

# 不同改良剂对马铃薯发酵面团特性的影响

姜鹏飞<sup>1</sup>, 陈玲<sup>1,2</sup>, 高婧妍<sup>1</sup>, 黄镇<sup>1</sup>, 刘佳瑜<sup>1</sup>, 范晔晟<sup>1</sup>, 闫晓萌<sup>1</sup>, 温成荣<sup>1</sup>

(1. 大连工业大学食品学院, 国家海洋食品工程技术研究中心, 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 辽宁大连 116034) (2. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 针对面筋含量低的面团不易发酵的问题, 本研究探讨了添加不同比例的果胶、羧甲基纤维素钠、硬脂酰乳酸钠、单甘酯、 $\alpha$ -淀粉酶等5种改良剂对马铃薯泥添加量为50.00%和60.00%的发酵面团的发酵体积、流变特性和微观形貌的影响。结果表明, 添加硬脂酰乳酸钠和 $\alpha$ -淀粉酶的马铃薯面团的发酵体积增量超过20 mL, 其他马铃薯面团的发酵体积增量均低于20 mL; 除了 $\alpha$ -淀粉酶和单甘酯(添加比例为0.30%)以外, 其他改良剂可以提高马铃薯发酵面团的储能模量; 改良剂可以改善马铃薯面团的剪切稳定性, 但是添加 $\alpha$ -淀粉酶的50.00%和60.00%马铃薯面团起始黏度最低, 分别为1772.83 Pa·s和1778.28 Pa·s; 果胶和羧甲基纤维素钠均能改善马铃薯面团网络结构, 硬脂酰乳酸钠和单甘酯有利于面团形成筋膜, 而 $\alpha$ -淀粉酶不利于面团网络形成。由此可见, 不同改良剂对马铃薯发酵面团特性及结构的影响不同。本研究可为马铃薯在发酵面制品中的应用提供理论参考。

**关键词:** 马铃薯; 发酵面团; 发酵体积; 流变特性; 微观形貌

文章编号: 1673-9078(2020)12-161-167

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.12.0518

## Effects of Different Modifiers on the Characteristics of Potato Fermented Dough

JIANG Peng-fei<sup>1</sup>, CHEN Ling<sup>1,2</sup>, GAO Jing-yan<sup>1</sup>, HUANG Zhen<sup>1</sup>, LIU Jia-yu<sup>1</sup>, FAN Ye-sheng<sup>1</sup>, YAN Xiao-meng<sup>1</sup>, WEN Cheng-rong<sup>1</sup>

(1. School of Food Science and Technology, National Engineering Research Center of Seafood, Collaborative Innovation Center of Marine Food Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

(2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Aiming at the issue that dough with a low gluten content is hard to ferment, this study investigated the effects of different proportions of pectin, sodium carboxymethyl cellulose, sodium stearyl lactate, monoglyceride and  $\alpha$ -amylase on the fermentation volume, rheological properties and micro-morphology of fermented dough with the addition of 50.00% and 60.00% of mashed potato. The results showed that the increases in the fermentation volume of potato fermented dough with sodium stearyl lactate and  $\alpha$ -amylase were higher than 20 mL, while those of other potato fermented doughs were less than 20 mL. The storage moduli of potato doughs with modifiers were all improved, except for those with  $\alpha$ -amylase and monoglyceride (added at the ratio of 0.30%). The shear stabilities of potato fermented doughs were improved by modifiers, however, the initial viscosities of the doughs containing added  $\alpha$ -amylase and 50.00% or 60.00% mashed potato were the lowest (1772.83 Pa·s and 1778.28 Pa·s, respectively). The network structures of the potato fermented dough were improved by pectin and carboxymethyl cellulose. Sodium stearyl lactate and monoglyceride were beneficial to the formation of gluten, while  $\alpha$ -amylase was not conducive to dough network formation. Therefore, different modifiers influenced differently the properties and structures of potato fermented doughs. This study provides a theoretical reference for the application of potato in fermented wheat products.

**Key words:** potatoes; fermented dough; fermentation volume; rheological properties; micromorphology

引文格式:

姜鹏飞, 陈玲, 高婧妍, 等. 不同改良剂对马铃薯发酵面团特性的影响[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 161-167

JIANG Peng-fei, CHEN Ling, GAO Jing-yan, et al. Effects of different modifiers on the characteristics of potato fermented dough [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 161-167

收稿日期: 2020-06-03

基金项目: 国家重点研发计划项目重点专项(2016YFD0401304), 大连市支持高层次人才创新创业项目(2018RQ55)

