

## 制曲专用小麦品质指标相关性分析及种质筛选

夏艺<sup>1,2</sup>, 喻康杰<sup>1,2,3</sup>, 罗锐<sup>1,2</sup>, 史涵睿<sup>1,2</sup>, 马振兵<sup>1,2,3</sup>,  
张传量<sup>1,2</sup>, 郑炜君<sup>1,2</sup>, 吴建辉<sup>1,2</sup>, 聂小军<sup>1,2</sup>, 韩德俊<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学作物抗逆与高效生产全国重点实验室, 陕西杨凌 712100;  
3. 四川省酿酒专用粮工程技术研究中心, 四川宜宾 644000)

**摘要:**为给制曲小麦品种选育及评价提供依据,以214份制曲小麦材料为对象,测定了硬度指数、支链淀粉占比、总淀粉含量、蛋白质含量、湿面筋含量和容重等6个制曲小麦常用品质评价指标,通过综合评价和相关性分析,筛选符合制曲要求的材料,并通过统计学分析,以常用的13个制曲小麦品种为验证群体,确定各项指标最佳选择范围。结果表明,在214份制曲小麦材料中,有22份材料的各项指标均符合制曲要求。经相关性分析,硬度指数与蛋白质、湿面筋含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与总淀粉含量呈极显著负相关;蛋白质含量与湿面筋和总淀粉含量分别呈极显著正相关和负相关。经验证群体验证,确定制曲小麦硬度指数、总淀粉含量、支链淀粉占比、蛋白质含量、湿面筋含量和容重的最佳选择范围分别为19.37%~25.93%、66.82%~72.80%、87.16%~90.60%、11.07%~13.35%、23.77%~28.45%和776.29~805.87 g·L<sup>-1</sup>。

**关键词:** 制曲小麦; 种质筛选; 品质指标

中图分类号: S512.1; 331

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)12-1639-08

## Correlation Analysis of Quality Indicators for Wheat Used in Daqu-Making and Germplasm Screening

XIA Yi<sup>1,2</sup>, YU Kangjie<sup>1,2,3</sup>, LUO Rui<sup>1,2</sup>, SHI Hanrui<sup>1,2</sup>, MA Zhenbing<sup>1,2,3</sup>,  
ZHANG Chuanliang<sup>1,2</sup>, ZHENG Weijun<sup>1,2</sup>, WU Jianhui<sup>1,2</sup>, NIE Xiaojun<sup>1,2</sup>, HAN Dejun<sup>1,2</sup>

(1. Northwest A & F University, College of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. National Key Laboratory of Crop Resistance and Efficient Production, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Province Engineering Technology Research Center of Liquor-Making Grains, Yibin, Sichuan 644000, China)

**Abstract:** In order to establish a quality evaluation system and variety breeding for Daqu-making wheat, 214 wheat materials for Daqu-making were studied, focusing on six common quality evaluation indicators: hardness index, amylopectin ratio, total starch content, protein content, wet gluten content, and test weight. Through comprehensive evaluation and correlation analysis of the six indicators for each sample, materials that met all the requirements for Daqu-making were selected to establish an evaluation group. Statistical analysis was used to determine the range values for individual indicators of Daqu-making wheat. Using 13 commonly used Daqu-making wheat varieties as a validation group, the optimal selection ranges for each indicator were adjusted and determined. Preliminary screening identified 22 materials with potential for Daqu-making that met all the required indicators. Correlation analysis showed that hardness index was significantly positively correlated with protein and wet gluten ( $P < 0.01$ ), but significantly negatively correlated with total starch ( $P < 0.001$ ). Protein was significantly positively correlated with wet gluten ( $P < 0.01$ ), but significantly negatively correlated with to-

收稿日期: 2024-12-17 修回日期: 2025-02-07

基金项目: 高温大曲制曲小麦适宜生态区研究项目

第一作者 E-mail: xiayi0525@163.com (夏艺)

通讯作者 E-mail: wujh@nwafu.edu.cn (吴建辉)

tal starch( $P < 0.001$ ). Based on the validation results from the validation group, the optimal selection ranges for the characteristic indicators of Daqu-making wheat were determined as follows: hardness index between 19.37% and 25.93%, total starch content between 66.82% and 72.80%, amylopectin ratio between 87.16% and 90.60%, protein content between 11.07% and 13.35%, wet gluten content between 23.77% and 28.45%, and test weight between 776.29 and 805.87 g · L<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Daqu-making wheat; Germplasm screening; Quality indices

小麦籽粒富含大量的碳水化合物、粗蛋白质、氨基酸等营养物质,可为制曲微生物的生长繁殖提供必要的碳源和氮素,是白酒行业大曲制作的核心原料<sup>[1-2]</sup>。随着白酒品牌的升级换代,制酒企业逐步意识到原粮品质的重要性,开始建立全产业链溯源体系和原粮生产基地,探索原粮“专种、专收、专储、专用”新领域<sup>[3]</sup>。然而,目前对制曲专用小麦没有统一的品质评价标准,且制曲种质匮乏,所以制酒企业现用小麦原粮大多根据以往经验从多地多点收购而来,品种混杂,质量参差不齐。因此,如何确定制曲专用小麦品质评价体系成为近年来专用小麦育种研究的重要课题<sup>[4-5]</sup>。

