

功能性小麦品种选育与栽培技术研究进展

孙盈盈, 牟秋焕, 米 勇, 吕广德, 钱兆国

(泰安市农业科学院, 山东 泰安 271000)

摘要: 随着人们生活水平的提高, 功能性食品进入消费者的餐桌, 功能性小麦是一类成分对人体有益, 并且能带来特殊保健功能或者满足特殊人群需要的小麦新类型。从目前功能小麦新品种选育来看, 主要包括彩色小麦与糯性小麦, 小麦作为我国主要粮食作物, 其功能性开发和研究有利于保障生活水平。本文主要从功能性小麦介绍、新品种选育以及配套栽培技术三方面进行了综述, 以为功能性小麦研究和利用提供参考依据。

关键词: 功能小麦; 彩色; 糯性; 育种; 栽培技术

中图分类号: S512.1+1

0 引言

20 世纪 90 年代以来, 食品营养学发展加速, 人们对食品营养健康有了更深入了解。2017 年, 农业农村部发布《主要农作物品种审定标准》, 在该标准中, 提出“高产稳产品种、绿色优质品种和特殊类型品种”三类品种, 这是对特殊类型品种首次提出要求和选育标准。在国际小麦品质研究上, 营养和健康是主要的研究方面^[1-2]。小麦作为我国主要粮食作物, 具有特殊功能的功能性小麦品种的选育也非常重要, 功能性小麦能带来特殊保健功能, 其中富含蛋白质、氨基酸和对人体有益的一系列微量元素和矿物质, 同时加工品质也比较好, 其中彩色小麦籽粒中含有较多的天然色素, 具有较大的应用价值, 有很大的进一步开发的潜力, 是目前功能性小麦的一种类型^[3]。目前, 功能性小麦的选育成为世界小麦育种新趋势^[4], 与普通小麦相比, 彩色小麦普遍存在产量低的问题, 主要因为没有较高的光合能力, 产量形成关键期无法进行高的干物质积累^[5], 同时彩色小麦面团流变性低于普通小麦粉^[6]。基于以上研究以及存在的问题, 本文从功能性小麦介绍、新品种选育现状及栽培技术方面进行综述,

并进一步对功能性小麦的发展前景进行展望, 以为功能性小麦研究提供参考依据。

1 功能性小麦介绍

根据目前育成的小麦品种来看, 具有特殊用途的功能性小麦主要有彩色小麦和糯小麦, 彩色小麦因在种皮或糊粉层含有丰富的天然花色苷类化合物, pH 值和修饰基团不同, 使得花青素颜色不同, 进而会出现紫、蓝、黑色等^[7], 因此彩色小麦呈现出不同的粒色(黑、蓝、紫和绿色等), 相比普通小麦, 彩色小麦的营养组分比较高^[8], 微量元素含量较高, 主要有锌、铁、硒等, 其中的花青素具有很好的抗氧化功能^[9-12]。研究发现, 彩色小麦中具有较高麦黄酮, 麦黄酮是一种抗氧化剂和生理活性物质, 具有多种功效, 比如扩张血管、抗菌消炎和增强人体免疫力等^[13], 黑色小麦中富含酚酸与花青素, 对于黑色小麦的研究表明, 供试黑小麦酚酸与花青素含量均高于对照良星 99, 由此能够推测出黑小麦营养和保健功能更好^[14]。通过将彩色小麦粉混色, 一定程度上能够有利于混合粉的品质提高, 研究表明彩色小麦复合粉的最优组合为黑麦: 绿麦: 蓝麦 =2: 3: 1, 如将通过比例混合好

基金项目: 国家小麦现代农业产业技术体系(CARS-3-61), 山东省现代农业产业技术体系(SDAIT-01-04)。

第一作者简介: 孙盈盈, 女, 1990 年出生, 山东淄博人, 农艺师, 农学硕士, 主要从事小麦优质高产育种与栽培技术研究。通信地址: 27100 泰安市泰山区唐王街 316 号 泰安市农业科学院小麦所, Tel: 0538-8503322, E-mail: yingyingsun2014@126.com。学会会员号: A010012792M

通讯作者简介: 钱兆国, 男, 1971 年出生, 山东肥城人, 研究员, 农学硕士, 主要从事小麦育种及高产栽培技术推广。通信地址: 27100 泰安市泰山区唐王街 316 号 泰安市农业科学院小麦所, Tel: 0538-8503322, E-mail: qianzhaoguo@163.com。

