

“功能性小麦新品种及其研发利用” 特约专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.02.005

潘秋晓, 彭莉, 陈建省, 等. 小麦高代育种品系的蛋白质含量和淀粉组分与面粉糊化特性相关性分析[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 34-40.

PAN Q X, PENG L, CHEN J S, et al. Correlation analysis of wheat protein and starch components to flour gelatinization characteristics using advanced breeding lines[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2): 34-40.

小麦高代育种品系的蛋白质含量和淀粉组分与面粉糊化特性相关性分析

潘秋晓^{1,2}, 彭莉^{1,2}, 陈建省¹, 于海霞¹, 邓志英¹, 王延训², 杨明², 孙学振¹✉

(1. 山东农业大学 农学院, 作物生物学国家重点实验室, 小麦品质育种研究室, 山东 泰安 271018;

2. 山东天泽泰田种业科技有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要: 蛋白质和淀粉是小麦的主要成分, 其组分、比例和相关关系是面粉品质和加工用途的决定要素。以 100 份小麦高代材料为研究对象, 进行蛋白质含量、湿面筋、粉质参数、淀粉组分与面粉糊化特性的表型、变异系数和相关性分析, 以选育多品质指标协调、适宜某些特殊食品加工利用的新品种。结果表明: 小麦蛋白质含量和湿面筋含量与面粉糊化特性参数的相关性不显著; 面粉直链淀粉含量与峰值粘度和衰落值的相关系数分别为-0.214 和-0.322, 分别达显著和极显著负相关; 支链淀粉含量与低谷粘度相关系数为 0.324, 达极显著正相关; 总淀粉含量与低谷粘度和衰落值分别达极显著正相关和显著负相关, 相关系数分别为 0.255 和-0.258; 小麦灰分含量与面粉糊化特性相关参数均呈显著负相关, 是影响淀粉糊化特性的重要因素, 在品种改良中应该给予关注。通过研究发现面筋数量和质量改良存在显著的负相关矛盾, 需要协调进行改良; 而淀粉和蛋白质的品质改良相关性相对较小, 易于实现协同改良。同时, 通过研究筛选到了 WDP77、WDP2 和山农 102、山农 116-8 等强筋新品系和低峰值粘度的新品系, 可作为特异新材料进行特殊用途研究和利用。研究结果为优质小麦新品种的培育和加工利用提供了参考依据。

关键词: 高代育种品系; 小麦; 蛋白质; 淀粉组分; 糊化特性; 粉质参数; 协同改良

中图分类号: TS202.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)02-0034-07

网络首发时间: 2021-02-08 09:21:00

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210207.1803.011.html>

Correlation Analysis of Wheat Protein and Starch Components to Flour Gelatinization Characteristics Using Advanced Breeding Lines

PAN Qiu-xiao^{1,2}, PENG Li^{1,2}, CHEN Jian-sheng¹, YU Hai-xia¹, DENG Zhi-ying¹,
WANG Yan-xun², YANG Ming², SUN Xue-zhen¹✉

收稿日期: 2021-01-11

基金项目: 国家重点基础研究发展规划“973”课题(2009CB118301); 国家自然科学基金(31171554); 山东省自然科学基金重大基础研究项目(ZR2019ZD15)

Supported by: National Program on Key Basic Research (973 program) (No.2009CB118301); National Natural Science Foundation of China (No. 31171554); Major Basic Research Program of Shandong National Natural Science Foundation (No.ZR2019ZD15)

作者简介: 潘秋晓, 男, 1993 年出生, 研究生, 研究方向为农艺与种业。E-mail: pqx1993@qq.com.

通讯作者: 孙学振, 男, 1964 年出生, 博士, 教授, 研究方向为农艺与种业。E-mail: sunxz@sda.edu.cn.

