

冬播麦区 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点变异及 1B/1R 易位与小麦加工品质性状的关系

刘 丽^{1,2}, 阎 俊¹, 张 艳¹, 何中虎^{1,3}, Peña R. J.⁴, 张立平⁵

(¹中国农业科学院作物科学研究所/国家小麦改良中心, 北京 100081; ²云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明 650205; ³国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)中国办事处, 北京 100081; ⁴国际玉米小麦改良中心(CIMMYT), 墨西哥, Apdo, 6-641, 06600; ⁵北京市农林科学院杂交小麦工程技术研究中心, 北京 100089)

摘要: 贮藏蛋白组成是决定小麦加工品质的重要因素。本文调查了我国冬播麦区 251 份主栽品种和高代品系的高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)、低分子量麦谷蛋白亚基(LMW-GS)和 1B/1R 易位的分布状况, 研究了它们与加工品质性状的关系。结果表明, 品质较差的 HMW-GS N、7+9、2+12 和 LMW-GS *Glu-A3a* 与 *Glu-B3j* (1B/1R 易位) 在冬播麦区分布较广, 频率分别为 39.4%、45.0%、59.8%、37.1% 和 44.6%。HMW-GS 和 LMW-GS 等位变异对籽粒蛋白质含量影响较小, 对 SDS 沉降值、和面时间与耐揉性的加性和互作效应达 1% 的显著水平。按位点对加工品质性状的贡献大小, *Glu-D1*>*Glu-B3*>*Glu-B1*>*Glu-A3*>*Glu-A1*; 就单个亚基而言, *Glu-A1* 位点, 1>2>N; *Glu-B1* 位点, 7+8>14+15>7+9; *Glu-D1* 位点, 5+10>4+12>2+12; *Glu-A3* 位点, *Glu-A3d*>*Glu-A3a*>*Glu-A3c*>*Glu-A3e*, *Glu-B3* 位点; *Glu-B3d*>*Glu-B3b*>*Glu-B3f*>*Glu-B3j*。1B/1R 易位对 SDS 沉降值、和面时间和耐揉性等加工品质性状有显著负面效应。通过选择优质高低分子量麦谷蛋白亚基和淘汰 1B/1R 易位系, 将有助于提高我国小麦的面筋质量。

关键词: 普通小麦; 高分子量麦谷蛋白亚基; 低分子量麦谷蛋白亚基; 1B/1R 易位; 加工品质

Allelic Variation at the *Glu-1* and *Glu-3* Loci and Presence of 1B/1R Translocation, and their Effects on Processing Quality in Cultivars and Advanced Lines from Autumn-Sown Wheat Regions in China

LIU Li^{1,2}, YAN Jun¹, ZHANG Yan¹, HE Zhong-hu^{1,3}, Peña R.J.⁴, ZHANG Li-ping⁵

(¹National Wheat Improvement Center/Crop Science Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ²Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205; ³CIMMYT-China Office, c/o Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ⁴CIMMYT, Apdo. Postal 6-641, 06600 Mexico, D.F., Mexico; ⁵Research Center for Hybrid Wheat, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100089)

Abstract: Storage protein composition played an important role in determining the processing quality in common wheat. Totally, 251 Chinese wheat cultivars and advanced lines from autumn-sown wheat regions in China were used to investigate the high molecular weight glutenin subunits (HMW-GS) and low molecular weight glutenin subunits (LMW-GS) composition controlled by the *Glu-1* and *Glu-3* loci, as well as the presence of 1B/1R translocation, and to determine the association of storage protein composition with protein content, SDS sedimentation value, and dough properties. HMW-GS of Null, 7+9, 2+12, and LMW-GS of *Glu-A3a* and *Glu-B3j* associated with poor quality were the dominant glutenin subunits, and their frequencies were 39.4%, 45.0%, 59.8%, 37.1% and 44.6%, respectively. Less significant effect of glutenin subunits and glutenin subunit interaction was observed on protein content. According to the glutenin subunit contribution to SDS sedimentation value, mixing time and mixing tolerance, different glutenin subunit loci could be ranked as: *Glu-D1*>*Glu-B3*>*Glu-B1*>*Glu-A3*>*Glu-A1*. At *Glu-A1*, 1>2>N; at *Glu-B1*, 7+8>14+15>7+9; at *Glu-D1*, 5+10>4+12>2+12; at *Glu-A3*, *Glu-A3d*>*Glu-A3a*>*Glu-A3c*>*Glu-A3e*; at *Glu-B3*, *Glu-B3d*>*Glu-B3b*>*Glu-B3f*>*Glu-B3j*. 1B/1R translocation had a significant negative effect on SDS sedimentation value, mixing time and mixing tolerance. Selection of high and low molecular weight glutenin subunits and elimination of 1B/1R translocation lines will help to improve the dough quality of Chinese wheat.

