

小麦叶锈病新抗源筛选

刘 成¹, 闫红飞², 宫文萍¹, 李光蓉¹, 刘大群², 杨足君¹

(¹ 电子科技大学生命科学与技术学院, 成都 610054; ² 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000)

摘要: 小麦叶锈病是小麦生产的主要病害之一, 发病严重时往往导致大幅度减产。叶锈菌生理小种的变异易导致抗病基因抗性的丧失, 因此不断获得新抗源对小麦抗病育种至关重要。小麦近缘植物中含有丰富的小麦育种所需的抗病基因。本研究从小麦-近缘植物双二倍体、附加系、代换系或易位系等创新种质中筛选出小麦叶锈病新抗源, 为利用这些新抗源打下基础。苗期对 116 份供试材料人工接种美国堪萨斯州流行的小麦叶锈菌混合生理小种 (Lrcomp), 其中部分材料人工接种 09-9-1441-1 等 5 个中国当前流行的叶锈菌生理小种进行抗性鉴定, 筛选获得新抗源。116 份种质中, 31 份免疫、近免疫或高抗 Lrcomp。含有希尔斯山羊草、尾状山羊草、拟斯卑尔脱山羊草、两芒山羊草、卵穗山羊草、沙融山羊草、柱穗山羊草、顶芒山羊草、小伞山羊草、偏凸山羊草、中间偃麦草、草毛偃麦草、长穗偃麦草、粗穗披碱草、栽培黑麦、非洲黑麦、提莫菲维小麦染色质的部分种质免疫或高抗 Lrcomp, 而含二角山羊草、无芒山羊草、沙生冰草、多年生簇毛麦和 1 年生簇毛麦染色质的种质表现中感至高感 Lrcomp。希尔斯山羊草 4S 染色体、尾状山羊草 C#1 和 D#1 染色体和两芒山羊草、顶芒山羊草中可能含有未被报道的抗 Lrcomp 的新基因, 值得进一步向小麦转育。小麦-粗穗披碱草 1H'S. 1BL 罗伯逊易位系对 Lrcomp 及 09-9-1441-1 和 09-9-1426-1 等 5 个中国当前流行叶锈菌生理小种近免疫, 值得利用染色体工程等方法获得小片段抗病易位系应用于我国小麦抗叶锈育种。

关键词: 小麦叶锈病; 山羊草; 簇毛麦; 披碱草; 新基因

Screening of New Resistance Sources of Wheat Leaf Rust

LIU Cheng¹, YAN Hong-fei², GONG Wen-ping¹, LI Guang-rong¹, LIU Da-qun², YANG Zu-jun¹

(¹ School of Life Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054;

² College of Plant Protection, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000)

Abstract: Wheat leaf rust, one of the most major diseases of wheat, greatly reduce wheat yield when wheat cultivars are infected. It is important to continuously screen and obtain new resistance sources for wheat breeding due to the resistance losses caused by mutant of leaf rust races. Wheat-relatives harbor resistance gene(s) which could be transferred to wheat for wheat breeding purpose. In this research, we screened and characterized new leaf rust resistance sources from wheat-relatives amphidiploids, additions, substitutions and translocations for further using these germplasm. Leaf rust complex isolates (Lrcomp) (from Kansas State) and 09-9-1441-1 etc. five leaf rust isolates (from China), were inoculated to germplasm at seedling stage, and were scored for infection types. Total 31 from 116 germplasm are immune or highly resistant to Lrcomp. Part of germplasm included *Aegilops searsii*, *Ae. caudate*, *Ae. speltoide*, *Ae. biuncialis*, *Ae. geniculata*, *Ae. sharonensis*, *Ae. peregrina*, *Ae. comosa*, *Ae. umbellulata*, *Ae. ventricosa*, *Thinopyrum intermedium*, *Th. intermedium* ssp. *trichophoru*, *Th. elongatum*, *Elymus trachycaulus*, *Secale cereale*, *S. africanum* or *Triticum timopheevii* chromatin are immune or highly resistant to Lrcomp, while germplasm which contain *Ae. bicornis*, *Ae. mutica*, *Agropyron scirpeum*, *Dasypyrum breviaristatum* or *D. villosum* chromatin are susceptible to Lrcomp. *Aegilops searsii* 4Sⁿ chromosome, *Ae. caudate* C#1 and D#1 chromosomes, and *Ae. biuncialis*, *Ae. comosa*

收稿日期: 2012-11-25 修回日期: 2013-01-12 网络出版日期: 2013-08-09

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20130809.1446.026.html>

基金项目: 国家自然科学基金(31171542; 31201203); 中国博士后基金(Y02006023601261); 中央高校基本业务费(ZYGX2011J095); 河北省留学人员科技活动项目择优资助项目(20120340)

第一作者研究方向为植物分子遗传。E-mail: liucheng@uestc.edu.cn; 闫红飞为共同第一作者

通信作者: 杨足君, 研究方向为植物分子细胞生物学。E-mail: yangzujun@uestc.edu.cn

may harbor new wheat leaf rust resistance gene which need further research. Wheat-*E. trachycaulus* Robertsonian translocation line 1H'S. 1BL, nearly immune to Lrcomp and other five leaf rust isolates indicating that it is worth to make small chromosome translocation by chromosome engineering for wheat breeding purpose.

Key words: wheat leaf rust; *Aegilops*; *Dasypyrum*; *Elymus*; new gene

小麦叶锈病由小麦叶锈菌(*Puccinia triticina*)引起,是小麦的主要病害之一。小麦叶锈病为气流传播,环境适宜时可在短期内造成大面积流行,一般可导致小麦减产 10% ~ 30%,且在发病严重的年份导致的损失甚至超过小麦条锈或秆锈病造成的损失^[1]。据统计,中国每年小麦约有 0.23 亿 hm² 种植面积,其中约有 0.15 亿 hm² 会感染叶锈病,特别是西南、西北麦区和长江中下游等麦区^[1],加强对小麦叶锈病的控制对提高小麦产量有重要意义。培育抗病小麦品种是解决小麦抗病性差的最为经济有

效的途径。然而小麦叶锈菌的变异常导致新小种的不断出现,因此必须不断的发掘新的抗源才能应对生理小种的变异以及抗病品种抗性的丧失问题^[2]。我国已经开展了小麦生产品种的抗锈性鉴定及相关功能基因的研究^[3-4]。小麦近缘植物常含有优良的抗性基因,是小麦育种的优异基因源^[5]。迄今为止,小麦抗叶锈病基因已被正式命名至 *Lr68*(表 1),其中, *Lr40*、*Lr41* 和 *Lr43* 已被删除, *Lr1*^[6]、*Lr10*^[7]、*Lr21*^[8] 和 *Lr34*^[9] 已被克隆。来源于小麦近缘植物的 25 个抗叶锈病基因转移到小麦背景中,其中 17 个

表 1 正式命名的 68 个小麦抗叶锈病基因的来源及所在染色体位置

Table 1 Sources and chromosome locations of 68 officially designated leaf rust resistance genes

