

研究报告

A Letter

小麦微核心种质 Glu-B3 位点低分子量麦谷蛋白亚基等位基因的 PCR 检测

高雅[✉], 司红起[✉], 牛存秀[✉], 刘方方[✉], 马传喜[✉]

安徽农业大学农学院, 合肥, 230036

✉ 通讯作者: sihq2002@163.com; ✉ 作者

分子植物育种, 2011 年, 第 9 卷, 第 84 篇 doi: 10.5376/mpb.cn.2011.09.0084

收稿日期: 2011 年 05 月 13 日

接受日期: 2011 年 06 月 20 日

发表日期: 2011 年 06 月 27 日

这是一篇采用 Creative Commons Attribution License 进行授权的开放取阅论文。只要对本原作有恰当的引用, 版权所有人允许并同意第三方无条件的使用与传播。

引用格式:

高雅等, 2011, 小麦微核心种质 Glu-B3 位点低分子量麦谷蛋白亚基等位基因的 PCR 检测, 分子植物育种 Vol.9 No.84 (doi: 10.5376/mpb.cn.2011.09.0084)

摘要 低分子量麦谷蛋白亚基(LMW-GS)对普通小麦的加工品质有重要影响。本试验对中国小麦微核心种质中 285 份小麦品种采用 10 对 Glu-B3 位点特异性引物进行了 Glu-B3 位点的 9 个低分子量麦谷蛋白亚基等位基因类型的 PCR 检测, 结果确定了 284 份品种各自的 Glu-B3 位点等位基因类型, 另外 1 份品种为新的未知等位基因类型。其中 c 等位基因的品种数目最多, 占总品种数高达 56.49%, 其次是 e 和 i 等位基因占 32.28%, 等位基因 a、b、d、f、g 分别为 18.60%、27.37%、28.77%、12.98%、15.79%, 等位基因 h 分布最少为 3.55%, 未知类型只占 0.36%, 9 个等位基因按检出率大小排列顺序为 c>i=e>d>b>a>g>f>h。对面筋强度作用最小的 c 亚基检出率是对面筋强度作用较大的 b 亚基的 2 倍以上。带有 b 亚基的品种可作为优质新品种培育的候选亲本。

关键词 小麦; 低分子量麦谷蛋白亚基; Glu-B3; PCR; 微核心种质

Screening of LMW-GS Alleles Locating at Glu-B3 Locus in Common Wheat Micro Core Collectio

Gao Ya[✉], Si Hongqi[✉], Niu Cunxiu[✉], Liu Fangfang[✉], Ma Chuanxi[✉]

Anhui Agricultural University, Hefei, 230036, P.R. China

✉ Corresponding author, sihq2002@163.com; ✉ Authors

Abstract Low-molecular-weight glutenin subunit (LMW-GS) Glu-B3 has a significant influence on the processing quality of common wheat. The 285 common wheat micro core collection was tested by 10 Glu-B3 site specificity maekers for the 9 alleles types on the low molecular weight glutenin Glu-B3 site. Glu-B3 allele types of 284 varieties had been identified, and 1 variety has an unknown allele. Of these, the number of c allele is the most, and reaches up to 56.49%, e and i alleles are the second which contain 32.28%. The a, b, d, f, g, allees take up 18.60%, 27.37%, 28.77%, 12.98%, 15.79%, respectively. However, the h allele is the least of 3.55%, and the unknow allele is only 0.36%. According to the detection rate the order of nine alleles is c>i=e>d>b>a>g>f>h The c allele is more than twice of b allele which has larger effect in the gluten strength and the c allele is the smallest effect in the gluten strength. With b allele varieties can be used as quality breeding new candidate parents.