收稿日期: 2004-10-08

基金项目: 北京市自然科学基金(5041001)和“973”重大基础研究发展规划(2002CB101300)资助

作者简介: 刘 丽(1974-), 女, 云南昆明人, 硕士, 主要从事小麦遗传育种研究。何中虎为通讯作者, Tel: 010-68918547; E-mail: Zhhe@public3.bta.net.cn

Glu-B3f>Glu-B3j. Lines carrying 1B/1R translocation showed significantly deleterious effect on gluten quality such as SDS sedimentation, mixing time and mixing tolerance.

Key words: Common wheat; HMW-GS; LMW-GS; 1B/1R translocation; Processing quality

小麦谷蛋白是面筋的主要成分之一, 对加工品质有着重要决定作用。根据十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS-PAGE) 迁移率, 麦谷蛋白可分为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)^[1]。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, 而 LMW-GS 则分别由位于短臂的 *Glu-A3*、*Glu-B3* 和 *Glu-D3* 位点 (统称 *Glu-3*) 的基因编码^[2,3]。

HMW-GS 对小麦加工品质的重要影响已得到普遍认可^[4,5], 亚基构成已成为品质育种的主要依据之一^[6]。Branlard 和 Felix^[7]报道, HMW-GS 能解释面筋强度和粘弹性变异的 18%~55%, 而 LMW-GS 能解释其变异的 20%。Gianibelli 等^[8]研究表明, 亚基 1 和 5+10 对面筋强度、亚基 2* 和 17+18 对面团延展性有正向效应。由于 LMW-GS 在小麦籽粒中含量丰富, 占麦谷蛋白的 60% 左右^[9], 在过去 10 年间, LMW-GS 组成及其与品质性状的关系已成为国际上的热点研究领域之一^[10-12]。据报道, *Glu-A3*、*Glu-B3* 和 *Glu-D3* 位点变异对面筋强度的贡献大小分别为, *Glu-A3b>Glu-A3c>Glu-A3e*, *Glu-B3i ≥ Glu-B3b ≥ Glu-B3c=Glu-B3c=Glu-B3g>Glu-B3b=Glu-B3f=Glu-B3d>Glu-3j*, *Glu-D3e>Glu-D3b>Glu-D3a>Glu-D3c>Glu-D3d*^[10,12]。国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 已将高低分子量麦谷蛋白亚基组成用于品质改良, 并取得明显进展。

中国对 HMW-GS 构成及其与小麦品质的关系进行了大量研究。He 等^[13]和张学勇等^[14]研究了中国的 HMW-GS 组成特点和遗传多样性, 但主要集中于遗传变异分析, 未能分析亚基组成与加工品质性状的关系, 同时未考虑其与 LMW-GS 的综合作用。因此, 中国现有小麦主栽品种的 HMW-GS 组成及对品质性状的影响还值得进一步深入研究。国内对 LMW-GS 的研究较少, 只在少数几个分离群体后代中观察到不同亚基对品质的不同作用, 尚不具有广泛代表性^[15,16]; 也有研究对不同亚基与小麦面团特性、面包和面条等品质的关系进行了分析, 但受品质分析指标的影响限制了样本数^[17]。中国现有小麦主栽品种 LMW-GS 的分布尚不清楚, 严重影响了小麦品质改良育种进程。1B/1R 易位系如洛夫林、牛朱特、山前、

高加索和阿夫乐尔等品种, 在中国小麦育种中发挥了重要作用, 为生产作出了重要贡献^[18]。然而, 黑麦染色体片段引入普通小麦, 在提高抗病性和丰产性的同时却导致重要醇溶蛋白和 LMW-GS 减少, 或被品质较差的黑麦碱取代, 导致面团粘性增大和面筋强度减弱, 引起小麦品质变劣^[19]。国内有关 1B/1R 易位与小麦品质的关系报道很少^[20], 其分布主要依据系谱推导, 准确性较差, 因此 1B/1R 易位的分布以及对小麦品质的负面影响尚需进一步研究。

针对上述问题, 本研究调查了中国冬播麦区 251 份小麦品种和高代品系 HMW-GS、LMW-GS 和 1B/1R 易位的分布, 研究 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点、亚基构成和 1B/1R 易位对小麦品质的作用, 目的是为改良小麦面粉质量、加快品质育种进程提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

中国冬播麦区主栽品种和高代品系共 251 份, 其中北部冬麦区 63 份、黄淮冬麦区 133 份、长江中下游麦区 29 份、西南麦区 26 份, 基本上反映了冬播麦区生产上主要品种和育种高代品系的品质现状。供试材料于 2001~2002 年分别种植在中国农业科学院作物科学研究所和中国农业科学院棉花研究所, 田间种植按来源地区顺序排列, 1 次重复, 北京 2 行区, 安阳 4 行区, 行长 2.0 m, 行距 0.3 m, 试验地肥力中等, 按当地常规管理。

