

近25年我国审定的彩色小麦农艺性状及品质特征分析

张敏敏^{1,2}, 闫秋艳², 董飞², 申艳婷², 贾亚琴², 闫双堆¹, 鲁晋秀², 杨峰²,
李峰², 蔡岳³, 于章龙³, 宋昱³, 祁琛¹, 吴林甲¹

(¹山西农业大学资源环境学院, 太谷 030801; ²山西农业大学小麦研究所, 临汾 041000; ³山西农业大学棉花研究所, 运城 044000)

摘要: 以近25年来我国不同省份审定的56份彩色小麦品种为研究对象, 利用变异系数、主成分分析和聚类分析对审定品种的5个农艺性状和3个品质性状进行综合评价, 为我国彩色小麦种质资源创制和新品种选育提供参考。结果表明: 彩色小麦生育期、株高、穗粒数、千粒重和产量的变异系数范围为8.11%~21.82%, 其中产量与生育期变异系数较大。蛋白质含量、容重和湿面筋含量的变异系数范围为3.44%~15.06%, 其中容重性状较稳定, 蛋白质含量和湿面筋含量变异丰富; 省际间审定的彩色小麦性状各有侧重点, 山西、安徽与北京通过审定的多数品种品质较好, 山东通过审定的品种产量表现突出; 不同粒色小麦性状间无显著性差异; 相关分析表明生育期与株高呈显著负相关关系, 穗粒数与千粒重呈显著正相关, 蛋白质含量与湿面筋含量、生育期均呈显著正相关关系; 主成分分析将6个性状简化为3个主成分, 累积贡献率为67.55%, 其中第1主成分与容重有关, 第2主成分与产量有关, 第3主成分与蛋白质含量、湿面筋含量有关; 聚类分析在遗传距离为12.5时将56份彩色小麦资源分为4个类群, 其中第III类群综合性状较好, 山农蓝麦1号的F值最高(1.02), 柳紫黑麦1号的F值次之(0.99); 从彩色小麦审定品种性状趋势来看, 生育期和产量随着年份增加呈增加趋势, 而株高和蛋白质含量呈降低趋势。可见, 产量是彩色小麦品种选育的重点, 但品质性状尤其是蛋白质含量需重点关注。

关键词: 彩色小麦; 品种; 农艺性状; 品质特性

Analysis of Agronomic and Quality Characters of Color-grained Wheat in China in The Past 25 Years

ZHANG Min-min^{1,2}, YAN Qiu-yan², DONG Fei², SHEN Yan-ting², JIA Ya-qin², YAN Shuang-dui¹,
LU Jin-xiu², YANG Feng², LI Feng², CAI Yue³, YU Zhang-long³, SONG Yu³, QI Chen¹, WU Lin-jia¹

(¹College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801; ²Institute of wheat Research, Shanxi Agricultural University, Linfen 041000; ³Institute of Cotton Research, Shanxi Agricultural University, Yuncheng 044000)

Abstract: Fifty-six color-grained wheat varieties, which were released from different provinces in China in the past 25 years, were investigated in this study. The variation coefficient, principal component analysis and cluster analysis were applied to evaluate their five agronomic and three quality traits, which would provide reference for germplasm resources innovation and new varieties breeding in China. The results showed that the variation coefficient in the growth period, plant height, kernels per spike, 1000-grain weight and grain yield

收稿日期: 2022-08-09 修回日期: 2022-10-11 网络出版日期: 2022-11-17

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220809002>

第一作者研究方向为资源利用与植物保护, E-mail: zhang410927@163.com

通信作者: 闫秋艳, 研究方向为小麦品质提升与关键技术研究, E-mail: yanqiuayan@sxau.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1901102); 山西农业大学生物育种工程项目(YZGC015); 山西农业大学(省农业科学院)农业科技自主创新课题(YCX2020YQ25)

Foundation projects: National Key Research and Development Programs of China (2021YFD1901102); Biological Breeding Engineering Project of Shanxi Agricultural University (YZGC015); Research Project of Agricultural Science and Technology Innovation of Shanxi Agricultural University (YCX2020YQ25)

ranged from 8.11% to 21.82%, especially for the yield and growth period both with a higher variation coefficient. The variation coefficient of three quality traits protein content, bulk density and wet gluten content ranged from 3.44% to 15.06%, among which the bulk density was stable and the variation of protein and wet gluten content was abundant. Most of the varieties released by Shanxi Province, Anhui Province and Beijing showed good quality, and wheat varieties from Shandong Province showed better yield performance. There were no significant differences in traits among different color-grained wheat. The correlation analysis showed that the growth period negatively correlated with the plant height. The 1000-grain weight was observed to be positively correlated with the kernels per spike. The protein content positively correlated with the wet gluten content and growth period. The principal component analysis simplified the six traits into three principal components, with a cumulative contribution rate of 67.55%. The first principal component was associated with the bulk density, the second principal component was associated with the yield, and the third principal component was associated with the protein and wet gluten content. Cluster analysis suggested the 56 color-grained wheat resources into four groups at a distance of 12.5, among which the first group had better comprehensive traits. The varieties Shannong Lanmai 1 had the highest F value (1.02), and Liuzi Heimai 1 had the second highest F value (0.99). According to the trend of color-grained wheat variety traits, the growth period and yield attended to be increased within years, while the plant height and protein content attended to be decreased. Collectively, in breeding for color-grained wheat varieties the yield performance was the major target, and future improvement on the quality traits, especially the protein content would become of interest.

Key words: color-grained wheat; varieties; agronomic traits; quality characteristics

农艺和品质性状是评价种质资源优劣的两大类重点性状,且这类性状多为数量性状,受环境因素的影响较大^[1]。彩色小麦是一种具有特殊粒色(黑、蓝、紫和绿色等)的珍贵小麦种质资源,因其籽粒中含有大量天然色素,而且具有许多独特的品质特性和开发潜力而逐渐受到人们的关注^[2-3]。近年来,彩色小麦审定品种呈增加趋势,不同地区审定品种性状差异较大,存在较强的区域性,限制了人们对优良彩色小麦品种的认识和选择。因此,对我国彩色小麦农艺和品质性状的分析更有助于深入了解彩色小麦品种资源的特征和发展趋势。

彩色小麦农艺和品质性状的评价分析方面,徐萍等^[4]整合了我国审定的 60 个彩色小麦品种,侧重于基因来源分析。王艳胜^[5]对 5 个紫粒小麦品种的农艺性状分析表明彩色小麦的千粒重及产量表现多数低于白粒小麦。刘文进^[6]指出彩色小麦发展的主要瓶颈是彩色小麦品种的推广及产量品质的同步提高。因此,关于彩色小麦农艺和品质性状的综合分析仍需进一步完善,省际之间和品种间的性状差异仍需进一步明确。

聚类分析、变异分析、相关性分析和主成分分析等方法已在多种种质资源上进行应用^[7-11]。崔文礼等^[10]运用聚类分析对我国黄淮麦区的 35 份白粒

小麦的农艺性状与品质性状进行分析。张婷等^[11]对黄淮麦区的 263 份白粒小麦种质的株高、穗长、小穗数、穗粒数、千粒重 5 个主要农艺性状进行聚类分析。然而对我国彩色小麦种质资源农艺和品质性状综合评价的研究较缺乏。本研究利用以上方法对我国近 25 年审定的 56 份彩色小麦品种农艺和品质性状进行分析,为合理利用彩色小麦资源进行新品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据文献统计及审定时间,共筛选出我国近 25 年来育成并通过审定的彩色小麦(紫粒、蓝粒和黑粒)品种 56 份(表 1),分别来自安徽(1 份)、北京(2 份)、甘肃(2 份)、贵州(1 份)、河北(10 份)、河南(11 份)、江苏(1 份)、宁夏(1 份)、青海(1 份)、山东(13 份)、山西(10 份)、新疆(1 份)、重庆(2 份)等 13 个省市区。从 2018 年开始,彩色小麦审定数量呈显著增加趋势,1997-2000 年通过审定的彩色小麦品种有 2 份,2001-2010 年通过审定的彩色小麦品种共有 10 份,2011-2020 年审定的品种有 24 份,2021 年审定的彩色小麦品种达到 20 份。其中紫粒 33 份,黑粒 14 份,蓝粒 8 份,绿粒 1 份。

表1 56份彩色小麦信息表

Table 1 Information of 56 color-grained wheat cultivars

序号 Number	审定年份 Year of approval	省份 Province	品种 Varieties	粒色 Grain color	序号 Number	审定年份 Year of approval	省份 Province	品种 Varieties	粒色 Grain color
1	1997	山西	黑小麦 76号 ^[12]	黑粒	29	2019	山东	泰科紫麦 1号 ^[41]	紫粒
2	1997	河南	漯珍 1号 ^[13-14]	黑粒	30	2020	山东	爱民蓝麦 1号 ^[42]	蓝粒
3	2001	青海	高原 115 ^[15]	紫粒	31	2020	山西	冬黑 1206 ^[43]	紫粒
4	2004	山西	冬黑 10号 ^[16]	紫粒	32	2020	江苏	宁紫麦 1号 ^[44]	紫粒
5	2004	山西	冬黑 1号 ^[17]	紫粒	33	2020	山东	山农蓝麦 1号 ^[45]	蓝粒
6	2004	山西	运黑 28号 ^[18]	黑粒	34	2020	山西	太紫 6336 ^[46]	紫粒
7	2005	北京	农大 3677 ^[19]	蓝粒	35	2020	重庆	中科紫糯麦 168 ^[47]	紫粒
8	2006	北京	农大 3753 ^[20]	紫粒	36	2020	山西	紫麦 8555 ^[48]	紫粒
9	2008	河北	冀资黑小麦 1号 ^[21]	紫粒	37	2021	山东	彩麦 08 ^[49]	紫粒
10	2008	宁夏	宁春 46号 ^[22]	紫粒	38	2021	河北	邯生黑麦 1号 ^[50]	黑粒
11	2009	河北	冀紫 439 ^[23]	紫粒	39	2021	河南	黑冠 1号 ^[51]	黑粒
12	2010	山东	山农紫麦 1号 ^[24]	紫粒	40	2021	山东	济蓝麦 1号 ^[52]	蓝粒
13	2011	新疆	新春 36号 ^[25]	黑粒	41	2021	山东	济紫麦 2号 ^[53]	紫粒
14	2014	甘肃	陇紫麦 1号 ^[26]	紫粒	42	2021	山东	济紫麦 4号 ^[54]	紫粒
15	2015	贵州	贵紫麦 1号 ^[27]	紫粒	43	2021	山西	临黑 187 ^[55]	紫粒
16	2018	甘肃	陇紫麦 2号 ^[28]	紫粒	44	2021	安徽	柳紫黑麦 1号 ^[56]	紫粒
17	2018	河北	三餐黑麦 1号 ^[29]	黑粒	45	2021	河北	马兰黑小麦 1号 ^[57]	黑粒
18	2018	山东	山农紫糯 2号 ^[30]	紫粒	46	2021	河北	农大 4218紫 ^[58]	紫粒
19	2018	河南	豫圣黑麦 1号 ^[31]	紫粒	47	2021	河北	农大 5321蓝 ^[59]	蓝粒
20	2018	山西	运黑 14207 ^[32]	蓝粒	48	2021	山东	山农蓝麦 11 ^[60]	蓝粒
21	2018	山西	运黑 161 ^[33]	紫粒	49	2021	河南	盛彩麦 2号 ^[61]	黑粒
22	2018	河南	中鼎原紫 1号 ^[34]	黑粒	50	2021	山东	泰科紫麦 2号 ^[62]	紫粒
23	2018	河北	中黑麦 6号 ^[35]	黑粒	51	2021	河南	天谷红宝 5号 ^[63]	紫粒
24	2018	河北	中蓝麦 1号 ^[36]	蓝粒	52	2021	河南	永黑麦 1号 ^[64]	黑粒
25	2019	山东	济紫麦 1号 ^[37]	紫粒	53	2021	重庆	渝黑 521 ^[65]	紫粒
26	2019	河南	灵黑麦 1号 ^[38]	黑粒	54	2021	河南	豫州黑麦 1号 ^[66]	黑粒
27	2019	河南	灵绿麦 1号 ^[39]	绿粒	55	2021	河南	豫州黑麦 2号 ^[67]	黑粒
28	2019	山东	泰科黑麦 1号 ^[40]	紫粒	56	2021	河北	中紫麦 3号 ^[68]	紫粒

