

张令文, 胡新月, 王雪菲, 等. 小麦粉品质特性与挂糊油炸猪肉片外壳品质的相关性分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 309–315.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080284

ZHANG Lingwen, HU Xinyue, WANG Xuefei, et al. Analysis of Correlations between Quality Characteristics of Wheat Flour and Edible Quality of Crusts from Deep-fried and Battered Pork Slices[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 309–315. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080284

· 分析检测 ·

小麦粉品质特性与挂糊油炸猪肉片外壳品质的相关性分析

张令文¹, 胡新月¹, 王雪菲², 李欣欣¹, 计红芳^{1,*}, 毕继才¹, 高海燕¹

(1. 河南科技学院食品学院, 河南新乡 453003;

2. 信阳农林学院食品学院, 河南信阳 464399)

摘要: 本文以 12 个品种小麦粉为研究对象, 研究了小麦粉的蛋白质、粉质和拉伸特性等品质指标, 及其挂糊油炸猪肉片外壳品质, 并分析了小麦粉的品质特性与挂糊油炸猪肉片外壳 (CDBPS) 品质指标间的相关关系。结果表明, 参试小麦粉蛋白及其组分含量在不同品种间存在较大差异, 其中总蛋白和湿面筋含量变异系数分别为 15.14% 和 16.56%, 球蛋白变异系数高达 62.81%。粉质参数中形成时间、稳定时间、弱化度和粉质质量指数变异系数等均较大, 拉伸特性各指标变异系数均大于 20%。挂糊油炸猪肉片外壳含油量与总蛋白含量、面筋指数、麦醇溶蛋白含量, 粉质参数的吸水率, 拉伸特性的拉伸曲线面积、拉伸阻力和延伸度均具有极显著负相关关系 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 -0.739、-0.833、-0.833、-0.797、-0.736、-0.709、-0.722。外壳硬度和易碎性均与总蛋白、麦醇溶蛋白、吸水率、拉伸曲线面积和拉伸阻力呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。此外, 外壳色度与湿面筋、面筋指数、麦醇溶蛋白和拉伸曲线面积也存在多种相关性。本研究可为挂糊油炸肉品粉类小麦专用粉选择提供一定的科学依据。

关键词: 小麦粉, 挂糊油炸猪肉片, 外壳, 品质, 粉质特性, 拉伸特性

中图分类号: TS202.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)09-0309-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080284

本文网刊:



Analysis of Correlations between Quality Characteristics of Wheat Flour and Edible Quality of Crusts from Deep-fried and Battered Pork Slices

ZHANG Lingwen¹, HU Xinyue¹, WANG Xuefei², LI Xinxin¹, JI Hongfang^{1,*}, BI Jicai¹, GAO Haiyan¹

(1. School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003;

2. Food College, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464399)

Abstract: Flours obtained from 12 different wheat cultivars were employed as materials, the characteristics of protein, the farinographic and tensile properties of wheat flour were measured. Simultaneously, the quality of crusts from deep-fried and battered pork slices (CDBPS) containing wheat flour was explored. Subsequently, the correlations between properties of different wheat flour and quality of CDBPS were analyzed. Result indicated that, the contents of protein and its main fraction in wheat flour were significantly different among different test cultivars. The coefficient of variation of total protein and wet gluten content was 15.14% and 16.56%, respectively, while that of globulin reached 62.81%. The variation coefficients of formation time, dough stability time, weakening degree and farinogram quality number were much larger, and those of each index of extensograph properties was more than 20%. Significantly negative correlations were observed between oil content of CDBPS and total content of protein, gluten index, content of gliadin, water absorption, tensile curve

收稿日期: 2021-08-26

基金项目: 河南省科技攻关项目-重点研发与推广专项 (212102110084); 国家自然科学基金项目 (U1504329); 河南省高层次人才国际化培养资助项目 (2020-16); 河南省高等学校青年骨干教师项目 (2017GGJS124); 新乡市重大科技专项 (ZD2020003)。

作者简介: 张令文 (1977-), 男, 博士, 副教授, 主要从事传统食品技术与理论方面的研究, E-mail: lingwen2008@163.com。

* 通信作者: 计红芳 (1978-), 女, 博士, 副教授, 主要从事传统食品技术与理论方面的研究, E-mail: jhf300@126.com。

area, tensile resistance, and extensibility ($r=-0.739, -0.833, -0.833, -0.797, -0.736, -0.709$ and -0.722 , respectively, $P<0.01$). Both the hardness and gradient of CDBPS were positively correlated to the total content of protein and gliadin, water absorption, tensile curve area and tensile resistance ($P<0.01$). In addition, some correlations among color value of CDBPS and wet gluten, gluten index, gliadin content and tensile curve area were observed. This paper could provide some scientific basis for the selection of special-purpose flour for the batter of CDBPS.

