

四川小麦品种HMW-GS组成及品质参数演变分析

蒋云¹, 郝明², 刘登才², 吕季娟³, 汤述尧¹, 宣朴⁴, 郭元林¹, 陈谦¹, 王颖¹,
肖俊¹, 张洁¹

(¹四川省农业科学院生物技术核技术研究所, 成都 610061; ²四川农业大学小麦研究所, 温江 611130; ³四川省种子站, 成都 610041;

⁴四川省农业科学院农产品加工研究所, 成都 610061)

摘要: 分析了1949—2018年间, 四川省的184个小麦育成品种、1个引进品种和2个地方品种的高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS)组成和品质指标的演变。结果表明, *Glu-1A*位点有1、N、2*等3种亚基类型; *Glu-1B*位点有7、20、22、7+8、7+9、6+8、14+15和23+18等8种亚基类型; *Glu-1D*位点有5+10、2+12和3.1⁺11*⁺等3种亚基类型。共检测到23种亚基组合类型, “N/7+9/5+10”组合出现频率最高, 为12.30%。随着育种进程的发展, 四川小麦育成品种的HMW-GS组成多样性有所增加, 优质强筋亚基1和5+10的比率逐渐上升。四川小麦品种整体上属于中、弱筋类型, 除容重、沉降值上升外, 其余品质指标呈先上升后缓慢下降的趋势。本研究可为四川小麦品质的进一步改良提供参考。

关键词: 四川小麦; 高分子量谷蛋白亚基; 品质; 演变分析

Variations of HMW-GS and Quality-Related Parameters in Wheat Varieties Released in Sichuan Province

JIANG Yun¹, HAO Ming², LIU Deng-cai², LYU Ji-juan³, TANG Shu-yao¹, XUAN Pu⁴, GUO Yuan-lin¹,
CHEN Qian¹, WANG Ying¹, XIAO Jun¹, ZHANG Jie¹

(¹Biotechnology and Nuclear Technology Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610061;

²Triticeae Research Institute, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130; ³Seed Station of Sichuan Province,

Chengdu 610041; ⁴Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural

Sciences, Chengdu 610061)

Abstract: The high molecular weight glutenin subunits (HMW-GS) compositions and the quality parameters in 184 Sichuan wheat varieties (released from 1949 to 2018), one introduced variety and two landraces were analyzed. The results showed that there were three alleles at *Glu-1A* including 1, N, 2*, eight at *Glu-1B* including 7, 20, 22, 7+8, 7+9, 6+8, 14+15 and 23+18, and three at *Glu-1D* including 5+10, 2+12 and 3.1⁺11*⁺. These subunits on sub-genomes A, B, D formed 23 allele combinations, and the combination (N/7+9/5+10) was found with a frequency of 12.3%. Taking advantage of breeding effects, the allele diversity at the *Glu-1* locus, as well as the ratio of high-quality strong gluten 1 (*Glu-1A*) and 5+10 (*Glu-1D*) were gradually increased.

收稿日期: 2022-09-08 修回日期: 2022-12-07 网络出版日期: 2023-01-18

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220908001>

第一作者研究方向为作物遗传育种, E-mail: 85197544@qq.com

通信作者: 张洁, 研究方向为作物遗传育种, E-mail: christine219@163.com

基金项目: 国防科工局核能开发科研项目; 四川省重点研发项目(2021YFYZ0002-05); 成都市科技项目(2021-YF05-02264-SN); 四川省财政专项(2021ZYGG-003); 四川省科技计划(2022ZDZX0014, 2023NSFSC0220); 四川省农作物分子育种平台(No. 2021YFYZ0027); 四川省农业科学院“1+9揭榜挂帅”项目(1+9 KJGG001, 1+9 KJGG002)

Foundation projects: Nuclear Energy Development and Research Project of State Administration of Science, Technology and Industry for National Defence; The Key Research and Development Program of Sichuan Province (2021YFYZ0002-05); Chengdu Science and Technology Program (2021-YF05-02264-SN); Special Project of Sichuan Provincial Finance Department (2021ZYGG-003); Sichuan Science and Technology Program (2022ZDZX0014, 2023NSFSC0220); Crop Molecular Breeding Platform of Sichuan Province (No. 2021YFYZ0027); The 1+9 Open Competition Project of Sichuan Academy of Agricultural Sciences to Select the Best Candidates (1+9KJGG001, 1+9 KJGG002)

The medium-weak gluten wheat varieties were found with predominant proportion in Sichuan province. The increase on test weight and sedimentation value, but the increase followed by decreased on other quality traits were observed. This study can provide reference for further improvement of wheat quality in Sichuan province, China.

Key words: Sichuan wheat; high molecular weight gluten subunit; quality; evolution analysis

随着品质研究的发展,“四川小麦品质差”等笼统的概念逐渐被专家学者摒弃,研究发现四川大部分小麦种植区适宜生产优质弱筋小麦,少数区域适宜生产中、强筋小麦^[1-3],但优质专用小麦品种少,大多品种达不到优质专用麦标准的重要因素是籽粒的贮藏蛋白含量和质量不平衡^[1,4-5]。

高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS, high molecular weight glutenin subunits)是小麦籽粒中重要的贮藏蛋白,对小麦品质有重要影响,可解释小麦品种品质变异的45%~67%^[6-7]。Payne^[8]提出了HMW-GS评分表,给不同的亚基赋予不同的分值,从而可以通过HMW-GS组成预测不同品种的面包烘烤品质。不仅如此,研究还表明HMW-GS组成对几乎所有小麦加工食品品质均有不同程度的影响,如*Glu-1B*位点的17+18亚基有利于提升面条品质,而7+8亚基则有利于提升馒头品质^[9-10]。但是,四川省地方品种中缺乏优质HMW-GS,导致20世纪70年代以前四川小麦面筋质量普遍较差。颜济^[11]指出,提高四川小麦面筋强度的重要措施是加强优质高分子量谷蛋白亚基5+10的育种应用,他率先将克里木卡小麦的5+10亚基成功转育到小麦品系70-5858中,并由此衍生出一系列含5+10亚基的小麦品系。近年来,通过大力引进利用优质亚基,四川小麦缺少优质亚基的状况得到了较大改善。Gao等^[12]将河南、河北和四川小麦品种的HMW-GS组成结构进行了对比;杨恩年^[13]对四川省“十五”期间育成的44个小麦新品种的HMW-GS组成进行了分析;周强等^[14]、晏本菊等^[15]、王相权等^[16]分别对本单位育成的品种(系)的HMW-GS进行了研究,均发现四川省5+10亚基的频率比地方品种有了明显提高,四川省审定品种的HMW-GS品质评分高于全国平均水平和黄淮麦区水平。但这类研究着重对材料的HMW-GS组成进行描述,而对其品质效应报道较少。胡学旭等^[17]认为,受生态条件限制,四川省内5+10优质亚基的品质效应弱,面筋质量依然低于全国和黄淮麦区。可见,高分子量谷蛋白亚基在四川生态条件下对小麦品质的效应较为特殊,值得进一步研究,对于指导未来四川小麦品质改良和推广应用具有积

极意义。

尽管关于四川小麦育成品种HMW-GS组成演变的报道不少,但前人所选材料大多是针对本单位育成的品种(系),缺乏代表性,而时间长度多以5~10年为单位进行研究。本研究以不同时期四川育成的187个品种(引进品种、地方品种)为材料,系统的分析了HMW-GS组成和品质性状的演变,可为育种者提供四川省小麦品种品质的基本信息,从而为小麦品质育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 参试材料

参试材料共187份,包括1949—2018年育成的184个小麦品种,占同时期四川省(不含凉山州和原重庆市)育成冬小麦品种的78.6%,1个引进品种和2个地方品种,育成品种由各育种单位惠赠,地方品种和引进品种由四川农业大学提供(表1)。其中,地方品种中国春(N/7+8/2+12)和现代品种川育12(1/7+8/5+10)、川育17(N/7+9/2+12)作为高分子量谷蛋白亚基标准对照,均由四川省农业科学院生物技术核技术研究所保存。

1.2 高分子量谷蛋白亚基提取及检测

所有材料于2019-2020年度种植于四川省成都市郫都区试验基地,每份材料种植2行,行长1 m,行距27 cm,株距5 cm,田间管理与大田生产一致,

HMW-GS提取及检测参考Yan等^[18]的方法,采用十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)方法测定HMW-GS组成,其中分离胶浓度15%,浓缩胶浓度4.5%。HMW-GS的命名参照Payne等^[19]的标准。电泳仪器为北京六一仪器厂生产的DYYIII-28B型电泳槽。

1.3 品质数据来源及分析

品质数据来自历年四川省小麦区试总结,参数包括容重、蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值和稳定时间等(表1)。小麦品质标准参照2018年四川省区试规定的小麦品质标准(表2)。

