

彩色小麦基因发掘和种质资源育种利用

徐萍¹, 张正斌^{1,2}, 张锦鹏³, 李芙蓉¹

(¹中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 石家庄 050022; ²中国科学院种子创新研究院, 北京 100101;

³中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 随着人类对彩色营养功能小麦需求越来越大, 彩色小麦遗传研究越来越深入, 彩色小麦品种越来越多, 但我国彩色小麦种质资源家底不清。为了满足国内外对彩色小麦营养遗传育种方面的迅猛需求, 本文综述了彩色小麦基因和种质资源育种利用进展, 首先介绍了彩色小麦基因来源的种质资源, 其次介绍了彩色小麦染色体组及系谱, 第三是首次全面总结了我国彩色小麦育种和种质资源创新的进展。我国近 24 年来审定了 61 个彩色小麦品种, 其中紫(黑)粒品种 50 个, 蓝粒小麦品种 10 个, 绿粒小麦品种 1 个, 还育成了 19 个彩色小麦种质新资源, 其中近 4 年是我国彩色小麦品种审定最多的年份。河南省、山东省、河北省、山西省是我国 4 大彩色小麦育种和产业化基地。彩色小麦品种大部分来源于彩色小麦和普通小麦杂交, 彩色小麦基因主要来自于小麦与野生一粒小麦、野生二粒小麦、偃麦草、黑麦、赖草等远缘杂交。有 48 个彩色小麦品种籽粒蛋白质含量超过 14%, 4 个彩色小麦品种籽粒蛋白质含量超过 18%, 4 个彩色小麦品种面团稳定时间超过 10 min。针对彩色小麦遗传育种和产业化存在的问题, 建议作物种质资源保护与利用要遵循“有差异, 就选择; 能遗传, 可定向; 有价值, 就保藏; 需鉴定, 要精准; 扬其长, 广利用”的基本原则。以上资料将为我国彩色小麦遗传育种研究提供大量有用信息和基因种质资源, 推动我国彩色小麦遗传育种研究深入发展。

关键词: 彩色小麦; 基因发掘; 种质资源; 育种应用

Gene Discovery and Germplasm Resource Breeding Utilization of Colored Wheat

XU Ping¹, ZHANG Zheng-bin^{1,2}, ZHANG Jin-peng³, LI Fu-rong¹

(¹Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022; ²Innovative Academy of Seed Design, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; ³Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: With the increasing demand of nutritional function of colored wheat, the genetic research of colored wheat becomes more and more thorough, and there are more and more varieties of colored wheat. However, the germplasm resources of colored wheat in China remain unclear. In order to meet the rapid demand in the area of the colored nutrition wheat genetics and breeding, this paper summarized research advance on gene discovery and germplasm resources breeding utilization of the colored wheat. We introduced the colored wheat gene originated from germplasm resources, followed by introduction of chromosomes complement and pedigree of colored wheat, as well as comprehensive summary on colored wheat breeding and germplasm innovation in China. Sixty one colored wheat varieties were approved in China in the past 24 years, including 50 purple (black) grain varieties, 10 blue grain varieties and 1 green grain variety. In addition, 19 new colored wheat germplasm

收稿日期: 2022-04-23 修回日期: 2022-05-16 网络出版日期: 2022-06-16

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220423002>

第一作者研究方向为彩色小麦抗旱节水功能营养遗传育种, E-mail: xuping@sjziam.ac.cn

通信作者: 张正斌, 研究方向为彩色小麦抗旱节水功能营养育种, E-mail: zzb@sjziam.ac.cn

基金项目: 河北省现代种业科技创新专项(22326302D); 中央引导地方科技发展项目(2022ZY0069); 农业农村部“十四五”小麦种质资源精准鉴定项目(19221925)

Foundation projects: Scientific and Technological Innovation of Modern Seed Industry of Hebei Province(22326302D); The Central Government Guides Local Science and Technology Development Fund Projects(2022ZY0069); Accurate Identification Project of Wheat Germplasm Resources in The 14th Five-year Plan of Ministry of Agriculture and Rural Affairs(19221925)

resources were developed. Especially for the past four years, many colored wheat varieties have been approved. Henan province, Shandong province, Hebei province and Shanxi province was the four larger colored wheat breeding and industrialization bases. Most of the colored wheat varieties were from the hybridization between colored wheat and common wheat, and a larger proportion of the genes in colored wheat were from the distant hybridization between wheat and *Triticum boeoticum* Boiss, wild emmer wheat, *Agropyron* Gaertn. species, rye, *Leymus* Hochst, etc. Forty-eight colored wheat varieties showed grain protein content over 14%, four colored wheat varieties with grain protein content over 18%, and four colored wheat varieties with dough stable time over 10 min. Considering the problems of colored wheat genetic breeding and industrialization, we would like to suggest that the protection and utilization of crop germplasm resources should follow the basic principle of “if there is difference, it should be selected; if it can be inherited, it should be directed; if it has valuable, it should be conserved; it should be identified, must to be accurate; foster it strengths, use it widely”. Collectively, this review will provide useful information and gene germplasm resources for the research of colored wheat genetics and breeding in China, and promote the in-depth development of colored wheat genetics and breeding research in China.

Key words: colored wheat; gene discovery; germplasm resources; breeding utilization

从全球范围看,小麦种植面积最大,2021 年全球小麦种植面积为 222.62 百万公顷,中国小麦播种面积为 23.5684 百万公顷,中国占全球小麦播种面积的 10.58%。2021 年全球小麦产量为 776.4 百万吨,中国小麦产量为 136.95 百万吨,中国小麦总产量占全球总产量 17.64%。2021 年全球小麦单位面积产量为 3490 kg/hm²,中国小麦单位面积产量为 5810.7 kg/hm²,中国小麦单位面积产量比全球平均水平高 2320.7 kg/hm²,增产 39.94%。虽然小麦是中国第三大作物,但中国是世界第一小麦生产大国,对世界和中国粮食安全有重要战略地位。从小麦起源进化到现代育种过程中,人类主要选择了白粒和红粒高产优质抗逆抗病小麦品种,对少量自然突变和杂交育种后代出现的蓝粒、紫粒、绿粒、黑粒等彩色小麦种质资源没有重视,保护利用不足,育种选择缓慢,彩色小麦没有成为人们的主食。我国现已收集保存小麦种质资源 5 万多份,但彩色小麦种质资源很少,家底不清,没有国家级科研项目和专职科研人员对彩色小麦种质资源进行长期搜集保藏和系统深入研究,主要由少数专家开展彩色小麦种质资源和遗传育种等方面的研究工作。近年来,随着人们对营养健康的追求,富含花青素、硒、锌、铬、维生素、叶酸等微量营养的彩色小麦种质资源受到了国内外的逐渐重视,彩色小麦种质资源、遗传育种、营养成分、保健功能、临床医学等相关研究论文报道逐渐增多,研究内容不断深入,研究水平不断提高。我国许多省份近 24 年来出台了相关支持政策,加快了彩色小麦品种审定,加大了彩色小麦示范推广和加工产业化,发展功能营养农业,为落实健康中国 2030 行动

发挥积极作用^[1]。针对我国彩色小麦种质资源创新与育种系统研究不足的问题,为了加快彩色小麦种质资源的保藏与挖掘利用,本文将从彩色小麦粒色基因的来源、彩色小麦种质资源染色体组及系谱分析、中国彩色小麦种质资源创新与育种等几个方面进行文献综述,以期为我国彩色小麦种质资源高效利用提供重要信息,为丰富中国小麦种质资源遗传多样性做出贡献。

1 彩色小麦粒色基因来源的种质资源

彩色小麦主要分为紫粒和蓝粒两大类,已有研究表明,紫粒基因主要在种皮表达,是母体遗传模式;蓝粒基因主要在糊粉层表达,是花粉直感效应遗传模式;黑粒主要由紫粒和蓝粒小麦杂交获得,其种皮里有紫粒基因表达,同时糊粉层里有蓝粒基因表达。小麦蓝粒和紫粒基因主要来源于二倍体野生一粒小麦、四倍体硬粒小麦、六倍体普通小麦、小麦远缘和近缘植物,如黑麦、偃麦草、赖草等。关于小麦粒色基因来源的种质资源研究,荷兰科学家 Zeven、山西省农业科学院孙善澄课题组、河北省农林科学院李杏普研究员课题组先后进行了系统研究和综述。

1.1 小麦紫粒基因来源及衍生种质资源

Zeven^[2]对紫粒和蓝粒研究历史进展做了全面综述,指出小麦紫粒来源于埃塞俄比亚的四倍体硬粒小麦和 1 个中国的古老普通小麦地方种质,源于基因自然突变。国内外其他紫粒基因来源于普通小麦与野生一粒小麦和偃麦草、赖草等物种的远缘杂交后代(表 1)。

表 1 小麦紫粒基因来源及衍生种质资源

Table 1 Gene origin and derived germplasm resources of purple grain in wheat

来源种质 Origin germplasm	来源种属和染色体组 Origin species and chromosome group	基因 / 染色体 Gene/chromosome	国家和地区 Country and region	衍生种质资源(国家和地区) Derived germplasm resources (country and region)
Arraseita	二粒小麦 (<i>Triticum dicoccum</i> Schrenk ex Schiibl., 四倍体, AABB) 硬粒小麦 (<i>Tdurum</i> Desf., 四倍体, AABB)	<i>PIP1P2P2</i>	东非 埃塞俄比亚	Copp's Purple, Purple Hilgendorf, Konini (英国), Charcoal (美国), 澳大利亚, 前苏联
Composite lot	硬粒小麦 (<i>Tdurum</i> Desf., 四倍体, AABB)	<i>P1, P2, P3</i>	美国	NY1, NY2, NY3 (美国)
Nero	二粒小麦 (<i>Tdicoccum</i> Schrenk ex Schiibl., 四倍体, AABB)	7B	加拿大	F.W.606A, Laval 19 (加拿大)
Purple Anking, Red Hankou, Purple Feed, Purple	普通小麦 (<i>T. aestivum</i> L., 六倍体, AABBDD)	<i>Pp2 (Pp3b), Pp3 (Pp3a)/2A, Pp1/7BL</i>	中国 德国	
Blankor	野生一粒小麦 (<i>T. boeoticum</i> Boiss., 二倍体, AA)		美国	
ND2	偃麦草 (<i>Agropyron</i> Gaertn. species)	<i>Pk1/3B, Pk2/7A</i>	美国	
内蒙古紫皮小麦 Mongolia purple wheat	赖草 (<i>Leymus secalinus</i> (Georgi) Tzvel.)		中国	

1.1.1 四倍体(AABB)紫粒小麦种质资源 Percival^[3]描述了来自东非的白粒二粒小麦古老地方品种 Arraseita, 在德国自然分离出了紫粒品系。Flaksberger^[4]小麦分类研究表明, 四倍体紫粒小麦主要来自埃塞俄比亚。在埃塞俄比亚收集到的二粒小麦中, 发现其中 3 份种质具有紫粒种子, 1930 年这 3 份种质被送到英国剑桥保存。Copp^[5]用上述 3 个紫色小麦材料分别与不同的面包小麦品种杂交, 培育出著名的 Copp's Purple, Purple Hilgendorf 和 Konini 3 个紫粒小麦品种。Bolton^[6]报道, NY1、NY2 和 NY3 3 个紫粒硬粒小麦来自 Composite lot, 其中 NY1 中有 *P1* 和 *P2* 紫粒基因, NY2 中有 *P2* 基因, NY3 中有 *P3* 基因。Sorrells 等^[7]又利用 Copp's Purple 培育出了紫粒小麦 Charcoal, 其含有 *PIP1P2P2* 基因^[8]。加拿大科学家利用紫粒二粒小麦 Nero (7B 染色体上有紫粒基因)^[9]和中国春小麦等品种进行复合杂交, 选育出了饲料小麦 F.W.606A (UM606a), 1980 年再利用 F.W.606A/2*Opal 杂交组合培育出了饲料小麦品种 Laval 19^[10]。McIntosh^[11]认为澳大利亚和瓦维洛夫基因库的紫粒小麦基本都来自埃塞俄比亚的硬粒小麦。

1.1.2 六倍体(AABBDD)紫粒普通小麦种质资源 Chin^[12]报道, 1938 年有一批中国普通小

麦资源引种到法国, 其中有两个是紫粒种质资源 (Purple Anking, Red Hankou), 其中 Red Hankou 是来自湖北省汉口市的 1 个紫粒小麦, 由此推测 Purple Anking 可能来自与湖北省相邻的陕西省安康市。Dobrovolskaya 等^[13]研究表明, 在 Purple Feed 和 Purple 两个紫粒小麦和普通白粒小麦杂交后代中, *Pp2 (Pp3b)* 和 *Pp3 (Pp3a)* 表现为单显性基因, 定位于 2A 染色体的着丝粒区段。*Pp1* 单基因受 *Pp3* 基因影响, 定位在 7BL 染色体上着丝点远端 24 cM, *Pp1* 基因与控制红色芽鞘基因 *Rc-1* 和控制紫茎的 *Pc* 基因不是等位基因。

1.1.3 二倍体(AA)野生一粒小麦 Maan 等^[14]在野生一粒小麦和硬粒小麦及普通小麦的附加系和代换系中发现了紫粒后代 (Blankor), 说明紫粒基因来源于野生一粒小麦。

1.1.4 偃麦草 Bolton^[6]利用普通小麦和偃麦草进行远缘杂交获得了紫粒的 ND2 种质资源, 在小麦 3B 和 7A 染色体上分别有控制紫粒的 *Pk1* 和 *PK2* 基因。

1.1.5 赖草 邵中子等^[15]以普通小麦甘肃 96 为母本和赖草 (*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.) 远缘杂交, F_1 再与白欧柔回交 4 代, 选育出内蒙古紫皮小麦。

1.1.6 小麦其他紫色基因及种质资源 Tereshchenko 等^[16]利用3个亲本(S29、Purple、Purple Feed)和两个近等基因系[NIL(P)、NIL(PF)]对控制紫色芽鞘(*Rc*)、紫茎(*Pc*)、紫叶片(*Plb*)、紫叶鞘(*Pls*)、

