

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2018.00473

## 中国小麦品种抗赤霉病基因 *Fhb1* 的鉴定与溯源

朱展望<sup>1,2</sup> 徐登安<sup>1</sup> 程顺和<sup>3,\*</sup> 高春保<sup>2</sup> 夏先春<sup>1</sup> 郝元峰<sup>1,\*</sup>  
何中虎<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; <sup>2</sup> 湖北省农业科学院粮食作物研究所, 湖北武汉 430064; <sup>3</sup> 江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏扬州 225007; <sup>4</sup> 国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)中国办事处, 北京 100081

**摘要:** 提高赤霉病抗性已成为我国小麦主产区的重要育种目标之一。*Fhb1* 是抗性最强且最稳定的抗赤霉病基因, 阐明其在我国小麦育种中的应用及传递路径, 对抗赤霉病育种有重要意义。本研究通过分析 229 份小麦品种(系) *Fhb1* 区段内 *PFT* (pore-forming toxin-like)、*HC* (HCBT-like defense response protein)和 *His* (histidine-rich calcium-binding protein)基因的多样性与赤霉病抗性的关系, 发现 *PFT-I/His-I* 为抗病单倍型。基因检测和系谱分析表明, 中国小麦品种所含 *Fhb1* 至少有 2 个来源, 分别为苏麦 3 号和宁麦 9 号, 并以后者为主。本研究开发的诊断性标记 *PFT-CAPS* 和 *His-InDel* 可有效用于 *Fhb1* 的分子标记辅助育种。

**关键词:** 小麦; 赤霉病; *Fhb1*; 诊断性标记; 分子标记辅助选择

## Characterization of *Fusarium* Head Blight Resistance Gene *Fhb1* and Its Putative Ancestor in Chinese Wheat Germplasm

ZHU Zhan-Wang<sup>1,2</sup>, XU Deng-An<sup>1</sup>, CHENG Shun-He<sup>3,\*</sup>, GAO Chun-Bao<sup>2</sup>, XIA Xian-Chun<sup>1</sup>, HAO Yuan-Feng<sup>1,\*</sup>, and HE Zhong-Hu<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS), Beijing 100081, China; <sup>2</sup> Institute of Food Crops, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei, China; <sup>3</sup> Institute of Agricultural Sciences of Lixiahe District in Jiangsu Province, Yangzhou 225007, Jiangsu, China; <sup>4</sup> CIMMYT-China Office, c/o CAAS, Beijing 100081, China

**Abstract:** Enhancing resistance to *Fusarium* head blight (FHB) has become one of important breeding objectives in the major wheat-growing regions in China. A prominent locus *Fhb1* conferring stable FHB resistance with the largest effect is the major source of resistance in wheat breeding. Understanding the distribution and putative donor of *Fhb1* in Chinese wheat cultivars will facilitate the application of this gene and thus benefit FHB resistance breeding in China. Haplotype analysis of *PFT* (pore-forming toxin-like), *HC* (HCBT-like defense response protein) and *His* (histidine-rich calcium-binding protein) genes in the *Fhb1* region of 229 wheat cultivars and advanced lines indicated that *PFT-I/His-I* was a resistant haplotype. Both pedigree and marker (or sequence) information revealed that *Fhb1* in Chinese wheat cultivars was mainly derived from Sumai 3 and Ningmai 9, in which Ningmai 9 was the major donor. The *Fhb1* diagnostic markers *PFT-CAPS* and *His-InDel* developed in this study can be used effectively in marker-assisted selection for improving FHB resistance.

**Keywords:** bread wheat; *Fusarium* head blight; *Fhb1*; diagnostic marker; marker-assisted selection

由禾谷镰刀菌等引起的小麦赤霉病(*Fusarium* head blight, FHB)是一种广泛流行的真菌病害, 严重影响小麦产量和品质<sup>[1-2]</sup>。我国长江中下游和东北麦区一直是其常发和重发区域<sup>[3]</sup>。近年来, 受气候变

化、小麦-玉米轮作制度下秸秆还田等影响, 赤霉病已成为黄淮麦区的常发病害。目前我国小麦赤霉病年均发生面积超过 533.3 万公顷<sup>[4]</sup>, 其中 2012、2015 和 2016 年尤为严重。江苏省 2012—2015 年均发生

本研究由国家重点研发计划项目(2016YFD0101802, 2016YFE0108600), 国家自然科学基金项目(31301306)和湖北省技术创新专项(2016AHB022)资助。

This study was supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFD0101802, 2016YFE0108600), National Natural Science Foundation of China (31301306), and the Technology Innovation Program of Hubei Province (2016AHB022).

\* 通信作者(Corresponding authors): 郝元峰, E-mail: haoyuanfeng@caas.cn; 程顺和, E-mail: yzcs1939@126.com

第一作者联系方式: E-mail: zhuzhanwang@163.com

Received(收稿日期): 2017-07-19; Accepted(接受日期): 2017-12-08; Published online(网络出版日期): 2017-12-27.

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20171226.1320.004.html>

面积约 120 万公顷, 超过该省小麦种植面积的 50%<sup>[5]</sup>; 河南省 2012 年发生最为严重, 发病面积达 339.7 万公顷, 2016 年次之, 为 174.0 万公顷<sup>[6]</sup>。感病籽粒含真菌毒素如脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (deoxynivalenol, DON), 不仅危害人畜健康, 还严重影响食用和饲用价值<sup>[7]</sup>。

培育抗病品种是降低赤霉病危害的经济有效手段。国内外对赤霉病抗性遗传进行了大量研究, 已定位约 100 个抗赤霉病 QTL, 分布在小麦所有染色体<sup>[8]</sup>, 其中抗病基因 *Fhb1*~*Fhb7* 已被正式命名<sup>[9-16]</sup>, 以位于 3B 染色体短臂的 *Fhb1* 抗性最强, 且稳定<sup>[8, 17-18]</sup>。虽然在不同遗传背景下, *Fhb1* 的效应有一定差异, 但高病害压力下仍可平均降低赤霉病严重度 20% 左右<sup>[18]</sup>。该基因还可将 DON 转化为低毒的脱氧雪腐镰刀菌烯醇-3-葡萄糖苷(DON-3G), 减轻毒素危害<sup>[19]</sup>。

*Fhb1* 在赤霉病重发的北美春麦区已得到较为广泛应用, 如美国北达科他州立大学利用苏麦 3 号育成抗赤霉病硬红春小麦品种 Alsen, 年推广面积为 95 万公顷, 占该州小麦种植面积的 1/3 左右, 标记检测其携带 *Fhb1*<sup>[20]</sup>; 明尼苏达大学利用 *Fhb1* 分子标记辅助育成了抗赤霉病品种 Sabin<sup>[21]</sup>, 且新近育成的多数品种(系)含此基因<sup>[22]</sup>。日本品种 Nobeokabouzu Komugi、Nyubai、Shinchunaga 等也含有 *Fhb1*, 其中 Shinchunaga 作为赤霉病抗源在日本得到广泛应用<sup>[9, 23-24]</sup>。国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)小麦育种中很少利用 *Fhb1*, 原因是抗秆锈病基因 *Sr2* 与 *Fhb1* 相斥相紧密连锁, 且 *Sr2* 在育种中必不可少, 但近期利用分子标记已育成同时含 *Sr2* 和 *Fhb1* 的重组材料<sup>[25]</sup>, 这将极大推动 *Fhb1* 在 CIMMYT 小麦育种中的应用。

我国利用苏麦 3 号在长江中下游麦区育成了宁 7840 和鄂恩 1 号, 在黄淮麦区育成了郑麦 9023 和西农 979 等品种<sup>[26]</sup>, 但由于缺少诊断性标记, 即基因特异性标记, 除宁 7840 外, 其他品种是否含 *Fhb1* 尚不明确。最近, Rawat 等<sup>[24]</sup>克隆了该基因, 并发现该基因为 *PFT* (pore-forming toxin-like) 类型, 全长 3472 bp, 含 2 个外显子, 1 个内含子, 编码嵌合凝集素蛋白。本研究对 229 份小麦品种(系)的 *PFT* 基因测序, 并对部分品种 *PFT* 邻近基因 *HC* (HCBT-like defense response protein) 和 *His* (histidine-rich calcium-binding protein) 进行研究, 开发了 *Fhb1* 基因区段的诊断性标记, 进一步利用该标记对 73 份扬麦和宁麦品种(系)检测, 结合系谱信息对我国小麦所含 *Fhb1*

溯源。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

用于赤霉病抗性鉴定和 *PFT* 基因测序的国内外小麦品种(系)共 229 份, 其中, 国内品种 218 份, 来自 13 个省市, 包括江苏 34 份、湖北 17 份、安徽 3 份、四川 16 份、河南 63 份、山东 26 份、陕西 21 份、河北 12 份、山西 6 份、甘肃 8 份、宁夏 5 份、北京 6 份、天津 1 份, 国外品种 11 份, 来自 CIMMYT (附表 1)。这些品种(系)由湖北省农业科学院粮食作物研究所提供。