作者简介: 姜鹏飞(1986-), 男, 高级工程师, 研究方向: 食品加工; 通讯作者: 温成荣(1984-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 属茄科木本类植物, 对生长环境要求低, 易生长, 产量高<sup>[1,2]</sup>, 是仅次于水稻、小麦和玉米的第四大粮食作物, 是解决世界粮食安全问题的资源。马铃薯不仅能提供大量的淀粉, 还是膳食纤维、完全蛋白质、维生素、矿物质、功能性小分子化合物等重要来源<sup>[3-5]</sup>。因此, 开发马铃薯主食产品具有重要意义。作为非谷类主食<sup>[6]</sup>, 马铃薯是欧洲国家常见的主食, 而我国主要作为配菜或蔬菜食用<sup>[7]</sup>。近年来, 随着我国启动马铃薯主食化战略, 马铃薯产业发展迅速, 以马铃薯粉代替部分面粉开发了马铃薯馒头、面包、面条等新型食品<sup>[8,9]</sup>。但增加了制备马铃薯粉的生产过程, 存在营养损失、资源流失、环境污染、成本高等问题, 而采用马铃薯鲜薯直接加工可以缓解这些问题。马铃薯不含面筋蛋白, 且含水量高, 有研究表明马铃薯添加量为 30% 比较适合发酵面团的制备, 马铃薯添加量过高会影响面团流变特性、醒发成型和面团稳定性, 导致产品的口感差、粘弹性差、质地和货架期差等问题, 而提高马铃薯在面团中的含量是马铃薯主食化的重要途径, 面团改良剂是解决这一问题的安全有效的重要途径<sup>[10]</sup>。

改良剂种类繁多, 在发酵面制品加工中占有举足轻重的地位, 包括亲水胶体、乳化剂、酶、营养强化剂、面粉漂白剂、还原剂等。其中亲水胶体可以促进无面筋发酵面团的形成, 提高其持水性等<sup>[11]</sup>, 还能提供膳食纤维或蛋白质<sup>[12]</sup>。乳化剂可以与蛋白质和油脂产生一系列的反应和作用, 形成细密的网状面团结构, 还可与淀粉形成不溶复合物, 防止可溶性淀粉的溶出<sup>[13]</sup>。而酶可以提升面团的发酵体积, 延迟老化, 促进面团孔洞的形成等<sup>[14]</sup>。可见, 研究面团改良剂在马铃薯发酵面团中的作用具有重要的意义。

本文以马铃薯、高筋小麦粉和谷朊粉为主要原料, 制备马铃薯含量高 (添加比例为 50.00% 和 60.00%) 的马铃薯发酵面团, 对比研究了亲水胶体 (羧甲基纤维素钠和果胶)、乳化剂 (硬脂酰乳酸钠和单甘酯) 和酶 ( $\alpha$ -淀粉酶) 对马铃薯发酵面团的发酵体积、流变特性、微观结构的影响, 以期对马铃薯含量高的发酵面团的制备提供新方法, 为马铃薯发酵食品的研究提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

马铃薯 (大西洋), 甘肃薯香园农业科技有限公司; 高筋小麦粉, 新良粮油加工有限公司; 谷朊粉, 冠县瑞祥生物科技开发有限公司; 绵白糖, 沈阳北糖糖业

有限公司; 高活性酵母, 安琪酵母股份有限公司; 黄油, 天津妙可蓝多国际贸易有限公司; 食盐, 大连盐业有限公司; 羧甲基纤维素钠 (Sodium carboxymethyl cellulose, CMC), 河南双城食品有限公司; 果胶, 新疆阜丰生物科技有限公司;  $\alpha$ -淀粉酶, 山东圣斯德食品有限公司; 硬脂酰乳酸钠 (Sodium stearyl lactate, SSL), 河南奥尼斯特食品有限公司; 单甘酯, 河南恩苗有限公司。

### 1.2 实验仪器与设备

TF-16 醒发箱, 加拿大雷鸟 Thunderbird 食品机械有限公司; KM020 全能厨师机, 德龙比荷卢股份公司; DHR-2 流变仪, 美国 TA 仪器有限公司; JSM-7800F 扫描电子显微镜, 日本电子株式会社; Coolsafe 110-4 冷冻干燥机, 丹麦 Labogene 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 面团的制备

将蒸熟的马铃薯冷却至室温后去皮、切块, 挤压成马铃薯泥。称取相应重量的马铃薯泥、面粉、食盐、谷朊粉、面团改良剂放入和面机中, 低速档 1 档搅拌 1 min。加入糖水活化好的酵母, 1 挡搅打至出现面筋膜, 加入黄油, 2 挡搅打 50 s 后取出, 用手整形至表面光滑。放入醒发箱中发酵, 温度为  $35\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 湿度为 75%。以面粉和水的添加量分别为 55.73% 和 31.77% 作为空白对照 (M0)。保持酵母、糖、盐、黄油和谷朊粉的添加量分别为 1.00%、3.80%、0.35%、2.50%、4.85%, 以马铃薯泥、面粉、水的含量分别为 50.00%、27.37%、10.13% 作为阳性对照 M1, 添加不同比例的果胶 (A1: 0.50%、A2: 1.00%)、CMC (B1: 0.50%、B2: 1.00%)、SSL (C1: 0.15%、C2: 0.30%)、单甘酯 (D1: 0.30%、D2: 0.60%)、 $\alpha$ -淀粉酶 (E1: 0.50%、E2: 1.00%) 替代相应比例的面粉; 以马铃薯泥、面粉、水的含量分别为 60.00%、21.65%、5.85% 作为阳性对照 M2, 对应比例的改良剂按顺序分别为 a1、a2、b1、b2、c1、c2、d1、d2、e1、e2。