紫粒(*Pp*和*Pp3*)的基因进行了表达鉴定,结果表明不同亲本A1和D1染色体上的6个紫色基因在其相应的近等基因系里都能够检测到(表2)。

表2 小麦其他紫色基因及种质资源

Table 2 Other purple genes and germplasm resources of wheat

品种/系 Cultivar/line	芽鞘 Coleoptile	茎 Culm	叶片 Leaf blade	叶鞘 Leaf sheath	紫粒果皮 Grain pericarp
S29	<i>Rc-A1</i> ^{S29}	<i>Pc-A1</i> ^{S29}	<i>Plb-A1</i> ^{S29}	<i>Pls-A1</i> ^{S29}	<i>Pp</i> , <i>Pp3</i>
Purple	<i>Rc-D1</i> ^P	<i>Pc-D1</i> ^P	<i>Plb-D1</i> ^P	<i>Pls-D1</i> ^P	<i>Pp-D1</i> ^P , <i>Pp3</i> ^P
Purple Feed	<i>Rc-D1</i> ^{PF}	<i>Pc-D1</i> ^{PF}	<i>Plb-D1</i> ^{PF}	<i>Pls-D1</i> ^{PF}	<i>Pp-D1</i> ^{PF} , <i>Pp3</i> ^{PF}
NIL(P)	<i>Rc-A1</i> ^{S29} , <i>Rc-D1</i> ^P	<i>Pc-A1</i> ^{S29} , <i>Pc-D1</i> ^P	<i>Plb-A1</i> ^{S29} , <i>Plb-D1</i> ^P	<i>Pls-A1</i> ^{S29} , <i>Pls-D1</i> ^P	<i>Pp-D1</i> ^P , <i>Pp3</i> ^P
NIL(PF)	<i>Rc-A1</i> ^{S29} , <i>Rc-D1</i> ^{PF}	<i>Pc-A1</i> ^{S29} , <i>Pc-D1</i> ^{PF}	<i>Plb-A1</i> ^{S29} , <i>Plb-D1</i> ^{PF}	<i>Pls-A1</i> ^{S29} , <i>Pls-D1</i> ^{PF}	<i>Pp-D1</i> ^{PF} , <i>Pp3</i> ^{PF}

1.2 小麦蓝粒基因来源及衍生种质资源

六倍体普通小麦未报道过蓝粒自然突变基因种质资源,通过和黑麦、偃麦草属(*Agropyron Gaertn.*)、二倍体野生一粒小麦等物种人工远缘杂交,获得了蓝粒种质资源(表3)。

1.2.1 黑麦 Giltay^[17]可能是第一个发现黑麦(*Rye*)有蓝色胚乳花粉直感现象的学者。Kattermann^[18]发现黑麦和普通小麦杂交时,黑麦蓝粒对普通小麦有花粉直感效应。Zong等^[19]研究表明,bHLH转录因子*TsMYC2*在小麦和黑麦(HM13)杂交后代中与蓝粒有关。

1.2.2 偃麦草 Tschermak^[20]发现长穗偃麦草(*Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv.)有蓝粒,和加拿大小麦种质(C.A.N. 1835)杂交后,其后代出现蓝粒小麦。Suneson等^[21]从小麦和长穗偃麦草的后代获得了Blue Sando、Blue Baart、Blue Onas、Blue 1、PBB和Blue Norco等蓝粒种质资源。Larson等^[22]报道从小麦和长穗偃麦草里衍生出了Blue Jenkins, Blue A和Blue Dark。Li等^[23]报道了从小麦和长穗偃麦草远缘杂交获得了小偃蓝粒(Xiao Yan Blue)等种质资源,并分析蓝粒基因*Ba*有剂量效应,是4Ael(4D)代换系,后来育成许多小偃蓝粒单体遗传资源。Zheng等^[24]研究表明,*Bal*(等同于*Ba(b)*)基因来自长穗偃麦草(*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth & D.R. Dewey)同 名 *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv., 简称 Ag, 2n = 10x = 70, StStStStEeEeEbEbExEx)的1个显性基因,并定位在4Ag染色体长臂距着丝粒0.71~0.80遗传距离之间。Diddugodage等^[25]发现在小偃蓝粒等材料中,有两个位于小麦4D染色体长臂上控制飞燕草

色素合成的*F3'5'H*基因(*Traes_4DL_27C195FDE*, *Traes_4DL_5A3D8F519*)控制蓝粒性状。

袁文业等^[26]从天蓝偃麦草里获得了蓝粒基因材料,并育成蓝1、蓝2等许多种质。张东阳等^[27]从普通小麦和天蓝偃麦草远缘杂交后代里获得了种皮和胚乳都是紫色的黑粒小麦,其染色体鉴定都为六倍体,在4E染色体易位系里含有蓝粒基因。

Whelan^[28]发现了中间偃麦草(*Agropyron intermedium* (Host) P. Beauv.)和茸毛偃麦草(*Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & D.R. Dewey)有蓝粒*Ba*基因。

William等^[29]研究表明,在小麦中有导入的百萨偃麦草(*Th. bessarabicum* (Săvul. & Rayss) Á. Löve, 2n = 2x = 14, EbEb = JJ)蓝粒基因*BaThb*,位于4J染色体着丝粒和FL0.52之间。Zhang等^[30]研究表明,百萨偃麦草可能是许多多倍体小麦草包括彭梯卡偃麦草(*Th. ponticum* (Podp.) Barkworth & D.R. Dewey) Eb基因组的供体,所以来自百萨偃麦草的*BaThb*基因和来自于彭梯卡偃麦草的*Bal*基因是同源的。

1.2.3 一粒小麦 Joppa等^[31]在Blaukorn中发现有蓝粒,该种质来源于野生一粒小麦(*T. boeoticum* Boiss.)。Dubcovsky等^[32]和Singh等^[33]研究表明,*Ba2*[*Ba(a)*]基因是一个不完全显性基因,位于栽培一粒小麦(*Triticum monococcum* L.) 4A^m和野生一粒小麦(*T. boeoticum* Boiss.) 4A^{bo}长臂上紧靠着丝粒区域。Liu等^[34]利用普通小麦和野生一粒小麦代换系研究表明,*TbMYC4A*转录因子是野生一粒小麦*B2*的候选基因,在野生一粒和栽培一粒小麦中都有表达。

表 3 小麦蓝粒基因来源的种质资源

Table 3 Blue grain gene from wheat germplasm resources

来源种质 Origin germplasm	来源种属和染色体组 Origin species and chromosome group	基因 / 染色体 Gene/chromosome	国家和地区 Country and region	衍生种质资源(国家和地区) Derived germplasm resources (country and region)
黑麦 Rye	黑麦(二倍体, RR)	<i>TsMYC2</i>	荷兰, 加拿大	HM13(中国)
长穗偃麦草 <i>Agropyron elongatum</i> (Host) P. Beauv.	长穗偃麦草(二倍体, EE; 十倍体, StStStStEeEeEbEbExEx)	<i>Ba</i> 4Ael(4D)代换系 <i>Ba1/4AgL</i> <i>F3'SH/4D</i>	德国, 中国	Blue Sando, Blue Baart, Blue Onas, Blue1, PBB, Blue Norco(美国); Blue Jenkins, Blue A, Blue Dark(加拿大); Xiao Yan Blue(中国)
天蓝偃麦草 <i>Agropyron glaucum</i> Roem & Schult.	天蓝偃麦草(六倍体, BBEEFF)	4E	中国	蓝1, 蓝2, 黑粒小麦(中国)
Blue Norco	中间偃麦草(<i>Agropyron intermedium</i> (Host) P. Beauv., 六倍体 JJJJsStSt), 茸毛偃麦草(<i>Thinopyrum intermedium</i> (Host) Barkworth & D.R.Dewey, 六倍体, JJJ~sJ~sStSt)	<i>Ba</i>	加拿大	
百萨偃麦草 <i>Th. bessarabicum</i> (Sävul. & Rayss) Á.Löve	百萨偃麦草(二倍体, EbEb=JJ)	<i>BaThb</i>	国际小麦玉米改良中心, 中国	
Blaukorn	野生一粒小麦(<i>T.boeoticum</i> Boiss., 二倍体, AA), 栽培一粒小麦(<i>Triticum monococcum</i> L., 二倍体, AA)	<i>Ba/4A</i> <i>Ba2/4A</i> <i>TbMYC4A</i>	加拿大, 中国	

2 彩色小麦种质资源染色体组及系谱来源

孟雅宁等^[35]搜集了来源于世界多个国家(埃塞俄比亚、埃及、美国、中国等)的39份蓝、紫粒小麦遗传资源,通过通讯、微机查询IPGRI世界植物遗传资源研究所的GRIPI小麦遗传资源数据库,对紫粒小麦染色体组型及生物学特性进行了鉴定,李杏普等^[36]结合籽粒性状分析与亲本的系谱追踪,对小麦籽粒色素的基因来源进行分类,为彩色小麦种质资源保护与利用提供了重要信息。研究结果表明, AUS6273、AUS6267、Ethiopia W13、Ethiopia W14、II-66-561-3-6、Egypt20248共6个种质均有28条染色体,都是四倍体小麦,其余33个种质为六倍体普通小麦(2n=42)。其中紫粒种质资源较多,紫粒基因主要来自硬粒小麦、栽培二粒小麦、偃麦草、中国春、各国的地方品种(表4);蓝粒种质较少,蓝粒基因主要来自偃麦草、黑麦、硬粒小麦

(表5)。

Zeller等^[37]报道,一粒小麦(栽培一粒或野生一粒)4A代换系在欧洲普通小麦的远缘杂交后代里没有出现,但在Wa7086材料中有来自黑麦的5R染色体替换了小麦5D染色体,4A/5DL易位系替代了普通小麦的4B染色体。还有一些与长穗偃麦草杂交后代里有4B.4Ag和4D.4Ag代换系,其中含有控制蓝粒的*Ba*基因。Mettin等^[38]研究表明,普通小麦欧洲TRI 2401蓝粒种质里含有4A^a二体代换系,其蓝粒基因不同于来自普通小麦与长穗偃麦草远缘杂交后代中蓝粒基因*Ba*。Burešová等^[39]利用基因组和荧光原位杂交技术,用长穗薄冰草(长穗偃麦草)(*Thinopyrum ponticum* 同名 *Agropyron elongatum*, 简称 Ag, 2n = 10x = 70, StStStStEeEeEbEbExEx)的两个重复DNA序列(GAA和*Afa*家族)作为探针,在26个蓝粒小麦种质资源中检测到有16个含有长穗偃麦草的外源基因片段(表6)。

表 4 紫粒小麦染色体组和系谱

Table 4 Chromosome group and pedigree of purple grain wheat

来源 Origin	种质资源 Germplasm resources	染色体组 Chromosome group	系谱 Pedigree
硬粒小麦 <i>T. durum</i> Desf.	CGNm8035 Sinda, CGNm8034 Konte Sinda	2n=6x=42	Arraseita
	Ethiopia W9	2n=6x=42	Ethiopia-16
	Ethiopia W13	2n=4x=28	Ethiopia-16
	Ethiopia W14		
	II-66-561-3-6		
栽培二粒小麦 <i>T. dicoccum</i> Schrenk ex Schübl.	CGNm08167 Purple Justin	2n=6x=42	FA50/3* Arawa//3* Hilgendorf/3/Justin
	CGNm08200 Purple Olympic	2n=6x=42	FA50/3* Arawa//3* Hilgendorf/3/Olympic
	Purple grain	2n=6x=42	FA50/3* Arawa//3* Hilgendorf
	P42/72, 14927, 14928	2n=6x=42	Hard Federation/2/Chinese spring/Nero/3Pricic
中国春 Chinese spring	Logan (A)	2n=6x=42	VM/LCS
地方品种 Local variety	AUS6263, AUS6264, AUS6266, AUS6269, AUS6272, AUS6274, AUS6280, AUS6285, AUS6501, AUS6504, AUS6273, AUS6267	2n=6x=42 2n=4x=28	AUS.L.V AUS.L.V
	AUS13075	2n=6x=42	Eth.L.V
	Egypt20248	2n=4x=28	Can. L.V
	Abyssima 26	2n=6x=42	Per. L.V
	<i>Triticum</i> species B	2n=6x=42	Uar.L.V
偃麦草属 <i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski	漂珍 1 号 黑小麦 2 号	2n=6x=42 2n=6x=42	偃师 (86117)/4/ 黔丰 1 号 / 山前麦 // 师 9 号 /3/ 小偃 5 号 偃师 (86117)/4/ 黔丰 1 号 / 山前麦 // 师 9 号 /3/ 小偃 5 号

表 5 蓝粒小麦染色体组和系谱

Table 5 Chromosome group and pedigree of blue grain wheat

来源 Origin	种质资源 Germplasm resources	染色体组 Chromosome group	系谱 Pedigree
偃麦草属 <i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski	D87063, D87065, D87089	2n=6x=42	7469-1//65 (14) 4-12-3-3/ 中引 6 号
黑麦 Rye	CGN04230 92-1	2n=6x=42 2n=6x=42	AESTIVUMFR.NEPL/RYE.FR.USSA//? 黑麦 / 陕麦 8007// 陕麦 8007
硬粒小麦 <i>T. durum</i> Desf.	河东乌麦	2n=6x=42	86243/ 晋麦 21//74306

表 6 来源于长穗偃麦草的蓝粒小麦染色体组

Table 6 Chromosome group of blue grain wheat from *Elytrigia elongata*

种质资源 Germplasm resources	染色体组 Chromosome group	基因渗入类型 Type of introgression	提供者 Provided by
Xiao yan blue	2n = 6x = 42	4DS 和 4DL 二体代换系	F.J. Zeller
UC66049	2n = 6x = 42	4BS.4AgL 和 4BL 二体染色体长臂代换系	C.O. Qualset
UC66049/RU440-4 (B3F2)	2n = 6x = 42	4BS.4AgL 和 4BL 二体染色体长臂代换系	N. Watanabe
RU440-4/UC66049 (B3F2)	2n = 6x = 42	4BS.4AgL 和 4BL 二体染色体长臂代换系	N. Watanabe
UC66049/LD222 (B6F4)	2n = 4x = 28	4BS.4AgL 和 4BL 二体染色体长臂代换系	N. Watanabe
EF02-54-9 (Sebesta Blue 3)	2n = 6x = 42	4BS.4BL.4AgL 和 4BL 二体渗入系	Martinek (Šebesta)
H90-35-1 (Metzger Blue 3)	2n = 6x = 42	4BS.4BL.4AgL 和 4BL 二体渗入系	Martinek (Metzger)
M90-41	2n = 6x = 42	4BS.4BL.4AgL 和 4BL 二体渗入系	Martinek (Metzger)
M90-41-1 (Metzger Blue 8)	2n = 6x = 42	4BS.4BL.4AgL 和 4BL 二体渗入系	Lukaszewski
M90-99-2a (Metzger Blue 9)	2n=4x=28	4BS.4BL.4AgL 和 4BL 二体和单体渗入系	Martinek (Metzger)
EF02-5426-3 (Sebesta Blue 1)	2n = 6x = 44	渗入到普通小麦两对染色体上	Martinek (Šebesta)
EF02-5430-2 (Sebesta Blue 2)	2n = 6x = 44	渗入到普通小麦两对染色体上	Martinek (Šebesta)
48 M	2n = 6x = 44	渗入到普通小麦两对染色体上	Martinek (Wos')
H90-15-1 (Metzger Blue 1)	2n = 6x = 44	渗入到普通小麦两对染色体上	Lukaszewski
H90-15-2 (Metzger Blue 2)	2n = 6x = 44	渗入到普通小麦两对染色体上	Martinek (Metzger)
Blue Baart	2n = 6x = 44	彭梯卡偃麦草(4 J?)二体附加系	Martinek (Lukaszewski)
lue Norcoa (Metzger Blue 5)	2n=6x=42+2t 2n=6x=42+1t 2n=6x=42	彭梯卡偃麦草单体或二体附加系	Martinek (Lukaszewski)
1066/91 amphiploid (Metzger Blue 7)	2n = 6x = 42, 34T.a. + 8	被普通小麦和彭梯卡偃麦草染色体替换的 Th.p. Eight	Lukaszewski
Skorpion (RU 440-6)	2n = 6x = 42	没有检测到	Martinek (Škorpik)
Tschernaks Blaukömiger Sommerweizen	2n = 6x = 42	没有检测到	Martinek (Börner)
Barevna 9	2n = 6x = 42	没有检测到	Martinek (Škorpik)
Barevna 11	2n = 6x = 42	没有检测到	Genebank Ruzyne
Barevna 17	2n = 6x = 42	没有检测到	Genebank Ruzyne
Barevna 23	2n = 6x = 42	没有检测到	Genebank Ruzyne
Barevna 25	2n = 6x = 42	没有检测到	Martinek (Škorpik)
H83-952-1	2n = 6x = 42	没有检测到	Martinek (Metzger)

