麦类作物学报 2023,43(2):182－189
Journal of Triticeae Crops doi:10.7606/j.issn.1009-1041.2023.02.07

网络出版时间:2022-09-23
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1359.S.20220922.1520.012.html

安徽麦区软质小麦籽粒品质和终端制品品质评价

郑文寅[1,2],胡泽林[1],程 颖[1],王 磊[1],王月娥[1,3],赵 莉[4],汪建来[4]

(1.安徽农业大学农学院/农业部黄淮南片小麦生物学与遗传育种重点实验室,安徽合肥 230036;
2.扬州大学/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏扬州 225009;3.安徽省六安市农业科学研究所,安徽六安 2370001;4.安徽农业科学院作物研究所,安徽合肥 230001)

摘 要:为明确安徽大田生产环境下软质小麦籽粒和终端产品品质表现,评价优质软麦品种的加工适用性,本研究选取该区当前推广种植的24个软质小麦品种,对其籽粒和面粉的主要品质性状及其制品南方馒头和曲奇饼干的品质进行差异性、相关性分析,并以美国软白麦近五年的主要品质性状平均值为理想指标进行灰色关联度比较。结果表明,供试材料的硬度、面粉色泽b^*、湿面筋含量、面团形成时间、稳定时间等籽粒品质性状变异系数较大,而容重、面粉L^*值和吸水率变异系数较小。南方馒头品质性状中,白度差异最小,比容差异最大;曲奇饼干品质性状中,感官评分变异系数较大,饼干直径均值和变异系数都较小。蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间均符合弱筋标准(GB/T 17320-2013)的样品数为0。相关分析表明,容重、降落值、面粉L^*、b^*、白度与大部分性状间相关性不显著;籽粒硬度与水SRC和乳酸SRC均呈显著正相关,与湿面筋含量和面粉a^*值均呈显著负相关。蛋白质含量与面粉a^*值等7个指标均呈显著正相关,与面粉b^*、碳酸钠SRC和面团稳定时间均呈显著负相关;4种溶剂保持力均与吸水率均呈显著正相关;面筋性能指数GPI与蛋白质含量等6个性状均呈显著正相关。南方馒头比容与籽粒硬度、面团形成时间和稳定时间均呈显著负相关,与蛋白质含量、湿面筋含量和面粉a^*值均呈显著正相关性;曲奇饼干直径、直/厚比与湿面筋含量、水SRC间均呈显著负相关。灰色关联度结果显示,紫麦19、百农201、豫麦158、隆平麦968、荃麦725共5个品种与美国软白麦关联度均超过0.900,其总体品质表现与美国软白麦较接近,是较好的饼干和南方馒头小麦品种。

关键词:软质小麦;安徽;籽粒品质;终端制品品质;饼干;南方馒头

中图分类号:S512.1;S330 **文献标识码**:A **文章编号**:1009-1041(2023)02-0182-08

Evaluation of Grain Quality and End-Use Product Quality of Soft Wheat in Anhui Province

ZHENG Wenyin[1,2], HU Zelin[1], CHENG Ying[1], WANG Lei[1], WANG Yuee[1,3], ZHAO Li[4], WANG Jianlai[4]

(1. College of Agronomy, Anhui Agricultural University/Key Laboratory of Wheat Biology, Genetic and Breeding in Huang-Huai Southern Areas, The Ministry of Agriculture, Hefei, Anhui 230036, China; 2. Yangzhou University/Co-Innovation Center for Modern Production Technology in Grain Crops of Jiangsu Province, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 3. Luan Academy of Agricultural Sciences, Luan, Anhui 2370001, China; 4. Institute of Agronomy, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230001, China)

Abstract: To clarify the quality performance of soft wheat grains and end-use products in field conditions in Anhui Province and to evaluate the processing applicability of the tested soft wheat varieties, in this study, a total of 24 soft wheat varieties popularized and planted in this area were selected to analyze the differences and correlation of the main quality traits of grain, flour, and the quality of Southern steamed bread and cookies. The grey correlation degree was performed by comparing with the av-