- (1. Agronomy college of Shandong Agricultural University, Stage Key Laboratory of Crop Biology, Group of Wheat Quality Breeding, Tai'an, Shandong 271018, China;
2. Shandong Tianze Taitian Seed Technology Co., Ltd., Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: Protein and starch are the main components of wheat, and their composition, proportion and correlation are the decisive factors on flour quality and processing use. In this study, the effects of protein content, wet gluten, farinograph parameters and starch components on flour gelatinization characteristics were analyzed using 100 wheat high-generation materials, in order to breed new varieties with multi-quality index and suitable for processing and utilization of some special foods. The results showed that there was no significant correlation between wheat protein content and wet gluten content and flour gelatinization characteristic parameters. The correlation coefficients between amylose content and peak viscosity and breakdown value of flour were -0.214 and -0.322 , which reached significant and extremely significant level respectively. The correlation coefficient between amylopectin content and trough viscosity was 0.324 , the positive correlation reached an extremely significant level. The total starch content was positively and negatively correlated with the trough viscosity and the trough viscosity, with the correlation coefficients of 0.255 and -0.258 , respectively. Ash content was negatively correlated with flour gelatinization properties, which are the important factors influencing the starch gelatinization characteristics and should be given more attention in variety improvement. Through the study, we found that the content and quality of gluten exist significant negative correlation, which need to be modified and coordination to improve both of them. The correlation between starch and protein quality improvement is relatively small, and it is easy to achieve collaborative improvement. At the same time, new lines like WDP77, WDP2 and shannon 102, shannon 116-8 with strong gluten and low peak viscosity were selected which can be used for a specific research and new materials for special processing purpose. The results provide a reference basis for wheat quality improvement and breeding of new wheat varieties.

Key words: advanced breeding lines; wheat; protein; starch composition; pasting characteristics; farinogram parameters; collaboratively improvement

小麦是我国重要的粮食作物，其蛋白质和淀粉是小麦籽粒含量最高的两种成分，是决定小麦品质的重要物质。小麦籽粒中蛋白质约占 8%~20%，小麦面粉中蛋白质含量及面筋蛋白质量对面团的流变学特性和面包制作品质关系密切^[1-4]。淀粉约占小麦干质量的 75%。小麦淀粉根据其分子结构可分为直链淀粉和支链淀粉。直链淀粉约占总淀粉含量的 20%~25%，支链淀粉约占总淀粉含量的 75%~80%。面粉糊化特性是反映小麦淀粉品质的重要参考指标，影响馒头、面条和面包等食品的口感和加工品质。淀粉品质主要是由直、支链淀粉含量的多少决定，直链淀粉含量低是做日本乌冬面的和中国鲜湿面条的首要条件^[5-8]。直链淀粉与峰值粘度和衰落值呈负相关，糯小麦中直链淀粉含量几乎为 0，峰值粘度和衰落值明显高于非

糯小麦^[9-10]。直链淀粉含量与衰落值呈负相关，与回升值呈正相关。直链淀粉含量与最终粘度呈正相关，与峰值粘度呈负相关^[11-13]。在选育优质小麦品种中，面粉糊化特性是对后代筛选中的重要指标。小麦淀粉的组成和数量决定了食品的口感品质和加工品质。蛋白质和淀粉组分都会在一定程度上影响面粉的糊化特性。然而，针对特殊食品的特殊要求，利用高代育种品系，进行蛋白质、湿面筋、面筋指数和淀粉组分与面粉糊化特性的相关研究不多。本试验利用小麦高代育种品系研究了蛋白质和淀粉组分与面粉糊化特性的相关关系，明确蛋白质含量和质量对淀粉组分和面粉糊化特性参数的相关性，为选育特殊食品需求的多品质指标协调的专用小麦品种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验样品

100 份小麦高代育种品系：山东农业大学小麦品质育种研究室培育。

1.1.2 试验设备

实验磨 (Brabender Senior)、粉质仪 (JCHZL350 型)：德国布莱本德公司；近红外分析仪 (DA7200 型)、面筋洗涤仪 (2200 型)：瑞典 Perten 公司；快速粘度分析仪 (Newport 型)：澳大利亚；紫外分光光度计 (UV-9000S 型)：上海元析仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验材料于 2018—2019 年种植于山东农业大学试验站，每个材料种植长 10 m，宽 1.6 m，田间管理同一般大田，成熟后，奥地利小区收割机集中收获，统一晾晒，采用德国 Brabender Senior 实验磨按照 AACC26—21A 方法制粉，室温存放备测。2019—2020 年进行蛋白质、淀粉组分和面粉糊化特性等测定分析。

