

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.01306

小麦籽粒蛋白质组分含量及其与加工品质的关系

石 玉^{1,2} 张永丽¹ 于振文^{1,*}

¹ 山东农业大学农业部作物生理生态与栽培重点开放实验室, 山东泰安 271018; ² 山东省泰安市农业局, 山东泰安 271000

摘 要: 应用反相高效液相色谱(RP-HPLC)法, 对 12 个小麦品种籽粒的清蛋白+球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白, 高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS)、低分子量谷蛋白亚基(LMW-GS)进行了分离量化, 并根据谷蛋白含量、贮藏蛋白含量及面团稳定时间 3 个指标对其聚类分析。结果表明, 不同小麦品种蛋白质各组分含量存在差异, 其中贮藏蛋白的含量是决定蛋白质总含量的主要因素。HMW-GS 含量、LMW-GS 含量、谷蛋白总含量均与面团形成时间、稳定时间及沉降值呈极显著正相关; HMW-GS 含量与 LMW-GS 含量的比值(HMW/LMW)与面团形成时间和稳定时间呈极显著正相关; 醇溶蛋白含量与谷蛋白含量的比值(Gli/Glu)与面团稳定时间呈显著负相关, 醇溶蛋白含量与 HMW-GS 含量的比值(Gli/HMW-GS)与面团形成时间和稳定时间均呈极显著负相关。籽粒中具有较高的贮藏蛋白含量、HMW-GS 含量、LMW-GS 含量和 HMW/LMW 及较低的 Gli/Glu, 有利于提高强筋小麦的加工品质。

关键词: 小麦; 品种; 蛋白质组分; 加工品质

Contents of Grain Protein Components and Their Relationships to Processing Quality in Wheat

SHI Yu^{1,2}, ZHANG Yong-Li¹, and YU Zhen-Wen^{1,*}

¹ Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Cultivation, Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

² Agricultural Bureau of Tai'an City, Tai'an 271000, China

Abstract: Qualitative and quantitative analyses of glutenin and gliadin contents are important for quality improvement in wheat (*Triticum aestivum* L.). Although several studies have focused on the relationship between grain processing quality and protein components, there are no consistent conclusions, especially the effects of glutenin and gliadin components on processing quality need to be further studied. In this study, the contents of albumin + globulin, gliadin, HMW-GS, and LMW-GS of 12 wheat cultivars were measured using reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC). According to glutenin content, gluten protein content, and dough stability time, the 12 cultivars were classified into three groups, namely high-glutenin-content (I), medium-glutenin-content (II), and low-glutenin-content (III) groups. Each group consisted of four cultivars. Content of each protein component varied with cultivars, and the content of gluten protein was the main factor to determine total protein content. The content of total protein was positively correlated ($P < 0.05$) with content of each protein component, and the contents of HMW-GS, LMW-GS, and glutenin had significantly positive correlations with dough development time, stability time, and sedimentation volume. Positive correlations were also observed between HMW/LMW and the development time and stability time of dough. However, the ratio of Gli/HMW-GS was negatively correlated with development time and stability time, and the ratio of Gli/Glu was negatively correlated with dough stability time. High contents of glutenin, HMW-GS, and LMW-GS as well as large HMW/LMW ratio and small Gli/Glu ratio in wheat grains are favorable for high processing quality in strong-gluten wheat.

Keywords: Wheat; Cultivar; Protein composition; Processing quality

小麦籽粒蛋白质根据其溶解特性可分为清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白, 贮藏蛋白由谷蛋白和醇溶蛋白组成, 二者共同决定面团的黏弹性,

对小麦的加工品质具有重要作用^[1-6], 定性和定量分析谷蛋白和醇溶蛋白组分是研究小麦品质的主要内容^[4-9]。有研究认为, 谷蛋白含量与沉降值和湿面筋

本研究由国家自然科学基金项目(30871478)和农业部现代小麦产业技术体系项目(nycytx-03)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 于振文, E-mail: yuzw@sdau.edu.cn

第一作者联系方式: E-mail: sdauno42@163.com

Received(收稿日期): 2008-11-13; Accepted(接受日期): 2009-03-16.

