

新疆的小麦品种(系)麦谷蛋白 优质亚基分布规律研究

相吉山^{1,2},穆培源^{1,2},桑伟^{1,2},徐红军^{1,2},庄丽^{2,3},聂迎彬^{1,2},崔凤娟^{1,2},邹波¹

(¹新疆农垦科学院作物研究所,石河子 832000;²谷物品质与遗传改良兵团重点实验室,石河子 832000;

³石河子大学生命科学院,石河子 832002)

摘要:麦谷蛋白亚基对小麦品质有重要影响,优质亚基的利用是小麦品质遗传改良的重要途径。为了探讨新疆小麦优质亚基的分布规律,利用已开发的优质亚基和 1B/1R 易位系的分子标记,对新疆 1242 份小麦品种资源进行检测,结果表明,在新疆小麦品种资源中,优质亚基 2^{*}、7+8、5+10、gluA3d、gluB3b、gluB3d、gluB3g 的分布频率依次为 20.2%、22.0%、21.9%、16.9%、14.3%、11.9%、10.3%;1B/1R 易位系的分布频率为 12.6%。在冬小麦品种资源中,国外品种(系)5+10、1B/1R 易位系的分布频率均最高,7+8、gluB3d、gluB3g 的分布频率均最低;审定品种 2^{*}、gluB3d、gluB3g 的分布频率均最高。在春小麦品种资源中,国外品种(系)gluB3d 的分布频率最高;国内品种(系)5+10、gluA3d、1B/1R 易位系的分布频率最高,2^{*}、gluB3d 的最低;审定品种 2^{*} 的分布频率最高,gluB3b、gluB3g 的最低。总体来看,新疆春小麦优质亚基的分布频率总体高于冬小麦;导入 LMW-GS 优质亚基是新疆小麦品质进一步改良的重要方向;地方品种是 LMW-GS 优质亚基的良好供体。从 1242 份新疆小麦品种(系)中挑选出兼含多个优质亚基的冬、春小麦品种(系)各 21 份、24 份,可在小麦品质遗传改良中加强利用。

关键词:新疆小麦;HMW-GS;LMW-GS;优质亚基;分布频率

The Distribution of High Quality Glutenin Subunits in Wheat Varieties in Xinjiang

XIANG Ji-shan^{1,2}, MU Pei-yuan^{1,2}, SANG Wei^{1,2}, XU Hong-jun^{1,2}, ZHUANG Li^{2,3},
NIE Ying-bin^{1,2}, CUI Feng-juan^{1,2}, ZOU Bo¹

(¹Institute of Crop Research, Xinjiang Academy of Agri-Reclamation Sciences, Shihezi 832000;

²Key Lab of Xinjiang Production and Construction Corps for Cereal quality Research and Genetic Improvement,
Shihezi 832000; ³College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832002)

Abstract: Since glutenin subunits have important effects on the quality of wheat. Using high quality subunits is a key approach to improve wheat quality. 1242 wheat in Xinjiang were used to explore the distribution frequency of high quality subunits and 1B/1R translocation by molecular markers. At *Glu-1* locus, the distribution frequency of 2^{*}, 7+8, 5+10 was 20.2%, 22.0% and 21.9%, respectively. At *Glu-3* locus, the distribution frequency of gluA3d, gluB3b, gluB3d, gluB3g was 16.9%, 14.3%, 11.9% and 10.3%, respectively. In winter wheat varieties, the distribution frequency of 5+10 and 1B/1R were highest, and 7+8, gluB3d, gluB3g were lowest in foreign varieties. The distribution frequency of 2^{*}, gluB3d, and gluB3g were highest in released varieties. In spring wheat varieties, the distribution frequency of gluB3d was highest in foreign varieties. The distribution frequency of 5+10, gluA3d, and 1B/1R were highest, and 2^{*}, gluB3d were lowest in domestic varieties. The distribution frequency of 2^{*} was highest, gluB3b and gluB3g were lowest in released varieties. Therefore, the distribution frequency of single subunit from highest to lowest is 5+10 > 7+8 > 2^{*} > gluA3d > gluB3b > gluB3d > gluB3g. The distribution fre-

收稿日期:2014-01-12 修回日期:2014-03-19 网络出版日期:2014-10-13

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141013.2032.021.html>

基金项目:国家自然科学基金项目(31260324, U1178306);兵团“十二五”种质资源专项(2012BB047);兵团青年科技创新资金项目(2013CB022)

第一作者主要从事小麦分子育种及种质资源创新研究。E-mail: xiangjsh@163.com

通信作者:穆培源,主要从事小麦育种和品质研究。E-mail: mupy@163.com;徐红军,主要从事小麦育种及栽培研究

quency of high quality subunits at *Glu-3* locus in landraces is higher than other varieties, which makes them are better donors of high quality LMW-GS. The distribution frequency of high quality subunits is higher in spring wheat than in winter wheat. Import the LMW-GS high quality subunits is one of the important direction of further improvement of wheat quality in Xinjiang. Finally, 21 winter wheat varieties and 24 spring wheat varieties with multiple high quality subunits, including both winter and spring wheat, were selected, which would be useful for improving wheat quality in Xinjiang.

