

红麻种质资源对根结线虫抗性鉴定与评价

王会芳¹, 曾向萍¹, 戴志刚², 吴智¹, 杨泽茂², 陈绵才¹, 粟建光²

(¹海南省农业科学院植物保护研究所(海南省农业科学院农产品质量安全与标准研究中心)/海南省植物病虫害防控重点实验室, 海口 571100;

²中国农业科学院麻类研究所, 湖南长沙 410205)

摘要: 为鉴定我国红麻种质资源对根结线虫病的抗病性, 本研究采用 SCAR 引物对侵染红麻的根结线虫种群进行了鉴定, 并采用田间自然发病及盆栽接种鉴定的方法, 对 220 份红麻野生或栽培种质资源的根结线虫抗性进行了鉴定与评价。研究表明, 侵染红麻的线虫种类为南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)。田间抗性鉴定结果显示高抗红麻资源有 133 份, 占资源总数量的 60.45%, 玫瑰茄、红叶木槿和金钱吊芙蓉全部表现为高抗, 高抗比率最高。盆栽接种鉴定结果显示免疫资源有 7 份, 占资源总数的 3.18%; 高抗资源有 98 份, 占资源总数的 44.55%; 玫瑰茄均鉴定为高抗等级。红麻种质在田间自然发病和盆栽发病抗性鉴定存在一定的差异, 两种方法鉴定结果一致的种质资源共有 98 份, 其中高抗资源 69 份, 占交集资源数量的 70.41%; 高抗资源中有 49 份来源于栽培红麻, 10 份来源于野生近缘, 其余来源于玫瑰茄、玫瑰麻和红叶木槿, 1 份高感品种来自于野生近缘。本研究结果为红麻种质资源发掘利用提供科学依据。

关键词: 红麻; 根结线虫; 抗性鉴定

Identification and Evaluation of Kenaf Germplasm Resistance to Root Knot Nematode

WANG Hui-fang¹, ZENG Xiang-ping¹, DAI Zhi-gang², WU Zhi¹, YANG Ze-mao², CHEN Mian-cai¹,
SU Jian-guang²

(¹Institute of Plant Protection of Hainan Academy of Agricultural Sciences(Research Center for Quality Safety and Standards of Agricultural Products in Hainan Academy of Agricultural Sciences)/Hainan Key Laboratory for Control of Plant Diseases and Insect Pests, Haikou 571100; ²Institute of Hemp, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hunan Changsha 410205)

Abstract: In order to identify kenaf germplasm resources resistant to root knot nematode, In this study, the root knot nematode population infected with kenaf was identified by SCAR primers, and the root knot nematode resistance of 220 kenaf wild or cultivated germplasm resource materials were identified and evaluated by using the methods of natural field disease and pot inoculation identification. The results showed that the pathogen causing disease in the field was *Meloidogyne incognita*. The results of field resistance identification showed that there were 133 kenaf resources showed high resistance, accounting for 60.45%, and all the roselle, false roselle and creeping saxifrage showed high resistance, and the high resistance ratio was the highest. The results of pot inoculation showed that there were 7 immune resources, accounting for 3.18% of the total resources. And 98 high resistance resources, accounting for 44.55% of the total resources. All roselle were identified as high resistance grade. There were some differences in the identification of kenaf germplasm resistance between natural field disease and pot test. There were 98 germplasm resources with the same identification results by the two methods. There were 69 high resistance resources, accounting for 70.41% of the 98 germplasm resources. Among the high-resistance resources, 49 were from cultivated kenaf, 10 were from wild relatives, the rest were from roselle, rose hemp and hibiscus,

收稿日期: 2022-09-27 修回日期: 2022-10-21 网络出版日期: 2022-11-29

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220927001>

第一作者研究方向为植物线虫病害, E-mail: wanghuifang@hnaas.org.cn

通信作者: 粟建光, 研究方向为麻类种质资源收集与发掘利用, E-mail: jgsu@vip.163.com

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-16-E18)

Foundation project: China Agriculture Research System of MOF and MARA(CARS-16-E18)

and 1 high susceptible variety was from wild relatives. These results of this study provided scientific basis for the exploitation and utilization of kenaf germplasm resources against root knot nematode disease.