西风(日本品种, 又名农林 129)、扬麦 6 号及 73 份扬麦和宁麦品种(系)用于标记检测和 *Fhb1* 溯源(附表 2), 由江苏里下河地区农业科学研究所提供。用于追溯西风 *Fhb1* 来源的农林 61、农林 95、农林 105、农林 117 等由国家作物种质库提供(<http://www.cgris.net/>)。

### 1.2 赤霉病田间接种鉴定

于 2014—2016 连续 3 年在湖北省农业科学院南湖试验田进行赤霉病接种鉴定, 病原菌菌株为黄冈 1 号, 由农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室保存。试验采用完全随机区组设计, 2 行区, 行长 1 m, 行距 0.25 m, 2 次重复。标记 10 个正在开花且形态基本一致的穗子, 对其喷施病菌分生孢子悬浮液( $5 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ ); 从抽穗期到调查结束, 用微电脑定时弥雾装置增湿, 促进发病<sup>[27-28]</sup>。接种后 20 d 调查发病穗数、每穗小穗数和病小穗数。病情指数 = 发病率  $\times$  严重度<sup>[29]</sup>, 其中发病率为发病穗数与总穗数的比值, 严重度为每穗病小穗数与小穗数比值的平均值, 均以百分率计。

采用 QTL IciMapping V 4.1 软件<sup>[30]</sup>估计 229 份小麦品种(系)赤霉病病情指数的方差和广义遗传力, 用 SAS 9.2 软件比较不同单倍型品种赤霉病病情指数。

### 1.3 *PFT*、*HC* 和 *His* 的等位基因鉴定

1.3.1 引物设计 利用苏麦 3 号 *Fhb1* 区段 (GenBank 登录号为 KX907434)内 *PFT*、*HC* 和 *His* 的编码区序列, 在 EnsemblPlants 数据库(<http://plants.ensembl.org/>)比对, 获取各基因同源序列, 设计各基因 3B 染色体特异引物(表 1), 并经中国春缺体-四体系验证。由华大基因(北京)合成引物。

1.3.2 DNA 提取和 PCR 扩增 采用 CTAB 法<sup>[31]</sup>从幼叶中提取基因组 DNA。PCR 体系 30  $\mu\text{L}$ , 含  $2 \times \text{KOD buffer}$  15  $\mu\text{L}$ , DNA 模板 ( $50 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ) 3  $\mu\text{L}$ , 上下

游引物( $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ )各  $1.8 \mu\text{L}$ , dNTPs ( $2.5 \text{ mmol L}^{-1}$ )

表1 用于扩增 *PFT*、*HC* 和 *His* 基因开放阅读框的特异引物  
Table 1 Specific primers used to amplify the open reading frames (ORF) of *PFT*, *His*, and *HC*

引物 Primer	序列 Sequence (5'-3')	退火温度 $T_m$ (°C)	目的片段 Target fragment
PFT-1	F: ACAGGCACACACGGCTATAAATACC R: AGATGGCGACTCTGCTAGACTATCA	61	<i>PFT</i> ORF 片段 1 Part 1 of <i>PFT</i> ORF
PFT-2	F: GCAACTCTATCAACATCGTCAATCTACC R: AGAACTGGATAGCACGCAAGCATAT	61	<i>PFT</i> ORF 片段 2 Part 2 of <i>PFT</i> ORF
PFT-3	F: AGGCGGCATTATTGATGTTGAGGTAA R: GGTTTCACCTCTCACGACCCATG	61	<i>PFT</i> ORF 片段 3 Part 3 of <i>PFT</i> ORF
HC3B-3	F: CAACCCAGTATCCGATACTTGTATAA R: CTGCTCCAAGCAAGCACGTA	63	<i>HC</i> ORF
His3B-4	F: ATGCGTGCCTGTACTTG R: CGTCACAGAGTCCAGTGAAA	65	<i>His</i> ORF

$6 \mu\text{L}$ , KOD FX (TOYOBO)高保真性酶  $0.6 \mu\text{L}$ ,  $\text{ddH}_2\text{O}$   $1.8 \mu\text{L}$ 。扩增程序为  $94^\circ\text{C}$  预变性 3 min;  $98^\circ\text{C}$  变性 10 s, 相应温度下退火 30 s,  $68^\circ\text{C}$  延伸 2 min 30 s, 共 35 个循环; 最后  $68^\circ\text{C}$  延伸 7 min,  $4^\circ\text{C}$  保存。

1.3.3 扩增产物检测与回收测序 用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物, 溴化乙锭 (ethidium bromide, EB) 染色, 紫外光下成像。凝胶回收 DNA, 连接载体后转化大肠杆菌感受态细胞并培养, 从每个连接转化反应挑取 12 个单克隆, 扩大培养后由华大基因(北京)测序, 或将目标 DNA 片段回收直接测序。采用 Geneious 10.0.7 软件(<http://www.geneious.com/>)进行序列分析。

#### 1.4 *PFT* 和 *His* 基因标记开发

用引物 PFT-1F 和 PFT-2R (表 1) 对 *PFT* 基因第 1 外显子和内含子区段进行扩增, PCR 体系  $20 \mu\text{L}$ , 含  $2\times$  PCR Mix ( $0.1 \text{ U } \mu\text{L}^{-1}$  *Taq* 酶、 $500 \mu\text{mol L}^{-1}$  dNTPs、 $20 \text{ mmol L}^{-1}$  Tri-HCl、 $10 \text{ mmol L}^{-1}$  KCl、 $3 \text{ mmol L}^{-1}$   $\text{MgCl}_2$ )  $10 \mu\text{L}$ , DNA 模板 ( $50 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ )  $2 \mu\text{L}$ , 上下游引物 ( $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) 各  $0.5 \mu\text{L}$ ,  $\text{ddH}_2\text{O}$   $7 \mu\text{L}$ 。扩增程序为  $95^\circ\text{C}$  预变性 3 min;  $94^\circ\text{C}$  变性 30 s,  $65^\circ\text{C}$  退火 30 s,  $68^\circ\text{C}$  延伸 2 min 30 s, 共 33 个循环; 最后  $68^\circ\text{C}$  延伸

7 min,  $4^\circ\text{C}$  保存。用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物, 有扩增产物的用限制性核酸内切酶 *Dra* I (识别序列为 5'-TTT/AAA-3')  $37^\circ\text{C}$  下过夜酶切。酶切反应体系  $15 \mu\text{L}$ , 含 PCR 产物  $3 \mu\text{L}$ ,  $10\times$  buffer  $1.5 \mu\text{L}$ , *Dra* I  $0.8 \mu\text{L}$ ,  $\text{ddH}_2\text{O}$   $9.7 \mu\text{L}$ 。用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测反应产物。该 CAPS (cleaved amplified polymorphic sequences) 标记可用于检测 *PFT* 基因, 记为 *PFT-CAPS*。

用引物 His3B-4 (表 1) 对 *His* 基因进行扩增, PCR 体系同 *PFT-CAPS* 标记。扩增程序为  $95^\circ\text{C}$  预变性 3 min;  $94^\circ\text{C}$  变性 30 s,  $65^\circ\text{C}$  退火 30 s,  $68^\circ\text{C}$  延伸 2 min 30 s, 共 35 个循环; 最后  $68^\circ\text{C}$  延伸 7 min,  $4^\circ\text{C}$  保存。用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物。该标记记为 *His-InDel*。

## 2 结果与分析

### 2.1 表型数据方差分析

赤霉病病情指数在基因型间、年份间以及基因型与年份互作间均呈显著差异(表 2), 其广义遗传力为 0.76, 说明本试验中赤霉病抗性主要受基因型控制, 环境对其也有一定影响。

表2 229 份小麦品种(系)赤霉病病情指数方差分析  
Table 2 Analysis of variance (ANOVA) of *Fusarium* head blight index in 229 wheat cultivars

变异来源 Source	自由度 <i>df</i>	平方和 SS	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i>
基因型 Genotype	228	485051.53	2127.42	9.34	<0.0001
年份 Year	2	101181.96	50590.98	222.13	<0.0001
基因型×年份 Genotype × year	456	278453.19	610.64	2.68	<0.0001
重复(年份) Replication (year)	3	4285.51	1428.50	6.27	0.0003

### 2.2 PFT 的等位基因与特异性标记

用引物 PFT-1、PFT-2 和 PFT-3 在 229 份品种(系)中扩增和测序, 共发现 3 种等位基因, 分别记为 PFT-I (苏麦 3 号类型)、PFT-II (南大 2419 类型)和 PFT-III (基因缺失类型)。PFT-I 和 PFT-II 的开放阅读框之间有 14 个核苷酸差异(图 1), 其中 12 个位于内含子区, 位于第 2128 位的 G/A 突变可能导致 mRNA 错误剪接, 使基因丧失功能<sup>[24]</sup>; 2 个 SNP 位于第 2 外显子区, 均属同义突变。

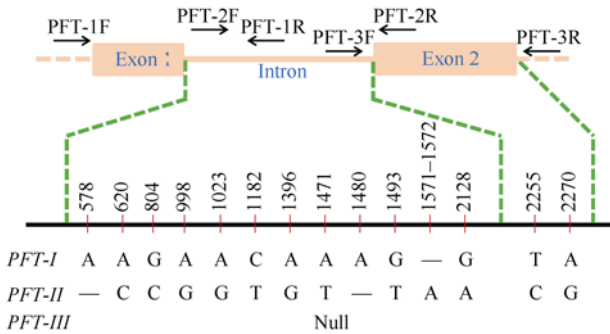


图 1 PFT 基因的结构、引物结合位点及其 3 种等位基因  
Fig. 1 Structure, primer binding sites and three alleles of PFT gene

以起始密码子的第 1 个碱基作为 +1 位。  
The first nucleotide of the initiation codon reads as +1.