Key words: wheat in Xinjiang province; HMW-GS; LMW-GS; high quality subunit; distribution frequency

小麦面粉可以被加工成各种各样的面食,这一特性主要取决于面筋蛋白的组成和优劣^[1-3]。面筋蛋白主要由醇溶蛋白(Gliadin)和麦谷蛋白(Glutelin)组成,这些面筋蛋白之间可以通过很强的共价键和非共价键相互作用,形成具有黏弹特性的面团。麦谷蛋白是异质性高分子聚合物,由高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)和低分子量麦谷蛋白亚基(LMW-GS)通过分子间二硫键聚合而成^[4]。HMW-GS 分别由位于第一同源组群染色体长臂的 *Glu-A1*、*Glu-B1* 和 *Glu-D1* 位点(统称 *Glu-1*)的基因编码,LMW-GS 由位于短臂的 *Glu-A3*、*Glu-B3* 和 *Glu-D3* 位点(统称 *Glu-3*)的基因编码^[5-6]。HMW-GS 只占小麦贮藏蛋白的 10%,但它对面筋粘弹性起着决定性作用。P. I. Payne 等^[7]最早揭示了 HMW-GS 对品质的重要影响。到目前为止,对 HMW-GS 与面条加工品质的关系有了较一致的认识^[8-10],认为 1、2*、7+8、14+15、5+10 均为优质亚基。LMW-GS 在小麦子粒中含量丰富,占贮藏蛋白的 1/3,约占麦谷蛋白的 60%^[11],对小麦加工品质有不可忽视的作用^[4,12-13]。到目前为止,对 LMW-GS 与面条加工品质的关系也有了较一致的认识^[3,10,12-18],认为 *gluA3d*、*gluB3b*、*gluB3d*、*gluB3g* 均为优质亚基。1B/1R 易位系由于 1RS 染色体上 *Gli-1R*(*Sec-1R*)位点编码的黑麦碱(secalin)的存在,并且使重要醇溶蛋白和 LMW-GS 表达量减少,导致面团黏性增大和面筋强度减弱,引起小麦品质变劣^[19-21]。鉴于 HMW-GS、LMW-GS、1B/1R 对小麦加工品质的重要影响,针对麦谷蛋白亚基和 1B/1R 易位系,开发了稳定可靠的分子标记^[22],其中一些标记已经成功应用于小麦分子辅助育种^[23-27]。

新疆属典型的大陆性气候,小麦灌浆期间气温高、降雨少,有利于蛋白质的积累与面筋的形成,适合发展优质强筋小麦^[28]。随着新疆对优质面粉的需求量逐步增加,优质小麦产业链不断完善,市场对优质小麦的需求也不断提高,有力地促进了优质小麦的发展,品质改良已成为新疆小麦育种最重要的方向^[29]。据统计,新疆小麦面粉消费量的 80% 用

于制作拉面^[30]。目前,新疆主栽小麦品种大部分是 2000 年以前审定的品种,除个别品种外,拉面品质表现均不佳^[31]。虽然新疆大型面粉加工企业生产的“特一粉”能够制作较好的拉面,但与国际上的优质面条还有差距,主要是口感和外观特性不足,其原因是生产上还缺乏优质的高产品种。因此,改良新疆小麦拉面加工品质是目前重要的育种目标之一。以前的研究^[32-33]发现,对于新疆拉面加工品质而言,7+8、5+10 为优质亚基、1B/1R 易位是劣质基因,其他位点亚基的作用还不是很明确。

鉴于此,对新疆小麦品种资源优质亚基及 1B/1R 易位系进行检测,可为该区小麦育种提供有价值的参考。本研究以分子标记为手段,对 1242 份新疆小麦品种资源的麦谷蛋白优质亚基和 1B/1R 易位系进行检测,探讨其分布规律,为育种提供信息指导;筛选出含有多个优质亚基的优异种质,为育种提供亲本材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 1242 份新疆小麦品种(系),其中冬小麦 848 份,包括地方品种 17 份、国外品种(系)38 份、国内品种(系)322 份、自育品系 423 份、审定品种 48 份;春小麦 394 份,包括地方品种 54 份、国外品种(系)23 份、国内品种(系)104 份、自育品系 158 份、审定品种 55 份。这些材料包括了新疆小麦主要种植区各个时期种植和使用的冬、春小麦品种(系),具有较好的代表性。

试验材料于 2012 年种植于新疆农垦科学院作物研究所试验田,人工撒播种植,顺序排列,10 行区,行长 1.8 m、行距 0.25 cm,田间管理同大田,适时收获。

