

我国玉米南方锈病的抗病育种进展和防治策略

任雅琨^{1,2} 韩托² 朱胜男² 计怀春² 王启磊^{1,2}

(¹农业农村部玉米小麦等作物优质抗逆精准育种重点实验室,郑州 450001; ²河南金苑种业股份有限公司,郑州 450001)

摘要:玉米南方锈病作为目前较为流行的气传性叶部病害,近几年来在我国玉米主产区不断蔓延。玉米南方锈病主要危害玉米叶片、叶鞘,在后期影响玉米灌浆,对玉米生产构成严重威胁。培育并推广抗南方锈病的玉米品种,利用多种方法综合防治仍是抑制南方锈病蔓延和爆发的主要手段。阐述了我国玉米品种对南方锈病的抗性水平,进一步分析了国内外抗南方锈病的种质资源,探究了抗病基因的挖掘和功能基因的应用,最后提出了抗病育种、加强病害的监测和预警、适期进行化学防控、加强菌源小种的鉴定等综合防治策略,以期为我国南方锈病的防治提供参考。

关键词:玉米南方锈病;品种评价;种质鉴定;抗病基因;防治策略

Progress of Resistance Breeding and Control Strategy of Southern Corn Rust in China

REN Yakun^{1,2}, HAN Tuo², ZHU Shengnan², JI Huaichun², WANG Qilei^{1,2}

(¹Key Laboratory of Maize, Wheat and Other Crops High-Quality Stress-Resistant Precision Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450001; ²Henan Jinyuan Seed Industry Co., Ltd., Zhengzhou 450001)

玉米南方锈病是由多堆柄锈菌引起的一种气流传播病害,主要危害玉米叶片、叶鞘。最初广泛发生在非洲、东南亚、美洲南部等热带和亚热带地区,随着全球热带气旋的活动,该病害在全球范围内不断扩大,已在我国 22 个省份发生,对黄淮海夏玉米区和南方玉米区的危害尤为严重,严重时可导致减产 50% 以上。2015 年南方锈病在全国致病区域达到一个高峰,发病面积达 523.9 万 hm^2 ,实际损失约 75.6 万 t^[1]。2021 年玉米南方锈病在黄淮海区域再次大爆发,山东省发生面积达历史之最,发病面积占山东省玉米总种植面积的 43.2%,平均病株率 46%^[2]。近年来受西太平洋热带气旋频繁发生的影响,南方锈病在我国的发病面积和严重程度不断扩大,对我国玉米主产区的安全生产构成严重威胁。抗病育种是防治南方锈病最经济有效的方法。了解我国玉米品种的抗性水平、鉴定抗病种质、挖掘和利用抗病基因仍是抗病育种的重要工作,并在此基础

上探讨了南方锈病的防治策略。

1 我国玉米品种对南方锈病的抗性评价

了解我国当前玉米品种对南方锈病的抗性水平,是品种改良和抗病育种的基础。近年来多位学者对我国参试、已审和主推玉米品种进行南方锈病抗病性鉴定。刘骏等^[3]从黄淮海区域 47 个主推品种中鉴定出 2 份高抗南方锈病品种,14 份抗性品种,先玉 335、郑单 958、浚单 20 均为高感品种。王群^[4]在 2017–2018 年从山东省 400 份玉米品种中鉴定出 63 份南方锈病抗性品种,其中高抗和抗性品种分别有 3 份和 24 份。刘炎琨^[5]在 2019–2020 年对 358 份河南省引种和区域试验品种进行抗性鉴定,高抗、抗和中抗南方锈病的品种分别有 66 份、80 份和 111 份。黄莉群等^[6]在 2020 年对国内 85 个主栽玉米品种进行田间抗性评价,高抗品种仅有 9 份,占比 10.59%,中抗品种 19 份,占比 22.35%。郭宁等^[7]在 2018–2020 年黄淮海夏玉米区国审的 437 个品种中未鉴定出高抗品种,抗和中抗品种占比 4.45% 和 4.92%。在 47 个主栽品种中,抗性品种和中抗品种

基金项目:河南省科技攻关计划项目(2022010201)