为开发 PFT 基因的特异性标记, 用 PFT-1F 和 PFT-2R 对 PFT 基因部分区段扩增, 含 PFT-I 和 PFT-II 的品种(系)分别得到 2277 bp 和 2276 bp 片段。Dra I 内切酶可在第 1471 和第 1472 位碱基之间将 PFT-II 扩增产物切割为 1567 bp 和 709 bp 两个片段, 而 PFT-I 扩增产物不被酶切(图 2), 从而可将 PFT-I 和 PFT-II 区分。

综合测序和 PFT-CAPS 标记检测结果表明, 在 229 份品种(系)中有 24 份与苏麦 3 号序列相同, 为 PFT-I 基因型(表 3), 35 份为 PFT-II 基因型, 其余 170 份为 PFT-III 基因型(附表 1)。西农 9871 和小偃 22 等高感赤霉病品种也为 PFT-I 基因型(表 3 和图 2), 表明单独 PFT-CAPS 不能作为 Fhb1 的诊断性标记。为此, 以含 PFT-I 的 24 份品种(系)为材料, 对 PFT 相邻基因 HC 和 His 测序, 以期找到可将西农 9871 等感病品种与苏麦 3 号区分的标记。

### 2.3 HC 和 His 的等位基因及 Fhb1 诊断性标记

利用 HC3B-3 对 24 份材料所含 HC 基因扩增测序, 发现除烟 2415 为 HC-II 类型外, 其他均为 HC-I 类型(表 3 和图 3), 表明 HC 位点不能将西农 9871 等感病品种与苏麦 3 号区分。

利用 His3B-4 对上述材料的 His 基因测序, 发现

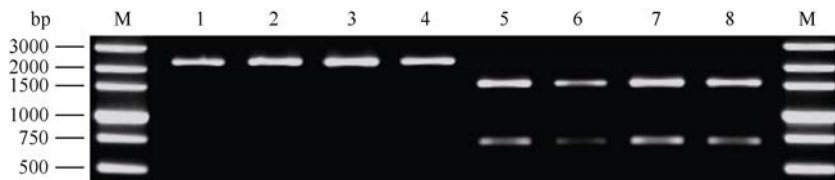


图 2 PFT-CAPS 标记在部分国内品种中的扩增结果

Fig. 2 Amplification profiles of marker PFT-CAPS in partial Chinese cultivars

M: DL5000 DNA marker; 1~4: PFT-I 型品种, 依次是苏麦 3 号、宁麦 9 号、西农 9871 和小偃 22; 5~8: PFT-II 型品种, 依次是郑麦 366、鲁麦 21、衡观 35 和宁春 4 号。扩增产物用限制性核酸内切酶 Dra I 酶切。

M: DL5000 DNA marker; 1~4: PFT-I cultivars, namely Sumai 3, Ningmai 9, Xinong 9871, and Xiaoyan 22; 5~8: PFT-II cultivars, namely Zhengmai 366, Lumai 21, Hengguan 35, and Ningchun 4. PCR products were digested with Dra I restriction endonuclease.

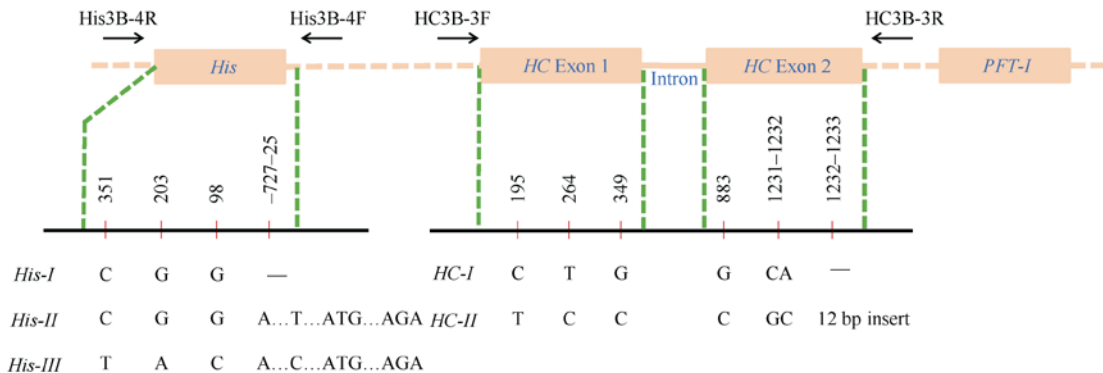


图 3 PFT-I 类型品种所含 HC 及 His 基因的结构、引物结合位点及其等位基因

Fig. 3 Structure, primer binding sites, and alleles of *HC* and *His* genes for the cultivars with *PFT-I*表3 *PFT-I* 类型品种(系)所含 *His* 及 *HC* 的等位基因及其赤霉病病情指数Table 3 Alleles of *His* and *HC* genes for the cultivars with *PFT-I* and their FHB indexes

品种(系) Cultivar (line)	来源 Origin	<i>PFT</i> 检测方法 <sup>†</sup> <i>PFT</i> detection method <sup>†</sup>	<i>His</i> 等位基因 <i>His</i> allele	<i>HC</i> 等位基因 <i>HC</i> allele	病情指数 FHB index
苏麦 3 号 Sumai 3	江苏 Jiangsu	1, 2	<i>His-I</i>	<i>HC-I</i>	7.97±6.86
宁 7840 Ning 7840	江苏 Jiangsu	1, 2	<i>His-I</i>	<i>HC-I</i>	20.12±17.35
镇麦 5 号 Zhenmai 5	江苏 Jiangsu	1, 2	<i>His-I</i>	<i>HC-I</i>	30.23±8.78
宁麦 9 号 Ningmai 9	江苏 Jiangsu	1, 2	<i>His-I</i>	<i>HC-I</i>	27.29±21.45
宁麦 13 Ningmai 13	江苏 Jiangsu	1, 2	<i>His-I</i>	<i>HC-I</i>	46.87±21.09
宁麦 16 Ningmai 16	江苏 Jiangsu	1, 2	<i>His-I</i>	<i>HC-I</i>	46.62±17.80
西农 9871 Xinong 9871	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	94.33±4.97
小偃 22 Xiaoyan 22	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	82.30±15.66
西农 979 Xinong 979	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	76.46±26.53
荔垦 2 号 Liken 2	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	51.29±7.38
西农 88 Xinong 88	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	77.05±19.41
陕麦 150 Shaanmai 150	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	38.20±10.61
陕 159 Shaan 159	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	59.93±6.15
陕 253 Shaan 253	陕西 Shaanxi	1	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	65.93±6.29
陕 715 Shaan 715	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	60.93±21.00
小偃 6 号 Xiaoyan 6	陕西 Shaanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	48.42±19.93
小偃 107 Xiaoyan 107	陕西 Shaanxi	1	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	51.48±35.45
鄂 07901 E07901	湖北 Hubei	1	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	47.02±35.36
烟农 22 Yannong 22	山东 Shandong	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	69.33±18.41
济宁 16 Jining 16	山东 Shandong	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	78.08±19.30
济麦 19 Jimai 19	山东 Shandong	1	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	66.55±26.55
长 6359 Chang 6359	山西 Shanxi	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	60.61±33.45
郑麦 9023 Zhengmai 9023	河南 Henan	1, 2	<i>His-II</i>	<i>HC-I</i>	41.14±10.44
烟 2415 Yan 2415	山东 Shandong	1	<i>His-III</i>	<i>HC-II</i>	42.44±26.00

<sup>†</sup> 1 和 2 分别表示 *PFT-CAPS* 标记和测序检测。

<sup>†</sup> 1 and 2 refer to detection with *PFT-CAPS* marker and sequencing, respectively.

