麦类作物学报 2021,41(7):834－841
Journal of Triticeae Crops doi: 10.7606/j.issn.1009－1041.2021.07.06

网络出版时间:2021-07-06
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1359.S.20210706.1411.022.html

52份波兰小麦种子性状分析

沈吉成[1,2],李亚鑫[4],赵彩霞[1,2,3],叶发慧[1,2,3],刘德梅[1,2],
刘瑞娟[1,2],张怀刚[1,2,3],陈文杰[1,2]

(1.中国科学院高原生物适应与进化重点实验室/中国科学院西北高原生物研究所/中国科学院种子创新研究院,青海西宁 810008;
2.青海省作物分子育种重点实验室,青海西宁 810008;3.中国科学院大学,北京 100049;4.青海大学,青海西宁 810016)

摘 要:为了解波兰小麦籽粒及其品质性状,对52份波兰小麦品种籽粒性状进行了测定,并对其品质性状间的相关性进行了分析。结果表明:(1)供试波兰小麦籽粒千粒重变异系数最高为42.27%,其次为粗蛋白、湿面筋含量,变异系数分别为11.47%和11.74%;较高原448,10号的籽粒千粒重提高46.95%,20号的粗蛋白含量提高105.83%,2号的湿面筋含量提高94.31%,这些品种可以作为较高千粒重和籽粒品质的重要种质资源;供试小麦籽粒长度、宽度与千粒重呈极显著正相关,籽粒大小可以作为千粒重选择的指标。(2)主成分分析表明,波兰小麦面粉的形成时间对其品质影响的权重最高(W=0.24),其次是稳定时间对品质的影响(W=0.23);面粉的稳定时间和形成时间与籽粒含水率、粗蛋白含量呈显著或极显著负相关,与籽粒千粒重呈极显著正相关,湿面筋含量与面粉形成时间呈显著正相关。可选择千粒重较大、籽粒含水率较低、粗蛋白含量适宜的波兰小麦作为我国小麦遗传基础拓展和品种改良的亲本材料。

关键词:波兰小麦;籽粒性状;品质权重

中图分类号:S512.1;S330 **文献标识码**:A **文章编号**:1009－1041(2021)07－0834-08

Analysis of Seed Traits of 52 Wheat Varieties(*Triticum polonicum* L.)

**SHEN Jicheng[1,2], LI Yaxin[4], ZHAO Caixia[1,2,3], YE Fahui[1,2,3],
LIU Demei[1,2], LIU Ruijuan[1,2], ZHANG Huaigang[1,2,3], CHEN Wenjie[1,2]**

(1.Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota/Northwest Institute of Plateau Biology/Innovation Academy for Seed Design,Chinese Academy of Sciences,Xining,Qinghai 810008,China; 2.Qinghai Provincial Key Laboratory of Crop Molecular Breeding,Xining,Qinghai 810008,China; 3.University of Chinese Academy of Sciences,Beijing 100049,China; 4.Qinghai University,Xining,Qinghai 810016,China)

Abstract: To investigate the seed size,grain quality and other traits of the*Triticum polonicum* L,the seed traits of 52 wheat varieties(*Triticum polonicum* L) were determined.The results showed that coefficient of variation of thousand grain weight of the tested varieties was highest(42.27%),and that of the crude protein and wet gluten content was 11.47% and 11.74%,respectively.Compared with Gaoyuan 448,the thousand grain weight of No. 10 increased by 46.95%; the crude protein content of No. 20 increased by 105.83% and the wet gluten content of No. 2 increased by 94.31%;these varieties can be used as important germplasm resources with high thousand grain weight and grain quality.The length and width of grain were significantly positively correlated with thousand grain weight,which can be used as indicators for thousand grain weight selection.Principal component analysis showed the weight of dough development time on grain quality was the highest(W=0.24),followed by stability

收稿日期:2021-02-03 修回日期:2021-03-21
基金项目:青海省应用基础研究项目(2018-ZJ-701);青海省创新平台建设项目(2021-ZJ-Y05);国家重点研发计划项目(2016YFD0100500);中国科学院战略性先导科技专项(XDA24030102);中国科学院青年创新促进会(2019420)
第一作者 E-mail:1911561480@qq.com(沈吉成);2512662303@qq.com(李亚鑫,与第一作者同等贡献)
通讯作者:陈文杰(E-mail:wjchen@nwipb.cas.cn)

time on grain quality(W = 0.23). The dough stability time and development time were significantly negatively correlated with grain moisture and crude protein content, but significantly positively correlated with thousand grain weight, and the wet gluten content was significantly positively correlated with flour development time. Therefore, the materials with larger thousand grain weight, lower grain moisture content and suitable crude protein content can be selected as the parent materials for wheat genetic foundation expansion and variety improvement in China.

