

# 小麦-冰草多粒新种质的抗白粉病和高分子量麦谷蛋白亚基组成分析

韩海明,白丽,刘伟华,杨欣明,高爱农,李秀全,李立会

(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,北京 100081)

**摘要:**穗粒数是决定小麦产量的三因素之一,因此通过远缘杂交创造多粒新种质,对于拓宽小麦育种的遗传基础和促进育种水平的持续提高具有重要意义。本研究以通过多年多点鉴定证明具有多粒特性(粒数/穗>80)的31份普通小麦-冰草(*Agropyron cristatum*,  $2n = 4x = 28$ , PPPP)衍生后代为材料,通过田间接种白粉病生理小种 E09 进行抗病性鉴定、采用 SDS-PAGE 方法进行高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)组成分析以及株高、有效分蘖等农艺性状调查,发现26份材料表现抗白粉病,12份材料具有优质高分子量麦谷蛋白亚基组合,亚基组成为(2\*,7+8,5+10)或(1,7+8,5+10)。其中,8份材料的穗粒数大于80粒、株高小于75 cm、抗白粉病且具有优质高分子量麦谷蛋白亚基组合,这为未来培育兼具高产、优质、抗白粉病小麦新品种提供了重要的物质基础。此外,对多粒、抗白粉病和优质亚基的可能来源进行了讨论。

**关键词:**小麦-冰草;创新种质;多粒;抗白粉病;高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)

## Powdery Mildew Resistance and HMW-GS Composition Analysis of Novel Wheat-*Agropyron cristatum* Germplasm Possessing Large Kernel Number

HAN Hai-ming, BAI Li, LIU Wei-hua, YANG Xin-ming, GAO Ai-nong, LI Xiu-quan, LI Li-hui

(National Key Facility of Crop Gene Resources and Genetic Improvement/

Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Grain number per spike is one of the three main factors determining crop yield, so producing novel germplasm with large kernel number through distant hybridization has important significance for broadening the genetic basic and improving the breeding level continuously. Thirty one of Wheat-*Agropyron cristatum* derivative lines chosed in the study have the characteristic of large grain number, which were verified by multi-places and multi-years test. The evaluation of the powdery mildew resistance through inoculating the popular physiological race E09, the HMW-GS composition analysis by SDS-PAGE, and the investigation of agronomic traits were carried out. The results showed that 26 lines had powdery mildew resistance, and 12 lines had the desirable subunits compositions (2\*,7+8,5+10) or (1,7+8,5+10). In comprehensiveness, 8 lines of them had characteristic of grain number per spike more than 80, height under 75cm, as well as the characteristics of powder mildew resistance and high quality subunits compositions. These lines provided the important materials for wheat breeding in super-high-yield, high quality, and disease resistance. In addition, the possibility of the sources and utilizations of large kernel number, disease resistance, and the quality subunits were discussed.

**Key words:** Wheat-*Agropyron cristatum*; novel germplasm; large kernel number; powdery mildew resistance;

收稿日期:2012-03-28 修回日期:2012-04-23 网络出版日期:

URL:

基金项目:国家"973"计划(2011CB100104);农业部作物种质资源保护专项(NB2010-2130135-25-02)

作者简介:韩海明,博士研究生,研究方向为小麦创新种质遗传评价。E-mail: hhm1108@yahoo.com.cn

白丽为并列第一作者,硕士研究生,基因挖掘与功能验证。E-mail: bailifly@yahoo.cn

通信作者:李立会,研究员。E-mail: lilihui@caas.net.cn

## high molecular weight glutenin subunit(HMW-GS)

小麦的单位面积产量是由单位面积穗数、每穗粒数和千粒重三因素构成的,单位面积产量的提高决定于该三因素的协调发展。在这些构成因素中,增加每穗粒数对于提高产量是最重要而可靠的指标<sup>[1]</sup>,而单位面积穗数和平均穗重的增加则常受制于品种遗传特性及环境条件<sup>[2]</sup>,因此,穗粒数是决定小麦产量的三因素中最具突破潜力的要素。关于穗粒数与产量的关系,目前已经做了大量的研究<sup>[3-6]</sup>,Reynolds 等<sup>[7]</sup>认为,增加产量本质就是增加小麦穗粒数;其他学者也指出,对作物进行遗传改良,可在基因水平上操作来延长决定穗粒数的生长阶段,以此达到增产的目的<sup>[8]</sup>。

