

# 黄淮麦区南片小麦 Glu-3 位点等位变异分析

陈蕴文,张莉莉,余欣欣,马守才,郑锦娟,薛小雁,郑雅潞,牛娜,王军卫,张改生

(西北农林科技大学,国家杨凌农业生物技术育种中心,国家小麦改良中心杨凌分中心,  
小麦育种教育部工程研究中心,陕西省作物杂种优势研究与利用重点实验室,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**小麦的加工品质与低分子量谷蛋白亚基(LMW-GS)组成息息相关。为了尽快改良黄淮麦区小麦加工品质,应用STS分子标记与SDS-PAGE相结合的方法对小麦低分子量谷蛋白亚基Glu-A3、Glu-B3与Glu-D3位点的等位基因变异类型进行检测。结果表明:黄淮麦区南片356份小麦品种(系)中共检测到15种Glu-3位点等位变异,Glu-A3位点含Glu-A3a、Glu-A3b、Glu-A3c和Glu-A3d共4种等位变异,其分布频率分别为12.1%、13.5%、41.0%、33.4%;Glu-B3位点含Glu-B3a、Glu-B3b、Glu-B3d、Glu-B3f、Glu-B3g、Glu-B3h、Glu-B3i和Glu-B3j共8种等位变异,其分布频率分别为8.71%、8.99%、23.0%、5.90%、7.30%、3.65%、0.28%、42.1%;Glu-D3位点含Glu-D3a、Glu-D3b和Glu-D3c共3种等位变异,其分布频率分别为40.2%、29.8%、30.0%。等位变异组合Glu-A3c/Glu-B3j/Glu-D3a分布频率最高(10.7%)。通过优质亚基的转育,多个优质亚基的聚合,将有助于改良我国小麦的品质。

**关键词:**小麦;STS分子标记;Glu-A3;Glu-B3;Glu-D3

**中图分类号:**S512.03 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)04-0025-06

**doi:**10.7668/hbxb.2015.04.005

## Allelic Variation of Glu-3 in Wheat from South Yellow and Huai Valley Facultative Wheat Region in China

CHEN Yun-wen,ZHANG Li-li,YU Xin-xin,MA Shou-cai,ZHENG Jin-juan,XUE Xiao-yan,  
ZHENG Ya-lu,NIU Na,WANG Jun-wei,ZHANG Gai-sheng

(Northwest A&F University,National Yangling Agricultural Biotechnology & Breeding Center,Yangling Branch  
of State Wheat Improvement Center,Wheat Breeding Engineering Research Center,Ministry of Education,  
Key Laboratory of Crop Heterosis of Shaanxi Province,Yangling 712100,China)

**Abstract:** Low-molecular-weight glutenin subunits (LMW-GS) are closely related to processing quality of wheat. The alleles on Glu-A3, Glu-B3 and Glu-D3 loci of low-molecular-weight glutenin subunit in 356 wheat varieties (lines) from South Yellow and Huai Valley Facultative Wheat region in China were detected by STS molecular markers and SDS-PAGE to improve wheat quality. It turned out that: There were 15 kinds of allelic variations in 356 detected varieties. The frequencies of the allelic variations of Glu-A3a, Glu-A3b, Glu-A3c and Glu-A3d at Glu-A3 locus were 12.1%, 13.5%, 41.0%, 33.4%, respectively; the alleles of Glu-B3a, Glu-B3b, Glu-B3d, Glu-B3f, Glu-B3g, Glu-B3h, Glu-B3i and Glu-B3j at Glu-B3 locus were 8.71%, 8.99%, 23.0%, 5.90%, 7.30%, 3.65%, 0.28%, 42.1%, respectively; and the alleles of Glu-D3a, Glu-D3b and Glu-D3c at Glu-D3 locus were 40.2%, 29.8%, 30.0%, respectively. The highest frequency of the subunit combination at Glu-3 was Glu-A3c/Glu-B3j/Glu-D3a (10.7%). Transforming and pyramiding superior subunits can be helpful in Chinese wheat quality improvement.