Key words: *Triticum polonicum* L; Grain traits; Quality weight

小麦是我国三大粮食作物之一,其可持续发展对保障国内粮食安全具有重要意义[1]。但是由于对小麦长期驯化过程中的定向选择,导致我国小麦遗传多样性逐渐降低,遗传背景越来越狭窄,高产、优质的育种目标受到阻碍[2]。合理利用小麦近缘物种的优良基因是增加其遗传多样性、扩宽其遗传基础、实现普通小麦高产、优质的重要方法[3-4]。

波兰小麦(*Triticum polonicum* L,2n =28,AABB)作为典型的四倍体裸粒栽培小麦,具有粒大、品质好等特点[5]。研究表明,波兰小麦千粒重可达 60.00 g,蛋白质含量高达 26.90%[6-7];CIMMYT 通过波兰小麦分蘖强的特点选育出的小麦新品种产量高达 18.00×10^3 kg·hm^{-2}[8]。通过远缘杂交或转基因工程,将波兰小麦的抗纹枯病基因导入普通小麦中可以培育出纹枯病抗性较强的小麦品种[9]。另外,波兰小麦直链淀粉的含量较高,可作为改良普通小麦淀粉特性的优良亲本[5]。

本研究拟对 52 份不同品种的波兰小麦籽粒性状进行系统分析,发掘其性状优异的材料,以期用于我国小麦遗传基础的拓展和品质改良。

1　材料与方法

1.1　供试材料

52 份供试波兰小麦品种来源于 20 多个国家(地区),均保存于青海省作物分子育种重点实验室;以青海省主栽普通小麦品种高原 448 作为对照。选用 2020 年收获的籽粒测定相关指标。

1.2　测定指标及方法

随机取每个品种的籽粒 30 粒,用游标卡尺测定其长度和宽度,取平均为单籽粒长度、宽度;随机取 200 粒称重,换算成千粒重。3 次重复。

参照 GB/T5497-85 使用便携式快速水分测定仪测定样品籽粒含水率;参照 GB/T5498-85 使用 HGT-100 型容重器测定样品容重;籽粒经由 0.50 mm 孔筛旋风磨(瑞典 Tecator 公司 109 型)直接磨粉,采用上海 JJJ-54 面筋洗涤系统测定籽粒面筋含量;使用瑞典 Tacator 公司生产的自动分析仪测定籽粒蛋白质含量;利用德国 Brabender 公司制造的粉质仪测定面粉形成时间、稳定时间和吸水率。利用主成分分析法计算各品质指标的权重[10]。每个样品均重复 3 次。

1.3　数据分析

采用 Excel 绘制表,用 SPSS 19.0 对数据进行显著性检验及相关分析。不同处理间的比较采用 Duncan's 新复极差法($P<0.05$)。

2　结果与分析

2.1　籽粒表型性状分析

如表 1 所示,供试波兰小麦品种的籽粒长度、宽度及千粒重存在不同程度差异。其籽粒长度的平均值为 8.65 mm,供试品种只有 1 号和 25 号籽粒长度小于高原 448,51 号的籽粒长度最大,为 10.54 mm,显著大于高原 448,增幅为 70.00%。籽粒宽度为 1.45~3.50 mm,平均值为 2.84 mm,均小于高原 448,以 4 号最大,为 3.50 mm,与高原 448 差异不显著。籽粒千粒重的平均值为 44.01 g,大于高原 448 的品种有 26 个,以 10 号的千粒重最高,为 71.80 g,较高原 448 增加了 46.95%,二者间差异显著($P<0.05$)。

2.2　籽粒品质性状分析

由表 2 可知,供试波兰小麦籽粒含水率变化范围为 9.08%~12.41%,大于高原 448 的品种有 5 个,以 22 号最高,为 12.41%,显著高于高原 448,增幅为 20.72%;粗蛋白含量变化范围为 18.32%~29.66%,均高于高原 448,以 20 号最高,为 29.66%,较高原 448 高 105.83%,二者间差异显著($P<0.05$);湿面筋含量变化范围为 32.85%~58.02%,均大于高原 448,以 2 号最高,为 58.02%,较高原 448 显著增加,增幅为 94.31%;籽粒吸水率的平均值为55.61%,大于

