

1BL/1RS 易位系小麦品质性状相关 基因等位变异分析

李孟军,李亚青,张楠,史占良*

(石家庄市农林科学研究院/河北省小麦工程技术研究中心,河北 石家庄 050041)

摘要: 为了探讨 1BL/1RS 易位系在小麦品质育种中的潜在利用价值,利用小麦品质相关基因分子标记,明确了 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中 5 个相关基因型的分布规律。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,*Ppo-A1b* 和 *Ppo-D1a* 2 个基因型分布频率分别为 58.2% 和 64.0%,*Ppo-A1b/Ppo-D1a* 基因型所占比例为 36.8%。这表明 1BL/1RS 易位系在低 PPO 活性小麦育种中具有应用价值。*Psy-A1* 低黄色素等位变异基因型 *Psy-A1b* 仅占全部 1BL/1RS 易位系品种(系)的 30.2%。在低黄色素小麦育种亲本组配中,应注意 1BL/1RS 易位系品种(系)的选择。硬质麦 *Pinb-D1b* 基因型所占比例为 60.9%。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,其中 27 份的基因型为 *Ppo-A1b/Ppo-D1a/Psy-A1b/Pind-D1b*,这些品种(系)在小麦品质育种中有重要应用价值。穗发芽密切相关基因 *Vp1* 的等位基因 *Vp-1Ba*、*Vp-1Bb*、*Vp-1Bc* 所占比例分别为 33.3%、3.1%、63.6%。

关键词: 小麦; 1BL/1RS 易位系; 品质相关基因; 分子标记

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2016)03-0024-10

Analysis on Allelic Variation of Quality-related Gene in 1BL/1RS Translocation Wheat Cultivars

LI Mengjun, LI Yaqing, ZHANG Nan, SHI Zhanliang*

(Shijiazhuang Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Wheat Engineering
Research Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050041, China)

Abstract: In order to analyze utilization value of 1BL/1RS translocation in wheat quality breeding, the allelic distribution of five quality-related genotypes, *Ppo-A*, *Ppo-D*, *Psy-A*, *Pinb-D1* and *Vp-1*, in 258 1BL/1RS translocation wheat cultivars (lines) were detected using molecular makers of these genes. In 258 1BL/1RS translocation wheat cultivars (lines), the distribution frequency of *Ppo-A1b* and *Ppo-D1a* were 58.2% and 64.0%. The allelic combination of *Ppo-A1b/Ppo-D1a* occupied 36.8%. The results showed that 1BL/1RS translocation lines could be used in the low-PPO-activity wheat breeding. The frequency for the allele of low yellow pigment, *Psy-A1b*, was 30.2%. In low-yellow-pigment wheat breeding, 1BL/1RS translocation lines should be selected carefully. The percentage of *Pinb-D1b* allele was 60.9%. In 258 1BL/1RS translocation wheat cultivars (lines), 27 belonged to the allelic combination of *Ppo-A1b/Ppo-D1a/Psy-A1b/Pind-D1b*. The 27 cultivars were important in wheat quality breeding. The frequencies of ear sprouting related genes *Vp-1Ba*, *Vp-1Bb*, and *Vp-1Bc*, were 33.3%, 3.1% and 63.6%.

Key words: wheat; 1BL/1RS translocation lines; quality-related gene; molecular marker

收稿日期:2015-11-05
基金项目:河北省自然科学基金项目(C2014106075);国家转基因重大专项(2011ZX08002-005);国家科技支撑计划项目(2011BAD35B03)
作者简介:李孟军(1972-),男,河北玉田人,副研究员,博士,主要从事作物分子生物学研究。
E-mail:lmj199612@aliyun.com
* 通讯作者:史占良(1962-),男,河北新乐人,研究员,主要从事小麦遗传育种研究。E-mail:shizhanl@163.com

黑麦 1RS 染色体臂取代小麦 1BS 染色体臂形成的小麦—黑麦 1BL/1RS 易位系,具有黑麦 1RS 携带的抗叶锈、秆锈、条锈和白粉病等抗病和抗虫基因^[1-2],同时具有良好的丰产性和适应性,因此在世界小麦育种中被广泛使用^[3-7]。1BL/1RS 易位系是继“农林 10 号”矮秆基因用于小麦育种后,小麦育种史上第 2 个开创性的成果^[8]。我国 20 世纪 80 年代后育成的小麦品种中 1BL/1RS 易位系品种约占 38%,其中北方冬麦区和黄淮冬麦区频率分别为 59% 和 42%^[9]。王晓军等^[10]对 211 份黄淮麦区小麦品种(系)的检测显示,1BL/1RS 易位系小麦占 38.4%,1BL/1RS 易位杂合品种(系)占 5.7%。1BL/1RS 易位系小麦在我国特别是北方冬麦区和黄淮冬麦区小麦育种和生产中占有重要地位。因此,利用分子标记分析 1BL/1RS 易位系中品质相关优良等位基因,对于深入挖掘其育种潜力具有重要意义。

