

257 份小麦品种资源中矮秆基因的分子检测

王玉叶^{1,2}, 张海萍^{1*}, 来得娥¹, 赵秋霞¹, 常成¹, 马传喜¹

- (1. 农业部黄淮南部小麦生物学与遗传育种区域重点实验室, 安徽省作物生物学重点实验室, 安徽农业大学农学院, 合肥 230036;
2. 安徽省淮南农场农业科学研究所, 淮南 232035)

摘要: 矮秆基因 *Rht-B1b*、*Rht-D1b* 和 *Rht8* 等的广泛利用, 不仅增强了小麦的抗倒性, 而且提高了产量。明确矮秆基因的分布, 可以为小麦矮化育种提供分子信息。采用 STS 和 SSR 标记检测 257 份小麦品种资源中 *Rht-B1b*、*Rht-D1b* 和 *Rht8* 基因的分布情况。结果表明, 257 份材料中, *Rht8* 基因分布频率最高 (106 个品种, 41.2%), *Rht-D1b* 次之 (88 个品种, 34.2%), *Rht-B1b* 最低 (70 个品种, 27.2%)。此外, 部分材料中含有不同类型的矮秆基因组合, 且分布频率不同, 其中 *Rht-D1b+Rht8*(25 个品种, 9.7%) > *Rht-B1b+Rht8*(24 个品种, 9.3%) > *Rht-B1b+Rht-D1b*(9 个品种, 3.5%) > *Rht-B1b+Rht-D1b+Rht8*(5 个品种, 1.9%)。上述结果为小麦抗倒伏育种以及矮化育种提供了重要的参考信息。

关键词: 小麦; 分子标记; 矮秆基因

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)05-0860-07

Detection of dwarf genes in 257 wheat variety resources using molecular markers

WANG Yu-ye^{1,2}, ZHANG Hai-ping¹, LAI De-e¹, ZHAO Qiu-xia¹, CHANG Cheng¹, MA Chuan-xi¹

- (1. Regional Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic-breeding of Huanghuai Valley, Key Laboratory of Agronomy Biology of Anhui Province, School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 2. Agricultural Science Research Institute, Anhui Province Huainan Farm, Huainan 232035)

Abstract: Extensive use of *Rht-B1b*, *Rht-D1b* and *Rht8* dwarf genes can not only enhance wheat lodging resistance, but also increase wheat yield. Clear distribution dwarf genes will provide molecular information in wheat dwarf breeding. In this article, we detected the distribution of *Rht-B1a*, *Rht-B1b*, *Rht-D1b* and *Rht8* gene in 257 wheat varieties using STS and SSR molecular markers. The results showed that the frequency of *Rht8* gene (106 wheat varieties, 41.2%) was the highest, *Rht-D1b* was higher (88 wheat varieties, 34.2%) and *Rht-B1b* was the lowest (70 wheat varieties, 27.2%) in 257 wheat resources. The research also showed that part of wheat resources contained different kinds of dwarfing gene combination, and their distribution frequencies were also different. Twenty five materials (9.7%) were detected to contain *Rht-D1b* and *Rht8*. Twenty four materials (9.3%) were detected to have *Rht-B1b* and *Rht8*. Nine materials (3.5%) were detected to carry *Rht-D1b* and *Rht-B1b*. Five materials (1.9%) were detected to contain *Rht-B1b*, *Rht-D1b* and *Rht8*. The results may provide important information for wheat lodging resistance breeding and dwarfing breeding.

Key words: wheat; molecular marker; dwarfing gene

小麦发生倒伏不仅造成减产, 影响机械化收割, 而且影响小麦的商品性和品质。据方大法^[1]报道, 小麦开花后发生倒伏减产可达 40%~50%; 灌浆期发生倒伏减产可达 25%~35%; 乳熟期倒伏减产可达 10%左右; 邓贺明等^[2]认为小麦开花期严重倒伏

会使穗粒数、千粒重显著减少, 造成严重减产达 25%以上; 灌浆期发生倒伏, 主要使千粒重降低, 减产幅度相对较小, 一般减产 10%~15%; 矮秆和半矮秆小麦品种的育成和推广对我国乃至全世界小麦产量的提高起了关键作用。