**Key words:** *Triticum aestivum* L.; STS molecular markers; Glu-A3; Glu-B3; Glu-D3

小麦(*Triticum aestivum* L.)面筋蛋白主要由麦谷蛋白和醇溶蛋白构成,它们是决定面团黏弹性的

收稿日期:2015-04-07

基金项目:国家“863”计划项目(2011AA10106);陕西省自然科学基金项目(2012JM3003);公益性行业(农业)科研专项(201303002);西北农林科技大学唐仲英基金项目(A212021204)

作者简介:陈蕴文(1990-),女,河北秦皇岛人,硕士,主要从事小麦杂种优势利用研究。

通讯作者:马守才(1968-),男,陕西大荔人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事小麦杂种优势利用与种子工程研究。

主要因素。面筋蛋白的 35%~45% 是麦谷蛋白,麦谷蛋白分为高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)和低分子量麦谷蛋白亚基(LMW-GS),其中 LMW-GS 分别由位于第一同源群染色体短臂的 Glu-A3、Glu-B3 和 Glu-D3 位点(统称 Glu-3)的基因编码,占麦谷蛋白含量的 60%<sup>[1]</sup>,对小麦品质性状有着重要作用。Glu-3 位点等位变异对面粉的品质影响不同<sup>[2]</sup>,对面筋强度的影响程度为 Glu-B3 > Glu-A3 > Glu-D3<sup>[3]</sup>,对最大抗延阻力的影响为 Glu-B3 > Glu-A3 > Glu-D3<sup>[4]</sup>,Glu-3 位点能解释面筋强度和黏弹性变异的 20%<sup>[5]</sup>。同一位点 LMW-GS 等位变异的不同对小麦品质的贡献程度也不同。

SDS-PAGE 方法是研究 Glu-3 位点等位变异的经典方法,通常一次电泳可检测出所有位点的等位变异;但存在结果读取困难、鉴定滞后等缺陷。随着 LMW-GS 基因序列研究的不断深入,Glu-3 位点特异性引物得到开发。2004 年,Zhang 等<sup>[6]</sup>发展了一套区分 Glu-A3 位点变异的分子标记,但实际应用中,因 PCR 反应需要昂贵的 Hotstar 聚合酶而限制了其应用。Wang 等<sup>[7-8]</sup>开发出使用低成本的 DNA Taq 酶的特异性 STS 标记,这些标记可检测小麦 Glu-A3 和 Glu-B3 位点的所有等位变异。

黄淮麦区南片是我国最为重要的商品粮基地。该地区选育的小麦品种在我国小麦生产和育种中起到了重要作用。到目前为止,该地区的 Glu-3 位点等位变异还不清楚,影响了小麦品质改良育种进程。1B/1R 易位系在中国小麦育种中发挥了重要作用,然而,由于黑麦染色体片段引入普通小麦,在提高抗病性和丰产性的同时却引起小麦品质变劣<sup>[9]</sup>。国内有关 1B/1R 易位系在该地区的分布报道很少。针对上述问题,本研究应用 SDS-PAGE 方法,Glu-A3 和 Glu-B3 位点及 1B/1R 易位系的分子标记,检测近年选育的 356 份黄淮麦区南片小麦 Glu-3 位点等位变异和 1B/1R 易位系的分布,目的在于明确黄淮麦区小麦 Glu-A3、Glu-B3 和 Glu-D3 的等位变异组成和分布情况,为加快黄淮麦区小麦品质改良提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

黄淮麦区南片小麦品种(系)共 356 份,其中河南 192 份,陕西 95 份,安徽 31 份,江苏 17 份,山东 12 份,河北 7 份,山西、四川各 1 份。于 2013 年 10 月至 2014 年 5 月种植于西北农林科技大学试验田中。用 SDS-PAGE 方法检测 Glu-D3 位点亚基组成

时中国春(CS)作对照品种。

### 1.2 试验方法

1.2.1 Glu-A3 与 Glu-B3 位点亚基组成与 1B/1R 易位系的检测 CTAB 法提取基因组 DNA,每个品种提取 2 份,若 2 份的检测结果不同,再提取第 3 份材料,直至能确定正确的等位变异类型。采用 Wang 等<sup>[7-8]</sup>开发的 17 个 STS 分子标记来检测 Glu-A3、Glu-B3 位点的亚基组成。采用 Froidmont<sup>[10]</sup>和 Chai 等<sup>[11]</sup>开发的特异性分子标记检测是否为 1B/1R 易位系,对非 1B/1R 易位系再进行 Glu-B3 位点等位变异检测。引物由上海生物工程技术服务有限公司合成。