表 1 供试材料籽粒长度、宽度和千粒重

Table 1 Grain length, width and thousand-grain weight of the tested materials

编号 Number	长度 Length/mm	宽度 Width/mm	千粒重 Thousand grain weight/g
1	5.67x	2.27p	17.11qrst
2	6.73vw	1.67qr	20.68qrs
3	8.45lmnopq	3.27abcd	56.53bcdefg
4	8.40mnopqr	3.50ab	58.60abcdefg
5	9.66bcdefg	2.86ghijklmn	40.65hijklmn
6	9.44defgh	2.72lmn	51.74cdefghij
7	9.96abcd	3.00defghijkl	55.28bcdefg
8	9.93abcde	2.95efghijklm	57.02bcdefg
9	8.66lmnop	3.20abcdef	53.39 bcdefgh
10	9.98abcd	3.50a	71.80a
11	10.23ab	3.35ab	67.20ab
12	10.04abc	2.98defghijklm	58.57abcdefg
13	8.78jkimn	2.84ghijklmn	36.85klmno
14	8.47lmnopq	3.35ab	49.74defghijk
15	9.00hijkl	2.88ghijklm	44.50ghijklm
16	8.56lmnop	3.28abcd	52.66cdefghi
17	9.90abcde	3.02cdefghijkl	56.09bcdefg
18	8.90hijklm	2.87ghijklmn	47.54efghijkl
19	8.73klmno	2.57no	28.83opq
20	7.93qrs	2.20p	9.86st
21	10.17ab	2.93efghijklm	57.54bcdefg
22	6.40w	1.45r	14.18rst
23	7.15uv	1.70qr	8.24st
24	8.73klmno	3.13bcdefgh	47.29fghijkl
25	5.47x	1.70qr	9.34st
26	6.33w	1.77q	6.51t
27	9.27ghijk	3.23abcde	61.80abcde
28	8.70klmno	2.68mn	32.51mnop
29	8.26nopqrs	3.14bcdefgh	50.62defghijk
30	8.28 nopqrs	2.38op	24.60opqr
31	6.73vw	2.83hijklmn	33.05mnop
32	10.03abc	2.57no	40.35hijklmn
33	8.08pqrs	3.00defghijkl	33.82lmno
34	7.78st	2.90fghijklm	39.03ijklmn
35	10.05ab	2.95efghijklm	52.84cdefghi
36	9.33fghij	2.80jklmn	49.61defghijk
37	9.38efghi	2.68mn	47.07fghijkl
38	9.46cdefgh	3.14bcdefgh	60.19abcdef
39	8.60lmnop	3.15bcdefg	46.80fghijkl
40	8.16opqrs	2.82ijklmn	37.17klmno
41	8.90hijklm	3.10bcdefghij	50.59defghijk
42	9.86abcdef	3.20abcdef	57.39bcdefg
43	8.83ijklmn	2.97defghijklm	47.37fghijkl
44	7.98qrs	2.78klmn	40.43hijklmn
45	7.92qrs	3.46a	54.03bcdefgh
46	7.70st	3.32abc	49.04defghijk
47	7.83rst	2.57no	38.21jklmn
48	7.33rst	2.20p	17.06qrst
49	10.00abcd	3.36ab	65.54abc
50	10.40a	3.06bcdefghijk	62.45abcd
51	10.54ab	3.02cdefghijkl	61.50abcde
52	8.74klmno	3.36ab	57.82bcdefg
CK	6.20w	4.01a	48.86 defghijk

同列数据后不同小写字母表示不同品种间在 0.05 水平上差异显著。下同。

Different lower-case letters following data within same column indicate significant differences between different varieties at 0.05 level. The same in tables 2 and 4.

表 2　供试材料籽粒含水率、粗蛋白、湿面筋和吸水率

Table 2　Grain moisture, crude protein, wet gluten and water absorption of the tested materials　%