Key words: wheat flour; deep-fried and battered pork slices; crusts; quality; farinographic properties; tensile properties

挂糊油炸肉类制品具有外壳金黄、酥脆、内部肉嫩的特点,深受消费者的喜爱^[1-3]。该类制品的外壳品质主要受糊粉成分^[4-6]、炸制条件(加热方式、油温、油炸时间和油炸用油等)等因素的影响^[7-9]。糊粉的常见成分主要由小麦粉、各种淀粉、膨松剂和食盐等构成^[1-2]。国内外学者开展了一些关于蛋白质和淀粉等成分对挂糊油炸肉类制品外壳品质影响的研究^[10-13]。戴一朋等^[10]研究了甲基纤维素对面糊流变性能及油炸挂糊肉片油脂渗透的影响,结果发现,甲基纤维素能有效地改善面糊的流变性能以及降低油炸挂糊食品的脂肪含量;张令文等^[13]研究表明,小麦面筋蛋白添加量在 7.5% 时,挂糊油炸猪肉片外壳具有较好的食用品质。现有文献显示,小麦蛋白既能够改善油炸挂糊鸡块外壳的色泽和质构^[14],还可降低油炸挂糊鸡块外壳和挂糊油炸鱿鱼圈外壳的含油量^[14-15]。小麦蛋白的组分如麦谷蛋白和麦醇溶蛋白,其比例对挂糊油炸猪肉片外壳的色泽、含水量、含油率和质构等品质也有影响^[16]。另外,淀粉以及改性淀粉作为糊的组分,能够影响糊的黏度和挂糊油炸肉品外壳的水分含量、含油量和硬度、脆度等质构品质^[17]。

小麦粉作为糊成分中最常用的原料,能够对糊的黏度和制品外壳色泽等食用品质产生重要影响^[18-19]。然而,有关小麦粉的蛋白、粉质和拉伸特性等品质性状对挂糊油炸肉类制品外壳色度、含油量和质构等品质的影响研究鲜见报道。本文以 12 个品种小麦粉为研究对象,考察小麦粉的蛋白质及其组分含量、粉质和拉伸特性等品质性状及挂糊油炸猪肉片外壳品质,分析小麦蛋白及组分、小麦粉流变学参数与制品外壳品质的相关关系,以期对挂糊油炸肉类制品小麦专用粉的开发提供一定的试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

12 个品种小麦 周麦 18 II、百农 307、百农 201、豫保 1 号、郑麦 103、百农 207、百农 418、西农 979、百农 4199、师乐 02-1、新麦 26、百农 AK58,均来自河南新乡延津小麦产区(2018 年产);玉米胚芽油 益海嘉里食品营销有限公司;食用盐 山东肥城精制盐厂有限公司;无铝泡打粉 郑州君发科技有限公司;猪腿肉 新乡胖东来生活超市;乳酸、溴酚蓝、碘化钾 均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;十二烷基磺酸钠、考马斯亮蓝 天津市光复精细化工研究所;牛血清蛋白 分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;其它试剂未加说明皆为国产分析纯。

EF-101 不锈钢单缸电炸炉 广州威而宝有限公司;B811 全自动脂肪测定仪 瑞士布奇公司;LRMM-8040-3-D 型实验磨粉机 江苏无锡锡粮机械公司;HM4400 多功能搅拌器 Caple 公司;820604 型粉质仪 德国 Brabender 公司;Extensograph®-E 型电子式拉伸仪 德国 Brabender 公司;CR400 色差仪 柯尼卡美能达控股株式会社;TA.XT2i 物性测定仪 英国 Stable Micro Systems 公司;XW-80A 漩涡混合器 江苏海门市其林贝尔仪器制造有限公司;SHA-C 水浴恒温振荡器 常州国华电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 小麦粉的制备 12 种小麦种子经润麦后利用实验磨粉机磨粉,出粉率 60% 左右。磨粉机主要参数:每对磨辊两端弹簧长度为 52 mm,筛链的链中心到每边的偏心距为 1.25 cm,磨辊轧距为 0.1 mm。

