

人工合成小麦新种质抗条锈性鉴定 与 *Yr18* 基因检测

祁旭升, 王晓娟, 陈伟英, 王兴荣, 苏俊阳

(甘肃省农业科学院作物研究所, 兰州 730070)

摘要 对 97 份来自 CIMMYT 的人工合成小麦新种质进行了主要农艺性状考察、*Yr18* 分子检测和成株期田间抗锈性接种鉴定。结果表明:参鉴种质间主要农艺性状变异程度较大,尤其千粒重普遍偏高,有 30 份材料千粒重达 50 g 以上、占 30.9%;利用 *csLV34* 标记检测到合成 20 和合成 43 携带 *Yr18*,占 2.1%;鉴定出成株期呈抗性反应的材料 30 份、占 30.9%,高度慢条锈材料 19 份、占 19.6%,其中合成 2、5、14、60、75、76、78、82、83、84 计 10 个合成种同时表现高抗和高度慢锈。这些大粒、抗条锈或慢条锈合成小麦种质的鉴定筛选,为选育小麦新品种提供了优异资源。

关键词 合成小麦新种质; 农艺性状; *csLV34*; 抗条锈性鉴定

中图分类号 S 435.121.42

Identification of resistance to stripe rust in synthetic wheat germplasms and detection of *Yr18* gene

Qi Xusheng, Wang Xiaojuan, Chen Weiyang, Wang Xingrong, Su Junyang

(Institute of Crop Sciences, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract Main agronomic traits of 97 synthetic wheat germplasms from CIMMYT were investigated. Moreover, *Yr18* gene was detected with *csLV34* and resistance to stripe rust was identified at adult stage. The results indicated that there were major differences in main agronomic characteristics among tested materials, especially 1 000-kernel-weight, which increased in most cases, with 30 novel lines exceeding 50 grams and accounting for 30.9 percent. Two materials, namely synthetic wheat No. 20 and No. 43 with *Yr18*, were found by the marker *csLV34* and the occurrence frequency was 2.1%. There were 30 lines with resistance to stripe rust, 19 lines with highly slow-rusting resistance, 10 lines, including synthetic wheat No. 2, No. 5, No. 14, No. 60, No. 75, No. 76, No. 78, No. 82, No. 83 and No. 84, had high resistance and high slow-rusting resistance to stripe rust. Selection of big grains and slow rusting germplasms will offer excellent resources for common wheat breeding.

Key words synthetic wheat germplasms; agronomic trait; *csLV34*; identification of resistance to stripe rust

小麦条锈病(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)是一种气传真菌病害,广泛分布于世界各主要产麦区,也是威胁我国西北、华北、长江中下游和西南各省、自治区小麦生产的重要病害之一,轻则减产 10%~20%,重则减产 40%~60%,甚至绝收^[1-3]。为此,前人通过杂交法、非整倍体法及现代分子生物学技术研究了小麦抗条锈遗传规律,确定了小麦所含抗条锈基因(*Yr*)的数目及性质^[4],其中公认的慢

条锈基因 *Yr18* 被定位在 7D 染色体短臂上。尽管上述研究为小麦抗条锈育种提供了科技支撑,但由于现代六倍体小麦不仅在其诞生过程中存在遗传背景狭窄的一面,而且在人工选择的压力下其遗传多样性有降低趋势,仅依靠现有种质资源很难解决包括条锈病在内的各种生理胁迫问题^[5]。