1.2 试验方法

生育期、株高、千粒重、穗粒数与产量是小麦重要的农艺性状,蛋白质含量、湿面筋含量与容重是重要的品质指标,因此本研究对这5个农艺性状和3个品质性状进行统计分析。数据来源为文献及网络已公开的品种试验数据(详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220809002>, 附表1),不同年份的品种性状数据取平均值。采用Microsoft Excel 2017进行数据整理,SPSS软件进行变异分析(变异系数=标准差/平均值)、显著性分析(邓肯Duncan)、相关分析(斯皮尔曼Rho)及主成分分析。主成分分析首先对原始数据进行标准化处理,然后进行KOM检验与Bartlett球形度检验。采用Origin 2018软件进行聚类分析,并绘制图表。

计算公式如下:

$$\text{主成分的特征向量} = \frac{\text{主成分载荷}}{\sqrt{\text{对应主成分特征值}}}$$

2 结果与分析

2.1 农艺与品质性状的变异分析

从表2可以看出,5个农艺性状和3个品质性状变异系数从大到小的顺序依次为产量>生育期>湿面筋含量>穗粒数>蛋白质含量>千粒重>株高>容重。产量、生育期与湿面筋含量的变异幅度较大,变异系数为21.82%、16.67%与15.06%,变异系数大于15%,说明这3个性状的变异潜力较大,为育种材料的选择提供了丰富的遗传背景资源,生育期变异系数较大是因为彩色小麦品种中包含春小

麦与冬小麦。容重、株高、千粒重变异幅度较小,变异系数分别为 3.44%、8.11%、9.46%,均小于 10%,说

明彩色小麦品种这 3 个性状表现相对较稳定。

表 2 各性状的变异系数

Table 2 Variation coefficients of traits

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准偏差 SD	变异系数(%) CV
生育期(d) GP	95.00	275.00	223.67	37.28	16.67
株高(cm) PH	70.00	99.15	83.40	6.76	8.11
穗粒数 KPS	28.00	50.00	36.45	4.89	13.42
千粒重(g) TGW	31.95	51.30	40.26	3.81	9.46
产量(kg/666.7 m ²) Y	203.00	541.05	425.89	92.92	21.82
蛋白质含量(%) PC	12.20	20.50	15.52	1.56	10.05
容重(g/L) BD	703.00	840.50	787.15	27.06	3.44
湿面筋含量(%) WGC	21.80	45.70	33.93	5.11	15.06

GP: Growth period; PH: Plant height; KPS: Kernels per spike; TGW: Thousand grain weight; Y: Yield; PC: Protein content; BD: Bulk density; WGC: Wet gluten content; The same as below

2.2 省际间农艺与品质性状的统计分析

各省际之间彩色小麦的农艺性状与品质性状各有不同,为了了解不同省际间通过审定的彩色小

麦品种的性状表现,对其农艺性状和品质性状基本参数进行分析(表 3)。

表 3 省际间 56 份彩色小麦性状的表现与变异

Table 3 Performance and variation of 56 color wheat traits among provinces

省份 Province	统计参数 Statistical parameter	生育期(d) GP	株高(cm) PH	穗粒数 KPS	千粒重(g) TGW	产量(kg/666.7 m ²) Y	蛋白质含量(%) PC	容重(g/L) BD	湿面筋含量(%) WGC
安徽 Anhui	平均值	221.40	86.50	34.45	39.55	527.27	16.23	840.50	40.60
	最小值	221.40	86.50	34.45	39.55	527.27	16.23	840.50	40.60
	最大值	221.40	86.50	34.45	39.55	527.27	16.23	840.50	40.60
北京 Beijing	平均值	232.50	82.50	29.65	39.50	356.25	16.97	815.50	35.20
	最小值	230.00	77.50	29.30	39.00	312.50	16.54	802.00	34.10
	最大值	235.00	87.50	30.00	40.00	400.00	17.40	829.00	36.30
甘肃 Gansu	平均值	274.00	93.85	34.35	39.85	281.35	15.40	760.50	32.60
	最小值	273.00	92.00	34.00	37.70	270.60	14.30	747.00	32.10
	最大值	275.00	95.70	34.70	42.00	292.10	16.50	774.00	33.10
贵州 Guizhou	平均值	192.00	86.00	37.00	38.00	267.35	13.70	775.00	30.90
	最小值	192.00	86.00	37.00	38.00	267.35	13.70	775.00	30.90
	最大值	192.00	86.00	37.00	38.00	267.35	13.70	775.00	30.90
河北 Hebei	平均值	237.23	76.32	32.96	38.12	479.66	15.95	789.75	34.26
	最小值	234.00	70.00	29.10	34.50	452.30	14.80	750.50	25.80
	最大值	239.00	81.60	39.50	42.80	514.73	19.00	820.00	42.40
河南 Henan	平均值	227.99	83.97	38.05	40.48	457.49	15.45	782.27	30.87
	最小值	220.00	75.00	28.80	31.95	400.00	13.00	703.00	21.80
	最大值	238.00	99.15	50.00	51.30	496.00	17.10	823.50	38.05
江苏 Jiangsu	平均值	208.60	87.00	37.80	44.00	473.60	15.15	808.50	30.85
	最小值	208.60	87.00	37.80	44.00	473.60	15.15	808.50	30.85
	最大值	208.60	87.00	37.80	44.00	473.60	15.15	808.50	30.85
宁夏 Ningxia	平均值	96.00	80.00	40.10	43.30	460.80	15.40	796.00	29.30
	最小值	96.00	80.00	40.10	43.30	460.80	15.40	796.00	29.30
	最大值	96.00	80.00	40.10	43.30	460.80	15.40	796.00	29.30

表3(续)

省份	统计参数	生育期(d)	株高(cm)	穗粒数	千粒重(g)	产量 (kg/666.7 m ²)	蛋白质 含量(%)	容重(g/L)	湿面筋 含量(%)
Province	Statistical parameter	GP	PH	KPS	TGW	Y	PC	BD	WGC
青海	平均值	135.00	91.80	36.80	49.30	425.00	13.80	808.00	29.90
Qinghai	最小值	135.00	91.80	36.80	49.30	425.00	13.80	808.00	29.90
	最大值	135.00	91.80	36.80	49.30	425.00	13.80	808.00	29.90
山东	平均值	232.42	84.41	37.69	40.73	504.20	14.84	785.24	38.10
Shandong	最小值	229.00	71.40	33.60	35.20	411.59	12.20	765.80	33.10
	最大值	238.00	93.60	46.10	45.20	541.05	18.90	799.00	45.70
山西	平均值	231.50	83.30	36.42	40.40	307.06	16.62	789.60	34.40
Shanxi	最小值	95.00	73.50	28.00	37.90	203.00	14.90	714.00	28.70
	最大值	270.00	95.00	40.00	42.70	423.30	20.50	830.00	42.80
新疆	平均值	103.00	88.00	41.90	42.90	445.50	15.60	786.00	30.00
Xinjiang	最小值	103.00	88.00	41.90	42.90	445.50	15.60	786.00	30.00
	最大值	103.00	88.00	41.90	42.90	445.50	15.60	786.00	30.00
重庆	平均值	170.00	90.50	41.30	39.30	260.50	13.10	754.00	25.80
Chongqing	最小值	169.00	90.00	37.10	36.40	237.60	12.70	740.00	23.50
	最大值	171.00	91.00	45.50	42.20	283.40	13.50	768.00	28.10
全部材料	平均值	223.67	83.40	36.45	40.26	425.89	15.52	787.15	33.93
Total materials	最小值	95.00	70.00	28.00	31.95	203.00	12.20	703.00	21.80
	最大值	275.00	99.15	50.00	51.30	541.05	20.50	840.50	45.70

2.2.1 生育期 省际间彩色小麦品种的平均生育期由大到小排序为甘肃>河北>北京>山东>山西>河南>安徽>江苏>贵州>重庆>青海>新疆>宁夏。省际间生育期差异显著,其中来自甘肃的陇紫麦1号生育期最长,为275 d,来自山西的黑小麦76号生育期最短,为95 d。甘肃、河北、北京通过审定的彩色小麦多为冬小麦。宁夏(96 d)、新疆(103 d)、青海(135 d)与重庆(170 d)通过审定的彩色小麦品种生育期较短,多为春小麦。

2.2.2 株高 省际间彩色小麦品种的平均株高排序为甘肃>青海>重庆>新疆>江苏>安徽>贵州>山东>河南>山西>北京>宁夏>河北。甘肃与青海彩色小麦株高较高,在省际间排名第一与第二。其中,河南省盛彩麦2号的株高最高,为99.15 cm,而河北省冀紫439株高最低,为70.00 cm。

2.2.3 穗粒数 省际间彩色小麦品种的平均穗粒数排序为新疆>重庆>宁夏>河南>江苏>山东>贵州>青海>山西>安徽>甘肃>河北>北京。其中,河南省通过审定的彩色小麦品种多样化,穗粒数最高为漯珍1号(50个),最低为永黑麦1号(28.80个)。山西省黑小麦76号穗粒数最低(28个)。新疆、重庆与宁夏虽然近些年通过的彩色麦品种较少但是平均穗粒数较高,分别为41.90,41.30与40.10。

