

# 谷子(粟)对粒黑穗病的抗性及其遗传分析\*

刘子坚 古世禄 马建萍 独俊娥

(山西省农业科学院作物遗传研究所, 太原 030031)

**摘 要** 谷子不同品种对粒黑穗病的抗性差异很大, 其中有 79.5% 的品种属感病或高度感病类型。谷子抗粒黑穗病的遗传背景十分复杂, 遗传方式为多基因控制的数量遗传, 遗传力为 37.66%, 超亲遗传比较明显。双亲发病株率平均值和差值与  $F_2$  高抗株率呈极显著的负相关,  $r = -0.8446^{**}$  和  $r = -0.8638^{**}$ 。正确选配杂交组合对抗病育种的成败至关重要。

**关键词** 谷子 粒黑穗病 抗性遗传

谷子粒黑穗病(*Ustilago crameri* K $\ddot{o}$ ern.) 是谷子生产上的重要病害。选用抗病品种是防治此病的最经济有效的途径, 且有利于保护环境。选育抗粒黑穗病品种, 必须首先搞清现有品种的抗性及其遗传, 这是抗病育种的基础。但是, 迄今为止, 国内外关于谷子抗粒黑穗病遗传的研究甚少, 未见正式报道, 仅有一些抗粒黑穗病鉴定研究<sup>[1,2]</sup>。1991~1995 年我们在承担国家“八五”攻关课题研究中, 进行了初步研究。现将主要结果报告如下。

## 1 材料和方法

### 1.1 杂交组合的配置及田间试验

从 1991 年开始, 先后征集了抗病性和经济性状均不相同的材料 71 份, 以晋谷 10 号作为感病对照, 以黄谷作为抗病对照, 进行抗病鉴定。1992~1993 年选用抗病性不同的品种, 作亲本配置杂交组合, 1993~1994 年鉴定其真杂种, 1995 年种植不同类型杂交组合的  $F_2$  和  $F_3$ 。  $F_2$  共计 20 个组合, 294 个穗行,  $F_3$  共计 8 个组合, 129 个穗行。采用随机区组设计, 3 次重复, 行长 6.7m, 2 行区。对杂交后代, 用人工接菌的办法, 鉴定其抗病性。

### 1.2 接菌鉴定

1.2.1 菌粉制备 在谷子成熟前, 从寿阳、榆社、太原等地田间采集粒黑穗病病穗, 在播种前用粉碎机粉碎, 以细目过筛备用。

1.2.2 接菌方法 接菌鉴定, 冬季在温室进行, 夏季在田间进行。品种、亲本的田间鉴定, 采用菌土覆盖法, 即用菌粉 8g, 掺湿土 10g, 与种子 10g 混合均匀, 开沟撒播。品种、亲本的温室鉴定

和后代的田间鉴定,采用饱和接菌法,即用足量的菌粉与供试种子充分搅拌,使其粘满菌粉。或者如上所述,种子粘满菌粉后,用细目过筛。播量 1g 加熟谷 4g,开沟撒播,出苗后不间苗。

1.2.3 发病株率的调查 在谷子抽穗后于 8 月底 9 月初,病株穗部病状表现明显后,调查发病株率。抗感类型按发病株率高低划分<sup>[3]</sup>:发病株率 0 为 ZM(免疫),发病株率 0.1%~5.0% 为 HR(高抗),发病株率 5.1%~10.0% 为 R(抗病),发病株率 10.1%~30.0% 为 MS(中感),发病株率 30.1%~50.0% 为 S(感病),发病株率 50.1% 以上为 HS(高感)。

鉴定结果按照刘来福等的方法<sup>[4]</sup>进行遗传分析,分析时数据进行反正弦转换。

## 2 结果与分析

### 2.1 谷子品种抗粒黑穗病的差异

根据 1992~1994 年 5 次试验,对 73 个品种进行的 180 次(份)鉴定结果,证明谷子品种间对粒黑穗病抗性差异颇大,变异系数高达 57.6%。绝大多数品种,对粒黑穗病表现为感病和高度感病,占供试品种的 79.5%(表 1),这与温琪汾等的鉴定结果相类似<sup>[1]</sup>。这可能就是粒黑穗病成为谷子生产上严重的常见病多发病的重要原因。

表 1 不同品种抗粒黑穗病性的统计

抗病类别	ZM	HR	R	MS	S	HS	合 计
品种数目(个)	9	3	1	2	10	48	73
占总数的(%)	12.3	4.1	1.4	2.7	13.7	65.8	100