的彩色小麦复合粉添加到普通小麦粉中，能够提高小麦馒头品质，40%的添加量最优^[15]，也有研究表明，黑色小麦适合在制作面条中作为添加粉^[16]。普通小麦淀粉包括直链淀粉（含量为 20%~30%）和支链淀粉（含量为 70%~80%），而糯小麦不含直链淀粉或具有比较低的直链淀粉含量(<2%)^[17-18]，通过在非糯小麦粉添加糯小麦粉，有利于面团的流变学特性和糊化黏度特性的改变，进一步能够提高面团的吸水率^[19]。

2 功能性小麦新品种选育现状

目前，隐形饥饿受到了国内外高度重视。主要是因为人类膳食不平衡和微量营养缺乏导致，而具有特殊用途的功能性小麦中的营养成分丰富，是目前小麦育种的重要方向，可以利用生物育种技术培育富含各种微量营养的优良作物品种，比如在紫粒小麦品种中，酚含量和抗氧化活性较高，在酚酸化合物中，紫粒小麦的结合阿魏酸、香草酸和咖啡酸水平明显高于白粒和红粒小麦，紫粒和红粒小麦总可溶性酚酸、可溶性阿魏酸和香草酸水平显著高于白粒小麦^[20]。对具有特殊用途的功能性小麦新品种选育的评审，评审专家重点关注糯性小麦支链淀粉情况，彩色小麦主要关注除了红色、白色、黄色小麦之外的籽粒颜色等^[21]。种皮决定紫色小麦的颜色，而母本珠被细胞发育为种皮，所以说籽粒颜色取决于母本基因型^[22]，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粒小麦、野生二粒小麦、偃麦草、黑麦、赖草等远缘杂交^[23]。选用不同花青素含量等级的 10 个品种进一步进行花青素合成路径相关基因的表达分析，发现花青素含量较高品种中相关基因高表达，在花青素含量较低的品种中表达量很低或不表达^[24]。对近 25 年以来我国育成的彩色小麦品种进行性状分析，发现产量与生育期变异系数较大，彩色小麦产量选择是目前育成品种的重点关注性状，蛋白质含量呈现降低趋势，也需要重点关注^[25]，在 F₂ 代中，紫粒和蓝粒杂交后代分离严重，出现了多种籽粒颜色分离的麦穗以及多种籽粒颜色分离类型。各籽粒颜色间，红粒对紫粒为显性，红粒和紫粒对蓝粒为显性，红粒、紫粒和蓝粒对白粒为显性。在遗传上，紫粒遗传是通过果皮，蓝粒表现花粉直感，除此之外，紫粒和蓝粒杂交后代中粒色还存在

复杂的基因互作模式^[26]。在进行杂交组配选育彩色小麦品种时，应注重选择花青素种类多且花青素含量高的种质资源，可与遗传相似度低的其他种质资源进行杂交组配^[27]。有研究表明，黑小麦早期的农艺性状偏重草的习性更多一些，在选择时早代要求要降低，但高代株行不能对其降低要求，分蘖成穗率应该更加重点考察^[28]。近年来，本课题组重视对具有特殊用途的功能性彩色小麦新品种的选育，选育的泰科紫麦 1 号、泰科紫麦 2 号及泰科紫麦 3 号分别于 2019 年、2021 年及 2023 年通过山东省农作物品种审定委员会审定，其中泰科紫麦 2 号具有高产、稳产、广适、籽粒好等优点^[29]。