在现有研究中,制曲小麦品质的评价主要依据单一指标<sup>[6-7]</sup>。朱和琴等<sup>[8]</sup>认为,小麦籽粒硬度直接影响大曲质量,软质小麦籽粒淀粉含量高、硬度低,后期出酒率更高、酒质更好,更适合酿酒;王海容等<sup>[9]</sup>提出,酿酒小麦总淀粉含量应大于60%,支链淀粉占比应大于70%。姚亚林等<sup>[10]</sup>发现,五粮液制曲小麦的蛋白质含量达11.92%;钟敏等<sup>[11-12]</sup>则认为,酿酒小麦蛋白质含量以12%左右为宜。尽管这些研究结果为制曲小麦的选择提供了科学的参考,但关于制曲专用小麦品质综合指标评判标准的研究仍较为有限,同时仍未建立统一的制曲小麦评价体系。

本研究前期利用近红外光谱技术从1400余份种质中初步筛选出214份淀粉、蛋白质等品质指标符合制曲特性的材料,以此为制曲指标评价群体,分别测定小麦籽粒总淀粉含量、蛋白质含量、硬度指数、支链淀粉占比、湿面筋含量、容重等6个制曲相关品质指标,通过相关性分析评判各项指标关联性及其协调性,确定制曲小麦单项指标的合理范围,同时对常用的13个制曲小麦品种进行检验,以期为定制化培育制曲小麦品种和专用化生产曲粮提供选择标准和评价依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

2022年将多年征集的国内外1400余份小麦品种及当前浓香型和酱香型白酒企业常用的13个制曲小麦品种播种在陕西杨凌西北农林科技大学曹新庄试验农场。收获的籽粒利用波通DA7250近红外分析仪进行品质指标检测,初步筛选出214份与制曲小麦品质特性关键指标接近的品种,将其作为制曲指标评价群体,以常用的13个制曲小麦品种为验证群体。这两个群体品种再于2023年秋季播种在四川江油青莲镇试验基地(31°77'N,104°75'E),并按照正常生产条件统一进行田间管理。

### 1.2 预处理

从2024年夏季收获的小麦籽粒样品中,称取200g通过TW200旋风磨进行磨粉(保留麸皮),制成全麦粉,用于后续相关品质指标测定;另挑选1000粒完整种子利用SKCS4100单粒谷物特性分析仪测定硬度指数。

### 1.3 品质指标的测定

#### 1.3.1 淀粉含量测定

总淀粉含量参考GB 5009.9-2023《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》方法,使用Megazyme α-淀粉酶、葡萄糖苷酶及检测试剂盒检测<sup>[13]</sup>;直链淀粉和支链淀粉占总淀粉比例参考GB 7648-1987《水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法》方法利用Futura3全自动直链淀粉仪,通过比色法进行检测<sup>[14]</sup>。各指标3次重复。

#### 1.3.2 籽粒蛋白质、湿面筋含量的测定

蛋白质含量参考GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》方法,通过全自动凯氏定氮仪检测<sup>[15]</sup>;湿面筋含量参考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》方法通过面筋数量与质量测定仪进行测定<sup>[16]</sup>。各指标均3次重复。

### 1.3.3 硬度指数、千粒重的测定

取 300 个籽粒,利用 SKCS4100 单籽粒谷物特性分析仪,测定小麦籽粒的硬度指数<sup>[17]</sup>,并根据美国谷物化学家协会推荐方法 AACC55-31 对其分类;使用自动考种仪测得小麦千粒重<sup>[18]</sup>。各指标均 3 次重复。

### 1.4 数据处理

所有试验数据均采用 Excel、Graphpad Prism8.0、SPSS 26.0、Rv4.4.1 软件进行分析以及图表的制作,包括相关性分析、多重比较分析、均值±2 倍标准差计算、统计学分析等,以确定不同制曲小麦品种之间的差异性、相关性和

可信度。

## 2 结果与分析

### 2.1 制曲小麦评价群体的品质表现

浓香型、酱香型白酒企业对制曲小麦品质有最低要求:硬度指数 $\leq 50\%$ ,支链淀粉占比 $\geq 85\%$ ,总淀粉含量 $\geq 65\%$ ,蛋白质含量 $\leq 15\%$ ,湿面筋含量 $\leq 30\%$ ,容重 $\geq 750\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。本研究借鉴此标准对 214 份品种组成的评价群体进行分析,结果(表 1 和图 1)表明,评价群体中满足以上单项指标的品种数量分别有 128、210、103、131、96 和 210 份,但仅 22 份品种同时满足 6 项指标。