3 种等位基因, 分别记为 *His-I* (1309 bp)、*His-II* (2061 bp)和 *His-III* (2061 bp), 其中 *His-I* 起始密码子附近有 752 bp 整段缺失, *His-III* 较 *His-II* 有 4 个 SNP 变异(图 3)。苏麦 3 号和宁 7840 等 6 个品种为 *His-I* 型, 西农 9871 和小偃 22 等 17 个品种(系)为 *His-II* 型, 烟 2415 为 *His-III* 型(表 3)。*His* 位点能区分苏麦 3 号和西农 9871 等感病品种, 可用于诊断性标记开发。

引物 His3B-4 为 *His-InDel* 标记, 其检测结果表明, 苏麦 3 号等明确含有 *Fhb1* 的品种扩增片段为 1309 bp; 含 *PFT-I* 但推测不含 *Fhb1* 的品种, 如西农 9871、小偃 22 和郑麦 9023 等, 其扩增片段为 2061 bp; 不含 *PFT-I* 的 205 个品种, 如扬麦 158、济麦 22 和矮抗 58 等, 其扩增片段大小与西农 9871 的相近, 为 2000 bp 左右, 与苏麦 3 号等含 *Fhb1* 的品种差异明显(图 4), 其 *His* 基因序列有待研究。综合赤霉病抗性资

料及系谱信息, *PFT-CAPS* 和 *His-InDel* 相结合可作为 *Fhb1* 的诊断性标记, *PFT-I/His-I* 为抗病单倍型。

#### 2.4 *PFT* 与 *His* 基因单倍型抗性

将 *PFT-I* 记为 PFT(+), 其他等位基因记为 PFT(-); 将 *His-I* 记为 His(+), 其他等位基因记为 His(-)。在 229 份品种(系)中, 有 6 份为含 *Fhb1* 的 PFT(+)/His(+)类型, 其平均病情指数为 29.9; 18 份为 PFT(+)/His(-)类型, 其平均病情指数为 61.8, 与前者差异极显著( $P < 0.001$ ); 有 205 份为 PFT(-)/His(-)类型, 其平均病情指数为 60.2, 与 PFT(+)/His(-)差异不显著( $P = 0.73$ ); 未发现 PFT(-)/His(+)类型品种(图 5)。

#### 2.5 我国小麦品种(系) *Fhb1* 鉴定及溯源

利用 *PFT-CAPS* 和 *His-InDel* 标记对 73 份扬麦和宁麦品种(系)检测, 发现 20 份含 *Fhb1*, 包括扬麦

18 和扬麦 21 等 17 份扬麦品种(系)、宁麦 14、宁麦 18 和宁麦 26 (附表 2)。加上此前发现的 6 份含 *Fhb1*

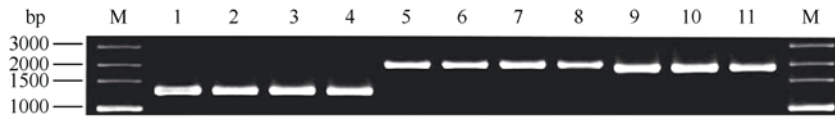


图 4 *His-InDel* 标记对国内部分品种的扩增结果

Fig. 4 Amplification profiles of marker *His-InDel* in partial Chinese cultivars

M: DL5000 DNA marker; 1~4: *His-I* 型品种, 依次是苏麦 3 号、宁 7840、宁麦 9 号和宁麦 13; 5~11: 非 *His-I* 型品种, 依次是西农 9871、小偃 22、郑麦 9023、烟 2415、扬麦 158、济麦 22 和矮抗 58。

M: DL5000 DNA marker; 1~4: *His-I* cultivars, namely Sumai 3, Ning 7840, Ningmai 9, and Ningmai 13; 5~11: non *His-I* cultivars, namely Xinong 9871, Xiaoyan 22, Zhengmai 9023, Yan 2415, Yangmai 158, Jimai 22, and Aikang 58.

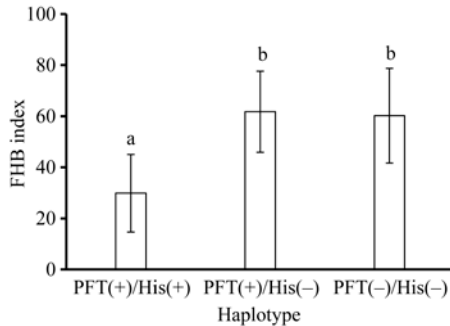


图 5 不同 *PFT/His* 单倍型品种的赤霉病病情指数

Fig. 5 Average FHB indexes of cultivars or lines with different *PFT/His* haplotypes

误差线上不同字母表示相应不同单倍型的病情指数差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different letters above error bars indicate significant FHB indexes among haplotypes at  $P < 0.05$ .

的品种, 系谱分析表明, 除苏麦 3 号和宁 7840 (阿芙乐尔/安徽 11//苏麦 3 号)外, 其余 24 份材料均有宁麦 9 号(扬麦 6 号/西风)血缘, 推测其 *Fhb1* 来自宁麦 9 号(图 6 和附表 3)。

对宁麦 9 号双亲扬麦 6 号和西风的 *PFT*、*HC* 和 *His* 基因测序表明, 西风的上述基因序列与宁麦 9 号及苏麦 3 号完全一致, 而与扬麦 6 号有较大差异(结果未列出), 表明宁麦 9 号 *Fhb1* 来自西风。进一步检测发现, 西风的双亲农林 117 和农林 105 及其祖母本(农林 95 和农林 61)均含 *Fhb1*, 推测来自日本小麦品种 *Shinchunaga*<sup>[24]</sup>, 并追溯到日本地方品种(图 6)。这说明宁麦 9 号 *Fhb1* 的确来自日本。

### 3 讨论

分子标记辅助选择(marker-assisted selection, MAS)在育种中成功应用需具备 3 个条件, 即标记选择较表型选择有优势、具诊断性标记(基因特异性标记)和实用性(低成本、高通量)<sup>[32]</sup>。黄淮麦区不具备赤霉病表型鉴定的理想环境, MAS 是培育抗赤霉病品种的首选技术。*Fhb1* 已被证明是抗性最强且稳定的抗赤霉病基因, 目前利用标记辅助选择 *Fhb1* 的限

制因素是缺乏低成本的诊断性标记, 虽其连锁标记 *Xgwm493*、*Xgwm533*、*UMN10* 和 *Xsnp3BS-8* 等在育种中有一定应用<sup>[33-35]</sup>, 但均受遗传背景影响较大<sup>[36]</sup>。Rawat 等<sup>[24]</sup>证明 *Fhb1* 为 *PFT* 基因, 本研究发现, 以西农 9871 和小偃 22 为代表的部分陕西品种含该基因, 但高感赤霉病, 故 *PFT* 基因标记不能作为 *Fhb1* 的诊断性标记。对 *PFT* 邻近基因 *HC* 和 *His* 测序, 发现 *His* 位点的多态性可有效区分上述材料, 进而开发出 *Fhb1* 诊断性标记 *His-InDel*, 该标记扩增稳定、片段差异大、用琼脂糖凝胶电泳即可检测, 成本较低, 是理想的育种标记。由于 *PFT* 和 *His* 基因紧密连锁, 且未见 *His*(+)/*PFT*(-)类型品种, 在标记辅助选择 *Fhb1* 时仅使用 *His-InDel* 即可取得满意效果, 在亲本和高代品系鉴定时可使用 *PFT-CAPS* 和 *His-InDel* 标记组合。

*Fhb1*对赤霉病的抗性主要表现为抗扩展, 通常利用单花滴注法接种鉴定。由于效应较大, 在田间喷雾接种条件下也可鉴定出该基因, 如 Buerstmayr 等<sup>[37]</sup>用此方法在苏麦 3 号衍生系 CM82036 中定位到 *Fhb1*, 解释表型变异 29%; Chen 等<sup>[38]</sup>用单花滴注和喷雾接种法在 W14 (太谷核不育轮回选择育成, 抗源包括苏麦 3 号、望水白、宁 7840、*Shinchunaga* 等)中均定位到 *Fhb1*, 其中单花滴注法接种条件下其效应更大。本研究采用喷雾法接种, 用病情指数作指标分析 *Fhb1* 单倍型抗性, 与田间抗性较吻合, 如用单花滴注法接种, 抗感单倍型间赤霉病病情指数差异预计会更大。

标记检测结合系谱信息表明, 我国小麦品种(系)所含 *Fhb1* 至少有两类来源。一类来自苏麦 3 号, 可追溯到台湾小麦(地方品种); 长江流域含苏麦 3 号血缘的品种有宁 7840、湘麦 10 号(友谊麦/苏麦 3 号)、湘麦 11 (苏麦 3 号/独秆 1042)和鄂恩 1 号(洛夫林 10 号/761//苏麦 3 号)等, 其中宁 7840 含 *Fhb1*<sup>[24]</sup>; 湘麦 10 号和湘麦 11 是否含 *Fhb1*, 有待检测; 大面积推广的鄂恩 1 号经检测不含 *Fhb1*。另一类来自宁麦 9 号,



