

玉米种质抗拟轮枝镰孢与禾谷镰孢穗腐病 鉴定及抗性多样性分析

夏玉生^{1,2}, 郭成³, 温胜慧⁴, 孙素丽¹, 朱振东¹, 段灿星^{1,2}

(¹中国农业科学院作物科学研究所 / 农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程, 北京 100081;

²三亚中国农业科学院南繁研究院, 三亚 572024; ³甘肃省农业科学院植物保护研究所, 兰州 730070;

⁴山西农业大学玉米研究所, 忻州 034000)

摘要: 穗腐病是玉米生产上最重要的病害之一, 严重影响其产量和品质, 威胁人畜健康。选育和利用优良的抗穗腐病品种, 是防治玉米穗腐病最为经济有效的措施。利用花丝通道注射法, 在北京昌平和海南三亚 2 个试验点, 对 346 份玉米自交系进行了抗拟轮枝镰孢与禾谷镰孢穗腐病的鉴定与评价。综合分析 2 个试验点的抗性鉴定数据表明, 对拟轮枝镰孢穗腐病表现高抗、抗病、中抗、感病和高感的材料分别为 1、43、106、147 和 49 份, 占总鉴定材料的 0.3%、12.4%、30.6%、42.5% 和 14.2%; 对禾谷镰孢穗腐病表现高抗、抗病、中抗、感病和高感的材料分别为 10、32、55、79 和 170 份, 占比分别为 2.9%、9.3%、15.9%、22.8% 和 49.1%。对 2 种镰孢穗腐病同时表现中抗以上水平的种质共 45 份, 其中 1 份 (15-TL-1224) 高抗 2 种穗腐病、2 份 (PT351-1、18-QTL-25) 对禾谷镰孢和拟轮枝镰孢穗腐病表现高抗和抗病, 18-QTL-04、18-YJY-18、18-YJY-02、18-HDY-14 种质同时表现抗病, 是难得的抗穗腐病资源。对上述 45 份抗病种质和 144 份感病材料进行的 2 种穗腐病抗性相关性分析表明, 45 份抗病种质对 2 种穗腐病的抗性相关系数为 0.24, 144 份感病材料对 2 种穗腐病抗性的相关性系数为 -0.16。40 对多态性 SSR 引物对其中 41 份抗性材料中扩增出 183 个等位基因, 多态性位点百分率为 100.00%, 平均等位基因数和有效等位基因数分别为 3.7556、7.6923, 平均 Nei's 基因多样性、Shannon's 信息指数分别为 0.6596、1.4458, 平均多态信息含量为 0.326, 变幅为 0.0513~1.0000。通过 UPGMA 聚类分析, 41 份抗病材料被划分为 7 个类群, 分别是美国现代杂交种中 B 群种质 (PB)、兰卡斯特 (Lan)、未知类群、美国现代杂交种中 A 群种质 (PA)、旅大红骨 (LRC)、衣阿华坚秆综合种 (BSSS) 和塘四平头 (TSPT), 表现出较高的遗传多样性, 其中 PA 类群和 PB 类群包含的抗病种质最多。研究结果将为玉米穗腐病抗病育种中抗源的选择和利用提供参考。

关键词: 玉米种质; 拟轮枝镰孢穗腐病; 禾谷镰孢穗腐病; 抗性鉴定; 遗传多样性

Identification of Maize Germplasm Resistant to Fusarium Ear Rot and Gibberella Ear Rot and Genetic Diversity Analysis of Resistant Lines

XIA Yu-sheng^{1,2}, GUO Cheng³, WEN Sheng-hui⁴, SUN Su-li¹, ZHU Zhen-dong¹, DUAN Can-xing^{1,2}

(¹Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences / National Key Facility for Crop Gene Resources and

Genetic Improvement, Beijing 100081; ²National Research Institute of Breeding in Hainan, CAAS, Sanya 572024;

³Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

⁴Maize Research Institute, Shanxi Agricultural University, Xinzhou 034000)

Abstract: Ear rot is one of the most devastating diseases in maize production in China, which seriously affects the yield and quality of maize and threatens the health of humans and animals. Breeding and using excellent ear rot resistant varieties is the most economical and effective measure to prevent and control maize

收稿日期: 2021-07-27 修回日期: 2021-08-11 网络出版日期: 2021-09-18

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210727001>

第一作者研究方向为玉米抗病鉴定与抗性基因发掘, E-mail: 619225430@qq.com

通信作者: 段灿星, 研究方向为玉米种质资源抗病研究, E-mail: duancanxing@caas.cn

基金项目: 三亚崖州湾科技城管理局 2020 年度科技计划项目 (SKJC-2020-02-001); 中国农业科学院农业科技创新工程 (CAAS-ASTIP-2017-ICS)

Foundation projects: The Project of Sanya Yazhou Bay Science and Technology City (SKJC-2020-02-001), Agricultural Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP-2017-ICS)

ear rot. Using silk channel inoculation, 346 maize inbred lines were identified and evaluated for resistance to Fusarium ear rot (FER) and Gibberella ear rot (GER) (caused by *Fusarium verticillioides* and *F. graminearum*, respectively) at two sites in Changping, Beijing and Sanya, Hainan. A comprehensive analysis of the data from the two sites showed that there were 1, 43, 106, 147 and 49 accessions exhibiting high resistance (HR), resistance (R), moderate resistance (MR), susceptibility (S), and high susceptibility (HS) to FER, accounting for 0.3%, 12.4%, 30.6%, 42.5%, and 14.2% of the total 346 materials, respectively, and there were 10, 32, 55, 79, and 170 accessions exhibiting HR, R, MR, S, and HS to GER, accounting for 2.9%, 9.3%, 15.9%, 22.8%, and 49.1% of the total 346 materials, respectively. Forty-five maize inbred lines exhibited HR, R, or MR to both FER and GER. Among them, line 15-TL-1224 exhibited HR to both FER and GER, PT351-1 and 18-QTL-25 exhibited HR to GER and R to FER, and lines 18-QTL-04, 18-YJY-18, 18-YJY-02, and 18-HDY-14 exhibited R to both FER and GER, which were all precious resources resistant to ear rot. The correlation analysis of FER and GER resistance among the above 45 resistant accessions and 144 susceptible germplasms was conducted. The correlation coefficient between FER and GER resistance among the 45 resistant accessions was 0.24, while that among the 144 susceptible germplasms was -0.16. Using 40 pairs of polymorphic SSR primers, 183 alleles (N_a) were amplified in 41 resistant lines, with polymorphic site percentage (PPB) of 100.00%. The average number of alleles (N_a), effective allele number (N_e), Nei's gene diversity (H), and Shannon's information index (I) were 3.7556, 7.6923, 0.6596, and 1.4458, respectively. The average polymorphic information content (PIC) was 0.326, varying from 0.0513 to 1.0000 for each marker. Using UPGMA cluster analysis, the 41 resistant accessions were divided into 7 subgroups, namely PB, Lan, unknown, PA, LRC, BSSS, and TSPT, which exhibited high genetic diversity among the 41 inbred lines. The PA subgroup and PB group contained the most numerous resistant germplasms. The results would provide guidance and reference for the selection and utilization of resistance sources in breeding.

Key words: maize germplasm; Fusarium ear rot; Gibberella ear rot; resistance identification; genetic diversity

玉米 (*Zea mays* L.) 是全世界产量最高的一年生禾本科植物,也是我国种植面积最大、产量最高的谷类作物^[1]。根据国家统计局关于2020年我国粮食产量数据公告,2020年全国玉米播种面积达44264000 hm²,总产量为260670000 t (<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2021/indexch.htm>),因此玉米在我国粮食生产和饲料加工产业中占有非常重要的地位。穗腐病是玉米生产上普遍发生且危害严重的一种真菌病害,能通过多种途径传播,包括气传、种传、虫传和土传等。穗腐病田间发病造成的产量损失一般为5.0%~10.0%,一些感病品种则高达50.0%以上^[2]。穗腐病菌侵染玉米籽粒或穗轴后,造成籽粒腐烂且品质下降,并产生大量有毒代谢产物,如伏马毒素、T-2毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇和黄曲霉毒素等,引起食物中毒,给食品和饲料产业带来巨大的安全风险^[3-8]。

玉米穗腐病致病菌复杂多样,包括真菌、细菌等,国内外已报道70多种穗腐病致病真菌。在我国,常见的玉米穗腐病致病菌包括拟轮枝镰孢 (*Fusarium*

verticillioides)、禾谷镰孢 (*F. graminearum*)、层出镰孢 (*F. proliferatum*)、南方镰孢 (*F. meridionale*)、亚黏团镰孢 (*F. subglutinans*) 和黄曲霉 (*Aspergillus flavus*) 等,其中拟轮枝镰孢和禾谷镰孢是优势致病菌,也在许多其他国家玉米生产上广泛引发穗腐病,给全世界的玉米生产造成了重大的经济损失^[9-13]。穗腐病因致病菌类型复杂、侵染途径多变且发生于玉米生长中后期,导致病害防治困难,化学药剂和生物制剂均难以达到理想的防控效果。选育和推广抗穗腐病玉米品种,是控制该病害的经济有效措施,而优异稳定的抗性资源,是进行抗病育种的基础。苏爱国等^[14]采用针刺果穗注射接种法对国内外324份玉米自交系种质资源进行1年两点抗禾谷镰孢穗腐病抗性鉴定,得到了9份高抗自交系; Reid等^[15]通过花丝通道注射法对玉米自交系和杂交种进行禾谷镰孢穗腐病抗性鉴定筛选到2个高抗自交系和2个杂交种; Schaafsma等^[16]对61个商业杂交种进行了禾谷镰孢穗腐病抗性鉴定,筛选出2个高抗品种; 段灿星等^[2]对国家种质库中1200余份玉米种质通

