

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.06.010

杨晓清, 徐茹. 调质马铃薯全粉的稳态流变特性及面条品质评价[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(6): 131-138.

YANG X Q, XU R. Research on the steady-state rheological properties of modified potato flour and noodle quality evaluation[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(6): 131-138.

调质马铃薯全粉的稳态流变特性 及面条品质评价

杨晓清¹, 徐茹²

(1. 内蒙古农业大学 食品科学与工程学院, 内蒙古自治区 呼和浩特 010018;

2. 中粮面业(秦皇岛)鹏泰有限公司, 河北 秦皇岛 066206)

摘要: 为探讨高含量马铃薯全粉与小麦粉混合对面条加工及品质评价的影响, 以大豆分离蛋白和超声波协同作用的调质马铃薯全粉为研究对象, 通过测定不同比例调质粉与小麦粉混合体系的稳态流变特性及蒸制熟面条的拉伸特性、质构特性及感官评价, 进行综合评价。结果表明, 当调质粉含量达到 50% 时, 表观黏度随剪切速率的变化表现最稳定, 流动指数值较大, 表明小麦粉中添加调质粉可降低流动阻力、有利于产品加工; 超声波结合大豆分离蛋白对马铃薯全粉的调质处理在改善原马铃薯全粉的延展性、可塑性以及强度和筋力方面具有积极作用; 调质粉系列蒸制熟面条的质构特性及感官品质总体评价良好, 咀嚼性低于小麦粉面条。证实经过调质处理的山铃薯全粉可适当提高与小麦粉的混合比例, 有利于马铃薯主粮化的推进。

关键词: 马铃薯全粉; 调质; 稳态流变; 面条; 品质评价

中图分类号: TS215 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)06-0131-08

网络首发时间: 2021-11-02 15:07:58

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20211101.2014.032.html>

Research on the Steady-state Rheological Properties of Modified Potato Flour and Noodle Quality Evaluation

YANG Xiao-qing¹, XU Ru²(1. College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University,
Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. COFCO Flour Industry (Qinhuangdao) PengThai Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei 066206, China)

Abstract: In order to explore the effect of the mix with a high ratio of potato flour and wheat flour on noodle processing and quality evaluation, the modified potato flour, which was pre-prepared with soybean protein isolate adding and ultrasonic treatment, was used as the research target. The steady-state rheological properties of the mix with different proportions of potato flour and wheat flour, tensile properties, texture properties and sensory evaluation of steamed noodles were measured for a comprehensive evaluation. The results showed that when the proportion of potato flour reached 50%, the apparent viscosity showed the most stable with the

收稿日期: 2021-08-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32060582)

Supported by: National Natural Science Foundation of China (No. 32060582)

作者简介: 杨晓清, 女, 1966 年出生, 博士, 教授, 研究方向为食品加工与安全。Email: yxqnmq@163.com.

shear rate, and the flow index value was higher than that of the other ratios. This was close to the Newtonian fluid, indicating that the addition of potato flour can reduce the flow resistance and facilitate the processing of products. The effect of ultrasonic treatment combining with soybean protein isolate played a positive role in improving the ductility, plasticity, strength and strength of raw potato flour. The texture characteristics and quality of cooked noodles of modified potato flour were generally positively reviewed. Its chewiness is lower than that of wheat flour noodles, which can provide people with a better chewing experience. It has been proved that the ratio of modified potato flour mixed with wheat flour could be increased after modifying treatment, which was beneficial to the promotion of potato being used for staple food grain.

Key words: potato flour; modifying; steady-state rheological properties; noodle; quality evaluation

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是位于小麦、稻谷和玉米之后的第四大作物, 兼有粮食和蔬菜的双重特点, 富含淀粉、维生素和无机盐, 营养均衡合理^[1]。马铃薯全粉几乎保留了马铃薯块茎原有的组分, 不同产地马铃薯全粉营养成分不同。资料显示^[2], 各地马铃薯全粉中富含钾、膳食纤维、多酚类物质, 但脂肪含量极低, 淀粉含量在 55.98%~72.71% 之间、主要为支链淀粉, 蛋白含量在 5.46%~10.32% 之间, 其中必需氨基酸含量高, 富含赖氨酸、苏氨酸和色氨酸, 赖氨酸含量高对于制作主食非常具有吸引力, 正好弥补大米、小麦制作主食的缺陷。然而, 马铃薯全粉中缺少麸质蛋白, 在加水混合的过程中难以形成弹性和延展性良好的面团, 导致在加工过程中存在很多局限性, 限制着马铃薯全粉主食化的加工应用^[3]。