1.2.2 小麦粉的品质分析

1.2.2.1 小麦粉的蛋白品质 蛋白含量参照 GB/T 5009.5-2010 凯氏定氮法,蛋白质的换算系数取 5.7;SDS 沉降值采用 NY/T 1095-2006 小麦沉淀值测定 Zeleny 法测定;湿面筋含量测定采用 GB/T 5506.2-2008 小麦和小麦粉面筋含量第 2 部分:仪器法测定湿面筋测定;面筋指数采用 SB/T 10248-1995 小麦粉湿面筋质量测定方法-面筋指数法测定。

小麦粉中蛋白质各组分的测定参考刘锐等^[20]、赵清宇^[21]的方法。小麦粉中蛋白质各组分的提取方法如下:a.清蛋白:称取 1.00 g 试样于 50 mL 离心管中,加 10 mL 蒸馏水,用漩涡混匀器振荡混匀后将离心管转移至 45 ℃ 水浴振荡器中,振荡(100 r/min)提取 30 min。提取后离心(5000 r/min)20 min,将上清液移入凯氏管中。用蒸馏水如上法洗涤残渣 2 次,每次加水 10 mL,离心 10 min;第 1 次振荡 20 min,第 2 次振荡 10 min;上清液并入提取液中;b.球蛋白:向 a.得到的残渣中加入 10 mL 10% 氯化钠溶液,同前提取离心操作,并用氯化钠溶液洗涤残渣 2 次,提取液移入凯氏管中。c.麦醇溶蛋白:向 a.得到的残渣中加入 10 mL 75% 的乙醇,同前提取离心操作,并用氯化钠溶液洗涤残渣 2 次,提取液移入凯氏管中。d.麦谷蛋白:向 a.得到的残渣中加入 10 mL 0.2% 的氢氧化钠溶液,同前提取离心操作,并用 0.2% 氢氧化钠溶液洗涤残渣 2 次,提取液移入凯氏管中。后续测定与蛋白含量测定步骤相同。

1.2.2.2 小麦粉的粉质特性分析 利用粉质仪参考 GB/T 14614-2006 小麦粉面团的物理特性吸水量和

流变学特性的测定粉质仪法测定。主要测定条件为: 慢搅拌叶片转速 63 r/min, 扭力矩 9.9 mN·m/FU。

1.2.2.3 小麦粉的拉伸特性分析 利用拉伸仪参考 GB/T 14615-2006 小麦粉面团的物理特性流变学特性的测定拉伸仪法测定。主要测定条件为: 搓球装置转速 83 r/min, 面团辊转速 15 r/min, 拉伸钩速度 14.5 mm/s。

1.2.3 挂糊油炸猪肉片外壳制备及其品质分析

1.2.3.1 挂糊油炸猪肉片外壳制备 参考张令文等^[13]的方法制备挂糊油炸猪肉片外壳。首先, 取小麦粉 150 g, 用搅拌器将其与 100 g 小麦淀粉、2.5 g 泡打粉和 3.75 g 食盐搅拌均匀后, 加入 325 mL 饮用水, 用多功能搅拌器 1 档再次搅拌 3 min 后得糊。随后, 将猪肉片(3 cm× 2 cm× 0.6 cm)转移至铝盒中, 移取 5 mL 上一步制得的糊于不锈钢纱网上, 放置 2 min 后转移至 180 ℃ 玉米胚芽油中初次油炸 100 s 后取出, 待油温升至 200 ℃ 后再次油炸 60 s。最后, 待样品预冷至室温后, 迅速分离, 得挂糊油炸猪肉片外壳。

1.2.3.2 挂糊油炸猪肉片外壳品质分析 a.表观色度: 使用色差仪测定样品的 L^* 、 a^* 和 b^* 值; b.含水量: 参考 GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定进行; c.含油量: 参考 GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定测定; d.质构: 使用质构仪参考李春红等^[22]方法并进行修改, 测定条件为: 试验动作, 返回起点, 选择 1 mm/s 为测前、测中、测后速度; 感应力 Auto-5 g; 测试距离 20 mm; 数据采集速率为 400 pps。

1.3 数据处理

实验中每组数据均重复 3 次, 结果以平均值±标准差表示。采用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理、SPSS19.0(IBM 公司)进行统计分析, 差异显著性分析采用 LSD 检验法, 显著性水平选取 $P<0.05$ 、极显著水平选取 $P<0.01$ 。

2 结果与分析

2.1 不同品种小麦粉的品质分析

2.1.1 小麦粉的蛋白品质 12 种小麦粉的蛋白品质如表 1 所示。实验范围内小麦粉的总蛋白含量为

8.16%~14.00%, 湿面筋含量为 19.00%~39.10%, 面筋指数为 65.75%~99.69%; 总蛋白质平均含量为 11.40%, 湿面筋平均含量为 29.79%, SDS 沉降值平均为 58.77 mL。

