



# 低分子量麦谷蛋白亚基种类与强筋小麦品质关系

宋维富, 杨雪峰, 宋庆杰, 张春利, 辛文利, 肖志敏

(黑龙江省农业科学院 作物育种研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为明确小麦低分子量麦谷蛋白亚基在强筋小麦改良中的作用,对 *Glu-3* 各位点基因的分类、遗传学效应及在强筋小麦育种中的利用价值进行了综述,以期对强筋小麦育种提供理论依据。

**关键词:**小麦;品质改良;低分子量麦谷蛋白亚基

强筋小麦品种品质,特别是二次加工品质好坏与其籽粒蛋白质(面筋)质量关系非常密切。国内外大量研究结果证明,虽然各类高分子量麦谷蛋白亚基(High-molecular-weight glutenin subunits, HMW-GS)对面筋品质贡献较大,但一些低分子量麦谷蛋白亚基种类(Low-molecular-weight glutenin subunits, LMW-GS)同样可对强筋小麦品种二次加工品质表现产生较大影响。

## 1 主要 LMW-GS 遗传基础与分类

LMW-GS 是小麦胚乳中的一种聚合蛋白组分,约占小麦籽粒贮藏蛋白的 1/3 和麦谷蛋白的 60%<sup>[1]</sup>。在 LMW-GS 遗传基础研究方面,现已基本明确编码 LMW-GS 的基因,主要位于第一部分同源组群 1A、1B 和 1D 染色体短臂上,统称 *Glu-3* 位点,并分别与编码醇溶蛋白的 *Gli-A1*、*Gli-B1* 和 *Gli-D1* 位点基因紧密连锁<sup>[2]</sup>。

在 LMW-GS 分类与命名方面,主要基于 N-末端测序技术和电泳技术(Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis SDS-PAGE)两种技术手段<sup>[3]</sup>;根据 N-末端氨基酸序列的差异将其分为 LMW-s 型(SHIPGL)、LMW-m 型(METSH (R/C) I-)、LMW-I 型(ISQQQQ-、VRVPVP-、NMQVDP-)和  $\omega$ -型(KELQSP-和 ARQLNP-);按照各 LMW-GS 在 SDS-PAGE 图谱的迁移率将其分为 B 区(包括 LMW-s 型和 LMW-m 型)、C 区(包括  $\alpha$ -型和  $\gamma$ -型)和 D 区( $\omega$ -型)。

目前, Gupta 和 Shepherd 提出的 SDS-PAGE 图谱命名系统仍是小麦育种中研究各类 LMW-GS 与小麦加工品质关系的主要依据,在其命名系统中已确认 *Glu-3* 位点共存在 20 个等位变异<sup>[4]</sup>。随着研究的不断深入,一些新的 LMW-GS 正在陆续被发现和命名,但仍需进一步研究与证实<sup>[5]</sup>。

## 2 LMW-GS 与强筋小麦品质关系研究

HMW-GS 在改进强筋小麦面筋品质中的重要作用已得到普遍认可<sup>[6]</sup>。一些优质 HMW-GS,如 5+10 亚基,早已被广泛应用到强筋小麦育种之中<sup>[6]</sup>。其中,20 世纪 90 年代以来,龙麦号育种课题组就以改进蛋白质(面筋)质量为突破口,以 5+10 等优质 HMW-GS 定向集聚与跟踪为保证,同时结合品质分析及产量和多抗性鉴定等途径,相继育成了龙麦 26、龙麦 30、龙麦 33 和龙麦 35 等十几个“龙麦号”优质强筋小麦新品种。近些年来,随着对 LMW-GS 在强筋小麦育种中利用价值研究的不断深入,更多的学者把强筋小麦品质改善途径转移到 LMW-GS,其亚基的构成与面筋品质关系已成为小麦育种家和品质专家的重点研究领域<sup>[7-9]</sup>。

