

小偃 6 号及其衍生后代品质相关性状基因的分子检测

陈桂玲¹ 余 利¹ 王黎明² 李 滨³ 童依平³ 王洪刚¹ 李兴锋¹

(¹ 山东农业大学/山东省作物生物学重点实验室/作物生物学国家重点实验室 泰安 271018;

² 河南科技大学农学院 洛阳 471003; ³ 中国科学院遗传与发育生物学研究所 北京 100101)

摘要: 小偃 6 号是我国小麦育种的重要骨干亲本之一。本研究利用 *UMN19*、*UMN25*、*UMN26*、*T2*、*T5*、*T13*、*S13*、*S1*、*T1*、*Wx-A1*、*Wx-B1*、*Wx-D1*、*YP7A*、*YP7B-I*、*PP018*、*PP029* 等 16 个功能型分子标记对小偃 6 号及其衍生后代的品质相关性状的基因组进行了检测和分析。结果表明: 在谷蛋白亚基两位点 (*Glu-A1*、*Glu-D1*) 和 *Waxy* 蛋白基因位点上, 分别有 78.72%、82.98% 的衍生品种与骨干亲本小偃 6 号等位基因一致, 但少数品种具有不同的优良亚基等位基因 *Ax2** 或 *Dx5 + Dy10*; 在低分子量谷蛋白亚基两位点 (*Glu-B3*、*Glu-D3*) 上, 有 25.33% 的衍生品种与小偃 6 号等位基因一致; 在八氢番茄红素合成酶基因位点 *Psy-A1*、*Psy-B1* 和多酚氧化酶 (*PPO*) 活性等位基因位点上, 仅有 17.02% 和 38.29% 的衍生品种与小偃 6 号一致; 并探讨了不同品质相关性状基因位点在衍生后代传递频率存在差异的原因。

关键词: 小麦; 骨干亲本; 衍生品种; 品质性状基因; 功能型分子标记

Molecular Detection of Quality Traits-related Genes in Wheat Cultivar Xiaoyan 6 and Its Derivatives

CHEN Gui-ling¹ , YU Li¹ , WANG Li-ming² , LI Bin³ , TONG Yi-ping³ ,
WANG Hong-gang¹ , LI Xing-feng¹

(¹ State Key Laboratory of Crop Biology/ Shandong Key Laboratory of Crop Biology/ Shandong Agricultural University ,

Taian 271018; ² Agronomy College Henan University of Science and Technology Luoyang 471003;

³ Institute of Genetics and Developmental Biology Chinese Academy of Sciences Beijing 100101)

Abstract: Wheat cultivar Xiaoyan 6 is an important foundation parent in wheat improvement of China. Sixteen functional molecular markers including *UMN19* , *UMN25* , *UMN26* , *T2* , *T5* , *T13* , *S13* , *S1* , *T1* , *Wx-A1* , *Wx-B1* , *Wx-D1* , *YP7A* , *YP7B-I* , *PP018* , and *PP029* were used to identify the composition of genes associated with quality traits in Xiaoyan 6 and its derivatives. Results showed that 78.72% and 82.98% derivatives had the same compositions of genes as Xiaoyan 6 at loci *Glu-A1* and *Glu-D1* of *HMW-GS* and locus *Wx*. Some derivative cultivars had different *HMW-GS* gene composition , such as *Ax2** and *Dx5 + Dy10* , and 25.33% derivatives had the same gene compositions as Xiaoyan 6 at loci *Glu-B3* and *Glu-D3*. Only 17.02% and 38.29% derivative cultivars had the same gene compositions as Xiaoyan 6 at phytoene synthase (*PSY*) loci *Psy-A1* and *Psy-B1* and (*PPO*) gene. The possible reason of the different transmission frequency of these loci in Xiaoyan 6 and its derivatives were discussed.

Key words: Wheat; Backbone parent; Derived variety; Quality traits related genes; Functional molecular maker

小偃 6 号由原中国科学院西北植物研究所在 20 世纪 70 年代选育而成, 父本为小偃 96, 母本是意大利小麦品种郑引 4 号 (St2422/464)^[1-2]。由于其具有良好的高产潜力和适应性广、抗病性好 (抗条锈病、

高抗叶枯病)、抗逆性强、在不同栽培条件下均可保持较好的稳产性, 在陕西等地长期作为主栽品种来种植^[3-5]。此外, 作为我国小麦育种的重要骨干亲本之一, 以小偃 6 号作为亲本育成并大面积推广的品种有

收稿日期: 2011-06-26 修回日期: 2011-08-24

作者简介: 陈桂玲, 硕士。研究方向: 植物遗传与生物技术。E-mail: chen2008gl@163.com

通讯作者: 李兴锋, 博士, 教授。研究方向: 小麦遗传育种及基因组学。E-mail: lixf@sdaa.edu.cn

50 多个, 其衍生品种累计推广面积 2000 万 hm^2 以上, 增产小麦已超过 150 亿 kg, 为我国小麦育种工作和小麦生产做出了重要贡献^[1-6]。小偃 6 号还具有子粒蛋白质含量高、食用和加工品质较好的优点, 由其衍生的郑麦 9023、PH82-2-2、小偃 22、小偃 503、陕优 225、陕优 229 也均具有较好的食用和加工品质, 因此小偃 6 号及其衍生品种是我国北方冬麦区小麦育种的两个主要优质基因源之一^[1-7]。

小麦骨干亲本具有配合力高、优良性状遗传力强等优点, 在小麦品种的遗传改良过程中发挥着巨大作用^[2]。为了阐明骨干亲本的成因和遗传本质, 近年来对小麦骨干亲本及其衍生品种的研究已成为育种家关注的热点之一。现有的研究多利用 SSR、EST-SSR 等分子标记对骨干亲本和衍生品种进行分析, 分析和探讨骨干亲本不同染色体区段在后代的传递能力^[8-16]。而 SSR 标记位点与目标农艺性状基因之间往往有一定的距离, 难免影响到鉴定的准确性。

功能型分子标记(functional markers, FMs) 为近年来在基因克隆和基因组研究的基础上发展起来的一种新型分子标记, 主要根据相关功能基因基序中功能型单核苷酸多态性位点开发而成。由于该标记可以直接检测控制性状表达的功能基因的等位变异, 比传统的分子标记具有方便、快捷、稳定性好、准确性高的特点, 近年来在研究不同品种的基因组成和相关基因的分布方面得到广泛的应用^[17-20]。

在小麦品质相关性状基因方面, 目前已开发的功能型分子标记主要涉及小麦高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS) 组成、小麦子粒 Wx 蛋白、小麦子粒黄色素含量、小麦子粒多酚氧化酶活性等相关基因的检测。其中功能标记 UMN19 可检测由 *Glu-A1* 位点控制的高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS) 等位基因 *Ax2*^{*} 和 *1/null*; UMN25、UMN26 可分别检测由 *1* 位点控制的 HMW-GS 等位基因 *Dx5 + Dy10* 和 *Dx2 + Dy12*^[21-22]。其中功能标记 S13、S1、T1、T2、T5、T13 可用于检测低分子量谷蛋白亚基(LMW-GS) 在 *Glu-A3*、*B3*、*D3* 位点的等位基因组成; 利用功能标记 Wx-A1、Wx-B1 和 Wx-D1 可对位于 7AS、4AL 和 7DS 染色体上的 3 个主要的 Wx 基因位点进行检测^[22-23]。根据八氢番茄红素合成酶(PSY) 基因序列设计的 YP7A、YP7B-1 功能型基因标记可以有效地将位于小麦 7A、7B 染色体上控制高黄色素含量和黄色素含量的等位基因 *Psy-Ala*、*Psy-Alb* 和 *Psy-Bla*、*Psy-Blb* 区分开^[24-25]; 针对控制小麦子粒中多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO) 活性高低的 QTL 基因开发的功能型标

记 *PPO18* 和 *PPO29*, 可以有效鉴别控制高、低多酚氧化酶活性的等位基因^[26-28]。已有的研究已经充分验证了这些功能标记的有效性和实用性, 表明功能标记可以用于准确鉴定供试材料中相关基因组成^[19-28]。但是目前利用功能型分子标记进行小麦骨干亲本及其衍生品种的研究和分析还较少^[29]。