1.2.2 品质参数测定

蛋白质测定：近红外分析仪测定；

湿面筋测定：用面筋洗涤仪，按 GB/T14608—1993 测定；面筋指数：按 LS/T 6102—1995 测定。

淀粉组分测定：参照汪连爱方法，选择直、支链淀粉纯品，制备其标准溶液。利用紫外分光光度计。根据紫外分光光度计对直、支链淀粉标准溶液光谱扫描结果，选定直链、支链淀粉的测定波长、参比波长分别选定为 632、471、553、740 nm。

面粉糊化特性：利用快速黏度仪 (Rapid viscoanalyser, RVA) 进行测定。

1.3 数据处理

采用 SPSS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 小麦高代育种品系的蛋白质、淀粉组分和面粉糊化特性参数表型分析

高代品系材料的面粉品质参数表型和变异系数分析见表 1。由表 1 可知，测定的高代品系中蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、面粉中直

链淀粉含量、支链/直链淀粉含量以及粉质参数和面粉糊化特性变幅均较大。其中蛋白质含量、湿面筋、面筋指数变异范围分别为 12.23%~16.20%、25.40%~44.33%、15~98。从变异系数分析，面筋指数的变异系数较大，蛋白质含量变异系数最小。说明面筋指数具有较大的改良潜力，而蛋白质含量改良潜力相对较小。粉质参数中面粉吸水率是面粉厂和食品加工企业非常重视的一项指标，直接影响加工效益，本研究测定品系中其变幅 11.5%，变幅为 58.1%~69.6%。有一定的变异空间，但变异系数为 0.04，改良潜力不大；形成时间、稳定时间和粉质质量数均具有很大的变异系数，分别为 0.72、0.50 和 0.61。反应了这三项指标具有大的改良潜力，我国小麦多年来注重产量而忽视了品质改良，生产上缺乏优质强筋和弱筋小麦，通过粉质参数的改良是有效的途径之一。面粉淀粉组分变异系数在 0.12~0.23 之间，其中支链/直链淀粉变异系数相对较大。淀粉糊化参数中，衰落值变异系数最大 (0.23)，糊化温度变异系数最小 (0.05)，在所有测定参数中变异系数最小，说明该参数几乎没有改良潜力。由此可知，高代品系中能够选育出品质优良的品系。从面粉主要参数分布图分析 (图 1)，蛋白质含量主要集中在

表 1 小麦高代品系材料的面粉品质参数表型和变异系数分析
Table 1 Phenotypic analysis and variable of flour quality parameters of high generation materials

性状	均值	标准差	最小值	最大值	变异系数
蛋白质含量/%	13.81	0.90	12.23	16.20	0.07
湿面筋含量/%	34.24	3.84	25.40	44.33	0.11
面筋指数/%	67.64	21.46	15.00	98.00	0.32
吸水率/%	60.82	2.20	58.10	69.60	0.04
稳定时间/min	8.78	6.36	28.29	1.69	0.72
形成时间/min	4.99	2.50	18.23	1.53	0.50
粉质质量数	116.39	70.44	360.00	35.00	0.61
灰分/%	0.66	0.13	0.90	0.21	0.20
面粉中直链淀粉含量/%	18.31	3.54	7.58	25.65	0.19
面粉中支链淀粉含量/%	53.43	6.17	42.44	68.00	0.12
面粉中总淀粉含量/%	71.74	8.84	53.19	87.93	0.12
支链/直链淀粉含量比值	3.01	0.69	2.08	8.58	0.23
峰值粘度/mPas	2 292.96	261.33	913.00	2 865.00	0.11
低谷粘度/mPas	1 697.79	223.52	202.00	2 096.00	0.13
衰落值/mPas	595.14	156.42	304.00	985.00	0.26
最终粘度/mPas	2 923.24	309.15	639.00	3 551.00	0.11
反弹值/mPas	1 225.20	137.69	436.99	1 646.00	0.11
糊化温度/°C	65.73	3.21	57.25	79.05	0.05

