

# 无芒春小麦高分子量麦谷蛋白亚基组成分析\*

魏乐<sup>1,2,3</sup>, 刘琦<sup>1,2</sup>, 刘宝龙<sup>1</sup>, 张怀刚<sup>1</sup>, 马晓岗<sup>4</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 青海师范大学生命与地理科学学院, 西宁 810008; 4. 青海省农林科学院, 西宁 810012)

**摘要:** 无芒且品质优良的春小麦新品种是在青海省获得大面积推广的重要保障。为充分利用无芒小麦物质资源, 利用 SDS-PAGE 技术对 100 个无芒春小麦品种的高分子量麦谷蛋白亚基组成进行分析。结果表明, 100 个无芒品种在 *Glu-1* 位点上共有 15 个等位变异, 其中 *Glu-A1* 位点 3 种, *Glu-B1* 位点 8 种, *Glu-D1* 位点 4 种; 1, 7+9, 2+12 亚基在各自基因位点表达的频率最高, 分别为 48.0%、37.0% 和 49.0%, 优质亚基 1, 5+10 出现频率均为 48.0%, 显著高于其他地区有芒和无芒混合在一起的分析结果。在 15 个等位变异中, 发现 2 个新的高分子量麦谷蛋白等位变异的亚基 1Bx6w 和 1Dy10w。亚基组合类型共有 25 种, 无明显占优势的组合, Null/7+8/2+12, 1/7+9/5+10 和 1/7+8/2+12 的频率最高, 分别为 18.0%、17.0% 和 10.0%, 其他 22 种组合类型的频率均在 10.0% 以下; 筛选出 10 个在 3 个位点均为优质亚基的品种, 优质亚基组合为 1/7+8/5+10, 1/14+15/5+10, 1/17+18/5+10, 2\*/7+8/5+10 和 2\*/13+16/5+10。

**关键词:** 无芒春小麦; 高分子量麦谷蛋白亚基; SDS-PAGE; 遗传多样性

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-1389(2011)06-0084-06

## Diversity of HMW-GS Composition in 100 Beardless Spring Wheat Cultivars

WEI Le<sup>1,2,3</sup>, LIU Qi<sup>1,2</sup>, LIU Baolong<sup>1</sup>, ZHANG Huaigang<sup>1</sup> and MA Xiaogang<sup>4</sup>

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Biologic and Geographic Sciences of Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 4. Qinghai Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Xining 810012, China)

**Abstract:** A new spring wheat variety with beardless and good quality is the basis for wide growing in Qinghai province. In order to use resource of beardless spring wheat in breeding program, SDS-PAGE was taken for identifying HMW-GS compositions of 100 beardless spring wheat cultivars from Qinghai, Tibet, Ningxia and abroad. The results indicated that there were 15 alleles on *Glu-1* loci, 3 alleles on *Glu-A1*, 8 alleles on *Glu-B1*, and 4 alleles on *Glu-D1*. The frequencies of subunits 1, 7+9, 2+12 were the highest in their gene loci, and 48.0%, 37.0%, and 49.0%, respectively. The frequencies of subunit 1 and 5+10 (48.0% respectively) for good processing quality were higher compared to other results from mixed collections of beardless and beard cultivars. Two new allele subunits, 1Bx6w and 1Dy10w, were found in this research. There were 25 subunit combinations. Null/7+8/2+12, 1/7+9/5+10 and 1/7+8/2+12 were the dominant types. Their frequencies were 18.0%, 17.0% and 10.0% respectively. Ten cultivars with good subunits in three loci were found, and the subunit combinations were 1/7+8/5+10, 1/14+15/5+10, 1/17+18/5+10, 2\*/7+8/5+10 and 2\*/13+16/5+10.