过花丝通道法和双牙签接种法进行了抗拟轮枝镰孢穗腐鉴定,筛选到 27 份高抗材料;杨俊伟等^[17]对 818 个玉米杂交种进行抗禾谷镰孢穗腐病的鉴定与评价,初步发现 42 个品种表现高抗;徐婧等^[18]对外引的 177 份玉米种质进行两种镰孢穗腐病的抗性鉴定,发现了 10 余份抗性较好的材料;从上述系列研究不难发现,有关玉米对穗腐病抗性的研究已引起广泛重视。

明确特定玉米种质的遗传背景和多样性程度,对于种质的合理运用具有重要的参考意义。在玉米自交系的遗传关系研究中,DNA 分子标记技术发挥了巨大的作用,选用多态性好、片段长度合适的 SSR 标记,根据标准测验种,能将不同来源的自交系划分到相应的杂种优势群^[13],对自交系抗性改良和杂种优势模型的确立有着重要的参考意义^[19]。胡德分等^[20]利用 SSR 分子标记技术,将 19 个云南自交系划分到 4 个类群中;在鲜食玉米研究上,赵文明等^[21]使用 60 对 SSR 标记,通过 UPGMA 聚类分析将糯玉米自交系分为 5 大类;李锐等^[22]对 144 份甜玉米进行遗传多样性分析,将其划分为 7 大类群;金柳艳等^[23]利用 4 种茎腐病病原:拟轮枝镰孢(*F. verticillioides*)、禾谷镰孢(*F. graminearum*)、层出镰孢(*F. proliferatum*)和芒孢腐霉(*Pythium aristosporum*)对 149 个美国玉米自交系进行 2 年人工接种并评价其抗性,通过聚类分析将其中的 36 个抗性良好的材料划分为 6 个类群。本研究在抗病性鉴定基础上,利用 40 对均匀分布在玉米全基因组上的多态性 SSR 引物,对 41 份兼抗拟轮枝镰孢与禾谷镰孢穗腐病的玉米材料进行了遗传多样性分析,了解这些抗性材料之间的亲缘关系,将其划分到不同的杂种优势群,以期明确玉米抗穗腐病自交系材料的遗传背景,从中筛选出抗性稳定、遗传背景差异大的自交系,为品种抗性改良和抗病新品种选育提供支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

由国家种质库提供的 346 份玉米自交系(详见 <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210727001>,附表 1),来源于河北、内蒙古和黑龙江 3 个省(自治区),6 个杂种优势亚群的标准测验种为 B73、掖 478、Mo17、齐 319、黄早四、丹 340;田间接种所使用的拟轮枝镰孢与禾谷镰孢均由本实验室单孢分离、鉴定,进行致病力测定后于 -80 °C 保存备用。

1.2 镰孢菌的培养

1.2.1 菌种培养与孢子悬浮液制备 将 -80 °C 保存的拟轮枝镰孢和禾谷镰孢接种至 PDA 培养基平板上,25 °C 恒温培养 5 d。待接种前 6 d,将布满菌丝的 PDA 平板在超净台中切成小块,转接到高温灭菌后的 SNA 培养液中,禾谷镰孢在培养过程中由于菌丝较多容易相互粘连,需要用摇床震荡培养 4~5 d;拟轮枝镰孢直接切块放入 SNA 培养液中培养即可。接种前,将过滤后的镰孢菌分生孢子液稀释至 1×10^6 个/mL 的浓度,用于田间接种。

1.2.2 田间种植 田间试验分别于 2020 年 5 月在北京昌平中国农业科学院作物科学研究所和 12 月在海南三亚崖州区联创种业实验基地进行。5 月 7 日,在北京昌平随机播种待鉴定种质,行长 5 m,行距 0.6 m,每份材料种植 2 行,每行 25 株,每 50 行设一组抗病对照齐 319 和感病对照掖 478,田间正常管理。12 月 5 日,在海南三亚播种上述材料,田间肥水正常管理。

1.2.3 接种 在玉米生长至吐丝后 4~7 d,沿花丝通道进行注射接种,每株玉米只接种第 1 穗,接种量为 2.0 mL/穗。接种时避免刺穿果穗,防止孢子悬浮液流出和接种针堵塞。

1.2.4 发病调查 在玉米进入蜡熟后期,剥去苞叶,采用目测估算法,逐株观察记录发病面积,根据农业行业标准 NY/T1248.8—2016《玉米抗病虫性鉴定技术规范》,换算为相应的发病等级,进行抗性评价。当感病对照掖 478 的平均病情级别 ≥ 5.6 时,判定该批次穗腐病抗性鉴定结果有效。利用 Excel 2020 分析各个材料的抗穗腐病鉴定数据,运用 R 语言分析玉米种质对 2 种穗腐病抗性的相关性。

1.3 种质资源的类群划分

从 MAIZE GDB 数据库中查找并下载 237 对均匀分布在玉米染色体上的 SSR 引物,随机从鉴定材料中抽取 30 份进行引物多态性筛选,最终获得 40 对多态性较好的引物用于遗传多样性分析^[24],选取 41 份对 2 种镰孢穗腐病表现中抗以上的材料进行类群划分。

1.3.1 PCR 扩增及产物检测 PCR 扩增反应体系为 20 μ L: 2 \times Taq PCR Master Mix 8.0 μ L; 上下游引物(10 μ mol/L)各 2.0 μ L; 模板 DNA(30 ng/ μ L) 4.0 μ L, ddH₂O 补足 10 μ L。反应程序: 94 °C 预变性 4 min, 94 °C 变性 1 min, 50~60 °C 退火 45~60 s(退火温度依引物而定), 72 °C 延伸 1 min, 36 个循环,最后 72 °C 延伸 10 min, 4 °C 保存待用。PCR 产物用 8%

的聚丙烯酰胺电泳进行检测。

1.3.2 数据分析 统计带型,相同迁移率位置上,有带记为1,无带记为0,缺失记为9。利用PopGen version 1.32软件计算相关的多样性指数。同时利用NTSYSpc 2.11软件中的UPGMA对材料进行聚类分析,并绘制聚类图。

2 结果与分析

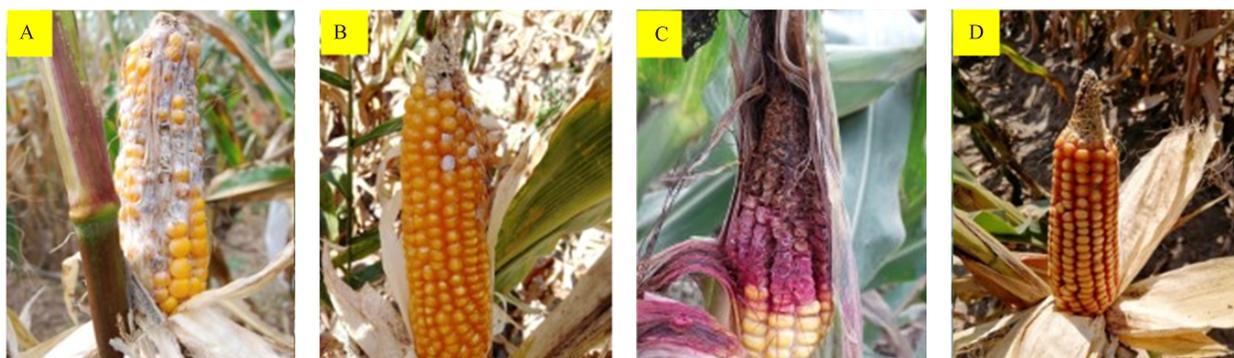
2.1 玉米种质对拟轮枝镰孢穗腐病的抗性鉴定与评价

齐319和掖478在北京昌平和海南三亚均表现出稳定的抗病和高感反应,表明在昌平和三亚2个点的穗腐病鉴定结果均有效。346份被鉴定的玉米种质资源中,表现高抗的种质1份,为15-TL-1224,占比0.3%;抗病和中抗种质分别为43份和106份,

分别占总鉴定材料的12.4%和30.6%;感病和高感种质分别为147份和49份,占总鉴定材料的42.5%和14.2%。

2.2 玉米种质对禾谷镰孢穗腐病的抗性鉴定与评价

346份被鉴定的玉米种质资源中,10份材料对禾谷镰孢穗腐病表现高抗,为PT351-1、冀资8138、白玉米、CNHS17009、15-TL-1224、18-QTL-25、18-QTL-13、冬17-1-69、18-HDY-05、T5121,占总鉴定材料的2.9%;抗病和中抗种质分别为32份和55份,分别占总鉴定材料的9.3%和15.9%;感病和高感种质分别为79份和170份,占总鉴定材料的22.8%和49.1%。鉴定材料田间发病状况见图1,鉴定材料对2种穗腐病的综合抗性情况见图2、图3。