#### 1.3.2 面团发酵体积测定

采用小米法测量面团的发酵体积。称取 20.00 g 整形好的面团置于 50 mL 的量筒中, 用小米填平到一定刻度线, 放入醒发箱中发酵, 每 10 min 测量面团的发酵体积增量。实验进行三次平行。

#### 1.3.3 面团流变测定

参考 Yang Wang<sup>[15]</sup>等人的方法, 分别测定发酵时间为 0.5 h、1 h、2 h 的马铃薯面团流变行为。选用直径为 40 mm 的平板, 间隙设为 2000  $\mu\text{m}$ , 测试前样品

先在载物台上稳定 180 s。通过振幅扫描得到线性黏弹区 (LVR), 选择应变为 0.10% 进行频率扫描, 频率范围为 0.01~10 Hz。剪切试验: 剪切速率从 0.01~100  $\text{s}^{-1}$ 。

### 1.3.4 面团微观结构测定

将发酵 2 h 后的面团放入液氮中固定 5 min, 冻干, 脆断, 经喷金后置于扫描电镜中观察。

### 1.3.5 数据分析及处理

采用 Spass 19 进行数据统计与分析, Excel 和 Origin 2018 进行图形的绘制, 实验进行 3 次平行实验。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵面团的发酵体积

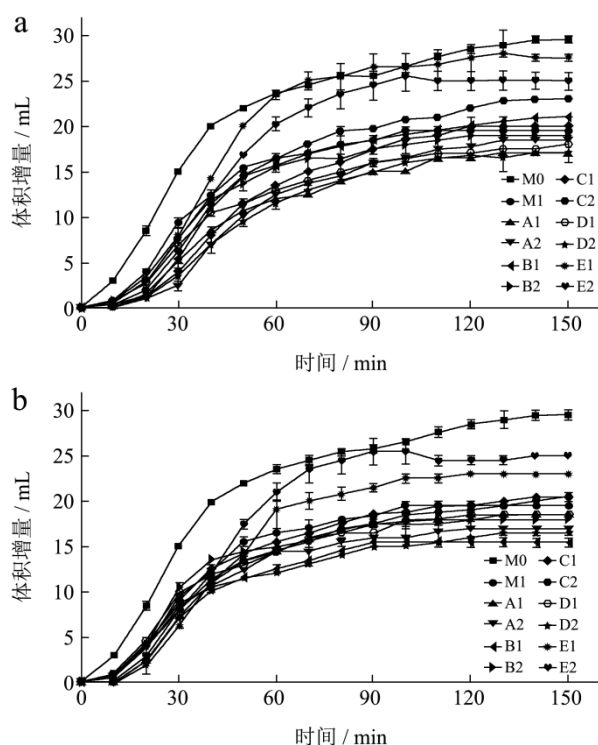


图1 面团的发酵体积增量变化曲线

Fig.1 The fermentation volume increment curves of dough

不同时间面团的发酵体积增量如图 1 所示, 发酵 150 min 后, 空白对照组面团发酵体积增量为 29.5 mL, 添加马铃薯后, 面团的发酵体积增量降低, 但小于 20 mL。总体而言, 本试验中的面团大致发酵分为三个阶段, 在 1 h 之前为快速发酵阶段, 面团快速发酵产气, 体积快速膨大; 1~2 h 为缓慢发酵阶段, 面团发酵减缓, 体积增大变缓; 2 h 后为发酵后期, 面团的体积基本趋于平稳<sup>[16]</sup>。因此, 后期研究选择发酵 2 h 的面团。

对于含有 50.00% 马铃薯泥的发酵面团 (图 1a), 添加了 0.50%  $\alpha$ -淀粉酶、1.00%  $\alpha$ -淀粉酶、0.30% SSL、0.50% CMC 和 0.15% SSL 的面团最终发酵体积增量大于阳性对照组 M1, 且发酵体积增量超过 20 mL,

有利于马铃薯面团的发酵, 且改良效果按顺序递减。对于含有 60.00% 马铃薯泥的发酵面团 (图 1b), 添加了 1.00%  $\alpha$ -淀粉酶、0.50%  $\alpha$ -淀粉酶、0.15% SSL 和 0.30% SSL 的面团的最终体积增量大于阳性对照组 M2, 且发酵体积增量超过 20 mL, 而果胶、CMC 和单甘酯都不利于马铃薯发酵面团的形成。