收稿日期: 2013-03-15

基金项目: 农业部行业科技专项资金和安徽省小麦产业技术体系专项资金共同资助。

作者简介: 王玉叶, 女, 高级农艺师。E-mail: hnnwyy@163.com

* 通信作者: 张海萍, 女, 博士, 副教授。E-mail: zhhp20@163.com

目前在小麦矮化育种中广泛应用的矮秆基因主要有 *Rht1*、*Rht2*、*Rht8* 和 *Rht9*^[3-6]。其中, *Rht1* (*Rht-B1b*) 和 *Rht2* (*Rht-D1b*) 基因最早在农林 10 号 (Norin 10) 中发现, 为隐性半致矮基因, 在矮化育种上应用最成功, 这 2 个矮秆基因分别位于小麦染色体 4B 和 4D 的短臂上。*Rht8* 和 *Rht9* 基因来自于日本赤小麦 (Akakomugi), 为隐性基因, 对赤霉酸反应特别敏感, 分别位于 2D 和 7B 染色体的短臂上^[7]。Korzun 等^[8]开发出与 *Rht8* 紧密连锁的微卫星 SSR 标记, 以此可判断 *Rht8* 基因的存在与否。Ellis 等^[9]开发了特异 STS 标记来检测 *Rht1* 和 *Rht2* 基因。其中利用引物对 BF2/MR1 可以检测含有 *Rht-B1b* (突变型) 矮秆基因的材料, 目标带为 1 条 237 bp 的多态性 DNA 片段; 利用引物对 BF2/WR1 可以检测含有 *Rht-B1a* (野生型, 即不含 *Rht-B1b*) 的材料, 目标带为 1 条 237 bp 的多态性 DNA 片段。上述 2 对引物的鉴定结果互补。此外, 利用引物对 DF2/MR2 可以检测含有 *Rht-D1b* 矮秆基因 (突变型) 的材料, 目标带为 1 条长度为 254 bp 的多态性 DNA 片段; 利用引物对 DF2/WR2 可以检测不含 *Rht-D1b* (野生型, 即含有 *Rht-D1a*) 的材料, 目标带为 1 条长度 264bp 的多态性 DNA 片段。上述 2 对引物的鉴定结果可以互相验证。杨松杰等^[10]利用该 STS 标记对中国主要麦区 239 个品种的 *Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 矮秆基因进行检测, 结果表明 *Rht-B1b* 的分布频率为 24.3%, *Rht-D1b* 的分布频率为 46.9%。梁丹等^[11]利用上述 STS 标记检测 263 份 CIMMYT 小麦品种 (系) 中 *Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 基因的分布, 结果显示, 在检测的 263 个品种中, 216 个品种含 *Rht-B1b*, 占总数的 82.1%; 38 个品种含 *Rht-B1b*, 占总数的 14.4%; 含双矮秆基因型 (*Rht-B1b*+*Rht-D1b*) 的品种有 12 个; 不含这 2 个矮秆基因的品种 (*Rht-B1a*+*Rht-D1a*) 有 21 个; 说明在 CIMMYT 材料中, *Rht-B1b* 基因频率很高, *Rht-D1b* 较低。马东钦等^[12]检测了 254 份黄淮麦区小麦品种 (系) 中矮秆基因 *Rht-B1b*, *Rht-D1b* 和 *Rht8* 的分布。结果表明, 在 254 份材料中, 含有 *Rht-B1b*, *Rht-D1b* 和 *Rht8* 基因的材料分别有 84, 171 和 178 份, 只含有 *Rht-B1b*, *Rht-D1b* 和 *Rht8* 基因的材料分别有 15, 36 和 31 份, 只含 *Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 基因有 16 份, 只含 *Rht-B1b* 和 *Rht8* 基因的有 94 份, 只含 *Rht-D1b* 和 *Rht8* 基因的有 28 份, 同时含有 *Rht-B1b*, *Rht-D1b* 和 *Rht8* 基因的有 25 份, 同时不含这 3 个矮秆基因的有 9 份, 说明黄淮麦区小麦品种 (系) 中绝大部分品种均含有不同种类的矮秆基因。周阳等^[13]利用微

卫星 Xgwm261 标记对中国小麦主产区近 30 年 163 份小麦主栽品种进行 *Rht8* 矮秆基因的鉴定, 同时进行系谱分析加以验证, 结果表明: 就全国范围而言, 约 42.3% 的品种含有 *Rht8*, 但不同生态区的分布频率不同, 该信息为小麦育种提供了重要的理论指导。

本研究利用琼脂糖以及 6% 变性聚丙烯酰胺凝胶电泳技术对 257 份小麦品种资源进行 *Rht-B1a*、*Rht-B1b*、*Rht-D1b* 和 *Rht8* 基因的分子检测, 明确这些基因的分布, 为杂交组配的选育以及矮化育种提供亲本材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

257 份小麦品种资源由安徽农业大学小麦育种教研室收集和保存, 包括国外引进品种、推广品种以及中间品系等。

1.2 基因组 DNA 提取

采用 SDS-Tris 饱和酚法从小麦干种子中提取基因组总 DNA^[14], 用紫外分光光度计检测 DNA 浓度和纯度。

1.3 矮秆基因的分子标记检测

1.3.1 *Rht-B1a*、*Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 的分子检测
特异性 STS 引物 *Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 根据 Ellis 等^[9]发表并作部分修改。引物对 NH-BF.2/WR1.2 用于检测 *Rht-B1a* (*Rht1* 基因位点野生型) 基因, 引物对 NH-BF.2/MR1 用于检测 *Rht-B1b* (*Rht1* 基因位点突变型) 基因; 引物对 DF/MR2 用于检测 *Rht-D1b* (*Rht2* 基因位点突变型) 基因。引物合成由上海生工生物工程技术有限公司完成。