表 1 制曲小麦评价群体的品质表现

Table 1 Quality performance of evaluating groups for Daqu-making wheat

品质指标 Quality indicator	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	最低选择标准 Minimum selection criteria	符合材料数量 Comply with standard quantity
硬度指数 Hardness index/%	50.56	13.92	40.25	21.18	$\leq 50\%$	128
支链淀粉占比 Amylopectin ratio/%	90.32	82.71	89.03	1.69	$\geq 85\%$	210
总淀粉含量 Total starch content/%	78.43	58.37	65.06	8.56	$\geq 65\%$	103
蛋白质含量 Protein content/%	20.00	10.00	12.73	1.11	$\leq 15\%$	131
湿面筋含量 Wet gluten content/%	41.84	20.13	28.71	4.81	$\leq 30\%$	96
容重 Test weight/( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	809.25	748.74	789.40	13.06	$\geq 750\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	210

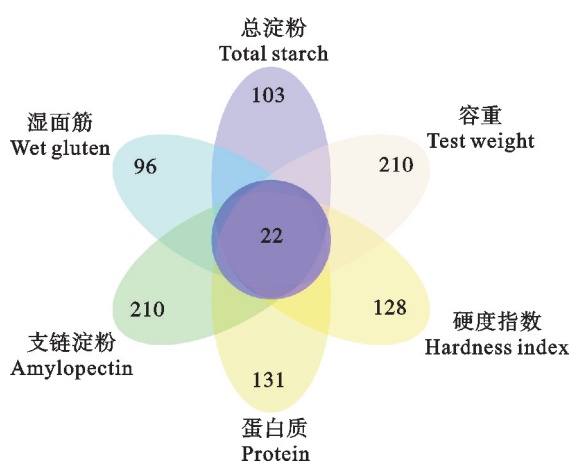


图 1 综合指标筛选

Fig. 1 Comprehensive index screening

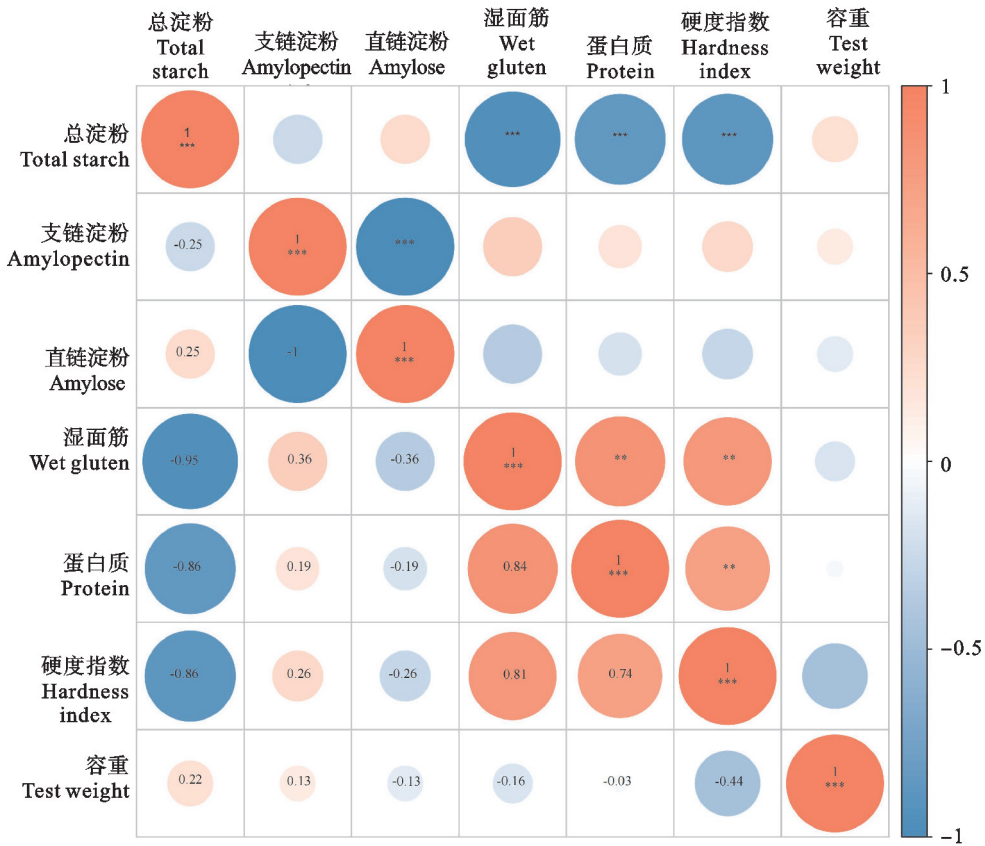
### 2.2 小麦品种籽粒品质指标相关性

对 214 份品种的数据进行相关性分析,结果(图 2)表明,6 个品质指标间存在不同程度的相关性。其中,总淀粉含量与蛋白质和湿面筋含量均呈极其显著负相关( $P < 0.001$ ,  $r$  分别为  $-0.86$  和  $-0.95$ )。硬度指数与总淀粉和蛋白质含量分别呈极其显著负相关( $P < 0.001$ ,  $r = -0.86$ )和正相关( $P < 0.01$ ,  $r = 0.74$ )。蛋白质含量、硬度