小麦籽粒多酚氧化酶(PPO)是造成面粉和面制品褐变的主要因素。PPO 氧化籽粒中酚酸等微量营养物质,降低面粉及面制品的营养价值,因此,降低籽粒 PPO 活性是小麦品质改良目标之一^[11-13]。环境因素和基因型均能影响小麦籽粒 PPO 的活性,但小麦基因型是主要因素^[13]。控制小麦籽粒 PPO 活性的主效基因位于小麦第 2 同源群上^[14-18]。标记 PPO18 能够检测 2AL 染色体上控制 PPO 活性的 *Ppo-A1* 的等位基因 *Ppo-A1a* 和 *Ppo-A1b*^[19];互补显性标记 PPO16 和 PPO29 能够检测 2DL 染色体上控制 PPO 活性的 *Ppo-D1* 的等位基因 *Ppo-D1a* 和 *Ppo-D1*^[20]。

小麦籽粒黄色素含量与面制品颜色高度相关,八氢番茄红素合成酶(phytoene synthase, *Psy*)是植物类胡萝卜素合成途径中的一个关键调节酶,其活性高低影响籽粒胚乳的颜色^[21]。根据小麦 7A 染色体上的 *Psy1-A* 的 DNA 序列多态性开发的功能标记 YP7A 能够有效区分控制高、低黄色素含量的等位基因 *Psy-A1a* 和 *Psy-A1b*,这为通过分子标记辅助选择培育低黄色素含量的小麦品种(系)提供了分子工具^[22]。

籽粒硬度是小麦重要的品质性状之一。在黄淮麦区的硬质麦中,仅检测到 *Pinb-D1b*、*Pinb-D1p* 和 *Pina-D1b* 3 种 *puroindoline-D1* 等位变异类型,其中, *Pinb-D1b* 所占比例最高^[23]。在春小麦中, *Pinb-D1b* 类型材料的磨粉评分、馒头与面条评分均高于 *Pina-D1b* 和 *Pinb-D1a* 类型^[24-25]。因此,在小麦育种中选择 *Pinb-D1b* 类型有助于提高小麦的磨粉品质和加工品质。*Pinb*(*Puroindoline b*)的单

核苷酸突变导致氨基酸改变(*Pinb-D1a*^{Glycine}→*Pina-D1b*^{Serine}),含有 *Pinb-D1b* 类型材料籽粒硬度高于含有 *Pinb-D1a* 类型材料。Giroux 等^[26]根据该单核苷酸差异设计了 STS 引物,该引物可用于 *Pina-D1b* 基因型的分子检测。

Vp-1 基因在种子的成熟、干燥及休眠过程中起关键作用^[27-30]。依据 *Vp-1* 基因第 3 个内含子的差异开发的 STS 标记,在不同穗发芽抗性材料中分别扩增出 3 种类型的片段,分别命名为 *Vp-1Ba*、*Vp-1Bb* 和 *Vp-1Bc*。在白粒小麦品种(系)中,该 STS 标记与其穗发芽抗性密切相关,但在红粒小麦品种(系)中无相关关系^[31]。

1BL/1RS 易位系小麦在我国特别是北方冬麦区和黄淮冬麦区小麦育种和生产中占有重要地位。小麦品质相关基因功能标记的开发与应用,为更好地利用 1BL/1RS 易位系小麦资源提供了新的思路。本研究选用 258 份 1BL/1RS 易位系品种(系)进行 *Ppo-A1*、*Ppo-D1*、*Psy-A1*、*Pina-D1* 和 *Vp-1* 基因等位变异的分子检测,以验证这些基因分子标记的有效性,明确这些基因类型在 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中的分布规律,为 1BL/1RS 易位系在小麦品质育种中的应用提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

从石家庄市农林科学研究院小麦研究所和河北省农林科学院小麦资源室保存的 1 850 份小麦品种(系)中鉴定出 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)482 份^[32]。在石家庄市农林科学研究院院部试验地经过连续 4 a 农艺性状观察,258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)在本地区田间表现良好。本研究选用 258 份品种(系)用于小麦品质性状相关基因分子标记检测。