PCR 总反应体系为 20  $\mu$ L,包括 10  $\mu$ L 2  $\times$  Taq Master Mix,2 条引物各 10 pmol,DNA 模板 50 ng。Glu-A3 与 Glu-B3 位点的 PCR 反应条件为 94  $^{\circ}$ C 预变性 5 min;94  $^{\circ}$ C 变性 35 s,56~63  $^{\circ}$ C 退火 35 s (Glu-A3a、Glu-B3e 标记的退火时间分别为 30,50 s),72  $^{\circ}$ C 延伸 90 s,共 30 个循环;最后 72  $^{\circ}$ C 延伸 10 min。检测 1B/1R 易位系的 PCR 反应条件为 94  $^{\circ}$ C 预变性 5 min;94  $^{\circ}$ C 变性 35 s,然后 63  $^{\circ}$ C 退火 35 s,72  $^{\circ}$ C 延伸 70 s,共 30 个循环;最后 72  $^{\circ}$ C 延伸 10 min。扩增出的产物用 1.2% 的琼脂糖凝胶进行电泳,1  $\times$  TAE 缓冲液,150 V 电泳 30 min;电泳结束后在 0.5  $\mu$ g/mL 的溴化乙锭溶液中染色 20 min、ddH<sub>2</sub>O 清洗 10 min,凝胶成像系统观察并照相保存,进行数据分析。

1.2.2 Glu-D3 位点亚基组成的检测 采用麦谷蛋白 SDS-PAGE 分离方法<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 Glu-A3 位点等位变异的 STS 分子标记检测

356 份品种(系) Glu-A3 位点等位变异的分布见表 1。新麦 25 等 43 份品种(系)扩增出 529,573 bp 2 条带(图 1-A、C),说明这些品种(系)含 Glu-A3a 等位变异,分布频率为 12.1%;中原 6 号等 146 份品种(系)仅扩增出 573 bp 条带(图 1-C),说明这些品种(系)含 Glu-A3c 等位变异,分布频率最高为 41.0%;西农 556 等 48 份材料扩增出 894 bp 条带(图 1-B),说明这些品种(系)含 Glu-A3b 等位变异,分布频率为 13.5%;周麦 23 等 119 份品种(系)扩增出 967 bp 条带(图 1-D),说明这些品种(系)含 Glu-A3d 等位变异,分布频率达 33.4%。

### 2.2 Glu-B3 位点等位变异和 1B/1R 易位系的 STS 分子标记检测

供试材料中存麦 7 号等 150 份品种(系)能扩增出 1 076 bp 条带,但不能扩增出 636 bp 条带,属

于 1B/1R 易位系 (Glu-B3j) (图 2), 其分布频率最高 (42.1%); 周麦 23 等剩余 206 份品种 (系) 可扩增出 636 bp 条带, 但未扩增出 1 076 bp 条带, 属于非 1B/1R 易位系, 含 Glu-B3 位点。