$\alpha$ -淀粉酶可以加快马铃薯发酵面团在开始阶段的发酵能力, 快速发酵阶段较长, 缓慢发酵阶段较短, 并快速进入发酵后期。这是因为  $\alpha$ -淀粉酶将淀粉分子降解, 有利于酵母繁殖产气, 但是随着糖含量的大量减少, 酵母生长逐渐受阻。当  $\alpha$ -淀粉酶添加量过多, 大量的淀粉被酶解成糖, 抑制酵母的发酵<sup>[17]</sup>; 同时, 随着面团发酵的进行, 酒精的浓度越来越大, 酵母的生长和发酵也会受到抑制, 不利于发酵<sup>[18]</sup>, 因此不同添加量的  $\alpha$ -淀粉酶对 50.00% 和 60.00% 含量马铃薯泥发酵面团的影响不同。而 SSL 对发酵面团的体积影响趋势也一样, 是因为 SSL 促进面筋蛋白的互相连接形成大分子面筋网络, 增强面团的弹性, 韧性和持气性, 而过多的 SSL 会弱化面团的面筋网络, 减弱后续醒发时面团的持气性<sup>[19]</sup>。

### 2.2 发酵面团的流变特性

图 2 为发酵 2 h 的面团的频率依赖性, 马铃薯发酵面团的储能模量 ( $G'$ ) 低于空白对照组, 随着频率升高, 各发酵面团的  $G'$  升高 (图 2a 和图 2b),  $\tan\delta$  值降低 (图 2c 和图 2d)。由  $\tan\delta = G''/G'$  可知, 损耗模量 ( $G''$ ) 也随频率升高而升高, 但升高的速率低于  $G'$ 。 $\tan\delta$  可以用来描述面团的强弱, 如果加入的分子使  $\tan\delta$  减小, 表示分子与面筋网络产生正相互作用<sup>[20]</sup>, 也说明面团体系中不仅存在以二硫键为主的共价键作用, 也存在氢键等非共价键作用<sup>[21]</sup>。由图 2a 和图 2b 可知, 所有马铃薯面团的  $G'$  均低于空白对照组面团的  $G'$ ; 除了添加 0.30% 单甘酯、0.50%  $\alpha$ -淀粉酶和 1.00%  $\alpha$ -淀粉酶的  $G'$  低于阳性对照组的  $G'$  外, 其他各组都高于阳性对照组的  $G'$ , 可见添加果胶、CMC 和 SSL 可以提高马铃薯发酵面团的弹性。由图 2c 和图 2d 可知, 马铃薯面团的  $\tan\delta$  高于空白对照组面团  $\tan\delta$ 。添加  $\alpha$ -淀粉酶的面团  $\tan\delta$  最高, 这可能是因为淀粉被  $\alpha$ -淀粉酶降解, 降低了面筋网络与淀粉的相互作用。亲水胶体会吸附面团中的小气泡<sup>[22]</sup>, 能加强面筋与淀粉颗粒之间的相互作用, 形成更强的面筋网络, 改善面团的流变特性<sup>[23]</sup>。乳化剂与面筋中的蛋白质产生作用, 形成蛋白质脂肪链, 增强面团对机械碰撞、发酵温度及时间的耐受性, 提高面团的流变学特性<sup>[13]</sup>。

