

山西省不同来源小麦品种(系)的 HMW-GS 组成分析

陈卫国 王曙光 史雨刚 孙黛珍*

(山西农业大学,山西 太谷 030801)

摘要 为了解山西小麦品质现状并且为今后山西小麦育种提供材料和依据,利用十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳(Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)方法分析 123 份山西小麦品种资源高分子量谷蛋白亚基(High molecular weight glutenin subunits, HMW-GS)的组成。结果表明:在 123 份供试材料中,共检测出 18 种 HMW-GS,其中 Glu-A1 位点上有 1、2* 和 Null 共 3 种, Glu-B1 位点上有 7+8、7+9、7、6+8、17+18、14+15、20、13+16 和 13+19 共 9 种, Glu-D1 位点上有 2+12、5+10、5+12、2+10、3+12 和 4+12 共 6 种;亚基 Null、7+8 和 2+12 在各自位点上出现频率最高,分别为 78.05%、60.16% 和 65.85%。亚基组合类型共 34 种,主要是 Null/7+8/2+12,占 45.53%,其次是 Null/7+9/2+12,占 12.20%,优良亚基组合类型 1/7+8/5+10 与 1/17+18/5+10 相当缺乏。育成品种与地方品种比较分析发现,在 Glu-A1 位点上优良亚基 1 提高 14.16%; Glu-B1 位点上 7+8 下降 9.05%; Glu-D1 位点上 5+10 在地方品种中没有出现,但在育成品种中达 14.89%。同时筛选出 10 份得 9 和 10 分的优质品种资源,还有 12 份含稀有亚基的品种资源,可作为山西今后小麦品质育种的亲本材料。

关键词 小麦;地方品种;育成品种;外引品种;高分子量谷蛋白亚基

中图分类号 S 512.1

文章编号 1007-4333(2015)04-0019-10

文献标志码 A

Analysis on components of HMW-GS in Shanxi wheat cultivars(lines) from different sources

CHEN Wei-guo, WANG Shu-guang, SHI Yu-gang, SUN Dai-zhen*

(Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract In order to know present situation of wheat quality and to provide materials and basis for the future wheat quality improvement in Shanxi, high molecular weight glutenin subunits(HMW-GS) composition of 123 wheat germplasm resources were analyzed by means of sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE). The results were as follows: There were 18 alleles at Glu-1 locus, including 3 (1, 2* and Null) at Glu-A1, 9 (7+8, 7+9, 7, 6+8, 17+18, 14+15, 20, 13+16 and 13+19) at Glu-B1, 6 (2+12, 5+10, 5+12, 2+10, 3+12 and 4+12) at Glu-D1, and the frequency of Null, 7+8 and 2+12 were the highest at each of loci, reaching 78.05%, 60.16% and 65.85%, respectively. There are 34 subunit composition types, the predominant was Null/7+8/2+12 with a frequency of 45.53%, and the second was Null/7+9/2+12 with a frequency of 12.20%. However, the types of good subunit composition 1/7+8/5+10 and 1/17+18/5+10 were rare. Comparative analysis found that elite subunit 1 coded at Glu-A1 in bred varieties increased by 14.16% in landraces, and the 7+8 coded at Glu-B1 fell by 9.05%. The frequencies of 5+10 coded at Glu-D1 were decreased 14.89% in bred varieties, while zero in landraces. 10 elite resources scored 9 or 10 and 12 with rare subunits were screened, and they could be used as parent materials for future wheat breeding in Shanxi.

Key words wheat; local variety; bred variety; introduced variety; high molecular weight glutenin subunits (HMW-GS)

收稿日期: 2014-08-03

基金项目: 山西省人才引进与开发专项(2011); 山西省自然科学基金(2014011004-3); 山西农业大学科技创新基金项目(201225)

