

李晓云,赵 勇,陈桂顺,等. 北方麦区小麦品种高分子量谷蛋白亚基组成分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):112-115.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.033

北方麦区小麦品种高分子量谷蛋白亚基组成分析

李晓云^{1,3}, 赵 勇¹, 陈桂顺¹, 安欣慧¹, 杨学举^{2,3}

(1. 河北农业大学农学院,河北保定 071000;2. 河北农业大学生命科学学院,河北保定 071000;

3. 河北省作物种质资源实验室,河北保定 071000)

摘要:利用 SDS-PAGE 的方法分析了我国北方麦区近年来育成的 194 份小麦品种(品系)高分子量谷蛋白亚基的组成。结果表明,供试材料高分子量谷蛋白亚基变异较为丰富,共检测出 15 种亚基类型,30 种亚基组合。各位点出现频率最高的亚基为 Glu-A1 位点的 1 亚基(61.86%),Glu-B1 位点的 7+9 亚基(46.39%),Glu-D1 位点的 2+12 亚基(57.22%)。出现频次最高的亚基组合为(Null/7+9,2+12)(17.01%)。亚基组合数以及各优质亚基出现的频率地区之间的变化均不同,其中河北地区出现的亚基组合类型数最多(20 种)。Glu-A1 位点上,只有河北的品种出现了优质亚基 2*,亚基 1 出现频率最高的为河南品种(70.83%);Glu-B1 位点上,河北和河南品种出现频率最高的亚基均为 7+9,而山东品种出现频率最高的亚基为 7+8;Glu-D1 位点上,优质亚基 5+10 在山东地区出现的频率最高。近年来,1 亚基、7+9 亚基和 5+10 亚基所占的比例明显升高,表明国外种质资源的利用频率在增加,各育种单位更加注重优质育种。

关键词:小麦;高分子量谷蛋白亚基;分布;组成

中图分类号: S512.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0112-04

高分子量谷蛋白亚基(high molecular weight glutenin sub-unit, HMW-GS)与小麦加工品质密切相关。小麦 HMW-GS 的合成受第一同源群染色体 1A、1B 和 1D 长臂上的基因控

收稿日期:2014-11-04

基金项目:河北省现代农业产业技术体系(编号:1004002)。

作者简介:李晓云(1989—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事小麦遗传资源研究与利用。E-mail:yun890324@163.com。

通信作者:杨学举,博士,教授,博士生导师,主要从事小麦遗传育种和种质资源研究。E-mail:shmyxj@hebau.edu.cn。

angustifolia [J]. Biological Trace Element Research, 2010, 6: 8746-8762.

[3] 吴 琦,李 辉,张卫建,等. 土壤铅和镉胁迫对空心菜生长及抗氧化酶系统的影响[J]. 中国农业科技导报,2010,12(2):122-127.

[4] 王慧忠,李 鹏. 重金属镉、铅对多年生黑麦草细胞内几种抗氧化酶基因表达的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(6): 2371-2376.

[5] 王 林,史衍玺. 镉、铅及其复合污染对辣椒生理生化特性的影响[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2005,36(1):107-112,118.

[6] Abhilash P C, Pandey V C, Srivastava P, et al. Phytofiltration of cadmium from water by *Limncharis flava* (L.) Buchenau grown in free-floating culture system[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 170(2/3):791-797.

[7] 赵非佚,翟禄新,陈 荃,等. Cd、Pb 复合处理下 2 种离子在植物体内的分布及其对植物生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2002,22(3):595-601.

[8] Liu D, Kottke I. Subcellular localization of cadmium in the root cells of *Allium cepa* by electron energy loss spectroscopy and cytochemistry [J]. Journal of Biosciences, 2004, 29(3):329-335.

制,分别称作 Glu-A1、Glu-B1 和 Glu-D1,这 3 个基因位点存在着广泛的变异形式,不同的等位基因变异以及不同的亚基组合类型对小麦加工品质的影响差异较大^[1]。研究表明, Glu-A1 编码的 1、2* 亚基, Glu-B1 编码的 7+8、17+18、13+16 亚基及 Glu-D1 编码的 5+10 亚基对烘烤品质效应的贡献较大^[2-5]。14+15 是我国小麦品种特有的亚基,刘艳华等研究发现,14+15 亚基对小麦的加工品质有很大的贡献,甚至好于 7+8 亚基^[6]。控制 HMW-GS 的位点间存在互作效应,优质亚基组合比单个优质亚基位点在育种中更具有

[9] 张 忠,汪殿洪. 测定小麦叶片超氧化物歧化酶的方法[J]. 植物生理学通讯,1990(4):62-65.