目前, 马铃薯全粉食品研究越来越广泛, 例如有马铃薯全粉馒头、面包、饼干、冰淇淋等^[4], 马铃薯全粉往往是与小麦粉相混合使用, 但混合粉中马铃薯占比相对较低。近年来, 随着我国马铃薯主粮化战略的提出和推进, 马铃薯育种和种植业大力发展, 许多优良品种面世, 为马铃薯全粉主粮产品开发和加工提供了原料基础^[4-5], 也有学者采用改良剂的研究报道^[6-7]。鉴于大豆分离蛋白的基因结构与人体中的大部分氨基酸具有相似之处并在食品工业中广泛应用^[8], 添加大豆分离蛋白可部分替代麸质蛋白的功能性作用, 但仅凭单纯添加外源蛋白质不能保障其蛋白质肽链的交联与重排, 难以形成麸质蛋白的稳定空间构象。超声波的剪切、空化和冲击震荡的综合效应可使蛋白质部分伸展, 分子内部的疏水基团暴露出来, 使分子的疏水性增大, 与化学改性相比, 超声波

对蛋白的物理改性作用更为迅速、副产物更少, 可以较大程度保存原产品的营养和特性^[9]。淀粉颗粒中含有大量的氢键, 超声波的物理作用可使氢键断裂、淀粉颗粒结构疏松、暴露大量羟基, 增加淀粉与水分子的相互作用^[10-11]。因此, 在马铃薯全粉中添加适量大豆分离蛋白并进行超声波处理, 有望弥补马铃薯全粉因无麸质蛋白引起的加工性能不足的缺陷, 有望提高比例马铃薯全粉与小麦粉混合粉的加工特性, 提高马铃薯全粉在餐桌主食的占有率。在面食品生产加工过程中, 静态流变特性能够预测、解释面粉浆料在加工过程的性状变化以及影响面粉浆料的输送、搅拌及加工工艺等, 拉伸特性和质构特性除了直观反映混合面粉凝胶的拉伸强度和硬度、弹性、胶黏性等适口性, 进一步证明超声波处理面团加工中稳定性和延展性的影响^[12]。

目前, 将超声波改性处理的调质马铃薯全粉与上述物理特性相结合研究用以全面评价马铃薯全粉在主食加工中的应用效果尚不多见。本文根据团队前期所获得的大豆分离蛋白与超声波协同处理的调质马铃薯全粉与小麦粉进行不同比例的复配, 通过研究混合面粉浆料的静态流变特性及蒸制熟面的品质变化, 以期开发高含量马铃薯全粉面条和加工工艺提供数据支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

马铃薯全粉 (生产批号 U-F-MLSF20210228, 蛋白质含量 7.48%, 淀粉含量 68.18%, 粗脂肪含量 0.68%, 水分含量 8.27%): 陕西昂煦生物科技有限公司; 家用中筋小麦粉、家用中筋面粉 (产品标准代号 Q/BZY-0006S, 蛋白质含量 12.12%,

脂肪含量 1.61%，水分含量 12.17%): 中裕公司; 大豆分离蛋白, 分析纯: 麦克林试剂公司。

1.2 仪器与设备

DGX-9143BC 电热鼓风干燥箱: 上海福玛实验设备有限公司; HS4 磁力搅拌器: 德国 IKA 公司; 80 目标准筛: 浙江上虞市道墟张兴纱筛厂; Biosafer1000 型超声波细胞粉碎机: 赛飞(中国)有限公司; HAAKE Rheo Stress6000 旋转流变仪: 美国赛默飞公司; TA.XT.Plus 质构仪: 英国 Stable Micro-System 公司; SQP 电子天平: 赛多利斯科学仪器有限公司; HMJ-01 和面机: 中山市雅乐思电器实业有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验样品的制备

1.3.1.1 调质马铃薯全粉的制备 将马铃薯全粉与大豆分离蛋白按照 1:0.94 比例混合均匀并经超声波处理后(采用前期研究参数: 超声功率 500 W、作用时间 15.19 min), 60 °C 烘干并粉碎过 80 目筛, 真空包装于 4 °C 冰箱中冷藏备用, 简称“调质粉”。

1.3.1.2 复配面糊稳态流变特性样品的制备 分别称取调质粉 2、3、4、5、6、7、8 g, 小麦粉 8、7、6、5、4、3、2 g 进行混合, 调质粉与小麦粉的混合比例为(2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2)的混合体系, 马铃薯全粉与小麦粉进行上述同样配比, 马铃薯全粉为空白组、中筋小麦粉为对照组。为试验结果在图中表示清晰简明, 小麦粉(Wheat flour)标记为 W、马铃薯全粉(Potato flour)标记为 P、调质粉(Modified potato flour)标记为 M, 混合面粉则标记为: M2:W8、M3:W7、M4:W6、M5:W5、M6:W4、M7:W3、M8:W2。将上述各类型面粉分别称取 3 g 加蒸馏水至 100 mL, 于 25 °C 下放置于磁力搅拌器上以 500 r/min 的速度搅拌 20 min, 形成各类型面糊。搅拌过程中为防止水分的蒸发, 用保鲜膜将烧杯口密封。