第一作者: 陈卫国, 讲师, 主要从事作物遗传育种研究, E-mail: cwglcj@126.com

通讯作者: 孙黛珍, 教授, 博士, 主要从事作物遗传育种研究, E-mail: sdz64@126.com

小麦贮藏蛋白由醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,麦谷蛋白又可分为高分子量谷蛋白亚基(High molecular weight glutenin subunits, HMW-GS)和低分子量谷蛋白亚基(Low molecular weight glutenin subunits, LMW-GS)。近年来,为改良小麦品质,世界各国学者对 HMW-GS 组成进行了大量研究;而由于 LMW-GS 结构比较复杂,多态性也很丰富,又很难与醇溶蛋白分离,因而对其亚基组成以及与小麥品质关系的研究都远远要落后于 HMW-GS。大量研究^[1]表明:HMW-GS 是小麦品质特别是烘烤品质的主要影响因素,由于其控制基因分别位于具有部分同源性的 1A、1B 和 1D 染色体上,因而各自被称为 Glu-A1、Glu-B1 和 Glu-D1 位点。尽管每个位点上各有 2 个控制 HMW-GS 的连锁基因^[2-3],但在一般小麦品种只有 3~5 个基因表达,其中 1 或 0 个由 Glu-A1 控制,1 或 2 个由 Glu-B1 控制,2 个由 Glu-D1 控制^[4]。前人^[5-6]研究结果大致认为,在对烘烤品质的影响上,Glu-A1 位点的 1、2* 亚基,Glu-B1 位点的 7+8、17+18、13+16、14+15 亚基,Glu-D1 位点的 5+10 亚基均优于各自位点的其他等位基因,因而这些亚基被称为优质亚基。

山西省小麦品质育种始于 20 世纪 80 年代,曾先后培育出太原 136、忻 2060 和晋太 170 等优质小麦品种。虽然山西省小麦品种的蛋白质含量高于全

国平均值,与国内品种比较,山西小麦品种的品质属中上等水平,但从整体水平看,山西省优质小麦品种数目不多,而且大多品质不稳定,且生产上没有形成一定规模^[7]。因此了解山西省小麦种质资源和育成品种 HMW-GS 的组成及演变规律有助于改善这一状况。本研究拟利用十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳(Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)方法分析 123 份山西小麦品种资源(35 份地方品种,47 份育成品种,41 份外引品种)的 HMW-GS 组成,并进行优质品种资源的筛选,以期推动山西省小麦品质育种的稳步发展。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料共 123 份小麦品种(系),由山西农业大学小麦育种室提供,其中包括地方品种 35 份,近 40 年来育成品种 47 份,外引品种 41 份。以中国春、济南 17 和中优 9507 为对照。

1.2 方法

采用 SDS-PAGE,以中优 9507(1/7+9/5+10)、济南 17(1/7+8/4+12)和中国春(Null/7+8/2+12)为对照, HMW-GS 的辩读按 Payne 等^[4]提出的命名系统进行,品质评分参照 Payne 等^[4]的标准进行。评分标准见表 1。

表 1 HMW-GS 品质评分标准

Table 1 Standard of quality scores of HMW-GS

| 品质得分 Quality scores | A1 位点 Glu-A1 locus | B1 位点 Glu-B1 locus | D1 位点 Glu-D1 locus |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 4 | | | 5+10 |
| 3 | 2*, 1 | 7+8, 17+18 | |
| 2 | | 7+9 | 2+12, 3+12 |
| 1 | N | 6+8, 7 | 4+12 |

2 结果与分析

2.1 供试品种 HMW-GS 的遗传变异

2.1.1 HMW-GS 组成

在供试的 123 份小麦品种资源中,共检测出 18

种 HMW-GS,其中 Glu-A1 上有 Null、1 和 2* 共 3 种,Glu-B1 上有 7+8、7+9、7、6+8、17+18、14+15、20、13+16 和 13+19 共 9 种,Glu-D1 上有 2+12、5+10、5+12、2+10、3+12 和 4+12 共 6 种(表 2)。