含量呈显著正相关,清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白含量与沉降值相关不显著^[10],但也有研究表明,蛋白质及各组分含量均与湿面筋含量和沉降值呈显著或极显著正相关,总蛋白质、清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白含量与面团形成时间、稳定时间的相关不显著^[6]。前人主要研究了小麦籽粒4种蛋白质组分对加工品质的影响,对谷蛋白和醇溶蛋白组分与加工品质的关系尚未做深入探讨。

反相高效液相色谱法(reverse phase high performance liquid chromatography, RP-HPLC)是定性定量分析蛋白及多肽混合组分的经典方法,能对小麦籽粒蛋白质组分进行精确的分离量化^[11-12]。唐建卫等^[13]用该方法研究认为,贮藏蛋白组分含量对面团流变学特性和面包品质影响较大,而对面条和馒头品质影响相对较小,且多为负向效应。本试验采用RP-HPLC分析方法,分析了小麦籽粒蛋白质各组分含量与加工品质的关系,以期小麦优质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 品种与试验设计

2004—2005年,在山东农业大学实验农场(泰安)进行田间试验。试验田0~20 cm土层含有机质1.0%、全氮0.1%、水解氮85.2 mg kg⁻¹、速效磷28.3 mg kg⁻¹、速效钾83.0 mg kg⁻¹。选用济麦20、豫麦34、藁城8901、9411、济南17、烟农19、淄麦12、烟农15、泰山23、扬麦9号、宁麦9号、鲁麦21共12个小麦品种。每个品种小区面积为4.0 m × 1.5 m = 6.0 m²,随机区组排列,重复3次。冬性及半冬性品种于2004年10月8日播种,弱春性品种于2004年11月2日播种,基本苗为150株 m⁻²。播种前每公顷底施纯氮120 kg、P₂O₅ 135 kg和K₂O 105 kg,拔节期结合浇水开沟追施纯氮120 kg hm⁻²。其余管理措施同一般高产田。成熟后收获籽粒,用于蛋白质及其组分含量测定。

1.2 籽粒蛋白质总量

采用GB2905-1982半微量凯氏定氮法测定籽粒氮素含量,含氮量乘以指数5.7为蛋白质含量^[14]。

1.3 蛋白质组分提取及含量测定

参照Wieser的方法^[11]测定籽粒中各蛋白质组分的含量。色谱系统为美国Waters公司产515泵+996检测器,样品杯体积为1.2 mL,工作站软件Millium³²。色谱柱为Nucleosil 300-5 C₈柱(4.6 mm ×

240 mm)。试剂A由0.4 mol L⁻¹ NaCl、0.067 mol L⁻¹ KH₂PO₄配制而成,pH 7.6;试剂B为60%乙醇;试剂C由50% 1-PrOH、2 mol L⁻¹、0.05 mol L⁻¹ Tris-HCl (pH 7.5)和1% DTE(氮气条件下)配制而成。

称取全麦粉100 mg于2 mL离心管中,加1.0 mL A液,漩涡振荡2 min,于20℃下用TMC5355型智能型恒温混合器(德国Eppendorf公司)振荡10 min后,3 506×g离心15 min,连续提取2次,收集上清液并定容至2 mL(清蛋白+球蛋白)。残余物中加入0.5 mL B液,漩涡振荡2 min,在20℃下用TMC5355型智能型恒温混合器振荡10 min后,3 506×g离心20 min,连续提取3次,收集上清液并定容至1.5 mL(醇溶蛋白)。残余物在氮气条件下加1.0 mL C液,漩涡振荡2 min后,在60℃下用TMC5355型智能型恒温混合器振荡20 min,悬浮液在20℃恒温下3 506×g离心20 min,连续提取2次,收集上清液并定容至2 mL(谷蛋白)。样品测定前过0.45 μm滤膜,在进样前后分别注入0.1%(V/V)三氟乙酸500 μL,清蛋白+球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白进样体积分别为200、80和100 μL。