国内外大量研究结果表明,LMW-GS 的数量和组成既影响强筋小麦品种的籽粒蛋白质(面筋)质量,也影响其籽粒蛋白质(面筋)含量,但对前者影响相对较大,主要表现在面团强度和延伸性<sup>[3]</sup>。LMW-GS 等位变异对面筋品质指标影响达极显著水平,而对籽粒各种蛋白组分含量的影响达显著水平<sup>[10]</sup>。LMW-GS 彼此间或与 HMW-GS 间可形成分子内二硫键进而产生麦谷蛋白聚合物<sup>[3]</sup>。LMW-GS 即是麦谷蛋白的重要组成部分,也与强筋小麦二次加工品质表现密切相关。优异的 LMW-GS 组成可显著改善强筋小麦品种的面团弹性和延展性,对面包品质的贡献率甚至大于

收稿日期:2017-12-02

**基金项目:**国家现代农业产业技术体系建设专项资助项目(CARS-3-1-7);黑龙江省博士后基金资助项目(LBH-Z14185);科技部国家重点研发计划资助项目(2017YFD0101000);国家科技部资助项目(2016YFD0100102)。

**第一作者简介:**宋维富(1982-),男,黑龙江省甘南县人,博士,助理研究员,从事小麦品质遗传育种研究。E-mail:songweifu1121@126.com。

一些优异 HMW-GS<sup>[10]</sup>。

国内外一些研究利用常规品种或品系的结果表明,*Glu-3* 各位点的 LMW-GS 对面团黏弹特性和加工品质的贡献程度有所不同,具体表现为 *Glu-B3* > *Glu-A3* > *Glu-D3*, 并存在各位点内不同亚基间的效应差异<sup>[11]</sup>(表 1)。Zhang<sup>[7]</sup>等利用小麦品种 Aroona 的 LMW-GS 近等基因系研究结果表明,*Glu-3* 各位点亚基对面团强度贡献大小排序为,*Glu-A3* 位点, d > f > c > b > e; *Glu-B3* 位点, g > b > f > i > d > a > h > c; *Glu-D3* 位点, d > f > c > a > b。对面团延伸性的贡献大小排序为, *Glu-A3* 位点, c > d > f > b > e; *Glu-B3* 位点, i > b > a > f > g > h > c > d; *Glu-D3* 位点, c > a > b > d > f。同时研究发现,*Glu-D3* 位点各亚基间对各种品质性状的影响差异较小,并把 *Glu-A3d*, *Glu-B3b*, *Glu-B3g* 和 *Glu-B3i* 确定为优质 LMW-GS, 建议应加强这些亚基在强筋小麦育种中的应用。

表 1 LMW-GS 单个亚基与面团强度和延展特性的关系

Table 1 The relationship between dough strength and ductility of LMW-GS subunits		
位点 Site	面筋强度贡献大小 Strength contribution of gluten	延展性贡献大小 Ductile contribution size
<i>Glu-A3</i>	c > e	b > c > e
	b > c > e	d > b > c
	i > b = a = c = f = g > d	b > d > e > c
	a > e	d > c
	a = d = f ≥ e	o, n > m, b / f
	b > d > e > c	d = a = f ≥ e
	b > d	
<i>Glu-B3</i>	b > c	i > b = a > e = f = g = h > c
	i ≥ b ≥ c = c' = g > b = f = d > j	k > b
	e > b > a > c > d	b ≥ d = c = c' = b = g > i > f ≥ j
	b > c	
<i>Glu-D3</i>	null > b	m = p
	m = p	e > b > a > c > d
	e > c = b = a > d	b > null
	a ≥ b = d = c	

