

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.02160

不同土壤条件下山农 12 小麦籽粒 HMW-GS 积累及 GMP 粒度分布特征

梁太波^{1,2} 尹燕枰¹ 蔡瑞国¹ 闫素辉¹ 李文阳¹ 耿庆辉¹ 王平¹
邬云海¹ 李勇¹ 王振林^{1,*}

(¹ 山东农业大学农学院 / 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; ² 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 河南郑州 450001)

摘要: 在沙壤、中壤和黏壤 3 种质地土壤条件下, 以优质强筋小麦品种山农 12 为材料研究了小麦强势与弱势籽粒高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS)积累特征及其与谷蛋白大聚合物(GMP)粒度分布的关系。结果表明, 3 种质地土壤上, 小麦强、弱势籽粒 HMW-GS 花后 14 d 均已形成, 强势粒 HMW-GS 含量明显高于弱势粒, 说明强势粒具有较强的 HMW-GS 积累能力。小麦籽粒 HMW-GS 含量和 GMP 含量均表现为黏壤土>中壤土>沙壤土, 说明黏壤土有利于 HMW-GS 的积累。小麦 GMP 粒径分布范围在 0.37~245 μm 之间; 数目分布呈单峰曲线, 体积和表面积分布呈双峰曲线。小麦强势粒 GMP>100 μm 颗粒数目百分比和体积百分比均显著高于弱势粒, 强势粒具有更多的大粒径 GMP 颗粒。小麦 HMW-GS 含量和 GMP 含量与<10 μm 和<100 μm GMP 颗粒体积百分比均呈显著或极显著负相关, 与>100 μm GMP 颗粒体积百分比呈显著或极显著正相关, 说明大粒径 GMP 颗粒具有较高的 HMW-GS 含量。

关键词: 小麦; 高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS); 谷蛋白大聚合物(GMP); 土壤质地; 强势粒; 弱势粒

HMW-GS Accumulation and GMP Size Distribution in Grains of Shannong 12 Grown in Different Soil Conditions

LIANG Tai-Bo^{1,2}, YIN Yan-Ping¹, CAI Rui-Guo¹, YAN Su-Hui¹, LI Wen-Yang¹, GENG Qing-Hui¹, WANG Ping¹, WU Yun-Hai¹, LI Yong¹, and WANG Zhen-Lin^{1,*}

(¹ Agronomy College, Shandong Agricultural University / National Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, Shandong; ² Zhengzhou Tobacco Research Institute of China National Tobacco Corporation, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: Glutenin macropolymer (GMP), the important component of wheat (*Triticum aestivum* L.) glutenin polymer, consists of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GS) and low molecular weight glutenin subunits (LMW-GS). Accumulations of HMW-GS and GMP play key roles in grain quality of wheat. According to recent studies, GMP is a particle network in endosperm of wheat. The content of GMP is affected by HMW-GS accumulation and environment factors. But to date, there are few reports about the relationship between HMW-GS accumulation and GMP particle distribution. To study the HMW-GS accumulation and its relation to GMP particle distribution, a pool experiment was carried out with wheat cultivar Shannong 12 grown under three soil textures. Forty spikes were sampled at 7, 14, 21, 28, and 35 d after anthesis, and partitioned into two groups, superior grain (the 2nd grain from the basal part of a spikelet) and inferior grain (the 4th grain from the basal part of a spikelet). HMW-GS was separated by sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE). The result showed that all HMW-GS already formed at 14 d after anthesis both in superior grain and inferior grain. Higher HMW-GS content showed that superior grain had strong HMW-GS accumulating ability than inferior grain. HMW-GS accumulation and GMP content of wheat grown in clay loam soil were higher than those in sandy and loam soil, which indicated that clay loam soil was suitable for accumulating of HMW-GS. The diameter of GMP particle was in 0.37–245 μm, it changed in the pattern of two-peak curve in volume and surface

基金项目: 国家自然科学基金项目(30571099); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20060434006); 山东省自然科学基金项目(Y2005D13)
作者简介: 梁太波(1981–), 男, 山东潍坊人, 博士, 从事作物高产优质生理生化与栽培学研究。E-mail: taibol@163.com

*通讯作者(Corresponding author): 王振林, Tel: 0538-8241359; E-mail: zlwang@sdau.edu.cn; zlwangsd@sina.com

Received(收稿日期): 2008-04-11; Accepted(接受日期): 2008-07-14.

area distribution, while single-peak curve in number distribution of GMP particle. The percentages of number and volume of >100 μm GMP particle were higher in superior grain than in inferior grain. The contents of HMW-GS and GMP were negatively correlated with GMP particle volume of <10 μm and <100 μm , but positively correlated with that of >100 μm . It is suggested that larger GMP particle has more HMW-GS content.

