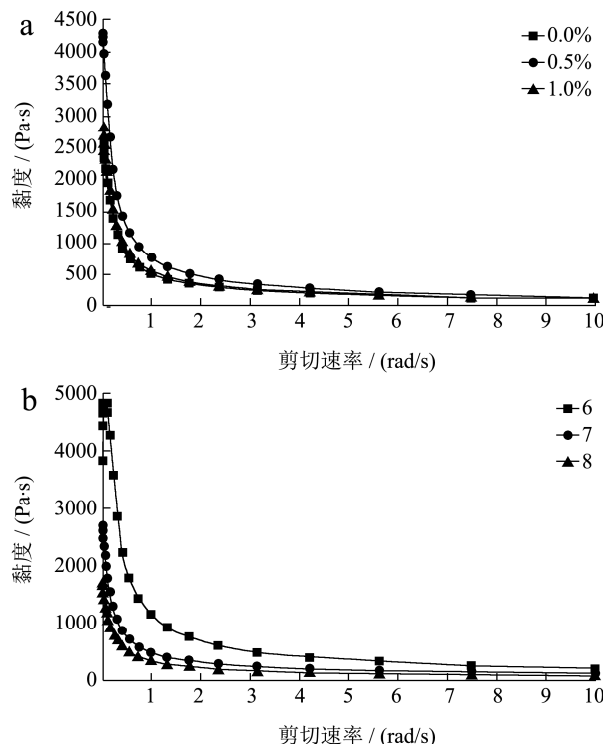


图 2 不同 NaCl 添加量 (a) 及 pH (b) 对马铃薯泥静态流变学特性的影响

Fig.2 Effects of NaCl addition (a) and pH (b) on static rheological parameters of mashed potatoes

表 2 不同 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥静态流变学参数的影响

Table 2 Effects of NaCl addition and pH on static rheological parameters of mashed potatoes

组别		n	$k/\text{Pa}\cdot\text{s}^n$	R^2
NaCl 添加量/%	0	0.57±0.02 ^a	490.25±8.04 ^a	0.96±0.00 ^a
	0.5	0.51±0.03 ^a	605.88±10.22 ^b	0.94±0.00 ^a
	1.0	0.54±0.03 ^a	549.31±44.01 ^b	0.94±0.03 ^a
pH	6	0.53±0.03 ^A	1020.20±28.18 ^C	0.93±0.00 ^A
	7	0.51±0.01 ^A	461.44±9.79 ^B	0.96±0.01 ^B
	8	0.53±0.02 ^A	315.25±10.52 ^A	0.97±0.01 ^B

注：同一列中不同的小写字母表示马铃薯泥静态流变学特性随 NaCl 添加量的不同呈显著的差异 ($p<0.05$)；不同的大写字母表示马铃薯静态流变学特性随 pH 的变化呈显著的差异 ($p<0.05$)。

不同 pH 下马铃薯泥也呈现剪切变稀特性 (图 2b)，pH 为 6 时，马铃薯泥的表观黏度最大。由表 2 看出，随 pH 的增加，马铃薯泥的稠度由 1020.20 Pa·sⁿ 降低至 315.25 Pa·sⁿ，说明马铃薯泥的流动性增强。陈政等^[13]研究发现，莲子淀粉糊在 pH 为 5 时表观黏度最大，且 k 值随 pH 的增加而减小，这与本研究的趋势一致。这是因为，在弱酸性条件下马铃薯泥中淀粉、蛋白质等大分子的氢键结合能力增加，形成更有序的

三维网状结构,使马铃薯泥较为粘稠,不易流动,稳定性增强^[24]。

2.2.2 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥动态流变学特性的影响

动态流变学特性可以反映凝胶体系的稳定性,其中,储存模量 (G') 反映凝胶发生形变后恢复原来状态的能力,损耗模量 (G'') 反映凝胶为了抵抗黏性阻力而损失的能量^[25]。由图 3a、b 可以看出, $G' > G''$, 说明马铃薯泥表现为弹性行为,且 NaCl 添加量为 0.5% 时,马铃薯泥 G' 和 G'' 最大。用公式 (2) 进行拟合得到流变学参数,其中, z' 表示马铃薯泥的频率依赖程度及分子间相互作用的类型: $z'=0$, 分子间的作用力由共价键主导, $z' > 0$, 分子间为非共价键相互作用; k 为马铃薯泥中各物质相互作用的强度, k 值越大

说明分子间相互作用力越强^[25]。由数据拟合结果 (表 3) 可以看出,随着 NaCl 添加量的增加, LVR 由 6.02% 增大至 7.97%, 说明马铃薯泥结构稳定性越强; z' 减小且均大于 0, 表明分子间为非共价键作用。当 NaCl 添加量为 0.5% 时,马铃薯泥 z' 、 k 值最大,分别为 0.24、3.20 Pa·s⁻ⁿ, 说明此时马铃薯泥分子间氢键、疏水作用等非共价键结合作用最强。这是因为少量的盐离子与马铃薯泥中含负电荷的磷酸酯基团产生静电屏蔽效应,增强分子间网络结构,但过量的盐离子使蛋白质分子变性,凝胶网络结构变得松散^[26]。庄远红等^[27]在对魔芋多糖-蛋白质凝胶体系的研究中也发现相同规律,当 NaCl、KCl、ZnCl₂ 添加量为 0%~0.6% 时可增大复合体系的凝胶强度,但盐离子添加量大于 0.6% 时会使复合体系的凝胶强度降低。