2.2.4 千粒重 省际间彩色小麦品种的平均千粒重排序为青海>江苏>宁夏>新疆>山东>河南>山西>甘肃>安徽>北京>重庆>河北>贵州,其中

河南省天谷红宝5号千粒重最高(51.30 g),而盛彩麦2号的千粒重最低(31.95 g)。彩色小麦千粒重最高与最低的品种皆为河南省审定,说明河南省在彩色小麦的研发上进行了多样化的尝试,作为与产量息息相关的性状,河南省或想在产量上有所突破。

2.2.5 产量 省际间彩色小麦品种的平均亩产排序为安徽>山东>河北>江苏>宁夏>河南>新疆>青海>北京>山西>甘肃>贵州>重庆。山东的品种彩麦08产量最高,为541.05 kg/666.7 m²,且山东的其他品种产量也相对较高,表明山东的研究热点更趋向于产量及其相关指标。山西审定的黑小麦76号产量最低,为203.00 kg/666.7 m²。

2.2.6 蛋白质含量 省际间彩色小麦品种的平均蛋白质含量表现为北京>山西>安徽>河北>新疆>河南>宁夏>甘肃>江苏>山东>青海>贵州>重庆,北京与山西省通过审定的彩色小麦品种平均蛋白质含量分别为16.97%、16.62%。其中山西省黑小麦76号蛋白质含量最高(20.50%),山农紫麦1号虽然产量较高(509.20 kg/666.7 m²),但是蛋白质含量最低(12.20%)。表明北京与山西省在研发及审定彩色小麦的性状方面或更偏向于品质指标。

2.2.7 容重 13个省市区彩色小麦品种平均容重排序为安徽>北京>江苏>青海>宁夏>河北>山西>新疆>山东>河南>贵州>甘肃>重庆,安徽省审定的彩色小麦品种柳紫黑麦1号容重最高,达840.50 g/L。其中柳紫黑麦1号、冬黑1206、盛彩麦

2号、中蓝麦1号、紫麦8555、黑冠1号与漂珍1号等共18个品种容重均超过800.00 g/L。容重与出粉率息息相关,是重要的品质指标之一,安徽、山西、河南、河北、江苏、青海与北京均有彩色小麦品种容重超过800.00 g/L,尤其是山西省与河南省,容重超过800.00 g/L的彩色小麦品种分别有4个与5个,进一步说明了山西省在彩色小麦的审定方面更倾向于品质,而河南省审定的彩色小麦性状更为多样化。

2.2.8 湿面筋含量 省际间彩色小麦品种的平均湿面筋含量排序为安徽>山东>北京>山西>河北>甘肃>贵州>河南>江苏>新疆>青海>宁夏>重庆。重庆审定的彩色小麦品种平均湿面筋含量最低(25.80%),而山东省彩色小麦品种的湿面筋含量

表现突出。其中山农紫糯2号湿面筋含量最高,为45.70%,河南省审定的品种漂珍1号湿面筋含量最低,为21.80%。各省份间对彩色小麦的研究侧重点不同,安徽省通过审定的彩色小麦品种不多(1份),但该品种(柳紫黑麦1号)在产量、蛋白质、容重及湿面筋这4个性状上高于平均值,是表现良好的品种。

2.3 不同粒色品种间农艺与品质性状的差异分析

绿粒小麦仅有1个,不具代表性,因此不参与差异化分析。从表4可以看出,不同粒色(紫粒、蓝粒和黑粒)小麦在8个性状间均无显著差异。其中蓝粒小麦蛋白质含量和湿面筋含量高于紫粒和黑粒小麦。

表4 不同粒色小麦间性状的差异化分析

Table 4 Differentiation analysis of wheat traits between different grain colors

粒色 Grain color	生育期(d) GP	株高(cm) PH	穗粒数 KPS	千粒重(g) TGW	产量 (kg/666.7 m ²)Y	蛋白质含量(%) PC	容重(g/L) BD	湿面筋含量(%) WGC
紫粒 Purple	225.46±36.50a	83.55±6.74a	36.69±4.24a	40.35±4.02a	413.19±100.23a	15.24±1.39a	786.51±29.29a	34.03±5.17a
蓝粒 Blue	235.00±5.01a	82.08±6.20a	36.35±4.96a	40.15±3.13a	455.81±78.59a	16.13±1.88a	783.43±31.23a	36.20±3.65a
黑粒 Black	212.80±48.69a	83.70±7.71a	35.39±6.17a	40.32±3.92a	437.21±85.68a	15.74±1.71a	791.11±20.81a	32.13±5.42a

相同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上无显著差异

The same lowercase letters indicate no significant difference at the level of $P<0.05$

2.4 不同审定年份间的性状分析

从图1可知,近25年审定的彩色小麦农艺性状中,生育期和产量增加幅度较大,2021年彩色小麦平均生育期较1997-2000年间增长37%,平均产量增长55%。株高呈缓慢降低趋势,较1997-2000年间下降1%。穗粒数与千粒重的变化趋势线较为平缓,2021年彩色小麦穗粒数较1997-2000年间降低10%,千粒重增加5%。彩色小麦的蛋白质含量总体呈下降趋势,2021年彩色小麦平均蛋白质含量较1997-2000年间下降20%。容重和湿面筋含量趋势线较为稳定,2021年彩色小麦容重较1997-2000年间降低1%,湿面筋含量增加3%。表明近年来审定的彩色小麦品种总体侧重于提升产量,蛋白质含量呈下降趋势。

2.5 农艺与品质性状的相关性分析

8个主要性状间的相关性分析如表5所示。生育期与株高之间呈显著负相关($r=-0.307^*$),穗粒数与千粒重呈显著正相关($r=0.286^*$)。产量与千粒重呈正相关关系,与其他农艺性状呈现负相关关系。

品质性状间均存在正相关关系,其中蛋白质含量与湿面筋含量与呈显著正相关($r=0.271^*$)。生育期与蛋白质含量之间呈显著正相关($r=0.298^*$)。株高、穗粒数与品质性状均呈现不显著负相关。产量与湿面筋含量呈显著正相关($r=0.325^*$)。

2.6 性状的主成分分析

2.6.1 主成分分析的适宜度检验 因彩色小麦品种生育期与株高变异太大,且不能代表小麦的普遍性规律,穗粒数、千粒重与产量息息相关,而蛋白质含量、湿面筋含量与容重是小麦品质的重要品质因子。因此对其他6个性状进行主成分分析。经过分析得出(表6),穗粒数、千粒重、产量、蛋白质含量、湿面筋含量和容重6个性状的主成分分析^[69]。

2.6.2 主成分因子选择 经主成分分析得到6个主成分的特征值、贡献率和累积贡献率(表7),并计算主成分特征向量值(表8)。

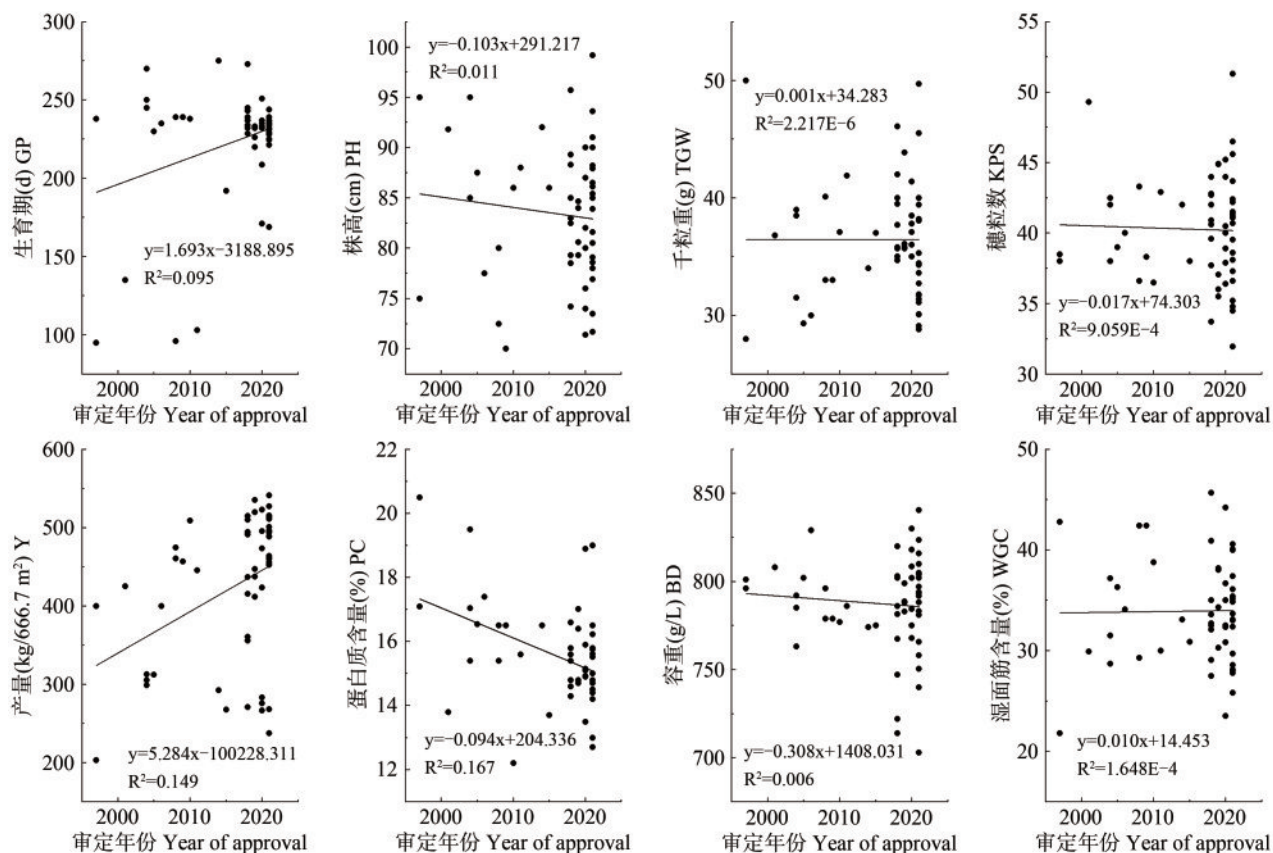


图1 彩色小麦农艺和品质性状变化趋势

Fig.1 Variation trend of agronomic and quality traits of color-grained wheat

表5 性状间的相关性系数

Table 5 Correlation coefficient among traits

性状 Traits	生育期 GP	株高 PH	穗粒数 KPS	千粒重 TGW	产量 Y	蛋白质含量 PC	容重 BD	湿面筋含量 WGC
生育期 GP	1							
株高 PH	-0.307*	1						
穗粒数 KPS	-0.068	0.087	1					
千粒重 TGW	-0.145	0.036	0.286*	1				
产量 Y	-0.126	-0.177	-0.055	0.062	1			
蛋白质含量 PC	0.298*	-0.252	-0.126	-0.143	-0.200	1		
容重 BD	-0.091	-0.168	-0.240	0.035	0.079	0.088	1	
湿面筋含量 WGC	0.153	-0.030	-0.127	0.006	0.325*	0.271*	0.069	1

