

67 份美国小麦种质资源的 HMW-GS 组成与品质分析

李艳丽, 鲁敏, 麻姗姗, 武军, 赵继新, 王亮明, 杜万里, 庞玉辉, 刘淑会, 杨群慧, 陈新宏

(西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100)

摘要:为了挖掘新的种质资源,对引自美国的 67 份小麦种质材料进行了高分子量麦谷蛋白亚基组成与品质性状分析。HMW-GS 组成分析表明,在供试材料中共检测到 20 种亚基类型和 25 种亚基组合,表明这批材料的遗传多样性较高。在 Glu-A1 位点上,亚基 1 与 2* 的出现频率分别为 16.4% 与 35.8%;Glu-B1 位点有 9 个等位变异,其中出现频率最高的为 7+9 亚基对(47.8%);Glu-D1 位点有 8 个等位变异,以 5+10 亚基对为主要类型,出现频率高达 74.6%。在 Glu-B1 位点上发现 3 个不常见亚基 7*, 8*, 8** 和 3 个未知亚基 a, b, c, 还发现 1 个未知亚基,暂时将其标记为 5*, 可能位于 Glu-D1 位点上。亚基组合类型中,“null, 7+8, 5+10”的出现频率最高,为 22.4%。亚基评分在 5~10 分之间,平均 8.2 分,得分在 8 分及其以上的材料有 42 份(62.69%),其中得 10 分的材料有 9 份(13.43%)。利用 DA7200 近红外成分分析仪对这批小麦材料的品质性状进行初步分析,结果表明其品质指标较低。这 67 份美国小麦材料含有的优质亚基比例较高,可作为中间材料以改良我国黄淮麦区小麦品种的亚基组成。

关键词:小麦;美国;高分子量麦谷蛋白亚基;品质

Analysis on HMW-GS Composition and Quality Properties of 67 American Wheat Accessions

LI Yan-li, LU Min, MA Shan-shan, WU Jun, ZHAO Ji-xin, WANG Liang-ming, DU Wan-li, PANG Yu-hui,
LIU Shu-hui, YANG Qun-hui, CHEN Xin-hong

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling 712100)

Abstract: In order to explore new wheat germplasm for wheat quality improvement, the composition of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GS) composition and quality properties were analyzed among 67 American wheat accessions. SDS-PAGE were used to detect HMW-GS compositions and the results showed that there were 20 types of subunits and 25 types of subunit combinations, meaning that Glu-1 locus had higher level of variations. The frequencies of quality subunits 1 and 2* on Glu-A1 loci were 16.4% and 35.8%, respectively. Nine allele variations were found on Glu-B1 loci, with 7+9 subunit showing the highest frequency (47.8%). There were eight allele variations on Glu-D1 loci, and the mainly type was 5+10 subunit (74.6%). Three uncommon subunits 7*, 8*, and 8**, three unknown subunits temporarily marked a, b, and c, and an unknown subunit temporarily marked 5*, were found on Glu-B1 loci, might located on Glu-D1 loci. Null, 7+8, and 5+10 showed the highest frequency (22.4%) among all the subunit combinations. According to the subunit combinations, the quality score ranged from 5 to 10, with an average of 8.2. Forty two accessions (62.69%) scored above 8 (including 8), and even 9 accessions (13.43%) had a score of 10. DA7200 near infrared apparatus was used for testing the quality properties of these materials, and the results were treated as preliminary quality analysis. Finally, most quality indexes were low. Base

收稿日期: 2013-02-23 修回日期: 2013-06-08 网络出版日期: 2013-12-19

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20131219.1113.005.html>

基金项目: 农业部“948”项目(2013-Z28)

第一作者主要从事小麦作物遗传育种、种质资源创新与种子工程研究。E-mail: 07yanli@sina.com

通信作者: 陈新宏, 主要从事小麦远缘杂交与作物遗传育种研究。E-mail: cxh2089@126.com

on the results above, these American accessions could be parental materials to improve the HMW-GS compositions of Huang-huai wheat regions of China.