由其传递到部分宁麦、扬麦和镇麦品种中; 经检测

宁麦 9 号 *Fhb1* 来自日本小麦西风, 西风由日本九州

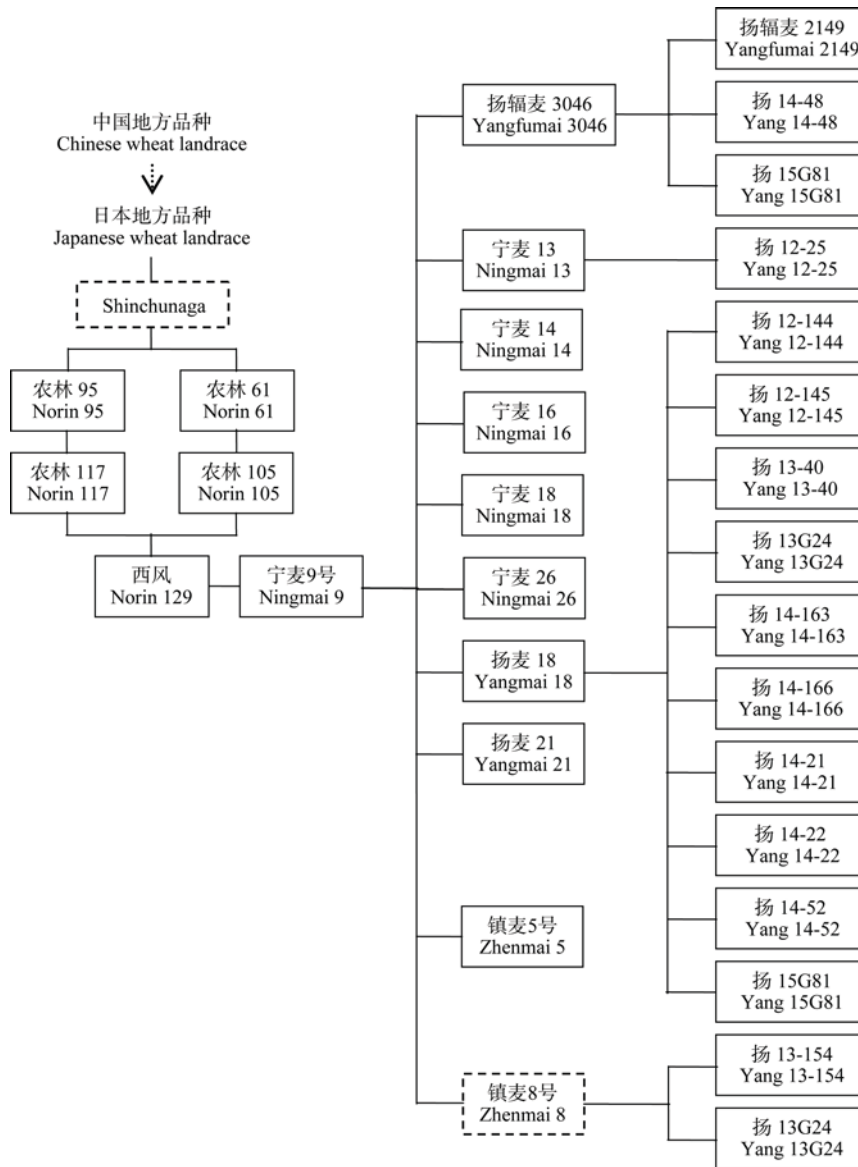


图 6 *Fhb1* 在 73 份扬麦和宁麦品种(系)中的传递路径

Fig. 6 Gene flow of *Fhb1* in 73 cultivars (lines) of Yangmai and Ningmai through founder parent Ningmai 9

实线框内品种(系)经 PFT-CAPS 和 His-InDel 标记检测含 *Fhb1*, 虚线框内品种未检测。

Cultivars or lines in solid boxes were characterized carrying *Fhb1* using PFT-CAPS and His-InDel markers, while those in dotted boxes were uncharacterized.

农业试验场于 1983 年育成, 较抗赤霉病<sup>[39]</sup>, 其母本农林 117 中抗赤霉病<sup>[40]</sup>, 父本农林 105 抗性未知, 两者均有 Shinchunaga 血缘, 含 *Fhb1*<sup>[24]</sup>, 抗源可追溯到地方品种。据 Yu 等聚类分析, Shinchunaga 与中国地方品种聚为一类, 而非日本地方品种<sup>[41]</sup>, 推测其与中国种质相关; 西风在我国表现早熟、抗纹枯病、农艺性状优良, 赤霉病抗性与扬麦 158 相当, 江苏省农业科学院利用西风选育出宁麦 9 号<sup>[42]</sup>。与苏麦 3 号相比, 宁麦 9 号及其衍生品种如宁麦 18、宁麦 26、

扬麦 18、扬麦 21、镇麦 5 号等的综合农艺性状已大幅提升<sup>[43]</sup>, 故建议在育种中扩大使用; 新选育的一批扬麦高代品系已固定 *Fhb1* 基因, 对赤霉病遗传改良具有重要意义, 也应多加利用。鉴于很多国内地方品种如望水白、白三月黄<sup>[44]</sup>、黄方柱<sup>[45]</sup>、翻山小麦等含 *Fhb1*, 且与日本抗赤霉病地方品种相比具有更高的遗传多样性<sup>[41]</sup>。故推测 *Fhb1* 均来自地方品种, 可能由中国江苏、浙江或福建等地传到中国台湾、韩国及日本, 并在这些地区的抗赤霉病育种中发挥

了重要作用。

*Fhb1* 在美国、日本等春麦区和我国江苏省等春性麦区均得到成功应用,而在冬麦区进展相对缓慢,可能与对株高等农艺性状选择有关,也可能是抗赤霉病育种的时间较短所致。20 世纪 70 年代,西北农林科技大学率先在黄淮冬麦区利用苏麦 3 号进行抗赤霉病育种,创制出一批抗病中间材料,为后来黄淮麦区选育具有一定赤霉病抗性的品种奠定了基础。但本研究发现较多陕西来源品种虽含 *PFT* 抗病等位基因(*PFT-I*), *His* 基因却为感病类型(*His-II*),即不含 *Fhb1*,这可能与育种家对农艺性状的选择有关,即该区段的 *His-I* 或相邻基因可能与不利农艺性状连锁(至少对黄淮麦区而言);*PFT-I* 可能来自苏麦 3 号(*PFT* 和 *His* 间发生重组)或小偃 6 号某一早代亲本;在赤霉病筛选压力较小情况下,育种家首先考虑农艺性状,导致没能选择 *Fhb1* 区段抗病的单倍型。在美国东部软红冬麦区,育种家利用分子标记选择来自苏麦 3 号或宁 7840 的 *Fhb1*,含有该片段的品系由于农艺性状差、产量低,能通过审定的品种不多(Carl Griffey, 个人交流, 2015; Jerry Johnson, 个人交流, 2015)。因此,明确 *Fhb1* 区段与不利农艺性状连锁的基因,对更好利用 *Fhb1* 具有重要意义,对我国黄淮冬麦区尤为重要。本研究发现 *PFT-I/His-I* 为 *Fhb1* 抗病类型,但 *Fhb1* 区段遗传解析和抗性机制尚未完全清楚,可能有多个基因参与赤霉病抗性。除该位点外,苏麦 3 号所含其他抗赤霉病位点也尚待解析,这些位点有可能会部分解释陕西材料及其衍生系具有一定赤霉病抗性。

提高赤霉病抗性已成为黄淮麦区特别是黄淮南片的主要育种目标。借鉴国内外成功的经验,提出 3 点抗病育种建议:(1)在抗源利用上,选择含 *Fhb1*、农艺性状优良的抗病品种如扬麦 21、宁麦 26 等作亲本,但应注意此类抗源的冬春性和矮秆基因与黄淮麦区品种有一定差异,周口市农业科学院利用宁麦 9 号育成的材料其抗病性和农艺性状都有明显改良(殷贵鸿, 个人交流, 2017),值得在育种中利用。(2)在育种方法上,以高产广适品种为农艺亲本,采用回交 1~2 次、扩大群体的方法,结合本研究开发的标记检测和赤霉病接种鉴定进行选择,并适当降低农艺性状选择标准,培育赤霉病抗性达到中感或中抗、农艺性状优良的新品种。(3)从长远来看,可借鉴小麦抗锈病和白粉病育种的成功经验,利用分子标记聚合多个微效基因,以提高品种的整体抗性水平<sup>[46]</sup>。

