

不同品种小麦搭配所制面粉的理化特性研究

黄璐瑶^{1,2}, 张影全^{2*}, 郭波莉², 关二旗³, 赵海燕^{1*}, 张波², 魏益民²

1. 青岛农业大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109

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

3. 河南工业大学 粮油食品学院 河南省粮食产业技术创新中心 郑州市小麦深加工与质量控制重点实验室, 河南 郑州 450001

摘要:为研究不同品质类型的小麦品种搭配制粉后面粉理化特性变化规律,明确其配麦效应,为科学指导配麦工艺设计、专用粉生产等提供参考,以西农979、伟隆169、西农511、小偃22为原料,按照不同质量比两两搭配组合磨制小麦粉,测定其蛋白质特性、淀粉糊化特性、面团流变学特性,利用回归曲线拟合分析不同品种小麦搭配后面粉的理化特性,并对其配麦效应进行评估。结果表明:伟隆169、西农979、西农511分别与小偃22搭配时,面粉的蛋白质含量、湿面筋含量、糊化温度、稳定时间、最大拉伸阻力均呈“一项式”变化规律,表现为平均效应;峰值黏度均呈“二项式”变化,表现出正效应。西农979、伟隆169分别与西农511搭配时,面粉的蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、延伸性均呈“二项式”变化,表现出负效应。不同品质类型的小麦搭配制粉效应不同,利用回归曲线拟合可以对不同品种小麦搭配所制面粉的理化特性进行有效预测。

关键词:小麦;配麦;制粉;理化特性;配麦效应

中图分类号:TS213.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2383(2023)01-0017-09

DOI:10.16433/j.1673-2383.2023.01.003

Study on the physicochemical properties of flour milled by different wheat variety blending

HUANG Luyao^{1,2}, ZHANG Yingquan^{2*}, GUO Boli², GUAN Erqi³, ZHAO Haiyan^{1*}, ZHANG Bo², WEI Yimin²

1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

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

3. College of Food Science and Engineering, Henan Food Crop Collaborative Innovation Center, Zhengzhou Key Laboratory of Wheat Deep Processing and Quality Control, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Wheat blending is one of the widely used technical means in flour production, especially special flour production, which is closely related to product quality, processing cost, and economic efficiency, etc. A systematic study of the changes in the physicochemical characteristics of flour milling from different quality types of wheat varieties, and clarification of their matching effects can more accurately predict the quality traits of matching flour, and provide scientific guidance for the production and processing of special

收稿日期:2022-07-28

基金项目:“十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD2100900);财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系(CARS-03);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(S2022JBKY-04)

作者简介:黄璐瑶(1997—),女,山东济南人,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全。

*通信作者:张影全,博士,副研究员,E-mail:zhangyingquan821@126.com;赵海燕,博士,副教授,E-mail:xinyuyuan@163.com。

wheat flour. In this study, Xinong 979, Weilong 169, Xinong 511, and Xiaoyan 22 were used as raw materials, and combined in two-by-two combinations according to the mass ratios of 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20, and 100:0 to prepare wheat flour. The protein properties, starch pasting properties, and dough rheological properties of the flours were determined. Subsequently, the physicochemical properties and the wheat-matching effect of different wheat varieties were analyzed by regression curve fitting. In order to clarify the variation pattern and the effect of wheat blending, a regression curve fitting was performed, "monomial" or "binomial" equation was adopted to reveal the variation of flour quality characteristics with the proportion of wheat blending combinations. The results showed that the protein content, wet gluten content, pasting temperature, stability time, and maximum tensile resistance of the flour exhibited a "monomial" variation, showing an average effect, while the peak viscosity exhibited a "binomial" variation, showing a negative effect, when Weilong 169, Xinong 979 and Xinong 511 were blended with Xiaoyan 22, respectively. The protein content, wet gluten content, water absorption and extensibility of the flour exhibited a "binomial" variation, when Xinong 979 and Weilong 169 were blended with Xinnong 511, respectively. The protein content, wet gluten content, extensibility of the flour exhibited a "binomial" variation, showing a negative effect, when Xinong 979 were blended with Weilong 169. The physicochemical properties of wheat flour can be predicted effectively by regression curve fitting, which can provide a reference for scientific wheat blending process design and special flour production.

Key words: wheat; blending; milling; physicochemical properties; blending effect

小麦籽粒搭配制粉(也称配麦)是面粉,尤其是专用粉生产中广泛使用的技术手段之一,搭配制粉与产品质量、加工成本、经济效益等密切相关^[1]。不同类型小麦品种搭配制粉,可以充分利用小麦原料资源,实现优势互补,保证和稳定产品质量^[2]。系统研究不同小麦品种搭配所制面粉的理化特性及配麦效应,对配麦的工艺设计、产品稳定的质量以及专用粉生产具有重要指导意义。

面粉质量的75%与小麦籽粒自身质量特性有关,25%受磨粉技术和磨粉环境影响^[3]。品种多、品质差异大是我国小麦供给的主要特征之一^[4]。工业制粉生产过程一般选取不同类型的小麦籽粒进行合理搭配,获得具有特定物理、化学和加工特性的混合原料,再通过加工生产出符合特定要求的面粉,以调控和稳定小麦粉质量^[5]。实际生产过程中,主要是根据小麦色泽、湿面筋含量、水分含量、杂质含量、生产成本、专用小麦粉质量指标等进行搭配制粉;搭配形式主要包括进机口搭配、毛麦仓下搭配、润麦仓下搭配、净麦搭配等;搭配比例的计算有表格法、交叉法、方程法、不定方程式法等形式^[6]。上述计算方法的计算本质均为加权平均算法。

