

利用多种外源基因选育小麦抗病新种质和新品种

任志龙, 王长有, 张 宏, 蔡东明, 王亚娟, 王秋英, 薛秀庄, 吉万全

(西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 应用染色体工程结合系谱选择, 以普通小麦单、缺体为工具材料, 将中间偃麦草(*Thinopyrum intermedium*)、黑麦(*Secale cereale*)、野生二粒小麦(*Triticum dicoccoides*)、簇毛麦(*Haynaldia villosa*)和小伞山羊草(*Aegilops um bellulata*)的抗条锈病或抗白粉病基因导入普通小麦, 创制出抗条锈病或抗白粉病种质N 9207, N 9209, N 9134, N 9628-1, N 9628-2 和N 9659, 并育成含有外源抗条锈病基因的小麦品种陕麦 8003, 陕麦 8007, 陕麦 150 和远丰175。利用创制的抗性种质与农艺亲本多方式组配杂交, 将优异基因进行累加、聚合, 选育出抗、耐多种小麦病害, 高产、优质和广适的面条小麦新品系陕麦 139。

[关键词] 普通小麦; 外源基因; 抗病种质

[中图分类号] S512 1033

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)11-0073-04

高产、优质是粮食生产对作物品种的最终要求, 而病害是限制粮食作物高产的主要因素之一。小麦抗病育种研究的历史表明, 突破性品种的育成在于关键性基因的发现和育种材料的创造利用。小麦-黑麦 1B/1R 易位系对世界小麦的生产做出了巨大贡献, 许多国家小麦品种中的 1B/1R 易位系频率较高。我国从欧洲引入的洛夫林、阿芙乐尔、山前、高加索等含 1B/1R 的“洛类”抗源, 因为高抗条锈、叶锈、秆锈和白粉病而被广泛用于小麦育种中。20 世纪80年代至90 年代以“洛类”及其衍生系的利用为主, 全国育成了大批高产、抗病小麦品种, 并在生产上发挥了巨大作用^[1]。如江苏农业科学院育成的苏麦3号, 因其稳定的抗赤霉病特性, 至今仍在世界抗赤霉育种中发挥着不可替代的作用; 在抗白粉病育种研究中, 南京农业大学、贵州农业科学院、中国农业科学院、山东农业科学院等利用簇毛麦、偃麦草、节节麦等创造出了抗白粉病的种质和品种^[1-5]。在抗病小麦种质创制中, 许多材料为普通小麦与外源种属的双二倍体、附加系、代换系和易位系, 这些种质存在农艺性状不良或品质偏差, 导致创制的抗病种质资源难以在小麦育种中直接利用。西北农林科技大学农学院小麦研究所生物技术研究室从20 世纪70 年代开始, 以抗条锈病或抗白粉病小麦近缘种属黑麦(*Secale cereale*)和野生二粒小麦(*Triticum*

dicoccoides), 以及含有中间偃麦草(*Thinopyrum intermedium*)、簇毛麦(*Haynaldia villosa*)和小伞山羊草(*Aegilops um bellulata*)的双二倍体、代换系或易位系为抗源, 与农艺性状优良或优质小麦品种杂交, 通过 *Ph* 基因效应、 Co^{60} 辐射等方法诱导易位, 其杂交后代进行抗条锈病或抗白粉病性定向选择, 创制农艺性状优良的抗病种质; 进而将创制的不同抗源的种质与农艺亲本采用不同杂交方法进行组配, 使优异基因累加、聚合, 选育小麦新品种(系), 为丰富小麦育种的抗病亲本材料, 选育抗病或优质抗病小麦品种奠定了基础, 现将相关研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 材料