依据 GB/T 17320-2013 小麦品种品质分类小麦粉的品质指标标准对参试小麦粉进行评价, 除豫保 1 号和郑麦 103 制备的小麦粉外, 其余样品属于中高筋粉。总蛋白和湿面筋含量的变异系数较大, 其值分别为 15.14% 和 16.56%, 表明参试小麦粉中蛋白质存在较大的差异^[23]。从总蛋白、湿面筋含量、面筋指数及 SDS 沉降值来看, 12 种小麦粉品种间个体差异较大, 本次实验所选取的原料比较有代表性; 同时也表明, 不同品种小麦粉之间的差异, 不利于食品加工企业对挂糊油炸猪肉片品质的控制。

12 种小麦粉的不同蛋白组分变异系数均较大, 其中, 球蛋白变异系数最大, 为 62.81%; 麦醇溶蛋白的变异系数也较大(13.44%); 麦谷蛋白变异系数最小(仅为 9.28%)(表 1)。此外, 本文参试样品蛋白质各组分含量与张媛等^[24]的研究结果相似。

2.1.2 小麦粉的粉质特性 粉质曲线与小麦粉内在质量关系密切, 可作为小麦原料品质评估的重要参数^[25-26]。粉质特性中吸水率较大的小麦粉品质相对较好, 形成时间越长则面团弹性越强, 稳定时间越长则面筋强度越大, 弱化度大则面粉筋力弱^[27]。除吸水率外, 形成时间、稳定时间、弱化度和粉质质量指数的变异系数均较大; 其中, 形成时间变异系数最大, 弱化度变异系数较小, 但仍高达 78.99%(表 2)。由表可知, 参试的 12 种小麦粉粉质特性差异较大, 不利于餐饮行业和食品加工企业对挂糊油炸制品品质的控制。

表 2 不同品种小麦粉的粉质特性
Table 2 Farinographic properties of flour from different wheat cultivars

指标	平均值	标准差	变幅	极差	变异系数(%)
吸水率(%)	58.09	5.78	48.10~70.70	22.60	9.96
形成时间(min)	5.25	7.18	1.40~28.50	27.10	136.74
稳定时间(min)	7.88	6.95	1.70~25.20	23.50	88.24
弱化度(BU)	64.25	50.75	5.00~171.00	166.00	78.99

2.1.3 小麦粉的拉伸特性 拉伸特性参数中, 面团的拉伸曲线面积、拉伸阻力、延伸度, 拉伸比例分别为: 27.00~250.00 cm²、165.00~569.00 BU、97.00~206.00 mm、1.10~3.40。拉伸特性各参数的变异系数均大于 20%; 其中, 拉伸曲线面积变异系数高达 72.09%(表 3)。可见参试小麦粉的加工品质存在差异^[28-29], 所选样品具有代表性。

2.2 不同品种小麦粉制作的挂糊油炸猪肉片外壳品质

不同品种小麦粉对挂糊油炸猪肉片外壳亮度、红度和黄度影响不同, 其中对 a^* 值影响最大, 变异系数高达 39.17%; 对 L^* 值影响最小, 变异系数仅为

表 1 不同品种小麦粉的蛋白品质

Table 1 The protein quality of flour from different wheat cultivars

指标	平均值	标准差	变幅	极差	变异系数(%)
总蛋白含量(%)	11.40	1.73	8.16~14.00	5.84	15.14
清蛋白含量(%)	3.07	0.54	2.08~3.93	1.86	17.69
球蛋白含量(%)	0.97	0.61	0.22~2.53	2.31	62.81
麦醇溶蛋白含量(%)	3.48	0.47	2.79~4.44	1.65	13.44
麦谷蛋白含量(%)	3.74	0.35	3.06~4.18	1.12	9.28
湿面筋含量(%)	29.79	4.93	19.00~39.10	20.10	16.56
面筋指数(%)	88.37	9.94	65.75~99.69	33.94	11.25
SDS沉降值(mL)	58.77	15.30	36.00~81.60	45.60	26.03

表3 不同品种小麦粉的拉伸特性

Table 3 Tensile properties of flour from different wheat cultivars

指标	平均值	标准差	变幅	极差	变异系数(%)
拉伸曲线面积(cm ²)	92.67	66.80	27.00~250.00	223.00	72.09
拉伸阻力(BU)	321.96	122.57	165.00~569.00	404.00	38.07
延伸度(mm)	141.83	31.95	97.00~206.00	109.00	22.53
拉伸比例	2.26	0.63	1.10~3.40	2.30	27.95