制粉是一个复杂的物理粉碎、分离过程,同时带来了蛋白质、淀粉等化学组分的重新分布,

进而导致面粉质量发生显著变化,不同品质类型小麦搭配往往表现出正效应或负效应,加权平均法计算出的小麦粉质量性状理论值与生产实测值存在一定差距,导致难以实现对配麦制粉产品质量的精准预测和调控^[1]。小麦搭配所制面粉的质量特性主要由基础小麦品种品质、搭配比例、制粉工艺等决定。高路^[7]研究表明,西农979与小偃22、普冰143配麦、配粉时,随着西农979搭配比例的增加,蛋白质质量整体表现为正效应,淀粉特性则为负效应;不同小麦品种间配麦、配粉的效应有较大差异,其变化趋势与原料的质量密切相关。梁静等^[8]以强筋小麦新麦26与弱筋小麦皖麦47为材料,按10:0、9:1、8:2等共11个比例配麦,发现随着皖麦47比例的增加,面条总评分逐渐降低,面条品质呈下降趋势。刘鑫^[9]研究认为,通过配麦可以较好地改善中筋、低筋粉的理化指标,可以弥补单一小麦制作饺子皮存在的缺陷,使其感官特性得到明显改善。常柳等^[10]将3种澳洲小麦按比例分别与两种中国小麦配麦制粉,研究配麦对小麦粉及面条质量的影响,结果表明,配麦可以改变小麦粉面筋强度、面团流变学特性,配麦后小麦粉的质量特性与小麦原料的特性密切相关。王华君等^[11]以皖麦33和安农糯10为材料,搭配研究结果表明,当糯小麦(安农糯10)的比例为20%时,小麦粉的淀粉质

量性状得以改善,面条质量随之提高。

现有研究结果对于不同类型小麦品种搭配所制面粉的特性随配麦比例的变化及配麦效应阐述并不系统或尚不明确。作者设计以 4 个不同质量类型小麦品种为材料进行两两组合,每种组合中 2 个小麦品种按照质量比 0:100、20:80、40:60、60:40、80:20、100:0 进行搭配后润麦,采用布勒实验磨粉机制粉,测定面粉蛋白质特性、面粉糊化特性、面团流变学特性,通过回归曲线拟合分析不同类型小麦品种按照同比例搭配后面粉理化特性的变化及配麦效应,以期为制粉企业利用配麦技术调控和稳定面粉质量,为专用粉生产提供参考和数据支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

选取 4 个籽粒质量存在较大差异的小麦品种为供试材料。西农 979;河南金粒种业有限公司;西农 511;西北农林科技大学农学院吉万全教授提供;伟隆 169、小偃 22;陕西杨凌伟隆农业科技有限公司。

氯化钠、氢氧化钠、硫酸、硼酸:国药集团化学试剂有限公司;硫酸铜、硫酸钾:上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

BLH-1780 润麦器:浙江伯利恒仪器有限公司;MLU-202 实验磨粉机:瑞士 Buhler 公司;ME4002E 电子天平:上海梅特勒-托利多仪器有限公司;DHG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱:北京陆希科技有限公司;DA7300 近红外谷物品质分析仪、2200 面筋仪:瑞典 Perten 公司;Kjeltec TM 2300 全自动凯氏定氮仪:丹麦 Foss 公司;MVAG803202 快速黏度仪、Farinograph-E 粉质仪、Extensograph-E 拉伸仪:德国 Brabender 公司。

1.3 试验设计

4 个小麦品种按照两两搭配组成 6 个组合,每个组合均按照质量比 100:0、80:20、60:40、40:60、20:80、0:100 搭配,共计 28 个小组。按照搭配后小麦籽粒最终水分含量 15.5% 润麦,润麦器混合润麦 1 h 后,密封静置 23 h。采用实验磨粉机研磨制粉,面粉出粉率控制在 70% 左右。每个比例小组重复制粉 2 次。

1.4 方 法

籽粒水分含量参照 GB/T 24898—2010 测定;籽粒粗蛋白质含量参照 GB/T 24899—2010 测定;小麦粉蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016 测定;小麦粉湿面筋含量参照 GB/T 5506.2—2008 测定;糊化特性参照 GB/T 24853—2010 测定;粉质参数参照 GB/T 14614—2019 测定;拉伸参数参照 GB/T 14615—2019 测定。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 整理数据、绘制图表,采用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析($P < 0.05$)。

使用 SPSS 软件对 2 个小麦品种面粉质量性状随配麦比例的变化依次进行一项式(线性)、二项式方程拟合回归曲线,以方程拟合 $R^2 \geq 0.8$ 作为判断依据,不同小麦搭配制粉,面粉理化特性变化及配麦效应主要分为以下 4 种情况:(1)符合线性变化规律,表现为平均效应;(2)符合二项式变化规律,拟合曲线方程 $y = ax^2 + bx + c$ 中 $a < 0$, 表现为正效应;(3)符合二项式变化规律,拟合曲线方程 $y = ax^2 + bx + c$ 中 $a > 0$, 表现为负效应;(4)变化规律不明显,既不符合一项式变化规律,也不符合二项式变化规律。

2 结果与分析

2.1 小麦品质性状

4 个小麦品种的主要品质性状如表 1 所示。不同小麦品种间容重、蛋白质含量、湿面筋含量、粉质参数、拉伸参数等均存在显著差异,其中伟隆 169 的容重、面团稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸能量最高;小偃 22 的蛋白质含量、湿面筋含量最高,均显著高于其余 3 个小麦品种。参照 GB/T 17320—2013 对小麦品种的分类标准,伟隆 169 各项质量指标均达到强筋小麦标准要求;西农 979、西农 511 达到中强筋小麦标准要求。