通过远缘杂交创造多粒新种质,对于拓宽小麦育种的遗传基础和促进育种水平的持续提高具有重要意义。遗传基础狭窄是影响小麦遗传改良的根本问题,由于可利用基因资源的有限性,使得产量难以实现突破,成为制约小麦育种的最大瓶颈,而小麦野生近缘植物遗传多样性丰富,携带抗病、抗逆和丰产等多种有益基因<sup>[9-10]</sup>,通过远缘杂交的方法将这些优异基因导入栽培小麦可大大促进小麦的遗传改良。冰草(*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.) 具有很多可供小麦遗传改良的优异基因<sup>[11]</sup>。李立会等<sup>[12]</sup>、Wu 等<sup>[13]</sup>在小麦和冰草杂交成功的基础上创制了大穗多粒材料 4844-12,并通过遗传学分析确定多粒基因来自冰草 6P。小麦-冰草远缘杂交工作的成功及异源附加系的建立为冰草 P 基因组的优异基因转移到小麦提供了前提。

本研究所用材料为小麦-冰草的衍生后代,经过北京、河南、河北、陕西、山东等生态区 3 年多点的鉴定,农艺性状表现稳定。通过对穗粒数、株高、有效分蘖等农艺性状和抗白粉病、高分子量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)组成等综合分析,发掘出具有多个优异性状的新种质,为未来培育兼具高产、优质、抗白粉病小麦新品种提供重要的物质基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

31 份小麦-冰草衍生材料(表 1),均由本课题组培育。对照品种为 Fukuho、藁城 8901、中国春、Neepawa 和小偃 6 号,均由中国农业科学院作物科学研究所种质资源研究中心小麦室保存并提供。

表 1 供试材料

Table 1 Materials used in this study

组合 Combination	材料编号 Materials NO.
(4201/CMH83.605//FC 大穗) ×藁城 8901	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11, 12,13,14,15,16,17,18,19, 20,21,22,26,27,28,31
(4363-1 × Hi-Line) × FC 大穗	29,30
(CMH83.605 × McGuire) × FC 大穗	25
Fukuho × <i>A. cristatum</i> accession Z559	23,24

4201 是 Fukuho × *A. cristatum* accession Z559 多代自交后得到的无蜡材料与莱州 953 杂交后花药培养得到;FC 大穗是 Fukuho × *A. cristatum* accession Z559 多代自交得到;4363-1 是组合(Fukuho × *A. cristatum* Z559) × 郑资 8748-06

4201:(Fukuho × *A. cristatum* accession Z559) × Laizhou 953;FC:Fukuho × *A. cristatum* accession Z559;4363-1:(Fukuho × *A. cristatum* Z559) × Zhengzi 8748-06

### 1.2 农艺性状调查和分析

供试材料经 3 年多种植性状表现稳定,种植标准为每份材料种植 2 行,每行 40 粒,行长 2 m,行间距 0.30 m。成熟后每个材料以 2 行中间位置随机取样 10 个单株,考察株高、有效分蘖、穗长、穗粒数等性状;另外,在小麦拔节期采用当前流行的白粉病生理小种 E09 对材料进行人工接种,充分发病后调查,按 HR(高抗)、R(抗病)、MR(中抗)、S(感病)、HS(高感)记载抗性级别<sup>[14]</sup>。

### 1.3 高分子量麦谷蛋白亚基的鉴定

每份材料随机取 3 粒种子进行 HMW 组成分析,样品的提取和 SDS-PAGE 电泳过程参考张玲丽等<sup>[15]</sup>方法,以中国春(null,7+8,2+12)、Neepawa(2\*,7+9,5+10)和小偃 6 号(1,14+15,2+12)为对照。按 Payne 等<sup>[16]</sup>、Lawrence 等<sup>[17]</sup>的亚基/亚基组合评分标准进行品质评分。

## 2 结果与分析

### 2.1 穗粒数、株高、有效分蘖等农艺性状表现

对农艺性状进行调查发现,31 份供试材料均有良好的穗部性状。由表 2 可见,对照品种 Fukuho 与藁城 8901 的穗粒数分别为 40.5 和 54.0,而供试材料的穗粒数都在 80 粒以上,远远高于对照品种;供试材料的小穗粒数分布在 5.2~7.9 之间,大于 6.0