1.3.1.3 蒸面条的制作 参考陈曦^[13]并做适当修改, 面粉+水(加入去离子水, 加水量为 70%, 以面粉为基重)→和面(和面机高速旋转 120 s, 低速旋转 300 s)→静置醒面 40 min→揉面→压条→

常压水蒸气蒸制 15 min→冷却→缓速降温→恒温, 为防止回生老化, 后续测试短时间内尽快完成。

1.3.2 复配面糊稳态流变特性的测定

面糊的黏性在流动过程中得以表现, 不同流体类型与流动阻力及生产加工条件密切相关。本文使用 HAAKE Rheo Stress 6000 旋转流变仪稳态剪切程序, 选择 P60 Ti 圆柱形探头以及配套样品杯, 取适量待测样置于样品杯中, 试验温度为 25 °C, 测定不同剪切速率下表观黏度的变化, 采用幂律方程对表观黏度与剪切速率的数据点进行回归拟合^[14]。分析各面糊流体类型及表观黏度随剪切速率的变化规律, 获得适宜混合配比并进行蒸制熟面的感官、质构特性和拉伸特性等品质评价。

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

式(1)中, τ 为剪切应力(Pa); K 为稠度系数(Pa·s), 是样品黏稠度的衡量; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, s^{-1} ; n 代表流动指数, 表示偏离牛顿流体的程度。为图形表达清晰, 试验结果获得的表观黏度如果数值相差悬殊, 可按数值大小划分为低表观黏度和高表观黏度。

1.3.3 面条质构特性的测定

参照张乐道等^[15]方法, 适当调整, 采用探头为 P100 型, 校准距离为 15 mm, 测试前、中、后速度均为 0.8 mm/s, 形变量为 75%, 触发力为 5 g, 时隔为 1 s。取已蒸制备用的 3 根直径与长度均匀的三根面条水平放置于物性分析仪载物平台上, 每根面条之间要有 0.5 cm 的间隔, 面条与载物平台的侧边相平行。每个实验重复 6 次, 去掉最大值和最小值后求平均值。

1.3.4 拉伸特性的测定

取已蒸制备用的 10 cm 长的面条缠绕固定于 2 根探测棒上。参照杨健^[16]方法并稍作修改, 采用质构仪对面条进行拉伸特性的测定, 使用 A/SDR 探头, 测前速度 1.00 mm/s, 测中速度 3.00 mm/s, 测后速度 10.00 mm/s, 触发力 5.0 g, 测试直到拉断, 共进行 6 次平行试验, 测定拉伸位移和断裂力, 评判面条的延展特性、抗拉强度和筋力。测定结果去掉最大值、最小值, 求平均值。

1.3.5 感官评价

蒸制熟面条感官评价项目与评分标准参考 SB/T10137—93《面条用小麦粉》。由 15 位具备感

官评价相关知识的专业人员组成，评分标准如表 1 所示。

1.4 数据分析

采用 Excel 2019、Origin 2018 和 SPSS 26 软

件进行试验数据分析，用 Design-Expert.V8.0.6 进行试验数据回归模型的分析 and 响应面图的绘制。所有数据均平行测定 3 次，结果以平均值 (Mean) ± 标准偏差 (SD) 表示。

表 1 熟面条感官评分标准
Table 1 Evaluation standard of cooked noodles

项目	满分/分	评分标准
色泽	10.0	面条的颜色、亮度。 调质粉和马铃薯全粉面条颜色为黄色或浅黄色，亮度为 8.5~10.0 分，亮度一般为 6.0~8.5 分；小麦粉面条颜色为白、乳白或奶黄色，亮度好为 8.5~10.0 分；亮度一般为 6.0~8.5 分；颜色发暗或发灰、亮度差为 1.0~6.0 分。
外观状态	10.0	面条表面的光滑和膨胀程度。 表面结构细密且光滑为 8.5~10.0 分；中间程度为 6.0~8.4 分；表面粗糙、膨胀变形为 1.0~6.0 分。
适口性	20.0	咬断面条所需要力的大小。 咬力适中为 17.0~20.0 分；稍硬或稍软为 12.0~17.0 分；过硬或过软为 1.0~12.0 分。
韧性	25.0	咀嚼时的咬劲及弹性大小。 有咬劲且富有弹性为 21.0~25.0 分；一般 15.0~21.0 分；咬劲差、弹性不足为 1.0~15.0 分。
黏性	25.0	咀嚼时的黏牙程度。 爽口、不黏牙为 21.0~25.0 分；较爽口、稍黏牙为 15.0~21.0 分；不爽口、样品发黏为 10.0~15.0 分。
光滑性	5.0	品尝时口感的光滑程度。 口感光滑为 4.3~5 分；较光滑为 3~4.2 分；不光滑为 1~3 分。
食味	5.0	熟面条的味道。 具有麦香味 (或薯味) 为 4.3~5.0 分；基本无异味为 3.0~4.3 分；有异味为 1.0~3.0 分。