* 代表在0.05水平显著

* represents significant at 0.05 level

表6 KMO检验和 Bartlett球形检验表

Table 6 KMO and Bartlett's test

检验指标 Index	检验值 Numeric value
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量 Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy	0.517
Bartlett 的球形度检验近似卡方 Sphericity test approximate Chi-square	27.487
自由度 df	15
显著性 Sig.	0.025

表 7 6 个性状间的总方差解释

Table 7 Explanation of total variance among six traits

成分 Component	特征值 Characteristic value	贡献率(%) Contribution rate	累积贡献率(%) Accumulative contribution root
1	1.74	29.05	29.05
2	1.26	20.95	50.00
3	1.05	17.56	67.55
4	0.83	13.84	81.39
5	0.62	10.30	91.69
6	0.50	8.32	100

表 8 6 个性状前 3 个主成分所对应的特征向量

Table 8 The eigenvectors corresponding to the first four principal components of six traits

性状 Traits	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2	第 3 主成分 PC3
穗粒数 KPS	-0.55	0.10	0.31
千粒重 TGW	-0.35	0.38	0.40
产量 Y	0.10	0.74	-0.18
蛋白质含量 PC	0.43	-0.32	0.58
容重 BD	0.45	0.20	-0.32
湿面筋含量 WGC	0.43	0.38	0.52

第 1 主成分 PC1 的特征值为 1.74, 方差贡献率为 29.05%。第 2 主成分 PC2 的特征值为 1.26, 方差贡献率为 20.95%。第 3 主成分 PC3 的特征值为 1.05, 方差贡献率为 17.56%。前 3 个主成分累积贡献率达到 67.55%, 前 3 项主成分可以反映原始数据大部

分信息, 因此选取前 3 个主成分作为综合评价指标。

主成分特征向量值反映了各性状在主成分中的影响力大小和方向。由表 8 可知, 第 1 主成分主要反映容重; 第 2 主成分主要反映产量; 第 3 主成分主要反映蛋白质含量与湿面筋含量。主成分分析结果表明品质性状与产量已经成为评判一个小麦品种优劣的重要性状, 这为彩色小麦育种提供了参考思路。

2.6.3 综合评价 根据表 9 中各主成分的特征向量, 计算 56 份彩色小麦品种的主成分因子得分, 再以每个主成分的贡献率为权重, 构建出不同彩色小麦品种的综合评价模型: $F=0.29Y_1+0.21Y_2+0.18Y_3$ 。由表 9 可知, 在 56 份彩色小麦品种中, 综合得分较高 ($F>0.9$) 的品种为山农蓝麦 1 号、柳紫黑麦 1 号与山农紫糯 2 号。与其他品种相比, 山农蓝麦 1 号、柳紫黑麦 1 号与山农紫糯 2 号的综合表现较好, 山农蓝麦 1 号多项性状均高于平均值, 穗粒数、千粒重、产量、蛋白质含量和湿面筋含量相较于各项性状平均值分别高 6%、1%、16%、22% 和 30%; 而柳紫黑麦 1 号的产量、蛋白质含量、容重与湿面筋含量相较于 56 份彩色小麦性状平均值分别高 24%、5%、7% 与 20%; 山农紫糯 2 号的穗粒数、千粒重、产量与湿面筋含量表现突出, 分别高于 56 份彩色小麦对应性状平均值 26%、9%、15%、与 35%。因此, 山农蓝麦 1 号、柳紫黑麦 1 号与山农紫糯 2 号为 56 份彩色小麦中综合评价较高的品种。

表 9 主成分因子综合得分

Table 9 Composite score of principal component factor

品种 Varieties	第 1 主成分得分 Y1	第 2 主成分得分 Y2	第 3 主成分得分 Y3	综合得分 F Comprehensive score
山农蓝麦 1 号 Shannonglanmai 1	-0.29	3.26	2.36	1.02
柳紫黑麦 1 号 Liuziheimai 1	1.65	2.51	-0.09	0.99
山农紫糯 2 号 Shannong Zinuo 2	-0.43	3.28	2.10	0.94
冀资黑小麦 1 号 Jiziheixiaomai 1	1.08	1.72	0.63	0.79
中黑麦 6 号 Zhongheimai 6	0.98	2.06	0.44	0.79
冀紫 439 Jizi 439	0.91	1.75	0.84	0.78
黑小麦 76 号 Heixiaomai 76	0.39	0.67	2.36	0.68
彩麦 08 Caimai 08	0.63	2.03	0.23	0.65
泰科黑麦 1 号 Taikheimai 1	0.50	1.94	0.27	0.60
济紫麦 2 号 Jizimai 2	0.58	1.59	0.37	0.57
黑冠 1 号 Heiguan 1	1.18	1.17	-0.46	0.51
泰科紫麦 1 号 Taikhezimai 1	0.38	1.08	0.48	0.42
农大 5321 蓝 Nongda 5321 lan	0.44	0.82	0.47	0.39
山农紫麦 1 号 Shannongzimai 1	1.52	0.48	-1.14	0.34
济蓝麦 1 号 Jilanmai 1	1.40	0.44	-0.88	0.34

表9 (续)

品种 Varieties	第1主成分得分 Y1	第2主成分得分 Y2	第3主成分得分 Y3	综合得分 <i>F</i> Comprehensive score
农大3753 Nongda 3753	0.91	0.36	-0.16	0.31
爱民蓝麦1号 Aiminlanmai 1	-0.76	1.72	0.91	0.31
永黑麦1号 Yongheimai 1	0.69	0.60	-0.39	0.26
灵绿麦1号 Linglvmai 1	-0.65	1.07	1.12	0.24
农大3677 Nongda 3677	0.96	-0.40	0.08	0.21
盛彩麦2号 Shengcaimai 2	1.28	0.24	-1.16	0.21
豫州黑麦1号 Yuzhouheimai 1	0.78	0.51	-0.80	0.19
三餐黑麦一号 Sancaheimai 1	0.06	0.80	-0.22	0.15
济紫麦1号 Jizimai 1	0.85	0.36	-0.96	0.15
太紫6336 Taizi 6336	0.61	0.11	-0.26	0.15
泰科紫麦2号 Taikezimai 2	0.62	0.44	-0.69	0.15
中蓝麦1号 Zhonglanmai 1	0.44	0.52	-0.85	0.08
济紫麦4号 Jizimai 4	0.44	0.25	-0.71	0.05
山农蓝麦11 Shannonglanmai 11	-0.12	0.55	-0.17	0.05
运黑161 Yunhei 161	-0.66	0.16	0.98	0.02
冬黑10号 Donghei 10	-1.12	0.03	1.76	0.00
宁紫麦1号 Ningzimai 1	-0.25	0.27	-0.32	-0.07
临黑187 Linhei 187	-0.21	-0.59	0.57	-0.08
邯生黑麦1号 Danshengheimai 1	0.31	-0.46	-0.49	-0.10
高原115 Gaoyuan 115	-0.39	-0.07	-0.33	-0.19
冬黑1206 Donghei 1206	0.78	-1.43	-0.77	-0.21
冬黑1号 Donghei 1	-0.59	-0.95	0.87	-0.22
陇紫麦1号 Longzimai 1	-0.59	-1.00	0.72	-0.25
马兰黑小麦1号 Malanheixiaomai 1	-0.34	-0.51	-0.37	-0.27
豫州黑麦2号 Yuzhouheimai 2	0.53	-0.72	-1.56	-0.28
灵黑麦1号 Lingheimai 1	-0.01	-0.91	-0.62	-0.30
宁春46号 Ningchun 46	-0.86	-0.19	-0.14	-0.32
紫麦8555 Zimai 8555	0.16	-1.45	-0.34	-0.32
新春36号 Xinchun 36	-1.21	-0.22	0.23	-0.35
中紫麦3号 Zhongzimai 3	1.19	-1.58	-2.04	-0.35
运黑14207 Yunhei 14207	-1.96	-0.86	1.48	-0.48
农大4218紫 Nongda 4218 zi	0.93	-1.99	-2.29	-0.56
陇紫麦2号 Longzimai 2	-0.22	-2.43	-0.25	-0.62
运黑28号 Yunhei 28	-1.00	-1.68	0.03	-0.64
贵紫麦1号 Guizimai 1	0.02	-2.52	-0.74	-0.66
豫圣黑麦一号 Yushengheimai 1	-0.82	-1.97	-0.44	-0.73
中鼎原紫1号 Zhongdingyuanzi 1	-1.31	-1.48	-0.33	-0.75
天谷红宝5号 Tianguhongbao 5	-4.46	-0.09	2.41	-0.88
漯珍1号 Luozhen 1	-2.57	-2.06	-0.14	-1.20
渝黑521 Yuhei 521	-1.89	-3.17	0.05	-1.21
中科紫糯麦168 Zhongkezinuomai 168	-0.51	-4.07	-1.68	-1.30

2.7 聚类分析

采用欧氏距离法对5个农艺性状和3个品质性状进行聚类分析。当遗传距离为12.5时,将56份彩色小麦品种分为4大类(图2、表10)。

第I类群,只有黑小麦76号1个品种,容重、湿面筋含量以及蛋白质含量较高,生育期短,产量较低,为低产高品质品种。

第II类群,共有14个品种,包括贵紫麦1号、

中科紫糯麦 168、渝黑 521、冬黑 10 号、陇紫麦 1 号、陇紫麦 2 号、紫麦 8555、临黑 187、冬黑 1206、运黑 28 号、冬黑 1 号、农大 3677、运黑 14207 与运黑 161。