粒的有 17 份材料,而对照材料分别为 4.0 和 4.3,明显低于供试材料;对照品种的小穗数分别是 14.8 和 19.2,多粒新种质的小穗数在 19.5~22.8 之间,较藁城 8901 没有太大的提高,说明多粒新种质穗粒

数的提高主要依靠小穗粒数的增加。有效分蘖分布范围较大,在 2.0~7.7 个之间,株高低于 75cm 的有 19 份材料。穗粒数高于 80 粒并且株高较矮的小麦-冰草新种质是我国小麦高产育种的宝贵资源。

表 2 供试材料和对照亲本的主要农艺性状表现、抗白粉病表现和高分子量谷蛋白亚基组成

Table 2 The main agronomic traits, the powdery mildew resistance and the HMW-GS composition of wheat-*A. cristatum* derivative lines and their partial parents

材料编号 Code	株高 (cm) PH	有效分蘖 ETNP	穗长 (cm) SL	小穗数 SNPS	小穗粒数 KNPS	穗粒数 GNPS	白粉病抗性 DR	HMW-GS 组成 Composition of HMW-GS			HMW-GS 组合评分 Score
1	71.6	5.1	9.4	20.8	5.9	89.0	抗 R	2*	7+8	5+10	10
2	78.8	4.5	8.7	22.0	6.3	97.7	抗 R	1	7+9	2+12	7
3	74.4	5.6	7.9	21.0	5.9	85.3	抗 R	2*	7+8	5+10	10
4	74.4	4.1	8.5	21.8	6.0	91.5	抗 R	1	7+8	5+10	10
5	72.6	3.2	7.1	22.7	6.9	100.2	抗 R	1	7+9	5+10	9
6	70.6	5.3	6.9	22.3	6.2	92.1	抗 R	1	7+9	5+10	9
7	75.1	3.7	7.0	23.0	5.8	86.9	抗 R	1	7+9	5+10	9
8	75.3	5.8	6.9	22.0	5.5	83.0	抗 R	1	7+9	5+10	9
9	70.0	3.2	7.2	22.2	6.6	97.2	抗 R	1	7+9	5+10	9
10	70.6	5.9	12.0	21.1	5.4	83.0	感 S	2*	7+9	5+10	9
11	64.6	6.0	6.8	23.2	5.7	83.1	感 S	2*	7+8	5+10	10
12	64.1	5.0	11.0	22.0	5.6	80.8	抗 R	1	7+8	5+10	10
13	68.7	2.7	7.9	19.5	5.9	81.6	抗 R	1	7+8	5+10	10
14	69.0	2.1	7.8	20.3	6.1	86.5	抗 R	1	7+9	5+10	9
15	92.9	5.7	10.2	22.8	6.3	96.8	中抗 MR	Null	7+8	2	-
16	81.4	6.7	8.0	20.9	5.4	80.7	抗 R	1	7+9	5+10	9
17	80.9	3.7	8.7	22.3	6.3	99.3	抗 R	2*	7+9	5+10	9
18	80.3	3.5	8.8	21.4	5.8	86.8	抗 R	1	7+8	5+10	10
19	63.6	2.0	9.6	19.5	6.1	88.3	感 S	2*	7+8	5+10	10
20	63.3	2.1	10.6	20.5	7.2	96.7	抗 R	2*	7+8	5+10	10
21	75.5	3.1	9.4	19.8	6.0	80.5	抗 R	1	7+9	5+10	9
22	66.2	7.7	10.5	23.1	5.6	94.0	感 S	2*	7+8	5+10	10
23	88.6	4.5	11.3	23.3	7.9	120.9	中抗 MR	Null	7+8	2	-
24	83.7	2.7	11.7	23.2	7.7	128.0	中抗 MR	Null	7+8	2	-
25	85.4	5.3	10.3	24.1	5.2	87.4	感 S	Null	7+8	2	-
26	59.9	6.9	7.3	23.0	5.5	81.2	中抗 MR	Null	7+8	2+12	7
27	69.4	5.7	7.9	21.5	6.0	87.5	抗 R	1	7+8	5+10	10
28	60.8	4.7	7.9	23.2	5.8	90.1	中抗 MR	2*	7+8	5+10	10
29	71.3	6.1	9.1	20.8	6.2	89.0	抗 R	Null	7+8	2+12	7
30	72.4	5.1	9.3	21.4	6.4	90.9	高抗 HR	Null	7+8	2+12	7
31	79.1	4.8	7.7	19.9	6.0	84.2	抗 R	1	7+9	5+10	9
Fukuho	55.2	6.0	7.4	14.8	4.0	40.5	感 S	2*	7+8	2.2+10	-
藁城 8901	59.3	5.6	7.8	19.2	4.3	54.0	感 S	1	7+8	5+10	10
CMH83.605	/	/	/	/	/	/	/	2*	7+9	5+10	9
Hi-Line	/	/	/	/	/	/	/	2*	17+18	5+10	10
McGuire	/	/	/	/	/	/	/	1	7+9	5+10	9