指数与湿面筋和直链淀粉含量呈负相关,与支链淀粉含量呈正相关。结合表 1 数据可以看出,小麦品质指标间存在密切关系,依据单一指标难以实现小麦品种的品质全面评价,更不能确定指标的适当范围,因此要实现制曲小麦的品质评价,需要多指标综合分析。

### 2.3 曲麦品质单项指标最佳选择范围

为确定制曲小麦品质指标的合理范围,依据统计学上异值判断方法,基于从评价群体中筛选出的 22 份品种数据,以各品质指标“均值±2 倍标准差”,初步确定制曲小麦品质指标评价范围:总淀粉含量为  $66.82\% \sim 72.80\%$ ,蛋白质含量为  $11.07\% \sim 13.35\%$ ,湿面筋含量为  $23.77\% \sim 28.45\%$ ,支链淀粉占比为  $87.16\% \sim 90.60\%$ ,硬度指数为  $19.37\% \sim 25.93\%$ ,容重为  $776.29 \sim 805.87\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。为了确定上述指标范围的适用性,以 13 个制曲小麦品种组成的验证群体进行验证,结果表明,13 个曲麦品种的 6 个指标阈值均在此范围内(表 3),说明本研究确定的制曲小麦品质评价体系范围是合理的。



\* :  $P < 0.05$ ; \* \* :  $P < 0.01$ ; \* \* \* :  $P < 0.001$ .

图 2 小麦籽粒品质指标的相关性

Fig. 2 Correlation of wheat grain quality indices

### 3 讨论

#### 3.1 制曲专用小麦品质指标间的相关性

制曲小麦品质特性受籽粒中多种成分的影响,导致其硬度、蛋白质、淀粉及其组分之间产生相互作用,进而影响其加工性能和大曲质量。因此,通过分析这些成分之间的相关性,揭示制曲小麦品质的综合影响机制,可为制曲小麦育种和产品加工提供理论依据。本研究表明,小麦籽粒硬度指数与总淀粉和蛋白质含量分别呈极显著负相关和正相关。籽粒淀粉含量增加可能会导致小麦结构疏松,降低硬度<sup>[19]</sup>;而蛋白质通过氢键或疏水作用与淀粉结合,其含量提高会增加籽粒硬度<sup>[20]</sup>。蛋白质含量与总淀粉含量呈极显著负相关( $P < 0.001$ ),这与二者生物合成路径存在竞争关系有关<sup>[21]</sup>。蛋白质更易与表面活性强的支链淀粉结合,而与结构简单的直链淀粉作用较弱<sup>[22]</sup>,因此在本研究中二者间存在极显著正相关关系。湿面筋含量与蛋白质和总淀粉含量分别呈极显著正相关和负相关,因为湿面筋主要由蛋白

质构成,蛋白质含量直接影响湿面筋形成<sup>[23]</sup>;而蛋白质和淀粉在结构和资源上的竞争会影响湿面筋形成<sup>[24]</sup>。制曲时,高蛋白质小麦能形成较多的优质湿面筋,有利于曲块成型和改善发酵气体稳定性及曲块最终质地。直链淀粉和支链淀粉含量间存在负相关关系。直链淀粉由淀粉合成酶催化生成,支链淀粉则受淀粉分支酶作用,两种酶竞争相同底物,相互制约<sup>[25]</sup>。支链淀粉赋予面团粘性和柔软性,有助于曲块成型;直链淀粉通过调控糊化温度、速度及糖分释放,进而影响曲块发酵和品质<sup>[26-27]</sup>。这与王海容等<sup>[28]</sup>、李英杰等<sup>[29]</sup>的研究结果一致。

#### 3.2 制曲专用小麦品质指标范围

有研究表明,制曲小麦对籽粒硬度、淀粉含量等有特定要求<sup>[27]</sup>,软质小麦用于制曲时优于硬质小麦,其淀粉与蛋白质结合能力弱,易糊化,出酒率高<sup>[30]</sup>;制曲小麦淀粉含量应较高( $\geq 65\%$ ),支链淀粉占比越高越好,可为微生物发酵提供更多糖分<sup>[31]</sup>;同时要求低蛋白含量(12%左右)<sup>[2]</sup>,蛋白含量过高易导致杂菌产生、酸类物质积累,使

表 2 所筛选的 22 份制曲小麦品种的品质表现  
Table 2 Quality performance of the 22 screened Daqu-making wheat varieties