6.42%。含不同品种小麦粉的挂糊油炸猪肉片外壳含水量和含油量分别为 8.50%~19.52%、13.97%~33.48%，变异系数均大于 20%。不同品种小麦粉对外壳质构参数的影响均较大，硬度和易碎性变异系数分别为 26.07%、26.44%，均超过 20%；对脆性影响相对较小，变异系数为 13.06%(表 4)。可以看出，12 种小麦粉制备的挂糊油炸猪肉片外壳品质差别较大，在加工挂糊油炸肉类制品时，应考虑选择适宜的小麦粉。

2.3 小麦粉品质特性与挂糊油炸猪肉片外壳品质的相关性

2.3.1 小麦粉的蛋白品质与挂糊油炸猪肉片外壳品质的相关分析 不同品种小麦粉的蛋白品质与挂糊油炸猪肉片外壳品质间的相关性分析结果见表 5。总蛋白含量与含油量呈极显著负相关($r=-0.739$, $P<0.01$), 与 a^* 值、 b^* 值、硬度和易碎性均具有正相关关系。杨念^[30]研究小麦粉理化性质与油条品质的关系时发现, 小麦粉蛋白含量与速冻油条含油率呈负相关($r=-0.507$, $P<0.05$); 吴欣^[31]研究报道小麦蛋白含量与油条硬度相关具有正相关关系, 相关系数为

0.477。可以看出, 上述两位学者的研究报道与本文研究结果类似。

小麦蛋白的组成中, 麦醇溶蛋白与 L^* 值呈显著负相关($P<0.05$), 而与 b^* 值呈极显著正相关($P<0.01$); 麦醇溶蛋白和球蛋白均与 a^* 值、易碎性和硬度呈正相关关系, 与含油量呈显著负相关关系(相关系数分别为-0.833、-0.612, $P<0.05$)。张媛^[32]研究发现, 小麦粉麦醇溶蛋白和球蛋白与油条含油率的相关系数分别为-0.263、-0.624, 与本文研究结果类似。此外, 麦谷蛋白与外壳的易碎性和硬度均呈显著正相关, 而张媛^[32]报道麦谷蛋白与油条的硬度呈显著负相关($r=-0.802$, $P<0.05$), 这可能与小麦粉来源、油条与挂糊油炸猪肉片外壳的加工方式等不同有关。

湿面筋含量与外壳 a^* 和 b^* 值、硬度均具有正相关关系, 相关系数分别为 0.736($P<0.01$)、0.660($P<0.05$)和 0.613($P<0.05$), 而与 L^* 值呈显著负相关($r=-0.697$, $P<0.05$)。陈丽等^[33]研究发现, 小麦粉湿面筋含量与油条硬度的相关关系 r 值为 0.571, 与本文研究结果类似。面筋指数与 L^* 值和含油量均呈负

表4 含不同品种小麦粉的挂糊油炸猪肉片外壳品质

Table 4 Quality of crusts from deep-fried and battered pork slices containing flour from different wheat cultivars

指标	平均值	标准差	变幅	极差	变异系数(%)
L^*	51.99	3.34	45.39~58.05	12.66	6.42
a^*	6.79	2.66	3.46~10.65	7.19	39.17
b^*	19.68	2.10	16.68~24.60	7.92	10.69
含水量(%)	12.49	2.93	8.50~19.52	11.02	23.46
含油量(%)	23.56	5.40	13.97~33.48	19.51	22.91
易碎性(g/s)	1213.75	320.89	809.49~2042.72	1233.23	26.44
硬度(g)	9682.34	2524.54	6460.87~15793.49	9332.62	26.07
脆性(mm)	8.08	1.06	5.97~9.48	3.51	13.06

表5 小麦粉蛋白品质与挂糊油炸猪肉片外壳品质的相关性

Table 5 Correlation between characteristics of flour protein from different wheat cultivars and quality of crust from deep-fried and battered pork slices

指标	湿面筋	面筋指数	沉降值	总蛋白	清蛋白	球蛋白	麦醇溶蛋白	麦谷蛋白
L^*	-0.697*	-0.589*	-0.651*	-0.567	0.433	-0.485	-0.637*	-0.289
a^*	0.736**	0.723**	0.749**	0.676*	-0.522	0.651*	0.783**	0.507
b^*	0.660*	0.586*	0.529	0.588*	-0.400	0.428	0.756**	0.519
含水量	-0.342	0.003	-0.208	-0.055	-0.076	0.012	0.031	0.109
含油量	-0.539	-0.833**	-0.695*	-0.739**	0.581*	-0.612*	-0.833**	-0.545
易碎性	0.534	0.780**	0.666*	0.766**	-0.610*	0.681*	0.828**	0.670*
硬度	0.613*	0.674*	0.610*	0.806**	-0.569	0.696*	0.783**	0.605*
脆性	-0.101	0.129	-0.127	0.073	-0.193	0.104	0.209	0.014