[10] Aloui A, Recorbet G, Gollotte A, et al. On the mechanisms of cadmium stress alleviation in *Medicago truncatula* by arbuscular mycorrhizal symbiosis: a root proteomic study[J]. Proteomics, 2009, 9(2): 420-433.

[11] Anderson R H, Basta N T. Application of ridge regression to quantify marginal effects of collinear soil properties on phytotoxicity of arsenic, cadmium, lead, and zinc [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2009, 28(5):1018-1027.

[12] 郎明林,张玉秀,柴团耀,等. 植物耐重金属机理研究进展[J]. 西北植物学报,2003,23(11):2021-2030.

[13] 明 华,曹 莹,胡春胜,等. 铅胁迫对玉米光合特性及产量的影响[J]. 玉米科学,2008,16(1):74-78.

[14] 马新明,李春明,袁祖丽,等. 铅污染对烤烟光合特性、产量及其品质的影响[J]. 植物生态学报,2006,30(3):472-478.

[15] 汤惠华,杨 涛,胡宏友,等. 镉对花椰菜光合作用的影响及其在亚细胞中的分布[J]. 园艺学报,2008,35(9):1291-1296.

[16] 朱建玲,徐志防,曹洪麟,等. 镉对南美蟛蜞菊光合特性的影响[J]. 生态环境,2008,17(2):657-660.

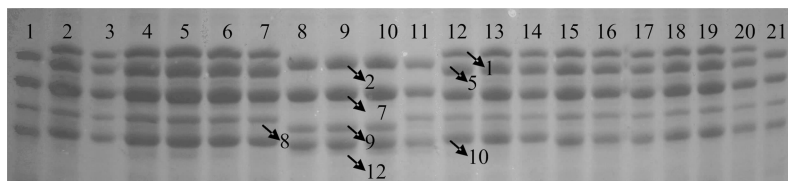
指导意义^[7]。Cornish 等和刘丽等的研究都表明,具有亚基组合(2^* 、 $7+8$ 、 $5+10$)的小麦品种有较好的面包烘烤品质^[8-9],而具有亚基组合(Null、 $7+9$ 、 $2+12$)的品种的面包烘烤品质较差^[8]。此外,范玉顶等研究发现,具有亚基组合类型(1 、 $7+8$ 、 $2+12$)和(Null、 $7+8$ 、 $2+12$)的小麦品种适于制作馒头^[10]。赵京岚等认为(1 、 $14+15$ 、 $2+12$)是适于制作面条的亚基组合类型^[11]。因此,利用和创造优质亚基组合,是小麦品质育种的重要研究内容^[12-14]。

本研究拟利用 SDS-PAGE 的方法对我国北方麦区近年来育成的 194 份小麦品种(品系)的 HMW-GS 的组成进行分析,以期了解近年来我国北方小麦主产区品种(品系)高分子量谷蛋白亚基的分布状况,发掘具有优质亚基组合的种质类型,为小麦品质改良和育种提供优质的种质资源。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料共 194 份,由河北省作物种质资源实验室提供。供试材料包括河北品种 98 份、河南品种 48 份、山东品种 48 份。



1、11、21泳道—中国春; 2~4泳道—河农9206; 5~7泳道—石4366; 8~10泳道—河农5480; 12~14泳道—河农5290; 15~17泳道—河农7069; 18~20泳道—河农9358

图1 部分供试小麦品种(品系)的HMW-GS

表1 供试小麦品种 HMW-GS 在不同位点上的变异类型及频率

基因位点	亚基	品种数	频率(%)
1A	1	120	61.86
	Null	72	37.11
	2^*	2	1.03
1B	$7+9$	90	46.39
	$7+8$	56	28.87
	$14+15$	29	14.95
	$17+18$	7	3.61
	$13+19$	5	2.58
	20	3	1.55
	$6+8$	3	1.55
1D	$13+16$	1	0.52
	$2+12$	111	57.22
	$5+10$	63	32.47
	$4+12$	19	9.79
	$2+10$	1	0.52