染色体工程材料: 中国春 5B 单体和阿勃非整倍体; 小麦近缘种属材料, 奥地利黑麦和野生二粒小麦 A S846; 含有近缘种属抗性基因的材料: 小麦-中间偃麦草八倍体中4、中5, 小麦-簇毛麦二体异代换系 V 2 和易位系 92R 149, 四倍体小麦-小伞山羊草双二倍体 Am 9; 普通小麦材料: 84(加)79、陕优 225、陕麦 893、小偃 6 号、陕 16Q、中国春、6811(2)、百泉 3217、咸87(30)、陕229、矮早丰和小偃22。其中野生二粒小麦 A S846 引自四川农业大学小麦所资源室; 小麦-簇毛麦二体异代换系 V 2 和易位系 92R 149 引

· [收稿日期] 2006-03-06

[基金项目] 陕西省科技攻关项目(2003K03-G1-03); 陕西杨凌生物技术育种中心项目(A 1999-2)

[作者简介] 任志龙(1952-), 男, 陕西洛川人, 高级农艺师, 主要从事小麦遗传育种研究。E-mail: renzhilong2006@126.com

[通讯作者] 吉万全(1963-), 男, 陕西合阳人, 教授, 主要从事小麦染色体工程育种研究。E-mail: jwquan2003@126.com

自南京农业大学细胞遗传研究室;四倍体小麦-小伞山羊草双二倍体Am9引自中国农业科学院品种资源研究所;其余材料均由西北农林科技大学农学院小麦所生物技术研究室保存和提供。

1.2 方法

以染色体工程材料、普通小麦材料与小麦近缘种属材料或含有近缘种属抗性基因的材料杂交,通过 Ph 基因效应和 Co^{60} 辐射等方法诱导易位,杂交后代进行抗病性定向选择,创制抗病种质;进而将创制的不同抗源种质与农艺亲本采用不同杂交方法进行组配,使优异基因累加、聚合,选育小麦新品种(系)。

杂交各世代病害鉴定时,采用多个条锈菌生理小种混合菌种和白粉菌混合菌种接种,定向选择抗病单株。N9207, N9209, N9134, 陕麦8003, 陕麦8007, 陕麦150由原陕西省农科院植保所进行条锈病和白粉病的苗期及成株期鉴定;N9628-1, N9628-2, N9659, 远丰175和陕麦139由西北农林科技大学植保学院进行条锈病和白粉病的苗期及成株期鉴定,其中条锈病分小种鉴定,白粉病用关中地区白粉菌混合菌系接种鉴定。

N9659和N9628-1的品质指标由西北农林科技大学农学院小麦所品质室测定;远丰175和陕麦139的品质指标由农业部谷物及制品质量检测中心(哈尔滨)测定。

2 结果与分析

2.1 利用外源材料创制抗病小麦种质

2.1.1 野生二粒小麦抗病基因向普通小麦的转移

以阿勃非整倍体为母本与野生二粒小麦A S846杂交,创制出抗病种质N9134。以野生二粒小麦A S846与84(加)79杂交选育的抗病中间材料为父本与陕优225杂交创制出优质、抗病种质N9659。

N9134属半冬性,株高80 cm,株型紧凑,叶片小而挺,分蘖力强,长芒、红壳、白粒、粉质,千粒重42 g。对条锈菌生理小种条中29、条中30、条中32、水源11-5和水源11-13反应型均为0,对陕西关中地区白粉混合菌系表现免疫。N9134的白粉病抗性遗传分析结果表明,N9134抗性由位于小麦5B染色体的单显性基因控制^[6];分子标记鉴定表明,N9134含有野生二粒小麦A S846的遗传物质^[7-8]。

N9659属半冬性,株高80 cm,株型紧凑,叶色深绿,叶片窄挺,分蘖力强,成穗率高;长芒、白粒、籽粒外观近似硬粒小麦,千粒重39 g,容重806 g/L,籽粒

蛋白质含量199 g/kg,湿面筋含量396 g/kg,沉降值30.7 mL,面团形成时间21.0 min,稳定时间17 min。对条锈菌生理小种条中31、条中32和水源11-14反应型均为0,对陕西关中地区白粉菌混合菌系表现免疫。说明N9659是优质、兼抗小麦条锈病和白粉病的种质材料。

