

## 黄淮麦区小麦品种(系)籽粒硬度分布及其对品质和产量性状的影响

朱保磊<sup>1</sup>, 陈金平<sup>1</sup>, 师令智<sup>1</sup>, 李刚<sup>1</sup>, 赵永涛<sup>2</sup>, 石守设<sup>1\*</sup>, 李宇峰<sup>1</sup>, 陈杰<sup>3</sup>, 陈建辉<sup>4</sup>, 尹志刚<sup>1</sup> (1.信阳市农业科学院, 河南信阳 464000; 2.漯河市农业科学院, 河南漯河 462000; 3.驻马店市农业科学院, 河南驻马店 463000; 4.河南省科技厅, 河南郑州 450002)

**摘要** 以黄淮麦区主推品种(系)为试验材料,通过测定籽粒硬度的分布概况,分析其与产量性状和品质性状的关系,以期为小麦品质改良提供理论支持。结果表明,黄淮麦区中硬质麦的比例最高,为67.37%,混合型和软质麦的占比较低,分别为11.05%和21.58%,硬度值的分布范围较广,为18~85。通过分析不同硬度类型小麦与产量性状的关系可知,在产量和千粒重指标上软质麦显著高于混合麦和硬质麦,而在穗粒数和单穗重指标上不同硬度表型的材料无显著差异,这说明籽粒硬度主要通过关联千粒重这一指标来实现对产量的影响;不同硬度表型与品质参数的关系表现为,在和面时间和SDS-沉淀值参数上硬质麦显著高于混合麦和软质麦。该研究结果表明,籽粒硬度与产量性状和品质性状联系紧密,在育种过程中可以作为重要的辅助手段应用到小麦育种过程中。

**关键词** 籽粒硬度;产量;品质;育种

中图分类号 S512.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)10-0035-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.10.009



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Distribution of Wheat Varieties (Lines) Hardness in Huanghuai Wheat Region and Their Influence on Yield and Quality Characters**  
ZHU Bao-lei, CHEN Jin-ping, SHI Ling-zhi et al (Xinyang Academy of Agricultural Sciences, Xinyang, Henan 464000)

**Abstract** The main wheat varieties (lines) in Huanghuai Region were used as experimental materials. In order to provide theoretical support for wheat quality improvement, the relationship between yield traits and quality traits was analyzed. The results showed that in Huanghuai wheat region, the proportion of hard wheat was the highest (67.37%), while the proportion of mixed type and soft wheat was low, which were 11.05% and 21.58%, respectively. The hardness value was widely distributed, ranging from 18 to 85. Through the analysis of the relationship between different hardness types of wheat and yield traits, it can be seen that soft wheat was significantly higher than mixed wheat and hard wheat in yield and 1 000-grain weight index, but there was no significant differences in grain number per spike and single spike weight index of different hardness phenotypes of materials, which indicated that grain hardness mainly affected yield through 1 000-grain weight. The relationship between different hardness phenotypes and quality parameters showed that hard wheat was significantly higher than mixed wheat and soft wheat in blending time and SDS sedimentation value parameters. The results showed that grain hardness was closely related to yield and quality traits, and could be used as an important auxiliary means in wheat breeding.

**Key words** Grain hardness; Yield; Quality; Breeding

在育种过程中籽粒硬度是育种家最关注的品质性状之一,对小麦产量性状和加工品质性状都有重要的影响。根据小麦籽粒的胚乳质地,普通小麦可被划分为硬质麦、混合麦和软质麦3种表型。前人研究表明,籽粒硬度主要受位于5D染色体短臂上的一对主效基因和其他染色体位点上的微效基因调控<sup>[1]</sup>。其中,位于Ha(Hardness)位点上的2个基因puroindoline a和puroindoline b控制着小麦籽粒硬度形成的分子遗传基础,任一基因发生突变都会直接导致小麦硬度值的增加<sup>[2]</sup>。到目前为止,普通小麦中关于puroindoline等位变异类型已有大量的研究,在Pina中,等位变异类型有10种;在Pinb中,等位变异类型多达18种<sup>[3-6]</sup>。随着分子遗传研究的深入,3种puroindoline功能的基因在普通小麦种也被相继发现和证实<sup>[7-9]</sup>。这些基础研究为籽粒硬度的遗传改良打下了坚实的基础。黄淮麦区是我国最大的小麦生产基地,研究该地区主推小麦品种(系)的产量性状和品质性状及其与籽粒硬度之间的关系为该地区的小麦育种工作提供理论参考,这对保障国家粮食安全和农业供给侧结构性改革具有十分重要的意义。关于籽粒硬度对小麦加工品质和产量性状影响的研究较丰富。赵新等<sup>[10]</sup>研究发现,普通小麦中