1.2 试验方法

1.2.1 DNA 提取 每个品种(系)选 3 粒有代表性的种子,粉碎后放入 2.0 mL 离心管中,按照 E. S. Lagudah 等^[34]的方法分别提取基因组 DNA。DNA 提取液含 288 mmol/L NaCl, 200 mmol/L Tris-HCl (pH=8.0), 25 mmol/L EDTA 和 0.5% SDS。

1.2.2 分子标记检测 利用表 1 所列分子标记对麦谷蛋白亚基 2*、7 + 8、5 + 10、gluA3d、gluB3b、gluB3d、gluB3g 和 1B/1R 易位进行分子标记检测。PCR 扩增:PCR 反应体系 20 μ L, 含 20 mmol/L Tris-HCl (pH 8.4), 20 mmol/L KCl, 200 μ mol/L dNTPs, 1.5 mmol/L MgCl₂, 每条引物 10 pmol, *Taq* DNA 聚合酶 1.5U (北京汇天东方), 模板 DNA 50 ng。PCR 反应程序:94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min;94 $^{\circ}$ C 变性 45 s, 退火 45 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 1 min, 35 个循环;72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min; 在 MJ Research PTC-200 (M J Research, Inc., Waltham, MA) PCR 仪上进行。产物检测:将 PCR 扩增产物在 1.5% 的琼脂糖凝胶上进行电泳分离检测, 采用缓冲液体系为 1 \times TAE 的溶液, 170 V 电压电泳 45 min, 溴化乙锭 (EB) 染色后, 用 GelDoc XR System 扫描成像并存入计算机。

表 1 所用引物及信息

Table 1 The information of used primers

亚基 Subunit	引物 Primer	引物序列 Primer sequence	参考文献 Reference
2*	Ax2*	F-ATGACTAAGCGTTGGTTCTT R-ACCTTGCTCCCCTTGTCTTT	[35]
7 + 8	ZSBy8F5 /R5	F-TTGTCCTATTTGCTGCCCTT R-TTAGCGCTAAGTGCCGTCT	[36]
5 + 10	Dx5	F-CGTCCCTATAAAAGCCTAGC R-AGTATGAAACCTGCTGCGGAC	[35]
gluA3d	LA3/SA4	F-TTCAGATGCAGCCAAACAA R-TGGGCTTGGGAGACACATA	[37]
gluB3b	SB2	F-ATCAGGTGTAAGTGATAG R-TGCTACATCGACATATCCA	[38]
gluB3d	SB4	F-CACCATGAAGACCTTCCTCA R-GTTGTTGCAGTAGAACTGGA	[38]
gluB3g	SB7	F-CCAAGAAATACTAGTTAACACTAGTC R-GTTGGGCTTGGGAAACA	[38]
1B/1R	AF1	F-GGAGACATCATGAAACATTTG R-CTGTTGTTGGGCAGAAAG	[39]

1.3 统计分析

根据每个品种 (系) 3 粒种子 DNA 的检测结果判断该品种 (系) 的基因类型。对出现 3 粒种子带型不一致的材料, 进行 2 次取样, 重新检测, 以 2 次检测一致的结果为准。

2 结果与分析

2.1 新疆小麦品种 (系) 优质亚基和 1B/1R 易位系的分布频率

1242 份新疆小麦品种 (系) 中, HMW-GS 优质亚

基 2* 的分布频率为 20.2%, 冬小麦为 14.4%, 春小麦为 32.7%; 7 + 8 亚基的分布频率为 22.0%, 冬小麦为 15.3%, 春小麦为 36.0%; 5 + 10 亚基的分布频率为 21.9%, 冬小麦为 17.1%, 春小麦为 32.5%。LMW-GS 优质亚基 gluA3d 的分布频率为 16.9%, 冬小麦为 16.8%, 春小麦为 17.3%; gluB3b 的分布频率为 14.3%, 冬小麦为 16.4%, 春小麦为 9.9%; gluB3d 的分布频率为 11.9%, 冬小麦为 11.3%, 春小麦为 13.2%; gluB3g 的分布频率为 10.3%, 冬小麦为 9.3%, 春小麦为 12.4%。1B/1R 易位系的分布频率为 12.6%, 冬小麦为 14.3%, 春小麦为 8.9%。总体来看, 单个优质亚基分布频率大小顺序为 7 + 8 > 5 + 10 > 2* > gluA3d > gluB3b > gluB3d > gluB3g; 从不同位点来看, HMW-GS 优质亚基的分布频率明显高于 LMW-GS。除 gluB3b 外, 其他优质亚基在春小麦中的分布频率均高于冬小麦; 并且 1B/1R 易位系的分布频率低于冬小麦 (表 2)。

