

重庆麦区小麦品种（系）抗条锈性评价与基因分析*¹

李北^{1,2} 徐琪^{1,2} 杨宇衡^{1,3} 王琪琳^{1,4} 曾庆东^{1,4} 吴建辉^{1,4} 穆京妹^{1,2} 黄丽丽^{1,4}

康振生^{1,4} 韩德俊^{1,2}

(1 西北农林科技大学旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西杨凌 712100;

2 西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100;

3 西南大学植物保护学院, 重庆 400716;

4 西北农林科技大学植物保护学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】: **【目的】** 重庆是中国小麦条锈病流行体系中重要冬繁区, 准确评价该地区小麦品种(系)对当前小麦条锈病流行小种的抗性和了解抗条锈基因在该区的分布状况, 为小麦安全生产、品种合理布局及小麦抗条锈育种工作提供依据。**【方法】** 从该区征集了 18 份当地主栽品种和 89 份高代品系材料, 应用中国小麦条锈菌流行生理小种条中 32 (CYR32)、条中 33 (CYR33)、V26/G22-9 和 V26/CM42, 在杨凌进行苗期分小种 (CYR32、CYR33、V26/G22-9 和 V26/CM42) 温室抗病性鉴定、并于 2015 年和 2016 年连续两年分别进行杨凌成株期条锈菌混合小种 (CYR32、CYR33) 人工接种病圃和天水自然诱发条锈菌病圃鉴定, 根据苗期和田间成株期的抗病性鉴定结果对其进行抗病类型分类和评价; 结合抗谱分析、参照单基因系材料的感病结果, 及以 Yr5、Yr9、Yr10、Yr15、Yr17、Yr18 和 Yr26 等 7 个已知抗条锈基因的标记分别进行的分子检测分析, 推测小麦材料可能携带抗病基因。**【结果】** 在 107 份参鉴材料中, 苗期对 CYR32 与 CYR33 均表现免疫或者近免疫的品种(系)有 57 份, 占 53.27%; 对 CYR32、CYR33 和 V26/CM42 均表现免疫或者近免疫的品种(系)只有 11 份, 占 10.28%; 对 CYR32、CYR33 和 V26/G22-9 均表现免疫或者近免疫的品种(系)只有 9 份, 占 8.41%。综合评价, 全生育期抗性的材料仅有 8 份, 占 7.48%; 成株期抗病材料仅有 9 份, 占 8.41%; 感病材料 90 份, 占 84.11%。分子检测表明, 供试材料中 21 份可能含有 Yr9, 39 份可能含有 Yr26, 17 份可能含有 Yr17, 3 份可能含有 Yr18。其他材料中未检测到上述 Yr 基因(分子标记)的存在, 其中没有发现可能含 Yr5、Yr10 和 Yr15 的材料。8 份具有全生育期抗性的材料, 未检测到上述 Yr 基因(分子标记)的存在, 可能含有未检测到的其他抗病基因。**【结论】** 重庆地区小麦品种(系)对小麦条锈菌当前流行小种的抗性整体水平较低, 尤其是含 Yr26 的材料在育种中被广泛而单一地利用。建议利用多基因聚合育种等手段提高当地小麦品种的抗条锈性。

收稿日期: 2016-08-01; **接受日期:** 2016-10-24

基金项目: 国家“973”计划(2013CB127700)、国家公益性行业(农业)科研专项(201203014)、国家自然科学基金(31371924)、高等学校学科创新引智计划(B07049)、中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2016A020)

联系方式: 李北, E-mail: libeinxy@163.com。徐琪, E-mail: 787106936@qq.com。李北和徐琪为同等贡献作者。通信作者康振生, E-mail: kangzs@nwsuaf.edu.cn。

通信作者: 韩德俊, E-mail: handj@nwsuaf.edu.cn

【关键词】: 小麦条锈病; 抗病基因; 标记辅助检测; 重庆麦区

引言

【研究意义】由条形柄锈菌 (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) 引起的小麦条锈病是世界性气传病害, 具有流行性强、波及范围广、破坏性大等特点^[1-3]。中国大部分小麦主产区都面临该病害威胁, 每年因其造成损失严重。四川盆地是中国小麦条锈菌最重要的冬繁区, 是引起东部麦区条锈病春季流行最重要的菌源输出地^[2, 4-6]。因此, 有效降低冬繁区菌源量, 调控其菌源毒性结构, 对中国小麦条锈病大区综合治理具有重要意义。重庆地处四川盆地东部, 小麦种植面积维持 13 万 hm^2 左右^[7], 为小麦条锈病常发区, 是小麦条锈菌冬繁区与长江中下游麦区的接合部位, 是陕南及黔西小麦条锈菌冬繁区与长江中下游冬麦区的接合部位, 是条锈菌最重要的冬繁区之一, 在中国条锈病大区流行中, 扮演着对菌源进行选择性地放大繁殖的“桥梁”作用^[5]。目前, 重庆小麦主导品种是渝麦系列 (占 70%以上), 其次是川麦系列和内麦系列^[7], 以及其他农民种植多年的自留品种。全面了解重庆地区小麦品种 (系) 抗条锈性水平, 以及抗病基因应用情况, 对于当地及整个东部麦区小麦生产安全有重要意义。**【前人研究进展】**种植小麦抗病品种被认为是控制条锈病最经济、最有效、最环保的方法, 然而条锈菌新小种的产生和发展是小麦抗性“丧失”的主要原因^[8]。迄今为止, 中国已经发生了 7 次小麦品种大面积“丧失”抗性事件^[9-11]。自 2000 年以来, 条中 32 (CYR32) 和条中 33 (CYR33) 已成为中国最主要的毒性小种, 二者对中国 1B/1R 等众多小麦抗源具有毒性^[12-13]。由于携带 Yr26 (=Yr24) 的 92R 系和贵农系抗源对 CYR32 和 CYR33 等当时的主要流行小种具有良好抗病性, 因此, 在条锈病发病严重的西南麦区和西北麦区被广泛应用。然而, 2009 年以来, 在四川西北部和甘肃南部等地先后发现对小麦抗条锈基因 Yr26 具有毒性的菌株^[14], 特别是有些新菌系对 Yr10 和 Yr26 等抗病基因具有联合毒性, 这将导致中国当前生产上应用较多的携带 Yr26 的 92R 系列抗源和贵农系抗源将面临抗性丧失的威胁^[4, 15]。