注: *表示相关性显著($P<0.05$); **表示相关性极显著($P<0.01$); 表6~表7同。

相关, 相关系数分别为 -0.589 ($P<0.05$) 和 -0.833 ($P<0.01$); 与 a^* 值、 b^* 值、易碎性和硬度呈正相关。沉降值与 L^* 值和含油量呈显著负相关 ($P<0.05$), 而与 a^* 值、易碎性和硬度呈正相关 (表 5)。

2.3.2 小麦粉粉质特性与挂糊油炸猪肉片外壳品质相关分析 挂糊油炸猪肉片外壳 L^* 值与粉质参数中的面团稳定时间呈极显著负相关 ($r=-0.792$, $P<0.01$), 与弱化度呈极显著正相关 ($r=0.722$, $P<0.01$); 而 a^* 值与稳定时间呈显著正相关 ($r=0.604$, $P<0.05$), 与弱化度呈显著负相关 ($r=-0.616$, $P<0.05$) (表 6)。

表 6 小麦粉的粉质特性与挂糊油炸猪肉片外壳品质的相关分析

Table 6 Correlation between farinographic properties of flour and quality of crust from deep-fried and battered pork slices

指标	吸水率	形成时间	稳定时间	弱化度
L^*	-0.410	-0.091	-0.792**	0.722**
a^*	0.447	0.385	0.604*	-0.616*
b^*	0.210	0.275	0.476	-0.544
含水量	0.184	0.403	-0.404	0.311
含油量	-0.797**	-0.553	-0.644*	0.637*
易碎性	0.773**	0.734**	0.576	-0.500
硬度	0.775**	0.683*	0.676*	-0.416
脆性	0.104	0.214	0.024	0.058

含油量与吸水率、稳定时间均呈负相关关系, 相关系数分别为 -0.797 、 -0.644 ; 而与弱化度呈显著正相关 ($r=0.637$, $P<0.05$)。此外, 外壳易碎性和硬度均与吸水率、形成时间呈正相关关系 (表 6)。

2.3.3 小麦粉拉伸特性与挂糊油炸猪肉片外壳品质相关分析 小麦粉的拉伸参数与挂糊油炸猪肉片外壳品质间存在多种相关性 (表 7)。拉伸曲线面积和拉伸阻力均与 L^* 值和含油量呈负相关关系, 而均与色度 a^* 值、质构参数的硬度和易碎性呈正相关。陈丽等^[33] 研究小麦粉拉伸特性与油条质构关系时, 也得到类似的结果, 拉伸阻力与油条硬度呈显著正相关 ($r=0.887$, $P<0.05$)。面团的延伸度与外壳含油量呈极显著负相关 ($r=-0.722$, $P<0.01$), 而与易碎性和硬度具有正相关关系, 相关系数分别为 0.863 、 0.632 。此外, 拉伸比例与外壳 L^* 值具有极显著负相关

表 7 小麦粉拉伸特性与挂糊油炸猪肉片外壳品质相关分析

Table 7 Correlation between tensile properties of flour and quality of crust from deep-fried and battered pork slices

指标	拉伸曲线面积	拉伸阻力	延伸度	拉伸比例
L^*	-0.627*	-0.801**	-0.278	-0.797**
a^*	0.729**	0.822**	0.471	0.700*
b^*	0.582*	0.558	0.487	0.330
含水量	-0.094	-0.334	0.264	-0.589*
含油量	-0.736**	-0.709**	-0.722**	-0.387
易碎性	0.836**	0.734**	0.863**	0.317
硬度	0.834**	0.798**	0.632*	0.535
脆性	0.036	-0.153	0.205	-0.379

($r=-0.797$, $P<0.01$), 与含水量具有显著负相关关系 ($r=-0.589$, $P<0.05$), 而与 a^* 值呈显著正相关 ($r=0.700$, $P<0.05$)。