2.2 配麦所制面粉的蛋白质特性

2.2.1 蛋白质含量

磨粉过程是一个复杂的物理变化,并引起化学变化的过程。小麦籽粒硬度、大小等均会对磨粉过程能耗、产品质量等产生一定影响^[12-14]。蛋白质含量是评价面粉质量的重要指标,面粉蛋白质含量受磨粉过程中剥刮程度的影响较大^[15]。4 种小麦两两搭配所制面粉蛋白质含量随搭配比例的变化如图 1 所示。“伟隆 169+小偃 22”“西

表1 4个小麦品种主要品质性状

Table 1 Major quality traits of four wheat varieties

品种	容重 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	蛋白质含量 (湿基)/%	湿面筋 含量/%	吸水率 /%	稳定时间 /min	最大拉伸 阻力/mm	拉伸能量 / cm^2
伟隆 169	845.00±0.71 ^a	14.05±0.02 ^b	30.80±0.15 ^d	66.90±0.57 ^b	14.40±0.07 ^a	556.50±11.05 ^a	110.00±4.01 ^a
西农 979	828.00±0.71 ^b	13.65±0.01 ^c	33.80±0.22 ^b	70.70±0.49 ^a	11.70±0.07 ^c	416.00±13.25 ^b	92.00±5.31 ^b
西农 511	818.00±0.71 ^c	13.00±0.03 ^d	31.50±0.26 ^c	64.70±0.07 ^c	13.00±0.28 ^b	370.90±11.09 ^c	67.80±2.17 ^c
小偃 22	791.00±0.00 ^d	14.93±0.08 ^a	37.60±0.19 ^a	69.50±0.71 ^a	2.10±0.07 ^d	107.30±9.56 ^d	27.60±1.43 ^d

注:同一列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

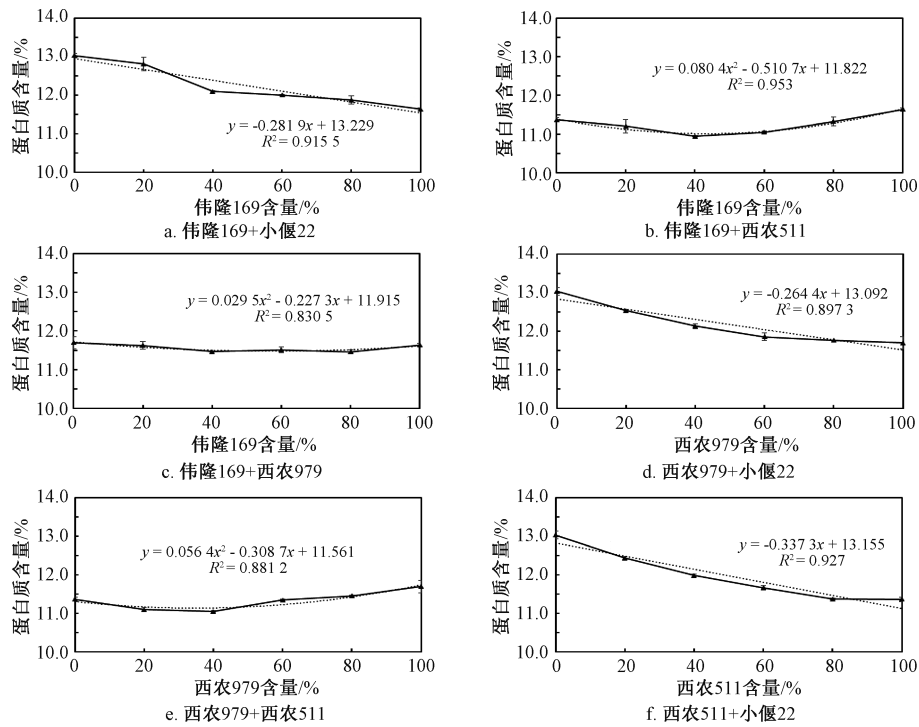


图1 不同品种小麦搭配所制面粉蛋白质含量的变化

Fig. 1 Change of protein content of flour blending and milling with different wheat varieties

农 979+小偃 22”“西农 511+小偃 22”3 个搭配组合,其面粉蛋白质含量均呈“一项式”变化,表现为平均效应(图 1a、1d、1f)。其余 3 种搭配组合小麦面粉蛋白质含量均呈“二项式”变化,表现为负效应(图 1b、1c、1e)。

2.2.2 湿面筋含量

4 种小麦两两搭配所制面粉湿面筋含量随搭配比例的变化如图 2 所示。“伟隆 169+小偃 22”“西农 979+小偃 22”“西农 511+小偃 22”3 个搭配组合,其面粉湿面筋含量均呈“一项式”变化,表现为平均效应(图 2a、2d、2f)。其余 3 种搭配组合,其面粉湿面筋含量均呈“二项式”变化,表现为负效应(图 2b、2c、2e)。前人研究表明,面粉中湿面筋含量与蛋白质含量存在极显著正相关关系^[16-17]。本研究发现,小麦搭配制粉后湿面筋含量变化与蛋白质含量变化效应与规律较一致。