HAN 等^[4]对四川盆地中西部麦区主要栽培小麦品种 (系) 进行抗病性评价和抗条锈病基因分析, 结果表明, 参试 85 份小麦品种 (系) 中, 仅有 4 个品种表现全生育期抗病性, 20 个品种苗期感染所有参试小种, 特别是对 Yr26 有毒性的类群对 76.5% 品种对表现苗期感病, 基因分析表明, 38.8% 品种携带 Yr26。**【本研究切入点】**同为小麦条锈菌重要冬繁区的重庆麦区, 在该病害流行中起到关键作用, 然而其小麦品种 (系) 抗性水平和抗病基因分布情况至今未见系统研究。这对于指导抗病育种, 抗病品种的合理布局和病害预测预报是不利的。**【拟解决的关键问题】**本研究从重庆麦区征集了 107 份当前小麦主栽品种 (18 份) 以及高代品系材料 (89 份), 分别进行苗期分小种、成株期混合小种和“天水自然诱发条锈菌病圃”不同地点、多层次的抗条锈病性鉴定, 同时利用已知抗条锈病基因 Yr5^[16]、Yr9^[17]、Yr10^[17]、Yr15^[18]、Yr17^[19]、Yr18^[20-21] 和 Yr26^[22] 等标记进行分子检测, 同时结合抗谱鉴定结果和育种系谱回查等数据, 对小麦品种 (系) 进行抗病基因分析, 以期对当前重庆麦区小麦品种 (系) 抗条锈性水平和抗病基因应用情况进行整体评估, 为当地小麦抗病育种方向确立和抗病品种 (基因) 的合理布局, 以及病害的预测预报提供依据, 而且对中国大区范围条锈病害持续控制策略的制定具有重要参考价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的重庆主栽品种以及高代品系材料, 共计 107 份, 由西南大学农学院提供。抗条锈近等基因系材料由美国华盛顿州立大学陈贤明教授提供。苗期抗条锈病鉴定分别采用当前流行小种 CYR32 和 CYR33 及 V26/CM42 和 V26/G22-9 (表 1)。其中, V26/CM42 标样来自四川, V26/G22-9 标样来自甘肃。成株期混合小种接种鉴定, 杨凌人工诱发条锈菌病圃采用条锈菌小种包括 CYR32、CYR33 混合小种, 同时在甘肃天水设置小麦条锈菌自然发病圃鉴定。供试菌种由西北农林科技大学植物病理研究所经单孢分离获得, 并经一系列小麦条锈病鉴别寄主鉴定, 隔离繁殖后备用。

表 1 参试小种基于 *Yr* 单基因系和 *Yr26* 载体品种的毒谱分析

Table 1 Infection types of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* races used in the study and their virulence spectra on *Yr* single-gene lines and *Yr26* donor line

小种名称 Race	<i>Yr</i> 抗感标准 Virulence or avirulence formula on <i>Yr</i> genes
CYR32	V: AvSYr9NIL, AvSYr17NIL, AvSYr18NIL, Avocet S (AvS) A: AvSYr5NIL, AvSYr10NIL, AvSYr15NIL, AvSYr24NIL, AvSYr26NIL, 92R137
CYR33	V: AvSYr9NIL, AvSYr17NIL, AvSYr18NIL, Avocet S (AvS) A: AvSYr5NIL, AvSYr10NIL, AvSYr15NIL, AvSYr24NIL, AvSYr26NIL, 92R137
V26/ G22-9	V: AvSYr9NIL, AvSYr10NIL, AvSYr17NIL, AvSYr18NIL, AvSYr24NIL, AvSYr26NIL, Avocet S (AvS), 92R137 A: AvSYr5NIL, AvSYr15NIL
V26/ CM42	V: AvSYr10NIL, AvSYr17NIL, AvSYr18NIL, AvSYr24NIL, AvSYr26NIL, Avocet S (AvS), 92R137 A: AvSYr5NIL, AvSYr9NIL, AvSYr15NIL

V: 毒性 Virulence; A: 无毒性 Avirulence

1.2 苗期接种鉴定

苗期鉴定参考文献^[19], 在西北农林科技大学植物病理研究所温室中进行, 参鉴小麦品种(系)分别接种条锈菌 CYR32、CYR33、V26/CH42 和 V26/G22-9, 以铭贤 169 作为感病对照。将参鉴材料播于 8cm×8cm 的花盘中, 每份材料种 10—15 粒, 于温室中培养。小麦 2 叶期接种, 条锈菌夏孢子与滑石粉按照 1 : 50 混匀, 抖粉法接种, 在保湿箱中培养 24h 后, 于温室中培养。光/暗周期为 16h/8h, 昼夜温度为 18℃/12℃^[23]。待感病对照充分发病时记载反应型, 此后每隔 3d 调查 1 次, 累计调查 3 次以上, 按照 0—9 级标准^[24]记载反应型。

1.3 人工诱发条锈病抗性鉴定

于 2014—2016 年, 每年在陕西杨凌西北农林科技大学实验站设置条锈菌人工病圃, 进行成株期抗条锈病鉴定。每份小麦材料种植 2 行(行长 100cm, 行距 25cm), 每隔 20 个品种种植 2 行小偃 22 作为发病指示品种, 供试品种两侧垂直种植 1 行感病品种铭贤 169 作为诱发行。每年 3 月中上旬小麦拔节初期, 在诱发行混合接种小麦条锈菌流行小种条中 32(CYR32)和条中 33(CYR33), 4 月中下旬及 5 月中旬, 感病指示品种小偃 22 均匀发病后, 调查成株期小麦发病情况。按照参考文献^[24-26]的方法, 分别调查反应型(infection type, IT)和严重度(severity, S), 按 0—9 级标准记载反应型, 根据 IT 抗病级别分为 4 个类型^[27]: 抗病(resistance, R, IT: 0—3)、中抗(moderate resistance, MR, IT: 4—6)、中感(moderate susceptible, MS, IT: 7)、感病(susceptible, S, IT: 8—9)。参考文献^[28]标准记载严重度: 0、5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%和 100%。

1.4 自然诱发条锈病抗性鉴定

条锈病自然发病圃设置在甘肃省天水市平南镇万家村(北纬 34° 27', 东经 105° 56', 海拔 1697m), 种植方式同上。分别于 5 月中旬至 6 月中旬, 待感病指示品种小偃 22 充分发病时, 进行成株期抗条锈性鉴定, 至少鉴定 3 次, 鉴定标准同上。

1.5 抗病基因分子检测

选用 Yr5、Yr9、Yr10、Yr15、Yr17、Yr18 和 Yr26 共 7 个抗病基因已开发的标记对参鉴材料进行分子检测^[29-30]。用改良的 CTAB 法^[31]提取幼叶 DNA；分别按照相关文献的方法对各 Yr 基因的标记进行扩增和检测。

2 结果

2.1 参鉴品种（系）条锈病抗病评价

2.1.1 参鉴品种（系）苗期鉴定结果分析分别采用当前流行的小种 CYR32、CYR33 和对 Yr26 有毒性的 2 个新菌系：V26/CM42 和 V26/G22-9，对参鉴的 18 份当地主栽品种和 89 份高代品系材料进行抗病鉴定（表 2）。参鉴材料中，苗期抗条锈病（IT≤6）流行小种 CYR32、CYR33、V26/G22-9 和 V26/CM42 的分别有 62（57.94%）份、72（67.29%）份、13（12.15%）份和 32（29.91%）份，其中，有 57 份对 CYR32 和 CYR33 都有抗性，约占 53%；有 11 份对 CYR32、CYR33、V26/CM42 都有抗性，约占 10%；有 9 份对 CYR32、CYR33 和 V26/G22-9 都有抗性，约占 8%；仅有 9 份对 4 个参鉴小种都具有抗性，约占 8%，且都为高代品系材料。表明重庆地区小麦参鉴品种在苗期对于当前流行小种整体抗性水平较低，主栽品种尤为显著。