通信作者:王启磊

占比 12.22% 和 27.66%。总体而言,我国玉米品种对玉米南方锈病的抗性较差,高抗品种少,可能是由于我国玉米育种使用的抗性种质资源狭窄,过度使用 78599 系列,造成本土种质和品种趋同化严重且抗性较差^[8]。然而,近年来抗病品种比例呈逐年上升趋势,说明科研院所和育种单位对抗锈病品种的选育工作的重视程度增加。因此,拓宽种质资源、创新育种模式以及选用不同的抗病种质仍是未来抗病育种的重要方向。

2 我国玉米抗南方锈病种质的鉴定和利用

2.1 我国南方锈病抗性种质的鉴定

培育抗病品种的关键是选育抗病自交系,鉴定和利用多种抗病种质是选育抗病自交系的基础。较多学者不断地搜集和鉴定南方锈病抗性种质。黄飞燕^[9]对 1136 份玉米种质资源进行南方锈病抗性鉴定,高抗、抗、中抗种质所占比例分别为 2.46%、7.13% 和 29.93%,国外地方品种的抗性比例高于国内地方品种的抗性比例。江凯等^[10]从 1589 份玉米种质资源中鉴定出 137 份抗南方锈病材料;高抗材料仅 26 份,其中 16 份来自于国外材料(美国材料选系 5 份、CIMMYT 材料 7 份、非洲津巴布韦材料 4 份),国内材料只有 10 份。姚国旗等^[8]鉴定了 34 份热带亚热带自交系,发现仅自交系 CML144、CML247、CML451 和 CML470 高抗南方锈病。陈文娟等^[11]在广西和北京对 903 份种质资源做了南方锈病抗性鉴定,高抗材料占比 0.9%,抗性材料占比 2.3%,中抗材料占比 11.1%,高抗和抗性材料主要源自内蒙古和山西。此外作者用 56 份抗性材料进行了聚类分析,可将抗性材料分为两大类群,第一大群又被划分成 5 个亚群,包含 PB 亚群、唐四平头亚群、旅大红骨亚群、BSSS 亚群和 Lan 亚群;第二大群为 PA 群,与其他亚群材料的遗传相似度较低,表明抗病材料有较高的遗传多样性。以上研究结果显示我国国内高抗南方锈病的种质资源较少,且多数高抗南方锈病的资源来自国外热带种质资源。

2.2 南方锈病抗性种质资源的利用

热带种质资源在我国玉米育种中多数无法直接利用,需要与本土优异种质多次回交,将热带抗病种质中的抗锈病基因导入到本土优异材料中,才能实现本土自交系南方锈病抗性基因的多元化。任转滩^[12]将热带种质 CML311 与掖 478 杂交,经多代混粉后自交选择,

选出了既具有掖 478 的优异性状又兼备南方锈病抗性的新材料;用同样的方法将 CML246 与 CA971 杂交后再与 Mo17 杂交,经多代自交选择,最终筛选出了高抗南方锈病的适应性种质;除此之外,B73、K12、黄早四、黄金 96B 等常用自交系也通过此方法提高了抗锈病能力。张志方等^[13]以高抗南方锈病的 M119 为基础材料,经多代自交和姊妹交,经河南、贵州、海南三生态区的混合抗性选择和配合力测定,选出了塘四平头类型的抗病优异自交系浚 M9;之后用浚 M9 对本地种质进行改良,形成高抗茎腐病和南方锈病的优异种质浚 96、浚 M97、浚 M98。同时用浚 M9 与国外优异种质和国内骨干自交系进行选系,构建了 1 个广适多抗父本群。新的抗病自交系的育成也证明了利用热带抗病资源培育本土化抗病自交系的可行性。进一步利用 CIMMYT、Suwan 和非洲等热带地区的抗南方锈病种质资源,仍是抗病自交系选育的关键环节。这些资源能够为我国抗病育种提供非常优秀的抗性基础材料。