Key words: wheat; America; HMW-GS; quality property

随着人们生活水平的提高,对优质小麦的需求量逐年增大,品质育种受到小麦育种家们普遍重视。大量研究证实,部分小麦高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS, high molecular weight glutenin subunits)与小麦烘烤品质关系密切,如亚基或亚基对 1、2*、5+10、5+12、6+8、14+15、13+16、17+18 等对小麦的加工品质具有明显的正向作用^[1-5]。我国小麦品种的高分子量麦谷蛋白亚基组成较丰富,但优质亚基频率较低,同时含有多个优质亚基组合的品种也较少,品质仍较差^[6-10],因而引进国外含优质 HMW-GS 的优良种质资源改良我国小麦的 HMW-GS 组成及其面粉加工品质具有重要意义。

美国是世界小麦的重要产地,具有复杂的地理气候特点和丰富的种质资源,曾经收集和利用世界各地的小麦种质资源,特别在优质资源和抗逆资源方面,相比中国具有明显优势^[11-14]。本课题组从美国引进了一批小麦种质材料,已从中筛选出适合黄淮麦区生长的材料 67 份。李艳丽等^[15]利用 SSR 分子标记对这 67 份美国小麦材料

与部分黄淮麦区小麦材料进行遗传多样性分析,发现这批美国小麦材料的遗传多样性较高,与黄淮麦区小麦材料的遗传差异较大。为了进一步挖掘引进材料的利用价值,本研究对其 HMW-GS 组成与品质性状进行分析,旨在筛选出含优质亚基、综合品质好的小麦材料,为我国黄淮麦区的小麦品质改良提供优良的亲本材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

引自美国的小麦材料 67 份(材料编号 1~67),是近年美国小麦主产区主栽品种(系),由美国内布拉斯加州林肯大学提供。中国春(Null, 7+8, 2+12)、中优 9507(1, 7+9, 5+10)、小偃 6 号(1, 14+15, 2+12)、矮抗 58(1, 7+8, 4+12)、Pavon(1, 17+18, 5+10)、Neepawa(2*, 7+9, 5+10)、CD870(Null, 6+8, 1.5+10)、济麦 20(1, 13+16, 4+12)为 HMW-GS 亚基对照材料,由本课题组繁殖留存,材料编号见表 1。

表 1 供试小麦材料

Table 1 Wheat accessions used in this study

编号 No.	小麦名称 Accession name	编号 No.	小麦名称 Accession name	编号 No.	小麦名称 Accession name	编号 No.	小麦名称 Accession name
1	NE09L-12	20	Dup09L-plot-517	39	NIN09L-11	58	Wahoo
2	NE09L-47	21	Dup09L-plot-520	40	NIN09L-13	59	Anton
3	NE09L-54	22	Dup09L-plot-540	41	NIN09L-19	60	Hitch
4	NE09L-55-2	23	Dup09L-plot-561	42	NIN09L-31	61	NW09001
5	NE09L-57	24	Dup09L-plot-574	43	NIN09L-32	62	TVT09L-1
6	NE09L-60-2	25	Dup09L-plot-599	44	NIN09L-52	63	TVT09L-3
7	NE09L-70	26	Dup09L-plot-615	45	IDRD09L-18	64	TVT09L-9
8	NE09L-91	27	Dup09L-plot-616	46	IDRD09L-30	65	TVT09L-13
9	NE09L-96	28	Dup09L-plot-617	47	TRP09L-2	66	TVT09L-16
10	NE09L-101	29	Dup09L-plot-618	48	TRP09L-6	67	TVT09L-18
11	NE09L-103	30	Dup09L-plot-631	49	TRP09L-12	CK1	中国春
12	NE09L-108	31	Dup09L-plot-632	50	TRP09L-26	CK2	中优 9507
13	Dup09L-plot-406	32	Dup09L-plot-674	51	RPN09L-14	CK3	小偃 6 号
14	Dup09L-plot-420	33	Dup09L-plot-682	52	RPN09L-16	CK4	矮抗 58
15	Dup09L-plot-453	34	NIN09L-1	53	RPN09L-37	CK5	Pavon
16	Dup09L-plot-472	35	NIN09L-2	54	RPN09L-52	CK6	Neepawa
17	Dup09L-plot-476	36	NIN09L-6	55	RPN09L-83	CK7	CD870
18	Dup09L-plot-481	37	NIN09L-4	56	RPN09L-90	CK8	济麦 20
19	Dup09L-plot-483	38	NIN09L-9	57	Nadokuta		