2.3 淀粉糊化特性

2.3.1 糊化温度

淀粉糊化特性是反映淀粉质量的重要指标^[18-19]。4 种小麦两两搭配所制面粉糊化温度随搭配比例的变化如图 3 所示。“伟隆 169+小偃 22”“西农 979+小偃 22”“西农 511+小偃 22”“伟隆 169+西农 511”4 个搭配组合,其面粉糊化温度呈“一项式”变化,表现为平均效应(图 3a、3b、3d、3f)。“伟隆 169+西农 979”“西农 979+西农 511”2 个搭配组合,其糊化温度变化规律不明显(图 3c、3e)。梁静^[20]研究表明,新麦 26 与皖麦 47 按比例搭配后糊化温度无显著差异。Rakszegia 等^[21]研究表明,磨粉过程中粒径的变化影响淀粉的糊化特性,面粉颗粒粒径小,表现出较高的崩解值以及较低的低谷黏度。不同小麦品种搭配制粉后,可能会导致面粉粒径变化,面粉糊化温度等糊化特性随之发生变化。

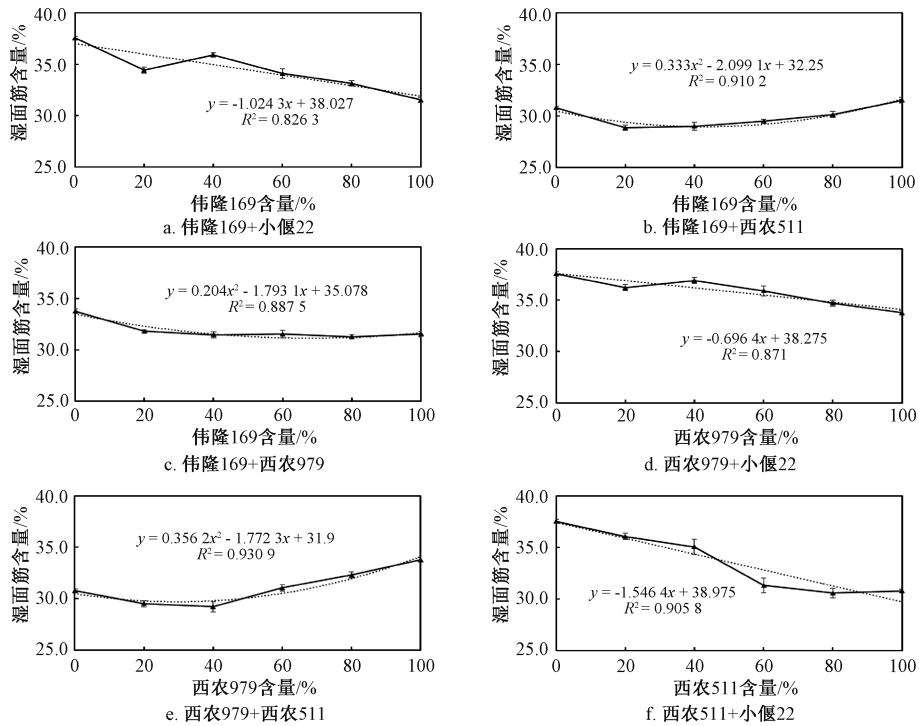


图 2 不同品种小麦搭配所制面粉湿面筋含量的变化

Fig. 2 Change of wet gluten content of flour blending and milling with different wheat varieties

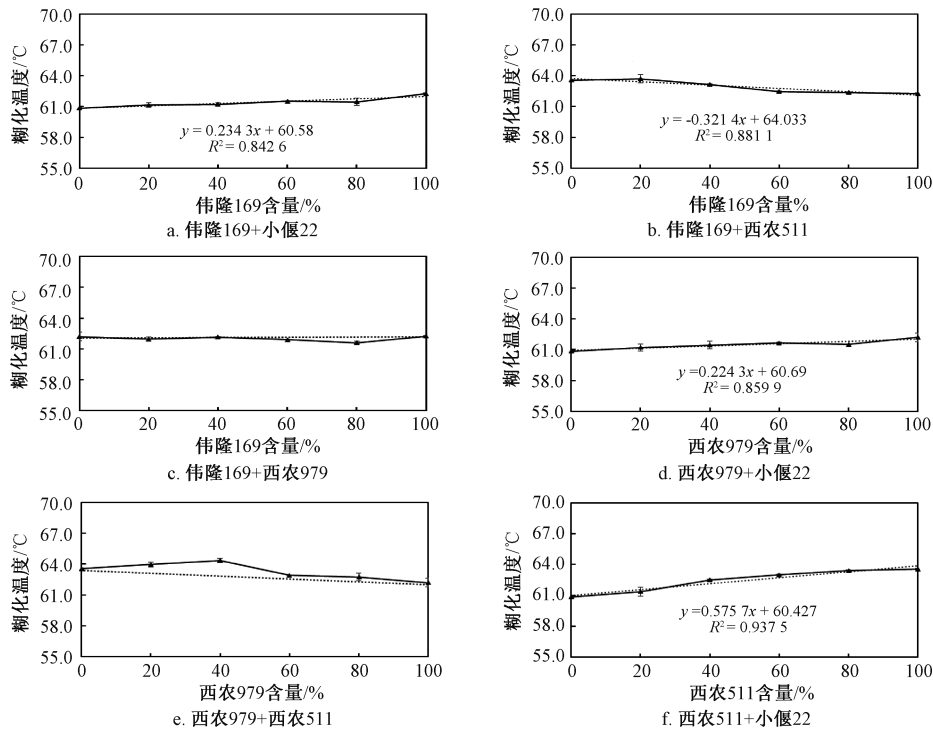


图 3 不同品种小麦搭配所制面粉糊化温度的变化

Fig. 3 Changes of pasting temperatures of flour blending and milling with different wheat varieties