Keywords: Wheat (*Triticum aestivum* L.); High molecular weight glutenin subunits (HMW-GS); Glutenin macropolymer (GMP); Size distribution; Soil texture; Superior grain; Inferior grain

谷蛋白是小麦贮藏蛋白的主要成分, 决定着面团的弹性, 与面包烘焙品质有着密切的关系^[1-2]。谷蛋白聚合物(glutenin polymer)是由一系列分子量大小不同的聚合物(约 $10^5\sim 10^7$)组成的, 其中, 不溶于 SDS 的谷蛋白聚合物分子量较大, 称为谷蛋白大聚合物(glutenin macro-polymer, GMP, 又称为胶状蛋白)。研究表明, 谷蛋白大聚合体的数量和分子量分布对面团特性和烘焙品质有重要影响, 其作用远大于可溶性谷蛋白聚合物^[3]。赵惠贤等^[4]认为, 谷蛋白聚合物粒度大小相对分布(即不溶性谷蛋白聚合物占谷蛋白聚合物总含量的百分数, 用 UPP%表示)与面团形成时间呈极显著正相关。Don 等^[5-6]研究表明, 谷蛋白大聚合物在小麦胚乳中是以球形颗粒结构存在的, 其粒径分布受基因型和环境条件的影响。

谷蛋白根据分子量可分为高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS)和低分子量谷蛋白亚基(LMW-GS)。研究表明, GMP 含量受 HMW-GS 和 LMW-GS 的表达量、亚基组成以及环境条件的影响^[7-8]。Weegels 等^[9]认为, 当 HMW-GS 和 Y 型亚基相对含量增加时, 谷蛋白聚合体的分布向较大方向偏移, 不溶性谷蛋白(即 GMP)的含量提高, 从而使烘焙品质变优。Don 等^[5,10]研究表明, HMW-GS 组成在 GMP 颗粒形成中起重要作用, 含 5+10 亚基小麦 GMP 颗粒具有较大的体积。小麦胚乳中谷蛋白亚基组成和数目受遗传控制, 但其表达量则受环境条件的影响^[11-12]。

土壤条件是影响小麦生长发育、产量与品质形

成的重要因素, 但不同土壤条件对小麦籽粒 HMW-GS 表达量, 以及对籽粒 GMP 含量和粒度分布的影响, 迄今研究尚少。小麦强、弱势籽粒在内源激素含量、同化物分配及蛋白质合成等方面存在显著差异^[13-14], 然而, 小麦强、弱势籽粒在 HMW-GS 表达量、GMP 含量及粒度分布等方面是否存在差异, 目前认识尚少。本试验在不同质地土壤条件下以优质强筋小麦品种山农 12 为材料, 研究了小麦强、弱势籽粒 HMW-GS 积累动态和 GMP 粒度分布特征及 HMW-GS 表达量与 GMP 粒度分布的关系, 以期为在不同土壤条件下调控和改善小麦蛋白质品质提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验设计

试验于 2005—2007 年在山东农业大学泰安试验农场栽培试验池内进行。供试土壤为沙壤、中壤和黏壤 3 种质地, 2005 年播种前测定其物理性状和养分含量(表 1)。播种前按每平方米基施有机肥 7.5 kg、纯 N 11.25 g、 P_2O_5 12.60 g、 K_2O 11.25 g, 于拔节期每平方米追施纯 N 11.25 g。山农 12 基本苗 150 株 m^{-2} , 小区面积为 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m} = 6.25\text{ m}^2$, 随机区组排列, 3 次重复。开花期选择同日开花、生长一致的穗挂牌标记, 每 7 d 取样一次, 每次取 40 穗。取样时将籽粒按强势粒和弱势粒分开(中部小穗一般结实 4 粒, 成熟期各粒位平均粒重分别为 44.27、

表 1 3 种质地土壤 0-20 cm 土层物理性状和养分含量

Table 1 Physical properties and nutrients content in 0-20 cm soil layer of three soil textures

土壤质地 Soil texture	土壤颗粒组成 Composition of soil particles (%)			容重 Bulk density (g cm^{-3})	总空隙度 Total porosity (%)	有机质 Organic matter (g kg^{-1})	全氮 Total N (g kg^{-1})	速效氮 Available N (mg kg^{-1})	速效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})
	沙粒 Sand (>0.02 mm)	粉粒 Silt (0.002-0.02 mm)	黏粒 Clay (<0.002 mm)							
	沙壤 Sandy	61.00	28.70							
中壤 Loam	51.20	34.60	14.20	1.34	49.43	10.54	0.66	52.55	18.63	69.90
黏壤 Clay	42.40	38.90	18.70	1.43	52.43	13.10	0.95	58.32	19.93	82.03

45.40、39.63 和 33.93 mg, 将第 2 粒定为强势粒, 第 4 粒定为弱势粒), 分别为沙壤土强势粒、沙壤土弱势粒、中壤土强势粒、中壤土弱势粒、黏壤土强势粒和黏壤土弱势粒, 于 70℃ 烘箱烘至恒重, 用于室内分析。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 GMP 含量测定 参照 Weegels 等^[9]和孙辉等^[3]的方法, 稍作改进。0.05 g 全麦粉加 1 mL 1.5% 的 SDS 提取液, 常温下 15 500×g 离心 15 min, 弃上清液, 用双缩脲法测定残余物中氮含量作为 GMP 的近似值。

1.2.2 HMW-GS 的定量 参照梁荣奇等^[15]的方法提取 HMW-GS。沉淀(GMP)中加入 200 μL 样品缓冲液(内含 62.5 mmol L⁻¹ Tris-HCl, pH 6.8; 20%丙三醇; 5% SDS; 1%DTT), 60℃水浴振荡 1 h, 10 000×g 离心 10 min, 上清液用于 SDS-PAGE 电泳。