3 中国彩色小麦品种选育和种质资源创新

从公开报道有农艺性状鉴定和品质营养性状检测的彩色小麦品种和种质资源的资料^[40-115]来看, 1997 年我国开始认定彩色小麦品种。本研究根据系谱和品种特性描述将黑粒小麦归为紫粒小麦, 汇总结果表明, 近 24 年来, 我国审定彩色(紫色或黑

色、蓝色、绿色) 小麦品种共 61 个, 其中紫(黑) 粒小麦品种 50 个(表 7), 蓝粒小麦品种 10 个(表 8), 绿粒小麦品种 1 个(表 9)。另外还创制了彩色小麦种质资源 19 个, 其中绿粒种质资源 1 个(表 9), 紫(黑) 粒种质资源 18 个(表 10)。

3.1 各省彩色小麦育种及种质资源创新情况

从彩色小麦审定省份来看, 河南省、山东省、山西省、河北省是彩色小麦审定最多的省份。

河南省审定彩色小麦品种 16 个,其中紫(黑)粒小麦 15 个,绿麦品种 1 个;创制紫(黑)粒小麦种质资源 3 个,绿麦种质资源 1 个。

山东省审定彩色小麦品种 12 个,其中紫(黑)粒小麦品种 8 个,蓝粒小麦品种 4 个;创制紫(黑)粒小麦种质资源 1 个。

山西省审定彩色品种 11 个,其中紫(黑)粒小麦品种 8 个,蓝粒小麦品种 3 个;创制紫(黑)粒小麦种质资源 2 个。

河北省审定彩色小麦品种 8 个,其中紫(黑)粒小麦品种 6 个,蓝粒小麦品种 2 个;创制紫(黑)粒小麦种质资源 7 个。

甘肃省审定紫(黑)粒小麦品种 2 个。北京市审定紫(黑)粒小麦品种 2 个,创制紫(黑)粒小麦种质资源 1 个。重庆市审定紫(黑)粒小麦品种 2 个。新疆、宁夏、青海、贵州、四川、安徽、辽宁各审定紫(黑)粒小麦品种 1 个。辽宁审定蓝粒小麦品种 1 个。

3.2 彩色小麦育种及种质资源创新数量年代变化

彩色小麦品种自 1997 年在河南省和山西省开始审定,2015 年前基本每年审定 1~3 个品种,2018 年审定品种数量增加到 9 个,2019 年审定 4 个,2020 年审定 7 个,2021 年审定 22 个。近 4 年审定彩色小麦品种累计达 35 个,占 24 年来审定的 61 个品种的 57%,说明近 4 年我国对彩色小麦育种越来越重视,这一方面得益于小麦品种审定制度的改革,另一方面说明小麦育种家为了满足我国对彩色小麦品种多样化的需求,加快了彩色功能营养小麦产业化。

3.3 彩色小麦育种及种质资源创新方式分析

有 5 个彩色小麦品种和种质资源是大田自然突变选出来的,有 10 个彩色小麦品种和种质资源是普通小麦和野生一粒小麦、野生二粒小麦、四倍体小麦、黑麦、偃麦草、冰草等的远缘杂交后代;绝大部分是普通小麦和彩色小麦的杂交后代。通过品种系谱追踪分析,发现这些彩色小麦基因大部分来自普通小麦和野生一粒小麦、四倍体小麦、黑麦、偃麦草、赖草等近缘和远缘植物杂交后代。

3.4 彩色小麦育种及种质资源创新亲本来源

从紫(黑)粒小麦品种和种质资源的亲本来看,大多数紫(黑)粒小麦的亲本都有河南省漯河市农科所培育的漯珍 1 号、山西省农科院孙善澄育成的黑小麦 76、河南省南阳市农科院周中普育成的中普黑麦 1 号、河北省农林科学院李杏普育成的冀紫

439(冀资黑小麦 1 号),这 4 个亲本是我国小麦育种家早期育成的彩色小麦品种,后被大家广泛应用于彩色小麦杂交育种。中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心张正斌课题组利用含有偃麦草血缘的早优 118(AABBDD)与野生一粒小麦(AA)和二倍体黑麦(RR)混合授粉选育出了紫优小麦系列,分发给了全国许多小麦育种单位。利用紫优小麦种质资源,河南农业大学选育出了豫州黑麦 2 号,河南天之谷农业科技有限公司选育出了天谷红宝 5 号,未来还将选育出更多的彩色小麦品种。

3.5 彩色小麦品种和种质资源品质营养成分分析

我国强筋优质小麦的标准为籽粒蛋白质含量 14%,面团稳定时间 7 min。在 61 个审定的彩色小麦中有 48 个品种籽粒蛋白质含量超过 14%,强筋小麦占彩色小麦品种的 78.7%。其中马兰黑小麦 1 号(18.5%)、山农蓝麦 1 号(18.9%)、农大 5321 蓝(19.0%)和黑小麦 76(20.5%),这 4 个品种籽粒蛋白质含量超过 18%,表现尤为突出。另外有 4 个彩色小麦品种籽粒蛋白质超过 14%,面团稳定时间超过 10 min,中鼎原紫 1 号(蛋白质 14.20%,稳定时间 12.0 min)、三餐黑麦一号(蛋白质 15.6%,稳定时间 12.8 min)、天谷红宝 5 号(蛋白质 15.8%,稳定时间 14.2 min)、农大 3753(蛋白质 15.34%,稳定时间 14.6 min)都是优异强筋彩色小麦品种,可在今后的强筋功能营养小麦亲本选配中重点应用。19 个彩色小麦种质资源中,有 10 个种质资源籽粒蛋白质含量超过 14%,强筋种质资源占 52.63%。其中,中普绿麦 1 号蛋白质含量为 18.83%,亚洲 1 号为 20.5%,全黑冬 06-4210 为 24.1%,此外稷紫黑麦 9 号籽粒蛋白质含量为 15.4%,面团稳定时间为 13.6 min,也是强筋优质小麦种质。

通过育种单位和特色小麦品种区域试验营养成分检测表明,大部分彩色小麦都含有较高的花青素、氨基酸、铁、钙、锌、硒、铬、维生素,部分彩色小麦品种营养成分和品质性状优于普通小麦,为未来彩色功能营养小麦育种和产业化打下了坚实基础,将在功能营养食品和特殊医学食品方面取得进展。

4 彩色小麦种质资源遗传育种研究及产业化发展趋势

埃塞俄比亚是小麦起源中心之一,四倍体紫粒小麦可能是自然突变和人工驯化的栽培种,后来传播到世界各国,引起人们关注,从 1900 年前后国外

开始紫粒小麦的遗传育种研究。小麦蓝粒可能是1900年以前国外开展小麦远缘杂交育种时发现的。国外早期的彩色小麦育种主要用于饲料小麦。近年来加拿大利用埃塞俄比亚小麦杂交选育出新的紫麦品种,进行紫麦酒和紫麦面包等产业化。欧洲、美国、加拿大等国早期对彩色小麦基因定位做了深入持续的研究,近30年来随着分子标记和基因测序技术的快速发展,对彩色小麦基因分子标记和基因克隆功能及转录组也开展了深入研究,国外对彩色小麦营养成分特别是花青素等微量营养的功能研究起步较早,研究也较深入,推动了全球生物营养强化遗传育种和产业化。

我国在1930年以前就有紫粒普通小麦农家种,后来传到法国。我国蓝粒小麦的发现在1950年前后,孙善澄在我国率先开展了彩色小麦遗传育种研究,后来东北师范大学李集临、中科院西北植物研究所李振声等也在小麦远缘杂交中发现彩色特别是蓝粒小麦种质资源。孙善澄主要进行彩色小麦育种和产业化开拓,选育的黑小麦76被大量作为亲本,育成多个彩色小麦新品种,2000年前后,在山西省推出了富硒黑麦面粉、黑麦挂面、黑麦面包、黑麦麦片、黑麦酒、黑麦醋、黑麦酱油、黑麦口服液等产品。李振声利用小偃蓝粒开展创制蓝单体研究,其同事还开展了蓝标型雄性不育研究。山东李爱民结合太谷核不育小麦开展了蓝矮败轮选群体育种研究。李振声团队从1980年代开始对小麦蓝粒染色体工程、基因定位等开展了深入研究,在2000年以后对蓝粒基因克隆和功能进行了深入研究。河北省李杏普2000年前后对国内外彩色基因来源种质资源和染色体组等进行了系统研究。中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心张正斌团队2013年对紫优小麦系列遗传育种改良和营养成分相关分析开展了深入研究。近20年来随着分子标记、基因组和转录组等新技术的快速发展,我国彩色小麦分子遗传研究水平大幅提升。

关于彩色小麦产业化一直都是大家关注的问题,彩色小麦品种和种质资源资料汇总表明,近24年来,我国已经育成了61个彩色小麦品种,绝大部分是紫(黑)粒小麦品种,少部分是蓝(乌)粒品种。彩色小麦产业化发展是个曲折的过程,山西农科院孙善澄、西北农林科技大学何一哲、河北省农林科学院李杏普在彩色小麦保健食品产业化方面起步较早,特别是李杏普团队培育的富铬紫粒小麦对治疗糖尿病有一定的功能。彩色功能营养小麦遗传育种

研究和产业化近年来还获得了陕西省和河北省的科技成果奖励。近年来中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心张正斌团队在紫优小麦产业化方面取得了进展,除了加工富硒紫麦面粉、面包、紫麦酒等日常食品外,还和有关生物制药企业结合,加工富硒蛋白、多肽、DNA修复剂,并准备向特殊医药食品方面进行开拓发展。在西南地区,中国科学院成都生物研究所王涛利用紫糯麦加工元宵等食品,与当地酒业加工合作,提高了五粮液酒的粘稠度和醇香风味。

随着分子遗传、基因组、蛋白质、代谢组、基因编辑等生物技术的快速发展,彩色小麦将会被发现有其他特殊遗传研究用途,彩色小麦特殊营养成分将会得到深入挖掘和高效利用,彩色小麦功能营养特殊医学食品将越来越多,彩色小麦将在功能营养农业和健康中国2030行动中发挥重要作用。

5 彩色小麦种质资源研究和保藏利用的问题与展望

当前的彩色小麦种质资源研究和保藏利用存在三个方面的问题,一是以前对彩色小麦种质资源重视度不够,许多彩色小麦种质资源未征集到国家或者省级种质资源库,并没有反映出我国小麦种质资源的遗传多样性。二是由于彩色小麦营养遗传育种等其他方面的技术条件和科研资金限制,许多彩色小麦品种的营养成分并没有在相同土壤或者水培培养条件下进行统一鉴定比较,难以全面评估其功能营养成分和品质性状是否比普通小麦优越。三是彩色小麦在特殊医学食品和生物制药产业化方面需要更高的生物技术和更多的资金投入,才能挖掘出彩色小麦的特殊功能营养健康价值,为乡村振兴、地理标志产品、健康中国等做出应有贡献。我国作物种质资源专家刘旭等^[116]建议,在作物种质资源保护和利用中要重视农民权利与作物传统生境保护,遵循“有差异,就选择;能遗传,可定向”的基本原则,强化地方品种与近缘野生种的高效利用,开展基因组学研究,正向推动作物改良与种质资源演变。本研究建议在以上作物种质资源保护与利用的原则后加3句话,即“有价值,就保藏;要鉴定,需精准;扬其长,广利用”,即作物种质资源保护与利用的基本原则是“有差异,就选择;能遗传,可定向;有价值,就保藏;要鉴定,需精准;扬其长,广利用”。彩色小麦种质资源部分是来自于自然突变,是农民和育种家保留和选育的特色种质资源,因为具有中国特色

小麦遗传多样性和有待开发的功能营养价值等重要性应该受到保护和利用。本研究建议国家设立彩色小麦遗传育种研究、保藏及功能营养健康食(药)品产业化科技专项,一是加快我国彩色小麦种质资源征集和保藏入库,二是支持对我国彩色小麦功能营养成分进行统一测定和评价,筛选出营养成分和品质优异的彩色小麦种质资源,用于功能营养彩色小麦育种及产业化;三是重点开展花青素和人体不能

合成的8种氨基酸、微量元素(锌、硒、铬、锰)、维生素(B、C、E)、叶酸和蛋白质组分等遗传耦合机制的研究;四是开展彩色小麦基因组、蛋白质组和代谢组学等方面的深入研究,揭示彩色小麦功能营养调控的分子遗传机理;五是正确引导彩色功能营养小麦在富硒(锌)地区的健康发展,为培育功能营养彩色小麦品种提供理论依据和基因种质资源,为功能营养小麦产业化提供技术支撑。