收稿日期:2022-03-31 修回日期:2022-04-22
基金项目:安徽省科技重大专项(202003a06020014,202204c06020061);安徽省农业农村厅小麦良种联合攻关项目
第一作者 E-mail:zhengwenyin_75@163.com

erage value of the main quality characters of American soft white wheat in recent five years. The results showed that the coefficients of variation of grain quality traits such as hardness, flour color b^*, wet gluten content, dough development time and stability time were large, while the coefficients of variation of bulk density, flour L^* value and water absorption were small. Among the quality traits of Southern steamed bread, the difference of whiteness among varieties was the smallest, and the difference of specific volume was the largest. Among the quality traits of cookies, the coefficient of variation of sensory score was larger, and the mean and coefficient of variation of cookie diameter were smaller. There was no sample achieving the weak gluten standard all in the parameters of protein content, wet gluten content and stability time(GB/T 17320-2013). Correlation analysis showed that there was no significant correlation between bulk density, falling value, flour L^*, b^*, whiteness with most traits. Grain hardness was significantly positively correlated with water SRC and lactic acid SRC, but negatively correlated with wet gluten content and flour a^* value. Protein content was significantly positively correlated with seven indices such as flour a^*, but negatively correlated with flour b^*, sodium carbonate SRC and dough stability time. The retention of the four solvents was significantly positively correlated with the water absorption. Gluten performance index(GPI) was significantly positively correlated with six traits such as protein content. The specific volume of southern steamed bread was negatively correlated with grain hardness, dough development time and stability time, but positively correlated with protein content, wet gluten content and flour a^* value. There was a significantly negative correlation between cookie diameter, spread ratio and wet gluten content and water SRC. The results of grey correlation degree showed that the correlation degree between Zimai 19, Bainong 201, Yumai 158, Longpingmai 968, Quanmai 725 with American soft white wheat exceeded 0.900. The overall quality performance of these five varieties was close to that of American soft white wheat. They were better varieties for making biscuit and southern steamed bread in this study.

Key words: Soft wheat; Anhui province; Grain quality; End-use product quality; Cookie; Southern steamed bread

国内外学者的研究已充分证明,小麦籽粒或胚乳质地可影响其磨粉品质和食品加工品质,决定着面食加工类型[1-4]。在美国、加拿大和澳大利亚等国,软质小麦品种籽粒硬度小、蛋白质含量较低,适于制作饼干、蛋糕、甜食糕点和日本面条等食品[5]。我国软质小麦的研究起步较晚,产量与品质的矛盾限制其发展,主要因为籽粒品质遗传变异较大,蛋白质、面筋强度、溶剂保持力等常用品质性状间难以协调,且缺乏有效的软质小麦加工品质筛选指标[6-10]。

安徽江淮麦区在农业部《全国优势农产品区域布局规划》中属于长江中下游小麦优势区,也是国际上公认的世界六大软质麦区域之一[11]。该区小麦灌浆成熟期潮湿多雨、寡照,前茬作物多为水稻,籽粒蛋白质含量较低,在沿淮地区发展软白麦,在江淮丘陵发展软红麦,与江苏淮南麦区形成我国优质软麦(弱筋小麦)核心产区[5,10]。但关于安徽江淮软质小麦品质的相关研究极少且中断多年[12-13],严重削弱了该区小麦区域发展优势。近年来,尽管该区已经育成荃麦 725 等一批软质小麦品种[14],但对其籽粒品质的评价尚未见报道,加工成饼干、南方馒头等软麦终端制品的适用性也尚不明确。

针对上述问题,本研究选取该区当前推广种植的 24 个软质小麦品种,对籽粒和面粉中的主要品质性状及其终端制品南方馒头、饼干的品质进行差异性、相关性分析,并以美国小麦协会公布的美国软白麦近五年的主要品质性状平均值为理想指标进行灰色关联度比较,系统评价安徽江淮麦区大田环境下软质小麦品质特性及其终端制品的适用性,以期为江淮麦区优质软质小麦选育、种植和生产提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验材料是从安徽省小麦产业体系 2016—

2017 年展示品种中筛选出的籽粒硬度指数小于 45 的品种，包括茎麦 725 等 24 份材料（详见表 3），均于成熟期收获并脱粒、晒干，室温下贮藏 3 个月后进行后续试验。

1.2 试验方法

1.2.1 小麦籽粒品质性状测定

经过清理的小麦籽粒按 AACC 55-31 测定籽粒硬度值；利用 FOSS 1241 型近红外分析仪测定小麦籽粒容重和蛋白质含量；按 AACC56-81.03 测定降落数值。参照 GB/T 14614-2006 进行润麦，按 AACC 26-50 进行制粉，出粉率控制在 62%～68%间；使用日本 R457 型色差仪测定面粉色泽中的亮度 L^* 值、红度 a^* 值和黄度 b^* 值，并换算出白度值；参照 AACC38-12.02 测定湿面筋含量；参照 AACC56-11.02 测定水溶剂保持力（水 SRC）、碳酸钠溶剂保持力（碳酸钠 SRC）、乳酸溶剂保持力（乳酸 SRC）和蔗糖溶剂保持力（蔗糖 SRC），并计算面筋性能指数（the gluten performance index，GPI）；参照 AACC54-21.01 测定面团粉质参数吸水率、形成时间和稳定时间。

