

玉米抗粗缩病种质资源鉴定与评价

邸垫平, 路银贵, 张爱红, 杨 菲, 田兰芝, 苗洪芹

(河北省农林科学院植物保护研究所 / 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心 /

农业部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要: 玉米粗缩病是我国玉米种植区主要的病毒病害, 发掘优异的抗性种质资源和选育优良抗病品种是防治玉米粗缩病最为经济有效的措施。本研究在粗缩病重病区采用田间自然发病方法, 对 201 份玉米种质资源进行了连续 2 年的抗性鉴定和评价, 同时采用人工接种方法对其中 25 份种质开展了进一步的鉴定。结果表明, 仅沈 137 高抗粗缩病; P138、丹 3130、辽 68、齐 318、黄野四、CA339、H191、齐 319、X178、SH15、金黄 59、R18 等 12 份自交系表现抗病, 835、中自 01、9046、多黄 29、CA335、金黄 96B、海 9-21、金黄 55、沈 136 等 9 份自交系表现中抗; 方差分析表明, 品种抗性不同年份间的鉴定结果差异极显著 ($F=69.999$, $P<0.01$)。人工接种鉴定结果表明, P138、R18 表现中抗, 黄野四和金黄 55 病情指数为 46.15、82.14, 表现高感粗缩病, 进一步验证齐 319、丹 3130、X178 具有稳定抗病性。筛选出的抗病种质除金黄 96B 外, 其余均选自美国的杂交种 P78599, 抗粗缩病玉米自交系的筛选为抗病品种培育提供了科学依据。

关键词: 玉米自交系; 玉米粗缩病; 水稻黑条矮缩病毒; 抗性鉴定

Identification and Evaluation of Maize Germplasm Resource against *Rice Black Streaked Dwarf Virus*

DI Dian-ping, LU Yin-gui, ZHANG Ai-hong, YANG Fei, TIAN Lan-zhi, MIAO Hong-qin

(Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Integrated Pest Management

Centre of Hebei Province/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern

Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Baoding 071000)

Abstract: Maize rough dwarf disease (MRDD) is a severe virus-conferring disease in multiple maize cultivation areas in China. Exploration of resistant germplasm resource and application in resistance breeding is the most economical and effective measure. In this paper, 201 maize germplasm accessions were subjected upon natural inoculation over two years in a high incidence area for MRDD. Out of them, 25 accessions were tested by artificial inoculation. Under field condition, one accession Shen 137 turned to be highly resistant; 12 inbred lines (P138, Dan 3130, Liao 68, Qi 318, Huangyesi, CA339, H191, Qi 319, X178, SH15, Jinhuang 59 and R18) were resistant, nine accessions (835, Zhongzi 01, 9046, Duohuang 29, CA335, Jinhuang 96B, Hai 9-21, Jinhuang 55 and Shen 136) showed moderate resistance. Notably, the phenotypic datasets gained from two years showed significant different ($F=69.999$, $P<0.01$). Moreover, by tests for disease resistance by deployment of artificial inoculation, two accessions P138 and R18 which turned to be moderately resistant, whereas Huangyesi and Jinhuang 55 were highly susceptible with disease index of 46.15 and 82.14, respectively. However it was further verified that Qi 319, Dan 3130 and X178 had stable disease resistance by artificial inoculation identification. The germplasms showing resistant, except Jinhuang 96B, were selected from the hybrid P78599. Collectively, this study identified several maize inbred lines with rough dwarf disease resistance, valuable in maize breeding for MRDD resistant varieties.

Key words: maize inbred line; maize rough dwarf disease; *Rice black streaked dwarf virus*; resistance identification

收稿日期: 2021-04-20 修回日期: 2021-05-10 网络出版日期: 2021-05-28

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210420001>

第一作者研究方向为作物病毒病害防治, E-mail: chmrdrv@163.com

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0200608)

Foundation project: National Key R&D Program of China (2018YFD0200608)

水稻黑条矮缩病毒 (RBSDV, *rice black streaked dwarf virus*) 侵染玉米导致植株矮化、雄穗发育不良、雌穗缩短、花丝减少,即玉米粗缩病,俗称“坐坡”“万年青”,重病株雄穗不能抽出、雌穗畸形不实或子粒很少,甚至植株提早枯死^[1-2]。山东、江苏、河北、河南、安徽等 13 个省市已报道玉米粗缩病流行危害,重病区减产 20%~60%,重病地块甚至绝产^[3-6]。玉米粗缩病的流行与耕作制度、气候因素有关,但是目前推广的玉米品种大多不抗粗缩病,更加重了病害的流行^[7-8]。水稻黑条矮缩病毒仅通过灰飞虱 (*Laodelphax striatellus*) 传播,调节玉米播种期和化学防治是主要的防治措施,但是灰飞虱具有暴发性,传毒速度快,增加了玉米粗缩病防治的难度。