1.2 HMW-GS 组成分析

每份材料随机取 5 粒种子分别检测,如果结果不一致,则以重复次数最多的结果作为该材料的真实亚基组成。

1.2.1 麦谷蛋白的提取 取 1 粒种子研磨成粉后置于 1.5 mL 离心管中,加入 600 μ L 麦谷蛋白提取液[12.5% 1 mol/L Tris-HCl (pH 6.8)、2% SDS、5% β -巯基乙醇、20% 丙三醇和 0.05% 溴酚蓝],漩涡仪上混匀,常温过夜;次日将离心管置于沸水中水浴 5 min,取出后冷却至室温并 10000 r/min 离心 7 min,吸取上清即可用于电泳加样,4 $^{\circ}$ C 保存。

1.2.2 SDS-PAGE 采用 12% 的分离胶 (pH 8.8) 和 5% 的浓缩胶 (pH 6.8),交联度 (C) 为 1.25%。用 1 倍的 Tris-甘氨酸电极缓冲液在 150V 恒压条件下电泳,待指示线跑出胶后,再跑出 1.5 倍的时间即可剥胶。考马斯亮蓝 R250 染色,清水脱色直至背景干净、条带清晰,拍照保存。

1.2.3 HMW-GS 的命名与评分 HMW-GS 的命名参照 P. I. Payne 等^[16] 的命名系统;品质评分参照 P. I. Payne 等^[17]、王瑞等^[18] 与王涛等^[2],评分标准见表 2。

表 2 高分子量麦谷蛋白亚基品质评分标准

Table 2 Standard of quality scores of HMW-GS

品质得分 Quality scores	A1 位点 Glu-A1	B1 位点 Glu-B1	D1 位点 Glu-D1
4	-	-	5 + 10, 5 + 12
3	1, 2*	17 + 18, 7 + 8, 14 + 15, 13 + 16	-
2	-	7 + 9	2 + 12, 3 + 12
1	Null (N)	7, 6 + 8	4 + 12

“-”表示该位点无此评分的亚基

“-” means no such type of subunit on the loci

1.3 品质分析

采用 DA7200 近红外成分分析仪(内置小麦标准曲线与校正模型软件)对小麦子粒主要品质指标进行测定。测定指标包括蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、容重、沉降值、面团稳定时间与面团形成时间。

1.4 统计分析

用 Excel2007 对供试材料的 7 项品质指标进行统计分析,包括最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数。

2 结果与分析

2.1 HMW-GS 变异及频率

根据 SDS-PAGE 结果,将 67 份美国小麦材料的

HMW-GS 组成的等位变异与频率列于表 3。在 Glu-1 位点共发现 20 个等位变异,其中 Glu-A1 位点 3 个, Glu-B1 位点 9 个, Glu-D1 位点有 8 个。在 Glu-A1 位点,亚基 1、2* 和 Null 的出现频率分别为 16.4%、35.8% 和 47.8%。在 Glu-B1 位点,7+9 亚基对出现频率最高,为 47.8%,7+8 亚基对次之,为 35.8%。在 Glu-D1 位点,亚基对 5 + 10 出现的频率最高,达到 74.6%。其他亚基或亚基对出现频率较低,均在 6% 以下。

在 Glu-B1 位点上发现 3 个不常见亚基,参照 Y. Liu 等^[9]、J. Y. Fang 等^[10] 的研究结果,将比 7 亚基迁移略慢的亚基暂时标记为 7*,比 8 亚基迁移略慢的亚基暂时标记为 8*,比 8 亚基迁移略快的亚基暂时标记为 8**;还发现 3 个未知亚基,位于 7 与 8 之间,分别暂时标记为 a、b、c,三者分子量依次减小。还发现 1 个新亚基,位于 5 与 6 亚基之间,暂时标记为 5*,可能位于 Glu-D1 位点上。这 67 份美国小麦材料所含优质亚基如 1、2*、5 + 10 等的比例较高,在 Glu-A1、Glu-B1 和 Glu-D1 3 个位点上均表现出较丰富的多态性。