2.2 供试材料 HMW-GS 的组合形式和频率

由表 2 可知,194 份供试材料共形成 30 种亚基组合,亚基组合类型较为分散多样。其中以亚基组合(Null、 $7+9$ 、 $2+12$)最多,占供试材料的 17.01%,具有该亚基组合的小麦品种品质较差(筋力较弱),其次为(1 、 $7+9$ 、 $2+12$),出现的频率为 12.89%。适于制作馒头的优质亚基组合(1 、 $7+8$ 、 $2+12$)和(Null、 $7+8$ 、 $2+12$)^[10]出现的频率分别为 10.82% 和

1.2 方法

HMW-GS 电泳参考张玲丽等的方法^[15],略有改动,即 SDS-PAGE 分离胶的浓度调整为 8%。HMW-GS 的命名根据 Payne 等的方法^[16]进行。HMW-GS 组成分析以中国春(Null、 $7+8$ 、 $2+12$)为对照。

2 结果与分析

2.1 供试材料 HMW-GS 的组成和频率

SDS-PAGE 部分电泳图谱见图 1, HMW-GS 在不同位点上的变异类型及其频率见表 1。供试材料中共检测出 15 种亚基类型,其中 Glu-A1 位点有 3 种亚基:Null、1 和 2^* , 1 亚基出现的频率最高,为 61.86%, 2^* 的出现频率为 1.03%, 1 和 2^* 亚基与较好的面包烘烤品质相关; Glu-B1 位点具有 8 种亚基: $7+9$ 、 $7+8$ 、 $6+8$ 、 $17+18$ 、 $14+15$ 、 $13+19$ 、 $13+16$ 和 20, 其中 $7+9$ 亚基出现的频率最高,为 46.39%, 其次为 $7+8$ 亚基和 $14+15$ 亚基,出现的频率分别为 28.87% 和 14.95%; Glu-D1 位点有 4 种亚基: $2+10$ 、 $2+12$ 、 $4+12$ 和 $5+10$, 其中 $2+12$ 亚基出现的频率最高,为 57.22%, 优质亚基 $5+10$ 出现的频率为 32.47%。

4.12%, 适于制作面条的优质亚基组合(1 、 $14+15$ 、 $2+12$)^[11]出现的频率为 8.76%, 适于制作面包的优质亚基组合(1 、 $7+8$ 、 $5+10$)、(1 、 $14+15$ 、 $5+10$)、(1 、 $13+16$ 、 $5+10$)以及(1 、 $17+18$ 、 $5+10$),出现的频率分别为 5.15%、1.03%、0.52% 和 3.61%, 供试材料中适合制作面条、馒头和面包的优质亚基组合合计占供试材料的 34.01%, 由此可见,供试材料 HMW-GS 组合虽然较为丰富,但优质亚基组合较少,品质较差。

2.3 供试材料 HMW-GS 地区之间的分布特点

以小麦品种所在省份为组,分析了河北(98 份)、河南(48 份)和山东(48 份)品种的 HMW-GS 分布情况(表 3、表 4)。各地区品种的亚基组合类型数不同,优质亚基出现的频率也不相同。

由表 3 可知, Glu-A1 位点上,只有河北地区出现了优质亚基 2^* 。亚基 1 在河南地区出现的频率最高,为 71.43%, 其次是河北和山东,出现的频率分别为 59.18% 和 58.33%。Glu-B1 位点上,河北和河南地区出现频率最高的亚基均为 $7+9$,其出现的频率分别为 54.08% 和 58.33%, 而山东地区出现频率最高的亚基为 $7+8$,频率为 45.83%。Glu-D1 位点上,优质亚基 $5+10$ 在山东地区出现的频率最高,为 43.75%, 其次为河南和河北,其出现的频率分别为 37.50% 和 26.53%。

由表 4 可知,河北地区的亚基组合类型数最多(20), 其次是山东(17)、河南(15), 河北地区出现频率最高的亚基组合为(Null、 $7+9$ 、 $2+12$) (24.49%), 其次为(1 、 $14+15$ 、 $2+12$)