Rht-B1a 和 *Rht-B1b* 引物序列为:

NH-BF.2: 5'-TCTCCTCCCTCCCCACCCCAAC-3'

WR1.2: 5'-CCATGGCCATCTCGAGCTGC-3'

MR1: 5'-CATCCCCATGGCCATCTCGAGCTA-3'

Rht-D1b 特异性引物序列为:

DF: 5'-CGCGCAATTATTGGCCAGAGATAG-3'

MR2: 5'-CCCCATGGCCATCTCGAGCTGCTA-3'

Rht-B1a 基因的 PCR 扩增反应体系为: 总反应体积为 10 μL , 其中模板 DNA 为 50 ng, *Taq* DNA 聚合酶为 0.75 U, 引物终浓度为 0.36 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, dNTPs 终浓度为 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 10 \times Buffer 为 1 μL , 加入灭菌双蒸水至 10 μL 。

Rht-B1b 基因的 PCR 扩增反应体系为: 总反应体积为 10 μL , 其中模板 DNA 为 40 ng, *Taq* DNA 聚合酶为 0.6 U, 引物终浓度为 0.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, dNTPs 终浓度为 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 10 \times Buffer 为 1 μL , 加入灭

菌双蒸水至 10 μL 。

Rht-D1b 基因 PCR 扩增反应体系为：总反应体积为 10 μL ，其中模板 DNA，为 50 ng，*Taq* DNA 聚合酶为 0.6 U，引物终浓度为 0.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，dNTPs 浓度为 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，10 \times Buffer 为 1 μL ，加入灭菌双蒸水至 10 μL 。

Rht-B1a 和 *Rht-B1b* 的 PCR 反应程序均为：95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5 min，94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 1 min，63 $^{\circ}\text{C}$ 退火 1 min，72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 1 min，35 个循环；72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 8 min，4 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

Rht-D1b 的 PCR 反应程序为：95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5 min，94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s，63 $^{\circ}\text{C}$ 退火 30 s，72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 30 s，35 个循环，72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 8 min，4 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

PCR 反应利用 Bio-Rad My Cycler 1.0 PCR 仪完成，扩增产物采用 1.5% 的琼脂糖凝胶电泳检测。

1.3.2 *Rht8* 矮秆基因的分子标记检测 *Rht8* 的 SSR 引物 Xgwm261 根据 Korzun^[8] 等发表的序列，由上海生工生物技术有限公司合成。引物序列为：上游：5'- TGC TCT TTG GCGAAT ATA TGG-3'

下游：5'- GTT CAA AAC AAA TTA AAA GGC CC-3'

PCR 扩增反应总体积为 10 μL ，其中模板 DNA 为 50 ng，*Taq* DNA 聚合酶为 0.6 U，引物终浓度为 0.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，dNTPs 终浓度为 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，10 \times Buffer 为 1 μL ，加入灭菌双蒸水至 10 μL 。

PCR 反应程序为：95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5 min，94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 1 min，55 $^{\circ}\text{C}$ 退火 1 min，72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 1 min，32 个循环，72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 8 min，4 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

PCR 反应在 Bio-Rad My Cycler 1.0 PCR 仪上完成。PCR 扩增产物采用 6.0% 的变性聚丙烯酰胺凝胶电泳检测。

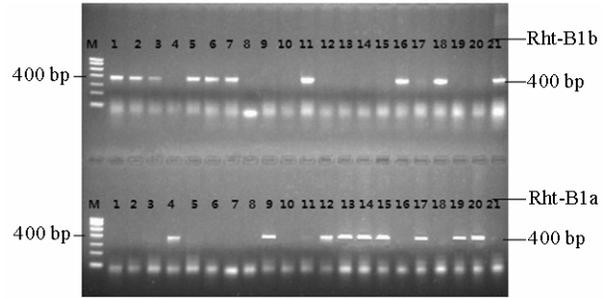
2 结果与分析

2.1 *Rht-B1a* 和 *Rht-B1b* 位点检测

用于检测 *Rht-B1a* 基因 (*Rht1* 基因的野生型) 和 *Rht-B1b* 基因 (*Rht1* 基因的突变型) 的 2 对引物的目标带片段大小均为 400 bp 左右，2 对引物互补出现 (图 1)。

本试验中以杨松杰等报道的含 *Rht-B1b* 类型的小麦品种“小偃 6 号”和“陕 229”^[10] 作为正对照 (图 1)。检测结果表明，257 份材料中 (表 1)，94 份含 *Rht-B1a* 基因，占 36.6%，如豫麦 34、Roblin、皖麦 38、温 8、矮早 64 系、安农 9267、Serra、邯郸 6172、矮抗 58 (见图 1)；70 份含 *Rht-B1b* 基因，占 27.2%，如小偃 6 号、川农 21、宁麦 9 号、#409、#445、MW18、karl、98108、陕 228、陕 229 (见图 1)，