1.4 籽粒品质测定

用880101小型实验磨(德国Brabender公司)制粉,出粉率为60%。用810106002型粉质仪(德国Brabender公司)测定面团形成时间和面团稳定时间;用BAU-A型沉降值仪(中国农业大学),按GB/T 15685-1995小麦粉沉降值测定法测定沉降值。

1.5 数据处理与统计分析

以籽粒谷蛋白含量、贮藏蛋白含量和面团稳定时间为指标,数据经标准化转换,根据欧氏距离采用最大距离法对12个品种作聚类分析。采用DPS统计分析软件进行显著性检验和方差分析。

2 结果与分析

2.1 籽粒蛋白质组分含量和加工品质的差异

12个小麦品种的籽粒谷蛋白、醇溶蛋白和贮藏蛋白含量变异较大,清蛋白+球蛋白含量和总蛋白含量变异较小,品质性状的沉降值、面团形成时间和面团稳定时间的变幅分别为21.5~44.8 mL、3.0~7.2 min和2.6~22.4 min,变异系数分别为22.29%、34.55%和68.77%,以面团稳定时间变异最大(表1)。

聚类分析显示,12个品种可分为高谷蛋白含量(I)组、中谷蛋白含量(II)组和低谷蛋白含量(III)组(图1)。I组的品种具有较高的谷蛋白含量和较长的面团

稳定时间,属于国家标准(GB/T17892-1999)的一等强筋小麦;II 组品种的谷蛋白含量和面团稳定时间居中,属于国家标准(GB/T17892-1999)的二等强筋

小麦;III 组品种具有低谷蛋白含量和较短面团稳定时间,属于中筋或国家标准(GB/T17892-1999)的弱筋小麦。

表1 小麦籽粒蛋白质组分含量和加工品质性状的变异
Table 1 Variations of contents of protein components in grains and processing-quality traits

性状 Trait	变幅 Range	标准差 Standard deviation	变异系数 CV (%)
蛋白质组分含量 Content of protein components			
清蛋白+球蛋白 Albumin+globulin (%)	2.63–3.06	0.12	4.07
谷蛋白 Glutenin (%)	2.70–3.93	0.43	12.80
醇溶蛋白 Gliadin (%)	4.31–6.29	0.64	11.44
贮藏蛋白 Gluten protein (%)	7.01–9.99	1.00	11.19
醇/谷比 Gli/Glu	1.46–1.90	0.14	8.45
总蛋白 Total protein (%)	11.42–14.45	0.97	7.09
加工品质性状 Processing-quality trait			
沉降值 Sedimentation volume (mL)	21.5–44.8	7.52	22.29
形成时间 Development time (min)	3.0–7.2	1.53	34.55
稳定时间 Stability time (min)	2.6–22.4	7.25	68.77

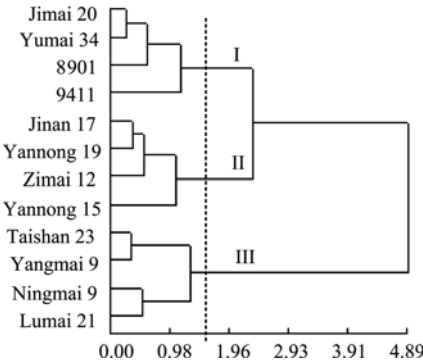


图1 12个品种依籽粒谷蛋白含量、贮藏蛋白含量和面团稳定时间的聚类图
Fig. 1 Dendrogram of 12 wheat cultivars based on glutenin content, gluten content, and stability time

谷蛋白含量、面团形成时间、面团稳定时间和沉降值由I组至III组逐渐降低,差异达显著水平(表2),表明一等强筋小麦品种的上述指标值最高,二等强筋小麦次之,中筋和弱筋小麦最低;I组和II组的贮藏蛋白与总蛋白含量显著高于III组,表明强筋小麦具有较高的贮藏蛋白含量和总蛋白质含量;II组醇溶蛋白含量显著高于I组,I组显著高于III组。I组和II组比较,贮藏蛋白和总蛋白含量无显著差异,但具有较高的谷蛋白含量和较低的Gli/Glu比值及高面团稳定时间和沉降值,表明在总蛋白质含量和贮藏蛋白含量无显著差异的条件下,蛋白质组分和各组分含量占总蛋白含