表 3 不同 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥动态流变学参数的影响

Table 3 Effects of NaCl addition and pH on dynamic rheological parameters of mashed potatoes					
组别		$LVR/\%$	z'	$k/\text{Pa}\cdot\text{s}^n$	R^2
NaCl 添加量/%	0	6.02±0.11 ^a	0.24±0.00 ^b	2.98±0.00 ^a	0.99±0.00 ^a
	0.5	6.10±0.08 ^a	0.24±0.00 ^b	3.20±0.00 ^c	0.99±0.01 ^a
	1.0	7.97±0.68 ^b	0.22±0.01 ^a	3.12±0.00 ^b	0.99±0.00 ^a
pH	6	9.78±0.82 ^C	0.23±0.00 ^A	3.23±0.00 ^C	0.99±0.00 ^A
	7	4.90±0.11 ^A	0.27±0.01 ^B	3.01±0.00 ^B	0.99±0.00 ^A
	8	8.63±0.32 ^B	0.27±0.01 ^C	2.99±0.00 ^A	0.99±0.00 ^A

注: 同一列中不同的小写字母表示马铃薯动态流变学特性随 NaCl 添加量的不同呈显著差异 ($p < 0.05$); 不同的大写字母表示马铃薯泥动态流变学特性随 pH 的变化呈显著差异 ($p < 0.05$)。

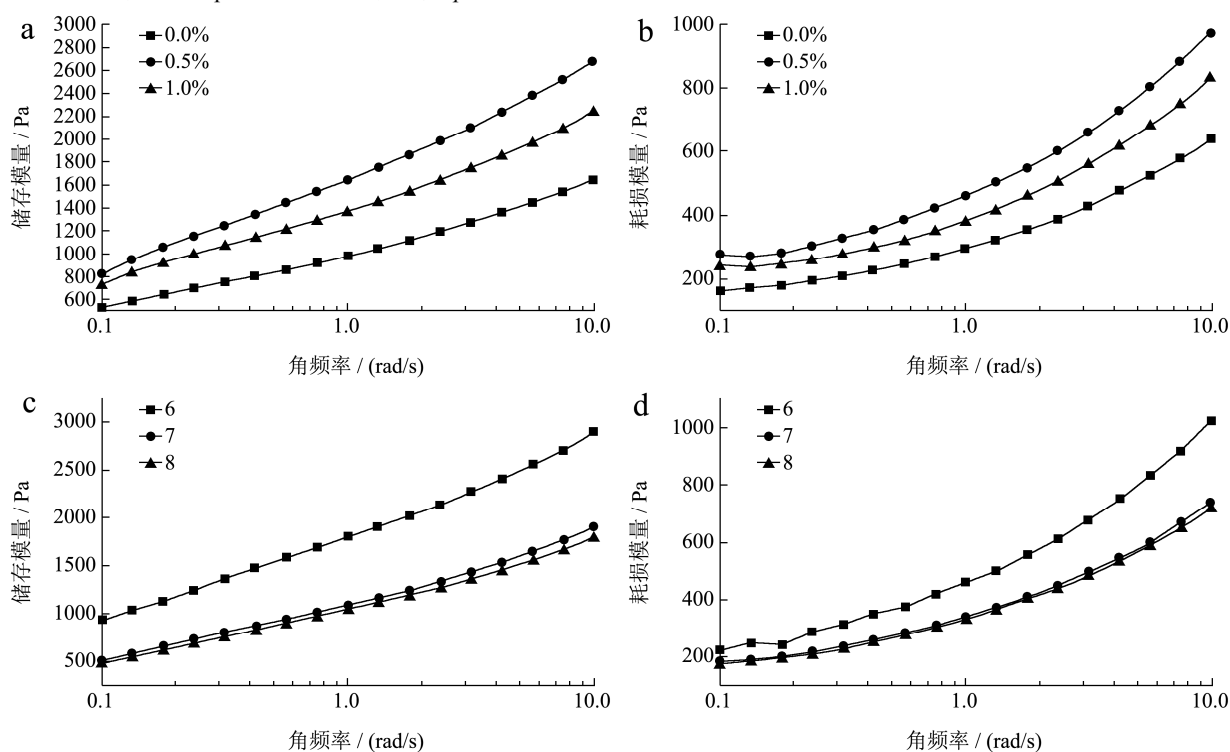


图 3 不同 NaCl 添加量 (a、b) 及 pH (c、d) 对马铃薯泥动态流变学特性的影响

Fig.3 Effects of NaCl addition (a, b) and pH (c, d) on dynamic rheological parameters of mashed potatoes

表 4 不同 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥 TPA 的影响

Table 4 Effects of NaCl addition and pH on TPA of mashed potatoes

组别		硬度/g	黏附性/g·sec	回复性/%	内聚性	弹性/%
NaCl 添加量/%	0	551.72±54.31 ^a	707.70±84.55 ^a	6.98±0.56 ^a	0.69±0.02 ^a	81.86±2.78 ^a
	0.5	764.82±37.80 ^b	920.52±97.78 ^b	7.68±0.74 ^a	0.69±0.03 ^a	81.51±2.25 ^a
	1.0	784.28±43.84 ^b	900.26±80.06 ^b	8.59±0.59 ^b	0.66±0.07 ^a	79.40±3.05 ^a
pH	6	528.84±25.53 ^A	761.20±45.78 ^B	7.11±0.43 ^A	0.69±0.03 ^A	81.44±1.44 ^B
	7	465.13±73.00 ^A	605.29±74.38 ^A	8.96±0.78 ^B	0.68±0.03 ^A	78.54±2.65 ^{AB}
	8	635.90±29.29 ^B	687.78±90.09 ^{AB}	9.44±0.48 ^B	0.63±0.05 ^A	75.96±3.68 ^A