此类群多为冬小麦品种, 生育期较长, 产量较低, 蛋白质含量与湿面筋含量较高。

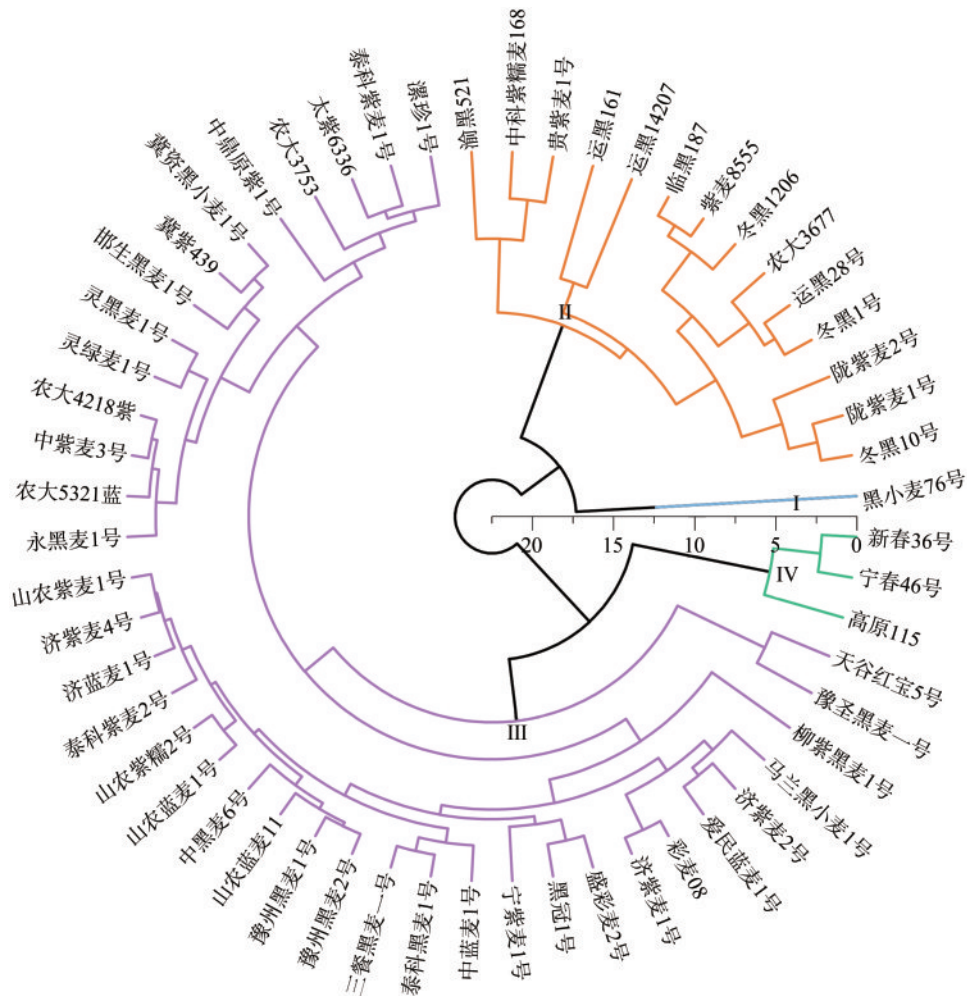


图 2 近 25 年来审定的彩色小麦品种聚类结果

Fig.2 Clustering results of color-grained wheat varieties approved in recent 25 years

表 10 各类群性状平均值

Table 10 Mean value of traits performance among groups

类群 Group	生育期(d) GP	株高(cm) PH	穗粒数 KPS	千粒重(g) TGW	产量(kg/666.7m ²) Y	蛋白质含量(%) PC	容重(g/L) BD	湿面筋含量(%) WGC
I	95.00	95.00	28.00	38.50	203.00	20.50	796.00	42.80
II	234.21	86.16	37.06	40.21	293.42	15.50	778.86	32.16
III	232.07	81.82	36.20	39.93	479.15	15.45	789.22	34.69
IV	111.33	86.60	39.60	45.17	443.77	14.93	796.67	29.73

第III类群,共有38个品种,又可分为2个亚类,第一亚类包括马兰彩色小麦1号、农大5321蓝、农大4218紫、邯生黑麦1号、中紫麦3号、泰科紫麦2号与溧珍1号等36个品种;第二亚类包括豫圣黑麦1号与天谷红宝5号。此类群为产量高、品质适中的品种。

第IV类群有高原115、宁春46号与新春36号共

3个品种,生育期值范围为96~135 d,此类群彩色小麦品种生育期较短,产量适中,容重较高,湿面筋含量较低。

3 讨论

本研究通过文献统计法整合近25年通过审定

的彩色小麦品种数据,共筛选出56份彩色小麦品种,主要来自山东、河南、山西、河北4个省份。2018-2021年彩色小麦审定品种数量呈显著增加趋势,这与不同省份开展特殊用途小麦统一试验、联合体品种试验与绿色通道品种试验关系密切。对56份彩色小麦品种的5个农艺与3个品质性状进行数据分析,变异幅度在3.44%~21.82%,品种资源多样化。各省际之间审定的彩色小麦品种农艺与品质性状各有侧重点。河南省与山东省审定的彩色小麦品种多样化,河南省审定的彩色小麦千粒重变化幅度大,最高千粒重、穗粒数与最低千粒重皆为河南省审定的品种,山东省审定的彩色小麦产量表现突出。宁夏、新疆与青海通过审定的彩色小麦品种生育期较短,多为春小麦品种。新疆、重庆与宁夏通过审定的彩色小麦品种穗粒数较高。安徽省、山西省与北京审定的品种容重、蛋白质含量与湿面筋含量表现突出。不同粒色间彩色小麦农艺与品质性状并无显著差异。聚类分析将56份彩色小麦分成4类:第I类群,生育期短,为低产高品质彩色小麦品种;第II类群产量较低,蛋白质含量与湿面筋含量较高,为优质彩色小麦类群;第III类群为产量高品质适中的冬小麦品种;第IV类群生育期较短,产量适中,容重较高,湿面筋含量较低。可见,彩色小麦资源在不同省份、不同年份、不同品种间均存在较大差异,也说明彩色小麦品种具有丰富的性状表现。

本研究主成分分析结果表明有3个主成分入选,累积贡献率达67.55%,代表了56份品种大部分的变异信息,彩色小麦的品质与产量是评判彩色小麦质量的重点。彩色小麦产量波动幅度较大(203.0~541.1 kg/666.7 m²),平均值为425.9 kg/666.7 m²。目前审定的大部分彩色小麦品种产量低于白粒小麦。黄宁等^[70]指出我国主要麦区高产白麦产量可高达580 kg/666.7 m²。而马娟娟等^[71]研究表明高产彩色小麦的产量大于440.0 kg/666.7 m²。可见,近些年来通过审定的彩色小麦品种产量与普通小麦比仍有一定差距,彩色小麦的产量偏低,仍有较大提升空间。望俊森等^[72]指出黄淮南片白麦蛋白质含量为12%~16%,湿面筋含量为29%~39%。张小燕等^[1]研究表明彩色小麦的可溶性蛋白质含量,总游离氨基酸含量都显著高于普通小麦,灰麦氨基酸含量比普通小麦高57.5%。本研究发现彩色小麦蛋白质含量可高达20.5%。尽管彩色小麦蛋白质含量普遍高于白粒小麦,平均蛋白质含量在15.5%,但近年来通过审定的彩色小麦品种的蛋白质含量呈明显

下降趋势。主成分分析也表明品质性状是评判彩色小麦品种优劣的重要因素之一。因此,在彩色小麦新品种选育过程中要注重产量和品质的协同提高。此外,与普通白粒小麦相比,彩色小麦多数为弱筋小麦,通过育种可进一步提升彩色小麦面筋强度。王光禄等^[73]、刘丽华等^[74]提出通过研究小麦品种品质性状,可以针对性地选用优异种质材料并进一步改良品种特性。

农艺与品质性状之间的相关性较为复杂,主要是由于小麦育种中重视产量提高,而忽视了品质的改良,导致农艺性状与品质性状间的不平衡性^[75]。时侠清等^[76]研究指出冬小麦籽粒戊聚糖含量与千粒重具有极显著的负相关关系。即使是小麦籽粒本身品质性状之间也存在正负相关的双重效应^[77-78]。本研究表明与彩色小麦产量呈正相关的性状有千粒重,其他农艺性状与产量呈负相关。因此,在选择高产的种质时,需选择株高较低、穗粒数适中、千粒重较高的品系材料,这与齐文丽等^[79]研究结果一致。而马娟娟等^[71]研究指出彩色小麦穗粒数与千粒重为负相关关系,与本研究结果不一致,这可能与试验品种及试验条件有关。Fan等^[80]通过对彩色小麦农艺性状与品质性状的相关性分析表明彩色小麦穗粒数与小麦品质性状呈负相关关系,这与本研究结论一致。吴昊等^[81]通过对山东省近20年来大豆农艺性状的研究表明生育期与蛋白质含量呈正相关关系,这说明生育期越长越有利于籽粒蛋白质的积累。选育品质较高的彩色小麦品种时可选用生育期较长、穗粒数较低、株高适中的品种。

彩色小麦的种皮或糊粉层中含有花青素、胡萝卜素等色素,从而呈现不同的颜色,花色苷为花青素的糖苷形式,具强抗氧化性。李莉等^[82]研究表明紫粒和蓝粒的小麦颜色由不同部位表现,不同部位的花色苷类化合物决定彩色小麦籽粒的颜色。高建伟等^[83]研究表明紫粒小麦的颜色由种皮决定,颜色由母本籽粒颜色决定,为母性遗传。蓝粒小麦颜色由糊粉层决定,其色素基因主要来自偃麦草和一粒小麦。本研究中不同粒色小麦之间的农艺与品质性状均无显著差异。不同粒色小麦之间的差异性可能主要体现在花青素、类黄酮、总酚含量及抗氧化性等方面。宗学凤^[84]分析了不同颜色小麦籽粒色素、黄酮等抗氧化物质含量和抗氧化酶活性间的关系,结果表明小麦籽粒颜色与抗氧化活性密切相关,而且籽粒颜色越深其花色苷含量越高。Wang等^[85]研究不同粒色小麦花青素含量、总酚含量与抗

氧化能力表现为黑麦 > 紫麦 > 红麦 > 蓝麦 > 黄麦, 总体表现为籽粒颜色越深其花青素含量越高。也有研究表明蓝色小麦酚酸含量高于紫粒小麦, Luboš 等^[86]研究表明, 蓝色小麦表现出极高的总酚酸含量, 高于紫色及黄色小麦。由于品种审定时花青素含量不在彩色小麦性状的范围内, 因此本研究未获取不同籽粒颜色的花青素含量。本研究中不同粒色小麦之间农艺与品质性状之间并无显著差异, 关于此类性状与彩色小麦种皮颜色是否相关仍需进一步研究。近些年审定的彩色小麦发展趋势表明彩色小麦的产量大幅提升, 且多为紫黑色小麦, 这说明在未来一段时间主攻彩色小麦尤其是紫黑色小麦的产量是研究热点与趋势, 这对彩色小麦的推广及应用有极大作用。