3 玉米南方锈病抗病基因的挖掘及应用

3.1 玉米南方锈病抗病基因的定位和克隆

基于南方锈病的发病范围不断扩大,对玉米产量造成的损失程度不断增加,国内外科人员对玉米南方锈病基因的挖掘开展了较多研究。Storey 等^[14-15]从抗南方锈病材料 AFRO.29 和 AFRO.24 中分别发现了完全显性抗病基因 *Rpp1* 和不完全显性抗病基因 *Rpp2*,*Rpp1* 专抗小种 EA1,*Rpp2* 对小种 EA1 和 EA2 具有部分抗性;*Rpp1* 与 *Rpp2* 连锁,遗传距离约有 12.23cM。Ullstrup^[16]从 PI 186208 中定位到一个专抗小种 PP.9 的单显性抗病基因 *Rpp9*; Storey 等^[17]又发现了对 EA1 和 EA3 有抗性的显性基因 *Rpp10* 和对 EA1 和 EA3 有不完全抗性的抗病基因 *Rpp11*,且 *Rpp1*、*Rpp10* 和 *Rpp11* 均不连锁。我国研究显示多数南方锈病抗病位点定位在 10 号染色体短臂上,且为单显性主效基因。不同抗性材料中定位的抗性基因及连锁的分子标记见表 1^[18-28]。Zhou 等^[18]将齐 319 的抗病基因 *RppQ* 定位于分子标记 MA7、M-CCG/EAGA157 之间。Liu 等^[19]将抗性基因 *RppP25* 定位在 10 号染色体上,与 phi059 的遗传距离为 5.8cM; Zhao 等^[20]进一步将 *RppP25* 定位在分子标记 P091 和 M271 之间,GRMZM2G060884 可能为候选基因。Zhang 等^[21]从

表 1 不同抗性材料中抗性基因及连锁的分子标记

抗病材料	感病材料	抗病基因 / 位点	连锁的分子标记
齐 319	340	<i>RppQ</i>	MA7、M-CCG/EAGA157
P25,F939	F349	<i>RppP25</i>	phi059,P091 和 M271
W2D	W222	<i>RppD</i>	umc1291,CAPS858
SCML205	京 24	<i>RppS</i>	IDP4283,G047
CML470	昌 7-2	<i>RppC</i>	umc1380,umc1291
S313	TS647,PHW52,ZD415,368M	<i>RppS313</i>	A005915,A009920
P178	G41	<i>qSCR10.01</i>	UMC1380,C(10)3595071
CML496	Lx9801	<i>RppCML496</i>	C01857-1,G047
K22	丹 340	<i>RppK</i>	SNP20,SNP5
京 2416K	京 2416	<i>RppM</i>	I15-5,I16-4

W2D 和 W222 构建的分离群体中定位主效单显性抗病基因 *RppD*,与分子标记 umc1291 和 CAPS858 的遗传距离分别为 2.9cM 和 0.8cM。*RppD* 与 *RppQ* 和 *RppP25* 不等位。Wu 等^[22]用热带材料 SCML205 与京 24 构建 F₂ 分离群体,将抗病基因 *RppS* 定位在 10 号染色体短臂远端,与 IDP4283 和 G047 的遗传距离为 8.4cM。*RppS* 与 *RppQ*、*RppD* 和 *RppP25* 均不等位。姚国旗等^[23]发现 CML470 的抗性主要由显性单基因 *RppC* 控制,该基因定位在分子标记 umc1380 与 umc1291 之间,与 2 个分子标记的遗传距离分别为 3.5cM 和 8.8cM。王兵伟等^[24]用 S313 × PHW52 的 F₂ 分离群体将抗病基因 *RppS313* 定位在 SNP 分子标记 A005915 与 A009920 之间,区间内有 3 个候选基因。艾堂顺等^[25]从 P178 和 G41 构建的 BC₂F₅ 群体中发现主效抗南方锈病位点 *qSCR10.01*,可解释 45.31% 的表型变异,该 QTL 被定位在分子标记 umc1380 和 C(10)3595071 之间,物理距离 1.34Mb。王文洁等^[29]将高抗南方锈病材料 K381 的抗病位点定位在分子标记 umc2018 与 phi059 之间,与 phi059 紧密连锁。

除主效基因的定位,科研人员在玉米的 1、2、3、4、5、6、8、9 号染色体上也发现了南方锈病的抗病位点^[25,30-32]。其中 Lu 等^[30]用齐 319 和掖 478 构建重组自交系,在第 6 号染色体上发现的 *qSCR6.01* 位点抗病效应最大,可解释表型总变异的 24.15%。