量的比例与小麦蛋白质品质的关系更为密切,具有较高的谷蛋白含量和较低的Gli/Glu是一等强筋小麦品质的基础。

2.2 小麦籽粒谷蛋白各组分含量的差异

在3个组中各选一个品种,分别为济麦20、济南17和宁麦9号,利用RP-HPLC法,将谷蛋白洗脱为3部分,未发生重叠,包括 ω b-醇溶蛋白(8.0~17.5 min)、HMW-GS(17.5~27.5 min)和LMW-GS(27.5~53.0 min),各品种LMW-GS含量最高,HMW-GS次之, ω b-醇溶蛋白为通过二硫键束缚于谷蛋白上的部分醇溶蛋白,含量最低(图2)。不同小麦品种的谷蛋白分离峰面积明显不同,表明不同小麦品种各部分的含量存在差异,济麦20的谷蛋白含量、HMW-GS和LMW-GS含量最高,济南17次之,宁麦9号最低(图2),表明小麦品种的蛋白质品质由一等强筋至二等强筋至弱筋,谷蛋白含量、HMW-GS和LMW-GS含量逐渐降低。

12个品种籽粒的HMW-GS、LMW-GS和谷蛋白总含量的变化范围分别为0.60%~1.21%、1.96%~2.73%和2.70%~3.94%,3组间依次递减,且差异达显著水平(表3),表明强筋小麦具有较高的HMW-GS、LMW-GS和谷蛋白含量。12个品种HMW/LMW比值均在0.29~0.46之间,其平均值I组最高,III组最低,表明强筋小麦具有较高的HMW/LMW比值。

表 2 小麦籽粒蛋白质组分含量和加工品质性状的差异
Table 2 Difference of grain protein composition content and processing quality of different wheat cultivars

品种 Cultivar	蛋白质组分含量 Content of protein component					加工品质性状 Processing-quality trait			
	清蛋白+球蛋白 Albumin +globulin	谷蛋白 Glutenin	醇溶蛋白 Gliadin	贮藏蛋白 Gluten protein	Gli/Glu	总蛋白质 Total protein	沉降值 Sedimentation volume (mL)	形成时间 Development time (min)	稳定时间 Stability time (min)
I 组 Group I									
Jimai 20	2.8	3.74	5.45	9.19	1.46	13.91	38.1	5.2	16.8
Yumai 34	2.9	3.74	5.58	9.32	1.49	14.15	44.8	4.5	18.2
Gaocheng 8901	2.91	3.63	5.65	9.28	1.56	14.13	35.7	7.2	20.6
9411	2.87	3.93	5.97	9.90	1.52	14.45	41.3	7.0	22.4
平均 Average	2.87 a	3.76 a	5.66 b	9.42 a	1.51 b	14.16 a	40.0 a	6.0 a	19.5 a
II 组 Group II									
Jinan 17	2.97	3.38	5.93	9.31	1.76	14.15	38.0	4.5	9.9
Yannong 19	3.06	3.31	6.29	9.60	1.90	14.30	35.7	4.7	9.5
Zimai 12	2.97	3.50	6.19	9.69	1.77	14.19	41.2	5.2	8.4
Yannong 15	2.74	3.72	6.27	9.99	1.69	14.26	30.1	3.3	8.8
平均 Average	2.94 a	3.48 b	6.17 a	9.65 a	1.77 a	14.23 a	36.3 b	4.4 b	9.2 b
III 组 Group III									
Taishan 23	2.88	2.93	4.99	7.92	1.70	13.64	27.8	2.9	3.5
Yangmai 9	2.76	2.89	5.32	8.21	1.84	13.24	27.0	2.8	3.0
Ningmai 9	2.63	2.77	4.70	7.47	1.70	12.02	23.8	3.0	2.6
Lumai 21	2.86	2.70	4.31	7.01	1.60	11.42	21.5	3.0	2.8
平均 Average	2.78 ab	2.82 c	4.83 c	7.65 b	1.71 a	12.58 b	24.8 c	3.5 c	2.7 c

每一列中, 平均值后的不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。I 组: 高谷蛋白含量组; II 组: 中谷蛋白含量组; III 组: 低谷蛋白含量组。
In each column, averages followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$. Group I: high-glutenin content; Group II: medium-glutenin content; Group III: low-glutenin content.