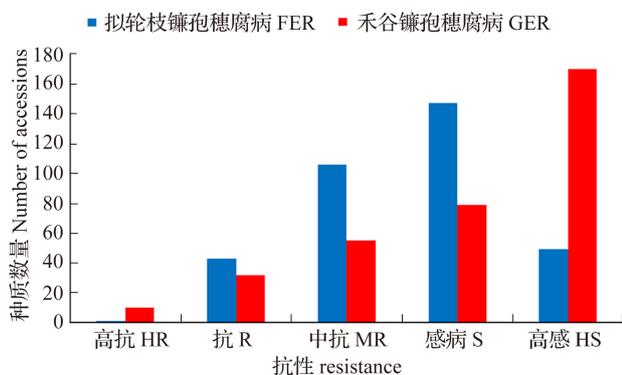


A: 感拟轮枝镰孢穗腐病; B: 抗拟轮枝镰孢穗腐病; C: 感禾谷镰孢穗腐病; D: 抗禾谷镰孢穗腐病

A: susceptible to Fusarium ear rot, B: resistant to Fusarium ear rot, C: susceptible to Gibberella ear rot, D: resistant to Gibberella ear rot

图1 玉米种质穗腐病的田间发病状况

Fig. 1 Symptoms of maize ear rot in the field



HR: High resistance, R: Resistance, MR: Moderate resistance,

S: Sick, HS: High sick, FER: Fusarium ear rot,

GER: Gibberella ear rot, the same as below

图2 玉米种质对2种穗腐病的抗性鉴定

Fig. 2 Identification of maize germplasm resistance to FER and GER

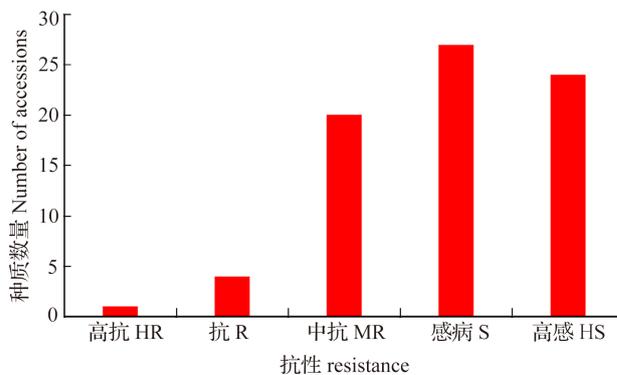


图3 对2种穗腐病表现相同抗性种质数量

Fig. 3 Number of maize germplasm exhibiting the same resistance scales to FER and GER

2.3 对 2 种穗腐病的综合抗性分析

综合分析玉米种质对 2 种穗腐病的抗性,发现种质 15-TL-1224 对 2 种镰孢穗腐病均表现高抗,PT351-1 和 18-QTL-25 对拟轮枝镰孢穗腐病表现抗病,同时对禾谷镰孢穗腐病表现高抗,另有 18-YJY-18、18-YJY-02、18-QTL-04、18-HDY-14 种质同时表现抗病,上述材料是难得的兼抗 2 种镰孢穗腐病种质资源;对 2 种镰孢穗腐病均表现中抗、抗或高抗的种质共 45 份,占鉴定材料的 13%(表 1)。部分材料对 2 种穗腐病的抗性反应差异大,如冀资

8138、CNHS17009、冬 17-1-69、18-HDY-05、T5121 对禾谷镰孢穗腐病表现高抗,却对拟轮枝镰孢穗腐病表现为感病,预测这些种质可能存在对禾谷镰孢与拟轮枝镰孢不一样的抗性机制。进一步分析发现,对 2 种镰孢穗腐病均表现高抗、抗、中抗、感、高感的种质数量分别为 1、4、20、27、23 份,不同抗性水平种质分别占同级别拟轮枝镰孢穗腐病鉴定种质的 100%、9.3%、18.9%、18.4%、46.9%,占禾谷镰孢穗腐病鉴定种质的 10%、12.5%、36.3%、34.2%、13.5%。

表 1 对镰孢穗腐病表现出高抗、抗、中抗的玉米种质

Table 1 Maize germplasm with high resistance, resistance, and moderate resistance to *Fusarium ear rot* and *Gibberella ear rot*

统一编号 Accession number	名称 Name	来源 Origin	拟轮枝镰孢穗腐病 <i>Fusarium ear rot</i>		禾谷镰孢穗腐病 <i>Gibberella ear rot</i>	
			病级 Scale	抗性 Resistance	病级 Scale	抗性 Resistance
0L030592	PT351-1	河北	2.6	抗	1.1	高抗
0L030621	冀资 S516	河北	3.3	抗	4.5	中抗
0L030632	冀资 C148	河北	3.0	抗	4.7	中抗
0L030651	CNHS17010	河北	2.8	抗	4.2	中抗
0L030658	CNHS17017	河北	4.8	中抗	4.2	中抗
0L051068	64964	内蒙古	3.8	中抗	3.8	中抗
0L051209	YJY-1	内蒙古	5.0	中抗	5.4	中抗
0L051230	DF1089-2	内蒙古	5.4	中抗	3.5	抗
0L051248	HMYL-8	内蒙古	5.0	中抗	3.6	中抗
0L051263	RA465	内蒙古	2.3	抗	5.3	中抗
0L051277	DK167	内蒙古	4.4	中抗	3.7	中抗
0L051278	YJY-2	内蒙古	3.3	抗	3.9	中抗
0L051281	64162	内蒙古	4.5	中抗	3.6	中抗
0L051295	DS2108	内蒙古	4.4	中抗	5.1	中抗
0L051300	Q006	内蒙古	4.3	中抗	5.2	中抗
0L051305	15-TL-1224	内蒙古	1.0	高抗	1.3	高抗
0L051318	18-QTL-23	内蒙古	4.6	中抗	5.3	中抗
0L051327	55441-1	内蒙古	3.7	中抗	1.6	抗
0L051331	18-YJY-17	内蒙古	5.5	中抗	3.3	抗
0L051334	55444-1	内蒙古	3.4	抗	4.3	中抗
0L051338	18-YJY-18	内蒙古	3.0	抗	3.2	抗
0L051339	55445-1	内蒙古	2.6	抗	4.0	中抗
0L051344	18-HDY-27	内蒙古	3.2	抗	5.5	中抗
0L051345	55442-1	内蒙古	3.0	抗	4.5	中抗
0L051352	18-YJY-15	内蒙古	4.9	中抗	5.3	中抗
0L051354	18-YJY-02	内蒙古	3.2	抗	2.3	抗
0L051356	18-YJY-11	内蒙古	5.0	中抗	5.5	中抗

表 1(续)

统一编号 Accession number	名称 Name	来源 Origin	拟轮枝镰孢穗腐病 Fusarium ear rot		禾谷镰孢穗腐病 Gibberella ear rot	
			病级	抗性	病级	抗性
			Scale	Resistance	Scale	Resistance
0L051361	18-QTL-25	内蒙古	3.4	抗	1.3	高抗
0L051363	18-YJY-16	内蒙古	4.3	中抗	5.2	中抗
0L051365	18-MYL-01	内蒙古	4.4	中抗	4.7	中抗
0L051370	79781	内蒙古	5.3	中抗	3.9	中抗
0L051371	18-QTL-13	内蒙古	4.7	中抗	1.4	高抗
0L051374	18-QTL-27	内蒙古	4.6	中抗	3.8	中抗
0L051376	18-QTL-01	内蒙古	5.1	中抗	4.7	中抗
0L051379	18-YJY-24	内蒙古	4.5	中抗	3.5	抗
0L051383	18-MYL-09	内蒙古	5.0	中抗	3.5	抗
0L051388	18-YJY-01	内蒙古	5.2	中抗	2.0	抗
0L051400	18-HDY-09	内蒙古	3.8	中抗	2.4	抗
0L051403	18-QTL-10	内蒙古	4.6	中抗	4.3	中抗
0L051396	18-QTL-04	内蒙古	3.3	抗	3.2	抗
0L051426	18-HDY-14	内蒙古	3.1	抗	2.2	抗
0L080797	FH1	黑龙江	5.3	中抗	5.3	中抗
0L080801	LIMA51	黑龙江	3.7	中抗	4.0	中抗
0L080806	94YRK22	黑龙江	4.8	中抗	3.9	中抗
0L080814	1058-1	黑龙江	5.5	中抗	2.8	抗

2.4 不同地理来源的玉米种质对镰孢穗腐病的抗性水平

在鉴定的 346 份玉米种质资源中, 68 份来自河北, 231 份来自内蒙古, 47 份来自黑龙江。其中高抗拟轮枝镰孢穗腐种质来自内蒙古。高抗禾谷镰孢穗腐种质资源中, 5 份来自内蒙古, 占内蒙古种质的 2.2%; 4 份来自河北, 占河北种质的 5.9%; 1 份来自黑龙江, 占黑龙江种质的 2.1%。在 42 份抗拟轮枝镰孢穗腐种质资源中, 29 份来自内蒙古, 占内蒙古

种质的 12.6%; 5 份来自河北, 占河北种质的 7.4%; 8 份来自黑龙江, 占黑龙江种质的 17.0%。在 32 份抗禾谷镰孢穗腐种质资源中, 26 份来自内蒙古、3 份来自河北、3 份来自黑龙江, 分别占比各个地区种质的 11.3%、4.4%、6.4%。上述数据初步表明, 黑龙江地区的种质对拟轮枝镰孢穗腐病抗性较好, 内蒙古地区种质对禾谷镰孢穗腐病抗性水平较好。具体情况如表 2 所示。

表 2 不同地理来源的玉米种质对 2 种镰孢穗腐病的抗性统计

Table 2 Number of maize germplasm from different areas with different resistance to Fusarium ear rot and Gibberella ear rot