南方锈病抗性位点报道较多,但目前只有 3 个抗病基因被克隆。Lv 等^[26]和 Deng 等^[27]以 CML496 和 Lx9801 构建的重组自交系为材料,采用图位克隆和转基因验证的方法,从 CML496 的 10 号

染色体上克隆到一个 NLR 类的抗玉米南方锈病的新基因 *RppC*。利用转录组分析和玉米原生质体超敏反应筛选体系等多种研究方法,在南方锈病病原菌中鉴定到被 *RppC* 识别的效应蛋白 AvrRppC,并发现新的病原菌小种通过 *AvrRppC* 氨基酸突变的方式来逃避 *RppC* 的识别。Chen 等^[28]用 K22 和丹 340 构建的 F_{6,7} 分离群体和重组自交系,在 10 号染色体上定位到一个主效的单显性基因 *RppK*,转基因验证确定 K22 基因组中的 R3 为抗病基因,编码典型的 NLR 蛋白,能够与 *AvrRppK* 互作激活植物体内的 ETI 反应,从而提高植物抗病性,在抗病育种上应用潜力巨大。Wang 等^[33-34]通过对京 2416K 和京 2416 构建的 F₂ 群体进行定位、测序分析和转基因验证,在 10 号染色体短臂上定位并克隆到南方锈病抗性基因 *RppM*,并且基于 *RppM* 两个保守位点 (AA576、AA817)开发了可以鉴定 *RppM* 的特异性 KASP 分子标记 KM23 和 KM19。

3.2 南方锈病抗病功能基因在玉米品种改良上的应用 目前已克隆抗南方锈病基因 *RppC*、*RppK* 为基因与基因互作,进而触发植物体的 ETI 和 PTI 防御反应,提高植物的抗病性,在育种中有较高的应用价值^[27-28]。*RppC* 在商业品种中应用较广,裕丰 303、中科玉 505、农大 108、汉单 777、登海 3622、蠡玉 16、蠡玉 88、农大 108、豫单 9953 等多个主栽抗锈病品种均含有 *RppC* 基因,具有较好玉米南方锈病抗性^[33];12 个浚单玉米自交系含有 *RppC* 抗病基因^[35];在审定品种中辽单 707、康农玉 598、康农 2 号、高玉 14022 对玉米南方锈病有较好抗性,经检测均含有抗病基因 *RppK*^[28],含有 *RppM* 的京 2416K

自交系已成为我国高抗玉米南方锈病的核心种质,为我国玉米南方锈病品种的改良提供了基础材料,先后组配出京农科 767、京科 682、现代 965 等玉米品种,对南方锈病具有较好抗性。

4 玉米南方锈病的防治策略

4.1 挖掘抗病基因进行种质创新和抗病育种

利用抗病基因进行抗病种质资源创新和品种选育是控制玉米南方锈病最经济有效的方法。*RppQ*、*RppP25*、*RppD*、*RppC*、*RppK* 和 *RppM* 等优良抗病基因的定位和克隆以及与抗病基因连锁的分子标记的开发,促进了传统育种与现代育种技术相结合,为抗病种质资源创新和品种选育、改良提供了更精准有效的方法。还应加大对含有未知抗病基因的高抗南方锈病的基因挖掘工作,加强高抗南方锈病的热带材料在本地优异自交系的改良和品种选育方面的应用。另外分子标记辅助育种、单倍体育种、全基因组选择和基因编辑等现代育种技术为南方锈病抗病育种提供了一种更精确快速的途径。常规育种和现代分子技术相结合,可加快抗病育种进程。

4.2 加强抗病种质的利用 南方锈病的高抗种质在国内较少,已鉴定的抗病种质多为热带或亚热带材料。对已鉴定的国内高抗南方锈病的种质可以直接利用或者进行骨干材料的改良。CIMMYT、Suwan、非洲津巴布韦等高抗南方锈病的材料不能直接利用,需多代轮回选择改良自交系。在改良过程中,可使用分子标记辅助选择进行背景筛选,利用与南方锈病抗病基因连锁的分子标记进行前景筛选,结合单倍体等现代育种技术可以加快品种改良进程,但材料改良还要以接种抗病鉴定结果和配合力测定为主;改良的育种材料要在黄淮海、海南、广西等多个生态区进行田间抗性鉴定,更有利于选出广谱抗性的优质自交系。