2.1.2 簇毛麦抗病基因向普通小麦的转移 以抗白粉病、条锈病的小麦-簇毛麦二体异代换系V2为母本与感白粉病的陕麦893杂交,后代在白粉病病圃和选种田交替种植,选择农艺性状优良的抗病单株,创制出农艺性状较好的新种质N9207。该种质叶片小而上挺,分蘖力中等,株高70~80 cm,茎秆有明显蜡粉,长芒、白粒、角质,千粒重40 g左右。对条锈菌生理小种条中29、条中30、条中31、条中32、水源11-5和水源11-13反应型均为0;对陕西关中地区白粉菌混合菌系表现免疫。

以小麦-簇毛麦二体异代换系V2为母本与感白粉病的小偃6号杂交,杂交收获种子用 Co^{60} 辐射后,后代连续自交,并在白粉病病圃和选种田交替种植,选择抗病单株,创制出农艺性状较好的新种质N9209。该种质株型紧凑,叶片小而上挺,分蘖力中等,株高70~80 cm,叶色深绿,长芒、白粒、半角质,千粒重35~38 g。对条锈菌生理小种条中29、条中30、条中31、条中32、水源11-2和水源11-13反应型均为0;对陕西关中地区白粉菌混合菌系表现免疫。

2.1.3 小伞山羊草抗病基因向普通小麦的转移

用高感白粉病小麦品种陕160与免疫白粉病材料四倍体小麦-小伞山羊草双二倍体Am9杂交, F_1 代用陕160回交,后代采用选种圃与白粉病病圃选择相结合,创制出新种质N9628-1和N9628-2。

N9628-1株型紧凑,分蘖力中等,株高80 cm;长芒、白粒、角质,落黄好;千粒重约42 g。粗蛋白含量178 g/kg,沉降值54.9 mL,湿面筋含量406 g/kg,干面筋含量133 g/kg,形成时间4.2 min,稳定时间4.8 min。对条锈菌生理小种条中31、条中32和水源11-14反应型均为0。

N9628-2幼苗直立,叶片较宽长、色浅,株型较紧凑,分蘖力中等,株高80 cm左右,长芒、红粒、粉质,千粒重约42 g。对陕西关中地区白粉菌混合菌系表现免疫。

2.2 利用外源材料培育小麦品种

2.2.1 以黑麦为抗源培育小麦品种 以中国春5B单体为母本,奥地利黑麦作父本进行杂交, F_1 代用

中国春回交,后代连续自交,经大群体筛选选育出陕麦8003,1993年通过陕西商洛地区审定。曾在陕西关中及陕南浅山区条锈病重发区大面积推广种植。陕麦8003属半冬性,叶片上挺,株型较紧凑,株高82 cm,分蘖力强,成穗率高;穗长方形,长芒、白壳、白粒,千粒重38 g。对条锈菌生理小种条中28、条中29和条中30免疫,高抗叶枯病,感染白粉病和赤霉病。

2.2.2 以中间偃麦草为抗源培育小麦品种 以小麦-中间偃麦草八倍体中5为母本与6811(2)杂交,后代经系谱选择,选育出陕麦8007,1993年通过陕西商洛地区审定。曾在陕西关中和陕南条锈病重发区大面积推广种植。陕麦8007属半冬性,叶片较短、上挺,株型紧凑,株高80~85 cm,分蘖力强,穗纺锤形,无芒、白壳、白粒,千粒重40 g。对条锈菌生理小种条中28、条中29和条中30免疫。

以小麦-中间偃麦草八倍体中4、中5为条锈病抗源和优质源,用中4/6811(2)的 F_7 代稳定抗条锈易位系与选自百泉3217/中5//百泉3217的抗条锈附加系8435-1-1-8杂交, F_1 与广适型优质感锈农艺亲本小偃6号杂交,后代在水地和旱地交替选择,1996年育成陕麦150,1999年通过陕西省品种审定。陕麦150属半冬性,耐旱抗寒,分蘖力强,成穗率高;株高85 cm左右,茎秆弹性好,抗倒伏能力强;基部叶片偏长,旗叶短、平展,后期通风透光好;白粒、全角质,千粒重45 g,加工品质优良^[9]。对条锈病抗性好,中抗白粉病和赤霉病,轻感叶枯病;早熟,落黄好。