编号 Number	含水率 Moisture	粗蛋白含量 Crude protein content	湿面筋含量 Wet gluten content	吸水率 Water absorption
1	9.96cdefghij	22.30defghijklmnop	36.01kim	38.32d
2	10.28bcde	23.37cdefghijklm	58.02a	78.67a
3	9.22lmn	23.06cdefghijklmn	48.01bcdef	61.73bc
4	9.49ghijklmn	20.18ijklmnopq	42.36efghijk	62.55bc
5	9.08n	22.56defghijklmno	45.85bcdefgh	59.54bc
6	9.94defghij	19.29nopq	38.32ijklm	59.04bc
7	9.49ghijklmn	24.04cdefghij	48.63bcde	57.84bc
8	9.88defghijk	21.35fghijklmnopq	43.14defghij	58.45bc
9	9.25klmn	24.39cdefghi	49.96bcd	60.29bc
10	9.59fghijklmn	21.66efghijklmnopq	44.10cdefghi	60.77bc
11	9.47ghijklmn	21.44fghijklmnopq	43.73cdefghij	59.70bc
12	9.71defghijklmn	24.66bcdefgh	49.97bcd	58.04bc
13	9.60fghijklmn	24.89bcdefg	49.56bcd	56.66bc
14	9.31jklmn	24.12cdefghi	50.19bc	60.93bc
15	9.66defghijklmn	21.06ghijklmnopq	41.96efghijkl	60.27bc
16	9.15mn	25.08bcdef	51.81b	61.99bc
17	10.02cdefghi	21.18ghijklmnopq	42.56efghijk	58.57bc
18	9.75defghijklm	19.32nopq	39.62ghijkl	60.65bc
19	9.72defghijklmn	23.32cdefghijklm	45.50bcdefgh	53.87bc
20	10.05cdefghi	29.66a	44.62cdefghi	25.11ef
21	9.87defghijkl	22.01defghijklmnop	44.89cdefghi	57.81bc
22	12.41a	24.53bcdefghi	46.05bcdefgh	14.65f
23	10.32bcd	26.71abc	42.03efghijkl	29.16de
24	9.80defghijklm	22.69defghijklmno	45.92bcdefgh	60.11bc
25	12.12a	23.92cdefghijk	32.85m	37.82d
26	10.80b	28.06ab	35.41lm	28.86de
27	9.69defghijklmn	22.20defghijklmnop	45.97bcdefgh	63.37bc
28	9.66efghijklmn	24.52bcdefghi	50.10bc	57.44bc
29	9.68defghijklmn	19.93lmnopq	41.56fghijkl	62.14bc
30	9.94defghij	20.92hijklmnopq	40.63ghijkl	55.46bc
31	9.82defghijkl	23.70cdefghijkl	46.51bcdefg	60.10bc
32	9.91defghijk	22.56defghijklmno	45.50bcdefgh	56.47bc
33	10.23bcdef	21.09ghijklmnopq	40.01ghijkl	56.70bc
34	10.58bc	20.00lmnopq	35.32lm	50.29c
35	9.72defghijklmn	23.68cdefghijkl	48.13bcdef	58.03bc
36	10.10cdefg	19.62mnopq	39.58ghijkl	59.86bc
37	10.01cdefghi	23.09pq	46.50bcdefg	59.61bc
38	10.11cdefg	20.96hijklmnopq	42.67efghijk	60.70bc
39	9.40hijklmn	24.02cdefghij	49.87bcd	60.71bc
40	10.06cdefgh	25.84bcd	48.62bcde	57.32bc
41	10.01cdefghi	20.74ijklmnopq	42.46efghijk	60.96bc
42	9.68defghijklmn	21.58fghijklmnopq	44.21cdefghi	60.49bc
43	9.92defghij	19.33nopq	39.40hijkl	60.49bc
44	9.70defghijklmn	20.05lmnopq	40.55ghijkl	59.66bc
45	9.47ghijklmn	18.92opq	39.33hijkl	64.41bc
46	9.56ghijklmn	18.32q	38.29ijklm	64.38bc
47	9.49ghijklmn	24.64bcdefgh	48.60bcde	55.51bc
48	9.39ijklmn	25.49bcde	36.96jklm	19.00ef
49	9.66defghijklmn	19.95lmnopq	40.64ghijkl	60.42bc
50	9.62fghijklmn	20.15klmnopq	41.46fghijkl	61.53bc
51	9.63fghijklmn	18.59lmnopq	38.23ijklm	62.18bc
52	9.65defghijklmn	20.51ijklmnopq	43.13defghij	62.57bc
CK	10.28bcde	14.41q	29.86m	59.64bc

高原 448 的品种有 27 个，以 2 号最高，为 78.67%，显著高于高原 448，增幅为 31.90%。

如表 3，供试波兰小麦籽粒千粒重平均值为 44.01 g，变异系数最大，为 42.27%，吸水率平均 56.04%，变异系数为 20.25%；籽粒长度、宽度变异系数分别为 14.68%和 18.58%；籽粒粗蛋白含量平均值为 22.41%，变异系数为 11.47%；湿面筋含量平均值为 43.75%，变异系数为 11.74%，籽粒含水率平均为 9.86%，变异系数最小，为 6.48%。供试波兰小麦品种籽粒千粒重离散度最大，性状最不稳定，作为育种材料时可选择范围较广；而籽粒含水率离散度较小，性状相对稳定，选择范围相对 较窄。