具有不同puroindoline基因型的食品加工品质和磨粉品质存在显著差异。Chen等<sup>[11]</sup>研究认为,在普通小麦中Pina-D1b类型在磨粉品质和面制品加工中均显著劣于Pinb-D1b类型。桑伟等<sup>[12]</sup>研究发现,新疆冬、春小麦籽粒硬度与破淀损粉率呈显著正相关,且籽粒硬度和磨粉品质具有十分紧密的联系。周艳华等<sup>[13]</sup>研究表明,籽粒硬度与面粉白度呈极显著负相关,且其与出粉率和面粉灰分的相关系数受冬春麦类型的调控。遗传育种研究发现,籽粒硬度主要受基因的加性遗传,软质麦的遗传力较高,对硬度的改良要在早世代选择最为有效。鉴于此,笔者广泛收集在黄淮麦区曾经和现在大量推广种植的小麦品种(系)的籽粒硬度与品质性状和产量性状的关系,旨在为黄淮麦区小麦遗传育种提供理论支持。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料和田间试验** 供试材料共190份,主要为曾经和目前在黄淮麦区主要种植的品种(系)及部分正在黄淮麦区参试新品系。全部材料于2017—2018年度分别种植于郑州市河南农业大学科教园区试验基地。采用随机区组试验设计,每份材料种植4行,行长1.5 m,行距23 cm,按基本苗225万/hm<sup>2</sup>,3次重复。田间管理同当地大田。

**1.2 产量性状和品质性状的测定** 供试材料的籽粒硬度值采用单籽粒谷物特性测试仪(SKCS4100 Perten Instruments AB, Sweden)测定。利用近红外(Perten DA 7200)测定蛋白质含量和湿面筋含量,Zeleny-沉降值的测定参照AACC方法

**基金项目** 国家小麦产业技术体系项目(CARS-03-05B);河南省小麦产业技术体系项目(Z2010-01-01)。

**作者简介** 朱保磊(1989—),男,河南鹿邑人,研究实习员,硕士,从事小麦遗传育种与生理栽培研究。\*通信作者,副研究员,硕士,从事小麦遗传育种研究。

**收稿日期** 2021-01-30

中56-61A的方法和仪器进行。SDS-沉淀值参考GB/T 15685—1995,采用1/3体积的试剂和1g面粉测定。揉混仪参数的测定采用美国National公司的和面记录仪(Mixograph)进行记录,操作步骤有改动具体操作步骤参照Sun<sup>[14]</sup>的方法进行。

**1.3 统计分析** 采用Microsoft Excel 2010进行基本性状的统计分析和绘图。采用SPSS V 17.0进行籽粒硬度与产量性状和品质性状的方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

**2.1 不同小麦品种(系)籽粒硬度分布比较** 试验材料的籽粒硬度分布情况见图1。符合硬质标准小麦材料的数量最多,为128个,比例为67.37%,混合麦和软质麦的数量较少,分别为21和41个,比例分别为11.05%和21.58%,这说明在黄淮麦区中硬质类型的小麦品种比例较大。从硬度值的大小来看,滑育麦118的硬度值最小(18),许科168的硬度值最大(85),所有试验材料的硬度值在18~85,平均硬度值为59,变异系数为28.24%(表1)。由变异系数可知,籽粒硬

度在黄淮麦区的差异较大,说明该地区小麦之间存在较大的加工品质差异。

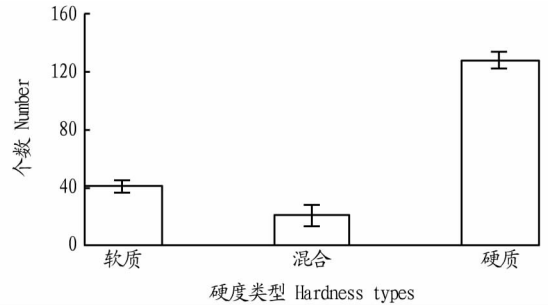


图1 不同硬度类型的小麦个数比较

Fig.1 Comparison of the number of wheat with different hardness types

**2.2 不同小麦品种(系)产量性状的比较** 从该研究对产量及其构成因素的分析可以看出(表2),供试材料穗粒数平均值为49.83个,变化范围在30.00~74.70个,变异系数为15.52%;千粒重最低为32.19g(中国春),最高为75.43g(86