表2 不同小麦品种的 HMW-GS 组成

Table 2 Composition of HMW-GS in different wheat varieties

| 品种类型 Variety types | 编号 No. | 品种 Varieties | 亚基组合 Subunit composition | | | 品质得分 Quality scores |
|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------------|--------|--------|------------------------|
| | | | Glu-A1 | Glu-B1 | Glu-D1 | |
| 地方品种 Local variety | 1 | 水麦 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 2 | 通爱白麦 | 2* | 7+8 | 2+12 | 8 |
| | 3 | 贼不偷 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 4 | 气死风 | Null | 7 | 2+12 | 4 |
| | 5 | 笨麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 6 | 红线麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 7 | 白芒糙 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 8 | 白山疙瘩 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 9 | 红叶蚰 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 10 | 竹杆青 | Null | 7+9 | 2+10 | — |
| | 11 | 无芒冬麦 | Null | 7+8 | 3+12 | 6 |
| | 12 | 牛指甲 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 13 | 白穗白芒 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 14 | 孝义麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 15 | 老白麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 16 | 三月黄 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 17 | 白壳白 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 18 | 三变化 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 19 | 小红麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 20 | 烧谷蛋 | Null | 6+8 | 2+12 | 4 |
| | 21 | 红茎麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 22 | 大白麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 23 | 白和尚头 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 24 | 白麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 25 | 灯笼红 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 26 | 白芒麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 27 | 古城营 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 28 | 白芒红 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 29 | 红皮冬麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 30 | 高阳白麦 | Null | 7 | 2+12 | 4 |
| | 31 | 黄和尚头 | Null | 7 | 3+12 | 4 |
| | 32 | 忻县冬麦 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 33 | 密穗早 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 34 | 矮白穗 | 1 | 6+8 | 4+12 | 5 |
| | 35 | 九三红 | 2* | 7 | 2+10 | — |

表2(续)

| 品种类型 Variety types | 编号 No. | 品种 Varieties | 亚基组合 Subunit composition | | | 品质得分 Quality scores |
|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------------|--------|--------|------------------------|
| | | | Glu-A1 | Glu-B1 | Glu-D1 | |
| 育成品种 Bred variety | 36 | 晋麦 73 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 37 | 太 5902 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 38 | 太谷 511 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 39 | 临汾 5064 | 1 | 7+8 | 2+12 | 8 |
| | 40 | 尧科 1 | Null | 6+8 | 5+12 | — |
| | 41 | 太 142 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 42 | 太 13606 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 43 | 长麦 6686 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 44 | 太原 49 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 45 | 工农 19 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 46 | 临汾 10 号 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 47 | 太原 89-2 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 48 | 晋农 27 | 2* | 7+8 | 3+12 | 8 |
| | 49 | 长治 605 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 50 | 太辐 3 号 | Null | 7+8 | 5+12 | — |
| | 51 | 晋农 128 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 52 | 长治 1050 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 53 | 晋农 3 号 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 54 | 张庄 4 号 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 55 | 忻大穗 466 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 56 | 晋农 18 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 57 | 晋中 38 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 58 | 太辐 26 | Null | 7+8 | 3+12 | 6 |
| | 59 | 太原 570 | 1 | 7+8 | 4+12 | 7 |
| | 60 | 早选 2 号 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 61 | 晋农 52 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 62 | 太原 116 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 63 | 张庄 6 号 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 64 | 晋农 76 J | 2* | 7+8 | 2+12 | 8 |
| | 65 | 晋中 838 | Null | 17+18 | 2+12 | 6 |
| | 66 | 临汾 5144 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 67 | 汾紫 4507 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 68 | 汾乌 9928 | 1 | 7+9 | 5+10 | 9 |
| | 69 | 运 4002 | Null | 7+9 | 2+10 | — |
| | 70 | 河冬乌麦 | Null | 6+8 | 3+12 | 4 |
| | 71 | 汾黑 10 号 | Null | 7+8 | 3+12 | 6 |
| | 72 | 运丰优 1 号 | 1 | 17+18 | 4+12 | 7 |
| | 73 | 汾黑麦 831 | Null | 7+8 | 4+12 | 5 |
| | 74 | 东风 1 号 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 75 | 晋农 190 | 1 | 7+8 | 5+10 | 10 |
| | 76 | 晋农 211 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 77 | 临汾 8150 | 1 | 7+9 | 2+12 | 7 |
| | 78 | 晋太 69 | 1 | 7+8 | 5+10 | 10 |
| | 79 | 晋农 160 | 1 | 7+9 | 5+10 | 9 |
| | 80 | 太原 136 | 2* | 7+9 | 5+10 | 9 |
| | 81 | 忻 2060 | 2* | 7+9 | 5+10 | 9 |
| | 82 | 晋太 170 | Null | 7+9 | 5+10 | 7 |

