

Glu-1 和 *Glu-3* 等位变异及 1BL/1RS 易位与面包和面条品质关系的研究

刘 丽^{1,4}, 周 阳¹, 刘建军^{1,3}, 何中虎^{1,2}, 杨 金¹

(¹ 中国农业科学院作物育种栽培研究所/国家小麦改良中心, 北京 100081; ² 国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 中国办事处, 北京 100081; ³ 山东省农业科学院作物研究所, 济南 250100; ⁴ 云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明 650205)

摘要: 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) 组成和 1BL/1RS 易位是决定小麦加工品质的关键因素。将试验 I 80 份和试验 II 78 份国内外小麦品种分别在 2 种和 4 种环境条件下种植, 研究了 HMW-GS 和 LMW-GS 的组成及 1BL/1RS 易位对面团流变学特性、面包和面条品质的影响。结果表明, *Glu-B1*、*Glu-D1* 和 *Glu-B3* 位点对面团流变学特性、面包和面条品质的效应较大, 而 *Glu-A3* 位点的效应较小。单个亚基对面筋强度和面包体积的贡献大小为, 在 *Glu-A1* 位点, 1 > 2* > N; 在 *Glu-B1* 位点, 7+8 > 7+9; 在 *Glu-D1* 位点, 5+10 > 4+12 > 2+12; 在 *Glu-A3* 位点, *Glu-A3d* > *Glu-A3c* > *Glu-A3a*; 在 *Glu-B3* 位点, *Glu-B3d* > *Glu-B3f* > *Glu-B3b* > *Glu-B3j*。单个亚基对延伸性和面条评分的贡献大小为, 在 *Glu-A1* 位点, 1 > N; 在 *Glu-B1* 位点, 20 > 7+9 > 7+8; 在 *Glu-D1* 位点, 4+12 > 5+10 > 2+12; 在 *Glu-A3* 位点, *Glu-A3c* > *Glu-A3d* > *Glu-A3a*; 在 *Glu-B3* 位点, *Glu-B3b* > *Glu-B3f* > *Glu-B3d* > *Glu-B3j*。1BL/1RS 易位对面团流变学特性、面包和面条品质皆有极显著的负面影响。

关键词: 普通小麦; 高分子量麦谷蛋白亚基; 低分子量麦谷蛋白亚基; 1BL/1RS 易位; 面团流变学特性; 面包品质; 面条品质

Effect of Allelic Variation at the *Glu-1* and *Glu-3* Loci and Presence of 1BL/1RS Translocation on Pan Bread and Dry White Chinese Noodle Quality

LIU Li^{1,4}, ZHOU Yang¹, LIU Jian-jun^{1,3}, HE Zhong-hu^{1,2}, YANG Jin¹

(¹ National Wheat Improvement Center/Institute of Crop Breeding and Cultivation, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ² CIMMYT-China Office, c/o Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

³ Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100;

⁴ Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205)

Abstract: High molecular weight glutenin subunitins (HMW-GS), low molecular weight glutenin subunits (LMW-GS), and 1BL/1RS translocation play an important role in determining the processing quality in common wheat. 80 and 78 cultivars and advanced lines in trial I and trial II were sown in two and four environments, respectively. They were used to investigate the effect of HMW-GS, LMW-GS and 1BL/1RS translocation on dough rheological characteristics, pan bread and dry white Chinese noodle quality. *Glu-B1*, *Glu-D1* and *Glu-B3* loci play a determinant role in dough rheological characteristics, pan bread and dry white Chinese noodle quality and *Glu-A3* locus has slight contribution to them. For gluten strength and loaf volume, at *Glu-A1* locus, 1 > 2* > N; at *Glu-B1* locus, 7+8 > 7+9; at *Glu-D1* locus, 5+10 > 4+12 > 2+12; at *Glu-A3* locus; *Glu-A3d* > *Glu-A3c* > *Glu-A3a*; at *Glu-B3* locus, *Glu-B3d* > *Glu-B3f* > *Glu-B3b* > *Glu-B3j*. For extensibility and noodle score, at *Glu-A1* locus, 1 > N; at *Glu-B1* locus, 20 > 7+9 > 7+8;

收稿日期: 2003-08-26

基金项目: “863” 计划项目 (2002AA207003)、“973” 重大基础研究发展规划项目 (2002CB101300) 和北京市自然科学基金项目 (5041001) 资助
作者简介: 刘 丽 (1974-), 女, 硕士, 主要从事小麦遗传育种研究。何中虎为通讯作者, Tel: 010-68918547; E-mail: zhhe@public3.bta.net.cn

at *Glu-D1* locus, 4+12>5+10 > 2+12; at *Glu-A3* locus, *Glu-A3c* > *Glu-A3d*>*Glu-A3a*; at *Glu-B3* locus, *Glu-B3b* > *Glu-B3f*> *Glu-B3d*> *Glu-B3j*. Lines carrying 1BL/1RS translocation show significantly deleterious effect on dough rheological characteristics, pan bread, and dry white Chinese noodle quality.

Key words: Common wheat; HMW-GS; LMW-GS; 1BL/1RS translocation; Dough rheological characteristics; Pan bread quality; Noodle quality

麦谷蛋白是小麦贮藏蛋白的主要组成成份, 由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) 通过分子间二硫键聚合而成^[1]。HMW-GS 分别由位于第一同源组群染色体长臂的 *Glu-A1*、*Glu-B1* 和 *Glu-D1* 位点 (统称 *Glu-1*) 的基因编码, 而 LMW-GS 则分别由位于短臂的 *Glu-A3*、*Glu-B3* 和 *Glu-D3* 位点 (统称 *Glu-3*) 的基因编码^[2,3]。