材料 Material	硬度指数 Hardness index/%	支链淀粉占比 Amylopectin ratio/%	总淀粉含量 Total starch content/%	蛋白质含量 Protein content/%	湿面筋含量 Wet gluten content/%	容重 Test weight/(g · L <sup>-1</sup> )
绵阳 11 Mianyang 11	22.34±0.56f-i	88.24±0.49bc	69.78±1.53def	12.21±0.67b-e	26.38±0.48bc	775.55±1.34j
皖麦 50 Wanmai 50	19.18±1.32ijk	88.19±0.26bc	71.59±1.37a-d	11.78±0.56c-f	24.53±0.40de	802.93±3.25a
鄂麦 11 E-mai 11	23.70±0.05b-f	88.04±0.29c	68.41±1.12efg	12.45±0.10a-d	26.73±0.14bc	786.32±2.25ghi
豫麦 18 Yumai 18	20.87±1.05ij	88.43±1.08bc	71.56±2.00a-d	11.30±0.44fg	24.01±0.47ef	799.78±1.76ab
郑州 8960 Zhengzhou 8960	20.97±2.26hij	89.26±0.51abc	71.44±1.32a-d	12.04±0.43b-e	26.19±0.32bce	786.88±3.88ghi
中麦 175 Zhongmai 175	20.54±1.25ij	88.63±1.04abc	71.49±0.95a-d	11.73±0.30def	24.54±1.02ef	801.05±2.58ab
石家庄 8 号 Shijiazhuang 8	24.65±0.70a-d	88.45±1.24bc	68.35±1.00fg	12.77±0.37ab	27.56±0.51abc	788.10±1.16ghi
青农 2 号 Qingnong 2	24.06±0.52b-e	88.75±1.21abc	69.76±0.60def	11.76±0.41b-e	24.83±0.28de	779.32±0.82j
川麦 42 Chuanmai 42	20.25±0.29ij	88.98±0.62abc	71.13±3.14a-e	12.21±0.46b-e	24.60±1.63de	790.57±0.32efg
邯麦 15 Hanmai 15	24.01±0.31de	88.11±1.13c	69.40±0.61def	12.64±0.24ab	26.31±0.91bc	790.17±1.88efg
西安 8 号 Xi'an 8	24.41±0.24a-e	90.06±0.27a	69.43±2.00def	12.49±0.59abc	26.16±0.35bc	803.21±0.67a
郑麦 821 Zhengmai 821	22.68±0.44e-h	88.99±0.36abc	70.10±1.61b-f	12.47±0.60a-d	26.10±0.72bc	790.12±3.45efg
郑麦 113 Zhengmai 113	23.07±0.45d-g	90.03±1.33a	69.48±0.95def	12.76±0.31ab	26.92±1.65bce	795.76±0.42cd
荃麦 725 Quannai 725	23.22±0.53d-g	88.66±0.30abc	69.24±0.60def	12.57±0.60ab	26.82±0.49bce	794.23±0.81de
天民 184 Tianmin 184	23.19±0.12d-g	88.92±0.19abc	69.54±0.47def	12.49±0.24abc	26.87±0.62bce	789.29±1.14gh
天民 198 Tianmin 198	21.44±0.41ghi	88.48±0.51bc	70.31±0.82a-e	11.57±0.10ef	25.12±0.46cd	785.16±4.84hi
扬麦 13 Yangmai 13	22.64±0.80e-h	88.27±0.29bc	69.84±0.47c-f	12.06±0.59b-e	26.57±0.17b	793.56±0.82def
黔麦 18 Qianmai 18	24.39±0.55cde	88.99±0.49abc	68.40±0.38fg	12.68±0.93ab	27.14±0.51ab	784.89±3.04i
贵农 31 Guinong 31	24.13±1.10cde	89.66±0.38ab	68.49±0.48fg	12.74±0.23ab	27.18±0.24abc	788.54±1.04ghi
贵农 29 Guinong 29	22.74±0.79f-i	90.08±0.70a	69.98±0.75b-f	11.78±0.35c-f	26.43±0.97bc	789.96±0.53fg
川麦 93 Chuanmai 93	23.18±0.67d-g	89.00±0.81abc	69.09±1.31def	11.83±0.43c-f	26.75±0.51bce	800.08±4.12ab
信麦 163 Xinmai 163	22.52±0.35f-i	89.10±0.46abc	69.97±0.48b-f	12.22±0.18b-e	26.68±0.67bc	788.24±2.65ghi
最大值 Maximum value	25.46	91.51	75.47	13.75	28.65	806.48
最小值 Minimum value	17.86	87.04	66.98	10.93	23.13	774.32
均值 Average value	22.65	88.88	69.81	12.21	26.11	791.08
标准差 Standard deviation	1.64	0.86	1.49	0.57	1.17	7.39

同列数值后小写字母不同表示不同小麦品种间差异显著 ( $P < 0.05$ )。表 3 同。

Different lowercase letters after the values in the same columns indicate significant differences among different wheat varieties at 0.05 level. The same in table 3.