**Key words:** Beardless wheat; HMW-GS; SDS-PAGE; Genetic diversity

\* 收稿日期: 2010-11-10 修回日期: 2010-12-25

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-03)和方向性项目(KSCX2-YW-N-052); 青海省重点科技攻关项目(2006-N-137)。

第一作者: 魏乐, 女, 教授, 在读博士, 从事植物分子生物学研究。E-mail: qhsdweile@yahoo.com.cn

通讯作者: 张怀刚, 男, 研究员, 博士, 从事小麦遗传育种研究。E-mail: hgzhang@nwpib.ac.cn

青海是中国春小麦高产地区之一,曾创造了 $15\ 196\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的春小麦高产纪录<sup>[1]</sup>,但其品质较差,主要表现为蛋白质含量低,面筋的延展性和粘弹性差, $\alpha$ -淀粉酶活性强,加工的面条、水饺等水煮制品耐煮性和口感不好<sup>[2-3]</sup>。同时该地区生态环境复杂多变、农业机械化程度低,春小麦田间管理和收获主要依靠人工。有芒小麦扎手,并且牲畜不喜食用,因此品质优良且无芒是青海省春小麦新品种获得大面积推广的重要前提。

高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)是由位于第一同源染色体组(1A、1B和1D)的3个*Glu-1*位点编码的,每个位点编码2个紧密连锁的基因<sup>[4]</sup>。由于等位基因变异和基因沉默,大多数六倍体小麦具有3~5个高分子量麦谷蛋白亚基<sup>[4]</sup>。虽然高分子量麦谷蛋白大约只占小麦胚乳储存蛋白的10%,但它对小麦的加工品质至关重要<sup>[5-6]</sup>。有研究表明,高分子量麦谷蛋白亚基的等位变异与小麦加工品质密切相关<sup>[6-10]</sup>,各位点对品质的影响大小依次为*Glu-D1* > *Glu-A1* > *Glu-B1*<sup>[11-12]</sup>。*Glu-A1*位点表达的1和2\*,*Glu-B1*位点表达的7+8、13+16、14+15和17+18,*Glu-D1*位点表达的5+10等亚基对小麦加工品质的正向效应明显,被称为优质亚基<sup>[13-16]</sup>。高分子量麦谷蛋白亚基被作为衡量面包小麦的重要指标,并广泛用于小麦品质育种。

张怀刚等<sup>[17]</sup>1995年对青海高原61个春小麦品种(包括地方品种、育成品种和引进品种)的HMW-GS组成进行分析。近年来,相吉山等<sup>[15,18-20]</sup>对青海引进的部分小麦品种HMW-GS组成进行了研究,但针对无芒春小麦材料进行分析尚未见报道。本试验利用十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)技术,对国内外100份无芒春小麦品种的HMW-GS组成进行分析,了解其HMW-GS组成特征,筛选HMW-GS新的等位变异,全面认识和充分利用现有无芒品种资源,并指导春小麦育种亲本选配,为青海培育品质优良的无芒春小麦新品种提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材

选用100份无芒春小麦品种(表1),其中21份西藏品种,7份宁夏品种,36份青海品种,36份来自德国、法国、墨西哥和澳大利亚。序号1~64

号品种种子由国家作物种质库青海复份库提供,品种编号为种子库统一编号。对照材料为中国春(Null, 7+8, 2+12)、墨引2号(2\*, 13+16, 2+12)、甘春20号(1, 17+18, 5+10)、高原314(1, 7+8, 5+10)、高原142(1, 7+9, 5+10)和Neepawa(2\*, 7+9, 5+10)。

### 1.2 方法

1.2.1 高分子量麦谷蛋白提取 每份材料取单粒种子磨碎后,称取0.020 g,加入200  $\mu\text{L}$ 种子谷蛋白提取液(pH 6.8, 1.0 mol/L Tris-HCl,  $w=2\%$ 的SDS,  $\varphi=10\%$ 的丙三醇,  $\varphi=3\%$ 的 $\beta$ -巯基乙醇,少许溴酚蓝),振荡混匀1 h后,在室温下浸提1 h,然后沸水中煮10 min, 13 000 r/min离心6 min,最后取上清液点样。