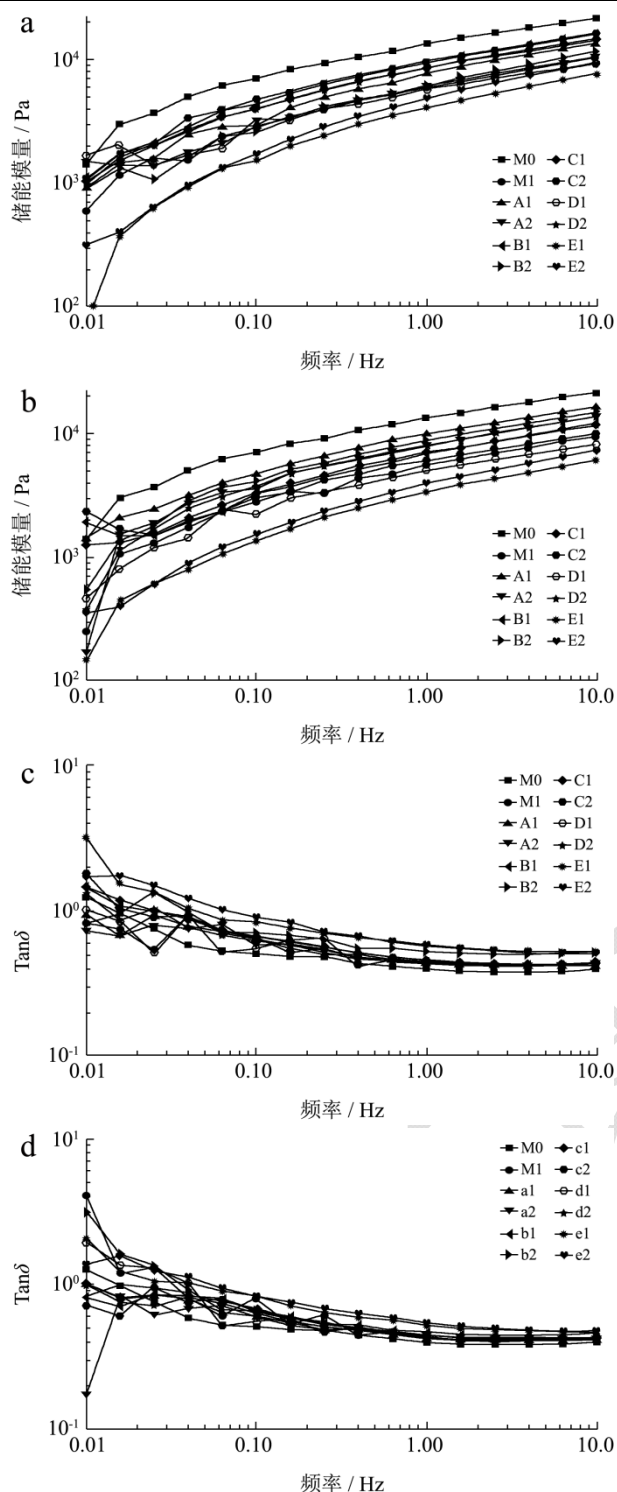


图2 发酵面团的储能模量(a和b)和 $\tan \delta$ (c和d)的频率依赖性

Fig.2 The frequency dependences of storage moduli (a and b) and  $\tan \delta$  (c and d) of fermented dough

图3为面团发酵2h后的稳态剪切流变曲线。随着剪切力增大,面团的黏度降低,呈现剪切稀化特性,表现为假塑性流体,说明随着剪切速率的增大,面筋网络结构被破坏。如M0、M1、M2、E1、E2、e1、

e2的黏度分别从14328.00、5143.07、5108.95、2642.27、2556.39、1772.83和1778.28 Pa·s降低到4.34、1.52、1.31、2.34、2.27、1.74和2.69 Pa·s。此外,马铃薯面团的开始黏度低于空白对照组,且添加 $\alpha$ -淀粉酶的面团黏度最低,比空白对照组低了约1个数量级。50.00%马铃薯面团的阳性对照组黏度低于添加了果胶、CMC和SSL的面团,而60.00%马铃薯面团的黏度则没有固定的规律。随着剪切速率升高,阳性对照组的黏度降低,低于所有试验组,这主要是因为马铃薯泥代替部分面粉而弱化了面筋网络,并且马铃薯淀粉颗粒大容易滑动,而改良剂可以改善马铃薯面团的剪切稳定性。

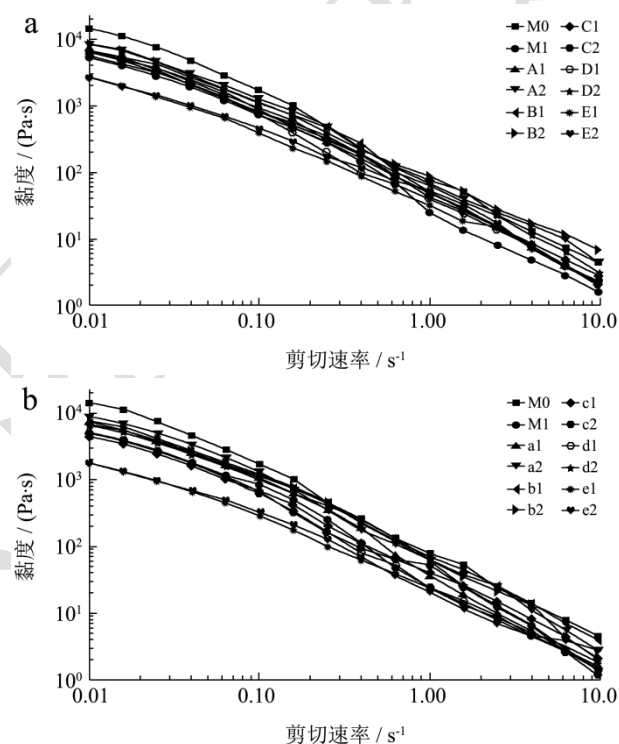
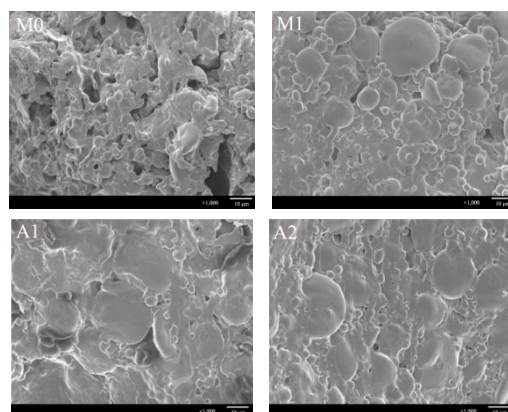