1.2 SDS-PAGE 分离蛋白和 1B/1R 易位鉴定

方法见参考文献[21]。

1.3 品质分析

用 Foss 公司 1241 型近红外光谱透射仪测定籽粒蛋白质含量。

制粉: 用 Foss Tecator 公司 Cyclotec1093 型旋风磨磨制全麦粉(0.5 mm 筛孔), 用 Brabender 公司 Quadrumat Junior 磨磨制面粉, 过 60 目筛, 出粉率约 58%。

微量沉降值用德国 Brabender 公司沉降实验装置, 采用 Pena 等^[22]的方法。

揉面仪参数用 10 g 美国 Nationalmfg 公司揉面仪, 按 AACC 方法 54-40A 测定, 记录和面时间 (mixing

time) 和耐揉性 (mixing tolerance)。

1.4 统计分析

用 SAS8e 统计软件对北京和安阳两试点的品质性状计算平均值, 并进行基本统计量分析、协方差分析和差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 冬播麦区 HMW-GS 和 LMW-GS 分布与组成

用 SDS-PAGE 分析供试品种和高代品系的 HMW-GS 和 LMW-GS 等位变异, 结果汇总于表 1。*Glu-A1* 位点等位变异包括 2^{*}、1 和 N 等 3 种类型, 亚基 1 最普遍, 频率高达 51.3%, 亚基 2^{*} 的频率最低 (9.1%)。*Glu-B1* 位点共有 9 种等位变异, 亚基 7+9、7+8 和 14+15 亚基较普遍, 频率分别为 45.0%、38.2% 和 6.0%; 20、6+8 和 17+18 亚基的频率较低, 分别为 4.0%、2.8% 和 2.0%; 在农大 99-5009 和关封 2 号、N9209-3 和云麦 42、济麦 20 中分别检测到了稀有亚基 7^{*}+8、7 和 13+16。*Glu-D1* 位点共有 4 种等位变异, 分别是 5+10、2+12、3+12 和 4+12, 亚基 2+12 的频率最高, 达 59.8%, 优质亚基 5+10 的频率较低, 为 24.7%, 3+12 亚基的频率最低 (3.2%)。*Glu-A3* 位点共有 5 种等位变异, 分别是 *Glu-A3d*、*Glu-A3b*、

Glu-A3c、*Glu-A3a* 和 *Glu-A3e*, 劣质亚基 *Glu-A3a* 的频率最高, 达 37.1%, 优质亚基 *Glu-A3d* 的频率也较高, 为 31.1%, *Glu-A3b* 亚基的频率最低 (2.0%)。*Glu-B3* 位点共有 8 种等位变异, 劣质亚基 *Glu-B3j* (1B/1R 易位系) 最普遍, 频率高达 44.6%, 其次是 *Glu-B3d*、*Glu-B3f*、*Glu-B3b* 和 *Glu-B3h* 亚基, 频率分别为 20.3%、15.5%、11.6% 和 4.8%, 在 CA9722、郑州 81-1 和鲁麦 23 中检测到稀有亚基 *Glu-B3a*, 在凤麦 24 和凤麦 27、临汾 137 和皖麦 33 中分别检测到稀有亚基 *Glu-B3b'* 和 *Glu-B3g*。总之, 品质较差的亚基 7+9、2+12、*Glu-A3a* 和 *Glu-B3j* 在冬播麦区的频率较高, 这可能是中国小麦面筋品质差的主要原因之一。

由表 1 还可以看出, 各麦区 HMW-GS 和 LMW-GS 构成存在显著差异。1B/1R 易位系在北方冬麦区、黄淮冬麦区、长江中下游麦区和西南麦区的频率分别为 51.5%、50.4%、6.9% 和 34.6%, 可能原因是北方冬麦区和黄淮冬麦区在育种中大量使用洛夫林 10 号、洛夫林 13 号和牛朱特等 1B/1R 易位材料, 以提高对条锈和白粉病的抗性, 而长江中下游麦区的目标是改良赤霉病的抗性, 以应用意大利的种质为主, 西南麦区则用 1B/1R 易位衍生系提高对条锈病的抗性。

表 1 供试品种 HMW-GS 和 LMW-GS 的等位变异与频率

Table 1 Frequency of HMW and LMW glutenin subunits in wheats from different autumn-sown wheat regions in China