1.2.2 小麦终端制品品质测定

根据 AACC 10-52-02 制作曲奇饼干，测量饼干直径和厚度，计算直/厚比，并进行感官评价（满分 75）。南方馒头的制作参照 Wang[15] 的方法，测量体积和重量，计算比容，并进行感官评价（满分 100）。

1.3 数据分析

运用 Excel、Stata 17.0 软件进行数据统计和灰色关联度分析，用 R 语言 4.1.1 进行相关分析和图绘制。

2 结果与分析

2.1 供试小麦籽粒品质和终端制品品质表现

本研究中，将硬度、容重、蛋白质含量、降落数值、面粉色泽、面筋、粉质仪参数等性状统称为小麦籽粒品质。制成品的烘焙和蒸煮品质性状统称为终端制品品质。从表 1 可以看出，供试材料的硬度、b^*、湿面筋含量、面团形成时间、稳定时间等籽粒品质性状变异系数均大于 10%；而容重、面粉 L^* 值和吸水率变导系数较小。硬度平均值为 33.1，最大值 44.0，最小值 19.0，品种间变化较大。容重平均值为 806.0 $g \cdot L^{-1}$，高于我国一级冬小麦质量标准 790 $g \cdot L^{-1}$。蛋白质平均值为 13.7%，高于国外软质小麦蛋白质含量的标准（低于 12%）。湿面筋含量较高。降落数值平均为 415.6 s，说明籽粒的 α 淀粉酶活性较低。L^* 值、a^* 值和白度平均值分别为 93.4、88.7 和 −1.6，其变异系数均小于 10%。4 种溶剂保持力和面筋性能指数变异系数均小于 10%，品种间差异不大。但蔗糖 SRC 平均值超过 100，说明供试材料的戊聚糖含量较高，这不利于提高饼干品质[16]。吸水率变异系数仅为 3.4%，但平均值达到 57.1；形成时间和稳定时间平均值分别为 7.8 min 和 11.4 min，明显高于国标弱筋小麦标准的 3 min，其变异系数分别为 72.6%和 59.5%。

24 份小麦品种加工成的南方馒头白度变化范围为 71.3～83.7，差异较小，变异系数为 4.2%；比容和感官评分的变异系数均在 10%左右。曲奇饼干品质性状中，感官评分变异系数为 11.8%，直厚比变异系数为 6.2%，饼干直径变异系数仅为 2.0%。

从我国现行的有关小麦品质的国家标准和行业标准来看，籽粒蛋白质含量、湿面筋含量和面团稳定时间是反映小麦强、弱筋类品质特性的关键指标。结合表 1 和表 2 可知，供试的 24 个软质小麦品种的蛋白质含量在 11.6%～15.6%之间，其中符合弱筋标准（<12.5%）的样品 2 个，符合强筋标准（≥14.0%）的品种有 9 个，其余 13 个属于中筋或中强筋；就湿面筋含量而言，符合弱筋标准（<26%）的样品有 8 个，符合强筋标准（≥30%）的样品有 9 个，其余 7 个属于中筋或中强筋；对面团稳定时间，符合弱筋标准（<3 min）的品种仅有 1 个，符合强筋标准（≥8.0 min）的品种有 14 个，其余 9 个属于中筋或中强筋。蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间均符合弱筋标准的样品数为 0。

2.2 籽粒品质及其与终端制品品质的相关性分析

从图 1 可以看出，容重、降落值、L^* 值、b^* 值、白度与大部分性状相关性不显著。与籽粒硬度呈显著正相关的籽粒品质性状有水 SRC 和乳酸 SRC，呈显著负相关的性状有湿面筋含量和 a^* 值。与蛋白质含量有显著相关性的品质性状较多，其中呈显著正相关的性状有 a^* 值、白度、湿面筋含量和面筋性能指数，呈显著负相关的性状有 b^* 值、碳酸钠 SRC 和稳定时间。湿面筋含量与 L^* 值呈显著正相关，与形成时间、稳定时和水 SRC 均呈显著负相关。4 种溶剂保持力与面团吸水率间、乳酸 SRC 与形成时间间、碳酸钠 SRC 和

蔗糖 SRC 与稳定时间间均显著正相关。面筋性能指数 GPI 与蛋白质含量、L^* 值 、白度呈显著正相关,与 b^* 值 、碳酸 SRC 呈显著负相关,与其他指标相关性不显著。