表 2 供试材料的 HMW - GS 亚基组合类型及频率

亚基组合	材料数目	频率(%)
Null、7 + 9、2 + 12	33	17.01
1、7 + 9、2 + 12	25	12.89
1、7 + 8、2 + 12	21	10.82
1、7 + 9、5 + 10	18	9.28
1、14 + 15、2 + 12	17	8.76
1、7 + 8、5 + 10	10	5.15
Null、7 + 8、5 + 10	9	4.64
Null、7 + 8、2 + 12	8	4.12
1、17 + 18、5 + 10	7	3.61
1、7 + 8、4 + 12	6	3.09
Null、7 + 9、5 + 10	6	3.09
1、7 + 9、4 + 12	4	2.06
Null、14 + 15、2 + 12	4	2.06
1、20、5 + 10	3	1.55
Null、14 + 15、5 + 10	3	1.55
1、13 + 19、4 + 12	2	1.03
1、14 + 15、5 + 10	2	1.03
Null、14 + 15、2 + 12	2	1.03
Null、7 + 8、4 + 12	2	1.03
Null、7 + 9、4 + 12	2	1.03
1、13 + 16、5 + 10	1	0.52
1、13 + 19、2 + 12	1	0.52
1、13 + 19、5 + 10	1	0.52
1、14 + 15、4 + 12	1	0.52
1、6 + 8、5 + 10	1	0.52
2*、7 + 9、4 + 12	1	0.52
2*、7 + 9、5 + 10	1	0.52
Null、13 + 19、2 + 10	1	0.52
Null、6 + 8、5 + 10	1	0.52
Null、6 + 8、4 + 12	1	0.52

表 3 各亚基所在地区出现的频率

亚基位点	亚基	所在地区出现频率(%)		
		河北	河南	山东
1A	2*	2.04		
	Null	38.78	29.17	41.67
	1	59.18	70.83	58.33
1B	20	1.02		4.17
	13 + 16			2.08
	13 + 19	2.04	4.17	2.08
	14 + 15	18.37	12.50	10.42
	17 + 18			14.58
	6 + 8	2.04		2.08
	7 + 8	22.45	25.00	45.83
1D	7 + 9	54.08	58.33	18.75
	4 + 12	6.12	12.50	14.58
	5 + 10	26.53	37.50	39.58
	2 + 10			2.08
	2 + 12	67.35	50.00	43.75

(14.29%)，其中具有(1、14 + 15、2 + 12)亚基组合的小麦资源均由河北省邯郸市农业科学院和河北省农林科学院旱作农业研究所选育;河南地区出现频率最高的亚基组合为(1、7 + 9、2 + 2)(20.83%)，其次为(1、7 + 9、5 + 10)(16.67%)；山东

地区出现频率最高的亚基组合为(1、7 + 8、2 + 12)(14.58%)，其次为(Null、7 + 8、5 + 10)(12.50%)。可见不同地区的小麦品种(品系)高分子量谷蛋白亚基的组成各具特点。

表 4 各亚基组合所在地区出现的频率

亚基组合	所在地区出现频率(%)		
	河北	河南	山东
Null、7 + 9、2 + 12	24.49	10.42	8.33
1、7 + 9、2 + 12	13.27	20.83	4.17
1、7 + 8、2 + 12	9.18	10.42	14.58
1、7 + 9、5 + 10	8.16	16.67	4.17
1、7 + 8、5 + 10	4.08	10.42	2.08
Null、7 + 8、2 + 12	4.08	2.08	6.25
Null、14 + 15、2 + 12	2.04	4.17	4.17
Null、7 + 8、5 + 10	2.04	2.08	12.50
Null、7 + 9、5 + 10	5.10	2.08	
1、7 + 9、4 + 12	1.02	6.25	
1、13 + 19、4 + 12	1.02	2.08	
Null、7 + 9、4 + 12		2.08	2.08
1、14 + 15、2 + 12	14.29		6.25
1、7 + 8、4 + 12	3.06		6.25
1、20、5 + 10	1.02		4.17
1、14 + 15、5 + 10	2.04		
1、13 + 19、5 + 10	1.02		
1、6 + 8、5 + 10	1.02		
2*、7 + 9、4 + 12	1.02		
2*、7 + 9、5 + 10	1.02		
Null、6 + 8、5 + 10	1.02		
Null、14 + 15、5 + 10		6.25	
1、13 + 19、2 + 12		2.08	
1、14 + 15、4 + 12		2.08	
1、17 + 18、5 + 10			14.58
Null、7 + 8、4 + 12			4.17
Null、13 + 19、2 + 10			2.08
Null、6 + 8、4 + 12			2.08
1、13 + 16、5 + 10			2.08