基因 Gene	来源 Source	定位 Localization	基因 Gene	来源 Source	定位 Localization
<i>Lr1</i>	Malakoff	5DL	<i>Lr34</i>	Terenzio	7DS
<i>Lr2a</i>	Webster	2DS	<i>Lr35</i>	<i>Ae. speltoides</i>	2B
<i>Lr2b</i>	Carina	2DS	<i>Lr36</i>	<i>Ae. speltoides</i>	6BS
<i>Lr2c</i>	Brevit	2DS	<i>Lr37</i>	<i>Ae. ventricosa</i>	2AS
<i>Lr3a</i>	Democrat	6BL	<i>Lr38</i>	<i>Th. intermedium</i>	2AL
<i>Lr3b</i>	Bage	6BL	<i>Lr39</i>	<i>Ae. tauschii</i>	2DS
<i>Lr3c</i>	Klein Aniversario	6BL	<i>Lr40</i> (deleted)	= <i>Lr21</i>	
<i>Lr4-8</i>	Waban	—	<i>Lr41</i> (deleted)	= <i>Lr39</i>	
<i>Lr9</i>	<i>Ae. umbellulata</i>	6BL	<i>Lr42</i>	<i>Ae. tauschii</i>	1D
<i>Lr10</i>	Lee	1AS	<i>Lr43</i> (deleted)	Wrongly based on a gene combination	
<i>Lr11</i>	Hussar	2A	<i>Lr44</i>	<i>T. spelta</i> 7831	1B
<i>Lr12</i>	Exchange	4BS	<i>Lr45</i>	<i>S. cereale</i>	2AS
<i>Lr13</i>	Frontana	2BS	<i>Lr46</i>	Pavon F76	1BL
<i>Lr14a</i>	Selkirk	7BL	<i>Lr47</i>	<i>Ae. speltoides</i>	7AS
<i>Lr14b</i>	Maria Escobar	7BL	<i>Lr48</i>	CSP44	—
<i>Lr15</i>	Kenya	2DS	<i>Lr49</i>	VI404	—
<i>Lr16</i>	Exchange	2BS	<i>Lr50</i>	<i>T. armeniacum</i>	2BL
<i>Lr17</i>	Klein Lucero	2AS	<i>Lr51</i>	TranslocationT1	1BL
<i>Lr18</i>	<i>T. timopheevii</i>	5BL	<i>Lr52</i>	RL6107	5BS
<i>Lr19</i>	<i>Th. elongatum</i>	7DL	<i>Lr53</i>	<i>T. dicoccoides</i>	6BS
<i>Lr20</i>	Axminster	7AL	<i>Lr54</i>	<i>Ae. kotschyi</i>	2DL
<i>Lr21</i>	<i>Ae. tauschii</i>	1DL	<i>Lr55</i>	<i>E. trachycaulis</i>	1B
<i>Lr22a</i>	<i>Ae. squarrosa</i>	2DS	<i>Lr56</i>	<i>Ae. sharonensis</i>	6A
<i>Lr22b</i>	Thatcher	2DS	<i>Lr57</i>	<i>Ae. geniculata</i>	5DS
<i>Lr23</i>	Kenya	2BS	<i>Lr58</i>	<i>Ae. triuncialis</i>	2BL
<i>Lr24</i>	<i>Th. elongatum</i>	3DL	<i>Lr59</i>	<i>Ae. peregrina</i>	1AL
<i>Lr25</i>	<i>S. cereale</i>	4BS	<i>Lr60</i>	V860	1DS
<i>Lr26</i>	<i>S. cereale</i>	1BL	<i>Lr61</i>	Guayacan	6BS
<i>Lr27</i>	Gatcher	3BS	<i>Lr62</i>	<i>Ae. neglecta</i>	6A
<i>Lr28</i>	<i>Ae. speltoides</i>	4AL	<i>Lr63</i>	<i>T. monococcum</i>	3AS
<i>Lr29</i>	<i>Th. elongatum</i>	7DS	<i>Lr64</i>	<i>T. dicoccoides</i>	6AL
<i>Lr30</i>	Terenzio	4AL	<i>Lr65</i>	Altgold Rotkorn	2AS
<i>Lr31</i>	Gatcher	4BS	<i>Lr66</i>	<i>Ae. speltoides</i>	3A
<i>Lr32</i>	<i>Ae. tauschii</i>	3D	<i>Lr67</i>	RL6077	4DL
<i>Lr33</i>	PI 58548	1BL	<i>Lr68</i>	Parula	7BL

来自山羊草、4 个来自偃麦草、3 个来自黑麦、1 个来自披碱草。前人只对山羊草属的少数物种进行了研究,因此对包括山羊草属物种在内的更多种质进行抗性鉴定可能会筛选到新的小麦叶锈病抗源。本研究拟对已收集或培育的 116 份种质进行抗性鉴定,以期获得小麦叶锈病新抗源,为小麦抗病育种打下基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的 116 份种质列于表 2。TA 编号材料均由美国堪萨斯州立大学植物病理系 Jon Raupp 博士提供。小麦品种晋太 170(JT170)、小麦-中间偃麦草双二倍体 8335、小麦-中间偃麦草附加系(217-3)和代换系(224-1)由山西省农业科学院作物遗传研究所畅志坚研究员提供。小麦品种中国春和 99E18 由四川农业大学农学院提供。龙辐麦 10 号(Longfu10)由黑龙江农业科学院作物育种研究所提供。ML19 由国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)提供。小麦-多年生簇毛麦部分双二倍体(TDH-2)^[10]、小麦-多年生簇毛麦附加系(Y93-1-6-6、Y93-1-8-2 和 Y93-1-A6-4)^[11]、小麦-非洲黑麦代换系(LF19)^[12]、小麦-十倍体偃麦草代换系(X005)^[13]和小麦-茸毛偃麦草代换系(AS1677-5)^[14]由电子科技大学生命科学与技术学院植物细胞遗传与分子进化实验室创制并保存。

1.2 方法

供试材料种植于容积为 1 L 的花盆里,生长温度控制在 25 ℃ 左右。植株长至第 2 叶完全展开,将材料放置于低速旋转的转台上,通过低压喷枪将 Solitrol 170 轻油稀释的堪萨斯州流行混合小麦叶锈菌(Lrcomp)对植株接种,室温放置 5 min,待轻油挥发后将植株转移到相对湿度为 100%、温度为 18 ± 1 ℃ 的培养箱内 16 h。随后,温室培养 14 d 后统计各植株第 2 叶的发病情况。发病等级参照文献[15]略有改动:0 为免疫,;为近免疫,1 为高抗,2 和 3 为中间型(中抗~中感),4 为高感。每个材料种植 5 株,5 个植株统计结果如实记录(如 5 株表现型均为 0,则记录为 0;如有的植株表现型为 1,有的为 2,则记录为 1,2。发病等级比 2 重,但是比 3 轻,则记录为 2⁺(偏向于 2)或者 3⁻(偏向于 3)。部分材料除用 Lrcomp 鉴定外,还分别用 09-9-1441-1、09-9-1426-1、09-7-922-1、09-7-949-1 和 09-9-1505-1 共 5 个中国流行的叶锈菌生理小种进行了抗锈性鉴定。以上鉴定试验不同时期进行 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 小麦近缘植物及小麦-近缘植物双二倍体抗叶锈性鉴定