硬粒小麦(*Triticum durum*, 2n=28, AABB)和节节麦(*Aegilops tauschii*, 2n=14, DD)是六倍

体普通小麦 (*T. aestivum*, $2n=42$, AABBDD) 的初级基因库, 以其杂交而成的人工合成六倍体小麦 (synthetic hexaploid wheat) 具有遗传多样性高、抗条锈、抗穗发芽等特点, 已成为利用野生祖先种优良基因的桥梁资源^[6-8], 被 CIMMYT 及其他许多国家用于改良小麦品种, 对提高产量、改善品质、增强抗逆性有很大潜力。我国 20 世纪 90 年代从 CIMMYT 引进了大量的人工合成六倍体小麦, 在抗病性、HMW-GS 组成、加工品质等方面进行了研究利用, 其中四川省农业科学院以 CIMMYT 人工合成种为亲本, 育成的川麦 38、川麦 42、川麦 47、川麦 107 等系列品种表现出高产、优质和高抗条锈病等特点^[9-10], 已开始大面积推广; 甘肃省农科院对其 HMW-GS 组成进行了分析^[11], 选择含 1.5+10、5+12 亚基的材料与普通小麦配制杂交组合, 试图改良普通小麦的品质, 已初见成效。但有关人工合成小麦种质主要农艺性状表现、抗条锈性鉴定, 尤其对其是否携带 *Yr18* 基因的研究报道在国内较少, 影响了该种质的广泛利用。鉴于此, 作者于 2006—2007 年设置试验, 对 97 份 CIMMYT 人工合成小麦新种质的主要农艺性状及抗条锈性进行了鉴定, 并利用 *csLV34* 标记检测 *Yr18* 基因, 旨在进一步了解合成种质的特征特性, 减少实际应用中的盲目性, 为小麦新品种选育提供优异种质资源。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试种质为来自 CIMMYT 的 97 份硬粒小麦—节节麦人工合成六倍体小麦 (表 2)。将 2006 年进行农艺性状鉴定时收获的种子分成两部分, 一部分用于慢条锈基因 *Yr18* 的分子检测, 另一部分于 2007 年种植在田间进行成株期抗条锈性鉴定。条锈菌混合菌源 (条中 32 号、水 14、水 4、水 5、水 7 等比例混合) 由甘肃省农科院植物保护研究所提供。

1.2 主要农艺性状鉴定

2006 年试验设在甘肃省农科院作物研究所兰州试验点, 以宁春 4 号为对照, 采用间比排列, 2 次重复, 两行区, 行长 1.8 m, 行距 0.2 m, 分别对供试种质的生育期、株高、穗长、小穗数、穗粒数、千粒重等性状进行了考察记载。

1.3 *Yr18* 基因鉴定

1.3.1 DNA 提取

采用 CTAB 法提取小麦基因组 DNA。利用紫

外分光光度计检测 DNA 浓度, 终浓度调整至 50 ng/ μ L。

1.3.2 *Yr18* 分子检测

Yr18 特异性引物 *csLV34* 来源于 Lagudah 等文献^[12], 由上海生工生物技术有限公司合成。引物序列上游引物: 5'-GTTGGTTAAGACTGGTGATGG-3'; 下游引物: 5'-TGCTTGCTATTGCTGAATAGT-3'。

PCR 反应体系为: 20 μ L 总体积中含有 1 $\times$ buffer (50 mmol/L KCl, 10 mmol/L Tris-Cl, 1.5 mmol/L $MgCl_2$, pH 8.0), TaKeRa DNA 聚合酶 1U, dNTP 各 200 μ mol/L, 每条引物 5 pmol, 模板 DNA 50 ng。

PCR 反应条件为: 首先 94 $^{\circ}C$ 5 min; 然后 94 $^{\circ}C$ 变性 1 min, 58 $^{\circ}C$ 退火 30 s, 72 $^{\circ}C$ 延伸 30 s, 38 个循环; 最后 72 $^{\circ}C$ 延伸 7 min。

扩增产物以 2.0% 的琼脂糖凝胶电泳检测, 缓冲体系为 1 $\times$ TAE 溶液, 100 V 电压电泳 80 min, 溴化乙锭染色后, 用 MultiGenius Gel Documentation and Analysis System 扫描成像并存入计算机。

1.4 成株期抗条锈性鉴定

1.4.1 试验设计与接种方法

试验于 2007 年设在甘肃省农科院作物研究所兰州试验点, 供试材料单行种植, 行长 1.8 m, 行距 0.2 m, 以快锈品种铭贤 169 作对照和诱发行。于小麦挑旗期接种, 按 1.0 g 条锈菌加 0.05% 吐温溶液 500 mL 配成孢子悬浮液, 均匀喷雾接种于参鉴材料上, 接菌后加盖塑料保湿 15 h。

1.4.2 调查记载标准

待对照品种铭贤 169 充分发病后, 按照 GB/T 1579521995 条锈病记载标准, 每份供鉴种质随机抽样 35 株, 调查记载其主茎旗叶和倒二叶的发病情况。反应型采用 0、0₁、1、2、3、4 六级标准, 其中 0~2 为抗病反应 (R), 3~4 为感病反应 (S)^[13]; 严重度按 0、t%、5%、10%、25%、40%、65%、80% 和 100% 的标准记载, 分别统计各级叶片数, 用加权法求其平均严重度, 根据袁文焕对慢锈性的划分标准, 将参试种质划分为高度慢锈性类型 (严重度 < 10%)、中度慢锈性类型 (严重度 11%~25%)、低度慢锈性类型 (严重度 26%~40%)、中度感锈类型 (严重度 41%~80%)、高度感锈类型 (严重度 81%~90%)^[14-16]; 普遍率为发病