1.2.2 HMW-GS的SDS-PAGE分析 采用北京六一公司的电泳仪(DYY-III 6B)和电泳槽(DY-CZ-30)。分离胶质量浓度为100 g/L,交联度为1%,浓缩胶质量浓度为30 g/L,交联度为2.6%。电极缓冲液为稀释10倍的Resolving gel( $w=15.12\%$ 的Tris,  $w=1\%$ 的SDS,  $w=3.8\%$ 的硼酸, pH 8.9)。稳流20 mA,电泳6~7 h。用含 $\varphi=50\%$ 的甲醇、 $\varphi=10\%$ 的冰乙酸、 $w=0.1\%$ 的考马斯亮蓝R-250染色液振荡染色20 min。用含 $\varphi=12.5\%$ 的甲醇、 $\varphi=12.5\%$ 冰乙酸的脱色液振荡脱色1 h,然后自来水脱色24 h。

HMW-GS的编码和命名根据Bullrich L<sup>[21]</sup>的方法和标准进行。

## 2 结果与分析

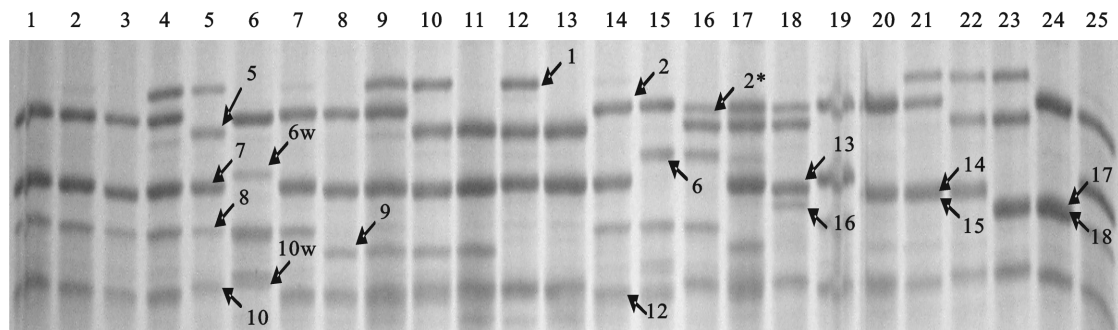
### 2.1 无芒春小麦品种HMW-GS等位变异

3个*Glu-1*位点上检测到15种亚基(图1),其中*Glu-A1*、*Glu-B1*和*Glu-D1*位点上的等位变异分别有3、8和4种(表2)。*Glu-A1*位点1亚基出现频率最高,为48.0%,其次是Null类型,为45.0%,与优质密切相关的2\*亚基出现频率为7.0%;*Glu-B1*位点有8种等位变异亚基,以7+9和7+8为主,出现频率分别为37.0%和36.0%,其他6种亚基类型出现的频率均在10%以下,优质亚基7+8、13+16、14+15和17+18出现频率总和为46.0%。西藏小麦XM001584和XM01593中发现新的高分子量麦谷蛋白亚基1Bx6w,位于条带6和7之间,与8连锁,频率为2.0%;在*Glu-D1*位点上,亚基2+12和5+10出