图3 发酵面团的稳态剪切特性

Fig.3 Typical flow curves of fermented dough

### 2.3 发酵面团的微观形貌





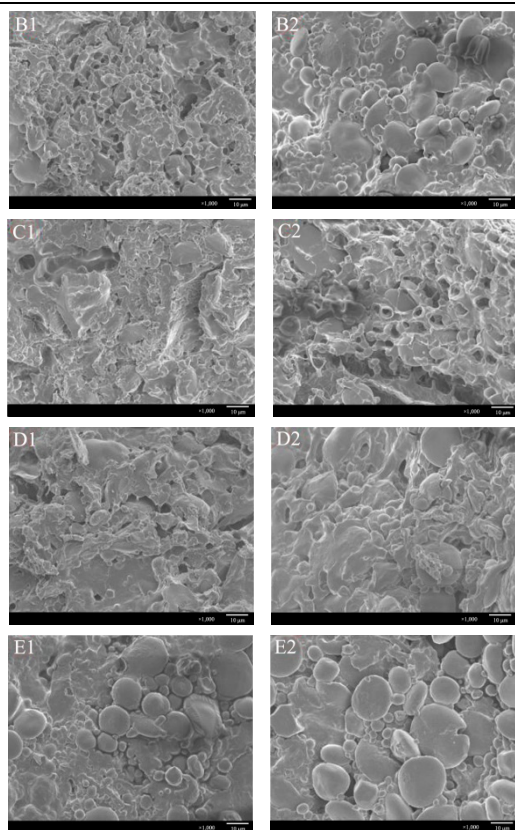


图4 添加 50.00%马铃薯泥的发酵面团的微观形貌

Fig.4 The morphological characterization of fermented dough with 50.00% mashed potato

发酵 2 h 的面团微观形貌如图 4 和图 5 所示。由图 4 可以看出,空白对照组(图 4M0)具有典型的发酵面团的面筋结构,且面筋网络中有淀粉颗粒和大量的气孔<sup>[24]</sup>。而阳性对照组的发酵面团有大量的裸露的马铃薯淀粉颗粒(椭圆体)和小麦淀粉颗粒(小圆球),几乎没有气孔,50.00%马铃薯面团(图 4M1)的网络结构较疏松,60.00%马铃薯面团(图 5M2)中小麦淀粉颗粒较少。

50.00%马铃薯面团添加果胶后(图 4A1 和图 4A2),面团中淀粉颗粒被包埋,气孔消失;而添加 0.50% CMC 后(图 4B1),面团的结构改善,网络结构变得清晰,并且含有大量的小气孔,添加 1.00% CMC (图 4B2)气孔却减少。60.00%马铃薯面团添加 0.50%果胶后(图 5a1),面团的结构改善,网络结构变得清晰;添加 1.00%果胶(图 5a2),气孔减少;而添加 CMC 后(图 5b1 和图 5b2),淀粉颗粒被包埋,几乎没有气孔。这可能是因为胶体可以将淀粉与面筋蛋白连接起来,使组织结构紧密<sup>[25]</sup>。添加 0.15%SSL 的 50.00%马铃薯面团(图 4C1)和 60.00%马铃薯面团(图 5c1)中的淀粉颗粒被包埋,淀粉颗粒表面有褶皱、不光滑。添加 0.30% SSL 的 50.00%马铃薯面团(图 4C2)和 60.00%马铃薯面团(图 5c2),面团出现类似面筋的膜

状物质,气孔丰富,结构无序。单甘酯有类似的作用,但没有明显的气孔。可能由于乳化剂与蛋白质的作用,形成了一层乳化膜。由图 4E1、图 4E2、图 5e1 和图 5e2 可以看出, $\alpha$ -淀粉酶的添加使马铃薯淀粉颗粒裸露在面筋网络结构的表面,淀粉颗粒不完整。当 $\alpha$ -淀粉酶的添加量为 1.00%,小麦淀粉颗粒明显减少,具有较大的孔洞,面筋网络结构被破坏<sup>[26]</sup>。

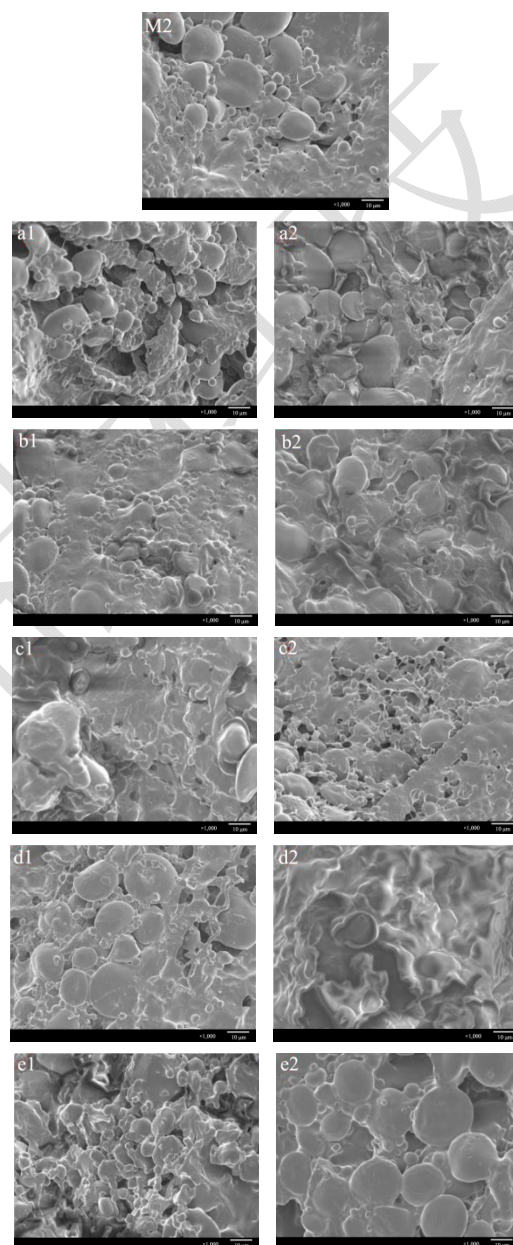


图5 添加 60.00%马铃薯泥的发酵面团的微观形貌

Fig.5 The morphological characterization of fermented dough with 60.00% mashed potato