表 1　供试材料品质性状平均值及变化范围

Table 1　Mean and range of quality traits of cultivers tested

品质性状 Quality trait		均值 Mean	标准差 SD	变异系数 Variation/%	变化范围 Range
籽粒品质	硬度值 Hardness index	33.1	5.7	17.2	19.0～44.0
	容重 Test weight/(g·L^{-2})	806.0	15.8	2.0	768.0～832.0
	蛋白质含量 Protein content/%	13.7	0.9	6.3	11.6～15.6
	降落数值 Falling number/s	415.6	40.0	9.6	364.0～563.0
	L^*	93.4	0.4	0.4	92.0～94.2
	a^*	−1.6	0.1	8.8	−2.6～−1.0
	b^*	9.0	1.7	19.2	6.2～12.4
	白度 Whiteness	88.7	1.5	1.7	85.7～91.0
	湿面筋含量 Wet gluten/%	28.4	5.0	17.5	18.9～38.2
	水 SRC Water-SRC%/	58.8	3.9	6.7	49.4～65.1
	碳酸钠 SRC Sodium carbonate-SRC /%	78.2	6.7	8.5	61.8～87.2
	乳酸 SRC Lactic- SRC/%	92.6	8.7	9.4	70.9～108.5
	蔗糖 SRC Sucrose-SRC/%	105.4	8.0	7.6	89.7～121.0
	面筋性能指数 Gluten performance index	0.5	0.0	9.4	0.35～0.61
	吸水率 Water absorption/%	57.1	2.0	3.4	53.7～60.7
	形成时间 Development time/min	7.8	5.6	72.6	2.5～20.5
	稳定时间 Stability time/min	11.4	6.8	59.5	2.8～23.5
终端制品 End-use products	馒头比容 Specific volume of steamed bread /(mg·L^{-1})	2.8	0.3	10.1	2.2～3.2
	馒头白度 Whiteness of steamed bread	78.3	3.3	4.2	71.3～83.7
	馒头感官评分 Sensory evaluation of steamed bread	79.8	7.5	9.5	62.0～91.0
	饼干直径 Cookie diameter/cm	7.2	0.1	2.0	7.0～7.6
	饼干直厚比 Spread ratio	9.1	0.6	6.2	8.3～10.6
	饼干感官评分 Sensory evaluation of cookie	53.9	6.4	11.8	40.5～64.5

表 2　供试材料筋力分类

Table 2　Classification of gluten type in testing materials

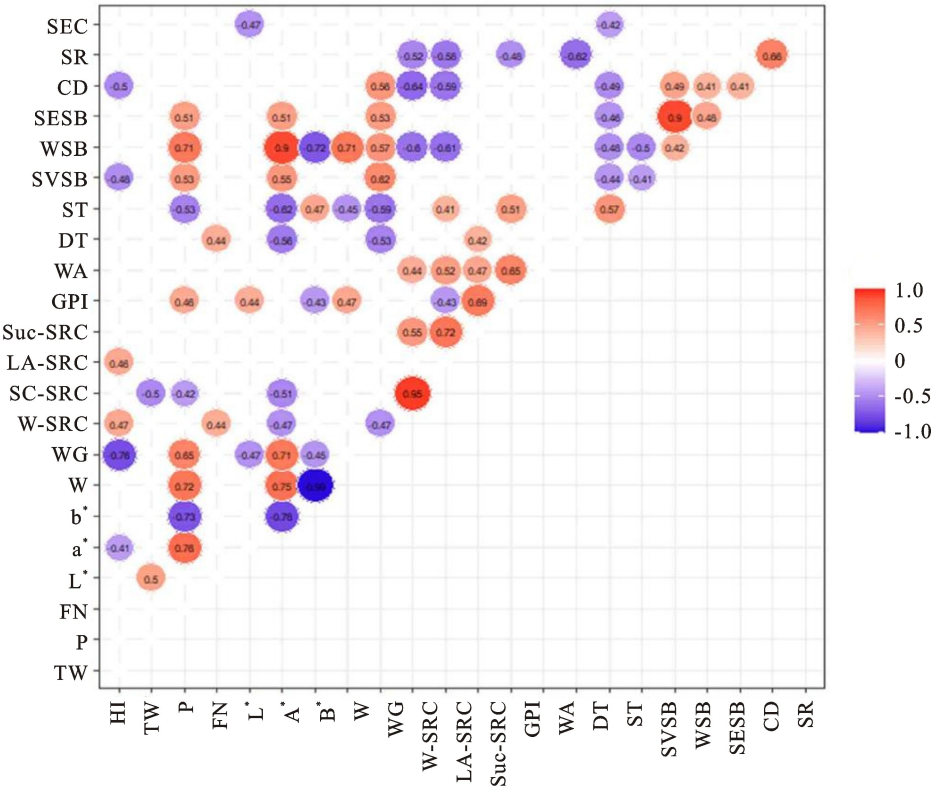
品质性状 Quality trait	标准值 Standard value	筋力类型 Gluten type	品种个数 Number of variety
蛋白质含量 Protein content/%	≥14.0	强筋 Strong gluen	9
	<12.5	弱筋 Weak gluten	2
湿面筋含量 Gluten content/%	≥30	强筋 Strong gluen	9
	<26	弱筋 Weak gluten	8
稳定时间 Stability time/min	≥8.0	强筋 Strong gluen	14
	<3.0	弱筋 Weak gluten	1

标准值参考 GB/T 17320-2013。

Standard values are retrieved from GB/T 17320-2013.