经过鉴定,筛选出一批高抗粒黑穗病的品种,其中表现免疫的有 9 个,例如黑软谷、紧穗密码黑黄谷、红秆谷、黑谷、六十日红糙、狗屎软谷、小黑谷、黄谷等。通过分析,综合评定,比较好的材料列于表 2。

表 2 几个高抗粒黑穗病品种的农艺性状

品种名称	历年最高 发病株率(%)	抗 病 类 型	主茎高 (cm)	穗 长 (cm)	穗 重 (g)	穗粒重 (g)	千粒重 (g)	生育期 (天)	粒 色	幼茎色
紧穗密码黑黄谷	0	ZM	107.9	23.4	15.5	11.8	4.1	115	黄	浅紫
红秆谷	0	ZM	112.1	16.7	19.5	15.9	3.1	117	白	紫
黑软谷 819	0	ZM	149.0	21.0	15.0	12.8	3.6	110	黑	绿
黑软谷 818	0	ZM	140.0	18.3	7.8	6.6	3.6	110	黑	绿
黄 谷	0	ZM	113.1	22.3	21.0	15.6	3.7	121	褐	浅紫
六十天谷	0.28	HR	102.5	22.0	14.6	11.5	3.6	118	黑	浅紫
小黑谷	0	ZM	105.4	19.7	14.1	10.2	3.2	123	黑	紫
猪肠红谷	4.2	HR	137.0	25.6	16.0	14.0	3.0	101	红	浅紫

### 2.2 谷子抗粒黑穗病的遗传方式

根据 20 个杂交组合的统计,谷子杂种 F<sub>2</sub>群体的发病株率平均为 17.49%,介于父本(41.5%)和母本(13.25%)之间,低于中亲值(27.4%),并倾向于抗病亲本。如表 3 所示,F<sub>2</sub>群体发病株率的平均标准差(SD)为 4.99,不同组合的抗病性变异和分离很大。统计表明,表型变异系数 16.7%,遗传变异系数 15.02%。从各个组合来看,发病株率的平均标准差,最高的可达

14.39, 最低的仅 1.02, 有 13 个组合 83 个穗行,  $F_2$  抗病性表现为 ZM ~ HR 类型, 占 28.2%; 有 12 个组合 29 个穗行表现为 R 类型, 占 9.9%; 有 16 个组合 123 个穗行表现为 MS 类型, 占 41.8%; 有 8 个组合 39 个穗行表现为 S 类型, 占 13.3%; 有 5 个组合 20 个穗行表现为 HS 类型, 占 6.8%。这些结果表明谷子  $F_2$  粒黑穗病发病株率变异范围十分广泛, 且呈连续性变异。由表 4 看出, 抗病性分布曲线, 有上斜线, 下斜线, 也有单峰曲线和双峰曲线, 证明谷子粒黑穗病的抗性遗传背景十分复杂, 遗传方式为多基因控制的数量遗传, 基因效应既有加性效应, 也有显性效应和上位效应。

表 3 谷子杂种  $F_2$  抗粒黑穗病的表现

类 型	组合名称	母本	父本	MP	$F_2$ 抗病性表现		
					发病株率(%)	SD	抗性类型
ZM × ZM	黄谷 × 黑谷	0	0	0	3.71	4.15	HR
ZM × HR	黑软谷 × 花里齐头白	0	4.4	2.2	1.63	1.76	HR
	狗屎软谷 × 花里齐头白	0	4.4	2.2	3.32	1.06	HR
	六十日红糙 × 花里齐头白	0	4.4	2.2	1.31	1.02	HR
	六十日红糙 × 大毛谷	0	79.3	39.7	21.95	1.73	MS
ZM × HS	六十日红糙 × 压塌车	0	82.6	41.3	9.12	3.72	R
	六十日红糙 × 晋谷 10 号	0	75.4	37.7	18.47	14.39	MS
	六十日红糙 × 尖嘴谷	0	58.1	29.1	13.74	4.67	MS
	黑软谷 × 老鼠谷	0	56.7	28.4	20.78	1.97	MS
	黑软谷 × 晋谷 10 号	0	75.4	37.7	17.68	2.53	MS
	黑软谷 × 尖嘴谷	0	58.1	29.1	27.38	2.90	MS
	毛硬谷 × 小黑谷	52.7	0	26.4	12.26	2.85	MS
	毛硬谷 × 红秆谷	52.7	0	26.4	40.79	7.23	S
HS × ZM	尖嘴谷 × 黑软谷	58.1	0	29.1	19.51	5.51	MS
	晋谷 10 号 × 黑软谷	75.4	0	37.7	19.00	12.43	MS
HR × ZM	猪肠红谷 × 黑谷	4.2	0	2.1	3.24	2.44	HR
R × HS	石榴谷 × 紫苗白	5.9	80.6	43.3	46.69	4.64	S
	石榴谷 × 红来薯	5.9	85.4	45.7	15.56	10.52	MS
	石榴谷 × 压塌车	5.9	82.6	44.3	37.64	9.10	S
HR × HS	猪肠红谷 × 压塌车	4.2	82.6	43.4	16.02	5.25	MS
	平 均	13.25	41.5	27.4	17.49	4.99	