表1 黄淮麦区试验材料的籽粒硬度分类

Table 1 Classification of grain hardness of the tested materials in Huanghuai wheat region

品种(系) Cultivar (lines)	SKCS 硬度 SKCS hardness	品种(系) Cultivar (lines)	SKCS 硬度 SKCS hardness	品种(系) Cultivar (lines)	SKCS 硬度 SKCS hardness	品种(系) Cultivar (lines)	SKCS 硬度 SKCS hardness	品种(系) Cultivar (lines)	SKCS 硬度 SKCS hardness
滑育麦 118	18	兰考 182	37	郑麦 101	63	汶农 14	67	豫农 982	71
济南 17	22	偃科 028	40	豫麦 4 号	63	丰优 6 号	68	丰德存麦 5 号	71
豫教 5 号	23	周麦 22	40	漯 10T07	63	洛麦 21	68	豫麦 58	72
LS6109	23	良星 99	41	BN160	63	淮麦 0882	68	新麦 18	72
亚麦 1 号	24	晋麦 47	42	郑麦 9694	63	许麦 1242	68	豫麦 8 号	72
豫麦 41	24	兰考矮早 8	42	豫农 201	64	泛麦 5 号	68	安麦 8 号	72
百农 64	26	周麦 19	45	平安 11	64	郑麦 0856	68	华瑞 00712	72
周麦 16	26	漯 6073	47	新麦 9 号	64	濮 2056	68	陕 160	73
苏麦 3 号	27	百农 3217	49	豫麦 34	64	洛麦 31	68	漯麦 8 号	73
新麦 19	28	豫农 4023	52	FS059	64	豫农 211	68	众麦 1 号	74
浚 9917	29	郑农 17	54	国麦 301	64	衡观 35	68	中育 12	74
豫农 186	29	豫麦 2 号	55	平安 9 号	64	洛麦 28	69	陕农 7859	75
濮麦 10 号	30	平安 8 号	56	郑育麦 043	65	周麦 26	69	西农 979	75
豫农 9901	30	温粮 1 号	56	开麦 21	65	博农 6 号	69	郑麦 379	75
豫麦 13	30	86(79)-128	56	04 中 36	65	平安 6 号	69	存麦 11	75
商麦 156	30	豫保 1 号	57	汝州 0319	65	泰安 8968	69	郑育麦 0519	75
偃麦 864	31	亿麦 6 号	58	北京 841	65	孟麦 023	69	内乡 184	75
轮选 1298	31	黄明 116	58	许科 316	65	许科 1 号	69	怀川 919	75
郑麦 004	31	豫麦 47	59	洛麦 05159	66	豫麦 14 优	69	豫农 202	75
周 8425B	31	济早 2 号	59	鹤麦 026	66	郑麦 9023	69	中育 9307	76
温 0418	31	徐麦 0054	59	偃佃 9433	66	枣乡 158	69	存麦 8 号	76
豫麦 55	31	洛麦 24	60	新麦 208	66	内乡 188	69	洛麦 23	76
洛早 6 号	32	豫麦 52	60	郑麦 98	66	周麦 18	69	济麦 20	77
郑麦 113	32	郑麦 1023	60	中麦 875	66	泛麦 803	69	丰德存麦 1 号	77
郑麦 103	32	中国春	61	平安 3 号	66	囤丰 802	70	中育 9302	77
百农 418	32	兰考 198	61	豫麦 68	66	郑麦 7698	70	邯 6172	77
漯 18	32	农大 1108	61	矮丰 3 号	66	周麦 24	70	新麦 20	77
百农 207	33	豫麦 51	61	豫麦 49	66	秋乐 2122	70	中研麦 0708	78
郑早 1 号	33	济麦 22	62	矮抗 58	67	泛麦 7030	70	偃师 16	79
洛早 3 号	33	小偃 81	62	丰德存麦 10 号	67	豫麦 18	70	嵩城 8901	79
弘麦 118	34	豫农 416	62	新早 1 号	67	新麦 26	71	周麦 23	80
花培 8 号	34	丰德存麦 12 号	62	偃展 4110	67	泛麦 11	71	郑麦 366	80
郑育麦 9987	34	周麦 13	62	国育 101	67	俊达 106	71	许科 793	81
济研麦 7 号	34	漯麦 4 号	63	新 0208	67	开麦 18	71	濮麦 053	81
未来 0818	34	烟农 19	63	中创 805	67	郑麦 583	71	洛新 998	82
石 4185	35	太空 6 号	63	华育 198	67	周麦 27	71	淮麦 19	82
周麦 9 号	35	陕优 225	63	濮麦 9 号	67	泰禾麦 1 号	71	郑优 6 号	83
南大 2419	36	先麦 13 号	63	源育 3 号	67	许科 415	71	许科 168	85

