

周杨,李枫,彭少兵,等.我国弱筋小麦产业现状及发展对策[J].华中农业大学学报,2025,44(2):145-157.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.02.015

我国弱筋小麦产业现状及发展对策

周杨^{1,2},李枫¹,彭少兵¹,王东²,满建国¹

1. 华中农业大学植物科学与技术学院,武汉430070; 2. 西北农林科技大学农学院,杨凌712100

摘要 弱筋小麦适于制作饼干、糕点等食品,随着国内饼干等食品消费量持续增长,弱筋小麦需求量也逐步增加。近年来,我国弱筋小麦进口量居高不下,提升国内弱筋小麦产量与品质势在必行。为提升我国弱筋小麦的竞争力、推动弱筋小麦产业的可持续发展,结合国内弱筋小麦优势产区分布和区域内科研单位的已有研究成果,分析我国弱筋小麦发展现状以及存在的优质品种不足、评价体系不健全、弱筋品质不佳、栽培技术待优化、配套栽培技术广适性不足和进口依赖性等产业问题,为应对这些挑战,我们需要优化评价体系、强化基础研究,选育优良品种,并推动栽培技术的创新与应用。为此,提出加强弱筋小麦产业的基础研究,优化品种选育流程,创新栽培技术,并加快产业化应用的步伐。

关键词 弱筋小麦; 品种选育; 栽培技术; 品质提升; 产业问题

中图分类号 S512.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)02-0145-13

弱筋小麦是指籽粒软质、蛋白质含量低、面筋强度弱、延伸性较好,适于制作饼干、糕点等食品的专用型小麦^[1]。20世纪末,我国小麦生产出现结构性过剩,普通小麦生产过剩,专用小麦生产不足等问题^[2]。鉴于此,农业农村部(原农业部)开始针对性地大力发展优质专用小麦,于1999年制定了优质弱筋小麦质量标准(GB/T 17893—1999),并在2013年对弱筋小麦部分品质指标进行了补充和优化(GB/T 17320—2013),要求籽粒容重 ≥ 750 g/L、籽粒硬度 < 50 、降落数值应 ≥ 300 s、湿面筋含量(14%水分基) $< 26\%$ 、粗蛋白含量(干基) $< 12.5\%$ 、Zeleny沉淀值 < 30 mL,面团稳定时间应 < 3 min。2001年通过了中国小麦品质区划方案(试行),在2003年制订了我国优质专用小麦优势区发展规划,其中长江中下游属优质弱筋小麦产业带,2023年种植面积约为86万 hm^2 ^[3-6]。农业农村部于2016年和2021年分别发布《全国种植业结构调整规划(2016—2020年)》《“十四五”全国种植业发展规划》,提出大力发展优质专用小麦,优化品质结构。2024年中央一号文件进一步提出,实施绿色高产高效行动,推进品种培优、品质提升、品牌打造和标准化生产,抓好粮

食和重要农产品供给,确保国家粮食安全。因此,发展优质弱筋小麦产业是对标产业兴农、粮食增产、品质提升的重要实践,是在国家战略布局下推进乡村振兴的重大举措。

据2021年中国小麦(面粉)产业报告显示,我国小麦消费总量为14 554万t,其中饼干生产消费量在1 250万t以上^[7],年均增长率为11.04%,而国内弱筋小麦产量仅能满足生产需求量的10%左右,仍然需要从美国(软红冬麦)和澳大利亚(标准白麦)等国大量进口^[8-9]。由此可见,我国弱筋小麦生产发展还有很大的提升空间^[9],分析我国弱筋小麦生产现状与研究进展,明确限制弱筋小麦产业发展的关键核心问题,对于进一步提升我国弱筋小麦产量水平和品质性状至关重要。

1 我国弱筋小麦生产区域及现状

我国弱筋小麦产区主要分布在黄淮南片麦区、长江中下游麦区和西南麦区,其中长江中下游麦区是发展优质弱筋小麦的优势区^[10-11]。该区域属亚热带季风气候区,气候湿润,热量条件良好,年降水量800~1 300 mm,小麦生育中后期降水偏多,有利于

收稿日期:2024-06-29

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFD2300205);华中农业大学乡村振兴荆楚行项目

周杨,E-mail:zhouyang2023@nwafu.edu.cn

通信作者:满建国,E-mail:jgman@mail.hzau.edu.cn

低蛋白质含量的形成和弱筋小麦的生产,主要分布于江苏、河南、安徽和湖北四省^[6]。此外,在四川、云南、贵州等部分区域也有弱筋小麦种植,尤其是近年来酿酒专用弱筋小麦的需求不断增大,长江上游弱筋小麦种植面积不断增加^[11-14]。

不同省份弱筋小麦分布区域和主栽品种差异较大。据调查和统计,2020—2023年江苏省弱筋小麦种植区域主要集中于沿江、沿海以及苏南太湖和丘陵地区,总种植面积约53万hm²,主要优质弱筋小麦推广品种为宁麦系列(宁麦13号、宁麦36)、扬麦系列(扬辐麦2号、扬麦9号、扬麦13、扬麦15、扬麦20和扬麦22等)等^[14-15]。河南省专用弱筋小麦生产区主要分布于豫南沿淮优质弱筋小麦适宜生态区,包括信阳、驻马店、南阳等,常年种植面积约20万hm²,主推品种有扬麦15、皖西麦0638和农麦126等^[16-17]。湖北省则主要分布在鄂北麦区和江汉平原麦区,总面积约6万~7万hm²,大规模种植的品种为扬麦30、鄂麦580、襄麦21、西铭318、鄂麦007、泛麦8号等^[18-20]。安徽省主要集中于沿淮及江淮丘陵地区,主要包括阜南县、怀远县、寿县、天长市、长丰县、裕安区等地,全省种植面积约6.7万hm²,以宁麦系列、扬麦系列和皖西麦0638等为主要种植品种^[21-22]。四川省是酿酒专用弱筋小麦种植适宜生态区,中北部麦区山地、丘陵、平坝相间分布,非常适合优质弱筋小麦生产,酿酒专用粮基地面积6万hm²以上,以绵麦902和川辐14为主推品种^[13,23]。云南省也是我国弱筋小麦生产适宜区,主要分布于云南南部的德宏、临沧、元江、新平等地,当地优质弱筋小麦主要有德麦8号、云麦114等^[12]。贵州属云贵川中筋、弱筋冬麦区,其中低海拔多雨的镇远、从江、铜仁、天柱、正安等东部麦区是弱筋小麦适宜种植区,安麦5号、黔麦19号等是当地主栽品种^[24-25]。

2 我国弱筋小麦主要研究机构及进展

虽然我国弱筋小麦品种培育工作起步较晚,且主要集中在高校和科研院所,但新育成的弱筋小麦品种在抗病性和弱筋品质方面有较大的提升,为我国弱筋小麦产业发展奠定了重要的种源基础。据统计(表1),近10年来,江苏省里下河地区农业科学研究所、江苏省农业科学院、扬州大学等研究机构相继培育出扬麦24、扬辐麦8号、扬麦30、光明麦1311、农

麦126^[26]等优异品种;安徽省农业科学院、六安市农业科学研究所等相继育成宁麦24、皖西麦0638^[27]、豪麦13等多个弱筋品种;河南省农业科学院小麦研究所、郑州市农林科学研究所等育成了郑麦103、郑麦113、郑农4108等品种;湖北省农业科学院、华中农业大学、襄阳市农科院等相继育成了以鄂麦426^[28]、鄂麦251、襄麦21、鄂麦007等为代表的优质弱筋品种;四川农业大学、四川省农业科学院、绵阳市农科院等培育出蜀麦114、川辐14^[29]、绵麦902^[13]、绵麦907等品种,其中绵麦902为四川省酿酒专用小麦品种,为国家重点研发计划标志性成果;贵州省旱粮研究所培育了黔兴麦1号^[30]、安麦8号、黔麦21号等高产抗优质的弱筋小麦品种。