2. 3. 2 峰值黏度

4 种小麦两两搭配所制面粉峰值黏度随搭配比例的变化如图 4 所示。“伟隆 169+小偃 22”“西农 979+小偃 22”“西农 511+小偃 22”“伟隆

169+西农 511”4 个搭配组合,其面粉峰值黏度均呈“二项式”变化,均表现为正效应(图 4a、4b、4d、4f)。“伟隆 169+西农 979”搭配组合,其峰值黏度呈“一项式”变化,表现为平均效应(图 4c)。

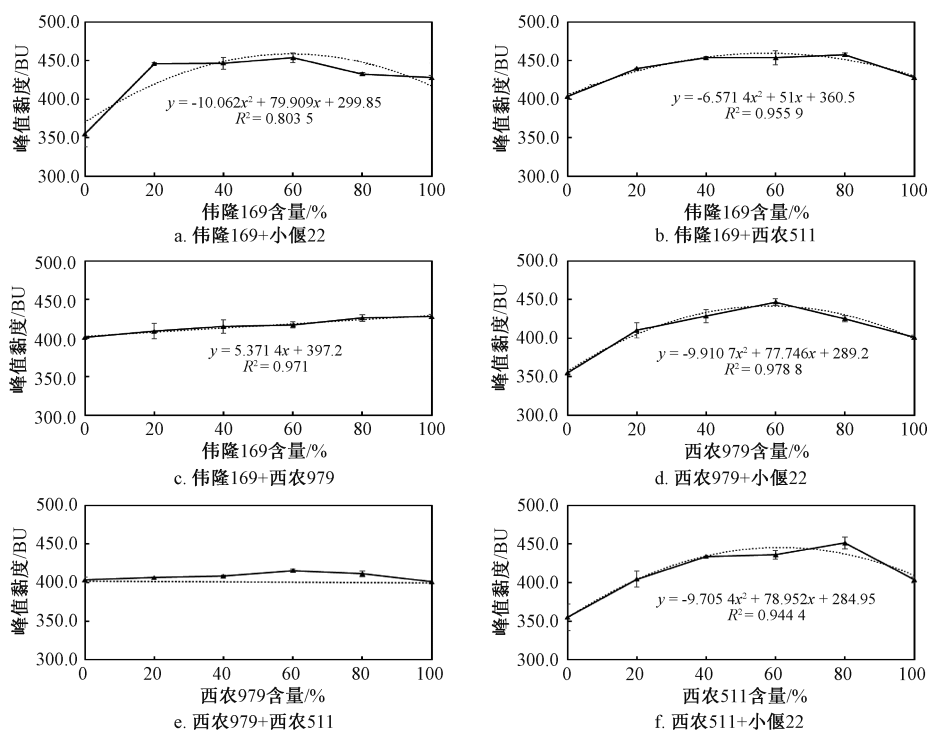


图4 不同品种小麦搭配所制面粉峰值黏度的变化

Fig. 4 Changes of peak viscosities of flour blending and milling with different wheat varieties

“西农 979+西农 511”搭配时,峰值黏度变化规律不明显(图 4e)。梁静^[20]研究表明,新麦 26 与皖麦 47 按 8:2 搭配时峰值黏度达到最大值。不同小麦品种搭配所制面粉的黏度参数变化规律不尽一致。

2.4 面团流变学特性

2.4.1 粉质参数

2.4.1.1 吸水率

4 种小麦两两搭配所制面粉吸水率随搭配比例的变化如图 5 所示。“伟隆 169+小偃 22”“伟隆 169+西农 979”2 个搭配组合,其面团吸水率呈“一项式”变化,表现为平均效应(图 5a、5c)。“伟隆 169+西农 511”“西农 979+西农 511”“西农 511+小偃 22”3 个搭配组合,其面团吸水率均呈“二项式”变化规律,表现为负效应(图 5b、5e、5f)。“西农 979+小偃 22”搭配组合,其吸水率变化趋势不明显(图 5d)。

2.4.1.2 面团稳定时间

4 种小麦两两搭配所制面团稳定时间随搭配比例的变化如图 6 所示。“伟隆 169+小偃 22”“西农 979+小偃 22”“西农 511+小偃 22”3 个搭配组合,其面团稳定时间呈“一项式”变化,表现为平均效应(图 6a、6d、6f)。“伟隆 169+西农 511”搭配时呈“二项式”变化,表现为负效应(图 6b)。“伟隆 169+西农 979”“西农 979+西农 511”

2 个搭配组合,面团稳定时间变化趋势不明显(图 6c、6e)。

2.4.2 拉伸参数

2.4.2.1 延伸性

4 种小麦两两搭配所制面团延伸性随搭配比例的变化如图 7 所示。“西农 511+小偃 22”搭配时,面团延伸性呈“一项式”变化,表现为平均效应(图 7f)。“伟隆 169+西农 511”“伟隆 169+西农 979”“西农 979+西农 511”3 个搭配组合,其面团延伸性呈“二次式”变化,表现为负效应(图 7b、7c、7e)。“伟隆 169+小偃 22”“西农 979+小偃 22”2 个搭配组合,其面团延伸性变化趋势不明显(图 7a、7d)。

2.4.2.2 最大拉伸阻力

4 种小麦两两搭配所制面团最大拉伸阻力随搭配比例的变化如图 8 所示。“伟隆 169+小偃 22”“西农 979+小偃 22”“西农 511+小偃 22”3 个搭配组合,其面团最大拉伸阻力呈“一项式”变化规律,表现为平均效应(图 8a、8d、8f)。“伟隆 169+西农 511”“伟隆 169+西农 979”2 个搭配组合,随“伟隆 169”比例的增加面团最大拉伸阻力呈“二项式”变化,表现为正效应(图 8b、8c)。“西农 979+西农 511”搭配组合时,面团最大拉伸阻力变化趋势不明显(图 8e)。