2 结果与分析

2.1 复配面糊稳态流变特性的研究

小麦粉、马铃薯全粉、调质粉和其复配粉的表现黏度与剪切速率变化关系见图 1。从图 1 可以看出，在 0~300 s⁻¹ 剪切速率变化范围内，各类

型面糊黏度均有下降但降幅略有不同，因为被测的各类型面糊均为含有高分子的胶体粒子，这些粒子多由巨大的链状分子构成，在静止或低流速时，它们互相勾挂缠结，黏度较大，显得黏稠，但当流速增大时，由于流动层之间的剪切力的作用，使比较散乱的链状粒子滚动旋转而收缩成团，

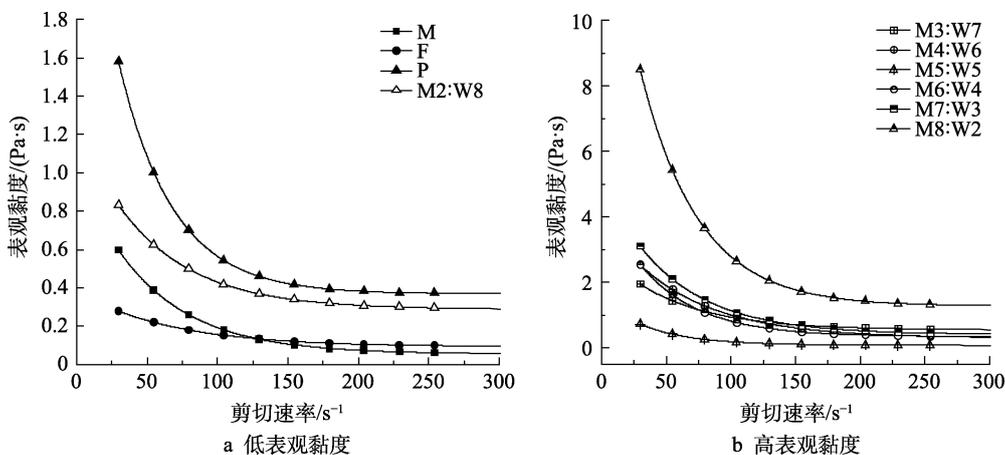


图 1 表现黏度随剪切速率的变化曲线
Fig.1 Apparent viscosity versus shear rate

减少了互相勾挂, 表现为黏度下降, 即剪切稀化现象^[17], 同时由于各混合粉中直链淀粉含量存在差异造成黏度降幅的差异。在初始剪切速率增加到 100 s^{-1} 时, 所有面糊的表观黏度快速下降, 降幅较大, 可能由于开始提高剪切速率的时候, 内部发生了非弹性的碰撞导致, 粒子突然受到逐渐提高的剪切速率作用, 使得体系中原有的粒子间分子结构被打散, 分子之间的结合能力下降, 从而导致黏度迅速下降^[18]。之后随着剪切速率逐步增加, 黏度下降幅度趋缓并逐渐呈稳定状态, 可能的原因是面糊中淀粉分子形成了一种网状结构, 该结构把水分包裹起来, 淀粉分子互相连接, 这样淀粉糊粘度高, 不易流动。如果破坏了这种网状结构, 释放出包裹的水分, 淀粉分子被水分子包围, 水的黏度低, 面糊黏度下降很快, 也易于流动^[19]。

由图 1a 可知, 空白组马铃薯全粉 (P)、对照组的中筋小麦粉 (W) 和单独调质粉面糊 (M) 的表观黏度变化情况基本趋于一致, 而调质粉与小麦粉混合以后随混合比例变化, 则混合体系面糊的表观黏度变化显著。对照图 1a 和图 1b, 当调质粉添加量达到 50% 时, 表观黏度基本保持稳定不变, 其中原因可能是不同面粉及配比引起直链淀粉与支链淀粉比例不同而造成的, 更进一步原因有待深入研究, 但可以表明表观黏度保持稳定时流动阻力易于控制、有利于产品加工。采用幂律模型对上述曲线进行拟合, 拟合结果见表 2。

表 2 不同混合体系的幂律方程拟合参数
 Table 2 Fitting parameters of power law equations for different mixture systems