叶片数占调查叶片数的百分比。

2 结果与分析

2.1 主要农艺性状观测

将供试种质的生育期、株高、穗长、小穗数、穗粒数、千粒重的平均值、变幅和变异系数列于表 1。从表 1 可以看出,被考查的 6 个性状变异程度均较大,说明人工合成小麦新种质中蕴藏了丰富的遗传基

因,具有广阔的开发利用前景。97 份供试种质与甘肃省当前大面积应用品种宁春 4 号(CK)相比,表现早熟的仅 1 份(合成 24)、株高低的有 23 份、穗长长的有 46 份、小穗数多的有 6 份、千粒重高的达 87 份,但穗粒数均少于对照。值得一提的是千粒重在 50 g 以上的种质有 30 份、占 30.9%,若用这些合成种质改良普通小麦品种,将对增加千粒重、提高产量水平发挥重要作用。

表 1 供试小麦种质主要农艺性状平均值、变幅和变异系数

指标	生育期/d	株高/cm	穗长/cm	小穗数/个	穗粒数/粒	千粒重/g
平均值	103.8	97.4	9.6	13.8	31.1	46.7
变幅	96~109	65.8~124.2	6.2~11.8	10~19	16~46	25.5~57.6
极差	13	58.4	5.6	9	30	32.1
CK(宁春 4 号)	97.0	89.0	9.6	16.0	47.0	41.3
变异系数/%	2.87	10.4	10.8	12.02	18.04	11.07

2.2 慢条锈基因 Yr18 分子检测

凡携带 Yr18 的材料均能扩增出 150 bp 的片段,不含该基因的材料能扩增出 229 bp 的片段,97 份人工合成小麦中仅合成 20 和合成 43 两份材料携带有 Yr18,占参试材料的 2.1%。

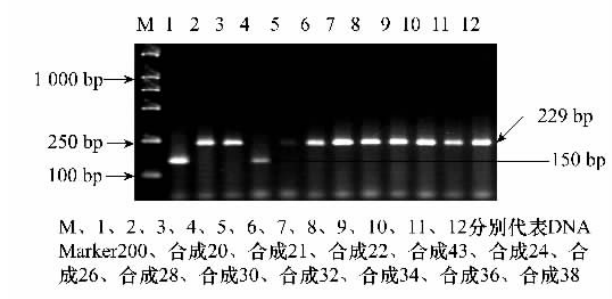


图 1 利用 csLV34 标记检测小麦合成种的多态性

2.3 成株期抗条锈性表现

2007 年小麦条锈病在甘肃呈现显病时间早、发病范围广、危害程度重的特点,属大流行年份,这种环境有助于准确鉴定人工合成小麦的抗条锈性。本试验成株期田间接种鉴定结果(表 2)表明,97 份参鉴种质间发病程度各异,但其病情指数均低于感病对照铭贤 169。从反应型看(表 3),有 30 份材料表现抗病反应、67 份材料表现感病反应,分别占 30.93%和 69.07%,其中合成 2、5、14、40、60、75、76、78、82、83、84 等 11 个品种为高抗以上反应。从严重度看(表 4),有 19 个种质表现高度慢锈、占 19.59%,19 个种质表现中度慢锈、占 19.59%,18 个种质表现低度慢锈、占 18.56%,41 个种质表现中度感锈、占 42.26%,表现高度慢锈的 19 个种质为

合成 1、2、3、4、5、8、14、20、27、33、35、59、60、75、76、78、82、83、84。

综上所述,合成 2、5、14、60、75、76、78、82、83、84 等 10 个人工合成小麦新种质,可作为普通小麦抗锈或慢锈育种的亲缘材料加以利用。

3 结论与讨论

在参试的 97 份 CIMMYT 人工合成小麦新种质中,种质间主要农艺性状变异程度较大,平均生育期偏晚、株偏高、小穗数和穗粒数偏少,但千粒重普遍较大,有 30 份材料千粒重达 50 g 以上;经 csLV34 标记检测,有 2 份材料含有 Yr18 慢条锈基因;成株期条锈性呈抗性反应的材料有 30 份,高度慢锈材料 19 份。了解合成种质的特征特性对改良普通小麦品种有指导意义。

