

贮藏蛋白组分对小麦面团流变学特性和食品加工品质的影响

唐建卫^{1,2}, 刘建军³, 张平平⁴, 张艳¹, 肖永贵¹, 曲延英², 张勇¹, 何中虎^{1,5}

(¹中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程/国家小麦改良中心, 北京 100081;

²新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; ³山东省农业科学院作物研究所, 济南 250100; ⁴江苏省农业科学院生物技术研究所, 南京 210014;

⁵国际玉米小麦改良中心中国办事处, 北京 100081)

摘要: 【目的】贮藏蛋白组成与组分含量显著影响食品加工品质, 研究贮藏蛋白组分含量对加工品质的影响, 指导小麦品质改良。【方法】选用近几年北方冬麦区育成的优质品种和高代品系及山东省主栽品种为材料, 采用反相高效液相色谱 (RP-HPLC) 和凝胶色谱 (SE-HPLC) 方法对贮藏蛋白组分进行量化, 并分析它们与面团流变学特性、面包、面条和馒头加工品质的关系。【结果】谷蛋白总量 (Glu)、高分子量麦谷蛋白亚基 (HMW-GS) 含量和分子量麦谷蛋白亚基 (LMW-GS) 含量与反映面筋强度的和面时间、稳定时间、拉伸面积和最大抗延阻力呈 1% 显著正相关 ($r = 0.61 \sim 0.83$), 与面包品质均呈显著正相关 ($r = 0.34 \sim 0.85$), 而醇溶蛋白与谷蛋白含量比 (Gli/Glu) 与这些参数均呈显著负相关 ($r = -0.37 \sim -0.85$, $P < 0.05$)。SDS 不溶性谷蛋白聚合体百分含量 (%UPP) 与面团稳定时间和最大抗延阻力呈对数关系, 决定系数分别达 0.84 和 0.86; 与面包总分呈显著正相关 ($r = 0.76$, $P < 0.001$), 决定系数为 0.58。Glu、HMW-GS、LMW-GS 和 %UPP 与面条的色泽、硬度、总分和馒头的光滑度呈 5% 显著负相关 ($r = -0.36 \sim -0.63$), 而 Gli/Glu 与这些参数呈 5% 显著正相关 ($r = 0.37 \sim 0.57$)。醇溶蛋白总量及各组分含量与馒头的压缩张弛性呈 1% 显著正相关, 与馒头的总评分呈显著负相关。【结论】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, 当 Glu 和 %UPP 分别达到 32.5 AU 和 48.9% 时, 面筋强度 (稳定时间大于 10.0 min) 和面包品质较优, 而对面条和馒头品质影响相对较小, 且多为负向效应。

关键词: 普通小麦; 贮藏蛋白; 面包品质; 面条品质; 馒头品质

Effects of Gluten Protein Fractions on Dough Property and Products Quality in Common Wheat

TANG Jian-wei^{1,2}, LIU Jian-jun³, ZHANG Ping-ping⁴, ZHANG Yan¹, XIAO Yong-gui¹,
QU Yan-ying², ZHANG Yong¹, HE Zhong-hu^{1,5}

(¹Institute of Crop Sciences / National Key Facility for Crop Gene Resource and Genetic Improvement / National Wheat Improvement Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ²College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052; ³Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100; ⁴Agricultural Biology and Technology Institute, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014; ⁵CIMMYT China Office, Beijing 100081)

Abstract: 【Objective】The quantity of gluten protein fractions significantly influences wheat end-products quality, therefore, understanding of the effects of gluten protein fractions on products quality will be very useful for quality improvement. 【Method】Totally, 43 wheat genotypes including newly released high quality cultivars and advanced lines in North China winter wheat region and leading cultivars in Shandong province, were grown in Jinan in 2005-2006. Their protein fractions were quantified by reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC) and size-exclusion high-performance liquid chromatography (SE-HPLC) methods to determine the relationship between protein fractions and dough properties and end-products. 【Result】The

收稿日期: 2007-07-26; 接受日期: 2007-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30600393); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目 (2002CB111300); “863”重大专项 (2006AA100102); 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD01A02) 和“948”重大国际合作项目 (2006-G2)

作者简介: 唐建卫 (1979-), 男, 河北邯郸县人, 硕士, 研究方向为小麦品质遗传育种。刘建军 (1963-), 男, 山东威海人, 研究员, 研究方向为小麦品质遗传育种。通讯作者何中虎 (1963-), 男, 陕西蒲城人, 研究员, 博士, 研究方向为小麦遗传育种。Tel: 010-68918547; E-mail: zhhe@public3.bta.net.cn

quantity of total glutenin, HMW-GS and LMW-GS were significantly and positively correlated with mixograph peak value, farinograph stability, extensograph extension area and maximum resistance, with $r=0.61-0.83$ ($P<0.001$), and they were significantly and positively associated with all bread quality parameters, with $r=0.34-0.85$ ($P<0.05$ or $P<0.001$). But the ratio of Gli/Glu was significantly and negatively correlated with these parameters, with $r=-0.37--0.85$ ($P<0.05$ or $P<0.001$). The percent of SDS-unextractable glutenin polymeric protein (%UPP) showed natural logarithm correlation with dough stability and maximum resistance, $R^2=0.84$ and 0.86 , respectively, %UPP was significantly and positively associated with bread total score, with $r=0.76$ ($P<0.001$). The quantity of total glutenin, HMW-GS, LMW-GS and %UPP were significantly and negatively correlated with noodle color, firmness, total score and steamed bread smoothness, with $r=-0.36--0.63$ ($P<0.05$ or $P<0.001$), but the ratio of Gli/Glu was significantly and positively associated with these parameters, with $r=0.37-0.57$ ($P<0.05$). The quantity of total gliadin was significantly and positively related with steamed bread stress relaxation, with $r=0.54$ ($P<0.001$), but was significantly and negatively correlated with steamed bread total score, with $r=-0.49$ ($P<0.001$).【Conclusion】Gluten protein fractions content had strong influence on dough properties and bread quality, but had slight effect on noodle quality and steamed bread, and were negatively correlated. When the quantity of total glutenin and %UPP were more than 32.5 AU and 48.9%, respectively, genotypes showed very good dough property with stability of ten minutes and bread quality.