2.2 新疆冬小麦品种 (系) 优质亚基和 1B/1R 易位系的分布频率

新疆冬小麦品种 (系) 中, HMW-GS 优质亚基 2* 的分布频率大小顺序为审定品种 (35.4%) > 自育品系 (17.5%) > 国外品种 (系) (15.8%) > 国内品种 (系) (7.8%) > 地方品种 (0); 7 + 8 为地方品种 (58.8%) > 审定品种 (29.2%) > 国内品种 (系) (14.3%) > 自育品系 (13.7%) > 国外品种 (系) (5.3%); 5 + 10 为国外品种 (系) (34.2%) > 审定品种 (20.8%) > 自育品系 (19.4%) > 国内品种 (系) (12.4%) > 地方品种 (0)。LMW-GS 优质亚基 gluA3d 的分布频率大小顺序为审定品种 (29.2%) > 国内品种 (系) (17.1%) > 自育品系 (15.6%) > 国外品种 (系) (13.2%) > 地方品种 (11.8%); gluB3b 为地方品种 (29.4%) > 审定品种 (25.0%) > 自育品系 (系) (20.1%) > 国外品种 (系) (15.8%) > 国内品种 (系) (9.6%); gluB3d 为国内品种 (系) (15.8%) > 审定品种 (14.6%) > 地方品种 (11.8%) > 自育品系 (8.3%) > 国外品种 (系) (2.6%); gluB3g 为审定品种 (18.8%) > 地方品种 (11.8%) > 国内品种 (系) (9.6%) > 自育品系 (8.5%) > 国外品种 (系) (2.6%)。1B/1R 易位系的分布频率大小顺序为国外品种 (系) (18.4%) > 自育品系 (16.3%) > 国内品种 (系) (12.4%) > 审定品种 (10.4%) > 地方品种 (0)。总体来看, 地方品种 HMW-GS 优质亚基的分布频率要低于其他类型品种, 而 LMW-GS 则相对

较高;并且 1B/1R 易位系的分布频率为 0。国外品种(系)5 + 10、1B/1R 易位系的分布频率均最高,并且 7 + 8、gluB3d、gluB3g 的分布频率均最低。审定品种 2*、gluB3d、gluB3g 的分布频率均最高(表 3)。

表 2 供试材料优质亚基和 1B/1R 易位系分布频率

Table 2 The distribution frequency of high quality subunits and 1B/1R translocation line in Xinjiang wheat varieties resources									
品种(系) Varieties(Line)	项目 Item	2 *	7 + 8	5 + 10	gluA3d	gluB3b	gluB3d	gluB3g	1B/1R
冬小麦 Winter wheat	品种数量	122	130	145	142	139	96	79	121
	频率(%)	14.4	15.3	17.1	16.8	16.4	11.3	9.3	14.3
春小麦 Spring wheat	品种数量	129	142	128	68	39	52	49	35
	频率(%)	32.7	36.0	32.5	17.3	9.9	13.2	12.4	8.9
合计 Total	品种数量	251	272	273	210	178	148	128	156
	频率(%)	20.2	22.0	21.9	16.9	14.3	11.9	10.3	12.6

表 3 新疆冬小麦品种(系)优质亚基和 1B/1R 易位系分布频率

Table3 The distribution frequency of high quality subunits and 1B/1R translocation line in Xinjiang winter wheat varieties resources									
类型 Type	项目 Item	2 *	7 + 8	5 + 10	gluA3d	gluB3b	gluB3d	gluB3g	1B/1R
地方品种 Landraces	品种数量	0	10	0	2	5	2	2	0
	频率(%)	0	58.8	0	11.8	29.4	11.8	11.8	0
国外品种(系) Exoticvarieties	品种数量	6	2	13	5	6	1	1	7
	频率(%)	15.8	5.3	34.2	13.2	15.8	2.6	2.6	18.4
国内品种(系) Domesticvarieties	品种数量	25	46	40	55	31	51	31	40
	频率(%)	7.8	14.3	12.4	17.1	9.6	15.8	9.6	12.4
自育品系 Breedingvarieties	品种数量	74	58	82	66	85	35	36	69
	频率(%)	17.5	13.7	19.4	15.6	20.1	8.3	8.5	16.3
审定品种 Releasedvarieties	品种数量	17	14	10	14	12	7	9	5
	频率(%)	35.4	29.2	20.8	29.2	25.0	14.6	18.8	10.4