表 3 用于验证的 13 份制曲小麦品质表现  
Table 3 Quality performance of 13 Daqu-making wheat varieties for validation

品种 Variety	硬度指数 Hardness index/%	支链淀粉占比 Amylopectin ratio/%	总淀粉含量 Total starch content/%	蛋白质含量 Protein content/%	湿面筋含量 Wet gluten content/%	容重 Test weight/ (g · L <sup>-1</sup> )
MT1	23.12±0.63abc	89.67±1.34ab	68.90±1.75bc	12.64±0.63abc	26.51±0.59abc	793.69±0.57bc
MT2	24.39±0.54a	88.99±0.48abc	68.40±0.37c	12.68±0.92ab	26.55±0.90ab	784.89±3.03e
MT3	23.63±0.54ab	88.57±0.31bc	68.83±0.61bc	12.87±0.61a	26.74±0.70ab	785.31±1.31e
MT4	24.13±1.09a	89.66±0.37ab	68.49±0.48bc	12.74±0.22ab	26.61±0.34ab	788.54±1.03de
MT5	22.74±0.78a-d	90.08±0.69a	69.98±0.74abc	11.65±0.09e	25.52±0.13de	789.96±0.52cd
WL1	20.82±1.83e	88.67±0.65bc	71.79±1.97a	11.58±0.05e	25.45±0.12de	777.99±0.62f
WL2	21.12±0.42de	89.43±0.51abc	70.63±0.21ab	11.74±0.44e	25.61±0.52de	779.23±0.64f
WL3	22.87±1.95abc	89.69±0.33ab	69.81±2.23abc	12.22±0.06a-e	26.09±0.08b-e	798.73±1.96a
WL4	21.44±0.42cde	88.48±0.52c	70.31±0.81abc	11.57±0.09e	25.44±0.08e	785.16±4.47e
WL5	23.18±0.67abc	89.01±0.82abc	69.09±1.32bc	11.83±0.44cde	25.7±0.46cde	800.08±4.12a
YH1	22.31±0.12b-e	88.39±0.32c	69.55±0.46bc	11.79±0.11de	25.66±0.22cde	792.64±2.11bc
YH2	22.67±0.21a-d	89.45±0.23abc	69.19±0.33bc	12.03±0.26b-e	25.90±0.31b-e	796.43±1.26ab
YH3	23.22±0.52ab	88.66±0.31bc	69.24±0.59bc	12.57±0.59a-d	26.44±0.57a-d	794.23±0.82b
最大值 Maximum value	25.38	91.21	74.05	13.73	27.60	802.87
最小值 Minimum value	18.71	87.92	66.88	11.30	25.17	777.57
均值 Average value	22.74	89.13	69.55	12.15	26.02	789.76
标准差 Standard deviation	1.30	0.74	1.31	0.60	0.60	7.06

酒质变差<sup>[32]</sup>。郑建敏等<sup>[33]</sup>发现,制曲小麦粗蛋白、淀粉、湿面筋含量均值分别为 11.63%、68.17%、28.10%;李英杰等<sup>[29]</sup>提出,制曲小麦总淀粉、蛋白质、湿面筋含量范围分别为 66.65%~71.03%、7.92%~12.55%和 13.25%~25.55%。

本研究从 214 份材料中鉴定出的 22 份各项指标均符合曲麦特征的材料,以此为基础,利用“均值±2 倍标准差”确定 6 项品质指标的范围值,进而利用 13 份当前主要白酒企业常用的制曲小麦品种进行验证,最终提出曲麦硬度指数、总淀粉含量、支链淀粉占比、蛋白质含量、湿面筋含量和容重的最佳范围分别为 19.37%~25.93%、66.82%~72.80%、87.16%~90.60%、11.07%~13.35%、23.77%~28.45%和 776.29~805.87 g · L<sup>-1</sup>。后续将筛选的品种分别制曲和酿酒,再通过曲块和白酒品质的评价回溯到制曲小麦指标评价标准,以期进一步验证和评判,提高制曲小麦品质评价标准的适用性和参考价值。

### 3.3 制曲专用小麦品种的定制化选育

虽然对制曲专用小麦的研究取得了进展,但中国白酒产业“酒强粮弱”的整体现状仍未改变,可用于区域生产的制曲小麦品种资源仍较少,迫

切需要加强专用小麦基地建设和规模化生产。未来应以培育优质、高产、多抗的制曲专用型新品种为目标,在品种改良、标准化种植和基地建设等方面加大投入,推动酿酒专用小麦产业的发展。同时,为不同地区“定制”具有当地特色的制曲小麦品种,可能会成为提升制酒企业竞争力的关键点。本研究通过对最初的 214 份小麦品种品质指标的分析,发现部分品种的大多数指标均在范围阈值之内,只有极个别指标不符合标准范围<sup>[34]</sup>,这类品种或可通过基因编辑、杂交育种、生物分子育种等技术手段加以改良,培育成弱筋软质小麦,可为制曲专用小麦育成更多候选品种。

## 4 结论

本研究通过对制曲小麦品质特性的系统分析,选出 22 个具有制曲潜力的小麦品种,提出制曲小麦 6 项指标最佳范围:硬度指数 19.37~25.93%,总淀粉含量 66.82~72.80%,支链淀粉占比 87.16~90.60%,蛋白质含量 11.07~13.35%,湿面筋含量 23.77~28.45%,容重 776.29~805.87 g · L<sup>-1</sup>。