彩色小麦品种的农艺与品质性状在实际推广种植中因环境因子与施肥水平等因素而具有波动。徐萍等^[4]对彩色小麦种质资源研究提出目前因技术及资金限制难以对比多数彩色小麦在同种植条件下的营养成分及品质性状, 建议对我国彩色小麦功能营养成分进行统一测定, 促进功能营养彩色小麦育种及产业化。在今后的研究中可依据当地情况选择彩色小麦品种进行统一种植并获得特定生态条件下的不同品种的性状数据, 或可得出更为系统、全面的结论。

参考文献

- [1] 张小燕, 高遮竹, 高向阳. 特殊粒色小麦研究进展. 粮油食品科技, 2016, 24(4): 7-11
Zhang X Y, Gao X Z, Gao X Y. Research progress on special color wheat. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(4): 7-11
- [2] 谷玉娟, 陈志成, 苏东民. 彩色小麦的理化特性及麸皮粉的品质评价. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(6): 2262-2268
Gu Y J, Chen Z C, Su D M. The physicochemical properties of color wheat and the quality evaluation of bran powder. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(6): 2262-2268
- [3] Shin O H, Kim D Y, Seo Y W. Effects of different depth of grain colour on antioxidant capacity during water imbibition in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(9): 2750-2758
- [4] 徐萍, 张正斌, 张锦鹏, 李芙蓉. 彩色小麦基因发掘和种质资源育种利用. 植物遗传资源学报, 2022, 23(6): 1549-1571
Xu P, Zhang Z B, Zhang J P, Li F R. Gene discovery and germplasm resource breeding utilization of colored wheat. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6): 1549-1571
- [5] 王艳胜. 紫色小麦和普通小麦的农艺性状及功能成分测定. 晋中: 山西农业大学, 2019
Wang Y S. Determination of agronomic characters and functional components of purple and common wheat. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2019
- [6] 刘文进. 特殊粒色小麦的研究进展及应用. 安徽农学通报, 2019, 25(20): 44-45, 123
Liu W J. Research progress and application of special grain color wheat. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2019, 25(20): 44-45, 123
- [7] 王俊花, 邵林生, 闫建宾, 王瑞钢, 张雪彪, 庞旭, 张沛敏. 基于主成分分析的糯玉米杂交组合农艺性状综合评价. 山西农业科学, 2022, 50(7): 938-944
Wang J H, Shao L S, Yan J B, Wang R G, Zhang X B, Pang X, Zhang P M. Comprehensive evaluation of agronomic traits based on principal component analysis of waxy cross combinations. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(7): 938-944
- [8] 张庆银, 王子凡, 王丹丹, 李燕, 师建华, 牛瑞生, 齐连芬. 基于主成分分析法的加工辣椒品种筛选与品质指标分析. 蔬菜, 2022(7): 17-21
Zhang Q Y, Wang Z F, Wang D D, Li Y, Shi J H, Niu R S, Qi L F. Cultivar selection and quality index analysis of processing pepper based on principal component analysis. Vegetables, 2022(7): 17-21
- [9] 张中伟, 杨海龙, 付俊, 谢文锦, 李方明, 高旭东. 基于主成分分析和聚类分析的玉米品种的综合评价. 农业科技通讯, 2022(6): 30-35
Zhang Z W, Yang H L, Fu J, Xie W J, Li F M, Gao X D. Comprehensive evaluation of maize varieties based on principal component analysis and cluster analysis. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2022(6): 30-35
- [10] 崔文礼, 王军, 汪辉, 陈瑞瑞, 宋贺, 郑文寅. 黄淮麦区 35 份小麦种质资源品质性状比较分析. 安徽农业大学学报, 2020, 47(4): 606-611
Cui W L, Wang J, Wang H, Chen R R, Song H, Zheng W Y. Comparative analysis of quality characters of 35 wheat germplasm resources in Huang-Huai Wheat Region. Journal of Anhui Agricultural University, 2020, 47(4): 606-611
- [11] 张婷, 逯腊虎, 袁凯, 杨斌, 张伟, 史晓芳. 黄淮麦区 263 份小麦种质材料的聚类分析. 陕西农业科学, 2019, 65(6): 1-4, 13
Zhang T, Lu L H, Yuan K, Yang B, Zhang W, Shi X F. Cluster analysis of 263 wheat germplasm materials in huanghuai wheat region. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2019, 65(6): 1-4, 13
- [12] 苏卓勋. 黑小麦 76 号抗性、营养成分与产量研究. 新疆农垦科技, 2015, 38(8): 12-14
Su Z X. Study on resistance, nutritional composition and yield of black wheat 76. Xinjiang Land Reclamation Science and Technology, 2015, 38(8): 12-14
- [13] 张世全, 张从宇, 肖新. 栽培因子对黑小麦产量与品质的影响. 安徽农业科学, 2018, 46(26): 48-50
Zhang S Q, Zhang C Y, Xiao X. Effects of cultivation factors

- on the yield and quality of black wheat. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46 (26): 48-50
- [14] 张国武, 周彦中, 张春映, 李建利. 漯珍1号黑小麦的选育及特征特性. *河南农业科学*, 1997(8): 11
Zhang G W, Zhou Y Z, Zhang C Y, Li J Z. Breeding and characteristics of Luozhen 1 black wheat. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 1997 (8): 11
- [15] 张梅妞, 张怀刚, 江德亨, 陈志国. 紫黑色春小麦新品种——高原115. *麦类作物学报*, 2002(4): 104
Zhang M N, Zhang H G, Jiang D H, Chen Z G. Gaoyuan 115, a new purple-black spring wheat variety. *Journal of Triticeae Crops*, 2002 (4): 104
- [16] 孙玉, 孙善澄, 闰贵云, 任永康, 裴自友. 优质黑粒小麦新品种——冬黑10号. *麦类作物学报*, 2007(6): 1165
Sun Y, Sun S C, Run G Y, Ren Y K, Pei Z Y. A new high quality black grain wheat variety-Donghei 10. *Journal of Triticeae Crops*, 2007 (6): 1165
- [17] 裴自友, 温辉芹, 张立生, 程天灵, 李雪. 富硒黑粒小麦品种冬黑1号的研究. *种子*, 2013, 32(7): 74-76
Pei Z Y, Wen H Q, Zhang L S, Cheng T L, Li X. Study on rich selenium black kernel wheat Donghei No.1. *Seeds*, 2013, 32(7): 74-76
- [18] 王秋叶, 张建诚, 姚景珍, 李秀绒, 柴永峰. 黑粒小麦新品种运黑28号特征特性及高产栽培技术. *耕作与栽培*, 2005(5): 54
Wang Q Y, Zhang J C, Yao J Z, Li X R, Chai Y F. Characteristics and high-yield cultivation techniques of a new black-grain wheat variety Yunhei 28. *Culture with Planting*, 2005(5): 54
- [19] 刘冬梅, 田士宝, 张福利, 曹春英, 杨翠萍. 蓝粒小麦农大3677. *天津农林科技*, 2009(3): 3
Liu D M, Tian S B, Zhang F L, Cao C Y, Yang C P. Blue grain wheat Nongda 3677. *Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry*, 2009 (3): 3
- [20] 李杏普. 富铬优质新品种冀资黑小麦1号的中试与示范. *中国科技成果*, 2010, 11(19): 66-67
Li X P. Pilot test and demonstration of a new chromium-rich and high-quality variety Jizheimai 1. *China Science and technology Achievements*, 2010, 11(19): 66-67
- [21] 曹春英, 田士宝, 张福利, 杨翠萍, 刘冬梅. 紫粒优质小麦——农大3753. *天津农林科技*, 2008(2): 32
Cao C Y, Tian S B, Zhang F L, Yang C P, Liu D M. Purple grain high quality wheat—Nongda 3753. *Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry*, 2008(2): 32
- [22] 陈东升, 袁汉民, 郭善昌, 王长峰, 王小亮, 亢玲, 张维军, 来长凯. 高产优质紫粒春小麦新品种——宁春46号. *麦类作物学报*, 2009, 29(6): 1138
Chen D S, Yuan H M, Guo S C, Wang C F, Wang X L, Kang L, Zhang W J, Lai C K. Ningchun 46, a new purple grain spring wheat variety with high yield and good quality. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29 (6): 1138
- [23] 王梅娟, 潘玉雷. 富铬黑小麦冀紫439的营养价值及市场前景. *河北农业*, 2018(1): 8-9
Wang M J, Pan Y L. Nutritional value and market prospect of chromium-rich color wheat Jizi 439. *Hebei Agriculture*, 2018 (1): 8-9
- [24] 张明红, 刘延刚, 沈庆彬, 张谦, 陈炳宇, 彭金海, 冷鹏. 小麦新品种山农紫麦1号特征特性与优质高产栽培技术及市场发展潜力分析. *农业科技通讯*, 2013(2): 149-151
Zhang M H, Liu Y G, Shen Q B, Zhang Q, Chen B Y, Peng J H, Leng P. Analysis on characteristics, high-quality and high-yield cultivation techniques and market development potential of new wheat variety Shannong Zimai 1. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2013(2): 149-151
- [25] 管利军, 张利民, 陶志柱, 滕祥增, 王雅琳, 李萍, 朱晓平. 黑小麦新品种新春36号的选育特征特性栽培技术. *安徽农业科学*, 2012, 40(11): 6420-6421, 6423
Guan L J, Zhang L M, Tao Z Z, Teng X Z, Wang Y L, Li P, Zhu X P. Breeding, characteristics and cultivation techniques of Xinchun 36, a new variety of triticale (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40 (11): 6420-6421, 6423
- [26] 李兴茂, 倪胜利, 张国宏. 抗旱抗病冬小麦新品种——陇紫麦1号. *麦类作物学报*, 2015, 35(2): 293
Li X M, Ni S L, Zhang G H. Longzimai 1, a new winter wheat variety with drought resistance and disease resistance. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(2): 293
- [27] 第一种业网. 贵紫麦1号. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2016/shendingpinzhong_0126/17983.html
Diyizhongyewang. Guizimai 1. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2016/shendingpinzhong_0126/17983.html
- [28] 任根深, 黎哲, 王亚翠, 丁志远, 刘众, 刘愈之, 郑琪. 彩色小麦新品种陇紫麦2号选育报告. *甘肃农业科技*, 2019(1): 1-4
Ren G S, Li Z, Wang Y C, Ding Z Y, Liu Z, Liu Y Z, Zheng Q. Report on breeding of new color wheat cultivar Longzimai 2. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2019(1): 1-4
- [29] 第一种业网. 三餐黑麦一号. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0413/32026.html
Diyizhongyewang. Sancanheimai 1. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0413/32026.html
- [30] 种业商务网. 山农紫糯2号. (2019-8-21) [2022-07-14]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_69655.html
Zhongyeshangwuwang. Shannong Ziniu2. (2019-8-21) [2022-07-14]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_69655.html
- [31] 种业商务网. 豫圣黑麦一号. (2018-4-29) [2022-07-14]. https://www.chinaseed114.com/seed/13/seed_63998.html
Zhongyeshangwuwang. Yushengheimai 1. (2018-4-29) [2022-07-14]. https://www.chinaseed114.com/seed/13/seed_63998.html