2.3 新疆春小麦品种(系)优质亚基和 1B/1R 易位系的分布频率

新疆春小麦品种(系)中, HMW-GS 优质亚基 2* 的分布频率大小顺序为审定品种(45.5%) > 自育品系(39.2%) > 国外品种(系)(34.8%) > 地方品种(25.9%) > 国内品种(系)(19.2%); 7 + 8 为地方品种(57.4%) > 审定品种(56.4%) > 国外品种(系)(34.8%) > 国内品种(系)(27.9%) > 自育品系(27.2%); 5 + 10 为国内品种(系)(40.4%) > 审定品种(38.2%) > 自育品系(36.7%) > 国外品种(系)(21.7%) > 地方品种(3.7%)。LMW-GS 优质亚基 gluA3d 的分布频率大小顺序为国内品种(系)(22.1%) > 国外品种(系)(21.7%) > 自育品系(19.6%) > 审定品种(9.1%) > 地方品种(7.4%); gluB3b 为国外品种(系)(17.4%) > 国内品种(系)(17.3%) > 自育品系(8.9%) > 地方品种(3.7%) > 审定品种(1.8%); gluB3d 为地方品种(38.9%) > 审定品种(20.0%) > 国外品种(系)(13.0%) > 自育品系(7.0%) > 国内品种(系)

(5.8%); gluB3g 为地方品种(29.6%) > 国内品种(系)(13.5%) > 国外品种(系)(13.0%) > 自育品系(7.6%) > 审定品种(7.3%)。1B/1R 易位系的分布频率大小顺序为国内品种(系)(15.4%) > 审定品种(9.1%) > 国外品种(系)(8.7%) > 自育品系(7.6%) > 地方品种(0)。总体来看, 地方品种 HMW-GS 优质亚基的分布频率要低于其他类型品种, 而 LMW-GS 则相对较高; 并且 5 + 10、gluA3d、1B/1R 易位系的分布频率均最低。国外品种(系) gluB3d 的分布频率最高。国内品种(系) 5 + 10、gluA3d、1B/1R 易位系的分布频率最高, 2*、gluB3d 的最低。审定品种 2* 的分布频率最高, gluB3b、gluB3g 的最低(表 4)。

2.4 新疆优异小麦品种(系)的筛选

为了进一步方便优异小麦种质资源在育种中的应用, 从 1242 份新疆小麦品种(系)中筛选出兼含多个优质亚基的品种(系), 其中冬小麦 21 份(地方品种 1 份), 2 份为 1B/1R 易位系; 春小麦 24 份(地方品种 4 份), 均为非 1B/1R 易位系(表 5)。

表 4 新疆春小麦品种(系)优质亚基和 1B/1R 易位系分布频率

Table 4 The distribution frequency of high quality subunits and 1B/1R translocation line in Xinjiang spring wheat varieties resources

类型 Type	项目 Item	2 *	7 + 8	5 + 10	gluA3d	gluB3b	gluB3d	gluB3g	1B/1R
地方品种	品种数量	14	31	2	4	2	21	16	0
Landraces	频率(%)	25.9	57.4	3.7	7.4	3.7	38.9	29.6	0.0
国外品种(系)	品种数量	8	8	5	5	4	3	3	2
Exoticvarieties	频率(%)	34.8	34.8	21.7	21.7	17.4	13.0	13.0	8.7
国内品种(系)	品种数量	20	29	42	23	18	6	14	16
Domesticvarieties	频率(%)	19.2	27.9	40.4	22.1	17.3	5.8	13.5	15.4
自育品系	品种数量	62	43	58	31	14	11	12	12
Breedingvarieties	频率(%)	39.2	27.2	36.7	19.6	8.9	7.0	7.6	7.6
审定品种	品种数量	25	31	21	5	1	11	4	5
Releasedvarieties	频率(%)	45.5	56.4	38.2	9.1	1.8	20.0	7.3	9.1

3 结论与讨论

麦谷蛋白亚基对小麦品质有较大的影响,对其分离及检测是长期以来小麦品质研究的热点。P. I. Payne 等^[7]最早提出的十二烷基磺酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis)技术能够较好地分离 HMW-GS,但较难识别电泳迁移率较相近的亚基;B. A. Marchylo 等^[40]提出的高效液相色谱技术 HPLC (high performance liquid chromatography),较好地弥补了这一缺陷。P. H. O' Farrell^[41]优化并提出的双向电泳(two-dimensional gel electrophoresis, 2-DE)技术能够很好的分离 LMW-GS。近几年发展起来的激光解吸电离飞行时间质谱(MALDI-TOF-MS, matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry)技术^[42]已成为小麦谷蛋白亚基结构与功能研究及其品种品质鉴定的重要方法。随着蛋白质分离技术的发展,一些小麦谷蛋白的编码基因相继被克隆,并开发相应的分子标记^[35-39, 43],被广泛用于育种实践^[23-24],并体现出了快捷、方便、经济、高效等优点。

以往对新疆小麦 HMW-GS 优质亚基的研究发现,新疆小麦品种 2*、7 + 8 优质亚基的分布频率较高,5 + 10 亚基、1B/1R 易位系的分布频率较低^[44-45];其中主栽品种 5 + 10 亚基的分布频率较低^[46],春小麦品种 5 + 10 亚基、1B/1R 易位系的分布频率较低^[47],冬小麦品种资源只有 7 + 8 亚基的分布频率较高^[33]。本研究利用分子标记技术检测