2.1.2 参鉴品种（系）成株期鉴定结果分析在杨凌设置人工诱发条锈菌病圃和天水的自然诱发条锈菌病圃，对参鉴材料进行成株期鉴定（表 2）。在杨凌诱发当前流行小种（CYR32 和 CYR33）的人工病圃条件下，参鉴材料中抗病材料 57 份（53.27%），感病材料 50 份（46.73%）；在天水自然诱发圃中，17 份（15.89%）材料在成株期表现抗病性，其余 90 份（84.11%）表现为感病。对比两地结果，其中，有 40 份（37.38%）材料在杨凌抗病，在天水变为感病材料，由于甘肃南部和四川北部地区条锈菌群体毒性结构复杂^[32]，最近的研究表明这些地区条锈菌的优势小种为 CYR32、CYR33 以及毒性频率正在升高的对 Yr26 有毒性的小种^[33]，参照两地单基因系材料的感病情况，推测可能由于天水自然诱发圃菌源毒性结构复杂造成。

2.1.3 参鉴品种（系）条锈病抗病综合评价综合苗期和成株期抗性鉴定结果，绵麦 374 等 8 份具有全生育期抗性（all stage resistance, ASR），约占 7.48%；无主栽品种，内麦 836 等 9 份具有成株期抗性（adult plant resistance, APR），约占 8.41%，主栽品种占 3 份，川麦 68 等 90 份完全感病（susceptible, S），约占 84.11%，主栽品种占 15 份。值得关注的是参鉴材料中，具有全生育期抗性的材料仅占 8 份，其中并没有当地主栽品种，这种情况会加速冬繁区条锈菌的哺育和传播，为春季流行区提供充足菌源。

2.2 参鉴品种（系）的抗病基因分析

利用已开发的小麦抗条锈病主效基因 Yr5、Yr9、Yr10、Yr15、Yr17、Yr18 和 Yr26 的稳定可靠的分子标记，对参鉴的小麦进行分子标记筛查，分别以 Avocet S (AvS) 和各个单基因系材料作为阴阳对照（表 1），结合抗病表现和检测结果综合分析（表 2）。参鉴的 107 份材料中，21 份检测到 Yr9 标记；17 份检测到 Yr17 标记；3 份检测到 Yr18 标记；39 份检测到 Yr26 标记。另外，6 份同时检测到 Yr9 和 Yr17 标记；6 份同时检测到 Yr17 和 Yr26 标记；仅 1 份同时检测到 Yr18 和 Yr26 标记。未检测到 Yr5、Yr10 和 Yr15 的标记。8 份具有全生育期抗性的材料可能含有未检测到的抗病基因。图 1 为 Yr 基因使用情况，图 2 为部分小麦品种用 WE173 检测 Yr26 电泳图，电泳图谱的分子检测结果与抗性表型和系谱分析的综合结果相符。

在 18 份当地主栽品种中，渝麦 7 号和昌麦 26 检测到 Yr9 标记，约占 11%；滇麦 1 号和昌麦 26 检测到 Yr17 标记，约占 11%；仅有糯麦 1 号检测到 Yr18 标记，约占 5%；川麦 104 等 6 份材料检测到 Yr26 标记，约占 33%；而仅有昌麦 26 同时检测到 Yr9 和 Yr17 2 个基因标记。

在 89 份高代品系材料中，南 30-7 等 19 份材料检测到 Yr9 标记，约占 21%；西 2474 等 15 份材料检测到 Yr17 标记，约占

17%；川 13015 等 2 份材料检测到 Yr18 标记，约占 2%；绵 06-367 等 33 份材料检测到 Yr26 标记，约占 37%；5 区 3 等 5 份材料同时检测到 Yr9 和 Yr17 标记；13/2-3-71 等 6 份材料同时检测到 Yr17 和 Yr26 标记；仅 12/川育 16 同时检测到 Yr18 和 Yr26 标记；共计 12 份材料同时检测到 2 个基因的标记，约占 13%。

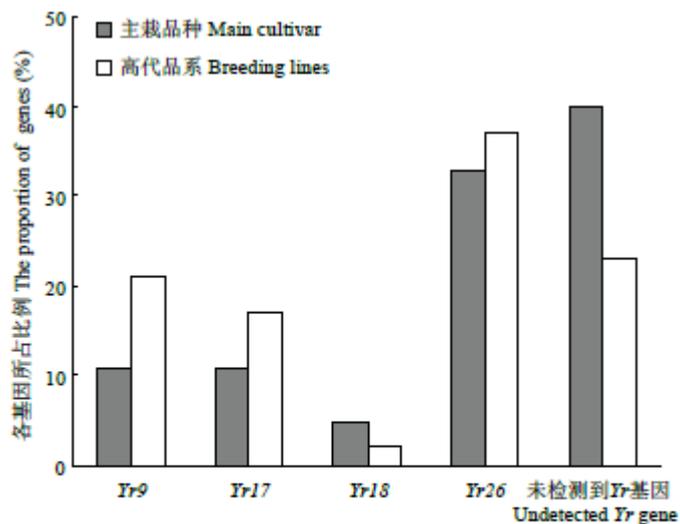


图 1 Yr 使用情况

Fig. 1 Used condition of Yr gene

表 2 重庆地区小麦抗条锈病抗性评价及抗病基因分析

Table 2 The evaluation of wheat resistance and resistance genes to stripe rust in Chongqing winter wheat region