2.3 谷子抗粒黑穗病的超亲遗传

表 5 所示, 谷子  $F_2$  抗粒黑穗病的超亲现象比较普遍, 20 个杂交组合出现超抗性亲本的组合就有 9 个, 占组合数的 45%, 超抗性亲本的超亲率平均为 35.9%, 特别是黄谷 × 黑谷和猪肠红谷 × 黑谷两个组合, 超抗亲率高达 60% 和 66.7%, 黑软谷 × 花里齐头白的超抗亲率也在 50% 以上, 这些正是育种工作所期望的。从高抗株率来看, 20 个组合有 13 个组合出现了高抗穗行, 占组合数的 65%, 高抗株率平均为 45.5%, 其中出现 ZM 类型的有 10 个组合, 占组合数的 50%, ZM 株率平均为 32.6%。特别是猪肠红谷 × 压塌车和石榴谷 × 红来薯两个组合, 双亲均不属 ZM 类型, 但  $F_2$  出现 ZM 株率分别为 14.3% 和 16.7%。这种超亲遗传对抗病育种十分有利。综上所述, 谷子抗粒黑穗病超亲遗传比率如此之高, 为抗病育种提供了较大的选择机会。

表 4 谷子杂种 F<sub>2</sub>抗病性分布频率

类 型	组合名称	穗行数 (行)	抗病性分布 频率(%)					
			ZM	HR	R	MS	S	HS
ZM × ZM	黄谷 × 黑谷	15	60.0	26.7	13.3			
ZM × HR	黑软谷 × 花里齐头白	21	52.4	42.8	4.8			
	狗屎软谷 × 花里齐头白	8	37.5	50.0	12.5			
ZM × HS	六十日红糙 × 花里齐头白	16	25.0	75.0				
	六十日红糙 × 大毛谷	17			11.8	76.4	11.8	
	六十日红糙 × 压塌车	5			60.0	40.0		
	黑软谷 × 老鼠谷	12				83.3	16.7	
	黑软谷 × 晋谷 10 号	21		9.5	19.0	66.7	4.8	
HS × ZM	黑软谷 × 尖嘴谷	27	3.7	3.7		59.3	29.6	3.7
	六十日红糙 × 晋谷 10 号	8	25.0	12.5	25.0	37.5		
	六十日红糙 × 尖嘴谷	17		11.8	23.5	64.7		
	毛硬谷 × 小黑谷	31		19.4	19.4	61.2		
	毛硬谷 × 红秆谷	24				25.0	41.7	33.3
	晋谷 10 号 × 黑软谷	4	25.0			50.0	25.0	
	尖嘴谷 × 黑软谷	6				100		
HR × ZM	猪肠红谷 × 黑谷	9	66.7		22.2	11.1		
HR × HS	猪肠红谷 × 压塌车	14	14.3	14.3		64.3		7.1
R × HS	石榴谷 × 紫苗白	24			4.1	16.7	41.7	37.5
	石榴谷 × 红来署	6	16.7		16.7	66.6		
	石榴谷 × 压塌车	9				33.3	55.6	11.1