## 4 结论

26 份国内品种(系)具有 *PFT-I/His-I* 抗赤霉病单倍型,含 *Fhb1*,可作为育种有效抗源。我国小麦所含 *Fhb1* 主要来自苏麦 3 号和宁麦 9 号(扬麦 6 号/西风),并以后者为主。以 *PFT-CAPS* 和 *His-InDel* 可准确检测 *Fhb1*,将在抗赤霉病育种中发挥重要作用。

致谢 感谢美国堪萨斯州立大学 Guihua Bai 教授和 Zhenqi Su 博士审阅全文,并提供 *His* 基因为 *Fhb1* 新的候选基因这一信息。

## References

- [1] Dexter J E, Clear R M, Preston K R. Fusarium head blight: effect on the milling and baking of some Canadian wheats. *Cereal Chem*, 1996, 73: 695–701
- [2] Dexter J E, Marchylo B A, Clear R M, Clarke J M. Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. *Cereal Chem*, 1997, 74: 519–525
- [3] 程顺和, 郭文善, 王龙俊, 姜东, 马鸿翔, 张伯桥. 中国南方小麦. 南京: 江苏科学技术出版社, 2012. pp 281–282  
Cheng S H, Guo W S, Wang L J, Jiang D, Ma H X, Zhang B Q. Wheat in Southern China. Nanjing: Jiangsu Scientific and Technical Publishers, 2012. pp 281–282 (in Chinese)
- [4] 马忠华, 尹燕妮, 陈云. 小麦赤霉病发生规律及其防控技术研究进展. 见: 陈万权主编. 植保科技创新与农业精准扶贫—中国植物保护学会 2016 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016. p 29  
Ma Z H, Yin Y N, Chen Y. The epidemic characteristics of wheat *Fusarium* head blight and the progress of its control technology development. In: Chen W Q, ed. Plant Protection Technology Innovation and Agricultural Targeted Poverty Alleviation—Proceedings of the 2016 Annual Conference of China Plant Protection Society. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2016. p 29 (in Chinese)
- [5] 吴佳文, 杨荣明, 朱凤, 田子华. 2015 年江苏省小麦赤霉病发生特点与防控对策探讨. 中国植保导刊, 2016, 36(10): 31–34  
Wu J W, Yang R M, Zhu F, Tian Z H. The epidemic characteristics of wheat *Fusarium* head blight in Jiangsu Province in 2015 and discussion of its control measures. *China Plant Prot*, 2016, 36(10): 31–34 (in Chinese)
- [6] 金艳, 刘付领, 朱统泉, 陈杰, 赵立尚. 河南省小麦赤霉病的发生情况分析防治对策. 河南科技学院学报(自然科学版), 2016, 44(6): 1–4  
Jin Y, Liu F L, Zhu T Q, Chen J, Zhao L S. Occurrence analysis and control measures of wheat scab in Henan province. *J Henan Inst Sci & Technol* (Nat Sci Edn), 2016, 44(6): 1–4 (in Chinese with English abstract)
- [7] McMullen M, Jones R, Gallenberg D. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Dis*, 1997, 81: 1340–1348
- [8] Buerstmayr H, Ban T, Anderson J A. QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat:



- a review. *Plant Breed*, 2009, 128: 1–26
- [9] Cuthbert P A, Somers D J, Thomas J, Cloutier S, Brulé-Babel A. Fine mapping *Fhb1*, a major gene controlling *Fusarium* head blight resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet*, 2006, 112: 1465–1472
- [10] Cuthbert P A, Somers D J, Brulé-Babel A. Mapping of *Fhb2* on chromosome 6BS: a gene controlling *Fusarium* head blight field resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet*, 2007, 114: 429–437
- [11] Liu S, Zhang X, Pumphrey M O, Stack R W, Gill B S, Anderson J A. Complex microcolinearity among wheat, rice, and barley revealed by fine mapping of the genomic region harboring a major QTL for resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *Funct Integr Genomics*, 2006, 6: 83–89
- [12] Qi L, Pumphrey M, Friebe B, Chen P, Gill B. Molecular cytogenetic characterization of alien introgressions with gene *Fhb3* for resistance to *Fusarium* head blight disease of wheat. *Theor Appl Genet*, 2008, 117: 1155–1166
- [13] Xue S, Li G, Jia H, Xu F, Lin F, Tang M, Wang Y, An X, Xu H, Zhang L. Fine mapping *Fhb4*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet*, 2010, 121: 147–156
- [14] Xue S, Xu F, Tang M, Zhou Y, Li G, An X, Lin F, Xu H, Jia H, Zhang L. Precise mapping *Fhb5*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet*, 2011, 123: 1055–1063
- [15] Cainong J C, Bockus W W, Feng Y, Chen P, Qi L, Sehgal S K, Danilova T V, Koo D H, Friebe B, Gill B S. Chromosome engineering, mapping, and transferring of resistance to *Fusarium* head blight disease from *Elymus tsukushiensis* into wheat. *Theor Appl Genet*, 2015, 128: 1019–1027
- [16] Guo J, Zhang X, Hou Y, Cai J, Shen X, Zhou T, Xu H, Ohm H W, Wang H, Li A, Han F, Wang H, Kong L. High-density mapping of the major FHB resistance gene *Fhb7* derived from *Thinopyrum ponticum* and its pyramiding with *Fhb1* by marker-assisted selection. *Theor Appl Genet*, 2015, 128: 2301–2316
- [17] Schweiger W, Steiner B, Vautrin S, Nussbaumer T, Siegwart G, Zamini M, Jungreithmeier F, Gratl V, Lemmens M, Mayer K F X, Bérgeès H, Adam G, Buerstmayr H. Suppressed recombination and unique candidate genes in the divergent haplotype encoding *Fhb1*, a major *Fusarium* head blight resistance locus in wheat. *Theor Appl Genet*, 2016, 129: 1607–1623
- [18] Pumphrey M O, Bernardo R, Anderson J A. Validating the *Fhb1* QTL for *Fusarium* head blight resistance in near-isogenic wheat lines developed from breeding populations. *Crop Sci*, 2007, 47: 200–206
- [19] Horevaj P, Brown-Guedira G, Milus E A. Resistance in winter wheat lines to deoxynivalenol applied into florets at flowering stage and tolerance to phytotoxic effects on yield. *Plant Pathol*, 2012, 61: 925–933
- [20] Mergoum M, Froberg R C, Stack R W. Breeding hard red spring wheat for *Fusarium* head blight resistance. In: Buck H T, Nisi J E, Salomón N, eds. *Wheat Production in Stressed Environments: Proceedings of the 7th International Wheat Conference*. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2007. pp 161–167
- [21] Anderson J A, Wiersma J J, Linkert G L, Kolmer J A, Jin Y, Dillmacky R, Wiersma J V, Hareland G A. Registration of ‘Sabin’ Wheat. *J Plant Reg*, 2012, 6: 174
- [22] Steiner B, Buerstmayr M, Michel S, Schweiger W, Lemmens M, Buerstmayr H. Breeding strategies and advances in line selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Trop Plant Pathol*, 2017, 42: 165–174
- [23] Bai G, Shaner G. Management and resistance in wheat and barley to *Fusarium* head blight. *Annu Rev Phytopathol*, 2004, 42: 135–161
- [24] Rawat N, Pumphrey M O, Liu S, Zhang X, Tiwari V K, Ando K, Trick H N, Bockus W W, Akhunov E, Anderson J A, Gill B S. Wheat *Fhb1* encodes a chimeric lectin with agglutinin domains and a pore-forming toxin-like domain conferring resistance to *Fusarium* head blight. *Nat Genet*, 2016, 48: 1576–1580
- [25] He X, Bonnett D, Singh P K, Hyles J, Spielmeyer W, Dreisigacker S. Advanced wheat breeding lines combining *Fhb1* and *Sr2* in different genetic backgrounds. In: *Proceedings of the 9th International Wheat Conference*. Sydney, Australia, 2015. p 140
- [26] 孙道杰, 张玲丽, 冯毅, 陈春环, 张荣琦, 奚亚军, 何心尧, 王辉, 宋哲民. 西农系列小麦骨干新品种赤霉病抗源浅析. *麦类作物学报*, 2016, 36: 822–823
- Sun D J, Zhang L L, Feng Y, Chen C H, Zhang R Q, Xi Y J, He X Y, Wang H, Song Z M. Analysis of FHB resistance sources for newly released Xinong varieties. *J Triticeae Crops*, 2016, 36: 822–823 (in Chinese)
- [27] 朱展望, 朱伟伟, 佟汉文, 刘易科, 陈冷, 杨立军, 汪华, 张宇庆, 邹娟, 焦春海, 高春保. 湖北小麦品种赤霉病抗性及其在生产中的应用. *麦类作物学报*, 2015, 35: 1733–1738
- Zhu Z W, Zhu W W, Tong H W, Liu Y K, Chen L, Yang L J, Wang H, Zhang Y Q, Zou J, Jiao C H, Gao C B. *Fusarium* head blight resistance and application of wheat varieties in Hubei Province. *J Triticeae Crops*, 2015, 35: 1733–1738 (in Chinese with English abstract)
- [28] 朱展望, 杨立军, 佟汉文, 唐道廷, 刘易科, 汪华, 陈冷, 张宇庆, 高春保. 湖北省小麦品种(系)的赤霉病抗性分析. *麦类作物学报*, 2014, 34: 137–142
- Zhu Z W, Yang L J, Tong H W, Tang D T, Liu Y K, Wang H, Chen L, Zhang Y Q, Gao C B. Analysis of the resistance to *Fusarium* head blight in wheat varieties and lines from Hubei. *J Triticeae Crops*, 2014, 34: 137–142 (in Chinese with English abstract)
- [29] Stack R W, McMullen M P. A visual scale to estimate severity of *Fusarium* head blight in Wheat. North Dakota State University Extension Service 1994. p 1095
- [30] Wang J, Li H, Zhang L, Meng L. Users’ Manual of QTL IciMapping. The Quantitative Genetics Group, Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS), and Genetic Resources Program, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), 2016
- [31] Saghai-Marooif M A, Soliman K M, Jorgensen R A, Allard R W. Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1984, 81: 8014–8018
- [32] Anderson J A, Chao S, Liu S. Molecular breeding using a major QTL for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Crop Sci*, 2007, 47: S112–S119
- [33] Anderson J A, Stack R W, Liu S, Waldron B L, Fjeld A D, Coyne