在自然界中，水稻、玉米、高粱等谷类作物中有天然全糯品种，但天然全糯的小麦品种并没有^[30]。一般是人工培育得到全糯小麦。2000 年，我国育成了首例糯麦-农大糯麦^[31]。随着育种技术不断更新，糯小麦品种数也有所增加^[32]。对小麦糯性选择来说，早世代是关键时期，需在 F₁ 代进行籽粒胚乳外观的鉴定筛选。小麦淀粉特性改良中，W_x 基因缺失是比较可靠的遗传基础^[33]，W_x 基因缺失后，不会影响小麦的农艺性状^[34]。研究指出小麦糯性是由位于 7A、4A 和 7D 染色体上的 3 对隐性基因分别是 W_x-A₁b、W_x-B₁b 和 W_x-D₁b 控制，育种中出现 3 对基因同时隐性纯合或缺失，会产生全糯质突变体即糯小麦^[35-36]。F₂ 代中采用 W_x 基因标记进行分子标记跟踪检测，高世代则需要农艺性状和产量性状综合考察，同时需要鉴定小麦糯性指标，进行农艺、产量以及品质的协同选择^[37]。研究表明，糯小麦粉没有较强的面筋品质，同时面筋结构也比较松散，这就造成加工时成形困难，进一步对糯小麦形成时间产生影响^[38]，糯小麦具有比较高的淀粉黏度，但流变学特性不好，导致在制作食品时生产加工比较困难，主要因为目前选育的糯小麦新品种的面筋蛋白质量不高^[39]。在糯小麦品种选择上，注重提高糯小麦筋力的选择能够改善糯小麦面团流变学特性，并提高烘烤食品品质^[40]。

3 栽培技术

3.1 水肥条件对功能性小麦影响

水分能够影响彩色小麦灌浆期光合作用，有研究表明花后水分供应土壤相对含水量（75%~85%）能够有效提高旗叶 SPAD 值和净光合速率，延长光

合作用时间,土壤相对含水量(35%~45%)不利于灌浆后期光合作用,增施氮肥有利于籽粒的灌浆速率提高,同时使得灌浆持续时间变短,影响籽粒灌浆,最终对粒重增加产生不利影响^[41]。全糯小麦对水分要求较高,研究发现全糯品种在水分条件充足的条件下,其SOD、POD、CAT的活性均最高,且产量达到最高值^[42]。施氮能改善小麦花后旗叶光合特性,延长旗叶光合作用功能期,并显著提高不同粒色小麦品种成熟期各器官的氮素含量和籽粒中总蛋白质及其组分含量,随施氮量的增加,不同粒色小麦品种醇溶蛋白和麦谷蛋白比增加,这两者是面筋的主要组成成分,可见提高施氮量能够改善面粉加工品质^[43]。氮肥追施比例增加,能够提高糯小麦蛋白质含量、沉降值、湿面筋及可溶性糖含量等,但氮肥基施比例提高能够提高糯小麦总淀粉及支链淀粉含量,生产上可根据品质需要适当变化氮肥施用比例^[44]。

3.2 播期播量对功能性小麦影响

关于播期播量对具有特殊用途的功能性小麦影响研究较少,但播种时期和播种密度影响小麦产量及籽粒品质。目前的研究来看,晚播对不同播量下西农黑大穗的产量均有明显提高^[45],对于糯小麦品种来说,支链淀粉含量非常高,是其糯性的重要指标。研究表明,适时早播有利于宁糯麦1号的淀粉含量的提高,密度对其影响不大^[46]。与普通小麦相似,提高种植密度能够提高糯小麦有效穗数、穗粒数和千粒重,进而获得糯性小麦产量的提高^[47]。

4 展望

彩色小麦具有丰富的营养,蛋白质和膳食纤维含量均较高,同时也有多种种类的维生素和矿物质,是在传统小麦基础上衍生的新的谷物资源,需要进一步开发和研究。产业化发展彩色小麦,能够提高小麦附加值,对于乡村振兴具有推动作用^[48]。从目前的研究来看,彩色小麦的研究处在比较基础阶段,色素类功能性小麦的研究仍处于起始阶段,未来需要培育更加高效的色素类功能性谷物,并对其代谢组学特性及功能性品种的代谢组差异进行检测,保证功能性育种的稳定性、丰富性和可靠性。与非糯性小麦相比,糯性小麦产量较低,实现其高产稳产应该是在提高结实粒数的基础之上重点提高粒重^[49]。同时,彩色小麦的遗传机理研究缺乏,

对于彩色小麦进行的通过栽培技术提高产量和改良品质方面的研究也较少,多数研究集中在小麦加工品质上^[50],对彩色小麦功能性品质的提升研究报道较少,彩色小麦的附加值有待挖掘。本课题组指出与普通小麦相比,黑小麦有开颖授粉、花粉直感现象,因此实际种植中应连片种植,如能与加工企业、种粮大户或专业合作社联合攻关会取得更好的效益^[51]。作为小麦育种和技术推广工作者,下一步应该加强功能性小麦优良新品种的选育,及时更新栽培技术,并与公司合作,做好具有特殊用途的功能性小麦农产品的开发工作。