HMW-GS 只占小麦贮藏蛋白的 10%, 但在很大程度上决定了面包的烘烤品质^[4]。HMW-GS 对小麦品质的重要作用已得到普遍认可^[5,6], 亚基构成已成为品质育种的主要依据^[7]。HMW-GS 对面筋品质的效应大小不同, 如 7+9 和 5+10 亚基对面筋强度和粘弹性有正向效应, 2+12 则表现为负向效应, 亚基 1 对面筋强度、亚基 2* 和 17+18 对面团延展性有正向效应^[8]。He 等^[9]和张学勇等^[10]研究了中国小麦的 HMW-GS 组成和遗传多样性, 但主要集中于遗传变异分析, 未将其与加工品质性状相联系。国内对 HMW-GS 构成与面包烘烤品质的关系已有较多研究, 但未综合考虑 HMW-GS 与 LMW-GS 构成的共同作用, 刘丽等^[11]报道了 HMW-GS 和 LMW-GS 对部分小麦加工品质的影响, 但品质指标偏少, HMW-GS 和 LMW-GS 构成与中国干面条品质的关系研究尚未见报道。因此, HMW-GS 和 LMW-GS 对面包和面条品质的综合作用还值得进一步研究。

LMW-GS 的含量是 HMW-GS 的 2.5 倍^[12], 因而对小麦品质的作用也不可忽视^[1]。Payne 等^[4]最早研究了 LMW-GS 与四倍体小麦品质的关系。随后 Gupta 等^[5]和 Cornish 等^[7]研究了 LMW-GS 等位变异对小麦品质的贡献大小。据报道, *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点对最大阻力的贡献为, *Glu-D1*>*Glu-B1*>*Glu-B3*>*Glu-A3*>*Glu-D3*=*Glu-A1*, 对和面时间的贡献为, *Glu-D*>*Glu-B3*>*Glu-A3*>*Glu-B1*=*Glu-D3*^[13]。Gupta 和 MacRitchie^[14]研究表明, *Glu-3* 位点对面筋强度的贡献为, 在 *Glu-A3* 位点, *Glu-A3b*>*Glu-A3c*>*Glu-A3e*; 在 *Glu-B3* 位点, *Glu-B3b*>*Glu-B3c*; 在 *Glu-D3* 位点, *Glu-D3e*>*Glu-D3c*=*Glu-D3b*=*Glu-D3a*>*Glu-D3d*。Cornish 等^[15]提出, 亚基组合为 2*、7+8、2+12、*Glu-A3b*、*Glu-B3b* 和 *Glu-*

D3b 的品种的延伸性最好。由于 LMW-GS 存在广泛的变异, 而且在一维 SDS-PAGE 中, LMW-GS 与醇溶蛋白谱带重叠在一起, 给深入研究 LMW-GS 带来了难度, 因此对 LMW-GS 与品质的关系研究, 无论是在广度上还是在深度上, 都远远落后于对 HMW-GS 的研究。国外尚未见 HMW-GS 和 LMW-GS 与粉质仪参数及面条品质的关系报道。国内对 LMW-GS 的研究很少, 刘丽等研究了 LMW-GS 对不溶性谷蛋白含量的影响。朱金宝等^[16]报道了 LMW-GS 与小麦品质的关系, 但仅将 LMW-GS 粗略分为 B 和 C 区亚基进行分析, 未能深入研究具体的 LMW-GS 对小麦品质的影响。韩彬和 Shepherd^[17]仅在 1 个分离群体后代中观察到了不同亚基对品质的不同作用, 材料遗传背景较单一, 品质分析指标仅限于沉降值和拉伸仪参数。由此可见, LMW-GS 与面包和面条品质的关系研究亟待深入。

我国小麦品种中的 1BL/1RS 易位系主要来源于洛夫林、牛朱特、山前、高加索和阿夫乐尔等品种, 为我国小麦育种和生产做出了重要贡献^[18]。然而, 将黑麦染色体片段引入普通小麦, 在提高抗病性和丰产性的同时, 却导致重要醇溶蛋白和 LMW-GS 减少, 或被品质较差的黑麦碱取代, 导致面团粘性增大和面筋强度减弱, 引起小麦品质变劣^[19]。国内对 1BL/1RS 易位鉴定及与小麦品质的关系研究很少^[20,21], 1BL/1RS 易位对面包和面条品质的负面影响尚需进一步研究。针对上述问题, 笔者将试验 I 和试验 II 共 158 份材料, 分别在 2 种和 4 种环境条件下种植, 研究 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点等位变异及 1BL/1RS 易位对面包和面条品质的作用, 以期为改良小麦面筋质量、加快品质育种进程提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验 I: 80 份, 其中 76 份来自北部和黄淮冬麦区, 包括优质品种、主栽品种或有苗头的品系, 4 份澳大利亚优质面包和面条品种。试验于 2000 年秋播于郑州市农业科学研究所和山东省农业科学院作物所试

验农场。田间管理按当地常规方法进行。

试验 II: 78 份, 其中我国小麦主栽品种和高代品系 66 份, 澳大利亚小麦 10 份, 美国小麦品种 2 份, 32 份与试验 I 相同。供试品种和高代品系于 1997~1998 和 1998~1999 年度连续 2 年分别种植于山东省农业科学院作物所农场和山东省莒县良种场。

1.2 SDS-PAGE 分离蛋白

方法参考文献[11]。

1.3 品质测定方法

1.3.1 小麦品质性状的测定 用 Buhler 磨制粉, 出粉率约 70%。试验 I SDS 沉降值测定参考 Pena 等^[18], 试验 II Zeleny 沉降值按 AACC 方法 56-63 测定, 粉质仪参数和拉伸仪参数分别按 AACC 方法 54-21 和 AACC 方法 54-10 测定。

1.3.2 面包和面条制作与评价 面包制作与评价, 参

考文献[22]。面条制作与评价, 参考文献[23]。

2 结果与分析

2.1 品质性状分析

将试验 I 两试点和试验 II 两试点两年面团流变学参数、面包和面条品质性状的平均值及差异显著性测验结果列于表 1。由表 1 可以看出, 试验 I 郑州点的面团流变学特性、面包和面条品质皆好于济南, 差异均达 5% 的显著水平, 说明两地点的品质性状变化趋势一致。试验 II 连续两年, 除了延伸性以外, 均表现为莒县试点好于济南试点; 就年份而言, 1997~1998 年度的品质表现明显好于 1998~1999 年度。说明环境对小麦品质有重要影响, 但两年两试点的品质性状变化趋势一致。