位点 Locus	亚基/位点 Subunit /Allele	样本数 Number	频率 Frequency(%)	北方冬麦区 NCPWWR	黄淮冬麦区 YHVWWR	长江中下游麦区 MLYWWR	西南麦区 SWWR
<i>Glu-A1</i>	1	129	51.3	34.9	60.9	44.8	50.0
	2 [*]	23	9.1	15.9	8.3	0.0	7.7
	N	99	39.4	49.2	30.8	55.2	42.3
<i>Glu-B1</i>	7+8	96	38.2	39.7	33.8	55.2	38.5
	14+15	15	6.0	1.6	9.0	6.9	0.0
	7+9	113	45.0	50.8	44.4	31.0	50.0
	其它 Others	27	10.8	7.9	12.8	6.8	12.5
<i>Glu-D1</i>	5+10	62	24.7	30.2	18.0	20.7	50.0
	4+12	31	12.3	7.9	15.8	13.8	3.8
	2+12	150	59.8	54.0	64.7	65.5	42.3
	其它 Others	8	3.2	7.9	1.5	0.0	3.8
<i>Glu-A3</i>	<i>d</i>	78	31.1	33.3	36.1	6.9	26.9
	<i>a</i>	93	37.1	23.8	36.8	51.7	53.8
	<i>c</i>	51	20.3	25.4	15.8	34.5	15.4
	<i>e</i>	24	9.6	17.5	7.5	6.9	3.8
	其它 Others	5	2.0	0.0	3.8	0.0	0.0
<i>Glu-B3</i>	<i>d</i>	52	20.3	20.6	24.1	13.8	11.5
	<i>b</i>	29	11.6	7.9	6.8	27.8	26.9
	<i>f</i>	39	15.5	4.8	12.8	48.3	19.2
	<i>j</i> (1B/1R)	112	44.6	51.5	50.4	6.9	34.6
	其它 Others	19	7.6	12.7	6.0	3.4	7.7

“其它”包括频率较低的亚基

“Others” include subunits with very low frequency

NCPWWR=North China Plain Winter Wheat Region; YHVWWR=Yellow and Huai Valleys' Winter Wheat Region; MLYWWR=Middle and Low Yangtze Winter Wheat Region; SWWR=Southwestern Winter Wheat Region

2.2 品质表现

对北京和安阳两试点的品质性状进行基本统计分析。结果表明, 北京点的蛋白质含量、SDS 沉降值、和面时间和耐揉性分别为 15.7%、16.9 ml、2.6 min 和

2.5 min, 皆显著高于安阳点的蛋白质含量 (15.5%)、SDS 沉降值 (13.1 ml)、和面时间 (2.1 min) 和耐揉性 (1.9 min), 说明北京比安阳更适于优质面包小麦的生产。

表 2 试点间品质性状的差异显著性比较

Table 2 Comparison of quality parameters of Chinese wheats sown in Beijing and Anyang

试点 Location	参数 Parameter	蛋白含量 Protein content (14% m.b)	SDS 沉降值 SDS sed. value (ml)	和面时间 Mixing time (min)	耐揉性 Mixing tolerance (min)
北京 Beijing	平均 Mean	15.7a	16.9a	2.6a	2.5a
	变幅 Range	13.4~19.6	6.5~23.3	1.2~7.0	0.9~7.5
	标准差 Sd	0.9	3.4	1.0	1.1
安阳 Anyang	平均 Mean	15.5b	13.1b	2.1b	1.9b
	变幅 Range	13.5~20.1	6.0~22.0	1.1~5.6	0.8~7.7
	标准差 Sd	0.8	3.3	0.7	0.7

不同字母表示差异达 5% 显著水平。下同

Different letters indicate significant difference at 5% probability level. The same as below

2.3 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点变异对品质性状的效应分析

以 *Glu-A1*、*Glu-B1*、*Glu-D1*、*Glu-A3* 和 *Glu-B3* 作为 5 个因素, 对供试品种两试点的蛋白质含量、SDS 沉降值、和面时间和耐揉性的平均值进行多因素协方差分析, 比较 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点对小麦加工品质的贡献大小, 结果列于表 3。由表 3 可以看出, *Glu-D1*

位点对和面时间和耐揉性的加性效应最大, 皆达 1% 显著水平, 贡献率分别为 30% 和 23%。其次 *Glu-B3* 位点对 SDS 沉降值、和面时间和耐揉性的加性效应也较大, 皆达 1% 显著水平, 贡献率分别为 14%、8% 和 15%。*Glu-A1* 和 *Glu-A3* 位点对和面时间和耐揉性的加性效应较小。就位点互作效应而言, *Glu-B1*×*Glu-A3*

表 3 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点对两地品质平均值的效应 (协方差) 分析

Table 3 GLM of *Glu-1* and *Glu-3* loci on processing quality of Chinese wheat based on the averaged data from two locations