编号 Number	小麦材料 Wheat entries	系谱 Pedigree	* 苗期反应型 Seedling infection type				* 成株期抗病表现 Infection type and disease severity at adult				抗锈评价 Resistance evaluation	* 推测 Yr Postulated Yr-genes
			CYR32	CYR33	V26/G22-9	V26/CM42	Y(2015)	Y(2016)	Y(2015)	Y(2016)		
1	渝麦 7 号 Yumai 7	川麦 84-2-91-125 Chuanyu84-2-91-125	8	9	9	1	S60	S60	MS20	S40	S	Yr-9
2	川麦 42 Chuannmai 42	SynCD768/SW3243//川 6415 SynCD768/SW3243//Chuan 6415	2	0	8	9	R10	S40	R20	S60	S	Yr-26
3	川麦 68 Chuannmai 68	99-1572-98-266//01-3570	2	0	9	9	R10	S40	R20	S40	S	Yr-26
4	川麦 104 Chuannmai 104	川麦 42/川麦 16 Chuannmai42/Chuannong16	3	1	8	9	R0	MS50	R0	MS40	S	Yr-26
5	绵阳 367 Mianyang 367	1275-1-99-1522	1	1	9	9	R10	S80	MR20	S80	S	Yr-26
6	绵 168 Mian 168	MTS-1/MR-168	9	2	9	9	S60	S80	MS50	S70	S	
7	蜀麦 969 Shumai 969	SEHW-L1/SW8188//川百 183/川麦 42 SEHW-L1/SW8188//Chuanyu183/Chuannmai42	9	2	9	9	MR30	MR40	MR20	MR40	APR	?
8	白麦 26 Changmai 26	3461/西昌 16 3461/Xichang16	9	9	0	3	MS40	MS50	MS50	MS60	S	Yr-9+Yr17+?
9	镇麦 1 号 Dianmai 1	Jan-81/Wx 聚 9 Jan-81/Wx fan9	9	9	9	9	S70	S60	S60	S80	S	Yr17
10	二峡麦 8 号 Saanxiama 8	980291980186	9	9	9	9	S90	S90	S60	S90	S	
11	糯麦 1 号 Nuomai 1	94058 矮 MS2/京糯 94058 at MS2/Jingnuo	9	9	9	9	MS60	S70	MS60	S60	S	Yr18+?
12	内麦 836 Neimai 836	5680-92R133	1	1	7	8	R10	MR20	R10	MR30	APR	Yr-26+?
13	川麦 60 Chuannmai 60	98-1231//蜀农 21/牛核 3295 98-1231//Guonong21/Shenghe 3295	1	1	7	7	R10	R20	R10	MR20	APR	?
14	西科麦 4 号 Xikemai 4	墨 460/9601-3 Mo 460/9601-3	1	3	9	9	R0	S30	R5	S30	S	Yr-26
15	渝麦 12 号 Yumai12	宛抗 42-97-3 Wankang 42-97-3	7	8	7	8	MS30	S30	S30	S30	S	
16	渝麦 13 号 Yumai13	川农 19/R3301 Chuannong 19/R3301	7	8	8	8	MS30	S40	MS30	S40	S	
17	渝麦 15 号 Yumai15	98767//蜀 9023/兰 4 98767//Zheng 9023/lan 4	3	1	8	9	MR10	S20	MR10	S40	S	
18	蜀麦 51 Shumai 51	1275-1-99-1522	1	3	9	9	R5	S80	R10	S80	S	Yr-26
19	川麦 125 Chuannmai 125	川麦 42/川麦 16 Chuannmai42/Chuannong16	3	0	7	9	R5	MR40	R0	MR20	APR	Yr-26+?
20	蜀麦 374 Shumai 374	1275-1-99-1522	2	0	0	2	MR30	MR40	MR30	MR50	ASR	?
21	西南 9 号 Xinan 9	未知 Unknown	1	9	9	9	MS10	S30	MS30	S60	S	
22	西南 216 Xinan 216	08L5070/内 2836 08L5070/Nei2836	9	2	9	1	S90	S60	MS50	MS30	S	Yr-9+?
23	西南 313 Xinan 313	08L5070/9K1941	9	9	9	2	MS30	S60	MS40	S70	S	Yr-9

续表 2 Continued table 2

编号 Number	小麦材料 Wheat entries	系谱 Pedigree	* 出苗反应谱 Seedling infection type			b 成株期抗病表现 Infection type and disease severity at adult			c 抗病评价 Resistance evaluation		d 推测 Yr Postulated Yr genes	
			CYR32	CYR33	V26/G22-9	V26/CM42	Y(2015)	Y(2016)	Y(2016)	Y(2016)		
24	西南 331	Xinan 331	7	8	9	2	MIR50	S60	MS60	S70	S	Yr9
	08L5070 锦 06-374	08L5070/Mian06-374										
25	二优 367	Eryou 367	2	0	9	9	R10	S60	R0	S70	S	Yr26
	C3710S/R367											
26	豫 6010	Luo 6010	9	9	9	9	S60	S80	S50	S70	S	
	原阳 1 号// (豫 152×82C6)F1 锦阳 21	原阳 1 号// (豫 152×82C6)F1/Minyang 21										
	Yuanyang 1// (Luo 152×82C6)F1/Minyang 21											
27	商内 27-23	Miannai 27-23	9	0	0	9	S90	S90	S80	S90	S	
	重庆内包麦内 2836	Chongqingnianbaomai/Nei2836										
28	南 30-7	Nan 30-7	2	0	9	1	R10	S40	R5	S50	S	Yr9+?
	16-1 豫早抗白粒 16-1/Panzaokangbaoli											
29	11 品 701	11 Pin 701	3	0	9	9	MIR30	S80	R10	S80	S	Yr26
	向 38/99116//川麦 42	Jian38/99116//Chuanmai42										
30	锦 168 选 5	Mian 168 xuan 5	9	9	9	2	S90	S90	S80	S90	S	Yr9
	锦采安 168 选系	Miansanai168xuanxi										
31	13/24-9 直叶	Zhiye 13/24-9	9	0	9	9	MS30	S70	MS30	S80	S	
	川农 19/R3301	Chuanrong19/R3301										
32	商内 10H27-1	Miannai 10H27-1	7	0	9	9	MS30	MS40	MS30	MS50	S	
	重庆内包麦内 2836	Chongqingnianbaomai/Nei2836										
33	锦 06-367	Mian 06-367	2	0	9	9	R10	S60	R5	MS60	S	Yr26
	1275-1/99-1522											
34	川麦 42M	Chuanmai 42M	3	0	0	1	R10	MIR20	R5	MR40	ASR	?
	未知	Unknown										
35	04 锦 CM42	04Mian CM42	9	9	9	9	S60	S70	S60	S90	S	
	西南 04 锦阳 26//川麦 42											
	Xinan04/Minyang26//Chuanmai42											
36	13 品 6	13 Pins 6	0	0	9	9	R10	S50	R10	S60	S	
	99116/萍冰 3504//川麦 104											
	99116/Pubing3504//Chuanmai104											
37	13/84 川大穗	Chuanchusui 13/84	2	1	7	9	R0	S40	MIR20	MS60	S	Yr26
	未知	Unknown										
38	川 07217	Chuan 07217	0	0	9	9	R0	S70	R10	S80	S	Yr26
	98-1231//晋农 21/牛核 3295											
	98-1231//Guinong21/Shenghe3295											
39	内 2836	Nei 2836	0	9	9	9	MS40	MS50	MS40	S40	S	
	5680/92R133											
40	商 30-2	Nan 30-2	2	0	9	9	R10	MS30	R0	MS20	S	Yr26
	16-1 豫早抗 16-1/Panzaokang											
41	11 品 1611	11 Pin 1611	2	9	9	9	MS50	S60	MS40	S70	S	
	内麦 8 号/向 3//川麦 42											
	Neimai 8/Jian3//Chuanmai42											
42	川 13071	Chuan 13071	2	2	2	1	MIR20	MIR30	MIR10	MR40	ASR	?
	L239-248-5/07225											
43	德 102	De 102	9	9	9	2	S90	S70	MS60	S90	S	Yr9
	引选 11-12/(882-191×德麦 3 号)											
	Yinxuan11-12/(882-191×Demai 3)											
44	商 12 品 B991	Nan12pin B991	0	0	9	9	MIR30	S60	R20	S60	S	Yr26
	30-9-1/04-2-33											
45	14 批 26	14Zhan 26	2	0	0	0	R0	R10	R0	MR40	ASR	?
	川育 23/川育 19	Chuanyu23/Chuanyu19										