混粉比例	稠度系数/ K	流动指数/ n	相关系数/ R^2
W	9.992 ± 0.093	0.449 ± 0.010	0.967
P	19.751 ± 1.843	0.251 ± 0.021	0.920
M	35.944 ± 2.949	0.148 ± 0.020	0.975
M2 : W8	205.514 ± 0.169	0.056 ± 0.007	0.985
M3 : W7	86.471 ± 1.243	0.081 ± 0.017	0.929
M4 : W6	68.749 ± 5.332	0.067 ± 0.018	0.967
M5 : W5	42.336 ± 2.480	0.175 ± 0.015	0.988
M6 : W4	86.932 ± 9.611	0.011 ± 0.027	0.941
M7 : W3	82.902 ± 7.152	0.062 ± 0.021	0.959
M8 : W2	363.516 ± 20.023	0.065 ± 0.014	0.986

由表 2 可知, 幂律模型对混合体系的拟合度较好。稠度系数 K 与流体性质有关, 是黏度的量

度, 通常黏度越大, K 值越大。从表 2 可以看出, 随着调质粉含量的增加, 面糊的稠度系数比空白组显著增大, 面糊的黏度显著增加, 这可能与本身黏度有关, 当混合比例为 M5 : W5 时, 稠度系数值在调质粉里是最小、流动指数值相对较大, 与图 1b 中显示表观黏度的变化相符合, 表明剪切稀化特征减弱, 面糊流动状态趋于稳定。当调质粉添加过大如 M8 : W2 或过小如 M2 : W8 时, 混合体系的稠度系数较大、流动指数较小, 表现为该混合体系在冷糊凝胶过程中易成型, 剪切稀化增强、流动状态不稳定。结合图 1 和表 2 可知, 所有样品的流动指数均为 $n < 1$, 均显示剪切稀化和假塑性, 随剪切速率的增加, 表观黏度逐渐降低。Sun 等^[20]指出, 面糊的假塑性可归因于淀粉分子的定向排列, 以及剪切作用下直链淀粉分子间的氢键断裂。

2.2 蒸制面条拉伸特性的变化

拉伸位移可反映面条延展特性和可塑性, 断裂力可反映面条的强度和筋力^[1-3]。面条蒸制后拉伸位移和断裂力测试结果分别如图 2a~2b 所示, 随着蒸制后贮藏时间的增加, 除调质粉外, 不同种类面条的拉伸位移和断裂力均呈现显著下降趋势 ($P < 0.05$)。

调质粉中因加入大豆分离蛋白, 经过超声波处理后, 体系内蛋白的疏水基团暴露性增大、淀粉颗粒表面疏松、超声波机械能量存储于体系内, 促进了体系各组分的结合力, 有利于体系内网状结构的形成^[9], 增大面团结构的稳定性。如图 2 所示, 50% 调质粉与 50% 小麦粉混合所形成的混合粉面条, 在测试期间其断裂力和拉伸位移基本能保持稳定, 且数值高于原马铃薯全粉, 但未经调质的 50% 马铃薯全粉+50% 小麦粉的混合粉面条的断裂力与拉伸位移则存在明显变化。将调质粉与小麦粉以高达 50% 的比例混合后, 调质粉与小麦粉混粉面条的拉伸位移显著高于纯小麦粉面条, 说明大豆分离蛋白和超声波处理的协同作用不但改善了原马铃薯全粉的拉伸性, 而且调质马铃薯全粉添加至小麦粉中可提高小麦粉的延展性和可塑性, 混合比例可达 50%。蒸制小麦粉面条的拉伸位移最小且与其他组存在显著性差异, 即蒸小麦面条的延展性和可塑性较差, 原因是蒸制