1.2 基因组 DNA 提取

258 个 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)分别种植于营养钵中,每个品种(系)选取 3 株分别提取基因组 DNA。基因组 DNA 提取采用基因组 DNA 提取试剂盒(天根生化科技有限公司),操作按试剂盒说明进行。

1.3 分子标记检测

1BL/1RS 易位系品质相关基因等位变异检测采用分子标记。PCR 反应体系(20 μL):2 × *Taq* PCR StarMix (GenStar) 10 μL,引物(表 1)各 1 μL (10 μmol/L),模板基因组 DNA 2 μL (100 ng/L),ddH₂O 6 μL。PCR 扩增程序见文献[19,20,22,26,31,32]。

PCR 扩增产物采用 2.0% 琼脂糖凝胶电泳检测,缓冲液为 1 × TAE,溴化乙锭染色观察记录。

表 1 1BL/1RS 易位系小麦中鉴别品质相关基因型的引物

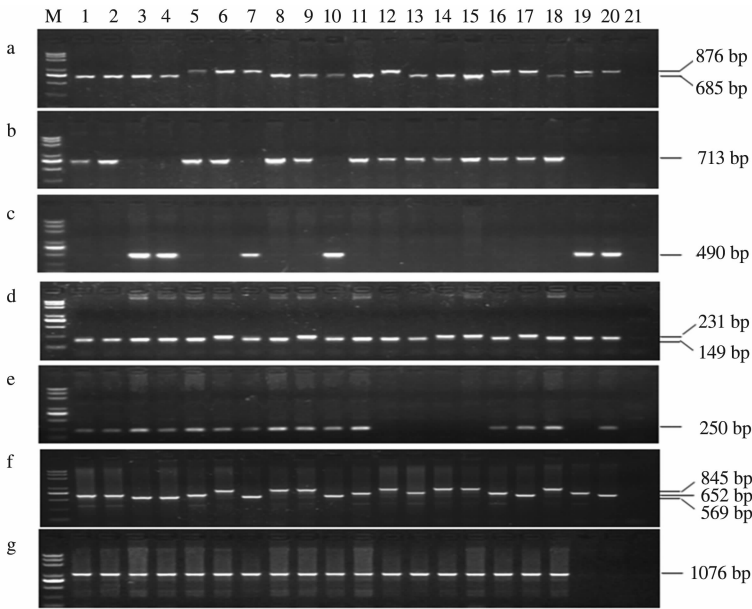
标记	上游引物序列 (5'—3')	下游引物序列 (5'—3')	扩增片段大小/bp
PPO18	AACTGCTGGCTCTTCTCCCA	AAGAAGTTGCCCATGTCGCGC	685/876
PPO16	TGCTGACCGACCTTGACTCC	CTCGTCACCGTCACCCGTAT	713
PPO29	TGAAGCTGCCGGTCATCTAC	AAGTTGCCCATGTCCTCGCC	490
YP7A	GGACCTTGCTGATGACCGAG	TGACGGTCTGAAGTGAGAATGA	194/231
Pinb - D1b	ATGAAGACCTTATTCTCCTA	CTCATGCTCACAGCCGCT	250
Vp1B3	TGCTCCTTTCCCAATTGG	ACCCTCTGCAGCTCATTG	569/652/845
ω - sec	ACCTTCCTCATCTTTGTCCT	CCGATGCCTATACCACTACT	1 076

2 结果与分析

2.1 PPO 基因的等位变异分析

标记 PPO18 在 *Ppo - A1a* 和 *Ppo - A1b* 2 种等位基因变异的小麦品种(系)中分别扩增出 685 bp 和

876 bp 2 种片段(图 1 - a)。标记 PPO16 和标记 PPO29 在检测 *Ppo - D1a* 和 *Ppo - D1b* 2 种等位基因变异的小麦品种(系)中呈现互补关系,分别扩增出 713 bp 和 490 bp 2 种片段(图 1 - b、图 1 - c),即这 2 个标记在品种检测中互补出现,可以相互验证。



M. DL2000 plus; 1. 京冬 10 号; 2. 陕 354; 3. 陕 167; 4. 临麦 6 号; 5. 邯 4304; 6. 衡 2001 - 6599; 7. 莱州 137; 8. 原冬 93; 9. 冀麦 36; 10. 临 8014; 11. 临 5090; 12. 山农 1455; 13. 存麦 1 号; 14. 衡 05116; 15. 冀 9709; 16. 淮 9876; 17. 川育 16 号; 18. 津强 1 号; 19. 冀师 02 - 1(非 1BL/1RS 易位系); 20. 石 4366(非 1BL/1RS 易位系); 21. ddH₂O