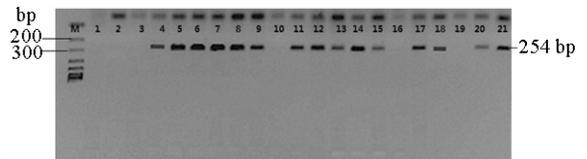
上述两种基因都不携带的材料有 93 份，占 36.2%，如济宁 12、郑 9023 (见图 1)。



M: Trans DNA Mark 1; 1: 小偃 6 号; 2: 川农 21; 3: 宁麦 9 号; 4: 豫麦 34; 5: #409; 6: #445; 7: MW18; 8: 济宁 12; 9: Roblin; 10: 郑 9023; 11: karl; 12: 皖麦 38; 13: 温 8; 14: 矮早 64 系; 15: 安农 9267; 16: 98108; 17: Serra; 18: 陕 228; 19: 邯郸 6172; 20: 矮抗 58; 21: 陕 229

M: Trans DNA Mark 1; 1: Xiaoyan6 (CK); 2: Chuan-nong21; 3: Ningmai9; 4: Yumai34; 5: #409; 6: #445; 7: MW18; 8: Jining12; 9: Roblin; 10: Zheng9023; 11: karl; 12: Wanmai38; 13: Wen 8; 14: Aizao64; 15: Annong9267; 16: 98108; 17: Serra; 18: Shan228; 19: Handan6172; 20: AK58; 21: Shan229 (CK)

图 1 部分材料 *Rht-B1a* 和 *Rht-B1b* 基因的检测图谱
Figure 1 PCR product patterns of *Rht-B1a* and *Rht-B1b* gene in some wheat varieties



M: Trans DNA Mark 1; 1: 石 B03-5672; 2: X9610; 3: 徐麦 270; 4: 淮麦 0208; 5: 周麦 18; 6: 安农 0451; 7: 安农 0305-8; 8: 安农 04144-1; 9: 安农 04144; 10: 安农 04156; 11: 周麦 22; 12: 才智 9998; 13: 浚 99-7; 14: 轮选 01-1; 15: 新麦 18; 16: 漯 9908; 17: 郑麦 9694; 18: 科农 181; 19: 西农 889; 20: 淮核 0308; 21: 济麦 20

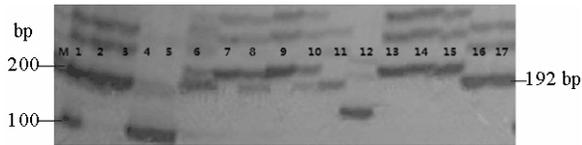
M: Trans DNA Mark 1; 1: ShiB03-5672; 2: X9610; 3: Xumai270; 4: Huaimai0208; 5: Zhoumai18 (CK); 6: Annong0451; 7: Annong0305-8; 8: Annong04144-1; 9: Annong04144; 10: Annong04156; 11: Zhoumai22; 12: Caizhi9998; 13: Jun99-7; 14: Lunxuan01-1; 15: Xinmai18; 16: Luo9908; 17: Zhengmai9694; 18: Kenong181; 19: Xi-nong889; 20: Huaihe0308; 21: Jimai20 (CK)

图 2 部分材料 *Rht-D1b* 基因的检测图谱
Figure 2 PCR product pattern of *Rht-D1b* gene in some wheat varieties

2.2 *Rht-D1b* 基因检测

用于检测 *Rht-D1b* 基因的引物 DF/MR2 目标产

物的大小为 1 条 254 bp 左右的 DNA 片段(如图 2)。本文以杨松杰等^[10]报道的周麦 18 和济麦 20 为正对照, 检测结果表明, 88 个品种(系)含 *Rht-D1b* 基因, 占 34.2%, 如淮麦 0208、周麦 18、安农 0451、安农 0305-8、安农 04144-1、安农 04144、周麦 22、才智 9998、浚 99-7、轮选 01-1、新麦 18、郑麦 9694、科农 181、淮核 0308、济麦 20 等(图 2)。



M: Trans DNA Mark 1; 1: CP20-3-1-4-2; 2: 烟农 15; 3: 安农 0219; 4: 徐麦 856; 5: 984121; 6: DH6197; 7: 山农 785; 8: 淮麦 0226; 9: 淮麦 0209; 10: 03G7; 11: 石 B03-5672; 12: X9610; 13: 徐麦 270; 14: 淮麦 0208; 15: 淮麦 0360; 16: 陕 229; 17: 安农 0305-8

M: Trans DNA Mark 1; 1: CP20-3-1-4-2; 2: Yannong15 (CK); 3: Annong0219; 4: Xumai856; 5: 984121; 6: DH6197; 7: Shannong785; 8: Huaimai0226; 9: Huaimai0209; 10: 03G7; 11: ShiB03-5672; 12: X9610; 13: Xumai270; 14: Huaimai0208; 15: Huaimai0360; 16: Shan229 (CK); 17: Annong0305-8