3 讨论

3.1 HMW - GS 在不同年代的分布特点

HMW - GS 被认为是麦谷蛋白的关键组分,HMW - GS 的组成分析对麦谷蛋白的遗传研究和小麦品质改良有重要意义。毛沛在 1992 年对 2 292 份中国育成材料的 HMW - GS 的组成进行了分析,发现 1A 位点出现频率最高的亚基为 Null(57.4%)，其次为亚基 1(27.6%)，1B 位点上出现频率最高的亚基为 7 + 8(42.0%)，其次为亚基 7 + 9(41.9%)，1D 位点上中国育成材料优质亚基 5 + 10 的出现频率为 15.7%^[17]。

关正君在 2003 年对 227 份国内小麦骨干种质材料的 HMW - GS 进行了分析,研究发现 1A 位点上 Null 亚基出现的频率最高(63.44%)，其次为亚基 1(27.75%)，1B 位点上出现频率最高的亚基为 7 + 9(41.85%)，其次为亚基 7 + 8(34.36%)，1D 位点上优质亚基 5 + 10 出现的频率为 8.37%^[18]。张丽琴等在 2012 年对黄淮麦区小麦新品种(系)高分子量谷蛋白亚基的组成进行了分析,发现 1A 位点上出

现频率最高的亚基为 1 (61.17%), 其次为亚基 Null (39.39%), 1B 位点上出现频率最高的亚基为 7 + 9 (62.11%), 其次为亚基 7 + 8 (21.59%), 1D 位点上优质亚基 5 + 10 出现的频率为 40.97%^[19]。本研究共分析了 194 份小麦品种(品系)的高分子量谷蛋白亚基的组成, 结果发现 1A 位点上出现率最高的亚基为 1 (61.86%), 其次为亚基 Null (31.77%), 1B 位点上出现频率最高的亚基为 7 + 9 (46.39%), 其次为亚基 7 + 8 (28.87%), 1D 位点上优质亚基 5 + 10 出现的频率为 32.47%。

研究发现, Glu - A1 位点上亚基 Null 对品质的效应最小, 低于亚基 1, 而 Glu - D1 位点上, 研究者几乎公认 5 + 10 亚基优于该位点其他所有的变异形式。由以上分析可知, 通过近 20 年的改良, Glu - A1 位点上的亚基 1 以及 Glu - D1 位点上亚基 5 + 10 出现的频率有了很大的提高, 亚基频率的提高可能是引进新的、尤其国外的小麦种质的结果, 说明近年来我国小麦品质改良工作取得了较显著的成果。Glu - 1B 位点上 7 + 9 亚基对品质的贡献低于 7 + 8 亚基, 但其比例却呈上升趋势, 这可能是因为含有 7 + 9 亚基的品种(品系)与产量性状的相关性较好, 董中东等认为含有 7 + 9 亚基的品种(品系)的播期范围较宽, 适应性强^[20]。随着育种工作者加强了对小麦品质育种的重视, 含有 1 和 5 + 10 等优质亚基品种(品系)的比率得到大幅度提高, 但在利用 HMW - GS 进行小麦品质改良时还存在一个较大的问题, 即各位点优质亚基的引入不平衡, 目前优质亚基的引入主要体现在 Glu - A1 位点的 1 亚基上, Glu - A1 位点的 2* 亚基以及 Glu - B1 位点和 Glu - D1 位点上各优质亚基的比率较低。利用 HMW - GS 进行品质育种时, 实现 1A、1B 和 1D 3 个位点优质亚基的同时聚合, 比引入单个亚基效果更明显, 因为研究表明品质较好的小麦品种含的优质亚基的数量较多^[21]。