病害 Disease	来源 Origin	种质数量 Number of accessions	抗性 Resistance				
			高抗 HR	抗 R	中抗 MR	感 S	高感 HS
拟轮枝镰孢穗腐病 FER	河北	68	0	5	18	34	10
	内蒙古	231	1	29	77	98	26
	黑龙江	47	0	8	11	15	13
禾谷镰孢穗腐病 GER	河北	68	4	3	14	19	28
	内蒙古	231	5	26	34	44	122
	黑龙江	47	1	3	7	14	22

2.5 玉米种质对 2 种穗腐病抗性的相关性分析

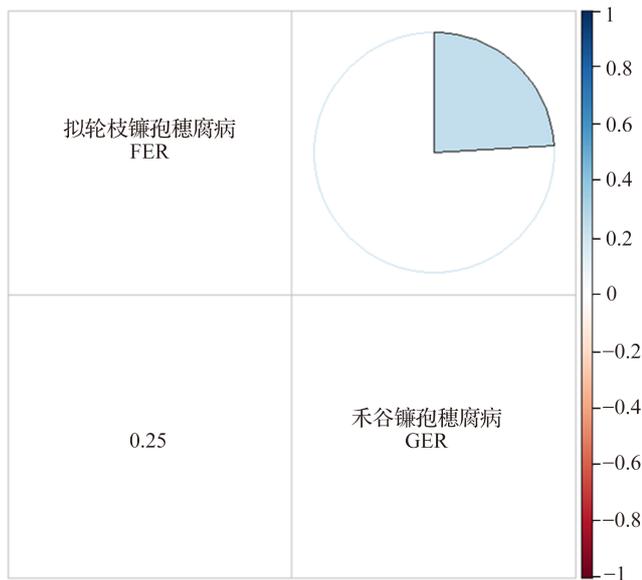
对 45 份同时表现中抗以上水平的种质和 144 份同时表现感病及高感的材料进行了 2 种穗腐病之间抗性水平的相关性分析(图 4),发现 45 份中抗以上材料对 2 种穗腐病抗性的相关系数为 0.25,而感病材料对 2 种穗腐病抗性的相关系数为 -0.16(图 5),表明中抗以上材料对 2 种穗腐病的抗性存在较低的正相关性,而感病及高感材料对 2 种穗腐病的抗性存在低水平的负相关性。

2.6 抗性种质的遗传多样性

根据利用软件 PopGene 32 的分析结果,40 对 SSR 引物在 41 份抗病种质中扩增出 183 个等位基因,多态性位点百分率为 100.00%,平均等位基因数和有效等位基因数分别为 3.7556 和 7.6923,平均 Nei's 基因多样性、Shannon's 信息指数分别为 0.6596、1.4458,平均多态信息含量(PIC)为 0.326,变幅为 0.0513~1.0000。47 份玉米材料的遗传相似系数位于 0.0513~1.0000 之间,平均为 0.326,其中 CNHS17010 和 18-YJY-11 之间的遗传相似系

数达 1.0000,而 64964 和 55444-1 之间遗传相似系数仅 0.0513,99.35% 的材料之间遗传相似系数低于 0.75,表明上述抗性种质具有较为丰富的遗传多样性。

通过 UPGMA 方法,根据遗传相似系数对 47 份玉米抗性种质进行聚类分析。当遗传相似系数为 0.71 时,47 份材料被划分为 7 个类群,Ⅰ类群是以齐 319 为代表的美国现代杂交种中 B 群种质(PB),共包含 10 份材料;Ⅱ类群是以 Mo17 为代表的兰卡斯特(Lan)群,共包含 5 份材料;Ⅲ类群为未知群,共包含 3 份材料,未与 6 个标准检测种聚类到一起;Ⅳ类群是以掖 478 为代表的美国现代杂交种中 A 群种质(PA),共包含有 14 份材料;Ⅴ类群是以丹 340 为代表的旅大红骨(LRC),共包含有 5 份材料;Ⅵ类群是以 B73 为代表的衣阿华坚秆综合种(BSSS),包含有 7 份材料;Ⅶ类群是以黄早四为代表的塘四平头(TSPT),包含有 3 份材料(图 6),表明我国 6 个杂种优势群中均含有抗镰孢穗腐病种质资源,其中 PA 类群和 PB 类群包含的抗病种质最多。



颜色深浅代表相关性的强弱,下同

The color shade represents the strength of the correlation, the same as below

图 4 45 份对 2 种穗腐病均具有中抗以上材料的抗病相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of FER and GER resistance among 45 maize accessions with moderate or higher resistance

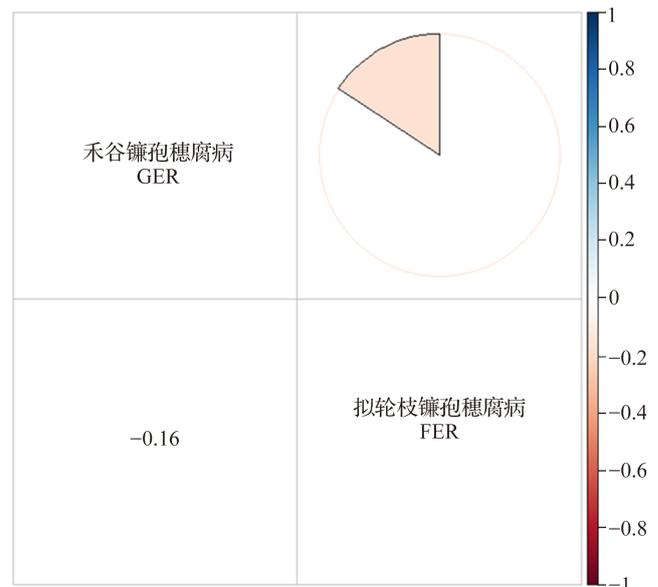


图 5 144 份感病及高感材料抗病相关性分析

Fig. 5 Correlation analysis of FER and GER resistance among 144 susceptible and highly susceptible accessions

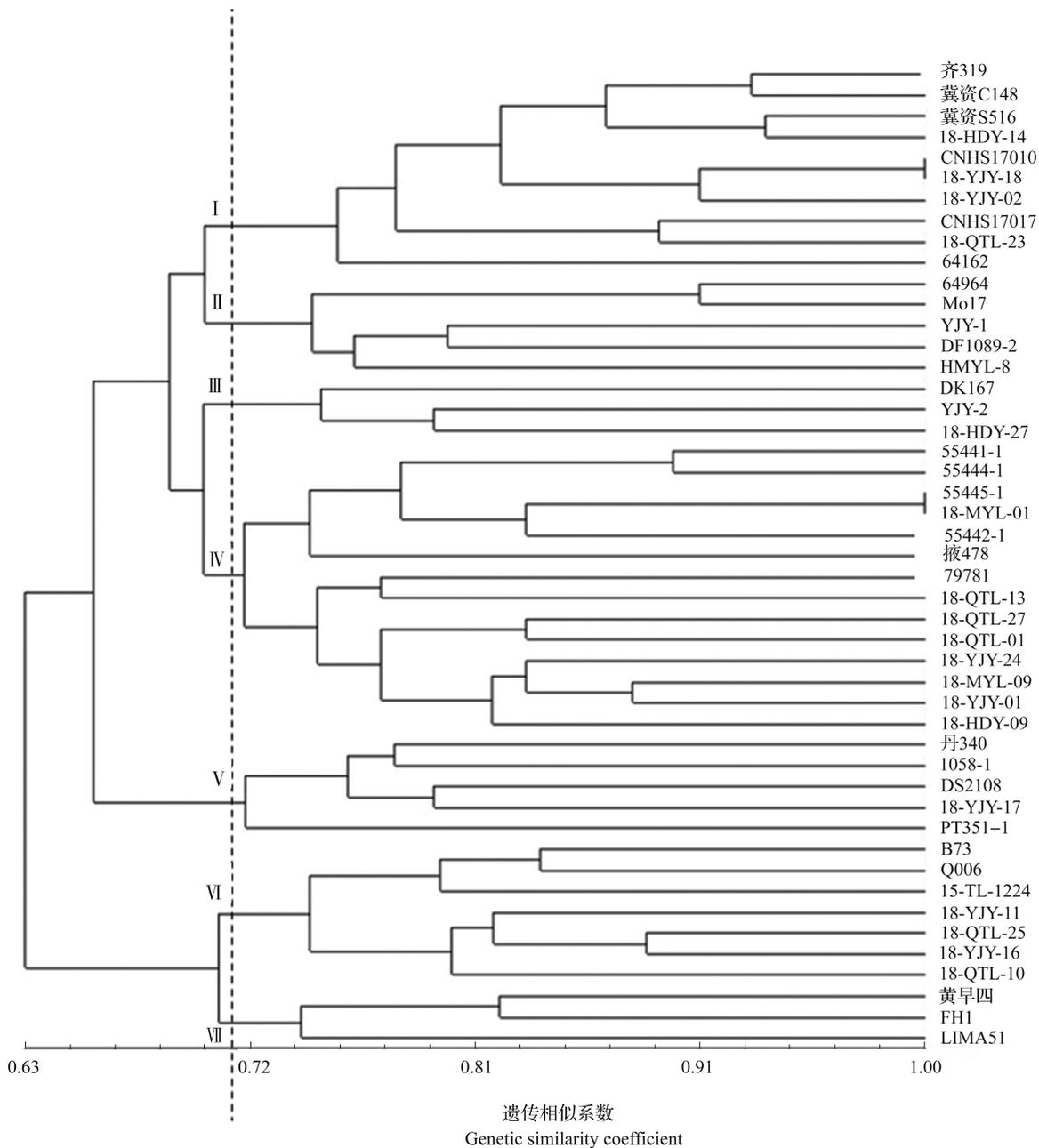


图 6 47 份玉米材料的 SSR 聚类图

Fig. 6 Dendrogram of 47 maize accessions clustered by UPGMA using SSR markers

3 讨论

具有广泛遗传背景的玉米种质资源,是筛选和获得抗穗腐病优良种质的物质基础。科学的接种方法和精准的鉴定评价体系是筛选抗穗腐病种质的重要途径^[25]。玉米穗腐病是由多种病原菌引起,易受环境影响,在田间通常有多种致病菌一同侵染,给田间抗性鉴定和表型获取增加了难度。国内外大量研究表明,玉米穗腐病的优势致病菌为拟轮枝镰孢与