数据处理及统计分析用Office excel 365和DPS数据处理软件(v7.05)完成^[20]。

表 1 参试材料及品质指标相关信息

Table 1 Relevant information of test materials and quality indicators

编号 No.	审定年份 Year of released	品种名称 Varieties name	系谱 Origin	容重(g) Test weight	粗蛋白含量(%) Crude protein content	湿面筋含量(%) Wet gluten content	沉降值 (mL) Zeleny	稳定时间 (min) Stability time
1	1949	阿勃	引进品种	—	—	—	—	—
2	1949	五一麦	成都光头/矮粒多//川福麦/碧玉麦	—	—	—	—	—
3	1949	山农205	中农28/合川光头	—	—	—	—	—
4	1949	友谊麦	阿夫/丰收麦S-6	—	—	—	—	—
5	1949	大粒早	南大2419/康波多罗	—	—	—	—	—
6	1949	成都光头	金堂县地方品种	—	—	—	—	—
7	1949	开罗	开县地方品种	—	—	—	—	—
8	1949	中国春	成都光头选系	—	—	—	—	—
9	1961	繁6	IBO1828/NP824/3/五一麦//成都光头/中农483/4/中农28B/IBO1828//NP824/阿夫	—	—	—	—	—
10	1961	繁7	繁6姊妹系	—	—	—	—	—
11	1962	大头黄	成都光头分枝麦天然杂种	—	—	—	—	—
12	1962	竹叶青	雅安早姊妹系	—	—	—	—	—
13	1964	80-8	繁6变异株	—	—	—	—	—
14	1978	川育5号	繁6姊妹系69-1776/大粒早	—	—	—	—	—
15	1984	川辐1号	同位素 ³⁴ P-β射线处理川育5号	790.0	12.75	22.48	—	—
16	1984	川育6号	繁6/川麦10号	793.0	10.27	—	—	—
17	1984	绵阳11	70-5858/繁6	759.0	13.87	27.10	—	—
18	1985	宜宾1号	NP824/IBO1828//雅安早	800.0	13.78	—	—	—
19	1988	川育9号	川育5号/3/NP824/夫诺//波兰小麦	657.0	13.42	26.98	60.00	3.30
20	1988	绵阳20	绵阳11号系选	764.0	14.96	28.08	82.50	—
21	1989	川辐3号	巴麦18/79P-6007	798.0	12.00	30.90	—	—
22	1989	川辐2号	γ-射线辐照(川辐1号/78中2882)F ₁	747.7	14.50	30.40	—	—
23	1990	宜宾6号	71-5543/阿夫乐尔	780.0	15.39	29.00	—	—
24	1992	川育12	川育8号/83-4516	777.0	13.02	28.45	—	—
25	1993	川辐4号	γ-射线辐照(川辐1号/78中2882)F ₁	784.0	16.80	33.50	—	—
26	1995	绵阳23	绵阳19/79-2812	776.0	14.96	34.50	—	—
27	1995	绵阳24	绵阳01821/83选13028	753.0	12.96	27.80	—	—
28	1995	绵阳25	T7915K-3-69/绵阳15	788.0	15.13	32.80	—	—
29	1995	绵阳26	绵阳20/川育9号	764.0	14.58	34.20	—	—
30	1996	绵阳28	T7935/绵阳11号	792.5	13.03	27.99	—	—
31	1997	川麦28	万雅2号/2874//高加索/2874/3/绵阳19	770.8	15.02	41.10	—	—
32	1997	绵阳27	81-5/川育9号	796.5	14.47	30.75	—	—
33	1999	川育14	9920/21646	802.0	14.50	37.00	29.70	3.00
34	1999	宜麦7号	87016C-4-10/绵86-5	781.0	16.90	47.30	—	—
35	1999	川麦30	1426/4/IR68-77/YAA//ALSD/3/YAZ/ ST2022/983	774.0	14.34	36.30	—	—
36	1999	绵阳29	绵阳11/95-3	794.0	14.63	35.10	—	—
37	2000	川农7号	绵阳11/84-2014	793.9	15.89	41.29	43.30	—
38	2000	川麦107	2469/80-28-7	793.0	14.60	33.80	—	—
39	2001	绵农6号	85-42/巴麦18	752.0	11.30	19.50	18.20	1.40
40	2001	川农11号	78-5038/85-DH5075	752.0	13.10	28.50	20.80	—
41	2001	川麦32	1900“S”/Ning8349//1900	776.0	13.30	29.60	—	—
42	2002	川辐5号	γ-射线辐照(绵阳88-334/88-11525)F ₁	814.0	13.20	28.80	30.00	2.90
43	2002	川育16	30020/8619-10//晋麦30	743.0	12.53	25.20	23.25	2.05
44	2002	川农16	川育12/87-429	777.0	10.90	20.30	16.25	1.30
45	2002	川麦36	SW5193/Milan选系	819.0	13.60	26.60	47.00	—
46	2002	川育17	绵阳26/G295-4	809.0	15.20	40.30	25.00	—
47	2002	川农12号	91S-23/A302	785.0	14.00	39.70	24.00	—
48	2002	川农17	91S-23/A302	784.0	14.10	35.10	19.70	—
49	2002	绵阳31	绵阳90-310/川植89-076	794.0	11.50	30.40	19.00	—
50	2002	川麦35	SW1862/2469	—	—	—	—	—

表 1 (续)

编号 No.	审定年份 Year of released	品种名称 Varieties name	系谱 Origin	容重(g) Test weight	粗蛋白含量(%) Crude protein content	湿面筋含量(%) Wet gluten content	沉降值 (mL) Zeleny	稳定时间 (min) Stability time
51	2003	绵阳33	1294/绵阳86-5	775.0	14.10	35.40	32.00	9.90
52	2003	川麦42	Syn-CD768/SW89-3243//川6415	778.0	14.10	27.85	36.70	5.15
53	2003	川麦37	88繁8/88-309	791.0	14.90	39.60	22.00	3.50
54	2003	川农10号	78-5038/85-DH5015	758.0	10.50	17.40	19.80	3.50
55	2003	内麦8号	绵阳26/92R178	765.5	13.80	33.30	29.70	3.25
56	2003	绵阳35	05363-8-1/绵优2号	795.0	14.00	34.25	28.70	3.25
57	2003	川农19	黔1104A/R935	773.0	13.60	35.50	33.00	3.15
58	2003	川育19	川育5号/墨460//绵阳26	803.0	15.60	39.00	27.40	2.65
59	2003	蓉麦2号	53283/90M776	785.0	15.00	41.80	30.00	2.50
60	2003	川麦38	Syn-CD769/SW89-3243//川6415	779.0	12.80	28.60	25.60	2.10
61	2003	川育18	川育5号/墨460//94F2-4	787.5	15.10	38.10	20.60	1.50
62	2003	绵阳30	绵阳01821/83选13028//绵阳05520-14	760.0	11.69	20.75	14.05	1.45
63	2003	川麦41	91T4135/88繁8	754.0	11.44	22.70	20.00	1.10
64	2004	川麦44	96夏440/贵农21	761.3	14.28	29.50	38.97	6.30
65	2004	内麦9号	绵阳26号/92R178	786.0	14.73	28.50	38.60	4.90
66	2004	内麦10号	绵阳26/92R178	776.0	15.50	30.40	37.90	4.90
67	2004	绵麦37	96EW37/绵阳90-100	757.0	14.76	29.66	36.72	4.58
68	2004	良麦2号	绵阳26/异源2号	772.0	14.60	33.90	16.90	2.70
69	2004	川农21	R841/黔恢3号	768.3	15.21	30.65	27.88	2.58
70	2004	绵麦38	07146-12-1/贵农19-4	774.0	15.71	31.70	31.50	2.55
71	2004	川麦43	Syn-CD768/SW89-3243//川6415	782.8	15.17	32.87	33.88	1.50
72	2005	科成麦1号	贵农22/川育12	776.0	13.52	24.60	42.60	8.10
73	2005	绵麦40	绵阳01821/贵农19-4	774.5	14.10	27.50	37.10	5.55
74	2005	绵麦39	绵阳96-78/贵农21-1	779.0	14.40	30.60	36.30	3.55
75	2005	良麦3号	N711/N301-1-1	793.0	14.00	28.80	31.90	3.10
76	2005	川麦46	Ta193-6280/96-5429	787.0	14.40	28.20	29.00	2.90
77	2005	川农23	R1685/绵阳26	798.0	13.80	29.50	25.60	2.70
78	2005	川农22	R164/86-104	815.0	16.30	36.10	34.50	2.45
79	2005	川麦47	Syn-CD786/绵阳26//绵阳26	801.0	14.60	32.70	31.90	2.45
80	2005	川麦45	GH430/SW1862	781.0	14.80	31.60	27.80	1.63
81	2006	川农26	川农19/R3301	805.0	12.70	25.40	35.50	5.40
82	2006	绵麦41	绵阳01821/90中165//贵农19-4	799.0	12.52	23.35	23.95	5.20
83	2006	绵麦43	07146-12-1/贵农19-4	758.5	15.33	28.10	36.30	4.15
84	2006	川育20	川麦30//35050/21530	798.0	14.57	28.40	24.10	3.85
85	2006	川麦49	贵农21/生核3295	785.5	13.07	26.60	29.70	3.60
86	2006	川麦48	川麦32/川麦86	776.0	13.94	29.00	30.15	2.85
87	2006	绵麦42	绵阳96-5/贵农21-1	792.5	13.96	31.20	25.35	1.95
88	2007	蜀麦375	(绵阳93-7/92R141)F ₂ /绵阳96-324	813.0	12.17	21.40	31.20	5.95
89	2007	内麦11号	品5/94-7	778.0	14.16	27.90	14.80	4.40
90	2007	绵麦1403	绵阳04854/贵农21-1	787.0	13.49	23.20	25.00	3.80
91	2007	西科麦4号	墨460/9601-3	830.0	13.86	25.80	30.90	2.95
92	2007	川农25	96I-225/91S-5-4	803.0	13.14	25.10	23.30	2.80
93	2007	良麦4号	N1491/N1071	813.0	12.74	22.80	22.00	2.30
94	2007	川农24	白粒3号/云凡52894-2	819.0	13.30	25.40	21.70	2.05
95	2007	绵麦45	07146-12-1/贵农19-4	752.5	12.79	22.20	35.90	1.90
96	2007	川育21	周88114/G159	829.0	12.97	27.30	22.40	1.55
97	2008	蜀麦482	(绵阳93-7/92R141)F ₂ /绵阳96-324	805.0	15.36	30.80	52.00	7.30
98	2008	川麦50	贵农21/生核3295	810.0	13.50	27.60	30.30	5.10
99	2008	内麦836	5680/92R133	769.5	12.77	24.65	26.90	4.00
100	2008	绵麦185	绵阳96-5/辽春10号	734.0	13.07	24.50	38.90	3.40
101	2008	绵麦46	07242-3-1-1/贵农21	798.0	14.11	29.10	43.60	3.00
102	2008	川麦51	174/183//99-1572	796.0	13.15	25.00	42.50	2.80
103	2008	川麦52	川麦36/SW1862	782.0	14.47	29.40	32.90	1.90