表 2(续)

| 品种类型 Variety types | 编号 No. | 品种 Varieties | 亚基组合 Subunit composition | | | 品质得分 Quality scores |
|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------------|--------|--------|------------------------|
| | | | Glu-A1 | Glu-B1 | Glu-D1 | |
| 外引品种 | 83 | 周麦 18 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| Introduced variety | 84 | 漯麦 9424 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 85 | Mcguire | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 86 | 小偃 93166 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 87 | 冬丰 9817 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 |
| | 88 | 北农超优 66 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 89 | 早穗 17 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 90 | 蓝糯 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 91 | 农大 3608 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 |
| | 92 | Bacanorat88 | 1 | 7+9 | 5+10 | 9 |
| | 93 | 泰山 9818 | 1 | 7+9 | 5+10 | 9 |
| | 94 | FENICE-2 | 1 | 7+9 | 5+10 | 9 |
| | 95 | 法国 51 | Null | 7+9 | 2+10 | — |
| | 96 | BQ | Null | 6+8 | 3+12 | 4 |
| | 97 | 农大 135 | Null | 13+16 | 4+12 | 5 |
| | 98 | GA-Fleming | 2* | 13+19 | 3+12 | — |
| | 99 | 早 2 | 2* | 20 | 3+12 | 6 |
| | 100 | KI-11 | 1 | 7+8 | 5+10 | 10 |
| | 101 | 农大 3751 | Null | 7+8 | 2+10 | — |
| | 102 | 农大 3467 | Null | 6+8 | 2+12 | 4 |
| | 103 | A1711 | 1 | 7+8 | 4+12 | 7 |
| | 104 | 科农 927 | Null | 7 | 5+10 | 6 |
| | 105 | 金丰 113 | Null | 7+9 | 5+12 | — |
| | 106 | 太空麦 | 1 | 7+9 | 5+12 | — |
| 107 | 农大 3659 | Null | 6+8 | 5+12 | — | |
| 108 | CA8853 | Null | 7 | 5+12 | — | |
| 109 | CA8646 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 | |
| 110 | CA8981 | 2* | 7+8 | 4+12 | 7 | |
| 111 | CA8686 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 | |
| 112 | CA8391 | 1 | 7+8 | 4+12 | 7 | |
| 113 | CA8712 | 1 | 7+8 | 4+12 | 7 | |
| 114 | CA8848 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 | |
| 115 | CA8866 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 | |
| 116 | CA8617 | Null | 7 | 2+12 | 4 | |
| 117 | CA8927 | 1 | 14+15 | 4+12 | 7 | |
| 118 | CA8719 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 | |
| 119 | CA8445 | Null | 7+9 | 2+12 | 5 | |
| 120 | CA437 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 | |
| 121 | 高 791 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 | |
| 122 | MB521 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 | |
| 123 | Rirac66 | Null | 7+8 | 2+12 | 6 | |

注：—表示依据 Pany 评分标准无法进行打分。

Note:—indicates that scores can't be given in accordance with Pany standard of quality scores.

2.1.2 HMW-GS 等位变异及频率

123 份供试品种的 HMW-GS 组成以 Null、7+8 和 2+12 为主,分别占 78.05%、60.16%和 65.85%,其次是 1、7+9 和 5+10,分别占 14.63%、23.58%和

9.76%,其他类型较少。在公认的优质亚基中,Glu-B1 上的 7+8 最为丰富,其次是 Glu-A1 上的 1,而 Glu-D1 上的 5+10 则较为缺乏。其他优质亚基 2*、17+18、14+15 和 13+16 等出现的频率更低(表 3)。

表 3 山西省小麦品种资源 HMW-GS 等位变异和频率

Table 3 Allelic variation and frequency of HMW-GS in Shanxi wheat germplasm resources

| Glu-A1 | | | Glu-B1 | | | Glu-D1 | | |
|---------------|----------------------------|-------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------------|----------------------------|-------------------|
| 亚基 Subunit | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency | 亚基 Subunit | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency | 亚基 Subunit | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency |
| 1 | 18 | 14.63 | 7+8 | 74 | 60.16 | 2+12 | 81 | 65.85 |
| 2* | 9 | 7.32 | 7+9 | 29 | 23.58 | 5+10 | 12 | 9.76 |
| Null | 96 | 78.05 | 7 | 7 | 5.69 | 5+12 | 6 | 4.88 |
| | | | 6+8 | 7 | 5.69 | 2+10 | 5 | 4.07 |
| | | | 17+18 | 2 | 1.63 | 3+12 | 9 | 7.32 |
| | | | 14+15 | 1 | 0.81 | 4+12 | 10 | 8.13 |
| | | | 20 | 1 | 0.81 | | | |
| | | | 13+16 | 1 | 0.81 | | | |
| | | | 13+19 | 1 | 0.81 | | | |