3 LMW-GS 在强筋小麦育种中研究进展

目前,LMW-GS 在强筋小麦育种中利用价值的研究已经取得较大进展。一些研究结果认为, HMW-GS 仅能解释面筋强度和粘弹特性变异的

18% ~ 55%, 而 LMW-GS 能解释其变异的 20%<sup>[12]</sup>。刘丽等<sup>[13]</sup>分析中国秋播麦区小麦品种 LMW-GS 构成发现, 优质亚基 *Glu-B3d* 分布情况为 20.3%, 而劣质亚基 *Glu-A3a* 与 *Glu-B3j* 的分布情况分别为 37.1% 和 44.6%; 我国小麦面筋品质较差的重要原因在于优质 HMW-GS 与 LMW-GS 所占比例较低。虽然关于各个位点高、低分子量麦谷蛋白亚基对最大抗延阻力, 以及揉混仪和面时间的贡献大小研究较为明确<sup>[8]</sup>。但世界各地强筋小麦育种相关研究结果表明, 在研究麦谷蛋白与小麦品质关系时, 确定 HMW-GS + LMW-GS 适宜组合非常重要。如 Cornish 等<sup>[14]</sup>发现 HMW-GS 为 2 \*、7 + 8、2 + 12, 而 LMW-GS 为 *Glu-A3b*、*Glu-B3b* 和 *Glu-D3b* 时品种延展性最好。Ito 等<sup>[15]</sup>研究表明, 当 HMW-GS 的优异亚基存在时, 显著影响各 LMW-GS 对面团强度和面包体积等加工品质的贡献程度。Liu 等<sup>[16]</sup>表明, *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点间互作显著影响小麦二次加工品质。

此外, 亦不能忽视 LMW-GS 在 *Glu-3* 位点内等位变异及位点间互作对其二次加工品质的影响。He 等<sup>[17]</sup>通过面包和面条制品确定 *Glu-B3d*、*Glu-B3b*、*Glu-A3d* 和 *Glu-B3d* 为优质 LMW-GS 基因。因此, 在强筋小麦育种过程中, 进行 *Glu-B3* 和 *Glu-A3* 位点优异亚基的同步选择非常重要。

近些年来, 虽然一些优异 LMW-GS 在强筋小麦育种中利用价值已逐步得到认可, 但是由于每个 LMW-GS 基因不易分辨, 在一定程度上也限制各优质亚基在强筋小麦育种中的应用<sup>[18-19]</sup>。随着双向电泳 (Two-dimensional gel electrophoresis, 2-DE) 和 LMW-GS 的分子标记辅助选择体系等鉴定技术的发展, 一些优质 LMW-GS 在强筋小麦育种中的利用价值将会越来越大。近期, 龙麦号育种课题组在强筋小麦育种工作中, 为实现 *Glu-1* 位点 HMW-GS 和 *Glu-3* 位点 LMW-GS 的同步优化, 在自主创造克丰 3 号和克丰 6 号等多个品种 HMW-GS 近等基因系遗传背景基础上, 又加强了一些优质 LMW-GS 的集聚与选择, 现已取得较大研究进展。

4 结论

综上所述, LMW-GS 的数量和组成与强筋小麦品种二次加工品质关系非常密切。其中, *Glu-A3d* 和 *Glu-B3b* 等作为优质 LMW-GS, 在强筋小

麦育种中利用价值较大。在优质 LMW-GS 开发利用过程中,根据各高、低分子量优质麦谷蛋白亚基对小麦品质作用特点和彼此间存在互作等效应,确立 HMW-GS+LMW-GS 适宜组合尤为重要。遵循以 HMW-GS 利用为主,以 LMW-GS 利用为补充的原则,重点进行 *Glu-1* 位点上的优质 HMW-GS 与 *Glu-A3* 和 *Glu-B3* 位点上的优质 LMW-GS 定向集聚与跟踪,可显著推进强筋小麦品质的遗传改良进程。