参考文献

- [1] Andersson A, Dimberg L, Aman, et al. Recent findings on certain bioactive components in whole grain wheat and rye[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 59(3):294-311.
- [2] Jones, Julie, M, et al. Carbohydrates, Grains, and Wheat in Nutrition and Health: An Overview Part II. Grain Terminology and Nutritional Contributions[J]. Cereal Foods World, 2015, 60(6):260-271.
- [3] 张小燕,高道竹,高向阳.特殊粒色小麦研究进展[J].粮油食品科技,2016,24(04):7-11.
- [4] 胥倩,苗永辉,刘振,等.特殊颜色谷物研究进展和小麦相关新品种创制[J].粮油食品科技,2021,29(02):41-49.
- [5] 吕强,熊琰,马超,等.彩色小麦与普通小麦产量形成差异及其生理基础研究[J].作物杂志,2008(01):41-43.
- [6] 曲敏.“哈师”黑粒小麦全麦粉的品质评价[J].食品科学,2011,32(15):43-45.
- [7] Yoshida K, Mori M, Kondo T. Blue flower color development by anthocyanins: from chemical structure to cell physiology[J].Natural product reports,2009,26(7):884-915.
- [8] 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[J].食品安全质量检测学报,2015,6(06):2262-2268.
- [9] 任根深,黎哲,王亚翠,等.彩色小麦新品种陇紫麦2号选育报告[J].甘肃农业科技,2019(01):1-4.
- [10] Hosseini F S, Li W, Beta T. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat[J]. Food Chemistry,2008, 109(4):916-924.
- [11] Tang X Z, Dong Y X,Wei S Q, et al.Antioxidant activity of pigment extracted from green-wheat-bran[J].Agricultural Science in China, 2010, 9(6):825-832.
- [12] Zhai R,Wang Z,Yang C, et al. PbGa2ox8 induces vascular-related anthocyan in accumulation and contributes to red stripe formation on pear fruit[J]. Horticulture research, 2019, 6(1): 1-13.
- [13] 田纪春,胥倩.功能性小麦品种的概念、类别和发展前景[J].粮油食品科技,2021,29(02):1-8.
- [14] 于章龙,刘瑞,宋昱,等.运黑系列黑小麦营养品质分析[J].麦类作物学报,2018,38(05):558-562.
- [15] 王伟,苏东民,陈志成.彩色小麦粉复配技术对馒头品质的影响[J].粮食与油脂,2016,29(10):47-49.
- [16] Batey I L, Curtin B M, Moore S A. Optimization of Rapid-Visco analyser test conditions for predicting Asian noodle quality[J]. Analytical Techniques and Instrumentation, 1997, 74(4): 497-501