4.3 加强病原菌的监测和预警 我国南方锈病的发生和热带气旋活动路径有关,在锈病发生前期结合气象变化,监测病原菌的动态变化,为病情发生做出预警。使用南方锈病特异性分子标记和快速检测体系监测南方锈病在田间的侵染动态^[36];发病严重区域和经常发病区域可建立玉米南方锈病的病害预测模型,为病情预测提供指导^[30]。加快开发和利用对南方锈病检测准确度高的田间无损化监测工具^[37],建立玉米不同生态区的南方锈病病害预测模型,

在病害发生前做出预警并及时采取干预措施,可有效抑制病原菌的侵染和扩散,防止病害的大规模爆发。

4.4 适期配合使用化学防控 监测玉米南方锈病的侵染动态,在适宜的时期及时施用化学药剂能显著抑制南方锈病的发生和蔓延^[38-40]。在南方锈病初发期,用 250g/L 的吡唑醚菌酯乳油、125g/L 的氟环唑悬浮液、5% 己唑醇、25% 丙环唑和 43% 戊唑醇处理,可显著抑制病害的蔓延,降低病害对植株和产量的危害程度^[38,40]。大喇叭口期至抽雄期是南方锈病激发期;在大喇叭口期喷施戊唑醇悬浮剂 430g/L、氟硅唑乳油 400g/L、吡唑醚菌酯乳油 250g/L、30% 肟菌·戊唑醇悬浮剂、吡唑醚菌酯乳油 250g/L 与戊唑醇悬浮剂混剂 430g/L,可对南方锈病有较好的防治效果^[39]。由于大喇叭口期玉米植株高大、田间郁闭,玉米病虫害防治比较困难,建议有条件的可用植保无人机进行飞防;进行人工防治时,可以用高压喷枪进行粗防或进行精细喷雾防治,控制病情,抑制病原菌的繁殖、扩散和传播。

4.5 加强玉米主产区致病小种的鉴定工作 前人研究初步确定了我国多堆柄锈菌的主要来源,辽宁、黄淮海区域和浙江、福建的南方锈病初始菌源主要来自我国台湾地区;广东、广西和海南的初始菌源主要来自菲律宾;云南、贵州等西南地区初始菌源主要来自泰国、老挝、缅甸等国家,并在境内形成病害的周年循环^[41]。我国不同玉米生态区的气候差异较大,不同区域的南方锈菌的病原小种复杂。海南菌群年度间遗传差异较大,来源较多且不稳定;山东多堆柄锈菌遗传多样性丰富,说明病原小种较多;广西、广东、浙江、福建、海南的初始菌源相近,但广西河池的菌株致病性最强。致病小种的更迭或病菌变异会导致推广的抗病品种丧失部分抗性,因此加强各区域的致病小种的鉴定有助于开展针对性的抗病育种。

随着全球气候变暖,暴雨、台风等灾害性气候频发,南方锈病在我国玉米主产区的发病面积不断扩大,后期爆发速度快,尤其对黄淮海区域和南方沿海地区的玉米产量危害严重。抗病育种是病害防治最绿色、经济、有效的措施。但我国高抗南方锈病种质资源较少,且抗病种质存在一定的地域限制,因此加快抗病种质的搜集,对已鉴定出的高抗种质加以

利用,建立起科研院所和育种企业自己的核心抗病自交系尤为重要。深度挖掘南方锈病抗病基因,利用已开发的分子标记和前沿分子育种技术培育抗南方锈病品种。推广部门重点推广抗性品种,同时在抗病品种不多的情况下,动态监测病害的变化,及时有效地采取化学防控,多措并举,以保证玉米主产区的安全生产。