Key words: Common wheat; Gluten protein; Bread quality; Noodle quality; Steamed bread quality

0 引言

【研究意义】贮藏蛋白是小麦品质研究的重要内容。到目前为止,中国小麦加工品质改良仍以优质亚基的评价和利用为主^[1,2],而对贮藏蛋白组分含量与加工品质的关系研究较少。已有研究表明,贮藏蛋白组分含量及比例与加工品质关系密切^[3-6],因此,深入研究贮藏蛋白组分及其与中国食品加工品质的关系,对小麦品质改良具有重要的理论意义和实际应用价值。

【前人研究进展】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)对加工品质具有重要作用,其组成由基因型决定。优质亚基组合为N或1、7+8、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3d*,而含有1、20、2+12、*Glu-A3a*、*Glu-B3j*等亚基组合面团品质较差^[7]。然而,在实践中经常出现一些具有优质亚基的基因型,但其加工品质一般,这可能与亚基表达量有关。Sutton和Kolster等研究显示,烘烤品质优良的小麦品种的HMW-GS绝对表达量和相对表达量均高于烘烤品质较差的品种^[8,9]。朱金宝等认为提高HMW-GS表达量,有助于改良面包烘烤品质^[10]。Huang和Khan表明,HMW-GS表达量与面包体积呈正相关^[11],但Hamer等认为,HMW-GS表达量并不能完全解释小麦烘烤品质的差异^[12],x和y型亚基表达量对沉降值的影响不同,y型亚基具有正向作用,x型亚基具有负向作用^[10]。刘丽等认为,HMW-GS表达量与SDS沉降值的相关性并不高,HMW-GS的表达量可能是通过GMP(谷蛋白大聚体,glutenin macro-polymer)含量间接影响加工品质^[2]。醇溶蛋白含量占贮藏蛋白

总量的50%,与面团的粘性和延伸性有关,醇溶蛋白总量及其与谷蛋白组分含量的比例对加工品质的影响更重要^[13,14]。Uthayakumaran等表明,麦谷蛋白与醇溶蛋白的比例增大时,和面时间、最大抗延阻力和面包体积增加,而延展性降低^[15]。Gupta等用凝胶色谱法(SE-HPLC)研究表明,GMP含量与最大抗延阻力、和面时间、面团形成时间及粘弹性的正相关均达1%显著水平^[16]。赵会贤等表明,麦谷蛋白聚合体粒度分布与和面仪的和面时间呈显著正相关,与峰高呈显著负相关^[17]。这表明,GMP是反映蛋白质数量和质量的综合指标。【本研究切入点】张平等在国内建立了适合中国小麦品种贮藏蛋白组分定量分析的反相高效液相色谱(RP-HPLC)分析体系,为贮藏蛋白组分量化及与加工品质关系的研究提供了有效方法^[18]。麦谷蛋白表达量与面团特性和面包加工品质关系密切,LMW-GS含量可解释面团最大抗延阻力变异的83.3%,面包总分变异的50.4%;Glu/Gli比值与面团和面包品质显著正相关,而HMW/LMW比值与面团、面包和馒头相关不显著^[3-5]。唐建卫等^[6]对面包面条兼用型小麦品种济麦20在不同环境下的样品进行了研究,认为贮藏蛋白组分含量显著影响面团流变学特性,HMW-GS含量和HMW/LMW比值与面包体积均呈显著正相关,增加不溶性谷蛋白聚合体占谷蛋白总量的百分比可显著提高面包综合品质。上述工作主要研究了麦谷蛋白组分与面团流变学特性和个别食品品质间的关系,对醇溶蛋白只进行了初步探讨,未对基因型间醇溶蛋白与加工品质的关系进行深入分析。因此,有必要综合分析RP-HPLC、SE-HPLC(凝胶高效液相

色谱) 参数和面团流变学特性、面包、面条及馒头加工品质的关系, 明确在同一条件下品种间蛋白质组分变异对各种不同品质指标的影响, 在此基础上, 尽可能简化组分的量化指标, 以便于品种选育。【拟解决的关键问题】本试验选用近几年北方冬麦区育成的优质品种和高代品系及山东省主栽品种为材料, 在对其加工品质进行统一评价的同时, 试图进一步明确贮藏蛋白组分含量与面团流变学特性和食品加工品质的关系, 为改良中国小麦品质提供理论指导。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

选取近几年北方冬麦区育成的优质品种和高代品系及山东省主栽品种共 43 份, 于 2005~2006 年度种植在山东省农业科学院作物研究所试验田, 田间种植为随机区组设计, 2 次重复, 每小区 6 行, 行长 4 m, 行距 0.2 m, 管理同当地大田生产。收获后, 将 2 次重复籽粒混匀, 用于品质分析。所用材料及其高低分子量亚基组成和含量见表 1。

1.2 品质测试方法

品质分析在中国农业科学院作物科学研究所国家小麦改良中心品质实验室进行, 用单籽粒谷物特性测试仪 (SKCS 4100 Perten Instruments AB, Sweden) 测定籽粒硬度, 硬度值越大, 表示硬度越大。根据硬度分级将籽粒含水量分别调至 16.5% (硬质), 15.5% (混合型) 和 14.5% (软质), 用 Buhler 实验磨 (瑞典 BUHLER 公司) 按 AACC 26-20 制粉^[19], 为综合评价加工品质, 将出粉率调整到 65%。面粉蛋白质含量 (14%湿基) 用近红外 (NIR) 分析仪测定 (Instalab610, NIR Product Analyzer, Dickey-john Co. Ltd, USA), 参照 AACC 39-10A 方法。面粉水分、Zeleny 沉淀值、降落值 (Falling number 1900, 波通公司, 瑞典)、粉质仪参数和拉伸仪 (德国 Brabender 公司) 参数分别按 AACC 44-15A、56-61A、56-81B、54-21 和 54-10 测定, 粉质仪和拉伸仪测定指标有吸水率、形成时间、稳定时间、拉伸面积、延伸性和最大抗延阻力, 所有利用的样品降落数值均大于 250 s。和面仪 (美国 Nationalmfg 公司) 参数按 AACC 方法 54-40A 测定, 主要指标有和面时间, 8 分钟带宽等。面包制作与评价参考 BRI (澳大利亚面包研究所) 面团长发酵法 (180 min)^[20], 评价指标包括面包体积、颈高、外观、质地、结构、心色和总评分; 白盐面条制作与评价参照雷激等方法^[21], 评价指标包括色泽、表面状况、硬度、

粘弹性、光滑性、食味和总评分; 馒头制作与评价参考陈东升等方法^[22], 评价指标包括压缩张弛性、体积、比容、外部颜色、内部颜色、延展率、表面亮度、光滑度、结构和总评分。

1.3 贮藏蛋白组分分离及含量测定

麦谷蛋白亚基分离, 参考刘丽等^[23], 结果见表 1。贮藏蛋白组分量化参考张平等^[18]的反相高效液相色谱法 (RP-HPLC) 和 Larroque 等^[24]的凝胶高效液相色谱法 (SE-HPLC)。RP-HPLC 可测定醇溶蛋白和谷蛋白总量及亚基含量, SE-HPLC 可测定不溶性谷蛋白聚合体占谷蛋白总量的百分比 (percent SDS-unextractable polymeric protein, %UPP)。