从图 1 可知,显著影响南方馒头比容的籽粒品质性状共有 6 个,其中籽粒硬度、面团形成时间和稳定时间与比容均呈显著负相关,意味着低籽粒硬度和较短形成时间和稳定时间的材料可能有

助于南方馒头比容的提高；蛋白质含量、湿面筋含量和 a^* 值与比容均呈显著正相关，说明提高蛋白质的含量和质量有助于比容的提高。蛋白质含量、湿面筋含量和 a^* 值与南方馒头白度、感官评分均呈显著正相关。除了曲奇饼干直径与湿面筋含量呈显著正相关外，籽粒品质性状与曲奇饼干加工品质多呈负相关或相关性不显著。其中，湿面筋含量、水 SRC 与饼干直径、直厚比均呈显著负相关，显著负向影响饼干直径的性状还有籽粒硬度和形成时间，显著负向影响直厚比的性状还有蔗糖 SRC 和面团吸水率。感官评价与 L^* 和形成时间呈显著负相关。



HI：硬度；TW：容重；P 蛋白质；FN 降落数值；W：白度；WG 湿面筋；W-SRC：水 SRC；SC-SRC：碳酸钠 SRC ；LA-SRC：乳酸 SRC；Suc-SRC：蔗糖 SRC；GPI：面筋性能指数；WA：吸水率；DT：形成时间；ST：稳定时间；SVSB：馒头比容；WSB：馒头白度；SESB：馒头感官评分；CD：饼干直径；SR：饼干直厚比；SEC：饼干感官总分。圆点表示相关性显著水平为 0.05，红色圆点表示正相关，蓝色圆点表示负相关。

HI：Hardness index；TW：Test weight；P：Protein；FN：Falling number；WG：Wet gluten；W-SRC：Water-SRC；SC-SRC：Sodium carbonate-SRC；LA-SRC：Lactic-SRC；Suc-SRC：Sucrose-SRC；GPI：Gluten performance index；WA：Water absorption；DT：Development time；ST：Stability time；SVSB：Specific volume of steamed bread；WSB：Whiteness of steamed bread；SESB：Sensory evaluation of steamed bread；CD：Cookie diameter；SR：Spread ratio；SEC：Sensory evaluation of cookie. The dot indicates correlation significance at 0.05 level. Red dots indicate positive correlation and blue dots indicate negative correlation.

图 1 籽粒品质和终端制品品质间的相关分析

Fig. 1 Correlation analysis between grain quality and end-use product quality

2.3 灰色关联分析和品种品质评价

在灰色关联法的应用中最关键的一步是确定“理想目标”，并将其做为参考序列进行权重灰色关联分析[17]。本研究中，“理想目标”来自于美国小麦协会 2021 年小麦质量报告中软白麦近五年的平均值，分别为硬度 28.5、容重 807 g·L^{-1}、蛋白质 11.1%、降落数值 321 s、面粉 L^* 92.5、面粉 a^* −2.1、面粉 b^* 8、湿面筋含量 22.9%、水 SRC 53、碳酸钠 SRC 79、乳酸 SRC 103、蔗糖 SRC 95、面筋性能指数 0.59、吸水率 52.4%、形成时间 2.2 min、稳定时间 2.7 min、南方馒头的比容 2.5、饼干的直径 8.8 cm、直厚比 9.7；面粉白度 90、南方馒头白度 80、南方馒头感官评分 82 分、饼干感官评分 60 分，则是根据略高于平均值的原则进行设置。为了比较软质小麦的不同终端制品的适合性，本研究将 17 个籽粒品质性状分别与南方馒头和曲奇饼干的品质性状组成两个灰色系统进行分析，首先利用 Stata 17.0 软件进行数据无

量纲化、计算“理想指标”参考序列与比较序列之间的绝对差值,最后通过灰色关联系数计算加权关联度,结果见表 3。

灰色关联分析原则中,加权关联度大的序列与参考序列最为接近[18],即关联度越大,该样品越接近于理想型。从表 3 可知,在南方馒头灰色系统中,加权关联度大于 0.900 的样品有 6 个,表现为紫麦 19>百农 201>豫麦 158>隆平麦 968>荃麦 725>淮麦 28,紫麦 19 的加权关联度最大,说明其南方馒头的品质性状与美国软白麦最为接近。在曲奇饼干灰色系统中,加权关联度大于 0.900 的样品有 5 个,表现为紫麦 19>百农 201=豫麦 158>隆平麦 968>荃麦 725,紫麦 19 的加权关联度最大,说明其饼干的品质性状与美国软白麦较为接近。此外,比较两个系统中的样品加权关联度,发现曲奇饼干系统的关联度稍低于馒头系统,说明样品在饼干品质性状中与美软白的差距相对更大。