表 1 供试品种的品质概况¹⁾

Table 1 Mean value of the tested quality parameters in Trials I and II

品质参数 Parameter	试验 I Trial I		试验 II Trial II		
	地点 Location	平均值 Mean	地点 Location	1997~1998 平均值 Mean	1998~1999 平均值 Mean
沉降值 Sedimentation (ml)	郑州 Zhengzhou	17.8a	莒县 Juxian	39.6a	32.1b
	济南 Jinan	16.6b	济南 Jinan	39.1a	36.0a
形成时间 Development time (min)	郑州 Zhengzhou	4.9a	莒县 Juxian	5.2a	2.9b
	济南 Jinan	3.0b	济南 Jinan	5.0a	3.7a
稳定时间 Stability (min)	郑州 Zhengzhou	10.0a	莒县 Juxian	8.6a	6.0a
	济南 Jinan	5.3b	济南 Jinan	7.1a	5.7a
最大阻力 Max resistance (B.U.)	郑州 Zhengzhou	366.0a	莒县 Juxian	405.0a	368.0a
	济南 Jinan	316.0b	济南 Jinan	369.0b	322.0b
延伸性 Extensibility (cm)	郑州 Zhengzhou	19.7a	莒县 Juxian	17.7b	16.1b
	济南 Jinan	19.0b	济南 Jinan	18.7a	18.4a
面包体积 Loaf volume (cm ³)	郑州 Zhengzhou	623.0a	莒县 Juxian	-	-
	济南 Jinan	603.0b	济南 Jinan	-	-
面条评分 Noodle score	郑州 Zhengzhou	81.0a	莒县 Juxian	81.0a	79.0a
	济南 Jinan	79.0b	济南 Jinan	78.0b	78.0a

¹⁾ 试验 I 为 SDS 沉降值; 试验 II 为 Zeleny 沉降值。LSD 测验 ($\alpha=0.05$), 相同字母表示差异未达 5% 的显著水平, 不同字母表示差异达 5% 的显著水平。- 表示资料空缺

Trial I and II are SDS sedimentation volume and Zeleny sedimentation volume, respectively. LSD test ($\alpha=0.05$), different letters are significant at 5% probability levels. - Data not available

2.2 HMW-GS 和 LMW-GS 等位变异分析

SDS-PAGE 分析试验 I 和试验 II 两组材料 HMW-GS 和 LMW-GS 的等位变异, 结果列于表 2。*Glu-A1* 位点的等位变异包括 N、1 和 2*, 其中 1 亚基最普遍, 试验 I 和试验 II 中的频率分别为 68.8% 和 52.6%; *Glu-B1* 位点, 试验 I 共有 8 种等位变异, 分别是 6+8、7+8、7*+8、7+9、13+16、14+15、17+18 和 20, 试验 II 共有 7 种等位变异, 除不包括 6+8 亚基以外, 其余亚基构成与试验 I 相同, 其中 7+9 亚基的

频率最高, 试验 I 和试验 II 中的频率分别为 37.5% 和 38.5%; *Glu-D1* 位点共有 4 种等位变异, 分别是 2+12、3+12、4+12 和 5+10, 2+12 亚基的频率最高, 试验 I 和试验 II 中的频率分别为 50.0% 和 59.0%, 3+12 亚基的频率最低; *Glu-A3* 位点共有 5 种等位变异, 分别是 *Glu-A3a*、*Glu-A3b*、*Glu-A3c*、*Glu-A3d* 和 *Glu-A3e*, *Glu-A3d* 亚基最普遍, 试验 I 和试验 II 中的频率分别为 40.0% 和 39.7%; *Glu-B3* 位点共有 7 种等位变异, 分别是 *Glu-B3a*、*Glu-B3b*、*Glu-B3d*、*Glu-B3f*、*Glu-B3g*、

表 2 HMW-GS 和 LMW-GS 构成及 1BL/1RS 易位的频率

Table 2 Frequency of HMW and LMW glutenin subunits, and 1BL/1RS translocation in Trials I and II

位点 Locus	亚基 Subunit	试验 I Trial I		试验 II Trial II	
		数目 Number	频率 Frequency(%)	数目 Number	频率 Frequency(%)
<i>Glu-A1</i>	N	20	25.0	26	33.3
	1	55	68.8	41	52.6
	2*	5	6.3	11	14.1
<i>Glu-B1</i>	7+8	28	35.0	26	33.3
	7+9	30	37.5	30	38.5
	其它 Others	22	27.5	22	28.2
<i>Glu-D1</i>	2+12	40	50.0	46	59.0
	3+12	2	2.5	3	3.8
	4+12	12	15.0	12	15.4
	5+10	26	32.5	17	21.8
<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-A3a</i>	29	36.3	23	29.5
	<i>Glu-A3c</i>	12	15.0	15	19.2
	<i>Glu-A3d</i>	32	40.0	31	39.7
	其它 Others	7	8.8	9	11.5
<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-B3b</i>	12	15.0	14	17.9
	<i>Glu-B3d</i>	24	30.0	14	17.9
	<i>Glu-B3f</i>	11	13.8	12	15.4
	<i>Glu-B3j</i>	23	28.8	29	37.2
	其它 Others	10	12.5	9	11.5
Non-1BL/1RS		57	71.2	49	62.8
1BL/1RS		23	28.8	29	37.2

Glu-B3h 和 *Glu-B3j* (含 *Glu-B3j* 亚基的品种为 1BL/1RS 易位系), *Glu-B3j* 亚基较普遍。试验 I 和试验 II 中, 1BL/1RS 易位系分别为 23 和 29 份, 频率分别为 28.8% 和 37.2%, 说明 1BL/1RS 易位系在我国小麦品种中分布较广。

2.3 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点对面包和面条品质的效应

试验 I: 以 *Glu-A1*、*Glu-B1*、*Glu-D1*、*Glu-A3* 和 *Glu-B3* 作为 5 个因素, 对供试品种济南和郑州两试点的 SDS 沉降值、形成时间、稳定时间、最大阻力、延伸性、面包体积和面条评分进行多因素协方差分析, 比较 *Glu-1* 和 *Glu-3* 5 个位点对面包和面条品质的贡献大小。结果表明, 位点对小麦品质性状的效应趋势两试点一致, 鉴于篇幅仅将郑州点的分析结果列于表 3。由表 3 可以看出, *Glu-A1* 和 *Glu-D1* 位点对 SDS 沉降值、形成时间、稳定时间、延伸性和面包体积的加性效应达 1% 和 5% 显著水平, *Glu-B3* 位点对 SDS 沉降值、形成时间、延伸性和面条评分的加性效应达 1% 和 5% 显著水平。*Glu-B1* 和 *Glu-B3* 位点对 SDS 沉降值延伸性和面包体积的互作效应达 5% 的显著水平。*Glu-1* 和 *Glu-3* 5 个位点对 SDS 沉降值和形成时间的贡献大小为, *Glu-B3*>*Glu-A1*>*Glu-D1* 和 *Glu-B1*=*Glu-A3*, 对稳定时间和最大阻力的贡献为, *Glu-D1*>*Glu-B3*>