116 份种质抗叶锈性结果统计于表 2。希尔斯山羊草、小伞山羊草、尾状山羊草、柱穗山羊、草拟斯卑尔脱山羊草、两芒山羊草和卵穗山羊草均近免疫 Lrcomp。小伞山羊草含 Lr9,柱穗山羊草含 Lr59,拟斯卑尔脱山羊草含 Lr28、Lr35、Lr36、Lr47 和 Lr66,卵穗山羊草含 Lr57,可能是其近免疫 Lrcomp 的原因。在已报道的 68 个 Lr 基因中,尚无来自希尔斯山羊草、尾状山羊草和两芒山羊草的抗叶锈病基因的报导,而本研究结果表明三者均近免疫 Lrcomp,可能是这 3 个小麦近缘植物含有对该混合小种高抗的抗叶锈病基因。

普通小麦-栽培黑麦双二倍体、小麦-中间偃麦草部分双二倍体 8335 和小麦-中间偃麦草部分双二倍体中 4 等 13 份双二倍体均近免疫 Lrcomp(表 2)。其中,普通小麦-栽培黑麦双二倍体近免疫的原因可能是 Lr25、Lr26 和 Lr45 的作用;小麦-中间偃麦草部分双二倍体 8335 和小麦-中间偃麦草部分双二倍体中 4 近免疫的原因可能是 Lr38、Lr19、Lr24 或 Lr29 的作用;拟斯卑尔脱山羊草中含有 Lr28、Lr35、Lr36、Lr47 和 Lr66,粗山羊草含有 Lr21、Lr22a、Lr32、Lr39 和 Lr42,因此,乌拉尔图小麦-拟斯卑尔脱山羊草双二倍体和粗山羊草-拟斯卑尔脱山羊草双二倍体近免疫 Lrcomp;偏凸山羊草含 Lr37、沙融山羊草中含 Lr56、小伞山羊草中含 Lr9、提莫菲维小麦中含 Lr18,因而,一粒小麦-沙融山羊草双二倍体、提莫菲维小麦-小伞山羊草双二倍体、小麦-偏凸山羊草部分双二倍体、提莫菲维小麦-布顿大麦双二倍体和提莫菲维小麦-粗山羊草部分双二倍体近免疫 Lrcomp。

抗锈性鉴定结果表明,小麦-尾状山羊草双二倍体、中国春-希尔斯山羊草双二倍体和圆锥小麦-顶芒山羊草双二倍体近免疫 Lrcomp,前两者与上述尾状山羊草和希尔斯山羊草近免疫 Lrcomp 的结果相互印证,值得进一步将其抗性向小麦转育。

2.2 小麦-近缘植物附加系抗叶锈性

除中国春-簇毛麦 2V#3 的抗性为中间型外,中国春-簇毛麦 1V#1~7V#1 附加系、中国春-簇毛麦 1V#3、3V#3~7V#3 附加系、小麦-多年生簇毛麦附加系 Y93-1-6-6、Y93-1-8-2 和 Y93-1-A6-4 苗期均中到高感 Lrcomp。而 M. Bizzarri 等^[16]研究表明中国春高感而中国春-簇毛麦 6V#4 附加系和代换系成

表 2 供试 116 份种质的小麦叶锈病苗期反应型
Table 2 Wheat leaf rust infection types of seedling stage of 116 germplasm

基因型集团 Genotype group	编号 Accession No.	材料 Material description	发病情况 Infection type	基因型集团 Genotype group	编号 Accession No.	材料 Material description	发病情况 Infection type
小麦对照 Wheat control	CS	中国春 <i>T. aestivum</i> CV. Chinese Spring (CS)	3 3 ⁺	小麦-近缘 植物附加系 Wheat-Relatives addition lines	Y93-1-6-6	小麦-多年生簇毛麦附加系 6-6 Wheat- <i>D. breviaristatum</i> addition 6-6	3
	99E18	小麦 99E18 Wheat variety 99E18	3 ⁺		Y93-1-8-2	小麦-多年生簇毛麦附加系 8-2 Wheat- <i>D. breviaristatum</i> addition 8-2	3 ⁺
	ML19	小麦 ML19 Wheat variety ML19	3		Y93-1-A6-4	小麦-多年生簇毛麦附加系 A6-4 Wheat- <i>D. breviaristatum</i> addition A6-4	3 3 ⁺
	Longfu10	龙辐麦 10 号 Wheat variety Longfu10	2		TA7552	小麦-粗穗披碱草 1H'附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 1H' addition	0;
	JT170	晋太 170 Wheat variety JT170	3 3 ⁻		TA7553	小麦-粗穗披碱草 1H'S 附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 1H'S addition	0;
	TA3357	中国春非整倍体(四倍体) Aneuploid Tetra Chinese Spring (CS)	2 ⁺		TA7554	小麦-粗穗披碱草 1H'L 附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 1H'L addition	3
	TA3363	八倍体提莫菲维 Octoploid <i>T. timopheevii</i>	;1C		TA7556	小麦-粗穗披碱草 1S'附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 1S' addition	3
小麦近缘植物 Relatives of wheat	TA1840	希尔斯山羊草 <i>Ae. searsii</i>	0;		TA7557	小麦-粗穗披碱草 5H'附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 5H' addition	3
	TA1851	小伞山羊草 <i>Ae. umbellulata</i>	;1		TA7558	小麦-粗穗披碱草 6H'附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 6H' addition	3 3 ⁺
	TA1908	尾状山羊草 <i>Ae. caudata</i>	0		TA7560	小麦-粗穗披碱草 7H'S 附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 7H'S addition	3 2 ⁺
	TA2775	柱穗山羊草 <i>Ae. peregrina</i>	;1 ⁻		TA7561	小麦-粗穗披碱草 7S'L 附加系 Wheat- <i>E. trachycaulus</i> 7S'L addition	3
	TA2780	拟斯卑尔脱山羊草 <i>Ae. speltoides</i>	0;		217-3	小麦-中间偃麦草? J'染色体附加系 Wheat- <i>Th. intermedium</i> ? J' chromosome addition	2
	TA2782	两芒山羊草 <i>Ae. biuncialis</i>	0;		TA7509	中国春-簇毛麦 1V#1 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 1V#1 addition	3 ⁻
	TA2899	卵穗山羊草 <i>Ae. geniculata</i>	0;		TA7510	中国春-簇毛麦 2V#1 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 2V#1 addition	3
小麦-近缘植物 双二倍体 Wheat-Relatives amphidiploid	TDH-2	小麦-多年生簇毛麦部分双二倍体 Wheat- <i>D. breviaristatum</i> partial amphidiploid	3 ⁻		TA7511	中国春-簇毛麦 4V#1 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 4V#1 addition	3
	TA3376	普通小麦-栽培黑麦双二倍体 <i>T. aestivum</i> - <i>S. cereale</i> amphidiploid	;1C		TA7512	中国春-簇毛麦 5V#1 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 5V#1 addition	3 ⁻
	8335	小麦-中间偃麦草部分双二倍体 8335 Wheat- <i>Th. intermedium</i> amphidiploid	;1 ⁻		TA7513	中国春-簇毛麦 6V#1 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 6V#1 addition	3
	TA3392	小麦-中间偃麦草部分双二倍体中 4 <i>T. aestivum</i> - <i>Th. intermedium</i> amphidiploid Zhong4	0;		TA7514	中国春-簇毛麦 7V#1 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 7V#1 addition	3
	TA3371	中国春-希尔斯山羊草双二倍体 CS- <i>Ae. searsii</i> amphidiploid	0;		TA7677	中国春-簇毛麦 1V#3 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 1V#3 addition	3
	TA3368	小麦-尾状山羊草双二倍体 <i>T. aestivum</i> - <i>Ae. caudata</i> amphidiploid	0		TA7678	中国春-簇毛麦 2V#3 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 2V#3 addition	2 ⁺
	TA3438	乌拉尔图小麦-拟斯卑尔脱山羊草双二倍体 <i>T. urartu</i> - <i>Ae. speltoides</i> amphidiploid	0;		TA7679	中国春-簇毛麦 3V#3 附加系 CS- <i>D. villosum</i> 3V#3 addition	3