表1(续)

编号 No.	审定年份 Year of released	品种名称 Varieties name	系谱 Origin	容重(g) Test weight	粗蛋白含量(%) Crude protein content	湿面筋含量(%) Wet gluten content	沉降值 (mL) Zeleny	稳定时间 (min) Stability time
104	2009	川麦55	SW3243/SW8688	770.0	14.48	29.20	32.80	5.00
105	2009	川农27	川农19/R3301	802.5	15.53	31.90	12.10	3.35
106	2009	川麦53	477/绵农4号/Y314	804.0	13.49	26.20	39.90	3.20
107	2009	川麦54	92R171/98间335//DH1523	740.0	15.38	32.90	36.60	3.10
108	2009	绵麦48	绵阳01821/贵农19-4	777.0	12.45	24.20	25.30	3.10
109	2009	科成麦2号	咸阳大穗/E//多花-1/3/贵农20/4/绵阳26	791.5	14.12	26.90	27.50	3.00
110	2009	川麦56	川麦30/川麦42	784.0	14.31	29.00	27.30	3.00
111	2009	川育24	周88114/G394	816.0	14.10	29.80	30.30	1.60
112	2010	川麦58	川麦42/03间3//川麦42	788.0	13.69	27.80	34.50	3.40
113	2010	绵麦367	绵麦37/99-1522	750.5	12.50	21.40	29.20	2.25
114	2011	国豪麦15	绵阳96-5/贵19-4//NE	780.0	13.37	25.30	28.20	4.70
115	2011	川麦60	98-1231//贵农21/生核3295	789.0	14.12	30.20	32.50	3.90
116	2011	绵麦228	绵麦37/内2938/99-1522	730.0	13.90	30.30	27.20	2.70
117	2012	川麦104	川麦42/川农16	795.0	14.52	31.70	32.50	3.95
118	2012	川麦61	郑9023/间3/2/间3/3/1522	794.0	15.16	34.50	34.50	2.80
119	2012	川麦62	Fr3/SW1862	795.0	14.20	30.37	24.00	1.50
120	2012	绵麦51	绵麦37/99-1522	761.0	12.21	24.05	23.75	1.40
121	2013	内麦316	川农17号/品5	794.5	14.32	28.80	48.50	10.00
122	2013	川麦64	川麦42/川农16	780.0	13.76	26.60	43.10	8.80
123	2013	蜀麦969	SHW-L1/SW8188//川育18/3/川麦42	778.0	14.57	31.00	47.30	8.10
124	2013	川麦65	98-1231//贵农21/生核3295	806.0	12.87	27.96	35.80	6.80
125	2013	川麦63	01-3570/川农23	813.0	14.97	31.30	43.80	5.60
126	2013	蜀麦51	N711/N2401	762.0	14.30	29.80	43.00	5.10
127	2013	西科8号	97-392/云225747-5	749.5	15.39	30.60	41.80	5.00
128	2013	南麦618	2001-43-1/攀早抗	789.5	14.02	28.10	38.00	4.30
129	2013	特研麦南88	16-1/攀早抗	797.0	14.95	31.70	46.80	3.30
130	2013	绵麦1618	绵麦37//内2938/99-1522	738.0	14.08	27.60	48.50	1.90
131	2014	资麦2号	川农18变异株/川麦30	827.0	14.95	29.60	53.80	12.60
132	2014	西科麦9号	内4301/绵阳31号	801.0	13.11	25.30	36.80	5.80
133	2014	荣春南麦1号	16-1/攀早抗	837.0	13.67	26.30	55.30	5.40
134	2014	川麦90	间38/99116//川麦42	817.0	13.70	26.20	33.10	3.10
135	2014	川麦80	郑005/1522//1522	839.0	13.27	25.90	27.80	2.80
136	2014	川麦91	内麦8号/郑9023//00062/3/川麦42	819.0	14.30	26.90	36.80	2.70
137	2014	川麦67	99-1572/SW8688//01-3570	834.0	13.14	24.30	30.90	2.70
138	2014	中科麦138	川麦42/川育16	831.0	13.55	26.10	45.50	2.50
139	2014	中科麦47	W7268/硬粒小麦//川麦107	851.0	13.75	27.90	32.00	2.40
140	2014	川麦66	99-1572/98-266//01-3570	839.0	12.97	23.70	25.00	1.90
141	2015	川育25	金顶-1/41058	757.0	14.00	28.70	29.70	5.80
142	2015	川麦1131	01-3570/川农23	825.0	14.50	28.20	36.00	5.00
143	2015	川麦68	99-1572/98-266//01-3570	777.7	11.68	21.95	31.08	4.72
144	2015	宜麦9号	川农12/宜97-24	820.0	14.84	30.30	48.30	4.70
145	2015	南麦991	30-9-1/04-2-33	784.0	13.30	28.40	47.50	4.50
146	2015	川麦1145	01-3570/川农23	820.5	13.50	27.00	31.30	3.50
147	2015	川麦1247	L239-248-5/07225	756.5	11.10	22.20	27.30	3.50
148	2015	川农29	02017/R88//R131	778.0	11.60	22.40	20.20	2.70
149	2015	西科麦10号	99-55/1257	756.0	12.80	26.90	31.00	2.30
150	2015	川辐8号	39849-14-3/川农24	765.5	11.42	21.40	26.30	2.00
151	2015	科成麦4号	37147/CD02-1574-3	803.0	13.20	24.40	27.50	1.70
152	2015	川麦81	SW8019/99-1572//99-1572	748.0	10.50	21.20	20.50	1.60
153	2015	川辐7号	γ -射线辐照(02中5X/4093)F ₁	778.0	11.70	22.50	22.20	1.30
154	2015	川麦92	内麦8号/间3//川麦42	743.0	12.80	24.70	33.50	1.20
155	2015	绵麦285	绵麦37/99-1522	727.5	11.10	21.30	28.50	0.90
156	2016	川育26	川育23/4/G219/3/川育16//H5/罗布林	815.5	12.89	26.10	45.60	7.30

表 1 (续)

编号 No.	审定年份 Year of released	品种名称 Varieties name	系谱 Origin	容重(g) Test weight	粗蛋白含量(%) Crude protein content	湿面筋含量(%) Wet gluten content	沉降值 (mL) Zeleny	稳定时间 (min) Stability time
157	2016	川农 30	03FR1349-1/54789//川农 27	811.5	13.52	27.90	39.70	5.00
158	2016	西科麦 18	99-55/1257	770.5	13.29	24.90	34.50	3.00
159	2016	蜀麦 126	川育 23/B1291	815.5	13.20	27.60	41.90	2.80
160	2016	川麦 601	(贵农 21/SW3243)F ₁ /(川麦 42/川麦 44)F ₁	784.5	12.49	25.35	31.00	2.50
161	2016	科成麦 5 号	37147//川麦 37	801.5	13.95	28.75	31.15	2.20
162	2016	川麦 1826	01-3570/川农 23	770.0	10.78	22.10	26.60	2.20
163	2016	蜀麦 921	030104-13/内麦 11	789.5	13.34	27.80	39.75	1.70
164	2016	内麦 366	Balandal88/内 4344	753.0	12.10	22.80	30.80	1.70
165	2016	绵麦 112	绵 06-367/99-1522	691.0	10.50	20.30	25.30	1.20
166	2017	科成麦 6 号	CD-P35-1/98718//川育 12	793.0	12.99	25.95	38.50	5.70
167	2017	蜀麦 133	30389/B1291	778.0	12.50	23.30	29.70	3.30
168	2017	川麦 602	(贵农 21/SW3243)F ₁ /川麦 42	744.5	11.60	22.45	29.50	3.05
169	2017	川麦 82	Singh6/3*1231	770.0	11.46	23.20	30.65	3.00
170	2017	川农 32	川农 27/80978	754.0	12.45	25.30	28.25	2.50
171	2017	蜀麦 830	SHW-L1/川农 16//Pm99915-1/3/03-DH1959	759.0	12.60	25.90	20.80	2.00
172	2017	川育 27	川育 23/SW8588/3/G349//30024/NE706	810.0	12.06	22.70	38.60	1.65
173	2017	绵麦 312	贵农 21/90M434//1227-185/99-1522	767.0	11.71	19.95	28.00	1.15
174	2018	川育 29	川育 23//中植 3586/50669	829.0	14.40	28.30	-	6.60
175	2018	川麦 1546	川麦 104/川麦 60	784.5	12.90	23.80	-	4.50
176	2018	绵麦 1501	贵农 006/MY1848	791.0	12.80	25.80	-	4.30
177	2018	川麦 1557	05126/川 05 观 8	802.0	12.70	24.00	-	3.80
178	2018	川麦 604	贵农 21/SW3243//川麦 42	799.5	15.60	32.90	-	3.00
179	2018	西科麦 11	贵农 06/J20	804.0	12.30	23.20	-	3.00
180	2018	川麦 93	普冰 3504/川育 20//川麦 104	827.0	12.50	24.90	-	2.80
181	2018	嘉农麦 809	川农 23/川农 19	791.5	13.50	28.70	-	2.70
182	2018	西科麦 12	05R5404/内 6072	797.0	12.00	21.90	-	2.70
183	2018	川麦 86	R4117/1572	822.0	12.30	25.10	-	2.40
184	2018	川麦 96	间 3/川农 19//川麦 104	798.0	13.50	26.40	-	1.90
185	2018	南麦 660	3911/M49	758.5	11.90	22.90	-	1.90
186	2018	蜀麦 691	良麦 2 号/川育 18	802.0	14.00	28.90	-	1.60
187	2018	川麦 603	矮败贵农 21/绵阳 26//川麦 42	792.0	13.60	27.40	-	1.50