图 3 部分材料 *Rht8* 基因的检测图谱

Figure 3 PCR product pattern of *Rht8* gene in some wheat varieties

2.3 *Rht8* 基因检测

用于检测 *Rht8* 基因的 Xgwm261 引物所显示的目标片段大小为 192 bp。本试验以周阳等^[13]报道的烟农 15 和陕 229 作为正对照, 对 257 份供试品种(系)进行 PCR 扩增, 结果表明, 106 个品种(系)被检测到携带 *Rht8* 基因, 占 41.2%, 如烟农 15、安农 0219、石 B03-5672、陕 229、安农 0305-8(图 3)。

2.4 *Rht-B1b*、*Rht-D1b* 和 *Rht8* 矮秆基因分布频率分析

对试验检测结果进行统计(表 1), 结果表明, *Rht-B1b*、*Rht-D1b* 和 *Rht8* 矮秆基因在 257 份小麦品种资源中的分布频率不同, 且各材料中矮秆基因间的组合形式也存在差异。其分布频率高低依次为: *Rht8* (106 个品种, 41.2%) > *Rht-D1b* (88 个品种, 34.2%) > *Rht-B1b* (70 个品种, 27.2%) > *Rht-D1b*+*Rht8*(25 个品种, 9.7%) > *Rht-B1b*+*Rht8*(24 个品种, 9.3%) > *Rht-B1b*+*Rht-D1b*(9 个品种, 3.5%) > *Rht-B1b*+*Rht-D1b*+*Rht8*(5 个品种, 1.9%)。进一步统计表明, 32 个品种(系)仅含 1 种 *Rht-B1b* 矮秆基因, 占 12.5%; 49 个品种(系)仅含 1 种 *Rht-D1b* 矮秆基因, 占 19.1%; 52 个品种(系)仅含 1 种 *Rht8* 矮秆基因, 占 20.2%。58 个品种含 2 种类型的矮秆基因, 占 22.6%; 5 个品种中 3 个基因同时存在, 占 1.9%; 3 种类型矮秆基因均不携带的品种有 60 个, 占 23.3%(表 1)。

表 1 257 份小麦品种资源矮秆基因的检测统计

Table 1 Statistical analysis of dwarfing genes in 257 wheat varieties

品种名称 Cultivar	矮秆基因 Dwarfing gene				品种名称 Cultivar	矮秆基因 Dwarfing gene			
	<i>Rht</i>	<i>Rht</i>	<i>Rht</i>	<i>Rht8</i>		<i>Rht</i>	<i>Rht</i>	<i>Rht</i>	<i>Rht8</i>
烟农15 Yannong15	+	-	+	+	小偃93166 Xiaoyan93166	-	+	-	+
安农9267 Annong9267	+	-	+	-	济宁14 Jining14	-	-	-	+
豫麦34 Yumai34	-	-	-	-	Entry1	-	+	-	-
宁麦9号 Ningmai9	-	+	+	+	Entry2	-	+	-	-
皖麦38 Wanmai38	+	-	+	-	97001-52-9	-	-	-	+
温8 Wen8	+	-	+	+	97001-58-2	-	-	-	-
矮早64系 Aizao64	+	-	+	+	连9791 Lian9791	-	-	-	-
济宁12 Jining12	-	-	+	-	生选3号 Shengxuan3	-	-	-	+
陕354 Shan354	-	+	+	-	Y14	-	+	+	-
郑9023 Zheng9023	-	-	+	-	Y18	-	+	-	-
百农64 Bainong64	+	-	-	-	E004	-	+	-	+
陕229 Shan229	-	+	-	+	E158	-	+	-	-
#409	-	+	+	-	宿048 Su048	+	-	+	+
#445	-	+	-	-	新麦9408 Xinmai9408	+	-	+	+
MW18	-	+	+	-	郑麦366 Zhengmai366	+	-	+	+
Roblin	+	-	+	-	宿042 Su042	+	-	+	+
karl	-	+	+	-	CP93-18-1-1-1-5	-	+	+	+
Serra	+	-	+	-	CP93-1-34-2-2	-	-	+	-
陕优225 Shanyou225	-	+	-	+	CP93-12-10-1-4	-	+	-	+