(79)~128),平均值为 50.96 g,变异系数较小,为 50.96%;单穗重的平均值为 2.53 g,变化范围在 1.15~3.75 g,变异系数为 16.31%。从对产量性状的分析可以看出,黄淮麦区小麦各产量指标的变异系数差异较小,说明该地区对小麦产量育种比较重视。供试材料的总体产量平均值为 7 177.54 kg/hm<sup>2</sup>,变化范围较大,为 2 135.85~10 094.25 kg/hm<sup>2</sup>,但整体变异系数不大,为 18.83%。

**2.3 不同小麦品种(系)的品质性状比较** 该研究中的品质指标包括品质表型和面团流变学特性。前人研究表明,小麦表型品质指标与最终加工品质之间相关系数较小,而面团流变学特性与最终加工品质之间相关系数较大<sup>[15]</sup>。通过对供试材料的品质性状进行分析可以看出,蛋白质和湿面筋的变异系数较小,分别为 7.32%和 7.68%;而 Zeleny-沉降值和 SDS-沉淀值的变异系数较小,分别为 15.57%和 27.41% (表

3);但是作为反映面团流变学特性指标的和面时间参数的变异系数较大,为 42.88%,这表明在黄淮麦区育种家对小麦品质的改良并不同步。

表 2 不同小麦品种(系)产量性状的比较

Table 2 Comparison of the yield characters of different wheat varieties (lines)

项目 Item	穗粒数 Grain number per ear//个	千粒重 1 000-grain weight//g	单穗重 Single panicle weight//g	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>
均值 Mean	49.83	50.96	2.53	7 177.54
变化范围 Range	30.00~ 74.70	32.19~ 75.43	1.15~ 3.75	2 135.85~ 10 094.25
变异系数 CV//%	15.52	11.18	16.31	18.83

表 3 不同小麦品种(系)的品质性状比较

Table 3 Comparison of the quality characters of different wheat varieties (lines)

项目 Item	蛋白质含量 Protein content	湿面筋 Wet gluten content//%	Zeleny-沉降值 Zeleny sedime- ntation value//S	SDS 沉淀值 SDS sedime- ntation value//mL	和面时间 Peak time min
均值 Mean	14.45	32.97	47.58	16.89	2.27
变化范围 Range	12.3~17.23	27.82~39.86	30.21~72.07	5.35~30.2	0.88~6.61
变异系数 CV//%	7.32	7.68	15.57	27.41	42.88

**2.4 不同硬度表型对产量性状的影响** 分析不同硬度表型的试验材料对产量性状的影响,结果显示 3 种硬度表型的小麦材料在穗粒数和单穗重指标上差异不显著,硬质麦的千粒重平均值为 53.80 g,显著高于软质麦(50.49 g)和混合麦(51.59 g)。从最终产量的比较结果不难发现,硬质麦产量显著高于软质麦和混合麦的平均产量(表 4),这说明籽粒硬度通过影响千粒重的方式来对最终产量产生影响。

表 4 硬度表型对产量性状的影响

Table 4 Effects of hardness on wheat yield characters

硬度类型 Hardness type	穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1 000-kernel weight//g	单穗重 Grain weight per spike//g	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>
软质 Soft	50.05 a	50.49 b	2.55 a	475.70 b
混合 Mixed	49.64 a	51.59 b	2.54 a	470.32 b
硬质 Hard	49.78 a	53.80 a	2.51 a	483.01 a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