由表1和表2可见,近10年来我国育成的弱筋小麦品种蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间分别为9.6%~13.2%、18.4%~28.3%和1.1~5.3 min,近5年育成品种的蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间及这3个指标的年际变异系数均小于2013—2018年的品种,表明近年来育成的弱筋小麦品质更加稳定。美国是我国弱筋小麦的进口来源大国,其软质小麦包括软白麦和软红冬麦,根据美国小麦协会发布的《2023年农作物质量报告》(<https://www.uswheat.org/>)显示,近5年美国软白麦的平均籽粒蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间分别为10.0%、22.5%和2.5 min,软红冬麦分别为10.8%、21.0%和1.7 min(表2)。与美国软白麦和软红冬麦相比,我国弱筋小麦在同一指标下的数值略高,与美国软白麦品质更加接近。刘丰等^[31]研究了美国软麦籽粒品质变化趋势及对我国弱筋小麦标准达标度,结果表明对标我国弱筋小麦标准GB/T 17320—2013《小麦品种品质分类》,软红冬麦对中国弱筋小麦标准的达标度更高,籽粒蛋白质含量、蔗糖溶剂保持力和吹泡仪W值可用于弱筋小麦品质评价,并指出我国弱筋小麦标准对籽粒蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间要求过于严格。我国国家粮食和物资储备局科学研究所于2022年扦取了1377份小麦样品(403个品种),品质检测结果显示,符合GB/T 17320—2013《小麦品种品质分类》弱筋标准的小麦样品共有12个,其中7个样品来源于四川,3个来源于湖北,安徽和山东分别有1个样品,该批样品的湿面筋含量为19.3%,面筋指数平均为92,2个指标均接近甚至优于美国软白麦和软红冬麦^[32],可见我国当前种植的弱筋小麦具有比较好的蛋白质品质和低的湿面筋含量。

表1 2013—2023年我国育成的部分弱筋小麦品种(按审定时间和品种名称排序)
Table 1 Some weak gluten wheat varieties developed in China from 2013 to 2023
 (sorted by approval time and variety name)

品种名称 Variety name	组合来源 Sources of varieties	审定时间(审定省份) Approval time (province of approval)	蛋白质含量/% Protein content	湿面筋 含量/% Wet gluten	稳定时 间/min Stability	吸水率/% Absorption
临麦16 Linmai 16	ME/Q-24	2013年(云南) 2013 (Yunnan Province)	11.7	20.6	2.1	65.3
临麦35号 Linmai 35	永2H15/9130-8 Yong 2H15/9130-8	2013年(甘肃) 2013 (Gansu Province)	9.9	18.6	1.4	—
川麦66 Chuanmai 66	99-1572/98-266//01-3570	2014年(四川) 2014 (Sichuan Province)	12.9	23.7	1.8	—
黔兴麦1号 Qianxingmai 1	92R149/兴育7号 92R149/Xingyu 7	2014年(贵州) 2014 (Guizhou Province)	12.3	23.6	—	—
绵麦51 Mianmai 51	1275-1/99-1522	2014年(国审)、2019年(河南) 2014 (Nationallu approved), 2019 (Henan Province)	12.2	24.1	1.4	51.4
郑麦103 Zhengmai 103	周13/D8904-7-1//郑004 Zhou 13/D8904-7-1/Zheng 004	2014年(河南)、2019年(国审)、2021 年(河南) 2014 (Henan Province), 2019 (Na- tionallu approved), 2021 (Henan Province)	12.6	26.2	2.2	54.6
川麦68 Chuanmai 68	99-1572/98-266//01-3570	2015年(四川) 2014 (Sichuan Province)	9.8	18.5	1.7	—
川麦92 Chuanmai 92	内麦8号/间3//川麦42 Naimai 8/Jian 3/Chuanmai 42	2015年(四川) 2014 (Sichuan Province)	12.8	24.7	1.2	—
安麦8号 Anmai 8	黔麦15/安麦5号 Qianmai 15/Anmai 5	2015年(贵州) 2014 (Guizhou Province)	12.1	23.4	1.5	—
川辐7号 Chuanfu 7	02中5X/4093(云繁99G321/郑麦 9023) 02 5X/4093 (Yunfan 99G32 1/Zhengmai 9023)	2015年(四川) 2015 (Sichuan Province)	11.7	22.5	1.3	—
德麦8号 Demai 8	882-191/德麦3号 882-191/Demai 8	2015年(云南) 2015 (Yunnan Province)	11.8	20.5	5.3	—
宁麦24 Ningmai 24	宁麦9号选系 Ningmai 9 Selection Series	2015年(安徽) 2015 (Anhui Province)	12.5	26.6	4.6	63.0
扬麦24 Yangmai 24	扬麦17//扬麦11/豫麦18 Yangmai 17/Yangmai 11/Yumai 18	2015年(浙江)、2017年(安徽)、2020 年(国审) 2015 (Zhejiang Province), 2017 (An- hui Province), 2020 (Nationallu ap- proved)	12.3	25.1	3.2	53.5
绵麦112 Mianmai 112	绵06-367/99-1522 Mian 06-367/99-1522	2016年(四川) 2016 (Sichuan Province)	10.5	20.3	1.2	—
豪麦13 Haomai 13	扬麦158/扬麦11 Yangmai 158/Yangmai 11	2016年(安徽) 2016 (Anhui Province)	12.1	26.3	2.9	53.6
川麦601 Chuanmai 601	(贵农21/SW3243)F1/(川麦42/川 麦44)F1 (Guinong 21/SW3243) F1/(Chuanmai 42/Chuanmai 44) F1	2016年(四川)、2018年(国审) 2016 (Sichuan Province), 2018 (Na- tionallu approved)	12.5	25.4	2.5	—
皖西麦0638 Wanximai 0638	扬麦9号/Y18(宁麦8号/遗943169) Yangmai 9/Y18 (Ningmai 8/Yi 943169)	2016年(安徽)、2018年(国审) 2016 (Anhui Province), 2018 (Na- tionallu approved)	11.7	20.6	1.4	—
鄂麦006 Emai 006	陕65/上海保山279//丰优7号 Shaanxi 65/Shanghai Baoshan 279//Fengyou 7	2017年(湖北) 2017 (Hubei Province)	12.0	23.2	—	—
光明麦4号 Guangmingmai 4	扬麦13/NY393 Yangmai 13/NY393	2017年(上海) 2017 (Shanghai)	11.4	21.9	1.4	59.0