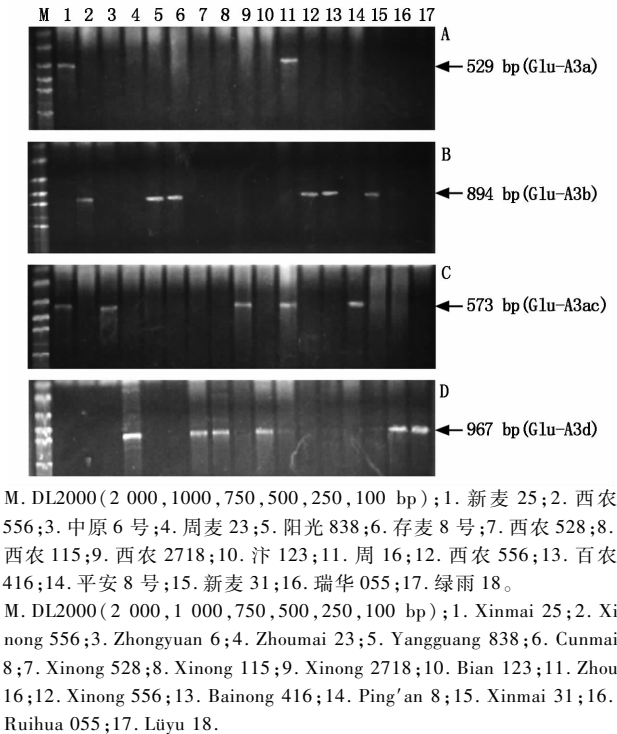


图 1 供试品种 Glu-A3 位点的等位变异

Fig.1 Allelic variations of the tested wheat at Glu-A3 loci

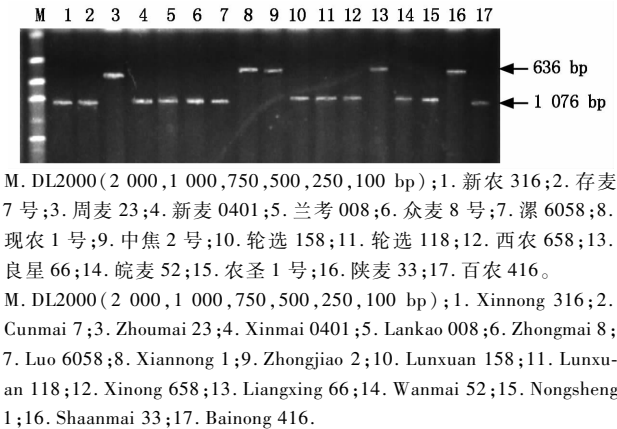


图 2 供试品种 1B/1R 易位系的检测

Fig.2 The tested wheat varieties for 1B/1R translocation

206 份非 1B/1R 易位品种 (系) 中, 开麦 24 等 31 份品种 (系) 扩增出 1 095 bp 条带 (图 3-A), 为 Glu-B3a 等位变异, 分布频率为 8.71% (表 1); 国育 101 等 32 份材料扩增出 750, 1 570 bp 条带, 为 Glu-B3b 等位变异, 分布频率为 8.99% (图 3-B, H); 周麦 23 等 82 份材料扩增出 662 bp 条带 (图 3-C), 等位变异类型为 Glu-B3d, 分布频率为 23.0%; 中焦 2 号等 21 份材料扩增出 750, 812 bp 2 条带 (图 3-D、H), 而扩增不出 853 bp 条带, 等位变异类型为 Glu-

B3f, 分布频率为 5.90%; 良星 66 等 26 份材料扩增出 812, 853 bp 2 条带 (图 3-D、E), 变异类型为 Glu-B3g, 分布频率为 7.30%; 泰农 2987 等 13 份材料能扩增出 1 022 bp 条带 (图 3-F), 变异类型为 Glu-B3h, 分布频率为 3.65%; 仅来自安徽的阜 0561 一份材料扩增出 621 bp 条带 (图 3-G), 含等位变异 Glu-B3i, 分布频率为 0.28%。总之, 共有 8 种等位变异类型存在于 Glu-B3 位点。

表 1 黄淮麦区南片小麦品种 Glu-3 位点上的等位变异与频率

Tab.1 Frequencies of alleles at Glu-3 loci in wheat varieties from South Yellow and Huai Valley Facultative Wheat region

亚基类型 Types	品种数 Number of varieties	频率/% Frequency
Glu-A3a	43	12.10
Glu-A3b	48	13.50
Glu-A3c	146	41.00
Glu-A3d	119	33.40
Glu-B3a	31	8.71
Glu-B3b	32	8.99
Glu-B3d	82	23.00
Glu-B3f	21	5.90
Glu-B3g	26	7.30
Glu-B3h	13	3.65
Glu-B3i	1	0.28
Glu-B3j	150	42.10
Glu-D3a	141	40.20
Glu-D3b	106	29.80
Glu-D3c	109	30.00