表 1 供试品种

Table 1 Cultivars used in this experiment

序号 Number	编号或品种 ID or cultivar	原产地 Original Region	序号 Number	编号或品种 ID or cultivar	原产地 Original region
1	XM001584	西藏 Tibet	51	MY013478	德国 Germany
2	XM001593	西藏 Tibet	52	MY012811	德国 Germany
3	XM001331	西藏 Tibet	53	MY013271	德国 Germany
4	XM001218	西藏 Tibet	54	MY013256	德国 Germany
5	XM001384	西藏 Tibet	55	MY013257	德国 Germany
6	XM001429	西藏 Tibet	56	MY013443	法国 France
7	XM001470	西藏 Tibet	57	MY013804	法国 France
8	XM001508	西藏 Tibet	58	MY012844	法国 France
9	XM001534	西藏 Tibet	59	MY014014	法国 France
10	XM001536	西藏 Tibet	60	MY010533	墨西哥 Mexico
11	XM001598	西藏 Tibet	61	MY010081	墨西哥 Mexico
12	ZM019723	西藏 Tibet	62	MY010220	墨西哥 Mexico
13	ZM019909	西藏 Tibet	63	MY011733	墨西哥 Mexico
14	ZM019931	西藏 Tibet	64	MY011940	澳大利亚 Australia
15	ZM020367	西藏 Tibet	65	高原 182 Gaoyuan182	青海 Qinghai
16	ZM020489	西藏 Tibet	66	青春 952 Qingchun952	青海 Qinghai
17	ZM020533	西藏 Tibet	67	兰天 3 号 Lantian3	青海 Qinghai
18	ZM020551	西藏 Tibet	68	青春 533 Qingchun533	青海 Qinghai
19	XM001351	西藏 Tibet	69	青春 144 Qingchun144	青海 Qinghai
20	XM001538	西藏 Tibet	70	青春 891 Qingchun891	青海 Qinghai
21	MY020020	西藏 Tibet	71	高原 913 Gaoyuan913	青海 Qinghai
22	ZM009798	宁夏 Ningxia	72	东春 1 号 Dongchun1	青海 Qinghai
23	ZM020809	宁夏 Ningxia	73	青春 587 Qingchun587	青海 Qinghai
24	ZM009796	宁夏 Ningxia	74	互麦 15 Humai15	青海 Qinghai
25	ZM009790	宁夏 Ningxia	75	互助红 Huzhuhong	青海 Qinghai
26	ZM009792	宁夏 Ningxia	76	民和 665 Minhe665	青海 Qinghai
27	ZM009789	宁夏 Ningxia	77	通麦 1 号 Tongmail	青海 Qinghai
28	ZM009795	宁夏 Ningxia	78	青春 38 Qingchun38	青海 Qinghai
29	MY013262	德国 Germany	79	高原 448 Gaoyuan448	青海 Qinghai
30	MY013285	德国 Germany	80	高原 158 Gaoyuan158	青海 Qinghai
31	MY013255	德国 Germany	81	互麦 14 Humai14	青海 Qinghai
32	MY013281	德国 Germany	82	高原 671 Gaoyuan671	青海 Qinghai
33	MY013282	德国 Germany	83	互麦 12 Humai12	青海 Qinghai
34	MY013701	德国 Germany	84	互麦 11 Humai11	青海 Qinghai
35	MY012807	德国 Germany	85	青春 415 Qingchun415	青海 Qinghai
36	MY013254	德国 Germany	86	乐麦 6 号 Lemai6	青海 Qinghai
37	MY013260	德国 Germany	87	乐麦 5 号 Lemai5	青海 Qinghai
38	MY013628	德国 Germany	88	阿勃 Abbe	青海 Qinghai
39	MY013629	德国 Germany	89	柴春 018 Chaichun018	青海 Qinghai
40	MY013760	德国 Germany	90	源卓 3 Yuanzhuo3	青海 Qinghai
41	MY013263	德国 Germany	91	青春 524 Qingchun524	青海 Qinghai
42	MY013266	德国 Germany	92	青春 570 Qingchun570	青海 Qinghai
43	MY013269	德国 Germany	93	高原 437 Gaoyuan437	青海 Qinghai
44	MY013270	德国 Germany	94	互麦 13 Humai13	青海 Qinghai
45	MY013272	德国 Germany	95	民和 853 Minhe853	青海 Qinghai
46	MY013277	德国 Germany	96	民和 588 Minhe588	青海 Qinghai
47	MY013279	德国 Germany	97	高原 356 Gaoyuan356	青海 Qinghai
48	MY013280	德国 Germany	98	青春 39 Qingchun39	青海 Qinghai
49	MY013283	德国 Germany	99	高原 584 Gaoyuan584	青海 Qinghai
50	MY013284	德国 Germany	100	山旱 901 Shanhan901	青海 Qinghai



1,2,7,14,19,25. 中国春 Chinese Spring; 3. ZM020809; 4. XM001351; 5. MY010533; 6. XM01593; 8. MY013262; 9. ZM009790; 10. MY013263; 11. MY013255; 12. MY012807; 13. MY013701; 15. XM001331; 16. MY013257; 17. MY014014; 18. MY011733; 20. MY013285; 21. MY012811; 22. MY012844; 23. MY010081; 24. MY011940; 黑色箭头所指的数字分别代表 15 种不同的高分子量麦谷蛋白亚基 The numbers linked after the black arrows represent the 15 different HMW-GS respectively.