由表 4 可知，波兰小麦面粉的稳定时间较高，为 9.57～21.19 min，平均为 16.01 min，且均大于高原 448，以 17 号最高，为 21.19 min，较高原 448 增加显著，增幅为 167.21%；面粉的形成时间为 1.70～7.27 min，平均值为 5.61 min，仅 1 号、22 号和 23 号的形成时间小于高原 448，以 7 号的形成时间最长，为 7.27 min，较高原 448 显著提高，增加 129.34%；籽粒硬度指数范围为 22.35%～82.26%，平均值为 64.12%，大于高原 448 的品种有 14 个，34 号籽粒硬度指数最高，为 82.26%，较高原 448 提高显著，增幅为 19.12%；籽粒容重的变化范围为 739.33～925.00 g·L^{-1}，容重大于高原 448 的品种有 29 个，2 号的籽粒容重最高，为 925.00 g·L^{-1}，较高原 448 显著增加，增幅为 16.77%。

表 3 各指标变异情况

Table 3 Variation of each index

指标 Index	籽粒长度 Grain length/mm	籽粒宽度 Grain width/mm	千粒重 Thousand grain weight/g	含水率 Moisture/%	粗蛋白 Crude protein/%	湿面筋 Wet gluten/%	吸水率 Water absorption/%
平均值 Average	8.65	2.84	44.01	9.86	22.41	43.75	56.04
标准差 Standard deviation	1.27	0.53	18.60	0.64	2.57	5.14	11.35
变异系数 Coefficient of variation/%	14.68	18.58	42.27	6.48	11.47	11.74	20.25

2.3 籽粒性状相关性分析

如表 5 所示，供试波兰小麦品种面粉的稳定时间与籽粒长度、含水率、粗蛋白含量、容重呈显著（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）负相关关系，与籽粒千粒重、种子宽度、吸水率及硬度指数呈显著或极显著正相关关系；面粉的形成时间与含水率、粗蛋白含量及容重呈显著或极显著负相关关系，与籽粒千粒重、籽粒长度和宽度、湿面筋含量、吸水率、千粒重及硬度指数呈显著或极显著正相关关系；籽粒千粒重与籽粒长度、宽度呈极显著正相关关系，与含水率、粗蛋白含量和容重呈显著或极显著负相关关系。

2.4 籽粒性状主成分分析及权重变化

由于影响波兰小麦品质的各个指标之间存在相关性，通过主成分分析，对表征影响籽粒品质的各指标给以一定的权重，用以表示各指标影响程度。由表 6 和表 7 可知，形成时间对波兰小麦品质影响的权重最高（$W=0.24$），其次为面粉的稳定时间、粗蛋白含量、湿面筋含量，含水率对籽粒品质影响的权重最低。

3 讨 论

相关研究表明，粒重是决定作物产量的重要因素[11]，其受环境条件的影响相对较小，对籽粒产量的直接贡献最大，通过对籽粒千粒重的选择可以提高产量[12-13]；表征小麦籽粒品质指标的蛋白质、淀粉和面筋含量等直接影响小麦品质及加工品质，粗蛋白、面筋的含量和质量是小麦品质的重要评价指标[14-15]；波兰小麦是选育高产、优质小麦新品种的重要遗传资源，其具有千粒重及籽粒品质高的特点，是我国小麦品种改良较好材料之一[16-17]。本研究结果表明，供试波兰小麦品种籽粒千粒重、粗蛋白和湿面筋含量均较高，这与上述研究结果基本一致。较高原 448，10 号的千粒重提高 46.95%，20 号粗蛋白含量提高 105.83%，2 号湿面筋含量提高 94.31%，可作为遗传改良种质。变异系数表示性状离散程度，变异系数越大则表明离散程度越高[18]。本研究中，波兰小麦籽粒千粒重变异系数最高，为 42.27%，粗蛋白、湿面筋含量变异系数较高，分别为 11.47% 和 11.74%，因此这些品种相对性状不稳定、遗传变

表 4　供试材料籽粒面粉稳定时间、形成时间、硬度指数和容重

Table 4　Dough stability and development time, grain hardness index and bulk density of the tested materials

