

杨 丹, 姚金保, 杨学明, 等. 北方麦区小麦品种高分子量谷蛋白亚基组成及其与品质性状的关系[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 241-246.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.003

北方麦区小麦品种高分子量谷蛋白亚基组成及其与品质性状的关系

杨 丹¹, 姚金保¹, 杨学明¹, 周淼平¹, 马鸿翔¹, 王亚松²

(1. 江苏省农业科学院 江苏省农业生物学重点实验室, 江苏 南京 210014; 2. 江苏红旗种业股份有限公司, 江苏 泰州 225300)

摘要: 为了解北方麦区小麦品种的遗传多样性, 挖掘可供利用的优异高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS)类型, 为品质改良提供基础材料, 利用聚丙烯酰胺凝胶电泳方法(SDS-PAGE), 分析了 172 份北方麦区部分小麦品种的 HMW-GS 组成, 并对其与蛋白质含量和沉降值之间的关系进行了研究。结果表明: *Glu-A1*、*Glu-B1* 和 *Glu-D1* 分别具有 3 种、6 种和 3 种不同的亚基类型。亚基 1、7+9 和 5+10 在各自位点上出现的频率最高, 分别达到了 54.07%、48.26% 和 49.42%。3 个位点亚基对蛋白质含量的效应可分别表示为: $1 \geq 2^* > \text{Null}$, $13+16 \geq 14+15 \geq 17+18 \geq 7+8 > 7+9 > 6+8$, $5+10 > 2+12 > 4+12$; 对沉降值的作用可分别表示为: $2^* \geq 1 > \text{Null}$, $14+15 \geq 17+18 > 7+8 \geq 13+16 > 7+9 > 6+8$, $5+10 > 2+12 > 4+12$ 。亚基组成类型共有 24 种, 在蛋白质含量水平上, 亚基组成 1/14+15/5+10、1/14+15/2+12、1/7+8/5+10、1/17+18/5+10 和 1/7+9/5+10 相对较高; 在沉降值水平上, 亚基组成 1/14+15/5+10、1/17+18/5+10、1/7+8/5+10、 $2^*/7+9/5+10$ 和 1/14+15/2+12 相对较高。综上所述, 在 24 种亚基组成类型中没有发现明显优势的组合类型, 优质亚基 2^* 、17+18 和 14+15 出现的频率较低。江苏省中筋和弱筋小麦品种选育, 应结合蛋白质含量、沉降值和亚基组成进行改良。

关键词: 小麦; 高分子量谷蛋白亚基; 蛋白质含量; 沉降值

中图分类号: S634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)02-0241-06

High molecular weight gluten subunit (HMW-GS) composition of wheat cultivars in northern region and its relationship with quality traits

YANG Dan¹, YAO Jin-bao¹, YANG Xue-ming¹, ZHOU Miao-ping¹, MA Hong-xiang¹, WANG Ya-song²

(1. Provincial Key Laboratory of Agrobiolgy / Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiansu Hongqi Seed Industry Co., Ltd., Taizhou 225300, China)

收稿日期: 2014-12-04

基金项目: 农业部小麦现代农业产业技术体系项目(CARS-03); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(12)2026]; 江苏省科技支撑项目(BE2013439)

作者简介: 杨 丹(1980-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 副研究员, 主要从事小麦品质分析。(Tel) 15861815667; (E-mail) yangdan1290@163.com