禾谷镰孢^[26],这 2 种穗腐病给我国玉米安全生产造成了严重的威胁,也成为玉米全程机械化收获的重要障碍。鉴于穗腐病发生和为害的严重性,我国抗玉米穗腐病品种的选育越来越受到重视。2014 年和 2017 年,国家农作物品种审定委员会发布了《主要农作物品种审定标准》,要求对玉米穗腐病,尤其是西南地区进行更严格的要求。对人工接种鉴定或田间自然发病条件下对穗腐病高度敏感的品种,实行“一票否决”。因此,穗腐病抗性已成为玉米育种

的重要目标性状。

本试验通过对 346 份玉米种质在北京昌平和海南三亚进行抗 2 种镰孢穗腐病的鉴定与评价,获得了 1 份高抗拟轮枝镰孢穗腐病种质,以及主要分布在 P 群和 BSSS 群的 10 份高抗禾谷镰孢穗腐病种质。本研究鉴定出的高抗种质中绝大部分来自于内蒙古,在抗拟轮枝镰孢穗腐病的种质中,黑龙江种质中的抗性种质占比为 17.0%,内蒙古种质中的抗性种质占比为 12.6%;抗禾谷镰孢穗腐病的种质中,内蒙古种质中抗性种质占比最高。鉴定结果表明,黑龙江地区的种质对拟轮枝镰孢穗腐病的抗性较强,内蒙古地区的种质对禾谷镰孢穗腐病的抗性较强,与段灿星等^[2]的评价结果一致,但由于本试验来自于黑龙江和河北地区的种质较少,无法充分说明其地区种质抗性水平。鉴定结果表明目前兼抗 2 种镰孢穗腐病种质资源匮乏,抗性种质主要来自于 P 群,因此需加强国外种质的引进,尤其是热带血缘的种质,同时也可通过种质创新或改良,解决现有种质资源中抗源匮乏的限制。

通过对玉米种质进行的 2 种穗腐病抗性相关性分析发现,在抗病资源中,对 2 种穗腐病的抗性存在一定程度的正相关性,推测其中的部分种质对拟轮枝镰孢穗腐病与禾谷镰孢穗腐病具有相似的抗病机理,但大部分种质对 2 种穗腐病的抗性存在差异。感病种质对 2 种穗腐病之间的抗性存在低水平的负相关性,表明拟轮枝镰孢和禾谷镰孢对玉米具有不同的致病机理,这给抗病育种带来了挑战。因此,能稳定兼抗上述 2 种穗腐病的材料是宝贵的抗性资源,是我国抗穗腐病育种实践中亟需的抗源材料。

在遗传多样性的研究中,等位基因数和 Shannon's 信息指数均是衡量群体遗传多样性的重要指标,等位基因数越多,分布越均匀,Shannon's 信息指数越高,则多样性丰富^[27]。

SSR 标记因其高的多态性、稳定性、共显性和可重复性等特点,被广泛用于玉米、大豆、小麦等作物的遗传多样性研究^[28];李齐向等^[29]采用 23 对 SSR 标记对 4 个代表中国主要杂种优势群的普通玉米品种和 65 个青贮玉米自交系进行聚类分析,将大部分未知系谱来源的青贮玉米划分为 Lancaster 群、旅大红骨群、塘四平头群和 Reid 群,初步明确了其系谱来源;段灿星等^[30]利用多态性 SSR 引物分析了 45 份抗南方锈病玉米种质的遗传多样性。本研究选用的 40 对多态性 SSR 标记对 41 份抗性自

交系进行的多样性分析中,共检测出 183 个等位基因,平均等位基因数达 3.7556,平均多态信息含量和 Shannon's 信息指数分别为 0.326 和 1.4458,与其他的相比,本研究的 SSR 位点检测到的多态性信息量更为丰富,由此进行的遗传多样性分析和杂种优势群划分将更为准确,本研究结果将为开展玉米穗腐病抗性相关研究和抗穗腐病品种选育提供有价值的参考。

致谢: 本研究所采用的玉米种质材料由中国农业科学院作物科学研究所玉米种质资源课题组的石云素研究员提供,在此深表谢意。

参考文献

- [1] 段灿星,王晓鸣,宋风景,孙素丽,周丹妮,朱振东. 玉米抗穗腐病研究进展. 中国农业科学, 2015, 48(11): 2152-2164
Duan C X, Wang X M, Song F J, Sun S L, Zhou D N, Zhu Z D. Research progress of maize resistance to ear rot. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(11): 2152-2164
- [2] 段灿星,王晓鸣,武小菲,杨知还,宋风景,赵立萍,孙素丽,朱振东. 玉米种质和新品种对腐霉茎腐病和镰孢穗腐病的抗性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(5): 947-954
Duan C X, Wang X M, Wu X F, Yang Z H, Song F J, Zhao L P, Sun S L, Zhu Z D. Resistance analysis of maize germplasm and new varieties to *Pythium* stalk rot and *Fusarium* ear rot. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(5): 947-954
- [3] Duan C X, Qin Z H, Yang Z H, Li W X, Sun S L, Zhu Z D, Wang X M. Identification of pathogenic *Fusarium* spp. causing maize ear rot and potential mycotoxin production in China. Toxins, 2016, 8: 186
- [4] Zhou D N, Wang X M, Chen G K, Sun S L, Yang Y, Zhu Z D, Duan C X. The major *Fusarium* species causing maize ear and kernel rot and their toxigenicity in Chongqing, China. Toxins, 2018, 10: 90
- [5] 杜青,唐照磊,李石初,上官玲玲,李华娇,段灿星. 广西玉米穗腐病致病镰孢种群构成与毒素化学型分析. 中国农业科学, 2019, 52(11): 1895-1907
Du Q, Tang Z L, Li S C, Shangguan L L, Li H J, Duan C X. Composition of *Fusarium* species causing maize ear rot and analysis of toxigenic chemotype in Guangxi. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(11): 1895-1907
- [6] 王宝宝,郭成,孙素丽,夏玉生,朱振东,段灿星. 玉米穗腐病致病禾谷镰孢复合种的遗传多样性、致病力与产毒型分析. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4777-4790
Wang B B, Guo C, Sun S L, Xia Y S, Zhu Z D, Duan C X. Analysis of genetic diversity, pathogenicity and toxigenic types of maize ear rot pathogenic *Fusarium graminearum* complex species. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(23): 4777-4790
- [7] 王宝宝,毕四刚,肖明纲,张冬英,闫强,张彦彦,杨树龙,朱振东,段灿星. 黑龙江省玉米穗腐病致病镰孢菌分离鉴定及产毒基因型分析. 草业学报, 2020, 29(1): 163-174
Wang B B, Bi S G, Xiao M G, Zhang D Y, Yan Q, Zhang Y Y, Yang S L, Zhu Z D, Duan C X. Isolation and identification of the pathogenic *Fusarium* of maize ear rot in Heilongjiang