本试验利用品质相关的 16 个功能型分子标记, 对小偃 6 号及其衍生品种(系) 进行分子检测, 明确小偃 6 号及其衍生品种(系) 的部分品质相关性状位点的基因组成及其在后代的分布频率, 探讨小偃 6 号的品质相关基因在后代的传递能力和对后代品质性状的影响, 以期小麦骨干亲本的定向创制和高效利用提供理论依据, 并为小麦品质育种工作提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验所用材料包括小偃 6 号、小偃 96、郑引 4 号等 53 份小麦品种(系) 材料, 其中小偃 96、郑引 4 号为小偃 6 号的两个亲本, 小偃 4 号、小偃 5 号为来自同一组合的两个姊妹系品种, 其余 48 份材料除 8602 为小偃 81 的亲本以外, 其余均为小偃 6 号的衍生材料。所有材料由中国科学院遗传与发育生物学研究所李振声课题组提供, 2009—2010 年在国家小麦改良分中心泰安实验基地统一种植, 田间常规管理。

1.2 DNA 的提取

每个品种选取幼嫩的叶片 5~6cm, 放入 2ml 的离心管, 在液氮中冷冻, 研磨成粉末后, 采用 SDS-酚法^[17]提取小麦基因组 DNA, 并用 1% 的琼脂糖凝胶电泳检测 DNA 的浓度和质量, 用于品质性状基因位点的检测。

1.3 特异性标记

试验中所用的特异性引物均由上海生工生物技术公司合成(表 1)。

标记 UMN19、UMN25、UMN26^[21] 主要用于检测 HMW-GS 在 *Glu-A1*、*Glu-D1* 位点的亚基组成, UMN19 扩增出 344bp 和 362bp 的特异片段, 分别对应 *Glu-A1* 位点上的 *Ax2*^{*} 和 *Ax1/null* 亚基; UMN25 扩增出 281bp 和 299bp 片段, 分别对应 *Glu-D1* 位点上的 *Dx5* 和 *Dx2* 亚基; UMN26 扩增出 397bp 和 415bp 片段, 分别对应 *Glu-D1* 位点上的 *Dy10* 和 *Dy12* 亚基; 标记 T2、T5、T13^[30] 主要用于检测 LMW-GS 在 *Glu-B3* 位点的基因组成, 标记 T2 可扩增出 387bp 的特异带或没有扩增产物; 标记 T5 可扩增出 177bp 的特异带或没有扩增产

物; 标记 T13 可扩增出 286bp 的特异带或没有扩增产物; 标记 S13、S1、T1^[30] 主要用于检测 LMW-GS 在 *Glu-D3* 位点的基因组成 标记 S13 可扩增出 388bp 的特异带或没有扩增产物 标记 S1 可扩增出 779bp 的特异带或没有扩增产物 标记 T1 可扩增出 302bp 或 335bp 的特异带。标记 *Wx-A1*、*Wx-B1*、*Wx-D1*^[22] 分别可以扩增出 336bp、425bp、1400bp 的特征带, 分别对应 *Wx-A1a*、*Wx-B1a* 和 *Wx-D1a* 等位基因 若相应标记无扩增目标片

段 则分别对应 *Wx-A1b*、*Wx-B1b* 和 *Wx-D1b* 等位基因。YP7A 扩增出 194bp 和 231bp 的片段, 对应的等位基因分别为 *Psy-Ala*、*Psy-Alb*^[24]; YP7B-1 扩增出 151bp 和 156bp 的片段, 对应的等位基因分别为 *Psy-B1a*、*Psy-B1b*^[25]; PPO18 扩增出 685bp 和 876bp 的片段, 对应的等位基因为 *Ppo-Ala* 和 *Ppo-Alb*^[26]; PPO29 扩增出 490bp 的片段则相应的等位基因为 *Ppo-D1b*, 无扩增特异片段则等位基因类型为 *Ppo-D1a*^[26]。

表 1 标记引物序列

Table1 The sequences of markers

标记 Markers	引物序列 Primer sequence		参考文献 Reference
UMN19	5'-CGAGACAATATGAGCAGCAAG-3';	5'-CTGCCATGGAGAAGTTGGA-3'	[21]
UMN25	5'-GGGACAATACGAGCAGCAAA-3';	5'-CTTGTCCGGTTGTGCCA-3'	[21]
UMN26	5'-CGCAAGACAATATGACAAACT-3';	5'-TTGCCCTTTGTCCTGTGTGC-3'	[21]
S13F2/R1	5'-CAGCTAAACCCATGCAAGC-3';	5'-CAATGGAAGTCATCACCTCAA-3'	[36]
S1F1/R3	5'-TGCAACTTAGTCTACACAG-3';	5'-GGCTGAACAATAGGGATTTA-3'	[36]
T1F4/R1	5'-AGCAAATCCTATTGTTTCAG-3';	5'-TTGGGAGACACCTTGACCT-3'	[36]
T2F2/R2	5'-GCAAACGTTGTGGCAGAGT-3';	5'-ACGTTGACACTGCACATCG-3'	[36]
T5F3/R3	5'-AGGTATTCTCCAGCAGCAT-3';	5'-GGACGATCGAGTAGATGAT-3'	[36]
T13F4/R3	5'-GGGTTCCATCCAAACTCCT-3';	5'-GACCTTCCTTATTAGTAGGA-3'	[36]
Wx-A1	5'-CCAAAGCAAAGCAGGAAACC-3';	5'-TACCTCGGAGATGACGCTGG-3'	[22]
Wx-B1	5'-CTGGCCTGCTACCTCAAGAGCAACT-3';	5'-CTGACGTCATGCCGTTGACGA-3'	[22]
Wx-D1	5'-CGAGCGGCTACTCAAGAGC-3';	5'-GGCGGTCATCTGTCATTTC-3'	[22]
YP7A	5'-GGACCTTGCTGATGACCGAG-3';	5'-TGACGGTCTGAAGTGAGAATGA-3'	[24]
YP7B	5'-GCCACAACCTGAATGTGAAAC-3';	5'-ACTTCTCCATTGAACCCC-3'	[25]
PPO18	5'-AACTGCTGGCTCTTCTCCCA-3';	5'-AAGAAGTTGCCCATGTCCGC-3'	[26]
PPO29	5'-TGAAGCTGCCGGTCATCTAC-3';	5'-AAGTTGCCCATGTCCTCGCC-3'	[26]

1.4 PCR 反应体系及扩增程序

PCR 反应体系均为 20μl, 含 2.5μl 10 × PCR buffer, 2μl 2mmol/L MgCl₂, 1.5μl 200mmol/L dNTPs, 每个引物 1μl 约 10ng, 基因组 DNA (3μl) 30 ~ 100ng、*Taq* DNA 聚合酶 1U, 其余由 ddH₂O 补至 20μl。PCR 扩增程序为: 95℃ 预变性 5min; 95℃ 变性 30s; (标记 UMN19、UMN25、UMN26 60℃ 复性 30s; LMW-GS 相关标记 57 ~ 61℃ 复性 30s; *Wx* 蛋白标记 65℃ 复性 45s; 标记 YP7A/YP7B-1 65℃ /60℃ 复性 30s; 标记 PPO18/PPO29 52℃ /68℃ 复性 1min); 72℃ 延伸(时间为 40s ~ 1.5min 结合序列长短); 38 个循环; 最后 72℃ 延伸 5min。PCR 扩增产物采用 6% ~ 8% 的非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳(PAGE) 检测, 1 × TE 缓冲溶液, 凝胶经硝酸银染色, 显影后采用天能 GIS 凝胶图像处理系统扫描成像。

2 结果与分析

2.1 高分子量谷蛋白亚基基因组成检测结果

标记 UMN19(图 1)、UMN25(图 2)、UMN26

(图 3) 对 53 份供试材料的高分子量谷蛋白亚基 (HMW-GS) 在 *Glu-A1*、*Glu-D1* 位点亚基组成的检测结果表明, 小偃 6 号、亲本小偃 96 和郑引 4 号以及姊妹系小偃 4 号、小偃 5 号在 *Glu-A1* 位点上亚基类型均为 *Ax1* 或者 *null*, 在 *Glu-D1* 位点上亚基类型均为 *Dx2 + Dy12* 型; 而在其衍生材料中 *Glu-A1* 位点出现 2 种亚基类型 *Ax2** 和 *Ax1/null*, 其中与小偃 6 号具有相同亚基的材料有 43 份占 91.49%, 有 4 份衍生品种的亚基类型是 *Ax2**, 分别是长武 131、科农 9204、陕 225、早优 504; *Glu-D1* 位点出现 3 种亚基类型即 *Dx2 + Dy12*、*Dx5 + Dy10*、*Dx2 + Dy10*, 其中与小偃 6 号相同亚基的材料有 40 份占 85.10%, 其余材料中具有 *Dx5 + Dy10* 亚基的材料有 5 份, 分别是临优 145、山农 12、陕 253、郑麦 366、郑农 16, 而陕 229 和郑优 7 号亚基类型为 *Dx2 + Dy10*。在 *Glu-A1*、*Glu-D1* 两个位点上与小偃 6 号相同等位基因类型的材料合计有 37 个, 占衍生品种的 78.72% (表 2)。