表 3　两个灰色系统的灰色关联系数

Table 3　Grey relational coefficients in two grey systems

南方馒头 Southern steamed bread				曲奇饼干 Cookie			
品种 Variety	加权关联度 Weighted correlation degree	品种 Variety	加权关联度 Weighted correlation degree	品种 Variety	加权关联度 Weighted correlation degree	品种 Variety	加权关联度 Weighted correlation degree
百农 201 Bainong 201	0.916	荃麦 725 Quanmai 725	0.908	百农 201 Bainong 201	0.909	荃麦 725 Quanmai 725	0.900
泛麦 5 号 Fanmai 3	0.886	皖垦麦 869 Wankenmai 869	0.892	泛麦 5 号 Fanmai 3	0.88	皖垦麦 869 Wankenmai 869	0.883
华成 1688 化成 1688	0.886	皖麦 52 Wanmia52	0.899	华成 1688 化成 1688	0.879	皖麦 52 Wanmai 52	0.899
淮麦 21 Huaimai 21	0.871	未来 0818 Weilai 0818	0.899	淮麦 21 Huaimai 21	0.859	未来 0818 Weilai 0818	0.899
淮麦 22 Huaimia 22	0.879	鑫麦 8 号 Xinmai 8	0.883	淮麦 22 Huaimai 22	0.873	鑫麦 8 号 Xinmai 8	0.875
淮麦 24 Huaimai 24	0.891	烟 5158 Yan 5158	0.889	淮麦 24 Huaimai 24	0.873	烟 5158 Yan 5158	0.88
淮麦 28 Huaimia 28	0.900	烟农 999 Yannong 999	0.881	淮麦 28 Huaimai28	0.897	烟农 999 Yannong 999	0.879
淮麦 32 Huaimai 32	0.841	益科麦 5 号 Ykemai 5	0.884	淮麦 32 Huaimai 32	0.838	益科麦 5 号 Ykemai 5	0.874
淮麦 35 Huai 35	0.887	豫教 6 号 Yujiao 6	0.849	淮麦 35 Huaimai 35	0.868	豫教 6 号 Yujiao 6	0.844
龙科 090 Lingke 0911	0.874	豫麦 158 Yumai 158	0.914	龙科 0901 Longke 0911	0.863	豫麦 158 Yumai 158	0.909
隆平麦 968 Longpingma	0.913	郑麦 113 Zhengmai	0.891	隆平麦 968 Longpingma	0.908	郑麦 113 Zhengmai	0.879
明麦 1 号 Mingmai 1	0.897	紫麦 19 Zimai 19	0.921	明麦 1 号 Mingmai 1	0.894	紫麦 19 Zimai 19	0.911

3　讨 论

3.1　安徽麦区软质小麦品质特性

小麦品质是一个复杂的综合概念[19],无法用单一品质性状进行评价。国际上评价优质软质小麦品质的主要指标是硬度低于 45、蛋白低于 12%。而我国对软质小麦品种则要求蛋白质低于 12.5%、湿面筋含量低于 26%、稳定时间低于 3 min、硬度小于 50。依国内标准,本研究硬度均小于 45 的 24 份材料中,蛋白质含量低于国标 12.5%的仅有 2 份,湿面筋含量低于 26%的只有 8 份,而面团稳定时间低于 3 min 的仅有 1 份,完全达到低蛋白和弱筋力标准的材料 0 份。可见供试材料的品质是软质,但不弱筋,且蛋白质和面筋强度不能同时达标,这与张平平等[10]的研究结果相一致。这说明限制当前我国软质小麦生产的品质因素依然是蛋白质和面筋强度的超标。何中虎等[23]强调了 SRC 可用于评价软质弱筋小麦,Merra[16]等认为,适宜做饼干的美国软质小麦 4 种 SRC 范围应为乳酸 SRC≥87、水 SRC≤51、碳

酸钠 SRC≤64、蔗糖 SRC≤89，且乳酸 SRC 越高越好。但在本试验中，供试材料上述 4 种 SRC 分别为 92.6、58.5、78.2 和 105.4，均高于上述标准。这与张 勇等[5]结果一致，说明在 SRC 特性方面，中国品种与美国软麦仍存在明显差距。安徽麦区的软质小麦 SRC 特性呈现较高的水 SRC、碳酸钠 SRC 和蔗糖 SRC，也使得其制作的饼干直径和直厚比均小于美国软白麦。因此，在该地区后续软质小麦品质改良中应加强 SRC 特性的筛选力度。