1.4 统计分析

用 SAS version 8.0 统计分析软件进行基本统计量和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 小麦品质性状及贮藏蛋白组分含量变异

将 43 份小麦品种的主要品质性状及贮藏蛋白组分含量的平均值、变幅和变异系数列表 2。可以看出, 基因型间品质性状变异较大, 籽粒硬度平均值为 51.9, 变幅为 8.8~72.1。蛋白质含量平均值为 12.1%, 变幅为 8.7%~13.9%。Zeleny 沉降值的平均值为 43.5 ml, 变幅为 20.0~65.3 ml。反映面筋强度的和面仪和面时间、粉质仪稳定时间和拉伸仪最大抗延阻力的平均值为 2.6 min、8.5 min 和 319.8 BU, 变异系数分别为 34.9%、93.0%和 54.2%, 其中强筋 (稳定时间 \geq 10 min) 12 个, 分别为农大 393、农大 738、临优 145、中优 9844-9、中优 206、西农 4211-0-0-30、临优 2069、农大 179、农大 04260282、CA0349、CA0368 和中优 9507, 中筋 22 个, 弱筋 (稳定时间 \leq 3.0 min) 9 个。表明基因型间蛋白质数量和质量变异较大。

醇溶蛋白和低分子量谷蛋白亚基是贮藏蛋白的主要部分, 分别为 69.1 AU 和 22.5 AU, 占总贮藏蛋白含量的 69.9%和 22.7%, 而高分子量谷蛋白亚基的总量为 7.3 AU, 仅占 7.4%。不同基因型间谷蛋白总量 (Glu) 变异较大, 为 20.0~39.6 AU, 最大值是最小值的 2 倍; HMW-GS 和 LMW-GS 变幅分别为 4.0~10.0 AU 和 14.3~30.2 AU, x 和 y 型高分子量谷蛋白亚基含量变幅分别为 2.8~8.0 AU 和 0.9~2.5 AU, 表明通过育种途径改良麦谷蛋白组分含量是可行的。不同基因型间的 Gli 含量变异相对较小, 为 51.5~84.2 AU, 其中 ω 型醇溶蛋白含量变异最大, 变幅为 3.3~13.6

表 1 试验材料及其高低分子量麦谷蛋白亚基组成及含量

Table 1 Composition and quantity of HMW-GS and LMW-GS of experiment materials

编号 No.	基因型 Genotype	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu</i> ¹⁾	HMW-GS ¹⁾	LMW-GS ¹⁾	%UPP	面包体积 Loaf volume
1	中优 206 Zhongyou 206	1	7+9	5+10	c	g	31.3	6.6	24.7	53.1	673
2	中优 9507 Zhongyou 9507	1	7+9	5+10	d	b	36.8	8.1	28.8	50.5	736
3	中优 9844-9 Zhongyou 9844-9	1	7+8	5+10	a	d	36.7	9.1	27.6	53.8	738
4	CA0368	1	7+9	5+10	d	b	35.2	8.5	26.8	50.1	770
5	CA0349	1	7+9	2+12	d	j	31.8	8.5	23.3	50.4	813
6	CA0399	2*	7+9	2+12	d	g	26.2	6.5	19.7	39.2	703
7	04CA69	1	20	5+10	d	i	28.8	7.5	21.3	46.6	733
8	农大 135 Nongda 135	1	20	2+12	d	g	35.6	8.5	27.1	48.7	760
9	农大 179 Nongda 179	1	20	2+12	d	g	37.6	9.4	28.2	51.4	740
10	农大 393 Nongda 393	1	7+8	2+12	d	d	39.4	9.1	30.2	59.3	719
11	农大 738 Nongda 738	1	7+8	5+10	c	g	34.5	8.6	25.9	56.7	696
12	农大 04260282 Nongda 04260282	1	7+9	2+12	a	g	32.9	7.5	25.5	48.0	758
13	临汾 138 Linfen 138	2*	7+8	2+12	d	g	31.4	8.8	22.6	49.0	711
14	临汾 139 Linfen 139	1	7+9	5+10	c	g	25.7	7.0	18.7	44.2	737
15	临优 145 Linyou 145	1	7+8	2+12	a	b	39.6	9.8	29.8	51.9	768
16	临优 2069 Linyou 2069	1	20	5+10	c	g	35.7	9.0	26.7	48.4	708
17	临汾 6510 Linfen 6510	1	20	2+12	a	g	30.8	7.5	23.2	40.7	697
18	冀师 02-1 Jishi 02-1	1	7+9	5+10	b	g	32.5	8.4	24.1	49.5	761
19	郑麦 005 Zhengmai 005	N	7+8	2+12	d	d	33.3	7.4	25.9	43.1	738
20	郑麦 366 Zhengmai 366	1	7+8	5+10	a	d	29.7	6.9	22.7	46.7	737
21	郑麦 98 Zhengmai 98	1	7+8	5+10	c	j	26.6	7.6	19.0	43.3	685
22	西农 979 Xinong 979	1	7+8	2+12	a	d	30.3	7.6	22.8	50.3	643
23	西农 4211-0-0-30 Xinong 4211-0-0-30	1	7+8	2+12	a	d	29.2	7.7	21.6	47.9	623
24	西农 9718-5-6-10 Xinong 9718-5-6-10	1	7+8	2+12	a	d	30.3	7.4	22.9	46.2	610
25	PH01-24	N	20	5+10	d	d	32.2	5.8	26.4	51.4	775
26	PH3259	N	20	5+10	d	d	30.7	5.3	25.4	50.5	723
27	荷麦 9735 Hemai 9735	1	7+9	2+12	c	g	27.4	7.0	20.5	49.0	753
28	山东 954072-1 Shandong 954072-1	1	13+16	5+10	d	b	37.4	10.0	27.3	49.8	760
29	济南 17 Jinan 17	1	7*+8	4+12	a	g	28.0	7.0	21.0	44.9	700
30	济麦 20 Jimai 20	1	13+16	4+12	d	b	30.1	6.9	23.2	50.6	728
31	济麦 19 Jimai 19	1	7*+8	2+12	c	g	25.9	6.4	19.5	42.9	680
32	济麦 21 Jimai 21	N	20	5+10	a	j	25.3	6.6	18.7	39.4	678
33	济麦 22 Jimai 22	N	7+8	4+12	a	g	21.7	4.0	17.7	27.9	648
34	济南 16 Jinan 16	1	7+8	2+12	a	j	20.0	5.7	14.3	32.6	690
35	临麦 2 号 Linmai 2	1	20	2+12	c	j	22.6	5.9	16.7	32.2	630
36	鲁麦 14 Lumai 14	1	7+9	4+12	c	j	24.7	7.1	17.6	35.8	708
37	鲁麦 21 Lumai 21	1	7+8	4+12	a	d	20.7	4.6	16.2	35.5	638
38	山农 664 Shannong 664	1	7+8	4+12	c	j	21.3	5.9	15.4	31.4	685
39	泰山 22 Taishan 22	1	7+9	2+12	c	j	24.7	5.6	19.1	31.0	693
40	泰山 23 Taishan 23	1	7+8	2+12	c	g	25.4	5.4	20.0	31.4	693
41	潍麦 8 Weimai 8	N	7+9	2+12	a	j	23.7	6.1	17.6	31.8	605
42	烟农 19 Yannong 19	1	17+18	5+10	a	h	26.0	6.3	19.7	40.7	718
43	淄麦 12 Zimai 12	1	7+9	5+10	a	d	30.6	7.9	22.7	43.6	833