图 1 无芒春小麦供试材料 HMW-GS 图谱

Fig. 1 HMW-GS banding patterns in some beardless spring wheat cultivars

表 2 100 个无芒春小麦品种的亚基类型及频率

Table 2 HMW-GS subunit types and distributions in 100 beardless spring wheat cultivars

位点 Locus	亚基类型 Subunit type	数量 Numbers of cultivars	频率/% Frequency	位点 Locus	亚基类型 Subunit type	数量 Numbers of cultivars	频率/% Frequency
<i>Glu-A1</i>	Null	45	45.0	<i>Glu-D1</i>	13+16	1	1.0
	1	48	48.0		14+15	5	5.0
	2*	7	7.0		17+18	4	4.0
<i>Glu-B1</i>	6+8	7	7.0		2+10w	2	2.0
	6w +8	2	2.0		2+10w +12	1	1.0
	7+8	36	36.0	2+12	49	49.0	
	7+9	37	37.0	5+10	48	48.0	
	7	8	8.0				

表 3 100 无芒春小麦品种亚基组合类型

Table 3 HMW-GS subunit combinations of 100 beardless spring wheat cultivars

亚基组成 Subunit composition			品种序号 No. of cultivars	品种数量 Numbers of cultivars	出现频率/% Frequency
<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>			
Null	6w +8	2+10w	1,2	2	2.0
Null	6+8	2+10w +12	3	1	1.0
Null	6+8	2+12	65	1	1.0
Null	7	2+12	66	1	1.0
Null	7+8	2+12	4~18,22,23,67	18	18.0
Null	7+9	2+12	24,29,68~71	6	6.0
Null	14+15	2+12	30,72	2	2.0
Null	17+18	2+12	64,73,74	3	3.0
Null	6+8	5+10	75	1	1.0
Null	7+8	5+10	76,77	2	2.0
Null	7+9	5+10	31~33,78~81	7	7.0
Null	7	5+10	34	1	1.0
1	6+8	2+12	82,83	2	2.0
1	7+8	2+12	19~21,84~90	10	10.0
1	7+9	2+12	25,26,91~93	5	5.0
1	14+15	2+12	52	1	1.0
1	7	5+10	35~40	6	6.0
1	7+8	5+10	60,94~96	4	4.0
1	7+9	5+10	27,28,41~51,56,57,97,98	17	17.0
1	14+15	5+10	53,58	2	2.0
1	17+18	5+10	61	1	1.0
2*	6+8	5+10	54,55	2	2.0
2*	7+8	5+10	99,100	2	2.0
2*	7+9	5+10	59,62	2	2.0
2*	13+16	5+10	63	1	1.0

现频率最高,分别为 49.0%和 48.0%,同时检测到位于 9 和 10 之间的新的高分子量麦谷蛋白亚基条带 1Dy10w,该亚基具有 2 种组合形式 2+10w 和 2+10w+12,出现频率分别为 2.0%和 1.0%。

## 2.2 无芒春小麦品种 HMW-GS 组合类型

100 个无芒春小麦品种中的 15 种 HMW-GS 共形成 25 种组合形式(表 3),分布较分散,其中 Null/7+8/2+12、1/7+9/5+10 和 1/7+8/2+12 三种组合频率较高,分别为 18.0%、17.0%和 10.0%,其余亚基组合频率都在 10%以下。可见,25 种组合形式中,无明显占优势组合,表明 100 个无芒春小麦材料的 HMW-GS 组合具有较高的遗传多样性。筛选到在 3 个 *Glu-1* 位点均为优质亚基(1/7+8/5+10、1/14+15/5+10、1/17+18/5+10、2\*/7+8/5+10、2\*/13+16/5+10)的品种 10 个,占品种总数的 10.0%,分别是 MY010533、互麦 13、民和 853、民和 588、MY012844、MY013271、MY010081、高原 584、山旱 901、MY011733。