通讯作者: 姚金保, (Tel) 025-84390298; (E-mail) yaojb@jaas.ac.cn

Abstract: To figure out the genetic diversity of wheat cultivar (variety) from the northern region in China and provide the basic materials for wheat quality improvement, 172 accessions of wheat cultivar (variety) were analyzed by SDS-PAGE to reveal the alleles variance of high molecular weight gluten subunits (HWM-GS) and the relationship with protein content and sedimentation value. There were 12 alleles on *Glu-I*, 3 alleles on *Glu-A1*, 6 al-

leles on *Glu-B1*, and 3 alleles on *Glu-D1*. The frequencies of 1, 7+9, 5+10 alleles were the highest on *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, being 54.07%, 48.26%, 49.42%, respectively. The effects of HMW-GS on three loci on protein content were presented as $1 \geq 2^* > \text{Null}$, $13+16 \geq 14+15 \geq 17+18 \geq 7+8 > 7+9 > 6+8$, $5+10 > 2+12 > 4+12$, and were listed in the order $2^* \geq 1 > \text{Null}$, $14+15 \geq 17+18 > 7+8 \geq 13+16 > 7+9 > 6+8$, $5+10 > 2+12 > 4+12$ on sedimentation value. The protein contents with the subunit combinations of 1/14+15/5+10, 1/14+15/2+12, 1/7+8/5+10, 1/17+18/5+10 and 1/7+9/5+10 were higher. The sedimentation value were higher in the HMW-GS compositions of 1/14+15/5+10, 1/17+18/5+10, 1/7+8/5+10, $2^*/7+9/5+10$ and 1/14+15/2+12. No combination outperformed in quality traits among 24 types of subunit compositions, and high quality subunits 2^* , 17+18 and 14+15 were rare in the tested varieties. The quality traits, such as protein content, sedimentation value, and high quality subunits, need to be taken into consideration in middle and weak gluten wheat variety improvement in Jiangsu province.

Key words: wheat variety; high molecular weight glutenin subunit (HMW-GS); protein content; sedimentation value

高分子量麦谷蛋白亚基 (High molecular weight glutenin subunit, HMW-GS) 是小麦储藏蛋白的主要成分,按照分子量大小和迁移率的不同, HMW-GS 又分为 α 型亚基 (分子量高, 迁移率小) 和 γ 型亚基 (分子量低, 迁移率大)。HMW-GS 的编码基因位于第 1 组同源染色体长臂靠近着丝点的 *Glu-A1*、*Glu-B1* 和 *Glu-D1* 3 个位点上, 每个位点包括 α 和 γ 两个紧密连锁的基因。从理论上来说, 每个小麦品种都应该包含 6 个不同的亚基, 而实际上由于 *1A_y* 基因总是处于沉默状态, 因此大部分小麦品种中只含有 3~5 个亚基^[1-3]。

虽然小麦谷蛋白的数量与加工品质有关^[4], 但 Payne 等^[2, 5]认为 HMW-GS 构成对小麦加工品质的影响更大, 特别是 *Glu-D1* 位点上的 5+10 亚基与烘烤品质呈显著正相关。目前, 对 HMW-GS 与面包加工品质之间的关系已有较一致的认识^[6-9], HMW-GS 组成已成为品质育种中亲本选配和杂交后代选择的重要依据。除此之外, 蛋白质含量和沉降值等也是衡量小麦烘烤品质的重要指标, 蛋白质含量和沉降值这两个品质指标与湿面筋含量、面包烘烤品质、面团特性等多项指标均有很好的相关性, 常作为衡量小麦品种品质的重要指标, 已广泛应用于小麦品质育种^[10-13]。系统而深入地研究 HMW-GS 的遗传特性以及明确各亚基与品质性状之间的关系, 对改良中国小麦品质具有非常重要的意义。中国大部分小麦品种缺少优质谷蛋白亚基, 引入优质亚基是中国小麦品质改良的一条重要途径。为此, 本研究选用 172 份代表北方麦区的小麦品种, 从亚基及亚基组成与蛋白质含量和沉降值之间的关系进行了探索, 以期小麦品质育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用代表北方麦区育种状况的小麦品种 172 份, 其中北部冬麦区 (北京) 29 份, 黄淮平原麦区 (河北、甘肃、河南、山西、山东、陕西、安徽淮南) 90 份, 江苏淮北地区 (连云港、徐州、淮安) 53 份, 以中国春 (N, 7+8, 2+12)、原冬 107 (1, 7+9, 5+10)、Opata (2^* , 13+16, 2+12)、Pavon (2^* , 17+18, 5+10) 为对照品种。所有材料均由江苏省农业科学院农业生物技术研究小麦研究室引进并保存。2013 年 10 月下旬将试验材料种植于江苏省农业科学院试验基地, 行长 2 m, 行距 0.28 m, 3 行区, 3 个重复。常规田间管理, 成熟时每小区收获中间 1 行进行籽粒品质分析。