注：同一列中不同的小写字母表示马铃薯泥 TPA 随 NaCl 添加量的不同呈显著差异 ($p < 0.05$)；不同的大写字母表示马铃薯泥 TPA 随 pH 的变化呈显著差异 ($p < 0.05$)。

由图 3c、d 可以看出，当 pH 为 6 时，马铃薯泥 G' 和 G'' 最大，表 3 则显示，LVR 随 pH 的增加先减小后增加， z' 值由 0.23 增大至 0.27， k 值由 3.23 Pa·sⁿ 减小至 2.99 Pa·sⁿ；当 pH 为 6 时，马铃薯泥 LVR、 k 值最大，分别为 9.78%、3.23 Pa·sⁿ，说明马铃薯泥在酸性条件下的稳定性最高。这是因为在碱性条件下，静电斥力大，从而影响蛋白质、淀粉等形成稳定的凝胶结构^[16]。JEFFREY 等^[28]发现在高直链玉米淀粉-棕榈酸钠复合物中加入醋酸，随着 pH 的增加 (5.6~7.2)，复合物 LVR 减小，pH 为 6.3 时储存模量最大，凝胶结构最稳定。

2.3 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥质构特性的影响

马铃薯泥的质构特性中，硬度表示软硬程度；黏附性为加压变形后表面的黏性；弹性指形变后恢复原来状态的能力^[16]。由表 4 可以看出，随 NaCl 添加量的增加，马铃薯泥的硬度由 551.72 g 增大至 784.28 g、回复性由 6.98% 增大至 8.59%，而内聚性及弹性无显著性变化 ($p < 0.05$)，当 NaCl 添加量为 0.5% 时，马铃薯泥的黏附性最大 (920.52 g·sec)。可能的原因是，盐离子的电离作用抑制水分子的流动，赋予淀粉分子更紧密的结构^[16]，这与本文水分分布状态的结果一致 (表 5、图 6)。李莎等^[29]研究指出，添加 NaCl 可增加大米淀粉、板栗淀粉凝胶的硬度和黏附性，而对凝胶的弹性、回复性无显著影响。

随着 pH 的增加 (表 4)，马铃薯泥的硬度呈先降低后升高的趋势，回复性由 7.11% 增大至 9.44%，弹性由 81.44% 降低至 75.96%，内聚性无显著性变化 ($p < 0.05$)，当 pH 为 6 时马铃薯的黏附性最大 (761.20 g·sec)。张兆琴等^[30]报道，随着 pH (3~10) 的增加，大米淀粉糊的硬度增大，黏附性、弹性降低。淀粉凝胶的弹性、黏附性等取决于网络结构的紧密程度，在

酸性条件，淀粉分子与 H⁺ 静电作用力增强，内部网络结构变得致密，使弹性、黏附性增强^[31]。

2.4 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥微观结构的影响

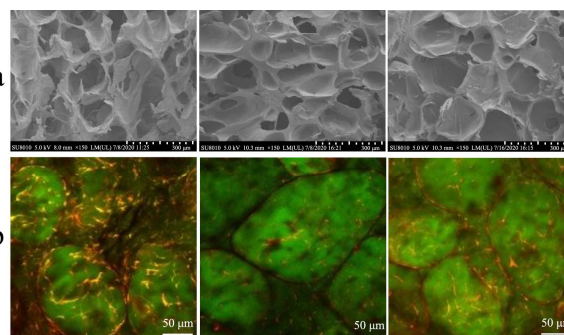


图 4 不同 NaCl 添加量下马铃薯泥的 SEM (a)、CLSM (b) 扫描图

Fig.4 SEM (a) and CLSM (b) images of mashed potatoes from NaCl addition

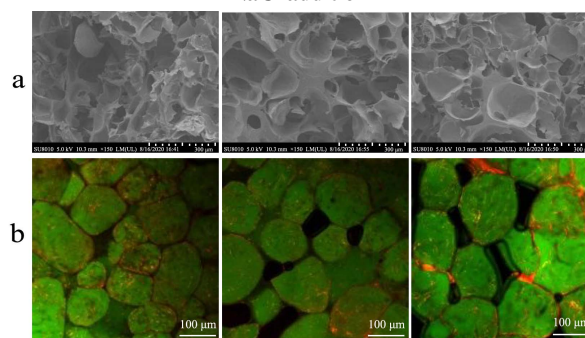


图 5 不同 pH 下马铃薯泥的 SEM (a)、CLSM (b) 扫描图

Fig.5 SEM (a) and CLSM (b) images of mashed potatoes from pH

SEM (图 4a) 结果显示，不同 NaCl 添加量下的马铃薯泥均有网状结构形成。进一步通过 CLSM (图 4b) 观察可以看出，马铃薯泥中淀粉颗粒由椭圆形变为不规则多边形，镶嵌在淀粉颗粒中的蛋白质减少，网状结构被破坏。Peng 等^[32]研究也发现，随 NaCl 浓

度的增加(0%~3%),小麦面筋蛋白的网络结构遭到破坏,结构坍塌。这可能是因为Na⁺与淀粉中的羟基发生反应,阻碍淀粉与蛋白质分子的交联。

图5a、5b为不同pH下马铃薯泥的微观形态,由SEM可以看出,在酸性、中性及碱性条件下,马铃薯泥均能形成网状结构;而CLSM则显示,pH为6时,马铃薯泥淀粉分子排列最为紧密,蛋白质分子均匀镶嵌在淀粉分子内部,说明此时马铃薯泥凝胶网络结构