续表 1 Continued table 1

小偃6号 Xiaoyan6	-	+	-	+	CP20-1-1-14-1	-	+	+	+
Federation	+	-	-	-	CP20-3-1-4-2	-	+	+	-
Caldwell	-	-	-	-	CP99-13-6-3-1-1	-	+	-	+
98108	-	+	-	+	安农0219 Annong0219	-	-	+	+
Suneca	+	-	+	-	徐州856 Xuzhou856	-	-	+	-
Erandu	+	-	-	-	984121	-	-	+	-
烟2801 Yan2801	-	-	-	-	DH6197	-	+	+	-
Glenlen	-	-	-	-	山农785 Shannong785	+	-	+	-
白春4号 Baichun4	-	-	+	-	淮麦0226 Huaimai0226	+	-	+	-
淮麦20 Huaimai20	-	-	-	-	淮麦0209 Huaimai0209	+	-	+	-
周麦16 Zhoumai16	-	-	+	+	03G7	+	-	-	-
02P67	-	-	-	+	石 B03-5672 ShiB03-5672	-	+	-	+
02P079	-	-	-	+	X9610	-	-	-	-
邯鄹6172 Handan6172	+	-	+	-	徐麦270 Xumai270	-	+	-	-
陕228 Shan228	-	+	-	+	淮麦0208 Huaimai0208	-	+	+	-
鄂麦19 Emai19	+	-	-	-	淮麦0360 Huaimai0360	+	-	+	-
安农95240-5 Annong95240-5	-	-	+	-	安农0451 Annong0451	+	-	+	+
安农95083-6-1Annong95083-6-1	-	-	-	+	安农0305-8 Annong0305-8	+	-	+	+
安农98203-3 Annong98203-3	-	-	-	+	安农04144-1Annong04144-1	+	-	+	-
宁0076 Ning0076	-	+	-	+	安农04144 Annong04144	+	-	+	-
矮抗58 AK58	+	-	-	+	安农04156 Annong04156	+	-	-	-
扬00-118 Yang00-118	-	-	-	+	周麦22 Zhoumai22	-	-	+	-
周麦18 Zhoumai18	-	-	+	+	才智9998 Caizhi9998	+	-	+	+
渝02321 Yu02321	-	-	-	+	浚99-7 Jun99-7	+	-	+	+
轮选01-1 Lunxuan01-1	+	-	+	+	津0483 Jin0483	+	-	-	-
新麦18 Xinmai18	+	-	+	+	06WF7-2	+	-	-	-
漯9908 Luo9908	+	-	-	-	石 L4021 ShiL4021	-	-	-	-
郑麦9694 Zhengmai9694	+	-	+	+	石 L5206-10 ShiL5206-10	-	-	-	-
科农181 Kenong181	-	+	+	-	石家庄8号 Shijiazhuang8	-	+	-	-
西农889 Xinong889	+	-	-	+	石家庄15号 Shijiazhuang15	-	-	-	-
淮核0308 Huaihe0308	+	-	+	-	07CA081	-	+	+	+
皖麦52 Wanmai52	+	-	+	+	06CA75	+	-	-	-
新原958 Xinyuan958	-	-	+	-	新89019 Xin89019	-	+	-	+
偃展4110 Yanzhan4110	+	-	-	+	新9944 Xin9944	+	-	+	-
春534 Chun534	+	-	-	+	山农3292 Shannong3292	-	-	-	-
西农4211 Xinong4211	+	-	-	+	泰山6016 Taishan6016	+	-	+	-
内乡203 Neixiang203	-	+	-	+	烟0469 Yan0469	+	-	+	-
陕715 Shan715	-	+	-	+	登海5348 Denghai5348	-	-	-	-
太空6号 Taikong6	+	-	+	+	丰优1718 Fengyou1718	+	-	+	-
新麦9817 Xinmai9817	+	-	+	-	西农1 Xinong1	-	+	-	-
春0501 Chun0501	-	+	-	-	西农4 Xinong4	-	-	-	+
淮麦0320 Huaimai0320	-	+	-	-	西农5 Xinong5	-	+	-	+
新麦19023 Xinmai19023	+	-	-	-	B97081-1-1-2-1	-	+	-	+
周优102 Zhouyou102	+	-	-	-	B99360-1-2	-	+	-	+
宁0310 Ning0310	-	+	-	-	徐4036 Xu4036	-	-	-	-
川农21 Chuannong21	-	+	-	-	兰考298 Lankao298	-	-	-	+
Nick	-	+	-	-	荔高6号 Ligao6	-	+	+	+
川麦42 Chuanmai42(white)	-	+	-	-	泛麦5号 Fanmai5	+	-	+	-
川麦42 Chuanmai42(red)	+	-	-	-	开麦18 Kaimai18	-	-	+	+
济南17 Jinan17	+	-	+	-	安农0426 Annong0426	+	-	+	-
济麦19 Jimai19	+	-	+	-	安农0427 Annong0427	+	-	+	-
济麦20 Jimai20	+	-	+	-	安农0805 Annong0805	+	-	+	-
济麦21 Jimai21	+	-	+	-	安农0807 Annong0807	-	-	+	-
济麦22 Jimai22	+	-	-	+	安农0818 Annong0818	+	-	+	-
876	-	+	-	-	安农0822 Annong0822	+	-	+	-
ENESCO	-	-	-	-	安农0826 Annong0826	+	-	-	-
FARO	-	+	-	-	安农0847 Annong0847	+	-	-	+
TupatecoR	-	+	-	-	安农0837 Annong0837	-	+	-	+
矮孟牛 Aimenniu	+	-	+	-	安农0839 Annong0839	-	+	-	-
50785	-	+	-	+	安农0840 Annong0840	-	+	-	+