1) 贮藏蛋白组份含量换算为 10^6 AU·mg⁻¹ 面粉, 表示为 AU。下同1) Quantity of protein fractions was showed 10^6 absorbance units of HPLC corresponding to 1 mg of flour, abbreviated with AU. The same as below

AU, 组分比值 Gli/Glu 和%UPP 的变幅分别为 1.62~3.38 和 27.9%~59.3%。贮藏蛋白组分含量在基因型间

的差异可能是加工品质变异的原因之一。

从表 2 还可以看出,除色泽外(变异系数为 14.2%),

表 2 小麦品质性状的平均值、变幅和变异系数

Table 2 Mean, range, and coefficients of variance of wheat quality traits

类型 Classification	参数 Parameter	均值 Mean	变幅 Range	变异系数 CV (%)
面团流变学特性 Dough property	籽粒硬度 Grain hardness	51.9	8.80~72.1	30.8
	面粉蛋白质含量 Flour protein content (14% mb, %)	12.1	8.70~13.9	8.8
	Zeleny 沉降值 Zeleny sedimentation (14% mb, ml)	43.5	20.00~65.3	28.6
	和面时间 Peak time (min)	2.6	1.28~5.18	34.9
	形成时间 Development time (min)	5.1	2.20~13.0	41.6
	稳定时间 Stability (min)	8.5	1.20~42.3	93.0
	拉伸面积 Extension area (cm ²)	87.5	11.20~197.6	51.8
	延伸性 Dough extensibility (mm)	203.6	163.40~252.6	10.1
	最大抗延阻力 Maximum resistance (BU)	319.8	42.00~788.7	54.2
蛋白组分含量及比例 Quantity and ratios of protein fractions	醇溶蛋白总量 Gli (AU)	69.1	51.50~84.2	10.3
	ω 型醇溶蛋白含量 ω (AU)	8.3	3.30~13.6	27.0
	$\alpha\beta$ 型醇溶蛋白含量 $\alpha\beta$ (AU)	36.4	28.50~44.8	10.3
	γ 型醇溶蛋白含量 γ (AU)	24.4	17.80~30.1	11.3
	谷蛋白总量 Glu (AU)	29.8	20.00~39.6	17.6
	高分子量谷蛋白亚基含量 HMW-GS (AU)	7.3	4.00~10.0	19.1
	x 型高分子量谷蛋白亚基含量 x-HMW (AU)	5.6	2.80~8.0	21.0
	y 型高分子量谷蛋白亚基含量 y-HMW (AU)	1.6	0.90~2.5	24.0
	低分子量谷蛋白亚基含量 LMW-GS (AU)	22.5	14.30~30.2	18.3
	醇溶蛋白与谷蛋白含量比例 Gli/Glu	2.35	1.62~3.38	18.6
	高分子量与低分子量谷蛋白亚基含量比例 HMW/LMW	0.33	0.21~0.40	14.0
	SDS 不溶性谷蛋白聚合体百分含量 %UPP	44.7	27.90~59.3	17.4
面条品质 Noodle quality	色泽 Color	10.2	8.00~13.0	14.2
	表面状况 Appearance	7.4	5.30~8.7	11.1
	硬度 Firmness	13.3	10.50~16.3	11.3
	粘弹性 Viscoelasticity	20.5	16.50~24.5	9.8
	光滑性 Smoothness	10.4	7.90~12.3	9.6
	食味 Flavor	7.5	6.50~8.5	5.4
	总分 Total score	68.5	58.10~78.3	7.0
面包品质 Pan bread quality	体积 Bread volume (ml)	712	605.00~833	7.2
	颈高 Oven spring	1.7	0.00~3.5	50.8
	外观 Exterior appearance	5.3	2.00~7.0	24.4
	质地 Interior texture	8.7	3.00~13.5	29.9
	结构 Interior structure	8.8	3.00~12.0	25.3
	心色 Crumb color	9.0	4.20~12.6	21.0
	总分 Bread score	56.0	30.40~72.5	16.1
馒头品质 Steamed bread quality	压缩张弛性 Stress relaxation	23.2	16.90~34.5	22.8
	体积 Steamed bread volume (ml)	202	150.00~240	11.1
	比容 Specific volume	2.04	1.54~2.41	10.6
	外部颜色 Skin	0.3526	0.3436~0.3772	1.7
	内部颜色 Crumb color	0.3486	0.3401~0.368	1.9
	延展率 Spread ratio	1.57	1.36~1.85	6.4
	表面亮度 Shininess	3.9	3.00~4.6	12.1
	光滑度 Smoothness	6.2	2.00~9.5	32.5
	结构 Structure	7.2	0.00~9.0	24.3
	总评分 Score	53.2	20.50~76.5	29.4

基因型间面条品质差异较小。面包品质参数中,除面包体积变异系数较小外(变幅为 605~833 ml,变异系数为 7.2%),其余参数变异较大,如面包总分变幅为 30.4~72.5,变异系数达 16.1%;面包颈高和质地变异系数分别为 50.8%和 29.9%。馒头品质中色泽和延展率的变异系数较小,均小于 10%,其它性状变异均较大,如馒头压缩张弛性、光滑度和总评分变异系数分别为 22.8%、32.5%和 29.4%。在供试品种中,面包品质表现最好的为淄麦 12,总评分为 72.5,其次为山东 954072-1、PH01-24、农大 179 和中优 9507;面条品质较好品种为临汾 139、CA0368 和济麦 21,评分均在 75 分以上;馒头品质较好的为泰山 22、西农 979、中优 9844-9、济麦 19 和鲁麦 21,评分均在 71 分以上;面包面条二者都较好的品种有 CA0368、农大 04260282、济麦 20 和郑麦 366;面包、面条和馒头三者都较好的品种为济麦 20。