—表示没有数据

— indicates no data

表 2 四川省区试规定的小麦品质标准(2018 年)

Table 2 Quality standards of wheat regional tests in Sichuan province (2018)

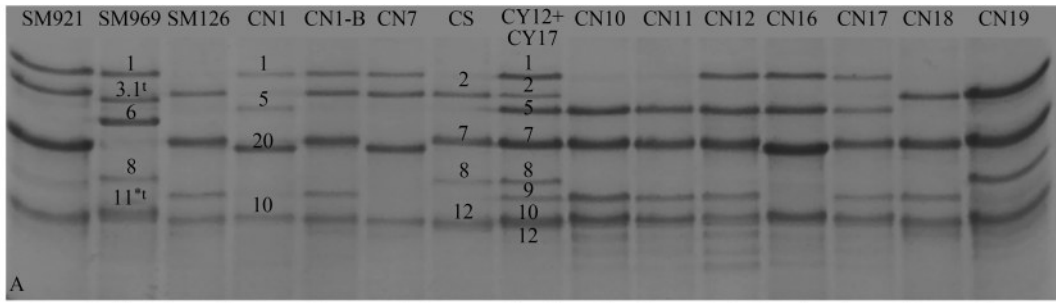
类型 Type	容重(g) Test weight	蛋白质含量(%) Protein content	湿面筋含量(%) Wet gluten content	稳定时间(min) Stability time
弱筋小麦 Weak gluten wheat	≥770	< 12.5	< 26.0	<3.0
中筋小麦 Middle gluten wheat	≥750	≥12.5	≥26.0	≥3.0 且 < 8.0
强筋小麦 Strong gluten wheat	≥770	≥14.0	≥30.0	≥8.0 且单年不低于 7 min

2 结果与分析

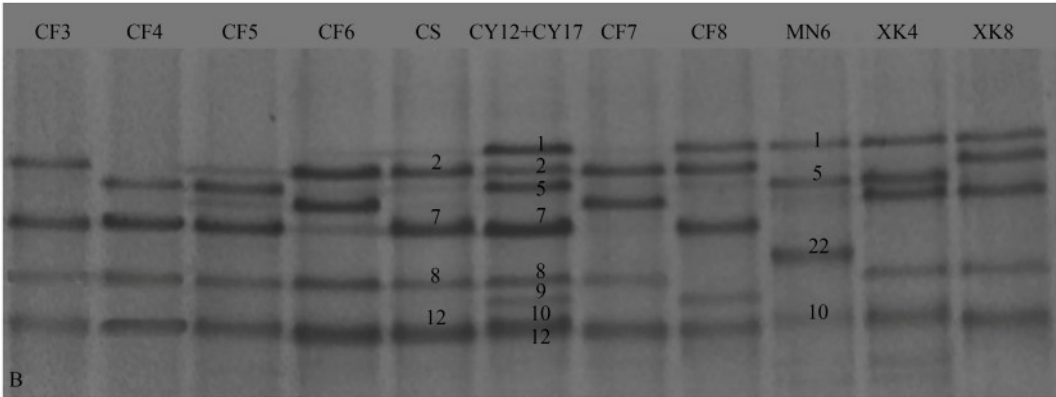
2.1 四川小麦育成品种 HMW-GS 组合类型及频率

对参试材料的 HMW-GS 组合类型及频率进行了 SDS-PAGE 分析(图 1)。结果表明,四川小麦育成品种有 14 种 HMW-GS,共 23 种组合类型,N/7+9/5+

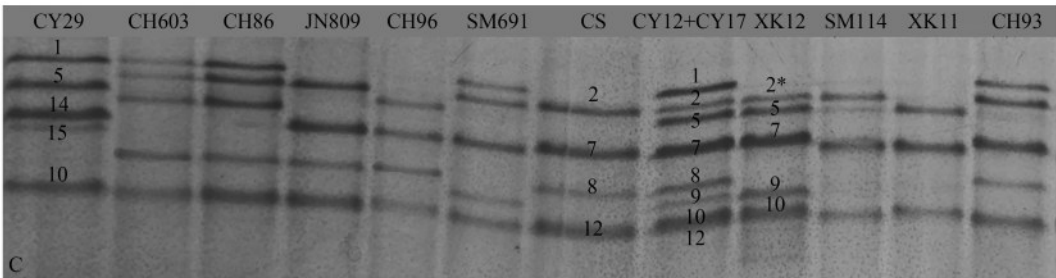
10 组合出现频率最高,为 12.30%;其次为 N/7+8/2+12、N/7+9/2+12、1/6+8/2+12 和 N/7+8/5+10 组合类型,出现频率分别为 9.63%、9.09%、8.02% 和 8.02%(表 3)。其他亚基组合类型频率较低,其中,1/14+15/5+10、1/22/5+10、1/23+18/2+12、1/6+8/3.1⁺+11*⁺、1/7/2+12、1/7/5+10 和 2*/7+9/5+10 等 7 种类型只包含 1 份材料。



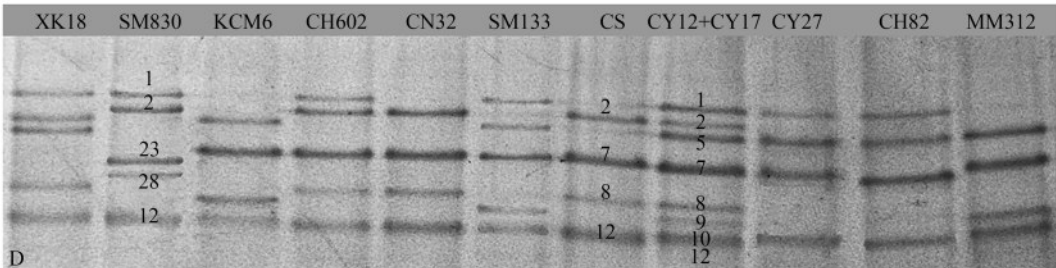
从左到右依次为：蜀麦921、蜀麦969、蜀麦126、川农1号、川农1号-B、川农7号、中国春、川育12+川育17、川农10号、川农11、川农12、川农16、川农17、川农18、川农19
 From left to right: Shumai 921, Shumai 969, Shumai 126, Chuannong 1, Chuannong 1-B, Chuannong 7, Chinese Spring, Chuanyu 12+Chuanyu 17, Chuannong 10, Chuannong 11, Chuannong 12, Chuannong 16, Chuannong 17, Chuannong 18, Chuannong 19



从左到右依次为：川辐3号、川辐4号、川辐5号、川辐6号、中国春、川育12+川育17、川辐7号、川辐8号、绵农6号、西科麦4号、西科麦8号
 From left to right: Chuanfu 3, Chuanfu 4, Chuanfu 5, Chuanfu 6, Chinese Spring, Chuanyu 12+Chuanyu 17, Chuanfu 7, Chuanfu 8, Miannong 6, Xikemai 4, Xikemai 8



从左到右依次为：川育29、川麦603、川麦86、嘉农麦809、川麦96、蜀麦691、中国春、川育12+川育17、西科麦12、蜀麦114、西科麦11、川麦93
 From left to right: Chuanyu 29, Chuanmai 603, Chuanmai 86, Jianongmai 809, Chuanmai 96, Shumai 691, Chinese Spring, Chuanyu 12+Chuanyu 17, Xikemai 12, Shumai 114, Xikemai 11, Chuanmai 93



从左到右依次为：西科麦18、蜀麦830、科成麦6号、川麦602、川农32、蜀麦133、中国春、川育12+川育17、川育27、川麦82、绵麦312
 From left to right: Xikemai 18, Shumai 830, Kechengmai 6, Chuanmai 602, Chuannong 32, Shumai 133, Chinese Spring, Chuanyu 12+Chuanyu 17, Chuanyu 27, Chuanmai 82, Mianmai 312

图1 部分品种高分子量谷蛋白亚基的SDS-PAGE分析
 Fig.1 SDS-PAGE of HMW-GS in selected wheat varieties

表3 四川小麦育成品种 HMW-GS 组合类型及频率

Table 3 The type and frequency of HMW-GS compositions of wheat varieties bred in Sichuan