表 3 不同小麦品种籽粒谷蛋白各组分含量差异
Table 3 Difference of grain glutenin fractions content of different wheat cultivars

品种 Cultivar	ωb-醇溶蛋白 ωb-gliadin (%)	HMW-GS (%)	LMW-GS (%)	谷蛋白 Glutenin (%)	HMW/LMW
I 组 Group I					
济麦 20 Jimai 20	0.08	0.92	2.73	3.73	0.34
豫麦 34 Yumai 34	0.04	1.01	2.68	3.73	0.38
藁城 8901 Gaocheng 8901	0.05	1.13	2.45	3.63	0.46
9411	0.10	1.21	2.63	3.94	0.46
平均 Average	0.07 a	1.07 a	2.62 a	3.76 a	0.41 a
II 组 Group II					
济南 17 Jinan 17	0.08	0.80	2.21	3.38	0.36
烟农 19 Yannong 19	0.07	0.89	2.35	3.31	0.38
淄麦 12 Zimai 12	0.03	0.92	2.55	3.50	0.36
烟农 15 Yannong 15	0.10	0.93	2.69	3.72	0.35
平均 Average	0.07 a	0.89 b	2.45 b	3.48 b	0.36 b
III 组 Group III					
泰山 23 Taishan 23	0.05	0.71	2.17	2.93	0.33
扬麦 9 号 Yangmai 9	0.07	0.68	2.14	2.89	0.32
宁麦 9 号 Ningmai 9	0.07	0.60	2.10	2.77	0.29
鲁麦 21 Lumai 21	0.03	0.71	1.96	2.70	0.36
平均 Average	0.06 b	0.68 c	2.09 c	2.82 c	0.32 c

每一列中, 平均值后的不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。
In each column, averages followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

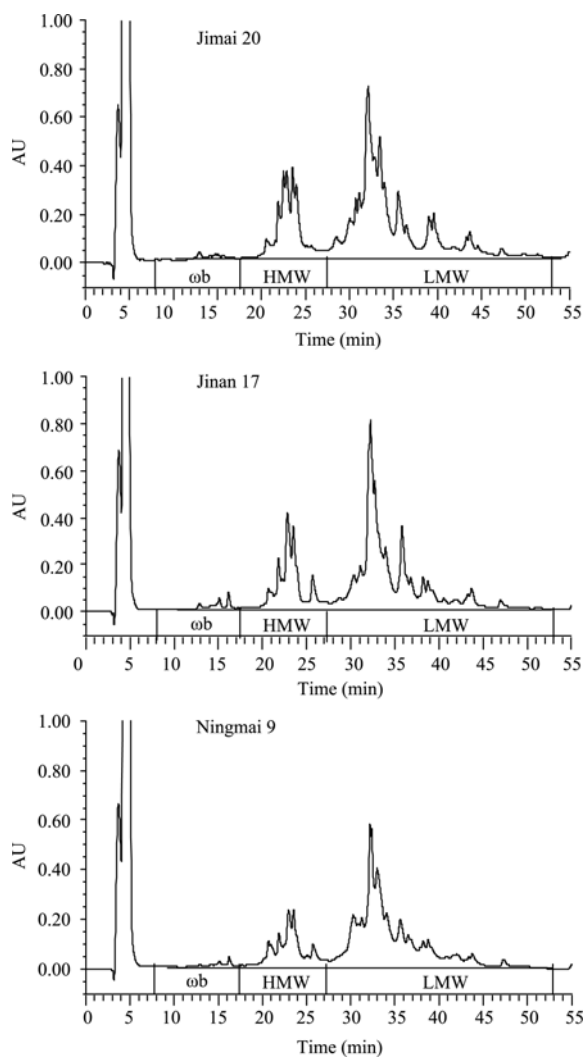


图 2 不同小麦品种籽粒谷蛋白分离图谱
Fig. 2 Elution profiles of grain glutenins of different wheat cultivars