表7 紫粒小麦品种

Table 7 Purple grain wheat varieties

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
1	溧珍1号	白粒小麦偃师86117 [(黔丰1号/山前/ (偃师9号/小偃5)] 的变异单株	弱春性,株高75 cm,穗长8.8 cm,穗粒数49.9粒,千粒重40 g,籽粒紫黑红色。抗逆力强,对白粉、条锈、叶锈表现中抗,平均产量6600 kg/hm ² 。籽粒蛋白质17.1%,18种氨基酸含量达到15.2%,其中必需氨基酸赖氨酸含量比普通小麦高60%。	1997年河南省品种审定委员会备案	河南省漯河市农科所 ^[40]
2	黑小麦76	蓝1/四倍体紫皮小麦// 蓝1//A78-5/披碱草// A78-5	春性,中熟,生育期95 d。幼苗半直立,芽鞘紫红色,叶耳紫红色。分蘖力强,高100 cm,蜡熟期茎秆、叶片、穗呈紫红色,后期灌浆较快,成熟时茎秆紫红发亮。穗纺锤形,穗长8 cm,顶芒,籽粒黑色,千粒重42 g。籽粒蛋白质20.5%,湿面筋35%。对白粉病属免疫,对条锈病高抗。抗倒伏,耐旱,耐盐碱,耐干热风,高抗穗发芽。磷、氨基酸、赖氨酸含量则分别比对照品种高70%、41%和50%。维生素B及微量元素硒的含量极高。	1997年山西省品种审定委员会认定通过,植物新品种权证书(CNA20010180.3)	山西省农业科学院 ^[41]
3	高原115	[太谷核不育×91-2333)F ₁]×{加拿大11×[繁6×(R211×苦瓜)F ₄]F ₅ }	春性,中熟,生育期135 d。株高91.80 cm,穗纺锤形,长芒,颖壳浅紫色,穗长9.30 cm,每穗小穗数17.80个,穗粒数36.80粒,千粒重49.30 g。籽粒角质,籽粒紫色,容重808.00 g/L,蛋白质13.80%,湿面筋29.91%,含有人体所需的14种氨基酸总量47978.00 mg/kg,还含有丰富的微量元素。耐寒性、抗旱性、耐青干中,抗倒伏性强;高抗黑穗病和麦茎蜂。	2001年青种合字第0154号	中国科学院西北高原生物研究所 ^[42]
4	冬黑1号	石4185/黑粒小麦76	半冬性,早熟。幼苗半匍匐,株高85 cm,茎秆弹性好,抗倒伏,穗纺锤形,长芒,白壳,穗长8 cm,穗粒数40粒,千粒重36 g,籽粒紫色。麦谷蛋白亚基组成为1、7+8、2+12,硒、维生素B1和维生素B2分别为177.34 g/kg、8.4 mg/kg和1.1 mg/kg,蛋白质18.66%。	晋审麦2004010	山西省农业科学院作物科学研究所 ^[43]
5	冬黑10号	晋麦16/内蒙紫麦3号	冬性,晚熟,生育期270 d。芽鞘绿色,幼苗半匍匐,部分叶片呈紫红色。株高100 cm,穗大,长方形,长芒,白壳,穗长12 cm,每穗有20个小穗,每穗结实39粒,籽粒紫黑色,卵形,角质,千粒重42 g。分蘖力强,成穗率中等。耐旱、耐干热风性强、熟相好。容重763 g/L,蛋白质17.04%,湿面筋37.2%,含5+10优质亚基。人体必需的矿质元素如硒、铁、钙、镁含量分别较晋麦67高77.9%、114.7%、63.6%、12.9%;维生素B1、B2分别较晋麦67高188.2%、425.0%。	晋审麦2004011	山西省农业科学院作物科学研究所 ^[44]
6	汾黑麦1831	京841/黑小麦76	冬性,中熟。芽鞘紫色,幼苗半直立,叶色绿紫色,叶舌紫红,株高90 cm,分蘖力强,成穗率高,成熟时秆黄略带紫色。穗长8 cm,穗纺锤形,顶芒,白壳,籽粒黑色,粒质硬质,千粒重45 g。抗冻能力较强,较耐旱。蛋白质15.43%,湿面筋35.7%,18种氨基酸的总含量为15.2%。	晋审麦2005009	山西省农业科学院 ^[45]

表 7(续)

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
7	农大 3753	京冬 8 号 / 黑小麦 7	冬性, 幼苗半匍匐, 株高 80 cm, 分蘖力强, 成穗率中等。长芒, 白壳, 紫粒, 籽粒角质, 穗纺锤形, 落黄好, 籽粒饱满。抗寒性强, 抗锈病。容重 829.0 g/L, 蛋白质 15.34%, 湿面筋 28.0%, 面团稳定时间 14.6 min。微量元素 Zn、Fe、Ca、Se 含量分别为 25.34 mg/kg、28.25 mg/kg、472.5 mg/kg、52.36 μg/kg。	京审麦 2006006	中国农业 大学 ^[46]
8	科紫 6061	ND2911/ 黑小麦 76	冬性, 中熟。株高 70 cm, 株型紧凑, 分蘖力强, 穗纺锤形, 长芒, 白壳, 紫粒, 硬质。抗寒抗病性较好, 高抗条锈病和白粉病。容重 794 g/L, 蛋白质 17.57%, 湿面筋 39.3%。	晋审麦 2006010	中国科学院 遗传与发育 生物学 研究所 ^[47]
9	紫糯麦 1 号	农大 3659/ 农大糯麦 1 号	冬性, 幼苗半匍匐, 株高 75 cm, 分蘖力强, 穗纺锤形, 长芒, 白壳, 紫粒, 籽粒短圆形, 角质, 支链淀粉含量 92%。	京审麦 2008004	中国农业 大学 ^[48]
10	宁春 46 号	3728/3/77A297/ UP301//76-336/78W3	春性, 生育期 96 d。幼苗直立, 株高 81.2 cm, 后期叶披蜡粉, 穗部呈紫色, 穗长方形, 长芒, 紫红壳, 穗长 10 cm, 籽粒长椭圆形, 紫黑色, 硬质。每穗小穗数 19.2 个, 每穗粒数 40 粒, 千粒重 43 g, 容重 800 g/L。高抗条锈病和白粉病, 耐青干, 落黄好, 抗倒伏。	宁审麦 2008001	宁夏农林 科学院 ^[49]
11	冀紫 439	漯珍 1 号 / 矮 8 [14928(澳大利亚) /95-5031)/190268(硬 粒小麦)]	半冬性, 生育期 239 d。幼苗半匍匐, 株高 70 cm, 穗长方形, 长芒, 紫壳, 粒色深紫, 硬质, 穗粒数 33 个, 千粒重 38.3 g, 平均产量为 6855.9 kg/hm ² ; 容重 779.0 g/L, 蛋白质 16.76%, 三价有机铬、镁、硒含量分别为 1.916 mg/kg、1424.00 mg/kg、81.0-203.95 μg/kg。	冀农审 2009012	河北省农林 科学院 ^[50]
12	山农紫麦 1 号	将红高粱 DNA 由花 粉管通道直接导入普 通小麦济核 916 品系	半冬性, 幼苗半直立, 叶色深绿, 芽鞘紫。株高 85 cm 左右, 株型中间偏松散。穗型纺锤, 长芒, 白壳, 种皮紫色, 籽粒硬质。有效穗数 645.0 万 /hm ² , 穗粒数 37.1 粒, 千粒重 36.5 g。容重 777.0 g/L, 蛋白质 15.23%, 湿面筋 34.7%。其硒、铜、锌、铁等矿质元素均不同程度的高于普通白粒小麦。	鲁农审 2010072	山东农业 大学 ^[51]
13	新春 36 号	春小麦 21-6/ 黑小麦	春性, 株高 90 cm, 穗型纺锤, 长芒, 白色, 穗长 10.3 cm, 穗粒数 45 个。籽粒黑色、粉偏角质, 千粒重 42.58 g。抗旱性、抗倒伏能力较强, 中抗白粉病。蛋白质 15.6%, 硒 0.0946 mg/kg, 锌 29 mg/kg, 铁 5.36 mg/kg, 钙 53.36 mg/kg, 镁 139.04 mg/kg, 维生素 B1、B2 分别较对照新春 6 号高 50.0%、50.0%。	2011 年新疆 审定	新疆兵团第 13 师农业 科学研究所 ^[52]
14	周黑麦 1 号	周麦 9 号 / 漯珍 1 号	半冬性, 中熟, 生育期 232.3 d。幼苗半匍匐, 分蘖力强, 株高 79 cm, 旗叶上举, 有干尖, 籽粒黑色, 半角质。穗数 571.5 万 /hm ² , 穗粒数 30.6 粒, 千粒重 38.1 g。铁 29.6 mg/kg, 硒 0.0382 mg/kg, 碘 1.78 mg/kg。	豫审麦 2011013	河南省周口 市农业科 学院 ^[53]
15	豫教黑 1 号	漯珍 1 号 / 周麦 9 号	半冬性, 中晚熟, 生育期 233.7 d。幼苗半直立, 分蘖力强, 株高 72.7 cm, 株型半紧凑, 旗叶上举, 干尖重, 穗层较厚, 籽粒黑色, 角质。穗数 576 万 /hm ² , 穗粒数 26.3 粒, 千粒重 39.3 g。	豫审麦 2011014	河南教育 学院 ^[54]
16	陇紫麦 1 号	漯珍 1 号 / 陇鉴 127// 陇鉴 127	强冬性, 中熟, 生育期 275 d。幼苗半匍匐, 分蘖力强, 旗叶上冲, 株高 92 cm, 株型紧凑。穗长 7.6 cm, 穗纺锤形, 长芒, 紫粒, 硬质。穗数 540 万 /hm ² , 穗粒数 34 粒, 千粒重 50 g。根系发达, 耐旱、抗青干, 成熟落黄好, 抗穗发芽。抗白粉病, 耐黄矮病。蛋白质 16.58%, 湿面筋 33.08%。籽粒铁和硒含量分别为 53.9 mg/kg 和 0.041 mg/kg, 17 种必需氨基酸总含量为 13.83%。	甘审麦 2014012	甘肃省农业 科学院 ^[55]

表7(续)

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
17	贵紫麦 1号	贵紫 99-4/ 贵农 03-7	半冬性,中熟,生育期 192 d。幼苗半匍匐,株高 86 cm,长方穗,长芒。紫壳,紫粒,硬质。穗数 375 万/hm ² ,穗粒数 37 粒,千粒重 38 g。容重 775 g/L,蛋白质 13.7%,湿面筋 30.9%,高分子量麦谷蛋白亚基组成 Null, 7+8, 2+12,属中筋小麦。	黔审麦 2015003	贵州大学农 学院 ^[56]
18	中鼎原紫 1号	宛 7107/ 高原青稞紫	半冬性,生育期 231 d。幼苗半匍匐,株高 82.0 cm,叶片干尖多,成熟偏晚。穗纺锤形,籽粒角质,深褐色,穗数 444 万/hm ² ,穗粒数 43.5 粒,千粒重 42.1 g。容重 771 g/L,蛋白质 14.20%,湿面筋 27.8%,稳定时间 12.0 min。	豫审麦 20180052	河南省 刘海富 等 ^[57]
19	豫圣黑麦 一号	漂珍 1 号系选	弱春性,生育期 229 d。幼苗半匍匐,株高 91.0 cm,株型偏松散,叶片偏大、卷曲,穗长方形,籽粒角质、深褐色。穗数 589.5 万/hm ² ,穗粒数 36.9 粒,千粒重 35.8 g。容重 732 g/L,蛋白质 15.75%,湿面筋 32.4%,稳定时间 6.9 min。	豫审麦 20180051	河南省漯河 市农业科 学院 ^[58]
20	山农紫糯 2号	山农紫糯 1 号 / 泰山 9818	半冬性,幼苗半直立,株型紧凑,株高 88.3 cm,穗长方形,长芒,白壳,紫粒,籽粒角质。穗数 439.5 万/hm ² ,穗粒数 46.1 粒,千粒重 44.0 g。容重 781.4 g/L,蛋白质 15.4%,湿面筋 45.7%,支链淀粉含量 98.7%。	鲁审麦 20186029	山东农业大 学 ^[59]
21	陇紫麦 2 号	漂珍 1 号 / 平凉 40 号	冬性,生育期 273 d。幼苗半匍匐,株高 104.6 cm,穗长 7.5 cm,籽粒紫黑色。小穗数 16.4 个,穗粒数 34.7 粒,千粒重 37.7 g。高抗条锈病,中抗叶锈病和白粉病。容重 747.3 g/L,蛋白质 14.03%,湿面筋 32.1%,赖氨酸 0.42 mg/kg, 17 种氨基酸 140.1 g/kg。含铁 46.1 mg/kg、锌 24.6 mg/kg、钙 631 mg/kg。	甘审麦 20180014	甘肃省平凉 市农业科 学院 ^[60]
22	运黑 161	漂珍 1 号 / 5041	冬性,生育期 243 d。幼苗半匍匐,株高 85 cm,后期茎叶无蜡质,旗叶窄长,穗纺锤形,短芒,白壳,籽粒紫黑色,角质。穗数 525 万/hm ² ,穗粒数 37.7 粒,千粒重 42.7 g。蛋白质 16.93%,湿面筋 35.9%,稳定时间 8.2 min,硒 0.0563 mg/kg, 锌 44.3 mg/kg, 铁 23.1 mg/kg。	晋审麦 20180015	山西省农业 科学院棉花 研究所 ^[61]
23	三餐黑麦 一号	石 4185 × 黑小麦 76	半冬性,中熟,生育期 237 d。幼苗半匍匐,株型半紧凑,株高 78.5 cm。穗纺锤形,长芒,白壳,黑粒,硬质。穗数 619.5 万/hm ² ,穗粒数 35.7 粒,千粒重 42.8 g。容重 802 g/L,蛋白质 15.6%,湿面筋 32.1%,稳定时间 12.8 min。籽粒硒、镁、铁、锌和锰含量较高。	冀审麦 20180030	河北三餐农 业科技有限 公司 ^[62]
24	中黑麦 6号	莱州 137/ 漂珍 1 号	半冬性,中熟,生育期 237 d。幼苗半匍匐,分蘖力较强,株型较紧凑,株高 74.2 cm。穗纺锤形,长芒,白壳,黑粒,半硬质,籽粒较饱满。穗数 592.5 万/hm ² ,穗粒数 35.0 粒,千粒重 40.6 g。容重 803 g/L,蛋白质 15.8%,湿面筋 40.9%,稳定时间 5.0 min。中抗条锈病,中抗叶锈病。	冀审麦 20180028	河北众信种 业科技有限 公司 ^[63]
25	冬黑 1206	(黑小麦 76// 太 633/ 紫 6)/W 黑壳 962	冬性,生育期 237 d。幼苗半匍匐,株型紧凑,株高 83 cm。叶片无蜡质,穗长方形,穗白色,粒色紫黑,粒质硬度中,粒较大,饱满度较好。穗数 432 万/hm ² ,穗粒数 35 粒,千粒重 340 g,平均产量为 4245.0 kg/hm ² 。抗旱性强,根系发达,抗青干强。籽粒容重 790 g/L,蛋白质 16.38%,湿面筋含量 35.6%。	晋审麦 20190017	山西省农业 科学院 ^[64]
26	济紫麦 1号	周黑麦 1 号 / 济麦 22	半冬性,生育期 232 d。幼苗半匍匐,株型半紧凑,叶片上冲,株高 79.3 cm,抗倒伏,穗纺锤形,长芒,紫壳,紫粒,籽粒硬质。穗数 654 万/hm ² ,穗粒数 35.7 粒,千粒重 36.0 g。容重 788.6 g/L,蛋白质 14.8%,湿面筋 34.26%,花色苷含量 0.23 mg/kg。	鲁审麦 20196022	山东省农业 科学院作物 研究所 ^[65]

表 7(续)