虽然目前已经证明的慢条锈基因有 Yr18、Yr29 和 Yr30,但小麦品种的慢条锈性是很复杂的,很少由单个基因控制,多数是数量性状,是多个微效基因共同作用的结果^[17]。即使公认的慢条锈基因 Yr18,当其单独存在时,它控制的抗性水平也往往很低,当 Yr18 和 2~4 个具有加性效应的微效基因结合在一起时能产生较高水平的抗性且能持久^[18]。本试验利用 csLV34 标记检测到合成 20、合成 43 均携带慢条基因 Yr18,但两种质成株期抗条锈性差异较大,合成 20 表现为 2 型反应,严重度仅 8.5%,而合成 43 为 3 型反应,严重度达 39%。这可能是两种质所含加性微效基因的数目不同所致,有待进一步进行遗传分析。

表 2 供试小麦种质成株期抗性表现

编号	种质名称	反应型	严重度/%	普遍率/%	病情指数	编号	种质名称	反应型	严重度/%	普遍率/%	病情指数
合成 1	CIGM87. 2765	3	2. 3	19. 7	0. 5	合成 50	CIGM86. 3277	4	41. 0	100. 0	41. 0
合成 2	CIGM88. 1175	0	0	0	0	合成 51	CIGM88. 1239	4	64. 9	100. 0	64. 9
合成 3	CIGM87. 2767	3	2. 8	17. 8	0. 5	合成 52	CIGM89. 567	4	51. 7	100. 0	51. 7
合成 4	CIGM87. 2775	3	6. 6	62. 9	4. 2	合成 53	CIGM90. 799	3	17. 2	87. 5	15. 1
合成 5	CIGM87. 2768	1	0. 1	8. 1	0	合成 54	CIGM90. 808	4	48. 1	100. 0	48. 1
合成 6	CIGM86. 946	3	18. 8	81. 0	15. 2	合成 55	CIGM90. 812	3	48. 0	96. 9	46. 5
合成 7	CIGM87. 2770	3	38. 3	91. 1	34. 9	合成 56	CIGM90. 815	4	55. 1	100. 0	55. 1
合成 8	CIGM88. 1194	2	6. 6	82. 5	5. 4	合成 57	CIGM90. 818	2	34. 3	100. 0	34. 3
合成 9	CIGM87. 2771	3	38. 2	98. 4	37. 6	合成 58	CIGM90. 820	3	31. 9	98. 5	31. 5
合成 10	CIGM88. 1197	2	18. 3	92. 4	16. 9	合成 59	CIGM90. 824	2	9. 5	92. 4	8. 7
合成 11	CIGM88. 1200	3	41. 8	100. 0	41. 8	合成 60	CIGM90. 845	1	5. 0	75. 0	3. 7
合成 12	CIGM86. 959	3	47. 3	100. 0	47. 3	合成 61	CIGM90. 846	3	23. 7	100. 0	23. 7
合成 13	CIGM88. 1209	3	46. 4	100. 0	46. 4	合成 62	CIGM90. 863	3	46. 6	100. 0	46. 6
合成 14	CIGM90. 561	1	0. 4	21. 9	0. 1	合成 63	CIGM90. 864	3	50. 3	100. 0	50. 3
合成 15	CIGM88. 1211	4	52. 9	100. 0	52. 9	合成 64	CIGM90. 869	3	42. 5	100. 0	42. 5
合成 16	CIGM86. 940	3	11. 3	80. 6	9. 1	合成 65	CIGM90. 871	3	44. 4	100. 0	44. 4
合成 17	CIGM87. 2760	4	43. 6	100. 0	43. 6	合成 66	CIGM90. 878	3	41. 1	100. 0	41. 1
合成 18	CIGM88. 1212	3	44. 1	100. 0	44. 1	合成 67	CIGM90. 897	4	61. 7	100. 0	61. 7
合成 19	CIGM86. 953	4	56. 1	100. 0	56. 1	合成 68	CIGM90. 898	2	32. 8	100. 0	32. 8
合成 20	CIGM87. 2761	2	8. 5	93. 8	7. 9	合成 69	CIGM90. 906	3	42. 9	100. 0	42. 9
合成 21	CIGM88. 1214	3	41. 9	98. 4	41. 2	合成 70	CIGM90. 911	3	34. 2	100. 0	34. 2
合成 22	CIGM88. 1216	3	31. 2	98. 5	30. 7	合成 71	CIGM90. 910	4	52. 4	100. 0	52. 4