续表 1 Continued table 1

04012	+	-	-	-	安农0841 Annong0841	-	-	-	+
04020	-	+	-	+	扬麦17 Yangmai17	-	-	-	-
05078	+	-	-	-	宁麦13 Ningmai13	-	-	-	+
绵麦39 Mianmai39	+	-	-	-	扬麦18 Yangmai18	-	-	-	+
15HRWYT-8	-	+	-	-	LA-31	+	-	+	-
15HRWYT-24	-	+	-	-	LA-33	+	-	-	-
15HRWYT-25	-	+	-	-	LA-26	-	-	-	+
LA-12	-	-	+	+	9987	+	-	-	+
LA-34	+	-	+	+	许科1号 Xuke1	-	-	-	+
LA-40	-	-	+	+	984121	+	-	-	+
LA-11	+	-	+	-	信阳26 Xinyang26	+	-	-	-
LA-46	-	-	-	+	河农825 Henong825	+	-	-	-
LA-23	+	-	+	-	郑麦883 Zhengmai883	-	-	+	+
LA-10	-	-	+	-	中育348 Zhongyu348	-	-	+	-
LA-59	-	-	+	-	中育331 Zhongyu331	+	-	-	+
LC-17	-	-	+	+	中育362 Zhongyu362	+	-	-	+
LD-7	-	+	-	-	周麦99233 Zhoumai99233	+	-	+	-
LD-10	-	-	-	+	周麦24 Zhoumai24	+	-	-	+
LD-8	-	+	-	+	周麦25 Zhoumai25	+	-	-	-
LD-3	-	-	-	-	绵麦185 Mianmai185	-	-	-	+
LD-2	-	-	-	-	绵麦1403 Mianmai1403	-	+	-	+
太10604 Tai10604	-	-	-	-	绵麦48 Mianmai48	-	-	-	+
Niavt14	-	-	-	-	中育01095 Zhongyu01095	-	-	-	+
金禾9123 Jinhe9123	-	+	-	-	中育01089 Zhongyu01089	-	-	-	+
贵农775 Guinong775	-	-	-	+	中育01051 Zhongyu01051	-	-	-	+
AR2	-	-	-	-	渝麦10号 Yumai10	-	-	-	-
03-885	-	+	-	-	渝麦12 Yumai12	-	+	-	-
ARZ	+	-	-	-	渝麦13 Yumai13	-	+	-	-
R146	+	-	-	-	渝 L-28 YuL-28	-	+	-	+
宜00-119 Yi00-119	+	-	+	-	渝0836 Yu0836	-	-	-	-
晋麦73 Jinmai73	+	-	-	-	信阳0913 Xinyang0913	-	+	-	-
川麦42 Chuanmai42	-	+	-	-	信阳71619 Xinyang71619	-	-	-	-
绵麦37 Mianmai37	+	-	-	-	华成699 Huacheng699	-	-	-	-
篙优2018 Gaoyou2018	+	-	-	-	紫0706 Zi0706	-	-	-	-
CP01-27-3-1-1	-	-	-	-	皖农606 Wannong606	-	-	-	-
CP02-63-13-1	+	-	-	-	龙科0901 Lonke0901	-	-	-	-
CP01-39-17-1	-	-	-	+	矮丰早8 Aifengzao8	-	-	-	+
CP02-8-5-6-1	-	-	-	+	宿853 Su853	-	-	-	+
CP02-9-3-1-1-1	-	-	-	-	红皖3号 Hongwan3	-	-	-	+
CP01-39-3-2-4	-	-	-	+	皖科08585 Wanke08585	-	-	-	+
CP20-39-11-1	-	+	-	-	皖垦麦081 Wankenmai081	-	-	-	+
CP02-8-5-6-2F1	-	-	-	+	当麦2号 Dangmai2	-	-	-	+
石麦12 Shimai12	-	-	-	-	宁庆185 Ningqing185	-	-	-	+
石麦18 Shimai18	-	+	-	-	徽农98 Huinong98	-	-	-	+
石优17 Shiyou17	-	-	-	-	定红208 Dinghong208	-	-	-	+
冀师02-1 Jishi02-1	-	+	-	-	宁0717 Ning0717	-	-	-	-
冀5265 Ji5265	-	+	-	-	百农898 Bainong898	-	-	-	+
良星66 Liangxing66	+	-	+	-	百农矮抗58 BainongAK58	-	-	-	+
良星99 Liangxing99	+	-	-	-	扬麦16 Yangmai16	-	-	-	+
山农05-066Shannong05-066	+	-	+	-					

注：“+”代表有所检测的矮秆基因；“-”代表无所检测的矮秆基因。

Note: “+” means containing the target gene; “-” means not containing the target gene.