3 结论

小麦粉作为挂糊油炸肉品糊成分的最常用原料, 其品质特性对挂糊油炸肉品外壳品质有影响。不同品种小麦粉对挂糊油炸猪肉片外壳色度、吸油率和质构品质影响不同。试验结果表明, 小麦粉总蛋白、麦醇溶蛋白含量, 粉质参数的吸水率, 拉伸特性的拉伸曲线面积和拉伸阻力均与挂糊油炸猪肉片外壳的含油量呈极显著负相关 ($P<0.01$), 而与外壳硬度和易碎性具有极显著正相关关系 ($P<0.01$)。此外, 外壳色度与麦醇溶蛋白、湿面筋、面筋指数和拉伸曲线面积也具有不同相关性。小麦粉的蛋白品质、粉质特性和拉伸参数与挂糊油炸猪肉片外壳品质间存在多种相关关系。餐饮和食品加工企业可通过调控小麦粉蛋白质及其组分-麦醇溶蛋白含量, 以及配粉的拉伸特性等小麦粉品质特性来改善挂糊油炸肉品的外壳品质。

参考文献

- [1] 计红芳, 张令文, 王方, 等. 糊的组成成分对挂糊油炸肉制品品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 384-389.
- [2] 张令文, 杨铭铎, 计红芳, 等. 淀粉对油炸挂糊猪肉片品质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 114-117. [ZHANG L W, YANG M D, JI H F, et al. Effect of starches on the quality of deep-fried battered pork slices[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(8): 114-117.]
- [3] JEONG S, KWAK J, LEE S. Machine learning workflow for the oil uptake prediction of rice flour in a batter-coated fried system[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2021: 102796.
- [4] SABANIS D, TZIA C. Effect of rice, corn and soy flour addition on characteristics of bread produced from different wheat cultivars[J]. Food and Bioprocess Technology, 2009, 2: 68-79.
- [5] NASIRI F D, MOHEBBI M, YAZDI F T, et al. Effects of soy and corn flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried shrimp nuggets[J]. Food Bioprocess Technology, 2012, 5(4): 1238-1245.
- [6] 吴鹏, 高子武, 还传明, 等. 炸糊配方对速食鸡块得率及质构的影响[J]. 美食研究, 2020, 37(4): 51-56. [WU P, GAO Z W, HUAN C M, et al. Effect of frying paste formula on yield and texture of instant chicken nuggets[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2020, 37(4): 51-56.]
- [7] DIAMANTE L M, PRESSWOOD H A, Savage G P, et al. Vacuum fried gold kiwifruit: Effects of frying process and pretreatment on the physico-chemical and nutritional qualities[J]. International Food Research Journal, 2011, 18: 632-638.
- [8] 张令文, 鄂正博, 计红芳, 等. 远红外辅助油炸对挂糊油炸猪