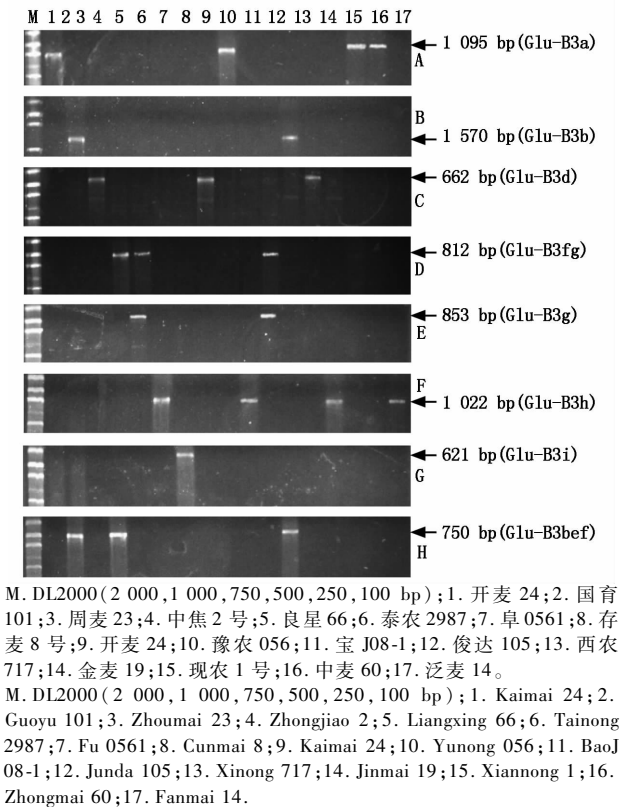


图 3 供试品种 Glu-B3 位点的等位变异

Fig.3 Allelic variations of the tested wheat at Glu-B3 loci

### 2.3 Glu-D3 位点等位变异的 SDS-PAGE 检测

以中国春为对照材料,用 SDS-PAGE 在 356 份品种(系)中共检测出 Glu-D3a、Glu-D3b、Glu-D3c 这 3 种等位变异类型(图 4),其中含 Glu-D3a 变异类型的品种(系)最多共 141 份,分布频率达 40.2%;含等位变异 Glu-D3b 的品种(系)为 106 份,分布频率达 29.8%;含 Glu-D3c 的品种(系)为 109 份,分布频率为 30.0%。

### 2.4 Glu-3 位点等位变异组合的分布

供试的 356 份小麦品种(系)中 Glu-A3、Glu-B3、Glu-D3 位点等位变异的组合类型为 66 种。等位变异组合 Glu-A3c/Glu-B3j/Glu-D3a 分布频率最高(10.7%),其次为 Glu-A3d/Glu-B3j/Glu-D3a

(5.06%),等位变异组合分布频率大于 1% 的达 30 个组合(表 2)。结果表明,黄淮麦区南片小麦品种(系)的 Glu-3 位点组合类型丰富,具有较高的多样性。

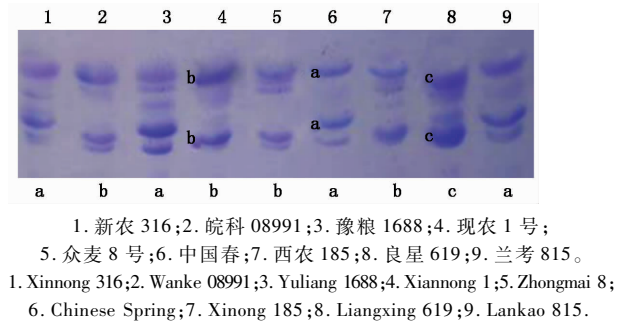


图 4 供试品种 Glu-D3 位点的 SDS-PAGE 检测

Fig.4 The tested wheat varieties for Glu-D3 by SDS-PAGE

表 2 黄淮麦区南片小麦 Glu-3 位点上的亚基组合与频率(>1%)

Tab.2 Frequencies of the subunit combination at Glu-3 loci in wheat from South Yellow and Huai Valley Facultative Wheat region (>1%)