亚基组合类型 Compositions	品种数量 No. of varieties	频率(%) Frequency	品种名称 Varieties name
N/7+9/5+10	23	12.3	绵麦 312 ^R 、绵阳 33 ^Q 、绵阳 28、川农 11 号、川农 10 号、内麦 8 号、绵麦 37、内麦 10 号、内麦 9 号、绵麦 40、内麦 11 号、内麦 836、川麦 50、绵麦 185、绵麦 46、绵麦 48、绵麦 1618、资麦 2 号、川育 25、绵麦 112、内麦 366、科成麦 6 号、绵麦 1501
N/7+8/2+12	18	9.63	川农 32 ^R 、良麦 3 号 ^Z 、大粒早、成都光头、开县罗汉麦、中国春、川辐 2 号、川辐 3 号、川农 19、良麦 2 号、川麦 28、川麦 52、川农 21、川农 27、南麦 991、嘉农麦 809、科成麦 2 号、科成麦 4 号
N/7+9/2+12	17	9.09	绵阳 30 ^R 、川麦 41 ^R 、绵阳 26 ^H 、川育 9 号、绵阳 23、绵阳 27、绵阳 29、川麦 107、川育 17、川麦 37、川育 19、川麦 45、绵麦 39、绵麦 42、宜麦 9 号、科成麦 5 号、蜀麦 126
1/6+8/2+12	15	8.02	川麦 86 ^R 、川麦 90 ^Z 、川麦 43 ^H 、绵麦 228、川麦 61、西科麦 8 号、蜀麦 51、川麦 91、中科麦 138、川麦 80、川麦 81、川麦 1247、川麦 601、川麦 603、川麦 604
N/7+8/5+10	15	8.02	川农 29 ^R 、绵阳 20、川辐 4 号、绵阳 25、川辐 5 号、绵阳 35、绵麦 38、科成麦 1 号、绵麦 43、绵麦 41、绵麦 1403、绵麦 45、川育 24、国豪麦 15、川麦 96
1/7+8/2+12	13	6.95	川麦 1826 ^R 、川麦 58 ^Z 、川麦 1145 ^Z 、五一麦 ^H 、阿勃 ^H 、川麦 30 ^H 、山农 205、友谊麦、大头黄、川麦 53、川麦 63、川麦 602、川麦 93
1/7+9/2+12	13	6.95	川辐 8 号 ^R 、绵阳 24、川育 14、宜麦 7 号、绵阳 31、川育 18、川农 24、良麦 4 号、内麦 316、中科麦 47、川麦 92、蜀麦 921、蜀麦 691
1/6+8/5+10	12	6.42	川农 30 ^Z 、川麦 42 ^H 、川麦 32、西科麦 4 号、川麦 56、川麦 62、川麦 104、川麦 64、西科麦 10 号、川麦 68、西科麦 18、川麦 1546
1/7+9/5+10	11	5.88	川农 17、川农 12、川农 23、川麦 46、川麦 49、西科麦 9 号、川育 26、蜀麦 133、蜀麦 375、蜀麦 482、川育 27
N/20/2+12	11	5.88	繁 6 ^H 、繁 7、80-8、川育 5 号、川育 6 号、川辐 1 号、宜宾 6 号、川麦 47、川麦 48、川农 26、川麦 54
1/7+8/5+10	9	4.81	川麦 44 ^H 、绵阳 11 ^H 、川育 12、川麦 36、川麦 35、川麦 65、川育 20、川麦 1131、川麦 1557
1/20/2+12	7	3.74	宜宾 1 号、川农 7 号、蓉麦 2 号、川农 22、川育 21、川农 25、南麦 618
N/20/5+10	5	2.67	川麦 55、特研南麦 88、荣春南麦 1 号、南麦 660、西科麦 11
N/6+8/2+12	4	2.14	川辐 7 号 ^R 、川麦 66 ^R 、川麦 38、川麦 67
N/6+8/5+10	4	2.14	绵麦 285 ^R 、绵麦 51 ^R 、绵麦 367 ^R 、川麦 51
1/20/5+10	3	1.6	川农 16 ^R 、川育 16、川麦 82
1/14+15/5+10	1	0.53	川育 29
1/22/5+10	1	0.53	绵农 6 号 ^R
1/23+18/2+12	1	0.53	蜀麦 830 ^R
1/6+8/3.1 ⁺ +11 ^{*1}	1	0.53	蜀麦 969 ^Q
1/7/2+12	1	0.53	竹叶青
1/7/5+10	1	0.53	川麦 60
2*/7+9/5+10	1	0.53	西科麦 12 ^R

R:弱筋;Z:中筋;Q:强筋;H:核心亲本^[21]R: Weak gluten; Z: Medium gluten; Q: Strong gluten; H: The core parent^[21]

2.2 四川小麦育成品种 HMW-GS *Glu-1* 位点变异及频率分布

四川省育成小麦品种 HMW-GS 鉴定结果表明, *Glu-1A*、*Glu-1B* 和 *Glu-1D* 位点分别有 3、8、3 种变异(图 1、表 4)。

Glu-1A 位点 3 种亚基类型中, 1 亚基和 N 亚基出现频率接近, 约 50%, 另有稀有亚基 2*, 出现仅 1 次。*Glu-1B* 位点类型最丰富, 出现频率较高的有 7+9、7+8、6+8 和 20, 稀有亚基有 22、7、14+15 和 23+18(图 1)。*Glu-1D* 位点 3 种亚基类型中 2+12 和 5+10 出现频率接近, 均约 50%, 稀有亚基有来自节节麦的 3.1⁺+11^{*1}(图 1A)^[22]。

2.3 四川小麦品种的品质性状分析

对四川育成品种的品质指标进行了统计分析。从平均值看, 容重(785.1 g)、蛋白质含量(13.6%)、湿面筋含量(28.2%)、沉降值(32.2 mL)和稳定时间(3.5 min)均为中筋小麦标准(表 5)。变异系数方面, 容重最小, 稳定时间最大。容重最高的品种为中科麦 47(851 g, 2018 年审定), 最低的品种为川育 9 号(657 g, 1988 年审定)。蛋白质含量最高的品种是宜麦 7 号(16.9%, 1999 年审定), 最低的是川育 6 号(10.3%, 1984 年认定)。湿面筋含量最高的品种是宜麦 7 号(47.3%, 1999 年审定), 最低的是川农 10 号(17.4%, 2003 年审定)。沉降值最高的是绵阳 20

(82.5 mL, 1988年审定),最低的是川农27(12.1 mL, 2009年审定)。稳定时间最长的是资麦2号(12.6 min, 2014年审定),最短的是绵麦285(0.9 min, 2015年审定)。

表4 四川小麦育成品种HMW-GS不同位点的变异类型及频率

Table 4 Allele frequencies of HMW-GS in wheat varieties at the *Glu-1* loci

基因位点 Loci	等位基因 Allele	亚基 Subunit	品种数 Number of materials	频率(%) Frequency
<i>Glu-1A</i>	a	1	89	47.59
	b	2*	1	0.53
	c	N	97	51.87
<i>Glu-1B</i>	b	7+8	55	29.41
	c	7+9	65	34.76
	d	6+8	36	19.25
	e	20	26	13.90
	k	22	1	0.53
	h	14+15	1	0.53
	p	23+18	1	0.53
<i>Glu-1D</i>	a	7	2	1.07
	d	5+10	86	45.99
	a	2+12	100	53.48
	—	3.1 ^h +11 ^h *	1	0.53

—表示没有用字母对该亚基基因命名

— indicates that the subunit gene was not named with a letter

表5 四川小麦育成品种的品质分析

Table 5 Quality characters of wheat varieties in Sichuan

品质性状 Quality-related traits	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Average	标准差 SD	变异系数(%) CV
容重(g) Test weight	851	657	785.1	27.0	3.46
蛋白质含量(%) Protein content	16.9	10.3	13.6	1.3	9.58
湿面筋含量(%) Wet gluten content	47.3	17.4	28.2	4.9	30.26
沉降值(mL) Sedimentation value	82.5	12.1	32.2	9.9	17.30
稳定时间(min) Stable time	12.6	0.9	3.5	1.9	55.86

2.4 四川小麦品种HMW-GS和品质参数演变分析

对四川小麦审定品种的 *Glu-1A*、*Glu-1B* 和 *Glu-1D* 高分子量谷蛋白亚基的演变进行了分析(图2)。*Glu-1A* 位点一直存在1和N两种亚基,2018年出现了2*亚基,多样性有所提高的同时,1亚基的占比也逐渐升高。*Glu-1B* 位点最初仅20、7和7+8共3种亚基组成,随着育种发展,多样性逐渐丰富,出现了8种亚基组成,7+8亚基的比率呈下降趋势,20亚基的比率在1981-1985年达到高峰之后也逐渐降低,7+9亚基和6+8亚基在一定时期有快速增加和消退现象,例如,核心亲本绵阳26促进了7+9亚基比率提高(图3),川麦42和川麦43促进了6+8亚基比率提高(图4、图5)。在 *Glu-1D* 位点,最初只有一种亚

参考四川省优质专用品种标准(表2),分析四川省审定的各个品种的各项品质参数。76.67%的品种容重符合四川省优质专用品种标准,蛋白质含量达到中筋、强筋的品种数量分别占40%左右;湿面筋达中筋水平的品种最多,占36.72%,达强筋水平的最少,占29.38%;稳定时间符合中、弱筋标准的品种数量最多,均占比47.65%,而强筋仅占比4.70%;部分年份还对沉降值做了要求,符合弱筋标准的品种数量最多,强筋标准最少。可见四川小麦品质的主要矛盾是稳定时间短,蛋白质质量与含量不平衡。