“-”表示未参与亚基评分;“/”表示数据未给出 “-” stand for the submits were not scored;“/” stand for the data were not given

PH: Plant height; ETNP: Effective tiller number of plant; SL: Spikelength; SNPS: Spikelet number per spike; KNPS: Kernel number per spikelet; GNPS: Grain number per spike; DR: Disease resistance

## 2.2 对白粉病的抗性表现

通过成株期的白粉病抗性调查发现,有 26 份小麦-冰草多粒种质表现抗白粉病,其中高抗的 1 份,抗病的 20 份,中抗的 5 份(表 2)。

## 2.3 高分子量麦谷蛋白亚基组成分析

在以往的研究中,*Glu-A1* 位点的 2\*、1 亚基,*Glu-B1* 位点的 7+8 亚基以及 *Glu-D1* 位点的 5+10 亚基被认为是优质亚基<sup>[18-19]</sup>,对小麦的加工品质效应明显。本研究的 31 份小麦-冰草多粒新种质中有 24 份材料的 *Glu-A1* 位点具有 1 或 2\* 亚基,有 19 份材料的 *Glu-B1* 位点具有 7+8 亚基,有 23 份材料的 *Glu-D1* 位点具有 5+10 亚基(表 2),部分供试材料的高分子量麦谷蛋白的 SDS-PAGE 分析见图 1。按照 Payne 等<sup>[16]</sup>、Lawrence 等<sup>[17]</sup> 的评分标准,对供试材料及亲本的各亚基组合给予评分(表 2)。特殊亚基 2.2+10 以及 *Glu-D1* 位点上有缺失的 2 亚基未能确定评分标准,故亚基组合(null,7+8,2)(图 1),(2\*,7+8,2.2+10)未进行评分。在供试材料中 HMW-GS 品质得分为 7-10 分。其中 23 份小麦-冰草多粒新种质的评分在 8 分以上(表 2)。更为宝贵的是,有 12 份材料的 HMW-GS 组合评分为 10 分,亚基组合形式分别为:(2\*,7+8,5+10)或(1,

7+8,5+10)。这些材料将为小麦的品质改良提供宝贵的种质资源。

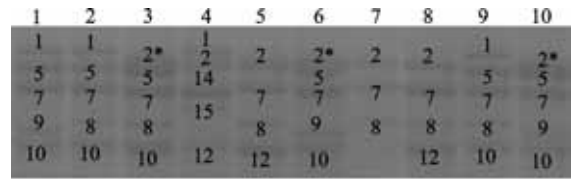


图 1 部分供试材料的高分子量麦谷蛋白的 SDS-PAGE 分析

Fig 1 SDS-PAGE of HMW-GS in parts of wheat germplasms analyzed

泳道 1-10 对应的材料分别是:5,27,28,小偃 6 号,中国春,Neepawa,24,29,藁城 8901,CMH83.605;泳道中的每个数字分别代表对应的亚基 The lanes from 1 to 11 are respectively 5,27,28,Xiaoyan6,Chinese Spring,Neepawa,24,29,Gaocheng8901,CMH83.605;The numbers in the lane represent the corresponding HMW-GS

## 2.4 具有多个优异性状的新种质

综合穗粒数、株高等农艺性状,抗白粉病表现和 HMW-GS 组成发现,有 8 份小麦-冰草新种质株高低于 75cm,穗粒数大于 80 粒,并且还具具有抗白粉病和优质高分子量麦谷蛋白亚基组合的特点(表 3),说明这些新种质综合性状优异,这为未来培育兼具高产、优质、抗白粉病小麦新品种提供了重要的物质基础。