表 2 (续)

基因型集团 Genotype group	编号 Accession No.	材料 Material description	发病情况 Infection type	基因型集团 Genotype group	编号 Accession No.	材料 Material description	发病情况 Infection type
小麦-近缘植物 双二倍体 Wheat-Relatives amphidiploid	TA3440	粗山羊草-拟斯卑尔脱山羊草双二倍体 <i>Ae. tauschii-Ae. spaldoides</i> amphidiploid	0;	小麦-近缘植物附加系	TA7680	中国春-簇毛麦 4V#3 附加系 <i>CS-D. villosum</i> 4V#3 addition	3
	TA3367	圆锥小麦-节节麦双二倍体 <i>T. turgidum-Ae. tauschii</i> amphidiploid	2	Wheat-Relatives addition lines	TA7681	中国春-簇毛麦 5V#3 附加系 <i>CS-D. villosum</i> 5V#3 addition	3 ⁺
	TA3402	圆锥小麦-顶芒山羊草双二倍体 <i>T. turgidum-Ae. comosa</i> amphidiploid	0;		TA7682	中国春-簇毛麦 6V#3 附加系 <i>CS-D. villosum</i> 6V#3 addition	3
	TA3370	中国春-高大山羊草双二倍体 <i>CS-Ae. longissima</i> amphidiploid	3 ⁻		TA7683	中国春-簇毛麦 7V#3 附加系 <i>CS-D. villosum</i> 7V#3 addition	3
	TA8024	小麦-无芒山羊草双二倍体 <i>T. aestivum-Ae. mutica</i> amphidiploid	2		TA3558	小麦 Alceedo-尾状山羊草 B#1 附加系 ALCD - <i>Ae. caudata</i> B#1 addition	2
	TA3379	一粒小麦-沙融山羊草双二倍体 <i>T. monococcum-Ae. sharonensis</i> amphidiploid	;1C		TA3559	小麦 Alceedo-尾状山羊草 C#1 附加系 ALCD - <i>Ae. caudata</i> C#1 addition	0;
	TA3396	一粒小麦-圆锥小麦双二倍体 <i>T. monococcum-T. turgidum</i> amphidiploid	2 2 ⁺		TA3560	小麦 Alceedo-尾状山羊草 D#1 附加系 ALCD - <i>Ae. caudata</i> D#1 addition	1 N
	TA3400	野生二粒小麦-节节麦双二倍体 <i>T. dicoccoides-Ae. tauschii</i> amphidiploid	2 2 ⁺		TA3561	小麦 Alceedo-尾状山羊草 F#1 附加系 ALCD - <i>Ae. caudata</i> F#1 addition	3 ⁺
	TA3423	波斯小麦-节节麦双二倍体 <i>T. carthlicum-Ae. tauschii</i> amphidiploid	2 ⁺ ;		TA3562	小麦 Alceedo-尾状山羊草 E#1 附加系 ALCD - <i>Ae. caudata</i> E#1 addition	3 ⁺
	TA3401	圆锥小麦-单芒山羊草双二倍体 <i>T. turgidum-Ae. uniaristata</i> amphidiploid	2		TA3563	小麦 Alceedo-尾状山羊草 G#1 附加系 ALCD - <i>Ae. caudata</i> G#1 addition	3 ⁺
	TA3406	提莫菲维小麦-小金山羊草双二倍体 <i>T. timopheevi-Ae. umbellulata</i> amphidiploid	;1N		TA3580	中国春-希尔斯山羊草 1S*#1 附加系 CS - <i>Ae. searsii</i> 1S*#1 addition	3
	TA3404	小麦-偏凸山羊草部分双二倍体 <i>T. aestivum-Ae. ventricosa</i> partial amphidiploid	0;		TA3581	中国春-希尔斯山羊草 2S*#1 附加系 CS - <i>Ae. searsii</i> 2S*#1 addition	3 ⁻
	TA3430	一粒小麦-二角山羊草双二倍体 <i>T. monococcum-Ae. bicornis</i> amphidiploid	2 ⁺		TA3582	中国春-希尔斯山羊草 3S*#1 附加系 CS - <i>Ae. searsii</i> 3S*#1 addition	2
	TA3435	硬粒小麦-沙融山羊草双二倍体 <i>T. durum-Ae. sharonensis</i> amphidiploid	2 ⁺		TA3583	中国春-希尔斯山羊草 4S*#1 附加系 CS - <i>Ae. searsii</i> 4S*#1 addition	;1C
	TA3412	提莫菲维小麦-布顿大麦双二倍体 <i>T. timopheevi - H. bogdanii</i> amphidiploid	;		TA3584	中国春-希尔斯山羊草 5S*#1 附加系 CS - <i>Ae. searsii</i> 5S*#1 addition	3
	TA3432	提莫菲维小麦-粗山羊草双二倍体 <i>T. timopheevi-Ae. tauschii</i> amphidiploid	;1C		TA3585	中国春-希尔斯山羊草 6S*#1 附加系 CS - <i>Ae. searsii</i> 6S*#1 addition	3 ⁺
	TA3426	中国春-沙生冰草双二倍体 <i>CS-Ag. scripaeum</i> amphidiploid	3 ⁻		TA3586	中国春-希尔斯山羊草 7S*#1 附加系 CS - <i>Ae. searsii</i> 7S*#1 addition	3
	TA3413	小麦-粗穗披碱草双二倍体 <i>Wheat-E. trachycaulis</i> amphidiploid	0		TA7594	中国春-柱穗山羊草 1S* 附加系 <i>CS-Ae. peregrina</i> 1S* addition	3
小麦-近缘植物 代换系 Wheat-Relatives substitution lines	224-1	小麦-中间偃麦草? St-J*(6A) 代换系 <i>Wheat-Th. intermedium? St-J*(6A)</i> chromosome substitution	2 ⁺ 3 ⁻		TA7595	中国春-柱穗山羊草 2S* 附加系 <i>CS-Ae. peregrina</i> 2S* addition	3
	X005	小麦-十倍体长穗偃麦草 6J* (6B) 代换系 <i>Wheat-Th. ponticum</i> 6J* (6B) substitution	2		TA7596	中国春-柱穗山羊草 3S* 附加系 <i>CS-Ae. peregrina</i> 3S* addition	3 ⁻
	AS1677-5	小麦-背毛偃麦草 1St (1D) 代换系 <i>Wheat-Th. intermedium</i> ssp. <i>trichophorum</i> substitution	1		TA7597	中国春-柱穗山羊草 4S* 附加系 <i>CS-Ae. peregrina</i> 4S* addition	3