位点 Locus	自由度 df	蛋白含量		SDS 沉降值		和面时间		耐揉性	
		Protein content		SDS sed. value		Mixing time		Mixing tolerance	
		MS	%	MS	%	MS	%	MS	%
<i>Glu-A1</i>	2	3.8**	4	99.8**	9	5.7**	6	2.1**	2
<i>Glu-B1</i>	8	0.8	4	28.9**	10	1.4**	6	3.9**	15
<i>Glu-D1</i>	3	1.9*	3	41.8**	5	17.6**	30	16.0**	23
<i>Glu-A3</i>	4	2.1*	5	21.8**	4	2.6**	6	2.0**	4
<i>Glu-B3</i>	7	1.2	5	45.2**	14	2.1**	8	4.5**	15
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-B1</i>	9	0.6	3	8.1	3	0.5*	3	0.8**	3
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-D1</i>	5	0.4	1	16.7**	4	0.2	1	0.5	1
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-A3</i>	6	1.5*	5	7.4	2	0.5*	2	0.3	1
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-B3</i>	8	0.3	2	3.9	1	0.5*	2	0.7**	3
<i>Glu-B1</i> × <i>Glu-A3</i>	12	0.5	4	5.6	3	0.7**	5	0.4	2
<i>Glu-D1</i> × <i>Glu-A3</i>	9	0.7	4	7.6	3	0.7**	4	0.8**	3
<i>Glu-A3</i> × <i>Glu-B3</i>	11	0.8	5	4.9	2	0.4*	3	0.3	2
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-B1</i> × <i>Glu-B3</i>	6	0.5	2	10.0*	3	0.3	1	0.4	1
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-D1</i> × <i>Glu-A3</i>	5	0.3	1	10.5*	2	0.7**	2	0.9**	2
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-A3</i> × <i>Glu-B3</i>	5	0.4	1	6.6	1	0.9**	3	1.0**	2
误差 Error	107	0.6		4.5		0.2		0.2	

% 为平方和占总平方和的比例, 即某一位点变异解释了各品质性状总变异的比例。* 和 ** 分别表示 5% 和 1% 的显著水平

% is the partial sum of squares as percentage of the total sum of square, and these can be interpreted as indication of the relevance of various characteristics.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively

和 *Glu-A1*×*Glu-A3*×*Glu-B3* 位点的互作效应对面团和面特性的影响较大。总之, *Glu-1* 和 *Glu-3* 的 5 个位点对 SDS 沉降值的贡献大小为, *Glu-B3*>*Glu-B1*>*Glu-A1*>*Glu-D1*>*Glu-A3*, 对和面时间的贡献大小为, *Glu-D1*>*Glu-B3*>*Glu-B1*=*Glu-A1*=*Glu-A3*>*Glu-B1*×*Glu-A3*, 对耐揉性的贡献大小为, *Glu-D1*>*Glu-B3*=*Glu-B1*>*Glu-A3*>*Glu-A1*。说明, *Glu-D1* 位点对小麦加工品质有重要决定作用, 同时 LMW-GS 的 *Glu-B3* 位点也有不可忽视的重要作用。

2.4 单个亚基对品质性状的影响

将不同亚基对两试点的蛋白质含量、SDS 沉降值、和面时间和耐揉性平均值的影响列于表 4。从表 4 可

以看出, *Glu-1* 位点含有 1、7+8 和 5+10 亚基品种的 SDS 沉降值、和面时间和耐揉性显著优于相应位点上含有其它亚基的品种, *Glu-3* 位点含有 *Glu-A3d* 和 *Glu-B3d* 亚基品种显著优于相应位点上含有其它亚基的品种, 而具有 *Glu-B3j* 亚基品种的 SDS 沉降值、和面时间和耐揉性明显不如 *Glu-B3* 位点上含有其它亚基的品种, 差异皆达 5% 显著水平。总体而言, 单个亚基对 SDS 沉降值、和面时间和耐揉性的贡献大小为, *Glu-A1* 位点, 1>2^{*}>N; *Glu-B1* 位点, 7+8>14+15>7+9; *Glu-D1* 位点, 5+10>4+12>2+12; *Glu-A3* 位点, *Glu-A3d*>*Glu-A3a*>*Glu-A3c*>*Glu-A3e*; *Glu-B3* 位点, *Glu-B3d*>*Glu-B3b*>*Glu-B3f*>*Glu-B3j*。

表 4 单个亚基对两地品质平均值的影响

Table 4 Comparison of quality effects associated with the presence of specific glutenin subunits in Chinese wheats based on the averaged data from two locations