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
27	泰科紫麦 1号	良星 66/ 山农紫麦 1号	冬性, 生育期 233 d。幼苗半匍匐, 株型半紧凑, 抗寒性好, 耐倒春寒能力较强, 株高 84.0 cm, 穗长方形, 长芒, 白壳, 紫粒, 籽粒硬质。穗数 612 万 /hm ² , 穗粒数 36.1 粒, 千粒重 44.9 g。容重 799.0 g/L, 蛋白质 14.7%, 湿面筋 38.20%, 花色苷含量 0.083 mg/kg。	鲁审麦 20196023	山东省泰安市农业科学研究院 ^[66]
28	灵黑麦 1号	中普黑麦 1号 / 予原 黑麦 1号	半冬性, 生育期 219 d。幼苗直立, 春季起身拔节迟, 抽穗晚, 株高 77.2 cm, 旗叶大, 穗长方形, 长芒, 白壳, 黑粒, 籽粒半角质。穗数 603 万 /hm ² , 穗粒数 37.8 粒, 千粒重 35.8 g。容重 783 g/L, 蛋白质 16.38%, 湿面筋 33.2%, 硒 0.0204 mg/kg, 铁 59.9 mg/kg。	豫审麦 20190062	河南省三门峡市农业科学研究院 ^[67]
29	辽春 41 (黑)	紫小麦 / 辽 98 鉴 160	春性, 早熟, 生育期 84 d。幼苗直立, 株高 85 cm, 穗纺锤形, 白壳, 长芒, 黑粒, 角质。穗粒数 35.8 粒, 穗粒重 1.20 g, 千粒重 36.12 g。	辽审麦 20200005	辽宁省农业科学院作物研究所 ^[68]
30	紫麦 8555	科紫 606/ 尧汾 1833	冬性中熟, 生育期 251 d。幼苗半匍匐, 旗叶上举, 株高 85 cm, 株型紧凑, 秆硬抗倒。穗长形, 长芒, 白壳, 紫粒, 角质。穗数 420 万 /hm ² , 穗粒数 42 粒, 千粒重 42 g。籽粒容重 818 g/L, 蛋白质 14.93%, 湿面筋 32.4%。	晋审麦 20200012	山西农业大学 ^[69]
31	绵紫麦 2号	武引 88/ 绵 96-5// 内 4103	春性, 生育期 182.0 d。幼苗半直立, 株高 88.5 cm, 穗纺锤形, 顶芒, 白壳, 籽粒椭圆形、紫色, 半角质。穗数 336 万 /hm ² , 穗粒数 47.9 粒, 千粒重 39.2 g。	川审麦 20200023	四川省绵阳市农业科学研究院 ^[70]
32	中科紫糯 麦 168	中科麦 138/PW18	春性, 生育期 171 d。幼苗半直立, 株高 90 cm, 长方形穗, 短芒, 白壳, 紫粒, 半角质。穗数 326.25 万 /hm ² , 穗粒数 37.1 粒, 千粒重 36.4 g。容重 768 g/L, 粗蛋白含量 13.5%, 面粉湿面筋 23.5%。中抗条锈病, 中感赤霉病。	渝审麦 20200002	中国科学院成都生物研究所 ^[71]
33	永黑麦 1号	漯珍 1号 / 周麦 22	半冬性, 生育期 228 d。幼苗半匍匐, 春季起身拔节早, 抽穗早, 株高 85.4 cm, 旗叶宽短, 穗纺锤形, 长芒, 白壳, 黑粒, 半角质。穗数 667.5 万 /hm ² , 穗粒数 32.3 粒, 千粒重 48.6 g。容重 788 g/L, 蛋白质 15.0%, 湿面筋 33.1%。	豫审麦 20210049	河南省濮阳市永丰农业科技有限公司 ^[72]
34	豫州黑麦 1号	济麦 22/ 中普黑麦 1 号 // 济麦 22	半冬性, 生育期 228.6 d。幼苗半匍匐, 苗势壮, 冬季抗寒性好, 分蘖力强, 春季起身拔节慢, 两极分化较快, 抽穗较早。株高 84 cm, 株型紧凑, 旗叶宽短, 穗纺锤形, 长芒, 白壳, 黑粒, 半角质。穗数 654 万 /hm ² , 穗粒数 34.1 粒, 千粒重 45.9 g。容重 802 g/L, 蛋白质 14.2%, 湿面筋 32.4%。	豫审麦 20210050	河南农业大学 ^[73]
35	豫州黑麦 2号	济麦 22/ 紫优 21// 济 麦 22	半冬性, 生育期 229 d。幼苗半匍匐, 苗势壮, 冬季抗寒性好, 分蘖力强。春季起身拔节慢, 两极分化较快, 抽穗较早, 株高 80.6 cm, 株型紧凑, 旗叶宽短, 穗纺锤形, 长芒, 白壳, 黑粒, 半角质。穗数 702 万 /hm ² , 穗粒数 33.8 粒, 千粒重 44.1 g。容重 792 g/L, 蛋白质 13.6%, 湿面筋 28.0%。	豫审麦 20210051	河南农业大学 ^[74]
36	天谷红宝 5号	早优 118/ 野生一粒小 麦 // 黑麦 TGH8 号	半冬性, 生育期 228 d。幼苗直立, 株高 78.6 cm, 抗倒性较好, 紫红色粒。穗数 646.5 万 /hm ² , 穗粒数 49.7 粒, 千粒重 51.3 g。容重 703 g/L, 蛋白质 15.8%, 湿面筋 27.8%, 稳定时间 14.2 min。	豫审麦 20210052	河南天之谷农业科技有限公司 ^[75]
37	黑冠 1号	豫农 202/ 漯珍 1号	半冬性, 生育期 232 d。幼苗半直立, 株高 84 cm, 株型稍松散, 旗叶稍宽上冲, 穗纺锤形, 长芒, 白壳, 黑粒, 籽粒半角质。穗数 612 万 /hm ² , 穗粒数 35.5 粒, 千粒重 41.8 g。容重 816 g/L, 蛋白质 16.03%, 湿面筋 36.1%。	豫审麦 20210053	河南华冠种业有限公司 ^[76]

表 7(续)

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
38	盛彩麦 2号	核质不育-7/星彩-3	半冬性,生育期 232 d。幼苗半匍匐,株高 103.5 cm,株型松散,旗叶宽大上冲,穗下节较长,穗纺锤形,长芒,白壳,黑粒,籽粒半角质。穗数 606 万 /hm ² ,穗粒数 39.0 粒,千粒重 37.4 g。容重 825 g/L,蛋白质 15.77%,湿面筋 36.0%。高抗纹枯病。	豫审麦 20210054	河南省滑县 昌盛科技种 业有限公司 ^[77]
39	灵黑麦 3号	中普黑麦 1号 / 灵黑 麦 1号 // 中普绿麦 1号	弱春性,生育期 233 d。幼苗半匍匐,分蘖力强,株高 83.2 cm,抗倒性较好。穗长方形,长芒,白壳,黑粒。穗数 577.5 万 /hm ² ,穗粒数 37.7 粒,千粒重 36.3 g。蛋白质 16.0%,湿面筋 32.6%。	豫审麦 20210056	河南省三门 峡市农业科 学研究院 ^[78]
40	佳黑麦 1号	周黑麦 1号 / 中新 78	半冬性,生育期 233.2 d。幼苗半匍匐,分蘖力强,株高 75.7 cm,穗长方形,长芒,白壳,黑粒。穗数 570 万 /hm ² ,穗粒数 36.0 粒,千粒重 37.3 g。蛋白质含量 14.2%,湿面筋 31.4%。	豫审麦 20210057	河南佳美农 业科技有限 公司 ^[79]
41	灵黑麦 2号	灵黑麦 1号 / 中普黑 麦 1号	半冬性,生育期 233 d。幼苗半匍匐,分蘖力强,株高 80.5 cm,穗长方形,长芒,白壳,黑粒。穗数 556.5 万 /hm ² ,穗粒数 37.2 粒,千粒重 35.9 g。蛋白质 14.9%,湿面筋 30.8%。	豫审麦 20210058	河南省三门 峡市农业科 学研究院 ^[80]
42	马兰黑小 麦 1号	冀资黑小麦 1号 / 石 麦 18	半冬性,中晚熟,生育期 239 d。幼苗半匍匐,株高 80.5 cm,穗长方形,长芒,白壳,籽粒黑色,半硬质。穗数 724.5 万 /hm ² ,穗粒数 31.1 粒,千粒重 38.1 g。容重 744 g/L,蛋白质 18.5%,湿面筋 32.1%,稳定时间 7.0 min。	冀审麦 20219003	河北大地种 业有限公司 ^[81]
43	中紫麦 3号	众信 6027/ 周黑麦 1号	半冬性,中熟,生育期 234 d,幼苗半匍匐,分蘖力强,株型较紧凑,株高 76.9 cm,穗纺锤形,长芒,白壳,紫秆,紫粒,硬质。穗数 711 万 /hm ² ,穗粒数 30.7 粒,千粒重 34.8 g。容重 805 g/L,蛋白质 15.0%,湿面筋 28.0%。中抗条锈病,抗寒性好。	冀审麦 20219009	河北众人信 农业科技股 份有限公司 ^[81]
44	农大 4218 紫	京冬 8号 / 黑小麦 76	半冬性,中晚熟,生育期 236.3 d。幼苗半匍匐,株高 81.6 cm,穗纺锤形,长芒,白壳,紫粒,硬质。穗数 733.5 万 /hm ² ,穗粒数 31.4 粒,千粒重 34.5 g。容重 804 g/L,蛋白质 14.8%,湿面筋 25.8%,稳定时间 16.7 min。锌、铁、钙、硒、铬元素含量分别为: 27.9 mg/kg、51.3 mg/kg、378 mg/kg、0.025 mg/kg、0.742 mg/kg。赖氨酸(0.4 g/100 g)、苏氨酸(0.39 g/100 g)、苯丙氨酸(0.36 g/100 g)分别比济麦 22 全麦粉高 17.65%、11.43%、7.25%。总氨基酸含量(13.19 g/100 g),比济麦 22 全麦面粉高 10.10%。	冀审麦 2021901	中国农大 学曲周实 验站 ^[82]
45	柳紫黑麦 1号	漯珍 1号 / 百农 AK58	半冬性,生育期 221.4 d。幼苗半匍匐,冬前生长势偏弱,株高 86.5 cm,株型较紧凑,旗叶短小上举,穗纺锤形,长芒,白壳,紫色粒,半角质。穗数 643.5 万 /hm ² ,穗粒数 34.8 粒,千粒重 38.4 g。容重 844 g/L,蛋白质 16.2%,湿面筋 43.7%。中抗赤霉病,抗穗发芽。	皖审麦 20212003	安徽柳丰种 业科技有限 责任公司 ^[83]
46	济紫麦 2号	济麦 22/ 紫麦 2号	冬性,生育期 231 d。幼苗半匍匐,株型半紧凑,旗叶上冲,株高 86.1 cm,穗长方形,长芒,白壳,紫粒,籽粒硬质。穗数 654 万 /hm ² ,穗粒数 35.3 粒,千粒重 40.7 g。容重 765.8 g/L,蛋白质 14.7%,湿面筋 40.1%。钙 330 mg/kg,铁 31.9 mg/kg,锌 22.2 mg/kg,硒 0.0389 mg/kg,铬 0.236 mg/kg,花色苷含量 0.0913 mg/g。	鲁审麦 20216044	山东省农业 科学院作物 研究所 ^[84]

表 7 (续)

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
47	济紫麦 4 号	济麦 20/ 周黑麦 1 号	半冬性, 生育期 231 d。幼苗半匍匐, 株型半紧凑, 旗叶上冲, 株高 88.2 cm, 穗长方形, 长芒、白壳、紫粒, 籽粒硬质。穗数 604.5 万 /hm ² , 穗粒数 34.3 粒, 千粒重 41.2 g。容重 781.1 g/L, 蛋白质 14.2%, 湿面筋 33.1%。钙 315 mg/kg, 铁 32.5 mg/kg, 锌 21.4 mg/kg, 硒 0.0394 mg/kg, 铬 0.106 mg/kg, 花色苷含量 0.0897 mg/g。	鲁审麦 20216045	山东省农业 科学院作物 研究所 ^[85]
48	泰科紫麦 2 号	山农 23/ 山农紫麦 1 号	冬性, 生育期 232 d。幼苗半匍匐, 株高 93.6 cm, 穗长方形, 长芒, 白壳, 紫粒, 籽粒硬质。穗数 639 万 /hm ² , 穗粒数 38.2 粒, 千粒重 36.6 g。容重 793.5 g/L, 蛋白质 14.8%, 湿面筋 34.9%。钙 302 mg/kg, 铁 22.3 mg/kg, 锌 19.7 mg/kg, 硒 0.0341 mg/kg, 铬 0.122 mg/kg, 花色苷含量 0.0949 mg/g。	鲁审麦 20216048	山东省泰安 市农业科学 研究院 ^[86]
49	彩麦 08	周麦 16/ 三宝彩麦 3 号	冬性, 生育期 229 d。幼苗半匍匐, 株型紧凑, 叶片上冲, 抗倒性好, 株高 78.6 cm, 穗纺锤形, 长芒, 白壳, 紫黑粒, 籽粒半硬质。穗数 612 万 /hm ² , 穗粒数 38.2 粒, 千粒重 41.4 g。容重 788.3 g/L, 蛋白质 14.5%, 湿面筋 40.0%。铁 54.0 mg/kg, 锌 20.8 mg/kg, 钠 89.2 mg/kg, 钙 610 mg/kg, 总花青素含量为 0.004 g/100 g。	鲁审麦 20216049	山东彩麦农 业科技有限 公司 ^[87]
50	渝黑 521	紫粒麦 3 号 / 渝麦 10 号	春性, 生育期 169 d。幼苗半直立, 株高 91 cm, 长方形穗, 长芒, 白壳, 紫黑色粒, 半角质。穗数 232.5 万 /hm ² , 穗粒数 45.5 粒, 千粒重 42.2 g。容重 740 g/L, 蛋白质含量 12.7%, 面粉湿面筋 28.1%。	渝审麦 20210002	重庆市农业 科学院 ^[88]

表 8 蓝粒小麦品种

Table 8 Blue grain wheat varieties

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
1	河东乌麦 526	硬粒小麦 86243/T 型 恢复系 7EB87	半冬性, 株高 95 cm, 穗长 7 cm, 籽粒蓝色, 穗粒数 35 粒, 千粒重 55 g, 高抗白粉病。蛋白质、不饱和脂肪酸、膳食纤维、维生素和矿物质、色素等含量均高于普通小麦, 氨基酸种类齐全, 湿面筋、沉降值、吸水率等均高于普通小麦。	1997 年山西 省审定	山西省农科 院棉花研 究所 ^[89]
2	运黑 28 号	86243/7EB87	半冬性, 中晚熟。幼苗匍匐, 分蘖力强, 株型紧凑, 株高 85 cm, 穗纺锤形, 小穗紧凑, 穗大粒多, 穗长 8.5 cm, 粒色蓝黑, 半硬质。穗粒数 40 粒, 千粒重 45 g。抗白粉病, 蛋白质 15.44%, 湿面筋 28.7%。	晋审麦 2004009	山西省农科 院棉花研 究所 ^[90]
3	运黑 14207	冬丰 703/ 河东乌麦 526	冬性, 生育期 245 d。幼苗半匍匐, 株高 85 cm, 叶片细长, 分蘖成穗中, 旗叶宽短下披, 纺锤穗形, 穗大, 芒中长, 粒色深蓝, 抗冻, 抗病性强, 穗数 510 万 /hm ² , 千粒重 45 g。容重 714 g/L, 蛋白质 15.84%, 湿面筋 33.6%。硒 1.69 mg/kg, 锌 30.5 mg/kg, 钙、碘含量高于普通白粒小麦。	晋审麦 20180016	山西省农科 院棉花研 究所 ^[91]
4	中蓝麦 1 号	众信 651/ 蓝 58	半冬性, 中熟, 生育期 239 d。幼苗半匍匐, 株型紧凑, 株高 79.3 cm。穗长方形, 长芒, 白壳, 蓝粒, 半硬质。穗数 576 万 /hm ² , 穗粒数 39.5 粒, 千粒重 39.6 g。容重 820 g/L, 蛋白质 14.8%, 湿面筋 32.5%, 稳定时间 9.4 min。	冀审麦 20180029	河北众信种 业科技有限 公司 ^[92]