表 2 (续)

基因型集团 Genotype group	编号 Accession No.	材料 Material description	发病情况 Infection type	基因型集团 Genotype group	编号 Accession No.	材料 Material description	发病情况 Infection type
小麦-近缘植物 代换系	TA3694	中国春-长穗偃麦草 T7DL-7Ag(?) 代换系 CS- <i>Th. elongatum</i> T7DL-7Ag(?) substitution	0;	小麦-近缘 植物附加系	TA7598	中国春-柱穗山羊草 5S ⁺ 附加系 CS- <i>Ae. peregrina</i> 5S ⁺ addition	3
Wheat-Relatives substitution lines	TA3695	中国春-长穗偃麦草 T3D-3BS-3D · 3Ag (?) 代换系 CS- <i>Th. elongatum</i> T3D-3BS-3D · 3Ag (?) substitution	0;	Wheat-Relatives addition lines	TA7600	中国春-柱穗山羊草 7S ⁺ 附加系 CS- <i>Ae. peregrina</i> 7S ⁺ addition	3
小麦-近缘植物 易位系	LF19	小麦-非洲黑麦 2R* (2D) 代换系 Wheat- <i>S. africanum</i> 2R* (2D) substitution	2	中国春-两芒山羊草 1U ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 1U ^{bi} #1 addition	TA7725	中国春-两芒山羊草 1U ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 1U ^{bi} #1 addition	3
Wheat-Relatives translocation lines	TA5072	小麦-粗穗披碱草 1H'S, 1BL 罗伯逊易位系 Wheat- <i>E. trachycalyx</i> 1H'S, 1BL Robertsonian translocation	;	中国春-两芒山羊草 2U ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 2U ^{bi} #1 addition	TA7726	中国春-两芒山羊草 2U ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 2U ^{bi} #1 addition	3
	TA5616	中国春-簇毛麦 1VS, 1DL 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 1VS, 1DL Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-两芒山羊草 5U ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 5U ^{bi} #1 addition	TA7729	中国春-两芒山羊草 5U ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 5U ^{bi} #1 addition	3
	TA5615	中国春-簇毛麦 1VL, 1DS 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 1VL, 1DS Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-两芒山羊草 2M ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 2M ^{bi} #1 addition	TA7733	中国春-两芒山羊草 2M ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 2M ^{bi} #1 addition	3
	T2VL, 2BS	中国春-簇毛麦 2VL, 2BS 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 2VL, 2BS Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-两芒山羊草 3M ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 3M ^{bi} #1 addition	TA7734	中国春-两芒山羊草 3M ^{bi} #1 附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 3M ^{bi} #1 addition	3 ⁻
	T2VS, 4AL	中国春-簇毛麦 2VS, 4AL 易位系 CS- <i>D. villosum</i> 2VS, 4AL Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-两芒山羊草 4M ^{bi} #1 单体附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 4M ^{bi} #1 monosomic addition	TA7735	中国春-两芒山羊草 4M ^{bi} #1 单体附加系 CS- <i>Ae. biuncialis</i> 4M ^{bi} #1 monosomic addition	3 ⁻
	T2VS, 4BS	中国春-簇毛麦 2VS, 4BS 易位系 CS- <i>D. villosum</i> 2VS, 4BS Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-沙融山羊草 4S ^{sh} #3 附加系 CS - <i>Ae. sharonensis</i> 4S ^{sh} #3 addition	TA7713	中国春-沙融山羊草 4S ^{sh} #3 附加系 CS - <i>Ae. sharonensis</i> 4S ^{sh} #3 addition	3
	TA5636	中国春-簇毛麦 3VS, 3DL 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 3VS, 3DL Robertsonian translocation	3	中国春-长穗偃麦草 1E 附加系 CS - <i>Lo. elongatum</i> 1E addition	TA3664	中国春-长穗偃麦草 1E 附加系 CS - <i>Lo. elongatum</i> 1E addition	3 ⁻
	TA5637	中国春-簇毛麦 3VL, 3DS 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 3VL, 3DS Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-长穗偃麦草 2E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 2E addition	TA3665	中国春-长穗偃麦草 2E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 2E addition	3 ⁻
	TA5595	中国春-簇毛麦 4VS, 4DL 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 4VS, 4DL Robertsonian translocation	2 3	中国春-长穗偃麦草 3E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 3E addition	TA3666	中国春-长穗偃麦草 3E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 3E addition	3
	TA5637	中国春-簇毛麦 4VL, 4DS 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 4VL, 4DS Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-长穗偃麦草 4E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 4E addition	TA3667	中国春-长穗偃麦草 4E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 4E addition	3 ⁺
	TA5638	中国春-簇毛麦 5VS, 5DL 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 5VS, 5DL Robertsonian translocation	3 3 ⁺	中国春-长穗偃麦草 6E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 6E addition	TA3668	中国春-长穗偃麦草 6E 附加系 CS- <i>Lo. elongatum</i> 6E addition	3
	TA5617	中国春-簇毛麦 6VL, 6DS 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 6VL, 6DS Robertsonian translocation	3 3 ⁺				
	TA5618	中国春-簇毛麦 6VS, 6DL 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 6VS, 6DL Robertsonian translocation	3 3 ⁺				
	TA5639	中国春-簇毛麦 7VS, 7DL 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 7VS, 7DL Robertsonian translocation	3				
	TA5640	中国春-簇毛麦 7VL, 7DS 罗伯逊易位系 CS- <i>D. villosum</i> 7VL, 7DS Robertsonian translocation	3				

N: 坏死; C: 褪绿; +: 比预期的孢子堆大; ; 比预期的孢子堆小; 2:17-3 和 224-1 中的?; 小麦背景中的中间偃麦草染色体同源群未确定; TA3694 和 TA3695 中的?; 被替换的小麦染色体未确定; 小麦-尾状山羊草附加系中的 B-C; 附加到小麦背景中的尾状山羊草染色体同源群未确定

N: Necrosis, C: Chlorosis, +: Uredinia are larger than expected, ; Uredinia are smaller than expected, ? in material 217-3 and 224-1; The homologous group of *Th. intermedium* chromosomes in wheat background has not been determined, ? in material TA3694 and TA3695; The substituted wheat chromosomes has not been determined, B-C in wheat-*Ae. caudate* additions; the homologous group of *Ae. caudate* chromosomes added to wheat background has not been determined