## 3 结论与讨论

100 个无芒春小麦品种中,*Glu-A1* 位点优质亚基 1 和 2\* 出现频率总和为 55.0%,*Glu-B1* 位点优质亚基 7+8、13+16、14+15 和 17+18 出现频率总和为 46.0%,*Glu-D1* 位点优质亚基 5+10 出现频率为 48.0%。与国内同类研究相比,100 个无芒春小麦品种 *Glu-A1* 和 *Glu-D1* 位点上与小麦品质极显著正相关的优质亚基 1、5+10 所占比例显著偏高,但 *Glu-B1* 位点上优质亚基 7+8 所占比例偏低。王红梅<sup>[22]</sup>选用的 372 份甘肃小麦种质中,优质亚基 1、7+8 和 5+10 出现频率分别为 26.61%、81.18%和 10.75%;朱炎辉<sup>[23]</sup>选用的 560 份西南冬麦区地方品种中,优质亚基 1、7+8 和 5+10 出现频率分别为 14.46%、68.21%和 6.96%;李博<sup>[24]</sup>选用的 1 389 份黄淮麦区小麦地方品种中,Null、7+8 和 2+12 在各自位点上出现频率分别达 98.63%、82.83%和 92.65%,优质亚基 1 和 5+10 出现频率较低。

按 Rogers W J 等<sup>[25]</sup>的评分标准对本试验无芒春小麦品种 HMW-GS 组合类型(含有稀有亚基及 14+15 亚基的品种未参与评分)进行品质评分,结果显示,18 个西藏品种的品质评价得分为 4~8 分,平均值为 5.5 分,出现频率最高的是品质

评分为 5 分的品种,占 83.33%,最高分 8 分的频率为 16.67%;7 个宁夏品种的得分为 4~9 分,平均 6.57 分,有 2 个品种的品质评分为 9 分,其频率为 28.57%;32 个国外品种的品质得分为 4~10 分,平均为 8.16 分,8 分以上的品种占 81.25%,品质评分达到 10 分的优质亚基组合频率为 9.38%;35 个参与品质评分的青海无芒春小麦品种的品质得分为 3~10 分,平均 6.77 分,8 分以上的品种占 40.0%,有 5 个品种的品质得分为 10 分,所占频率为 14.29%。可见,小麦品种品质有明显地区差异,青海无芒春小麦品种的品质优于西藏及宁夏无芒品种,而且从中筛选到的 5 个优质亚基组合品种(互麦 13、民和 853、民和 588、高原 584、山旱 901)是今后无芒春小麦品质改良需重点利用的种质资源,但青海无芒春小麦品种的品质评分整体仍低于国外无芒品种。因此,在育种过程中,应利用国外优质小麦种质资源作为亲本,提高青海无芒春小麦品种(品系)的品质。

在西藏地方小麦品种 XM001584 和 XM01593 中检测到新的高分子量麦谷蛋白亚基 1Bx6w,其迁移率快于条带 6,略慢于条带 7(图 1),经初步核苷酸序列分析表明,此亚基与颜泽洪等<sup>[26-27]</sup>在西藏小麦品种 As1510 中发现的 6\*\* 亚基不是同一基因表达的结果。在 XM001584 和 XM01593、XM001331 中检测到位于 9 和 10 之间新的高分子量麦谷蛋白亚基条带 1Dy10w(图 1)是否与姜千涛等<sup>[28]</sup>在新疆小麦 Daomai 2 中分离的新亚基 1Dy10.1 为同一基因需要进一步验证。

## 参考文献:

- [1] 程大志. 柴达木盆地春小麦高额丰产的生态生理特点及栽培技术[M]//卢良恕. 中国小麦栽培研究新进展. 北京:农业出版社,1993:327-340.
- [2] 张怀刚,蒋德亨,纪兰菊. 春小麦籽粒蛋白质和氨基酸含量的研究[J]. 高原生物学集刊,1990,9:183-193.
- [3] 张怀刚, Lukow O M, Czarnecki E. 中加两国春小麦品种的比较研究[J]. 高原生物学集刊,1992,11:151-162.
- [4] Yang Z J, Li G R, Shu H L, et al. Molecular characterization of high molecular weight glutenin subunit allele 1Bx23 in common wheat introduced from hexaploid triticale [J]. Hereditas, 2006, 143: 159-166.
- [5] Shewry P R, Tatham A S, Barro P P, et al. Biotechnology of breadmaking: Unraveling and manipulating the multi-protein gluten complex [J]. Biotechnology, 1995, 13: 1185-1190.
- [6] Shewry P R, Halford N G. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization [J]. J Exp