Key words: kenaf; *Meloidogyne* species; identification

红麻(Kenaf)又名洋麻或槿麻,台湾称钟麻,为锦葵科(Malvaceae)木槿属(*Hibiscus*)一年生草本纤维作物,具有耐旱、耐盐碱、速生、生物产量高、根系发达、抗逆性强等特性^[1],是麻纺和造纸工业的重要原料^[2],其纤维强力大、吸湿性好、散水快,耐腐蚀磨损,应用领域十分广阔。根结线虫是植物病原线虫中种类最多、分布最广、危害最严重的类群之一^[3],寄主植物高达3000余种,几乎涵盖了所有维管植物^[4]。红麻根结线虫病是我国红麻上的一种主要病害,更是一种世界性病害,国际上1927年就有根结线虫为害红麻的报道^[5],20世纪70、80年代,红麻和玫瑰麻在美国作为商品生产的主要障碍是它易感染根结线虫。在美国东南部,红麻栽培品种普遍高感染几个种的根结线虫^[6]。据调查,在我国各红麻主产区,红麻根结线虫病也普遍发生,一般减产20%~30%,严重者达50%以上,甚至绝产,给红麻生产带来巨大的损失^[7]。种植抗性品种是目前防控红麻根结线虫病最经济有效的手段^[8],国外虽早已进行过抗病育种工作,但成效甚小^[9-10]。红麻野生或近野生种质资源丰富,适应性广,存在对根结线虫群体的免疫、高抗和高感种质资源。牛小平等^[11]通过室内盆栽接种方法对25份在田间表现良好的红

麻种质资源进行根结线虫病抗性鉴定,结果仅发现7份为中抗,其余分别为中感和高感品种,未发现高抗或免疫品种。陈常理等^[12]连续3年对7份红麻品种(系)进行田间自然发病鉴定,仅发现福红991×J-1-113表现为抗性,其余6份均为中抗品种。国外学者对此也报道甚少,可获得的抗性种质匮乏,可用于商业化生产的更是寥寥无几。

本研究对侵染红麻的根结线虫种类进行了鉴定,并选取国内外220份红麻野生或栽培种质资源材料,通过田间自然发病和盆栽定量接种的方法,准确鉴定了红麻对根结线虫的抗性。本研究结果对于生产直接利用,或深化红麻种质资源利用、遗传改良研究,均具有一定的理论意义与实际应用价值。

1 材料与方法

1.1 供试材料

红麻种质资源220份(表1),其中野生资源52份,栽培资源168份,均由中国农业科学院麻类研究所红麻种质资源研究室提供。供试根结线虫虫源:南方根结线虫(*M. incognita*)由海南省农业科学院植物保护研究所植物线虫资源保存圃保存。

表1 220份参试红麻种质资源信息

Table 1 Information on the 220 kenaf germplasm resources

类型 Type	种类 Species	数量及占比(%) Number and proportion	名称 Name
野生资源 Wild resources	野生近缘	18/8.1	H038, H046, H101 (b) 紫花, H101 (b) 紫花选, H150, H160, H166, H188, H321, H353, H353 绿, H353 全叶, RS-2, 近缘小种子, 宽叶玫瑰麻, 太玫 76 黄(绿茎), 太玫红茎, 泰麻2号
	红麻	14/6.2	3747, 4119, 4391, 4442, 4443, 4649, 4652, 5079, 4733 全叶, 5079(红茎), ACC-NO-1589, ACC-NO-4628, ACC-NO-4685, ACC-NO-4733
	玫瑰麻	11/4.9	4114, 4371, 4390, 4398, 4400, 4667, 4688, 4761, 4688 绿茎, 4688 紫茎, ACC-NO-4390
	玫瑰茄	2/0.8	4611, ACC-NO-4293
	红叶木槿	4/1.7	ACC-NO-4114, ACC-NO-4115, ACC-NO-4539, ACC-NO-5083
	金钱吊芙蓉	1/0.4	HR01
	信息不详	2/0.9	光顿感材料, ACC-NO-4790
栽培资源 Cultivar resources	栽培红麻	168/76.3	ACC-NO-4790, K1, K48, K96, K100, K104, K109, K121, K128, K165, K194, K219, K227, K232, K235, K236, K240, 7802, 7805, 71-4, 72-3, 83-8, 83-9, 2-192, 341-17, 71-14, 71-18, 71-22, 71-44, 71-57, 72-44, 7630A, BG52-1, F21, F306, F317, F60, F65, F72, F76, F77, F82, F83, G51, Gm23, Gm24, Gm25, S-298, S-300, S-47, S-48, S-50, S-51, S-52, S-58, TC2, TC259, TC53, 非州裂叶, 古巴 143, 古巴 144, 古巴 172, 古巴 6, 广西红皮, 红麻 1 号, 红麻 20 号, 红麻 2 号, 红麻 4 号, 红麻 5 号, 红麻 7 号,