3.2 软质小麦籽粒品质与终端制品品质的关系

籽粒品质相关分析表明，供试材料的籽粒硬度与湿面筋含量间、蛋白质含量与面团稳定时间均呈显著负相关关系，这与张平平等[10]对江苏省优质软质小麦品质研究结果一致。目前，安徽和江苏麦区推广种植的软麦种质资源中，依然存在关键籽粒品质性状间难以协调的现象，导致其品质性状不稳定[20]，影响终端产品的开发。本研究中，供试材料蛋白质含量与曲奇饼干加工品质无显著相关性，硬度则与饼干加工品质呈显著负相关。这一结果与国内一些学者的研究结果[10,21]不一致，可能是本研究选择的材料硬度变异范围较大。4 种溶剂保持力是美国评价软质小麦品质的主导方法[9]，但在本研究中，乳酸 SRC 与饼干直径、直厚比和感官评价都无显著相关性，而其他 3 种溶剂保持力与饼干直径和直厚比间均呈显著负相关，其中反映面粉中戊聚糖含量的蔗糖 SRC 在评价饼干加工品质体系中的重要性再次得到验证，这与 Zhang 等[22]的研究结果相一致。本研究中，面粉吸水率与饼干加工品质呈负相关，这与国内外文献基本一致[5,9,10,21-22]。此外，本研究显示，面团形成时间与饼干加工品质呈显著负相关，而稳定时间与之则无显著关联，这一结果还需要更多的材料和实验加以验证。

相对于上述饼干加工品质，与南方馒头加工品质显著关联的品质性状发生了一些变化，其中蛋白质含量、湿面筋含量和面粉 a^* 值均与南方馒头比容呈显著正相关，这与软质小麦品质要求低蛋白的特性相反，但这一结果也表明提高蛋白质含量有助于提高南方馒头加工品质，这可能与南方馒头是经发酵加工而成的产品，其内部组织持气性和体积的保持需要一定有筋力结构支撑，但其适用范围还需要做进一步深入研究。此外，硬度、面团形成时间、稳定时间均与南方馒头加工品质呈显著负相关，这与 Wang 等[15]研究相一致，说明降低软麦籽粒硬度、面团形成时间和稳定时间，有助于提高南方馒头加工品质。

软质小麦籽粒品质性状与终端制品加工品质间的关系复杂，本研究的一些结果与国内外研究结果也存在差异。但硬度、湿面筋和面团吸水率与制品的关系比较明确。制作品质较好的南方馒头和曲奇饼干，籽粒的硬度是越低越好，因此根据硬度选择材料是首要条件。对于南方馒头而言，能形成较好馒头品质的软质材料不能有太低的湿面筋含量，而要提高饼干加工品质，必须选择吸水率相对较低的软麦。软质小麦的品质评价指标和体系的适用性和适合度，应与终端产品的加工品质关联在一起进行建立，针对不同终端产品的每个籽粒品质指标的阈值或有效范围还需再深入研究。

参考文献：

[1]赵 新，王步军. 不同硬度小麦品质差异的分析[J]. 麦类作物学报，2009，29(2)：246.
ZHAO X，WANG B J. Analysis on the quality difference of wheat with different hardness [J]. *Journal of Triticeae Crops*，2009，29(2)：246.

[2]吴宏亚，蒋正宁，王 玲. 小麦籽粒硬度及其对面粉加工品质影响的研究进展[J]. 江苏农业学报，2014，30(2)：437.
WU H Y，JIANG Z N，WANG L. Research Progress on wheat grain hardness and its effect on flour processing quality [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*，2014，30(2)：437.

[3]姚金保，周淼平，马鸿翔，等. 小麦籽粒硬度的遗传分析[J]. 江苏农业学报，2018，34(4)：721.
YAO J B，ZHOU M P，MA H X，*et al*. Genetic analysis of grain hardness in wheat [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*，2018，34(4)：721.

[4] DELWICHWEA S R，MORRISB C F，KISZONAS A M. Compressive strength of super soft wheat endosperm [J]. *Journal of Cereal Science*，2020，91：1.

[5]马传喜. 软质小麦的品质研究[J]. 麦类作物学报，1994，24(4)：37.
MA C X. Study on the quality of soft wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*，1994，24(4)：37.

[6]王淑荣，杨春华. 软质小麦在四川盆地的开发潜力[J]. 麦类作物学报，1997，17(3)：42.
WANG S R，YANG C H. Development pnt retention in soft wheat quality evaluation [J]. *Journal of Triticeae Crops*，2004，24(4)：140.