续表1 Continued Table 1

品种名称 Variety name	组合来源 Sources of varieties	审定时间(审定省份) Approval time (province of approval)	蛋白质含量/% Protein content	湿面筋 含量/% Wet gluten	稳定时 间/min Stability	吸水率/% Absorption
黔麦21号 Qianmai 21	贵农001/2038 Guinong 001/2038	2017年(贵州) 2017 (Guizhou Province)	13.2	28.3	—	—
蜀麦830 Shumai 830	SHW-L1/川农16//Pm99915-1/3/ 03-DH1959 SHW-L1/Chuannong 16/Pm99915-1/3/03-DH1959	2017年(四川) 2017 (Sichuan Province)	12.6	25.9	2.0	—
光明麦1311 Guangmingmai 1311	3E158/宁麦9号 3E158/Ningmai 9	2018年(国审) 2018 (Nationallu approved)	11.9	24.5	3.3	—
农麦126 Nongmai 126	扬麦16/宁麦9号 Yangmai 16/Ningmai 9	2018年(国审) 2018 (Nationallu approved)	12.2	23.1	2.4	—
扬辐麦8号 Yangfumai 8	扬辐麦4号姐妹系1-1274/扬麦11 Yangfumai 4 sisters line 1-1274/ Yangmai 11	2018年(国审) 2018 (Nationallu approved)	12.6	23.4	2.2	—
兰天538 Lantian 538	02-162-10-2/兰天20号 02-162-10-2/Lantian 20	2019年(甘肃) 2019 (Gansu Province)	9.6	20.6	2.7	—
南麦660 Nanmai 660	3911/M49	2019年(四川) 2019 (Sichuan Province)	11.9	22.9	1.9	—
扬麦30 Yangmai 30	扬09纹1009/扬麦18 Yang 09 wen 1009/Yang Mai 18	2019年(国审)、2019年(江苏) 2019 (Nationallu approved), 2019 (Jiangsu)	11.7	20.1	1.9	51.5
鄂麦28 Emai 28	扬麦15/华2566 Yangmai 15/Hua 2566	2020年(湖北) 2020 (Hubei Province)	12.4	24.2	2.7	—
宁麦28 Ningmai 28	苏2037/淮麦17//Y18 Su 2037/Huaimai 17//Y18	2020年(国审) 2020 (Nationallu approved)	12.7	26.8	2.7	56.5
鄂麦007 Emai 007	陕65/上海保山279//郑麦9023 Shan 65/Shanghai Baoshan 279// Zhengmai 9023	2020年(湖北) 2020 (Hubei Province)	10.8	18.4	1.1	—
鄂麦426 Emai 426	川农42/郑麦9023 Chuannong 42/Zhengmai 9023	2020年(湖北) 2020 (Hubei Province)	12.2	23.6	1.9	—
西铭318 Ximing 318	法国白麦/郑麦9023 French white wheat/Zhengmai 9023	2020年(湖北) 2020 (Hubei Province)	11.6	21.9	1.5	—
川辐14 Chuanfu 14	云2152-2//G4359/CD1497-2 /07- 131 Yun 2152-2//G4359/CD1497- 2/07-131	2020年(四川)、2021年(国审) 2020 (Sichuan), 2021 (Nationallu ap- proved)	11.6	23.1	2.5	53.5
蜀麦114 Shumai 114	SHW-L1/SY95-71//渝98767/// ZL-21 SHW-L1/SY95-71//Yu 98767///ZL-21	2020年(四川)、2023年(国审) 2020 (Sichuan), 2023 (Nationallu ap- proved)	12.0	23.5	2.8	—
襄麦21 Xiangmai 21	襄麦48/武农148 Xiangmai 48/Wunong 148	2020年(浙江)、2023年(国审) 2020 (Zhejiang), 2023 (Nationallu ap- proved)	10.6	20.4	3.5	54.0
川麦84 Chuanmai 84	R4117/11C-990-2//1522	2021年(四川) 2021 (Sichuan Province)	12.3	25.2	2.8	—
蜀麦1862 Shumai 1862	绵阳2000-30/凡23029-9 Mianyang 2000-30/Fan 23029-9	2021年(四川) 2021 (Sichuan Province)	12.9	26.1	1.7	—
扬麦31 Yangmai 31	扬麦112/扬07纹9333 Yangmai 112/Yangmai 07 wen 9333	2021年(国审) 2021 (Nationallu approved)	12.4	26.5	2.6	55.0
南麦941 Nanmai 941	3911/30-2矮 3911/30-2 Ai	2021年(四川)、2022年(国审) 2021 (Sichuan Province), 2022 (Na- tionallu approved)	12.0	23.9	2.8	57.0
蜀麦1671 Shumai 1671	HZ10-28/K10-951	2021年(四川)、2023年(国审) 2021 (Sichuan Province), 2023 (Na- tionallu approved)	11.4	23.6	2.7	53.0

续表1 Continued Table 1

品种名称 Variety name	组合来源 Sources of varieties	审定时间(审定省份) Approval time (province of approval)	蛋白质含量/% Protein content	湿面筋 含量/% Wet gluten	稳定时 间/min Stability	吸水率/% Absorption
西科麦 475 Xikemai 475	3642/MY06Z60	2021年(四川)、2024年(国审) 2021 (Sichuan Province), 2024 (Na- tionally approved)	11.9	24.1	3.9	50.3
扬麦 32 Yangmai 32	镇麦 8号/扬麦 18 Zhenmai 8/Yangmai 18	2021年(国审) 2021 (Nationally approved)	12.0	23.8	2.4	53.5
扬麦 36 Yangmai 36	宁麦 9号/扬麦 152//镇麦 9号 Ning- mai 9/Yangmai 152//Zhenmai 9	2021年(国审) 2021 (Nationally approved)	11.6	23.5	1.5	54.8
长麦 8号 Changmai 8	镇麦 6号/扬 02G48 Zhenmai 6/Yang 02G48	2021年(湖北) 2021 (Hubei Province)	11.3	22.4	1.4	—
郑农 4108 Zhengnong 4108	兰考 21-7/周麦 16 Lankao 21-7/Zhoumai 16	2021年(河南) 2021 (Henan Province)	12.5	24.2	1.1	49.6
宁麦 36 Ningmai 36	扬麦 20/宁麦 14 Yangmai 20/Ningmai 14	2022年(江苏) 2022 (Jiangsu Province)	10.5	22.1	1.3	53.5
宁麦资 666 Ningmaizi 666	资 02-193/扬麦 12//扬麦 16 Zi 02-193/Yangmai 12/Yangmai 16	2022年(国审) 2022 (Nationally approved)	12.1	26.9	3.5	57.0
白湖麦 1号 Baihumai 1	罗麦 10号变异株系选 Selection of variant strain Luomai 10	2022年(国审) 2022 (Nationally approved)	11.5	24.7	3.2	57.0
扬辐麦 17 Yangfumai 17	扬辐麦 5号/扬麦 22 Yangfumai 5/Yangmai 22	2022年(国审) 2022 (Nationally approved)	11.2	23.9	2.9	56.5
扬麦 38 Yangmai 38	扬 16 ² /92R137 Yang 16 ² /92R137	2022年(国审) 2022 (Nationally approved)	12.0	23.9	1.7	54.0
扬麦 42 Yangmai 42	镇麦 9号///扬麦 15//扬麦 15/宁麦 9号 Zhenmai 9//Yangmai 15/ Yangmai 15/Ningmai 9	2022年(江苏) 2022 (Jiangsu Province)	12.8	24.6	2.2	57.5
川麦 1313 Chuanmai 1313	SRRPN-41/W3734 SRRPN-41/W3734	2023年(重庆) 2023 (Chongqing)	10.5	15.2	1.0	54.2
云麦 114 Yunmai 114	高代品系 2009Y1-510/云麦 53 High generation series 2009Y1-510/ Yunmai 53	2023年(云南) 2023 (Yunnan Province)	11.4	19.7	2.1	—

注:品种信息来源于中华人民共和国农业农村部网站及中国种业大数据平台;“—”表示数据无法查询。Note: Variety information is sourced from the website of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China and the China Seed Industry Big Data Platform; “—” means the data cannot be queried.

在弱筋小麦丰产优质高效理论、技术攻关和集成应用方面,以南京农业大学、扬州大学、长江大学、华中农业大学、安徽农业大学等为代表的科研院所进行了大量探索和研究。扬州大学科研团队对弱筋小麦的品质调控、群体形成、氮密调控、叶片衰老等^[15-16,33]方面进行了深入研究,创建了优质弱筋专用小麦保优节本栽培技术、弱筋小麦优质高产全环节栽培技术体系等。南京农业大学相关学者对弱筋小麦籽粒氮素、品质形成及小麦面粉理化性质、光照和调节物质等对弱筋小麦品质影响等进行系统研究,建立了相关数学模型,以评估弱光天气对优质弱筋小麦生产的影响^[34-35],构建了小麦品质定向调优技术体系等。长江大学科研团队主要探究小麦耐渍

机制,探索了阴雨寡照、高温高湿等逆境条件下稻茬小麦产量及品质形成机制,提出了优化弱筋小麦在内的稻茬小麦丰产提质增效技术途径^[34-37]。华中农业大学研究团队对不同品种弱筋小麦产量形成和氮素利用生理机制等进行了初步探索^[6,38]。安徽农业大学主要研究了弱筋小麦产量、品质以及氮代谢等,为安徽省沿淮稻茬弱筋麦区小麦高效优质栽培提供了理论依据^[39-40]。四川农业大学研究团队对弱筋小麦加工品质和酿酒品质进行了深入研究与探索^[13,41-42]。弱筋小麦关键栽培技术的研发与创新,极大提升了弱筋小麦产量和品质,农民种植积极性显著提高,对于推进弱筋小麦产业发展具有重要作用。