参考四川省优质专用品种标准(表2),对四川小麦品种进行品质分类。绵农6号、川农16、绵阳30、川麦41、绵麦367、绵麦51、川麦66、川农29、川辐7号、川辐8号、绵麦285、川麦1826、蜀麦830、绵麦312、川农32、川麦86、西科麦12等17个品种达弱筋小麦标准,占数据齐全品种的12.05%;良麦3号、川麦58、川麦90、川麦1145、川农30等5个品种达中筋小麦标准,占3.55%;蜀麦969、绵阳33共2个品种达强筋小麦标准,占1.42%。其余品种达不到专用优质小麦标准。所以,整体上看,四川小麦育成的优质品种主要是弱筋类型,中筋和强筋偏少。

基类型2+12,1984-1985年育成了第一批含5+10亚基的小麦品种川育6号和绵阳11(图6),此后含5+10亚基的品种比率逐年增加,目前在小麦审定品种中占比约50%左右。特别的是,2011-2015年间引入了来自节节麦 *Glu-1D* 位点的新亚基3.1^h+11^h,育成了强筋小麦蜀麦969。

品质演变分析(图7)表明,四川小麦审定品种的容重呈现波动上升趋势,目前处于历史高值。蛋白质和湿面筋含量的曲线类似,呈现先增后降趋势,20世纪90年代达到峰值,之后逐渐下降,二者不同之处在于最近5年蛋白质含量持续降低,而湿面筋含量保持相对恒定。沉降值表现出上升-逐渐稳定的趋势。稳定时间波动幅度小,呈现先升后降的

缓抛物线,峰值出现于2005-2010年间。总体来说,四川小麦的品质演变是容重和沉降值持续提高,面筋强度先升高再略有降低。

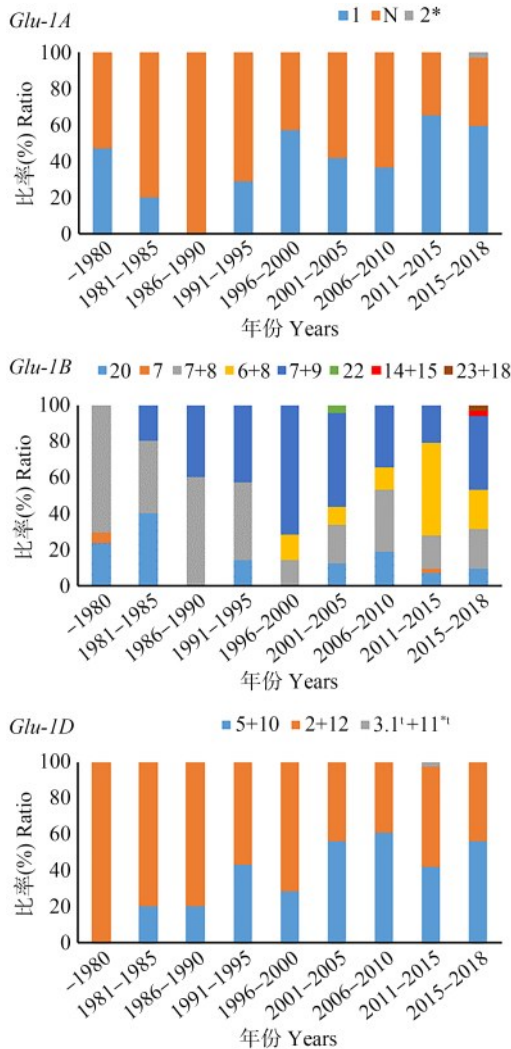


图2 四川小麦品种 HMW-GS 演变(地方品种和引进品种归类到1980年之前)

Fig.2 Evolution of HMW-GS of wheat cultivars in Sichuan province (landraces and introduced varieties were classified before 1980)

3 讨论

1949年以来,四川小麦育种的首要问题是产量和抗病性,走的是高产、优质的道路,小麦加工品质提升缓慢。随着 HMW-GS 与小麦品质关系研究的深入和优质亚基的引进,在一系列努力下,20世纪80年代四川小麦品种的面筋质量有了明显提高。但近20年来,随着籽粒产量的进一步提升,产量与蛋白质的矛盾凸显^[1, 4, 23],蛋白质含量降低,且蛋白质质量改良也缺乏大的进展,国内其他麦区亦有类

似问题^[24]。要做到品质和产量协同提高,挖掘和利用好小麦谷蛋白和醇溶蛋白优异资源可能是有效途径之一^[25]。



*表示该品种含7+9亚基;数字1995等表示审定年份,下同
* Indicate that the variety contains 7+9 subunit; Numbers such as 1995 et al indicate the year of released, the same as below

图3 7+9亚基在核心亲本绵阳26(N/7+9/2+12)及其衍生品种中的传递

Fig.3 Transmission of 7+9 subunit in the backbone parent Mianyang 26 (N/7+9/2+12) and its derivatives



*表示该品种含6+8亚基

* Indicate that the variety contains 6+8 subunit

图4 6+8亚基在核心亲本川麦43(1/6+8/2+12)及其衍生品种中的传递

Fig.4 Transmission of 6+8 subunit in the backbone parent Chuanmai 43 (1/6+8/2+12) and its derivatives

四川小麦品种 HMW-GS 改良成效明显。20世纪70年代以前,以地方品种四川白麦子类群为主的品种改良,导致 HMW-GS 组成以 N/7+8/2+12 为主^[26];自20世纪70年代各育种单位陆续引入含5+10亚基的亲本,80年代起育成品种中5+10亚基出现的频率不断升高^[11, 13-14, 27],本研究发现,2014-2018年间,与优质强筋相关的1和5+10亚基在四川小麦品种中出现频率分别为59%和56%。周强等^[28]研究了山西省的 HMW-GS 出现频率,表明 *Glu-1A* 位点1亚基频率为44.14%, *ID* 位点5+10频率为11.72%。Gao等^[12]研究了四川、河南和河北的 HMW-GS 组成,发

现河南、河北和四川 *Glu-1A* 位点 1 亚基出现频率分别为 62.94%、39.17% 和 43.45%，*Glu-1D* 位点 5+10 亚基出现频率分别为 53.85%、32.92% 和 44.83%。可见与国内同期相比，四川省小麦品种的优质强筋亚基出现频率处于中等偏上水平，但与国外小麦资源相比仍有一定差距^[29]。

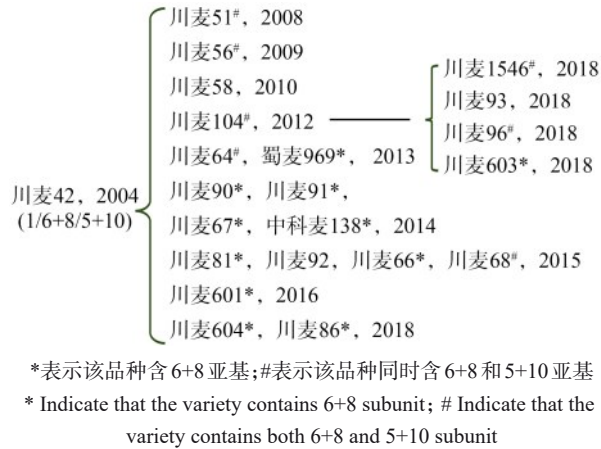


图5 6+8亚基和5+10亚基在核心亲本川麦42(1/6+8/5+10)及其衍生品种中的传递

Fig.5 Transmission of 6+8 and 5+10 subunit in the backbone parent Chuanmai 42 (1/6+8/5+10) and its derivatives

虽然四川小麦品种中优质强筋 HMW-GS 的出现频率不亚于国内其他麦区，但表现出的品质与国内其他麦区相比，湿面筋含量、沉降值和稳定时间却较低，尤其稳定时间是所有报道中最低的，甚至低于长江中下游传统弱筋小麦产区(5 min)^[30-34]，说明优质强筋亚基在四川生态条件下的品质效应可能较低，四川可以作为优质弱筋小麦主产区之一，

与前人结论一致^[2, 35]，在四川优质小麦育种以弱筋小麦为目标可能取得事半功倍的效果。

本研究中，除了 17 个弱筋小麦品种外，还有 15 个品种只有一项指标未达弱筋小麦标准，主要是容重，蛋白质含量或稳定时间不达标。因此，在四川省开展优质弱筋小麦育种应着重提高容重、降低蛋白质含量和稳定时间。具体选育策略，容重和蛋白质含量均是多基因控制，受环境影响较大，可在较高世代通过考种和近红外谷物分析仪测定容重和蛋白质含量进行快速选择；对于稳定时间，本研究中超标的品种川麦 68 和川麦 82 均含有 1 和 5+10 亚基，刘凤云等^[35]和刘宝龙等^[36]分别以强筋和弱筋小麦为试材，发现 *Glu-1D* 位点强筋小麦的高频亚基为 5+10，弱筋小麦的高频亚基为 2+12，因此可以在配置杂交组合时选择含 N 和 2+12 亚基的亲本，并在低世代通过 SDS-PAGE 对 HMW-GS 进行选择，从而降低育成品种的稳定时间。除弱筋小麦外，四川可能也适合选育中筋品种，四川育成品种的品质指标平均数符合中筋小麦标准，但优质中筋小麦品种却不多，究其原因，可能是蛋白质的数量和质量不易平衡所致^[5, 37]，在四川的生态条件下，谷蛋白和醇溶蛋白及其互作对小麦筋力的影响目前还不十分明确，有待进一步研究。强筋小麦蜀麦 969 的成功选育证实了利用小麦近缘种特异 HMW-GS 在四川选育优质强筋麦的可能性，而且也已证实了 3.1+11⁺ 的品质效应高于 5+10 亚基^[21, 38]，一方面要在品质育种中加强其运用，提高中、强筋小麦品质；另一方面可以在小麦族中广泛挖掘有利等位基因，不断丰富优异 HMW-GS 基因资源。