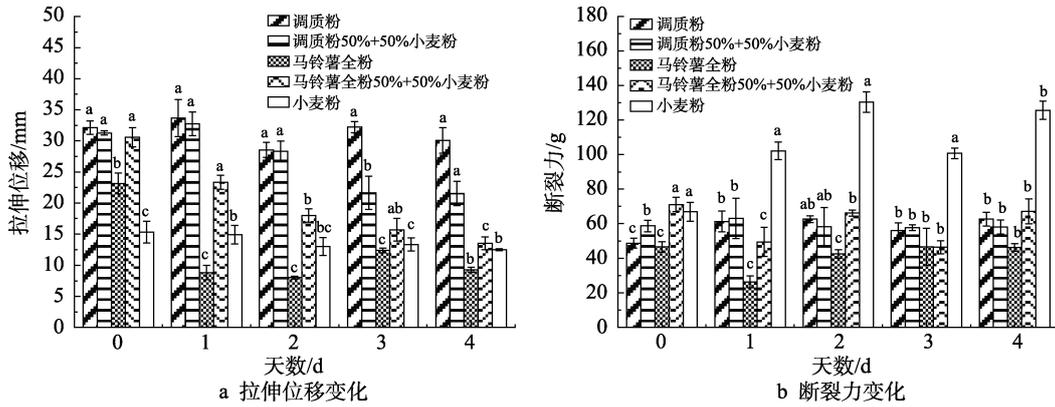


图 2 不同种类熟面条拉伸特性变化

Fig.2 Changes of tensile properties of different kinds of steamed noodles

面条不与水直接接触，利用水蒸气的热量糊化，糊化过程是淀粉从半结晶颗粒转变为无定形状的过程，几种面粉中小麦粉直链淀粉含量最高，在蒸制过程中与调质粉和马铃薯全粉相比，不易溶胀而进一步与蛋白形成复合凝胶体，延展性降低^[21]。

2.3 蒸制面条的质构特性

小麦面条的弹性是面筋蛋白的网络结构所赋予的。由表 3 可见，小麦粉面条弹性最大，而其他种类面条弹性均低于小麦粉面条，原因是面团中缺少面筋蛋白、谷蛋白含量少，使得混合面团的网络结构不连续。调质粉与调质粉 50%+小麦粉 50%混粉面条的弹性优于马铃薯全粉及马铃薯全粉添加的混粉的情况，原因是调质粉中添加了大豆分离蛋白并借助于超声波的改性作用，使蛋白质内部的疏水基团暴露，同时也使淀粉中的羟基暴露，增大了淀粉与水分子、淀粉与蛋白质的交联作用，保持了面团内部结构的相对稳定，因此表现为较好的弹性；表 3 显示，马铃薯全粉、50%马铃薯全粉添加的混合粉以及小麦粉等 3 个种类的面条熟化后的硬度相差不大，但调质粉及 50%调质粉添加的混合粉熟制面条的硬度与前者相比稍低，但总体差异不明显；咀嚼性是指将固体食品咀嚼到可吞咽时所做功的大小，数值上等于硬度、粘聚性和弹性的乘积，其影响因素较多。因小麦粉面筋蛋白含量最多，面团网络结构紧密，故小麦粉面条的咀嚼性最高，马铃薯全粉面条咀嚼性低于小麦粉而高于调质粉及调质粉 50%添加的混合粉面条，同时由于马铃薯全粉中淀粉颗粒较大，而调质马铃薯全粉在超声波的剪切、空化和冲击震荡的综合效应下，淀粉颗粒变小、表面

结构疏松，虽然增加了与水分子和蛋白的结合力，但耐嚼性下降，适于不喜体验咀嚼人群食用。

表 3 不同种类熟面条质构特性测定结果

Table 3 Textural properties of different kinds of steamed noodles

面条种类	弹性	硬度/g	咀嚼性/g
调质粉	2.68±0.47 ^a	2 246.30±21.52 ^a	4 506.86±79.89 ^{ab}
调质粉 50%+50%小麦粉	2.70±0.41 ^a	1 814.93±21.11 ^c	4 046.13±51.03 ^{ab}
马铃薯全粉 50%+50%小麦粉	2.17±0.03 ^a	2 443.98±22.25 ^d	4 084.33±3.77 ^b
马铃薯全粉	2.02±0.67 ^a	2 269.73±20.60 ^b	5 972.12±33.11 ^{ab}
小麦粉	3.39±0.30 ^a	2 225.07±26.05 ^b	7 163.45±79.08 ^a

注：同列上标字母表示差异显著性不同 (P<0.05)。

Note: Significant differences is expressed with superscript alphabets in the same column (P<0.05).

2.4 感官评价

同种类蒸制面条的感官评价结果见图 3。由图 3 可知，5 种不同面粉蒸制面条的感官评价差

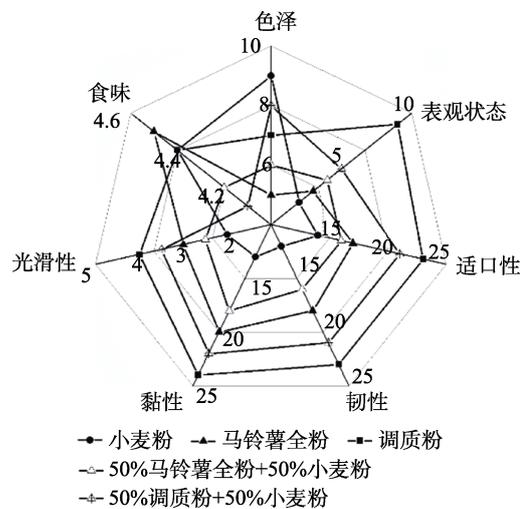


图 3 不同种类蒸制面条的感官评价结果

Fig.3 Sensory evaluation results of steamed noodles of different flour

异较大,其中,调质粉面条的表观状态、适口性、韧性、光滑性和黏性评分最高。小麦粉面条的白度最好,其次是50%调质粉与50%小麦粉的混粉面条,白度最差的为马铃薯全粉面条,调质粉面条经过蒸制后,透明度提高,可能与马铃薯淀粉糊化有关^[22]。食味评价中,小麦粉面条的评分最高,调质粉面条和马铃薯全粉面条次之,混粉面条评分较低,可能是较高的马铃薯全粉添加量使混粉面条中麦香味降低,马铃薯味过重而导致消费者难以接受。