表2 美国软白麦与软红冬麦和中国弱筋小麦部分品质指标参数
Table 2 Partial quality parameters of American soft white wheat and soft red winter wheat and weak gluten wheat from China

部分品质指标 Partial quality parameters	美国 USA						中国 China			
	软白麦 Soft white wheat			软红冬麦 Soft red winter wheat			弱筋小麦 Weak gluten wheat			
	2022年	2023年	5 a 均值	2022年	2023年	5 a 均值	2013—2018 年均值/变异	2019—2023 年均值/变异		
			5-year mean			5-year mean	系数Aver- age/coeffi- cient of varia- tion from 2013 to 2018	系数Aver- age/coeffi- cient of varia- tion from 2019 to 2023		
籽粒蛋白/(干基) Protein of grain (0% mb)	10.8	12.6	10.0	10.9	10.6	10.8	12.0/7.1%	11.7/6.5%		
湿面筋含量/(14%湿基) Wet gluten(14% mb)	19.9	28.9	22.5	20.7	20.3	21.0	23.4/11.0%	23.0/8.3%		
面筋指数/% Gluten index	83	80	80	82	90	85	—	—		
降落数值/s Failing number	351	369	356	326	320	339	—	—		
面筋性能指数 Gluten performance index (GPI)	0.52	0.64	0.58	0.64	0.64	0.64	—	—		
溶剂保持力 Solvent retention capacity (SRC)	50% 蔗糖溶液 50% sucrose		96	97	94	90	85	93	—	—
	5% 乳酸溶液 5% lactic acid		87	105	102	102	99	107	—	—
	5% 碳酸钠溶液 5% Na ₂ CO ₃		70	68	77	71	68	74	—	—
稳定时间/min Stability	2.0	3.0	2.5	1.6	1.7	1.7	2.3/48.9%	2.1/35.1%		
吸水率/% Absorption	50.8	51.2	52.0	51.2	52.5	52.0	57.2/9.3%	54.4/4.3%		

注:5 a 均值是指2019—2023年;“—”表示数据无法查询。Note:5-year mean refers to 2019—2023; “—” means the data cannot be queried.

3 我国弱筋小麦产业问题

3.1 优质弱筋小麦品质评价指标仍不完善

制定合理的品质评价标准是提高产品质量的重要手段。我国优质弱筋小麦的主要评价依据是1999年发布的国家标准 GB/T 17893—1999《优质小麦弱筋小麦》，其中要求小麦籽粒容重不低于750 g/L，水分含量不高于12.5%，不完善粒不高于6%，杂质总量和矿物质量分别不高于1%和0.5%，要求小麦粉降落值不低于300 s，粗蛋白(干基)不高于11.5%，湿面筋含量(14%湿基)不高于22%，面团稳定时间不高于2.5 min。在此基础上，2013年又发布了GB/T 17320—2013《小麦品种品质分类》，该标准增加了籽粒硬度<50、Zeleny 沉降值<30、吸水量<56 mL/100 g的指标，并提高了小麦籽粒粗蛋白质、湿面筋含量和稳定时间的上限，要求分别低于12.5%、26%和3 min。《主要农作物品种审定标准(国家级)》中，小麦

品质也是以蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率和稳定时间为弱筋小麦的评价指标。小麦品质主要包括籽粒、面粉、面团和烘焙品质，其中籽粒、面粉和面团是小麦产品形成的三阶段，烘焙品质直接反映小麦对加工某类食品的适合度，是决定品质的最重要因素，受籽粒、面粉及面团品质影响^[31,43-45]。姚金保等^[46]认为，当前弱筋小麦标准中的籽粒粗蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间只能评价小麦是否为弱筋，无法准确评价该品种是否适合饼干和糕点的烘焙。张晓等^[47]认为，弱筋小麦的籽粒粗蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间数值偏小，更易受环境因子影响。李曼等^[48]研究发现，弱筋小麦蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间受环境影响极显著，同一品种在不同环境条件下的蛋白质含量、湿面筋含量、稳定时间存在较大差异。高德荣等^[49]认为，评价弱筋小麦品质的重要指标溶剂保持力和吹泡示功仪参数还未在弱筋品质改良中得到广泛应用。由此可见，我国现行标

准在评价弱筋小麦面团特性和终端产品上尚无指标体现,亟需建立优质弱筋小麦籽粒、面粉、面团和烘焙一体化评价体系,为优质弱筋小麦育种、生产和加工提供科学依据。

3.2 丰产优质协同提升的遗传基础与生理机制仍不明晰

前人对弱筋小麦品质形成的机制进行了大量研究并取得了重要的阶段性进展,如定位了控制籽粒蛋白质含量的QTL,揭示了调控弱筋小麦蛋白质含量、淀粉合成的遗传机制,明确了选择带有 *Xg-wm539*、*Xwmc397* 及 *Xwmc468* 的材料有利于获得低蛋白质含量的小麦品系^[46,50-51],这些研究为我国优质弱筋小麦培育和生产提供了重要的技术支撑。尽管如此,依然存在关于产量与品质协同调优的分子机制不清、品质稳定性强等重大新品种培育不足等一系列问题^[8],主要表现在稻茬、旱茬等不同环境下弱筋小麦产量与品质变异的遗传机制、基因网络调控和生理生化特征等相关基础理论科学问题尚不明晰,丰产与优质协同提升的分子调控与代谢机制仍未得到解析,抗赤霉病的丰产优质弱筋小麦重大品种培育还需持续攻关。同时,现有弱筋小麦品种的面粉品质性状往往随着气候、栽培管理的变化产生较大变异,弱筋品质性状极不稳定,生产的低筋面粉往往难以满足高品质饼干和糕点的制作要求,影响了市场竞争力和品牌价值^[10,24]。此外,与国外相比,我国弱筋小麦在面筋强度的稳定性、蛋白质含量的精准调控、以及特定烘焙品质特性(如淀粉糊化特性)的改良上仍有较大的提升空间。

3.3 丰产优质协同提升的关键栽培技术亟待突破

研究人员在弱筋小麦关键栽培技术上开展了大量卓有成效的研究,陆续阐明了氮肥、播期、密度等对弱筋小麦品质形成的调控途径,适当地增密减氮可在保证品质的基础上获得较高的产量^[40,52-55],但量质协同矛盾一直是制约弱筋小麦产业推广的主要问题。在实际生产中,农民往往倾向于施用过多的氮肥以追求更高的产量,然而过量的氮肥不仅增加了种植成本,还会极大地影响弱筋小麦的品质^[56-57]。当前弱筋小麦栽培肥料(尤其是氮肥)运筹管理、增穗降氮、根叶防早衰等技术仍不完善,仍未形成以优质弱筋小麦品种为核心的小麦量质协同提升技术体系,很大程度上制约了弱筋小麦大面积的推广应用。

此外,长江中下游稻麦轮作模式下,前茬水稻生育期延长造成的收获期推迟、小麦播前降雨过多和水稻田积水导致迟播或晚播也是影响弱筋小麦生产的一大难题。研究指出,异常天气导致土壤墒情不能满足水稻适时收割条件,造成小麦播期推迟10~20 d,后期积温不足导致小麦生育期缩短,无法形成壮苗^[58]。另外,长江中下游小麦在开花至成熟期高温多雨天气频繁发生,导致小麦早熟、穗发芽而减产,还会导致各种生物和非生物胁迫,如赤霉病、白粉病和纹枯病加重发生,给弱筋小麦安全生产带来严峻挑战。