Keywords Wheat (*Triticum aestivum* L.); Low-molecular-weight glutenin subunit; Glu-B3; PCR; micro core collection

研究背景

小麦的储藏蛋白主要由聚合的麦谷蛋白和单节显性的醇溶蛋白组成(An et al., 2006), 他们都对食品加工品质有重要影响(Shewry和Halford 2002)。麦谷蛋白又被分为低分子量麦谷蛋白亚基(LMW-GS)和高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)(Bietz et al., 1975)。这些蛋白通过二硫键连接在一起形成麦谷蛋白大聚体(Gras et al., 2001)来影响面

团的品质如粘弹性和延展性, 而良好的弹性和延展性是制作优质面包的基础(Payne, 1987; Luo et al. 2001)。HMW-GS基因的等位变异及其与加工品质的关系已经得到广泛的研究, 且依据聚合酶链式反应开发的DNA标记也已用于区分重要的Glu-1的等位基因Ax2*、Bx7、Bx7*、Bx17、By8、By9和Dx5(Kasarda et al., 1988; Ma et al., 2003; Gale, 2005; Butow et al., 2004; Lei et al., 2006)。近十几年来对

LMW-GS的研究也越来越多, 编码LMW-GS的基因也通过对普通小麦品种间染色体代换系和中国春缺体-四体、端体进行单向电泳和双向电泳分析得到定位, 其在1A、1B和1D染色体上都有且大多数位于染色体短臂末端, 距离着丝点42 cm~46 cm的Glu-A3、B3和D3位点, (Gupta和Shepherd, 1990; Jackson et al., 1983), 分别与Gli-A1(1.3cm)、Gli-B1(2cm)和Gli-D1紧密连锁。Ikeda等从几个小麦品种中克隆并测序出包括超过100个序列标签的基因, 假基因和部分基因的LMW-GS家族(Pitts et al., 1988; Cloutier et al., 2001; Ikeda et al., 2002; Zhang et al., 2004; Zhao et al., 2006; Zhao et al., 2007)。随后LMW-GS等位基因变异渐已明确, 普通小麦在Glu-A3位点有6个, a、b、c、d、e和f, Glu-B3位点有9个, a、b、c、d、e、f、g、h和i, Glu-D3位点有5个, a、b、c、d和e。在蛋白质水平, Gupta和Shepherd(1990)对普通小麦品种的LMW-GS蛋白进行SDS-PAGE电泳发现了多达20种带型。

LMW-GS由于其数目较多、分子量小且与大量的醇溶蛋白在电泳图谱上相互重叠, 因此有关LMW-GS基因的等位变异及其与品质参数之间关系的研究报道相对较少(Kasarda, 1989)。开发特异功能标记追踪不同LMW-GS的基因, 能避开通过复杂的蛋白质电泳分析小麦品种低分子量麦谷蛋白亚基各等位基因的组成, 并为确定单个不同类型的LMW-GS对品质的影响并应用于育种提供了可能(Andersen和Lübberstedt, 2003)。随着对LMW-GS编码基因序列的深入研究, 已不断开发出针对LMW-GS位点的特异性引物(D'Ovidio et al., 1997; Campenhout et al., 1995; 赵惠贤等, 2004)。2004年, Zhang等开发了一套Glu-A3位点的等位基因PCR标记; 2009年, Wang等又开发出Glu-B3位点的一套等位基因特异性引物(Zhang, 2004; Wang, 2009)。本文试图采用Wang等开发的一套Glu-B3位点等位基因特异引物对我国小麦微核心种质进行鉴定, 以期了解我国小麦微核心种质Glu-B3位点低分子量麦谷蛋白亚基等位基因的分布状况, 为进一步的研究提供依据。

1 结果与分析

1.1 PCR 检测 Glu-B3 位点特异性强的引物

根据 L. H. Wang 提供的 10 对引物和相应 PCR

反应条件, 对整个微核心种质材料进行了检测。反应结果显示: Glu-B3 位点等位基因 a-d、fg、g-i 引物的特异性很强, 只扩增出唯一产物且与表 1 的分子量相当。

采用引物对 SB1F/SB1R 分别对 285 份微核心种质材料进行 Glu-B3a 基因克隆, 检测结果显示, 除了所有品种都能扩增出 700 bp 左右条带外, 只有 18.6%的品种能扩增出 1095 bp 的目的条带, 其他 81.4%的品种没有扩增出目的条带, 部分电泳结果如图 1 所示。