[8]周淼平，吴宏亚，余桂红，等. 软质小麦品质的辅助选择[J]. 麦类作物学报，2007，27(3)：445.
ZHOU M P，WU H Y，YU G H，*et al*. Assistant selection of soft wheat quality [J]. *Journal of Triticeae Crops*，2007，27

(3):445.

[9]张 勇,张 晓,张伯桥,等.中国弱筋小麦与美国软麦溶剂保持力等品质比较[J].江苏农业学报,2013,29(2):247.
ZHANG Y,ZHANG X,ZHANG B Q,*et al*. Comparison of solvent retention and other qualities between Chinese weak gluten wheat and american soft wheat [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*,2013,29(2):247.

[10]张平平,姚金保,姚化墩,等.江苏省优质软麦品种品质特性与饼干加工品质的关系[J].作物学报,2020,46(4):491.
ZHANG P P,YAO J B,YAO H D,*et al*. Relationship between quality characteristics of high-quality soft wheat varieties and biscuit processing quality in Jiangsu Province [J]. *Acta Agronomica Sinica*,2020,46(4):491.

[11]EDWARD J,SOUZA C S,MARY J,*et al*. Basis for soft wheat for wnd-use quality [J]. *Crop Science*,2012,52:21.

[12]张 勇,马传喜.软质小麦与硬质小麦的籽粒结构比较研究[J].粮食与饲料工业,1998(3):5.
ZHANG Y,MA C X. Comparative study on grain structure of soft wheat and hard wheat [J]. *Cereal & Feed Industry*,1998(3):5.

[13]常 成,马传喜.品种和种植环境对软质小麦品质性状的影响[J].安徽农业大学学报,2003,30(3):265.
CHANG C,MA C X. Effects of variety and planting environment on quality traits of soft wheat [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*,2003,30(3):265.

[14]何贤芳,赵 莉,刘 泽,等.软质白皮小麦荃麦 725 栽培技术规范[J].园艺与种苗.2020,40(12):46.
HE X F,ZHAO L,LIU Z,*et al*. Technical specifications for cultivation of soft white wheat Quanmai 725 [J]. *Horticulture & Seed*,2020,40(12):46.

[15]WANG N F,HOU G G,DUBAT A. Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread [J]. *LWT-Food Science and Technology*,2017,82:147.

[16]KWEON M,SLADE L,LEVINE H. Solvent retention capacity(SRC) testing of wheat flour:principles and value in predictingflour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding: A review [J]. *Cereal Chemistry*,2011,88(6):537.

[17]王 青,戴思兰,何 晶,等.灰色关联法和层次分析法在盆栽多头小菊株系选择中的应用[J].中国农业科学,2012,45(17):3653.
WANG Q,DAI S L,HE J,*et al*. Application of grey relational eethod and analytic hierarchy process in the selection of potted chrysanthemum lines [J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2012,45(17):3653.

[18]杨 涛,周 琴,姜 东,等.灰色关联分析法在不同小麦品种饼干品质评价中的应用[J].麦类作物学报,2020,40(4):464.
YANG T,ZHOU Q,JIANG D,*et al*. Application of grey relational analysis in quality evaluation of biscuits of different wheat varieties [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2020,40(4):464.

[19]曹卫星,郭文善,王龙俊,等.小麦品质生理生态及调优技术[M].北京:中国农业出版社,2005.
CAO W X,GUO W S,WANG L J,*et al*. Physiological ecology of wheat quality and optimization techniques [M]. Beijing:China Agricultural Press,2005.

[20]孙丽娟,胡学旭,陆 伟,等基于 GIS 的小麦籽粒品质空间分布特征和影响因子分析[J].中国农业科学,2018,51(5):999.
SUN L J,HU X X,LU W,*et al*. Analysis of spatial distribution characteristics and influencing factors of wheat grain quality based on GIS [J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2018,51(5):999.

[21]张平平,姚金保,马鸿翔,等.宁麦 9 号衍生系及酥性饼干直径的关系[J].麦类作物学报,2013,33:1156.
ZHANG P P,YAO J B,MA H X,*et al*. Quality traits of Ningmai 9 and its derivate lines and their relationship with cookie diameter [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2013,33:1156.

[22]ZHANG Q J,HANG Y,ZHANG Y,*et al*. Effects of solvent retention capacities,pentosan content,and dough rheological properties on sugar snap cookie quality in Chinese soft wheat genotypes [J]. *Crop Science*,2007,47:656.

[23]何中虎,夏先春,陈新民,等.中国小麦育种进展与展望[J].作物学报,2011,37(2):202.
HE Z H,XIA X X,CHEN X M,*et al*. Progress of wheat breeding in China and the future perspective [J]. *Acta Agronomica Sinica*,2011,37(2):202.