### 3 结论

本文针对马铃薯发酵面团不易成型的问题,研究了亲水胶体(果胶和 CMC)、乳化剂(SSL 和单甘酯)、酶( $\alpha$ -淀粉酶)等改良剂对马铃薯发酵面团的发酵体

积、流变特性和微观结构的影响。实验结果表明,  $\alpha$ -淀粉酶有利于马铃薯面团的快速发酵, 但面团网络的时间稳定性低。 $\alpha$ -淀粉酶和 0.30% 单甘酯降低了马铃薯发酵面团的弹性, 其他组改良剂可以提高马铃薯发酵面团的弹性; 5 种改良剂都可以改善马铃薯面团的剪切稳定性。马铃薯发酵面团的表面裸露着马铃薯淀粉颗粒, 添加果胶和 CMC 能使马铃薯淀粉颗粒粘聚在面筋网状结构中, 改善面团网络结构; SSL 和单甘酯与马铃薯淀粉和面筋蛋白作用, 有利于面筋膜的形。可见,  $\alpha$ -淀粉酶适合快速发酵面制品的制品; 果胶、SSL 和 CMC 可以马铃薯发酵面团的稳定剂; 单甘酯不适宜作为马铃薯面团制品的改良剂。

### 参考文献

- [1] Ezekiel R, Singh N, Sharma S, et al. Beneficial phytochemicals in potato-a review [J]. Food Research International, 2013, 50(2): 487-496
- [2] Rodríguez Galdón B, Ríos Mesa D, Rodríguez Rodríguez E M, et al. Amino acid content in traditional potato cultivars from the canary Islands [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2010, 23(2): 148-153
- [3] 金文思. 非油炸方便型马铃薯全粉热干面的品质研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017
- JIN Wen-si. Study on the quality of non-fried instant potato flakes hot dry noodles [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017
- [4] 郭祥想. 马铃薯全粉对干脆面品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016
- GUO Xiang-xiang. Study on the effects of potato powder on crispy noodles quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016
- [5] Burlingame B, Mouille B, Charrondiere R. Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2009, 22(6): 494-450
- [6] Zaheer K, Akhtar MH. Potato production, usage, and nutrition-a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(5): 711-21
- [7] 刘洋, 高明杰, 罗其友, 等. 世界马铃薯消费基本态势及特点 [J]. 世界农业, 2014, 5: 125-130, 222
- LIU Yang, GAO Ming-jie, LUO Qi-you, et al. Basic situation and characteristics of potato consumption in the world [J]. World Agriculture, 2014, 5: 125-130, 222
- [8] 陈代园. 马铃薯面包冷冻面团关键生产技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013
- CHEN Dai-yuan. Study on critical processing technique of the frozen dough of potato bread [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013
- [9] 钟雪婷, 华苗苗, 任元元, 等. 马铃薯全粉对小麦面团及其馒头质构、品质影响的研究[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(5): 32-35
- ZHONG Xue-ting, HUA Miao-miao, REN Yuan-yuan, et al. Study on the effect of potato flour on the texture and quality of wheat dough and steamed bread [J]. Food and Fermentation Technology, 2018, 54(5): 32-35
- [10] 方秀丽, 常柳, 段晓亮, 等. 马铃薯泥对面团及面包品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(2): 73-78
- FANG Xiu-li, CHANG Liu, DUAN Xiao-liang, et al. The effects of potato mud on the dough and the quality of bread [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(2): 73-78
- [11] Armero E, Collar C. Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives [J]. Journal of Cereal Science, 1998, 28(2): 165-174
- [12] Simsek S. Application of xanthan gum for reducing syringing in refrigerated doughs [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(8): 2354-2358
- [13] 杨雪飞, 袁蓓蕾, 罗水忠, 等. 品质改良剂对复合杂粮面包粉流变学特性的影响[J]. 食品科学, 2015(11): 99-104
- YANG Xue-fei, YUAN Bei-lei, LUO Shui-zhong, et al. Effect of quality improver on rheological properties of bread flour [J]. Food Science, 2015(11): 99-104
- [14] Haseborg E, Himmelstein A. Quality problems with high-fibre breads solved by use of hemicellulase enzymes [J]. Cereal Foods World, 1988, 33(5): 419-422
- [15] Yang W, Ye F, Jia L, et al. Rheological nature and dropping performance of sweet potato starch dough as influenced by the binder pastes [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 85(11): 39-50
- [16] 豆康宁, 石晓, 靳亚静, 等. 几种酶制剂对面包面团发酵体积的影响研究[J]. 粮食加工, 2018, 43(3): 67-69
- DOU Kang-ning, SHI Xiao, JIN Ya-nan, et al. Study on the effect of several enzyme preparations on the fermentation volume of bread dough [J]. Grain Processing, 2018, 43(3): 67-69
- [17] 方晓波. 酶制剂对面团特性及馒头品质影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011
- FANG Xiao-bo. Effects of enzymes on dough properties and steamed bread quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011