表 8(续)

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
5	山农蓝麦 1号	系蓝矮败小麦/ PH85-16	半冬性,生育期 232 d。幼苗半匍匐,株高 80.0 cm,株型较紧凑,穗长方形,长芒,白壳,蓝粒,籽粒半角质。穗数 561 万/hm ² ,穗粒数 38.5 粒,千粒重 40.5 g。容重 784.3 g/L,蛋白质 18.9%,湿面筋 44.2%。	鲁审麦 20206033	山东农业大 学 ^[93]
6	爱民蓝麦 1号	“蓝矮败”轮选群中分 离出的蓝育株系统 选育	半冬性,生育期 232.9 d。幼苗半直立,叶色较深,叶片上冲,株型紧凑,株高 71.4 cm,长方形穗,长芒,白壳,蓝粒,籽粒角质。穗数 586.5 万/hm ² ,穗粒数 41.4 粒,千粒重 45.2 g。蛋白质 15.05%,面团稳定时间 5.3 min。	鲁审麦 20206036	山东省淄博 爱民种业公 司 ^[94]
7	辽春 42 (蓝)	宛蓝/辽 98 鉴 160	春性,早熟,生育期 85 d。幼苗直立,株高 87 cm,穗纺锤形,白壳,长芒,蓝粒,角质。穗粒数 33.2 粒,穗粒重 1.09 g,千粒重 33.35 g。	辽审麦 20200006	辽宁省农业 科学院作物 研究所 ^[95]
8	农大 5321 蓝	农大 3588/4482	冬性,中晚熟,生育期 237 d。幼苗半匍匐,株高 78.0 cm,纺锤形穗,长芒,白壳,蓝粒,半硬质。穗数 729 万/hm ² ,穗粒数 29.1 粒,千粒重 37.3 g。容重 797 g/L,蛋白质 19.0%,湿面筋 35.2%。高抗条锈病,中抗叶锈病、白粉病。	冀审麦 20219005	中国农业大 学曲周实验 站 ^[96]
9	济蓝麦 1 号	济麦 22/黑麦 2 号	冬性,生育期 232 d。幼苗半匍匐,株型半紧凑,旗叶上冲,株高 90.0 cm,穗长方形,长芒,白壳,蓝粒,籽粒硬质。穗数 640.5 万/hm ² ,穗粒数 33.6 粒,千粒重 35.2 g。越冬抗寒性好。容重 783.3 g/L,蛋白质 14.4%,湿面筋 37.4%。钙 440 mg/kg,铁 33.9 mg/kg,锌 18.2 mg/kg,硒 0.128 mg/kg,铬 0.231 mg/kg,花色苷含量 0.1296 mg/g。	鲁审麦 20216046	山东省农业 科学院作物 研究所 ^[97]
10	山农蓝麦 11	(珍珠绿/烟 0428 高 代系)/LS3283	冬性,生育期 232 d。幼苗半匍匐,株型紧凑,株高 87.9 cm,穗长方形,长芒,白壳,蓝粒,籽粒硬质。穗数 508.5 万/hm ² ,穗粒数 39.4 粒,千粒重 42.4 g。容重 791.8 g/L,蛋白质 14.5%,湿面筋 33.7%,稳定时间 7.2 min。钙 301 mg/kg,铁 35.0 mg/kg,锌 24.2 mg/kg,硒 0.0348 mg/kg,花色苷含量 0.1362 mg/g。	鲁审麦 20216047	山东农业大 学 ^[98]

表 9 绿粒小麦品种及种质资源

Table 9 Green grain wheat varieties and germplasm resources

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	审定编号 Approved number	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
1	中普绿麦 1号	宛原 50-2/冰草	半冬性,株高 85 cm,抗倒伏,穗纺锤形,顶芒,粒色深绿,硬质。穗粒数 40 粒,千粒重 40 g。抗条锈病、叶锈病。蛋白质 18.83%,湿面筋 42.6%,赖氨酸 0.1%。铁 184 mg/kg,硒 0.0756 mg/kg,碘 0.28 mg/kg,锌 40.8 mg/kg。	2008 年育成	河南省周 中普 ^[99]
2	灵绿麦 2号	灵绿麦 1号/中普绿 麦 1号	半冬性,生育期 235 d。幼苗半匍匐,分蘖力强,株高 86.0 cm,穗长方形,长芒,白壳,绿粒。穗数 525 万/hm ² ,穗粒数 42 粒,千粒重 36.3 g。蛋白质 15.7%,湿面筋 36.2%。	豫审麦 20210055	河南省三门 峡市农业科 学研究院 ^[100]

表 10 紫粒小麦种质资源

Table 10 Germplasm resources of purple grain wheat

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	育成年份及 省份 Year of breeding and province	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
1	玉选一号 黑小麦	从黑小麦变异株中 选育而成	中早熟,分蘖力强,叶片宽,株高 75 cm。穗数 600 万 /hm ² , 穗粒数 35 粒,千粒重 40 g。蜡质层厚,抗逆性强,抗寒、抗 旱、抗干热风,灌浆速度快且强度大,抗虫抗病。	1999 河北省	河北省玉田 县国营原 种场 ^[101]
2	黑小麦 1 号	从美国引进	弱冬性,中早熟。幼苗匍匐,分蘖力强,株型紧凑,株高 80 cm,穗长方形,长芒,白壳,粒皮紫色,硬粒,千粒重 42 g。 耐旱性能强,抗“三锈”,耐白粉病和干热风,耐晚茬、迟播 早熟。蛋白质 11.71%, 18 种氨基酸的含量为 15.2%, 赖氨 酸含量 0.4%, 铁、钾、钙的含量分别高于普通小麦 33.6%、 72.3% 和 131.8%; 脂溶性的维生素(A、D、E)含量丰富, 特别是含有 0.55 mg/kg 的碘和丰富的硒。	2000 陕西省	西北农业生 物工程研 究所 ^[102]
3	亚洲 1 号	用蓝粒小麦、四倍体紫 粒小麦进行复合远缘 杂交	春性,株高 80 cm,株型紧凑,分蘖力强,根系发达,生长中期 茎叶深红色,穗长 8 cm,纺锤形,无芒。穗粒数 48 粒,千粒重 40 g,产量 8250 kg/hm ² 。抗倒伏、耐寒、耐湿性强,高抗条锈 病、叶锈病、白粉病,对光照反应不敏感,适应性强,抗逆性好。 蛋白质含量高达 20.5%。富含铁、锌、钾、碘等多种微量元素。	2001 北京市	中国农业科 学院 ^[103]
4	秦黑 1 号	陕西省秦巴山区野 生紫粒小麦子遗种 (ZL93)	半冬性,中晚熟。分蘖力极强,单株分蘖 30 个,株高 90 cm, 茎壁厚,近于实心。幼苗分蘖节处呈紫黑色,起身拔节期 叶耳、叶舌呈紫黑色,灌浆期颖壳亦呈现紫黑色。穗长方 形,穗长 15 cm,芒长 16cm,每穗小穗数 23 个,小穗为分枝 状,籽粒紫黑色,长条形,千粒重 40 g,硬质。抗逆性较强, 抗寒耐旱;高抗条锈病、叶锈病,兼抗赤霉病、白粉病、叶 枯病等病害;抗蚜虫。微量营养元素铁、锌含量分别高达 749 mg/kg 和 135 mg/kg,其锰、铜、硒、镁、钾、磷等矿质元 素含量和赖氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、谷氨酸及 18 种氨基酸 含量总和均高于普通小麦,并具有低钠、低脂肪的特性。	2003 陕西省	西北农林科 技大学 ^[104]
5	漯 055	漯珍 1 号 / 豫麦 18	弱春性,中早熟。株高 80 cm,株型紧凑,两极分化快,千粒 重 35 g,籽粒黑色,角质。抗条锈病、叶锈病,中抗白粉病、 叶枯病。容重为 760 g/L,蛋白质 15.4%,湿面筋 33.6%,含 钙 252 mg/kg、铁 36.2 mg/kg、硒 108 ug/kg、碘 1.78 mg/kg。	2004 河南省	河南省漯河 市农业科 学院 ^[105]
6	漯特麦 2 号	(武引 88/黑麦 76) / (漯 98055/兰粒小麦)	半冬性,幼苗匍匐,株高 80 cm,叶片较窄且上冲,分蘖力强。 穗长方形,短芒,白壳,籽粒紫黑色,角质。抗寒能力强。穗粒 数 35 粒,千粒重 54 g。容重为 790 g/L,蛋白质 16.5%,湿面筋 35.6%。高抗条锈病、叶锈病、白粉病、叶枯病,中抗纹枯病。	2006 河南省	河南省漯河 市农业科 学院 ^[105]
7	中普黑麦 1 号	宛原 -502 与冰草、大 赖草、偃麦草等野生资 源远缘杂交	弱冬性,株高 80 cm,抗倒伏性强;籽粒长圆形,黑紫色 (咖啡红),玻璃质。穗长 11 cm,单穗籽粒 60 粒,千粒重 50 g。蛋白质 16.03%, 赖氨酸 0.40%, 铁 41.2 mg/kg, 锌 36.2 mg/kg, 硒 37.0 ug/kg, 钙 184 mg/kg。	2005 河南省	河南省周 中普 ^[106]
8	聊麦黑 17		半冬性,株高 78 cm,茎秆粗壮,抗倒伏,紫黑色籽粒,硬质, 穗数 630 万 /hm ² ,穗粒数 37 粒,千粒重 42 g,条锈病免疫, 高抗叶锈病。	2006 山东省	山东省聊城市 农业科学院 ^[107]
9	全黑冬 05-726	(野生二粒黑壳小麦 / 普通小麦) / W 黑壳 962	冬性,成熟期偏晚。幼苗半直立,叶鞘紫红色,株高 100 cm,穗 型长方形,穗长 10 cm,长芒,小穗数 22 个,芒壳全黑,旗叶紫 红色,穗粒数为 40.6 粒,粒色深紫,硬质,千粒重为 33.4 g。较 耐高温。粗蛋白、硒、锌、铁、钙、氨基酸含量分别比对照晋麦 67 号高 16.65%、460%、39.78%、236.5%、43.14%、21.96%。	2009 山西省	山西省农业 科学院 ^[108]

表 10(续)

序号 Serial number	品种名称 Variety name	系谱 Pedigree	主要农艺和营养性状 Major agronomic and nutritional traits	育成年份及 省份 Year of breeding and province	育种单位及 参考文献 Breeding units and reference
10	全黑冬 06-4210	(野生二粒黑壳小麦/ 普通小麦)/W 黑壳 962	冬性,晚熟。幼苗半直立,株高 85 cm,长方形穗,穗长 10 cm,小穗数 21 个,黑壳黑芒,叶紫红色,穗粒数 40 粒,粒色紫黑,硬质,籽粒卵圆形,千粒重为 33.2 g。耐干热风性好。蛋白质 24.1%,粗蛋白、硒、锌、铁、钙、氨基酸含量分别比对照晋麦 67 号高 46.42%、460%、52.40%、89.68%、31.37%、47.71%。	2009 山西省	山西省农业 科学院 ^[108]
11	石 UH01- 4259	冀麦 36/紫 6	半冬性,抗冻抗病,产量达 6984.3 kg/hm ² 。含蛋白亚基 5+12 和 7+9,硒和三价铬含量分别达到 0.107 mg/kg 和 1.602 mg/kg。	2010 河北省	河北省石家 庄市农业科 学院 ^[109]
12	紫优 5 号	早优 118/野生一粒小 麦和黑麦混合授粉	冬性,生育期 232 d。幼苗匍匐,芽鞘紫色,叶片宽短,分蘖力强,抗倒春寒能力强。株高 78 cm,株型紧凑,茎秆弹性好,抗倒性强。茎叶有蜡质,旗叶直立。穗型长方形,穗长 8 cm,穗白色,长芒,白芒,粒形圆,粒色紫,粒质硬。穗数 525 万/hm ² ,穗粒数 35 个,千粒重 42 g。抗冻性较强,抗旱性较强,抗青干中。容重 805 g/L,蛋白质 16.29%,湿面筋 35.2%,铁 41.7 mg/kg,锌 22.5 mg/kg,硒 0.0854 mg/kg。	2011 河北省	中国科学院 遗传与发育 生物学研究 所农业资源 研究中心 ^[110]
13	紫优 11 号	早优 118/野生一粒小 麦和黑麦混合授粉	冬性,生育期 232 d。幼苗匍匐,芽鞘紫色,株高 90 cm,株型半紧凑,叶片深绿色、有蜡质,穗型长方形,穗白色,穗长 8 cm,长芒,白芒,白壳。粒色紫红色,粒质硬。穗数 750 万/hm ² ,穗粒数 50 粒,千粒重 48 g。容重 805 g/L,蛋白质 16.08%,湿面筋 36.1%,铁 43.6 mg/kg,锌 37.2 mg/kg,硒 0.16 mg/kg。	2011 河北省	中国科学院 遗传与发育 生物学研究 所农业资源 研究中心 ^[110]
14	西农黑 大穗	31-1/黑宝石 1 号	半冬性,生育期 235 d。幼苗半直立、株型紧凑、叶片绿色带有紫红,穗大,穗粒数 54 粒,千粒重 52 g。容重 802 g/L,蛋白质 16.49%,湿面筋 41.03%,稳定时间 5.6 min,达到优质中强筋小麦。富含有人体需要的 17 种氨基酸和铁、镁、锌、硒等微量元素,硒含量达到 1.7373 mg/kg,总氨基酸含量为 13.12%。	2012 陕西省	西北农林科 技大学 ^[111]
15	冀资麦 3 号	漂珍 1 号/冀 8901	半冬性,幼苗半匍匐,株型紧凑,株高 78 cm。穗长方形,长芒,粒色深紫,硬质,穗粒数 36 粒,千粒重 39.6 g,平均产量 6048.3 kg/hm ² 。蛋白质 16.5%,湿面筋 37.5%,面团稳定时间 9.0 min。硒 123.74 mg/kg,镁 1428.96 mg/kg,钙 441.95 mg/kg。	品种权号 CNA2016 0293.4 河北省	河北省农林 科学院 ^[112]
16	冀资麦 14 号	济南 17/黑小麦 2 号// 冀紫 439	半冬性,株高 83 cm,分蘖能力强,穗数中等,粒深紫色,综合农艺性状好。抗倒伏,生物产量高,高产。富含蛋白质、膳食纤维、微量元素、氨基酸和还原糖,是适宜加工精制面条的中筋黑小麦种质。	2019 河北省	河北省农林 科学院粮油 作物研究所 ^[113]
17	冀资麦 16 号	周麦 21/黑小麦 2 号// 冀紫 439	半冬性,幼苗半匍匐,株高 78 cm,穗长方形,粒深紫色,穗粒数 36 粒,千粒重 34.5 g,平均产量 7213.5 kg/hm ² 。钙、硒、锌和镁含量丰富,多种氨基酸、粗蛋白、粗脂肪、膳食纤维均较高。	品种权号 CNA 20191005540 河北省	河北省农林 科学院粮油 作物研究所 ^[114]
18	稷紫黑麦 9 号	(西农 2208/珍选 1 号)/96(38)18-2	弱冬性,幼苗半匍匐,分蘖力强,株型紧凑,株高 85 cm,穗长 8.3 cm,穗纺锤形,穗粒数 39.8 粒,黑粒,角质,千粒重 39.5 g。蛋白质 15.4%,湿面筋 35.3%,稳定时间 13.6 min。各种氨基酸和微量元素钙、铁、锌高于普通小麦。高抗条锈病和白粉病。	2020 陕西省	陕西省杂交 油菜中心 ^[115]