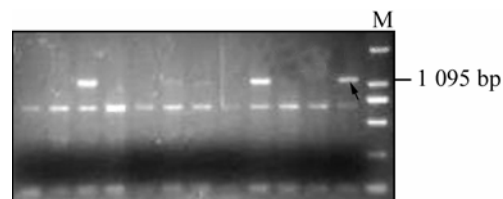


图 1 特异引物 SB1F/SB1R (Glu-B3a)的 PCR 扩增产物电泳检测图

Figure 1 PCR products of specific primer SB1F/SB1R (allele a) set on agarose gel electrophoresis

采用引物对 SB2F/SB2R, SB3F/SB3R, SB4F/SB4R, SB6F/SB6R, SB7F/SB7R, SB8F/SB8R, SB9F/SB9R 分别对 285 份微核心种质材料进行 Glu-B3b、c、d、fg、g、h、i 基因克隆, 检测结果显示, 这 7 对引物特异性都很好, 只能扩增出与之对应的目标产物, 部分电泳结果如图 2 所示。

1.2 PCR 检测 Glu-B3 位点特异性弱的引物

反应结果表明: 等位基因 e 和 bef 的引物 SB5F/SB5R 和 SB10F/SB10R 特异性不强, 有非特异的条带出现。但并不影响检测结果, 目的条带仍然很清晰(图 3)。

1.3 针对 Glu-B3 位点等位基因 f 的检测

在提供的 10 对引物里, 对于等位基因 f 没有特异的引物进行检测, 鉴于此, 等位基因 f 的鉴定要综合 b、e、fg、g 和 bef 的 PCR 结果才能得出, 只有当等位基因 b、e、g 都不存在而 fg 或 bef 存在时 Glu-B3 位点的等位基因鉴定为 f。若均无这 10 对特异引物 PCR 扩增产物时, 认为此品种的 Glu-B3 位点含未知类型等位基因, 有待进一步开发。