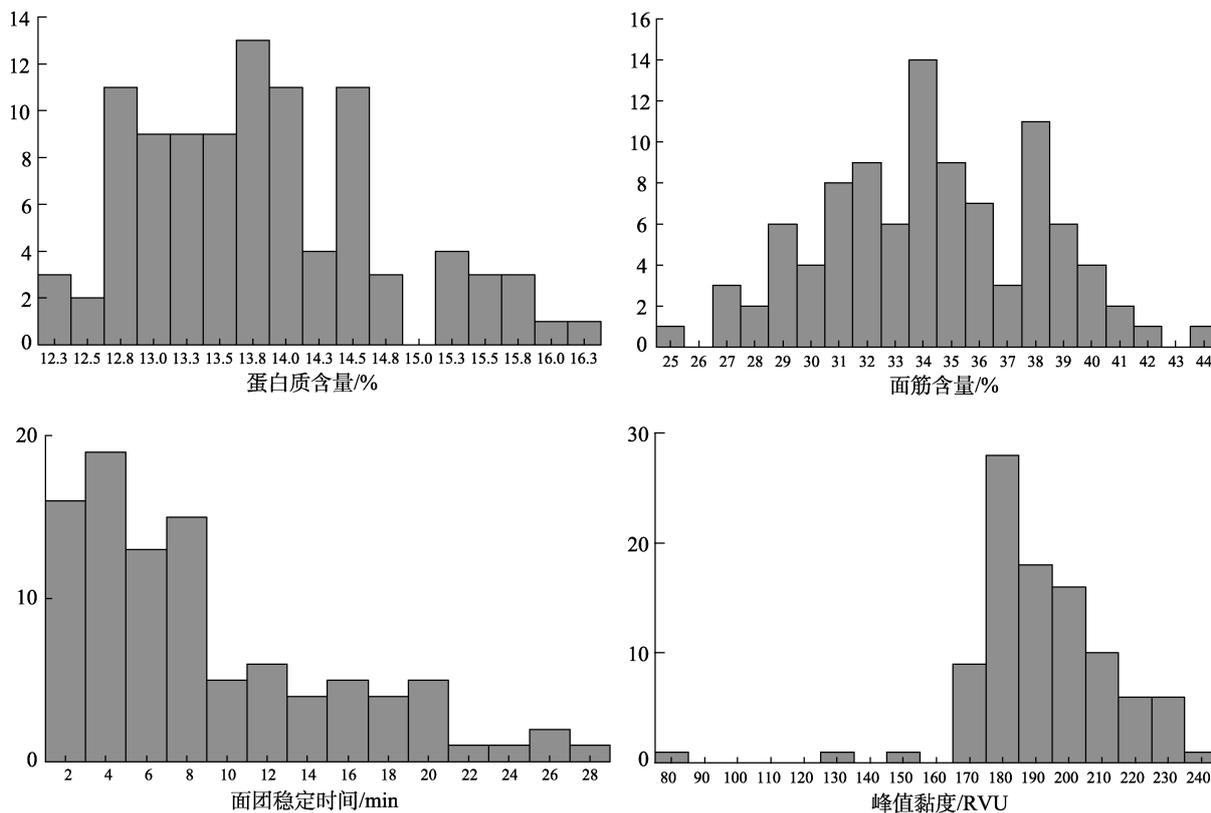


图 1 小麦高代育种品系面粉的主要品质参数分布图

Fig.1 Distribution of main quality parameters of wheat flour from advanced breeding lines

12.6%~14.5%之间。偏度 0.587，峰度-0.104，概率分布呈现右偏。面筋含量分布主要集中在 31%~38%之间。出现频率最高的面筋含量是 34%，其偏度为 0.061，峰度为-0.464，分布呈现正态分布，出现概率对均匀的分布在平均值两侧。面团稳定时间分布图呈现右偏，偏度为 0.319，峰度为 0.679，呈现非正态分布。说明所测定品系面团稳定时间集中在 2~8 min，超过 10 min 的小麦品系偏少，超过 20 min 的仅有 7 个，占总数的 7%，说明新品系大多为中筋品系，但也筛选到了超强筋新品系，如 WDP77、WDP2 和山农 102、山农 116-8 等，为超强筋新品种培育提供了参考。从峰值粘度分布图分析，其偏度为 5.44，峰度为 42.5，呈现明显的右偏分布。出现了几个低峰值粘度的新品系，这几个品系表现出和普通小麦品种特异的峰值粘度，可以作为特异淀粉糊化新材料进行特殊用途使用。