1.2 试验方法

1.2.1 SDS-PAGE 凝胶电泳 取半粒种子, 粉碎并置于 1.5 ml 离心管中, 加入 50% 异丙醇在 65 °C 水浴中提取, 弃去上清液。在沉淀中分别加入 2.0 % 的二硫苏糖醇 (DTT) 和 1.4 % 四乙基吡啶 (VP), 还原及烷基化 HMW-GS, 然后加入含有还原剂 β -巯基乙醇的谷蛋白样品提取液 (pH=6.8), 提取麦谷蛋白样品^[14]。每个品种重复 2 次。制胶: 用 13% 的分离胶 (pH=8.8, C=1.3%) 和 4.8% 的浓缩胶 (pH=6.8, C=1.3%) 分离。玻璃板规格: 14 cm×12 cm。电泳: 加样量为 10 μ l, 电极缓冲液 pH 约为 8.0, 每板胶电流 15 mA, 15 °C 左右电泳 10 h。染色与脱色: 考马斯亮蓝 R-250 染色 24 h, 蒸馏水脱色 48 h。此方法的优点是, 能非常清楚地分辨 2^* 与 2、17 与 18 等难分离的亚基。

1.2.2 小麦品质性状测定 粗蛋白(14%湿基)用Perton近红外分析仪测定;Zeleny沉降值用Barbender公司沉降仪按AACC56-61A法测定。

1.2.3 统计分析 用SPSS 8.0统计软件对数据进行比较分析。

2 结果与分析

2.1 高分子量谷蛋白亚基的等位变异及其变异频率

分析了172份北方麦区部分小麦品种HMW-GS的等位变异及其变异频率(表1),共发现12种亚基或亚基对。包括*Glu-A1*位点的1、2*和Null亚基,*Glu-B1*位点的7+8、7+9、6+8、13+16、14+15和17+18亚基,*Glu-D1*位点的2+12、4+12和5+10亚基。在*Glu-A1*位点,1亚基出现频率最高,为54.07%,Null亚基次之,为39.53%,2*亚基最低,为6.40%。在*Glu-B1*位点,7+9和7+8亚基的出现频率远高于其他亚基,分别为48.25%和36.63%,14+15亚基的出现频率也较高,为8.72%,而17+18、6+8和13+16亚基的出现频率最低,分别为2.91%、2.33%和1.16%。在*Glu-D1*位点,5+10和2+12亚基出现频率最高,分别为50.00%和48.84%,而4+12亚基的出现频率最低,为1.16%。

表1 高分子量谷蛋白亚基的等位变异及其频率

Table 1 Allelic variation and frequency of HMW-GS

基因位点	等位基因	亚基	品种数量 (个)	出现频率 (%)
<i>Glu-A1</i>	<i>a</i>	1	93	54.07
	<i>b</i>	2*	11	6.40
	<i>c</i>	null	68	39.53
<i>Glu-B1</i>	<i>b</i>	7+8	63	36.63
	<i>c</i>	7+9	83	48.25
	<i>d</i>	6+8	4	2.33
	<i>f</i>	13+16	2	1.16
	<i>h</i>	14+15	15	8.72
	<i>i</i>	17+18	5	2.91
<i>Glu-D1</i>	<i>a</i>	2+12	84	48.84
	<i>c</i>	4+12	2	1.16
	<i>d</i>	5+10	86	50.00