发现,在新疆小麦品种(系)中,HMW-GS 优质亚基的分布频率明显高于 LMW-GS,单个优质亚基分布频率大小顺序为 7 + 8 > 5 + 10 > 2* > gluA3d > gluB3b > gluB3d > gluB3g,除 gluB3b 外,其他优质亚基在春小麦中的分布频率均高于冬小麦;并且 1B/1R 易位系的分布频率低于冬小麦,这与以往的研究结果^[33, 44-47]基本一致。说明 HMW-GS 优质亚基的分布频率高于 LMW-GS,春小麦优质亚基的分布频率总体高于冬小麦,导入 LMW-GS 优质亚基是新疆小麦品质进一步改良的重要方向。

本研究对不同来源新疆小麦品种(系)的优质亚基分布进行分析后发现,在冬小麦品种(系)中,国外品种(系)5 + 10、1B/1R 易位系的分布频率均最高,审定品种 2*、gluB3d、gluB3g 的分布频率均最高。在春小麦品种资源中,国外品种(系)gluB3d 的分布频率最高,国内品种(系)5 + 10、gluA3d、1B/1R 易位系的分布频率最高,审定品种 2* 的分布频率最高。并且,无论是冬、春小麦,地方品种 LMW-GS 优质亚基的分布频率相对较高。总体来看,新疆小麦审定品种较注重对优良品质的选择,使优质亚基(尤其是 2*)的分布频率较高,而使 1B/1R 易位系的频率较低;并且地方品种是新疆小麦 LMW-GS 优质亚基的良好供体,应加强利用。

为了方便优异种质在小麦育种实践中的应用,本研究筛选出了兼含多个优质亚基的品种(系),包括冬、春小麦中的地方品种、引进品种(系)和当地育成品种(系),可满足多元化的小麦优质育种需求,是小麦品质遗传改良的宝贵资源。

表 5 含有多个优质亚基的优异品种(系)

Table 5 The excellent varieties(lines) with multiple high quality subunits

类型 Type	品种名称 Varieties name	2 *	7 +8	5 +10	gluA3d	gluB3b	gluB3d	gluB3g	1B/1R
冬小麦 Winter wheat varieties	热衣木夏	-	+	-	+	-	+	-	-
	HNDM-13	+	+	+	+	+	-	-	+
	99(36)/2-2-2	+	+	+	+	-	+	-	-
	93-289	+	+	+	+	-	-	-	-
	95(20)/8-1-2	+	+	+	+	-	+	-	-
	新冬 22 号	+	+	+	+	-	+	-	-
	花 91-26	+	+	+	-	-	-	+	+
	石冬 7 号	+	+	-	+	-	+	-	-
	99-5019	+	+	-	+	+	-	-	-
	豫麦 13 号	-	+	+	+	-	-	-	-
	豫麦 34 号	-	+	+	+	-	+	-	-
	中优 9507	-	+	+	-	-	+	-	-
	喀冬 1 号	-	+	-	+	+	-	-	-
	巴冬 2 号	-	+	-	+	+	-	-	-
	98(101)/1-3-4	-	-	+	+	+	-	-	-
	98(111)/5-2-1	-	-	+	+	+	-	-	-
	新冬 23 号	-	-	+	+	+	-	-	-
	中麦 175	-	-	-	+	-	+	-	-
	小偃 54 号	-	-	-	+	-	+	-	-
	陕优 225	-	-	-	+	-	-	+	-
	新冬 25 号	-	-	-	+	-	+	-	-
春小麦 Spring wheat varieties	黑芒	+	+	-	+	-	+	-	-
	兰麦	+	+	-	+	-	+	-	-
	黑芒麦	+	+	-	+	-	+	-	-
	大头郎	-	+	-	+	+	-	-	-
	98-14	+	+	+	+	+	-	-	-
	其力克	+	+	+	+	-	-	-	-
	新春 31 号	+	+	+	-	-	+	-	-
	Y20	+	+	+	-	-	-	-	-
	新春 23 号	+	+	+	-	-	-	-	-
	2002-59	+	+	+	-	-	-	-	-
	黑芒麦	+	+	-	+	-	+	-	-
	新春 8 号	+	+	-	+	-	-	-	-
	2007-87	+	-	+	-	+	-	-	-
	蒙麦 1 号	+	-	+	+	+	-	-	-
	88-4	+	-	+	+	+	-	-	-
	新春 33 号	+	-	+	+	-	-	-	-
	龙麦 26 号	+	-	+	-	+	-	-	-
	宁春 39 号	+	-	+	-	+	-	-	-
	蒙麦 2 号	+	-	+	-	+	-	-	-
	吐春 6 号	-	+	+	+	-	+	-	-
	宁春 35 号	-	+	+	+	-	-	-	-
	青春 5 号	-	+	-	+	+	-	-	-
	新春 24 号	-	+	-	+	+	-	-	-
	蒙鉴 4 号	-	-	+	+	+	-	-	-