续表 2 Continued table 2

编号 Number	小麦材料 Wheat entries	系谱 Pedigree	* 苗期反应型 Seedling infection type				b 成株期抗病表现 Infection type and disease severity at adult		c 抗病评价 Resistance evaluation		d 推测 Yr Postulated Yr genes	
			CYR32	CYR33	V26/G22-9	V26/CM42	Y(2015)	T(2015)	Y(2016)	T(2016)		
46	川 12147 Chuan 12147	L239-248-5/07225	2	0	2	2	R0	R10	R5	MR30	ASR	?
47	绵 12Z63 Mian 12Z63	新麦 9534 / (选选 4212/1971-9834) Xinmai9534 / (Yixuan4212/1971-9834)	1	0	7	9	R0	S60	R0	MS50	S	Yr-26
48	川 14 品 16 Chuan14pin 16	99116/川麦 43//重组 104 99116/Chuanmai43//Chengzu104	0	0	9	9	R0	MS50	R0	S80	S	Yr-26
49	川 13015 Chuan 13015	06008/USW161//川 07005 06008/USW161//Chuan 07005	9	9	9	9	MR40	MR30	MR20	MR40	APR	Yr18
50	15 区 03 15Qu 03	未知 Unknown	9	9	9	1	S90	S70	S60	S80	S	Yr9+Yr17
51	15 区 04 15Qu 04	LB-78/R725	9	9	9	2	S80	S60	S50	S80	S	Yr9+Yr17
52	15 区 05 15Qu 05	未知 Unknown	9	9	9	1	S70	S80	MS40	S80	S	Yr9
53	西 2474 Xi 2474	晋引 3570/西日 9 号 Shengyin3570/Xichang 9	1	0	0	1	MR40	MS30	R10	MS50	S	Yr17+?
54	12/川晋 16 12/Chuanyu 16	(30020/8619-10) /晋麦 30 (30020/8619-10)/Jinmai30	1	0	9	9	MS10	S40	MR20	S50	S	Yr18+Yr-26
55	10 问 236 10Jian 236	问 38/99116//川麦 42 Jin38/99116//Chuanmai42	2	0	7	9	R0	MS60	R5	MS40	S	Yr-26
56	川 11 品 6 Chuan11pin 6	未知 Unknown	9	9	9	2	MS50	S60	MS30	S70	S	Yr9
57	西南 314-1 Xinan 314-1	08L5070-06376	0	0	7	1	R10	MR30	R0	MR40	APR	Yr9+?
58	渝 1318 Yu 1318	02321//G01-37/绵阳 26 02321//G01-37/Mianyang26	7	9	9	9	MS50	MS40	MS40	MS60	S	Yr17
59	12C16-11	未知 Unknown	0	0	7	9	MR20	S40	MR20	S50	S	Yr-26
60	CN16 纯系 Chuanxi CN16	川农 16 系选 Chuanmoung16 xixuan	9	9	9	2	MS40	S60	MS30	S50	S	Yr9
61	9K1941 选 Chi 9K1941	豫苏 3/绵阳 26 Aisa3/Mianyang26	9	9	9	9	S70	S80	S40	S80	S	Yr-26
62	MR168	绵阳 96-5/江春 10 号 Mianyang96-5/Liaochun10	2	0	9	9	R10	S90	R10	S80	S	Yr-26
63	CN04-2	未知 Unknown	9	2	9	2	MS40	S60	MS30	S70	S	Yr9+Yr17+?
64	12C06	S3101	9	1	9	9	S60	S70	S40	S80	S	
65	11P6-8	99-1572/SW8688/01-3570	7	1	9	9	S70	S80	S40	S80	S	
66	13/W138	W18/绵阳 26 W18/Mianyang 26	0	0	9	9	MR20	MR40	MR20	MR40	APR	?
67	SW12011	郑 005.2*1522 Zheng 005.2*1522	3	0	9	9	MR20	MS60	MR20	MS50	S	Yr-26
68	13IV11-5-1	未知 Unknown	3	1	9	9	MR20	S60	MR20	S60	S	Yr-26

续表 2 Continued table 2

编号 Number	小麦材料 Wheat entries	系谱 Pedigree	* 出苗反应型 Seedling infection type			b 成株期抗病表现 Infection type and disease severity at adult plant stage			c 抗病评价 Resistance evaluation	d 推测 Yr Postulated Yr genes		
			CYR32	CYR33	V26/G22-9	V26/CM42	Y(2015)	T(2015)			Y(2016)	T(2016)
69	13CIV11-4-4	未知 Unknown	3	0	7	9	MR30	S70	MR20	S70	S	Yr-26
70	13/10I-25	12/7AII-12	9	0	9	2	S90	S90	S60	S90	S	Yr9+?
71	13P1204	9/19-3-7	9	9	9	9	S90	S90	S70	S90	S	
72	13-2-4-7	11/3-14-30	9	7	9	1	MS10	S30	MS40	S60	S	Yr-9
73	13-2-3-71	2-4-1-103	2	0	9	9	MS50	S40	MS60	S80	S	Yr17+Yr26+?
74	08Z8	986/黄表 2	1	0	9	9	R20	MS30	R10	MS50	S	Yr-26
75	B2183	Tai1014/2000 同 175	0	0	9	9	R10	MR20	R20	MR60	APR	?
76	13-9-11-106	08L5070 天然杂交	0	7	9	9	MR20	MS40	MS40	MS60	S	
77	13IV11-4-4	未知 Unknown	2	0	9	9	MR30	MS60	MR30	S70	S	Yr-26
78	13P1113	未知 Unknown	9	0	9	2	MS70	MS40	MS40	MS50	S	Yr9+?
79	13P1166	11/9-9-55	9	0	9	9	MS60	S60	MS30	S70	S	
80	MY11-14	2273-7/030484	3	0	9	9	MR20	S60	MR30	MS60	S	
81	BL228	1275-1/内 2938/99-1522	3	0	9	9	MR20	S60	MR30	S70	S	Yr-26
82	13P1170	11/9-9-68	0	9	9	9	S70	S80	S60	S90	S	
83	13P1023	未知 Unknown	9	7	9	1	MS40	S60	S60	S70	S	Yr9+Yr17
84	13P1052	未知 Unknown	0	0	9	9	R10	MS30	R10	MS40	S	Yr17+Yr26
85	13P1114	未知 Unknown	9	7	9	2	S60	S70	S60	S80	S	Yr-9
86	J36	川麦 42/川育 16/Yr10NIL	2	0	9	9	R10	MS40	R10	MS40	S	Yr17+Yr26
87	K152-2	Chuanmai42/Chaanyu 16/Yr10NIL	9	9	9	9	S80	S90	S60	S90	S	
88	Q7005	郫角黄/绵阳 26	0	1	9	9	MR20	S60	R10	S60	S	Yr-26
89	9K1941	98-1231/Guihong21/Shenghe3295	9	9	9	9	MS30	S60	MS40	S60	S	
90	7AII-0	疑苏 3/绵阳 26	3	2	9	9	MR30	S60	MR20	S80	S	Yr-26
91	14/13P1117	未知 Unknown	9	0	9	9	S70	S80	S60	S80	S	