图 1 利用分子标记 PPO18(a)、PPO16(b)、PPO29(c)、Yp7A(d)、Pinb - D1b(e)、Vp1B3(f)、ω - sec(g) 检测小麦 ω - secalin 和 5 个品质相关基因的等位变异

在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,*Ppo - A1a* 和 *Ppo - A1b* 基因型分别为 100 份 和 158 份,频率分别为 38.8% 和 61.2%。*Ppo - D1a* 和 *Ppo - D1b* 基因型分别为 165 份 和 93 份,各占 64.0% 和 36.0%。2 个基因组合类型 *Ppo - A1a/Ppo - D1a*、*Ppo - A1a/Ppo - D1b*、*Ppo - A1b/Ppo - D1a* 和 *Ppo - A1b/Ppo - D1b* 分别为 70 份、30 份、95 份和 63 份,频率分别为 27.2%、11.6%、36.8% 和 24.4%(表 2)。分子检测结果表明,低 PPO 活性基因型在 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)分布频率较高,说明在低 PPO 活性小麦育种中亲本选择范围较广。

2.2 Psy - A1 基因的等位变异分析

标记 YP7A 在 *Psy - A1a* 和 *Psy - A1b* 2 种等位基因变异的小麦品种(系)中分别扩增出 194 bp 和 231 bp 2 种片段(图 1 - d)。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,*Psy - A1a* 和 *Psy - A1b* 基因型分别为 180 份 和 78 份,频率分别为 69.8% 和 30.2%(表 2)。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,*Psy - A1a* 基因型的高频率分布说明大部分 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)黄色素含量较高,不符合馒头、面条等传统食品的白度要求,在利用 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)育种时,应注意选用

Psy - A1b 基因型品种(系)配制杂交组合,以期降低 籽粒黄色素含量,提高小麦品质。

表 2 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)品质相关基因的等位变异

编号	品种	来源	标记类型				
			PPO18	PPO16	PPO29	YP7A	Pinb - D1b
1	京冬 10 号	北京	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
2	轮选	北京	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
3	农大 3432	北京	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
4	原冬 93	北京	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bb</i>
5	中作 6 号	北京	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
6	中梁 99293	甘肃	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
7	NC2 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
8	SH529	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
9	沧麦 028	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
10	藁麦 5 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
11	观 35	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
12	邯 02 - 4080	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
13	邯 02 - 6018	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
14	邯 03 - 5054	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
15	邯 04 - 8062	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
16	邯 06 - 5170	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
17	邯 4304	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
18	邯 4564	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
19	邯 5030	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
20	邯 6172	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
21	邯 6228	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
22	邯 93 - 4686	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
23	邯 9575	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
24	邯麦 9 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
25	邯农 3257	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
26	邯优 1 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
27	邯原 1 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
28	邯早 1 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
29	河农 1150	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
30	河农 2552	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
31	河农 326	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
32	河农 4198	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
33	河农 4361	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
34	河农 5246	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
35	河农 6049	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
36	河农 6085	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
37	河农 638	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
38	河农 6479	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
39	河农 7139	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
40	河农 7143	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
41	河农 827	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
42	河农 91 - 177	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
43	衡 00 - 6952	河北	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
44	衡 03 - 5096	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
45	衡 04 - 4358	河北	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
46	衡 05116	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bb</i>
47	衡 05 - 4444	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
48	衡 05 - 6607	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
49	衡 0628	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
50	衡 06 - 4358	河北	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
51	衡 06 - 6321	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
52	衡 06 - 522	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
53	衡 2001 - 6599	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bb</i>