2.1.3 HMW-GS 组成类型

共检测到 34 种 HWM-GS 组成类型,主要是

Null/7+8/2+12,占 45.53%;其次是 Null/7+9/2+12,占 12.20%;其他亚基的组合类型较少(表 4)。

表 4 HWM-GS 组成类型

Table 4 HMW-GS composition type

| HMW-GS 类型 HMW-GS types | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency | HMW-GS 类型 HMW-GS types | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency |
|---------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| Null/7+8/2+12 | 56 | 45.53 | 1/7+9/2+12 | 1 | 0.81 |
| Null/7+9/2+12 | 15 | 12.20 | 1/7+9/5+12 | 1 | 0.81 |
| 1/7+9/5+10 | 5 | 4.07 | 2* /7/2+10 | 1 | 0.81 |
| 1/7+8/4+12 | 4 | 3.25 | 2* /20/3+12 | 1 | 0.81 |
| 1/7+8/5+10 | 3 | 2.44 | 2* /13+19/3+12 | 1 | 0.81 |
| Null/7/2+12 | 3 | 2.44 | 2* /7+8/3+12 | 1 | 0.81 |
| Null/7+8/3+12 | 3 | 2.44 | 2* /7+8/4+12 | 1 | 0.81 |
| Null/7+9/2+10 | 3 | 2.44 | Null/7/3+12 | 1 | 0.81 |
| 2* /7+8/2+12 | 2 | 1.63 | Null/7/5+10 | 1 | 0.81 |
| Null/6+8/2+12 | 2 | 1.63 | Null/7/5+12 | 1 | 0.81 |
| Null/6+8/3+12 | 2 | 1.63 | Null/13+16/4+12 | 1 | 0.81 |
| Null/6+8/5+12 | 2 | 1.63 | Null/17+18/2+12 | 1 | 0.81 |
| 2* /7+9/5+10 | 2 | 1.63 | Null/7+9/5+10 | 1 | 0.81 |
| 1/14+15/4+12 | 1 | 0.81 | Null/7+8/2+10 | 1 | 0.81 |
| 1/17+18/4+12 | 1 | 0.81 | Null/7+8/4+12 | 1 | 0.81 |
| 1/6+8/4+12 | 1 | 0.81 | Null/7+8/5+12 | 1 | 0.81 |
| 1/7+8/2+12 | 1 | 0.81 | Null/7+9/5+12 | 1 | 0.81 |

2.2 山西省不同来源的小麦品种资源 HMW-GS 遗传变异比较

2.2.1 HMW-GS 等位变异比较

各个位点上等位基因出现的频率在不同的种质资源中存在明显差异(表 5)。在 Glu-A1 位点上,无论是地方品种、外引品种还是山西省育成品种均以 Null 为主,而优质亚基 1 与 2* 在地方品种中仅占 8.57%,育成品种则达 25.53%,外引品种为

29.27%;育成品种与地方品种相比,1 提高了 14.16%,2* 提高了 2.8%。在 Glu-B1 位点上,地方品种和山西省育成品种均以优质亚基 7+8 为主;育成品种与地方品种相比,7+8 下降 9.05%,7+9 上升 17.69%;外引品种中 7+8 亚基所占的比例略低于 7+9 亚基。在 Glu-D1 位点上,优良亚基 5+10 在地方品种中没有出现,但在育成品种和引进品种中分别占 14.89%和 12.20%。