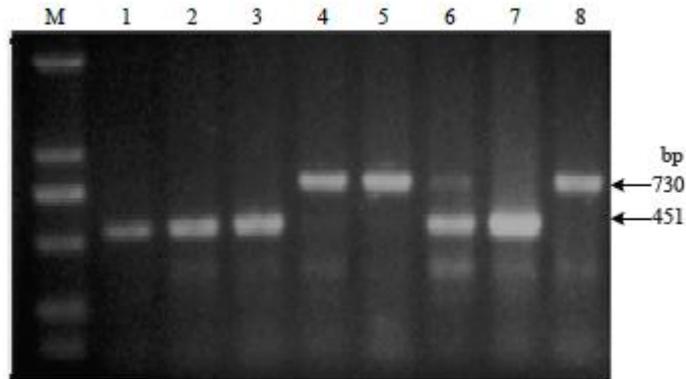
续表 2 Continued table 2

编号 Number	小麦材料 Wheat entries	系谱 Pedigree	a 苗期反应型 Seedling infection type			b 成株期抗病表现 Infection type and disease severity at adult plant stage			c 抗病评价 Resistance evaluation	d 推测 Yr Postulated Yr genes			
			CYR32	CYR33	V26/G22-9	V26/CM42	Y(2015)	Y(2016)			T(2016)		
92	O7225	98-1231//黄衣 21//生株 3295	0	2	9	9	MS50	S70	MR40	S80	S	Yr26+?	
93	N08-51	98-1231//Guinong21//Shenghe3295	2	0	9	9	MR40	S60	MR30	S60	S	Yr26	
94	11P4-1	N711//N24M1	1	0	9	9	MR60	S70	MR40	S80	S	Yr26	
95	SW8157	99-1572/98-266//01-3570	0	0	2	1	R0	MR30	R10	MR40	ASR	?	
96	13C38	1572/8488	1	0	0	3	R0	MR40	R5	R20	ASR	?	
97	R802	中植 3586/50669//98(0)/11020	2	0	9	9	R10	MS40	R10	MS50	S	Yr17+Yr26	
98	13P2-6	Zhongzhi 3586/50669//98(0)/11020	9	1	2	1	S50	MS30	S40	MS30	S	Yr17+?	
99	R801	03FR1349-1/54789//川麦 27	9	9	9	9	S60	S70	S70	S80	S	Yr17	
100	13P2-10	03FR1349-1/54789//川麦 27 (黄衣 21//SW3243) F ₁ //川麦 42//川麦 44) F ₁ (Guinong21//SW3243)F ₁ //(Chuanmai42//Chuanmai 44)F ₁	1	0	9	9	MR30	MS40	MR20	MR20	S60	S	Yr17+Yr26
101	W168	Unknown	2	0	9	9	MR10	MS30	MR20	MS40	S	Yr17+Yr26	
102	W1718	W17/W18//川麦 42 W17/W18//Chuanmai42	1	2	1	0	R0	MR30	R5	MR20	ASR	?	
103	13C106WX	未知 Unknown	9	8	9	9	S60	S70	S60	S80	S		
104	13/A3035	未知 Unknown	2	0	9	9	MR50	MS40	MR40	S60	S	Yr26	
105	12A7036	未知 Unknown	9	0	0	0	MR10	MR50	MR30	MR60	APR	?	
106	14C01	未知 Unknown	9	7	9	2	MS40	MS50	MS20	S60	S	Yr9+Yr17	
107	WX	13//11后 2-1 13//11Hou2-1	0	0	9	9	R0	MS30	R10	S60	S	Yr26	
抗病数量 No. of resistant type			62	72	13	32	59	17	59	17			
感病数量 No. of susceptible type			45	35	94	75	48	90	48	90			

a 数值代表反应型。b Y: 杨凌, T: Tianshui. The number indicates severity. Infection type: R: Resistance, MR: Moderately resistant, MS: Moderately susceptible, S: Susceptible. c ASR: All-stage resistance, APR: Adult plant resistance, S: Susceptible. d +, -, ? : 含有未知基因

* 数值代表反应型。b Y: 杨凌, T: 天水, 数值代表严重度; 抗病反应型中, R: 抗病, MR: 中抗, MS: 中感, S: 感病。c ASR: 全生育期抗性; APR: 成株期抗性; S: 感病。d +, -, ? : 含有未知基因

* The number indicates infection type. b Y: Yangling, T: Tianshui. The number indicates severity. Infection type: R: Resistance, MR: Moderately resistant, MS: Moderately susceptible, S: Susceptible. c ASR: All-stage resistance, APR: Adult plant resistance, S: Susceptible. d +, -, ? : 含有未知基因



M: DS100 Marker; 1: 川麦 42; 2: 川麦 104; 3: 绵麦 367; 4: 绵 168; 5: 川麦 60; 6: 西科麦 4 号; 7: Yr26/6*Avocet S; 8: Avocet S
M: DS100 Marker; 1: Chuanmai 42; 2: Chuanmail04; 3: Mianmai 367; 4: Mian 168; 5: Chuanmai 60; 6: Xikemai 4; 7: Yr26/6*Avocet S; 8: Avocet S

图 2 WE173 检测部分小麦材料的 *Yr26* 电泳图

Fig. 2 The PCR products of WE173 for *Yr26* detection

3 讨论

3.1 重庆麦区在中国小麦条锈病大区流行中的地位

四川盆地是中国小麦条锈菌重要的冬繁区，在条锈病大区流行中具有重要地位^[2,4]。由于其亚热带季风性湿润气候，“温暖”冬季最低气温平均为 6—8℃，因此，晚秋（10 月下旬至 11 月初）播种的小麦始终保持生长，为条锈菌大量繁殖提供了机会。与越冬区“迁徙式”侵染增殖方式不同，冬繁区的条锈菌，从 11 月至翌年 3 月，可“定居”在同一品种上持续发生多次自侵染循环（poly cyclic disease with autoinfection），一方面强化了病原菌适应性进化（淘汰适应性差的个体）；另一方面，小麦品种依据其所携带 Yr 基因，选择性地使与之有匹配毒性的条锈菌小种得以快速大量增殖。位于四川盆地东南部的重庆地区（东经 105° 17′ —110° 11′、北纬 28° 10′ —32° 13′），是来自陇南和川西北“东进”菌源和来自云贵“北上”菌源的冬季繁殖汇聚地^[5, 32, 34-36]，往往于 1 月中下旬条锈病显症，2 月出现发病中心，3 月初条锈病发病面积可达 2 万 hm² 左右，4 月下旬感病最严重，感病面积达 4 万 hm² 左右。这些感病麦田无疑产生大量条锈菌的夏孢子，随气流向东部黄淮和长江中下游麦区传播。众所周知，3—4 月期间，正好是中国东部广大麦区小麦返青、拔节-抽穗期，如果接受到冬繁区的菌源，必将导致更大规模的条锈病流行^[2-3]。作为条锈菌菌源输出地的重庆麦区，对于春季向各地流行区输出菌源结构有关键性影响。因此，重庆地区推广的主栽品种应具备两方面的职能：（1）减少春季流行区菌源量；（2）稳定病原菌毒性小种的群体结构，特别要避免对新毒性小种进行“选择性”放大增殖，否则将导致条锈病大区流行。因此，重庆麦区小麦品种应具有苗期抗病性，且所用主效抗病基因必须多样化，同时必须有别于菌源越冬易变区小麦品种。