+、- 分别表示亚基或基因的有、无 + and - mean there is the subunit or not

参考文献

[1] Shewry P R,Tatham A S,Barro F,et al. Biotechnology of bread-making: unraveling and manipulating the multi-protein gluten complex[J]. Bio Technol,1995,13(11): 1185-1190

[2] Wieser H,Kieffer R. Correlations of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on a micro-scale[J]. J Cereal Sci,2001,34(1):19-27

[3] He Z H,Liu L,Xia X C, et al. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effects on dough properties, pan bread,and noodle quality of Chinese bread wheats[J]. Cereal Chem,2005,82(4): 345-350

[4] Luo C,Griffin W B,Brandlard G,et al. Comparison of low and high molecular-weight wheat glutenin allele effects on flour quality [J]. Theor Appl Genet,2001,102(6-7): 1088-1098

[5] Payne P I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality[J]. Annu Rev Plant Physiol,1987,38(1): 141-153

[6] Singh N K,Shepherd K W. Linkage mapping of the genes controlling endosperm proteins in wheat[J]. Theor Appl Genet,1988,66(4): 628-641

[7] Payne P I,Corfield K G,Holt L M,et al. Correlations between the inheritance of certain high-molecular weight subunits of glutenin

- and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat[J]. J Sci Food Agr, 1981, 32(1): 51-60
- [8] Wieser H, Zimmermann G. Importance of amounts and proportions of high molecular weight subunits of glutenin for wheat quality[J]. Eur Food Res Technol, 2000, 210(5): 324-330
 - [9] Cornish G B, Bekes F, Allen H M, et al. Flour proteins linked to quality traits in an Australian doubled haploid wheat population[J]. Crop Pasture Sci, 2001, 52(12): 1339-1348
 - [10] Meng X G, Cai S X. Association between glutenin alleles and Lanzhou alkaline stretched noodle quality of northwest China spring wheats. II. Relationship with the variations at the *Glu-1* loci[J]. Cereal Res Commun, 2008, 36(1): 107-115
 - [11] Bietz J A, Wall J S. Isolation and characterization of gliadin-like subunits from glutenin[J]. Cereal Chem, 1973, 50(5): 537-547
 - [12] Pogna N E, Autran J C, Mellini F, et al. Chromosome 1B-encoded gliadins and glutenin subunits in durum wheat: genetics and relationship to gluten strength[J]. J Cereal Sci, 1990, 11(1): 15-34
 - [13] Nieto-Taladriz M T, Perretant M R, Rousset M. Effect of gliadins and HMW and LMW subunits of glutenin on dough properties in the F₆ recombinant inbred lines from a bread wheat cross[J]. Theor Appl Genet, 1994, 88(1): 81-88
 - [14] Liang D, Tang J W, Peña R J, et al. Characterization of CIMMYT bread wheats for high- and low-molecular weight glutenin subunits and other quality-related genes with SDS-PAGE, RP-HPLC and molecular markers[J]. Euphytica, 2010, 172(2): 235-250
 - [15] Maucher T, Figueroa J D C, Reule W, et al. Influence of low molecular weight glutenins on viscoelastic properties of intact wheat kernels and their relation to functional properties of wheat dough[J]. Cereal Chem, 2009, 86(4): 372-375
 - [16] Gobaa S, Brabant C, Kleijer G, et al. Effect of the 1BL. 1RS translocation and of the *Glu-B3* variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. J Cereal Sci, 2008, 48(3): 598-603
 - [17] Tsenov N, Atanasova D, Todorov I, et al. Quality of winter common wheat advanced lines depending on allelic variation of *Glu-A3*[J]. Cereal Res Commun, 2010, 38(2): 250-258
 - [18] Park C S, Kang C S, Jeung J U, et al. Influence of allelic variations in glutenin on the quality of pan bread and white salted noodles made from Korean wheat cultivars[J]. Euphytica, 2011, 180(2): 235-250
 - [19] Graybosch R A. Quality effects of rye chromatin transfers to wheat[J]. J Cereal Sci, 2001, 33(1): 3-16
 - [20] Van Lill D, Howard N L, Van Niekerk H A. The dough handling properties of two South African wheats with the 1B/1R chromosome translocation[J]. S Afr J Plant Soil, 1990, 7(3): 197-200
 - [21] Wieser H, Kieffer R, Lelley T. The influence of 1B/1R chromosome translocation on gluten protein composition and technological properties of bread wheat[J]. J Sci Food Agr, 2000, 80(11): 1640-1647