培育抗病品种是防治玉米粗缩病最经济有效的途径。研究表明,玉米自交系的抗性差异明显,但是抗粗缩病种质资源十分有限^[9-13]。目前玉米抗粗缩

病鉴定主要采用田间自然发病的方法,鉴定结果往往存在偏差,不同环境条件下同一种质对粗缩病的抗性反应型不一致^[9, 11, 14-16],因此玉米抗粗缩病育种进展缓慢。抗性鉴定方法以及环境条件等是影响鉴定结果的重要因素,作者通过研究灰飞虱饲毒时间、循环期、接毒时间、接种虫量等明确了玉米粗缩病抗性鉴定的网箱集团接种法^[17],为玉米抗粗缩病接种鉴定奠定了基础。本研究在田间自然发病鉴定的基础上,采用网箱集团接种方法鉴定了玉米骨干自交系的粗缩病抗性,为选育抗粗缩病品种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

自交系掖 478、掖 107、沈 137 由本实验室繁殖保存,用于抗性鉴定感病对照和抗病对照,其余 198 份玉米材料征集于国内育种单位 (表 1)。

表 1 供试玉米种质材料及系谱来源

Table 1 Maize germplasms and their pedigrees used in this study

编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 / 来源 Pedigree/origin	编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 / 来源 Pedigree/origin
1	沈 137	P 群, 国外杂交种 6JK111	24	89-1	先锋杂交种 P78599
2	P138	P 群, P78599	25	四 273	81162 × 340
3	丹 3130	P78599 选系	26	辽 138	丹 340 × 长美 48
4	辽 68	美国杂交种选系 × NEX307	27	临系 11	不详
5	齐 318	先锋杂交种 P78599	28	y75	陕综 5 号 × pool34
6	黄野四	(野鸡红 × 黄早四) × 墩子黄	29	中黄 64	PN 选自美国 64 杂交种 -1
7	CA339	改良的 Pool33 选系	30	7379-2	京玉 1 × 6625 × 先早 6-192211
8	H191	不详	31	PI143	矮原 311 × LU9801 × 昌 7
9	齐 319	美 78599 系	32	374	(黄早四 × 群 105) × 多黄 15
10	X178	美 78599 系	33	QB80	不详
11	SH15	美 78599 系	34	新自 218	新疆
12	金黄 59	先锋杂交种 P78599	35	材 11-8	330 × 门可 B
13	R18	先锋杂交种 P78599	36	东 46	大黄 46、塔 22C、牛 11 等综合种
14	835	U8112 姊妹系	37	J001	吉 846 × Mo17 × 吉 846
15	中自 01	美国杂交种 P78641	38	CML292	(Pob28 × TSR) -33-2-7-1-2-BB-f
16	9046	沈 5003 × 7922	39	四 144	泰国杂交种
17	多黄 29	先锋杂交种 P78599	40	早 8-3	不详
18	CA335	Pool33 选系	41	698-3	先锋杂交种 P78698
19	金黄 96B	中综 3C2 选系	42	H10	不详
20	海 9-21	P78599 等 4 杂交种混合授粉	43	综 31	自 330 系统综合种
21	金黄 55	先锋杂交种 P78599	44	种苗 28	(K12 × 196) × K12
22	沈 136	先锋杂交种 P78599 复合杂交	45	CML396	P21C5HC2109-3-1-5-4-B-4-3-##-2-B*6
23	31778	先锋杂交种 P78599	46	品 1P6Co	P78599

表 1(续)

编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 / 来源 Pedigree/origin	编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 / 来源 Pedigree/origin
47	吉 846	Mo17 改良系	86	CN165	保持系
48	四自四	(黄早四 × 自 334) × 黄早四	87	M14	BR10 × R8
49	H3	不详	88	四 387	(Mo17 × 8112) × Mo17
50	齐 209	齐 205 × 掖 107	89	新自 153-2	新疆农科院引入
51	沈 118	朝 23 × 超甜	90	四 287	444 × 255
52	2002F17	不详	91	CN962	黄早四改良系
53	川 321	先锋杂交种 P78599	92	吉 63	吉双一号(127-32 × 铁 84) × (威 24 × 威 20)
54	OH43	W8 × Oh40B	93	丹 340	(白骨旅 9 × 有稃玉米)60Co 辐射
55	D 黄 212	D729 × 黄早四	94	PI42	黄早 4 × LU9801 × 昌 7
56	四 F1	R Mo17	95	吉 465	Mo17 改良系
57	L102	不详	96	200B	自 330 × 187-2
58	沈 5003	美国单交种 3147	97	关 17	Mo17 × 关 73
59	H152	不详	98	803	U8112 × 沈 5003
60	7165-1	B-41 红轴	99	CML206	CIMMYT, 津巴布韦 EV7922
61	郑 22	丹 340 × E28	100	T8	不详
62	掖 515	(桦风 100* 矮 C103) * 黄早四	101	吉 1037	(Mo17 × Suwan1) × Mo17
63	7167-1	B-38	102	WF9	Wilson Farm Reid
64	辽 3053	沈 5003 × b68/ 铁 7922	103	CA091	(505/o2 × 7091) × 7091
65	中 106	也门热带种质	104	CAL70	中综 4 号
66	CA375	改良的 Pool33 选系	105	K10	沈 5003 × 长 3
67	HZ85	不详	106	鲁原 133	原齐 721 × 黄早四
68	5022(B)	B73	107	长 3	英粒子
69	M0113	海玉 6 父本	108	特 70	合 344 × 422
70	PI10	不详	109	吉 8415	340 改良
71	Y7	不详	110	中 451	R4513 × 热带玉米 Sailisi
72	4379	P6C0 选系	111	杂 C546	C103 杂株
73	501	铁 79-22 × 抗 1	112	81565	墨白 94 综合种 × (金 03 × 获白)
74	自 330	oh43 × 可利 67	113	E28	(旅 9 宽 × A619Ht) × 旅 9 宽
75	莫群 17	选自 Mo17 群体	114	J002	吉 63 × Mo17
76	郑 58	478 变异株	115	齐 205	(V 矮 141 × 中系 017) × 群体 70
77	唐四平头	唐四平头	116	中黄 204	Mo17 改良系
78	中 17	不详	117	旱 21	P78599 选系
79	昌 7-2	昌单 7 号(潍 59* 黄早四)/S901	118	444	A619Htl × 黄早四
80	C28	不详	119	K12	黄早四 × 维春
81	DP62-7	CAL70	120	东 237	M14, 维尔 44 等综合种
82	丹 599	先锋杂交种 P78599	121	旅九宽	旅 9 杂株选系
83	1029	U8112 × 515	122	H21	黄早四 × H84
84	黄早四	早熟塘四平头为母本的杂种分离后代	123	706 辐	C103 辐射
85	6523	美国引入	124	吉 412	Mo17 × 金 09