表 5 不同种质资源的 HMW-GS 等位变异和频率

Table 5 Allelic variation and frequency of HMW-GS in different germplasm

| 位点 Locus | 类型 Type | 地方品种 Local variety | | 育成品种 Bred variety | | 外引品种 Introduced variety | |
|-------------|------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| | | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency |
| 1A | 1 | 1 | 2.86 | 8 | 17.02 | 9 | 21.95 |
| | 2* | 2 | 5.71 | 4 | 8.51 | 3 | 7.32 |
| | Null | 32 | 91.43 | 35 | 74.47 | 29 | 70.73 |
| 1B | 7 | 4 | 11.43 | | | 3 | 7.32 |
| | 20 | | | | | 1 | 2.44 |
| | 6+8 | 2 | 5.71 | 2 | 4.26 | 3 | 7.32 |
| 1D | 7+8 | 27 | 77.14 | 32 | 68.09 | 15 | 36.59 |
| | 7+9 | 2 | 5.71 | 11 | 23.40 | 16 | 39.02 |
| | 13+16 | | | | | 1 | 2.44 |
| | 13+19 | | | | | 1 | 2.44 |
| | 14+15 | | | | | 1 | 2.44 |
| | 17+18 | | | 2 | 4.26 | | |
| | 2+10 | 2 | 5.71 | 1 | 2.13 | 2 | 4.88 |
| | 2+12 | 30 | 85.71 | 30 | 63.83 | 21 | 51.22 |
| | 3+12 | 2 | 5.71 | 4 | 8.51 | 3 | 7.32 |
| | 4+12 | 1 | 2.86 | 3 | 6.38 | 6 | 14.63 |
| 5+10 | | | 7 | 14.89 | 5 | 12.20 | |
| 5+12 | | | 2 | 4.26 | 4 | 9.76 | |

2.2.2 HMW-GS 组成比较

在 HMW-GS 组成类型上,外引品种最为丰富达 20 种,其次为育成品种 19 种,而地方品种仅有 10 种之多(表 6),可见在 HMW-GS 组成类型上,外引品种和育成品种比地方品种要丰富一些。由表 6 可见,地方品种与育成品种亚基组成均以 Null/7+

8/2+12 为主,其他组成类型则很少,但与地方品种相比,育成品种亚基组成类型明显要丰富很多,特别是 Null/7+9/2+12 组成类型明显增多;在 41 份外引品种中,尽管 Null/7+8/2+12 类型所占比例也很大,达到 21.95%,但略低于 Null/7+9/2+12 类型。

表6 不同种质资源 HMW-GS 的组成情况
Table 6 Composition of HMW-GS in different germplasms

| HMW-GS 类型 HMW-GS type | 地方品种 Local variety | | 育成品种 Bred variety | | 引进品种 Introduced variety | |
|--------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency | 品种数 Number of varieties | 频率/% Frequency |
| 1/14+15/4+12 | | | | | 1 | 2.44 |
| 1/17+18/4+12 | | | 1 | 2.13 | | |
| 1/6+8/4+12 | 1 | 2.86 | | | | |
| 1/7+8/2+12 | | | 1 | 2.13 | | |
| 1/7+8/4+12 | | | 1 | 2.13 | 3 | 7.32 |
| 1/7+8/5+10 | | | 2 | 4.26 | 1 | 2.44 |
| 1/7+9/2+12 | | | 1 | 2.13 | | |
| 1/7+9/5+12 | | | | | 1 | 2.44 |
| 1/7+9/5+10 | | | 2 | 4.26 | 3 | 7.32 |
| 2* /7/2+10 | 1 | 2.86 | | | | |
| 2* /20/3+12 | | | | | 1 | 2.44 |
| 2* /13+19/3+12 | | | | | 1 | 2.44 |
| 2* /7+8/2+12 | 1 | 2.86 | 1 | 2.13 | | |
| 2* /7+8/3+12 | | | 1 | 2.13 | | |
| 2* /7+8/4+12 | | | | | 1 | 2.44 |
| 2* /7+9/5+10 | | | 2 | 4.26 | | |
| Null/7/2+12 | 2 | 5.71 | | | 2 | 4.88 |
| Null/7/3+12 | 1 | 2.86 | | | | |
| Null/7/5+10 | | | | | 1 | 2.44 |
| Null/7/5+12 | | | | | 1 | 2.44 |
| Null/13+16/4+12 | | | | | 1 | 2.44 |
| Null/17+18/2+12 | | | 1 | 2.13 | | |
| Null/6+8/2+12 | 1 | 2.86 | | | 1 | 2.44 |
| Null/6+8/3+12 | | | 1 | 2.13 | 1 | 2.44 |
| Null/6+8/5+12 | | | 1 | 2.13 | 1 | 2.44 |
| Null/7+8/2+10 | | | | | 1 | 2.44 |
| Null/7+8/2+12 | 25 | 71.43 | 22 | 46.81 | 9 | 21.95 |
| Null/7+8/3+12 | 1 | 2.86 | 2 | 4.26 | | |
| Null/7+8/4+12 | | | 1 | 2.13 | | |
| Null/7+8/5+12 | | | 1 | 2.13 | | |
| Null/7+9/2+10 | 1 | 2.86 | 1 | 2.13 | 1 | 2.44 |
| Null/7+9/2+12 | 1 | 2.86 | 4 | 8.51 | 10 | 24.39 |
| Null/7+9/5+10 | | | 1 | 2.13 | | |
| Null/7+9/5+12 | | | | | 1 | 2.44 |