2.2 小麦高代育种品系蛋白质含量与淀粉组分的相关性分析

小麦高代育种品系蛋白质含量和湿面筋含量与面粉中直、支链淀粉含量和总淀粉含量均呈负

相关，相关系数较低(表 2)，均未达到显著水平，说明蛋白质数量、质量的改良和淀粉数量、组分的改良存在一定的负相关关系，但负相关关系可以协调改良。面筋指数与面粉中淀粉组分呈正相关(表 2)。此外，小麦中蛋白质含量与湿面筋含量呈现显著正相关关系，相关系数为 0.741($P<0.01$)，因为面筋的主要成分是谷蛋白和醇溶蛋白，蛋白含量的增加可以增加面筋含量，两者的改良趋势和方向是一致的，这也完全符合逻辑推理。湿面筋含量与面筋指数呈极显著负相关，相关系数为 -0.435 ($P<0.01$)，说明面筋数量和质量的改良存在显著的负相关矛盾，在面筋改良时需要充分考

表 2 小麦高代育种品系蛋白质含量与淀粉组分的相关性分析
Table 2 Correlation analysis between protein content and starch components in flour of advanced breeding lines %

	直链淀粉含量	支链淀粉含量	总淀粉含量	面筋指数	湿面筋含量
蛋白质含量	-0.034	-0.137	-0.120	0.099	0.741**
湿面筋含量 t	-0.160	-0.113	-0.147	-0.435**	
面筋指数	0.190	0.175	0.201		
灰分	0.020	-0.052	-0.029	0.044	0.455**

注：*. $P<0.05$ 显著性水平；**. $P<0.01$ 显著性水平。

Note: *. $P<0.05$ significance level; **. $P<0.01$ significance level.

考虑其负相关性，即面筋质量和数量的协同改良存在一定的难度。小麦灰分含量与直链淀粉含量呈正相关，与支链淀粉含量负相关，相关度均较低（表 2）。灰分含量与湿面筋含量呈极显著正相关，相关系数为 0.455 ($P < 0.01$)，达到显著正相关。

2.3 小麦高代育种品系蛋白质、淀粉含量与面粉糊化特性的相关性分析

小麦高代育种品系蛋白质含量和湿面筋含量与峰值粘度、低谷粘度和衰落值呈正相关，但相关度较低，与最终粘度和反弹值均呈负相关，分别为 -0.039, -0.141, -0.047, -0.119 (表 3)，均未达到显著水平，说明蛋白质含量和面筋含量对淀粉糊化特性影响很小。直链淀粉含量与峰值粘度呈显著负相关，相关系数为 -0.214 ($P < 0.05$)，与衰落值呈极显著负相关，相关系数为 -0.322 ($P <$

0.01)。可见直链淀粉对淀粉糊化特性具有直接的影响，主要影响峰值粘度和衰落值。分析发现支链淀粉含量主要影响低谷粘度，与低谷粘度呈极显著正相关，相关系数为 0.324 ($P < 0.01$)。总淀粉含量与低谷粘度呈显著正相关，与衰落值呈显著负相关，相关系数分别为 0.255 和 -0.258 ($P < 0.05$) (表 3) 总淀粉含量与淀粉糊化特性产生的影响淀粉组分的影响，取决于两种组分的比例。小麦灰分含量与面粉糊化特性相关参数均呈负相关且相关度较高。其中灰分含量与峰值粘度呈极显著负相关，相关系数为 0.263 ($P < 0.01$)，与低谷粘度和最终粘度呈显著负相关，相关系数分别为 0.230 和 0.233 ($P < 0.05$)，与其他糊化特性参数不显著 (表 3)，可见小麦灰分是影响淀粉糊化特性的主要因素，在品种改良中应该予以关注。

表 3 小麦高代育种品系蛋白质、淀粉含量与面粉糊化特性的相关分析

Table 3 Correlation analysis between protein and starch content and flour gelatinization characteristics of advanced breeding lines %

	峰值粘度	低谷粘度	衰落值	最终粘度	反弹值	糊化温度
蛋白质含量	0.164	0.063	0.145	-0.039	-0.141	-0.043
湿面筋含量	0.076	0.034	0.062	-0.047	-0.119	0.046
直链淀粉含量	-0.214*	0.066	-0.322**	-0.070	-0.198	-0.059
支链淀粉含量	0.080	0.324**	-0.192	0.170	-0.140	-0.110
总淀粉含量	-0.024	0.255*	-0.258*	0.092	-0.177	-0.101
灰分	-0.263**	-0.230*	-0.111	-0.233*	-0.151	-0.033

注：* $P < 0.05$ 显著性水平；** $P < 0.01$ 显著性水平。

Note: * $P < 0.05$ significance level; ** $P < 0.01$ significance level.