- 肉片食用品质的影响[J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(2): 404-406.
- [ZHANG L W, E Z B, JI H F, et al. Effect of far-infrared assisted frying on edible quality of battered and fried pork slices[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 53(2): 404-406.]
- [9] 姜万舟, 汪倩, 王瑞花, 等. 挂糊鳊鱼块油炸工艺优化及不同工艺对非挥发性呈味物质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(7): 182-187. [JIANG W Z, WANG Q, WANG R H, et al. Process optimization and analysis of non-volatile flavor compounds of deep-frying coated *Aristichthys nobilis*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(7): 182-187.]
- [10] 戴一朋, 章海风, 凌晓冬, 等. 甲基纤维素对面糊流变性能及油炸挂糊肉片油脂渗透的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(22): 79-85. [DAI Y P, ZHANG H F, LING X D, et al. Effect of methylcellulose on rheological properties of batter and oil permeation of fried pork slices[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(22): 79-85.]
- [11] SALVADOR A, SANZ T, FISZMAN S M. Rheological properties of batters for coating products-effect of addition of corn flour and salt[J]. *Food Science and Technology International*, 2003, 9: 23-27.
- [12] CHING L W, ZULKIPLI N A M, MUHAMAD I I, et al. Dietary management for healthier batter formulations[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 113: 411-422.
- [13] 张令文, 王方, 计红芳, 等. 小麦面筋蛋白对挂糊油炸猪肉片外壳食用品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(9): 13-18. [ZHANG L W, WANG F, JI H F, et al. Effect of wheat gluten protein on the edible quality of crusts from deep-fried battered pork slices[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(9): 13-18.]
- [14] DOGAN S F, SAHIN S, SUMNU G. Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried chicken nuggets[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 71: 127-132.
- [15] ZENG H, CHEN J, ZHAO J, et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 73: 425-431.
- [16] 张令文, 王雪菲, 琚星, 等. 麦谷蛋白/麦醇溶蛋白对挂糊油炸猪肉片外壳食用品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(9): 14-19. [ZHANG L W, WANG X F, JU X, et al. Effect of glutenin-gliadin ratio on the edible quality of crusts from deep-fried battered pork slices[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(9): 14-19.]
- [17] ZHANG L, YANG M, JI H, et al. Some physicochemical properties of starches and their influence on color, texture, and oil content in crusts using a deep-fat-fried model[J]. *CyTA Journal of Food*, 2014, 12(4): 347-354.
- [18] AMBOON W, TULYATHAN V, TATTIYAKUL J. Effect of hydroxypropyl methylcellulose on rheological properties, coating pick-up, and oil content of rice flour-based batters[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(2): 601-608.
- [19] RAHIMI J, NGADI M O. Surface ruptures of fried batters as influenced by batter formulations[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 152: 50-56.
- [20] 刘锐, 魏益民, 张波, 等. 面条制作过程中蛋白质组成的变化[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(11): 198-204. [LIU R, WEI Y M, ZHANG B, et al. Changes of protein composition in the noodle processing and cooking[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(11): 198-204.]
- [21] 赵清宇. 小麦蛋白特性对面条品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012. [ZHAO Q Y. The influence of protein characteristics on noodles quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.]
- [22] 李春红, 潘家荣, 张波. 物性测试仪对休闲食品酥脆性的测量[J]. *现代科学仪器*, 2008, 6: 59-62. [LI C H, PAN J R, ZHANG B. The crispness measurements to snack foods using texture analyzer[J]. *Modern Scientific Instruments*, 2008, 6: 59-62.]
- [23] 冷越, 唐梦琦, 周梦舟, 等. 小麦粉品质与调味面制品品质的相关性分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(16): 109-114. [LENG Y, TANG M Q, ZHOU M Z, et al. Correlation between wheat flour quality and seasoning flour products quality[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(16): 109-114.]
- [24] 张媛, 宣以峰, 陈婷婷, 等. 小麦蛋白和淀粉特性与油条品质的相关性研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(6): 178-182. [ZHANG Y, XUAN Y F, CHEN T T, et al. Correlation of wheat protein, starch properties and deep-fried dough sticks quality[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(6): 178-182.]
- [25] 付一山. 面粉企业质量与工艺控制的一些思考[J]. *现代面粉工业*, 2011, 5: 39-41. [FU Y S. Some thoughts on quality and process control of flour enterprises[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2011, 5: 39-41.]
- [26] 黄亚伟, 杨壮. 小麦粉质特性的可见/近红外光谱快速测定研究[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(3): 120-123. [HUANG Y W, YANG Z. Rapid determination of flour farinograph parameters using visible/near infrared spectroscopy[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 31(3): 120-123.]
- [27] 潘治利, 田萍萍, 黄忠民, 等. 不同品种小麦粉的粉质特性对速冻熟制面条品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(3): 307-314. [PAN Z L, TIAN P P, HUANG Z M, et al. Effects of flour characteristics of different wheat cultivars on quality of frozen cooked noodles[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(3): 307-314.]
- [28] 张智勇, 王春, 孙辉, 等. 小麦粉理化特性与面条评分相关性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(9): 10-15. [ZHANG Z Y, WANG C, SUN H, et al. Study on the correlation between noodle quality and the physico-chemical properties of wheat flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(9): 10-15.]
- [29] 潘治利, 罗元奇, 艾志录, 等. 不同小麦品种醇溶蛋白的组成与速冻水饺面皮质构特性的关系[J]. *农业工程学报*, 2017, 32(4): 242-248. [PAN Z L, LUO Y Q, AI Z L, et al. Relationship between composition of gliadin and texture properties of quick-frozen dumpling skins based on different wheat varieties[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 32(4): 242-248.]
- [30] 杨念. 发酵型速冻油条的制作及冻藏过程中品质变化与改良的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017. [YANG N. Production,

quality changes and improvement of fermented frozen bread stick in frozen storage[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017.]

[31] 吴欣. 小麦蛋白质及其组分对油条品质的影响研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014. [WU X. Study on the effect of wheat protein content and glutenin-to-gliadin ratio to you-tiao's quality[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2014.]

[32] 张媛. 小麦蛋白和淀粉加工性质变化及其对油条品质的影

响 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016. [ZHANG Y. Changes of wheat protein and starch during the processing in relation to the you-tiao's quality[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.]

[33] 陈丽, 张媛, 宣以锋, 等. 五个品种小麦的品质分析与加工油条质构特性的相关性研究 [J]. 食品科技, 2015, 40(4): 209-214. [CHEN L, ZHANG Y, XUAN Y F, et al. Effect of wheat grain and their flour from 5 varieties on the texture of fried bread stick[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(4): 209-214.]