Glu-A1>*Glu-B1*>*Glu-A3*, 对延伸性和面条评分的贡献为 *Glu-B3*>*Glu-B1*>*Glu-A3*≥*Glu-D1*≥*Glu-A1*, 对面包体积的贡献为, *Glu-D1*>*Glu-A1*>*Glu-B1*=*Glu-A3*>*Glu-B3*。由此可见, LMW-GS 的 *Glu-B3* 位点对面团流变学特性和面条评分皆有重要决定作用, *Glu-D1* 位点对稳定时间和面包体积的效应较大, 而对面条评分的作用不明显, *Glu-A3* 位点对小麦品质性状的影响较小。

试验 II: 以 *Glu-A1*、*Glu-B1*、*Glu-D1*、*Glu-A3* 和 *Glu-B3* 作为 5 个因素, 对供试品种两年两年的 Zeleny 沉降值、形成时间、稳定时间、最大阻力、延伸性和面条评分进行多因素协方差分析, 比较 *Glu-1* 和 *Glu-3* 5 个位点对面包和面条品质的贡献大小。结果表明, 两年两年位点对面团流变学特性和面条评分的效应大小趋势一致, 因此以 1998~1999 年度莒县的分析结果为例说明 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点对品质性状的贡献大小 (如表 4)。由表 4 可以看出, *Glu-1* 和 *Glu-3* 5 个位点对 Zeleny 沉降值和稳定时间的贡献为, *Glu-B1*≥*Glu-A1*≥*Glu-D1*>*Glu-B3*>*Glu-A3*, 对形成时间的贡献为, *Glu-D1*>*Glu-B1*>*Glu-B3*>*Glu-A1*>*Glu-A3*, 对最大阻力的贡献为, *Glu-B1*>*Glu-B3*=*Glu-A1*>*Glu-D1*>*Glu-A3*, 对延伸性的贡献为, *Glu-B3*>*Glu-*

表 3 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点对面包和面条品质性状的方差显著性测验Table 3 ANOVA analysis of *Glu-1* and *Glu-3* loci effect on pan bread and noodle quality parameters in Trial I

位点 Locus	自由度 DF	SDS 沉降值 SDS sed. vol.		形成时间 Development time		稳定时间 Stability		最大阻力 Max resistance		延伸性 Extensibility		面包体积 Loaf volume		面条评分 Noodle score	
		MS	%	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%
<i>Glu-A1</i>	2	67.7**	13	86.3*	12	300.5*	12	20 7744**	12	4.8	2	19 947**	11	52.5	2
<i>Glu-B1</i>	7	13.2	9	12.7	6	80.7	11	31 678	7	16.1**	21	3 209	6	58.3	10
<i>Glu-D1</i>	3	10.9	3	55.5*	11	244.4*	14	159 509**	14	8.0**	4	22 148**	18	30.1	2
<i>Glu-A3</i>	4	6.7	3	20.4	6	85.0	7	28 963	3	5.6*	4	5 014	6	68.1	6
<i>Glu-B3</i>	6	37.2**	21	56.1*	23	109.4	13	73 005*	13	23.8**	27	2 999	5	282.8**	40
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-B1</i>	5	17.2	8	6.8	2	20.9	2	32 857	5	3.8	4	4 006	6	16.4	2
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-D1</i>	3	14.6	4	9.1	2	29.3	2	32 411	3	3.2	2	616	1	14.0	1
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-A3</i>	4	4.7	2	1.5	0	32.4	3	24 760	3	8.7**	6	5 179	6	2.6	0
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-B3</i>	4	6.0	2	2.0	1	4.0	0	11 101	1	3.4	3	3 376	4	36.6	3
<i>Glu-B1</i> × <i>Glu-D1</i>	5	13.1	6	14.5	5	86.9	9	46 403	7	6.0*	6	3 345	5	21.3	2
<i>Glu-B1</i> × <i>Glu-A3</i>	6	9.0	5	10.3	4	31.1	4	25 178	4	3.9	4	1 879	3	14.1	2
<i>Glu-B1</i> × <i>Glu-B3</i>	7	17.3*	11	24.2	12	48.3	7	49 134	10	5.0*	7	8 533*	16	58.3	10
<i>Glu-D1</i> × <i>Glu-A3</i>	4	11.0	4	5.2	1	38.8	3	47 065	6	2.5	2	3 573	4	23.2	2
<i>Glu-D1</i> × <i>Glu-B3</i>	3	2.2	1	1.9	0	12.7	1	10 990	1	5.8*	3	554	0	38.7	3
<i>Glu-A3</i> × <i>Glu-B3</i>	2	2.0	0	7.2	1	19.9	1	12 870	1	5.7*	2	232	0	1.4	0
误差 Error	14	5.9	8	13.7	13	49.0	13	25 433	10	1.4	4	2 496	10	44.3	14

¹⁾ %为平方和占总平方和的比例, 即某一位点变异解释了各品质性状总变异的比例。*和**分别表示 5%和 1%的显著水平

% is sum of squares as percentage of the total sum of square, and these can be interpreted as indication of the relevance of various characteristics.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively

表 4 *Glu-1* 和 *Glu-3* 位点对面条品质性状的方差显著性测验¹⁾Table 4 ANOVA analysis of *Glu-1* and *Glu-3* loci effect on noodle quality parameters in Trial II