表 5 谷子杂种 F<sub>2</sub>对粒黑穗病抗性的超亲遗传情况

类 型	组合名称	超 亲 率 ( % )			高 抗 株 率 ( % )		
		超抗亲	超中亲	合 计	ZM	HR	合 计
ZM × ZM	黄谷 × 黑谷	60.0	0	60.0	60.0	26.7	86.7
ZM × HR	黑软谷 × 花里齐头白	52.4	23.8	76.2	52.4	42.8	95.2
	狗屎软谷 × 花里齐头白	37.5	12.5	50.0	37.5	50.0	87.5
ZM × HS	六十日红糙 × 花里齐头白	25.0	56.3	81.3	25.0	75.0	100
	六十日红糙 × 大毛谷	0	94.1	94.1	0	0	0
	六十日红糙 × 压塌车	0	100	100	0	0	0
	六十日红糙 × 晋谷 10 号	25.0	75.0	100	25.0	12.5	37.5
	六十日红糙 × 尖嘴谷	0	100	100	0	11.8	11.8
HS × ZM	黑软谷 × 老鼠谷	0	75.0	75.0	0	0	0
	黑软谷 × 晋谷 10 号	0	95.2	95.2	0	9.5	9.5
	黑软谷 × 尖嘴谷	3.7	63.0	66.7	3.7	3.7	7.4
	毛硬谷 × 小黑谷	0	96.8	96.8	0	19.4	19.4
	毛硬谷 × 红秆谷	0	20.8	20.8	0	0	0
	晋谷 10 号 × 黑软谷	0	100	100	25.0	0	25.0
	尖嘴谷 × 黑软谷	0	100	100	0	0	0
HR × ZM	猪肠红谷 × 黑谷	66.7	0	66.7	66.7	0	66.7
HR × HS	猪肠红谷 × 压塌车	35.7	64.3	100	14.3	14.3	28.6
R × HS	石榴谷 × 紫苗白	0	45.8	45.8	0	0	0
	石榴谷 × 红来署	16.7	83.3	100	16.7	0	16.7
	石榴谷 × 压塌车	0	77.8	77.8	0	0	0

2.4 谷子对粒黑穗病抗性的遗传力

遗传力高的性状, 在后代中的表现主要决定于遗传的因素, 受环境条件的影响较小。谷子对粒黑穗病抗性, 在 F<sub>2</sub> 的变异中, 遗传方差为 73.71, 环境方差为 122.02, 遗传力平均为 37.66%, 在 5% 的选择压力下, 遗传进度  $\Delta G = 1.17\%$ , 相对遗传进度  $\Delta G = 2.7\%$ , 这就是说, 下一代群体比上一代的抗病性能提高 1.17%, 具有一定选择效果。也说明选用抗病品种作为杂交亲本, 培育抗病品种的成功率也较高。

2.5 谷子抗粒黑穗病的亲子关系

由表 6 得知, 双亲发病株率平均值越大, F<sub>2</sub> 群体发病株率越高, 分离出高抗株率越低, 其相关关系分别为极显著的正相关和极显著的负相关。说明一般用双亲发病株率平均值推断 F<sub>2</sub> 群体的发病株率和分离

表 6 谷子抗粒黑穗病的亲子相关关系

项 目	相关系数	回归方程
中亲值与 F <sub>2</sub> 发病株率	0.6511 <sup>**</sup>	y = 3.4355+ 0.5126x
中亲值与 F <sub>2</sub> 高抗株率	- 0.8446 <sup>**</sup>	y = 81.1893- 1.876x
双亲差值与 F <sub>2</sub> 发病株率	0.6225 <sup>**</sup>	y = 3.7074+ 0.2622x
双亲差值与 F <sub>2</sub> 高抗株率	- 0.8638 <sup>**</sup>	y = 83.7058- 1.0264x
F <sub>2</sub> 与 F <sub>3</sub> 抗病性	0.8723 <sup>**</sup>	y = 1.4027x- 39.1486

出的高抗株率相当可靠。双亲发病株率差值越大, F<sub>2</sub> 群体的发病株率越高, 分离出高抗株率越低, 其相关系数分别为 0.6225<sup>\*\*</sup> 和 - 0.8638<sup>\*\*</sup>, 达到极显著相关的水准。说明双亲发病株率差异过大, 对抗病育种不利, 选择亲本时, 要注意发病株率不宜相差太大。