表1(续)

类型 Type	种类 Species	数量及占比(%) Number and proportion	名称 Name
			惠阳红麻,揭阳红麻,耒阳红麻,辽7435,辽1645,辽259,辽34早,马红裂叶,勐海红皮,勐海紫茎,宁选,黔红一号,台A紫,台湾红麻,湘红1号,湘红早,新安无刺,新会红麻,选字4号,元江紫茎,粤704,粤75-2,粤76-1,粤红3号,粤红5号,云南青茎,诏安红麻,植保506,紫光,84201-2,85-208,85-235,85-237,85-239,85-414,H013,H032,H060全,H085,H101(b),H134(a),H134(B),H201,H305,K433,K445,K80,Khon Kaen(裂叶),KN34,Krasnador,RS-10,Sudan Tardif,TC259(全叶),UG93(紫茎),ZB222,ZB223,ZB227(大籽),ZB90,ZM401,福1,金光无刺,金光无刺2号,金光无刺3号,辽55B,辽红3号,缅甸红麻,泰红763(全叶),粤引83-23,浙100-1,浙138-20,浙58-3,浙91-1,7004,8601,83-20,95-98,BG52-135,Gm28,IX51,J-1-113,K339,KGSU156,MSI77,T15,Tainung 2,V379,阿联红麻,福红2号,福红4号,福红7号,末红B,辽红一号,闽红362,泰红763,新红95,印度11号,粤红1号,粤红3号B,早熟红麻

1.2 试验方法

1.2.1 红麻根结线虫的种类鉴定 采集海南省澄迈县瑞溪镇干岭村试验基地(110.077539°E, 19.771858°N)红麻根系,采用SCAR引物对侵染红麻的根结线虫种类进行鉴定。鉴定方法参考王江岭等^[13],稍作改进。在解剖镜下,用挑针随机挑取5~10头根结线虫雌虫分别置于含有5 μL灭菌水的200 μL PCR管中,并轻轻戳破雌虫虫体使内含物溢出,加入灭菌水补足至8 μL,再加入2 μL 10× Ex Taq buffer与2 μL 1 mg/mL蛋白酶K;将PCR管转移到-80℃的冰箱,冷冻30 min;将冷冻后的PCR管放置到PCR仪中,65℃ 1 h,95℃ 10 min;使用掌上离心机瞬时离心,上清液即用于PCR扩增或放置-20℃冰箱中备用。采用SCAR标记引物MI-F(5'-GTGAGGATTCAGCTCCCCAG-3')和MI-R(5'-ACGAGGAACATACTTCTCCGTCC-3')(上海生工生物工程技术有限公司合成)进行PCR扩增。PCR扩增反应采用25 μL体系,10 μmol/L引物各1.0 μL,2×Taq MasterMix(含染料)12.5 μL,10 μmol/L DNA模板5 μL,ddH₂O 5.5 μL。PCR扩增程序:94℃预变性4 min;94℃变性30 s,62℃退火30 s,72℃延伸1 min,40个循环;72℃延伸10 min,4℃保存。取5 μL PCR扩增产物于浓度为1.2%的琼脂糖凝胶上检测所扩增片段的大小,在凝胶成像系统观察并拍照。鉴定后的根结线虫种类在线虫圃中利用番茄(品种:大明星)扩大繁殖,待根系出现卵块时,用挑针挑取单个卵块,用1% NaClO消毒后接种于消毒土培养的番茄根系中进行单卵块纯化培养。纯化培养的线虫经分子生物学再次鉴定确认后,进行长期保存培养,用于后续盆栽接种试验。

1.2.2 田间自然发病鉴定 试验地设在海南省澄迈县瑞溪镇的试验基地内,该地块几年来红麻连作,

根结线虫病发病严重。播种前,进行5次的翻耕犁地(翻耕深度≤30 cm),尽量使试验田块土壤充分混匀。各小区随机排列,3次重复。小区面积2×2 m²,平行于畦面播种5行,每行约20~30株。待红麻苗长出5片真叶,进行定苗,每小区100株。以2份感病红麻种质资源(福红991和浙红832)作为对照。试验过程中,各小区保持肥水管理一致。试验分别在2018、2019和2020年连续3年实施,均为每年的11月下旬播种,第二年4月挖取红麻整株根系进行调查。每个品种调查小区内全部植株,记录根结分级,计算统计病情指数。