株期均高抗小麦叶锈病,因此推断 6V#4 上含有新的小麦抗叶锈病基因,而本研究中 6V#1 和 6V#3 附加系苗期均高感小麦叶锈病,成株期尚未进行鉴定。

此外,又利用中国当前流行的 5 个叶锈菌小种 09-9-1441-1、09-9-1426-1、09-7-922-1、09-7-949-1 和 09-9-1505-1 对一套中国春-簇毛麦 1V#3 ~ 7V#3 附加系、Y93-1-6-6、Y93-1-8-2 和 Y93-1-A6-4 进行了抗叶锈性鉴定。结果显示,1V#3 ~ 7V#3 附加系均高感上述 5 个生理小种。Y93-1-6-6 高抗 09-9-1426-1、09-7-922-1 和 09-7-949-1,而对 09-9-1441-1 和 09-9-1505-1 的反应型为中间型;Y93-1-8-2 高抗 09-9-1441-1,近免疫 09-7-922-1 和 09-9-1505-1,而对 09-9-1426-1 和 09-7-949-1 的反应型为中间型;Y93-1-A6-4 近免疫上述 5 个生理小种。结果表明不同材料的小种专业化性不同。本实验室正在利用上述 5 个小种对其所有杂交亲本进行抗病性鉴定。这 3 个小麦-多年生簇毛麦附加系可以作为小麦叶锈病抗源应用于小麦育种中。

中国春-柱穗山羊草 1S^v ~ 7S^v (6S^v 除外)附加系、中国春-两芒山羊草 1U^{bi}#1、2U^{bi}#1、5U^{bi}#1、2M^{bi}#1、3M^{bi}#1 和 4M^{bi}#1 单体附加系、中国春-沙融山羊草 4S^{sh}#3 附加系、中国春-长穗偃麦草 1E、2E、3E、4E 和 6E 附加系均高感 Lrcomp,说明这些材料中不含抗 Lrcomp 小种的基因或者抗 Lrcomp 基因受到抑制而未表达。

中国春-粗穗披碱草 1Hⁱ 和 1HⁱS 附加系近免疫 Lrcomp,而中国春、中国春-粗穗披碱草 1HⁱL 附加系以及 1Sⁱ、5Hⁱ、6Hⁱ、7HⁱS 和 7SⁱL 附加系都高感 Lrcomp,说明 1HⁱS 染色体上含有抗小麦叶锈病基因, B. Friebe 等^[17]将该基因命名为 *Lr55*。本研究对小麦-尾状山羊草 B#1 ~ F#1 附加系(小麦背景中尾状山羊草的同源群暂未确定,暂用 B#1 ~ F#1 比表示, A#1 附加系丢失)、中国春-希尔斯山羊草 1S^s#1 ~ 7S^s#1 附加系抗病性鉴定结果发现,仅小麦-尾状山羊草 C#1 和 D#1 附加系、中国春-希尔斯山羊草 4S#1 附加系近免疫或高抗 Lrcomp,而其他附加系高感 Lrcomp。

2.3 小麦-近缘植物代换系和易位系的抗叶锈性

对一套中国春-簇毛麦易位系、小麦-中间偃麦草? St-J^s(6A)代换系(? 表示 St-J^s的同源群归属暂未确定)、小麦-十倍体长穗偃麦草 6J^s(6B)代换系、小麦-非洲黑麦 2R^a(2D)代换系进行鉴定,结果发现这些种质对 Lrcomp 均表现感病,说明这些种质中不含抗 Lrcomp 基因或者抗 Lrcomp 基因受到抑制未表达。

长穗偃麦草 7E 和 3E 染色体分别含有 *Lr19* 和 *Lr24*,粗穗披碱草 1Hⁱ染色体短臂上含有 *Lr55*,因而

中国春-长穗偃麦草 T7DL-7Ag(?) 和 T3D-3BS-3D.3Ag(?)代换系(? 表示偃麦草的染色体同源群归属暂未确定)、中国春-粗穗披碱草 1HⁱS.1BL 易位系抗小麦叶锈病,这与鉴定结果一致。

小麦-茸毛偃麦草 1St(1D)代换系高抗 Lrcomp,表明其可以作为抗源用于小麦抗叶锈病育种。而其小麦亲本 SY95-71 和 ML13 因为没有进行叶锈病抗性检测,需进一步验证其抗性来源。

3 讨论

3.1 希尔斯山羊草 4S^s染色体抗小麦叶锈病基因

希尔斯山羊草为一年生二倍体物种,穗细长,基因组为 S^sS^s,主要生长于以色列、巴勒斯坦、叙利亚、约旦和黎巴嫩等地区高山的路边或者干燥广袤的草原上。部分居群的希尔斯山羊草高抗小麦叶锈病^[18-19]、秆锈病^[20]和白粉病^[18]。B. Friebe 等^[21]鉴定出了一整套小麦-希尔斯山羊草附加系和代换系,可以用这套材料来定位抗性基因所在染色体和作为桥梁进一步向小麦转育其优异抗性。到目前为止, W. X. Liu 等^[20]已经利用这批材料中的中国春-希尔斯山羊草 3S^s(3A)、3S^s(3B)和 3S^s(3D)分别将与中国春 *ph1b* 基因缺失突变体进行杂交,将秆锈病抗性基因 *Sr51* 通过易位的形式导入到了小麦中。除此之外,未见将希尔斯山羊草抗叶锈病、白粉病、蚜虫和耐热性等基因转移到小麦的报道。本研究发现,希尔斯山羊草、中国春-希尔斯山羊草双二倍体、中国春-希尔斯山羊草 4S^s附加系均近免疫 Lrcomp,而 1S^s-3S^s、5S^s-7S^s附加系均高感 Lrcomp,表明抗叶锈病性基因在 4S^s染色体上。本研究进一步利用中国的 09-9-1441-1、09-9-1426-1 等 5 个叶锈菌生理小种对其抗叶锈性进行鉴定,结果发现 4S^s附加系表现高感,其可能的原因是 4S^s所含的抗叶锈基因具有小种专业化性。然而, A. A. Bulochik 等^[18]报道小麦叶锈病抗性基因在 5S^s染色体上,与本研究结果矛盾,可能是因为叶锈菌生理小种不同和希尔斯山羊草来源不同。因此,本研究认为希尔斯山羊草 4S^s染色体上具有尚未报道的抗 Lrcomp 小种的基因,该基因在堪萨斯地区具有较大的应用价值与潜力,但是该基因所在染色体臂需要用端体附加系或代换系来进一步定位,进而利用染色体工程的方法将其抗病基因通过小片段易位的形式转移到栽培小麦中。