品种编号 Number	稳定时间 Stability time/min	形成时间 Dough development time/min	硬度指数 Hardness index%	容重 Bulk density/(g·L^{-1})
1	13.09klmno	1.70s	64.33cdefghi	828.15cdef
2	11.79opqr	5.97defghijkl	48.87lm	925.00a
3	14.03mnop	5.90efghijkl	72.18bcde	764.47ef
4	9.73r	4.49opq	69.94cdefg	739.33f
5	18.01bcdefghi	6.52bcdefgh	64.68cdefghi	775.64ef
6	19.83abcde	5.66ijklmn	73.27abcd	819.09cdef
7	20.38ab	7.27a	62.23fghij	797.94def
8	19.94abcd	6.64abcdef	63.20efghij	809.96def
9	14.40klmn	5.90efghijkl	66.32cdefgh	770.87ef
10	19.27abcdefg	6.68abcde	64.69cdefghi	808.65def
11	18.52bcdefgh	6.52bcdefgh	66.50cdefgh	792.70def
12	20.14abc	7.24ab	62.07fghij	800.71def
13	16.15hijk	5.97defghijkl	56.48ijkl	788.38def
14	12.40nopq	5.81fghijklm	64.62cdefghi	751.68ef
15	18.37bcdefghi	6.13defghijk	64.06defghi	785.36ef
16	12.94mnop	6.20cdefghijk	67.11cdefgh	744.32f
17	21.19a	6.73abcde	67.12cdefgh	821.23cdef
18	16.87jhi	5.59ijklmn	66.28cdefgh	795.24def
19	17.98bcdefghi	6.11defghijk	48.84lm	784.65ef
20	9.94qr	3.82qr	22.35n	902.08cde
21	20.03abc	6.79abcd	64.67cdefghi	809.43def
22	9.57r	3.09r	63.09efghij	846.68cdef
23	12.61mnop	2.20s	48.93lm	822.79cdef
24	18.04bcdefghi	6.40cdefghi	61.95fghij	785.89ef
25	12.60mnop	4.28pq	47.75lm	900.00b
26	10.00qr	4.03qr	46.57m	936.02cd
27	17.32defghij	6.64abcdef	66.43cdefgh	775.90ef
28	14.39klmn	5.90efghijkl	54.00jklm	761.62ef
29	14.36klmn	5.16lmno	74.24abc	766.16ef
30	15.79ijk	4.90nop	52.29klm	788.58def
31	18.72abcdefgh	6.42abcdefgh	65.58cdefghi	788.56def
32	18.92abcdefg	6.61abcdefg	58.80hijk	790.37def
33	14.33klmn	3.76qr	81.02ab	798.28def
34	15.01jklm	5.06mnop	82.26a	836.06cdef
35	19.58abcdef	7.02abc	61.01ghijk	799.40def
36	18.93abcdefg	5.76ghijklm	69.13cdefg	806.11def
37	19.96abcd	6.57abcdefg	73.73abcd	805.61def
38	20.30ab	6.61abcdefg	68.69cdefgh	813.74cdef
39	12.53mnop	5.69hijklmn	63.23efghij	749.41f
40	15.22jkl	5.95defghijkl	71.68cdef	770.00ef
41	17.85bcdefghi	5.95defghijkl	66.89cdefgh	798.70def
42	18.67abcdefgh	6.77abcd	63.31efghij	796.27def
43	17.26efghij	5.51jklmn	66.65cdefgh	794.73def
44	17.26efghij	4.39klmn	68.80cdefg	788.36def
45	10.84pqr	4.46opq	72.29bcde	740.75f
46	11.45pqr	5.59opq	73.65abcd	746.72f
47	17.06fghij	4.38ijklmn	73.29abcd	790.27def
48	11.08pqr	6.27opq	64.81cdefghi	953.04c
49	18.70abcdefg	6.09cdefghij	65.77cdefghi	803.31def
50	17.52cdefghij	5.69defghijk	66.94cdefgh	793.07def
51	17.28efghij	5.55ijklmn	70.59cdefg	799.65def
52	14.45klmn	5.55ijklmn	71.29cdef	770.05ef
CK	7.93r	3.17r	69.02 cdefg	792.17 def

表 5 供试材料籽粒大小、籽粒品质相关性分析

Table 5 Correlation analysis of grain agronomic traits and grain quality of the test materials

指标 Index	含水率 Moisture	粗蛋白 Crude protein	湿面筋 Wet gluten	吸水率 Water absorption	籽粒长度 Grain length	籽粒宽度 Grain width	稳定时间 Stability time	形成时间 Develpment time	硬度指数 Hardness index	容重 Bulk density	千粒重 Thousand grain weight
含水率 Moisture	1	0.14*	−0.30**	−0.59**	−0.45**	−0.58**	−0.22**	−0.40**	−0.20**	0.52**	−0.51**
粗蛋白 Crude protein		1	0.43**	−0.54**	−0.32**	−0.46**	−0.32**	−0.13*	−0.58**	0.21**	−0.55**
湿面筋 Wet gluten			1	0.31**	0.20**	0.12	0.08	0.47**	−0.13*	−0.02	0.16*
吸水率 Water absorption				1	0.50**	0.66**	0.41**	0.64**	0.47**	−0.15*	0.70**
籽粒长度 Grain length					1	0.64**	−0.70**	0.71**	0.23**	−0.44**	0.77**
籽粒宽度 Grain width						1	0.33**	0.50**	0.55**	−0.58**	0.84**
稳定时间 Stability time							1	0.73**	0.23**	−0.25**	0.56**
形成时间 Development time								1	0.16**	−0.17**	0.67**
硬度指数 Hardness index									1	−0.40**	0.55**
容重 Bulk density										1	−0.48**
千粒重 Thousand grain weight											1

*：$P<0.05$；**：$P<0.01$.