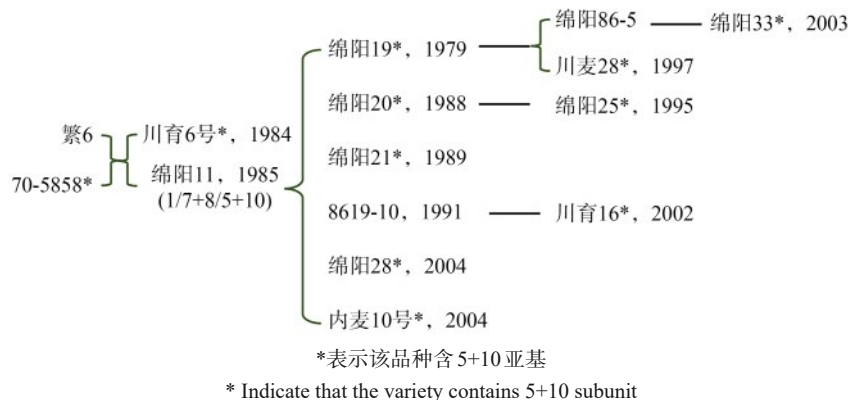


图6 5+10亚基在核心亲本绵阳11(1/7+8/5+10)及其衍生品种中的传递

Fig. 6 Transmission of 5+10 subunit in the backbone parent Mianyang 11 (1/7+8/5+10) and its derivatives

本研究还发现，核心亲本可能是促进 HMW-GS 比率变化的重要因素。繁 6 作为核心亲本大量运

用，可能是导致四川小麦 *Glu-1B* 位点 20 亚基比率高于全国的主要因素，1981-1985 年间 20 亚基的比率

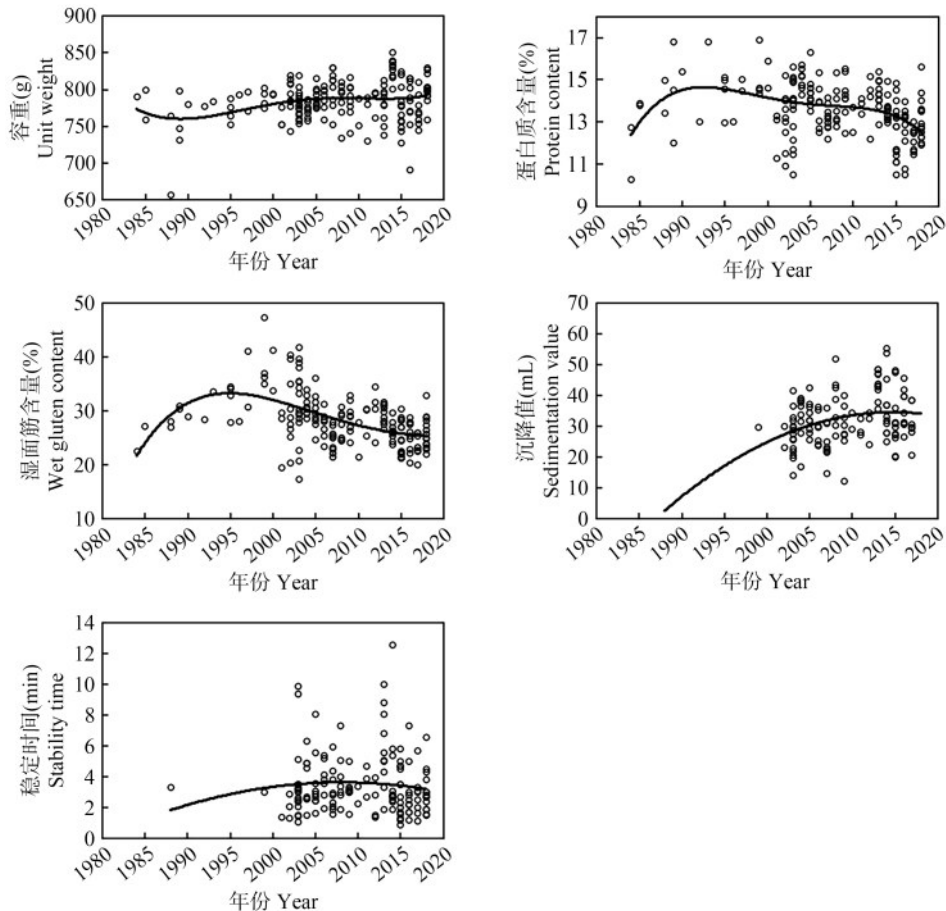


图7 四川小麦审定品种品质性状的演变

Fig.7 Evolution of quality-related traits of wheat cultivars in Sichuan province

最高,这期间正是繁6的第一批衍生品种释放的年份。同理,川麦42、川麦43作为核心亲本的大量运用可能促进了6+8亚基和5+10亚基的推广普及;绵阳26作核心亲本可能推动了7+9亚基的普及。

4 结论

随着育种的发展,四川小麦品种的HMW-GS组成多样性增加,优质强筋亚基1和5+10的比率逐渐上升。品质参数上,容重和沉降值呈上升趋势,其余参数呈现先上升,后缓慢下降的趋势。四川省优质专用小麦品种数量少,以弱筋小麦居多,优质弱筋小麦育种可取得较好效果。

参考文献

- [1] 乔媛媛,郑亭,郭祯儒,曹永立,韩雅楠,陈晨,祁鹏飞. 四川省2001-2014年审定小麦品种加工品质参数变化规律. 四川农业大学学报, 2016, 34(3): 282-288
Qiao Y Y, Zheng T, Guo Z R, Cao Y L, Han Y N, Chen C, Qi P F. Variations of parameters of wheat processing quality of cultivars released from 2001-2014 in Sichuan province. Journal of Sichuan Agricultural University, 2016, 34(3): 282-288

- [2] 祁鹏飞,李庆成,陈庆,郭祯儒,周才懿,陈晨,王琰,孔丽,魏育明,郑有良. 四川小麦加工品质调查. 四川农业大学学报, 2021, 39(6): 705-712
Qi P F, Li Q C, Chen Q, Guo Z R, Zhou C Y, Chen C, Wang Y, Kong L, Wei Y M, Zheng Y L. Processing quality of wheat samples harvested from Sichuan province. Journal of Sichuan Agricultural University, 2021, 39(6): 705-712
- [3] 陈晨. 四川小麦加工品质参数分析. 成都: 四川农业大学, 2018
Chen C. Analysis of processing parameters of Sichuan wheat. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2018
- [4] 杨恩年,邹裕春. 四川生态区小麦面团流变学特性变异研究. 西南农业学报, 2004, 17(3): 310-313
Yang E N, Zou Y C. Change of dough rheological character in Sichuan province. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2004, 17(3): 310-313
- [5] 郑建敏,罗江陶,李式昭,万洪深,杨漫宇,李俊,杨恩年,蒲宗君. 2008-2016年四川省小麦区试品系品质分析. 麦类作物学报, 2017, 7(4): 513-519
Zheng J M, Luo J T, Li S Z, Wan H S, Yang M Y, Li J, Yang E N, Pu Z J. Quality of wheat varieties in regional test in Sichuan province from 2008 to 2016. Journal of Triticeae Crops, 2017, 7(4): 513-519