2.3 山西省优质小麦品种资源的筛选

按照 Payne 等^[4]的评分标准对不同来源的小麦品种资源进行品质评分,35 份地方品种中没有得 9 或 10 分的,大部分为 6 分,竹秆青与九三红由于具有 2+10 亚基而无法进行评分。育成品种中得 9 分的是汾乌 9928、晋农 160、太原 136 和忻 2060,得 10 分的是晋农 190 和晋太 69,在不能评分的 3 份品种资源中,尧科 1 与太辐 3 号具有稀有优质亚基 5+12 亚基,运 4002 具有 2+10 亚基。外引品种资源中得 9 或 10 分的品种有 Bacanorat88、泰山 9818、FENICE-2 和 KI-11。在不能评分的 7 份品种资源中,金丰 113、太空麦、农大 3659 和 CA8853 具有 5+12 亚基,法国 51 和农大 3751 具有 2+10 亚基,GA-Fleming 具有 13+19 亚基(表 2)。

3 讨论

山西地处黄河中游,地理上南北狭长,南部和中部为冬麦区,北部为春麦区,因此来源不同麦区的小麦地方品种资源丰富多样,带有大量有益基因,是现代小麦品种选育的丰富基因源。本研究发现山西小麦地方品种 HMW-GS 平均每个位点等位变异数为 3.67,低于全国平均水平(4.67)^[8],也低于日本(4.33)^[9]和西班牙(4.00)^[10],而且按照 Payne 等^[4]的评分标准,35 份地方品种中没有得 9 或 10 分的,暗示在杂交育种亲本选配时,如果利用地方品种作为亲本之一,另一亲本应该选用带有优质亚基且得分 9 或 10 分的栽培品种或外引品种,才有可能改善小麦品种品质。

与地方品种相比,山西小麦育成品种 Glu-A1 位点上优质亚基有所提高,但还是明显低于国内外其他地区育成品种^[11-14];Glu-B1 位点上,优质亚基 7+8 下降 9.05%,7+9 却上升 17.69%,这可能与山西省小麦育种广泛引用 CIMMYT 及北美材料有关^[11];Glu-D1 位点上,优质亚基 5+10 从无到有且达到 14.89%,有明显提高,而劣质亚基 2+12 大幅下降,这与张学勇等^[11]对全国小麦核心种质的研究结果表现出相同的变化趋势,也表明山西省在小麦品质育种中取得了一定的成绩。虽然如此,山西小麦的 HMW-GS 组成还需要进一步改良,在 Glu-A1 位点应继续导入 1 或 2* 优质亚基,特别要注意改变 2* 亚基频率不高的现状;在 Glu-B1 位点上要扭转优质亚基 7+8 的下降趋势,同时增加 17+18、13+16 和 14+15 等优质亚基出现的频率;在 Glu-D1 位

点则要继续保持 5+10 优质亚基大幅增加的趋势。

在 HMW-GS 组成类型上,山西小麦品种资源不论是地方品种还是育成品种均以 Null/7+8/2+12 为主,这与我国大部分省份和全国的研究结果一致^[11,15]。育成品种与地方品种相比较, HMW-GS 的组成类型有 2 个明显特点:1)育成品种中 Null/7+9/2+12 组成类型明显增多,这是由于 Glu-B1 位点 7+9 亚基频率上升导致的;2)育成品种亚基组成类型明显要丰富很多,达到 19 种,但其中人们公认的优良亚基组合类型 1(2*)/7+8/5+10 与 1(2*)/17+18/5+10 还相当缺乏,因此,在今后的小麦育种中还需要进一步加快品质育种的步伐。本研究筛选的得 9 和 10 分的优质品种资源以及含有稀有亚基的品种资源,可作为今后山西乃至全国小麦品质育种的亲本材料。