表 3 小麦材料的 HMW-GS 亚基组成及其频率

Table 3 Composition and frequencies of HMW-GS of wheat accessions

染色体 1A Chromosome 1A		染色体 1B Chromosome 1B		染色体 1D Chromosome 1D	
亚基 Subunit	频率 (%) Frequency	亚基 Subunit	频率 (%) Frequency	亚基 Subunit	频率 (%) Frequency
1	16.4	7 + 9	47.8	5 + 10	74.6
2*	35.8	7 + 8	35.8	5 + 12	6
Null (N)	47.8	17 + 18	9	2 + 12	6
		a + b	3	4 + 12	4.5
		14 + 15	3	5*	3
		6 + 8*	3	3 + 12	1.5
		6 + 8**	1.5	4	1.5
		7* + 8*	1.5	Null (N)	1.5
		a + b + c	1.5		

2.2 HMW-GS 组合类型、频率与品质得分

67 份美国小麦材料出现的 20 种 HMW-GS 共形成 25 种亚基组合(表 4),其中 (Null, 7 + 8, 5 + 10) 出现的频率最高,达 22.4%;其次为 (Null, 7 + 9, 5 + 10) 频率为 19.4%;(2*, 7 + 9, 5 + 10) 出现频率为 10.5%;其他 22 种亚基组合出现频率均小于

8%。由此可见,供试材料的 HMW-GS 组合表现出较高的多态性。有 5 份材料出现了新的亚基与新的组合类型,分别是 62 号(2^* , $6+8^*$ + a + b + c, Null)、

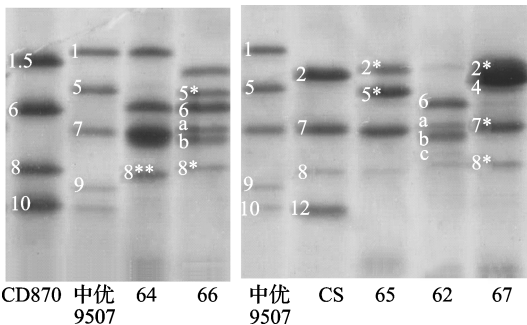
64 号($1,6+8^{**}$ + a + b, Null)、65 号(2^* , $7+8,5^*$)、66 号(2^* , $6+8^*$ + a + b, 5^*)、67 号(2^* , 7^*+8^* , 4) (图 1)。

表 4 小麦材料的 HMW-GS 组合类型、频率与品质得分

Table 4 The types and frequencies of HMW-GS compositions and quality scores of American wheat accessions

亚基组成类型	品质得分	频率(%)	材料数量	材料编号
Subunit composition	Score	Frequency	No. of materials	No.
1 7+8 5+10	10	1.5	1	16
1 7+9 5+10	9	7.5	5	1,4,40,48,51
1 7+9 5+12	9	1.5	1	9
1 7+9 2+12	7	1.5	1	61
1 17+18 5+12	10	1.5	1	63
1 17+18 5+10	10	1.5	1	41
2^* 7+8 5+10	10	4.5	3	2,33,34
2^* 7+9 5+10	9	10.5	7	5,17,30,31,32,35,60
2^* 14+15 5+10	10	1.5	1	18
2^* 17+18 5+10	10	3	2	12,20
2^* 7+9 3+12	7	1.5	1	13
2^* 7+9 5+12	9	3	2	15,47
2^* 7+8 4+12	7	1.5	1	25
2^* 7+9 4+12	6	3	2	26,27
2^* 7+8 2+12	8	1.5	1	43
N 7+8 5+10	8	22.4	15	3,7,8,10,21,24,28,30,39,42,45,52,55,58,59
N 7+9 5+10	7	19.4	13	6,11,19,22,23,29,38,44,46,50,53,54,56
N 17+18 5+10	8	3	2	14,36
N 7+9 2+12	5	1.5	1	57
N 14+15 2+12	6	1.5	1	37
2^* $6+8^*$, a + b + c Null	ND	1.5	1	62
1 $6+8^{**}$, a + b Null	ND	1.5	1	64
2^* 7+8 5^*	ND	1.5	1	65
2^* $6+8^*$, a + b 5^*	ND	1.5	1	66
2^* 7^*+8^* 4	ND	1.5	1	67