2.2.3 以簇毛麦为抗源培育小麦品种 以抗条锈病和白粉病的小麦-簇毛麦易位系92R149为抗源,与无芒大穗材料成87(30)杂交, F_1 代再与优质感锈农艺亲本小偃6号杂交,后代采用选种圃和病圃选株及籽粒品质筛选相结合,2002年育成远丰175,2005年通过陕西省农作物品种审定。

远丰175属弱冬性,耐寒抗旱,分蘖力强,成穗率高,叶片中宽较挺,株高75~80 cm,株型紧凑,茎秆粗壮抗倒伏,长芒、白壳、白粒,千粒重40 g,落黄好。籽粒容重806 g/L,粗蛋白质含量152.0 g/kg,湿面筋319 g/kg,沉淀值48.8 mL,面团形成时间10.2 min,稳定时间16.4 min,面包体积810 mL,面包总评分90.0分,检验样品符合国家GB/T 17892-1999优质小麦强筋小麦指标。对条锈菌生理小种条中31、条中32、水源11-14及太白4号表现免疫。

2.2.4 多抗源聚合选育高产、抗病、优质小麦品系 为了选育能持久抗耐多种病害的小麦核心种质和

品种,将利用奥地利黑麦、小麦-中间偃麦草八倍体中4和野生二粒小麦为抗源创制的陕麦8003,陕麦8007,N9134和野生二粒小麦A S846,农艺亲本陕229、矮早丰、小偃22等采用复合杂交、阶梯式杂交、回交等方法进行杂交。组配方式为:小偃22/野生二粒小麦A S846//[(陕麦8003/陕麦8007) F_4 /3/陕229/4/矮早丰] F_3 /5/N9134。使优异抗性基因累加聚合,通过农艺性状的改良和综合选择,育成多抗、高产、优质、广适的小麦新品系陕麦139。

陕麦139属半冬性,分蘖力强,成穗率高;株高80 cm,株型紧凑,叶片短窄挺,叶色深绿,抗倒伏;长芒、白壳、白粒,千粒重42 g左右,落黄好。2004~2006年度陕西省品种区域试验最高产量8725.5 kg/hm²,平均产量7539.0 kg/hm²,较小偃22增产4.0%,表明陕麦139具有良好的丰产性。

2004和2005年条锈病抗性鉴定表明,陕麦139对条锈菌生理小种条中31、条中32、水源11-14及太白4号反应型均为0。2003年白粉菌混合菌系人工接种鉴定表明,对白粉病表现高抗(9级标准的3级)。赤霉病鉴定结果为自然诱发病穗率30%,病情指数23.3,单小花接种反应指数4.9,自然诱发达到中抗水平。叶枯病田间为高抗。鉴定结果表明,陕麦139是抗耐多种病害的品系,达到了预期的选种目标。

农业部谷物及制品质量检测中心(哈尔滨)2005年分析结果表明,陕麦139容重815 g/L,角质率99%,蛋白质含量163.6 g/kg,湿面筋含量379 g/kg,沉淀值30 mL,粗淀粉788 g/kg,直链淀粉占淀粉总量的29.88%,面团形成时间3.3 min,稳定时间2.7 min,最大拉伸阻力195 EU,延伸性21.4 cm;面条试验色泽评分7.8,总评分85.8。国家精制级和普通级面条评分分别为≥85分和75分,表明陕麦139面粉达到国标精制级面条用小麦粉标准,面色泽白,口感品质好,麦香味浓,适合制作高级面条。