1.2.3 盆栽接种抗性鉴定 盆栽鉴定采用二龄幼虫(J2)定量接种法,以2份感病红麻种质资源(福红991和浙红832)作为对照,在2019年10月开始分3批次对220份红麻种质资源在棚室内进行统一规范的抗性鉴定。提前准备消毒培养土(椰糠:营养土:细砂=1:3:1)作为培养基质,每个花盆(口径20 cm、高约20 cm)装消毒土约4 L。每个品种播种6盆,每盆播种6粒红麻种子,待红麻长出3片或4片真叶时,每盆选取长势基本相同的3株红麻,用于开展接种试验。

接种前,从番茄根部挑取大量南方根结线虫卵囊,用1%的次氯酸钠消毒后,用蒸馏水冲洗3遍,置蒸馏水中孵化并用贝曼漏斗分离J2。48 h后,收集J2悬浮液,加蒸馏水将其浓度调整到500条/mL。接种时,在3株红麻茎基中间空位处打小孔,用移液器吸取J2悬浮液接入孔种,每盆共接种3 mL悬浮液。接种后覆土,置于棚室中,定期施肥浇水,保持相同的管理条件。接种60 d左右,待感病对照发病充分后,调查并统计所有品种的病情指数。

1.2.4 病情分级标准及鉴定标准 0级:无根结;1级:仅有少量根结;3级:根结明显,根结百分率小

于25%;5级:根结百分率为25%~50%;7级:根结百分率为50%~75%;9级:根结百分率达75%以上。按如下公式计算红麻的病情指数。病情指数= $[\sum(\text{病级数} \times \text{该级病株数}) / (\text{调查总数} \times \text{最高病级数})] \times 100$ 。根据病情指数将群体抗性划分为5级:病情指数=0为免疫(IM);0.1~25为高抗(HR);25.1~50为中抗(MR);50.1~75为中感(MS);75以上为高感(HS)。

1.3 数据分析

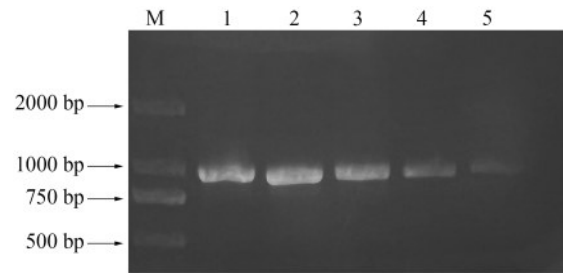
以220份红麻品种3年的田间病情指数、盆栽病情指数为基础,采用Excel 2016分别计算田间自然发病的平均病情指数和盆栽接种鉴定平均病情指数。用在线平台 Hiplot (<https://hiplot.com.cn>) 绘制箱图和雷达图,参考王大江等^[14]。

2 结果与分析

2.1 根结线虫种类鉴定结果

利用SCAR标记引物对所采样本中分离得到的根结线虫进行扩增和电泳观察,得到的片段均为955 bp左右(图1),与前人所得扩增大小一致^[15],确定根结线虫的种类为南方根结线

虫(*Meloidogyne incognita*),未检出其他根结线虫种类。



M:DNA Marker DL2000; 1-5:红麻根结线虫

M:DNA Marker DL2000; 1-5:Kenaf root knot nematode

图1 红麻根结线虫SCAR扩增产物

Fig.1 SCAR amplification products of southern kenaf root knot nematode

2.2 田间自然发病鉴定结果

220份红麻种质田间自然发病鉴定结果(图2)显示,表现为高抗的资源有133份,占资源总数量的60.45%;表现为中抗的资源仅有10份,占总数的4.55%;表现为中感的资源有67份,占总数的30.45%;表现为高感的资源有10份,占总数的4.55%;没有表现免疫的种质(表2)。



A:对照(高感);B:中感;C:中抗;D:高抗;箭头所指为典型发病部位,下同

A:CK(HS);B:MS;C:MR;D:HR;The arrow points to the typical site of attack, the same as below