位点 Locus	亚基/位点 Subunit/Allele	样本数 Number	蛋白含量 Protein content (14% m.b.)	SDS 沉降值 SDS sed. value (ml)	和面时间 Mixing time (min)	耐揉性 Mixing tolerance (min)
<i>Glu-A1</i>	1	129	15.8a	15.9a	2.6a	2.4a
	2 [*]	23	15.5b	14.5b	2.2b	2.2b
	N	99	15.5b	14.1b	2.1b	2.2b
<i>Glu-B1</i>	7+8	96	15.6b	15.6a	2.6a	2.7a
	14+15	15	16.1a	16.5a	2.3ab	2.3ab
	7+9	113	15.6b	14.4b	2.2b	2.0b
<i>Glu-D1</i>	5+10	62	15.9a	16.6a	3.2a	3.1a
	4+12	31	15.4a	14.9b	2.3b	2.2b
	2+12	150	15.6a	14.6b	2.1b	2.0b
<i>Glu-A3</i>	<i>d</i>	78	15.9ab	15.9a	2.7a	2.5a
	<i>a</i>	93	15.6ab	15.3ab	2.4b	2.3b
	<i>c</i>	51	15.5b	14.2bc	2.1c	2.0b
	<i>e</i>	24	16.0a	13.5c	1.9c	1.8c
<i>Glu-B3</i>	<i>d</i>	52	16.0a	17.2a	2.9a	2.9a
	<i>b</i>	29	15.9a	16.1ab	2.5b	2.5b
	<i>f</i>	39	15.5b	15.7ab	2.5b	2.6b
	<i>j</i>	112	15.5b	13.6b	2.1c	1.8c

2.5 1B/1R 易位对品质性状的效应分析

由表 5 可以看出, 非 1B/1R 易位系的 SDS 沉降值、和面时间和耐揉性分别为 16.1 ml、2.6 min 和 2.6 min, 明显优于 1B/1R 易位系的 SDS 沉降值 (13.6 ml)、和面时间 (2.1 min) 和耐揉性 (1.8 min), 差异达 5% 显著水平。说明 1B/1R 易位对小麦加工品质性状存在显著的负面效应。

2.6 HMW-GS 和 LMW-GS 组合对小麦品质表现的决定作用

将 HMW 和 LMW 麦谷蛋白亚基组合与品质性状的关系进行汇总, 结果表明, 亚基组合为 N、7+8、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3d* 的品种品质最好, 亚基组合为 1、7+8、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3d*, 1、14+15、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3g*, 1、7+9、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3d* 和 N、7+8、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3a* 的品种品质较好, 亚基组合为 1、20、2+12、*Glu-A3a*、*Glu-B3j*, N、20、2+12、*Glu-A3d*、*Glu-B3j* 和 1、7、2+12、*Glu-A3a*、*Glu-B3f* 的品种品质最差。

表 5 1B/1R 易位对品质性状的影响

Table 5 Quality parameters of normal and 1B/1R translocation wheat germplasm grown at two locations

位点 Location	类型 Type	样本数 Number	蛋白含量 Protein content (14% m.b.)	SDS 沉降值 SDS sed.value (ml)	和面时间 Mixing time (min)	耐揉性 Mixing tolerance (min)
北京 Beijing	非 1B/1R Normal 1B/1R	139 112	15.8a 15.6a	18.0a 15.5b	2.9a 2.2b	3.0a 1.9b
安阳 Anyang	非 1B/1R Normal 1B/1R	139 112	15.7a 15.3b	14.2a 11.7b	2.2a 1.9b	2.2a 1.6b
两地平均 Mean	非 1B/1R Normal 1B/1R	139 112	15.8a 15.5b	16.1a 13.6b	2.6a 2.1b	2.6a 1.8b

3 讨论

通过改良 HMW-GS 和 LMW-GS 构成提高面筋强度对我国小麦品质改良具有重要意义。品质较差的亚基 N、7+9、2+12、*Glu-A3a* 和 *Glu-B3j* (1B/1R 易位) 在冬播麦区小麦品种中占较高的比例, 而优质亚基 14+15、5+10 和 *Glu-B3d* 的频率较低, 这可能是中国小麦面筋强度偏弱的主要原因。因此品质育种中应加强优质亚基的转育、筛选和利用, 从而提高小麦面筋强度。本研究与国内外研究一致表明, 1B/1R 易位对小麦品质存在显著的负面效应, 建议品质育种中尽量少用或亲本之一必须为非 1B/1R 易位系, 并在后代中淘汰 1B/1R 易位株。与前人的研究结果相比^[13,14], 本实验不仅调查了 HMW-GS 的分布, 而且对中国冬播麦区小麦品种 LMW-GS 的分布进行调查, 加强了中国对这一薄弱环节的品质研究, 为小麦面筋品质改良提供全面、准确的育种信息。