续表 2 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)品质相关基因的等位变异

编号	品种	来源	标记类型				
			PPO18	PPO16	PPO29	YP7A	Pinb - D1b
54	衡 4067	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
55	衡 4304	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
56	衡 4399	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
57	衡 5386	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
58	衡 5471	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
59	衡 6149	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
60	衡 6956	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	Pinb - D1b
61	衡 6958	河北	Ppo - A1a		Ppo - D1b	Psy - A1a	Pinb - D1b
62	衡 71 - 3	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	Pinb - D1b
63	衡 97 - 3433	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
64	衡 98 - 5197	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
65	衡 98 - 6222	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
66	衡核 1 号	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
67	衡远 5 号	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
68	衡杂 4 号	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
69	冀 2003	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
70	冀 518	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
71	冀 7369	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
72	冀 935 - 198	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
73	冀 935 - 352	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1b	
74	冀 95 - 5219	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	
75	冀 9709	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1b	
76	冀晋育 1 号	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	
77	冀麦 10 号	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	Pinb - D1b
78	冀麦 185	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	
79	冀麦 19 号	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	
80	冀麦 23 号	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	
81	冀麦 24 号	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	
82	冀麦 26 号	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
83	冀麦 36	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
84	冀麦 38 号	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
85	冀麦 585	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	
86	冀曲麦 12	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
87	冀新 116	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	
88	冀新 121	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	Pinb - D1b
89	冀资 5 号	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	
90	金丰 0352	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
91	金丰 0459	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
92	金丰 4130	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
93	金丰 4198	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
94	金丰 4857	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
95	金丰 5129	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	
96	金丰 5356	河北	Ppo - A1a		Ppo - D1b	Psy - A1a	
97	金丰 6164	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
98	金丰大粒	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	
99	金禾 4906	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
100	金禾 748	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
101	金禾 9123	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
102	金麦 18	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
103	金麦 6228	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
104	科农 06	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
105	科农 1008	河北	Ppo - A1b	Ppo - D1a		Psy - A1b	Pinb - D1b
106	科农 208	河北	Ppo - A1a	Ppo - D1a		Psy - A1a	Pinb - D1b
107	廊研 43	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	
108	梁麦 2 号	河北	Ppo - A1b		Ppo - D1b	Psy - A1a	Pinb - D1b

续表 2 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)品质相关基因的等位变异

编号	品种	来源	标记类型				
			PPO18	PPO16	PPO29	YP7A	Pinb - D1b
109	石 06 - 5144	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
110	石 4185	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
111	石家庄 9 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
112	石麦 12	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
113	石麦 13	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
114	石麦 14	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
115	石麦 15	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
116	石新 31	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	
117	石新 616	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
118	石新 626	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
119	石新 703	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
120	石新 833	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
121	太空 3 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
122	唐麦 6 号	河北	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
123	唐育 125	河北	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
124	唐育 219	河北	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	
125	宝麦 2 号	河南	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
126	存麦 1 号	河南	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	
127	开麦 18	河南	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	
128	洛旱 6277	河南	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	
129	洛旱 9769	河南	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
130	洛麦 29	河南	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	
131	洛太 911	河南	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
132	漯 6082	河南	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	
133	新农 1718	河南	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	
134	豫麦 18	河南	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
135	豫麦 62	河南	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
136	豫展 1 号	河南	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
137	郑 91138	河南	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	
138	郑旱 1 号	河南	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	
139	郑麦 9201	河南	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	
140	中麦 302	河南	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	
141	中育 9 号	河南	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	
142	周麦 16	河南	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
143	周麦 17	河南	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	
144	周麦 22	河南	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	
145	东麦 1 号	黑龙江	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
146	龙麦 1 号	黑龙江	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	
147	泛麦 5 号	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	
148	华麦 9654	江苏	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
149	淮 0432	江苏	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
150	淮 9876	江苏	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
151	淮核 0308	江苏	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
152	淮核 0516	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	
153	淮核 0519	江苏	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
154	淮麦 0208	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	
155	淮麦 0320	江苏	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
156	淮麦 0360	江苏	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	
157	淮麦 0559	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
158	淮麦 0566	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	
159	淮麦 0606	江苏	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	
160	淮麦 0607	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
161	淮麦 18	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	
162	淮麦 20	江苏	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
163	淮麦 24	江苏	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>

续表 2 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)品质相关基因的等位变异

编号	品种	来源	标记类型				
			PPO18	PPO16	PPO29	YP7A	Pinb - D1b
164	淮阴 0004	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
165	淮阴 0015	江苏	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
166	淮阴 9701	江苏	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
167	连 5152	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
168	南农 96 - 4	江苏	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
169	徐州 856	江苏	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
170	徐州 954	江苏	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
171	荷 9735	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
172	荷 98 - 3	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
173	济 05 - 59	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
174	济 997884	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
175	济麦 038174	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
176	济麦 038186	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
177	济南 16	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
178	济南 18	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
179	济宁 17	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
180	济宁 18	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
181	莱农 0454	山东	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
182	莱州 137	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
183	莱州 3279	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
184	莱州 817	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
185	乐麦 558	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
186	乐农 37	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
187	聊 91 - 1	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
188	聊 9638	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
189	鲁 860955	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
190	鲁 911102	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
191	鲁 924122	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
192	鲁 955012	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
193	鲁麦 11 号	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
194	鲁麦 14 号	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
195	鲁麦 15 号	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
196	鲁麦 8 号	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
197	鲁麦 9 号	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
198	鲁原 108	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
199	鲁原 301	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>
200	齐丰 1 号	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
201	山农 110013	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
202	山农 1355	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
203	山农 1455	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bb</i>
204	山农 1730	山东	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
205	山农 215953	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
206	山农 3373	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
207	山农 822005	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
208	山农 914453	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
209	泰山 027	山东	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
210	泰山 5009	山东	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
211	泰山 946187	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
212	泰山曲 466	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
213	潍 2151	山东	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
214	潍材 17	山东	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
215	潍麦 7 号	山东	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
216	潍麦 8 号	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
217	烟 0401	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>
218	烟 2801	山东	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>