ND 表示未评分 ND means the quality score has not been determined



泳道编号同表 1, CD870、中优 9507、中国春 (CS) 均为亚基对照

The number code of the wheat accessions are in accordance with table 1,

CD870, Zhongyou 9507, and CS are contrasts of HMW-GS

图 1 部分美国小麦材料的 HMW-GS 组成图

Fig. 1 HMW-GS patterns of parts of American wheat accessions

按照表 2 的评分标准对各材料的亚基组合打分,结果见表 4。参试材料的品质得分范围在 5~10 分,平均为 8.2 分。其中评分为 10 分的材料有 9 份,其 HMW-GS 组合形式分别为: 2^* , $7+8,5+10$ (材料编号 2,33,34)、 2^* , $17+18,5+10$ (材料编号 12,20)、 2^* , $14+15,5+10$ (材料编号 18)、 $1,7+8,5+10$ (材料编号 16)、 $1,17+18,5+10$ (材料编号 41)、 $1,17+18,5+12$ (材料编号 63)。评分在 8 分及其以上的材料共有 42 份,占总材料数的 62.69%。由于还不能对新亚基进行亚基评分,所以编号为 62、64、65、66、67 的材料未参与此次评分。

2.3 品质性状

由表 5 可以看出,67 份供试材料的品质性状整

体水平偏低。蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、容重的变异系数较小,其中容重的变异系数最小,均值为 791.5 g/L,最大值为 815 g/L;蛋白质含量较高,均值为 13.7%,最高为 15.7%。供试材料的沉降

值、面团稳定时间、面团形成时间的差异较大。根据 7 项品质指标,筛选出 3 份综合品质较好的材料,编号分别为 21、56、60。

表 5 小麦材料的品质性状

Table 5 The quality performance of 67 American wheat germplasms

品质指标 Quality index	变异幅度 Variation range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	最低材料编号 The lowest material code	最高材料编号 The highest material code
蛋白质含量(%) Protein content	12 ~ 15.7	13.7	0.8	6.2	50	56
湿面筋含量(%) Wgluten content	21.8 ~ 30.8	26.3	2	7.6	43	56
吸水率(%) Absorption	55.8 ~ 67.5	60.8	2.7	4.5	12	60
容重(g/L) Test weight	761 ~ 815	791.5	11.8	1.5	21	20
沉降值(mL) Zel	11.2 ~ 37.6	26	5	19.1	66	56
面团稳定时间(min) Stability time	0 ~ 7.2	4.4	1.6	36.2	66	21
面团形成时间(min) Development time	1.4 ~ 4.6	3.2	0.6	19.4	66	56,60

3 讨论

3.1 HMW-GS 组成分析

为了发掘能够改良小麦烘烤品质的新等位变异,许多研究者对不同国家如中国^[19]、日本^[20]、法国^[21]、阿富汗^[22]以及欧洲一些国家^[23-24]的小麦品种的高分子量麦谷蛋白亚基组成进行研究分析,极大地拓宽了品质育种工作者可利用的优质亚基范围。我国小麦的 HMW-GS 组成较丰富,但所含优质亚基及其组合的种类少、所占比例较低,尤其是对面包的烘烤品质有很大正向作用的 5 + 10 亚基对^[19,25-28],这可能是我国小麦烘烤品质较差的一个主要原因。G. Branlard 等^[21]在法国小麦品种中检测到 1、2*、5 + 10 亚基的出现频率分别为 15%、15.5%、34.5%;亚洲南部小麦品种 5 + 10 亚基对出现频率为 8.6%,而在高加索与中亚小麦品种中 5 + 10 亚基对出现频率分别为 61.5% 和 23.5%^[29];Y. Liu 等^[9]对湖北省小麦品种进行 HMW-GS 研究,指出 1、2*、5 + 10 亚基出现频率分别为 17.7%、0.9%、0.9%;赵继新等^[30]对 2005 - 2006 年参加黄淮麦区区域试验的 39 份小麦新品系进行 HMW-GS 研究,39 份材料共出现 11 种亚基与 16 种亚基组合类型,其中优质亚基 2*、14 + 15、5 + 10 的出现频率分别为 2.6%、7.7%、17.9%;张丽琴等^[31]对 227 份黄淮麦区小麦新品种(系)进行 HMW-GS 分析,共检测到 10 种亚基与 18 种亚基组合类型,其中优质亚基 1、5 + 10 的出现频率分别为 61.67%、40.97%,二者的出现频率高于以往该区域的优质