3.2 不同地区小麦品种高分子量谷蛋白亚基组成分析

由研究结果可知, 3 个省份的亚基组合类型数不同, 各优质亚基出现的频率也不相同。3 个地区 Glu - A1 位点 1 亚基出现的频率均较高, 但 2* 亚基出现的频率较低, 仅在河北地区出现; Glu - B1 位点上亚基的变异类型较为丰富, 山东地区优质亚基出现的频率高于河北和河南地区; Glu - D1 位点上与较好的面包烘烤品质相关的 5 + 10 亚基出现的频率较低, 最高的山东地区也仅为 39.58%。从亚基组合类型的分布情况来看 3 个地区在优质亚基组成方面各具特色, 统计不同育种单位所育品种(系), 发现有些育种单位所育品种(系)的 HMW - GS 的组成相似度较高, 因此在搜集小麦种质资源时, 各育种单位间应当相互引进与交换, 在保持自己优势的同时来弥补不足。

参考文献:

- [1] 李硕碧, 高翔, 单明珠, 等. 小麦高分子量谷蛋白亚基与加工品质[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 22 - 32.
- [2] 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.
- [3] Payne P I, Nightingale M A, Krattiger A F, et al. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread - making quality of British - grown wheat varieties[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1987, 40: 51 - 65.
- [4] 程国旺, 徐风, 马传喜, 等. 小麦高分子量麦谷蛋白亚基组成与面包烘烤品质关系的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2002, 29(4): 369 - 372.
- [5] Grama A, Wright D S, Cressey P J, et al. Hexaploid wild emmer wheat derivatives grown under New Zealand conditions. 1. Relationship between protein - composition and quality parameters[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1987, 30(1): 35 - 43.
- [6] 刘艳华, 王洪刚, 刘树兵, 等. 小麦高分子量谷蛋白亚基 14 + 15、7 + 8、1 与部分品质性状关系的研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(3): 4 - 7.
- [7] 刘丽, 周阳, 何中虎, 等. Glu - 1 和 Glu - 3 等位变异对小麦加工品质的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(10): 959 - 968.
- [8] Cornish G B, Bueeidge P M, Palmer G A. Mapping the origins of some HMW & LMW glutenin subunit alleles in Australian wheat germplasm[C]//Proceedings of the 43rd Australian Cereal Chemistry Conference, 1993: 255 - 260.
- [9] 刘丽, 周阳, 何中虎, 等. 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[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 8 - 14.
- [10] 范玉顶, 李斯深, 孙海艳, 等. HMW - GS 与北方手工馒头加工品质关系的研究[J]. 作物学报, 2005, 31(1): 97 - 101.
- [11] 赵京岚, 李斯深, 范玉顶, 等. 小麦品种蛋白质性状与中国干面条品质关系的研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(1): 144 - 149.
- [12] Fu X Y, Jia D, Li M J, et al. Composition analysis of HMW - GS in Australian wheat cultivars[J]. Agricultural Science & Technology - Hunan, 2011, 12(7): 1010 - 1012.
- [13] 任立凯, 王龙, 李强, 等. 小麦 EMS 诱变育种研究进展及其在连云港的应用[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 80 - 82.
- [14] 王龙, 任立凯, 李强, 等. 江苏省小麦育种及诱变育种技术的研究进展与展望[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(6): 60 - 62, 68.
- [15] 张玲丽, 李秀全, 杨欣明, 等. 小麦优良种质资源高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2406 - 2414.
- [16] Payne P I, Lawrence G J. Catalogue of alleles for the complex gene loci, Glu - A1, Glu - B1, and Glu - D1 which code for high - molecular - weight subunits of glutenin in hexaploid wheat[J]. Cereal Research Communications, 1983, 11(1): 29 - 35.
- [17] 毛沛. 小麦高分子量(HMW)麦谷蛋白亚基组成及其与面包烘烤品质关系研究[D]. 保定: 河北农业大学, 1992.
- [18] 关正君. 小麦骨干种质 HMW - GS 与面包品质关系的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2003.
- [19] 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.
- [20] 董中东, 陈锋, 崔党群. 不同高分子量麦谷蛋白亚基小麦品种(系)的粒重增长特性分析[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 493 - 498.
- [21] Shewry P R, Tatham A S, Lazzari P. Biotechnology of wheat quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 73(4): 397 - 406.