表 1(续)

编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 / 来源 Pedigree/origin	编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 / 来源 Pedigree/origin
125	S37	Suwan	164	77	(矮 525 × 5344) × (三团 × 黄早 4)
126	川 273	川 273	165	888-9	美国 DK888
127	辽 5114	铁 7922 × 沈 5003	166	LX9801	黄早四 × H21
128	早 23	P78599	167	TZ18	尼日利亚
129	早 49	合 344 × 太系 138 低温诱变		(Cream)	
130	吉 477	杂交种 HC777	168	ВНР44	威尔 44
131	郑 30	郑 20 × 掖 478	169	65232 宽	(莫桑比克玉米 × 大红袍) × 5003
132	铁 7922	从美国杂交种 3382 中分离	170	8001	488 × 3189 姊妹种
133	S7913	Suwan1 群体	171	豫 12	Mo17 改良系
134	辽巨 311	哈达顶变异株(南斯拉夫)	172	甸 11	桦甸红骨子
135	鲁原 92	原齐 122*1137	173	吉 495	(Mo17 × L105) × Mo17
136	中综 4C1-3	不详	174	吉 842	吉 63 × Mo17
137	HC	(黄小 162 × 自 330/o2) × Tuxpeno	175	吉 419	B68Ht × Mo17
138	CML51	选自 STA.ROSA8079	176	丹黄 02	旅 28 等 10 个旅大红骨系统综合种
139	汶黄	黄早四 × 汶青 1331	177	独 321	独青 × 异 32
140	英 64	U8112 × 沈 5003, 掖 478 姐妹系	178	鲁 2548	齐 205 × 掖 478
141	CA112	不详	179	48-2	Mo17 × 丹 340/S37
142	郑 28	不详	180	B73	BSSS 群体
143	196	340* 黄早四(502 的选系)	181	冀 53	冀群 2C0-2
144	BJ005	不详	182	龙抗 11	Mo17 × 自 330
145	502	340* 黄早四	183	郑 29	沈 5003 改良系
146	合 344	自常武白头霜 × Mo17	184	W24	美国杂交种
147	川 1073-7	330 × 门可 B	185	U8112	PN
148	7884	78-6 × H84/78-6	186	ES40	不详
149	丹 598	(丹 340 × 丹黄 11 × 丹黄 02 × 丹 599)	187	本 M130	7884-7 × M67
150	Mo17	C103 × 187-2(kurg)	188	掖 52106	525 × 107/106
151	中黄 68	先锋杂交种 P78599	189	3189	8112 × 5003
152	K22	掖 478 改良系	190	H201	(丹 340 × 515) × 黄早四
153	7537-1	6678 × F5-2	191	N28	黄早四 × 107
154	M3005	不详	192	CA156	Pool 34 QPM
155	塔 5	地方品种	193	B84	BSSS 群体
156	吉 853	(黄早四 × 自 330) × 黄早四	194	7595-2	B84 × C107-7
157	434	466 × 桦 94	195	辽白 371	大白粒二环系
158	N528-1 (1284)	日本群体	196	东 91	大黄
159	掖 478	U8112 × 沈 5003	197	掖 107	Dekalb 杂交种 XL80
160	K14	5005 × 6917	198	B104	BS13(S) C5
161	吉 818	(VT157 × 吉 63) × 吉 63BC4	199	吉 4112	U8112 × B73ht
162	武 314	黄早四 × (武 302D+ 黄爆裂)	200	吉 81162	矮金 525 × 掖 107
163	5213	Mo17 改良系	201	8902	81162 × 掖 107