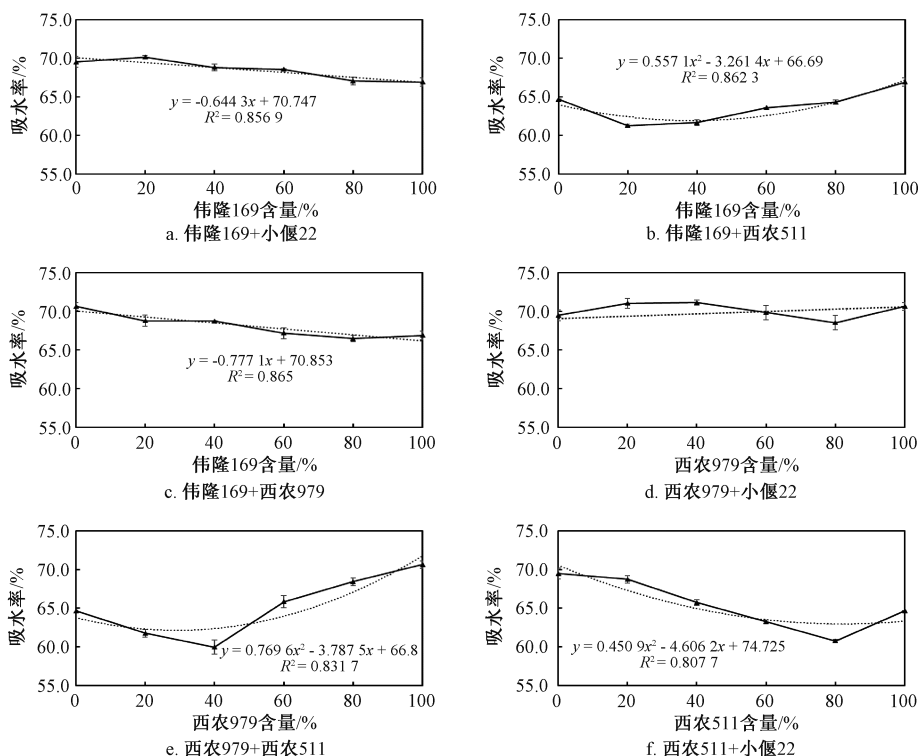


图 5 不同品种小麦搭配所制面粉吸水率的变化

Fig. 5 Change of water absorption of flour blending and milling with different wheat varieties

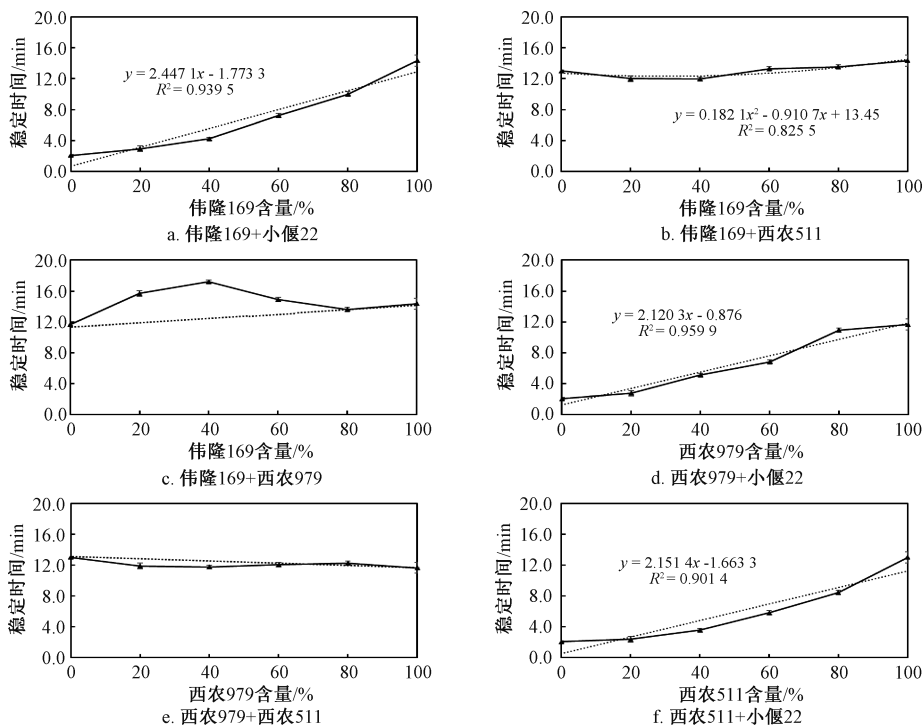


图 6 不同品种小麦搭配所制面团稳定时间的变化

Fig. 6 Changes of dough stability time lengths of flour blending and milling with different wheat varieties

面团流变学特性与面条、馒头等传统面制品的质构、感官质量等密切相关,是小麦粉分级分类的重要参考依据。原料小麦的蛋白质含量及亚基类型、淀粉含量及组成等均对面团流变

学特性产生影响^[22-23]。Jekle等^[24]研究表明面团流变特性主要取决于蛋白组分的变化。不同筋力小麦的混合制粉后蛋白质含量及组成发生变化,从而改变了混合物的性质,使得小麦搭配