本研究表明, *Glu-D1* 和 *Glu-B3* 位点对小麦加工品质的贡献较大, 与 Gupta 和 MacRitchie 等^[23]的结论一致。单个 HMW-GS 对 SDS 沉降值、和面时间和耐揉性的贡献大小为, 1>2>N, 7+8>14+15>7+9, 5+10>4+12>2+12, 与已有结论基本一致^[5-12], 这说明对面筋强度而言, 1、7+8 和 5+10 亚基为优质亚基, 而 N、7+9 和 2+12 亚基为劣质亚基。单个 LMW-GS 的贡献大小为 *Glu-A3d*>*Glu-A3a*>*Glu-A3c*>*Glu-A3e*, *Glu-B3d*>*Glu-B3b*>*Glu-B3f*>*Glu-B3j*, 与 Branlard 等^[12]的结果基本一致, 说明 *Glu-A3d* 和 *Glu-B3d* 亚基为优质亚基, *Glu-A3e* 和 *Glu-B3j* 亚基为劣质亚基。

大量研究显示, *Glu-1* 位点编码的 HMW-GS 对小麦品质有重要影响, 本研究及 Gupta 等^[10]和 Luo 等^[11]研究表明, *Glu-3* 位点编码的 LMW-GS 对小麦品质也有重要决定作用。因此中国过去在品质改良中, 较多注重 HMW-GS 的研究而忽略了 LMW-GS 对品质的重要影响, 不利于小麦品质的全面改良。品质育种中应

充分应用含有优质 HMW-GS 和 LMW-GS 的亚基构成 N、7+8、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3d*, 1、7+8、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3d*, 1、14+15、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3g*, 1、7+9、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3d* 和 N、7+8、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3a* 的品种如中优 9701、中优 14、郑州 7898、郑 81-1、陕 253、皖麦 33 和优选 9 等; 而尽量避免使用亚基构成为 1、20、2+12、*Glu-A3a*、*Glu-B3j*, N、20、2+12、*Glu-A3d*、*Glu-B3j* 和 1、7、2+12、*Glu-A3a*、*Glu-B3f* 的品种如冀 95-6023、临汾 127、中 91162 和宁 9548。

本研究的不足之处在于, 由于试验所用的样本数较大, 增加了进行全面品质分析的难度, 因此本实验品质性状测试的指标主要为反映面筋强度的揉面仪参数, 品质分析指标还不够全面。

4 结论

品质较差的 HMW-GS N、7+9、2+12 和 LMW-GS *Glu-A3a* 与 *Glu-B3j* (1B/1R 易位) 在冬播麦区分布较广, 而优质亚基 14+15、5+10 和 *Glu-B3d* 的频率较低, 这可能是中国小麦面筋强度偏弱的主要原因。1B/1R 易位对小麦品质存在显著的负面效应。因此, 通过选择优质高低分子量麦谷蛋白亚基和淘汰 1B/1R 易位系, 将有助于提高中国小麦的面筋质量。

References

- [1] Payne P I, Corfield K G. Subunit composition of wheat glutenin proteins, isolated by gel filtration in a dissociating medium. *Planta*, 1979, 145: 83-88.
- [2] Payne P I. Genetics of wheat storage protein and the effect of allelic variation on pan bread quality. *Annual Review of Plant Physiology*, 1987, 38: 141-153.
- [3] Singh N K, Shepherd K W. Linkage mapping of the genes controlling endosperm proteins in wheat. I. Genes on the short arms of group 1 chromosomes. *Theoretical and Applied Genetics*, 1988, 75: 628-641.
- [4] Carrillo J M, Rousset M, Qualset C O, Kasarda D D. Use of