2.4 小麦高代育种品系蛋白质、淀粉相关指标与粉质参数相关性分析

小麦高代育种品系蛋白质与粉质参数相关性较高，其中蛋白质含量与吸水率呈极显著正相关，相关系数为 0.310 ($P < 0.01$)，与其他粉质参数不显著。湿面筋含量与稳定时间、粉质质量数和形成时间均呈极显著和显著负相关，相关系数分别为 -0.288, -0.275 ($P < 0.01$) 和 -0.210 ($P < 0.05$)，与吸水率呈极显著正相关，相关系数为 0.261 ($P < 0.01$)。面筋指数与吸水率呈极显著负相关，相关系数为 -0.366 ($P < 0.01$)，与其他粉质参数均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.687, 0.522, 0.662 ($P < 0.01$) (表 4)。结果表明，小麦蛋白质数量、质量的改良是错综复杂的，难以通过单一指标实现综合加工指标的改良，需用统筹协调。小麦淀粉相关指标与粉质参数相关性较低，其中直、支

链淀粉和总淀粉含量与吸水率均呈负相关，相关系数分别为 -0.164, -0.111, -0.143，与其他粉质参数均呈正相关且均不显著。结果表明，淀粉和蛋白质的品质改良相关性相对较小，易于实现协调和协同改良。

表 4 小麦高代育种品系蛋白质、淀粉相关指标与粉质参数相关性分析

Table 4 Correlation analysis of protein, starch related indexes and farinogram parameters of advanced breeding lines %

	吸水率	稳定时间	形成时间	粉质质量数
蛋白质含量	0.310**	-0.041	0.024	-0.053
湿面筋含量	0.261**	-0.288**	-0.210*	-0.275**
面筋指数	-0.366**	0.687**	0.522**	0.662**
直链淀粉含量	-0.164	0.187	0.114	0.194
支链淀粉含量	-0.111	0.143	0.161	0.159
总淀粉含量	-0.143	0.174	0.158	0.189

注：* $P < 0.05$ 显著性水平；** $P < 0.01$ 显著性水平。

Note: * $P < 0.05$ significance level; ** $P < 0.01$ significance level.

2.5 小麦高代育种品系粉质参数与面粉糊化特性的相关性分析

小麦高代育种品系粉质参数与面粉糊化特性的相关性较高, 其中吸水率与峰值粘度、反弹值和衰落值均呈显著和极显著负相关, 相关系数分别为-0.236, -0.201 和-0.370, 与低谷粘度和糊化温度均呈负相关, 但相关系数较低。粉质参数中稳定时间与低谷黏度呈显著正相关, 相关系数为 0.214 ($P<0.05$), 与糊化温度呈显著负相关, 相关系数为-0.233 ($P<0.05$)。形成时间与峰值粘度、低谷粘度和最终粘度呈极显著和显著正相关, 相关系数分别为 0.289、0.280 ($P<0.01$) 和 0.220 ($P<0.05$), 与其他糊化特性参数不显著。粉质质量数与峰值粘度、衰落值和最终粘度均呈显著正相关, 相关系数分别为 0.253、0.220 和 0.218 (表 5)。总体上分析, 面团稳定时间、形成时间与糊化粘度参数呈正向相关, 而与糊化温度呈现负相关, 说明随之面筋强度的增加, 会增加面粉糊化粘度, 但会微弱降低糊化温度。面粉吸水率与淀粉糊化参数整体呈现负相关。

表 5 小麦高代育种品系粉质参数和淀粉糊化特性相关性分析
 Table 5 Correlation analysis between farinogram parameters and starch gelatinization characteristics of advanced breeding lines

	峰值 粘度	低谷 粘度	衰落值	最终 粘度	反弹值	糊化 温度
吸水率	-0.236*	-0.018	-0.370**	-0.102	-0.201*	-0.139
稳定时间	0.192	0.214*	0.015	0.174	0.044	-0.233*
形成时间	0.289**	0.280**	0.085	0.220*	0.041	-0.167
粉质质量数	0.253*	0.174	0.220*	0.218*	0.051	-0.198

注: * $P<0.05$ 显著性水平; ** $P<0.01$ 显著性水平。

Note: * $P<0.05$ significance level; ** $P<0.01$ significance level.