参考文献

- [1] 张正斌, 徐萍, 张锦鹏. 彩色小麦种质资源在生物强化和功能食品应用中的研究进展. 植物遗传资源学报, 2022, DOI: 10.13430/j.cnki.jpgr.20220321004
Zhang Z B, Xu P, Zhang J P. Research progress in application of colored wheat germplasm resources in biofortification and functional foods. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, DOI: 10.13430/j.cnki.jpgr. 20220321004
- [2] Zeven A C. Wheats with purple and blue grains: A review. Euphytica, 1991, 56 (3): 243-258
- [3] Percival J. The wheat plant. A monograph. London: Duckworth and Company, 1921: 473
- [4] Flaksberger. Determination des vraies cereales. Translation by Roussine & Chevalier. Typescript, 1938: 276
- [5] Copp L G L. Purple grains in hexaploid wheat. Wheat Information Service, 1965 (19-20): 18
- [6] Bolton F E. Inheritance of blue aleurone and purple pericarp in hexaploid wheat. Plant Breeding Abstracts, 1970 (40): 2684
- [7] Sorrells M E, Coffman W R. Charcoal wheat germplasm. Annual Wheat Newsletter, 1982 (28): 130
- [8] Gilchrist J A, Sorrells M E. Inheritance of kernel colour in 'Charcoal' wheat. Journal Heredity, 1982 (73): 457-460
- [9] Piech J, Evans L E. Monosomic analysis of purple grain colour in hexaploid wheat. Zeitschrift Fur Pflanzenzuchtung, 1979 (82): 212-217
- [10] St-Pierre C A, Gauthier F M, Pelletier G J, Bastien D. Le ble de printemps Laval 19. Canadian Journal of Plant Science, 1980 (60): 723-725
- [11] McIntosh R A. Catalogue of gene symbols for wheat. Proceedings of the seventh international wheat genetics symposium. Cambridge, 1988: 1225-1323
- [12] Chin K C. Pigment pourpe dans les hybrides des bles francais et chinois. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, 1944 (218): 1004-1006
- [13] Dobrovolskaya O, Arbusova V S, Lohwasser U, Roder M S, Borner A. Microsatellite mapping of complementary genes for purple grain colour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica, 2006 (150): 355-364
- [14] Maan S S, Lucken K A. Addition or substitution of *Triticum boeoticum* chromosomes in *T. durum* or common wheat. European Wheat Aneuploid Co-operative News, 1969, 2: 59
- [15] 邵中子, 邓景扬. 内蒙古紫皮小麦紫皮性状的遗传分析. 遗传学报, 1987, 14 (3): 179-187
Shao Z Z, Deng J Y. Genetic analyses of the purple character in Inner Mongolia purple seed-coat wheat. Acta Genetica Sinica, 1987, 14 (3): 179-187
- [16] Tereshchenko O Y, Arbusova V S, Khlestkina E K. Allelic state of the genes conferring purple pigmentation in different wheat organs predetermines transcriptional activity of the anthocyanin biosynthesis structural genes. Journal of Cereal Science, 2013 (57): 10-13
- [17] Giltay E. Ueber den direkten einfluss des pollens auf frucht- und samenbildung. Jahrb. Pringsheim, 1893 (25): 489-509
- [18] Kattermann G. Farbexenien bei weizenkreuzungen und das erbliche verhalten blau gefirbten aleuronschicht bei der verwendeten neuartigen weizenrassen im allgemeinen. Zeitschr Pflanzenz, 1932 (17): 413-446
- [19] Zong Y, Li G M, Xi X Y, Sun X M, Li S M, Cao D, Zhang H G, Liu B L. A bHLH transcription factor TsMYC2 is associated with the blue grain character in triticale (*Triticum* × *Secale*). Plant Cell Reports, 2019 (38): 1291-1298
- [20] Tschermak E. Beitr/ige zur ziichterischen und zyto logischen beurteilung der weizen-roggen- und weizen quecken-bastarde. Zeitschr Ztichtung, 1938 (22): 397-416
- [21] Suneson C A, Pope W K, Jensen N F, Poehlman J M, Smith G S. Wheat composite cross created for breeders everywhere. Crop Science, 1963, 3: 101-102
- [22] Larson R I, Atkinson T G. Identity of the wheat chromosomes replaced by *Agropyron* chromosomes in a triple alien chromosome substitution line immune to wheat streak mosaic. Canadian Journal of Genetics and Cytology, 1970 (12): 145-150
- [23] Li Z S, Mu S M, Jiang L X, Zhou H P. A cytogenetic study of blue-grained wheat. Z Pflanzenzucht, 1983 (90): 265-272
- [24] Zheng Q, Li B, Zhang X Y, Mu S M, Zhou H P, Li Z S. Physical mapping of the blue-grained gene from *Thinopyrum ponticum* by GISH and FISH in a set of translocation lines with different seed colors in wheat. Genome, 2006 (49): 1109-1114
- [25] Diddugodage C J, Wang Z H, Jian W H, Muthanthirige D L, Nan W Z, Liu T X. Structural genes encoding F3'5'h in 4d chromosome control the blue grain trait in wheat. Tropical Agricultural Research and Extension, 2021, 24 (1): 35-49
- [26] 袁文业, 孙善澄. 紫粒和蓝粒小麦研究综述. 国外农学 - 麦类作物, 1993 (2): 12-15
Yuan W Y, Sun S C. Review on purple and blue grain wheat. Foreign Agriculture Triticeae Crops, 1993 (2): 12-15
- [27] 张东阳, 李集临, 张延明. 黑粒小麦的细胞学及分子生物学鉴定. 植物研究, 2010, 30 (3): 332-336
Zhang D Y, Li J L, Zhang Y M. Cytological and molecular identification of black wheat. Bulletin of Botanical Research, 2010, 30 (3): 332-336
- [28] Whelan E D. Behavior of an alien telocentric chromosome in callus culture of wheat. Crop Science, 1990 (30): 923-926
- [29] William M D H M, Mujeeb-Kazi A. *Thinopyrum bessarabicum*: Biochemical and cytological markers for detection of genetic introgression in its hybrid derivatives with *Triticum aestivum* L.. Theoretical and Applied Genetics, 1993 (86): 365-370
- [30] Zhang X Y, Dong Y S, Wang R C. Characterization of genomes and chromosomes in partial amphiploids of the hybrid *Triticum aestivum* × *Thinopyrum ponticum* by in situ hybridization, isozyme analysis and RAPD. Genome, 1996 (39): 1062-1071
- [31] Joppa L R, Maan S S. A durum wheat disomicsubstitution line having a pair of chromosomes from *Triticum boeoticum*: Effect on germination and growth. Canadian Journal of Genetics and Cytology, 1982 (24): 549-557
- [32] Dubcovsky J, Luo M C, Zhong G Y, Bransteitter R, Desai A, Kilian A, Kleinhofs A, Dvorak J. Genetic map of diploid wheat, *Triticum monococcum* L., and its comparison with maps of *Hordeum vulgare* L.. Genetics, 1996 (143): 983-999
- [33] Singh K, Ghai M, Garg M, Chhuneja P, Kaur P, Schnurbusch T, Keller B, Dhaliwal H S. An integrated molecular linkage map of diploid wheat based on a *Triticum boeoticum* RIL population. Theoretical and Applied Genetics, 2007 (115): 301-312
- [34] Liu X, Zhang M H, Jiang X M, Li H, Jia Z J, Hao M, Jiang

- B, Huang L, Ning S Z, Yuan Z W, Chen X J, Chen X, Liu D C, Liu B L, Zhang L Q. *TbMYC4A* is a candidate gene controlling the blue aleurone trait in a wheat-*Triticum boeoticum* substitution line. *Frontiers in Plant Science*, 2021 (12): 762265
- [35] 孟雅宁, 兰素缺, 张业伦, 刘玉平. 蓝、紫粒小麦遗传资源的染色体组型及生物学特性分析. *河北农业科学*, 2011, 15 (2): 81-84, 161.
- Meng Y N, Lan S Q, Zhang Y L, Liu Y P. Analysis on karyotype and biological characteristics of blue or purple grain wheat genetic resources. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2011, 15 (2): 81-84, 161
- [36] 李杏普, 刘玉平, 段喜顺, 刘淑娥, 李军. 小麦蓝、紫粒种质色素基因来源分析及其植株特性表现. *河北农业科学*, 2000, 4 (4): 12-17
- Li X P, Liu Y P, Duan X S, Liu S E, Li J. Analysis of pigment gene source and plant characteristics of wheat blue and purple seed germplasm. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2000, 4 (4): 12-17
- [37] Zeller F J, Cermeno M C, Miller T E. Cytological analysis on the distribution and origin of the alien chromosome pair conferring blue aleurone colour in several European common wheat (*Triticum aestivum* L.) strains. *Theoretical and Applied Genetics*, 1991 (81): 551-558
- [38] Mettin D, Schlegel G, Lehman C H R. Instability of the blue grain color in a strain of *Triticum aestivum* L.. *Genome*, 1991 (34): 745-750
- [39] Burešová V, Kopecký D, Bartoš J, Martinek P, Watanabe N, Vyhnaněk T, Doležal J. Variation in genome composition of blue aleurone wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 2015 (128): 273-282
- [40] 张国武, 周彦中, 张春映, 李建钊. 漯珍 1 号黑小麦的选育及特征特性. *河南农业科学*, 1997 (8): 10
- Zhang G W, Zhou Y Z, Zhang C Y, Li J Z. Breeding and characteristics of Luozhen No.1 black wheat. *Henan Agricultural Sciences*, 1997 (8): 10
- [41] 山西农业大学农学院. 黑小麦 76. [2020-04-01]. <http://nxy.sxau.edu.cn/info/1960/7361.htm>
- College of Agriculture, Shanxi Agricultural University. Heixiaomai 76. [2020-04-01]. <http://nxy.sxau.edu.cn/info/1960/7361.htm>
- [42] 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, 22 (4): 104
- Zhang M N, Zhang H G, Jiang D H, Chen Z G. A new purple-black spring wheat cultivation—Gaoyuan 115. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22 (4): 104
- [43] 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. *Seed*, 2013, 32 (7): 74-76
- [44] 孙玉, 孙善澄, 闫贵云, 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): 封 3
- Sun Y, Sun S C, Yan G Y, Ren Y K, Pei Z Y. New black grain wheat variety with high quality—Donghei 10. *Journal of Triticeae Crops*, 2007 (6): F3
- [45] 赵吉平, 左联忠, 王彩萍, 侯小峰, 郭鹏燕. 浅谈冬小麦汾黑麦 1831 选育及体会. *陕西农业科学*, 2008, 54 (2): 203
- Zhao J P, Zuo L Z, Wang C P, Hou X F, Guo P Y. Breeding and experience of winter Fenheimai 1831. *Journal of Shaanxi Agricultural Sciences*, 2008, 54 (2): 203
- [46] 宋印明, 倪中福, 李保云, 解超杰, 刘志勇, 梁荣奇, 彭惠茹, 姚颖垠, 杜金昆, 尤明山, 孙其信. 富硒强筋紫粒小麦品种农大 3753 的培育. *农业生物技术学报*, 2012, 20 (4): 451
- Song Y M, Ni Z F, Li B Y, Xie C J, Liu Z Y, Liang R Q, Peng H R, Yao Y Y, Du J K, You M S, Sun Q X. Breeding of Nongda 3753 with high selenium content, strong-gluten and purple pericarp. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2012, 20 (4): 451
- [47] 百度百科. 科紫 6061. [2022-04-11]. <https://baike.baidu.com/item/%E7%A7%91%E7%B4%AB6061/55869128?fr=aladdin>
- Baidubaike. Kezi 6061. [2022-04-11]. <https://baike.baidu.com/item/%E7%A7%91%E7%B4%AB6061/55869128?fr=aladdin>
- [48] 种业商务网. 紫糯麦 1 号. [2009-03-20]. https://www.chinaseed114.com/seed/2/seed_6364.html
- Zhongyeshangwuwang. Zinuomai 1. [2009-03-20]. https://www.chinaseed114.com/seed/2/seed_6364.html
- [49] 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. New purple grain spring wheat variety Ningchun 46 with high yield and good quality. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29 (6): 1138
- [50] 兰素缺, 李杏普, 张业伦, 陈松. 高微量元素黑小麦新品种冀紫 439 的选育. *河北农业科学*, 2010, 14 (3): 43
- Lan S Q, Li X P, Zhang Y L, Chen S. Development of a new black wheat variety Jizi 439 with high contents of trace elements. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, 14 (3): 43
- [51] 孙兰珍, 刘保申, 李安飞. 黑小麦山农紫麦 1 号. *中国种业*, 2011 (1): 76
- Sun L Z, Liu B S, Li A F. Black wheat Shannongzimai 1. *China Seed Industry*, 2011 (1): 76
- [52] 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
- 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, new variety of black grain wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40 (11): 6420
- [53] 百度百科. 周黑麦 1 号. [2022-03-28]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%91%A8%E9%BB%91%E9%BA%A61%E5%8F%B7/10106162?fr=aladdin>
- Baidubaike. Zhouheimai 1. [2022-03-28]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%91%A8%E9%BB%91%E9%BA%A61%E5%8F%B7/10106162?fr=aladdin>
- [54] 种业商务网. 豫教黑 1 号. [2011-12-17]. https://www.chinaseed114.com/seed/10/seed_46167.html
- Zhongyeshangwuwang. Yujiaohei 1. [2011-12-17]. https://www.chinaseed114.com/seed/10/seed_46167.html
- [55] 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): F3
- Li X M, Ni S L, Zhang G H. New winter wheat variety-Longzimai 1 with drought resistance and disease resistance.

- Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(2): F3
- [56] 百度百科. 贵紫麦 1 号. [2022-01-07]. <https://baike.baidu.com/item/%E8%B4%B5%E7%B4%AB%E9%BA%A6%E5%8F%B7/56105823?fr=aladdin>
Baidubaike.Guizimai 1. [2022-01-07]. <https://baike.baidu.com/item/%E8%B4%B5%E7%B4%AB%E9%BA%A6%E5%8F%B7/56105823?fr=aladdin>
- [57] 种业商务网. 中鼎原紫 1 号. [2018-04-29]. https://www.chinaseed114.com/seed/13/seed_63999.html
Zhongyeshangwuwang.Zhongdingyuanzi 1. [2018-04-29]. https://www.chinaseed114.com/seed/13/seed_63999.html
- [58] 种业商务网. 豫圣黑麦一号. [2018-04-29]. https://www.chinaseed114.com/seed/13/seed_63998.html
Zhongyeshangwuwang.Yushengheimai 1. [2018-04-29]. https://www.chinaseed114.com/seed/13/seed_63998.html
- [59] 种业商务网. 山农紫糯 2 号. [2019-08-21]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_69655.html
Zhongyeshangwuwang.Shannongziniu 2. [2019-08-21]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_69655.html
- [60] 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 Agriculture Science and Technology, 2019(1): 1-4
- [61] 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
Cai Y, Song Y, Yu Z L, Xie S Y, Song H. Breeding process and characteristics of special wheat Yunhei161. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(23): 37-38
- [62] 百度百科. 三餐黑麦一号. [2022-01-23]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%89%E9%A4%90%E9%BB%91%E9%BA%A6%E4%B8%80%E5%8F%B7/56134565?fr=aladdin>
Baidubaike.Sancanheimai 1. [2022-01-23]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%89%E9%A4%90%E9%BB%91%E9%BA%A6%E4%B8%80%E5%8F%B7/56134565?fr=aladdin>
- [63] 百度百科. 中黑麦 6 号. [2022-06-24]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E9%BB%91%E9%BA%A6%E5%8F%B7/56134562?fr=aladdin>
Baidubaike.Zhongheimai 6. [2022-06-24]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E9%BB%91%E9%BA%A6%E5%8F%B7/56134562?fr=aladdin>
- [64] 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. A new dry land black wheat variety winter black 1206. Journal of Triticeae Crops, 2020, 40(10): 1282
- [65] 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(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, Zi Y, Li F J, Li H S, Liu J J. Breeding and experience of new black wheat variety Jizimai 1. Shandong Agricultural Sciences, 2020(8): 21-23
- [66] 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(5): 138-141
Mou Q H, Wang R X, Wang C, Mi Y, Sun Y Y, Chen Y J. Breeding and experience of new black wheat variety Taikezimai 1. Shandong Agricultural Sciences, 2021(5): 138-141
- [67] 种业商务网. 灵黑麦 1 号. [2019-04-05]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_68654.html
Zhongyeshangwuwang.Lingheimai 1. [2019-04-05]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_68654.html
- [68] 种业商务网. 辽春 41(黑). [2020-03-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/15/seed_71739.html
Zhongyeshangwuwang.Liaochun41(black). [2020-03-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/15/seed_71739.html
- [69] 曹勇, 姜兰芳, 郝建宇, 马小飞, 李晓丽, 王敏, 姬虎太. 彩色旱地小麦紫麦 8555 的选育与体会. 农业科学, 2021, 41(20): 13-15
Cao Y, Jiang L F, Hao J Y, Ma X F, Li X L, Wang M, Ji H T. Breeding and experience of dryland color wheat Zimai 8555. Agricultural science, 2021, 41(20): 13-15
- [70] 种业商务网. 绵紫麦 2 号. [2021-02-04]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_75488.html
Zhongyeshangwuwang.Mianzimai 2. [2021-02-04]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_75488.html
- [71] 种业商务网. 中科紫糯麦 168. [2020-06-11]. https://www.chinaseed114.com/seed/15/seed_72277.html
Zhongyeshangwuwang.Zhongkezinuomai 168. [2020-06-11]. https://www.chinaseed114.com/seed/15/seed_72277.html
- [72] 种业商务网. 永黑麦 1 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77203.html
Zhongyeshangwuwang.Yongheimai 1. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77203.html
- [73] 种业商务网. 豫州黑麦 1 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77204.html
Zhongyeshangwuwang.Yuzhouheimai 1. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77204.html
- [74] 种业商务网. 豫州黑麦 2 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77205.html
Zhongyeshangwuwang.Yuzhouheimai 2. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77205.html
- [75] 种业商务网. 天谷红宝 5 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77206.html
Zhongyeshangwuwang.Tianguhongbao 5. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77206.html
- [76] 种业商务网. 黑冠 1 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77207.html
Zhongyeshangwuwang.Heiguan1. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77207.html
- [77] 种业商务网. 盛彩麦 2 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77208.html
Zhongyeshangwuwang.Shengcaimai 2. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77208.html
- [78] 种业商务网. 灵黑麦 3 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77210.html
Zhongyeshangwuwang.Lingheimai 3. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77210.html

- [79] 种业商务网. 佳黑麦 1 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77211.html
Zhongyeshangwuwang.Jiaheimai 1. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77211.html
- [80] 种业商务网. 灵黑麦 2 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77212.html
Zhongyeshangwuwang.Lingheimai 2. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77212.html
- [81] 冀农告字【2021】4号. 河北省农业农村厅关于第五十五次河北省农作物品种审定结果的公告. 2021.6.21
Jinonggaozi【2021】4.Hebei Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs on the 55th Hebei province crop varieties certification results announcement.2021.6.21
- [82] 闫勇, 王寒菊, 郭敏, 张书奎, 宋印明. 特用黑小麦—农大 4218 紫. 麦类作物学报, 2022, 42(5): F3
Yan Y, Wang H J, Guo M, Zhang S K, Song Y M. Special black wheat—Nongda 4218 purple. Journal of Triticeae Crops, 2022, 42(5): F3
- [83] 种业商务网. 柳紫黑麦 1 号. [2021-12-23]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_78947.html
Zhongyeshangwuwang.Liuziheimai 1. [2021-12-23]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_78947.html
- [84] 种业商务网. 济紫麦 2 号. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80754.html
Zhongyeshangwuwang.Jizimai 2. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80754.html
- [85] 种业商务网. 济紫麦 4 号. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80755.html
Zhongyeshangwuwang.Jizimai 4. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80755.html
- [86] 种业商务网. 泰科紫麦 2 号. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80758.html
Zhongyeshangwuwang.Taikezimai 2. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80758.html
- [87] 种业商务网. 彩麦 08. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80759.html
Zhongyeshangwuwang.Caimai 08. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80759.html
- [88] 种业商务网. 渝黑 521. [2021-05-01]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_76454.html
Zhongyeshangwuwang.Yuhei 521. [2021-05-01]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_76454.html
- [89] 百度百科. 河东乌麦 526. [2022-06-20]. <https://baike.baidu.com/item/%E6%B2%B3%E4%B8%9C%E4%B9%8C%E9%BA%A6526/16095647?fr=aladdin>
Baidubaike.Hedongwumai 526. [2022-06-20]. <https://baike.baidu.com/item/%E6%B2%B3%E4%B8%9C%E4%B9%8C%E9%BA%A6526/16095647?fr=aladdin>
- [90] 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. Tilling and Cultivation, 2005(5): 54
- [91] 种业商务网. 运黑 14207. [2018-12-26]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_68167.html
Zhongyeshangwuwang.Yunhei 14207. [2018-12-26]. https://www.chinaseed114.com/seed/14/seed_68167.html
- [92] 百度百科. 中蓝麦 1 号. [2022-01-06]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E8%93%9D%E9%BA%A61%E5%8F%B7/56134564?fr=aladdin>
Baidubaike.Zhonglanmai 1. [2022-01-06]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E8%93%9D%E9%BA%A61%E5%8F%B7/56134564?fr=aladdin>
- [93] 种业商务网. 山农蓝麦 1 号. [2021-08-06]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77817.html
Zhongyeshangwuwang.Shannonglanmai 1. [2021-08-06]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77817.html
- [94] 种业商务网. 爱民蓝麦 1 号. [2021-08-06]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77820.html
Zhongyeshangwuwang.Aiminlanmai 1. [2021-08-06]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77820.html
- [95] 种业商务网. 辽春 42(蓝). [2020-03-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/15/seed_71740.html
Zhongyeshangwuwang.Liaochun42(Blue). [2020-03-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/15/seed_71740.html
- [96] 闫勇, 白璐洁, 兰佳佳, 郭敏, 张书奎, 宋印明. 功能型蓝粒黑小麦农大 5321 蓝选育及特用价值推广探讨. 种子科技, 2021(22): 6-7
Yan Y, Bai L J, Lan J J, Guo M, Zhang S K, Song Y M. Discussion on breeding of functional Nongda 5321 blue and its special application value. Seed Science Technology, 2021(22): 6-7
- [97] 种业商务网. 济蓝麦 1 号. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80756.html
Zhongyeshangwuwang.Jilanmai 1. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80756.html
- [98] 种业商务网. 山农蓝麦 11. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80757.html
Zhongyeshangwuwang.Shannonglanmai 11. [2022-01-19]. https://www.chinaseed114.com/seed/17/seed_80757.html
- [99] 李亮琴, 左占民, 梁晶, 卢民生. 优质保健型彩色小麦中普绿麦 1 号高效栽培技术. 现代农业科技, 2006(12): 114, 125
Li L Q, Zuo Z M, Liang J, Lu M S. High efficiency cultivation technology of high quality health care type colored wheat Zhongpu green wheat. Modern Agricultural Technology, 2006(12): 114, 125
- [100] 种业商务网. 灵绿麦 2 号. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77209.html
Zhongyeshangwuwang.Linglvmai 2. [2021-06-16]. https://www.chinaseed114.com/seed/16/seed_77209.html
- [101] 韩定祥, 邵凤成, 孙桂凤, 韩立红. 玉选一号黑小麦. 中国农业信息, 2004(9): 42
Han D X, Shao F C, Sun G F, Han L H, Yuxuan No.1 black wheat. China Agricultural Information, 2004(9): 42
- [102] 百度百科. 黑小麦 1 号. [2021-12-31]. <https://baike.baidu.com/item/%E9%BB%91%E5%B0%8F%E9%BA%A6%E4%B8%80%E5%8F%B7/5610154?fr=aladdin>
Baidubaike.Heixiaomai 1. [2021-12-31]. <https://baike.baidu.com/item/%E9%BB%91%E5%B0%8F%E9%BA%A6%E4%B8%80%E5%8F%B7/5610154?fr=aladdin>
- [103] 温海军. 珍稀黑小麦新品种——亚洲 1 号. 农村实用科技信息. 2001(11): 10
Wen H J. Rare new black wheat varieties—Asia No.1. Information

- on Practical Science and Technology in Rural Areas, 2001 (11): 10
- [104] 何一哲, 宁军芬. 高铁锌小麦特异新种质“秦黑 1 号”的营养成分分析. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31 (3): 87-90
He Y Z, Ning J F. Analysis of nutrition composition in the special purple grain wheat “Qinhei No.1” containing rich Fe and Zn. Journal of Northwest A&F University: Nature Sciences Editor, 2003, 31 (3): 87-90
- [105] 李志辉, 李建钊, 靳巧玲, 傅豪. 黑小麦新品种的创制及其应用策略探讨. 种子世界, 2007 (11): 28-29
Li Z H, Li J Z, Jin Q L, Fu H. Discussion on the breeding and application strategy of new black wheat varieties. The Seed World, 2007 (11): 28-29
- [106] 百度百科. 中普黑麦 1 号. [2022-05-30]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%BD%A9%E8%89%B2%E5%B0%8F%E9%BA%A6/5477570?fr=aladdin>
Baidubaike. Zhongpuheimai 1. [2022-05-30]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%BD%A9%E8%89%B2%E5%B0%8F%E9%BA%A6/5477570?fr=aladdin>
- [107] 林国晨, 郭秀焕, 赵平, 张徽, 王春云, 张新, 李庆恩. 食疗型黑小麦聊麦黑 17 的选育. 中国种业, 2006 (3): 5-6
Lin G C, Guo X H, Zhao P, Zhang H, Wang C Y, Zhang X, Li Q E. Breeding of diet therapy type black wheat-Liaomaihei 17. China Seed Industry, 2006 (3): 5-6
- [108] 孙玉, 孙善澄, 刘少翔, 闫贵云, 郭庆. 高营养饲料兼用全黑小麦的选育. 山西农业科学, 2009, 37 (12): 3-6
Sun Y, Sun S C, Liu S X, Yan G Y, Guo Q. Selection of high nutritive feed food dual purposed all black wheat. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2009, 37 (12): 3-6
- [109] 蔡欣, 傅大平, 郭进考, 傅晓艺, 史占良, 李亚青, 张国丛, 贾丹, 韩然. 高产保健型黑小麦新品种选育研究初报. 河北农业科学, 2010, 14 (1): 63-64, 70
Cai X, Fu D P, Guo J K, Fu X Y, Shi Z L, Li Y Q, Zhang G C, Jia D, Han R. Preliminary study on breeding of a new black wheat variety with high yield and health car. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2010, 14 (1): 63-64, 70
- [110] Guo Z F, Zhang Z B, Xu P, Guo Y N. Analysis of nutrient compositions of purple wheats in China. Cereal Research. Communications, 2013, 41 (2): 293-303
- [111] 燕雯, 张正茂, 阿尔哈力合·叶热仙巴依. 西农黑大穗黑小麦营养特性与蒸煮食品加工品质评价. 食品科学, 2012, 33 (19): 149
Yan W, Zhang Z M, Arhalh Yeresanba Y. Nutritional characteristics and processing quality assessment of Xinongheidsui black wheat. Food Science, 2012, 33 (19): 149
- [112] 李光威, 孟雅宁, 张业伦, 古东月, 兰素缺, 李杏普. 优质黑小麦新种质冀资麦 3 号的选育. 河北农业科学, 2018, 22 (3): 58-60, 64
Li G W, Meng Y N, Zhang Y L, Gu D Y, Lan S Q, Li X P. Breeding of high quality black wheat germplasm Jizimai 3. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2018, 22 (3): 58-60, 64
- [113] 刘玉平, 孟雅宁, 兰素缺, 张业伦, 李杏普. 高营养黑小麦新种质冀资麦 14 号的选育及品质分析. 河北农业科学, 2019, 23 (6): 61-64
Liu Y P, Meng Y N, Lan S Q, Zhang Y L, Li X P. Breeding and quality analysis of a new black wheat germplasm Jizimai No.14 with high nutrition. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2019, 23 (6): 61-64
- [114] 吕亮杰, 孟雅宁, 张业伦, 兰素缺, 李杏普. 富硒富锌黑小麦冀资麦 16 号的选育及其营养成分分析. 河北农业科学, 2020, 24 (2): 71-75
Lv L J, Meng Y N, Zhang Y L, Lan S Q, Li X P. Breeding and nutritional analysis of selenium and zinc rich black wheat variety Jizimai No.16. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2020, 24 (2): 71-75
- [115] 赵鹏涛, 赵小光, 翟周平, 罗红炼, 李龙华, 张耀文. 稷紫黑麦 9 号的选育与性状分析. 中国农学通报, 2020, 36 (21): 1-5
Zhao P T, Zhao X G, Zhai Z P, Luo H L, Li L H, Zhang Y W. Breeding and characteristic analysis of Jizi Triticale No.9. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36 (21): 1-5
- [116] 刘旭, 李立会, 黎裕, 谭光万, 周美亮. 作物及其种质资源与人文环境的协同演变学说. 植物遗传资源学报, 2022, 23 (1): 1-11
Liu X, Li L H, Li Y, Tan G W, Zhou M L. Synergistic evolution theory of crop germplasm resources and cultural environments. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23 (1): 1-11