最致密、凝胶强度最强。这一现象很好的解释了动态流变学特性中LVR与k值随pH的增大而减小的规律。Lydia等^[21]在pH对干酪中蛋白质结构分析中也发现,当pH由9降低到5时,蛋白凝胶的微观结构更加致密。

2.5 NaCl添加量及pH对马铃薯泥水分含量及水分分布状态的影响

表5 不同NaCl添加量及pH对马铃薯泥水分分布状态的影响

Table 5 T₂ relaxation parameters of mashed potatoes with different NaCl addition and pH

组别	T ₂₁ /ms	T ₂₂ /ms	T ₂₃ /ms	A ₂₁ /%	A ₂₂ /%	A ₂₃ /%	水分含量/%
NaCl 添加量/%	0	0.35±0.03 ^a	5.74±0.28 ^b	135.10±0.00 ^c	1.69±0.08 ^a	7.73±0.03 ^a	90.58±0.11 ^a
	0.5	0.35±0.03 ^a	4.82±0.00 ^a	126.04±0.00 ^b	1.27±0.18 ^a	7.66±0.02 ^a	91.07±0.16 ^a
	1.0	0.40±0.04 ^a	4.66±0.23 ^a	117.56±0.00 ^a	1.24±0.22 ^a	7.86±0.02 ^b	90.90±0.50 ^a
pH	6	0.28±0.02 ^A	4.20±0.00 ^{AB}	102.34±0.00 ^B	1.86±0.39 ^B	7.74±0.07 ^B	90.40±0.32 ^A
	7	0.31±0.01 ^A	4.35±0.21 ^B	102.34±0.00 ^B	1.03±0.18 ^A	7.78±0.56 ^B	91.98±0.12 ^B
	8	/	3.92±0.00 ^A	70.24±10.30 ^A	/	7.15±0.03 ^A	92.85±0.03 ^C

注:同一列中不同的小写字母表示马铃薯泥水分分布状态随NaCl添加量的不同呈显著差异(p<0.05);不同的大写字母表示马铃薯泥水分分布状态随pH的变化呈显著差异(p<0.05)。

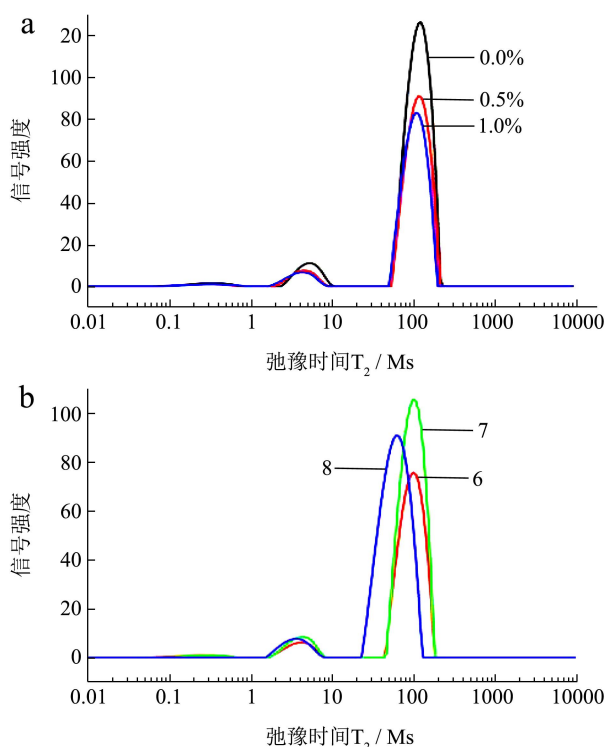


图6 不同NaCl添加量(a)及pH(b)对马铃薯泥弛豫时间的影响

Fig.6 Distributions of T₂ relaxation times of mashed potatoes as affected by NaCl addition (a) and pH (b)

不同NaCl添加量对马铃薯泥水分分布的影响见图6a,对应的弛豫时间及峰面积见表5。T₂为自旋-自旋弛豫时间,在水分分布图谱中存在三个不同的峰,T₂₁、T₂₂和T₂₃分别代表蛋白质及淀粉等大分子间的结

合水、淀粉颗粒间的多层水及自由水的弛豫时间;A₂₁、A₂₂、A₂₃分别代表上述三种不同水分的相对面积。表5结果表明,随NaCl添加量的增加,马铃薯泥的特征峰向左移动,即T₂减小,A₂₂从7.73%增加到7.86%,表明水与大分子的结合更紧密^[15]。有研究表明,鱼糜中加入食盐后,T₂随着食盐添加量(1%~3%,W/W,以鱼糜计)的增加而减小^[33],这是因为与蛋白质和淀粉等相比,NaCl更易与水分子结合。

由图6b及表5可以看出,当pH为6、7时,T₂无显著性变化;当pH为8时,T₂₁消失,与pH为6时相比,A₂₂减小0.59%,A₂₃增大2.45%,任菲^[34]研究不同pH下(5、7、9)木薯变性淀粉-乳清分离蛋白凝胶体系的水分分布状态时也发现pH为9时,体系中不易流动水含量减少(A₂₁、A₂₂),可移动水含量(A₂₃)升高。可能的原因是,pH通过影响蛋白质分子表面电荷数量改变蛋白质表面基团与水分子的相互作用^[34],在碱性条件下,蛋白质表面电荷减少,凝胶网络结构疏松,凝胶孔径变大,水在凝胶网络中的流动性变强,自由水含量增加。