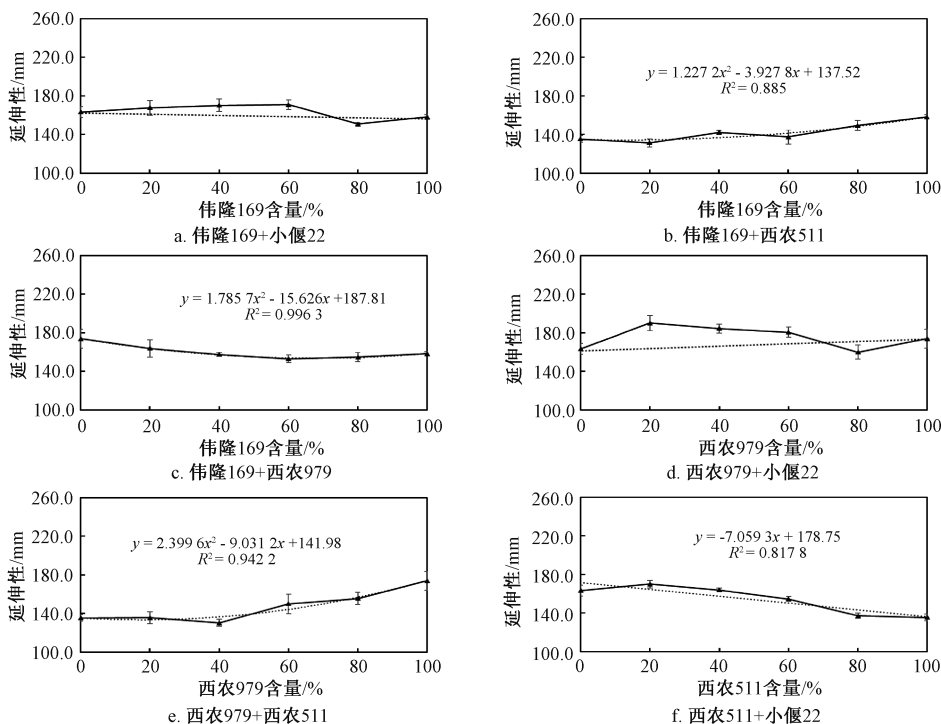


图 7 不同品种小麦搭配所制面粉面团延伸性的变化

Fig. 7 Changes of dough extensibilities of flour blending and milling with different wheat varieties

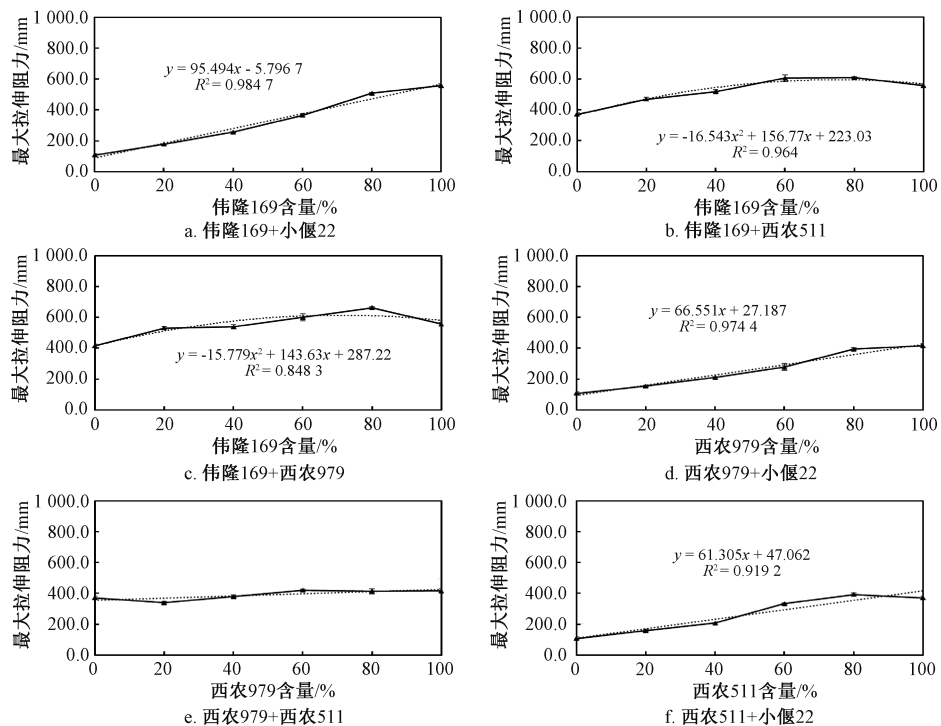


图 8 不同品种小麦搭配所制面粉面团最大拉伸阻力的变化

Fig. 8 Changes of maximum stretch resistances of flour blending and milling with different wheat varieties

后面团流变学行为产生差异。本研究发现,“伟隆 169”“西农 979”“西农 511”分别与“小偃 22”搭配制粉后的面团稳定时间、最大拉伸阻力

均呈“一项式”变化,表现出平均效应。强筋小麦与弱筋小麦搭配制粉时,可以显著改善弱筋小麦的流变学特性,与刘鑫^[9]的研究结果一致。

3 结论

不同品质类型的小麦搭配制粉后面粉理化特性变化规律和配麦效应不尽相同。小偃 22 与强筋、中强筋小麦搭配制粉时,面粉蛋白质含量、湿面筋含量、糊化温度、稳定时间、最大拉伸阻力均呈“一项式”变化规律,表现为平均效应;峰值黏度均呈“二项式”变化,表现出正效应。西农 979、伟隆 169 分别与西农 511 搭配组合磨粉时,面粉蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、延伸性均呈“二项式”变化,表现出负效应。

利用回归曲线拟合的方式可以明确不同质量小麦搭配制粉后面粉理化特性的变化规律及配麦效应,实现对配麦后面粉理化特性的精准预测,为科学指导配麦工艺设计、专用粉生产等提供参考。在后续的试验中,可以选择更多品种进行搭配从而能更准确地反映搭配规律及效应,配麦后面粉蛋白质、淀粉等不同组分的变化规律等仍有待进一步探究。