- Bot, 2002, 53: 947-958.
- [7] Luo C, Griffin W B, Branlard G, *et al.* Comparison of low and high molecular weight wheat glutenin allele effects on flour quality [J]. *Theor Applied Genet*, 2001, 102: 1088-1098.
- [8] 张学勇,董玉琛,游光侠,等. 中国小麦大面积推广品种及骨干亲本的高分子量麦谷蛋白亚基分析[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(4): 355-362.
- [9] 张正斌. 小麦遗传学[C]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 222-234.
- [10] Anjum F M, Khan M R, Din A, *et al.* Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits-structure, genetics, and relation to dough elasticity [J]. *J Food Sci*, 2007, 72(3): 56-63.
- [11] 刘香利,郭嵩光,赵惠贤. 陕西省部分小麦栽培品种高分子量麦谷蛋白亚基组成及其与品质关系[J]. *分子植物育种*, 2007, 5(6): 827-832.
- [12] 陆 燕,马传喜. 高分子量麦谷蛋白亚基变异与加工品质关系的研究[J]. *麦类作物学报*, 2000, 20(4): 32-36.
- [13] Trethowan R M, Pena R J, van Ginkel M. The effect of indirect tests for grain quality on the grain yield and industrial quality of bread wheat [J]. *Plant Breeding*, 2001, 120(6): 509-512.
- [14] Liu L, He Z H, Yan J, *et al.* Allelic variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of the 1B/1R translocation, and their effects on mixographic properties in Chinese bread wheats [J]. *Euphytica*, 2005, 142(3): 197-204.
- [15] 相吉山,马晓岗. 青海省小麦主栽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(2): 238-242.
- [16] 赵 和,卢少源,李宗智. 小麦高分子量麦谷蛋白亚基遗传变异及其与品质和其他农艺性状关系的研究[J]. *作物学报*, 1994, 20(1): 67-75.
- [17] 张怀刚,陈集贤,赵绪兰,等. 青海高原春小麦品种 HMW-GS 组成[J]. *西北农业学报*, 1995, 4(4): 6-10.
- [18] 张梅妞,张怀刚,井春喜,等. 青海高原春小麦 HMW-GS 等位基因变异及其对面团流变学特性的作用[J]. *麦类作物学报*, 2003, 23(4): 15-18.
- [19] 许永财,相吉山. 不同来源小麦品种(系)高分子量麦谷蛋白亚基分析[J]. *青海大学学报*, 2006, 24(6): 8-12.
- [20] 刘宝龙,张怀刚. 弱筋小麦品种高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. *西北农业学报*, 2007, 16(2): 19-23.
- [21] Bullrich L, Tranquilli G, Pfluger L, *et al.* Bread making quality and yield performance of 1 BL/1 RS wheat isogenic lines [J]. *Plant Breeding*, 1998, 117(2): 119-122.
- [22] 王红梅,厚毅清,张艳萍,等. 甘肃小麦部分种质高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)遗传变异分析[J]. *分子植物育种*, 2009, 7(5): 873-878.
- [23] 朱炎辉,吉万全,万亚娟,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.
- [24] 李 博,张荣琦,王亚娟,等. 黄淮麦区部分小麦地方品种高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(3): 483-487.
- [25] Rogers W J, Payne P I, Harinder K. The HMW glutenin subunit and gliadin compositions of German-Grown wheat varieties and their relationship with bread-making quality [J]. *Plant Breeding*, 1989, 103(2): 89-100.
- [26] Yan Z H, Dai S F, Liu D C, *et al.* Allelic variation of high molecular weight glutenin subunits in the hexaploid wheat landraces of Tibet, China [J]. *Int J Agr Res*, 2007, 2(9): 838-843.
- [27] Yan Z H, Dai S F, Liu D C, *et al.* Isolation and characterization of a novel Glu-Bx HMW-GS allele from Tibet bread wheat landrace [J]. *Int J Agr Res*, 2009, 4(1): 38-45.
- [28] Jiang Q T, Wei Y M, Wang J R, *et al.* Isolation and sequence analysis of HMW Glutenin Subunit 1Dy10.1 coding gene from Xinjiang wheat (*Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch) [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(2): 81-89.