3 讨论

矮秆基因 *Rht-B1b*、*Rht-D1b* 和 *Rht8* 为隐性, 早代不宜选择, 若用分子标记辅助选择可提早获得含有矮秆基因的个体。因此, 分子标记辅助选择技术与常规育种紧密结合有助于加快小麦矮化育种的进程。本研究利用 STS 标记和 SSR 标记检测了 257 份小麦品种资源中 *Rht1*、*Rht2*、*Rht8* 矮秆基因的分布情况, 为更有效地进行小麦矮化育种提供理论指导。

本研究所检测的 257 份小麦品种资源中其携带不同的矮秆基因或其组合, 其中 *Rht8* 和 *Rht-D1b* 基因的分布频率较高, *Rht-B1b* 基因的分布频率较低, 这与国内许多研究结果基本一致。如杨松杰等^[10]利用该标记对中国主要麦区 239 个品种的 *Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 基因进行检测, *Rht-B1b* 的频率为 24.3%, *Rht-D1b* 的频率为 46.9%。周阳等^[13]利用微卫星 Xgwm261 标记对中国小麦主产区近 30 年小麦主栽品种进行 *Rht8* 矮秆基因的鉴定, 同时进行系谱分析加以验证, 结果表明: 就全国范围而言, 约 42.3% 的品种含有 *Rht8* 基因。但梁丹等^[11]对 263 份 CIMMYT 材料的分子检测, 结果表明, 在 263 份 CIMMYT 材料中, *Rht-B1b* 基因频率很高, 而 *Rht-D1b* 基因频率比例较低, 出现这种差异的主要原因可能是矮秆亲本来源不同。此外, 本文发现所测材料中携带双矮秆基因(*Rht-B1b+Rht-D1b*)的材料较少, 仅有 9 个, 占总数的 3.5%。这与梁丹所检测的 CIMMYT 材料中所含的双矮秆基因(*Rht-B1b+Rht-D1b*)的材料较少(共 12 个, 占总数的 4.5%) 这一结果较一致。从研究的检测结果以及文献资料的报道来分析, 虽然已经命名的小麦主效矮秆基因较多, 但成功应用在小麦育种上的矮源却较为单一, 不利于今后小麦新品种的遗传基础的拓展。所以, 鉴定和利用新的矮秆资源以及聚合和累加不同的矮秆基因显得尤为重要。

参考文献:

- [1] 方大法. 小麦倒伏原因浅析及预防对策[J]. 安徽农学通报, 2004, 10(2): 30-42.
- [2] 邓贺明, 胡亚敏, 冯家春, 等. 小麦倒伏对产量因素的影响及补救方法探讨[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(3): 424-425.
- [3] 石涛, 王洪刚, 何方, 等. 小麦矮秆新基因的 SSR 标记[J]. 山东农业科学, 2008(8): 1-5.
- [4] 赵和. 小麦矮秆基因研究和利用现状[J]. 河北农业科学, 2008, 8(4): 96-99.
- [5] 杨松杰, 王岩军, 李俊, 等. 人工合成小麦与普通小麦杂交后代衍生群体的 *Rht8* 基因分析[J]. 中国农学通报, 2007, 23(2): 50-55.
- [6] 兰素缺, 李杏普. 小麦 *Rht* 矮秆基因的分子标记研究进展[J]. 河北农业科学, 2008, 12(1): 69-71; 74.
- [7] Worland A J, Petrovis S. The gibberellic acid in-sensitive dwarfing gene from the wheat variety *saitama* [J]. *Euphytica*, 1988, 38: 55-63.
- [8] Korzun V, Roder M S, Ganai M W, et al. Genetic analysis of the dwarfing gene (*Rht8*) in wheat. Part I Molecular mapping of *Rht8* on the short arm of chromosome 2D of breadwheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1998, 96: 1104-1109.
- [9] Ellis M H, Spielmeier W, Rebetzke G J, et al. "Perfect" markers for the *Rht-B1b* and *Rht-D1b* dwarfing genes in wheat[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2002, 105: 1038-1042.
- [10] 杨松杰, 张晓科, 何中虎, 等. 用 STS 标记检测矮秆基因 *Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 在中国小麦中的分布[J]. 中国农业科学, 2006, 39: 1680-1687.
- [11] 梁丹, 杨芳萍, 何中虎, 等. 利用 STS 标记检测 CIMMYT 小麦品种(系)中 *Lr34/Yr18*、*Rht-B1b* 和 *Rht-D1b* 基因的分布[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 17-27.
- [12] 马东钦, 王晓伟, 许兰杰, 等. 黄淮麦区部分小麦种质资源中矮秆基因的分布[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(2): 118-125.
- [13] 周阳, 何中虎, 张改生, 等. 用微卫星标记鉴定中国小麦品种中 *Rht8* 矮秆基因的分布[J]. 作物学报, 2003, 29(6): 810-814.
- [14] Devos K M, Gale M D. The use of random amplified polymorphic DNA markers in wheat[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1992, 84: 567-572.