2.6 NaCl添加量及pH对马铃薯泥直/支比及结晶度的影响

由图7a所示,NaCl对马铃薯泥淀粉晶型无显著性影响。通过公式(3)计算马铃薯泥的相对结晶度可知(表6),随NaCl添加量的增加,马铃薯泥的相对

结晶度先减小后增大,直/支比由 26.17%减小到 14.28%。有研究发现 LiCl、CaCl₂ 和 Ca(NO₃)₂ 可使木薯淀粉的相对结晶度及直链淀粉含量均下降^[35]。因此可以推断,NaCl 可使直链淀粉发生降解,打破淀粉分子的有序排列^[24],降低马铃薯泥的结晶度。

表 6 不同 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥相对结晶度及直/支比的影响

Table 6 Effects of NaCl addition and pH on relative crystallinity and direct/branch ratio of mashed potatoes

组别	相对结晶度/%	直/支比/%	
NaCl 添加量/%	0	17.60±0.54 ^b	26.17±0.00 ^b
	0.5	11.22±0.43 ^a	14.32±0.00 ^a
	1.0	17.34±0.28 ^b	14.28±0.01 ^a
pH	6	24.35±0.63 ^B	33.46±0.02 ^B
	7	23.84±1.12 ^B	26.27±0.03 ^A
	8	20.78±0.44 ^A	25.12±0.02 ^A

注:同一列中不同的小写字母表示马铃薯泥相对结晶度及直/支比随 NaCl 添加量的不同呈显著差异 ($p < 0.05$); 不同的大写字母表示马铃薯泥相对结晶度及直/支比随 pH 的变化呈显著差异 ($p < 0.05$)。

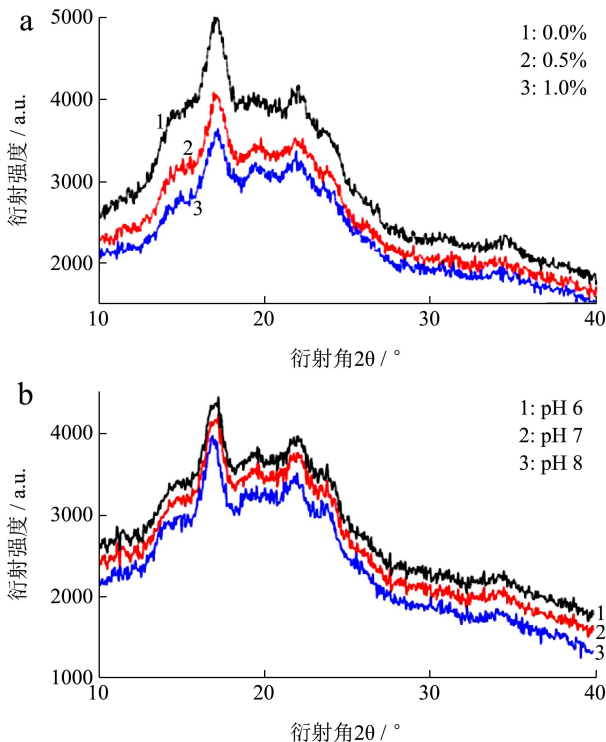


图 7 不同 NaCl (a) 添加量及 pH (b) 的马铃薯泥 XRD 扫描图
Fig.7 XRD images of mashed potatoes from NaCl addition (a) and pH (b)

由图 7b、表 6 可以看出,不同 pH 下马铃薯泥晶型未发生改变,但相对结晶度、直/支比随 pH 的增加逐渐减小,与 pH 为 6 时相比,分别减小 3.57%、8.34%。据报道,小麦淀粉结晶度随 OH⁻浓度的增加 (0.1

mol/L~1.0 mol/L) 而下降^[16]。Knhyama^[36]等研究显示,随直链淀粉含量降低,淀粉凝胶硬度增大,弹性减小,这与本研究中马铃薯泥在 pH 为 6 时直链淀粉含量最高,黏附性、弹性最大具有一致性。在碱性条件下,马铃薯直链淀粉分子上的羟基会发生部分解离,改变淀粉分子内、水-淀粉分子间的氢键作用,破坏淀粉原始晶体结构,导致淀粉分子双螺旋重排,使得直链淀粉含量、结晶度均降低^[15]。

2.7 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥官能团及蛋白质二级结构的影响

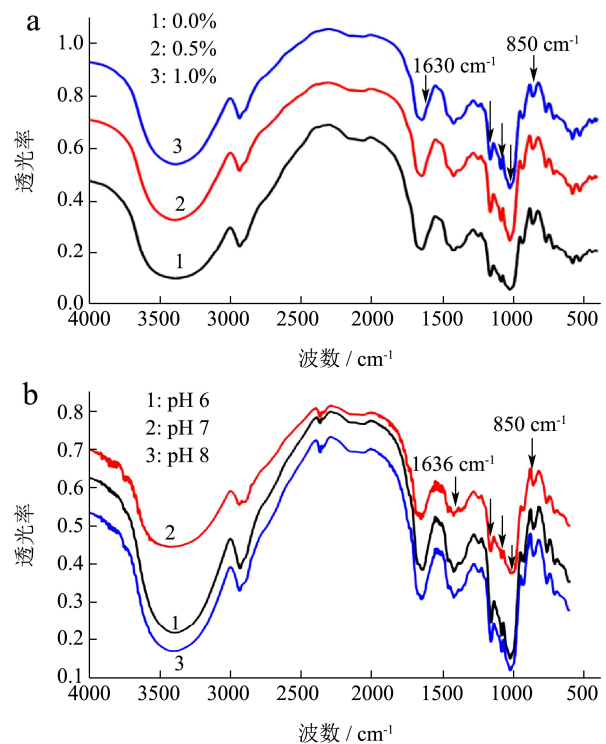


图 8 不同 NaCl (a) 添加量及 pH (b) 的马铃薯泥 FTIR 扫描图
Fig.8 FTIR spectra images of mashed potatoes from NaCl addition (a) and pH (b)