- province and analysis of its toxin-producing genotypes. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(1): 163-174
- [8] Eller M S, Holland J B, Payne G A. Breeding for improved resistance to fumonisin contamination in maize. *Toxin Reviews*, 2008, 27(3-4): 371-389
- [9] 马秉元, 李亚玲, 龙书生, 李多川. 玉米穗粒腐病接种技术及品种抗病性鉴定. *植物保护学报*, 1999, 26(2): 121-124
Ma B Y, Li Y L, Long S S, Li D C. Inoculation technique of maize ear rot and identification of disease resistance of varieties. *Acta Phytopylacica Sinica*, 1999, 26(2): 121-124
- [10] 任旭, 朱振东, 李洪杰, 段灿星, 王晓鸣. 轮枝镰孢 SSR 标记开发及在玉米分离群体遗传多样性分析中的应用. *中国农业科学*, 2012, 45(1): 52-66
Ren X, Zhu Z D, Li H J, Duan C X, Wang X M. Development of SSR markers for *Fusarium verticillium* and its application in analysis of genetic diversity of maize segregating populations. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(1): 52-66
- [11] 卢维宏, 黄思良, 陶爱丽, 武爱波, 王春梅, 黎起秦. 玉米穗腐病样品中层出镰孢菌的分离与鉴定. *植物保护学报*, 2011, 38(3): 233-239
Lu W H, Huang S L, Tao A L, Wu A B, Wang C M, Li Q Q. Isolation and identification of *Fusarium strata* in maize ear rot samples. *Acta Phytopylacica Sinica*, 2011, 38(3): 233-239
- [12] 郭成, 魏宏玉, 郭满库, 何苏琴, 金社林, 陈红梅, 王晓鸣, 郭建国. 甘肃玉米穗腐病样品中轮枝镰孢菌的分离鉴定及生物学特性. *植物病理学报*, 2014, 44(1): 17-25
Guo C, Wei H Y, Guo M K, He S Q, Jin S L, Chen H M, Wang X M, Guo J G. Isolation, identification and biological characteristics of *Fusarium verticillium* from maize ear rot samples in Gansu. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2014, 44(1): 17-25
- [13] 张小飞, 邹成佳, 崔丽娜, 李晓, 杨晓蓉, 罗怀海. 西南地区玉米穗腐病原分离鉴定及接种方法研究. *西南农业学报*, 2012, 25(6): 2078-2082
Zhang X F, Zou C J, Cui L N, Li X, Yang X R, Luo H H. Isolation and identification of the pathogen of maize ear rot and inoculation methods in southwestern China. *Journal of Southwest Agricultural Sciences*, 2012, 25(6): 2078-2082
- [14] 苏爱国, 王帅帅, 段赛茹, 张如养, 邢锦丰, 杨扬, 宋伟, 赵久然. 玉米抗禾谷镰孢菌穗粒腐病种质资源鉴定. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(4): 971-978
Su A G, Wang S S, Duan S R, Zhang R Y, Xing J F, Yang Y, Song W, Zhao J R. Identification of maize germplasm resources resistant to *Fusarium graminearum* ear and kernel rot. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(4): 971-978
- [15] Reid L M, Spaner D, Mather D E, Bolton A T, Hamilton R I. Resistance of maize hybrids and inbreds following silk inoculation with three isolates of *Fusarium graminearum*. *Plant Disease*, 1993, 77(12): 1248-1251
- [16] Schaafsma A W, Nicol R W, Reid L M. Evaluating commercial maize hybrids for resistance to *Gibberella* ear rot. *European Journal of Plant Pathology*, 1997, 103: 737-746
- [17] 杨俊伟, 王建军, 赵变平, 李彦良, 贾鑫, 王富荣. 玉米新品种抗禾谷镰孢菌穗腐病鉴定与评价. *河北农业科学*, 2020, 24(4): 47-49
Yang J W, Wang J J, Zhao B P, Li Y N, Jia X, Wang F R. Identification and evaluation of resistance to *Fusarium graminearum* ear rot in new maize varieties. *Hebei Agricultural Sciences*, 2020, 24(4): 47-49
- [18] 徐婧, 姜钰, 秦培文, 刘可杰, 胡兰, 孙会杰, 徐秀德. 外引玉米种质对两种穗腐病原镰孢菌抗性鉴定. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(1): 20-25
Xu J, Jiang Y, Qin P W, Liu K J, Hu L, Sun H J, Xu X D. Identification of the resistance of imported maize germplasm to two kinds of ear rot pathogen *Fusarium*. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(1): 20-25
- [19] 杨洋, 郭成, 孙素丽, 陈国康, 朱振东, 王晓鸣, 段灿星. 玉米抗腐霉茎腐病种质标记基因型鉴定与遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(6): 1448-1427
Yang Y, Guo C, Sun S L, Chen G K, Zhu Z D, Wang X M, Duan C X. Genotype identification and genetic diversity analysis of maize germplasm markers resistant to *Pythium stalk rot*. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(6): 1448-1427
- [20] 胡德分, 陆璐, 任春琼, 李阳, 胡晓莉, 赵自仙, 王正启, 杨久. 云南常用玉米自交系 SSR 遗传多样性研究. *云南农业大学学报: 自然科学*, 2016, 31(6): 975-981
Hu D F, Lu L, Ren C Q, Li Y, Hu X L, Zhao Z X, Wang Z Q, Yang J. SSR genetic diversity of commonly used maize inbred lines in Yunnan. *Journal of Yunnan Agricultural University: Natural Sciences*, 2016, 31(6): 975-981
- [21] 赵文明, 王森, 陈艳萍, 张美景, 袁建华. 基于 60 个核心 SSR 标记的糯玉米自交系遗传多样性分析. *江西农业学报*, 2018, 30(12): 1-8
Zhao W M, Wang S, Chen Y P, Zhang M J, Yuan J H. Analysis of genetic diversity of waxy maize inbred lines based on 60 core SSR markers. *Jiangxi Journal of Agriculture*, 2018, 30(12): 1-8
- [22] 李锐, 白建荣, 王秀红, 张丛卓, 张效梅, 闫蕾, 杨瑞娟. 144 份甜玉米群体的遗传多样性分析. *作物杂志*, 2018(2): 17-24
Li R, Bai J R, Wang X H, Zhang C Z, Zhang X M, Yan L, Yang R J. Genetic diversity analysis of 144 sweet maize populations. *Crops*, 2018(2): 17-24
- [23] 金柳艳, 李明顺, 王志伟, 石洁, 郭宁, 刘树森, 张海剑. 美国玉米自交系对 4 种病原茎腐病的抗性鉴定及遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(6): 1428-1437
Jin L Y, Li M S, Wang Z W, Shi J, Guo N, Liu S S, Zhang H J. Resistance identification and genetic diversity analysis of American maize inbred lines to four pathogenic stalk rot diseases. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(6): 1428-1437
- [24] 陈文娟, 李万昌, 杨知还, 孙素丽, 王晓鸣, 朱振东, 段灿星. 玉米抗南方锈病种质资源初步鉴定及遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(2): 225-231, 242
Chen W J, Li W C, Yang Z H, Sun S L, Wang X M, Zhu Z D, Duan C X. Preliminary identification and genetic diversity analysis of maize germplasm resources resistant to southern rust. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(2): 225-231, 242
- [25] Walker R D, White D G. Inheritance of resistance to *Aspergillus* ear rot and aflatoxin production of maize from CI2. *Plant Disease*, 2001, 85: 322-327
- [26] Atlin G N, Enerson P M, Mcgirr L G, Hunter R B. *Gibberella* ear rot development and zearalenone and vomitoxin production

- as affected by maize genotype and *Gibberella zeae* strain. *Canadian Journal of Plant Science*, 1983, 63(4): 847-853
- [27] 李新风,王雪梅,尉天春,姜晓东,杨俊伟,冯铸,王建明. 山西玉米丝黑穗病菌 SSR 遗传多样性与群体结构分析. *植物病理学报*, 2021, 51(6), 921-933
Li X F, Wang X M, Wei T C, Jiang X D, Yang J W, Feng Z, Wang J M. SSR genetic diversity and population structure analysis of Shanxi maize head smut. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2021, 51(6), 921-933
- [28] 乔治军,刘龙龙,南晓洁,赵秀娟,王海岗. 180 份玉米自交系亲缘关系的分子评价. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(2): 211-215, 222
Qiao Z J, Liu L L, Nan X J, Zhao X J, Wang H G. Molecular evaluation of the genetic relationship of 180 maize inbred lines. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(2): 211-215, 222
- [29] 李齐向,张小中,涂前程,雷富贵,纪平,陈由禹. 基于 SSR 分子标记的青贮玉米自交系遗传多样性分析. *福建农业学报*, 2013, 28(4): 320-323
Li Q X, Zhang X Z, Tu Q C, Lei F G, Ji P, Chen Y Y. Genetic diversity analysis of silage maize inbred lines based on SSR molecular markers. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 28(4): 320-323
- [30] 段灿星,江凯,秦子惠,孙素丽,宋风景,王晓鸣. 玉米抗南方锈病种质标记基因型鉴定与遗传多样性分析. *植物保护学报*, 2015, 42(6): 899-907
Duan C X, Jiang K, Qin Z H, Sun S L, Song F J, Wang X M. Genotype identification and genetic diversity analysis of maize germplasm markers resistant to southern rust. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2015, 42(6): 899-907

附表1 346份玉米种质对拟轮枝镰孢与禾谷镰孢穗腐病鉴定

Schedule1 Identification of 346 maize germplasm resistant to Fusarium ear rot and Gibberella ear rot

统一编号 Accession number	名称 Name	拟轮枝镰孢穗腐病	Fusarium ear rot	禾谷镰孢穗腐病	Gibberella ear rot
		平均病级 Average disease grade	抗性 Resistance	平均病级 Average disease grade	抗性 Resistance
0L030592	PT351-1	2.6	R	1.1	HR
0L030593	M41	7.4	S	7.3	S
0L030594	YH-3	7.0	S	8.0	HS
0L030595	Z5848	6.0	S	7.5	S
0L030596	R5	9.0	HS	6.3	S
0L030597	昌 58	6.3	S	8.7	HS
0L030598	冀资 5158	3.5	MR	6.8	S
0L030599	冀资 13W63	7.8	HS	6.2	S
0L030600	冀资 13W154	7.4	S	5.5	MR
0L030601	冀资 13W169	4.6	MR	7.4	S
0L030602	冀资 13L482	6.2	S	4.0	MR
0L030603	冀资 13W190	4.2	MR	5.8	S
0L030604	冀资 14L154	6.0	S	8.4	HS
0L030605	冀资 13NB78	4.6	MR	8.5	HS
0L030606	冀资 14L85	4.6	MR	8.6	HS
0L030607	冀资 14L92	2.6	R	8.6	HS
0L030608	冀资 14L109	7.6	HS	8.5	HS
0L030609	冀资 156271	2.5	R	6.1	S
0L030610	冀资 4053	5.8	S	8.3	HS
0L030611	冀资 4093	6.3	S	9.0	HS
0L030612	冀资 8138	7.3	S	1.0	HR
0L030613	冀资 8338	5.6	S	3.9	MR
0L030614	冀资 8827	5.9	S	7.6	HS
0L030615	冀资 R90	3.6	MR	6.1	S
0L030616	冀资 S220	6.0	S	3.0	R
0L030617	冀资 S225	7.4	S	8.1	HS
0L030618	冀资 S320	5.6	S	5.5	MR
0L030619	冀资 S338	6.7	S	4.5	MR
0L030620	冀资 S413	6.7	S	4.4	MR
0L030621	冀资 S516	3.3	R	4.5	MR
0L030622	冀资 S560	4.4	MR	7.5	S
0L030623	冀资 S573	7.2	S	7.6	HS
0L030624	冀资 H601	8.2	HS	6.4	S
0L030625	冀资 H631	8.1	HS	8.8	HS
0L030626	冀资 H672	4.4	MR	7.5	S
0L030627	冀资 H674	5.2	MR	8.0	HS
0L030628	冀资 C36	6.8	S	7.7	HS
0L030629	冀资 C38	4.8	MR	8.5	HS