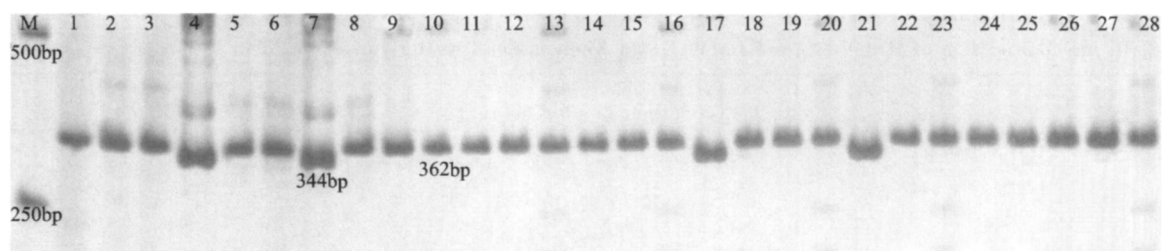


图 1 标记 UMN19 多态性检测结果

Fig. 1 Results of polymorphic test with UMN19

M: DNA ladder DL-2000; 1: 小偃 96; 2: 郑引 4 号; 3: 小偃 6 号; 4: 科农 9204; 5: 小偃 5 号; 6: 白春 5 号; 7: 长武 131; 8: 晋麦 41; 9: 晋麦 45; 10: 晋麦 49; 11: 晋麦 60; 12: 小偃 4 号; 13: 荔高 6 号; 14: 良星 99; 15: 农大 340; 16: 秦麦 11; 17: 陕 225; 18: 陕 213; 19: 山农 12; 20: 陕 229; 21: 早优 504; 22: 西农 2208; 23: 西农 2611; 24: 陕 253; 25: 郑麦 9023; 26: 郑麦 9405; 27: 临汾 5064; 28: 临优 145

M: DNA ladder DL-2000; 1: Xiaoyan 96; 2: Zhengyin 4; 3: Xiaoyan 6; 4: Kenong 9204; 5: Xiaoyan 5; 6: Baichun 5; 7: Changwu 131; 8: Jinmai 41; 9: Jinmai 45; 10: Jinmai 49; 11: Jinmai 60; 12: Xiaoyan 4; 13: Ligao 6; 14: Langxing 99; 15: Nongda 340; 16: Qinmai 11; 17: Shan 225; 18: Shan 213; 19: Shannong 12; 20: Shan 229; 21: Zaoyou 504; 22: Xinong 2208; 23: Xinong 2611; 24: Shan 253; 25: Zhengmai 9023; 26: Zhengmai 9405; 27: Linfen 5064; 28: Linyou 145

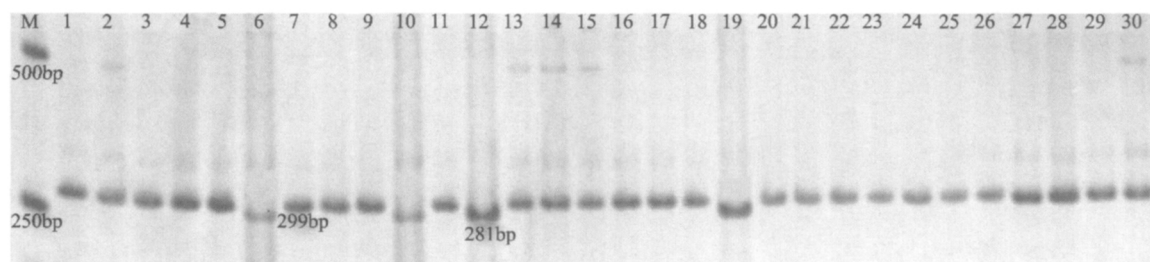


图 2 标记 UMN25 多态性检测结果

Fig. 2 Results of polymorphic test with UMN25

M: DNA ladder DL-2000; 1: 长武 131; 2: 晋麦 41; 3: 晋麦 45; 4: 晋麦 49; 5: 晋麦 60; 6: 临优 145; 7: 农大 135; 8: 农大 340; 9: 秦麦 11; 10: 山农 12; 11: 陕 229; 12: 陕 253; 13: 西农 889; 14: 西农 928; 15: 西农 979; 16: 小偃 107; 17: 小偃 926; 18: 小偃 81; 19: 郑麦 366; 20: 郑麦 9405; 21: 郑优 7 号; 22: 周麦 13; 23: 远丰 175; 24: 小偃 168; 25: 小偃 22; 26: 西农 2611; 27: 西农 881; 28: 陕 213; 29: 陕 225; 30: 西农 2208

M: DNA ladder DL-2000; 1: Changwu 131; 2: Jinmai 41; 3: Jinmai 45; 4: Jinmai 49; 5: Jinmai 60; 6: Linyou 145; 7: Nongda 135; 8: Nongda 340; 9: Qinmai 11; 10: Shannong 12; 11: Shan 229; 12: Shan 253; 13: Xinong 889; 14: Xinong 928; 15: Xinong 979; 16: Xiaoyan 107; 17: Xiaoyan 926; 18: Xiaoyan 81; 19: Zhengmai 366; 20: Zhengmai 9405; 21: Zhengyou 7; 22: Zhoumai 13; 23: Yuanfeng 175; 24: Xiaoyan 168; 25: Xiaoyan 22; 26: Xinong 2611; 27: Xinong 881; 28: Shan 213; 29: Shan 225; 30: Xinong 2208

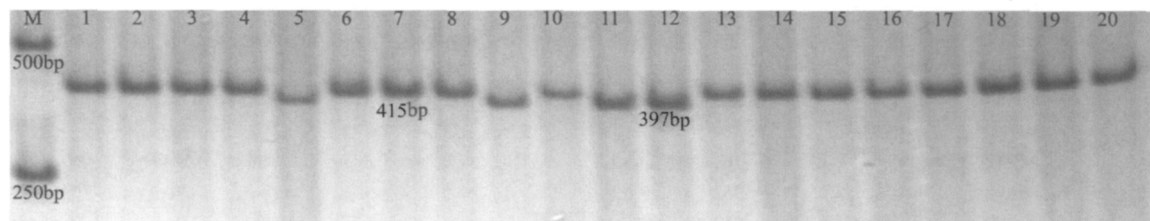


图 3 标记 UMN26 多态性检测结果

Fig. 3 Results of polymorphic test with UMN26

M: DNA ladder DL-2000; 1: 小偃 96; 2: 小偃 6 号; 3: 科农 9204; 4: 小偃 5 号; 5: 山农 12; 6: 白春 5 号; 7: 长武 131; 8: 晋麦 41; 9: 陕 229; 10: 晋麦 45; 11: 陕 253; 12: 临优 145; 13: 小偃 4 号; 14: 荔高 6 号; 15: 良星 99; 16: 农大 340; 17: 秦麦 11; 18: 陕 225; 19: 陕 213; 20: 西农 2208

M: DNA ladder DL-2000; 1: Xiaoyan 96; 2: Xiaoyan 6; 3: Kenong 9204; 4: Xiaoyan 5; 5: Shannong 12; 6: Baichun 5; 7: Changwu 131; 8: Jinmai 41; 9: Shan 229; 10: Jinmai 45; 11: Shan 253; 12: Linyou 145; 13: Xiaoyan 4; 14: Ligao 6; 15: Langxing 99; 16: Nongda 340; 17: Qinmai 11; 18: Shan 225; 19: Shan 213; 20: Xinong 2208

表 2 小偃 6 号及其衍生品种(系) HMW-GS 和 LMW-GS 基因位点分子检测结果

Table 2 Gene composition of HMW-GS and LMW-GS in Xiaoyan6 and its derivatives

(bp)