3.4 集成技术模式到位率低,弱筋小麦产业效益不高

弱筋小麦的种植不同于普通小麦,需要极强的技术支撑。当前我国大部分地区弱筋小麦品种培育、关键栽培技术研发、示范推广等仍以科研院所为主,种业企业和食品加工企业等作为产业链重要的环节,参与程度并不高。部分具有区域适应性的优异品种育成后,因缺乏宣传推广,往往被束之高阁。现有的栽培技术往往比较独立,没有经过系统的集成整合,并且区域间气候、土壤环境差异较大,关键技术和集成技术的适用范围较为狭窄,导致推广应用难度大。同时,优质弱筋小麦产销衔接不畅,作为优质专用小麦,订单生产面积不大,缺乏大型的优质弱筋小麦种子收购企业、面粉加工企业和面制品企业,导致农户种植的弱筋小麦无法按照优质小麦价格收购,优质不优价,无法突显产业价值,挫伤了弱筋麦种植户的积极性,而若企业高价采购弱筋小麦也势必增加成本,导致弱筋小麦产品价格上升,不利于弱筋小麦产业的可持续发展。

3.5 优质弱筋小麦进口依赖严峻且渠道单一

据统计,2023年我国小麦进口量达到1 210万 t,澳大利亚、加拿大、美国、法国和哈萨克斯坦是主要进口来源国,占比分别为57.3%、21.1%、7.6%、6.7%和4.2%^[47]。在进口小麦中,优质(强筋、弱筋)小麦年进口量保持高位占比,超过60%,且自2021年起有逐年上升的趋势。2023年弱筋小麦进口来源主要是澳大利亚白麦(ASW)和美国的软红冬(SRW),来自这2个国家的进口数量占比在90%以上(<http://www.customs.gov.cn/>),进口来源单一、渠道布局不合理也严重威胁我国弱筋小麦产业发展和全国粮食安全。

4 我国弱筋小麦发展的建议及对策

弱筋小麦作为优质专用型小麦,在全国乃至全球均具有重要的市场和战略地位。目前江苏(沿江、沿海、太湖区)、河南(豫南沿淮区)、安徽(淮南、六安等)、湖北(汉江流域、江汉平原等)等均已开展产业部署研究,下一步应在评价体系、科研创新、产业应用上加强布局、合力攻关,创制能够有效利用的新品系,培育突破性优质新品种,构建轻简高效量质协同的技术体系并加以推广应用,推进我国弱筋小麦产业健康快速发展。

4.1 进一步完善弱筋小麦评价体系

对标国际弱筋小麦生产大国,澳大利亚优质麦质量定级的标准包括籽粒容重、千粒重、硬度、降落数值、出粉率、灰分和籽粒蛋白质含量及杂质率等,其中软麦(弱筋小麦)的籽粒蛋白质含量应在9.5%以下^[59]。美国小麦品质数据分为定等数据和非定等数据,定等数据包括容重、缺陷粒和杂质等,非定等数据包括粗杂、千粒重、籽粒硬度、籽粒大小、水分、蛋白、沉降值、呕吐毒素等(表2),并对面粉糊化仪黏度、溶剂保持力等面粉品质参数以及面团特性和烘焙性能等参数进行详细规定。可见,国外优质弱筋生产大国的评价标准比我国更为详细。国内学者对我国弱筋小麦评价体系也进行了大量研究,张平平等^[60]探究了优质软麦品种品质特性及其与饼干加工品质的关系,认为在籽粒硬度和蛋白含量选择的基础上,降低面筋强度和面粉综合吸水特性是软麦育种的主要目标,水溶剂保持力、乳酸溶剂保持力和揉面仪参数是软麦育种最重要的筛选指标。杭雅文等^[61]研究表明,水和蔗糖溶剂保持力、出粉率、稳定时间、硬度、弱化度、粉质质量指数、饼干厚度和饼干延展系数可以作为弱筋小麦品质评价的重要指标。刘丰等^[31]研究认为,美国软白麦品质指标间相关性较软红冬麦显著,两类软麦中籽粒蛋白质含量、蔗糖溶剂保持力和吹泡仪W值与其他品质指标相关性显著,可用于弱筋小麦品质评价。张晓等^[47]研究表明,仅以蛋白质含量、湿面筋含量和稳定时间进行弱筋小麦分类容易误判,结合硬度、沉淀值、溶剂保持力等高遗传力指标分类将更为客观准确。因此,建议在当前弱筋小麦品质评价的基础上,增加面筋指数、面粉溶剂保持力和吹泡仪参数等指标将提升我国弱筋小麦品质评价精准度,提高优质弱筋小麦重大新品种的培育效率。

4.2 加强弱筋小麦源头创新的基础研究和重大品种培育

基础研究作为科技创新源头,不仅是揭示客观规律、拓展知识边界的主要动力,更是促进应用研究、突破关键技术核心支撑。围绕产量、品质和抗性协同提升创新链的上下游,推进国家和省部级种业、丰产增效等相关重大(点)专项的系统布局,支撑相关科研单位和科学家承担研究任务。重点加强弱筋小麦基础引领和关键核心技术突破,加强搜集和鉴定国内外优质弱筋小麦品种资源,加强与国外先进育种机构的合作与交流,注重引进低蛋白、筋力弱、延伸性好、硬度低、吸水率低的优异种质,提高国内种质储存库容量。加强遗传基础研究和生物育种技术创新,利用分子标记辅助选择、基因编辑等先进技术,精准改良弱筋小麦品种面粉、面团和烘焙特性,加快产量和品质基因的精准挖掘与鉴定,探究丰产优质基因调控网络及响应机制,对现有品种进行改良,培育对赤霉病、茎基腐病和黑胚病等易产生毒素病害的抗性和适应性强的优质高产弱筋小麦品种^[47]。

4.3 加快弱筋小麦关键栽培技术创新与体系化协同推进

丰产优质协同提升是弱筋小麦生产的目标,重点在土壤耕作、水肥调控、病虫害绿色防控等方面开展技术优化与攻关,实现在优质品种基础上的机械化精播壮苗、优质增产高效施肥、主动防控病害确保丰产,实现弱筋小麦的提质增效。同时,应建立在政府主导下的弱筋小麦丰产提质增效协同攻关,鼓励种业、面粉企业、农机相关头部企业及优势科研院所组建创新联合体,建立集中力量、分工协作的攻关机制,在弱筋小麦丰产增效、智能农机、食品制造等产业链条上统筹布局,强化良种良法配套、农机农艺融合开发,充分挖掘释放弱筋小麦增产提质潜力。技术推广方面,重点对接新型经营主体和种麦大户,创建弱筋小麦核心区、示范区和辐射区等,多种形式加强关键技术培训,全程跟踪服务,指导示范区农户按照技术规程进行标准化生产管理,确保示范区弱筋小麦的产量和品质。

4.4 加速弱筋小麦产业化应用,全面提升产业效益

弱筋小麦产业化应用是以政策为引领、市场为导向、效益为中心,依靠政府政策支撑、龙头带动和

科技进步,对农业和农村经济实行区域化布局、专业化生产、一体化经营、社会化服务和企业化管理,形成贸工农一体化、产加销一条龙的农村经济的经营方式和产业组织形式。一是构建全国和区域两级弱筋小麦育繁推一体化平台,进一步优化完善优质小麦品质评价标准,建立优质弱筋小麦新品种试验基地和种植示范基地,加大弱筋小麦新品种和栽培技术在江苏沿江、沿海、太湖区,豫南沿淮区,安徽淮南区,湖北汉江流域和江汉平原等区域推广力度。二是加强产业示范园区建设,加速创建具有区域特色的优秀品牌。促进生产要素集聚配置,提升产业集聚度,通过市场需求带动当地弱筋小麦生产,促进弱筋小麦栽培技术进步、提升品种培育速度、挖掘弱筋小麦生产潜力。三是强化科研成果与县域、各级示范园区的精准对接,调动各级农业农村局、农技推广部门和龙头企业积极性,推动优质弱筋小麦订单式生产,实现种植规模化和生产标准化,促进我国小麦产业提质增效,全力保障粮食安全^[49-52]。