**2.5 不同硬度表型对品质性状的影响** 3 种不同硬度类型的试验小麦材料对品质性状的影响进行分析和比较后发现,在蛋白质和湿面筋性状上 3 种硬度表型的材料不存在显著差异,说明籽粒硬度对品质表型的影响较小。从表 5 可以看出,该研究在分析籽粒硬度与乳酸保持剂的关系上存在差异,其中不同硬度表型的小麦材料在 Zeleny-沉降值上表现为硬质小麦材料高于软质和混合小麦材料,但三者之间差异不显著。而在 SDS-沉淀值指标上,则表现为 3 种硬度表型的小麦材料存在显著差异,硬质麦数值最高达到 17.89 S,显著高于软质和混合小麦的 16.10 和 16.98 S,说明 SDS-沉淀值对籽粒硬度的变化比较敏感,可以在实际育种中加以有效利用。面团流变学特性能够较全面地反映小麦最终的加工品质优劣,该研究发现硬质麦的和面时间最长达到了 2.37 min,软质麦和混合麦的和面时间分别为 2.04 和 2.09 min,硬质麦的和面时间显著长于另外 2 种硬度表型。该试验结果显示,硬质麦的加工品质要优于软质麦和混合麦的加工品质。

表 5 硬度表型对品质性状的影响

Table 5 Effects of hardness on wheat quality characters

硬度类型 Hardness type	蛋白质含量 Protein content//%	湿面筋含量 Wet gluten content//%	Zel-沉降值 Zeleny sedime- ntation//S	SDS-沉淀值 SDS sedimen- tation value//mL	和面时间 Peak time min
软质 Soft	14.38 a	32.83 a	46.73 a	16.11 b	2.04 b
混合 Mixed	14.34 a	32.56 a	47.02 a	16.98 ab	2.09 b
硬质 Hard	14.56 a	34.07 a	47.80 a	17.89 a	2.37 a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

### 3 结论与讨论

由于育种技术和方法的限制等因素,长久以来在黄淮麦区籽粒硬度一直未作为主要的育种目标进行有目的品质改良<sup>[16]</sup>,导致整个黄淮麦区的小麦品种品质比较单一,严重缺乏优质专用型的小麦新品种,如适合酿酒、制作饼干和面包等类型的小麦品种。该试验广泛选取了曾经和目前在黄淮麦区大面积推广种植的优良品种(系)以及正在参加黄淮麦区品种审定试验的有苗头新品系进行籽粒硬度表型和产量性状及品质性状的分析研究,旨在能够为黄淮麦区的小麦育种,尤其是做好产量和品质之间的平衡选择提供重要的参考和理论支持。

随着经济社会的快速发展,人们对小麦加工品质的需求变得更加丰富和多元化,这就意味着对育种工作者提出了更高的要求。小麦籽粒硬度作为最重要的小麦加工品质性状之一,其分子遗传机理和育种应用研究逐渐成为一个热点<sup>[17]</sup>。姜兰芳等<sup>[18]</sup>研究了山西近10年审定的小麦品种籽粒硬度与主要品质之间的关系后发现,硬质麦的蛋白质含量、湿面筋含量、出分率、沉降值等品质参数均显著高于混合麦和软质麦,这与该研究结果基本相符。张福彦等<sup>[19]</sup>测定分析了来自黄淮麦区109份小麦新品系的籽粒硬度,结果表明黄淮麦区籽粒硬度分布范围较广,其中以硬质麦为主软质麦和混合麦类型为辅,该研究再次验证了结果的真实性。杨学举等<sup>[20]</sup>研究表明,籽粒硬度与沉降值存在极显著正相关,这与该研究结果相同,同时杨学举等<sup>[20]</sup>研究也证明籽粒硬度与蛋白质含量和湿面筋含量同样存在极显著正相关关系,这与该研究结果不太一致,原因可能有2点:一方面黄淮麦区目前多是周麦系列的衍生品种(系),该麦区大部分主推小麦品种是1B/1R异位系<sup>[15]</sup>,这部分材料的蛋白质和湿面筋含量很高,但加工品质却表现较差;另一方面,籽粒硬度的调控主要受基因影响,而表型品质性状主要受栽培环境因子的调控<sup>[19]</sup>。因此,这种情况会造成不同麦区分析的籽粒硬度与品质之间的关系存在一定差异。该研究结果可以看出,黄淮麦区籽粒硬度与产量性状和品质性状均存在一定的相关性,可以将籽粒硬度作为一种可靠的辅助手段应用到实际育种过程中,有目的地进行黄淮麦区的小麦品质育种改良。