- [32] 第一种业网. 运黑 14207. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_1229/37110.html
Diyizhongyewang. Yunhei 14207. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_1229/37110.html
- [33] 蔡岳, 宋昱, 于章龙, 谢飒英, 宋虹. 特色小麦运黑 161 的选育经过及特征特性. 现代农业科技, 2019(23): 37-38, 41
Cai Y, Song Y, Yu Z L, Xie S Y, Song H. Breeding process of characteristic wheat cultivar Yunhei 161 and its characteristics. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(23): 37-38, 41
- [34] 第一种业网. 中鼎原紫 1 号. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0428/32514.html
Diyizhongyewang. Zhongdingyuanzi 1. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0428/32514.html
- [35] 第一种业网. 中黑麦 6 号. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0413/32024.html
Diyizhongyewang. Zhongheimai 6. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0413/32024.html
- [36] 第一种业网. 中蓝麦 1 号. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0413/32025.html
Diyizhongyewang. Zhonglanmai 1. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2018/shendingpinzhong_0413/32025.html
- [37] 曹新有, 王利彬, 戴海英, 解树斌, 程敦公, 刘爱峰, 宋健民, 赵振东, 王灿国, 刘成, 郭军, 翟胜男, 韩冉, 訾妍, 李法计, 李豪圣, 刘建军. 黑小麦新品种济紫麦 1 号的选育与体会. 山东农业科学, 2020, 52(8): 21-23
Cao X Y, Wang L B, Dai H Y, Xie S B, Cheng D G, Liu A F, Song J M, Zhao Z D, Wang C G, Liu C, Guo J, Zhai S N, Han R, Kui Y, Li F J, Li H S, Liu J J. Breeding and experience of new black wheat variety Jizimai 1. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(8): 21-23
- [38] 赵双锁, 关丽云, 高阳, 赵离飞, 赵石磊, 刘晓丹. 彩色小麦新品种—灵黑麦 1 号. 麦类作物学报, 2021, 41(5): 522
Zhao S S, Guan L Y, Gao Y, Zhao L F, Zhao S L, Liu X D. A new color wheat variety-Lingheimai 1. Journal of Triticeae Crops, 2021, 41(5): 522
- [39] 第一种业网. 灵绿麦 1 号. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2019/shendingpinzhong_0418/40314.html
Diyizhongyewang. Linglvmai 1. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2019/shendingpinzhong_0418/40314.html
- [40] 张中华. 特色小麦新品种泰科黑麦 1 号. 农业知识, 2020(18): 28-29
Zhang Z H. A new characteristic wheat variety Taikeheimai 1. Agricultural Knowledge, 2020(18): 28-29
- [41] 牟秋焕, 王瑞霞, 王超, 米勇, 孙盈盈, 陈永军. 黑小麦新品种泰科紫麦 1 号的选育与体会. 山东农业科学, 2021, 53(5): 138-141
Mou Q H, Wang R X, Wang C, Mi Y, Sun Y Y, Chen Y J. Breeding and experience of new triticale variety Taikezimai 1. Shandong Agricultural Science, 2021, 53(5): 138-141
- [42] 第一种业网. 爱民蓝麦 1 号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_1108/53368.html
Diyizhongyewang. Aiminlanmai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_1108/53368.html
- [43] 鲁晋秀, 董飞, 杨峰, 闫秋艳, 王苗, 李峰, 贾亚琴, 任永康. 旱地黑小麦新品种—冬黑 1206. 麦类作物学报, 2020, 40(10): 1282
Lu J X, Dong F, Yang F, Yan Q Y, Wang M, Li F, Jia Y Q, Ren Y K. New dryland black wheat variety-Donghei 1206. Journal of Triticeae Crops, 2020, 40(10): 1282
- [44] 第一种业网. 宁紫麦 1 号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_1226/55653.html
Diyizhongyewang. Ningzimai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_1226/55653.html
- [45] 第一种业网. 山农蓝麦 1 号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_1108/53365.html
Diyizhongyewang. Shannonglanmai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_1108/53365.html
- [46] 第一种业网. 太紫 6336. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_0327/49339.html
Diyizhongyewang. Taizi 6336. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_0327/49339.html
- [47] 第一种业网. 中科紫糯麦 168. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_0609/50572.html
Diyizhongyewang. Zhongkezunuomai 168. (2021-12-14) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2020/shendingpinzhong_0609/50572.html
- [48] 张文云, 王敏, 马小飞. 彩色旱地小麦新品种紫麦 8555 的特征特性及栽培技术. 农业科技通讯, 2021(8): 267-269
Zhang W Y, Wang M, Ma X F. Characteristics and cultivation technology of purple wheat 8555. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2021(8): 267-269
- [49] 第一种业网. 彩麦 08. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64082.html
Diyizhongyewang. Caimai 08. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64082.html
- [50] 第一种业网. 邯生黑麦 1 号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62139.html
Diyizhongyewang. Danshengheimai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62139.html

- [51] 第一种业网. 黑冠1号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60846.html
Diyizhongyewang. Heiguan 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60846.html
- [52] 第一种业网. 济蓝麦1号. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64079.html
Diyizhongyewang. Jilanmai 1. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64079.html
- [53] 第一种业网. 济紫麦2号. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64077.html
Diyizhongyewang. Jizimai 2. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64077.html
- [54] 第一种业网. 济紫麦4号. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64078.html
Diyizhongyewang. Jizimai 4. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64078.html
- [55] 董飞, 李峰, 贾亚琴, 杨峰, 闫秋艳, 鲁晋秀, 申艳婷. 追氮量对黑小麦品种(系)籽粒产量和品质的影响. 核农学报, 2022, 36(2): 435-444
Dong F, Li F, Jia Y Q, Yang F, Yan Q Y, Lu J X, Shen Y T. Effect of nitrogen topdressing rate on yield and quality of black-grained wheat varieties (strains). *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2022, 36(2): 435-444
- [56] 第一种业网. 柳紫黑麦1号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1207/64504.html
Diyizhongyewang. Liuziheimai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1207/64504.html
- [57] 第一种业网. 马兰黑小麦1号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62134.html
Diyizhongyewang. Malanheixiaomai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62134.html
- [58] 第一种业网. 农大4218紫. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1201/64087.html
Diyizhongyewang. Nongda 4218 zi. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1201/64087.html
- [59] 第一种业网. 农大5321蓝. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62136.html
Diyizhongyewang. Nongda 5321 lan. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62136.html
- [60] 第一种业网. 山农蓝麦11. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64080.html
Diyizhongyewang. Shannonglanmai 11. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64080.html
- [61] 第一种业网. 盛彩麦2号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60847.html
Diyizhongyewang. Shengcaimai 2. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60847.html
- [62] 第一种业网. 泰科紫麦2号. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64081.html
Diyizhongyewang. Taikezimai 2. (2022-01-19) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_1129/64081.html
- [63] 第一种业网. 天谷红宝5号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60845.html
Diyizhongyewang. Tianguhongbao 5. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60845.html
- [64] 第一种业网. 永黑麦1号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60842.html
Diyizhongyewang. Yongheimai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60842.html
- [65] 第一种业网. 渝黑521. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0501/60098.html
Diyizhongyewang. Yuhei 521. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0501/60098.html
- [66] 第一种业网. 豫州黑麦1号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60843.html
Diyizhongyewang. Yuzhouheimai 1. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60843.html
- [67] 第一种业网. 豫州黑麦2号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60844.html
Diyizhongyewang. Yuzhouheimai 2. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0603/60844.html
- [68] 第一种业网. 中紫麦3号. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62140.html
Diyizhongyewang. Zhongzimai 3. (2021-12-15) [2022-07-14]. http://www.a-seed.cn/html/2021/shendingpinzhong_0623/62140.html
- [69] 张中伟, 杨海龙, 付俊, 谢文锦, 李方明, 高旭东. 基于主成分分析和聚类分析的玉米品种的综合评价. 农业科技通讯, 2022(6): 30-35
Zhang Z W, Yang H L, Fu J, Xie W J, Li F M, Gao X D. Comprehensive evaluation of corn varieties based on principal component analysis and cluster analysis. *Agricultural Science and Technology Newsletter*, 2022(6): 30-35
- [70] 黄宁, 王朝辉, 王丽, 马清霞, 张悦悦, 张欣欣, 王瑞. 我国主要麦区主栽高产品种产量差异及其与产量构成和氮磷钾吸收利用的关系. 中国农业科学, 2020, 53(1): 81-93
Huang N, Wang Z H, Wang L, Ma Q X, Zhang Y Y, Zhang X X, Wang R. Yield variation of winter wheat and its relationship to yield components, NPK uptake and utilization of leading and high yielding wheat cultivars in main wheat production regions of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(1): 81-93
- [71] 马娟娟, 杨珍平, 夏清, 王宝青, 孙敏, 高志强. 彩色小麦品