参考文献:

- [1] 田建珍,温纪平. 小麦加工工艺与设备 [M]. 北京:科学出版社,2011.
- [2] 李林轩,王晓芳,李硕. 浅析配麦和配粉工艺技术的应用 [J]. 现代面粉工业, 2017, 31(6): 1-5.
- [3] POSNER E E S. Wheat flour milling [M]. Paul:AACC International, Inc., 2011.
- [4] 李林轩,李硕,王晓芳,等. 保证专用小麦粉品质的技术措施探讨 [J]. 粮食加工, 2022, 47(2): 25-29.
- [5] EL-PORAI E S, SALAMA A E, SHARAF A M, et al. Effect of different milling processes on Egyptian wheat flour properties and pan bread quality [J]. Annals of agricultural sciences, 2013, 58(1): 51-59.
- [6] 朱海言,侯小蕾,翟会娟. 论制粉企业小麦的搭配原则和方法 [J]. 现代面粉工业, 2021, 35(4): 7-10.
- [7] 高路. 西农 979 及远丰 175 的配麦配粉效应分析 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2011.
- [8] 梁静,陈俊,万根文,等. 强筋与弱筋小麦配麦面粉及馒头和面条品质的研究 [J]. 西北农业学报, 2015, 24(5): 34-40.
- [9] 刘鑫. 配麦和配粉对面粉品质的影响及其比较的研究 [D]. 郑州:河南工业大学, 2010.
- [10] 常柳,陈瑶,段晓亮,等. 中澳小麦配麦对小麦粉和面条品质的影响 [J]. 粮油食品科技, 2017, 25(1): 37-43.
- [11] 王华君,张文明,姚大年,等. “安农糯 1”与“皖麦 33”配麦的淀粉性状及其面条品质的研究 [J]. 中国粮油学报, 2007, 22(4): 14-17.
- [12] 高源. 不同硬度小麦碾磨特性及面粉品质特性差异性研究 [D]. 郑州:河南工业大学, 2016.
- [13] 孙月,张慧,王文涛,等. 脱皮对不同筋力小麦粉及其馒头品质的影响 [J]. 中国粮油学报, 2021, 36(2): 9-15.
- [14] ACOSTA J A, PETRY A L, GOULD S A, et al. Effects of grinding method and particle size of wheat grain on energy and nutrient digestibility in growing and finishing pigs [J]. Translational animal science, 2020, 4(2): 682-693.
- [15] WANG K, FU B X. Inter-relationships between test weight, thousand kernel weight, kernel size distribution and their effects on durum wheat milling, semolina composition and pasta processing quality [J]. Foods, 2020, 9(9): e1308.
- [16] HORVAT D, JURKOVIC Z, DREZNER G, et al. Influence of gluten proteins on technological properties of Croatian wheat cultivars [J]. Cereal research communications, 2006, 34(2/3): 1177-1184.
- [17] 魏益民. 谷物品质与食品品质:小麦籽粒品质与食品品质 [M]. 西安:陕西人民出版社, 2002.
- [18] 马冬云,郭天财,王晨阳,等. 不同筋力小麦品种在不同生态环境下籽粒淀粉糊化特性分析 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 798-802.

(下转第 35 页)

- NI E, et al. Extruded soy protein as a novel emulsifier: structure, interfacial activity and emulsifying property [J]. Food hydrocolloids, 2019, 93: 361-373.
- [32] CHEN X W, ZHAO H Q, WANG H, et al. Preparation of high-solubility rice protein using an ultrasound-assisted glycation reaction [J]. Food research international, 2022, 161: 111737.
- [33] CHEN W J, MA X B, WANG W J, et al. Preparation of modified whey protein isolate with gum acacia by ultrasound Maillard reaction [J]. Food hydrocolloids, 2019, 95: 298-307.
- [34] GAO Y X, SUN Y, ZHANG Y, et al. Extrusion modification: effect of extrusion on the functional properties and structure of rice protein [J]. Processes, 2022, 10(9): 1871.
- [35] ZHAO N, ZOU H N, SUN S, et al. The interaction between sodium alginate and myofibrillar proteins: the rheological and emulsifying properties of their mixture [J]. International journal of biological macromolecules, 2020, 161: 1545-1551.
- [36] 刘宗浩, 张高鹏, 孙立娜, 等. 挤压对谷物蛋白的微观结构和功能特性影响的研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2021, 36(6): 158-165.
(责任编辑 姚玮华)

(上接第 25 页)

- [19] 甘淑珍, 付一帆, 赵思明. 小麦淀粉糊化的影响因素及黏度稳定性研究 [J]. 中国粮油学报, 2009, 24(2): 36-39.
- [20] 梁静. 不同类型小麦品种配麦面粉及其馒头和面条品质性状的研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- [21] RAKSZEGI M, BOGNÁR Z, LI Z, et al. Effect of milling on the starch properties of winter wheat genotypes [J]. Starch-starke, 2010, 62: 115-122.
- [22] ZHU J, HUANG S, KHAN K, et al. Relationship of protein quantity, quality and dough properties with Chinese steamed bread quality [J]. Journal of cereal science, 2001, 33(2): 205-212.
- [23] 姜小苓, 李小军, 冯素伟, 等. 蛋白质和淀粉对面团流变学特性和淀粉糊化特性的影响 [J]. 食品科学, 2014, 35(1): 44-49.
- [24] JEKLE M, BECKER T. Wheat dough microstructure: the relation between visual structure and mechanical behavior [J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2015, 55(3): 369-382.
(责任编辑 姚玮华)