Glu-3 位点亚基组合 Subunit combination at Glu-3 loci	品种数 Number of varieties	频率/% Frequency	Glu-3 位点组合 Subunit combination at Glu-3 loci	品种数 Number of varieties	频率/% Frequency
Glu-A3c/Glu-B3j/Glu-D3a	38	10.70	Glu-A3d/Glu-B3j/Glu-D3a	18	5.06
Glu-A3d/Glu-B3j/Glu-D3b	16	4.49	Glu-A3c/Glu-B3j/Glu-D3c	15	4.21
Glu-A3c/Glu-B3d/Glu-D3a	14	3.93	Glu-A3c/Glu-B3j/Glu-D3b	13	3.65
Glu-A3a/Glu-B3j/Glu-D3b	12	3.37	Glu-A3c/Glu-B3d/Glu-D3c	11	3.09
Glu-A3d/Glu-B3d/Glu-D3c	11	3.09	Glu-A3d/Glu-B3j/Glu-D3c	10	2.81
Glu-A3d/Glu-B3d/Glu-D3a	9	2.53	Glu-A3c/Glu-B3d/Glu-D3b	8	2.25
Glu-A3c/Glu-B3a/Glu-D3b	7	1.97	Glu-A3c/Glu-B3b/Glu-D3a	7	1.97
Glu-A3c/Glu-B3b/Glu-D3c	7	1.97	Glu-A3b/Glu-B3d/Glu-D3a	7	1.97
Glu-A3d/Glu-B3d/Glu-D3b	7	1.97	Glu-A3b/Glu-B3j/Glu-D3a	7	1.97
Glu-A3b/Glu-B3j/Glu-D3b	7	1.97	Glu-A3d/Glu-B3a/Glu-D3b	6	1.69
Glu-A3b/Glu-B3d/Glu-D3c	6	1.69	Glu-A3a/Glu-B3j/Glu-D3c	6	1.69
Glu-A3c/Glu-B3a/Glu-D3c	5	1.40	Glu-A3a/Glu-B3b/Glu-D3a	5	1.40
Glu-A3d/Glu-B3b/Glu-D3c	5	1.40	Glu-A3c/Glu-B3g/Glu-D3b	5	1.40
Glu-A3d/Glu-B3g/Glu-D3a	5	1.40	Glu-A3d/Glu-B3g/Glu-D3b	5	1.40
Glu-A3b/Glu-B3j/Glu-D3c	5	1.40	Glu-A3d/Glu-B3h/Glu-D3c	4	1.12

## 3 讨论

LMW-GS 含量较高,约占整个种子贮藏蛋白的 1/3,占麦谷蛋白的 60%<sup>[1]</sup>。Gupta 和 Shepherd<sup>[13]</sup>采用改良的二步一向 SDS-PAGE 方法,分析了 32 个国家 222 个普通小麦品种,根据亚基出现的互斥性规律,将发现的 40 个亚基分成 3 组 20 种不同的电泳图谱组合;Branlard 等<sup>[14]</sup>利用 SDS-PAGE 方法鉴定 Glu-3 的组成更为简化、实用,并提高了结果的可靠性。但目前对 Glu-3 位点等位变异的组成与小麦品质的关系依然尚无一致的、标准的、综合的结论<sup>[15]</sup>,这显然与根据电泳图谱和互斥规律鉴定 Glu-3 位点等位变异的难度有关。随着 LMW-GS 序列数

目的增加,针对 Glu-3 位点等位变异的特异性引物相继开发<sup>[16-20]</sup>。本研究应用 Glu-A3 和 Glu-B3 位点的特异性引物<sup>[7-8]</sup>,并结合检测 1B/1R 易位系的特异性引物<sup>[10-11]</sup>,可以准确、快速地鉴定 Glu-A3 和 Glu-B3 位点的等位变异。但由于尚无 Glu-D3 位点的特异性分子标记,且 Glu-D3 位点具有的变异类型较少,在 SDS-PAGE 图谱上的条带较清晰易于读取,因此,采用 STS 分子标记与 SDS-PAGE 相结合的方法准确地鉴定了 Glu-A3、Glu-B3 和 Glu-D3 位点等位变异。