- C, Moreno-Sevilla B, Fetch J M, Song Q J, Cregan P B, Froberg R C. DNA markers for *Fusarium* head blight resistance QTLs in two wheat populations. *Theor Appl Genet*, 2001, 102: 1164–1168
- [34] Liu S, Pumphrey M O, Gill B S, Trick H N, Zhang J X, Dolezel J, Chalhoub B, Anderson J A. Toward positional cloning of *Fhb1*, a major QTL for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Cereal Res Commun*, 2008, 36: 195–201
- [35] Jin F, Zhang D, Bockus W, Baenziger P S, Carver B, Bai G. *Fusarium* head blight resistance in U.S. Winter wheat cultivars and elite breeding lines. *Crop Sci*, 2012, 53: 2006–2013
- [36] Bernardo A N, Ma H, Zhang D, Bai G. Single nucleotide polymorphism in wheat chromosome region harboring *Fhb1* for *Fusarium* head blight resistance. *Mol Breed*, 2012, 29: 477–488
- [37] Buerstmayr H, Steiner B, Hartl L, Griesser M, Angerer N, Lengauer D, Miedaner T, Schneider B, Lemmens M. Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat: II. Resistance to fungal penetration and spread. *Theor Appl Genet*, 2003, 107: 503–508
- [38] Chen J, Griffey C A, Saghai Maroof M A, Stromberg E L, Biyashev R M, Zhao W, Chappell M R, Pridgen T H, Dong Y, Zeng Z. Validation of two major quantitative trait loci for fusarium head blight resistance in Chinese wheat line W14. *Plant Breed*, 2006, 125: 99–101
- [39] 金善宝. 中国小麦品种志(1983–1993). 北京: 中国农业出版社, 1997. pp 249–250  
Jin S B. Chinese Wheat Varieties (1983–1993). Beijing: China Agriculture Press, 1997. pp 249–250 (in Chinese)
- [40] Li T, Bai G, Wu S, Gu S. Quantitative trait loci for resistance to *Fusarium* head blight in the Chinese wheat landrace Huangfangzhu. *Euphytica*, 2012, 185: 93–102
- [41] Yu J B, Bai G H, Cai S B, Ban T. Marker-assisted characterization of Asian wheat lines for resistance to *Fusarium* head blight. *Theor Appl Genet*, 2006, 113: 308–320
- [42] 杨学明, 姚金保, 钱存鸣, 周朝飞, 姚国才, 黄胜东. 宁麦9号选育方法的探讨. 麦类作物学报, 2000, 20: 88–90  
Yang X M, Yao J B, Qian C M, Zhou C F, Yao G C, Huang S D. Discussion on the breeding method of Ningmai 9. *J Triticeae Crops*, 2000, 20: 88–90 (in Chinese)
- [43] 姚金保, 马鸿翔, 张平平, 姚国才, 杨学明, 任丽娟, 张鹏, 周淼平. 小麦优良亲本宁麦9号的研究与利用. 核农学报, 2012, 26: 17–21  
Yao J B, Ma H X, Zhang P P, Yao G C, Yang X M, Ren L J, Zhang P, Zhou M P. Research of wheat elite parent Ningmai 9 and its utilization. *J Nucl Agric Sci*, 2012, 26: 17–21 (in Chinese with English abstract)
- [44] Zhang X, Pan H, Bai G. Quantitative trait loci responsible for *Fusarium* head blight resistance in Chinese landrace Baishanyuehuang. *Theor Appl Genet*, 2012, 125: 495–502
- [45] Li T, Bai G, Wu S, Gu S. Quantitative trait loci for resistance to *Fusarium* head blight in the Chinese wheat landrace Huangfangzhu. *Euphytica*, 2012, 185: 93–102
- [46] 何中虎, 兰彩霞, 陈新民, 邹裕春, 庄巧生, 夏先春. 小麦条锈病和白粉病成株期抗性研究进展与展望. 中国农业科学, 2011, 44: 2193–2215  
He Z H, Lan C X, Chen X M, Zou Y C, Zhuang Q S, Xia X C. Progress and perspective in research of adult-plant resistance in stripe rust and powdery mildew in wheat. *Sci Agric Sin*, 2011, 44: 2193–2215 (in Chinese with English abstract)

附表 1 229 份小麦品种(系)来源及其 *His* 和 *PFT* 基因型  
 Supplementary table 1 Origins of 229 wheat cultivars (lines) and their *His* and *PFT* genotypes

品种(系) Cultivars (lines)	来源 Origin	<i>His</i>		<i>PFT</i>	
		等位基因	检测方法	等位基因	检测方法
		Allele	Detection method	Allele	Detection method
宁 7840	中国江苏	<i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
宁麦 13	中国江苏	<i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
宁麦 16	中国江苏	<i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
宁麦 9 号	中国江苏	<i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
苏麦 3 号	中国江苏	<i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
镇麦 5 号	中国江苏	<i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
郑麦 9023	中国河南	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
鄂 07901	中国湖北	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
济麦 19	中国山东	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
济宁 16 号	中国山东	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
烟农 22	中国山东	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
长 6359	中国山西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
荔垦 2 号	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
陕麦 159	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
陕 253	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
陕 715	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
陕麦 150	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
西农 88	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
西农 979	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
西农 9871	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
小偃 107	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
小偃 22	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
小偃 6 号	中国陕西	<i>His-II</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
烟 2415	中国山东	<i>His-III</i>	<i>His-Indel</i> 标记、测序	<i>PFT-I</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 12	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
衡观 35	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
衡 4422	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
百农 160	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
金丰 3 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
洛早 2 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
洛早 7 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
平安 3 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
温麦 18	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
温麦 6 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
温麦 7 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
新麦 26	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
新麦 9817	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
新麦 11	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
新麦 16	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
新麦 18	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
新麦 9817 <sup>†</sup>	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
许科 1 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
豫麦 49-168	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
豫麦 49-198	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
豫麦 52	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
郑麦 366	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
郑麦 9987	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
中育 10 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
鄂恩 5 号	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
鄂恩 6 号	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
宁春 4 号	中国宁夏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
济南 17	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
鲁麦 21	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
青丰 1 号	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
泰山 21	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
烟 5158	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
烟 5286	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
临 Y7287	中国山西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
临汾 137	中国山西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-II</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记、测序
皖麦 38	中国安徽	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
皖麦 50	中国安徽	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
皖麦 52	中国安徽	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
北京 0045	中国北京	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
京冬 17	中国北京	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
京冬 8 号	中国北京	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记

品种(系) Cultivars (lines)	来源 Origin	His		PFT	
		等位基因	检测方法	等位基因	检测方法
		Allele	Detection method	Allele	Detection method
轮选 987	中国北京	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
中农 2 号	中国北京	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
中麦 9 号	中国北京	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 13	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 15	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 17	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 18	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 21	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 22	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
兰天 23	中国甘肃	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
14FHBSN6402	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
14FHBSN6404	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
14FHBSN6405	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
14FHBSN6408	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
14FHBSN6409	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
14FHBSN6411	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
14FHBSN6418	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
Gamenya	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
Mayoor	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
Ocoroni	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
SYN1	国际玉米小麦改良中心	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
邯 3475	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
邯 5316	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
邯 6172	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
衡 115	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
衡 136	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
冀麦 30	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
冀麦 38	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
科农 9204	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
良星 99	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
石家庄 8 号	中国河北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
中麦 12	中国天津	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
矮抗 58	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
矮早 781-99 系选	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
泛麦 5 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
开麦 18	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
科大 9612	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
科农 199	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
洛麦 21	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
洛新 998	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
洛旱 6 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
漯 4-168	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
漯麦 6010	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
内麦 8 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
平安 6 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
濮麦 10 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
温麦 19	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
项麦 99	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
新麦 13	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
新麦 19	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
新麦 20	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
新麦 208	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
新麦 22	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
偃展 4110	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫麦 10 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫麦 38	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫麦 48	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫麦 69	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫麦 70	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫麦 70-36	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫农 035	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
豫农 202	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
郑麦 004	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
郑麦 9694	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
郑麦 98	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
郑农 17	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
郑育麦 958	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记