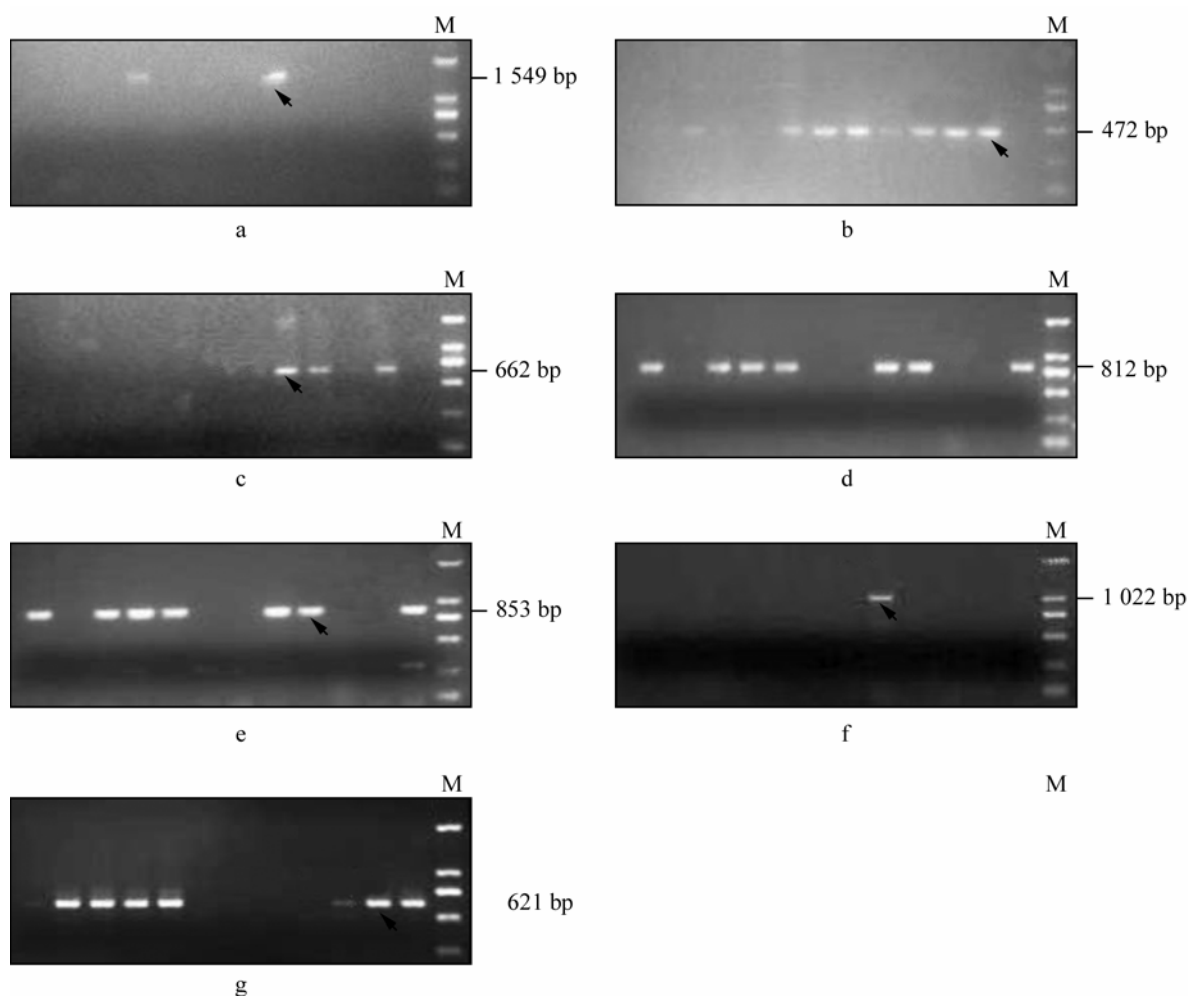


图 2 7 对等位基因特异引物的 PCR 扩增产物电泳检测图

注: a: gluB3b; b: gluB3c; c: gluB3d; d: gluB3fg; e: gluB3g; f: gluB3h; g: gluB3i

Figure 2 PCR products of seven gene-specific primer sets on agarose gel electrophoresis

Note: a: gluB3b; b: gluB3c; c: gluB3d; d: gluB3fg; e: gluB3g; f: gluB3h; g: gluB3i

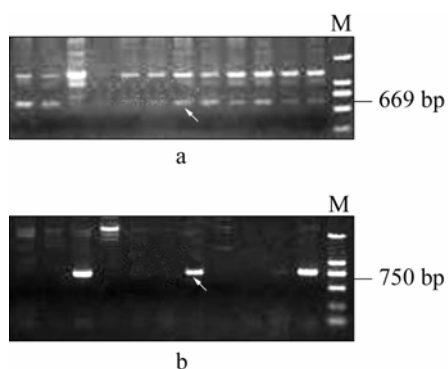


图 3 2 对等位基因特异引物的 PCR 扩增产物电泳检测图

注: a: gluB3e; b: gluB3bef

Figure 3 PCR products of two gene-specific primer sets on agarose gel electrophoresis

Note: a: gluB3e; b: gluB3bef

1.4 Glu-B3 位点各等位基因的分布

本研究获得了 285 份核心种质的 Glu-A3 位点各等位基因组成(表 1), 并有 1 份未知新的等位基因类型品种。由表 1 可知, 以 c 等位基因的品种数目最多, 占总品种数百分比高达 56.49%, 其次是 e 和 i 等位基因占 32.28%, 等位基因 a、b、d、f、g 分别为 18.60%、27.37%、28.77%、12.98%、15.79%, 等位基因 h 分布最少为 3.55%, 未知类型只占 0.36%。但并不是一个品种就只含有一个等位基因, 一般都有含有 2-3 个, 有的品种甚至含有 5 个等位基因。随着新的等位基因的发现, 品种的含量会更丰富。