SDS-PAGE 电泳采用北京六一仪器厂生产的 DYY-22A 型电泳装置。分离胶浓度 10%, 浓缩胶浓度 4%, 胶厚 1 mm, 20 个上样孔, 每个样品点样 15 μL, 每板电流 15 mA。电泳完毕后, 用 0.05%考马斯亮蓝 R₂₅₀ 染色 24 h, 然后用蒸馏水脱色 2 d。采用切胶比色的方法对 HMW-GS 进行定量。

在预备试验中, 先以中国春(null, 7+8, 2+12)、Marquis(1, 7+9, 5+10)和小偃 6 号(1, 14+15, 2+12)为对照, 确定山农 12 HMW-GS 类型(null, 14+15, 5+10)。

1.2.3 GMP 提取及粒度测定 参照 Don 等^[16]的方法提取 GMP 凝胶。称取 1.4 g 样品, 放入 50 mL 离心管, 加 1.5% SDS 溶液 28 mL, 混匀, 80 000×g 离心 30 min。取上层蛋白质凝胶 1 g 放入 10 mL 离心管, 加 1.5% SDS 溶液 5 mL, 混匀。用 LS 13320 激光衍射粒度分析仪(美国 Beckman Coulter 公司)分析。

1.3 统计分析

2 年试验结果趋势一致, HMW-GS 含量和 GMP 含量采用 2006—2007 年试验数据, GMP 粒度分布为 2005—2007 两年试验数据均值。采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS (Data Processing System) 统计分析系统进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 HMW-GS 的形成

HMW-GS 在花后 14 d 已经出现, 花后 7 d 未检

测到亚基的形成(图 1)。从谱带颜色深浅可以看出, 花后 14 d 所形成的 HMW-GS 颜色较浅, 随着籽粒的发育, 谱带颜色加深, 表明积累量随籽粒发育而增加。与弱势粒相比, 同一时期强势粒 HMW-GS 颜色较深, 表明强势粒积累量高于弱势粒。

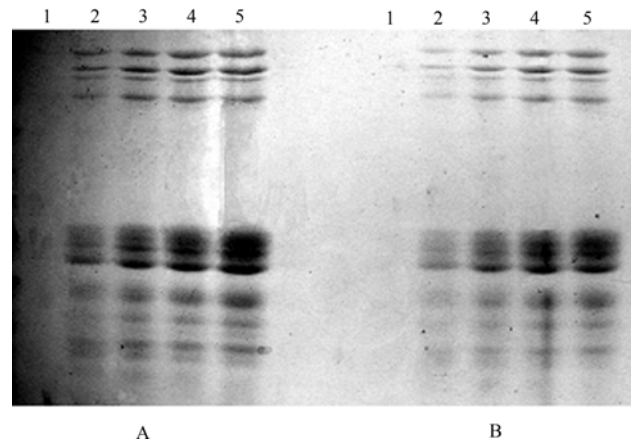


图 1 黏壤土小麦花后不同时期强势粒(A)和弱势粒(B)高分子量谷蛋白亚基 SDS-PAGE 电泳

Fig. 1 SDS-PAGE of HMW-GS in superior (A) and inferior (B) grains of wheat after anthesis grown in clay soil. 泳道 1~5 分别表示开花后 7、14、21、28 和 35 d。Lanes 1 to 5 are 7, 14, 21, 28, and 35 days after anthesis.

2.2 HMW-GS 的积累

随着籽粒的发育, 小麦 HMW-GS 含量呈增加趋势, 成熟期达最大值(图 2)。花后 14~28 d, HMW-GS 含量增加缓慢, 弱势粒甚至在 21 d 左右有所降低; 花后 28 d 后含量迅速增加。HMW-GS 含量以黏壤土小麦最高, 中壤土次之, 沙壤土最低, 且强势粒明显高于弱势粒。

花后小麦 HMW-GS 各亚基含量变化与总亚基含量变化趋势基本一致(图 3), 在整个籽粒发育进程中, 小麦强势粒各亚基含量均呈增加趋势, 沙壤土和中壤土小麦弱势粒在花后 21 d 各亚基含量上升幅度较小或略有下降, 且各亚基含量表现为 5 亚基>10 亚基>14 亚基>15 亚基。3 种质地土壤比较, HMW-GS 各亚基含量亦表现为黏壤土>中壤土>沙壤土。强、弱势粒间比较, 强势粒各亚基含量在整个籽粒发育进程中均明显高于弱势粒。成熟期强势粒各亚基含量平均比弱势粒高 20.26%(沙壤土)、10.60%(中壤土)和 10.26%(黏壤土), 表明沙壤土小麦强、弱势籽粒 HMW-GS 积累差异较大。