- [6] Payne P I, Corfield K G, Holt L M, Blackman J A. Correlations between the inheritance of certain high-molecular weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 1981, 32: 51-60
- [7] Lawrence G J, Shepherd K W. Chromosomal location of genes controlling seed proteins in species related to wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 1981, 59: 25-31
- [8] Payne P I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. *Annual Review of Plant Physiology*, 1987, 38: 141-153
- [9] Kang Z Y, Wang J J, Shang X W. Score system study for hand-extended noodle quality based on HMW-GS index in wheat flour. *Agricultural Sciences in China*, 2007, 6: 304-310
- [10] 张剑, 马冬云, 张艳苹, 艾志录. 小麦 HMW-GS 对面粉及馒头品质的影响. *食品与发酵工业*, 2015, 41(1): 74-79
Zhang J, Ma D Y, Zhang Y P, Ai Z L. The effect of HMW-GS of wheat on the quality of flour and steamed bun. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(1): 74-79
- [11] 颜济. 五十年四川小麦育种研究的回顾与前瞻. *四川农业大学学报*, 1999, 17(1): 108-113
Yen C. History and prospect of study on wheat breeding of fifty years in Sichuan. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1999, 17(1): 108-113
- [12] Gao S, Sun G L, Liu W H, Sun D K, Peng Y C, Ren X F. High-molecular-weight glutenin subunit compositions in current Chinese commercial wheat cultivars and the implication on Chinese wheat breeding for quality. *Cereal Chemistry*, 2020, 97: 762-771
- [13] 杨恩年. 四川小麦新品种高分子量谷蛋白亚基及 1B/1R 易位系遗传变异研究. 成都: 四川农业大学, 2008
Yang E N. A study on allelic variation for high molecular weight glutenin subunit (HMW-GS) and 1B/1R translocation from recent released wheat varieties in Sichuan province. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2008
- [14] 周强, 任勇, 陶军, 欧俊梅, 杜小英, 李生荣, 刘登才. 绵阳(绵麦)系列小麦品种高分子量谷蛋白亚基分析. *麦类作物学报*, 2014, 34(11): 1501-1507
Zhou Q, Ren Y, Tao J, Ou J M, Du X Y, Li S R, Liu D C. Analysis on HMW-GS in Mianyang (Mianmai) series wheat cultivars. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(11): 1501-1507
- [15] 晏本菊, 任正隆. 小麦新高产品系的高分子谷蛋白亚基结构分析. *四川农业大学学报*, 2001, 19(4): 376-379
Yan B J, Ren Z L. Structural studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin in some wheat line. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2001, 19(4): 376-379
- [16] 王相权, 陈兴虎, 黄辉跃, 汪仁全, 杨杰智, 关淑仙, 王仕林, 荣飞雪, 王用军, 周海燕, 李明, 陈新媛. 内麦品种高分子量谷蛋白亚基组成及品质分析. *湖北农业科学*, 2020, 59(18): 139-142
Wang X Q, Chen X H, Huang H Y, Wang R Q, Yang J Z, Guan S X, Wang S L, Rong F X, Wang Y J, Zhou H Y, Li M, Chen X Y. Composition and quality analysis of high molecular weight glutenin subunits in Neimai variety. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(18): 139-142
- [17] 胡学旭, 周桂英, 吴丽娜, 陆伟, 武力, 李静梅, 王爽, 宋敬可, 杨秀兰, 王步军. 中国主产区小麦在品质区域间的差异. *作物学报*, 2009, 35(6): 1167-1172
Hu X X, Zhou G Y, Wu L N, Lu W, Wu L, Li J M, Wang S, Song J K, Yang X L, Wang B J. Variation of wheat quality in main wheat-producing regions in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(6): 1167-1172
- [18] Yan Z H, Wan Y F, Liu K F, Zheng Y L, Wang D W. Identification of a novel HMW glutenin subunit and comparison of its amino acid sequence with those of homologous subunits. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47: 222-227
- [19] Payne P I, Holt L M, Law C N. Structural and genetical studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin: Part 1: Allelic variation in subunits amongst varieties of wheat (*Triticum aestivum*). *Theoretical and Applied Genetics*, 1981, 60: 229-236
- [20] Tang Q Y, Zhang C X. Data processing system (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research. *Insect Science*, 2013, 20(2): 254-260
- [21] 郑建敏, 罗江陶, 万洪深, 李式昭, 杨漫宇, 李俊, 杨恩年, 蒋云, 刘于斌, 王相权, 蒲宗君. 四川省小麦育成品种系谱分析及发展进程. *遗传*, 2019, 41(7): 599-610
Zheng J M, Luo J T, Wan H S, Li S Z, Yang M Y, Li J, Yang E N, Jiang Y, Liu Y B, Wang X Q, Pu Z J. Pedigree and development of wheat varieties in Sichuan province. *Hereditas*, 2019, 41(7): 599-610
- [22] Chen W J, Fan X, Zhang B, Liu B L, Yan Z H, Zhang L Q, Yuan Z W, Zheng Y L, Zhang H G, Liu D C. Novel and ancient HMW glutenin genes from *Aegilops tauschii* and their phylogenetic positions. *Genetic Resources & Crop Evolution*, 2012, 59: 1649-1657
- [23] 蒋进, 蒋云, 王淑荣. 四川省近年育成小麦品种农艺性状和品质性状分析. *麦类作物学报*, 2019, 39(6): 682-691
Jiang J, Jiang Y, Wang S R. Agronomic and quality traits of wheat varieties bred in Sichuan in recent years. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(6): 682-691
- [24] Wang D W, Zhang K P, Dong L L, Dong Z Y, Li Y W, Hussain A, Zhai H J. Molecular genetic and genomic analysis of wheat milling and end-use traits in China: Progress and perspectives. *The Crop Journal*, 2018, 6(1): 68-81
- [25] 权威, 马锦绣, 庞斌双, 左静红, 张立平, 张凤廷, 赵昌平. 外引小麦种质资源 HMW-GS 组成及品质评价. *植物遗传资源学报*, 2020, 21(5): 1124-1134
Quan W, Ma J X, Pang B S, Zuo J H, Zhang L P, Zhang F T, Zhao C P. Analysis on HMW-GS composition and quality properties of introduced wheat germplasms. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(5): 1124-1134
- [25] 徐鑫, 李小军, 张玲丽, 李秀全, 杨欣明, 李立会. 小麦地方品种高分子量谷蛋白亚基多样性分析. *作物学报*, 2012,

- 38(7):1205-1211
Xu X, Li X J, Zhang L L, Li X Q, Yang X M, Li L H. Genetic diversity of high-molecular-weight glutenin subunit composition in Chinese wheat landraces. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(7): 1205-1211
- [26] 张志清, 郑有良, 魏育明, 吴卫, 周永红, 刘登才, 兰秀锦. 四川主栽小麦品种高分子量谷蛋白亚基遗传变异分析. *麦类作物学报*, 2002, 22(1): 14-18
Zhang Z Q, Zheng Y L, Wei Y M, Wu W, Zhou Y H, Liu D C, Lan X J. Genetic variation of HMW-GS among Sichuan wheat cultivars. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22(1): 14-18
- [27] 赵佳佳, 乔玲, 郑兴卫, 李晓华, 曹勇, 马小飞, 杨斌, 姬虎太, 乔麟轶, 郑军, 张建诚. 山西小麦育成品种品质性状及HMW-GS组成演变分析. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(6): 1126-1137
Zhao J J, Qiao L, Zheng X W, Li X H, Cao Y, Ma X F, Yang B, Ji H T, Qiao L Z, Zheng J, Zhang J C. Variation of quality-related traits and HMW-GS of wheat varieties in Shanxi province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(6): 1126-1137
- [28] 周强, 任勇, 陶军, 欧俊梅, 杜小英, 李生荣, 刘登才. 144份CIMMYT小麦材料高分子量谷蛋白亚基组成分析. *西南农业学报*, 2015, 28(4): 1470-1474
Zhou Q, Ren Y, Tao J, Ou J M, Du X Y, Li S R, Liu D C. Analysis on components of HMW-GS of 144 CIMMYT wheat materials. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28(4): 1470-1474
- [29] 姚金保, 姚国才, 杨学明, 钱存鸣, 周朝飞, 王龙俊, 郭志刚. 江苏省小麦品质现状及品质改良策略. *江苏农业学报*, 2002, 18(2): 75-79
Yao J B, Yao G C, Yang X M, Qian C M, Zhou C F, Wang L J, Guo Z G. Quality of wheat cultivar in Jiangsu province and its improvement strategy. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2002, 18(2): 75-79
- [30] 张勇, 何中虎, 王美芳, 周桂英, 王德森, 张艳. 我国春麦区部分小麦品种品质状况分析. *麦类作物学报*, 2002, 22(1): 27-32
Zhang Y, He Z H, Wang M F, Zhou G Y, Wang D S, Zhang Y. Investigation on milling and baking quality of Chinese spring-sown wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22(1): 27-32
- [31] 胡卫国, 赵虹, 王西成, 邱军, 曹廷杰, 曹颖妮. 黄淮冬麦区小麦品种品质改良现状分析. *麦类作物学报*, 2010, 30(5): 936-943
Hu W G, Zhao H, Wang X C, Qiu J, Cao T J, Cao Y N. Quality improvement of winter wheat in yellow and Huai River wheat zone. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(5): 936-943
- [32] 王美芳, 雷振生, 吴政卿, 杨会民, 杨攀, 徐福新, 刘加平. 黄淮冬麦区小麦产量及品质改良现状分析. *麦类作物学报*, 2013, 33(2): 290-295
Wang M F, Lei Z S, Wu Z Q, Yang H M, Yang P, Xu F X, Liu J P. Current situation of wheat yield and quality improvement in Huang-huai winter wheat region. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(2): 290-295
- [33] 李艳敏, 李珊, 王月娥, 沈家成, 张文明, 郑文寅, 姚大年. 安徽省33个小麦品种烘焙品质研究. *粮油食品科技*, 2017, 25(6): 26-32
Li Y M, Li S, Wang Y E, Shen J C, Zhang W M, Zheng W Y, Yao D N. Research on baking quality of thirty-three varieties of wheat grown in Anhui province. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2017, 25(6): 26-32
- [34] 庞启华, 余敖, 魏灵. 关于发展四川弱筋小麦的思考. *小麦研究*, 2006, 27(2): 9-13
Pang Q H, Yu A, Wei L. Thoughts on the development of weak gluten wheat in Sichuan. *Journal of Wheat Research*, 2006, 27(2): 9-13
- [35] 刘风云, 黄世全, 张大乐, 李玉阁, 李锁平. 我国部分优质小麦高分子量谷蛋白亚基组成分析. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2007, 28(2): 47-51
Liu F Y, Huang S Q, Zhang D L, Li Y G, Li S P. Composition analysis of high molecular weight glutenin subunit from some good quality wheat varieties in China. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 2007, 28(2): 47-51
- [36] 刘宝龙, 张怀刚. 弱筋小麦品种高分子量谷蛋白亚基组成分析. *西北农业学报*, 2007, 16(2): 19-23
Liu B L, Zhang H G. Analysis on the HMW-GS components of weak gluten wheat varieties. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2007, 16(2): 19-23
- [37] 伍玲, 董亚超, 戴常军, 李式昭, 朱华忠. 长江上游小麦新品种(系)品质分析. *麦类作物学报*, 2020, 40(4): 444-454
Wu L, Dong Y C, Dai C J, Li S Z, Zhu H Z. Quality analysis of new wheat cultivars (lines) in the upper reaches of Yangtze River. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(4): 444-454
- [38] Liu D C, Hao M, Li A L, Zhang L Q, Zheng Y L, Mao L. Allopolyploidy and interspecific hybridization for wheat improvement, polyploidy and hybridization for crop improvement. Florida: CRC Press, 2016: 27-52