表 3 具有多个优异性状的新种质

Table 3 The novel germplasm with many excellent traits

材料编号 NO.	株高(cm) PH	穗粒数 GNPS	千粒重(g) TKW	饱满度 Plumpness	抗病性 DR	亚基组成 Subunit composition			HMW-GS 组合评分 Score
1	71.6	89	32.0	中等 SP	抗 R	2*	7+8	5+10	10
3	74.4	85	33.8	中等 SP	抗 R	2*	7+8	5+10	10
4	74.3	91.5	25.2	不饱满 NP	抗 R	1	7+8	5+10	10
12	64.1	80.8	42.8	饱满 P	抗 R	1	7+8	5+10	10
13	68.7	81.6	42.2	饱满 P	抗 R	1	7+8	5+10	10
20	63.3	96.7	45.7	饱满 P	抗 R	2*	7+8	5+10	10
27	69.4	87.5	47.3	饱满 P	抗 R	1	7+8	5+10	10
28	60.8	90.1	50.2	饱满 P	中抗 MR	2*	7+8	5+10	10

## 3 讨论

### 3.1 具有多个优异性状的创新种质能够在育种中发挥更为重要的作用

提高产量、改善品质、增强抗性、提高资源利用率和小麦的市场竞争力已成为今后小麦育种的发展方向。狭窄的遗传基础限制了产量的增加和品质的改良,因而具有多个优异性状的创新种质能够在育种中发挥更为重要的作用。含有提莫菲维小麦的抗条锈、白粉病基因 *Sr36/Pm6* 的易位系<sup>[20]</sup> 和含有长

穗偃麦草抗叶锈病、条锈病基因 *Lr24/Sr24* 的易位系<sup>[21-22]</sup> 都是由于其具有多个抗病基因而得到广泛应用的优异遗传资源。1BL/1RS 易位系不但具有来自黑麦的抗条锈病、秆锈病、叶锈病和白粉病的基因(*Lr26, Sr31, Yr9, Pm8*)<sup>[23]</sup>,而且在某些小麦背景下可以提高小麦的产量<sup>[24-25]</sup>,因其具有多个优异性状而在世界范围内得到广泛利用。李晴祺等<sup>[26]</sup> 更是将不同的矮秆基因、丰产基因及抗病基因相互重组融合,创制了新种质矮孟牛,将其与育种实践相结合不仅可以对个别性状进行改良,而且可以提高后

代的综合表现水平, 在我国的黄淮海区应用广泛。本研究小麦-冰草新种质经过3年的多点试验证明其具有多粒特性和良好的适应性, 其中的8份多粒材料兼具株高较矮、抗白粉病和含有优质高分子量麦谷蛋白亚基组合, 这些小麦-冰草多粒新种质在育种中将有广泛的应用前景。

### 3.2 多粒、抗白粉病和优质亚基的可能来源分析

本研究所用的31份小麦-冰草新种质都具有多粒(粒数/穗 > 80粒)特性, 其中具有白粉病抗性的材料有26份, 由系谱分析(表1, 表2)可知, 小麦亲本Fukuho和藁城8901的穗粒数都远远低于新种质, 对白粉病都表现感病, 而冰草(*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.)具有多花多粒的特性同时还对白粉病、锈病、黄矮病表现抗性<sup>[10-11]</sup>, 所以推测多粒和抗白粉病性状来源于冰草, 但仍需要利用*GISH*、*P*基因组特异标记等方法进一步验证。在供试的31份多粒材料中, 有12份材料的HMW-GS组合评分为10分, 亚基组合分别为(2\* , 7+8, 5+10)或(1, 7+8, 5+10), 均来源于(4201/CHM83.605//FC大穗) × 藁城8901杂交组合(表1, 表2)。由此推测, 1亚基来源于藁城8901, 2\*亚基来源于CHM83.605, 5+10来源于藁城8901和CHM83.605。

综上所述, 本研究所分析的31份小麦-冰草多粒(穗粒数80粒以上)新种质中, 有26份抗白粉病, 12份的HMW-GS组合评分为10分, 并且其中的8份材料兼具株高较矮(小于75cm)和抗白粉病等优良性状。这些材料将为培育兼具高产、优质、抗白粉病小麦新品种提供新的优异种质资源。

### 参考文献

[1] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003

[2] 许为刚, 胡琳, 吴兆苏, 等. 关中小麦品种产量与产量结构遗传改良的研究[J]. 作物学报, 2000, 26(3): 352-358

[3] Savin R, Slafer G A. Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar[J]. J Agric Sci Camb, 1991, 116: 1-7