2.2 贮藏蛋白组分含量对面团流变学特性的影响

贮藏蛋白组分含量与面团流变学特性间相关系数列于表 3。可以看出,贮藏蛋白各组分含量与面粉蛋白质含量和面团流变学特性的关系不同。RP-HPLC 参数 Gli、 ω 、 $\alpha\beta$ 和 γ 与蛋白质含量的相关系数皆达 1% 显著水平, $\alpha\beta$ 与和面时间和最大抗延阻力呈 1% 显著负相关,与其它多数性状相关不显著。Glu (图-A)、HMW-GS 和 LMW-GS 含量与反映面筋强度的和面仪和面时间、形成时间、稳定时间、拉伸面积和最大抗延阻力呈 0.1% 显著正相关($r=0.61\sim 0.83$),可解释其变异的 37.0%~69.5%;而 Gli/Glu 比值与这些参数均呈 0.1% 显著负相关($r=-0.57\sim -0.85$),可解释其变异的 32.9%~72.1%。HMW/LMW 与面团流变学

特性相关均不显著,进一步考察各品种 HMW/LMW,发现一些品种的 HMW/LMW 相同,但是面团流变学特性差异较大,如 CA0399 和农大 738,它们的 HMW/LMW 均为 0.33,而稳定时间和最大抗延阻力分别为 3.0 min、31.8 min 和 135.6 BU、678.2 BU, HMW-GS 和 LMW-GS 含量分别为 6.5、8.6 AU 和 19.7、25.9 AU,表明面团流变学特性与组份含量有关。x 型高分子量谷蛋白亚基含量与面团流变学特性多呈显著正相关($r=0.51\sim 0.68$),而 y-HMW 与面团流变学特性相关多不显著。

SE-HPLC 参数%UPP 与面团流变学特性(延伸性除外)呈 0.1% 显著正相关,相关系数为 0.66~0.89。进一步分析表明,%UPP 与面团的稳定时间和最大抗延阻力(图-B)呈对数关系,决定系数分别达 0.84 和 0.86,是反映面团强度的较好指标。总之,贮藏蛋白组分中谷蛋白总量(Glu 与 HMW-GS 和 LMW-GS 含量的相关系数为 0.85 和 0.98 ($P<0.001$))和%UPP 是影响面筋强度的主要原因,这两个指标的变化会对加工品质产生重要影响。根据拟和曲线计算,Glu 和%UPP 分别大于 30.5 AU 和 45.7% 时,面团达到中强筋水平(稳定时间大于 7.0 min),大于 32.5 AU 和 48.9% 时,面团达到强筋水平(稳定时间大于 10.0 min)。

2.3 贮藏蛋白组分含量对面包品质的影响

从表 3 中还可以看出,多数贮藏蛋白组分含量与面包品质显著相关。Glu 和 HMW-GS、LMW-GS 与面包品质各指标呈显著正相关,与面包总分的相关系数分别为 0.73、0.60 和 0.73 ($P<0.001$),可解释其变异的 36.4%~54.0%;而 Gli/Glu 与面包品质均呈显

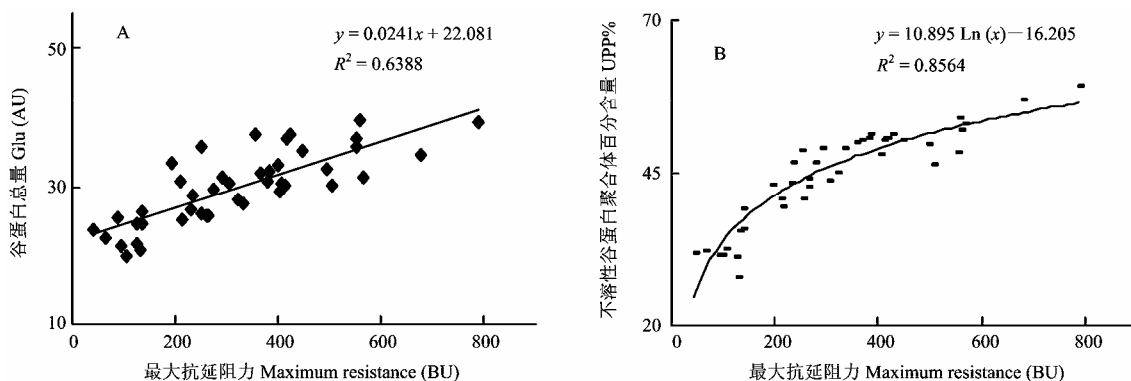


图 Glu (A) 和%UPP (B) 与最大抗延阻力的关系

Fig. Association of Glu(A) and %UPP(B) with maximum resistance

表 3 贮藏蛋白组分含量与加工品质间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between protein fractions and products quality