## 参考文献:

- [1]陈泽军,周瑞平,尹礼国,等.酿酒专用小麦在多粮浓香型酒厂的应用[J].酿酒科技,2008(5):65.  
CHEN Z J,ZHOU R P,YIN L G,*et al.* Application of wheat for liquor-making only in distillery producing Luzhou-flavor liquor by multiple grains [J]. *Liquor-Making Science & Technology*,2008(5):65.
- [2]时伟,郭举,郑红梅,等.酿酒专用小麦的品质及其酿造性能研究进展[J/OL].食品与发酵工业,2024. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.040350>.  
SHI W,GUO J,ZHENG H M,*et al.* Progress on quality and brewing properties of wheat for brewing [J/OL]. *Food and Fermentation Industry*, 2024. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.040350>.
- [3]叶华夏,赵东,罗晓东,等.五粮液建设酿酒专用粮基地的探讨[J].酿酒科技,2018(8):135.  
YE H X,ZHAO D,LUO X D,*et al.* Construction of special liquor-making grain base by Wuliangye distillery [J]. *Liquor-Making Science & Technology*,2018(8):135.
- [4]邹凤亮,何员江,朱自忠,等.酿酒专用小麦研究进展[J].麦类作物学报,2023,43(10):1351.  
ZOU F L,HE Y J,ZHU Z Z,*et al.* Research progress on wheat for Chinese Baijiu [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023,43(10):1351.
- [5]杜礼泉,谢菲,范昌明,等.酿酒专用小麦在中温曲生产中的研究应用[J].酿酒科技,2023(5):85.  
DU L Q,XIE F,FAN C M,*et al.* Application of liquor-making wheat in the production of medium-temperature Daqu [J]. *Liquor-Making Science & Technology*,2023(5):85.
- [6]叶力,邓莉川,刘沛通,等.酿酒高粱及新型酿酒原料研究进展[J].农产品加工,2023(3):80.  
YE L,DENG L C,LIU P T,*et al.* Research progress of brewing *Sorghum* and new raw materials [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*,2023(3):80.
- [7]牛蛟,沈毅,张贵虎,等.白酒酿造原料与酒体品质关系的研究进展[J].食品与发酵工业,2023,49(3):322.  
NIU J,SHEN Y,ZHANG G H,*et al.* Research progress on the relationship between raw materials and Baijiu quality [J]. *Food and Fermentation Industries*,2023,49(3):322.
- [8]朱和琴,周瑞平,江东材,等.不同小麦生产偏高温大曲的研究[J].酿酒科技,2012(10):65.  
ZHU H Q,ZHOU R P,JIANG D C,*et al.* Research on the production of high-temperature-deviating Daqu by different kinds of wheat [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2012(10):65.
- [9]王海容.酿酒小麦品质探究及在不同产区的品质特性[D].杨凌:西北农林科技大学,2022.  
WANG H R. Study on the quality of brewing wheat and its quality characteristics in different producing areas [D]. Yanling: Northwest A & F University,2022.
- [10]姚亚林,黄治国,邓霖,等.不同五粮配方的成分解析及其酿造特性对比研究[J].中国酿造,2020,39(7):89.  
YAO Y L,HUANG Z G,DENG L,*et al.* Comparison of composition and brewing characteristics of different five-grain formulas [J]. *China Brewing*,2020,39(7):89.
- [11]曹新莉.原料与酿酒[J].酿酒科技,2002(4):53.  
CAO X L. Correlations of raw materials and liquor-making [J]. *Liquor-Making Science & Technology*,2002(4):53.
- [12]钟敏,庞臻,陈明学,等.原料小麦对白酒酿造影响的研究现状[J/OL].酿酒科技,2024. <https://link.cnki.net/urlid/52.1051.TS.20241105.1144.004>.  
ZHONG M,PANG Z,CHEN M X,*et al.* Current status of the influence of raw wheat on liquor brewing [J/OL]. *Brewing Technology*, 2024. <https://link.cnki.net/urlid/52.1051.TS.20241105.1144.004>.
- [13]中国国家卫生健康委员会,中国国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品中淀粉的测定:GB 5009.9—2023[S].北京:中国标准出版社,2023.  
National Health Commission of China,General Administration of Market Supervision of China. National Food Safety Standard Determination of Starch in Food:GB 509.9—2023 [S]. Beijing:China Standards Press,2023.
- [14]中国农牧渔业部.水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法:GB 7648—1987[S].北京:中国标准出版社,1987.  
Ministry of Agriculture and Forestry of China. Method for the determination of amylose in rice, corn, and millet seeds: GB 748—1987 [S]. Beijing:China Standards Press,1987.
- [15]中国国家卫生和计划生育委员会,中国国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.  
China National Health and Family Planning Commission, China National Food and Drug Administration. National Food Safety Standard Determination of Protein in Food:GB 509.5—2016 [S]. Beijing:China Standards Press,2017.
- [16]中国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.小麦和小麦粉 面筋含量 第2部分:仪器法测定湿面筋:GB/T 5506.2—2008[S].北京:中国标准出版社,2009.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China, Standardization Administration of China. Wheat and wheat flour - Determination of gluten content Part 2: Instrumental method for the determination of wet gluten:GB/T 5506.2—2008 [S]. Beijing:China Press, 2009.
- [17]袁翠平,田纪春,王永军.小麦品种籽粒硬度测定方法比较研究[J].麦类作物学报,2004,24(2):106.  
YUAN C P,TIAN J C,WANG Y J. Comparison on the methods for testing wheat grain hardness [J]. *Acta Tritical Crops*,2004,24(2):106.
- [18]胡新中,魏益民,张国权,等.陕西关中小麦品种籽粒硬度及测定方法研究[J].麦类作物学报,2001,21(4):22.  
HU X Z,WEI Y M,ZHANG G Q,*et al.* Study on the hardness testing methods and hardness of wheat kernel cultivated in Guanzhong, Shaanxi Province [J]. *Acta Tritical Crops*, 2001,21(4):22.