亚基出现频率。本研究中共发现 20 种 HMW-GS 和 25 种不同亚基组合类型,含 1 与 2* 亚基的材料分别占材料总数的 16.4% 与 35.8%,含 5 + 10 亚基的材料高达 74.6%,均高于国内外许多小麦品种,说明引进的这批美国小麦材料在提高我国黄淮麦区小麦优质亚基比例方面具有较大的潜在应用价值。

3.2 新亚基的发现

参照 Y. Liu 等^[9]、J. Y. Fang 等^[10]的研究结果,将本文中 Glu-B1 位点上发现的 3 个不常见亚基分别标记为 7*、8*、8**,其中 7* 的分子量比 7 亚基略大,8* 的分子量比 8 亚基略大,8** 比 8 亚基的分子量略小;还发现 3 个未知亚基,位于 7 与 8 之间,暂时分别标记为 a、b、c,分子量依次减小,这 3 个亚基的迁移率与某些野生二粒小麦的亚基相似^[32],由于未能将其作比较,所以不能判定是否为相同亚基。若为相同亚基,则可能是野生二粒小麦与普通小麦杂交的结果。在 5 亚基与 6 亚基之间发现一个新的亚基,初步判断为 Glu-D1 位点上的等位变异,暂时将其标记为 5*。B. Feng 等^[33]发现一个与 5 亚基迁移率相似的亚基,将其命名为 5',并对其进行克隆、测序与结构分析。本研究检测到的 5* 亚基与 B. Feng 等^[33]鉴定的 5' 亚基是否为同一亚基,还需对其进行分子克隆、测序与序列比对方可确定。

3.3 HMW-GS 评分

李小军等^[14]对由密歇根州立大学提供的 128 份美国小麦种质进行 HMW-GS 组成分析,其品质评

分平均为 7.5 分;X. Y. Fu 等^[34]对澳大利亚的 64 份小麦种质进行了同样的分析,其品质评分平均为 7.4 分;张玲丽等^[35]对我国近期育成且具有突出农艺性状的 186 份小麦种质材料进行分析,其品质平均分为 6.9 分;本研究共筛选出 42 份(占材料总数 62.69%)品质评分在 8 分及其以上的材料(其中有 9 份材料的评分为 10 分),在亚基水平上已达到强筋或中强筋小麦的标准^[35]。HMW-GS 评分结果表明,这批美国小麦种质可为黄淮麦区小麦品质改良提供丰富的优质基因源。

3.4 品质分析

DA7200 近红外成分分析仪(内置小麦标准曲线与校正模型软件)具有操作简便、对种子需求量少等优点。本研究利用 DA7200 近红外成分分析仪测定 7 项品质指标,所得结果可作为品质性状的参考。67 份美国小麦材料的蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、容重的变异系数较小,沉降值、面团稳定时间、面团形成时间的变异系数较大。从美国材料中筛选出 3 份综合品质相对较好且含有优质亚基的材料,编号分别为 21 (Null, 7 + 8, 5 + 10)、56 (Null, 7 + 9, 5 + 10)、60 (2*, 7 + 9, 5 + 10), 这 3 份材料可作为我国小麦品质育种的基础材料加以利用。

参考文献

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

[2] Wang T, Li Z L, Ren Z L. Identification and characterization of a novel wheat line containing high molecular glutenin subunits 5 + 12[J]. *Acta Agron Sin*, 2004, 30(6):544-547

[3] Pirozi M, Margiotta B, Lafiandra D, et al. Composition of polymeric proteins and bread-making quality of wheat lines with allelic HMW-GS differing in number of cysteines[J]. *J Cereal Sci*, 2008, 48:117-122

[4] Ohm J B, Ross A, Peterson C, et al. Relationships of high molecular weight glutenin subunit composition and molecular weight distribution of wheat flour protein with water absorption and color characteristics of noodle dough[J]. *Cereal Chem*, 2008, 85:123-131

[5] Tang Y L, Yang W Y, Tian J C, et al. Effect of HMW-GS 6 + 8 and 1.5 + 10 from synthetic hexaploid wheat on wheat quality traits[J]. *Agr Sci China*, 2008, 7:1161-1171