1.2 田间自然发病鉴定方法

2019-2020 年连续 2 年在玉米粗缩病重病区河北省保定市曲阳县塔头村采用灰飞虱自然传毒法进行抗性鉴定, 试验圃周围种植有果树、小麦, 环境均匀一致, 灰飞虱虫量大, 毒源较多。5 月 25 日播种, 玉米苗期与灰飞虱迁飞期相遇, 适合粗缩病发生。试验材料单粒穴播, 株距 0.3 m, 每行 17~20 株, 行长 5 m, 行距 0.6 m。每份材料播种 1 行, 顺序排列, 重复 2 次。每隔 50 行材料播种感病对照掖 478 和抗病对照沈 137 各 1 行。播种时施足底肥, 出苗后喷施除草剂, 全生育期内不使用任何内吸性杀虫剂。8 月中旬抽雄孕穗期按照陈巽祯等^[2]的方法分级调查玉米粗缩病病株率及严重程度。玉米粗缩病严重度分级标准: 0 级, 健株; 1 级, 株高为健株株高的 4/5 左右, 仅上部叶片叶背面有白色蜡泪状突起, 散粉不良, 果穗稍短; 2 级, 株高为健株株高的 1/2 左右, 叶片丛生状, 雄穗轴短缩, 雄花发育不良, 果穗仅为正常果穗的 1/2, 结实差; 3 级, 株高为健株株高的 1/3 左右, 顶部叶片小而上冲, 雄穗小没有花粉, 果穗小而畸形, 花丝少结实极差; 4 级, 植株严重矮缩, 不抽穗, 无果穗或有穗无粒, 一般提早枯死。

1.3 网箱集团接种鉴定方法

为了进一步验证田间自然发病鉴定结果, 选择 25 份表现不同抗性的种质材料进行网箱集团接种鉴定。首先, 采集田间玉米粗缩病病株, 灰飞虱在病株上饲毒后转移至小麦苗上传毒, 直至小麦表现绿矮症状, 作为接种用毒源。室内在小麦苗上人工饲养繁殖无毒灰飞虱, 2 龄时转移到小麦绿矮病株上饲毒 3 d, 而后转至小麦健株上饲养, 20 d 循环期后用于传毒接种。

在塑料箱 (0.7 m × 0.6 m × 0.2 m) 内撒上石英砂而后播种试验材料, 每份材料播种 1 行 15 株, 每箱播种 13 份材料和感病对照掖 107, 玉米长至二叶一心时用 60 目网箱 (0.7 m × 0.6 m × 0.5 m) 罩住, 放入约 1200 头带毒灰飞虱 (带毒率为 22.83%~27.13%) 进行传毒接种, 室温培养 3 d, 每天人工扰动促使灰飞虱迁飞传毒。而后将灰飞虱移走, 待玉米苗长至 3~4 叶时移栽至田间防虫网内, 适时浇水, 进行常规管理, 抽雄孕穗期调查玉米粗缩病病株率及严重程度。

1.4 数据处理及抗性评价

玉米粗缩病症状按 5 级分级标准记载发病级别, 然后计算病情指数和病株率。应用 SPSS 软件单变量一般线性全因子模型对病情指数进行方差

分析。

病情指数 = $[\Sigma(\text{植株各级病株数} \times \text{相应级别}) / (\text{总株数} \times \text{最高级别})] \times 100$

病株率 = $[(\Sigma \text{植株各级病株数}) / \text{调查株数}] \times 100\%$

抗性评价依据病情指数分为: 病情指数低于或等于 3.0 为高抗 (HR); 3.1~10.0 为抗病 (R); 10.1~20.0 为中抗 (MR); 20.1~40.0 为感病 (S); 40.1~100 为高感 (HS)。

2 结果与分析

2.1 玉米自交系抗粗缩病田间自然鉴定

2019-2020 年试验田邻近麦田, 小麦绿矮病株率较高, 而且灰飞虱发生量大, 表明毒源充足, 田间自然环境适宜玉米抗粗缩病鉴定。田间鉴定结果表明, 感病对照掖 478 2019 年病株率为 35.29%~76.47%, 病情指数为 35.0~79.41; 2020 年发病率为 33.33%~89.47%, 病情指数为 33.33~85.53; 抗病对照沈 137 2019 年病株率为 0~5.88%, 病情指数为 0~1.47; 2020 年发病率为 15.38%~18.18%, 病情指数为 3.85~4.55。其余 199 个自交系 2 年的平均病情指数为 4.27~78.48 (图 1), 其中抗性自交系有 12 份, 分别是 P138、丹 3130、辽 68、齐 318、黄野四、CA339、H191、齐 319、X178、SH15、金黄 59、R18; 中抗自交系有 9 份, 分别是 835、中自 01、9046、多黄 29、CA335、金黄 96B、海 9-21、金黄 55、沈 136; 另外, 有 84 份自交系表现感病, 94 份自交系表现高感粗缩病, 感病自交系和高感自交系分别占 41.79%、47.26% (图 2)。