分类 Category	参数 Parameter	Gli	ω	$\alpha\beta$	γ	Glu	HMW-GS	x-HMW	y-HMW	LMW-GS	Gli/Glu	HMW/LMW	%UPP
面团流变学特性 Dough properties	面粉蛋白质 Flour protein content	0.72***	0.46**	0.56***	0.73***	0.74***	0.64***	0.57***	0.40**	0.72***	-0.32*	-0.07	0.47**
	和面时间 Peak time	-0.14	-0.01	-0.42**	0.22	0.72***	0.61***	0.63***	0.31	0.71***	-0.76***	-0.11	0.84***
	形成时间 Development time	0.25	0.22	0.05	0.40**	0.71***	0.67***	0.66***	0.28	0.68***	-0.57***	0.02	0.66***
	稳定时间 Stability	-0.08	0.10	-0.30*	0.12	0.70***	0.61***	0.61***	0.41**	0.68***	-0.67***	-0.07	0.73***
	拉伸面积 Extension area	-0.09	-0.01	-0.36*	0.26	0.83***	0.68***	0.68***	0.34*	0.83***	-0.85***	-0.16	0.89***
	延伸性 Dough extensibility	0.18	-0.10	0.16	0.34*	0.39*	0.24	0.15	0.21	0.41**	-0.28	-0.24	0.20
面包品质 Pan bread quality	最大抗延阻力 Maximum resistance	-0.15	-0.03	-0.41**	0.19	0.80***	0.66***	0.67***	0.34*	0.79***	-0.84***	-0.15	0.89***
	体积 Bread volume	0.30*	0.15	0.18	0.42**	0.54***	0.48**	0.51***	0.08	0.52***	-0.37*	0.00	0.47**
	颈高 Oven spring	-0.21	-0.14	-0.28	-0.05	0.44**	0.34*	0.39*	0.20	0.45**	-0.55***	-0.13	0.57***
	外观 Exterior appearance	0.19	0.03	0.02	0.44**	0.85***	0.77***	0.73***	0.43**	0.82***	-0.74***	-0.04	0.74***
	质地 Interior texture	0.06	-0.18	0.02	0.27	0.57***	0.46**	0.41**	0.22	0.57***	-0.57***	-0.14	0.62***
	结构 Interior structure	0.02	-0.12	-0.09	0.28	0.60***	0.47**	0.48**	0.13	0.60***	-0.6***	-0.13	0.65***
面条品质 Noodle quality	心色 Crumb color	-0.05	-0.10	-0.19	0.21	0.64***	0.49***	0.46**	0.20	0.64***	-0.68***	-0.17	0.71***
	总分 Bread score	0.09	-0.08	-0.04	0.34	0.73***	0.60***	0.59***	0.24	0.73***	-0.7***	-0.13	0.76***
	色泽 Color	-0.14	-0.25	-0.10	-0.04	-0.46**	-0.48**	-0.43**	-0.34*	-0.42**	0.37*	-0.10	-0.37*
	硬度 Firmness	0.14	0.10	0.26	-0.10	-0.52***	-0.38*	-0.36*	-0.30	-0.53***	0.57***	0.20	-0.46**
	粘弹性 Viscoelasticity	0.33*	0.25	0.17	0.43**	0.02	0.05	0.11	-0.02	0.01	0.14	0.07	-0.05
	光滑性 Smoothness	-0.14	-0.19	-0.03	-0.17	-0.32*	-0.17	-0.20	0.20	-0.35*	0.20	0.20	-0.27
馒头品质 Steamed bread quality	总分 Total score	0.08	-0.03	0.08	0.12	-0.43**	-0.36*	-0.31	-0.19	-0.42**	0.42**	0.08	-0.29
	压缩张弛性 Stress relaxation	0.54***	0.43**	0.45**	0.46**	0.13	0.21	0.17	-0.08	0.09	0.19	0.20	0.02
	体积 Steamed bread volume	-0.32*	-0.45**	-0.22	-0.18	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	-0.25	-0.06	0.11
	比容 Specific volume	-0.35*	-0.47**	-0.19	-0.26	-0.14	-0.14	-0.11	0.01	-0.13	-0.11	-0.05	-0.04
	延展率 Spread ratio	0.38*	0.36*	0.29	0.30*	0.44**	0.39**	0.37*	0.18	0.42**	-0.22	0.01	0.34*
	表面亮度 Shininess	-0.01	-0.08	0.11	-0.11	-0.28	-0.24	-0.24	-0.4**	-0.28	0.26	0.07	-0.17
	光滑度 Smoothness	-0.23	-0.30*	0.02	-0.39*	-0.63***	-0.50***	-0.54***	-0.08	-0.63***	0.47**	0.12	-0.53***
	结构 Structure	-0.22	-0.46**	-0.07	-0.10	-0.08	-0.10	-0.13	0.03	-0.07	-0.10	-0.08	0.04
总评分 Score	-0.49***	-0.52***	-0.33*	-0.39**	-0.25	-0.30	-0.31*	0.04	-0.21	-0.06	-0.17	-0.13	

*、**和***分别表示 0.05、0.01 和 0.001 显著水平

*, ** and *** indicate significance at 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively

显著负相关, 相关系数为 $-0.37\sim-0.74$ ($P<0.05$); HMW/LMW 与面包品质相关不显著, 也表明面包品质只与组份含量有关, 如淄麦 12 和潍麦 8 的 HMW/LMW 均为 0.35, 而面包体积分别为 833 和 605 ml, HMW-GS 和 LMW-GS 含量分别为 7.9、6.1 AU 和 22.7、17.6 AU。x-HMW 与面包品质各指标呈显著正相关 ($r=0.39\sim 0.73$), 而 y-HMW 仅与外观呈显著正相关, 相关系数为 0.43 ($P<0.05$)。除 γ 型醇溶蛋白与面包体积和外观呈 1% 显著正相关外 ($r=0.42\sim 0.44$), 醇溶蛋白总量及其他各组分含量与面包品质相关多不显著。表明, 面包品质主要受谷蛋白组分含量的影响, 受醇溶蛋白含量的影响较小。

%UPP 与面包品质呈显著正相关且多为强相关, 如与面包体积、外观和总分的相关系数为 0.47 ($P<0.01$)、0.74 和 0.76 ($P<0.001$), 表明 %UPP 也可以较好地反映面包品质。

面团流变学特性与面包品质多呈显著正相关 (详细数据未列出), 其中面包体积与形成时间的相关系数最高, 为 0.50 ($P<0.001$), 面包总分与拉伸面积相关系数最高, 为 0.65 ($P<0.001$), 均比贮藏蛋白组分含量与面包品质的相关系数小, 这说明组分含量比面团流变学特性能给出更多的面包品质信息, 根据拟和曲线计算, Glu 和 %UPP 分别大于 31.5 AU 和 47.3% 时, 评分大于 60 分, 面包品质将达到较好水平。

2.4 贮藏蛋白组分含量对面条品质的影响

从表 3 可以看出, 除个别指标外, 贮藏蛋白组分含量对面条品质的影响相对较小。如 Gli 和 γ -Gli 与面条的粘弹性呈 5% 显著正相关, 与其他指标相关不显著。Glu、HMW-GS、x-HMW 和 LMW-GS 与面条的色泽、硬度、总分呈显著负相关 ($r=-0.36\sim-0.53$, $P<0.05$), 而 Gli/Glu 与这些参数呈显著正相关, 相关系数为 0.37~0.57 ($P<0.05$)。%UPP 与面条色泽和硬度的相关系数分别为 -0.37 ($P<0.05$) 和 -0.46 ($P<0.01$)。

2.5 贮藏蛋白组分含量对馒头品质的影响

贮藏蛋白组分含量对馒头品质的影响介于面包与面条之间 (表 3), 如醇溶蛋白总量及组分含量与馒头压缩张弛性呈 1% 显著正相关, 相关系数为 0.43~0.54; 而与馒头总分呈显著负相关, 相关系数为 -0.33 ($P<0.05$)~ -0.52 ($P<0.001$)。Glu、HMW-GS、x-HMW 和 LMW-GS 与馒头延展率呈显著正相关, 相关系数为 0.37~0.44 ($P<0.05$), 与馒头光滑度呈 0.1% 显著负相关, 相关系数分别为 -0.63 、 -0.5 、 -0.54

和 -0.63 。馒头体积和比容与 Gli 和 ω 型醇溶蛋白呈显著负相关 ($r=-0.32\sim-0.47$, $P<0.05$ 或 0.01), 而与谷蛋白及组分含量相关不显著。%UPP 与馒头光滑度呈 0.1% 显著负相关, 相关系数为 -0.53 。表明贮藏蛋白组分含量对馒头品质均有负面影响, 醇溶蛋白对馒头品质比谷蛋白影响较大。