表 6 供试材料籽粒品质指标主成分分析

Table 6 Cumulative percentage of the grain quality index

主成分 Component number	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和载入 Extract sum of squares and load		
	特征根 Eigen values	贡献率 Percent of variance/%	累计贡献率 Cumulative percentage/%	特征根 Eigen values	贡献率 Percent of variance/%	累计贡献率 Cumulative percentage/%
1	3.22	40.252	40.25	3.22	40.25	40.25
2	1.80	22.52	62.77	1.80	22.52	62.77
3	1.13	14.08	76.85	1.13	14.08	76.85
4	0.82	10.25	87.10			
5	0.57	7.11	94.21			
6	0.25	3.11	97.32			
7	0.15	1.84	99.15			
8	0.07	0.85	100.00			

表 7 供试材料籽粒品质指标权重变化

Table 7 Weight change of the grain quality index

指标 Index	负荷量 Capacity	特征根 Eigen values	权重 Weight
含水率 Moisture	0.68	1.13	0.13
粗蛋白 Crude protein	0.55	1.13	0.20
湿面筋 Wet gluten	0.26	1.13	0.14
吸水率 Water absorption	0.86	1.13	0.20
稳定时间 Stability time	0.69	1.13	0.23
形成时间 Development time	0.77	1.13	0.24
硬度指数 Hardness index	0.59	1.13	0.21
容重 Bulk density	0.51	1.13	0.20

异较大，可以作为较高千粒重和籽粒品质的重要种质资源。

研究表明，小麦籽粒长度、宽度与千粒重的相关系数均较高，小麦籽粒宽度与千粒重呈高度正相关，而长度与千粒重相关性较小[19-20]。本研究中，供试波兰小麦籽粒长度、宽度与千粒重呈极显著正相关性关系，其相关系数分别为 0.77 和 0.84。因此籽粒大小可以作为千粒重选择的指标。

主成分分析表明，波兰小麦籽粒面粉的形成时间对籽粒品质影响的权重最高（$W=0.24$），其次是稳定时间（$W=0.23$），这与孙丽红[21]、李永强[22]等研究结果基本一致。小麦面粉的稳定时间和形成时间与籽粒千粒重、湿面筋含量呈显著或极显著正相关，这与赵鹏涛等[23]研究结果一致。本研究结果表明，供试波兰小麦籽粒面粉的稳定时间和形成时间与籽粒粗蛋白含量呈极显著负相关，这可能是由于蛋白质的质量及各组分蛋白质含量不同引起的[14-24]，因此在选择用于改良普通小麦的亲本材料时，可以以千粒重较大、籽粒含水率较低，同时兼顾籽粒中适宜粗蛋白含量的波兰小麦作为小麦遗传基础拓展和品种改良的优选材料。

参考文献：

[1]张向阳.种植业农产品质量安全生产中存在的问题及对策[J].种子科技，2019，37(18)：156.

ZHANG X Y. Problems and countermeasures in the quality and safety production of agricultural products in planting industry [J]. *Seed Science & Technology*, 2019, 37(18): 156.

[2]DVORAK J, LUO M C, YANG Z L, *et al*. The structure of the *Aegilops tauschii* gene pool and the evolution of hexaploid wheat [J]. *Theor Appl Genet*, 1998, 97(4): 670.

[3]PRASAD M, VARSHNEY R K, ROY J K, *et al*. The use of microsatellites for detecting DNA polymorphism, genotype identification and genetic diversity in wheat [J]. *Theor Appl Genet*, 2000, 100(3-4): 592.

[4]ANJUM F M, AHMAD I, BUTT M S, *et al*. Improvement in end-use quality of spring wheat varieties grown in different eras [J]. *Food Chemistry*, 2008, 106(2): 486.

[5] YAMAMORI M, NAKAMURA T, NAGAMINE T . Polymorphism of two waxy proteins in the emmer group of tetraploid wheat, *Triticum dicoccoides*, *Triticum dicoccum* and *Triticum durum* [J]. *Plant Breeding*, 2010, 114(3): 218.

[6]张 勇, 郝元峰, 张 艳, 等. 小麦营养和健康品质研究进[J]. 中国农业科学, 2016, 49(22): 4298.
ZHANG Y, HAO Y F, ZHANG Y, *et al*. Research progress on wheat nutrition and health quality [J]. *Chinese Agricultural Sciences*, 2016, 49(22): 4298.