本研究所用 356 份材料来自河南、陕西等黄淮麦区南片,来源广泛且数量多,但并没有检测出 3 个位点上的所有变异类型。Glu-A3 位点以 Glu-A3c

(41.0%) 和 Glu-A3d (33.4%) 为主; Glu-B3 位点以 Glu-B3j (42.1%)、Glu-B3d (23.0%) 为主; Glu-D3 位点变异 Glu-D3a (40.2%) 略高于其他位点。孙学永等<sup>[21]</sup>、吴芳等<sup>[22]</sup>、梁强等<sup>[23]</sup>、聂迎彬等<sup>[24]</sup> 分别对我国 200 份微核心种质、235 份推广品种、陕西 175 份、新疆 185 份小麦品种所做的分析结果也表明,在 Glu-A3 位点上均以 Glu-A3c 亚基类型为主,与本研究结果基本一致。而刘丽等<sup>[25]</sup> 对冬播麦区 251 份主栽品种和高代品系的分析结果表明,在 Glu-A3 位点上,均以 Glu-A3a 亚基类型为主,分布频率为 37.1%,这与本研究结果不一致。主要原因是所选材料的差异较大。在 Glu-B3 位点上,本研究中冬小麦品种以 Glu-B3j 为主的结果与前人研究结果一致<sup>[26-27]</sup>。综上可以说明黄淮麦区小麦亲本来源范围狭窄。

Glu-3 等位变异与小麦加工品质密切相关。到目前为止,对面筋强度、延伸性及面条品质贡献较大的优质亚基 Glu-A3d、Glu-B3d 的认识较为一致<sup>[25,27]</sup>。本研究中,Glu-A3 位点上的优质亚基 Glu-A3d 的频率(33.4%)接近我国北方冬麦区(33.3%) 和黄淮冬麦区(36.1%)<sup>[28]</sup> 的主栽品种和品系;Glu-B3 位点上的优质亚基 Glu-B3d 的频率(23.0%)接近于我国北方冬麦区(20.6%) 和黄淮冬麦区(24.1%)<sup>[28]</sup>。1B/1R 易位系在提高我国小麦抗病性和丰产性的育种和生产中发挥了重要作用,但导致面团黏性增大和面筋强度减弱,引起小麦品质变劣<sup>[9]</sup>。本研究中品质较差的亚基 Glu-A3c (41.0%) 和 Glu-B3j (1B/1R 易位系) (42.1%) 在黄淮麦区南片小麦品种中占较高的比例。不同 Glu-D3 位点亚基对品质的影响无明显差异。虽然含单个优质亚基 Glu-A3d、Glu-B3d 的品种(系)所占比例并不低,但是聚合 2 个优质亚基 Glu-A3d 和 Glu-B3d 的品种(系)仅有 27 份,频率为 7.58%。因此,在今后的小麦品质改良中应加强优质亚基的转育和利用,尤其是应结合分子标记辅助育种的方法聚合多个优质亚基,从而培育出具有良好品质特性及食品加工特性的品种。

参考文献：

[1] Bietz J A, Wall J S. Isolation and characterization of gliadin like subunits from glutenin[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1973, 50(5) : 537 - 547.

[2] 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.

[3] Vazquez J F, Ruiz M, Nizto-Taladriz, et al. Effects on gluten strength of low M(r) glutenin subunits coded by alleles at Glu-A3 and Glu-B3 loci in durum wheat[J]. Cereal Science, 1996, 24(2) : 125 - 130.

[4] Gupta R B, MacRitchie F. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, Glu-1, Glu-3 and Gli-1 of common wheats. II. biochemical basis of the allelic effects on dough properties[J]. Cereal Science, 1994, 19(1) : 19 - 29.

[5] Brandlard G, Felix I. Part of the HMW glutenin subunits and omega-gliadin allelic variants in the explanation of the quality parameters [M]//Proceeding International Meeting-Wheat Kernel Proteins: Molecular and Functional Aspects, S. Viterbo, Italy: Martinal al Cimino, 1994: 249 - 251.

[6] Zhang W, Gianibelli M C, Rampling L R, et al. Characterisation and marker development for low molecular weight glutenin genes from Glu-A3 alleles of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Theoretical and applied genetics, 2004, 108(7) : 1409 - 1419.