续表 2 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)品质相关基因的等位变异

编号	品种	来源	标记类型					
			PPO18	PPO16	PPO29	YP7A	Pinb - D1b	Vp1B3
219	烟 D27	山东	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
220	烟农 18	山东	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
221	RS804	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
222	晋监 3 号	山西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Bc</i>
223	晋麦 60	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Bc</i>
224	晋麦 61	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
225	晋麦 66 号	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
226	晋农 207	山西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
227	晋农 215	山西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Ba</i>
228	晋园一号	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Bc</i>
229	临 5090	山西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
230	临 8014	山西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
231	临 9303	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>		<i>Vp - 1Bc</i>
232	临汾 127	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
233	临汾 7203	山西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
234	临汾 91 - 4002	山西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Ba</i>
235	临丰 615	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
236	临早 614	山西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
237	临远 3158	山西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
238	临远 50180	山西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>		<i>Vp - 1Bc</i>
239	临远 991	山西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
240	临资 19 号	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
241	临资 1 号	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
242	临资 217	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Bc</i>
243	临资 5126	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Ba</i>
244	阳谷 7268	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
245	运 97154	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Ba</i>
246	运 97169	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>		<i>Vp - 1Bc</i>
247	运丰早 101	山西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
248	运丰早 18	山西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
249	运丰早 21 号	山西	<i>Ppo - A1b</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
250	陕 167	陕西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
251	陕 3025	陕西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
252	陕 354	陕西	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
253	陕农 78	陕西	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
254	西农 9766	陕西	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
255	川育 16 号	四川	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1b</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>
256	绵 15189	四川	<i>Ppo - A1b</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Ba</i>
257	津强 1 号	天津	<i>Ppo - A1a</i>	<i>Ppo - D1a</i>		<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bb</i>
258	临麦 6 号	云南	<i>Ppo - A1a</i>		<i>Ppo - D1b</i>	<i>Psy - A1a</i>	<i>Pinb - D1b</i>	<i>Vp - 1Bc</i>

2.3 Pinb 基因的等位变异分析

Pinb 等位变异有 18 种类型^[3-8],在黄淮海麦区 *Pinb - D1b* 分布范围最广^[23]。Giroux 等^[26]设计的 STS 引物在 *Pinb - D1b* 基因型的小麦品种(系)中扩增出 250 bp 的片断(图 1 - e)。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,*Pinb - D1b* 基因型为 157 份,分布频率为 60.9% (表 2)。*Pinb - D1b* 基因型在 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)的高频率分布有利于其在小麦籽粒硬度育种中的应用。

2.4 Vp - 1 基因的等位变异分析

标记 *Vp1B3* 在 *Vp - 1Ba*、*Vp - 1Bb* 和 *Vp - 1Bc* 3

种等位基因变异的小麦品种(系)中分别扩增出 652 bp、845 bp 和 569 bp 3 种类型的片段(图 1 - f)。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,*Vp - 1Ba*、*Vp - 1Bb* 和 *Vp - 1Bc* 基因型分别为 86 份、8 份和 164 份,频率分别为 33.3%、3.1% 和 63.6% (表 2)。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中仅 8 份具有 *Vp - 1Bb* 基因型,其在抗穗发芽小麦育种中的应用价值有待深入研究。

3 结论与讨论

PP018、PP016、PP029、YP7A、*Pinb - D1b*、

Vp1B3 6 个 STS 标记检测结果表明,在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,这些 STS 标记呈现不同的分布频率,每个小麦品种(系)具有优良基型的数量不同。因此,根据育种目标,选择具有特定基因型的 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)作亲本,利用该基因型的 STS 标记对后代进行选择,有利于充分发挥 1BL/1RS 易位系小麦的育种价值。

籽粒 PPO 活性是影响面粉及其制品色泽稳定性的重要因素。掌握小麦品种(系)的 PPO 基因型,利用分子标记对后代进行选择可有效提高低 PPO 活性品种(系)的选育效率。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,具有最低 PPO 活性的基因型 *Ppo - A1b/Ppo - D1a* 分布频率较高(36.8%),来自河北省的 118 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中该基因型达到了 42.4%,这为面制品色泽的改良奠定了良好的基因型基础。