- [19] SHANG J Y, LI L M, ZHAO B, *et al.* Comparative studies on physicochemical properties of total, A- and B-type starch from soft and hard wheat varieties [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 154: 714.
- [20] 江伟, 张 晓, 刘大同, 等. 小麦品质性状相关性及其主成分分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(16): 43.  
JIANG W, ZHANG X, LIU D T, *et al.* *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(16): 43.
- [21] ZHANG S, GHATAK A, BAZARGANI M M, *et al.* Spatial distribution of proteins and metabolites in developing wheat grain and their differential regulatory response during the grain filling process [J]. *The Plant Journal*, 2021, 107(3): 669.
- [22] WANG J, ZHAO S M, MIN G, *et al.* Starch-protein interplay varies the multi-scale structures of starch undergoing thermal processing [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 175: 179.
- [23] 郭兴凤, 张莹莹, 任 聪, 等. 小麦蛋白质的组成与面筋网络结构、面制品品质关系的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 119.  
GUO X F, ZHANG Y Y, REN C, *et al.* Progresses about the relationship between the composition of wheat proteins and gluten network and their correlation with the quality of wheat flour foods [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2018, 39(6): 119.
- [24] 望俊森, 张中州, 袁 谦, 等. 黄淮南片小麦主要品质性状相关性分析[J]. 山西农业科学, 2021, 49(12): 1438.  
WANG J S, ZHANG Z Z, YUAN Q, *et al.* Correlation analysis of main quality characters of wheat from the south of Yellow & Huai River valley [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2021, 49(12): 1438.
- [25] 吴云飞, 陆文艺, 段玉仁, 等. 小麦籽粒淀粉合成内在影响因素研究进展[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(8): 1005.  
WU Y F, LU W Y, DUAN Y R, *et al.* Research progress on internal factors affecting starch synthesis in wheat grains [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(8): 1005.
- [26] 康国章, 王永华, 郭天财. 小麦淀粉的理化特性及其合成的分子机制[J]. 作物学报, 2024, 50(11): 2665.  
KANG G Z, WANG Y H, GUO T C. Physicochemical properties of wheat starch and the molecular mechanisms of its synthesis [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2024, 50(11): 2665.
- [27] 王海容, 王永锋, 朱国军, 等. 酿酒制曲专用小麦淀粉品质特性研究[J]. 中国酿造, 2023, 42(11): 230.  
WANG H R, WANG Y F, ZHU G J, *et al.* Starch quality characteristics of special wheat for Daqu-making [J]. *China Brewing*, 2023, 42(11): 230.
- [28] 王海容, 王永锋, 朱国军, 等. 酿酒专用小麦籽粒品质特性研究[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(3): 352.  
WANG H R, WANG Y F, ZHU G J, *et al.* Study on grain quality characteristics of wheat special for wine production [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(3): 352.
- [29] 李英杰, 何员江, 向生远, 等. 7 种不同品种小麦的制曲理化品质评价[J]. 中国酿造, 2024, 43(2): 194.  
LI Y J, HE Y J, XIANG S Y, *et al.* Evaluation of physicochemical quality of Qu fermented by seven different varieties of wheat [J]. *China Brewing*, 2024, 43(2): 194.
- [30] ZHANG C L, AO Z H, CHUI W Q, *et al.* Characterization of volatile compounds from Daqu—A traditional Chinese liquor fermentation starter [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(8): 1591.
- [31] 揭厚胜. 不同直链淀粉含量的水稻品种籽粒淀粉和蛋白质积累特性的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2004.  
JIE H S. Study on the characteristics of starch and protein accumulation in rice grain with different amylose content [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2004.
- [32] 信春晖. 小麦蛋白质在酿酒中的功用[J]. 酿酒科技, 2005(12): 51.  
XIN C H. Utilization of wheat protein in liquor production [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2005(12): 51.
- [33] 郑建敏, 蒲宗君, 吕季娟, 等. 四川省酿酒小麦区域试验参试品种现状初步分析[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(6): 1056.  
ZHENG J M, PU Z J, LYU J J, *et al.* Preliminary analysis of the present situation of the varieties in the regional test of brewing wheat in Sichuan Province [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2023, 41(6): 1056.
- [34] 郑雅月, 赵振杰, 赵万春, 等. 小麦籽粒硬度研究进展[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(7): 915.  
ZHENG Y Y, ZHAO Z J, ZHAO W C, *et al.* Progress of research on wheat kernel hardness [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2017, 37(7): 915.