位点 Locus	自由度 DF	Zeleny 沉降值 Zeleny sed. vol.		形成时间 Development time		稳定时间 Stability		最大阻力 Max resistance		延伸性 Extensibility		面条评分 Noodle score	
		MS	%	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%
<i>Glu-A1</i>	2	283.4	8	2.1	2	149.3**	14	15 9214**	14	20.0*	10	128.8	5
<i>Glu-B1</i>	6	178.4	16	1.9	6	47.8*	14	76 306**	20	6.1	9	47.9	6
<i>Glu-D1</i>	3	172.9	8	9.3**	16	62.2*	9	84 403**	11	9.6	7	29.5	2
<i>Glu-A3</i>	4	49.3	3	0.5	1	14.7	3	16 126	3	7.9	8	80.8	6
<i>Glu-B3</i>	6	72.8	6	1.5	5	19.7	6	50 884**	14	11.9*	18	106.8	13
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-B1</i>	5	43.9	3	1.9	5	12.6	3	18 756	3	1.1	1	27.8	3
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-D1</i>	4	62.2	4	1.6	4	19.6	4	3 424	1	6.2	6	81.9	6
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-A3</i>	6	79.8	7	2.8	10	30.6	9	24 517	7	4.3	7	61.1	7
<i>Glu-A1</i> × <i>Glu-B3</i>	6	54.9	5	1.2	4	13.0	4	23 683	6	3.0	5	27.7	3
<i>Glu-B1</i> × <i>Glu-D1</i>	5	13.5	1	2.1	6	22.1	5	15 326	3	1.9	2	148.6	15
<i>Glu-B1</i> × <i>Glu-A3</i>	5	71.9	5	3.0	9	20.9	5	22 315	5	1.7	2	77.3	8
<i>Glu-B1</i> × <i>Glu-B3</i>	3	82.3	4	4.7*	8	22.2	3	4 824	1	2.6	2	24.4	1
<i>Glu-D1</i> × <i>Glu-A3</i>	2	151.8	4	7.0*	8	36.1	3	18 778	2	4.4	2	3.6	0
<i>Glu-D1</i> × <i>Glu-B3</i>	1	75.1	1	2.2	1	86.4*	4	33 359	1	0.5	0	295.7*	6
<i>Glu-A3</i> × <i>Glu-B3</i>	2	24.8	1	0.6	1	5.3	1	10 689	1	3.9	2	21.4	1
误差 Error	17	93.1	23	1.4	0	15.9	13	11 053	8	3.9	17	53.0	18

¹⁾ %为平方和占总平方和的比例, 即某一位点变异解释了各品质性状总变异的比例。*和**分别表示 5%和 1%的显著水平

% is sum of squares as percentage of the total sum of square, and these can be interpreted as indication of the relevance of various characteristics.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively

$A1 > Glu-B1 > Glu-A3 > Glu-D1$, 对面条评分的贡献为, $Glu-B3 > Glu-B1 = Glu-A3 > Glu-A1 > Glu-D1$ 。由此可见, LMW-GS 的 $Glu-B3$ 位点对面团流变学特性和面条评分皆有不可忽视的作用, HMW-GS 的 $Glu-B1$ 位点对面团流变学特性和面条评分也有较大影响, $Glu-D1$ 位点对形成时间的效应较大, 而对面条评分的作用不显著, $Glu-A3$ 位点对小麦品质性状的影响较小。

2.4 单个亚基对面包和面条品质的效应

试验 I: 单个亚基对济南和郑州两试点面包和面条品质性状的影响趋势一致。因此, 以郑州点为例说明单个亚基对面包和面条品质的影响。将郑州点不同

亚基对面团流变学特性、面包体积和面条评分的影响列于表 5。从表 5 可以看出, 单个亚基对形成时间、稳定时间、最大阻力和面包体积的贡献为, 在 $Glu-A1$ 位点, $1 > N$; 在 $Glu-B1$ 位点, $7+8 > 7+9$; 在 $Glu-D1$ 位点, $5+10 > 2+12 > 4+12$; 在 $Glu-A3$ 位点, $Glu-A3d > Glu-A3c > Glu-A3a$; 在 $Glu-B3$ 位点, $Glu-B3d > Glu-B3f > Glu-B3b > Glu-B3j$ 。单个亚基对延伸性和面条评分的贡献大小为, 在 $Glu-A1$ 位点, $1 > N$; 在 $Glu-B1$ 位点, $7+8 > 7+9$; 在 $Glu-D1$ 位点, $4+12 > 2+12 \geq 5+10$; 在 $Glu-A3$ 位点, $Glu-A3c > Glu-A3d > Glu-A3a$; 在 $Glu-B3$ 位点, $Glu-B3b > Glu-B3f \geq Glu-B3d > Glu-B3j$ 。

表 5 单个亚基对面包和面条品质性状的影响¹⁾

Table 5 Comparison of effect produced by individual glutenin subunit on pan bread and noodle quality in Trial I

亚基位点 Subunit/Allele	样本数 Number	SDS 沉降值 SDS sed. vol. (ml)	形成时间 Development time (min)	稳定时间 Stability (min)	最大阻力 Max resistance (B.U.)	延伸性 Extensibility(cm)	面包体积 Loaf volume (cm ³)	面条评分 Noodle score
1	55	18.7a	5.9a	11.8a	414a	19.9a	642a	82a
N	20	15.9b	2.6b	5.7b	249b	19.1a	590b	79a
7+8	28	18.5a	5.9a	12.4a	423a	19.2a	643a	81a
7+9	30	16.4b	3.8b	6.3b	299b	18.9b	608a	80a
5+10	26	18.5a	7.4a	15.0a	498a	18.9a	677a	81a
2+12	40	17.1a	3.7a	7.8ab	306b	20.0a	607b	81a
4+12	12	18.9a	3.7a	7.0b	318b	20.2a	598b	83a
<i>Glu-A3d</i>	32	18.6a	5.7a	12.2a	406a	19.8a	638a	82ab
<i>Glu-A3c</i>	12	16.7b	3.3b	5.9a	317a	20.4a	591b	84a
<i>Glu-A3a</i>	29	17.2ab	3.8b	7.9a	319a	19.0b	622ab	80b
<i>Glu-B3d</i>	24	19.2a	5.4a	14.1a	425a	20.2b	637a	85a
<i>Glu-B3b</i>	12	18.6b	3.6a	8.5ab	359ab	21.4a	618a	84a
<i>Glu-B3f</i>	11	19.0a	3.8a	8.6ab	347ab	20.7a	625a	84a
<i>Glu-B3j</i>	23	14.6c	3.8a	5.1b	270b	17.7c	598a	75b