当然,小麦的品质不只与 HMW-GS 有关系,也与 LMW-GS 以及醇溶蛋白有很大的关系,因为后二者在小麦粉中含量更多,因此,得分高的小麦品种有时候品质表现反而不如得分低的。如,晋太 170 与太原 136 都是公认的山西省品质优良的品种,二者均含有优质亚基 5+10,但由于 Glu-A1 位点的亚基差异,太原 136 为 9 分,晋太 170 则为 7 分。但是根据农业部谷物品质检测中心测定结果,太原 136 的粗蛋白含量为 16.3%,小于晋太 170 的 16.49%;沉降值为 42.5 mL,更是小于晋太 170 的 60.6 mL;湿面筋含量为 39.1%,大于晋太 170 的 35.1%。根据 Payne 评分标准太 5902 与晋太 170 仅相差 1 分,但前者形成时间和稳定时间分别为 2.8 与 1.5 min,后者则为 9.8 与 21.2 min,相差极为悬殊。这些很可能与醇溶蛋白或 LMW-GS 有关,因而今后在 HMW-GS 的研究基础上,还应注意研究三者之间的相互关系。

参 考 文 献

- [1] Payne P I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1987, 38(2): 141-153
- [2] Thompson R D, Bartels D, Harberd N P, et al. Characterization of the multigene family coding for HMW glutenin subunits in wheat using cDNA clones[J]. Theor Appl Genet, 1983, 67(1): 87-96
- [3] Harberd N P, Bartels D, Thompson R D. DNA restriction-fragment variation in the gene family encoding high molecular

- weight (HMW) glutenin subunits of wheat[J]. *Biochemical Genetics*, 1986, 24(7/8): 579-596
- [4] Payne P I, Lawrence G J. Catalogue of alleles of 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
- [5] 张延滨, 孙连发, 辛文利, 等. 主栽小麦品种中5+10亚基对品质改良的影响[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(3): 242-247
- [6] Lukow O M, Payne P I, Tkachuk R. The HMW glutenin subunit composition of Canadian wheat cultivars and their association with bread-making quality [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1989, 46(4): 451-460
- [7] 张立生, 温辉芹, 程天灵, 等. 山西省优质小麦生产现状与展望[J]. *山西农业科学*, 2004, 32(3): 8-12
- [8] 徐鑫, 李小军, 张玲丽, 等. 小麦地方品种高分子量谷蛋白亚基多样性分析[J]. *作物学报*, 2012, 38(7): 1205-1211
- [9] Nakamura H. Genetic diversity of high-molecular-weight glutenin subunit compositions in landraces of hexaploid wheat from Japan[J]. *Euphytica*, 2001, 120(2): 227-234
- [10] Ruiz M, Metakovsky E V, Rodriguez-Quijano M, et al. Assessment of storage protein variation in relation to some morphological characters in a sample of Spanish landraces of common wheat (*Triticum aestivum* L ssp *aestivum*) [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2002, 49(4): 373-384
- [11] 张学勇, 庞斌双, 游光霞, 等. 中国小麦品种资源 Glu-1 位点组成概况及遗传多样性分析[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(11): 1302-1310
- [12] Tohver M. High molecular weight (HMW) glutenin subunit composition of some nordic and middle European wheats[J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2007, 54(1): 67-81
- [13] Sultana T, Ghafoor A, Ashraf M. Genetic variability in bread wheat (*Triticum aestivum* L) of Pakistan based on polymorphism for high molecular weight glutenin subunits[J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2007, 54(6): 1159-1165
- [14] Terasawa Y, Takata K, Hirano H, et al. Genetic variation of high-molecular-weight glutenin subunit composition in Asian wheat[J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2011, 58(2): 283-289
- [15] 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谷蛋白亚基组成分析[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(4): 355-362

责任编辑: 袁文业