2.6 谷子对粒黑穗病抗性与粒色的关系

为了探讨谷子对粒黑穗病的抗性与外部形态性状的关系, 我们研究了 52 份材料的主茎高、穗长、穗重、穗粒重、千粒重、生育期等 6 个数量性状及幼苗颜色、粒色、米色等 3 个质量性状。结果发现, 谷子抗粒黑穗病性与数量性状的相关系数均未达到显著相关的水准。只有主茎高和穗长与抗病性的相关系数(0.8439 和 0.8365) 接近  $r_{0.05} = 0.8783$  水准。在质量性状中, 幼苗颜色, 在抗病与感病类型中绿苗与紫苗的比例相差不多, 分别为 33.3 66.7 和 44.2 55.8。米色也无大的差别, 只有粒色差异较大, 抗病类型的品种粒色由白色到深黄色的占 12.5%, 由红色到黑色的比例则高达 87.5%。感病类型的材料则相反, 前者占 81.8%, 后者占 18.2% (表 7)。说明粒色较深的材料比较抗粒黑穗病。E. L. Sharp 引用的资料证明, 小麦抗腥黑穗病的基因 Bt4 和 Bt5 与染色体 1B 上的一个红颖色基因紧密连锁<sup>[5]</sup>。谷子的粒色由 3 对基因控制着, K 基因控制显示黄色, B 基因控制显示灰暗色, I 基因控制颜色的加深, B 基因遇 I 基因显示黑色。谷子抗粒黑穗病的基因是否与控制粒色的基因连锁, 有待进一步研究。

表 7 谷子粒色与抗粒黑穗病的关系

抗性类型	白色	黄白色	浅黄色	黄色	深黄	红色	棕褐色	黑色	合计
感病类型	14 (31.8)	4 (9.1)	6 (13.6)	10 (22.7)	2 (4.6)	5 (11.4)	3 (6.8)	0 (0)	44 (100)
抗病类型	1 (12.5)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (25.0)	1 (12.5)	4 (50.0)	8 (100)

注: 括号内数字为所占百分数。

3 讨论

我们的研究资料证明, 不同品种作亲本杂交时, 育种潜力迥然不同, 同一母本与抗病性大

体相似的不同父本杂交时,  $F_2$  群体的抗病性各异, 且分离出的高度抗病株率也差异颇大。因此, 抗病育种时, 正确地选配杂交组合至关重要。

根据谷子抗粒黑穗病的遗传特点, 在选配杂交组合时, 首先应该注意利用其超亲遗传的特点, 因为谷子抗粒黑穗病的超亲遗传很明显。其次是双亲的抗病性差异不宜过大, 因为双亲抗病性差异越大,  $F_2$  分离的高抗株率就越低。最好是选配  $ZM \times ZM$  类型的组合, 这样的组合, 能分离出 60% 以上的  $ZM$  类型。或是选配  $ZM \times HR$  或  $HR \times ZM$  类型的组合, 这样组合出现高抗株率的几率也比较高, 根据 4 个组合的统计,  $F_2$  出现  $ZM$  株率为 45.4%, 出现  $HR$  株率为 42.0%。另外, 还可选用  $ZM$  和  $HR$  类型材料与农艺性状好的亲本组配杂交组合, 因为谷子抗粒黑穗病仅与粒色发生基因连锁, 而与其他经济性状相关程度较差, 通过杂交有可能把抗病性与优良的农艺性状结合在一起, 选育出高抗粒黑穗病且优质高产的新品种。

### 参 考 文 献

- 1 温琪汾, 巩昌荣, 周树军. 谷子品种抗粒黑穗病的鉴定. 山西农业科学, 1988(12): 14 ~ 15
- 2 张树森等. 张家口地区谷子品种资源黑穗病抗病性鉴定研究简报. 河北农学报, 1984(2): 74 ~ 75
- 3 曹如槐, 梁克恭, 王晓玲. 农作物抗病虫性鉴定方法. 北京: 农业出版社, 1992, 84
- 4 刘来福, 毛盛贤, 黄远章. 作物数量遗传. 北京: 农业出版社, 1984, 110 ~ 125
- 5 纳尔逊等. 植物抗病育种——概念和应用. 北京: 农业出版社, 1979, 117 ~ 118

## Resistance of Foxtail Millet to Kernel Smut and Its Genetic Analysis

Liu Zijian Gu Shilu Ma Jianping Du Jun'e

(Crop Genetics Research Institute, Shanxi Academy  
of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031)

**Abstract** There were great difference of resistance to kernel smut among foxtail millet varieties, of which there were 79.5% varieties with disease affication or high disease affication. The heredity background of resistance to kernel smut of foxtail millet was very complex. The model of the heredity was quantitative heredity with polygenic control and the heritability was 37.66%. The average and mission value of disease incidence of the parents was significantly negative correlative with high resistance ratio of  $F_2$  progeny and  $r = -0.8446^{**}$  and  $-0.8638^{**}$ . Therefore, to select and mate the crosses correctly was very important to breed varieties resistance to kernel smut.

**Key words:** Foxtail millet; Kernel smut of millet; Resistant heredity