¹⁾ 表中仅列出样本数较大的亚基的作用 LSD 测验 ($\alpha=0.05$), 相同字母表示差异未达 5% 的显著水平, 不同字母表示差异达 5% 的显著水平

The table doesn't include glutenin subunits with low frequency. LSD test ($\alpha=0.05$), different letters are significant at 5% probability levels

试验 II: 协方差分析表明, 单个亚基对莒县和济南两年的面条品质性状影响趋势一致, 因此, 以莒县 1998~1999 年度试验结果为例说明单个亚基对面条品质的效应大小。将莒县 1998~1999 年度不同亚基对面团流变学特性和面条评分的影响列于表 6。从表 6 可以看出, 单个亚基对 Zeleny 沉降值、形成时间、稳定时间、最大阻力和延伸性的贡献为, 在 $Glu-A1$ 位点, $1 > 2^* > N$; 在 $Glu-B1$ 位点, 亚基 7+8 与 7+9 间的品质差异较小; 在 $Glu-D1$ 位点, $5+10 > 4+12 \geq 2+12$; 在 $Glu-A3$ 位点, $Glu-A3d > Glu-A3c > Glu-A3a$; 在 $Glu-B3$ 位点, $Glu-B3b > Glu-B3f > Glu-B3d > Glu-B3j$ 。单个亚基对面条评分的贡献为, 在 $Glu-A1$ 位点, $1 > N > 2^*$; 在 $Glu-B1$ 位点, $7+9 > 7+8$; 在 $Glu-D1$ 位点, $4+12 = 5+10 > 2+12$; 在 $Glu-A3$ 位点, $Glu-A3c = Glu-A3d > Glu-A3a$; 在 $Glu-B3$ 位点, $Glu-B3b = Glu-B3f > Glu-B3d > Glu-B3j$, 结果与试验 I 基本相同。

2.5 HMW-GS 和 LMW-GS 组合对面包和面条品质的效应分析

比较两组试验 HMW-GS 和 LMW-GS 组合对面包和面条品质性状的贡献, 结果表明, 亚基组合为 1、7+8、5+10、 $Glu-A3a$ 、 $Glu-B3b$, 1、7+8、5+10、 $Glu-A3e$ 、 $Glu-B3g$, 1、7+9、5+10、 $Glu-A3d$ 、 $Glu-B3d$, 1、14+15、5+10、 $Glu-A3d$ 、 $Glu-B3g$ 和 1、17+18、2+12、 $Glu-A3d$ 、 $Glu-B3f$ 的品种的 formation 时间、稳定时间和最大阻力皆较优, 代表性品种为 Karl92、Agseco7853、皖麦 33、安农 91168 和冀 5099; 亚基组合为 1、17+18、5+10、 $Glu-A3d$ 、 $Glu-B3h$ 的品种的 Zeleny 沉降值较高、稳定时间较长、延伸性较好, 代表性品种为 Suneca; 亚基组合为 1、7+8、5+10、 $Glu-A3d$ 、 $Glu-B3d$ 的品种的 formation 时间和稳定时间皆较长, 代表性品种为中优 16、农大 152 和川育 12; 亚基组合为 1、14+15、2+12、 $Glu-A3d$ 、 $Glu-B3d$ 的品种的 stable 时间较长、最大阻力

较大, 代表性品种为陕优 225; 亚基组合为 1、7+8、5+10、*Glu-A3e*、*Glu-B3d* 的品种的稳定时间较长、最大阻力和面包体积较大, 代表性品种为藁城 8901; 亚基组合为 1、7+9、5+10、*Glu-A3d*、*Glu-B3b* 和 N、7*+8、5+10、*Glu-A3a*、*Glu-B3b* 的品种的评分较高、面包体积较大, 代表性品种为中优 9507 和关封 2 号。亚基组合较差的品种包括郑 81-1、如冀 3475、豫麦 18、鲁麦 21、济南 16 和冀麦 24。

2.6 1BL/1RS 易位对面包和面条品质的效应分析

以试验 I 郑州点和试验 II 1998~1999 年度莒县点为例分析 1BL/1RS 易位对面团流变学特性、面包和面

条品质的影响, 结果列于表 7。从表 7 可以看出, 试验 I, 非 1BL/1RS 易位系的形成时间为 5.3 min, 高于 1BL/1RS 易位系, 但差异不显著。非 1BL/1RS 易位系的面包体积为 640 cm³, 显著高于 1BL/1RS 易位系, 差异达 5% 的显著水平。非 1BL/1RS 易位系的 SDS 沉降值、稳定时间、最大阻力、延伸性和面条评分分别为 19.1 ml、11.9 min、405 BU、20.5 cm 和 84 分, 显著优于 1BL/1RS 易位系, 差异皆达 1% 的显著水平。试验 II 的分析结果与试验 I 一致, 皆说明 1BL/1RS 易位对面团流变学特性、面包和面条品质存在极显著的负面影响。

表 6 单个亚基对面条品质性状的影响

Table 6 Comparison of effect produced by individual glutenin subunit on noodle quality in Trial II

亚基 Subunit	样本数 Number	Zeleny 沉降值 Zeleny sed. vol. (ml)	形成时间 Development time (min)	稳定时间 Stability (min)	最大阻力 Max resistance (B.U.)	延伸性 Extensibility (cm)	面条评分 Noodle score
2*	11	28.1b	3.0a	4.6b	316b	16.2ab	75b
1	41	34.5a	3.1a	8.0a	428a	16.7a	81a
N	26	29.7ab	2.6a	3.9b	293b	15.1b	78ab
7+8	26	31.0a	2.8a	5.8a	399a	16.2a	77a
7+9	30	32.0a	3.2a	5.2a	296b	15.3a	79a
5+10	17	37.4a	3.0b	10.4a	540a	16.2a	81a
2+12	46	30.2a	3.0b	4.8b	312b	16.1a	78a
4+12	12	30.2a	2.2b	4.8b	346b	15.6a	81a
<i>Glu-A3d</i>	31	34.7a	3.0a	7.1a	405a	16.5a	80a
<i>Glu-A3c</i>	15	30.1a	2.8a	5.2b	315b	15.3a	80a
<i>Glu-A3a</i>	23	28.6a	2.8a	4.7b	328ab	15.4a	78a
<i>Glu-B3d</i>	14	31.8b	2.8a	5.7ab	416ab	16.6ab	80a
<i>Glu-B3b</i>	14	37.2a	3.2a	8.7a	484a	17.9a	81a
<i>Glu-B3f</i>	12	32.4b	3.2a	7.6a	432a	15.3b	81a
<i>Glu-B3j</i>	29	29.5b	3.0a	4.1b	262b	15.0b	76b