2.3 GMP 含量动态变化

在小麦籽粒发育进程中, GMP 含量呈先上升后下降再上升的趋势(图 4)。花后 21~28 d 小麦籽粒 GMP 含量下降可能与此阶段淀粉快速积累引起的

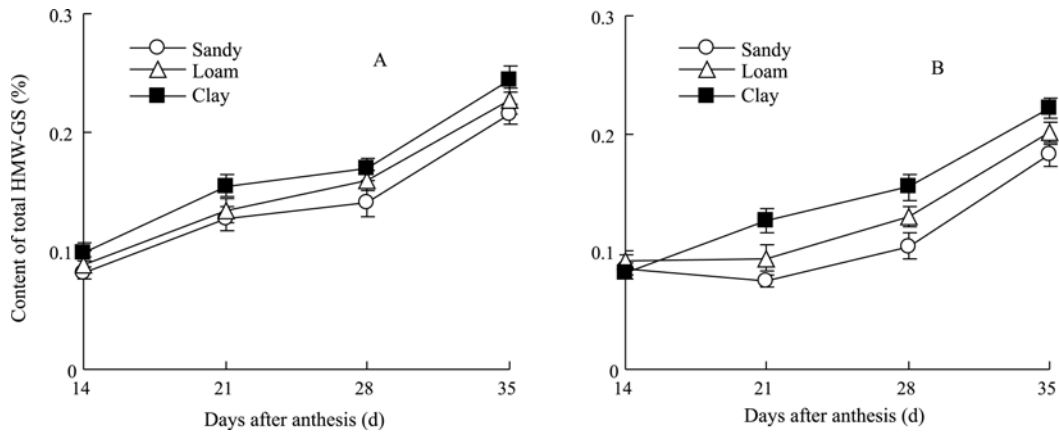


图 2 小麦强势粒(A)和弱势粒(B) HMW-GS 含量动态变化(2006—2007)

Fig. 2 Dynamic changes of HMW-GS content in superior grains (A) and inferior grains (B) (2006-2007)

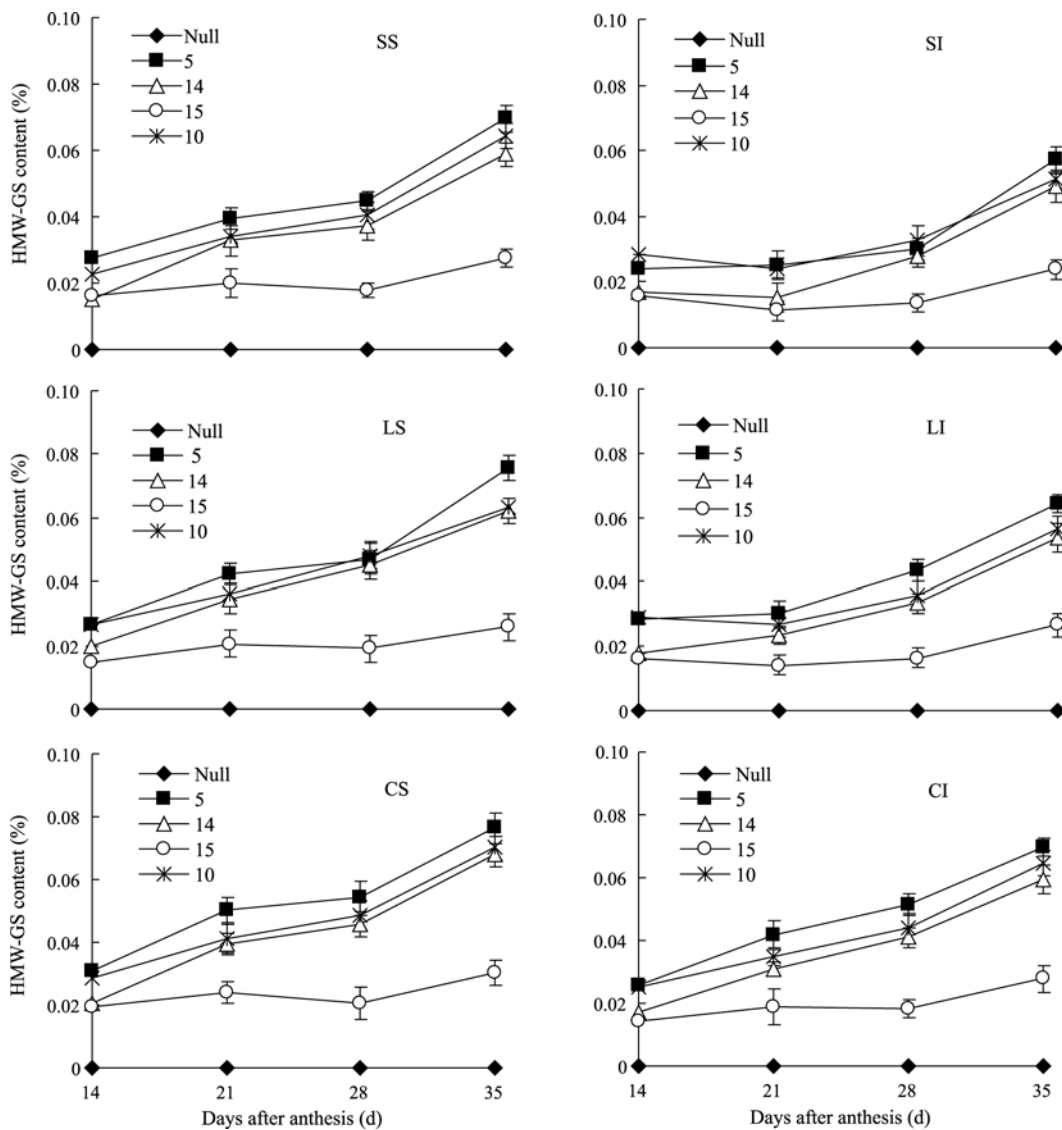


图 3 小麦籽粒各 HMW-GS 含量动态变化(2006—2007)

Fig. 3 Dynamic changes of each HMW-GS content in wheat grain (2006-2007)

SS: superior grains in sandy soil; LS: superior grains in loam soil; CS: superior grains in clay soil; SI: inferior grains in sandy soil; LI: inferior grains in loam soil; LS: inferior grains in clay soil.