3 讨论

3.1 小麦品质的改良潜力

通过研究发现面筋指数具有较大的改良潜力, 而蛋白质含量改良潜力相对较小。本研究测定的小麦高代育种品系面团吸水率变幅 11.5%, 有一定的变异空间, 但变异系数为 0.04, 改良潜力不大; 形成时间、稳定时间和粉质质量数均具有大的改良潜力, 通过粉质参数的改良是有效的途径。面粉淀粉组分中支链/直链淀粉变异系数相对较大; 淀粉糊化参数中衰落值改良潜力大而糊化

温度几乎没有改良潜力。通过测定分析说明目前育种新品系大多为中筋品系, 同时也筛选到了超强筋新品系, 如 WDP77、WDP2 和山农 102、山农 116-8 等, 为超强筋新品种培育提供了参考, 同时在新的品系筛选出了特异淀粉糊化新材料可以进行特殊用途研究使用。

3.2 小麦高代育种品系蛋白质含量与淀粉组分相关性分析

由蛋白质、湿面筋含量与淀粉组分的相关关系来看, 蛋白质和湿面筋与淀粉组分存在负相关的关系, 但无显著相关性。张业伦等^[14]研究发现小麦籽粒硬度和蛋白质含量与直、支链淀粉无显著相关性, 与本研究结论一致。在制作面食制品时, 面筋能够形成网状结构以此来增强食品的质构特性和拉伸性能。面食制品的质构、剪切、拉伸性能与小麦的蛋白质含量正相关, 与淀粉含量负相关关系^[13]。本研究发现蛋白质含量和湿面筋含量呈极显著负相关, 这与赵鹏涛等^[15]研究结果一致。前人研究表明, 蛋白质和湿面筋含量是影响面团吸水率、稳定时间的重要因素, 与最大拉伸阻力、延展性呈显著正相关^[15-16]。蛋白质含量和淀粉含量对面团流变学特性均有显著影响。本研究表明小麦高代育种品系面筋数量和质量的改良存在显著的负相关矛盾, 在面筋改良时需要充分考虑其负相关关系, 需要协调面筋质量和数量的同时改良。

3.3 小麦高代育种品系蛋白质、淀粉含量与面粉糊化特性相关性分析

本研究发现小麦高代育种品系蛋白质和湿面筋含量与面粉糊化特性中峰值粘度、低谷粘度和衰落值均是正相关, 与最终粘度、反弹值是负相关。李淦等研究发现, 在 171 份小麦种质资源中, 蛋白质含量与峰值粘度、低谷粘度和衰落值均是正相关, 与最终粘度、反弹值是负相关, 这与本研究结果相符^[17]。蛋白质作为小麦的主要成分, 对淀粉的糊化特性具有重要影响, 蛋白质和淀粉含量的多少影响食品的口感和质构^[9,12]。面筋蛋白质通过淀粉交互作用显著影响糊化特性^[18]。本研究认为淀粉和蛋白质的品质改良相关性相对较小, 易于实现协同改良。

3.4 小麦高代育种品系淀粉组分、灰分与面粉糊化特性相关性

淀粉是糊化特性的决定要素。本研究发现小麦高代育种品系面粉中直链淀粉含量与面粉糊化特性中峰值粘度和衰落值显著负相关, 而支链淀粉含量与低谷粘度显著相关, 与峰值粘度正相关。面粉中直链淀粉含量对面粉的糊化特性影响非常重要, 同时也影响面食制品的加工品质。一些研究表明, 糯小麦几乎不含直链淀粉, 添加 20% 的糯小麦可以改良面食制品的口感和产品货架期^[12,19]。中国优质白盐面条直链淀粉含量在 22% 左右, 高直链淀粉含量对导致馒头体积减小, 面团弹性降低, 口感变差^[8]。所以在小麦高代品系选择中要选择低直链淀粉品系。另外, 本研究发现小麦高代育种品系灰分含量与面粉糊化特性相关参数均呈负相关且相关度较高, 是影响淀粉糊化特性的主要因素, 在品种改良中应该给予关注。

参考文献:

[1] UTHAYAKUMARAN S, GRAS P W, STODDARD F L, et al. Effect of varying protein content and glutenin to gliadin ratio on the functional properties of wheat dough[J]. *Cereal Chem*, 1999, 76: 389-394.