2.3 小麦籽粒蛋白质组分含量与加工品质指标的相关性

蛋白质各组分含量和贮藏蛋白含量均与总蛋白含量呈极显著正相关(表 4)。总蛋白质、贮藏蛋白、谷蛋白、HMW-GS 和 LMW-GS 含量均与面团形成时间、稳定时间和沉降值呈显著或极显著正相关,表明这些蛋白质组分含量指标与籽粒蛋白质品质密切相关, HMW/LMW 与面团形成时间和稳定时间呈极显著正相关;醇溶蛋白含量与沉降值呈极显著正相关。Gli/Glu 与面团稳定时间呈显著负相关, Gli/HMW-GS 与面团形成时间和稳定时间均呈极显著负相关,表明较高的醇溶蛋白含量和较低的 HMW-GS 含量不利于改善强筋和中筋小麦籽粒的蛋白质品质。

3 讨论

利用 RP-HPLC 方法法定性定量分析蛋白质及多肽混合组分是国外采用的主要方法^[5,11,15-17]。国内也有类似研究^[12-13,18],其结果表明贮藏蛋白组分含量显著影响面团流变学特性,谷蛋白含量、醇溶蛋白含量与 SDS 可溶性谷蛋白聚合体含量与面团形成时间、稳定时间和延伸性呈极显著正相关^[13,18],SDS 不溶性谷蛋白聚合体含量与面团稳定性、最大抗延阻力和品质呈显著正相关^[19]。本试验表明,谷蛋白亚基含量为 LMW-GS > HMW-GS,且品种间亚基的含量不同,与 Elpidio 等^[15]的研究结果一致。

谷蛋白亚基组成及其含量对小麦的品质具有重要影响, HMW-GS 和 LMW-GS 与面团形成时间、最大

表 4 12 个小麦品种籽粒蛋白质组分含量与加工品质的相关关系

Table 4 Correlation coefficients between protein component content and processing quality of 12 wheat cultivars

蛋白质组分含量 Content of protein component	总蛋白含量 Total protein content	形成时间 Development time	稳定时间 Stability time	沉降值 Sedimentation volume
HMW-GS	0.71**	0.87**	0.93**	0.74**
LMW-GS	0.82**	0.61*	0.73**	0.84**
HMW/LMW	0.31	0.75**	0.73**	0.35
谷蛋白 Glutenin	0.84**	0.74**	0.84**	0.84**
醇溶蛋白 Gliadin	0.92**	0.47	0.48	0.71**
Gli/Glu	0.01	-0.44	-0.59*	0.06
Gli/HMW-GS	-0.22	-0.73**	-0.81**	-0.44
Gli/LMW-GS	0.15	-0.18	-0.35	-0.15
贮藏蛋白 Gluten protein	0.95**	0.61*	0.66**	0.82**
清蛋白+球蛋白 Albumin+globulin	0.68**	0.48	0.35	0.72**
总蛋白质 Total protein	1.00	0.58*	0.63**	0.83**

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

抗延阻力、拉伸面积和面包体积呈显著正相关^[18,20-22], 面粉中添加1%的高分子量谷蛋白亚基可增大面包体积, 添加低分子量谷蛋白亚基可减小面包体积^[5]。本研究表明, HMW-GS及LMW-GS含量均与面团形成时间、稳定时间及沉降值呈极显著正相关, HMW/LMW与面团形成时间和稳定时间呈极显著正相关, 表明籽粒中具有较高HMW-GS、LMW-GS含量和HMW/LMW有利于形成强筋小麦的加工品质。