### 参考文献:

- [1] Bietz J A, Wall J S. Isolation and characterization of gliadin-like subunits from glutenin [J]. *Cereal Chemistry*, 1973, 50(5):537-547.
- [2] 赵献林,夏先春,刘丽,等. 小麦低分子量麦谷蛋白亚基及其编码基因研究进展[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(3): 440-446.
- [3] D'Ovidio R, Masci S. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten [J]. *Journal of Cereal Science*, 2004, 39(3): 321-339.
- [4] 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(2):183-187.
- [5] McIntosh R A, Yamazaki Y, Dubcovsiky J, et al. Catalogue of gene symbols for wheat[C]. Brisbane Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium, 2008.
- [6] Song W F, Ren Z Y, Zhang Y B, et al. Effects of allelic variation in glutenin subunits and gliadins on baking quality in NILs of common wheat *cv.* Longmai19 [J]. *Cereal Research Communications*, 2015, 43(2): 284-294.
- [7] Zhang X, Hui J, Yan Z, et al. Composition and functional analysis of low-molecular-weight glutenin alleles with Aroona near-isogenic lines of bread wheat[J]. *BMC Plant Biology*, 2012, 12(1):243.
- [8] 金慧,何中虎,李根英,等. 利用 Aroona 近等基因系研究高分子量麦谷蛋白亚基对面包加工品质的影响 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46(6): 1095-1103.
- [9] 雷振生,刘丽,王美芳,等. HMW-GS 和 LMW-GS 组成对小

麦加工品质的影响 [J]. *作物学报*, 2009, 35(2): 203-210.

- [10] Veraverbeke W S, Delcour J A. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality[J]. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 2002, 42(3):179-208.
- [11] 王林海. 普通小麦及其近缘种低分子量麦谷蛋白基因克隆与 STS 标记开发 [D]. 北京:中国农业科学院, 2009.
- [12] Brandlard G, Felix I. Part of the HMW glutenin subunits and omega-gliadin allelic variants in the explanation of the quality parameters[C]. Viterbo: Proceeding International Meeting-Wheat Kernel Proteins: Molecular and Functional Aspects, S. Martinal al Cimino, 1994:249-251.
- [13] 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.
- [14] Cornish G B, Burridge P M, Palmer G A, et al. Mapping the origins of some HMW and LMW glutenin subunit alleles in Australian germplasm[C]. Sydney: Proceeding of 42nd Australia Cereal Chemistry Conference, 1993: 255-260.
- [15] Ito M, Fushie S, Wakako M F, et al. Effect of allelic variation in three glutenin loci on dough properties and bread making qualities of winter wheat[J]. *Breeding Science*, 2011, 61(3):281-287.
- [16] Liu L, He Z H, Ma W J, et al. Allelic variation at the *Glu-D3* locus in Chinese bread wheat and effects on dough properties, pan bread and noodle qualities[J]. *Cereal Research Communications*, 2009, 37(1): 57-64.
- [17] He Z H, Liu L, Xia X C, et al. Effect of allelic variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci and presence of 1BL/1RL translocation on pan bread and dry white Chinese noodle quality[J]. *Cereal Chemistry*, 2005, 82: 345-350.
- [18] 宋维富,赵海滨,张延滨,等. 龙麦 19*Gli-A1/GluA3* 位点近等基因系低分子麦谷蛋白亚基(LGW-GS)鉴定 [J]. *黑龙江农业科学*, 2012(2): 1-5.
- [19] Wang L, Li G, 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]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(3):305-312.

## Relationship Between the Low-Molecular-Weight Glutenin Subunits and Quality of Strong Gluten Wheat

SONG Wei-fu, YANG Xue-feng, SONG Qing-jie, ZHANG Chun-li, XIN Wen-li, XIAO Zhi-min  
(Crop Breeding Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** In order to clarify the effect of wheat glutenin subunits with low-molecular-weight on the improvement of strong gluten wheat, the classification, genetic effect of *Glu-3* gene and its utilization value in strong gluten wheat breeding were reviewed. It would provide a theoretical basis for the breeding of strong gluten wheat.

**Keywords:** wheat; quality improving; low-molecular-weight glutenin subunits