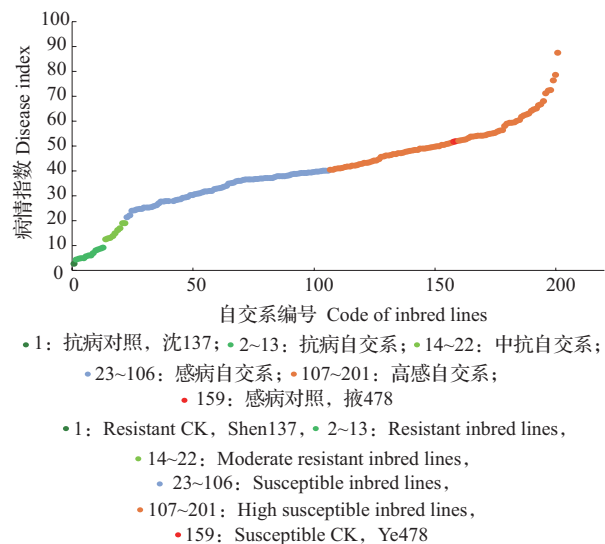


图 1 玉米种质抗粗缩病田间自然发病鉴定
Fig.1 Identification results of maize germplasms resistant to RBSDV with natural inoculation in the field

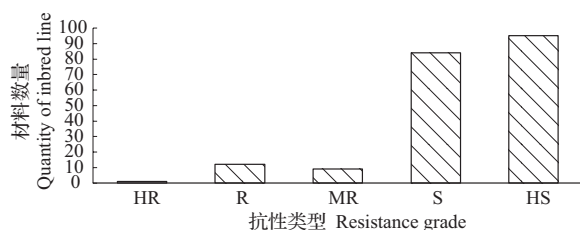


图2 玉米种质粗缩病抗性类型及数量

Fig.2 Resistance type and quantity of maize germplasm to rough dwarf disease

2.2 田间自然鉴定粗缩病抗性差异显著性分析

连续2年对201份玉米种质材料的粗缩病抗病

性鉴定结果的方差分析(表2)结果表明,不同种质材料抗性呈极显著差异($F=4.255$, $P<0.01$),其中抗性自交系病情指数为4.27~9.09,中抗自交系病情指数为12.27~18.86,感病和高感自交系病情指数分别为21.18~39.96和40.22~87.32。各自交系不同年份间的方差分析表明,两年鉴定结果差异极显著($F=69.999$, $P<0.01$),2019年与2020年不同种质的病情指数平均值分别为44.45和35.15,同一种质两年病情指数相差0.07~42.62,如2019年和2020年冀53病情指数分别为80.42和37.8,丹340两年的病情指数分别为51.67和25.64,因此不同年份鉴定结果存在较大差异。

表2 田间自然鉴定粗缩病抗性方差分析

Table 2 Variance analysis of resistance to maize rough dwarf virus in field natural identification

变异来源	Ⅲ型平方和	自由度	均方	F值	显著性
Source of variation	Type III SS	df	Mean square	F value	Significance
校正模型 Corrected model	248101.928 [*]	396	626.520	2.756	0.000
截距 Intercept	1249687.809	1	1249687.809	5496.320	0.000
种质 Germplasm	193504.636	200	967.523	4.255	0.000
年份 Year	15915.444	1	15915.444	69.999	0.000
种质 × 年份 Germplasm × Year	37428.171	195	191.939	0.844	0.910
误差 Error	90265.140	397	227.368		
总计 Total	1593637.981	794			
校正的总计 Corrected total	338367.068	793			

^{*}: 决定系数 $R^2=0.733$, 调整 $R^2=0.467$

^{*}: $R^2=0.733$, Adjusted $R^2=0.467$

2.3 玉米自交系抗粗缩病人工接种鉴定

采用网箱集团接种方法鉴定了25份玉米种质的粗缩病抗性,结果表明(表3),齐319、丹3130、X178抗粗缩病,病情指数分别为5.36、6.82、6.92;中自01、P138、R18病情指数分别为11.54、12.50和19.44,表现中抗;多黄29病情指数为20.83,对玉米粗缩病抗性表现感病;黄野四、金黄55病情指数为46.15、82.14,表现为高感粗缩病,较田间自然鉴定抗性降低。其余16份田间鉴定为感病和高感粗缩病,种质人工接种鉴定均表现为高感粗缩病,病情指数较自然鉴定增加25.78~67.32。抗病自交系接种后潜伏期为15~17 d,初期症状为叶脉间出现虚线条点,叶片黑绿症状较轻;植株仅上部1~2个茎节明显缩短,雄穗可抽出散粉。感病自交系接种后10~12 d即表现明显症状,5~6叶叶脉间可见透明虚线条点,15 d后叶片显现黑绿症状,植株严重矮化,雄穗不能抽出。