0L030630	冀资 C80	6.3	S	6.2	S
0L030631	冀资 C117	7.3	S	2.1	R
0L030632	冀资 C148	3.0	R	4.7	MR
0L030633	冀资 C155	7.5	S	2.9	R
0L030634	冀资 C166	7.0	S	6.0	S
0L030635	冀资 C167	7.0	S	5.1	MR
0L030636	冀资 C170	4.8	MR	6.0	S
0L030637	意黑糯-6	8.6	HS	8.9	HS
0L030638	意黑糯-8	7.8	HS	7.9	HS
0L030639	山东糯	7.0	S	9.0	HS
0L030640	白玉米	7.7	HS	1.0	HR
0L030641	白玉米	7.4	S	5.8	S
0L030642	CNHS17001	3.9	MR	8.0	HS
0L030643	CNHS17002	7.5	S	5.5	MR
0L030644	CNHS17003	3.6	MR	8.4	HS
0L030645	CNHS17004	6.5	S	8.0	HS
0L030646	CNHS17005	7.4	S	8.3	HS
0L030647	CNHS17006	4.6	MR	8.5	HS
0L030648	CNHS17007	3.8	MR	7.7	HS
0L030649	CNHS17008	7.4	S	5.3	MR
0L030650	CNHS17009	6.9	S	1.4	HR
0L030651	CNHS17010	2.8	R	4.2	MR
0L030652	CNHS17011	6.9	S	5.1	MR
0L030653	CNHS17012	7.9	HS	7.9	HS
0L030654	CNHS17013	7.3	S	8.2	HS
0L030655	CNHS17014	6.0	S	6.6	S
0L030656	CNHS17015	4.8	MR	5.9	S
0L030657	CNHS17016	7.6	HS	9.0	HS
0L030658	CNHS17017	4.8	MR	4.2	MR
0L030659	CNHS17018	4.1	MR	6.4	S
0L051059	CFNKY-5	6.3	S	3.0	R
0L051068	64964	3.8	MR	3.8	MR
0L051195	DK127	5.6	S	6.7	S
0L051196	奥引	7.0	S	8.8	HS
0L051197	CL020	6.5	S	3.2	R
0L051198	HMYL-11	8.0	HS	8.0	HS
0L051199	通系 08229	5.0	MR	7.9	HS
0L051200	HMYL-17	6.5	S	6.3	S
0L051201	YJY-4	6.0	S	8.5	HS
0L051202	15-LH-5	6.0	S	9.0	HS
0L051203	HMYL-5	8.1	HS	5.4	MR
0L051204	2649	8.5	HS	6.5	S
0L051205	V1774	7.0	S	8.6	HS
0L051206	F2564	4.8	MR	9.0	HS

0L051207	15-金创 54	5.7	S	5.5	MR
0L051208	DK76	5.8	S	7.8	HS
0L051209	YJY-1	5.0	MR	5.4	MR
0L051210	RA412	7.8	HS	8.4	HS
0L051211	RA416	7.0	S	9.0	HS
0L051212	BERD-31	3.0	R	8.1	HS
0L051213	BERD-30	6.0	S	7.9	HS
0L051214	DK1372	4.3	MR	7.8	HS
0L051215	YJY-3	4.0	MR	8.3	HS
0L051216	PA020	5.5	MR	6.8	S
0L051217	呈 2843	4.0	MR	9.0	HS
0L051218	15-LH-1	3.0	R	7.5	S
0L051219	HMYL-15	5.8	S	9.0	HS
0L051220	B317 (黄改)	4.1	MR	8.0	HS
0L051221	15-LH-23	4.0	MR	8.9	HS
0L051222	LA016	6.7	S	6.3	S
0L051223	F220	5.7	S	8.8	HS
0L051224	LA012	4.9	MR	9.0	HS
0L051225	长 727 (白)	3.8	MR	9.0	HS
0L051226	DK95	6.0	S	9.0	HS
0L051227	64984	5.9	S	9.0	HS
0L051228	HY01	5.9	S	8.4	HS
0L051229	HMYL-4	7.3	S	7.3	S
0L051230	DF1089-2	5.4	MR	3.5	R
0L051231	RA417	5.3	MR	8.4	HS
0L051232	HMYL-16	5.9	S	9.0	HS
0L051233	DS1467	7.5	S	8.7	HS
0L051234	F319	3.2	R	7.3	S
0L051235	8628(R×H)	6.0	S	5.9	S
0L051236	RA413	7.9	HS	7.9	HS
0L051237	PA015	6.5	S	7.8	HS
0L051238	F314	4.7	MR	8.6	HS
0L051239	H104	7.3	S	9.0	HS
0L051240	RA461	7.0	S	7.7	HS
0L051241	64161	5.0	MR	9.0	HS
0L051242	64158	6.5	S	7.3	S
0L051243	96287 (黄改)	7.0	S	9.0	HS
0L051244	V2166	5.5	MR	7.7	HS
0L051245	HMYL-12	6.7	S	8.2	HS
0L051246	HMYL-3	8.2	HS	6.8	S
0L051247	HMYL-10	6.1	S	6.6	S
0L051248	HMYL-8	5.0	MR	3.6	MR
0L051249	6417	7.5	S	9.0	HS
0L051250	HMYL-9	8.1	HS	6.0	S

0L051251	F3960	6.6	S	8.8	HS
0L051252	HY08	6.4	S	7.8	HS
0L051253	DK1398	5.6	S	8.8	HS
0L051254	CFNKY-1	5.7	S	7.8	HS
0L051255	DS2168	4.7	MR	8.1	HS
0L051256	CFNKY-2	3.9	MR	6.8	S
0L051257	HMYL-13	6.8	S	8.5	HS
0L051258	DS920	4.5	MR	8.0	HS
0L051260	64163	1.8	R	8.4	HS
0L051261	DK173	2.4	R	8.6	HS
0L051262	PA030	4.1	MR	8.1	HS
0L051264	HY07	3.9	MR	8.5	HS
0L051265	DK705	3.3	R	7.3	S
0L051266	64188	5.7	S	8.9	HS
0L051267	群 105	7.7	HS	5.8	S
0L051268	2506	8.3	HS	6.6	S
0L051269	DF1280	4.5	MR	8.0	HS
0L051270	DK603	3.4	R	9.0	HS
0L051271	2516	4.8	MR	8.4	HS
0L051272	HMYL-14	5.1	MR	8.3	HS
0L051273	CFNKY-3	3.9	MR	9.0	HS
0L051274	DK755	4.7	MR	9.0	HS
0L051275	C632	5.3	MR	5.8	S
0L051276	2637	5.7	S	6.9	S
0L051277	DK167	4.4	MR	3.7	MR
0L051278	YJY-2	3.3	R	3.9	MR
0L051279	64159	5.7	S	8.9	HS
0L051280	HMYL-19	5.2	MR	7.6	HS
0L051281	64162	4.5	MR	3.6	MR
0L051282	17405-1	7.5	S	8.9	HS
0L051283	HMYL-18	5.2	MR	7.0	S
0L051284	2501	6.2	S	5.6	S
0L051285	DK699	3.4	R	7.5	HS
0L051286	DS2257	6.5	S	7.2	S
0L051287	DK48	3.6	MR	9.0	HS
0L051288	64366	7.2	S	8.9	HS
0L051289	西 R59(R×P)	3.3	R	8.0	HS
0L051290	F3814	5.8	S	4.1	MR
0L051291	DK741	6.1	S	8.3	HS
0L051292	PA011	2.8	R	6.0	S
0L051293	F382	7.8	HS	8.3	HS
0L051294	F560	6.8	S	8.3	HS
0L051295	DS2108	4.4	MR	5.1	MR
0L051296	LA011	5.9	S	8.5	HS