Gli/Glu是影响面包烘焙品质和馒头品质的一项重要指标^[23-24], Gli/Glu与和面时间、面团稳定时间、拉伸面积和最大抗延阻力及面包品质均呈显著负相关^[13], 与沉降值亦呈显著负相关^[6], 适当的Gli/Glu可获得较高的面包比容和面包评分^[25]。Scanlon等^[24]和Wieser等^[17]研究表明, 低Gli/Glu增加面团形成时间、揉面峰值阻力、最大抗延阻力和面包体积。而在本研究中, Gli/Glu与面团稳定时间呈显著负相关。I组与II组品种相比, 总蛋白质和贮藏蛋白含量无显著差异, 而I组的Gli/Glu显著低于II组, I组具有较长的面团形成时间、稳定时间和较高的沉降值, 表明在总蛋白和贮藏蛋白含量较高的条件下, 较低的Gli/Glu有利于形成一等强筋小麦的加工品质。

4 结论

谷蛋白含量、HMW-GS含量、LMW-GS含量、HMW/LMW、面团形成时间、稳定时间及沉降值均存在显著品种间差异。蛋白质各组分含量与蛋白质总含量均呈极显著正相关; HMW-GS含量、LMW-GS含量、谷蛋白总含量均与面团形成时间、稳定时间及沉降值呈极显著正相关; HMW/LMW与面团形成时间和稳定时间呈极显著正相关; Gli/Glu与面团稳定时间呈显著负相关, Gli/HMW-GS与面团形成时间和稳定时间均呈极显著负相关。籽粒中具有较高贮藏蛋白含量、HMW-GS含量、LMW-GS含量和HMW/LMW及较低的Gli/Glu有利于提高强筋小麦的加工品质。

References

- [1] Gianibelli M C, Larroque O R, MacRitchie F, Wrigley C W. Biochemical, genetic and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. *Cereal Chem*, 2001, 78: 635-646
- [2] Khatkar B S, Bell A E, Schofield J D. The dynamic rheological properties of gluteins and gluten subfractions from wheats of good and poor bread making quality. *J Cereal Sci*, 1995, 22: 29-44
- [3] Liu L(刘丽), Zhou Y(周阳), He Z-H(何中虎), Wang D-S(王德森), Zhang Y(张艳), Peña R J. Effect of allelic variation in HMW and LMW glutenin subunits on the processing quality in common wheat. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(1): 8-14 (in Chinese with English abstract)
- [4] Song J-M(宋建民), Liu A-F(刘爱峰), Wu X-Y(吴祥云), Liu J-J(刘建军), Zhao Z-D(赵振东), Liu G-T(刘广田). Composition and content of high-molecular-weight glutenin subunits and their relations with wheat quality. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2003, 36(2): 128-133 (in Chinese with English abstract)
- [5] Antes S, Wieser H. Effects of high and low molecular weight glutenin subunits on rheological dough properties and bread-making quality of wheat. *Cereal Chem*, 2001, 78: 157-159
- [6] Wang Y-F(王月福), Yu Z-W(于振文), Li S-X(李尚霞), Yu S-L(余松烈). Effects of nitrogen application amount on content of protein components and processing quality of wheat grain. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2002, 35(9): 1071-1078 (in Chinese with English abstract)
- [7] Zhu J-B(朱金宝), Liu G-T(刘广田), Zhang S-Z(张树榛), Sun H(孙辉). High and low molecular subunits of glutenin and their relationships with wheat quality. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1996, 29(1): 34-39 (in Chinese with English abstract)
- [8] Van Lonkhuijsen H J, Hamer R J, Schreuder C. Influence of specific gliadins on the breadmaking quality of wheat. *Cereal Chem*, 1992, 69: 174-177
- [9] Zhang P-P(张平平), Chen D-S(陈东升), Zhang Y(张勇), Xia X-C(夏先春), He Z-H(何中虎). Gliadin composition and their effects on quality properties in spring wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(12): 1796-1801 (in Chinese with English abstract)
- [10] Yang X-J(杨学举), Lu S-Y(卢少源), Zhang R-Z(张荣芝). Relations between protein groups and bread-baking quality characters of wheat. *J Chin Cereals Oils Assoc* (中国粮油学报), 1999, 14(1): 1-5 (in Chinese with English abstract)
- [11] Wieser H, Antes S, Seilmeier W. Quantitative determination of gluten protein types in wheat flour by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Cereal Chem*, 1998, 75: 644-650
- [12] Zhang P-P(张平平), Zhang Y(张勇), Xia X-C(夏先春), He Z-H(何中虎). Protocol establishment of reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC) for analyzing wheat gluten protein. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2007, 40(5): 1002-1009 (in Chinese with English abstract)
- [13] Tang J-W(唐建卫), Liu J-J(刘建军), Zhang P-P(张平平), Zhang Y(张艳), Xiao Y-G(肖永贵), Qu Y-Y(曲延英), Zhang Y(张勇), He Z-H(何中虎). Effects of gluten protein fractions on dough property and products quality in common wheat. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2008, 41(10): 2937-2946
- [14] He Z-F(何照范). Analysis Techniques for Grain Quality of Cereals and Oils (粮油籽粒品质及分析技术). Beijing: Agriculture Press, 1985. pp 37-41 (in Chinese)
- [15] Elpidio P, Angeles B, Consuelo S, Nicolás J. Relationship be-