2.2 高分子量谷蛋白亚基的组成及其变异频率

分析了172份北方麦区部分小麦品种的亚基组成类型及其频率(表2),发现共有24种亚基组成类型。出现频率较高的组合形式有1/7+8/5+10、1/7+9/5+10和N/7+9/2+12 3种,频率分别为14.53%、13.37%和11.63%;出现频率次高的组合形式有1/7+9/2+12、N/7+9/5+10和N/7+8/2+12 3种,频率分别为9.88%、9.88%和8.14%;其他亚基组合类型出现的频率较低。在24种亚基组成类型中,没有发现出现频率有明显优势的组合类型。

表2 高分子量谷蛋白亚基组成类型及其频率

Table 2 Composition and frequency of HMW-GS

<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	材料数	频率(%)
1	7+9	2+12	17	9.88
1	7+8	5+10	25	14.53
N	7+8	5+10	5	2.91
N	6+8	2+12	3	1.74
1	7+8	2+12	13	7.56
N	7+9	2+12	20	11.63
N	7+8	2+12	14	8.14
1	6+8	5+10	1	0.58
1	7+9	4+12	1	0.58
N	7+9	5+10	17	9.88
N	17+18	5+10	1	0.58
1	7+9	5+10	23	13.37
1	17+18	5+10	4	2.33
1	7+8	4+12	1	0.58
2*	7+8	2+12	5	2.91
2*	7+9	2+12	3	1.74
2*	7+9	5+10	2	1.16
2*	14+15	5+10	1	0.58
N	14+15	5+10	3	1.74
N	14+15	2+12	4	2.33
1	14+15	5+10	2	1.16
1	14+15	2+12	5	2.91
1	13+16	5+10	1	0.58
N	13+16	2+12	1	0.58

2.3 高分子量谷蛋白亚基对蛋白质含量和沉降值的作用

由表 3 可以看出,不同高分子量谷蛋白亚基对小麦品种的蛋白质含量和沉降值的影响明显不同。在 *Glu-A1* 位点,1 和 2* 亚基在蛋白质含量和沉降值上均无显著差异,但 1 和 2* 亚基与 Null 亚基的蛋白质含量和沉降值均达到极显著差异。在 *Glu-B1* 位点,13+16、14+15 和 17+18 亚基间在蛋白质含量上均无显著差异,但它们与 7+8、7+9 和 6+8 亚基在蛋白质含量上均达到显著或极显著差异。在沉降值上,14+15 和 17+18 亚基间无显著差

异,而 14+15 和 17+18 亚基均与其他亚基达到显著或极显著差异。结果表明,14+15、17+18、13+16 和 7+8 亚基无论对蛋白质还是沉降值均有较大作用。在 *Glu-D1* 位点,5+10 亚基对蛋白质含量和沉降值的影响远高于其他亚基,而且达到极显著水平。不同位点亚基对蛋白质含量的作用可分别表示为:1 ≥ 2* > Null, 13+16 ≥ 14+15 ≥ 17+18 ≥ 7+8 > 7+9 > 6+8, 5+10 > 2+12 > 4+12; 对沉降值的作用可分别表示为:2* ≥ 1 > Null, 14+15 ≥ 17+18 > 7+8 ≥ 13+16 > 7+9 > 6+8, 5+10 > 2+12 > 4+12。