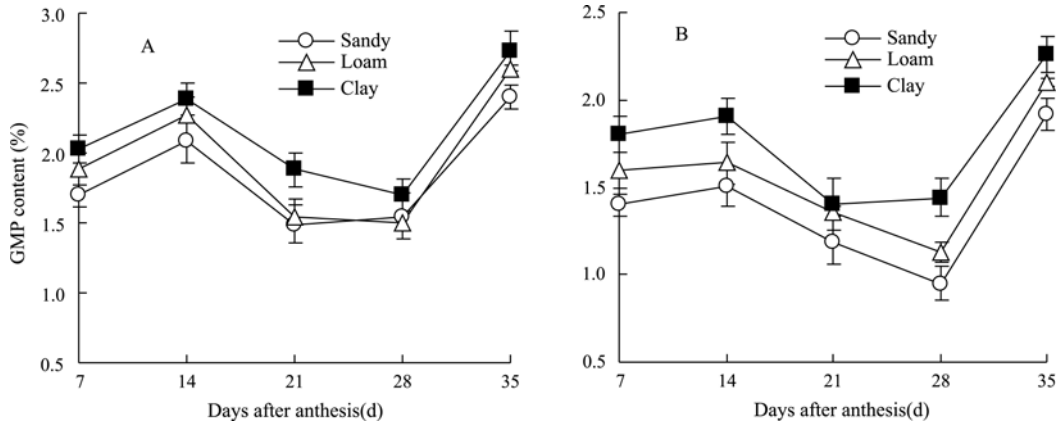


图 4 小麦强势粒(A)和弱势粒(B) GMP 含量动态变化(2006—2007)

Fig. 4 Dynamic changes of GMP content in superior grains (A) and inferior grains (B) (2006–2007)

“稀释效应”有关。3 种质地土壤比较,黏壤土小麦 GMP 含量最高,中壤土次之,沙壤土最低,表明黏壤土有利于小麦籽粒 GMP 的积累。强、弱势粒间比较,强势粒 GMP 含量均明显高于弱势粒,成熟期强势粒 GMP 含量比弱势粒高 25.23%(沙壤土)、23.98%(中壤土)和 20.63%(黏壤土)。

2.4 GMP 的粒度分布

2.4.1 GMP 粒度分布特征 3 种质地土壤上成熟期小麦 GMP 粒度分布趋势类似(图 5), 粒径范围为 0.37~245 μm。小麦 GMP 颗粒的体积分布为双峰曲线, 第一个峰值出现在 5 μm 左右, 第二个峰值出现在 66~100 μm 之间, 且处理间差异较大。小麦 GMP 颗粒的数目分布为单峰曲线, 峰值出现在 1 μm 左右;

GMP 颗粒的表面积分布亦呈双峰曲线, 峰值分别出现在 2 μm 左右和 60~80 μm 之间。

2.4.2 GMP 颗粒体积分布 从表 2 可以看出, 小麦 GMP<10 μm 颗粒所占体积为 8.18%~33.60%, 而 10~100 μm 颗粒和>100 μm 颗粒对体积的贡献分别为 47.57%~69.00%和 0.04%~40.36%。强、弱势粒间比较, 强势粒 GMP<10 μm 和<100 μm 颗粒所占体积均显著低于弱势粒, 而>100 μm 颗粒所占体积显著高于弱势粒, 表明在强势粒中, 大体积颗粒所占体积比例较高, 而弱势粒中、小体积颗粒所占体积比例较高。3 种质地土壤比较, 黏壤土小麦 GMP<10 μm 和<100 μm 颗粒所占体积均显著低于沙壤土和中壤土, 而>100 μm 颗粒所占体积则显著高于沙壤土和中壤土。

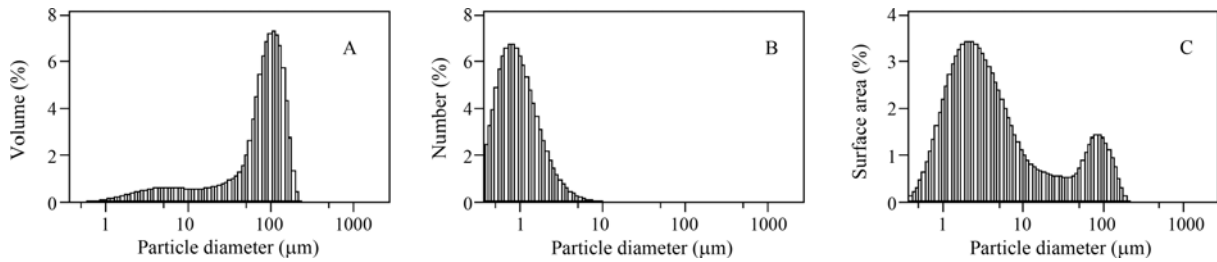


图 5 小麦 GMP 颗粒体积(A)、数目(B)和表面积(C)的分布

Fig. 5 Distribution of GMP particles volume (A), number (B), and surface area (C) in wheat grain