表 1 微核心种质资源中 Glu-B3 各等位基因的分布

Table 1 Glu-B3 alleles distribution in Chinese bread wheat micro core collections

| Glu-B3 位点等位基因 Alleles of Glu-B3 site | 占总品种的百分率(%) Percent of A/C (%) | 品种数 Varieties Numbers |
|---|-----------------------------------|--------------------------|
| a | 18.60 | 53 |
| b | 27.37 | 78 |
| c | 56.49 | 161 |
| d | 28.77 | 82 |
| e | 32.28 | 92 |
| f | 12.98 | 37 |
| g | 15.79 | 45 |
| h | 3.55 | 10 |
| i | 32.28 | 92 |
| Unknown | 0.36 | 1 |

注: A: 等位基因品种数; C: 中国小麦微核心种质总数

Note: A: The number of alleles variety; C: The number of Chinese bread wheat micro core collections

2 讨论

2.1 关于 Glu-B3 位点在小麦微核心种质中的分布

培育优质小麦和提高小麦产量的基础是具有优质的种质资源, 而培育优质新品种就要透彻、全面地对整个种质资源进行研究, 挑选出最适合的育种亲本。微核心种质资源以最小资源数量代表了整个物种种质资源的遗传多样性, 研究微核心种质基因分布就可基本了解整个种质基因资源状况。本文通过对微核心种质进行检测结果表明: 在中国小麦微核心种质中 Glu-B3 位点的 9 个等位基因类型都存在, c 等位基因分布最广, h 等位基因分布最少, 各个等位基因类型以 c 等位基因的检出率最高, 按数目多少排列为 c>i>e>b=d>a>g>f>h。另外, 1 个品种已知的 9 个等位基因类型均不含有, 它是含有未知的一个类型还是多个类型, 有待进一步考证。

在低分子量麦谷蛋白亚基 Glu-B3 位点等位基因对品质效应的研究中, Glu-B3 位点编码的谷蛋白对品质贡献大小发现, 由 Glu-B3c 和 Glu-B3j 编码的低分子量谷蛋白对品质贡献较大, 其次为 Glu-B3a、Glu-B3k 和 Glu-B3b。对面筋强度的贡献而言: Glu-B3b>Glu-B3c, 就 Rmax 而言, Glu-B3 等位基因各亚基: i>b=a>e=f=g=h>c。Glu-B3 位点的 d 和 b 等位基因对面团延展性的作用大于其它等位基因。Zhao 等证实 Glu-B3 位点对和面时间的贡献为: Glu-B3b>Glu-B3c(Zhao et al., 1997)。在我国种质资

源中, 在面团延展性方面起很大作用的 d 和 b 等位基因所占的比例才为 27.37%: 对面筋强度作用较大和最小的亚基分别为 b 亚基和 c 亚基, b 亚基占 27.37%; 而 c 亚基却在种质中占 56.49%, 是 b 亚基的 2 倍多。对 Rmax 来说, 分布最广的 c 亚基却贡献最小。可见针对 LMW-GS 的亚基组成, 从国外引进优质品种和从不同品种寻找最优组合品种可能是我国小麦品质优化的两条重要的途径。

2.2 PCR 扩增鉴定小麦低分子量麦谷蛋白亚基基因的实用性

LMW-GS 基因的编码区很完整不含内含子且长度在 1 000 bp 左右, 在核苷酸组成上 N-端和 C-端序列较为保守, 只有中间区域发生突变, 这些特征使得直接从基因组中分离并用 PCR 方法扩增出低分子量谷蛋白基因成为可能。随着研究的不断深入, 已经成功克隆了很多的不同染色体组上的 LMW-GS 基因。本文采用 Wang 开发出的 Glu-B3 位点 a、b、c、d、e、f、g、h、i 等位基因的 10 对特异引物对中国小麦微核心种质进行扩增, 其中 a-d、fg、g-i 亚基的引物特异性很强, e 和 bef 亚基的引物特异性不好。这些特异分子标记都能很好地检测绝大部分品种, 确定各亚基在微核心种质的分布情况。285 份材料中存在 1 份材料, 10 对引物的 PCR 扩增均无产物, 推测它可能含有 Glu-B3 位点