3 讨论

麦谷蛋白和醇溶蛋白含量对面团特性和面包加工品质具有重要影响, 是解释和预测面包加工品质的重要指标。在本研究中, Glu、HMW-GS、x-HMW、LMW-GS 和 %UPP 与揉混仪、粉质仪和拉伸仪反映面团筋强度的指标参数呈显著正相关, 这与前人结果相一致^[3,5,6]。HMW/LMW 比值与品质性状相关性均较弱, 这与张平平等的结果相一致^[3], 而对 1B/1B 型春麦和同一基因型研究认为, HMW/LMW 比值与面团强度和面包、馒头评分呈显著正相关^[5,6], 这可能与材料的 Glu 含量变异较小有关, 它们材料 Glu 含量的变异系数均小于 10%。由于 Glu 与 HMW-GS 和 LMW-GS 含量呈极显著正相关, 这 3 个变量的同时增大或减小均可以保持 HMW/LMW 比值不变, 由此可见 HMW/LMW 比值在预测面团流变学特性和面包加工品质方面的作用有限。

前人研究表明, 醇溶蛋白含量与面团延伸性呈显著正相关, 与其它面团特性相关性较弱^[4], γ 型醇溶蛋白对面团特性和面包加工品质有重要贡献^[25,26], 在对同一基因型的研究中, 醇溶蛋白及其主要组分 $\alpha\beta$ 、 γ 型醇溶蛋白与面团特性关系密切, 显著正向影响面团形成时间和延伸性^[6]。而本研究结果与以前的结果不完全一致, 可能是由于麦谷蛋白总量及组分含量主要由基因型决定, 贮藏蛋白总量与醇溶蛋白总量受环境影响较大有关^[3]。在同一基因型中, 谷蛋白含量相对变异较小的情况下, 醇溶蛋白含量的增加也就增加了面团的延伸性, 而在不同基因型中, 由于谷蛋白含量变异较大, 且对面团结构起主要作用, 使醇溶蛋白与面团特性相关性表现较弱。

贮藏蛋白组分含量对面包、面条和馒头的不同影响, 醇溶蛋白对面包和面条的影响较馒头小得多, 且对馒头皆为负向影响。这表明面包品质对蛋白质的数量和质量要求较高, 受面筋强度影响较大。机制馒头对蛋白质的要求与面包相似, 但对手工馒头来说, 较强面筋的品种容易使馒头发生凝胶现象, 因此蛋白质含量中等的, 中-弱筋品种更为合适。面条品种要求面

筋强度中等偏强, 延展性好, 淀粉糊化特性好, 多酚氧化酶活性和黄色素含量低, 硬度中等偏软等^[27]。但本研究仅为一年数据, 且材料主要为北方冬麦区的品种或品系, 主要反映了基因型间差异对贮藏蛋白组分和加工品质的影响, 至于春麦品种间贮藏蛋白组分与加工品质间是否有同样关系, 还有待进一步研究。

蛋白质含量、面筋含量和沉降值一直是育种单位常用的预测指标, 籽粒硬度也是重要的品质特性之一。这些指标具有用样量少、早代选择有效的特点, 但受蛋白质含量的影响较大, 还不能有效评价和预测面团流变学特性及加工品质, 故需结合其它指标。粉质仪和拉伸仪是有效评价面团流变学特性的检测方法, 与烘培品质有较高的相关性, 但用样量较多, 所需时间长, 只适合高代检测。和面仪特性是评价小麦面筋质量和面包加工品质较有效的微量指标, 但该方法用量至少也要 10 g, 在早代选择有一定局限性。结合前人及本研究结果, Glu 含量和%UPP 等指标与面团流变学特性和面包加工品质均有较好的相关性, 其中%UPP 使用 SE-HPLC 方法测定, 可直接使用全麦粉, 且样品用量极少(10 mg), 自动化程度高, 与 RP-HPLC 分析 Glu 各亚基含量相比, 提样相对较简单, 分析时间也较短。因此, 在条件较好的单位, %UPP 可用于品质育种早代选择^[28,29], 结合常规方法从蛋白质含量和质量全面评价材料的品质特性。

4 结论

Glu、HMW-GS、LMW-GS 和%UPP 与面团流变学特性和面包品质呈显著正相关, Gli/Glu 与面团流变学特性和面包品质呈显著负相关, %UPP 与面团的稳定时间和最大抗延阻力呈很好的对数关系, 决定系数分别达 0.84 和 0.86, 可利用%UPP 在早代选择中有效预测面筋强度。贮藏蛋白组分含量对面条和馒头品质影响相对较小, 且多为负面效应。

References

- [1] 刘 丽, 周 阳, 何中虎, 王德森, 张 艳, Peña R J. 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. 中国农业科学, 2004, 37(1): 8-14.
- Liu L, Zhou Y, He Z H, Wang D S, Zhang Y, Peña R J. Effect of allelic variation in HMW and LMW glutenin subunits on the processing quality in common wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(1): 8-14. (in Chinese)
- [2] 刘 丽, 周 阳, 何中虎, Peña R J, 张立平. *Glu-1* 和 *Glu-3* 等位变

- 异对不溶性谷蛋白含量的影响. 作物学报, 2004, 30(11): 1086-1092.
- Liu L, Zhou Y, He Z H, Peña R J, Zhang L P. Effect of allelic variation at *Glu-1* and *Glu-3* loci on insoluble glutenin content. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(11): 1086-1092. (in Chinese)
- [3] 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 Chemistry*, 2007, 84(4): 370-378.
- [4] 张平平, 陈东升, 张 勇, 夏先春, 何中虎. 春播小麦醇溶蛋白组成及其对品质性状的影响. 作物学报, 2006, 32(12): 1796-1801.
- Zhang P P, Chen D S, Zhang Y, Xia X C, He Z H. Gliadin composition and their effects on quality properties in spring wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(12): 1796-1801. (in Chinese)
- [5] Zhang P P, He Z H, Chen D S, Zhang Y, Larroque O R, Xia X C. Contribution of common wheat protein fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *Journal of Cereal Science*, 2007, 46: 1-10.
- [6] 唐建卫, 刘建军, 张平平, 张 艳, 李豪圣, 赵振东, 曲延英, 何中虎. 济麦 20 面团流变学特性和面包加工品质稳定性及与蛋白质组分的关系分析. 作物学报, 2007, 33(11): 1788-1793.
- Tang J W, Liu J J, Zhang P P, Zhang Y, Li H S, Zhao Z D, Qu Y Y, He Z H. Dough properties and loaf quality stability in wheat cultivar Jimai 20 and their relationship with protein fractions. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(11): 1788-1793. (in Chinese)
- [7] 刘 丽, 阎 俊, 张 艳, 何中虎, Peña R J, 张立平. 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. 中国农业科学, 2005, 38(10): 1944-1950.
- Liu L, Yan J, Zhang Y, He Z H, Peña R J, Zhang L P. Allelic variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci and presence of 1B/1R translocation, and their effects on processing quality in cultivars and advanced lines from autumn-sown wheat regions in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(10): 1944-1950. (in Chinese)
- [8] Sutton K H. Qualitative and quantitative variation among high molecular weight subunits of glutenin detected by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Cereal Science*, 1991, 14: 25-34.
- [9] Kolster P, Kreckling C F, Gelder W M J. Quantification of individual high molecular weight subunits of wheat glutenin using SDS-PAGE and scanning densitometry. *Journal of Cereal Science*, 1992, 15: 49-61.
- [10] 朱金宝, 刘广田, 张树榛, 孙 辉. 小麦籽粒高、低分子量谷蛋白亚基及其与品质关系的研究. 中国农业科学, 1996, 29(1): 34-39.
- Zhu J B, Liu G T, Zhang S Z, Sun H. High and low molecular