表 2 小麦 GMP 体积分布

Table 2 Volume distribution of wheat GMP (%)

土壤质地 Soil texture	粒位 Grain position	粒径 Diameter of GMP particle			
		<10 μm	<100 μm	10–100 μm	>100 μm
沙壤 Sandy	强势 Superior	18.12 d	65.69 c	47.57 e	34.31 c
	弱势 Inferior	30.96 b	99.96 a	69.00 a	0.04 f
中壤 Loam	强势 Superior	11.87 e	64.10 d	52.23 c	35.90 b
	弱势 Inferior	33.60 a	99.95 a	66.35 b	0.05 e
黏壤 Clay	强势 Superior	8.18 f	59.64 e	51.46 d	40.36 a
	弱势 Inferior	22.66 c	88.71 b	66.05 b	11.29 d

同一列中标以不同小写字母的数值差异达到 0.05 显著水平。

Values followed by different letters within columns are significantly different at the 0.05 probability level.

2.4.3 GMP 颗粒数目分布 小麦 GMP 颗粒数目的大部分(99.80%~99.91%)是由<10 μm 颗粒构成, 10~100 μm 颗粒仅占总量的 0.09%~0.18%, >100 μm 颗粒仅占 0.01~0.03%。3 种质地土壤上强势粒 10~100 μm

和>100 μm 颗粒比例均显著高于弱势粒, 弱势粒中几乎没有>100 μm 的颗粒(表 3), 这可能与强、弱势籽粒 GMP 发育时间和积累差异有关。黏壤土小麦强势粒 >100 μm 颗粒比例显著高于沙壤土和中壤土。

表 3 小麦 GMP 数目分布
Table 3 Number distribution of wheat GMP (%)

土壤质地 Soil texture	粒位 Grain position	粒径 Diameter of GMP particle			
		<10 μm	<100 μm	10~100 μm	>100 μm
沙壤 Sandy	强势 Superior	99.84 ab	99.98 a	0.15 b	0.02 b
	弱势 Inferior	99.88 ab	99.99 a	0.12 e	0.01 c
中壤 Loam	强势 Superior	99.86 ab	99.98 a	0.14 c	0.02 b
	弱势 Inferior	99.87 ab	99.99 a	0.13 d	0.01 c
黏壤 Clay	强势 Superior	99.80 b	99.97 a	0.18 a	0.03 a
	弱势 Inferior	99.91 a	99.99 a	0.09 f	0.01 c

同一列中标以不同小写字母的数值差异达到 0.05 显著水平。

Values followed by different letters within columns are significantly different at the 0.05 probability level.

2.4.4 GMP 颗粒表面积分布 小麦 GMP<10 μm 颗粒占总表面积的 66.92%~83.23%, 10~100 μm 和 >100 μm 颗粒分别占总表面积的 16.21%~25.29%和 0.01%~7.79% (表 4)。强、弱势粒间比较, 强势粒 GMP<10 μm 颗粒所占表面积较低, 而 10~100 μm 和 >100 μm 颗粒所占表面积均显著高于弱势粒。3 种质地土壤比较, 黏壤土小麦 GMP 10~100 μm 和 >100 μm 颗粒所占表面积均显著高于沙壤土和中壤

土。

2.5 相关分析

表 5 表明, 小麦 HMW-GS 含量和 GMP 含量与 <10 μm 和 <100 μm GMP 颗粒体积百分比均呈显著或极显著负相关; 与 10~100 μm GMP 颗粒体积百分比均呈负相关, 但未达到显著水平; 与 >100 μm GMP 颗粒体积百分比呈显著或极显著正相关。表明大粒径 GMP 颗粒具有较高的 HMW-GS 含量。

表 4 小麦 GMP 表面积分布
Table 4 Surface area distribution of wheat GMP (%)

土壤质地 Soil texture	粒位 Grain position	粒径 Diameter of GMP particle			
		<10 μm	<100 μm	10~100 μm	>100 μm
沙壤 Sandy	强势 Superior	77.89 d	97.71 c	19.82 d	2.29 c
	弱势 Inferior	83.23 b	99.99 a	16.77 e	0.01 e
中壤 Loam	强势 Superior	74.10 e	94.88 d	20.78 b	5.12 b
	弱势 Inferior	83.78 a	99.99 a	16.21 f	0.01 e
黏壤 Clay	强势 Superior	66.92 f	92.21 e	25.29 a	7.79 a
	弱势 Inferior	78.64 c	98.91 b	20.28 c	1.09 d

同一列中标以不同小写字母的数值差异达到 0.05 显著水平。

Values followed by different letters within columns are significantly different at the 0.05 probability level.

表 5 小麦 GMP 体积分布与谷蛋白亚基含量和 GMP 含量的相关系数
Table 5 Correlation coefficients between GMP volume distribution and HMW-GS content and GMP content

项目 Item	粒径 Diameter of GMP particle			
	<10 μm	<100 μm	10~100 μm	>100 μm
HMW-GS	-0.899*	-0.857*	-0.734	0.857*
GMP	-0.961**	-0.941**	-0.735	0.941**

* $P<0.05$; ** $P<0.01$.