编号 Code	品种(系) Cultivar	类型 Type	UMN19	UMN25	UMN26	T2	T5	T13	S13	S1	T1
1	小偃 96	亲本	362	299	415	387	177	286	388	779	335
2	郑引 4 号	亲本	362	299	415	387	177	286	388	779	302
3	小偃 6 号		362	299	415	387	177	286	388	779	302
4	小偃 4 号	姊妹系	362	299	415	0	177	286	388	779	335
5	小偃 5 号	姊妹系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
6	PH82-2-2	姊妹系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
7	PH85-46	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	335
8	白春 5 号	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	302
9	长武 131	衍生系	344	299	415	0	177	286	388	779	335
10	晋麦 41	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	302
11	晋麦 45	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	0	335
12	晋麦 49	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	335
13	晋麦 60	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	0	302
14	科农 9204	衍生系	344	299	415	387	177	286	388	779	302
15	荔高 6 号	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	302
16	良星 99	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	335
17	临汾 5064	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	335
18	临优 145	衍生系	362	281	397	0	177	286	388	779	335
19	鲁麦 14	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	335
20	农大 135	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	335
21	农大 340	衍生系	362	299	415	387	0	286	388	0	335
22	秦麦 11	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	0	335
23	山农 12	衍生系	362	281	397	0	177	286	388	0	302
24	陕 213	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
25	陕 225	衍生系	344	299	415	387	177	286	388	779	335
26	陕 229	衍生系	362	299	397	387	177	286	388	0	302
27	陕 253	衍生系	362	281	397	387	177	286	388	779	302
28	西农 2208	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	0	302
29	西农 2611	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	335
30	西农 881	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	0	302
31	西农 889	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
32	西农 928	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
33	西农 979	衍生系	362	299	415	387	177	0	388	779	302
34	小偃 107	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	302
35	小偃 128	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	302
36	小偃 15	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
37	小偃 168	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	335
38	小偃 22	衍生系	362	299	415	387	177	286	0	0	335
39	小偃 246	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
40	偃 503	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
41	小偃 54	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	0	302
42	小偃 926	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	0	335
43	小偃 81	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	0	302
44	8602	小偃 81 亲本	362	299	415	0	177	286	388	779	302
45	远丰 175	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	0	302
46	早优 504	衍生系	344	299	415	0	177	286	388	779	302
47	郑麦 366	衍生系	362	281	397	387	177	286	0	779	302
48	郑麦 9023	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302
49	郑麦 9405	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	0	302
50	郑农 16	衍生系	362	281	397	387	177	286	388	779	302
51	郑优 7 号	衍生系	362	299	397	387	177	286	388	779	302
52	周麦 13	衍生系	362	299	415	0	177	286	388	779	302
53	周麦 19	衍生系	362	299	415	387	177	286	388	779	302

2.2 低分子量谷蛋白亚基基因组成检测结果

标记 T2(图 4)、T5、T13、S13(图 5)、S1、T1 对 53 份供试材料的低分子量谷蛋白亚基(LMW-GS)在 *Glu-B3*、*Glu-D3* 位点亚基组成检测结果表明,小偃 6 号、亲本小偃 96 和郑引 4 号以及姊妹系小偃 4 号、小偃 5 号在 *Glu-B3*、*Glu-D3* 位点的亚基组成基本相同,仅标记 T1 在小偃 96 和小偃 4 号扩增出 335bp 的特异带,标记 T1 在小偃 4 号中没有扩增出 387bp 的特异带。在其衍生材料中 31 份材料利用 T2 标记的检测结果表明与小偃 6 号相同,

占到 65.96%;46 份材料利用 T13 标记的检测结果表明与小偃 6 号相同,仅西农 979 的扩增结果不同;44 份材料利用 S13 标记的检测结果表明与小偃 6 号相同,占到 93.62%;32 份材料利用 S1 标记的检测结果表明与小偃 6 号相同,占到 68.09%;29 份材料利用 T1 标记的检测结果表明与小偃 6 号相同,占到 62.70%。由于 LMW-GS 位点的变异类型较多,因此在 *Glu-B3*、*Glu-D3* 两个位点上与小偃 6 号相等等位基因类型的材料合计有 12 个,仅占衍生品种的 25.53%(表 2)。

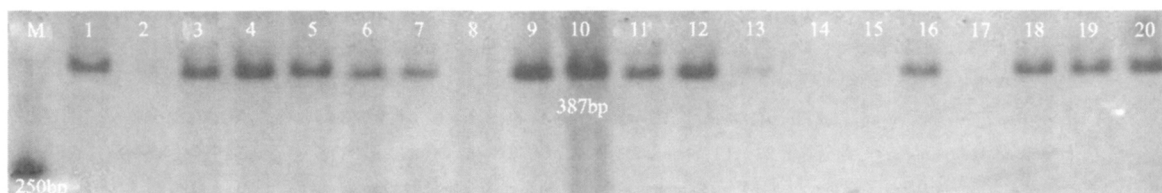


图 4 标记 T2 多态性检测结果

Fig. 4 Results of polymorphic test with T2

M: DNA ladder DL-2000; 1: 小偃 96; 2: 小偃 4 号; 3: 小偃 6 号; 4: 科农 9204; 5: 小偃 5 号; 6: 临汾 5064; 7: 陕 253; 8: 晋麦 41; 9: 郑麦 9023; 10: 郑麦 9405; 11: 晋麦 60; 12: 郑引 4 号; 13: 良星 99; 14: 荔高 6 号; 15: 秦麦 11; 16: 农大 340; 17: 山农 12; 18: 陕 213; 19: 陕 225; 20: 陕 229

M: DNA ladder DL-2000; 1: Xiaoyan 96; 2: Xiaoyan 4; 3: Xiaoyan 6; 4: Kenong 9204; 5: Xiaoyan 5; 6: Linfen 5064; 7: Shan 253; 8: Jinmai 41; 9: Zhengmai 9023; 10: Zhengmai 9405; 11: Jinmai 60; 12: Zhengyin 4; 13: Langxing 99; 14: Ligao 6; 15: Qinmai 11; 16: Nongda 340; 17: Shannong 12; 18: Shan 213; 19: Shan 225; 20: Shan 229

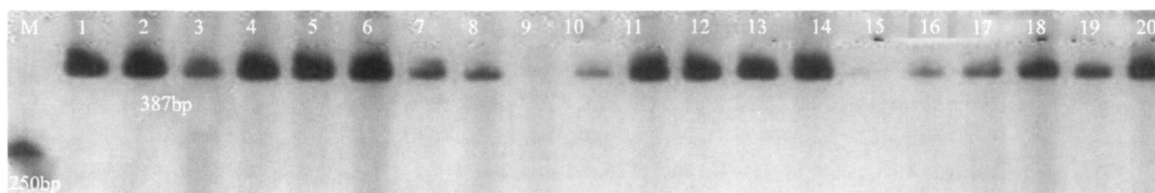


图 5 标记 S13 多态性检测结果

Fig. 5 Results of polymorphic test with S13

M: DNA ladder DL-2000; 1: 小偃 96; 2: 郑引 4 号; 3: 小偃 6 号; 4: 科农 9204; 5: 小偃 5 号; 6: 白春 5 号; 7: 长武 131; 8: 晋麦 41; 9: 小偃 22; 10: 晋麦 49; 11: 晋麦 60; 12: 小偃 4 号; 13: 荔高 6 号; 14: 良星 99; 15: 郑麦 366; 16: 秦麦 11; 17: 陕 225; 18: 陕 213; 19: 山农 12; 20: 陕 229

M: DNA ladder DL-2000; 1: Xiaoyan 96; 2: Zhengyin 4; 3: Xiaoyan 6; 4: Kenong 9204; 5: Xiaoyan 5; 6: Baichun 5; 7: Changwu 131; 8: Jinmai 41; 9: Xiaoyan 22; 10: Jinmai 49; 11: Jinmai 60; 12: Xiaoyan 4; 13: Ligao 6; 14: Langxing 99; 15: Zhengmai 366; 16: Qinmai 11; 17: Shan 225; 18: Shan 213; 19: Shannong 12; 20: Shan 229