[2] EDWARDS N M, MULVANEY S J, SCANLON M G, et al. Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties[J]. *Cereal Chem*, 2003, 80: 755-763.

[3] UTHAYAKUMARAN S, LUKOW O M. Functional and multiple end. use characterization of Canad Jan wheat using a reconstituted dough system[J]. *Scf Food Agric*, 2003, 83: 889-898.

[4] MARTIN M, FITZGERALD A. Proteins in rice grains influence cooking prop-erties[J]. *Journal Cereal Sci*, 2002(36): 285-294.

[5] BRINEY A, WILSON R, POTTER R H, et al. A PCR-based marker for selection of starch and potential noodle quality in wheat[J]. *Molecular Breeding*, 1998, 4: 427-433.

[6] ZHAO X C, BATEY I L, SHARP P J, et al. A single genetic locus associated with starch granule properties and noodle quality in wheat[J]. *Journal of Cereal Science*, 1998, 27: 7-13.

[7] AKRAM Z, AJMAL S U, KHAN K S, et al. Combining ability estimates of some yield and quality related traits in spring wheat[J]. *Pak. J. Bot.*, 2011, 43(1): 221-231.

[8] 徐鑫, 张晓, 李曼, 等. 糯小麦的开发和应用研究进展[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(7): 863-870.

XUN X, ZHANG X, LI M, et al. Development and aplication of waxy wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(7): 863-870.

[9] 黄东印, 林作楫. 冬小麦品质性状与面条品质性状关系的初步研究[J]. *华北农学报*, 1990, 5(1): 40-45.

HONG D Y, LIN J. A preliminary study on the relationship between quality characters of winter wheat and noodles[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1990, 5(1): 40-45.

[10] 宋建民, 刘爱峰, 尤明山, 等. 糯小麦配粉对淀粉糊化特性和面条品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(12): 1838-1842.

SONG J M, LIU A F, YOU M S, et al. Effects of waxy flour blending on starch pasting properties and noodle quality of nonwaxy flour[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(12): 1838-1842.

[11] XIE L H, CHEN N, DUAN B W, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice[J]. *Journal Cereal Sci*, 2008(47): 372-379.

[12] ZHANG W, LI S, ZHANG B, et al. Relationships between the gelatinization of starches and the textural properties of extruded textured soybean protein-starch systems[J]. *Journal of Food Engineering*, 2016(174): 29-36.

[13] 陈玉峰. 小麦粉中蛋白质和淀粉含量对面条品质的影响[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(1): 82-85.

CHEN Y F. Effect of protein and starch content in wheat flour on noodle quality[J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(1): 82-85.

[14] 张业伦, 孟雅宁, 李杏普, 等. 籽粒品质和淀粉组对面粉糊化特性的影响[J]. *华北农学报*, 2016, 31: 317-322.

ZHANG Y L, MENG Y N, LI X P, et al. Effects of grain quality and starch components on flour paste properties[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2016, 31: 317-322.

[15] 赵鹏涛, 赵卫国, 罗红炼, 等. 小麦主要品质性状相关性及其主成分分析[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(21): 7-13.

ZHAO P T, ZHAO W G, LUO H L, et al. The main quality traits of wheat: correlation analysis and principal components analysis[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(21): 7-13.

[16] 李永强, 翟红梅, 田纪春. 蛋白质和淀粉含量对小麦面团流变学特性的影响[J]. *作物学报*, 2007, 33(6): 937-941.

LIN Y Q, ZHAI H M, TIAN J C. Effect of protein and starch contents on wheat dough rheological properties[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 937-941.

[17] 李滢, 姜小苓, 吴晓军, 等. 171 份小麦种质面粉糊化特性及其与品质性状的相关性分析[J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(8): 973-978.

LI G, JIANG X L, WU X J, et al. Flour pasting characteristics of 171 wheat germplasm and the relationship with quality properties[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(8): 973-978.

[18] 陈建省, 田纪春, 吴澎, 等. 不同筋力面筋蛋白对小麦淀粉糊化特性的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(3): 75.

CHEN J S, TIAN J C, WU P, et al. Effect of gluten on pasting properties of wheat starch[J]. *Food Science*, 2013, 34(3): 75.

[19] LI S, WEI Y, FANG Y, et al. DSC study on the thermal properties of soybean protein isolates/corn starch mixture[J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, 115(2): 1633-1638. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。