傅里叶变化红外光谱可以在分子水平上获得马铃薯泥的官能团及蛋白质二级结构等信息。其中,1700~1600 cm⁻¹为酰胺 I,主要由肽键的 C=O 伸展振动构成,与蛋白质的二级结构之间有直接的相关性。其中,在 1660~1650 cm⁻¹存在 α-螺旋吸收峰,1640~1620 cm⁻¹以及 1675 cm⁻¹为 β-折叠吸收峰,1695~1660 cm⁻¹为 β-转角吸收峰,在 1650 到 1640 cm⁻¹之间为蛋白质的无规则卷曲^[5]。从图 8a 中可以看出,NaCl 对马铃薯泥蛋白质二级结构的影响较为显著。与未添加 NaCl 相比,α-螺旋减少 1.96%,β-折叠及不规则卷曲分别增加 0.58%、2.87% (表 7)。α-螺旋为最有序的二级结构,含有大量氢键,有利于蛋白质二级

结构稳定性,而不规卷曲为无序的蛋白二级结构,这说明 NaCl 对蛋白质二级结构有破坏作用,使其向不规则方向转变^[37]。唐宇^[38]研究也发现,随 NaCl 添加量的增加(0%~2%),面筋蛋白中 α -螺旋降低, β -折叠、无规则卷曲增加,使蛋白质结构趋于无序化。

不同 pH 对马铃薯泥官能团及蛋白质二级结构均无显著影响(图 8b、表 7)。曾琪等^[39]研究也显示 pH 为 6~8 时,黑豆分离蛋白的二级结构无明显变化,说明此条件下蛋白质结构较稳定。

表 7 不同 NaCl 添加量及 pH 对马铃薯泥蛋白质二级结构的影响

Table 7 Effects of NaCl addition and pH on the secondary structural contents of mashed potatoes

组别		α -螺旋/%	β -折叠/%	β -转角/%	不规则卷曲/%
NaCl 添加量/%	0	16.39±0.16 ^b	25.82±0.00 ^a	46.33±0.35 ^a	11.46±0.00 ^a
	0.5	14.30±0.22 ^a	26.25±0.52 ^b	45.29±0.43 ^a	14.15±0.64 ^b
	1.0	14.43±0.08 ^a	26.40±0.88 ^b	44.84±0.11 ^a	14.33±0.08 ^b
pH	6	14.58±0.38 ^A	26.69±0.28 ^A	46.77±0.04 ^A	11.96±0.05 ^A
	7	14.75±0.42 ^A	27.36±0.11 ^A	45.68±0.22 ^A	12.20±0.06 ^A
	8	14.56±0.14 ^A	27.03±0.25 ^A	46.42±0.55 ^A	11.99±0.14 ^A

注:同一列中不同的小写字母表示马铃薯泥蛋白质二级结构随 NaCl 添加量的不同呈显著差异($p<0.05$);不同的大写字母表示马铃薯泥蛋白质二级结构随 pH 的变化呈显著差异($p<0.05$)。

3 结论

本研究探讨了不同 NaCl 添加量(0%、0.5%、1.0%, m/m, 以薯泥计)与 pH(6、7、8)对马铃薯泥流变学、质构特性及微观结构的影响规律。结果表明:当不添加 NaCl 且 pH 为 6 时,马铃薯泥的亮度最大,硬度最小,弹性最大,基质间结合紧密,形成了稳定的凝胶网络结构,具有最佳的加工特性。本文可为生产高品质马铃薯泥或采用马铃薯泥制备主食及休闲食品提供理论依据。