3 结论

小麦粉和小麦粉与马铃薯全粉混合的全系列中的面糊均为假塑性流体和显示剪切稀化现象,经超声波结合外源蛋白添加处理的调质马铃薯全粉添加量达到50%时,表观黏度随剪切速率的变化表现最稳定,流动指数值较大,表明小麦粉中添加调质马铃薯全粉可降低流动阻力、有利于产品加工;调质马铃薯全粉面条的拉伸位移均高于马铃薯全粉面条,说明超声波处理及大豆分离蛋白添加的协同作用在改善原马铃薯全粉的延展性、可塑性以及强度和筋力方面具有积极作用,调质马铃薯全粉与小麦粉等量混合时蒸制面条的延展性和可塑性优于纯小麦粉;调质马铃薯全粉蒸制面条的弹性总体高于原马铃薯全粉面条但低于小麦粉面条,咀嚼性低于小麦粉面条。本研究证实经过调质处理的面粉可提高与小麦粉的混合比例,有利于马铃薯主粮化的推进。

参考文献:

[1] 侯飞娜,木泰华,孙红男,等.马铃薯全粉品质特性的主成分分析与综合评价[J].核农学报,2015,29(11):2130-2140.
 HOU F N, MU T H, SUN H N, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation on quality characteristics of potato flour[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(11): 2130-2140.

[2] 代春华,刘晓叶,屈彦君.不同产地马铃薯全粉的营养及理化性质分析[J].食品工业科技,2019,40(19):29-33.
 DAI C H, LIU X Y, QU Y J, et al. Analysis on the nutritional components and physical and chemical properties of potato granules from different provinces[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(19): 29-33.

[3] 李康.马铃薯无麸质意面工艺优化与品质调控研究[D].中国农业科学院,2019,1-4.

LI K. Study on process optimization and quality control of potato gluten free pasta[D]. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019, 1-4.

[4] 赵晶,时东杰,屈岩峰,等.马铃薯全粉食品研究进展[J].食品工业科技,2019,40(20):363-367.
 ZHAO J, SHI D J, QU Y F, et al. Research progress of potato whole meal food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(20): 363-367.

[5] XU F, LIU W, HUANG Y J, et al. Screening of potato flour varieties suitable for noodle processing[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(3): 1-10.

[6] 张凤婕,任妍妍,张天语,等.不同改良剂对高马铃薯全粉含量面团流变学特性的影响[J].食品工业科技,2019,40(11):23-27.
 ZHANG F J, REN Y Y, ZHANG T Y, et al. Effect of different modifiers on rheological properties of high contents potato whole flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 23-27.

[7] 杨健,康建平,张星灿,等.高含量马铃薯全粉挂面品质改良剂的研究[J].粮油食品科技,2019,27(5):14-20.
 YANG J, KANG J P, ZHANG X C, et al. Study on quality improver of high content potato dried noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(5): 14-20.

[8] 臧学丽.大豆分离蛋白在食品加工中的应用[J].食品安全导刊,2019(32):31.
 ZANG X L. Application of soybean protein isolate in food processing[J]. China Food Safety Magazine, 2019(32): 31.

[9] O'SULLIVAN J, MURRAY B, FLYNN C. The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 53: 141-154.

[10] 赵国芬,张少斌.基础生物化学[M].北京:中国农业大学出版社,2014,19-40.
 ZHAO G F, ZHANG S B. Basic biochemistry[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2014, 19-40.

[11] 张奎亮,代养勇,侯汉学,等.超声处理对马铃薯淀粉结构特性及理化性质的影响[J].食品科学,2018,39(5):128-134.
 ZHANG K L, DAI Y Y, HOU H X, et al. Effect of Ultrasonic Treatment on Structure and Physicochemical Properties of Potato Starch[J]. Food Science, 2018, 39(5): 128-134.

[12] 李薇,郑炯,陈映衡,等.超声波处理对豌豆淀粉糊化、流变及质构特性的影响[J].食品与机械,2018,34(5):32-37.
 LI W, ZHENG J, CHEN Y H, et al. Effect of ultrasound treatment on oasting, rheological and textural properties of pea starch[J]. Food and Machinery, 2018, 34(5): 32-37.