小麦籽粒黄色素含量对面条、馒头等食品的外观品质有重要影响。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,低黄色素基因型 *Psy - A1b* 所占比例仅为 30.2%,该结果表明,在选用 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)配制杂交组合时,应注意选用具有 *Psy - A1b* 基因型的品种(系)。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,具有最低 PPO 活性和低黄色素含量的基因型 *Ppo - A1b/Ppo - D1a/Psy - A1b* 的分布频率为 14.7%(38 份)。选用这些 1BL/1RS 易位系品种(系)配制杂交组合有助于提高育成品种面粉及其制品色泽稳定性和外观品质。

籽粒硬度是最为重要的小麦品质性状之一, *Pinb - D1b*、*Pinb - D1d*、*Pinb - D1e*、*Pinb - D1g* 基因型小麦在磨粉、馒头、面条和面包加工品质中一项或多项略优于其他类型^[10-12,28],其中 *Pinb - D1b* 基因型在黄淮海麦区分布最为广泛。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,*Pinb - D1b* 基因型频率高达 60.9%,这为将小麦籽粒硬度作为主要育种目标进行品质改良奠定了基因型基础。在 258 份 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)中,基因型 *Ppo - A1b/Ppo - D1a/Psy - A1b/Pind - D1b* 的分布频率为 10.5%(27 份),其中 22 份为河北省品种(系)。这些 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)可作为小麦品质育种重要的基因源,从而进一步挖掘 1BL/1RS 易位系的育种价值。

Vp - 1B 是控制种子休眠性的一个主要基因。*Vp - 1Bb* 基因型品种具有高的穗发芽抗性,绝大部分 *Vp - 1Bc* 基因型品种具有高的穗发芽抗性,而绝大部分 *Vp - 1Ba* 基因型品种穗发芽敏感。本研究

发现,原冬 93、冀麦 36、冀 9709、衡 2001 - 6599、衡 05116、鲁原 108、山农 1455、津强 1 号 8 个 1BL/1RS 易位系小麦品种(系)属于 *Vp - 1Bb* 基因型,这些品种(系)农艺性状良好,在抗穗发芽小麦育种中具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] Singh N K, Shepherd K W, McIntosh R A. Linkage mapping of genes for resistance to leaf, stem and stripe rusts and ω -secalins on the short arm of 1R [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1990, 80(5): 609-616.
- [2] Villareal R L, Mujeeb-Kazi A, Rajaram S, et al. Associated effects of chromosome 1B/1R translocation on agronomic traits in hexaploid wheat [J]. Breeding Science, 1994, 44(1): 7-11.
- [3] Villareal R L, Rajaram S, Mujeeb-Kazi A, et al. The effect of chromosome 1B/1R translocation on the yield potential of certain spring wheat [J]. Plant Breeding, 1991, 106(1): 77-81.
- [4] Carver B F, Rayburn A L. Comparison of related wheat stocks possessing 1B or 1RS. 1BL chromosomes: Agronomic performance [J]. Crop Science, 1994, 34(6): 1505-1510.
- [5] Moreno-Seville B, Baenziger P S, Peterson C J, et al. The 1B/1R translocation: Agronomic performance of F3-derived lines from a winter wheat cross [J]. Crop Science, 1995, 35(4): 1051-1055.
- [6] Rabinovich S V. Importance of wheat-rye translocation for breeding modern cultivars of *Triticum aestivum* L [J]. Euphytica, 1998, 100(1): 323-340.
- [7] Wieser H, Kieffer R, Lelley T. The influence of 1B/1R chromosome translocation on gluten protein composition and technological properties of bread wheat [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(11): 1640-1647.
- [8] Graybosch R A. Uneasy unions: Quality effects of rye chromatin transfer to wheat [J]. Journal of Cereal Science, 2001, 33(1): 3-16.
- [9] 周阳, 何中虎, 张改生, 等. 1BL/1RS 易位系在中国小麦育种中的应用 [J]. 作物学报, 2004, 30(6): 531-535.
- [10] 王晓军, 冯国华, 刘东涛, 等. 黄淮海区部分小麦品种(系) 1BL/1RS 易位的分子检测 [J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3): 381-386.
- [11] Kruger J E, Hatcher D W, De Pauw R. A whole seed assay for polyphenol oxidase in Canadian prairie spring wheats and its usefulness as a measure of noodle darkening [J]. Cereal Chemistry, 1994, 71(4): 324-326.
- [12] Morris C F, Jeffers H C, Engle D E. Effect of processing,