参考文献 References

- [1] 夏树凤,王凡,王龙俊,等.江苏省小麦籽粒蛋白质达标弱筋小麦的适生性分析与评价[J].中国农业科学,2020,53(24):4992-5004. XIA S F, WANG F, WANG L J, et al. Study on the adaptability of wheat reaching the protein content standard of soft wheat in Jiangsu Province[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2020, 53(24): 4992-5004 (in Chinese with English abstract).
- [2] 牛彦绍.我国小麦粉加工产业结构的问题与优化对策[J].河南工业大学学报(社会科学版),2012,28(4):1-4. NIU Y S. Problems involving the industrial structure of China's wheat flour processing and optimizing strategies[J]. *Journal of Henan University of Technology (social science edition)*, 2012, 28(4):1-4 (in Chinese with English abstract).
- [3] 卢布,丁斌,吕修涛,等.中国小麦优势区域布局规划研究[J].中国农业资源与区划,2010,31(2):6-12. LU B, DING B, LU X T, et al. Arrangement planning of Chinese wheat ascendant regions[J]. *Chinese journal of agricultural resources and regional planning*, 2010, 31(2): 6-12 (in Chinese with English abstract).
- [4] 胡学旭,孙丽娟,周桂英,等.2006—2015年中国小麦质量年度变化[J].中国农业科学,2016,49(16):3063-3072. HU X X, SUN L J, ZHOU G Y, et al. Variations of wheat quality in China from 2006 to 2015[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2016, 49(16):3063-3072 (in Chinese with English abstract).
- [5] HAN X M, HU C, CHEN Y F, et al. Crop yield stability and sustainability in a rice-wheat cropping system based on 34-year field experiment[J/OL]. *European journal of agronomy*, 2020, 113: 125965 [2024-06-29]. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125965>.
- [6] 李枫,周杨,尹鹏,等.长江中游不同品质类型小麦产量形成及氮素吸收利用对氮肥的响应[J].麦类作物学报,2024,44(3):370-377. LI F, ZHOU Y, YIN P, et al. Response of yield formation and nitrogen absorption and utilization of wheat with different quality types to nitrogen fertilizer in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *China industrial economics*, 2024, 44(3):370-377 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张春良.2021年中国小麦(面粉)产业报告[N].粮油市场报,2021-11-16(12).ZHANG C L. 2021 China wheat (flour) industry report [N]. *Grain and oil market report*, 2021-11-16(12) (in Chinese).
- [8] YANG X, HOU Y. Study on the current situation, risk analysis and supervision measures of biscuit industry in China[J]. *Asic & clinical pharmacology & toxicology*, 2020, 3(3): 9-12.
- [9] 张春良,赵佳.2023年国内小麦市场展望[J].粮食问题研究,2023(2):46-48.ZHANG C L, ZHAO J. Outlook on the domestic wheat market in 2023 [J]. *Grain issues research*, 2023(2):46-48 (in Chinese with English abstract).
- [10] 胡学旭,周桂英,吴丽娜,等.中国主产区小麦在品质区域间的差异[J].作物学报,2009,35(6):1167-1172. HU X X, ZHOU G Y, WU L N, et al. Variation of wheat quality in main wheat-producing regions in China[J]. *Acta agronomica sinica*, 2009, 35(6):1167-1172 (in Chinese with English abstract).
- [11] 何中虎,林作楫,王龙俊,等.中国小麦品质区划的研究[J].中国农业科学,2002,35(4):359-364. HE Z H, LIN Z J, WANG L J, et al. Classification on Chinese wheat regions based on quality[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2002, 35(4): 359-364 (in Chinese with English abstract).
- [12] 于亚雄,杨延华,刘丽,等.云南省小麦品质区划初步设想[J].云南农业科技,2001(6):3-8. YU Y X, YANG Y H, LIU L, et al. Preliminary tentative idea for the cultivars division of wheat quality in Yunnan Province[J]. *Yunnan agricultural science and technology*, 2001(6):3-8 (in Chinese).
- [13] 吴丽娟,申世安,王军强,等.四川酿酒与非酿酒小麦品种的品质性状比较研究[J].四川农业大学学报,2023,41(3):389-392. WU L J, SHEN S A, WANG J Q, et al. Comparative study on quality characters of brewing and non-brewing wheat varieties in Sichuan Province[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2023, 41(3): 389-392 (in Chinese with English abstract).
- [14] 朱冬梅,刘蓉蓉,马谈斌,等.弱筋小麦扬麦15优质高产群体调控技术研究[J].江苏农业科学,2005,33(6):16-21. ZHU D M, LIU R R, MA T B, et al. Study on the control techniques

- of high quality and high yield population in weakly gluten wheat Yangmai 15 [J]. *Jiangsu agricultural sciences*, 2005, 33(6):16-21 (in Chinese).
- [15] 徐俊,姚远,钱晨诚,等.增密减氮对弱筋小麦'宁麦13'产量和品质的影响[J].*中国农学通报*,2021,37(14):1-8. XU J, YAO Y, QIAN C C, et al. Weak gluten wheat 'ningmai 13': effect of increasing density and reducing nitrogen on yield and quality [J]. *Chinese agricultural science bulletin*, 2021, 37(14): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [16] 周国勤,申冠宇,冉忠萍,等.豫南弱筋小麦产业发展存在的问题及对策[J].*安徽农业科学*,2023,51(9):24-26. ZHOU G Q, SHEN G Y, RAN Z P, et al. Problems and countermeasures for industrialization of weak gluten wheat in southern Henan Province [J]. *Journal of Anhui agricultural sciences*, 2023, 51(9): 24-26 (in Chinese with English abstract).
- [17] 晁岳恩,杨攀,李巍,等.河南省弱筋小麦产业化发展存在的问题及建议[J].*现代农业科技*,2020(19):51-53. CHAO Y E, YANG P, LI W, et al. Problems and suggestions for industrialization of weak gluten wheat in Henan Province [J]. *Modern agricultural science and technology*, 2020(19): 51-53 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张子豪,李想成,吴昊天,等.氮肥运筹对弱筋小麦产量、品质及氮素利用的影响[J].*华北农学报*,2022,37(S1):214-220. ZHANG Z H, LI X C, WU H T, et al. Effects of nitrogen fertilizer management on yield, quality and nitrogen utilization of weak gluten wheat [J]. *North China agricultural journal*, 2022, 37(S1): 214-220 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李丰丰.弱筋小麦产量形成和氮素利用生理研究[D].武汉:华中农业大学,2021. LI F F. Physiological study on yield formation and nitrogen utilization in weak gluten wheat [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2021 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘易科,佟汉文,朱展望,等.湖北省大田小麦品质性状分析[J].*华中农业大学学报*,2014,33(1):137-140. LIU Y K, TONG H W, ZHU Z W, et al. Analysis of field wheat quality in Hubei Province [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(1): 137-140 (in Chinese with English abstract).
- [21] 任开明,王彝,杨文俊,等.施氮对稻茬弱筋小麦生长特性、品质与产量的影响[J].*浙江农业学报*,2023,35(4):769-779. REN K M, WANG B, YANG W J, et al. Effects of nitrogen on physiological growth, quality and yield of weak gluten wheat after rice stubble [J]. *Acta agriculturae Zhejiangensis*, 2023, 35(4): 769-779 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张向前,陈欢,乔玉强,等.安徽不同生态区弱筋小麦产量和品质差异分析[J].*西北农业学报*,2018,27(12):1763-1771. ZHANG X Q, CHEN H, QIAO Y Q, et al. The difference in yield and grain quality of weak gluten wheat that planting in different ecological areas of Anhui Province [J]. *Acta agriculturae boreali-occidentalis sinica*, 2018, 27(12): 1763-1771 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈艳琦,刘琼,边巴拉姆,等.施氮量对稻茬弱筋小麦原粮品质及大曲品质的影响[J].*华北农学报*,2021,36(S1):297-305. CHEN Y Q, LIU Q, BIANBA L, et al. Effects of nitrogen application rate on raw grain quality and daqu quality in wheat-rice system [J]. *Acta agriculturae boreali-sinica*, 2021, 36(S1): 297-305 (in Chinese with English abstract).
- [24] 王博.气候因子对小麦品质的影响及贵州小麦品质区划[D].贵阳:贵州大学,2009. WANG B. The effect of climate factors on wheat quality and the wheat quality divisions in Guizhou [D]. Guiyang: Guizhou University, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [25] 王伟,陈天青,隋建枢,等.优质弱筋小麦新品种黔麦19号高产栽培技术[J].*农技服务*,2016,33(15):42-43. WANG W, CHEN T Q, SUI J S, et al. High yield cultivation techniques for the new high-quality weak gluten wheat variety Qianmai 19 [J]. *Agricultural technology service*, 2016, 33(15): 42-43 (in Chinese).
- [26] 肖群,贾瑞宇,宋开业,等.弱筋小麦农麦126的选育及其栽培要点[J].*浙江农业科学*,2019,60(3):358-359. XIAO Q, JIA R Y, SONG K Y, et al. Breeding and cultivation techniques of Nongmai 126 with weak gluten [J]. *Journal of Zhejiang agricultural sciences*, 2019, 60(3): 358-359 (in Chinese).
- [27] 李志坤,时萍,姜文武,等.不同氮肥运筹对国审弱筋小麦新品种'皖西麦0638'产量及品质的影响[J].*农学报*,2023,13(3):30-34. LI Z K, SHI P, JIANG W W, et al. Effects of different nitrogen management on yield and quality of new weak gluten wheat variety 'Wanximai 0638' [J]. *Journal of agriculture*, 2023, 13(3): 30-34 (in Chinese with English abstract).
- [28] 胡学明,彭敏,刘易科,等.优质高产小麦新品种鄂麦426特征特性及栽培技术[J].*湖北农业科学*,2021,60(S1):43-44. HU X M, PENG M, LIU Y K, et al. Characteristics and cultivation techniques of high-quality and high-yield wheat variety Emai 426 [J]. *Hubei agricultural sciences*, 2021, 60(S1): 43-44 (in Chinese with English abstract).
- [29] 蒋云,张洁,宣朴,等.抗条锈病弱筋小麦新品种:川辐14[J].*麦类作物学报*,2022,42(3):250. JIANG Y, ZHANG J, XU-AN P, et al. A new weak gluten wheat variety resistant to stripe rust: Chuanfu 14 [J]. *Journal of triticeae crops*, 2022, 42(3): 250 (in Chinese).
- [30] 黄婷婷,杨敏,张恒栋,等.高抗弱筋小麦新品种:黔兴麦1号[J].*麦类作物学报*,2016,36(4):539. HUANG T T, YANG M, ZHANG H D, et al. A new variety of wheat with high resistance and weak gluten: Qianxingmai 1 [J]. *Journal of triticeae*