品种(系) Cultivars (lines)	来源 Origin	<i>His</i>		<i>PFT</i>	
		等位基因	检测方法	等位基因	检测方法
		Allele	Detection method	Allele	Detection method
众麦 1 号	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
周麦 16	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
周麦 17	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
周麦 18	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
周麦 22	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
周麦 23	中国河南	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
04 中 36	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
武汉 1 号	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鄂麦 352	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鄂麦 596	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鄂麦 12	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鄂麦 18	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鄂麦 23	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鄂麦 27	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鄂麦 580	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
华 2566	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
荆辐麦 1 号	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
荆麦 103	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
襄麦 25	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
襄麦 55	中国湖北	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
淮麦 17	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
淮麦 18	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
淮麦 20	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
连麦 1 号	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
连麦 2 号	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
宁麦 11	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
宁麦 8 号	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
徐麦 216	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
徐麦 27	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬 05-117	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬 06-144	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 20	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 22	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬 06G86	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬 07-129	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬 07-15	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬 07-44	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬 07-81	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬辐麦 2 号	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 11	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 12	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 13	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 14	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 15	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 158	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 16	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
扬麦 17	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
镇麦 168	中国江苏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
宁春 43	中国宁夏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
宁春 47	中国宁夏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
宁冬 10 号	中国宁夏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
宁冬 11	中国宁夏	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
菏麦 13	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
济麦 20	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
济麦 21	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
济麦 22	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
鲁农 116	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
山农 664	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
山农 15	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
山农 16	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
山农 189	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
山农 8355	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
泰农 18	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
泰山 23	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
潍麦 8 号	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
烟农 19	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
烟农 21	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记

品种(系) Cultivars (lines)	来源 Origin	His		PFT	
		等位基因	检测方法	等位基因	检测方法
		Allele	Detection method	Allele	Detection method
烟农 24	中国山东	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
临 Y867	中国山西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
临汾 138	中国山西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
临优 2069	中国山西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
陕 627	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
陕麦 139	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
远丰 175	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
陕农 138	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
陕农 757	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
陕农 78	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
西农 2000	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
西农 3517	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
小偃 166	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
秦农 142	中国陕西	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
XK0106-1-0806	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
川麦 42	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
川麦 43	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
川麦 50	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
川麦 51	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
川麦 52	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
川麦 42 <sup>†</sup>	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
绵麦 1403	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
绵麦 185	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
绵麦 37	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
绵麦 42	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
绵阳 99-3	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
双抗 7438	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
西科麦 2 号	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
西科麦 4 号	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记
西科麦 5 号	中国四川	非 <i>His-I</i>	<i>His-Indel</i> 标记	<i>PFT-III</i>	<i>PFT-CAPS</i> 标记

不含 *PFT-I* 的 205 个品种(系)经 *His-Indel* 标记检测, *His* 等位基因与 *His-I* 不同, 暂命名为非 *His-I*; <sup>†</sup>重复品种为不同研究单位提供。

附表 2 73 份扬麦和宁麦品种(系) *Fhb1* 检测

Supplementary table 2 Detection of *Fhb1* in 73 Yangmai and Ningmai cultivars (lines)

序号 No.	品种(系) Cultivars (lines)	<i>Fhb1</i>	序号 No.	品种(系) Cultivars (lines)	<i>Fhb1</i>	序号 No.	品种(系) Cultivars (lines)	<i>Fhb1</i>
1	宁麦 4 号	-	26	扬 14-52	+	50	扬辐麦 2149	+
2	宁麦 14	+	27	扬 14-61	-	51	扬辐麦 3046	+
3	宁麦 18	+	28	扬 14-67	-	52	扬麦 1 号	-
4	宁麦 26	+	29	扬 14-88	-	53	扬麦 3 号	-
5	扬 10-66	-	30	扬 14-163	+	54	扬麦 4 号	-
6	扬 11-125	-	31	扬 14-166	+	55	扬麦 5 号	-
7	扬 11G33	-	32	扬 14-179	-	56	扬麦 9 号	-
8	扬 12-25	+	33	扬 14-197	-	57	扬麦 10 号	-
9	扬 12-54	-	34	扬 14-214	-	58	扬麦 11	-
10	扬 12-144	+	35	扬 14-237	-	59	扬麦 12	-
11	扬 12-145	+	36	扬 14-253	-	60	扬麦 13	-
12	扬 12G16	-	37	扬 14-282	-	61	扬麦 14	-
13	扬 13-40	+	38	扬 14 品 37	-	62	扬麦 15	-
14	扬 13-68	-	39	扬 15-126	-	63	扬麦 16	-
15	扬 13-122	-	40	扬 15G7	-	64	扬麦 17	-
16	扬 13-134	-	41	扬 15G35	-	65	扬麦 18	+
17	扬 13-154	+	42	扬 15G41	-	66	扬麦 19	-
18	扬 13G24	+	43	扬 15G70	-	67	扬麦 20	-
19	扬 14-7	-	44	扬 15G72	-	68	扬麦 21	+
20	扬 14-21	+	45	扬 15G78	-	69	扬麦 22	-
21	扬 14-22	+	46	扬 15G81	+	70	扬麦 23	-
22	扬 14-42	-	47	扬 15G83	-	71	扬麦 24	-
23	扬 14-48	+	48	扬 15 品 29	-	72	扬麦 25	-
24	扬 14-49	-	49	扬辐麦 2054	-	73	扬麦 158	-
25	扬 14-50	-						

“+”表示对应品种为 *PFT-I/His-I* 单倍型, 含 *Fhb1*; “-”表示对应品种为其他单倍型, 不含 *Fhb1*。

附表 3 我国含 *Fhb1* 小麦品种(系)系谱  
 Supplementary table 3 Pedigrees of Chinese wheat cultivars (lines) carrying *Fhb1*

序号 No.	品种 Cultivars (lines)	系谱 Pedigrees
1	苏麦 3 号	阿夫/台湾小麦
2	宁 7840	阿美乐尔/安徽 11//苏麦 3 号
3	宁麦 9 号	扬麦 6 号/西风
4	宁麦 13	宁麦 9 号系统选育
5	宁麦 14	宁麦 9 号系统选育
6	宁麦 16	宁麦 8 号/宁麦 9 号
7	宁麦 18	宁麦 9 号 <sup>2</sup> //宁麦 9 号/扬麦 10 号
8	宁麦 26	宁 9351/宁麦 9 号
9	扬麦 18	宁麦 9 号 <sup>4</sup> /3/扬麦 158 <sup>6</sup> //扬 88-128/南农 P045
10	扬麦 21	宁麦 9 号/红蟠芒
11	扬 12-144	扬麦 16 <sup>2</sup> /山红麦//扬麦 18/3/扬麦 16 <sup>2</sup>
12	扬 12-145	扬麦 18 <sup>2</sup> /元友-2
13	扬 12-25	宁麦 13/5/宁 9312 <sup>4</sup> /3/扬麦 158 <sup>6</sup> //扬 88-128 /南农 P045/4/扬麦 15
14	扬 13-154	镇麦 8 号//扬麦 17/扬麦 15
15	扬 13-40	北京 2620/扬麦 18
16	扬 13G24	镇麦 8 号/扬麦 18 <sup>2</sup>
17	扬 14-163	扬麦 15/扬麦 18
18	扬 14-166	扬麦 15/扬麦 18
19	扬 14-21	扬麦 9 号/扬麦 18
20	扬 14-22	扬麦 9 号/扬麦 18
21	扬 14-48	扬 06G5//扬麦 9 号/扬辐麦 3046
22	扬 14-52	宁麦 14//扬麦 18/扬麦 9 号
23	扬 15G81	镇 02168 <sup>2</sup> /11/扬麦 18/10/扬辐麦 3046/9/扬麦 18/8/扬麦 6 号/7/宁麦 14/6/扬 02G48/5/扬 N28/4/扬麦 17/3/扬麦 6 号 <sup>2</sup> //扬麦 9 号/K107WX1
24	扬辐麦 3046	宁麦 8 号/宁麦 9 号
25	扬辐麦 2149	扬辐麦 3046/扬麦 19
26	镇麦 5 号	扬麦 158/宁麦 9 号

系谱中红色字体品种为 *Fhb1* 直接来源。