3.2 当前重庆地区小麦品种（系）的抗条锈病水平

本研究对重庆麦区主栽品种和高代品系共 107 份材料进行苗期和成株期抗条锈性鉴定，结果表明，参鉴的 18 份主栽品种中，3 份表现为成株期抗性，15 份表现为感病；在 89 份高代品系材料中，仅有 8 份表现为全生育期抗性，6 份表现为成株期抗性，其余 75 份表现为感病。苗期分小种鉴定结果表明，57 份材料对当前的流行小种 CYR32 和 CYR33 具有抗性，然而，当鉴定小种中加入来自四川小麦品种川麦 42 标样分离的新菌系 V26/CM42 和来自甘肃天水小麦抗源贵农 22 标样分离的 V26/G22 新菌系后，分别仅有 11 份和 9 份保持苗期抗性，且均为高代品系材料。表明重庆麦区当前小麦品种（系）苗期抗条锈病性水平整体较低，这

意味着一定气候条件合适, 90%以上的小麦品种(系)都可以成为各小种的哺育品种, 将为东部广大麦区提供春季流行菌源。综合苗期和成株期鉴定结果, 该地区小麦品种(系)对当前流行小种的整体抗锈性水平偏低, 因此, 目前, 乃至相当长一段时间, 很难通过品种抗病性来有效降低冬繁区输出的菌源量。建议在有效压缩感病品种面积的同时, 在条锈病准确预测、预报基础上, 加强化学防控。

3.3 重庆地区小麦品种(系)抗条锈病基因应用状况

重庆小麦抗条锈病基因的布局, 在考虑保证当地小麦安全生产的同时也要顾及全国条锈病流行的大局。本研究集抗病表现, 分子检测结果和品种(系)系谱追踪进行综合分析, 在107份重庆小麦品种(系)中, 39份鉴定出携带Yr26, 约占36%, 根据这些材料的系谱分析, 发现Yr26载体品种主要有川麦42、人工合成小麦及贵农系列, 对小种CYR32、CYR33表现抗性, 随着对Yr26有毒性的小种V26/G22-9和V26/CM42出现, 其苗期和成株期抗性相应丧失, 与系谱分析和参试小种的毒性基因分析一致。当前新毒性小种V26对Yr26和Yr10都具备毒性^[15], 然而重庆地区Yr26应用于过于频繁, 当对Yr26有毒性的新小种出现时, 易导致该地麦区大面积抗性丧失, 甚至波及东部麦区的生产安全, 导致新毒性小种大区流行, 这一现实值得育种家们重视。Yr9和Yr17分别在参鉴品种中约占20%和16%, 鉴定结果显示Yr9对V26/CM42仍具有抗性, 而Yr17已经完全丧失抗性, 与参试小种的毒性基因分析一致。在分子检测过程中, 虽然发现了一些基因聚合和品种在应用, 但是在新小种的侵染下, 仍然不具备抗病能力。此外, 可能还有未知基因的具备全生育期抗性的绵麦374、川13071等8份材料, 对新的毒性小种V26/G22-9和V26/CM42依然保持良好抗性, 对当地小麦抗锈育种和安全生产具有重大的应用潜力。

3.4 重庆地区小麦品种(系)培育方向

重庆地区小麦品种(系)抗条锈水平普遍偏低, 主栽品种尤为严重, 未发现全生育期抗性的材料, 小麦条锈菌可以继续扩大繁殖, 可为春季流行区提供充足菌源。参鉴的高代品系材料总体抗性水平比主栽品种有所提高, 建议加强全生育期抗性品种的选育, 并合理搭配使用避免大面积种植单一抗性基因品种, 尽可能实现品种抗病基因多样化^[37], 减缓病菌的繁殖和积累, 减少优势小种的出现频率。作为重要的小麦条锈菌冬繁区, 重庆地区可通过合理布局抗病基因, 稳定病原菌毒性小种的群体结构, 降低新流行小种的产生频率, 遏制新毒性小种的哺育及向春季流行区传播, 避免其危害黄淮海和长江中下游麦区。建议对重庆麦区主栽品种(系)进行多年多点的抗病鉴定和评价, 在了解材料中所含抗病基因的基础上^[38], 选有限的主效抗病基因, 特别是一些具有全生育期抗病性新基因的使用, 淘汰严重感病的品种, 压缩主栽品种川麦42、绵麦367等感病材料的使用面积, 推迟新致病小种的产生和蔓延, 进一步优选新的高抗品种来提高小麦抗病育种的整体水平。

4 结论

重庆地区小麦品种(系)抗条锈性整体水平极度偏低, 必须挖掘具有全生育期抗病性的新抗源, 加强条锈病病害的预报和化学防治, 以减少春季流行区菌源量, 避免大区流行; Yr26过于单一使用, 建议加强抗病基因多样化, 利用多基因聚合等手段聚合Yr5、Yr15和其他新的有效全生育期抗病基因, 以及加强如Yr18等成株期抗病基因的使用, 提高抗病性, 稳定病原菌毒性小种的群体结构。

参考文献

- [1] RAPILLY F. Yellow rust epidemiology. *Annual Reviews of Phytopathology*, 1979, 17: 59-73.
- [2] 李振岐, 曾士迈. 中国小麦锈病. 北京: 中国农业出版社, 2002: 370-373.
- [3] ZENG S M, LUO Y. Long-distance spread and interregional epidemics of wheat stripe rust in China. *Plant Disease*,

2006, 90(8):980-988.

[4] HAN D J, WANG Q L, CHEN X M, ZENG Q D, WU J H, XUE W B, ZHAN G M, HUANG L L, KANG Z S. The emerging Yr26-virulent races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* are threatening the wheat of wheat in China during 1991-1996. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1999, 29(1): 15-21.

[11] LI Q, XIA T, LI J J. Determination of pathogenic range of T4 new strains of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* to 'Zhou4'. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2011, 41(6): 604-610.

[12] KANG Z S, ZHAO J, HAN D J, ZHANG H C, WANG C F, HAN Q M, GUO J, HUANG L L. Status of wheat rust research and control in China//BGRI 2010 Technical Workshop Oral Presentations. St Petersburg, Russia, 2010(5): 1-21.