- crops, 2016, 36(4):539(in Chinese with English abstract).
- [31] 刘丰,蒋佳丽,周琴,等.美国软麦籽粒品质变化趋势及对我国弱筋小麦标准达标度分析[J].中国农业科学,2022,55(19):3723-3737. LIU F,JIANG J L,ZHOU Q, et al. Analysis of American soft wheat grain quality and its suitability evaluation according to Chinese weak gluten wheat standard [J]. Scientia agricultura sinica, 2022, 55(19):3723-3737 (in Chinese with English abstract).
- [32] 吴海彬.弱筋(低筋)小麦也需要好的蛋白质质量[EB/OL]. (2023-05-16) [2024-06-29]. <https://mp.weixin.qq.com/s/DmOQznpmxkS-B0UOghjw>. WU H B. Weak gluten (low gluten) wheat also requires good protein quality [EB/OL]. (2023-05-16) [2024-06-29]. <https://mp.weixin.qq.com/s/DmOQznpmxkS-B0UOghjw> (in Chinese).
- [33] ZHENG B Q,ZHAO H,ZHOU Q, et al. Relationships of protein composition, gluten structure, and dough rheological properties with short biscuits quality of soft wheat varieties [J]. Agronomy journal, 2020, 112(3):1921-1930.
- [34] 杨剑婷,夏树凤,周琴,等.面筋蛋白对小麦粉理化性质及面包烘焙品质的影响[J].麦类作物学报,2020,40(5):620-629. YANG J T,XIA S F,ZHOU Q, et al. Effect of gluten addition on the physicochemical properties and bread baking quality of wheat flour [J]. Journal of triticeae crops, 2020, 40(5):620-629 (in Chinese with English abstract).
- [35] GU Y Q,LI G,SUN Y T, et al. The effects of global dimming on the wheat crop grown in the Yangtze Basin of China simulated by SUCROS_LL, a process-based model [J]. Ecological modelling, 2017, 350:42-54.
- [36] 李秀,李刘龙,李慕嵘,等.不同小麦品种旗叶叶绿素含量、叶片显微结构及产量对花后遮光的响应机制[J].作物学报,2023,49(1):286-294. LI X,LI L L,LI M R, et al. Effects of shading postanthesis on flag leaf chlorophyll content, leaf micro-structure and yield of different wheat varieties [J]. Acta agronomica sinica, 2023, 49(1):286-294 (in Chinese with English abstract).
- [37] WEI M M,LI X,YANG R, et al. Novel insights into genetic responses for waterlogging stress in two local wheat cultivars in Yangtze River Basin [J/OL]. Frontiers in genetics, 2021, 12: 681680 [2024-06-29]. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.681680>.
- [38] 李丰丰,朱红英,段建设,等.肥料无机有机配施对稻茬小麦产量与肥料利用率的影响[J].麦类作物学报,2018,38(5):593-599. LI F F,ZHU H Y,DUAN J S, et al. Effect of combined application of inorganic and organic fertilizer on wheat yield and fertilizer use efficiency in wheat following rice [J]. Journal of triticeae crops, 2018, 38(5):593-599 (in Chinese with English abstract).
- [39] FAN Y H, LV Z Y, QIN B Y, et al. Night warming at the vegetative stage improves pre-anthesis photosynthesis and plant productivity involved in grain yield of winter wheat [J]. Plant physiology and biochemistry, 2022, 186:19-30.
- [40] 赵艳,罗铮,杨丽,等.氮肥运筹对稻茬小麦氮素转运、干物质积累、产量及品质的影响[J].麦类作物学报,2022,42(8):1001-1011. ZHAO Y,LUO Z,YANG L, et al. Effect of nitrogen fertilizer application on nitrogen translocation, dry matter accumulation, yield and quality of wheat after rice [J]. Journal of triticeae crops, 2022, 42(8):1001-1011 (in Chinese with English abstract).
- [41] 杨永恒,曹永立,马宏亮,等.播期对小麦籽粒储藏蛋白及加工品质的影响[J].核农学报,2023,37(4):811-821. YANG Y H,CAO Y L,MA H L, et al. Effects of sowing date on storage protein in wheat grain and processing quality [J]. Journal of nuclear agricultural sciences, 2023, 37(4):811-821 (in Chinese with English abstract).
- [42] LI Q,ZHANG X T,LIN N, et al. Analysis of the starch properties in tetraploid wheat *Aegilops sharonensis* amphidiploid [J]. Cereal research communications, 2021, 49(4):529-537.
- [43] 王瑞,张永科,郭勇,等.小麦不同阶段产品品质性状的变异及其关系[J].麦类作物学报,2018,38(8):900-905. WANG R,ZHANG Y K, GUO Y, et al. Variability and relationship of quality characters of wheat at different product stages [J]. Journal of triticeae crops, 2018, 38(8):900-905 (in Chinese with English abstract).
- [44] MA M M,LI Y C,XUE C, et al. Current situation and key parameters for improving wheat quality in China [J/OL]. Frontiers in plant science, 2021, 12:638525 [2024-06-29]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638525>.
- [45] 赖菁茹,王光瑞,林作楫,等.软质小麦品质与饼干烘焙品质关系的研究.中国粮油学报,1997,4(4):3-7. LAI J R,WANG G R, LIN Z J, et al. The relationship between the quality character of soft wheat and biscuit baking property. Journal of the Chinese cereals and oils association, 1997, 4(4):3-7 (in Chinese with English abstract).
- [46] 姚金保,马鸿翔,张平平,等.中国弱筋小麦品质研究进展[J].江苏农业学报,2009,25(4):919-924. YAO J B,MA H X,ZHANG P P, et al. Progress on soft wheat quality research in China [J]. Jiangsu journal of agricultural sciences, 2009, 25(4):919-924 (in Chinese with English abstract).
- [47] 张晓,张勇,高德荣,等.中国弱筋小麦育种进展及生产现状[J].麦类作物学报,2012,32(1):184-189. ZHANG X,ZHANG Y,GAO D R, et al. The development and present of weak-gluten situation of its wheat breeding production [J]. Journal of triticeae crops, 2012, 32(1):184-189 (in Chinese with English abstract).
- [48] 李曼,张晓,刘大同,等.弱筋小麦品质评价指标研究[J].核农学报,2021,35(9):1979-1986. LI M,ZHANG X, LIU D