2002年冬季在云南加代时,灌浆期由于干热风频繁,小偃22等材料青干成熟,而陕麦139落黄好;陕麦139对光、温变化适应范围广,在云南主茎分蘖熟期整齐一致,发育良好;在青海春播种植,陕麦139前期生长稳健,春化完成后拔节-抽穗-成熟生长发育快,落黄好。陕麦139在3个不同麦区、不同气候和栽培条件下均表现突出,表明该品系适应性强,适应范围广。

3 讨论

病原菌新小种的出现导致抗病亲本和品种丧失

抗性,为了应对病原菌小种的不断变化,小麦育种者必须不断寻找新的抗源^[10]。小麦近缘种属是一个庞大的基因库,拥有十分丰富的栽培小麦所不具备的优良基因,是小麦改良的重要种质资源^[11]。西北农林科技大学农学院小麦所生物技术研究室,利用小麦近缘种属创制出了 N 9134, N 9659, N 9207, N 9209, N 9628-1 和 N 9628-2 等多种抗源的小麦抗病亲本,育成了陕麦8003,陕麦8007,陕麦150 和远丰175 等小麦品种,将不同来源抗性材料采取复合杂交、阶梯式杂交等组配方式使其抗性基因累加、互作逐步聚合到同一受体中,育成了抗耐多种病害的高产、优质面条小麦陕麦139。陕麦139 对当前流行的条锈菌生理小种全部免疫,而亲本组配中所用的抗条锈材料陕麦8003,陕麦8007 和 N 9134 已丧失抗性,只有野生二粒小麦 A S846 仍表现免疫,说明陕麦139 的抗条锈病基因可能来自于 A S846 或为多个亲本不同抗性基因互作的结果,这有待进一步深入研究。

来自野生二粒小麦的抗条锈病基因有 *Yr15* 和 *YrH 52*^[12-13],来自野生二粒小麦 A S846 的抗病基因与已报道的基因是否相同还需进一步研究。小麦-

簇毛麦易位系 92R 149 的抗条锈病基因为 *Yr26*^[14],推测远丰175 的抗性基因与其相同。

来自野生二粒小麦的抗白粉病基因有 *Pm 16*, *Pm 26*, *Pm 30* 和 *Pm 31*^[15-16]。*Pm 16* 为位于 4A 和 5B S 的显性抗病基因; *Pm 26* 为位于 2B S 的隐性抗病基因; *Pm 30* 为位于 5B S 上的显性抗病基因; *Pm 31* 为位于 6A L 的显性抗病基因。来自于野生二粒小麦 A S846 的抗白粉病基因与已报道的基因是否相同尚需进一步研究。

来自于簇毛麦的抗白粉病基因为 *Pm 21*, 根据系谱, N 9207 和 N 9209 的抗白粉病基因应为 *Pm 21*。四倍体小麦-小伞山羊草双二倍体 Am 9 的亲本为波斯小麦 PS5 和小伞山羊草 Y39, 有研究^[3, 17]推测, Y39 中含有新的抗白粉病基因, 对源于 PS5 的抗性材料分子标记和遗传分析表明, PS5 含有 *Pm PS 5A* 和 *Pm PS 5B* 2 个抗白粉病基因, 分别位于 2A L 和 2B L, *Pm PS 5A* 是 *Pm 4* 的等位位点, *Pm PS 5B* 为新基因, 定名为 *Pm 33*; N 9628-2 是否含有抗白粉病基因 *Pm PS 5A* 或 *Pm 33*, 还需要进一步研究。

[参考文献]