新的未知的等位基因, 可见 PCR 方法还可用于开发新的亚基类型。Glu-A3 位点各等位基因的特异性标记已经开发出来, 并得到了很好的运用。为了全面研究中国小麦的整个 LMW-GS 的分布, 为育种亲本选育提供依据, 开发 Glu-D3 位点的相应各等位基因的特异性标记迫在眉睫。

3 材料与方 法

3.1 实验材料

中国小麦微核心种质共 285 个品种, 由中国农科院作物所作物种质资源与生物技术重点实验室提供。

3.2 实验方法

3.2.1 基因组 DNA 的提取

选取 1-2 粒(籽粒小的取 2 粒)种子, 用单粒磨粉机磨碎后放入 2.0 mL 离心管中, 采用 SDS-Tris 饱和酚法提取小麦基因组总 DNA, 用紫外分光光度

计检测 DNA 浓度, 1.5% 琼脂糖电泳检测 DNA 质量, -20℃ 下保存备用。

3.2.2 PCR 检测

PCR 反应体系总体积为 10μL, 其中含 1×PCR Buffer, 2.5 mmol/L MgCl₂, 0.1 mmol/L dNTP, 上下游引物各 20 μmol/L, 0.1 U 的 *Taq* 聚合酶和 20 ng DNA 模板。反应体系配好后, 覆盖一层石蜡油防止挥发, 在 Bio-Rad My Cyclor 1.0 PCR 仪上进行扩增。Glu-B3 位点各等位基因的特异引物序列及目标片段长度详见表 2。

PCR 反应程序为: 94℃ 预变性 5 min; 94℃ 35 s, 55-62℃ 35 s, 72℃ 1 min 30 s, 共 35 个循环; 72℃ 延伸 8 min; 4℃ 保存。PCR 扩增产物用 1.2% 琼脂糖凝胶, 经 120 V 电压电泳 0.5 h 分离, EB 染色, Bio-Rad 凝胶成像系统成像保存。

表2 小麦低分子量麦谷蛋白亚基Glu-B3位点各等位基因的特异引物(Wang, 2009)

Table 2 Specific PCR markers for LMW-GS Glu-B3 alleles defined by protein mobility (Wang, 2009)

| 引物名称 Marker name | 引物(5'-3') Primer set Sequence (5'-3') | 等位亚基 Allele | 片段长度 Fragment size |
|---------------------|---|----------------|-----------------------|
| gluB3a | SB1F CACAAGCATCAAAACCAAGA SB1R TGGCACACTAGTGGTGGTC | a | 1,095 |
| gluB3b | SB2F ATCAGGTGTA AAAAGTGATAG SB2R TGCTACATCGACATATCCA | b | 1,570 |
| gluB3c | SB3F CAAATGTTGCAGCAGAGA SB3R CATATCCATCGACTAAACAAA | c | 472 |
| gluB3d | SB4F CACCATGAAGACCTTCCTCA SB4R GTTGTTGCAGTAGAACTGGA | d | 662 |
| gluB3e | SB5F GACCTTCCTCATCTTCGCA SB5R GCAAGACTTTGTGGCATT | e | 669 |
| gluB3fg | SB6F TATAGCTAGTGCAACCTACCAT SB6R CAACTACTCTGCCACAACG | fg | 812 |
| gluB3g | SB7F CCAAGAAATACTAGTTAACTAGTC SB7R GTTGGGGTTGGGAAACA | g | 853 |
| gluB3h | SB8F CCACCACAACAAACATTAA SB8R GTGGTGGTTCTATACAACGA | h | 1,022 |
| gluB3i | SB9F同SB6F SB9R TGGTTGTTGCGGTATAATTT | i | 621 |
| gluB3bef | SB10F GCATCAACAACAAATAGTACTAGAA SB10R GGCGGGTCACACATGACA | bef | 750 |