合成 23	CIGM88. 1219	3	29. 4	100. 0	29. 4	合成 72	CIGM92. 1647	2	31. 4	97. 2	30. 5
合成 24	CIGM86. 950	3	42. 9	100. 0	42. 9	合成 73	CIGM92. 1666	3	13. 0	95. 7	12. 5
合成 25	CIGM86. 942	2	13. 0	98. 4	12. 7	合成 74	CIGM92. 1667	3	14. 0	95. 2	13. 3
合成 26	CIGM90. 525	3	36. 0	100. 0	36. 0	合成 75	CIGM92. 1682	1	9. 4	96. 9	9. 1
合成 27	CIGM88. 1270	2	2. 7	50. 0	1. 4	合成 76	CIGM92. 1713	1	3. 9	72. 1	2. 8
合成 28	CIGM88. 1273	3	54. 3	100. 0	54. 3	合成 77	CIGM92. 1723	3	39. 9	100. 0	39. 9
合成 29	CIGM88. 1288	3	53. 4	100. 0	53. 4	合成 78	CIGM92. 1727	1	3. 5	75. 8	2. 7
合成 30	CIGM88. 1313	3	22. 3	96. 8	21. 6	合成 79	CIGM92. 1871	3	47. 8	100. 0	47. 8
合成 31	CIGM88. 1344	2	12. 1	95. 3	11. 5	合成 80	CIGM93. 183	3	49. 3	100. 0	49. 3
合成 32	CIGM88. 1356	3	29. 9	100. 0	29. 9	合成 81	CIGM93. 229	2	12. 8	92. 2	11. 8
合成 33	CIGM88. 1363	2	5. 7	74. 6	4. 2	合成 82	CIGM93. 237	1	6. 0	75. 8	4. 5
合成 34	CIGM88. 1362	2	16. 2	100. 0	16. 2	合成 83	CIGM93. 388	1	7. 7	94. 1	7. 3
合成 35	CIGM90. 566	2	6. 2	72. 6	4. 5	合成 84	CIGM93. 261	1	6. 7	77. 8	5. 2
合成 36	CIGM90. 590	3	55. 3	100. 0	55. 3	合成 85	CIGM93. 395	4	62. 3	100. 0	62. 3
合成 37	CIGM89. 506	3	19. 4	96. 9	18. 8	合成 86	CIGM93. 266	3	50. 3	100. 0	50. 3
合成 38	CIGN89. 525	2	18. 8	98. 4	18. 5	合成 87	CIGM93. 297	3	35. 2	100. 0	35. 2
合成 39	CIGM89. 537	2	15. 8	97. 0	15. 3	合成 88	CIGM93. 300	4	62. 7	100. 0	62. 7
合成 40	CIGM89. 538	1	10. 4	85. 5	8. 9	合成 89	CIGM93. 406	3	35. 2	100. 0	35. 2
合成 41	CIGM90. 686	2	11. 9	88. 9	10. 6	合成 90	CIGM93. 306	2	24. 1	86. 2	20. 8
合成 42	CIGM90. 760	3	49. 6	100. 0	49. 6	合成 91	CIGM92. 1669	2	13. 1	97. 0	12. 7
合成 43	CIGM89. 559	3	39. 0	100. 0	39. 0	合成 92	CIGM92. 1701	4	42. 7	93. 9	40. 1
合成 44	CIGM89. 479	3	38. 5	100. 0	38. 5	合成 93	CIGM93. 207	3	31. 9	97. 0	30. 9
合成 45	CIGM89. 561	4	68. 6	100. 0	68. 6	合成 94	CIGM93. 395	3	46. 3	96. 8	44. 8
合成 46	CIGM90. 543	3	51. 8	100. 0	51. 8	合成 95	CIGM90. 865	3	62. 1	100. 0	62. 1
合成 47	CIGM89. 564	3	40. 0	98. 4	39. 4	合成 96	CIGM92. 1665	4	46. 0	100. 0	46. 0
合成 48	CIGM86. 944	4	52. 9	100. 0	52. 9	合成 97	CIGM92. 1721	3	45. 9	96. 8	44. 4
合成 49	名称不详	3	56. 6	100. 0	56. 6	CK	铭贤 169	4	84. 2	100. 0	84. 2