0L051297	15-LH-25	7.3	S	7.9	HS
0L051298	2015-M-19	1.8	R	8.0	HS
0L051299	DK1137	8.2	HS	8.9	HS
0L051300	Q006	4.3	MR	5.2	MR
0L051301	PA029	3.6	MR	8.7	HS
0L051302	PA180	7.0	S	8.2	HS
0L051303	A83(F83)	5.0	MR	7.5	S
0L051304	CFNKY-4	7.0	S	7.0	S
0L051305	15-TL-1224	1.0	HR	1.3	HR
0L051306	HMYL-7	4.6	MR	6.9	S
0L051307	LA061	6.6	S	8.6	HS
0L051308	PA013	8.1	HS	8.8	HS
0L051309	M67	6.7	S	9.0	HS
0L051310	中 7490 选	4.1	MR	8.7	HS
0L051311	HMYL-20	8.4	HS	7.5	S
0L051312	64160	5.9	S	3.8	MR
0L051313	LA070	5.3	MR	8.7	HS
0L051314	F613	8.8	HS	7.6	HS
0L051315	18-QTL-08	5.9	S	2.9	R
0L051317	18-YJY-07	4.7	MR	9.0	HS
0L051318	18-QTL-23	4.6	MR	5.3	MR
0L051319	18-QTL-29	3.4	R	8.3	HS
0L051320	15-LH-9	8.7	HS	7.3	S
0L051322	18-MYL-04	5.5	MR	9.0	HS
0L051323	BERD-13	8.8	HS	3.7	MR
0L051324	冬 17-2-3	7.6	HS	6.0	S
0L051325	冬 17-1-71	3.0	R	9.0	HS
0L051326	79719	6.5	S	8.3	HS
0L051327	55441-1	3.7	MR	1.6	R
0L051328	55449-1	2.1	R	7.8	HS
0L051329	18-YJY-06	5.8	S	8.0	HS
0L051330	18-YJY-23	4.8	MR	8.2	HS
0L051331	18-YJY-17	5.5	MR	3.3	R
0L051332	17-040	5.7	S	5.3	MR
0L051333	18-YJY-10	7.4	S	6.2	S
0L051334	55444-1	3.4	R	4.3	MR
0L051335	79615	5.0	MR	8.4	HS
0L051336	79611	7.0	S	1.9	R
0L051337	17-001	6.2	S	9.0	HS
0L051338	18-YJY-18	3.0	R	3.2	R
0L051339	55445-1	2.6	R	4.0	MR
0L051340	55436	5.0	MR	8.9	HS
0L051341	79705	8.5	HS	7.1	S
0L051342	18-YJY-20	5.8	S	7.0	S

0L051343	79687	3.3	R	9.0	HS
0L051344	18-HDY-27	3.2	R	5.5	MR
0L051345	55442-1	3.0	R	4.5	MR
0L051346	55438-1	7.4	S	8.5	HS
0L051347	55435-1	6.6	S	9.0	HS
0L051348	18-QTL-18	5.9	S	7.2	S
0L051349	18-MYL-03	2.3	R	8.5	HS
0L051350	55446-1	5.6	S	8.4	HS
0L051351	55440-1	7.5	S	8.6	HS
0L051353	18-YJY-19	3.4	R	6.8	S
0L051354	18-YJY-02	3.2	R	2.3	R
0L051355	18-QTL-28	8.0	HS	3.4	R
0L051356	18-YJY-11	5.0	MR	5.5	MR
0L051357	18-MYL-06	4.0	MR	6.2	S
0L051358	18-YJY-12	3.8	MR	9.0	HS
0L051359	55240-1	6.3	S	8.4	HS
0L051360	18-MYL-05	6.2	S	4.1	MR
0L051361	18-QTL-25	3.4	R	1.3	HR
0L051362	18-YJY-09	5.0	MR	8.5	HS
0L051363	18-YJY-16	4.3	MR	5.2	MR
0L051364	55235	6.0	S	4.7	MR
0L051365	18-MYL-01	4.4	MR	4.7	MR
0L051366	55448-1	6.1	S	7.5	S
0L051367	18-YJY-00	5.9	S	7.3	S
0L051368	17-045	7.2	S	8.6	HS
0L051369	55437-1	4.4	MR	6.9	S
0L051370	79781	5.3	MR	3.9	MR
0L051371	18-QTL-13	4.7	MR	1.4	HR
0L051372	18-YJY-13	6.9	S	9.0	HS
0L051373	18-QTL-14	5.5	MR	9.0	HS
0L051374	18-QTL-27	4.6	MR	3.8	MR
0L051375	55434	3.8	MR	6.3	S
0L051376	18-QTL-01	5.1	MR	4.7	MR
0L051377	18-HDY-28	7.4	S	2.8	R
0L051378	79792	6.3	S	2.9	R
0L051379	18-YJY-24	4.5	MR	3.5	R
0L051380	18-YJY-03	6.7	S	8.9	HS
0L051381	18-QTL-20	6.9	S	3.3	R
0L051382	18-QTL-09	6.1	S	3.4	R
0L051383	18-MYL-09	5.0	MR	3.5	R
0L051384	冬 17-1-64	3.8	MR	8.8	HS
0L051385	18-YJY-21	6.5	S	8.5	HS
0L051386	BERD-2	5.9	S	4.3	MR
0L051387	18-QTL-16	6.4	S	7.5	S

0L051388	18-YJY-01	5.2	MR	2.0	R
0L051389	18-MYL-12	6.5	S	6.6	S
0L051390	冬 17-2-25	7.5	S	3.3	R
0L051391	18-MYL-13	5.0	MR	9.0	HS
0L051392	18-MYL-10	8.3	HS	6.5	S
0L051393	冬 17-1-69	7.0	S	1.5	HR
0L051394	18-QTL-12	6.0	S	3.6	MR
0L051395	64982	7.8	HS	3.5	R
0L051396	18-QTL-04	3.3	R	3.2	R
0L051397	F2644	7.2	S	1.7	R
0L051398	BERD-33	8.7	HS	3.4	R
0L051399	18-HDY-05	7.4	S	1.3	HR
0L051400	18-HDY-09	3.8	MR	2.4	R
0L051401	2015-M-26	7.2	S	2.6	R
0L051402	巴系 14-04	7.5	S	8.1	HS
0L051403	18-QTL-10	4.6	MR	4.3	MR
0L051404	BERD-36	8.6	HS	9.0	HS
0L051405	18-QTL-07	7.2	S	8.4	HS
0L051406	BERD-35	6.5	S	9.0	HS
0L051407	18-HDY-20	8.1	HS	8.9	HS
0L051408	18-QTL-03	3.3	R	5.9	S
0L051409	18-MYL-11	6.5	S	8.1	HS
0L051410	18-HDY-32	7.8	HS	8.7	HS
0L051411	冬 17-2-8	7.4	S	8.7	HS
0L051412	16628-2	4.3	MR	7.8	HS
0L051413	F1860	6.3	S	8.1	HS
0L051414	18-HDY-03	5.4	MR	9.0	HS
0L051415	18-HDY-25	5.4	MR	8.9	HS
0L051416	18-QTL-06	5.6	S	8.5	HS
0L051417	64978	5.9	S	8.0	HS
0L051418	18-QTL-05	4.3	MR	8.5	HS
0L051419	冬 17-2-12	5.7	S	8.1	HS
0L051420	18-MYL-14	5.2	MR	8.9	HS
0L051421	18-HDY-29	4.7	MR	8.6	HS
0L051422	18-QTL-11	5.9	S	3.1	R
0L051423	18-HDY-26	7.9	HS	4.9	MR
0L051424	冬 17-1-61	7.0	S	4.7	MR
0L051425	18-QTL-02	5.0	MR	7.2	S
0L051426	18-HDY-14	3.1	R	2.2	R
0L080773	T5121	6.2	S	1.0	HR
0L080774	T5695	6.8	S	7.4	S
0L080775	T5711	3.1	R	7.2	S
0L080776	T5863	7.6	HS	7.3	S
0L080777	T5956	5.7	S	8.0	HS

0L080778	T6897	3.7	MR	7.0	S
0L080779	T6903	8.2	HS	7.6	HS
0L080780	T7088	3.4	R	7.5	S
0L080781	T7089	8.6	HS	8.6	HS
0L080782	T7131	6.0	S	8.5	HS
0L080783	T7308	7.3	S	4.9	MR
0L080784	T33162	5.4	MR	7.9	HS
0L080785	T33319	5.8	S	5.1	MR
0L080786	T23647	6.0	S	7.3	S
0L080787	T23797	3.5	R	9.0	HS
0L080788	T23923	6.3	S	9.0	HS
0L080789	T23942	8.7	HS	8.0	HS
0L080790	T33282	2.7	R	8.7	HS
0L080791	T33400	8.5	HS	8.7	HS
0L080792	T33465	5.7	S	9.0	HS
0L080793	KL2	7.0	S	5.3	MR
0L080794	T33685	3.5	R	7.4	S
0L080795	T3021	3.7	MR	8.9	HS
0L080796	T1373	3.9	MR	7.4	S
0L080797	FH1	5.3	MR	5.3	MR
0L080798	FH2	2.9	R	8.3	HS
0L080799	加 9	5.8	S	9.0	HS
0L080800	加 44	8.3	HS	2.7	R
0L080801	LIMA51	3.7	MR	4.0	MR
0L080802	缓系 605	8.5	HS	6.2	S
0L080803	缓系 607	8.0	HS	8.4	HS
0L080804	缓系 2248	3.4	R	8.1	HS
0L080805	南 E	5.3	MR	6.4	S
0L080807	合 M	6.9	S	3.3	R
0L080808	891216	3.4	R	8.0	HS
0L080809	KL6	8.2	HS	5.9	S
0L080810	KL1	4.3	MR	8.4	HS
0L080811	B6	8.8	HS	9.0	HS
0L080812	1187	8.9	HS	8.7	HS
0L080813	385-1	4.8	MR	7.3	S
0L080814	1058-1	5.5	MR	2.8	R
0L080815	HB10	6.1	S	5.4	MR
0L080816	HB450	5.6	S	8.7	HS
0L051263	RA465	2.3	R	5.3	MR
0L051352	18-YJY-15	4.9	MR	5.3	MR
0L080806	94YRK22	4.8	MR	3.9	MR
0L080817	HA549	7.4	S	6.3	S
0L080818	HA608	8.2	HS	7.7	HS
0L080819	HA746	7.9	HS	6.0	S