参考文献

- [1] 刘杰,姜玉英,曾娟,纪国强,刘莉,邱坤,徐永伟. 2015年我国玉米南方锈病重发特点和原因分析. 中国植保导刊,2016(5): 44-47
- [2] 杨久涛,张辉,张继波,郝国芳,邢晓飞,韩伟,国栋. 2021年山东省玉米南方锈病暴发流行原因分析与防控对策. 农业灾害研究, 2022,12(6): 5-6,9
- [3] 刘骏,马青,于凯,王晓鸣. 我国玉米南方锈病发生区域和玉米品种田间抗性的研究. 作物杂志,2009(3): 71-75
- [4] 王群. 山东省玉米品种(系)对田间病害的抗性鉴定. 泰安:山东农业大学,2018
- [5] 刘炎琨. 黄淮玉米新品种对六种主要病害的抗性鉴定与评价. 郑州:河南农业大学,2021
- [6] 黄莉群,马玥,戚新蕾,孙秋玉,董佳玉,李冠甲,马占鸿. 玉米品种对不同地区玉米南方锈菌的抗性评价. 作物杂志,2021(6): 205-210
- [7] 郭宁,刘树森,石洁,孙华,马红霞,张海剑. 黄淮海夏玉米近年国审品种及主栽品种对南方锈病的抗性分析. 玉米科学,2023,31(3): 160-167
- [8] 姚国旗,曹冰,单娟,王云祥,韩志景,汪黎明. 玉米南方锈病抗性新种质的筛选. 山东农业科学,2014,46(7): 112-116
- [9] 黄飞燕. 玉米对南方锈病抗性资源筛选及抗病特征. 雅安:四川农业大学,2011
- [10] 江凯,杜青,秦子惠,陈茂功,李石初,孙素丽,武小菲,郭云燕,石云素,林小虎,王晓鸣. 玉米种质资源抗南方锈病鉴定. 植物遗传资源学报,2013,14(4): 711-714
- [11] 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
- [12] 任转滩. 玉米抗锈病种质资源的筛选及应用研究. 玉米科学, 2006,14(4): 155-157
- [13] 张志方,张素娟,张守林,王良发,章慧玉. 高抗南方锈病玉米自交系浚M9的选育与应用. 玉米科学,2023,31(1): 9-15
- [14] Storey H H,Howland A K. Resistance in maize to the Tropical American rust fungus,*Puccinia polysora* Underw. . Heredity,1957, 11(3): 289-301
- [15] Storey H H,Howland A K. Resistance in maize to the Tropical American rust fungus,*Puccinia polysora*. Heredity,1959,13(1): 61-65
- [16] Ullstrup A J. Inheritance and linkage of a gene determining resistance in maize to an American race of *Fuccinia polysora*. Phytopathology, 1965,55(4): 425-428
- [17] Storey H H,Howland A K. Resistance in maize to a third East African race of *Puccinia polysora* Underw. . Annals of Applied Biology,1967, 60(2): 297-303
- [18] Zhou C J,Chen C X,Cao P X,Wu S W,Sun J W,Jin D M,Wang B. Characterization and fine mapping of *RppQ*,a resistance gene to southern corn rust in maize. Molecular Genetics and Genomics,2007, 278: 723-728
- [19] Liu Z X,Wang S C,Dai J R,Huang L J,Cao H H. Studies of genetic analysis and SSR linked marker location of gene resistance to southern rust in inbred line P25 of maize. Acta Genetica Sinica,2003,30(8): 706-710
- [20] Zhao P F,Zhang G B,Wu X J,Li N,Shi D Y,Zhang D F,ji C F,Xu M L,Wang S C. Fine mapping of *RppP25*,a southern rust resistance gene in maize. Journal of Integrative Plant Biology,2013,55(5): 462-472
- [21] Zhang Y,Xu L,Zhang D F,Dai J R,Wang S C. Mapping of southern corn rust-resistant genes in the W2D inbred line of maize (*Zea mays* L.). Molecular Breeding,2009,25: 433-439
- [22] Wu X J,Li N,Zhao P F,He Y,Wang S C. Geographic and genetic identification of *RppS*,a novel locus conferring broad resistance to southern corn rust disease in China. Euphytica,2015,205: 17-23
- [23] 姚国旗,单娟,曹冰,崔良国,都森烈,韩志景,刘铁山,李翠兰,汪黎明. 玉米自交系 CML470 抗南方锈病基因的定位. 植物遗传资源学报,2013,14(3): 518-522
- [24] 王兵伟,覃嘉明,时成俏,郑加兴,覃永媛,黄安霞. 一个高抗玉米南方锈病基因的 QTL 定位及遗传分析. 中国农业科学,2019,52(12): 2033-2041
- [25] 艾堂顺,田志强,李会敏,邓策,丁俊强,张学林,刘海富,朱伟岭,李志敏. 玉米南方锈病抗病 QTL 鉴定和效应分析. 河南农业大学学报,2018,52(4): 514-518
- [26] JLv M,Deng C,Li X Y,Zhao X D,Li H M,Li Z M,Tian Z Q,Leonard A,Jaqueth J,Li B L,Hao J J,Chang Y X,Ding J Q. Identification and fine-mapping of *RppCML496*,a major QTL for resistance to *Puccinia polysora* in maize. Plant Genome,2021,14(1): e20062
- [27] Deng C,Leonard A,Cahill J,Lv M,Li Y R,Thatcher S,Li X Y,Zhao X D,Du W J,Li Z,Li H M,Llaca V,Fengler K,Marshall L,Harris C,Tabor G, Li Z M,Tian Z Q, Yang Q H,Chen Y H,Ding J Q. The RppC-AvrRppC NLR-effector interaction mediates the resistance to southern corn rust in maize. Molecular Plant,2022,15(5): 904-912
- [28] Chen G S,Zhang B,Ding J Q,Wang H Z,Deng C,Wang J L,Yang Q H,Pi Q Y,Zhang R Y,Zhai H Y,Dong J F,Huang J S,Hou J B,Wu J H,Que J M,Zhang F,Li W Q,Min H X,Tabor G,Li B L,Liu X G,Zhao J R,Yan J B,Lai Z B. Cloning southern corn rust resistant gene *RppK* and its cognate gene *AvrRppK* from *Puccinia polysora*. Nature Communications,2022,13(1): 4392