2.3 蜡质蛋白基因检测结果

利用 *Wx-A1*、*Wx-B1* 和 *Wx-D1* 标记对小偃 6 号及其衍生后代品种进行检测,结果表明小偃 6 号在 *Waxy* 蛋白 3 个基因位点上具有的等位基因为 *Wx-A1a*、*Wx-B1a* 和 *Wx-D1a*,与其亲本小偃 96、姊妹系小偃 4 号、小偃 5 号完全一致,仅亲本郑引 4 号在 7DS 染色体 *Wx* 位点上等位基因类型为 *Wx-D1b*,其他两个位点与小偃 6 号相同。在其衍生后代中有 39 个品种的等位基因类型与小偃 6

号一致,占 82.98%,仅 8 个材料中发现具有不同的等位基因(表 3)。其中在 7AS 染色体位点上具不同基因型的材料有小偃 22 和小偃 54(图 6) 4AL 染色体位点上具不同基因型的材料有 4 个,分别是小偃 168、小偃 246、小偃 503、郑麦 9023(图 7),在 7DS 染色体位点上具不同基因型的材料有郑引 4 号、白春 5 号、西农 881、郑麦 9023,其中郑麦 9023 在 4AL 和 7DS 染色体位点上同时具有基因 *Wx-B1b* 和 *Wx-D1b*。

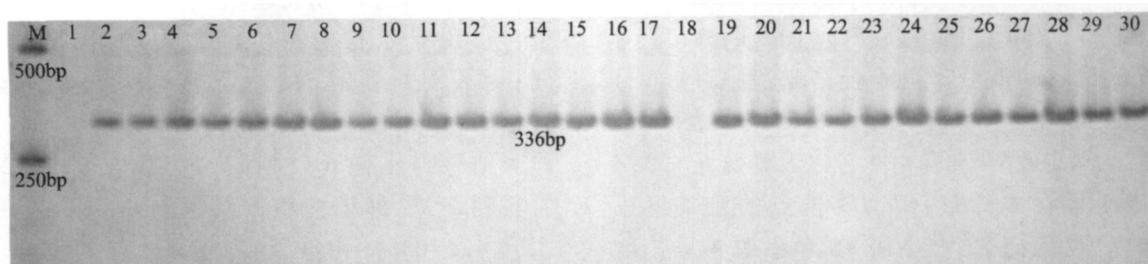


图6 标记 Wx-A1 多态性检测结果

Fig. 6 Result of polymorphic test with Wx-A1

M: DNA ladder DL-2000; 1: 小偃 22; 2: 晋麦 41; 3: 晋麦 45; 4: 晋麦 49; 5: 晋麦 60; 6: 临优 145; 7: 农大 135; 8: 农大 340; 9: 秦麦 11; 10: 山农 12; 11: 陕 229; 12: 陕 253; 13: 西农 889; 14: 西农 928; 15: 西农 979; 16: 小偃 107; 17: 小偃 926; 18: 小偃 54; 19: 郑麦 366; 20: 郑麦 9405; 21: 郑优 7 号; 22: 周麦 13; 23: 远丰 175; 24: 小偃 168; 25: 长武 131; 26: 西农 2611; 27: 西农 881; 28: 陕 213; 29: 陕 225; 30: 西农 2208

M: DNA ladder DL-2000; 1: Xiaoyan 22; 2: Jinmai 41; 3: Jinmai 45; 4: Jinmai 49; 5: Jinmai 60; 6: Linyou 145; 7: Nongda 135; 8: Nongda 340; 9: Qinmai 11; 10: Shannong 12; 11: Shan 229; 12: Shan 253; 13: Xinong 889; 14: Xinong 928; 15: Xinong 979; 16: Xiaoyan 107; 17: Xiaoyan 926; 18: Xiaoyan 54; 19: Zhengmai 366; 20: Zhengmai 9405; 21: Zhengyou 7; 22: Zhoumai 13; 23: Yuanfeng 175; 24: Xiaoyan 168; 25: Changwu 131; 26: Xinong 2611; 27: Xinong 881; 28: Shan 213; 29: Shan 225; 30: Xinong 2208

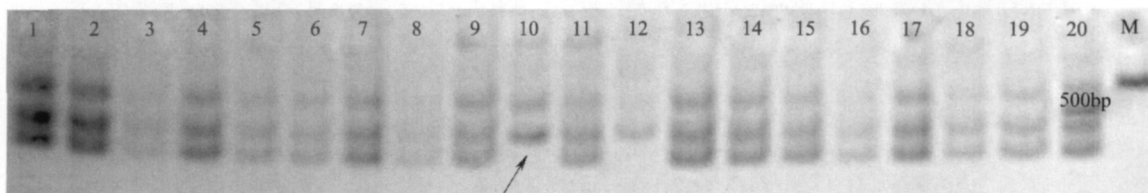


图7 标记 Wx-B1 多态性检测结果

Fig. 7 Results of polymorphic test with Wx-B1

1: 小偃 22; 2: 晋麦 41; 3: 晋麦 45; 4: 晋麦 49; 5: 晋麦 60; 6: 临优 145; 7: 农大 135; 8: 农大 340; 9: 秦麦 11; 10: 小偃 168; 11: 陕 229; 12: 郑麦 9023; 13: 西农 889; 14: 西农 928; 15: 西农 979; 16: 小偃 107; 17: 小偃 926; 18: 小偃 54; 19: 郑麦 366; 20: 郑优 7 号; M: DNA ladder DL-2000

1: Xiaoyan 22; 2: Jinmai 41; 3: Jinmai 45; 4: Jinmai 49; 5: Jinmai 60; 6: Linyou 145; 7: Nongda 135; 8: Nongda 340; 9: Qinmai 11; 10: Xiaoyan 168; 11: Shan 229; 12: Zhengmai 9023; 13: Xinong 889; 14: Xinong 928; 15: Xinong 979; 16: Xiaoyan 107; 17: Xiaoyan 926; 18: Xiaoyan 54; 19: Zhengmai 366; 20: Zhengyou 7; M: DNA ladder DL-2000

2.4 八氢番茄红素合成酶等位基因变异类型

标记 YP7A(图8)、YP7B-1 对 7AL、7B 染色体上的控制黄色素含量的八氢番茄红素合成酶基因的检测结果表明: 小偃 6 号在 7AL、7B 染色体上的八氢番茄红素合成酶等位基因型为 *Psy-Alb/Psy-Bla*, 亲本小偃 96 为 *Psy-Alb/Psy-Blb*, 另一亲本郑引 4 号在两位点等位基因类型与小偃 6 号均不同, 为 *Psy-Ala/Psy-Blb*, 姊妹系小偃 4 号与小偃 6 号相同, 而小偃 5 号与其亲本小偃 96 相同。在小偃 6 号衍生后代材料中, 两位点均出现不同的等位基因, 其中 7AL 染色体的位点上, 与亲本小偃 6 号携带相同等位基因 *Psy-Alb* 的有 21 份材料, 另 26 份材料的等位基因为 *Psy-Ala* 占 55.31%; 23 份材料携带在 7B 染色体上与小偃 6 号相同的等位基因 *Psy-Bla*, 24 份材料在 7B 染色体位点上携带不同于小偃 6 号的等位基因 *Psy-Blb* 占

51.06%。两个基因组合类型 *Psy-Ala/Psy-Bla*、*Psy-Ala/Psy-Blb*、*Psy-Alb/Psy-Bla*、*Psy-Alb/Psy-Blb* 的分布频率分别为 29.78%、25.53%、17.02%、25.53%; 在两个位点上与小偃 6 号基因组成 (*Psy-Alb/Psy-Bla*) 完全一致的材料仅有 8 份, 占 17.02% (表 3)。

2.5 多酚氧化酶活性等位基因变异类型

标记 PPO18(图9)、PPO29(图10) 对 2AL、2DL 染色体上小麦子粒中多酚氧化酶(PPO) 活性基因的等位基因类型进行检测, 结果发现小偃 6 号在 2AL 和 2DL 染色体的 PPO 活性等位基因分别为 *Ppo-Alb*、*Ppo-D1b*, 而其两个亲本小偃 96 和郑引 4 号在该位点的等位基因类型均为 *Ppo-Ala*、*Ppo-D1b*, 即小偃 6 号在 2AL 染色体上的等位基因类型与两个亲本均不一致。姊妹系小偃 5 号与小偃 6 号均一致, 而小偃 4 号在 2DL 染色体上的等位基