- recombinant inbred lines of wheat for studying the associations of high-molecular-weight glutenin subunits alleles to quantitative traits. I. Grain yield and quality prediction tests. *Theoretical and Applied Genetics*, 1990, 79: 321-330.
- [5] Lagudah E S, O'Brien L, Halloran G M. Influence of gliadin composition and high molecular weight subunits of glutenin on dough properties in an F₃ population of a bread wheat cross. *Journal of Cereal Science*, 1988, 7: 33-42.
- [6] Cornish G B, Panozzo J F, Wrigley C W. Victorian wheat protein families. Cereals 98. *Proceeding 48th Australian Cereal Chemistry Conference*. O'Brien L, Blakeney A B, Ross A S, Wrigley C W (eds). RACI: Melbourne, Australia. pp183-188.
- [7] Brandlard G, Felix I. Part of the HMW glutenin subunits and omega gliadin allelic variants in the explanation of the quality parameters. In: *Proceeding International Meeting-Wheat Kernel Proteins: Molecular and Functional Aspects*, S. Martinal al Cimino, Viterbo, Italy. 1994: 249-251.
- [8] Gianibelli M C, Larroque O R, MacRitchie F, Wrigley C W. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. *Cereal Chemistry*, 2001, 78: 635-646.
- [9] Bietz J A, Wall J S. Isolation and characterization of gliadin-like subunits from glutenin. *Soil Biology and Biochemistry*, 1973, 50: 537-547.
- [10] Gupta R B, Paul J G, Cornish G B, Palmer G A, Bekes F, Rathjen A J. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, *Glu-1*, *Glu-3* and *Gli-1*, of common wheat. I. Its additive and interaction effects on dough properties. *Journal of Cereal Sciences*, 1994, 19: 9-17.
- [11] Luo C, Griffin W B, Brandlard G, McNeil D L. Comparison of low and high molecular weight wheat glutenin allele effects on flour quality. *Theoretical and Applied Genetics*, 2001, 102: 1 088-1 098.
- [12] Branlard G, Dardevet R, Saccomano F, Lagoutte F, Gourdon J. Genetics diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica*, 2001, 119: 59-67.
- [13] He Z H, Pena R J, Rajaram S. High molecular weight glutenin subunit composition of Chinese bread wheats. *Euphytica*, 1992, 64: 11-20.
- [14] 张学勇, 庞斌双, 游光霞, 王兰芬, 贾继增, 董玉琛. 中国小麦品种资源 *Glu-1* 位点组成概况及遗传多样性分析. *中国农业科学*, 2002, 35(11): 1 302-1 310.
- Zhang X Y, Pang B S, You G X, Wang L F, Jia J Z, Dong Y C. Allelic variation and genetic diversity at *Glu-1* loci in Chinese wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(11): 1 302-1 301. (in Chinese)
- [15] 韩彬, Shepherd K W. 低分子量谷蛋白亚基与醇溶蛋白的关系及其对小麦加工品质的影响. *中国农业科学*, 1991, 24(4): 19-25.
- Han B, Shepherd K W. The correlations between LMW glutenin subunits and gliadins and their effects on bread-making quality in the progeny of two wheats. *Scientia Agricultura Sinica*, 1991, 24(4): 19-25. (in Chinese)
- [16] 刘丽, 周阳, 何中虎, 王德森, 张艳, Peña R J. 高、低分子量麦谷蛋白亚基等位变异对小麦加工品质性状的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(1): 8-14.
- Liu L, Zhou Y, He Z H, Wang D S, Zhang Y, Peña R J. Effect of allelic variation in HMW and LMW glutenin subunits on the processing quality in common wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(1): 8-14. (in Chinese)
- [17] 刘丽, 周阳, 刘建军, 何中虎, 杨金. *Glu-1* 和 *Glu-3* 等位变异及 1B/1R 易位与面包和面条品质关系的研究. *中国农业科学*, 2004, 37(9): 1 265-1 273.
- Liu L, Zhou Y, Liu J J, He Z H, Yang J. Effect of allelic variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci and presence of 1BL/1RS translocation on pan bread and dry white Chinese noodle quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(9): 1 265-1 273. (in Chinese)
- [18] 周阳, 何中虎, 张改生, 夏兰芹, 陈新民, 高永超. 1BL/1RS 品种在我国小麦育种中的应用. *作物学报*, 2004, 30(6): 531-535.
- Zhou Y, He Z H, Zhang G S, Xia L Q, Chen X M, Gao Y C. Application of 1BL/1RS in wheat breeding in China. *Journal of Chinese Crop Science*, 2004, 30(6): 531-535. (in Chinese)
- [19] Graybosch R A. Quality effects of rye chromatin transfers to wheat. *Journal of Cereal Science*, 2001, 33: 3-16.
- [20] 刘建军, 何中虎, Pena R J, 赵振东. 1BL/1RS 易位对小麦加工品质的影响. *作物学报*, 2004, 30(2): 149-153.
- Liu J J, He Z H, Pena R J, Zhao Z D. The effect of 1BL/1RS translocation on grain quality and noodle quality of bread wheat. *Journal of Chinese Crop Science*, 2004, 30(2): 149-153. (in Chinese)
- [21] 刘丽, 周阳, 何中虎, 阎俊, 张艳, Peña R J. *Glu-1* 和 *Glu-3* 等位变异对小麦加工品质的影响. *作物学报*, 2004, 30(11): 1 087-1 093.
- Liu L, Zhou Y, He Z H, Yan J, Zhang Y, Peña R J. Effect of allelic variation at *Glu-1* and *Glu-3* loci on processing quality in Common wheat. *Journal of Chinese Crop Science*, 2004, 30(11): 1 087-1 093. (in Chinese)
- [22] Peña R J, Amaya A, Rajaram S, Mujeep-Kazi A. Variation in quality of characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *Journal of Cereal Science*, 1990, 12: 105-112.
- [23] Gupta G B, MacRitchie F. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, *Glu-1*, *Glu-3* and *Gli-1* of common wheats. II. Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *Journal of Cereal Science*, 1994, 19: 19-29.

(责任编辑 孙雷心)