- 种在晋中麦区产量与品质性状研究. 山西农业科学, 2016, 44(11): 1615-1618, 1668
- Ma J J, Yang Z P, Xia Q, Wang B Q, Sun M, Gao Z Q. Study on yield and quality traits of color wheat varieties in Jinzhong wheat area. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(11): 1615-1618, 1668
- [72] 望俊森, 张中州, 袁谦, 甄士聪, 史峰, 王丽娜, 张朋伟, 徐立平, 张立超, 赵永涛. 黄淮南片小麦主要品质性状相关性分析. 山西农业科学, 2021, 49(12): 1438-1443
- Wang J S, Zhang Z Z, Yuan Q, Zhen S S, Shi F, Wang L N, Zhang P W, Xu L P, Zhang L C, Zhao Y T. Correlation analysis of main quality characters of wheat from the south of Yellow&Huai River Valley. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(12): 1438-1443
- [73] 王光禄, 刘志宏, 程倩倩, 冯盛焯, 闫树平, 于洋, 赵杨, 王怀恩, 孙允超. 94 份国外小麦种质材料的主要农艺性状分析. 麦类作物学报, 2016, 36(5): 577-582
- Wang G L, Liu Z H, Cheng Q Q, Feng S Y, Yan S P, Yu Y, Zhao Y, Wang H E, Sun Y C. Analysis on main agronomic characters of 94 foreign wheat germplasm. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(5): 577-582
- [74] 刘丽华, 庞斌双, 刘阳娜, 邱军, 李宏博, 张欣, 王娜, 赵昌平. 2009-2014 年国家冬小麦区域试验品系的遗传多样性及群体结构分析. 麦类作物学报, 2016, 36(2): 165-171
- Liu L H, Pang B S, Liu Y N, Qiu J, Li H B, Zhang X, Wang N, Zhao C P. Genetic diversity and population structure analysis of winter wheat lines from recent national regional trials in China. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(2): 165-171
- [75] 张华文, 田纪春, 刘艳玲. 小麦品种间籽粒品质性状表现及其相关性分析. 山东农业科学, 2004(6): 10-12, 28
- Zhang H W, Tian J C, Liu Y L. Characteristic and correlation analysis of grain quality among wheat varieties. Shandong Agricultural Science, 2004(6): 10-12, 28
- [76] 时侯清, 刘冬成, 孙家柱, 张爱民. 我国北方冬小麦籽粒中的戊聚糖含量及其相关分析. 核农学报, 2006, 20(3): 225-228
- Shi X Q, Liu D C, Sun J Z, Zhang A M. The pentosan content and its correlation with other characters among winter varieties in North China. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2006, 20(3): 225-228
- [77] Rharrabti Y, Villegas D, Royo C, Martos N V, García L F. Durum wheat quality in Mediterranean environments: II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. Field Crops Research, 2003, 80(2): 133-140
- [78] 胡卫国, 赵虹, 王西成, 邱军, 曹廷杰, 曹颖妮. 黄淮冬麦区小麦品种品质改良现状分析. 麦类作物学报, 2010, 30(5): 936-943
- Hu W G, Zhao H, Wang X C, Qiu J, Cao T J, Cao Y N. Quality improvement of winter wheat in Yellow and Huai River wheat zone. Journal of Triticeae Crops, 2010, 30(5): 936-943
- [79] 齐双丽, 李伟, 魏雅红, 张文才, 胡彦奇, 廖平安. 黄淮南片冬小麦品种(系)主要农艺性状和品质性状综合分析. 天津农业科学, 2022, 28(6): 27-34
- Qi S L, Li W, Wei Y H, Zhang W C, Hu Y Q, Liao P A. Comprehensive analysis of main traits of agronomic and quality traits of winter wheat varieties (Lines) in South Huang-huai Region. Tianjin Agricultural Sciences, 2022, 28(6): 27-34
- [80] Fan X L, Xu Z B, Wang F, Zhou Q, Cao J, Ji G S, Yu Q, Liu X F, Liao S, Wang T. Identification of colored wheat genotypes with suitable quality and yield traits in response to low nitrogen input. PLoS ONE, 2020, 15(4): e0229535
- [81] 吴昊, 任宏达, 刘仲阳. 2000-2020 年山东省审定大豆品种特征特性和产量演变. 中国种业, 2022(7): 75-80
- Wu H, Ren H D, Liu Z Y. Characteristics and yield evolution of certified soybean varieties in Shandong province from 2000 to 2020. China Seed Industry, 2022(7): 75-80
- [82] 李莉, 覃鹏. 彩色小麦的遗传与营养成分研究进展. 贵州农业科学, 2020, 48(1): 9-12
- Li L, Qin P. Research progress in heredity and nutrition composition of colored wheat. Guizhou Agricultural Sciences, 2020, 48(1): 9-12
- [83] 高建伟, 刘建中, 李滨, 冯宝树, 于桂琴, 李振声. 蓝粒小麦籽粒糊粉层色素研究初报. 西北植物学报. 2000(6): 936-941, 1114
- Gao J W, Liu J Z, Li B, Feng B S, Yu G Q, Li Z S. Preliminary study on pigments in seed aleurone layer of blue-grained wheat. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2000(6): 936-941, 1114
- [84] 宗学风. 黑粒小麦生长特性、籽粒营养及抗氧化性研究. 重庆: 西南大学, 2006
- Zong X F. Study on the growth characteristics, grain nutrition and antioxidation of black wheat (*T. aestivum* L.). Chongqing: Southwest University, 2006
- [85] Wang X, Zhang X C, Hou H X, Ma X, Sun S L, Wang H W, Kong L R. Metabolomics and gene expression analysis reveal the accumulation patterns of phenylpropanoids and flavonoids in different colored-grain wheats (*Triticum aestivum* L.). Food Research International, 2020, 138(Pt A): 109711.1-109711.14.
- [86] Luboš P, Kotíková Z, Burešová B, Jaromír L, Martinek P. Phenolic acids in kernels of different coloured-grain wheat genotypes. Plant, Soil and Environment, 2020, 66(2): 57-64.

附表 1 56 份彩色小麦性状信息

Attached table 1 Characters information of 56 color-grained wheat cultivars

序号 Number	品种 Varieties	生育期 (d) GP	株高 (cm) PH	穗粒数 KPS	千粒重 (g) TGW	产量 (kg/666.7 m ²) Y	蛋白质 含量 (%) PC	容重 (g/L) BD	湿面筋含 量 (%) WGC
1	黑小麦 76 号	95.00	95.00	28.00	38.50	203.00	20.50	796.00	42.80
2	瀑珍 1 号	238.00	75.00	50.00	38.00	400.00	17.10	801.00	21.80
3	高原 115	135.00	91.80	36.80	49.30	425.00	13.80	808.00	29.90
4	冬黑 10 号	270.00	95.00	39.00	42.00	305.40	17.04	763.00	37.20
5	冬黑 1 号	250.00	85.00	31.50	38.00	299.00	19.50	792.00	31.50
6	运黑 28 号	245.00	85.00	38.50	42.50	312.90	15.40	785.00	28.70
7	农大 3677	230.00	87.50	29.30	39.00	312.50	16.54	802.00	36.30
9	冀资黑小麦 1 号	239.00	72.50	33.00	36.60	474.40	16.50	779.00	42.40
10	宁春 46 号	96.00	80.00	40.10	43.30	460.80	15.40	796.00	29.30
11	冀紫 439	239.00	70.00	33.00	38.30	457.10	16.50	779.00	42.40
12	山农紫麦 1 号	238.00	86.00	37.10	36.50	509.20	12.20	777.00	38.80
13	新春 36 号	103.00	88.00	41.90	42.90	445.50	15.60	786.00	30.00
14	陇紫麦 1 号	275.00	92.00	34.00	42.00	292.10	16.50	774.00	33.10
15	贵紫麦 1 号	192.00	86.00	37.00	38.00	267.35	13.70	775.00	30.90
16	陇紫麦 2 号	273.00	95.70	34.70	37.70	270.60	14.30	747.00	32.10
17	三餐黑麦一号	237.00	78.50	35.70	42.80	510.07	15.60	802.00	32.70
18	山农紫糯 2 号	234.00	88.30	46.10	44.00	491.23	15.40	781.40	45.70
19	豫圣黑麦一号	228.50	83.00	35.80	33.70	436.80	15.60	722.00	29.10
20	运黑 14207	245.00	82.50	40.00	42.00	355.70	15.80	714.00	33.60
21	运黑 161	243.00	85.00	37.70	42.70	360.57	16.59	786.00	35.00
22	中鼎原紫 1 号	232.00	89.30	42.00	40.90	415.30	14.60	767.50	27.50
23	中黑麦 6 号	237.00	74.20	35.00	40.60	494.30	15.80	803.00	40.90
24	中蓝麦 1 号	239.00	79.30	39.50	39.60	514.73	14.80	820.00	32.50
25	济紫麦 1 号	232.00	79.30	35.70	36.00	535.30	14.80	788.60	34.30
26	灵黑麦 1 号	220.00	80.60	35.80	35.50	437.40	16.40	788.00	30.30
27	灵绿麦 1 号	226.20	84.65	43.85	37.05	447.03	17.02	783.00	38.05
28	泰科黑麦 1 号	233.00	84.00	36.10	44.90	519.50	14.70	799.00	38.20
29	泰科紫麦 1 号	232.50	83.98	36.09	44.89	411.59	14.70	799.00	38.20
30	爱民蓝麦 1 号	233.00	71.40	41.40	45.20	523.10	15.10	775.00	36.70
31	冬黑 1206	237.00	82.00	36.00	38.90	275.90	14.90	830.00	32.50
32	宁紫麦 1 号	208.60	87.00	37.80	44.00	473.60	15.15	808.50	30.85
33	山农蓝麦 1 号	232.00	80.00	38.50	40.50	495.35	18.90	784.30	44.20
34	太紫 6336	251.00	74.00	35.00	37.90	423.30	15.90	802.00	35.00
35	中科紫糯麦 168	171.00	90.00	37.10	36.40	283.40	13.50	768.00	23.50
36	紫麦 8555	235.00	76.00	38.50	40.00	266.40	14.93	818.00	32.34
37	彩麦 08	229.00	78.60	38.20	41.40	541.05	14.50	788.30	40.00
38	邯生黑麦 1 号	235.00	71.70	31.70	38.60	463.80	15.00	758.00	33.00
39	黑冠 1 号	224.60	85.00	31.80	41.10	495.70	15.52	816.00	36.10

40	济蓝麦 1 号	232.00	90.00	33.60	35.20	501.05	14.40	783.30	37.40
41	济紫麦 2 号	231.00	86.10	35.30	40.70	515.70	14.70	765.80	40.10
42	济紫麦 4 号	231.00	88.20	34.30	41.20	511.30	14.20	781.10	33.10
43	临黑 187	244.00	73.50	40.00	41.50	268.40	15.61	810.00	35.38
44	柳紫黑麦 1 号	221.40	86.50	34.45	39.55	527.27	16.23	840.50	40.60
45	马兰黑小麦 1 号	239.00	80.50	31.10	38.10	514.00	16.50	750.50	29.70
46	农大 4218 紫	236.30	81.60	31.40	34.50	460.23	14.80	804.00	25.80
47	农大 5321 蓝	237.00	78.00	29.10	37.30	455.63	19.00	797.00	35.20
48	山农蓝麦 11	232.00	87.90	39.40	42.40	488.40	14.50	791.80	33.70
49	盛彩麦 2 号	228.95	99.15	38.05	31.95	494.00	15.75	823.50	34.85
50	泰科紫麦 2 号	232.00	93.60	38.20	36.60	511.80	14.80	793.50	34.90
51	天谷红宝 5 号	228.00	78.60	49.70	51.30	461.07	15.80	703.00	27.80
52	永黑麦 1 号	227.90	85.40	28.80	46.50	459.90	15.00	805.00	33.10
53	渝黑 521	169.00	91.00	45.50	42.20	237.60	12.70	740.00	28.10
54	豫州黑麦 1 号	228.60	83.90	30.10	45.60	496.00	14.20	802.00	32.40
55	豫州黑麦 2 号	225.10	79.10	32.70	43.70	489.20	13.00	794.00	28.60
56	中紫麦 3 号	234.00	76.90	30.07	34.80	452.30	15.00	805.00	28.00