 - [22] Liu Y N, He Z H, Appels R, et al. Functional markers in wheat: current status and future prospects[J]. Theor Appl Genet, 2012, 125(1): 1-10
 - [23] 陈新民, 张艳, 夏先春, 等. 高分子量麦谷蛋白亚基分子标记在小麦品种改良中的应用[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(5): 960-966
 - [24] 王晓辉, 李凤珍, 王丹, 等. 青海省小麦品种阿勃高分子量麦谷蛋白遗传多样性[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 84-88
 - [25] Varghese J P, Struss D, Kazman M E. Rapid screening of selected European winter wheat varieties and segregating population for the *Glu-D1d* allele using PCR marker[J]. Plant Breeding, 1996, 115(6): 451-454
 - [26] 徐相波, 刘冬成, 郭小丽, 等. 小麦麦谷蛋白亚基 1Dx5 的分子鉴定及标记辅助选择[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 415-419
 - [27] 韩海明, 白丽, 刘伟华, 等. 小麦-冰草多粒新种质的抗白粉病和高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(1): 31-35
 - [28] 张新忠, 黄天荣, 芦静, 等. 新疆冬小麦品质性状分析与评价[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5): 286-289
 - [29] 桑伟, 穆培源, 韩新年, 等. 新疆冬小麦区试新品种(系)品质分析与评价[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(4): 604-608
 - [30] 芦静, 张新忠. 小麦品质性状与面制食品加工特性相关性研究[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5): 290-292
 - [31] 相吉山, 穆培源, 桑伟, 等. 新疆冬小麦品种资源籽粒性状和磨粉品质与新疆拉面品质的关系[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(4): 812-817
 - [32] 芦静, 黄天荣, 聂莉, 等. 小麦高分子量谷蛋白亚基及 1B/1R 易位系对新疆拉面品质性状的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(10): 1909-1917
 - [33] 聂迎彬, 穆培源, 桑伟, 等. 新疆冬小麦谷蛋白亚基组成及其与新疆拉面加工品质的关系[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(1): 169-175
 - [34] Lagudah E S, Appels R, McNeil D. The *Nor-D3* locus of *Triticum tauschii*: naturation variation and genetic linkage to markers in chromosome 5[J]. Genome, 1991, 34(3): 387-395
 - [35] Ma W, Zhang W, Gale K R. Multiplex-PCR typing of high molecular weight glutenin alleles in wheat[J]. Euphytica, 2003, 134(1): 51-60
 - [36] Lei Z S, Gale K R, He Z H, et al. Y-type gene specific markers for enhanced discrimination of high-molecular weight glutenin alleles at the *Glu-B1* locus in hexaploid wheat[J]. J Cereal Sci, 2006, 43(1): 94-101
 - [37] Wang L H, Li G Y, Peña R J, et al. Development of STS markers and establishment of multiplex PCR for *Glu-A3* alleles in common wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. J Cereal Sci, 2010, 51(3): 305-312
 - [38] Wang L H, Zhao X L, He Z H, et al. Characterization of low-molecular-weight glutenin subunit *Glu-B3* genes and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Theor Appl Genet, 2009, 118(3): 525-539
 - [39] Francis H A, Leitch A R, Koeber R M D. Conversion of a RAPD-generated PCR product, containing a novel dispersed repetitive element, into a fast and robust assay for the presence of rye chromatin in wheat[J]. Theor Appl Genet, 1995, 90(5): 636-642
 - [40] Marchylo B A, Lukow O M, Kruger J E. Quantitative variation in high molecular weight glutenin subunit 7 in some Canadian wheats[J]. J Cereal Sci, 1992, 15(1): 29-37
 - [41] O'Farrell P H. High resolution two-dimensional electrophoresis of proteins[J]. J Biol Chem, 1975, 250(10): 4007-4021
 - [42] Dworschak R G, Ens W, Standing K G, et al. Analysis of wheat gluten proteins by matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry[J]. J Mass Spectrom, 1998, 33(5): 429-435
 - [43] Zhang X F, Liu D C, Yang W L, et al. Development of a new marker system for identifying the complex members of the low-molecular-weight glutenin subunit gene family in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Theor Appl Genet, 2011, 122(8): 1503-1516
 - [44] 王亮, 穆培源, 徐红军, 等. 新疆小麦品种高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3): 430-435
 - [45] 王亮, 穆培源, 徐红军, 等. 新疆小麦 1BL/1RS 易位和 Dx5 基因的多重 PCR 检测及其面筋品质分析[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 469-474
 - [46] 祝长青, 李艳红, 覃建兵. 新疆主栽小麦品种高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2008, 42(3): 431-434
 - [47] 芦静, 李建疆, 梁晓东, 等. 新疆部分春小麦品种(系)相关品质性状基因等位变异的分子检测[J]. 新疆农业科学, 2011, 47(12): 2333-2338