表 3 供试小麦种质在各级反应型中的分布状况

反应型	品种数/个	比例/%	抗性评价
0	1	1.03	免疫
0	0	0	近免疫
1	10	10.31	高抗
2	19	19.59	中抗
3	51	52.26	中感
4	16	16.49	高感

表 4 供试小麦种质在各级严重度中的分布状况

严重度/%	数量/个	比例/%	抗性评价
<10	19	19.59	高度慢锈
11~25	19	19.59	中度慢锈
26~40	18	18.56	低度慢锈
41~80	41	42.26	中度感锈
81~90	0	0	高度感锈

迄今为止国内外共发现命名了 37 个抗条锈病主效基因位点,本文仅对 *Yr18* 基因在 97 份合成种质中的分布情况进行了检测。而成株期田间抗条锈性接种鉴定结果表明,有 30 份材料呈现抗性反应,其中 11 份材料表现高抗以上,很可能这些材料中含有其他抗条锈主效基因,可作为抗锈育种的亲本资源加以开发利用。

csLV34 为共显性标记,准确性高,重复性好,可用于慢条锈性基因 *Yr18* 的分子标记辅助选育。

参考文献

[1] 赵中华. 2003 年全国小麦条锈病的流行特点及治理策略[J]. 中国植保导刊,2004,24(2):16-18.

[2] 赵环环, Singh RP, Huerta-Espino J, 等. 小麦品种成株期抗条锈性表达生育期的研究[J]. 中国农业科学,2005,38(2): 297-301.

[3] 李强,王保通,李高保,等. 2003 年小麦条锈菌生理小种鉴定分析[J]. 西北农业学报,2004,13(3):43-47.

[4] 曹张军,王美兰,井金学. 小麦抗条锈性遗传研究进展[J]. 麦类作物学报,2001,21(3):80-83.

[5] 汤永禄,杨武云,曾云超,等. 人工合成小麦 RL 群体对条锈病新小种条中 32 的抗性表现[J]. 西南农业学报, 2007,20(2):

266-269.

[6] 王玲玲,胡晓蓉,陈华华,等. 川麦 38 遗传背景中人工合成小麦导入位点的 SSR 标记检测[J]. 西南农业学报, 2007,20 (2):239-242.

[7] Mujeeb-Kazi A, Rosas V, Roldan S. Conservation of the genetic variation of *Triticum tauschii* (Coss.) Schmalh. (*Aegilops squarrosa auct* Non L.) in synthetic hexaploid wheats (*T. turgidum* L. s. lat. × *T. tauschii*; 2n=6x=42, AABBDD) and its potential utilization for wheat improvement[J]. Genet Resour Crop Evol, 1996, 43: 129-134.

[8] 杨武云,颜 济,杨俊良,等. 硬粒小麦-节节麦人工合成种. *Decoy1/Aegilops tauschii*510 抗条锈性状(条中 30,条中 31)的遗传分析[J]. 西南农学报, 1999,38:39-41.

[9] 廖杰,魏会廷,李俊,等. 川麦 42 遗传背景中人工合成小麦导入位点的 SSR 标记检测[J]. 作物学报,2007,33 (5):703-707.

[10] 刘小俊,姬红丽,杨武云,等. 川麦 107 慢条锈性遗传分析和分子标记研究[J]. 麦类作物学报,2006,26(3):41-45.

[11] 王世红,张怀刚,周宽基,等. 硬粒小麦-节节麦人工合成种 HMW-GS 组成及 1.5+10 亚基的遗传分析[J]. 西北植物学报,2006(26):0033-0038.

[12] Lagudah E S, McFadden H, Singh R P, et al. Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat[J]. Theor Appl Genet, 2006,114:21-30.

[13] 方中达. 植病研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998:361-363.

[14] 袁文焕,李高宝. 慢条锈性小麦品种鉴定方法初探[J]. 甘肃农业科技,1996,(5):28-30.

[15] 王保通,袁文焕,李高宝,等. 小麦慢条锈性因素的相关分析和聚类划分[J]. 植物保护学报,2000,27(1): 53-58.

[16] 李明菊,伍少云. 云南小麦品质改良亲缘材料成株期抗条锈性评价[J]. 麦类作物学报,2006,(1):113-116.

[17] 王竹林,刘曙东,王辉,等. 小麦慢病性的遗传育种研究进展[J]. 麦类作物学报,2006,(1):129-134.

[18] Singh R P, Rajaram S. Genetics of adult-plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats[J]. Euphtica, 1994, 72: 1-7.