参考文献

- [1] Ercoli S, Cartes J, Cornejo P, et al. Stability of phenolic compounds, antioxidant activity and color parameters of a colored extract obtained from colored-flesh potatoes [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 136: 110370
- [2] Fao. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Z]. 2018, Online statistical database: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- [3] 马梦梅,木泰华,孙红男.营养健康型薯类食品加工与副产物高值化利用研发进展[J].食品安全质量检测报,2020,11(24):9154-9163
MA Mengmei, MU Taihua, SUN Hongnan. Research progress of nutritional and healthy potato food processing and high-value utilization of by-products [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(24): 9154-9163
- [4] MU Taihua, SUN Hongnan, ZHANG Miao, et al. Sweet Potato Processing Technology [M]. United States: Elsevier, 2017
- [5] ZHANG Duqin, MU Taihua, SUN Hongnan. Effects of starch from five different botanical sources on the rheological and structural properties of starch-gluten model doughs [J]. Food Research International, 2018, 103: 156-162
- [6] Kim J Y, Huber K C. Corn starch granules with enhanced load-carrying capacity via citric acid treatment [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 91(1): 39-47
- [7] YUAN Shasha, XIE Yanli, WANG Jinshui. The advance of the microwave on starch character's effect [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 36(7): 242-243
- [8] 笪久香,李莹莹,栾广忠,等.无机盐对木瓜蛋白酶凝固大豆分离蛋白凝胶的影响[J].食品科学,2012,33(11):30-34
DA Jiuxiang, LI Yingying, LUAN Guangzhong, et al. Effect of inorganic salts on papain-induced coagulation of soybean protein isolate [J]. Food Science, 2012, 33(11): 30-34
- [9] LI Guantian, ZHU Fan. Effect of high pressure on rheological and thermal properties of quinoa and maize starches [J]. Food Chemistry, 2018, 241(15): 380-386
- [10] ZHU Fan, ZHANG Yu. Effect of konjac glucomannan on physicochemical properties of quinoa and maize starches [J]. Cereal Chemistry, 2019, 96(5): 878-884
- [11] 时玉强,马军,崔玉涛.不同 pH 及时间对大豆乳清蛋白溶液色值的影响[J].中国油脂,2020,45(9):50-53
SHI Yuqiang, MA Jun, CUI Yutao. Effect of different pH and time on color value of soybean whey protein solution [J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 50-53
- [12] 白英,杨月娇,谢瑞鹏.果胶-乳清蛋白混合比例和 pH 值对体系流变学特性的影响[J].食品与发酵工业,2020,18:61-66
BAI Ying, YANG Yuejiao, XIE Ruipeng. Effects of mixture

- ratio and pH on the rheological properties of mixed pectin whey protein system [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 18: 61-66
- [13] 陈政,陈培琳,林炎,等.pH 对莲子淀粉糊化特性影响的研究[J].食品科技,2020,45(3):259-266
CHEN Zheng, CHEN Peilin, LIN Yan, et al. Effect of pH on gelatinization properties of lotus seed starch [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(3): 259-266
- [14] Wu G, Morris C F, Murphy K M. Quinoa starch characteristics and their correlations with the texture profile analysis (TPA) of cooked quinoa [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(10-12): 2387-2395
- [15] Hills B P, Takacs S F, Belton P S. A new interpretation of proton NMR relaxation time measurements of water in food [J]. Food Chemistry, 1990, 37(2): 95-111
- [16] 杨贞.碱性条件下魔芋胶对小麦淀粉凝胶流变和质构特性的影响[D].郑州:河南农业大学,2018
YANG Zhen. Effect of konjac gum on rheological and texture properties of wheat starch gels under alkaline conditions [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018
- [17] 白洁,彭义交,李玉美,等.铝盐对豌豆淀粉凝胶理化性质的影响研究[J].中国酿造,2016,35(6):146-149
BAI Jie, PENG Yijiao, LI Yumei, et al. Effect of aluminum salt on physicochemical properties of pea starch gel [J]. China Brewing, 2016, 35(6): 146-149
- [18] LI Junhua, ZHANG Mengqi, CHANG Cuihua, et al. Molecular forces and gelling properties of heat-set whole chicken eggprotein gel as affected by NaCl or pH [J]. Food Chemistry, 2018, 261: 36-41
- [19] 陈海英,吴凤凤,崔政伟,等.预浸渍液 pH 值对阳山水蜜桃汁色泽的影响[J].食品与机械,2015,31(6):132-136,269
CHEN Haiying, WU Fengfeng, CUI Zhengwei, et al. Effect of prepreg solution with different pH values on color changes of peach juice [J]. Food and Machinery, 2015, 31(6): 132-136, 269
- [20] 李晓丽,王成,朱靖蓉,等.干制速度对无核白葡萄酚类物质和多酚氧化酶细胞化学定位及褐变的影响[J].食品工业,2019,40(5):99-107
LI Xiaoli, WANG Cheng, ZHU Jingrong, et al. Effect of drying rate on cytochemical localization of phenolic substance and polyphenol oxidase and browning in Thompson seedless grape [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 99-107
- [21] Lydia O, Anita P P, Adabelle O, et al. The effect of pH on the fat and protein within cream cheese and their influence on textural and rheological properties [J]. Food Chemistry, 2020: 127327
- [22] María P L, Silvio D R, Favre L C, et al. Physicochemical, thermal and rheological properties of isolated Argentina quinoa starch [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020: 110113
- [23] 郑炯,余彬彬,曾瑞琪,等.不同盐离子对豌豆淀粉/低酯果胶复配体系理化特性的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(7): 101-108
ZHENG Jiong, YU Binbin, ZENG Ruiqi, et al. Effects of different salt ions on physicochemical properties of peastarch/lowmethoxyl pectin composite system [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(7): 101-108
- [24] Dobosz A, Sikora M, Krystyan M, et al. Influence of xanthan gum on the short- and long-term retrogradation of potato starches of various amylose content [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 102: 105618
- [25] FENG Yayun, MU Taihua, ZHANG Miao, et al. Effects of ionic polysaccharides and egg white protein complex formulations on dough rheological properties, structure formation and in vitro starch digestibility of wet sweet potato vermicelli - Science Direct [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 149: 1170-1179
- [26] LI Zhen, ZHANG Yao, AI Zhilu, et al. Effect of potassium alum addition on the quality of potato starch noodles [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(4): 2932-2939
- [27] 庄远红,潘裕添,刘静娜,等.盐离子对魔芋多糖-蛋白复配体系凝胶特性及色泽的影响[J].食品科学技术报,2014,32(6): 19-23
ZHUANG Yuanhong, PAN Yutian, LIU Jingna, et al. Effects of salt ions on gel properties and color of konjac polysaccharide and soybean protein isolate complex systems [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 32(6): 19-23
- [28] Jeffrey A B, George F F, James A K, et al. Influence of pH and temperature on the rheological properties of aqueous dispersions of starch-sodium palmitate complexes [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(1): 91-95
- [29] 李莎.盐糖复合对淀粉功能性质的影响[D].天津:天津科技大学,2017
LI Sha, Co-effect of salt and on the functional properties of starch [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017
- [30] 张兆琴,毕双同,蓝海军,等.大米淀粉的流变性质和质构特