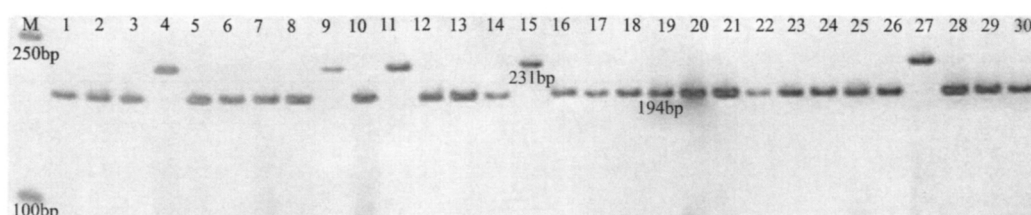


图 8 标记 YP7A 多态性检测结果

Fig. 8 Results of polymorphic test with YP7A

M: DNA ladder DL-2000; 1: 郑引 4 号; 2: 白春 5 号; 3: 长武 131; 4: 晋麦 41; 5: 晋麦 45; 6: 晋麦 49; 7: 晋麦 60; 8: 科农 9204; 9: 农大 340; 10: 荔高 6 号; 11: 西农 928; 12: 良星 99; 13: 临汾 5064; 14: 临优 145; 15: 陕 225; 16: 鲁麦 14; 17: 农大 135; 18: 山农 12; 19: 陕 229; 20: 西农 2208; 21: 西农 889; 22: 小偃 128; 23: 小偃 15; 24: 小偃 246; 25: 小偃 503; 26: 小偃 81; 27: 郑麦 9405; 28: 郑麦 366; 29: 郑农 16; 30: 郑优 7 号

M: DNA ladder DL-2000; 1: Zhengyin 4; 2: Baichun 5; 3: Changwu 131; 4: Jinmai 41; 5: Jinmai 45; 6: Jinmai 49; 7: Jinmai 60; 8: Kenong 9204; 9: Nongda 340; 10: Ligao6; 11: Xinong 928; 12: Langxing 99; 13: Linfen 5064; 14: Linyou 145; 15: Shan 225; 16: Lumai 14; 17: Nongda 135; 18: Shannong 12; 19: Shan 229; 20: Xinong 2208; 21: Xinong 889; 22: Xiaoyan 128; 23: Xiaoyan 15; 24: Xiaoyan 246; 25: Xiaoyan 503; 26: Xiaoyan 81; 27: Zhengmai 9405; 28: Zhengmai 366; 29: Zhengnong 16; 30: Zhengyou 7

因类型发生变异, 表现为 *Ppo-D1a*。小偃 6 号衍生后代在以上两个位点也出现了不同程度的变异, 其中在 2AL 染色体有 25 份材料携带不同于小偃 6 号的等位基因 *Ppo-Ala*, 占 53.19%; 2DL 染色体上有 10 份材料携带不同于小偃 6 号的等位基因 *Ppo-*

D1a, 占 21.27%。两个基因组合类型 *Ppo-Ala/Ppo-D1a*、*Ppo-Ala/Ppo-D1b*、*Ppo-Alb/Ppo-D1a* 和 *Ppo-Alb/Ppo-D1b* 的分布频率分别为 38.29%、10.63%、40.42% 和 10.63%, 具有最低 PPO 活性的基因型 *Ppo-Alb/Ppo-D1a* 的比例较大(表 3)。

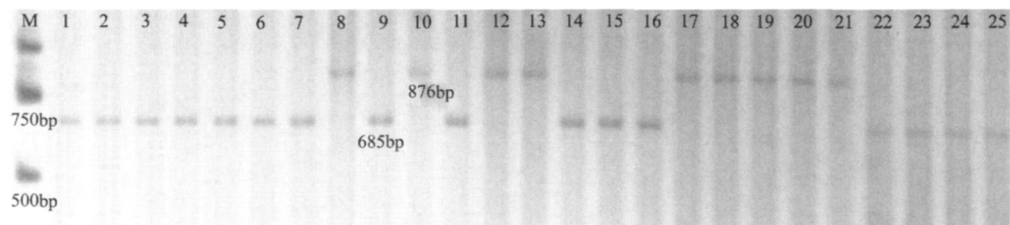


图 9 标记 PPO18 多态性检测结果

Fig. 9 Results of polymorphic test with PPO18

M: DNA ladder DL-2000; 1: 小偃 96; 2: 郑引 4 号; 3: 长武 131; 4: 晋麦 41; 5: 晋麦 45; 6: 晋麦 49; 7: 临汾 5064; 8: 临优 145; 9: 农大 135; 10: 鲁麦 14; 11: 农大 340; 12: 秦麦 11; 13: 陕 225; 14: 山农 12; 15: 陕 213; 16: 西农 2208; 17: 陕 229; 18: 陕 253; 19: 西农 2611; 20: 西农 881; 21: 西农 928; 22: 西农 979; 23: 小偃 128; 24: 小偃 15; 25: 小偃 246

M: DNA ladder DL-2000; 1: Xiaoyan 96; 2: Zhengyin 4; 3: Changwu 131; 4: Jinmai 41; 5: Jinmai 45; 6: Jinmai 49; 7: Linfen 5064; 8: Linyou 145; 9: Nongda 135; 10: Lumai 14; 11: Nongda 340; 12: Qinmai 11; 13: Shan 225; 14: Shannong 12; 15: Shan 213; 16: Xinong 2208; 17: Shan 229; 18: Shan 253; 19: Xinong 2611; 20: Xinong 881; 21: Xinong 928; 22: Xinong 979; 23: Xiaoyan 128; 24: Xiaoyan 15; 25: Xiaoyan 246

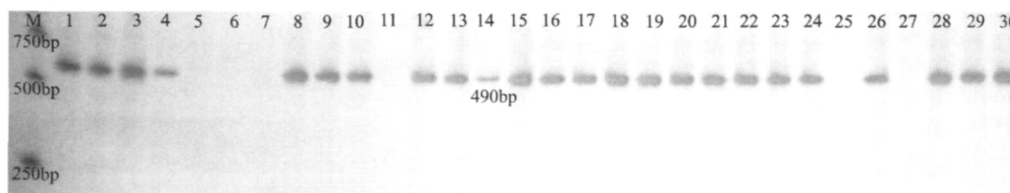


图 10 标记 PPO29 多态性检测结果

Fig. 10 Results of polymorphic test with PPO29

M: DNA ladder DL-2000; 1: 小偃 6 号; 2: 小偃 5 号; 3: 小偃 926; 4: 晋麦 41; 5: 晋麦 45; 6: 晋麦 49; 7: 晋麦 60; 8: 临优 145; 9: 长武 131; 10: 农大 135; 11: 西农 928; 12: 秦麦 11; 13: 山农 12; 14: 陕 229; 15: 陕 253; 16: 西农 889; 17: 西农 979; 18: 郑麦 366; 19: 郑麦 9405; 20: 周麦 13; 21: 远丰 175; 22: 小偃 168; 23: 西农 2611; 24: 西农 881; 25: 小偃 22; 26: 陕 213; 27: 小偃 107; 28: 陕 225; 29: 西农 2208; 30: 小偃 81

M: DNA ladder DL-2000; 1: Xiaoyan 6; 2: Xiaoyan 5; 3: Xiaoyan 926; 4: Jinmai41; 5: Jinmai 45; 6: Jinmai 49; 7: Jinmai 60; 8: Linyou 145; 9: Nongda 135; 10: Nongda 340; 11: Xinong 928; 12: Qinmai 11; 13: Shannong 12; 14: Shan229; 15: Shan 253; 16: Xinong 889; 17: Xinong 979; 18: Zhengmai 366; 19: Zhengmai 9405; 20: Zhoumai 13; 21: Yuanfeng 175; 22: Xiaoyan 168; 23: Xinong 2611; 24: Xinong 881; 25: Xiaoyan 22; 26: Shan213; 27: Xiaoyan 107; 28: Shan 225; 29: Xinong 2208; 30: Xiaoyan 81

表 3 小偃 6 号及其衍生品种(系) Waxy、PSY 和 PPO 基因分子检测结果

Table 3 Gene composition of Waxy, PSY and PPO in Xiaoyan 6 and its derivatives

(bp)