3 讨论

选育抗病品种是防治玉米粗缩病最经济有效

的途径,自20世纪90年代我国育种工作者开展了玉米粗缩病抗源的鉴定与评价,筛选出一批抗病种质材料,如齐319、沈137、黄早四、多黄29、丹3130、CN962、沈118、P138、CA335、N87-1、齐318、掖1025、冀8、综3、中黄64、GY237、黄早四、大粒红、大红袍玉米等^[10,12,14-15],表明PB和四平头亚群是抗粗缩病育种的重要种质类群。但是,玉米粗缩病抗性鉴定结果存在显著差异^[18],主要原因是灰飞虱虫量等自然环境影响田间自然鉴定的可靠性,其次抗性评价标准不统一导致同一种质的抗性等级划分不一致,如齐319、P138、黄早四、丹340、黄野四、鲁元92、沈5003等^[9-12]。本研究采用田间自然鉴定方法筛选的201份材料中没有发现免疫材料,仅有21份材料表现抗病或中抗,人工接种鉴定进一步验证齐319、丹3130、X178具有稳定抗病性,为抗病育种提供了依据。抗病种质资源在多年多点筛选基础上进行人工接种鉴定可以提高鉴定结果的可靠性和准确性。

表 3 玉米自交系抗粗缩病田间鉴定与人工接种鉴定的病情指数
Table 3 Disease index of maize inbred lines resistant to RBSDV identified by natural inoculation in the field and artificial inoculation

编号 Code	自交系 Inbred line	2019 年田间鉴定 Field inoculation in 2019		2020 年田间鉴定 Field inoculation in 2020		田间鉴定 平均值 Average value	接种鉴定 Artificial inoculation
		重复 1	重复 2	重复 1	重复 2		
		Block group 1	Block group 2	Block group 1	Block group 2		
1	齐 319	10.29	0.00	0.00	16.67	6.74	5.36
2	丹 3130	6.67	3.33	0.00	8.33	4.58	6.82
3	X178	8.82	1.56	6.25	14.71	7.84	6.92
4	中自 01	15.63	10.00	5.00	20.00	12.66	11.54
5	P138	10.29	2.94	0.00	3.85	4.27	12.50
6	R18	21.67	4.69	10.00	0.00	9.09	19.44
7	多黄 29	26.47	5.77	8.33	13.89	13.62	20.83
8	黄野四			4.17	6.82	5.49	46.15
9	唐四平头	27.78	46.15	47.73	25.00	36.66	62.50
10	临系 11	34.38	25.00	18.42	19.74	24.38	66.67
11	旱 23	62.50	51.67	27.94	40.00	45.53	72.73
12	郑 58	39.58	32.69	26.47	47.22	36.49	73.21
13	辽 5114	78.57	51.92	12.50	35.42	44.60	79.17
14	丹 340	45.00	58.33	21.88	29.41	38.66	80.00
15	金黄 55	4.69	27.94	18.75	23.68	18.77	82.14
16	黄早 4	48.44	43.06	36.84	20.83	37.29	84.91
17	综 31	26.67	41.67	18.75	25.00	28.02	89.67
18	Mo17	32.69	54.69	44.74	66.07	49.55	97.92
19	掖 107	96.88	75.00	66.67	50.00	72.14	97.92
20	沈 5003	41.67	29.55	30.77	25.00	31.75	99.07
21	昌 7-2	18.18	39.29	39.71	50.00	36.79	100.00
22	HC	33.33	57.35	70.00	27.78	47.12	100.00
23	丹 598	64.29	38.33	28.95	65.79	49.34	100.00
24	掖 478	45.45	50.00	50.00	61.54	51.75	100.00
25	B73	69.64	43.75	70.45	51.32	58.79	100.00

玉米粗缩病是灰飞虱传播的一种病毒病,利用灰飞虱传毒进行人工接种鉴定是抗粗缩病种质筛选的可靠途径,根据玉米接种后荧光定量 RT-PCR 检测 RBSDV 的结果快速评定玉米的抗感性,为玉米抗粗缩病评价提供了新的方法^[19-20]。随着玉米分子生物学与基因组学的快速发展,在接种鉴定基础上开发粗缩病抗病基因分子标记有助于抗病种质筛选。近年来,抗粗缩病基因定位研究中取得了显著进展,在不同遗传群体中检测出大量的玉米抗粗缩病相关的基因位点,获得了与之连锁的分子标记,为粗缩病抗

病种质的筛选及应用奠定了基础^[21-25]。迄今为止,用于抗性基因定位分析的抗原主要来源于美国杂交种 P78599,本研究筛选的抗病材料除金黄 96B 外,其余均选自先锋公司杂交种 P78599,说明玉米抗粗缩病种质材料十分缺乏,而且遗传基础较窄,因此,利用传统的杂交育种方法培育抗玉米粗缩病品种仍面临巨大挑战。随着病毒基因组研究及深度测序技术的应用^[26-28],利用现代分子生物学和基因工程技术手段挖掘抗粗缩病基因,筛选或创制新材料培育抗病品种是彻底解决玉米粗缩病的根本途径。