- 性[J].南昌大学学报(工科版),2012,34(4):358-362
- ZHANG Zhaoqin, BI Shuangtong, LAN Haijun, et al. Rheological and texture properties analysis of rice starch paste [J]. Journal of Nanchang University (Engineering and Technology), 2012, 34(4): 358-362
- [31] Jasim A, Linu T, Ali A Y, et al. Rheological, structural and functional properties of high-pressure treated quinoa starch in dispersions [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 197
- [32] PENG Jing, ZHU Kexue, GUO Xiaona, et al. NaCl mediated physicochemical and structural changes of textured wheat gluten [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 140: 110704
- [33] 裴志胜,薛长风,文攀,等.食盐添加量对鱼糜凝胶过程中水分状态的影响[J].肉类研究,2019,33(10):15-21
- PEI Zhisheng, XUE Changfeng, WEN Pan, et al. The effect of salt addition on the water state of surimi gel in the process of gelling [J]. Meat Research, 2019, 33(10): 15-21
- [34] 任菲.木薯变性淀粉对乳清蛋白凝胶特性的影响[D].济南:齐鲁工业大学,2017
- REN Fei. Effect of cassava modified starch on the gelling properties of whey protein [D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2017
- [35] 樊艳叶,林日辉,杨慧,等.不同盐对木薯淀粉结构的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(3):84-89
- FAN Yanye, LIN Rihui, YANG Hui, et al. Food and fermentation industries [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(3): 84-89
- [36] Knhyama K, Matsuki J, Yasui T, et al. A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths [J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 58: 71-77
- [37] Choi S M, Ma C Y. Structural characterization of globulin from common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) using circular dichroism and Raman spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 150-160
- [38] 唐宇.pH、氯化钠对小麦面筋蛋白与羧甲基纤维素相互作用的影响[D].重庆:西南大学,2019
- TANG Yu. Effects of pH and NaCl on the interaction between wheat gluten protein and carboxymethyl cellulose [D]. Chongqing: Southwest University, 2019
- [39] 曾琪,胡淼,王欢,等.pH 值处理对黑豆分离蛋白结构、流变特性及乳化性能的影响[J].食品科学,2020,41(22):15-21
- ZENG Qi, HU Miao, WANG Huan, et al. Effect of pH treatment on the structure, rheological properties and emulsifying properties of black soybean protein isolate [J]. Food Science, 2020, 41(22): 15-21

(上接第 158 页)

- [21] 姜国辉,唐刚华,苗小春,等.重组人表皮生长因子透皮吸收实验研究[J].中国药学杂志,1999,31(11):28-31
- JIANG Guohui, TANG Ganghua, MIAO Xiaochun, et al. Experimental study on transdermal absorption of recombinant human epidermal growth factor [J]. Chinese Journal of Pharmaceuticals, 1999, 31(11): 28-31
- [22] Jeon Y, Kim Y, Jeon Y J, et al. Increased synthesis of hyaluronic acid by enhanced penetration of CTP - EGF recombinant in human keratinocytes [J]. Journal of Cosmetic Dermatology, 2019, 18(5): 1539-1545
- [23] 李洁.小菜蛾 PxEH 基因的克隆、原核表达及在 RNA 干扰后对 Cry2Ab 杀虫的研究[D].厦门:厦门大学,2019
- LI Jie, Cloning and prokaryotic expression of PxEH gene from *Plutella xylostella* and studies on Cry2Ab insecticidal effect after RNA interference [D]. Xiamen: Xiamen University, 2019
- [24] 崔为同,薛华儒,成洪达,等.Bradford 定量法在蛋白质组学中应用的优化研究[J].生物技术进展,2019,9(3):309-315
- CUI Weitong, XUE Huaru, CHENG Hongda, et al. The optimization of the Bradford assay for protein quantitation in proteomic research [J]. Advances in Biotechnology, 2019, 9(3): 309-315
- [25] 黄秉仁,张岱,迟来顺,等.hEGF 基因在酵母系统中的表达[J].中国医学科学学报,1989,11(5):331-337
- HUANG Bingren, ZHANG Dai, CHI Laishun, et al. Expression of hEGF gene in yeast system [J]. Journal of Chinese Medical Sciences, 1989, 11(5): 331-337
- [26] 甘人宝,钱悦,朱俊,等.分泌表达重组人表皮生长因子的大肠杆菌表达系统:CN,CN1854294 A[P]
- GAN Ren-bao, QIAN Yue, ZHU Jun. Escherichia coli expression system secreting recombinant human epidermal growth factor: CN, CN1854294 A [P]
- [27] 赵忠良,陈南春,李飙,等.人表皮生长因子基因化学及酶促合成与克隆[J].第四军医大学学报,1991,3:200-202
- ZHAO Zhongliang, CHEN Nanchun, LI Biao, et al. Human epidermal growth factor gene chemistry, enzymatic synthesis and cloning [J]. Journal of the Fourth Military Medical University, 1991, 3: 200-202