¹⁾ 表中仅列出样本数较大的亚基的作用 LSD 测验 ($\alpha=0.05$), 相同字母表示差异未达 5% 的显著水平, 不同字母表示差异达 5% 的显著水平

The table doesn't include glutenin subunits with low frequency. LSD test ($\alpha=0.05$), different letters are significant at 5% probability levels

表 7 1BL/1RS 易位对面包和面条品质性状的影响¹⁾

Table 7 Effect of 1BL/1RS translocation on pan bread and noodle quality

地点 Location	分类 Classification	样本数 Number	沉降值 Sedimentation volume (ml)	形成时间 Development time (min)	稳定时间 Stability (min)	最大阻力 Max resistance (B.U.)	延伸性 Extensibility (cm)	面包体积 Loaf volume (cm ³)	面条评分 Noodle score
郑州 (试验 I)	Non-1BL/1RS	57	19.1A	5.3a	11.9A	405A	20.5A	640a	84A
Zhengzhou (Trial I)	1BL/1RS	23	14.6B	3.8a	5.1B	270B	17.7B	598b	75B
莒县 (试验 II)	Non-1BL/1RS	49	33.5a	2.9a	7.3A	432A	16.7A	-	81A
Juxian (Trial II)	1BL/1RS	29	29.5b	3.0a	4.1B	262B	15.0B	-	76B

¹⁾ 试验 I 为 SDS 沉降值; 试验 II 为 Zeleny 沉降值。不同小写和大写字母表示差异达 5% 和 1% 的显著水平。- 表示资料空缺

Trial I and II are SDS sedimentation volume and Zeleny sedimentation volume, respectively. Different small and capital letters are significant at 5% and 1% probability levels, respectively. - Data not available

3 讨论

利用蛋白质含量提高小麦品质主要存在两个问题, 一是蛋白质含量受环境影响较大, 年度和地点间

不稳定, 二是蛋白质含量与产量呈负相关。然而 HMW-GS、LMW-GS 和醇溶蛋白组成由遗传控制, 且与蛋白质含量及大部分农艺性状无显著相关, 因此改良贮藏蛋白质亚基组成是改进小麦加工品质的主要途

径。大量研究和本试验结果皆表明, HMW-GS 和 LMW-GS 构成对小麦品质性状有重要决定作用, 因此转育和选择优质高、低分子量麦谷蛋白亚基组成的小麦品种应成为我国小麦品质改良的重要途径。

试验 I 和试验 II 的研究结果皆表明, HMW-GS 和 LMW-GS 对稳定时间、最大阻力和面包体积等反映面筋强度的品质性状影响较大, 而对沉降值、形成时间、延伸性和面条评分的影响较小, 说明 HMW-GS 和 LMW-GS 构成对面筋强度具有重要决定作用。近年来, 我国虽已育成一批优质面包小麦品种如中优 9507、藁城 8901、济南 17 和豫麦 34 等, 但总体上我国小麦面筋强度偏弱, 培育强筋型面包小麦仍是我国小麦育种的重要目标之一, 因此通过改良 HMW-GS 和 LMW-GS 构成提高面筋强度对我国小麦生产具有重要意义。与面包品质相比, HMW-GS 和 LMW-GS 对面条品质的作用略小。主要原因是, 除面筋强度外, 面条品质还受颜色和淀粉糊化特性的显著影响^[23,24]。

本研究表明, LMW-GS 的 *Glu-B3* 位点对面团流变学特性、面包体积和面条评分皆有重要影响。我国过去在品质改良中, 较多注重 HMW-GS 的研究而忽略了 LMW-GS 对品质的重要影响, 不利于小麦品质的全面改良。HMW-GS 的 *Glu-D1* 位点对面筋强度和面包体积的贡献较大, 与 Gupta 和 MacRitchie 等^[13]的结论一致, 而对面条评分的影响较小, 国外对此未进行研究, 无可比资料。单个 HMW-GS 对形成时间、稳定时间、最大阻力和面包体积的贡献大小为, $1 > N$, $7+8 > 7+9 \geq 20$, $5+10 > 4+12 > 2+12$, 与已有结论基本一致, 单个 LMW-GS 的贡献为 $Glu-A3d > Glu-A3c > Glu-A3a$, $Glu-B3d > Glu-B3f > Glu-B3b > Glu-B3j$, 与 Gupta 和 MacRitchie^[14]的结果基本一致。

1BL/1RS 易位导致沉降值降低, 稳定时间缩短, 最大阻力下降, 面包体积缩小, 面条评分降低, 因此 1BL/1RS 易位系一般不适合做面包和面条。因此, 品质育种中必须重视 1BL/1RS 易位的负面效应, 建议尽量少用或亲本之一必须为非 1BL/1RS 易位系, 并在后代中淘汰 1BL/1RS 易位株。

本研究的不足之处在于, 尚不能鉴定 LMW-GS 的 *Glu-D3* 位点编码的亚基, 因此 *Glu-D3* 位点变异对面团流变学特性、面包和面条品质的影响有待进一步研究。