- [1] 钟冠昌, 穆素梅, 张正斌. 麦类远缘杂交[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [2] 董玉琛, 郑殿升. 中国小麦遗传资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [3] 朱振东, 周荣华, 董玉琛, 等. 几个四倍体小麦-山羊草双二倍体及其部分亲本的抗小麦白粉病基因分析[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(2): 137-143
- [4] 齐莉莉, 陈佩德, 刘大均, 等. 小麦白粉病的新抗源普通小麦-簇毛麦易位系[J]. 作物品种资源, 1994(2): 52-53
- [5] 黄光永, 庞启华, 周强, 等. 小麦条锈病新抗源 92R 149 的初步利用与评价[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(1): 91-93
- [6] 王秋英, 吉万全, 王长有, 等. 小麦抗白粉病种质“N 9134”的抗性遗传分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(2): 14-16
- [7] 吉万全, 薛秀庄, 王秋英, 等. 野生二粒小麦抗白粉病基因的转移及其 RAPD 分析[J]. 西北植物学报, 1999, 19(6): 31-36
- [8] 王长有, 吉万全, 王秋英, 等. 应用 SSR 检测导入普通小麦的野生二粒小麦遗传物质[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(4): 1-4
- [9] 任志龙, 吉万全, 赵会贤, 等. 面包专用粉小麦新品种陕麦150 的选育与产业化开发[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(1): 74-77
- [10] 杨作民, 唐伯让, 沈克全, 等. 小麦抗病育种的战略问题——小麦对条锈病、白粉病第二线抗源的建立和利用[J]. 作物学报, 1994, 12(7): 385-394
- [11] 董玉琛. 小麦的基因源[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(3): 78-81
- [12] Chen X M. Epidemiology and control of stripe rust *Puccinia striiformis* sp. *tritici* on wheat[J]. Can J Plant Pathol, 2005, 27: 314-337
- [13] Chague V, Fahima T, Dahan A. Isolation of microsatellite and RAPD markers flanking the *Yr15* gene of wheat using NITs and bulked segregant analysis[J]. Genome, 1999, 42: 1051-1056
- [14] Ma J X, Zhou R H, Dong Y Sh, et al. Molecular mapping and detection of the yellow rust resistance gene *Yr26* in wheat transferred from *Triticum turgidum* L. using microsatellite markers[J]. Plant Breeding, 2001, 120(2): 219-226
- [15] 邱永春, 张书绅. 小麦抗白粉病基因及其分子标记研究进展[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(2): 127-132
- [16] Hsam S L K, Lapochkina I F, Zeller F J. Chromosomal location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.). 8 Gene *Pm 32* in a wheat *Aegilops speltoides* translocation line[J]. Euphytica, 2003, 133(3): 367-370
- [17] Zhu Zhen-dong, Zhou Rong-hua, Kong Xiu-ying, et al. Microsatellite markers linked to 2 powdery mildew resistance genes introgressed from *Triticum carthlicum* accession PS5 into common wheat[J]. Genome, 2005, 48(4): 585-590

(下转第82页)

products of carotene had direct positive influence on quality of aroma, concentration of aroma and smoking total scores 2, 4-hendiene-al and 6-me-2-dione from the degrading products of carotene had direct negative influence on quality of aroma, concentration of aroma and smoking total scores It proves that aroma components that are good for smoking could be improved by regulating the modulation conditions The aroma components that are bad for smoking should be reduced possibly.

Key words: flue-cured tobacco; neutral aroma constituent; smoking result; stepwise linear regression; partial correlation analysis; path analysis

(上接第76页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)11-0073-CA

Development of new wheat varieties and new germplasm with disease resistance by transferring alien genes into common wheat

REN Zhi-long, WANG Chang-you, ZHANG Hong, CAI Dong-Ming,
WANG Ya-juan, WANG Qiu-ying, XUE Xiu-zhuang, JI Wan-quan

(College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: New germplasm (N9207, N9209, N9134, N9628 and N9659) resistant to stripe rust or powdery mildew and new wheat cultivars (Shaanmai 8003, Shaanmai 8007, Shaanmai 150, and Yuanfeng 175) resistant to stripe rust were bred by transferring alien resistance gene(s) from *Thinopyrum intermedium*, *Secale cereal*, *Triticum dicoccoides*, *Haynaldia villosa* and *Aegilops um bellulata* into common wheat. By crossing commercial wheat varieties with developed germplasm resistant to disease Shaanmai 139, a noodle wheat strain with disease resistance, high yield, good quality, and adaptability, was bred by pyramiding desirable genes.

Key words: common wheat; alien gene(s); germplasm with disease resistance