[6] 陈晓杰, 王亚娟, 申磊, 等. 西北春麦区小麦地方品种高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(1):42-45

[7] 王海燕, 王秀娥, 陈佩度, 等. 云南、西藏与新疆小麦高分子量谷蛋白亚基组成及遗传多样性分析[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(12):228-233

[8] Nakamura H. Allelic variation at high molecular weight glutenin subunit loci Glu-A1, Glu-B1 and Glu-D1 in Japanese and Chinese hexaploid wheats[J]. *Euphytica*, 2000, 112:187-193

[9] Liu Y, Xiong Z Y, He Y G, et al. Genetic diversity of HMW glute-

nin subunit in Chinese common wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces from Hubei province[J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2007, 54:865-874

[10] Fang J Y, Liu Y, Luo J, et al. Allelic variation and genetic diversity of high molecular weight glutenin subunit in Chinese endemic wheats (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Euphytica*, 2009, 166:177-182

[11] Lin F, Chen X M. Molecular mapping of genes for race-specific overall resistance to stripe rust in wheat cultivar express[J]. *Theor Appl Genet*, 2008, 116:797-806

[12] Sui X X, Wang M N, Chen X M, et al. Molecular mapping of a stripe rust resistance gene in spring wheat cultivar ZAK[J]. *Phytopathology*, 2009, 99(10):1209-1215

[13] 白玉路, 孙权, 张春宇, 等. 美国西北部 59 个小麦品种(系)抗条锈病基因分子检测及对国内条锈菌系抗性鉴定[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(6):1147-1155

[14] 李小军, 李秀全, 杨欣明, 等. 美国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*, 2005, 25(6):51-54

[15] 李艳丽, 孙树贵, 武军, 等. 部分美国及我国小麦品种的遗传多样性分析[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(6):1066-1071

[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 in hexaploid wheat[J]. *Cereal Res Commun*, 1983, 11:29-35

[17] 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]. *J Sci Food Agr*, 1987, 40:51-65

[18] 王瑞, 宁锷. 一些优质小麦及其杂种后代高分子量谷蛋白亚基组成与面包品质之关系[J]. *西北农业学报*, 1995, 4(4):25-30

[19] Cong H, Takata K, Zong Y F, et al. Novel high-molecular-weight glutenin subunits at the Glu-D1 locus in wheat landraces from the Xinjiang district of China and relationship with winter habit[J]. *Breeding Sci*, 2005, 55:459-463

[20] Nakamura H. Allelic variation at high-molecular-weight glutenin subunit loci, GluA1, GluB1 and GluD1, in Japanese and Chinese hexaploid wheats[J]. *Euphytica*, 2000, 112:187-93

[21] Branlard G, Dardevet M, Amour N, et al. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2003, 50:669-679

[22] Terasawa Y, Kawahara T, Sasakuma T, et al. Evaluation of the genetic diversity of an Afghan wheat collection based on morphological variation, HMW glutenin subunit polymorphisms, and AFLP[J]. *Breeding Sci*, 2009, 59:361-371

[23] Popa M, Gregova E, Kraic J, et al. Romanian wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces characterized by seed storage proteins[J]. *Biodiversity FAO*, 2003, 135:53-58

[24] Gregova E, Hermuth J, Kraic J, et al. Protein heterogeneity in European wheat landraces and obsolete cultivars. Additional information II[J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2006, 53:867-871

[25] Wei Y M, Zheng Y L, Liu D C, et al. Genetic diversity of Gli-1, Gli-2 and Gli-1 alleles in Sichuan wheat landraces[J]. *Acta Bot Sin*, 2000, 42:496-501

[26] Zhang X Y, Pang B S, You G X, et al. Allelic variation and genetic diversity at Glu-1 loci in Chinese wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasms[J]. *Agr Sci China*, 2002, 1:1074-1082

[27] 郝晨阳, 尚励武, 张海泉, 等. 甘肃省春小麦品种高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2004, 5(1):38-42

[28] 朱炎辉, 吉万全, 王亚娟, 等. 西南冬麦区地方品种 HMW-GS 组成遗传多样性研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2007, 8(4):401-405