[13] 韩德俊, 王琪琳, 张立, 魏国荣, 曾庆东, 赵杰, 王晓杰, 黄丽丽, 康振生. “西北-华北-长江中下游”条锈病流行区系当前小麦品种(系)抗条锈病性评价. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2889-2896.

[14] LIU T G, PENG Y L, CHEN W Q, ZHANG Z Y. First detection of virulence in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China to resistance genes Yr24 (=Yr26) present in wheat cultivar Chainmail 42. *Plant Disease*, 2010, 94(9): 1163.

[15] 刘太国, 章振羽, 刘博, 高利, 彭云良, 陈万权. 小麦抗条锈病基因 Yr26 毒性小种的发现及其对我国小麦主栽品种苗期致病性分析. *植物病理学报*, 2015(1):41-47.

[16] YAN G P, CHEN X M, LINE R F, WELLINGS C R. Resistance gene-analog polymorphism markers co-segregating with the Yr5 gene for resistance to wheat stripe rust. *Theoretical and Applied Genetics*, 2003, 106(4): 636-643.

[17] SMITH P H, KOEBNER R, BOYD L A. The development of a STS marker linked to a yellow rust resistance derived from the wheat cultivar Moro. *Theoretical and Applied Genetics*, 2002, 104(8):1278-1282.

[18] MURPHY L R, SANTRA D, KIDWELL K, YAN G, CHEN X, CAMPBELL K G. Linkage maps of wheat stripe rust resistance genes Yr5 and Yr15 for use in marker-assisted selection. *Crop Science*, 2009, 49(5): 1786-1790.

[19] BARIANA H S, MCINTOSH R A. Characterization and origin of rust and powdery mildew resistance genes in VPML wheat. *Euphytica*, 1994, 76(1/2): 53-61.

[20] LAGUDAH E S, KRATTINGER S G, HERRERA-FOESSEL S, SINGH R P, HUERTA-ESPINO J, SPIELMEYER W, BROWNGUEDIRAG, SELTER L L, KELLER B. Gene-specific markers for the wheat gene Lr34/Yr18/Pm38 which confers resistance to multiple fungal pathogens. *Theoretical and Applied Genetics*, 2009, 119(5):889-898.

[21] 曾庆东, 吴建辉, 王琪琳, 韩德俊, 康振生. 持久抗病基因 Yr18 在中国小麦抗条锈育种中的应用. *麦类作物学报*, 2012(1): 13-17.

[22] WANG C M, ZHANG Y P, HAN D J, KANG Z S, LI G P, CAO AZ, CHEN P D. SSR and STS markers for wheat stripe rust resistance gene Yr26. *Euphytica*, 2008, 159(3): 359-366.

-
- [23]周新力, 詹刚明, 黄丽丽, 韩德俊, 康振生. 80 份国外春小麦种质资源抗条锈性评价. 中国农业科学, 2015, 48(8): 1518-1526.
- [24]MCNEAL F H, KONZAC C F, SMITH E P, TATE W S, RUSESLT S. A uniform system for recording and processing cereal research data//Agricultural Research Service Bulletin. Washington: United States Department of Agriculture, 1971: 34-121.
- [25]TESTER M, LANGRIDGE P. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. Science, 2010, 327(5967): 818-822.
- [26]LOWE I, JANKULOSKI L, CHAO S, CHEN X, SEE D, DUBCOVSKY J. Mapping and validation of QTL which confer partial resistance to broadly virulent post-2000 North American races of stripe rust in hexaploid wheat. Theoretical and Applied Genetics, 2011, 123(1): 143-157.
- [27]魏国荣, 韩德俊, 赵杰, 王晓杰, 王琪琳, 黄丽丽, 康振生. 小麦成株期抗条锈病种质筛选与评价. 麦类作物学报, 2011(2): 376-381.
- [28] PETERSON R F, CAMPBELL A, HANNAH A. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. Canadian Journal of Research, 1948: 426-496.
- [29] ZENG Q D, HAN D J, WANG Q L, YUAN F P, WU J H, ZHANG L, WANG X J, HUANG L L, CHEN X M, KANG Z S. Stripe rust production in the Sichuan basin, China. Plant Disease, 2015, 99(6):754-760.
- [5]杨宇衡, 宿巧燕, 王泽乐, 周天云, 刘祥贵, 毕朝位, 余洋, 康振生. 重庆市小麦条锈病发生规律和影响因素分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016(9):151-157.
- [6]张培禹, 曾庆东, 王琪琳, 康振生, 韩德俊. 四川盆地小麦品种(系)抗条锈性鉴定与评价. 麦类作物学报, 2012(4): 779-783. ZHANG P Y, ZENG Q D, [7] 卢建文, 李伯群. 重庆小麦产业的现状问题及对策. 南方农业, 2014(22): 49-51.
- [8]LINE R F, CHEN X M. Successes in breeding for and managing durable resistance to wheat rusts. Plant Disease, 1995, 79(12):1254-1255.
- [9]ZENG S M, ZHANG Z S. Epidemiology Research for Plant Resistance Breeding. Beijing: Science Press, 1988.
- [10] WAN A M, NIU Y C, WU L R. Physiologic specification of stripe rust resistance and genes in Chinese wheat cultivars and breeding lines. Euphytica, 2014, 196(2): 271-284.
- [30]ZHANG X J, HAN D J, ZENG Q D, DUAN Y H, YUAN F, SHI J, WANG Q, WU J, HUANG L, KANG Z. Fine mapping of wheat stripe rust resistance gene Yr26 based on collinearity of wheat with brachypodium distachyon and rice. PLoS ONE, 2013, 8: e578853.
- [31]HILL-AMBROZ K L, BROWN-GUEDIRA G L, FELLERS JP. Modified rapid DNA extraction protocol for high throughput microsatellite analysis in wheat. Crop Science, 2002, 42(6):2088-2091.

[32]BROWN J, HOVMOLLER M S. Epidemiology-aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. *Science*, 2002, 297(5581): 537-541.

[33]王付平, 詹刚明, 魏国荣, 黄丽丽, 康振生, 韩青梅. 陇南不同区域内两个小麦品种上条锈菌群体的毒性分析. *麦类作物学报*, 2014(8): 1146-1152.

[34]CHEN W Q, XIE S X. In *Research Progress in Plant Protection and Plant Nutrition*. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 276-277.

[35]CHEN W Q, KANG Z S, MA Z H, XU S C, JIN S L, JIANG Y. Integrated management of wheat stripe rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China. *Agricultural Sciences in China*, 2013(46): 4254-4262.

[36]陈万权, 徐世昌, 吴立人. 中国小麦条锈病流行体系与持续治理研究回顾与展望. *中国农业科学*, 2007, 40(增刊 1): 177-183.

[37]WU L R, NIU Y C. Strategies of sustainable control of wheat stripe rust in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(5): 46-54.

[38]刘太国, 邱军, 周益林, 徐世昌, 陈怀谷, 刘艳, 高利, 刘博, 郑传临, 陈万权. 中国冬小麦区域试验品种抗病性评价. *中国农业科学*, 2015, 48(15): 2967-2975.