4 加强多点开发,蹚出特色产业发展“好路子”

通过种质资源鉴定评价,南涧小米、五辈同堂枣等一批地方品种在推进特色产业发展、特色品牌培育、助力乡村振兴方面发挥了重要作用。

4.1 构建“一区多园”基地,强化供种保障 选取日照市莒县浮来山街道作为核心区,打造种业为主导产业的省农高区,以特色种业“育繁推”一体化为核心,着力布局特色种业产业体系,推进全产业链发展,带动全县农业产业转型升级,打造具有莒县特色的农业高新技术集聚地和高新技术产业新引擎。选取安庄镇、果庄镇、店子集街道、招贤镇等乡镇打造葡萄良种繁育示范园、畜禽育种育苗全产业链示范园、油桃良种繁育示范园、花卉果蔬良种繁育生产示范园、桑蚕良种繁育示范园、种业机械化生产示范园,构建“一区多园”发展模式。

4.2 突出“四动”建设,推动种业开发 突出规划推动、项目带动、创新驱动、政策拉动“四动”建设,利用现有种质资源,促进全县农副产品精深加工产业快速发展,企业数量日益增加,集群规模不断壮大,产业链条逐步健全,初步形成了果蔬、粮油、畜产品

三大产业集群,建立了集生产、加工、贮藏、物流、销售于一体的完整产业链。2022年全县规模以上农产品加工业94家,实现产值219.28亿元。

4.3 探索多种途径,充分开发资源 探索种质资源利用开发新途径,以“三品一标”为抓手,挖掘利用地方特色种质资源优势,进行产业化发展,形成特色农业,促进农民增收^[3]。目前,全县共有“三品一标”认证产品159个,莒县丹参、莒县黄芩、莒县南涧小米、莒县绿芦笋4种农产品获评农业农村部地理标志登记保护产品,果庄油桃、安庄黄桃、莒县花生、莒县桑蚕等16个品牌成功注册国家地理标志证明商标,招贤玫瑰、东莞蚕茧、安庄莒安香葡萄等17个品牌获评市级以上知名农产品品牌。