[7]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): 215.
HE Z H, XIA X C, CHEN X M, *et al*. Progress and prospects of wheat breeding in China [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(2): 215.

[8]雷 波. 神奇的小麦[J] . 国外作物育种, 1999, 18(1): 39.
LEI B. The magical wheat [J]. *Crop Breeding Abroad*, 1999, 18(1): 39.

[9]任丽娟, 陈佩度, 陈怀谷, 等. 小麦抗纹枯病种质资源筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(1): 111.
REN L J, CHEN P D, CHEN H G, *et al*. Screening of wheat germplasm resources for resistance to sheath blight [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(1): 111.

[10]董 君. 层次分析法权重计算分析及其应用研究[J]. 科技资讯, 2015, 422(29): 218.
DONG J. The weight calculation analysis and application research of analytic hierarchy process [J]. *Science & Technology Information*, 2015, 422(29): 218.

[11]李振声. 我国小麦育种的回顾与展望[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(2): 4.
LI Z S. Review and prospect of wheat breeding in China [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2010, 12(2): 4.

[12]许为钢, 吴兆苏. 关中地区小麦品种产量与产量结构遗传改良的研究[J]. 作物学报, 2000, 26(3): 358.
XU W G, WU Z S. Studies on genetic improvement of yield and yield components of wheat cultivars in Mid-Shaanxi area [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(3): 358.

[13]俞世蓉, 吴兆苏, 杨竹平. 江苏淮南地区 70 年代以来小麦品种产量及产量因素的演变[J]. 中国农业科学, 1988, 21(4): 21.
YU S R, WU Z S, YANG Z P. Evolution of wheat variety yield and yield factors since the 1970s in Huainan, Jiangsu [J]. *Chinese Agricultural Sciences*, 1988, 21(4): 21.

[14]赵俊晔, 于振文. 小麦籽粒淀粉品质与蛋白质品质关系的初步研究[J]. 中国粮油学报, 2004, l9(4): 20.
ZHAO J Y, YU Z W. Preliminary study on the relationship between starch quality and protein quality of wheat grains [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2004, 19(4): 20.

[15]张春庆, 李晴祺. 影响普通小麦加工馒头质量的主要品质性状的研究[J]. 中国农业科学, 1993, 26(2): 46.
ZHANG C Q, LI Q Q. Research on the main quality traits that affect the quality of processed steamed bread from common wheat [J]. *Chinese Agricultural Sciences*, 1993, 26(2): 46.

[16]董 攀, 李 伟, 郑有良. 波兰小麦主要农艺性状分析[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(2): 222.
DONG P, LI W, ZHENG Y L. Analysis of main agronomic traits of *Triticum polonicum* L [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27(2): 222.

[17]庄萍萍, 李 伟, 颜泽洪等. 波斯小麦农艺性状相关性及主成分分析[J] . 麦类作物学报, 2006, 26(4): 14.
ZHUANG P P, LI W, YAN Z H, *et al*. Correlation and principal component analysis of agronomic traits of *Triticum persicum* Zhuk. [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(4): 14.

[18]SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. University of Illinois Press, 1971: 24.

[19]BRESEGHELLO F, SORRELLS M E. Association mapping of kernel size and milling quality in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars [J]. *Genetics*, 2006, 172(2): 1177.

[20]GEGAS V C, NAZARI A, GRIFFITHS S, *et al*. A genetic framework for grain size and shape variation in wheat [J]. *The Plant Cell Online*, 2010, 22(4): 1056.

[21]孙丽红. 小麦面粉的评价值与几种品质指标的关系[J]. 面粉通讯, 2005, 19(4): 54.
SUN L H. The relationship between the evaluation value of wheat flour and several quality indicators [J]. *Flour Milling*, 2005, 19(4): 54.

[22]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): 941.
LI Y Q, ZHAI H M, TIAN J C. Effects of protein and starch content on the rheological properties of wheat dough [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 941.

[23]赵鹏涛, 赵卫国, 罗红炼, 等. 小麦主要品质性状相关性及主成分分析[J]. 中国农学通报, 2019, 35(21): 13.
ZHAO P T, ZHAO W G, LUO H L, *et al*. Correlation and principal component analysis of main quality traits of wheat [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(21): 13.

[24]胡新中, 魏益民. 小麦籽粒蛋白质组分及其与面条品质的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 743.
HU X Z, WEI Y M. Wheat grain protein components and their relationship with noodle quality of wheat [J]. *Chinese Agricultural Sciences*, 2004, 37(5): 743.