编号 Code	品种(系) Cultivar	类型 Type	Wx-A1	Wx-B1	Wx-D1	YP7A	YP7B-I	PPO18	PPO29
1	小偃 96	亲本	336	425	1400	231	156	685	490
2	郑引 4 号	亲本	336	425	0	194	156	685	490
3	小偃 6 号		336	425	1400	231	151	876	490
4	小偃 4 号	姊妹系	336	425	1400	231	151	876	490
5	小偃 5 号	姊妹系	336	425	1400	231	156	876	490
6	PH82-2-2	姊妹系	336	425	1400	231	156	876	490
7	PH85-16	衍生系	336	425	1400	231	156	685	490
8	白春 5 号	衍生系	336	425	0	194	156	876	490
9	长武 131	衍生系	336	425	1400	194	151	685	490
10	晋麦 41	衍生系	336	425	1400	231	156	685	490
11	晋麦 45	衍生系	336	425	1400	194	156	685	0
12	晋麦 49	衍生系	336	425	1400	194	156	685	0
13	晋麦 60	衍生系	336	425	1400	194	156	876	0
14	科农 9204	衍生系	336	425	1400	194	156	876	490
15	荔高 6 号	衍生系	336	425	1400	194	151	876	490
16	良星 99	衍生系	336	425	1400	194	156	876	490
17	临汾 5064	衍生系	336	425	1400	194	156	685	490
18	临优 145	衍生系	336	425	1400	194	156	876	490
19	鲁麦 14	衍生系	336	425	1400	194	151	876	490
20	农大 135	衍生系	336	425	1400	194	151	685	490
21	农大 340	衍生系	336	425	1400	231	151	685	490
22	秦麦 11	衍生系	336	425	1400	231	156	876	490
23	山农 12	衍生系	336	425	1400	194	151	685	490
24	陕 213	衍生系	336	425	1400	231	156	685	490
25	陕 225	衍生系	336	425	1400	231	156	876	490
26	陕 229	衍生系	336	425	1400	194	151	876	490
27	陕 253	衍生系	336	425	1400	231	151	876	490
28	西农 2208	衍生系	336	425	1400	194	156	685	490
29	西农 2611	衍生系	336	425	1400	231	156	876	490
30	西农 881	衍生系	336	425	0	231	156	876	490
31	西农 889	衍生系	336	425	1400	194	156	685	490
32	西农 928	衍生系	336	425	1400	231	151	876	0
33	西农 979	衍生系	336	425	1400	231	156	685	490
34	小偃 107	衍生系	336	425	1400	231	156	876	0
35	小偃 128	衍生系	336	425	1400	194	151	685	490
36	小偃 15	衍生系	336	425	1400	194	151	685	490
37	小偃 168	衍生系	336	0	1400	231	156	876	490
38	小偃 22	衍生系	0	425	1400	231	156	876	0
39	小偃 246	衍生系	336	0	1400	194	156	685	490
40	小偃 503	衍生系	336	0	1400	194	156	685	490
41	小偃 54	衍生系	0	425	1400	231	151	876	490
42	小偃 926	衍生系	336	425	1400	231	156	876	490
43	小偃 81	衍生系	336	425	1400	194	151	876	490
44	8602	小偃 81 亲本	336	425	1400	231	151	876	490
45	远丰 175	衍生系	336	425	1400	231	151	876	490
46	早优 504	衍生系	336	425	1400	231	151	685	490
47	郑麦 366	衍生系	336	425	1400	194	151	876	490
48	郑麦 9023	衍生系	336	0	0	231	151	685	0
49	郑麦 9405	衍生系	336	425	1400	231	151	685	490
50	郑农 16	衍生系	336	425	1400	194	151	685	0
51	郑优 7 号	衍生系	336	425	1400	194	151	685	0
52	周麦 13	衍生系	336	425	1400	194	151	685	490
53	周麦 19	衍生系	336	425	1400	194	151	876	0

3 讨论

小偃 6 号之所以能够成为我国小麦育种中的重要骨干亲本, 主要原因之一是其具有优良的加工和食用品质, 不仅适于加工面包, 而且适于面条和馒头加工, 这也是其成为我国北方冬麦区优良种源的重要原因。用其为亲本或直接系统选育的品种 50 余个, 包括 10 个国家审品种, 其中不少品种保持了其良好的加工品质^[1, 7]。如陕优 225 不仅农艺性状继承了小偃 6 号的优良性状, 并且在蛋白质品质、面团流变学品质、面包烘焙品质等方面明显优于母本小偃 6 号^[31]; 新品种郑麦 9023 品质指标超过国标强筋优质小麦品种一级标准, 特别是面筋强度较高, 具有较高的制粉附加值, 累计种植面积已达 1333 万 hm^2 ^[1]。因此, 明确骨干亲本小偃 6 号及其衍生后代品种的相关品质的基因组成, 探讨小偃 6 号的品质相关基因在后代的传递能力和对后代品质性状的影响, 可为作物骨干亲本的定向创制和高效利用提供重要依据。

小麦加工品质的主要决定因素是小麦子粒中的蛋白质, 特别是高分子量麦谷蛋白, 被认为是限制小麦品质遗传潜力的最主要因素^[32]。本研究的检测结果表明, 小偃 6 号在 *Glu-A1* 位点上亚基组成为 1 或 null, 在 *Glu-D1* 位点上亚基组成为 $Dx2 + Dy12$ 。在其衍生材料中 44 份 (91.49%) 材料的 *Glu-A1* 位点与小偃 6 号相同, 41 份 (85.10%) 材料 *Glu-D1* 位点与小偃 6 号相同, 37 份材料在 *Glu-A1*、*Glu-D1* 两个位点上与小偃 6 号相同, 占衍生品种的 78.72%。衍生后代中还出现了 $Ax2^*$ 和 $Dx5 + Dy10$ 、 $Dx2 + Dy10$ 的变异, 这主要来自育种过程中其他亲本的相应位点。小偃 6 号的衍生后代中 *LMW-GS* 位点的变异类型较多, 在 *Glu-B3*、*Glu-D3* 两个位点上与小偃 6 号相同等位基因类型的材料合计有 12 个, 仅占衍生品种的 25.53%。

前人研究结果表明, 不同 Wx 蛋白亚基对淀粉含量、理化特性、面条加工品质产生的影响存在一定差异, 其中 $Wx-B1$ 亚基缺失, 直链淀粉含量最低, 膨胀势和 RVA 峰值粘度最高, 小麦面粉的淀粉特性表现最好, 其次是 $Wx-D1$ 蛋白亚基缺失, 而缺失 $Wx-A1$ 蛋白亚基作用最小^[33-35]。小偃 6 号在 3 个位点都属于非缺失等位变异类型, 82.98% 的衍生品种 Wx 蛋白等位基因类型与小偃 6 号完全一致。而在多酚氧化酶 (*PPO*) 等位基因和八氢番茄红素合成酶 (*PSY*) 等位基因上与小偃 6 号相同的仅有

10.42%、17.02%。

相比 *PPO* 和 *PSY* 基因等位变异, 具有小偃 6 号的高分子谷蛋白和 Wx 蛋白的等位基因类型在衍生后代中具有较高的分布频率, 这些品质相关基因的分布趋势可能是亲本在不同性状上的遗传效应和不同的选择强度共同作用的结果。而小偃 6 号的 *PPO* 和 *PSY* 等位基因传递频率较低, 这可能是由于黄色素含量和 *PPO* 活性两个因素影响面粉及面粉制品的外观品质, 我国北方麦区喜欢面白、褐变轻的食品, 对面制品的白色色泽要求较高, 育种家育种过程中间接选择了低 *PPO* 和低黄色素含量类型的品种, 因此, 40.42% 的衍生后代具有低 *PPO* 活性的基因型 *Ppo-A1b/Ppo-D1a*, 25.53% 的后代具有低黄色素含量等位变异类型 *Psy-Alb/Psy-B1b*。