3 讨论

3.1 不同质地土壤条件下小麦强、弱势籽粒 HMW-GS 积累和 GMP 含量差异

小麦强、弱势籽粒在颖花发育时间及维管束结构上存在显著差异,导致二者在氮素同化物供应和蛋白质合成等方面显著不同^[17-18]。然而,关于小麦强、弱势籽粒 HMW-GS 积累和 GMP 含量差异的研究尚少。本研究表明,花后 14 d,小麦强势粒和弱势粒 HMW-GS 均已形成,强势粒具有较强的 HMW-GS 积累能力。花后小麦 HMW-GS 各亚基含量变化与总亚基含量变化趋势一致。各亚基含量表现为 5 亚基>10 亚基>14 亚基>15 亚基,强势粒各亚基含量在整个籽粒发育进程中亦明显高于弱势粒。在小麦籽粒发育进程中,GMP 含量呈先上升后下降再上升的趋势,强势粒 GMP 含量均明显高于弱势粒。弱势粒品质较差,可能与较低的 HMW-GS 积累量和 GMP 含量有关^[17]。

不同质地土壤的理化性质差别很大,机械阻力、颗粒组成和总空隙度都不相同,从而影响籽粒产量和品质的形成^[19]。研究表明,小麦蛋白质含量随土壤质地黏重程度的提高而增加^[20]。本试验表明黏壤土有利于小麦 HMW-GS 积累,有利于改善小麦品质。此外,小麦强势粒与弱势粒 HMW-GS 积累在沙壤土上差异较大;与强势粒相比,弱势粒 HMW-GS 的积累在不同质地土壤上差异较大。表明弱势粒 HMW-GS 积累更易受土壤质地的影响,生产上应注重对弱势粒进行调控以改善籽粒品质。

3.2 小麦 GMP 粒度分布特征及与 HMW-GS 积累的关系

谷蛋白聚合物粒度大小相对分布与面团品质有着密切的关系^[4]。Don 等^[5-6,10]通过一系列研究表明,小麦胚乳中谷蛋白大聚合物是以颗粒形式存在的,且粒径分布范围为 1~300 μm。本研究表明,3 种质地土壤上小麦 GMP 粒度分布趋势类似,粒径范围为 0.37~245 μm。小麦 GMP 数目主要由<10 μm 颗粒组成,体积分布的 47.57%~69.00%集中在 10~100 μm,而表面积分布大部分(66.92%~83.23%)由<10 μm 颗粒组成。3 种质地土壤上强势粒均含有较多的大粒径 GMP 颗粒,这可能是由于强势粒 GMP 发育时间早、底物充足,更多的小粒径 GMP 颗粒发育成为大粒径 GMP 颗粒。不同质地土壤间比较,黏壤土小麦含有较多的大粒径 GMP 颗粒。不同质地土壤间小麦 GMP 粒度分布

的差异,亦是造成其品质差异的重要原因。

王凤成等^[21]认为,含 5+10 亚基生物型小麦谷蛋白聚合物分子量分布比 2+12 生物型小麦偏向于较大的分子量。HMW-GS 相对含量与谷蛋白聚合物分子量有密切关系,谷蛋白聚合体的分子量越大,其 HMW-GS 组成所占的比例也越高^[22]。本研究中,小麦 HMW-GS 含量和 GMP 含量与<10 μm 和<100 μm GMP 颗粒体积百分比均呈显著或极显著负相关,与>100 μm GMP 颗粒体积百分比呈显著或极显著正相关。表明大粒径 GMP 颗粒含有更多的 HMW-GS 组成,这可能是由于高分子量谷蛋白亚基更易形成分子间二硫键结构的缘故^[21]。HMW-GS 通过链间二硫键首尾相连形成主干,然后 LMW-GS 再与 HMW-GS 剩余半胱氨酸残基相连,形成带有分支的结构,进而积聚成大聚合物。关于 HMW-GS 在 GMP 颗粒形成中的作用及其对 GMP 颗粒特性的影响,还有待进一步研究。

4 结论

不同质地土壤上小麦 HMW-GS 含量和 GMP 含量均表现为黏壤土>中壤土>沙壤土,表明黏壤土有利于小麦 HMW-GS 积累,有利于改善籽粒品质。3 种质地土壤上,小麦强势粒 HMW-GS 总量和各亚基含量均明显高于弱势粒,强势粒具有较强的 HMW-GS 积累能力。小麦强势粒 GMP>100 μm 颗粒数目百分比和体积百分比均显著高于弱势粒,强势粒具有更多的大粒径 GMP 颗粒。HMW-GS 含量与>100 μm GMP 颗粒体积百分比成显著正相关,表明大粒径 GMP 颗粒具有较高的 HMW-GS 含量。

References

- [1] Sun H(孙辉), Yao D-N(姚大年), Liu G-T(刘广田), Zhang S-Z(张树榛). Study on relationships of wheat protein to baking quality: I. Relationships of protein and protein fraction contents to baking quality. *J Chin Cereals Oils Assoc* (中国粮油学报), 2001, 16(2): 28-30 (in Chinese with English abstract)
- [2] Sapirstein H D, Fu B X. Intercultivar variation in the quantity of monomeric proteins, soluble and insoluble glutenin, and residue protein in wheat flour and relationships to bread making quality. *Cereal Chem*, 1998, 75: 500-507
- [3] Sun H(孙辉), Yao D-N(姚大年), Li B-Y(李宝云), Liu G-T(刘广田), Zhang S-Z(张树榛). Correlation between content of glutenin macropolymer (GMP) in wheat and baking quality. *J Chin Cereals Oils Assoc* (中国粮油学报), 1998, 13(6): 13-16(in Chinese with English abstract)