- formula and measurement variables on alkaline noodle color-toward an optimized laboratory system[J]. *Cereal Chemistry*,2000,77(1):77-85.
- [13] 葛秀秀,何中虎,杨金,等.我国冬小麦品种多酚氧化酶活性的遗传变异及其与品质性状的相关分析[J]. *作物学报*,2003,29(4):481-485.
- [14] Jimenez M,Dubcovsky J. Chromosome location of genes affecting polyphenol oxidase activity in seeds of common and durum wheat[J]. *Plant Breeding*,1999,118(5):395-398.
- [15] Udall J. Important alleles for noodle quality in winter wheat as identified by molecular markers[D]. Aberdeen:University of Idaho,1996.
- [16] Demeke T,Morris C F,Campbell K G,*et al.* Wheat polyphenol oxidase: Distribution and genetic mapping in three inbred line populations[J]. *Crop Science*,2001,41(6):1750-1757.
- [17] Raman R,Raman H,Johnstone K,*et al.* Genetic and in silico comparative mapping of the polyphenol oxidase gene in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Functional and Integrative Genomics*,2005,5(4):185-200.
- [18] 张立平,葛秀秀,何中虎,等.普通小麦籽粒多酚氧化酶活性的 QTL 分析[J]. *作物学报*,2005,31(1):7-10.
- [19] Sun D J,He Z H,Xia X C,*et al.* A novel STS marker for polyphenol oxidase activity in bread wheat[J]. *Molecular Breeding*,2005,16(3):209-218.
- [20] He X Y,He Z H,Zhang L P,*et al.* Allelic variation of polyphenol oxidase (PPO) genes located on chromosomes 2A and 2D and development of functional markers for the PPO genes in common wheat[J]. *Theoretical and Applied Genetics*,2007,115(1):47-58.
- [21] 朱长甫,陈星,王英典.植物类胡萝卜素生物合成及其相关基因在基因工程中的应用[J]. *植物生理与分子生物学报*,2004,30(6):609-618.
- [22] He X Y,Zhang Y L,He Z H,*et al.* Characterization of a phytoene synthase 1 gene (*Psy1*) located on common wheat chromosome 7A and development of a functional marker [J]. *Theoretical and Applied Genetics*,2008,116(2):213-221.
- [23] 张福彦,陈锋,董中东,等.黄淮麦区小麦新品系籽粒硬度相关基因分子鉴定及其对产量性状的影响[J]. *中国农业科学*,2011,44(16):3289-3296.
- [24] Martin J M,Frohberg R C,Morris C F,*et al.* Milling and bread baking traits associated with puroindoline sequence type in hard red spring wheat[J]. *Crop Science*,2001,41(1):228-234.
- [25] 陈锋,陈东升,钱森和,等. *Puroindoline* 基因对春小麦磨粉及馒头、面条品质的影响 [J]. *作物学报*,2006,32(7):980-986.
- [26] Giroux M J,Morris C F. A glycine to serine change in puroindoline bis associated with wheat grain hardness and low levels of starch-surface friabilin[J]. *Theoretical and Applied Genetics*,1997,95(5):857-864.
- [27] Bailey P C,Mc Kibbin R S,Lenton J R. Genetic map location for orthologous *VP1* genes in wheat and rice[J]. *Theoretical and Applied Genetics*,1999,98(2):281-284.
- [28] Mc Carty D R,Hattori T,Carson C B,*et al.* The Viviparous-1 developmental gene of maize encodes a novel transcriptional activator [J]. *Cell*,1991,66(5):895-905.
- [29] Mc Carty D R,Carson C B,Stinard P S,*et al.* Molecular analysis of VIVIPAROUS-1: An abscisic acid insensitive mutant of maize[J]. *Plant Cell*,1989,1(5):523-532.
- [30] Giraudat J,Hauge B M,Valon C,*et al.* Isolation of the *Arabidopsis ABI3* gene by positional cloning [J]. *Plant Cell*,1992,4(10):1251-1261.
- [31] Yang Y,Zhao X L,Xia L Q,*et al.* Development and validation of a Viviparous-1 STS marker for pre-harvest sprouting resistance in Chinese wheats[J]. *Theoretical and Applied Genetics*,2007,115(7):971-980.
- [32] Chai J F,Liu X,Jia J Z. Homoeologous cloning of ω -secalin gene family in a wheat 1BL/1RS translocation [J]. *Cell Research*,2005,15(8):658-664.