作者贡献

高雅、牛存秀、刘方方是本研究的实验设计和实验研究的执行人; 司红起、高雅完成数据分析, 论文初稿的写作; 牛存秀、刘方方参与实验设计, 试验结果分析; 马传喜、司红起是项目的构思者及负责人, 指导实验设计, 数据分析, 论文写作与修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

致谢

本研究由本研究由现代农业产业技术体系(nycytx-03)和国家科技支撑计划(2009BADA6B01)共同资助, 本文中提到了我们实验中涉及的有关试剂供应商和测序服务商, 这并非我们为这些试剂供应商和测序服务商的产品和服务提供推荐或背书。

参考文献

- An X., Zhang Q., Yan Y., Li Q., Zhang Y., Wang A., Pei Y., Tian J., Wang H., Hsam S.L., and Zeller F.J., 2006, Cloning and molecular characterization of three novel LMW-i glutenin subunit genes from cultivated einkorn (*Triticum monococcum* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 113(3): 385-395
- Andersen J.R., and Lübberstedt T., 2003, Functional markers in plants, *Trends Plant Sci.*, 8(11): 554-560
- Bietz J.A., Shepherd K.W., and Wall J.S., 1976, Single kernel analysis of glutenin: Use in wheat genetics and breeding, *Cereal Chem.*, 52(4): 513-532
- Butow B.J., Gale K.R., Ikea J., Juha'sz A., Bedo Z., Tama's L., and Gianibelli M.C., 2004, Dissemination of the highly expressed Bx7 glutenin subunit (Glu-B1a1 allele) in wheat as revealed by novel PCR markers and RP-HPLC, *Theor. Appl. Genet.*, 109(7): 1525-1535
- Campehouth S., Stappen J., Sagi L., and Volckaert G., 1995, Locus-specific primers for LMW glutenin genes on each of the group 1 chromosomes of hexaploid wheat, *Theor. Appl. Genet.*, 91(2): 313-319
- Cloutier S., Rampitsch C., Penner G.A., and Lukow O.M., 2001, Cloning and expression of a LMW-i glutenin gene, *J. Cereal Sci.*, 33(2): 143-154
- D'Ovidio R., Simeone M., Masci S., and Porceddu E., 1997, 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, *Theor. Appl. Genet.*, 95(7): 1119-1126
- Gale K.R., 2005, Diagnostic DNA markers for quality traits in wheat, *Cereal Sci.*, 41(2): 181-192
- Gras P.W., Anderssen R.S., Keentock M., Bekes F., and Appels R., 2001, Gluten protein functionality in wheat flour processing: A review, *Agric. Res.*, 52(12): 1311-1323
- Gupta R.B., and Shepherd K.W., 1990, Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutenin, *Theor. Appl. Genet.*, 80: 65-74
- Ikeda T.M., Nagamine T., Fukuoka H., and Yano H., 2002, Identification of new low-molecular-weight glutenin subunit genes in wheat, *Theor. Appl. Genet.*, 104(4): 680-687
- Jackson E.A., Holt L.M., and Payne P.I., 1983, Characterisation of high-molecular-weight gliadin and low-molecular-weight glutenin subunits of wheat endosperm by two-dimensional electrophoresis and chromosomal localisation of their controlling genes, *Theor. Appl. Genet.*, 66(1): 29-37
- Kasarda D.D., Tao H.P., Evans P.K., and Yuen S.W., 1988, Sequencing of protein from a single step of a 2-D gel pattern N-terminal sequence of a major wheat LMW-glutenin subunit, *J. Exp. Bot.*, 39: 899-906
- Kasarda D.D., 1989, Glutenin structure in relation to wheat quality, In: Pomeranz Y., *Wheat is Unique*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp.277-302
- Wang L.H., Zhao X.L., He Z.H., Ma W., Appels R., Pen'a R.J., and Xia X.C., 2009, Characterization of low-molecular-weight glutenin subunit Glu-B3 genes and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.), *Theor. Appl. Genet.*, 118(3): 525-539
- Lei Z.S., Gale K.R., He Z.H., Gianibelli C., Larroque O., Xia X.C., Butow B.J., and Ma W., 2006, Y-type gene specific markers for enhanced discrimination of high-molecular weight glutenin alleles at the Glu-B1 locus in hexaploid wheat, *Cereal Sci.*, 43(1): 94-101
- Luo C., Griffin W.B., Branlard G., McNeil D.L., 2001, Comparison of low- and high- molecular-weight wheat glutenin allele effects on flour quality. *Theor. Appl. Genet.*, 102: 1088-1098
- Ma W., Zhang W., and Gale K.R., 2003, Multiplex-PCR typing of high molecular weight glutenin alleles in wheat,