[7] Wang L H, Zhao X L, He Z H, et al. Characterization of low-molecular-weight glutenin subunit Glu-B3 genes and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 118(3) : 525 - 539.

[8] Wang L H, Li G Y, Pea R J, et al. Development of STS markers and establishment of multiplex PCR for Glu-A3 alleles in common wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Cereal Science, 2010, 51(3) : 305 - 312.

[9] 刘建军, 何中虎, Pena R J, 等. 1BL/1RS 易位对小麦加工品质的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(2) : 149 - 153.

[10] Froidmont D. A co-dominant marker for the 1BL/1RS wheat-rye translocation via Multiplex PCR [J]. Cereal Science, 1998, 27(3) : 229 - 232.

[11] Chai J F, Zhou R H, Jia J Z, et al. Development and application of a new codominant PCR marker for detecting 1BL center dot 1RS wheat-rye chromosome translocations [J]. Plant Breeding, 2006, 125(3) : 302 - 304.

[12] 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.

[13] Gupta R B, Shepherd K W. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutelin: 1. Variation and genetic control of the subunits in hexaploid wheats[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1990, 80(1) : 65 - 74.

[14] Branlard G, Dardevet M, Amieur N, et al. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2003, 50

- (7):669-679.
- [15] 刘 丽,于亚雄,杨金华,等. 小麦 Glu-3 位点编码亚基的研究进展[J]. 云南农业大学学报,2004,19(2):138-143.
- [16] D'ovidio R, Simeone M, Masci S, *et al.* Molecular characterization of a LMW-GS gene located on chromosome 1B and the development of primers specific for the Glu-B3 complex locus in durum wheat[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1997, 95(7):1119-1126.
- [17] 赵惠贤,郭嵩光,胡胜武,等. 小麦 Glu-D3 和 Glu-B3 位点 LMW-GS 基因特异引物设计与 PCR 扩增[J]. 作物学报,2004,30(2):126-130.
- [18] Zhang W, Gianibelli M C, Rampling L, *et al.* Characterisation and marker development for low molecular weight glutenin genes from Glu-A3 alleles of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 108(7):1409-1419.
- [19] Wang L H, Zhao X L, He Z H, *et al.* Characterization of low-molecular-weight glutenin subunit Glu-B3 genes and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 118(3):525-539.
- [20] Wang L H, Li G Y, Peña R J, *et al.* Development of STS markers and establishment of multiplex PCR for Glu-A3 alleles in common wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Cereal Science, 2010, 51(3):305-312.
- [21] 孙学永,马传喜,司红起,等. 中国小麦微核心种质低分子量麦谷蛋白 Glu-A3 位点等位基因的 PCR 检测[J]. 分子植物育种,2006,4(4):477-482.
- [22] 吴 芳,董 惠,韩兆雪,等. 中国小麦品种高分子量谷蛋白亚基和低分子量谷蛋白亚基组成分析[J]. 麦类作物学报,2006,26(3):82-86.
- [23] 梁 强,王晓龙,张晓科,等. 陕西小麦 Glu-A3 和 Glu-B3 位点等位变异的检测和分析[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(5):859-864.
- [24] 聂迎彬,穆培源,桑 伟,等. 新疆小麦品种 Glu-A3 和 Glu-B3 位点等位变异的分布[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(5):853-858.
- [25] 刘 丽,阎 俊,张 艳,等. 冬播麦区 Glu-1 和 Glu-3 位点变异及 1B/1R 易位与小麦加工品质性状的关系[J]. 中国农业科学,2005,38(10):1944-1950.
- [26] 王晓军,冯国华,刘东涛,等. 黄淮麦区部分小麦品种(系)1BL/1RS 易位的分子检测[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3):381-386.
- [27] 陈东升,刘 丽,董建力,等. HMW-GS 和 LMW-GS 组成及 1BL/1RS 易位对春小麦品质性状的影响[J]. 作物学报,2005,31(4):414-419.
- [28] 刘 丽,于亚雄,胡银星,等. 我国秋播麦区小麦 Glu-1 和 Glu-3 位点等位变异分析[J]. 西南农业学报, 2004, 17(z1):30-34.