- [4] Zhao H-X(赵惠贤), Hu S-W(胡胜武), Ji W-Q(吉万全), Xue X-Z(薛秀庄), Guo A-G(郭蔼光), Mares D. Study on relationship between the size distribution of glutenin polymeric protein and wheat flour mixing properties. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2001, 34(5): 465–468(in Chinese with English abstract)
- [5] Don C, Lichtendonk W, Plijter J J, Hamer R J. Glutenin macropolymer: A gel formed by glutenin particles. *J Cereal Sci*, 2003, 37: 1–7
- [6] Don C, Lookhart G, Naeem H, MacRitchie F, Hamer R J. Heat stress and genotype affect the glutenin particles of the glutenin macropolymer-gel fraction. *J Cereal Sci*, 2005, 42: 69–80
- [7] Deng Z-Y(邓志英), Tian J-C(田纪春), Zhang Y-X(张永祥), Wang Y-X(王延训). Formation time and accumulation intensity of HMW-GS and LMW-GS and the relationship with SDS-sedimentation volume in winter wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(3): 308–315(in Chinese with English abstract)
- [8] Gianibelli M C, Gupta R B, Lafandra D, Margiotta B, MacRitchie F. Polymorphism of high M_r glutenin subunits in *Triticum tauschii*: Characterization by chromatography and electrophoretic methods. *J Cereal Sci*, 2001, 33: 39–52
- [9] Weegels P L, van de Pijpekamp A M, Graveland A, Hamer R J, Schofield J D. Depolymerisation and re-polymerisation of wheat glutenin during dough processing: I. Relationships between glutenin macropolymer content and quality parameters. *J Cereal Sci*, 1996, 23: 103–111
- [10] Don C, Mann G, Bekes F, Hamer R J. HMW-GS affects the properties of glutenin particles in GMP and thus flour quality. *J Cereal Sci*, 2006, 44: 127–130
- [11] Yue H-W(岳鸿伟), Qin X-D(秦晓东), Dai T-B(戴廷波), Jing Q(荆奇), Cao W-X(曹卫星), Jiang D(姜东). Effects of nitrogen rate on accumulations of HMW-GS and GMP in wheat grain. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(10): 1678–1683 (in Chinese with English abstract)
- [12] Sun X(孙霞), Wu X-J(吴秀菊), Hu S-L(胡尚连), Li W-X(李文雄). Effects of different nitrogen sources on HMW glutenin aggregates in spring wheat with different HMW-GS composition. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(3): 308–315(in Chinese with English abstract)
- [13] Zhao J-Y(赵俊晔), Yu Z-W(于振文). Effects of nitrogen fertilizer rate on nitrogen metabolism and protein synthesis of superior and inferior wheat kernel. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2005, 31(4): 463–468(in Chinese with English abstract)
- [14] Wang R-Y(王瑞英), Yu Z-W(于振文), Pan Q-M(潘庆民), Xu Y-M(许玉敏). Changes of endogenous plant hormone contents during grain development in wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1999, 25(2): 227–231(in Chinese with English abstract)
- [15] Liang R-Q(梁荣奇), Zhang Y-R(张义荣), You M-S(尤明山), Mao S-F(毛善锋), Song J-M(宋建民), Liu G-T(刘广田). Multistacking SDS-PAGE for wheat glutenin polymer and its relation to bread making quality. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2002, 28(5): 609–614(in Chinese with English abstract)
- [16] Don C, Lichtendonk W J, Plijter J J, Vliet T, Hamer R J. The effect of mixing on glutenin particle properties: aggregation factors that affect gluten function in dough. *J Cereal Sci*, 2005, 41: 69–83
- [17] Ru Z-G(茹振钢), Li G(李淦), Hu T-Z(胡铁柱), Li L-B(栗利波). Analysis of grain weight and quality at different floret position of strong glutenin wheat. *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2006, 26(5): 134–136(in Chinese with English abstract)
- [18] Li J-C(李金才), Wei F-Z(魏凤珍), Ding X-P(丁显萍). Relationship between vascular bundle system of rachis and rachilla and ear productivity in wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1999, 25(3): 315–319(in Chinese with English abstract)
- [19] Li C-H(李潮海), Li S-L(李胜利), Wang Q(王群), Hou S(侯松), Jing J(荆棘). Effect of different textural soils on root dynamic growth in corn. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(9): 1334–1340(in Chinese with English abstract)
- [20] Masoni A, Ercoli L, Mariotti M, Arduini I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. *Eur J Agron*, 2007, 26: 179–186
- [21] Wang F-C(王凤成), Zhu J-B(朱金宝), Khan K, Brien L O, Chen W-Y(陈万义). The composition and quantity of wheat glutenin subunits in relation to high molecular weight glutenin polymers and their effects on bread making quality. *J Chin Cereals Oils Assoc* (中国粮油学报), 2004, 19(3): 13–17(in Chinese with English abstract)
- [22] Gupta R B, Khan K, MacRitchie F. Biochemical basis of flour properties in bread wheats: I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J Cereal Sci*, 1993, 18: 23–41