参考文献

- [1] Zhang H M, Chen J P, Lei J L, Adams M J. Sequence analysis shows that a dwarfing disease on rice, wheat and maize in China is caused by *rice black streaked dwarf virus*. *European Journal of Plant Pathology*, 2001, 107 (5): 563-567
- [2] 陈巽祯, 杨满昌, 刘信义, 杨本荣. 玉米粗缩病发病规律及综合防治研究. *华北农学报*, 1986, 1 (2): 90-97
Chen X Z, Yang M C, Liu X Y, Yang B R. Studies on the occurrence of maize rough dwarf virus disease and integrated program control. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 1986, 1 (2): 90-97
- [3] 苗洪芹, 陈巽祯. 河北省玉米粗缩病发生危害与防治. *植物保护*, 1997, 23 (6): 17-18
Miao H Q, Chen X Z. Prevalence and control of maize rough dwarf disease in Hebei province. *Plant Protection*, 1997, 23 (6): 17-18
- [4] 周广和, 王锡锋, 杜志强. 我国玉米病毒病防治研究中有待解决的问题. *植物保护*, 1996, 22 (1): 32-34
Zhou G H, Wang X F, Du Z Q. The problem for control maize virus disease in China. *Plant Protection*, 1996, 22 (1): 32-34
- [5] 陈声祥, 张巧艳. 我国水稻黑条矮缩病和玉米粗缩病研究进展. *植物保护学报*, 2005, 32 (1): 97-103
Chen S X, Zhang Q Y. Advance in researches on rice black streaked dwarf disease and maize rough dwarf disease in China. *Acta Phytopylacica Sinica*, 2005, 32 (1): 97-103
- [6] 孟凡亮. 鲁南地区夏玉米粗缩病发生流行因素分析与治理对策探索. *中国植保导刊*, 2009 (1): 19-22
Meng F L. The outbreak factors of maize rough dwarf disease and control measure in the southern of Shandong. *China Plant Protection*, 2009 (1): 19-22
- [7] 张晓婷, 高飞, 张立荣, 孙炳剑, 李洪连. 河南省部分地区玉米粗缩病暴发原因分析与防治对策. *河南农业科学*, 2011, 40 (2): 100-102
Zhang X T, Gao F, Zhang L R, Sun B J, Li H L. Factor analyses and control strategies of outbreak of maize rough dwarf disease in part regions of Henan province. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2011, 40 (2): 100-102
- [8] 檀根甲, 王向阳, 李森, 董猛, 巩旭, 孟召鹏. 玉米主要品种对粗缩病的田间抗性评价. *安徽农业大学学报*, 2012, 39 (5): 667-671
Tan G J, Wang X Y, Li M, Dong M, Gong X, Meng Z P. Evaluation of resistance to maize rough dwarf disease virus. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2012, 39 (5): 667-671
- [9] 杨兴飞, 温广波, 杨轶. 玉米不同种质对粗缩病的抗性鉴定和分析. *玉米科学*, 2010, 18 (3): 144-146
Yang X F, Wen G B, Yang Y. Resistance identification and analysis of different maize germplasms to maize rough dwarf virus. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18 (3): 144-146
- [10] 陈永坤, 李新海, 肖木辑, 李明顺, 苑森行, 王向东, 张世煌. 64份玉米自交系抗粗缩病的遗传变异分析. *作物学报*, 2006, 32 (12): 1848-1854
Chen Y K, Li X H, Xiao M J, Li M S, Yuan S X, Wang X D, Zhang S H. Genetic variation in sixty four maize inbred lines in relation to maize rough dwarf virus. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32 (12): 1848-1854
- [11] 路银贵, 苗洪芹, 邸垫平, 田兰芝. 中国玉米杂交优势群主要种质抗玉米粗缩病性鉴定. *河北农业大学学报*, 2010, 33 (3): 5-7, 12
Lu Y G, Miao H Q, Di D P, Tian L Z. Resistance evaluation of main inbred lines of national maize heterotic groups to RBSDV. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2010, 33 (3): 5-7, 12
- [12] 陈艳萍, 袁建华, 孟庆长, 张彦兵. 玉米自交系粗缩病毒抗性鉴定研究. *金陵科技学院学报*, 2007, 23 (3): 57-60
Chen Y P, Yuan J H, Meng Q C, Zhang Y B. Study on identification for the resistance of maize inbred lines to maize rough dwarf virus. *Journal of Jinling Institute of Technology*, 2007, 23 (3): 57-60
- [13] 金柳艳, 李明顺, 鲁晓民, 杨硕, 孔晓民, 石洁. 外引玉米种质抗粗缩病配合力分析. *华北农学报*, 2017, 32 (S1): 81-87
Jin L Y, Li M S, Lu X M, Yang S, Kong X M, Shi J. Rough dwarf disease resistance identification analysis for exotic maize germplasm. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2017, 32 (S1): 81-87
- [14] 刘志增, 池书敏, 宋占权, 陈景堂, 孟义江. 玉米自交系及杂交种抗粗缩病性鉴定与分析. *玉米科学*, 1996, 4 (4): 68-70
Liu Z Z, Chi S M, Song Z Q, Chen J T, Meng Y J. Resistance identification and analysis of the maize inbreds and hybrids to MRDV. *Maize Science*, 1996, 4 (4): 68-70
- [15] 尚佑芬, 赵玖华, 都森烈, 路兴波, 王升吉, 孙红炜, 杨崇良. 玉米推广品种与品种资源抗病毒病苗期鉴定初报. *山东农业科学*, 2001 (4): 3-5, 11
Shang Y F, Zhao J H, Du S L, Lu X B, Wang S J, Sun H W, Yang C L. Identification and investigation on resistance to virus diseases of both maize commercial varieties and germplasm at seedling stage. *Shandong Agricultural Science*, 2001 (4): 3-5, 11
- [16] 薛林, 张丹, 徐亮, 金萌萌, 彭长俊, 徐辰武. 玉米抗粗缩病自交系种质的发掘和遗传多样性及其在育种中的应用. *作物学报*, 2011, 37 (12): 2123-2129
Xue L, Zhang D, Xu L, Jin M M, Peng C J, Xu C W. Mining and analyzing genetic diversity for maize rough dwarf disease resistant germplasms and its application in maize breeding. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37 (12): 2123-2129
- [17] 邸垫平, 苗洪芹, 路银贵, 田兰芝. 玉米抗粗缩病接种鉴定方法研究初报. *河北农业大学学报*, 2005, 28 (2): 76-78, 103
Di D P, Miao H Q, Lu Y G, Tian L Z. Study on the method of inoculation and identification for the resistance of maize to maize rough dwarf virus. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2005, 28 (2): 76-78, 103
- [18] 路银贵, 邓风, 苗洪芹, 田兰芝, 邸垫平, 张增芬. 河北省主推玉米品种对粗缩病抗性鉴定及病情指标与产量损失率关系研究. *植物保护*, 2007, 33 (6): 90-93
Lu Y G, Deng F, Miao H Q, Tian L Z, Di D P, Zhang Z F. Identification of the disease resistance of maize cultivars to maize rough dwarf disease and the relationships between disease indices and yield loss. *Plant Protection*, 2007, 33 (6): 90-93
- [19] Han X H, Chen T M, Yue R Q, Guo S L, Xu M M, Lu C X, Fan Y P, Chen N N, Liu L, Fu X F, Guo X H, Xia Y, Tie S G. A *rice black streaked dwarf virus* replication curve model to evaluate maize rough dwarf disease resistance. *Plant Disease*, 2019, 103 (5): 868-873
- [20] Wang F, Qin G Z, Sui Z H, Wang Z H, Wang Z Y, Yu J L,