[13] 陈曦,李叶贝,屈展平,等.马铃薯-燕麦复合面条的研制[J].食品科技,2017,42(10):148-152.
 CHEN X, LI Y B, QU Z P, et al. Development of potato-oat compound nutrition noodle[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(10): 148-152.

[14] YANG X Q, SHI H G, MI X, et al. Gelatinization and rheological

- properties of blend of defatted rice bran and broken rice[C]. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 792, (2021) 012002: 1-11.
- [15] 张乐道, 任广跃, 曾又华, 等. 加水温度对莜麦面团水分分布状态和质构特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(2): 23-26. ZHANG L D, REN G Y, ZENG Y H, et al. The effect of water temperature on water distribution and textural characteristics of naked oats dough[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(2): 23-26.
- [16] 杨健, 康建平, 张星灿, 等. 马铃薯全粉对面条品质影响的主成分分析研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(1): 17-23. YANG J, KANG J P, ZHANG X C, et al. Study on principal component analysis of influence of potato flour on noodle quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(1): 17-23.
- [17] 宋洪波, 杨晓清, 栾广忠. 食品物性学[M]. 北京, 中国农业大学出版社, 2016: 25-27. SONG H B, YANG X Q, LUAN G Z. Physical properties of food[M]. Beijing, China Agricultural University Press. 2016: 25-27.
- [18] 王嵩. 月见草籽饮料加工工艺及流变特性研究[D]. 吉林农业大学, 2016, 24-25.
- WANG S. Evening primrose seed beverage processing technology and rheology research[D]. Jin Lin Agricultural University, 2016, 24-25.
- [19] 柴春祥, GUNASEKARAN S. 4 种马铃薯淀粉糊流变特性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(5): 76-79. CHAI C X, GUNASEKARAN S. Rheological properties of four atarch pastes of potato[J]. Food and Fermentation Industries, 2007(5): 76-79.
- [20] SUN D S, YOO B. Rheological and thermal properties of blend systems of rice flour and potato starch[J]. Food ence and biotechnology, 2011, 20(6): 1679-1684.
- [21] 田雨. 烹调和储存方式对面条抗性淀粉含量与益生活性影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020, 1-4+25-28. TIAN Y. Effect of cooking and storage methods on resistant starch content and probiotic function of noodles[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020, 1-4+25-28.
- [22] 蔡沙, 施建斌, 隋勇, 等. 马铃薯淀粉物化特性分析及其对马铃薯热干面品质影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(1): 72-81. CAI S, SHI J B, SUI Y, et al. Physicochemical properties of potato starch and its influence on the quality of potato hot-and-dry noodles[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(1): 72-81. ㊟

· 公益宣传 ·

《现代面粉工业》欢迎订阅、赐稿、惠登广告

《现代面粉工业》现由江苏科技大学主办, 江苏省教育厅主管。期刊创刊于建国初期, 是一本具有七十年历史的粮食杂志, 曾用刊名《面粉通讯》。现为中国粮食行业协会小麦分会会刊, 被中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据库、知网数据库、维普期刊数据库收录。

《现代面粉工业》为我国粮食战线的广大技术人员、管理工作者提供一个了解粮食工业最前沿科技动态、开展理论研讨、解决技术难题、搜索市场信息的平台。是国内唯一以提高小麦制粉技术, 提升行业发展能力为主要园地的粮食专业期刊, 理论与实践并重, 能紧密围绕国家粮食安全和面粉生产的实际, 与时俱进, 受到粮食行业的普遍好评, 对推动粮食加工现代化起到了一定的积极作用。

《现代面粉工业》主要专栏: 现代粮食工程、粮食工程教育、制粉技术、生产设备、原料与添加剂、品质监控、面制品及专用粉、企业管理、市场动态、名家访谈、企业风采、粮食史话、文献导读等。

《现代面粉工业》主要读者: 国内外从事粮食工程, 特别是小麦制粉及其相关的粮食机械、面制食品、食品添加剂行业的管理、技术人员和大专院校的师生、粮食行政管理者和粮食科技工作者等。

《现代面粉工业》办刊宗旨: 传播新技术、沟通新信息、交流新经验, 推动行业科技创新和产业健康发展, 提高国家粮食安全水平。《现代面粉工业》为双月刊, 大 16 开本, 正文 56 页, 每期出刊时间为逢双月 15 日, 全年共 6 期。

地址: 江苏省镇江市丹徒区长晖路 666 号

邮编: 212028

电话: 0511-84401750

投稿邮箱: xdmfgy@163.com jsmftx@163.com

国内统一连续出版物号: CN 32-1798/TS

国际标准连续出版物号: ISSN 1674-5280

邮发代号: 28-343 外发代号: BM1804