- [17] 李伯群,余国东,马强,等.糯小麦与普通小麦品质性状差异比较研究[J].西南农业学报,2011,24(02):414-417.
- [18] Sarka E, Dvoracek V. New processing and applications of waxy starch (a review)[J].Journal of Food Engineering, 2017, 206(AUG.):77-87.
- [19] 孙链,孙辉,雷玲,等.糯小麦粉配粉理化特性及其对馒头品质的影响[J].中国粮油学报,2009,24(01):5-10.
- [20] 张正斌,徐萍,张锦鹏,等.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[J].植物遗传资源学报,2022,23(06):1572-1584.
- [21] 朱大洲,武宁,张勇,等.陈萌山.营养导向型作物新品种选育与审定现状、问题与展望[J].作物学报,2023,49(01):1-11.
- [22] 卜祉木. 紫色小麦粒色调控位点的发掘:[D].泰安:山东农业大学,2021:1-51.
- [23] 徐萍,张正斌,张锦鹏,等.彩色小麦基因发掘和种质资源育种利用[J].植物遗传资源学报,2022,23(06):1549-1571.
- [24] 苏培森,隋超,颜君,等.不同小麦品种花青素含量多样性及其合成基因表达分析[J].山东农业科学,2022,54(12):9-17.
- [25] 张敏敏,闫秋艳,董飞,等.近 25 年我国审定的彩色小麦农艺性状及品质特征分析[J/OL].植物遗传资源学报:1-15
- [26] 何秀平,张正斌,徐萍,等.彩色小麦 F₂ 代种皮颜色遗传规律[J].西北农业学报,2013,22(09):35-40.
- [27] 杨丽娟,付亮,任星旭,朱坤,蒋志凯.15 份黑、紫色小麦种质资源的遗传差异及籽粒花青素含量[J].河南农业科学,2022,51(12):28-36.
- [28] 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,瞿妍,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[J].山东农业科学,2020,52(08):21-23.
- [29] 牟秋焕,钱兆国,米勇,王瑞霞,王超.高产广适黑小麦新品种——泰科紫麦 2 号[J].麦类作物学报,2022,42(09):1172.
- [30] 尹旭敏,高飞虎,蒋明才,等.糯小麦的特性及利用现状[J].南方农业,2009,3(06):83-84+87.
- [31] 尤明山.我国糯性小麦首创成功[J].中国农业科技导报,2000(02):7.
- [32] Urbano M, Margiotta B, Colaprico G, et al. Waxy proteins in diploid, tetraploid and hexaploid wheats[J]. Plant Breeding, 2002, 121(6):465-469.
- [33] 杨雪峰,宋维富,赵丽娟,等.Wx 基因缺失遗传效应在强筋小麦育种中的利用[J].麦类作物学报,2021,41(06):699-703.
- [34] 周军. GN1607 糯粒性状的遗传分析及改良:[D].贵阳: 贵州大学,2020:1-74.
- [35] Nakamura T, Yamamori M, Hirano H, et al. Production of waxy (amylose-free) wheat[J]. Molecular and General Genetics,1995, 248(3):252-259.
- [36] Preiss J, Sivak M N. Biology, molecular biology and regulation of starch synthesis [J]. Genetic Engineering, 1998,20 (1):177-223.
- [37] 刘爱峰,韩冉,程敦公,等.白粒全糯性小麦品种的选育实践与体会[J].山东农业科学,2021,53(05):133-137.
- [38] Zhang H, Zhang W, Xu C, et al. Studies on the rheological and gelatinization characteristics of waxy wheat flour[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64:123-129.
- [39] 徐鑫,张晓,李曼,等.糯小麦的开发和应用研究进展[J].麦类作物学报,2018,38(07):863-870.
- [40] 文莉,张晓,张晓祥,等.不同糯小麦品种(系)品质及其烘烤制品研究[J].麦类作物学报,2021,41(05):553-560.
- [41] 王美,赵广才,石书兵,等.施氮及控水对黑粒小麦旗叶光合特性及籽粒灌浆的影响[J].核农学报,2017,31(01):179-186.
- [42] 李妍,张同新,刘冉,等.灌水对不同糯性小麦旗叶抗氧化酶活性的影响[J].江苏农业科学,2022,50(09):76-82.
- [43] 王美,赵广才,石书兵,等.施氮量对不同粒色小麦花后光合特性及成熟期氮素分配和籽粒蛋白质组分的影响[J].麦类作物学报,2015,35(06):829-835.
- [44] 瞿妍. 糯小麦高产群体形成生理与施肥调控技术研究:[D].扬州:扬州大学,2015:1-178.
- [45] 李世锋,豆春蕾,张立强,等.不同播期、播量和肥力对西农黑穗彩色小麦农艺性状及产量的影响[J].陕西农业科学,2020,66(09):6-8.
- [46] 张巧凤,田峰秀,付必胜,等.不同播期、密度及氮肥运筹对糯小麦宁糯麦 1 号产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2016,44(12):133-136.
- [47] 王娜,杨竹,周宾寒,等.种植密度和施氮量对长糯麦 1 号小麦农艺性状及产量的影响[J].现代农业科技,2022(23):16-18+22.
- [48] 吉克呷呷,谢三作,辜义芳,等.彩色小麦新品系比较试验[J].现代农业科技,2022(21):47-50.
- [49] 瞿妍,丁锦峰,车正,等.种植密度对扬糯麦 1 号籽粒产量与群体质量的影响[J].麦类作物学报,2014,34(04):521-527.
- [50] 王岩东.播期和播量对彩色小麦泰紫 1 号产量与品质的影响[D]. 陕西: 西北农林科技大学,2022: 1-46.
- [51] 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[J].山东农业科学, 2021, 5: 138-141.