为了阐明骨干亲本基因组构成对后代衍生品种遗传组成的贡献, 探讨小麦骨干亲本的成因及其遗传学本质, 国内许多研究者利用 SSR、EST-SSR 等分子标记对阿夫、欧柔、胜利麦/燕大 1817、碧玛 4 号、南大 2419、洛夫林 10 号和矮孟牛等小麦骨干亲本及其衍生品种进行了系统的研究和分析^[8-16]。李琼等^[16]用 22 对 SSR 引物分析了小偃 6 号及其衍生品种 (系) 共 54 份材料的遗传多样性, 分子标记的聚类结果与系谱较吻合。SSR 标记由于位点丰富、多态性较高、操作简单、全基因组分布等特点, 可用于分析不同染色体区段在衍生后代的分布、传递等研究。但由于 SSR 标记位点与目标农艺性状基因之间往往有一定的距离, 不一定能反映控制重要性状的基因组成。而功能型分子标记 (FMs) 可以直接检测控制性状表达的功能基因的等位变异, 直接反映重要性状位点的基因和等位变异组成, 而且具有方便、快捷、稳定性好、准确性高的特点。目前在小麦中已经开发了部分功能标记, 可用于部分基因位点的组成检测^[36]。本研究利用 10 个品质性状相关基因的功能标记, 对小偃 6 号及其衍生品种进行了基因位点的分子检测, 希望可以为这方面的研究奠定初步的基础。随着小麦基因组学研究的进展和研究技术的提高, 将会有更多的基因被克隆, 相应的功能标记也会开发更多, 即可用于准确的相关基因位点的等位变异检测。

4 结论

通过功能基因分子标记检测了骨干亲本小偃 6 号及其衍生后代在麦谷蛋白、 Wx 蛋白、黄色素含量、*PPO* 活性相应位点的基因类型。结果表明: 衍生后

代在 *HMW-GS*、*Wx* 蛋白基因位点上大都遗传了骨干亲本小偃 6 号的基因类型; 在 *LMW-GS*、*PSY*、*PPO* 活性基因位点上衍生后代发生不同程度的变异。因此在今后的小麦品质育种工作中, 针对不同品质性状进行改良时, 可以选择含有相应基因类型的亲本材料, 从而加快育种速度和效率。

参考文献

- [1] Li Z S, Li B, Tong Y P. The contribution of distant hybridization with decaploid *Agropyron elongatum* to wheat improvement in China [J]. *Genet Genomi* 2008 35: 451-456
- [2] 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: 2-3
- [3] 薛文江, 武军. 小偃 6 号小麦稳产性和适应性分析 [J]. *西北植物学报*, 1996, 16(2): 169-173
- [4] 陆和平. 小偃 6 号小麦高温抗条锈性的初步研究 [J]. *西北农业大学学报*, 1996 24(2): 102-104
- [5] 姚秋燕, 徐智斌, 王美南, 等. 小偃 6 号高温下抗条锈性的遗传分析 [J]. *植物保护学报* 2006 33(2): 117-121
- [6] He Z H, Rajaram S, Xin Z Y, et al. A history of wheat breeding in China [C]. Mexico, D F: CIMMYT, 2001: 78-83
- [7] 张学勇, 董玉琛, 游光侠, 等. 中国小麦大面积推广品种及骨干亲本的高分子量谷蛋白亚基组成分析 [J]. *中国农业科学*, 2001 34(4): 355-362
- [8] 王珊珊, 李秀全, 田纪春. 利用 SSR 标记分析小麦骨干亲本“矮孟牛”及衍生品种(系)的遗传多样性 [J]. *分子植物育种* 2007 5(4): 485-490
- [9] 司清林, 刘新伦, 刘智奎, 等. 阿夫及其衍生小麦品种(系)的 SSR 分析 [J]. *作物学报* 2009 35(4): 615-619
- [10] 杨学明, 姚金保, 马鸿翔, 等. 普通小麦-簇毛麦 6V 代换系 45S rDNA 和 5S rDNA 位点的 FISH 分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2011 12(3): 464-467
- [11] 盖红梅, 王兰芬, 游光霞, 等. 基于 SSR 标记的小麦骨干亲本育种重要性研究 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(5): 1503-1511
- [12] 李小军, 徐鑫, 刘伟华, 等. 利用 SSR 标记探讨骨干亲本在欧柔衍生品种的遗传 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(10): 3397-3404
- [13] 韩俊, 张连松, 李静婷, 等. 小麦骨干亲本“胜利麦/燕大 1817”杂交组合后代衍生品种遗传构成解析 [J]. *作物学报*, 2009 35(8): 1395-1404
- [14] 徐鑫, 李小军, 李秀全, 等. 小麦骨干亲本“洛夫林 10 号”1BL/1RS 在衍生品种中的遗传分析 [J]. *麦类作物学报* 2010 30(2): 221-226
- [15] 袁园园, 王庆专, 崔法, 等. 小麦骨干亲本碧蚂 4 号的基因组特异位点及其在衍生后代中传递 [J]. *作物学报*, 2010 36(1): 9-16
- [16] 李琼, 王长有, 刘新伦, 等. 小偃 6 号及其衍生品种(系)遗传多样性的 SSR 分析 [J]. *麦类作物学报* 2008 28(6): 950-955
- [17] Andersen J R, Lübberstedt T. Functional markers in plants [J]. *Trends Plant Sci* 2003 8: 554-560
- [18] 杨景华, 王士伟, 刘训言, 等. 高等植物功能性分子标记的开发与利用 [J]. *中国农业科学* 2008 41(11): 3429-3436
- [19] Bagge M, Xia X C, Lübberstedt T. Functional markers in wheat [J]. *Curr Opin Plant Biol* 2007 10: 211-216
- [20] Bagge M, Lübberstedt T. Functional markers in wheat: technical and economic aspects [J]. *Mol Breed* 2008 22: 319-328
- [21] Liu S X, Chao S M, Anderson J A. New DNA markers for high molecular weight glutenin subunits in wheat [J]. *Theor Appl Genet* 2008 118: 177-183
- [22] 张晓科. 中国小麦矮秆基因和春化基因分布及小麦品质相关性状多重 PCR 体系建立 [R]. 北京: 中国农业科学院博士后出站报告 2007: 38
- [23] 刘迎春, 朱惠兰, 程顺和, 等. 小麦 *Wx-A1* 和 *Wx-D1* 位点的 PCR 分子标记 [J]. *麦类作物学报* 2005 25(1): 1-5
- [24] He X Y, Zhang Y L, He Z H, et al. Characterization of phytoene synthase 1 gene (*Psy1*) located on common wheat chromosome 7A and development of a functional marker [J]. *Theor Appl Genet* 2008 116: 213-221
- [25] He X Y, He Z H, Ma W, et al. Allelic variants of phytoene synthase 1 (*Psy1*) genes in Chinese and CIMMYT wheat cultivars and development of functional markers for flour colour [J]. *Mol Breed* 2009 23: 553-563
- [26] 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]. *Theor Appl Genet* 2007 115: 47-58
- [27] 孙道杰, 张立平, 夏先春, 等. 小麦多酚氧化酶(*PPO*)活性的 SSR 标记筛选与验证 [J]. *中国农业科学*, 2005, 38(7): 1295-1299
- [28] 王晓波, 马传喜, 何克勤, 等. 小麦 2D 染色体多份氧化酶(*PPO*)基因 STS 标记的开发与应用 [J]. *中国农业科学*, 2008 41(6): 1583-1590
- [29] 张知仪, 张阳, 李俊, 等. 春化基因 *VRN-1* 在骨干亲本南大 2419 衍生系中的分布 [J]. *西南农业学报* 2009(3): 568-571
- [30] Zhao X L, Ma W, Gale R K, et al. Identification of SNPs and development of functional markers for LMW-GS genes at *Glu-D3* and *Glu-B3* loci in bread wheat *Triticum aestivum* L. [J]. *Mol breed* 2007 20: 223-231
- [31] 安成立, 张改生, 李硕碧, 等. 强筋小麦陕优 225 系谱及性状遗传分析 [J]. *麦类作物学报* 2005 25(3): 128-131
- [32] 井金学, 徐智斌, 王殿波, 等. 小偃 6 号抗条锈性遗传分析 [J]. *中国农业科学* 2007 40(3): 499-504
- [33] 王肃威, 许长城, 白克智, 等. 两种不同基因型小麦光抑制特性的比较 [J]. *植物学报* 2000 42(12): 1300-1303
- [34] Yang X H, Chen X Y, Ge Q Y, et al. Tolerance of photosynthesis to photoinhibition, high temperature and drought stress in flag leaves of wheat: A comparison between a hybridization line and its parents grown under field conditions [J]. *Plant Sci* 2006 171: 389-397
- [35] 郁飞, 唐崇钦, 辛越勇, 等. 不同品种小麦 PSI 颗粒光抑制过程的光谱学比较研究 [J]. *植物学报* 2001 43(12): 1243-1249
- [36] 何中虎, 夏先春, 陈新民, 等. 中国小麦育种进展与展望 [J]. *作物学报* 2011 37(2): 202-215