- tween common wheat (*Triticum aestivum* L.) gluten proteins and dough rheological properties. *Euphytica*, 2005, 143: 169–177
- [16] Eckert R, Berghofer E, Ciclitira P J, Chirido F, Denenry-Papini S, Ellis H J, Ferranti P, Goodwin P, Immer U, Mamone G, Méndez E, Mothes T, Novalín S, Osman A, Rumbo M, Stern M, Thorell L, Whim A, Wieser H. Towards a new gliadin reference material-isolation and characterization. *J Cereal Sci*, 2006, 43: 331–341
- [17] Wieser H, Kieffer R. Correlations of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on a micro-scale. *J Cereal Sci*, 2001, 34: 19–27
- [18] Tang J-W(唐建卫), Liu J-J(刘建军), Zhang P-P(张平平), Zhang Y(张艳), Li H-S(李豪圣), Zhao Z-D(赵振东), Qu Y-Y(曲延英), He Z-H(何中虎). Dough properties and loaf quality stability in wheat cultivar Jimai 20 and their relationship with protein fractions. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(11): 1788–1793 (in Chinese with English abstract)
- [19] Zhang P P, He Z H, Zhang Y, Xia X C, Chen D S, Zhang Y. Association between %SDS-unextractable polymeric protein (%UPP) and end-use quality in Chinese bread wheat cultivars. *Cereal Chem*, 2008, 85: 696–700
- [20] Wieser H, Zimmermann G. Importance of amounts and proportions of high molecular weight subunits of glutenin for wheat quality. *Eur Food Res Technol*, 2000, 210: 324–330
- [21] Zhang P P, He Z H, Zhang Y, Xia X C, Liu J J, Yan J, Zhang Y. Pan bread and Chinese white salted noodle qualities of Chinese winter wheat cultivars and their relationship with gluten protein fractions. *Cereal Chem*, 2007, 84: 370–378
- [22] Lukow O M, Forsyth S A, Payne P I. Over-production of HMW glutenin subunits coded on chromosome 1B in common wheat, *Triticum aestivum*. *J Genet Breed*, 1992, 46: 187–191
- [23] Zhang P P, He Z H, Chen D S, Zhang Y, Oscar R L, Xia X C. Contribution of common wheat protein fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *J Cereal Sci*, 2007, 46: 1–10
- [24] Scanlon M G, Ng P K W, Lawless D E, Bushuk W. Suitability of reversed-phase high-performance liquid chromatographic separation of wheat proteins for long-term statistical assessment of breadmaking quality. *Cereal Chem*, 1990, 67: 395–399
- [25] Weegels P L, Hamer R J, Schofield J D. Functional properties of wheat glutenin. *J Cereal Sci*, 1996, 23: 1–18