- subunits of glutenin and their relationships with wheat quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29(1): 34-39. (in Chinese)
- [11] Huang D Y, Khan K. Quantitative determination of high-molecular weight glutenin subunits of hard red spring wheat by SDS-PAGE. I. Quantitative effects of total amounts on breadmaking quality characteristics. *Cereal Chemistry*, 1997, 76(6): 781-785.
- [12] Hamer R J, Weegels P L, Marseille J P. Prediction of breadmaking quality of wheat: the use of HMW glutenin-A subunit-based quality scoring system. *Journal of Cereal Science*, 1992, 15: 91-102.
- [13] Khatkar B S, Bell A E, Schofield J D. The dynamic rheological properties of glutes and gluten sub-fractions from wheats of good and poor bread making quality. *Journal of Cereal Science*, 1995, 22: 29-44.
- [14] Janssen A M, Van Vliet T, Vereijken J M. Fundamental and empirical rheological behavior of wheat flour doughs and comparison with bread making performance. *Journal of Cereal Science*, 1996, 23: 43-54.
- [15] Uthayakumaran S, Gras P W, Stoddard F L, Bekes F. Effect of varying protein content and glutenin-to-gliadin ratio on the functional properties of wheat dough. *Cereal Chemistry*, 1999, 76: 389-394.
- [16] 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. *Journal of Cereal Science*, 1993, 18: 23-41.
- [17] 赵惠贤, 胡胜武, 吉万全, 薛秀庄, 郭嵩光, Mares D. 小麦谷蛋白聚合体粒度分布与面粉揉面特性关系的研究. *中国农业科学*, 2001, 34(5): 465-468.
- Zhao H X, Hu S W, Ji W Q, Xue X Z, Guo A G, Mares D. Study on relationship between the size distribution of glutenin polymeric protein and wheat flour mixing properties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(5): 465-468. (in Chinese)
- [18] 张平平, 张 勇, 夏先春, 何中虎. 小麦贮藏蛋白反相高效液相色谱分析体系研究. *中国农业科学*, 2007, 40(5): 1002-1009.
- Zhang P P, Zhang Y, Xia X C, He Z H. Protocol establishment of reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC) for analyzing wheat gluten protein. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(5): 1002-1009. (in Chinese)
- [19] AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 9th edition. St. Paul, MN, USA, 1995.
- [20] 杨 金, 张 艳, 何中虎, 阎 俊, 王德森, 刘建军, 王美芳. 小麦品质性状与面包和面条品质关系分析. *作物学报*, 2004, 30(8): 739-744.
- Yang J, Zhang Y, He Z H, Yan J, Wang D S, Liu J J, Wang M F. Association between wheat quality traits and performance of pan bread and dry white Chinese noodle. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(8): 739-744. (in Chinese)
- [21] 雷 激, 张 艳, 王德森, 阎 俊, 何中虎. 中国干白面条品质评价方法研究. *中国农业科学*, 2004, 37(12): 2000-2005.
- Lei J, Zhang Y, Wang D S, Yan J, He Z H. Methods for evaluation of quality characteristics of dry white Chinese noodles. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(12): 2000-2005. (in Chinese)
- [22] 陈东升, 张 艳, 何中虎, 王德森, Peña R J. 不同加水量对北方馒头加工品质影响的研究. *作物学报*, 2005, 31(6): 730-735.
- Chen D S, Zhang Y, He Z H, Wang D S, Peña R J. Effect of water addition on northern style Chinese steamed bread processing quality. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(6): 730-735. (in Chinese)
- [23] 刘 丽, 周 阳, 何中虎, 阎 俊, 张 艳, Peña R J. *Glu-1* 和 *Glu-3* 等位变异对小麦加工品质的影响. *作物学报*, 2004, 30(10): 959-968.
- Liu L, Zhou Y, He Z H, Yan J, Zhang Y, Peña R J. Effect of allelic variation at *Glu-1* and *Glu-3* loci on processing quality in common wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(10): 959-968. (in Chinese)
- [24] Larroque O R, Gianibelli M C, Gomez Sanchez M, MacRitchie F. Procedure for obtaining stable protein extracts of cereal flour and whole meal for size-exclusion HPLC analysis. *Cereal Chemistry*, 2000, 77(4): 448-450.
- [25] Van Lonkhuijsen H J, Hamer R J, Schreuder C. Influence of specific gliadins on the breadmaking quality of wheat. *Cereal Chemistry*, 1992, 69: 174-177.
- [26] Weegels P L, Marseille J P, Bosveld P, Hamer R J. Large-scale separation of gliadins and their bread-making quality. *Journal of Cereal Science*, 1994, 20: 253-264.
- [27] He Z H, Yang J, Zhang Y, Quail K J, Peña R J. Pan bread and dry white Chinese noodle quality in Chinese winter wheats. *Euphytica*, 2004, 139: 257-267.
- [28] 张平平, 肖永贵, 刘建军, 马鸿翔, 何中虎. SDS 不溶性谷蛋白大聚体含量与和面仪参数的关系. *作物学报*, 2008, 34(6): 1074-1079.
- Zhang P P, Xiao Y G, Liu J J, Ma H X, HE Z H. Associations between SDS-unextractable glutenin polymeric protein and mixograph parameters. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(6): 1074-1079. (in Chinese)
- [29] 宋建民, 刘爱峰, 吴祥云, 刘建军, 赵振东, 刘广田. 高分子量谷蛋白亚基组成及其含量与小麦品质关系研究. *中国农业科学*, 2003, 36(2): 128-133.
- Song J M, Liu A F, Wu X Y, Liu J J, Zhao Z D, Liu G T. Composition and content of high-molecular-weight glutenin subunits and their relations with wheat quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(2): 128-133. (in Chinese)