- Zhang J R. Improved method for assaying maize plant resistance to maize rough dwarf disease by artificial inoculation and real-time RT-PCR. *European Journal of Plant Pathology*, 2006, 116 (4): 289-300
- [21] Feng Z M, Yuan M, Zou J, Wu L B, Wei L, Chen T Y, Zhou N N, Xue W X, Zhang Y F, Chen Z X, Hu K M, Wang G L, Liu W D, Pan X B, Zuo S M. Development of marker-free rice with stable and high resistance to rice black streaked dwarf virus disease through RNA interference. *Plant Biotechnology Journal*, 2021, 19 (2): 212-214
- [22] Wang X T, Yang Q, Dai Z J, Wang Y, Zhang Y Y, Li B Q, Zhao W M, Hao J J. Identification of QTLs for resistance to maize rough dwarf disease using two connected RIL populations in maize. *PLoS ONE*, 2019, 14 (12): e0226700
- [23] Tao Y F, Liu Q C, Wang H H, Zhang Y J, Huang X Y, Wang B B, Lai J S, Ye J R, Liu B S, Xu M L. Identification and fine-mapping of a QTL, qMrdd1, that confers recessive resistance to maize rough dwarf disease. *BMC Plant Biology*, 2013, 13 (1): 145-158
- [24] Liu C L, Hua J G, Liu C, Zhang D G, Hao Z F, Yong H J, Xie C X, Li M S, Zhang S H, Weng J F, Li X H. Fine mapping of a quantitative trait locus conferring resistance to maize rough dwarf disease. *Theoretical and Applied Genetics*, 2016, 129 (12): 2333-2342
- [25] Liu Q C, Deng S N, Liu B S, Tao Y F, Ai H Y, Liu J J, Zhang Y Z, Zhao Y, Xu M L. A helitron-induced RabGDI α variant causes quantitative recessive resistance to maize rough dwarf disease. *Nature Communications*, 2020, 11 (1): 495-509
- [26] Li M J, Li Y Q, Xia Z H, Di D P, Zhang A H, Miao H, Zhou T, Fan Z F. Characterization of small interfering RNAs derived from rice black streaked dwarf virus in infected maize plants by deep sequencing. *Virus Research*, 2017, 228 (1): 66-74
- [27] Li A Q, Li G H, Zhao Y H, Meng Z D, Zhao M, Li C S, Zhang Y, Li P C, Ma C L, Xia H, Zhao S Z, Hou L, Zhao C Z, Wang X J. Combined small RNA and gene expression analysis revealed roles of miRNAs in maize response to rice black streaked dwarf virus infection. *Scientific Reports*, 2018, 8 (1): 13502
- [28] Li M J, Sun X, Di D P, Zhang A H, Qing L, Zhou T, Miao H Q, Fan Z F. Maize AKIN β γ proteins interact with P8 of rice black streaked dwarf virus and inhibit viral infection. *Viruses*, 2020, 12 (12): 1387