3.2 尾状山羊草 C#1 或 D#1 染色体抗小麦叶锈病基因

尾状山羊草为一年生二倍体物种,穗细长,基因

组为 CC, 主要分布于爱琴海附近及土耳其西部, 来自部分居群的物种高抗大麦黄矮病^[22]、白粉病^[19]、叶锈病^[19,23]、小麦癭蚊病和蚜虫^[19]。B. Friebe 等^[24]鉴定出了一套小麦-尾状山羊草附加系 B#1 ~ F#1 和 5C(5A)、5C(5D)代换系, 因此可以用这套材料来定位抗性基因所在染色体和作为桥梁进一步向小麦转育其抗性。除 P. Chhuneja 等^[23]报道将尾状山羊草基因组的抗小麦叶锈病基因(未命名)转移到了小麦 5D 上外, 未见将上述抗性转移到小麦的报道。本研究对小麦-尾状山羊草 B#1 ~ F#1 附加系进行抗叶锈性鉴定, 结果发现 C#1 附加系近免疫、D#1 附加系高抗 Lrcomp, 其他 4 个附加系和对照中国春则高感 Lrcomp, 说明尾状山羊草 C#1 和 D#1 染色体上有抗 Lrcomp 的基因。因为 C#1 和 D#1 染色体的长度、长短臂的比例以及 C 带带纹完全不同^[19], 即表明它们属于 2 条不同染色体, 因此, 可以推断 C#1 和 D#1 染色体上的抗叶锈病基因至少有 1 个不同于 P. Chhuneja 等^[23]报道的抗性基因。因为目前尚不清楚这 6 个附加系中尾状山羊草的同源群归属, 本实验室正在利用所建立的分子标记对这些附加系中尾状山羊草的同源群进行鉴定和诱导易位系, 明确其抗性遗传和基因的染色体定位分析。

3.3 顶芒山羊草和两芒山羊草中的抗小麦叶锈病基因

顶芒山羊草为一年生二倍体, 穗细长, 基因组为 MM, 主要分布于前南斯拉夫、阿尔巴尼亚和希腊等国家, 高抗小麦条锈病^[25-26]、秆锈病^[27]、叶锈病^[19]和白粉病^[28]。两芒山羊草为一年生短穗、多分蘖四倍体, 基因组为 UUMM, 高抗小麦白粉病、叶锈病和癭蚊病等^[19]。到目前为止, 顶芒山羊草基因组内的抗小麦条锈基因 *Yr8*^[25] 和秆锈基因 *Sr34*^[26] 已经被转移到小麦中, 而未见将顶芒山羊草和两芒山羊草叶锈病抗性直接转移给小麦的报道。本研究发现, 顶芒山羊草、两芒山羊草和小麦-顶芒山羊草双二倍体均近免疫 Lrcomp, 因此, 可利用这三者为供体向小麦转移叶锈病抗性。因为顶芒山羊草 M 基因组和粗齿山羊草 (*Ae. heldreichii*) M^h 基因组都可能是卵穗山羊草 (UM)、两芒山羊草 (UM) 和短穗山羊草 (UMN) 中 M 基因组的供体^[29], 虽然卵穗山羊草中 5M 染色体上的 *Lr57* 已经通过易位的形式转移到了小麦中^[30], 短穗山羊草中来自染色体第 3 同源群的小麦抗叶锈基因 *Lr62* 也已被转移到了小麦中^[31], 但由于这几个物种中 M 基因组的原位杂交类型^[32-33] 和核糖体 5S rDNA 序列^[34] 都存在较大差异,

因此, 本研究中顶芒山羊草、两芒山羊草和小麦-顶芒山羊草双二倍体都近免疫 Lrcomp 是否由 *Lr57* 或 *Lr62* 的作用还不清楚。建立一套小麦-顶芒山羊草、两芒山羊草和粗齿山羊草附加系或代换系将有助于阐明上述问题。目前仅小麦-顶芒山羊草 2M 附加系^[25]、2M(2A)、2M(2B) 和 2M(2D) 代换系^[26] 以及部分小麦-两芒山羊草附加系^[33] 被鉴定出来, 因此, 需要从小麦-顶芒山羊草、两芒山羊草和粗齿山羊草杂交后代材料中继续筛选和鉴定出更多的、以致一整套附加系、代换系或易位系进行系统的鉴定。

3.4 粗穗披碱草中抗小麦叶锈病基因 *Lr55* 值得关注

粗穗披碱草为多年生四倍体物种, 穗细长, 基因组为 S'S'H'H', 主要分布于北美地区, 近免疫小麦叶锈病。早在 20 世纪 80 年代, B. S. Gill 等^[35] 就开始了将粗穗披碱草优异基因向小麦转移的工作, 创制了一批小麦-粗穗披碱草附加系。随后, B. Friebe 等^[17] 利用其中的 1H' 附加系创制了中国春-粗穗披碱草罗伯逊易位系 1H'S. 1BL, 该易位系中含有 1 个来自粗穗披碱草 1H'S 的抗小麦叶锈病基因, 被命名为 *Lr55*。本研究发现, *Lr55* 不仅抗美国堪萨斯叶锈菌 Lrcomp, 还近免疫中国流行的 09-9-1441-1、09-9-1426-1、09-7-922-1、09-7-949-1 和 09-9-1505-1 叶锈菌小种, 因此该基因值得关注, 可以利用染色体工程的方法将其抗性以小片段易位的形式转育到我国小麦中。

参考文献

- [1] Huerta-Espino J, Singh R P, German S, et al. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina* [J]. *Euphytica*, 2011, 179: 143-160
- [2] Gill B S, Huang L, Kuraparthi V, et al. Alien genetic resources for wheat leaf rust resistance, cytogenetic transfer, and molecular analysis [J]. *Aust J Agr Res*, 2008, 59: 197-205
- [3] 王海燕, 刘大群, 杨文香, 等. TcLr35 小麦中病程相关蛋白 1 基因的克隆及分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2007, 8(1): 16-20, 29
- [4] 潘阳, 袁迎彬, 穆培源, 等. 新疆的小麦品种(系) 苗期和成株期抗叶锈性鉴定 [J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(2): 203-210
- [5] 董玉琛. 小麦的基因源 [J]. *麦类作物学报*, 2000, 20(3): 78-81
- [6] Cloutier S, McCallum B D, Loutre C, et al. Leaf rust resistance gene *Lr1*, isolated from bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is a member of the large psr567 gene family [J]. *Plant Mol Bio*, 2007, 65: 93-106
- [7] Stein N, Feuillet C, Wicker T, et al. Subgenome chromosome walking in wheat: a 450 kb physical contig in *Triticum monococcum* L. spans the *Lr10* resistance locus in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *PNAS*, 2000, 97: 13436-13441
- [8] Huang L, Brooks S A, Li W L, et al. Map-based cloning of leaf rust resistance gene *Lr21* from the large and polyploid genome of bread wheat [J]. *Genetics*, 2003, 164(2): 655-664
- [9] Krattinger S G, Lagudah E S, Spielmeier W, et al. A putative ABC transporter confers durable resistance to multiple fungal pathogens in wheat [J]. *Science*, 2009, 323(5919): 1360-1363
- [10] Yang Z J, Li G R, Feng J, et al. Molecular cytogenetic characterization and disease resistance observation of wheat-*Dasyphyrum bre-*