参考文献

- [1] 曾军. 植物种质资源的保护和利用. 今日科苑, 2007 (7): 52-53
- [2] 郭盛, 禾璐, 贾苏卿, 李世勇, 王秀明, 张璐, 董冰, 魏一凡. 农作物种质资源保护和开发利用存在的问题及对策. 中国种业, 2018 (4): 41-43
- [3] 张建新. 发挥地方种质资源优势 打造贵州绿色食品品牌. 种子, 2008, 27 (11): 132-134

(收稿日期: 2023-07-29)

(上接第25页)

- [29] 王文洁, 周联东, 张瑞平, 孙佩, 刘经纬, 王蕊. 玉米抗南方锈病性状遗传分析与连锁分子标记的筛选. 安徽农业科学, 2018, 46 (35): 100-102
- [30] Lu L, Xu Z N, Sun S L, Du Q, Zhu Z D, Duan C X, Weng J F. Discovery and fine mapping of *qSCR6.01*, a novel major QTL conferring southern rust resistance in maize. Plant Disease, 2020, 104 (7): 1918-1924
- [31] 张金钰, 蒲浩杰, 刘鹏飞, 陈青春, 张姿丽, 蒋锋. 鲜食甜玉米南方锈病抗性 QTL 定位分析. 中国农业大学学报, 2020, 25 (4): 82-88
- [32] Mu X H, Dai Z Z, Guo Z Y, Zhang H, Yang J P, Gan X K, Li J K, Liu Z H, Tang J H, Gou M Y. Systematic dissection of disease resistance to southern corn rust by bulked-segregant and transcriptome analysis. The Crop Journal, 2022, 10 (2): 426-435
- [33] Wang S, Zhang R Y, Shi Z, Zhao Y X, Su A G, Wang Y D, Xing J F, Ge J R, Li C H, Wang X Q, Wang J D, Sun X, Liu Q, Chen Y N, Zhang Y X, Wang S S, Song W, Zhao J R. Identification and fine mapping of *RppM*, a southern corn rust resistance gene in maize. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 1057
- [34] Wang S, Wang X Q, Zhang R Y, Liu Q, Sun X, Wang J D, Wang Y D, Xing J F, Liu Y, Zhao Y X, Shi Z, Su A G, Li C H, Xiao S L, Jiao Y Y, Li Z Y, Wang R H, Song W, Zhao J R. *RppM*, encoding a typical CC-

NBS-LRR protein, confers resistance to southern corn rust in maize. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 951318

- [35] 张文成, 王良发, 章慧玉, 靳海蕾, 张志方, 李长建, 张守林. 浚单玉米骨干系抗南方锈病及优异结实性分子机理探究. 农业科技通讯, 2022, 10: 133-136, 233
- [36] 张克瑜, 李磊福, 谷医林, 孙秋玉, 马占鸿. 多堆柄锈菌潜育期侵染量实时荧光定量 PCR 检测体系的建立. 植物保护学报, 2022, 49 (3): 832-839
- [37] Meng R, Lv Z G, Yan J B, Chen G S, Zhao F, Zeng L L, Xu B Y. Development of spectral disease indices for southern corn rust detection and severity classification. Remote Sensing, 2020, 12 (19): 3233
- [38] 田耀加, 赵守光, 张晶, 王秋艳, 陈红弟. 鲜食玉米南方锈病发生动态及药剂防控. 植物保护, 2016, 42 (6): 177-180
- [39] 甘林, 代玉立, 卢学松, 滕振勇, 陈伟, 杨秀娟. 闽南山区鲜食玉米叶斑病季节性流行动态及药剂防治. 植物保护, 2021, 47 (6): 213-222
- [40] 刘启, 吴方, 崔伟, 冯贺奎. 6种药剂对玉米南方锈病田间防效评价. 农药科学与管理, 2018, 39 (11): 54-57
- [41] 王晓鸣, 刘骏, 郭云燕, 段灿星, 朱振东, 孙素丽, 杨知还. 中国玉米南方锈病初侵染源的多源性. 玉米科学, 2020, 28 (3): 1-14, 30

(收稿日期: 2023-08-14)