表 3 高分子量谷蛋白亚基对蛋白质含量和沉降值的作用

Table 3 Effects of HMW-GS on protein content and sedimentation value of wheat

位点	亚基	蛋白质含量 (%)		SDS 沉淀值 (ml)	
		变幅	均值	变幅	均值
<i>Glu-A1</i>	1	12.1 ~ 18.4	14.64aA	24.2 ~ 58.9	40.56aA
	2*	11.3 ~ 17.4	14.57aA	31.5 ~ 47.9	40.70aA
	Null	11.3 ~ 17.2	14.12bB	23.8 ~ 55.6	38.18bB
<i>Glu-B1</i>	13+16	14.2 ~ 17.8	15.28aA	36.4 ~ 42.8	38.80bB
	14+15	12.7 ~ 17.0	14.99abA	41.8 ~ 55.6	43.12aA
	17+18	13.8 ~ 16.4	14.87abAB	37.9 ~ 54.4	42.50aAB
	7+8	11.3 ~ 16.9	14.71bAB	25.6 ~ 58.9	39.42bB
	7+9	12.2 ~ 15.4	13.83cB	22.3 ~ 55.5	36.19cC
	6+8	12.9 ~ 14.3	13.25dC	34.0 ~ 35.6	35.00dD
	5+10	12.3 ~ 18.4	15.43aA	27.3 ~ 55.5	38.60aA
<i>Glu-D1</i>	2+12	11.8 ~ 16.7	14.61bB	23.2 ~ 54.6	37.10bB
	4+12	11.5 ~ 15.4	13.53cC	33.5 ~ 36.9	35.90cB

同列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

由表 4 可知,不同亚基组成对蛋白质含量和沉降值的作用明显不同。在蛋白质含量水平上,亚基组成 1/14+15/5+10、1/14+15/2+12、1/7+8/5+10、1/17+18/5+10 和 1/7+9/5+10 蛋白质含量均值相对较高,分别为 15.75%、15.31%、14.72%、14.56% 和 14.33%。在沉降值水平上,亚基组成 1/14+15/5+10、1/17+

18/5+10、1/7+8/5+10、2*/7+9/5+10 和 1/14+15/2+12 沉降值均值相对较高,分别为 52.45%、50.63%、46.71%、45.45% 和 44.18%。本研究认为,优质亚基 2*、17+18 和 14+15 出现的频率较低。建议江苏省中筋和弱筋小麦品种的选育,应结合蛋白质含量、沉降值和亚基组成进行改良。

表 4 高分子量谷蛋白亚基组成类型对蛋白质含量和沉降值的作用

Table 4 Effects of HMW-GS compositions on protein content and sedimentation value of wheat

亚基组成类型			蛋白质含量(%)		沉降值(ml)	
1A	1B	1D	变幅	均值	变幅	均值
1	7+9	2+12	12.0-15.7	13.85	27.2-46.8	35.64
1	7+8	5+10	11.3-15.8	14.72	28.6-56.7	46.71
N	7+8	5+10	12.8-15.8	13.98	32.5-50.4	39.08
N	6+8	2+12	12.7-16.4	13.52	34.4-44.5	37.45
1	7+8	2+12	12.5-15.9	14.31	29.5-54.8	39.58
N	7+9	2+12	12.6-15.5	13.62	24.2-49.8	36.68
N	7+8	2+12	12.3-17.9	13.17	28.7-55.9	39.22
N	7+9	5+10	12.2-15.7	13.67	24.9-51.2	35.16
1	7+9	5+10	13.5-16.9	14.33	22.3-47.6	36.16
1	17+18	5+10	13.8-16.4	14.56	38.9-58.4	50.63
2*	7+8	2+12	11.3-15.3	13.27	31.5-44.9	37.86
2*	7+9	2+12	12.4-15.2	13.16	35.2-43.7	36.63
2*	7+9	5+10	12.8-16.9	13.48	36.5-53.3	45.45
N	14+15	5+10	12.7-15.5	13.57	33.6-45.1	38.43
N	14+15	2+12	11.9-16.0	13.06	32.2-51.2	37.03
1	14+15	5+10	13.7-17.6	15.75	45.8-57.1	52.45
1	14+15	2+12	13.9-17.8	15.31	32.5-54.6	44.18