### 参考文献

[1] MORRIS C F. Puroindolines: The molecular genetic basis of wheat grain

- hardness[J]. *Plant molecular biology*, 2002, 48(5/6): 633-647.
- [2] BHAVE M, MORRIS C F. Molecular genetics of puroindolines and related genes: Allelic diversity in wheat and other grasses[J]. *Plant molecular biology*, 2008, 66(3): 205-219.
- [3] MORRIS C F, BHAVE M. Reconciliation of D-genome puroindoline allele designations with current DNA sequence data[J]. *Journal of cereal science*, 2008, 48(2): 277-287.
- [4] MORRIS C F, LILLEMOM M, SIMEONE M C, et al. Prevalence of puroindoline grain hardness genotypes among historically significant North American spring and winter wheats[J]. *Crop science*, 2001, 41(1): 218-228.
- [5] CHEN F, HE Z H, XIA X C, et al. Molecular and biochemical characterization of puroindoline a and b alleles in Chinese landraces and historical cultivars[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2006, 112(3): 400-409.
- [6] WANG J, SUN J Z, LIU D C, et al. Analysis of Pina and Pinb alleles in the micro-core collections of Chinese wheat germplasm by EcoTilling and identification of a novel Pinb allele[J]. *Journal of cereal science*, 2008, 48(3): 836-842.
- [7] GOLLAN P, SMITH K, BHAVE M. *Gsp-1* genes comprise a multigene family in wheat that exhibits a unique combination of sequence diversity yet conservation[J]. *Journal of cereal science*, 2007, 45(2): 184-198.
- [8] WILKINSON M, WAN Y F, TOSI P, et al. Identification and genetic mapping of variant forms of puroindoline b expressed in developing wheat grain[J]. *Journal of cereal science*, 2008, 48(3): 722-728.
- [9] CHEN F, BEECHER B S, MORRIS C F. Physical mapping and a new variant of *Puroindoline b-2* genes in wheat[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2010, 120(4): 745-751.
- [10] 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): 246-251.
- [11] CHEN F, HE Z H, CHEN D S, et al. Influence of puroindoline alleles on milling performance and qualities of Chinese noodles, steamed bread and pan bread in spring wheats[J]. *Journal of cereal science*, 2007, 45(1): 59-66.
- [12] 桑伟, 穆培源, 徐红军, 等. 新疆小麦品种籽粒性状、磨粉品质及其关系的研究[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(1): 50-55, 95.
- [13] 周艳华, 何中虎, 阎俊, 等. 中国小麦硬度分布及遗传分析[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(10): 1177-1185.
- [14] SUN J Z, YANG W L, LIU D C, et al. Improvement on Mixograph test through water addition and parameter conversions[J]. *Journal of integrative*, 2015, 14(9): 1715-1722.
- [15] 朱保磊, 谢科军, 薛辉, 等. 河南省小麦品种(系)的品质状况及演变规律[J]. *麦类作物学报*, 2017, 37(5): 623-631.
- [16] 陈锋, 董中东, 程西永, 等. 小麦 puroindoline 及其相关基因分子遗传基础研究进展[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(6): 1108-1116.
- [17] GIROUX M J, MORRIS C F. A glycine to serine change in puroindoline b is associated with wheat grain hardness and low levels of starch-surface friabilin[J]. *Theoretical and applied genetics*, 1997, 95(5/6): 857-864.
- [18] 姜兰芳, 马小飞, 王敏, 等. 山西小麦品种籽粒硬度与主要品质性状研究[J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(11): 1309-1315.
- [19] 张福彦, 陈锋, 董中东, 等. 黄淮麦区小麦新品系籽粒硬度相关基因分子鉴定及其对产量性状的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(16): 3289-3296.
- [20] 杨学举, 荣广哲, 卢桂芬. 优质小麦重要性状的相关分析[J]. *麦类作物学报*, 2001, 21(2): 35-37.