References

- [1] Luo C, Griffin W B, Brandlard G, McNeil D L. Comparison of low and high molecular weight wheat glutenin allele effects on flour quality. *Theoretical and Applied Genetics*, 2001, 102: 1 088-1 098.
- [2] Payne P I. Genetics of wheat storage protein and the effect of allelic variation on pan bread quality. *Annual Review Plant Physiology*, 1987, 38: 141-153.
- [3] Singh N K, Shepherd K W. Linkage mapping of the genes controlling endosperm proteins in wheat. 1. Genes on the short arms of group 1 chromosomes. *Theoretical and Applied Genetics*, 1988, 66: 628-641.
- [4] Payne P I, Holt L M, Jackson E A, Law C N. Wheat storage proteins: their genetics, their potential for manipulation by plant breeding. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London Series B. Biological Sciences*, 1984, B304: 359-371.
- [5] Gupta R B, Singh N K, Shepherd K W. The cumulative effect of allelic variation in LMW and HMW glutenin subunits on dough properties in the progeny of two bread wheats. *Theoretical and Applied Genetics*, 1989, 77: 57-64.
- [6] Lagudah E S, O'Brien L, Halloran G M. Influence of gliadin composition and high molecular weight subunits of glutenin on dough properties in an F₃ population of a bread wheat cross. *Journal of Cereal Science*, 1998, 7: 33-42.
- [7] Cornish G B, Panozzo J F, Wrigley C W. Victorian wheat protein families. *Cereals 98. Proc 48th Australian Cereal Chemistry Conf.* O'Brien L, Blakeney A B, Ross A S and Wrigley C W (eds). RACI: Melbourne, Australia. 1998:183-188.
- [8] Gianibelli M C, Larroque O R, MacRitchie F, Wrigley C W. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. *Cereal Chemistry*, 2001, 78(6): 635-646.
- [9] He Z H, Pena R J, Rajaram S. High molecular weight glutenin subunit composition of Chinese bread wheats. *Euphytica*, 1992, 64: 11-20.
- [10] 张学勇, 庞斌双, 游光霞, 王兰芬, 贾继增, 董玉琛. 中国小麦品种资源 *Glu-1* 位点组成概况及遗传多样性分析. *中国农业科学*, 2002, 35(11): 1 302-1 310.)
Zhang X Y, Pang B S, You G X, Wang L F, Jia J Z, Dong Y C. Allelic variation and genetic diversity at *Glu-1* loci in Chinese wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasms. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(11): 1 302-1 301. (in Chinese)
- [11] 刘丽, 何中虎, Peña R J, 于亚雄. 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, He Z H, Peña R J, Yu Y X. 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)
- [12] Gupta R B, Paul J G, Cornish G B, Palmer G A, Bekes F, Rathjen A J. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, *Glu-1*, *Glu-3* and

- Gli-1* of common wheats. I. Its additive and interaction effects on dough properties. *Journal of Cereal Science*, 1994, 19: 9-17.
- [13] Gupta G B, MacRitchie F. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, *Glu-3* and *Gli-1* of common wheats. Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *Cereal Chemistry*, 1994, 19: 19-29.
- [14] Gupta G B, MacRitchie F. A rapid one-step one-dimensional SDS-PAGE procedure for analysis of subunit composition of glutenin in wheat. *Journal of Cereal Science*, 1991, 14: 105-109.
- [15] Cornish G B, Burrige P M, Palmer G A, Wrigley C W. Mapping the origins of some HMW and LMW glutenin subunit alleles in Australian germplasm. Proceeding of 42nd Australia Cereal Chemistry Conference, Sydney, 1993: 255-260.
- [16] 朱金宝, 刘广田, 张树榛, 孙 辉. 小麦籽粒高、低分子量麦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. Effect of high molecular weight subunits and low molecular weight subunits of glutenin on wheat quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29(1): 34-39. (in Chinese)
- [17] 韩 彬, Shepherd K W. 低分子量谷蛋白亚基与醇溶蛋白的关系及其对小麦加工品质的影响. 中国农业科学, 1991, 24(4): 19-25.
Han B, Shepherd K W. The correlations between LMW glutenin subunits and gliadins and their effects on bread-making quality in the progeny of two wheats. *Scientia Agricultura Sinica*, 1991, 24(4): 19-25. (in Chinese)
- [18] 周 阳, 何中虎, 张改生, 夏兰芹, 陈新民, 高永超, 井赵斌, 于广军. 1BL/1RS 品种在我国小麦育种中的应用. 作物学报, 2004, 30(6): 531-535.
Zhou Y, He Z H, Zhang G S, Xia L Q, Chen X M, Gao Y C, Jing Z B, Yu G J. Application of 1BL/1RS in wheat breeding in China. *Journal of Chinese Crop Science*, 2004, 30(6): 531-535. (in Chinese)
- [19] Peña R J, Amaya A, Rajaram S, Mujeep-Kazi A. Variation in quality of characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *Journal of Cereal Science*, 1990, 12: 105-112.
- [20] 刘建军, 何中虎, Pena R J, 赵振东. 1BL/1RS 易位对小麦加工品质的影响. 作物学报, 2004, 30(2): 149-153.
Liu J J, He Z H, Pena R J, Zhao Z D. The effect of 1BL/1RS translocation on grain quality and noodle quality of bread wheat. *Journal of Chinese Crop Science*, 2004, 30(2): 149-153. (in Chinese)
- [21] 张立平, 何中虎, 陆美琴, 庞斌双, 张学勇, 夏兰芹, Ellison F. 用 *Glu-B3*, *Gli-B1* 和 *SEC-1b* 复合引物 PCR 检测普通小麦 1BL/1RS 易位系. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1 566-1 570.
Zhang L P, He Z H, Lu M Q, Pang B S, Zhang X Y, Xia L Q, Ellison F. Identification of 1BL/1RS translocation via multiplex PCR markers of *Glu-B3*, *Gli-B1* and *SEC-1b* in common wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1 566-1 570. (in Chinese)
- [22] 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. *Journal of Chinese Crop Science*, 2004, 30(8): 739-744. (in Chinese)
- [23] 刘建军, 何中虎, 赵振东, 刘爱峰, 宋建民, Pena R J. 小麦品质性状与干面条品质参数关系的研究. 作物学报, 2002, 28(6): 738-782.
Liu J J, He Z H, Zhao Z D, Liu A F, Song J M, Pena R J. Investigation on relationship between wheat quality traits and quality parameters of dry white Chinese noodles. *Journal of Chinese Crop Science*, 2002, 28(6): 738-782. (in Chinese)
- [24] 刘建军, 何中虎, 杨 金, 徐兆华, 刘爱峰, 赵振东. 小麦品种淀粉特性变异及其与面条品质关系的研究. 中国农业科学, 2003, 36(1): 7-12.
Liu J J, He Z H, Yang J, Xu Z H, Liu A F, Zhao Z D. Variation of starch properties in wheat cultivars and their relationship with dry white Chinese noodle quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(1): 7-12. (in Chinese)

(责任编辑 孙雷心)