[4] Fischer R A. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response[J]. Field Crops Res, 1993, 33: 57-80

[5] Sayre K D, Rajaram S, Fische R A. Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico[J]. Crop Sci, 1997, 37: 36-42

[6] Gonzalez F G, Slafer G A, Miralles D J. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats[J]. Field Crops Res, 2003, 81: 17-27

[7] Reynolds M, Condon A J, Rebetzke G J, et al. Evidence for excess

photosynthetic capacity and sink-limitation to yield and biomass in elite spring wheat [C]//Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. Brisbane, 2004

[8] Slafer G A, Abeledo L G, Miralles D J, et al. Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat[J]. Euphytica, 2001, 119: 191-197

[9] Dewey D R. The genomic system of classification as a guide to intergeneric hybridization with the perennial triticeae [M]//Gustafson J P, Gene Manipulation in Plant Improvement. New York: Plenum Press, 1984: 209-279

[10] Dong Y S, ZHOU R H, Xu S J, et al. Desirable characteristics in perennial Triticeae collected in China for wheat improvement[J]. Hereditas, 1992, 116: 175-178

[11] 李立会, 董玉琛. 普通小麦与冰草间杂种的细胞遗传学及其自交可育性[J]. 遗传学报, 1995, 22(2): 109-115

[12] 李立会, 杨欣明, 李秀全, 等. 通过属间杂交向小麦转移冰草优异基因的研究[J]. 中国农业科学, 1998, 31(6): 1-5

[13] Wu J, Yang X M, Wang H, et al. The introgression of chromosome 6P specifying for increased numbers of florets and kernels from *Agropyron cristatum* into wheat [J]. Theor Appl Genet, 2006, 114: 13-20

[14] 董玉琛, 郑殿升. 中国小麦遗传资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998

[15] 张玲丽, 李秀全, 杨欣明, 等. 小麦优良种质资源高分子量麦谷蛋白亚基组成分析[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2406-2414

[16] Payne P, Lawrence G. Catalogue of alleles for the complex gene loci, Glu-A1, Glu-B1, and Glu-D1 which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat [J]. Cereal Research Communications, 1983, 11(1): 29-35

[17] Lawrence G, Payne P. Detection by gel electrophoresis of oligomers formed by the association of high-molecular-weight glutenin protein subunits of wheat endosperm [J]. J Expe Bot, 1983, 34(3): 254

[18] 赵和, 卢少源, 李宗智. 小麦高分子量麦谷蛋白亚基遗传变异及其与品质和其它农艺性状关系的研究[J]. 作物学报, 1994, 20(1): 67-75

[19] Trethowan R M, Pena R J, Van Ginkel M. The effect of indirect tests for grain quality on the grain yield and industrial quality of bread wheat [J]. Plant Breeding, 2001, 120: 509-512

[20] McIntosh R A, Wellings C R, Park R E. Wheat rusts: an atlas of resistance genes [M]. CSIRO, Australia, 1995

[21] Smith E L, Schlehner A M, Young H C, et al. Registration of Agent wheat [J]. Crop Sci, 1968, 8: 511-512

[22] McIntosh R A, Dyck P L, Green G J. Inheritance of leaf rest and stem rust resistance in wheat cultivars Agent and Agatha [J]. Aust. J Agric Res, 1977, 28: 37-45

[23] McIntosh R A. Catalogue of gene symbols for wheat [M]//Proceedings of the 7th International Wheat Genetics Symposium. Bath Press, Bath, Cambridge. England: Bath Press, 1988: 1225-1323

[24] Moreno-Sevilla B, Baenziger P S, Peterson C J, et al. The 1BL/1RS translocation; agronomic performance of F3-derived lines from a winter wheat cross [J]. Crop Sci, 1995, 35: 1051-1055

[25] Villareal R L, Banuelos O, Mujeeb-Kazi A, et al. Agronomic performance of chromosomes 1B and T1BL 1RS near-isolines in the spring bread wheat Seri M82 [J]. Euphytica, 1998, 103: 195-202

[26] 李晴祺, 李安飞, 包文翔, 等. 冬小麦新种质“矮孟牛”的创造及研究利用的进展 [C]//21世纪小麦遗传育种展望—小麦遗传育种国际学术讨论会文集. 北京: 中国农业科技出版社, 2001