- [18] 汪钊,郑裕国.真菌  $\alpha$ -淀粉酶应用于面包生产的研究[J].食品科学,1998,19(7):29-32  
WANG Zhao, ZHENG Yu-guo. Study on the application of fungus  $\alpha$  - amylase in bread production [J]. Food Science, 1998, 19(7): 29-32
- [19] 唐语轩,蔡勇建,邓欣伦,等.硬脂酰乳酸钠对冷冻面团及其烘烤面包品质的影响[J].现代食品科技,2018,34(9):38-44, 87  
TANG Yu-xuan, CAI Yong-jian, DENG Xin-lun, et al. Effect of sodium stearyl lactate on frozen dough and bread quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(9): 38-44, 87
- [20] Maria Eugenia Bárcenas, O-Keller J D L, Rosell C M. Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch) [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94(3-4): 241-247
- [21] Doucet D, Gauthier S F, Foegeding E A. Rheological characterization of a gel formed during extensive enzymatic hydrolysis [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(5): 711-715
- [22] Upadhyay R, Ghosal D, Mehra A. Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(1): 104-113
- [23] 李可昌,刘海燕,詹栩,等.不同胶体对面团粉质和拉伸特性的影响研究[J].中国食品添加剂,2015,(3):119-124  
LI Ke-chang, LIU Hai-yan, ZHAN Xu, et al. Study on the influence of different colloids on the properties of flour and tensile properties [J]. Chinese Food Additives, 2015, (3): 119-124
- [24] Sarabhai S, Prabhasankar P. Influence of whey protein concentrate and potato starch on rheological properties and baking performance of Indian water chestnut flour based gluten free cookie dough [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(2): 1301-1308
- [25] Wang B, Wang L J, Li D, et al. The rheological behavior of native and high-pressure homogenized waxy maize starch pastes [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(2): 481-489
- [26] Li Z, Deng C, Li H, et al. Characteristics of remixed fermentation dough and its influence on the quality of steamed bread [J]. Food Chemistry, 2015, 179(15): 257-262

(上接第 35 页)

- [35] 刘柳,孔保华.温度及气调包装对冷却猪肉中单核细胞增生性李斯特菌生长的影响[J].食品科学,2008,29(1):334-337  
LIU Liu, KONG Bao-hua. Optimized effects of temperature and modified atmosphere packaging on listeria monocytogenes of chilled pork [J]. Food Science, 2008, 29(1): 334-337
- [36] ZHAO Xing-chen, MENG Ri-zeng, SHI Ce, et al. Analysis of the gene expression profile of *Staphylococcus aureus* treated with nisin [J]. Food Control, 2016, 59: 499-506
- [37] 陈慧斌,孙钧政,王梅英,等.基于 16S rDNA-DGGE 技术的真空包装鲢鱼片腐败菌群研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,4(1):157-162  
CHEN Hui-bin, SUN Jun-zheng, WANG Mei-ying, et al. Characterization of bacterial flora in vacuum package sliced silver carp based on 16SrDNA-DGGE [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat.Sci.Ed.), 2015, 4(1): 157-162
- [38] 刁春华,孔俊豪,谭蓉等.茶黄素抗菌活性研究进展[J].食品安全质量检测学报,2017,8(11):4247-4252  
DIAO Chun-hua, KONG Jun-hao, TAN Rong, et al. Research progress on antimicrobial activity of tea theaflavins [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 8(11): 4247-4252
- [39] 江艳华,姚琳,李凤铃,等.基于高通量测序的冷冻南极磷虾中细菌菌群结构分析[J].食品安全质量检测学报,2016,7(7): 2840-284  
JIANG Yan-hua, YAO Lin, LI Feng-ling, et al. Analysis for bacterial flora structure of frozen antarctickrill *Euphausia superba* by high-throughput sequencing technique [J]. Journal of Food Satety and Quality, 2016, 7(7): 2840-284
- [40] Fenta L, Assefa A. *In vitro* evaluation of antibacterial activity of lactic acid bacteria isolated from ergo and qotchqotcha, ethiopian traditional fermented foods, against some selected food borne pathogens [J]. International Journal of Scientific and Technology Research, 2017, 6(9): 230-238
- [41] WANG Yu, SHENG Hua-fang, HE Yan, et al. Comparison of the levels of bacterial diversity in freshwater, intertidal wetland and marine sediments by using millions of illuminatags [J]. Environmental Microbiology, 2012, 78(23): 8264
- [42] ZHANG Chen-hong, LI Shou-feng, YANG Liu, et al. Structural modulation of gut microbiota in life-long calorie-restricted mice [J]. Nature Communications, 2013, 4: 2163