3 讨论

国内外研究结果表明,高分子量谷蛋白亚基对小麦品质有很大影响,特定的亚基可以明显改善小麦品种的品质^[15-17]。本研究从北方麦区品种的角度研究亚基、亚基组成及其与蛋白质含量和沉降值的关系,认为1、2*、17+18、7+8、14+15和5+10是决定优良小麦品质的亚基。在*Glu-A1*位点,亚基Null对蛋白质含量和沉降值的效应最小,这一点已基本得到公认,但对1和2*亚基的效应尚存在较大分歧。在*Glu-B1*位点内的等位变异较多,因此该位点内各亚基对于沉降值的贡献大小较为复杂。Payne^[5]认为亚基17+18>7+8>7+9>7+6+8;Branlard等^[18]认为亚基13+16≥17+18≥7+9=7+8=7+6+8;马传喜和马啸等^[19-20]认为,亚基17+18>7+8>7+9;本研究认为对沉降值的作用:亚基14+15≥17+18>7+8≥13+16>7+9>6+8,这与前人的研究结果基本一致。张勇等^[21]研究认为HMW-GS的变异是决定面包烘烤品质的重要因素,*Glu-D1*位点的品质效应来源于5+10和2+12亚基间的差异,含有5+10亚基的品种比含有2+12亚基的品种的沉降值和稳

定时间要高,且差异达到显著水平,对于*Glu-D1*位点,已达成共识,一致认为5+10亚基对沉降值的效应显著大于2+12。前人报道^[22-23]中国推广小麦品种中,5+10亚基的出现频率很低,这是中国小麦品质差的主要原因,建议提高5+10亚基在我国小麦品种中出现的频率。本研究选用的材料可以代表当前北方麦区的育种水平和动态,在*Glu-D1*位点,5+10亚基的出现频率最高,达到了49.42%,说明近年来中国小麦在品质育种方面也取得了较大的进展。

江苏省地处中国气候过渡带,淮北地区为半冬性中强筋小麦种植区,淮南地区为春性中弱筋小麦种植区,沿江和沿海地区则为独特的优质弱筋小麦种植区,因此不同地区小麦品种的亚基改良应有所差异^[15]。参试材料中江苏淮北地区共有53份,优质亚基组成1/7+8/5+10只有5份,并且品种的沉降值偏低,需要引入17+18、5+10等和筋力强度相关的优质亚基;淮南弱筋麦区在品种选育中需要避免5+10亚基引入,以期降低面筋强度。需要加强2*、7+8、2+12、2.2+12等与延展性相关的优质亚基的引入^[8]。

Kolster^[24]研究指出,优质小麦亲本应包括2*、

17+18、5+10 亚基,1 和 7+8 亚基也决定一定的优质性状。本研究所选用的 172 份材料中,也筛选出了一些含有 2*、17+18 和 14+15 等优质亚基类型的材料,但出现频率并不高,这要求我们在今后的小麦品质育种工作中,要充分利用并提高这些优质亚基所占的比例。

目前,不同学者采用的材料不同,亚基组成对小麦品质贡献研究的结果不尽一致,这可能是由于小麦的遗传背景不同,环境条件的差异,仪器及技术水平的限制,缺乏统一的 HMW-GS 对小麦加工品质的评价系统所造成,这些内容尚有待进一步研究。

参考文献:

- [1] HUEBNER F R, DONALDSON G L, WALL J S. Wheat glutenin subunits II compositional difference[J]. Cereal Chemistry, 1974, 51: 240-246.
- [2] PAYNE P I, LAWRENEE G J. Catalogue of alleles for the complex gene loci *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for the high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat[J]. Cereal Research Communications, 1983, 11: 29-35.
- [3] TSENOV N, ATANASOVA D, TODOROV I, et al. Quality of winter common wheat advanced lines depending on allelic variation of *Glu-A3*[J]. Cereal Research Communications, 2010, 38: 250-258.
- [4] 杨玉双,庞斌双,王兰芬,等. 小麦高分子量谷蛋白亚基间的互补效应对面包加工品质的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1-7.
- [5] PAYNE P I. Genetics of wheat storage protein and the effect of allelic variation on breadmaking quality[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1987, 38: 141-153.
- [6] LI Y L, ZHOU R H, BRANLARD G, et al. Development of introgression lines with 18 alleles of glutenin subunits and evaluation of the effects of various alleles on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51: 127-133.
- [7] CARRILLO J M, ROUSSET M, QUALSET C O, et al. Use of recombinant inbred lines of wheat for studying the associations of high-molecular-weight glutenin subunits alleles to quantitative traits: 1. Grain yield and quality prediction tests[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1990, 79: 321-330.
- [8] 金 慧,何中虎,李根英,等. 利用 Aroona 近等基因系研究高分子量麦谷蛋白亚基对面包加工品质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1095-1103.
- [9] 张丽琴,刘春雷,杨 雪,等. 黄淮麦区小麦新品种(系)高分子量谷蛋白亚基多态性分析[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(1): 79-82.
- [10] CORNISH G B, BEKES F, ALLEN H M, et al. Flour proteins linked to quality traits in an Australian doubled haploid wheat population[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2001, 52: 1339-1348.
- [11] KOLSTER P, VEREIKEN J M. Evaluating HMW glutenin subunits to improve bread-making quality of wheat[J]. Cereal Foods world, 1993, 38: 76-82.
- [12] PENA R J, ZAROCO-HERNANDEZ J, MUJEEB-KAZI A. Glutenin subunit composition and bread baking quality characteristics of synthetic hexaploid wheats derived from *Triticum turgidum* × *Triticum tauschii*(Coss.) sehamal crosses[J]. Journal of Cereal Science, 1995, 21: 15-23.
- [13] SHEWRY P R, HALFORD N G, TATHAM A S, et al. High molecular weight subunits of wheat glutenin [J]. Journal of Cereal Science, 1992, 15: 105-120.
- [14] 代俊利,李保云,姚大年,等. 小麦近等基因系高分子量谷蛋白亚基对品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(4): 13-19.
- [15] 张平平,马鸿翔,姚金保,等. 江苏省小麦品种的谷蛋白亚基组成分析[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(5): 959-965.
- [16] 张影全,张晓科,魏益民,等. 高分子量麦谷蛋白亚基对小麦蛋白质品质特性的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(1): 48-53.
- [17] LUO C, GRIFFIN W B, BRANDLARD G, et al. Comparison of low and high molecular weight wheat glutenin allele effects on flour quality[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2001, 102: 1088-1098.
- [18] BRANLARD G, DARDEVET M. Diversity of grain protein and bread wheat quality correlation between high molecular weight subunit of glutenin and flour quality characteristic[J]. Journal of Cereal Science, 1985, 3: 3458-354.
- [19] 马传喜,吴兆苏. 小麦胚乳蛋白质组分及高分子量麦谷蛋白亚基与烘烤品质的关系[J]. 作物学报, 1993, 19(6): 562-566.
- [20] 马 啸,任正隆,晏本菊,等. 小麦高分子量麦谷蛋白亚基及籽粒蛋白质组分与烘烤品质性状关系的研究[J]. 四川农业大学学报, 2004, 22(1): 10-14.
- [21] 张 勇,何中虎,王美芳,等. 我国春麦区小麦品种品质性状分析[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(1): 27-32.
- [22] 李保云,王岳光,刘凤鸣,等. 小麦高分子量谷蛋白亚基与小麦品质性状关系的研究[J]. 作物学报, 2000, 26(3): 322-326.
- [23] 李世平,王随保,靖金莲,等. 小麦蛋白质含量和优质亚基遗传[J]. 华北农学报, 2003, 18(3): 57-61.
- [24] KOLSTER P, EEUWIJK F A, VAN GELDER W M J. Additive and epistatic effects of allelic variation at the high-molecular-weight glutenin subunit loci in determining the bread-making quality of breeding lines of wheat[J]. Euphytica, 1991, 55: 277-285.

(责任编辑:陈海霞)