- T, et al. Research on quality evaluation indices of weak gluten wheat[J]. Journal of nuclear agricultural sciences, 2021, 35(9): 1979-1986 (in Chinese with English abstract).
- [49] 高德荣, 宋归华, 张晓, 等. 弱筋小麦扬麦13品质对氮肥响应的稳定性分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(21): 4100-4106. GAO D R, SONG G H, ZHANG X, et al. Quality consistency of soft wheat Yangmai 13 under different nitrogen application [J]. Scientia agricultura sinica, 2017, 50(21): 4100-4106 (in Chinese with English abstract).
- [50] 蒋正宁, 刘大同, 张晓, 等. 小麦DNA去甲基化酶基因全基因组鉴定及其在籽粒发育中的表达分析[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(11): 1361-1371. JIANG Z N, LIU D T, ZHANG X, et al. Genome-wide investigation and expression analysis of DNA demethylase genes in wheat (*Triticum aestivum*) during the grain development [J]. Journal of triticeae crops, 2023, 43(11): 1361-1371 (in Chinese with English abstract).
- [51] 张晓, 陆成彬, 江伟, 等. 弱筋小麦育种品质选择指标及亲本组合配原则[J]. 作物学报, 2023, 49(5): 1282-1291. ZHANG X, LU C B, JIANG W, et al. Quality selection indices and parent combination principle of weak-gluten wheat [J]. Acta agronomica sinica, 2023, 49(5): 1282-1291 (in Chinese with English abstract).
- [52] 陆增根, 戴廷波, 姜东, 等. 氮肥运筹对弱筋小麦群体指标与产量和品质形成的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(4): 590-597. LU Z G, DAI T B, JIANG D, et al. Effects of nitrogen strategies on population quality index and grain yield & quality in weak-gluten wheat [J]. Acta agronomica sinica, 2007, 33(4): 590-597 (in Chinese with English abstract).
- [53] 汤小庆, 丁永刚, 梁鹏, 等. 减少追氮量对弱筋小麦品种农艺性状和生理特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(1): 88-95. TANG X Q, DING Y G, LIANG P, et al. Effect of top-dressed nitrogen reduction on agronomic and physiological characteristics of weak-gluten wheat cultivar [J]. Journal of triticeae crops, 2021, 41(1): 88-95 (in Chinese with English abstract).
- [54] 周文银, 李文阳, 李浩杰, 等. 追氮量与密度互作对弱筋小麦产量、品质及氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(11): 1456-1466. ZHOU W Y, LI W Y, LI H J, et al. Effects of the interaction between nitrogen application rate and density on the yield, quality, and nitrogen utilization of weak gluten wheat [J]. Journal of triticeae crops, 2024, 44(11): 1456-1466 (in Chinese with English abstract).
- [55] 钱晨诚, 陈立, 马泉, 等. 磷钾肥施用量和方法对弱筋小麦籽粒产量和蛋白质含量及养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(2): 287-299. QIAN C C, CHEN L, MA Q, et al. Effects of phosphorus and potassium fertilizer on grain yield, nutrient uptake and utilization in low-gluten wheat [J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2023, 29(2): 287-299 (in Chinese with English abstract).
- [56] 吴晓丽, 李朝苏, 汤永禄, 等. 氮肥运筹对小麦产量、氮素利用效率和光能利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28: 1889-1898. WU X L, LI C S, TANG Y L, et al. Effect of nitrogen management modes on grain yield, nitrogen use efficiency and light use efficiency of wheat [J]. Chinese journal of applied ecology, 2017, 28: 1889-1898 (in Chinese with English abstract).
- [57] 邹娟, 汤颢军, 朱展望, 等. 湖北省小麦施肥现状及分析[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(23): 5848-5852. ZOU J, TANG H J, ZHU Z W, et al. Analysis on fertilization status of wheat in Hubei Province [J]. Hubei agricultural sciences, 2015, 54(23): 5848-5852 (in Chinese with English abstract).
- [58] 张明伟. 稻茬晚播小麦群体与生理特征及密肥调控技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2018: 11-16. ZHANG M W. Formation and physiological characteristics of high-yielding population and regulation techniques with plant density and nitrogen application in late-sowing wheat following rice [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2018: 11-16 (in Chinese with English abstract).
- [59] 王旭琳, 刘锐, 吴桂玲, 等. 澳大利亚小麦品质分类标准概述[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(1): 44-49. WANG X L, LIU R, WU G L, et al. Review on quality classification standard of Australian wheat [J]. Journal of triticeae crops, 2021, 41(1): 44-49 (in Chinese with English abstract).
- [60] 张平平, 姚金保, 王化敦, 等. 江苏省优质软麦品种品质特性与饼干加工品质的关系[J]. 作物学报, 2020, 46(4): 491-502. ZHANG P P, YAO J B, WANG H D, et al. Soft wheat quality traits in Jiangsu province and their relationship with cookie making quality [J]. Acta agronomica sinica, 2020, 46(4): 491-502 (in Chinese with English abstract).
- [61] 杭雅文, 武威, 张宸茜, 等. 弱筋小麦品质指标的相关性分析及筛选[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(3): 320-327. HANG Y W, WU W, ZHANG C X, et al. Correlation analysis and screening of quality indices for weak-gluten wheat [J]. Journal of triticeae crops, 2020, 40(3): 320-327 (in Chinese with English abstract).

Situation and development strategies of weak gluten wheat industry in China

ZHOU Yang^{1,2}, LI Feng¹, PENG Shaobing¹, WANG Dong², MAN Jianguo¹

1. *College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China*

Abstract Weak gluten wheat is suitable for making biscuits, pastries and other foods. With the continuous growth of consuming biscuits and other foods in China, the demand of weak gluten wheat is gradually increasing. In recent years, the import volume of weak gluten wheat in China has remained high, and it is imperative to improve the yield and quality of weak gluten wheat in China. The current status of weak gluten wheat and the industrial problems in China including insufficient varieties with high-quality, incomplete system of evaluation, poor quality of weak gluten, need for optimizing cultivation techniques, insufficient adaptability of supporting cultivation techniques, and the dependence of importation were analyzed based on the distribution of dominant production areas for weak gluten wheat in China and the achievements of regional scientific research units to enhance the competitiveness of weak gluten wheat and promote the sustainable development of the weak gluten wheat industry in China. We need to optimize the evaluation system, strengthen basic research, breed excellent varieties, and promote innovation and application of cultivation techniques to address these challenges. Therefore, it is proposed to strengthen the basic researches about weak gluten wheat industry, optimize the breeding process of varieties, innovate cultivation techniques, and accelerate the pace of industrial application.

Keywords weak gluten wheat; breeding varieties; cultivation techniques; improvement of quality; problems in industry

(责任编辑:张志钰)