Euphytica, 134(1): 51-60

- Payne P.I., 1987, Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality, *Annu Rev Plant Physiol*, 38:141-153
- Pitts E.G., Rafalski J.A., and Hedgcoth C., 1988, Nucleotide sequence and encoded amino acid sequence of a genomic gene region for a low molecular weight glutenin, *Nucleic Acids Res.*, 16(23): 11376
- Shewry P.R., and Halford N.G., 2002, Cereal seed storage proteins: Structure, properties and role in grain utilization, *Expl Bot.*, 53(370): 947-958
- Zhang W., Gianibelli M.C., Rampling L.R., Gale K.R., 2004, Characterisation and marker development for low molecular weight glutenin genes from Glu-A3 alleles of bread wheat (*Triticum aestivum* L), *Theor. Appl. Genet.*, 108(7): 1409-1419
- Zhao H.X., Guo A.G., Hu S.W., Fan S.H., Zhang D.P., Ren S.L., and Wang R.J., 2004, Development of primers specific for LMW-GS Genes at Glu-D3 and Glu-B3 loci and PCR Amplification, *Zuo wu Xuebao (Acta Agronomica Sinic)*, 30(2): 126-130(赵惠贤, 郭蔼光, 胡胜武, 范三红, 张大鹏, 任思霖, 王瑞娟, 2004, 小麦 Glu-D3 和 Glu-B3 位点 LMW-GS 基因特异引物设计与 PCR 扩增, *作物学报*, 30(2): 126-130)
- Zhao H.X., Xue X.Z., Mares D, and Feng J.L., 1997, Effect of aelic variation of gIutenin subunit loci Glu-1 and Glu-3 on wheat quality, *Zuo wu Xuebao (ACTA Agronomica Sinica)*, 23(6): 646-654(赵惠贤, 薛秀庄, Mares D, 冯军礼, 1997, 麦谷蛋白亚基Glu-1和Glu-3位点基因等位变异对小麦品质特性的影响, *作物学报*, 23(6): 646-654)
- Zhao X.L., Xia X.C., He Z.H., Gale K.R., Lei Z.S., Appels R., and Ma W., 2006, Characterization of three low-molecular-weight Glu-D3 subunit genes in common wheat, *Theor. Appl. Genet.*, 113(7): 1247-1259
- Zhao X.L., Xia X.C., He Z.H., Lei Z.S., Appels R., Yang Y., Sun Q.X., and Ma W., 2007, Novel DNA variations to characterize low molecular weight glutenin Glu-D3 genes and develop STS markers in common wheat, *Theor. Appl. Genet.*, 114(3): 451-460



5thPublisher是一个致力于科学与文化传播的中文出版平台

在5thPublisher上发表论文, 任何人都可以免费在线取阅您的论文

- ※同行评审, 论文接受严格的高质量评审
- ※在线发表, 论文一经接受, 即刻在线发表
- ※开放取阅, 任何人都可免费取阅无限使用
- ※快捷搜索, 涵盖谷歌学术搜索与知名数据库
- ※论文版权, 作者拥有版权读者自动授权使用

在线投稿: <http://5th.sophiapublisher.com>