- viaristatum partial amphiploid and its derivatives[J]. *Hereditas*, 2005, 141: 1-6
- [11] Liu C, Li G R, Yan H F, et al. Molecular and cytogenetic identification of new wheat-*D. breviaristatum* additions conferring resistance to stem rust and powdery mildew[J]. *Breeding Sci*, 2012, 61(4): 366-372
- [12] Lei M P, Li G R, Zhang S F, et al. Molecular Cytogenetic Characterization of a new wheat-*Secale africanum* 2R^a (2D) substitution line for resistant to stripe rust[J]. *J Genet*, 2011, 90(2): 283-287
- [13] Hu L J, Li G R, Zeng Z X, et al. Molecular characterization of a wheat-*Thinopyrum ponticum* partial amphiploid and its derived substitution line for resistance to stripe rust[J]. *J Appl Genet*, 2011, 52: 279-285
- [14] Hu L J, Li G R, Zeng Z X, et al. Molecular cytogenetic identification of a new wheat-*Thinopyrum* substitution line with stripe rust resistance[J]. *Euphytica*, 2011, 177: 169-177
- [15] 师丽红, 张娜, 胡亚亚, 等. 10 个小麦新品种(系)抗小麦叶锈性评价[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(14): 2900-2908
- [16] Bizzarri M, Pasquini M, Matere A, et al. *Dasypyrum villosum* 6V chromosome as source of adult plant resistance to *Puccinia tritici*-na in wheat[C]// Proceedings of the 53rd Italian Society of Agricultural Genetics Annual Congress, Torino, Italy, 2009
- [17] Friebe B, Wilson D L, Raupp W J, et al. Notice of release of KS04WGRC45 leaf rust-resistant hard white winter wheat germplasm[J]. *Annu Wheat Newsl*, 2005, 51: 188-189
- [18] Bulochik A A, Borzyak V S, Voluevich E A. Influence of alien chromosomes on the resistance of soft wheat to biotrophic fungal pathogens[J]. *Cytol Genet*, 2008, 42: 9-15
- [19] Gill B S, Sharma H C, Raupp W J, et al. Evaluation of *Aegilops* species for resistance to wheat powdery mildew, wheat leaf rust, hessian fly, and greenbug[J]. *Plant Dis*, 1985, 69: 314-316
- [20] Liu W X, Jin Y, Rouse M, et al. Development and characterization of wheat-*Ae. searsii* Robertsonian translocations and a recombinant chromosome conferring resistance to stem rust[J]. *Theor Appl Genet*, 2011, 122: 1537-1545
- [21] Friebe B, Tuleen N A, Gill B S. Standard karyotype of *Triticum searsii* and its relationship with other S-genome species and common wheat[J]. *Theor Appl Genet*, 1995, 91: 248-254
- [22] Makkouk K M, Comeau A, Ghulam W. Resistance to barley yellow dwarf luteovirus in *Aegilops* species[J]. *Can J Plant Sci*, 1994, 74: 631-634
- [23] Chhuneja P, Kaur A, Kaur S, et al. A novel leaf rust resistance gene transferred from *Aegilops caudata* L. to *Triticum aestivum* L. maps on chromosome 5D[C]// Poster exhibited at 11th international wheat genetics symposium, Sydney, Australia, 2008
- [24] Friebe B, Schubert V, Bluthner W D, et al. C-banding pattern and polymorphism of *Aegilops caudata* and chromosomal constitutions of the amphiploid *T. aestivum*-*Ae. caudata* and six derived chromosome addition lines[J]. *Theor Appl Genet*, 1992, 83: 589-596
- [25] Riley R, Chapman V, Johnson R. The incorporation of alien disease resistance in wheat by genetic interference with the regulation of meiotic chromosome synapsis[J]. *Genet Res*, 1968, 12: 199-219
- [26] Riley R, Chapman V, Mace R C F. The homoeology of an *Aegilops* chromosome causing stripe rust resistance[J]. *Can J Genet Cytol*, 1966, 8: 616-630
- [27] McIntosh R A, Miller T E, Chapman V. Cytogenetical studies in wheat XII. *Lr28* for resistance to *Puccinia recondite* and *Sr34* for resistance to *P. graminis tritici*[J]. *Plant Breed*, 1982, 89: 295-306
- [28] Bennett G A F. Resistance to powdery mildew in wheat: a review of its use in agriculture and breeding programmes [J]. *Plant Pathol*, 1984, 33: 279-300
- [29] Tsunewaki K. Plasmon analysis in the *Triticum-Aegilops* complex [J]. *Breeding Sci*, 2009, 59: 455-470
- [30] Kuraparthy V, Chhuneja P, Dhaliwal H S, et al. Characterization and mapping of cryptic alien introgression from *Aegilops geniculata* with new leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr57* and *Yr40* in wheat[J]. *Theor Appl Genet*, 2007, 114: 1379-1389
- [31] Marais F, Marais A, McCallum B, et al. Transfer of leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr62* and *Yr42* from *Aegilops neglecta* Req. ex Bertol. to common wheat[J]. *Crop Sci*, 2009, 49: 871-879
- [32] Molnar I, Cifuentes M, Schneider A, et al. Association between simple sequence repeat-rich chromosome regions and intergenomic translocation breakpoints in natural populations of allopolyploid wild wheats[J]. *Ann Bot-London*, 2011, 107: 65-76
- [33] Schneider A, Linc G, Molnar I, et al. Molecular cytogenetic characterization of *Aegilops biuncialis* and its use for the identification of 5 derived wheat-*Aegilops biuncialis* disomic addition lines[J]. *Genome*, 2005, 48: 1070-1082
- [34] Baum B R, Edwards T, Mamuti M, et al. Phylogenetic relationships among the polyploidy and diploid *Aegilops* species inferred from the nuclear 5S rDNA sequences (Poaceae: Triticeae) [J]. *Genome*, 2012, 55: 177-193
- [35] Gill B S, Morris K L D. Assignment of the genomic affinities of chromosomes from polyploid *Elymus* species added to wheat[J]. *Genome*, 1988, 30: 70-82

欢迎订阅 2014 年《果树学报》

《果树学报》是中国农业科学院郑州果树研究所主办的国家级学术期刊, 中国农林水产类权威学术期刊, 中文园艺学核心期刊, 中国科技核心期刊, 已被美国化学文摘、俄罗斯文摘杂志、英国 CABI 等 20 余种国内外重要数据库收录。本刊着重选发密切结合我国果树科研、教学、生产实际, 反映学科学术水平和发展动向的优秀稿件, 及时报道重大科研成果、阶段性成果和科研进展情况。栏目设置有种质资源·遗传育种·分子生物学·栽培·生理·生态·植物保护·果品质量与安全·贮藏·加工·专论与综述·技术与方法·新品种选育报告等。读者对象为果树学科的科研人员、高等农业院校师生及基层果树管理技术人员。

双月刊, 2014 年每期 160 页码, 定价 20 元, 全年 6 期共 120 元。邮发代号: 36-93, 国际代号 BM/1107。欢迎投稿, 欢迎订阅。

地址: (450009) 中国农业科学院郑州果树研究所

电话: 0371-63387308 传真: 0371-63387308

E-mail: chinagsxb@163.com