图2 田间鉴定发病情况

Fig.2 The incidence of natural field disease

表2 田间抗性鉴定结果

Table 2 Field resistance identification results

类型 Type	种类 Species	数量 Number	平均病情指数 Average DI	不同抗性级别资源数 The number of germplasm resources for different resistance					免疫及高抗 资源占比(%) The proportion of IM and HR
				免疫IM	高抗HR	中抗MR	中感MS	高感HS	
野生资源	野生近缘	18	13.89	0	16	1	0	1	88.89
Wild resources	红麻	14	17.90	0	11	3	0	0	78.57
	玫瑰麻	11	16.36	0	7	4	0	0	63.64
	玫瑰茄	2	17.83	0	2	0	0	0	100.00
	红叶木槿	4	5.00	0	4	0	0	0	100.00
	金钱吊芙蓉	1	22.03	0	1	0	0	0	100.00
	信息不详	2	23.08	0	1	1	0	0	50.00

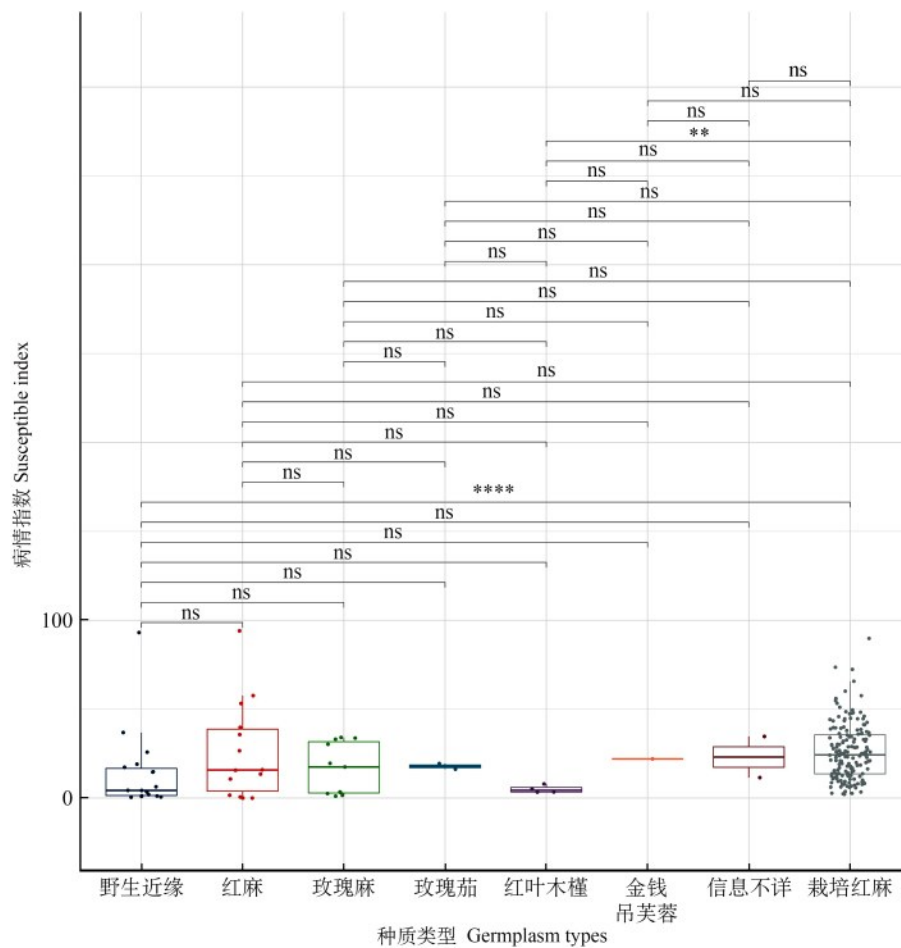
表 2 (续)

类型 Type	种类 Species	数量 Number	平均病情指数 Average DI	不同抗性级别资源数 The number of germplasm resources for different resistance					免疫及高抗资源占比(%) The proportion of IM and HR
				免疫 IM	高抗 HR	中抗 MR	中感 MS	高感 HS	
栽培资源 Cultivar resources	栽培红麻	168	25.96	0	91	1	67	9	54.17
合计 Total		220	17.76	0	133	10	67	10	60.45
百分比(%) Percentage		100.00		0	60.45	4.55	30.45	4.55	

不同种类红麻资源中,抗性占比有所差异,其中 168 份栽培红麻种质中有 91 份对根结线虫的表现高抗,占该种类资源总数的 54.17%,高抗占比明显低于野生资源中的 6 个种类。参试品种中,资源数量较少的玫瑰茄、红叶木槿和金钱吊芙蓉全部表现为高抗,占比最高,其次是野生近缘和红麻,高抗

资源比率分别为 88.89% 和 78.57%。

进一步对田间自然发病病情指数统计分析表明(图 3),参试的野生近缘和栽培红麻两个种类在 $P<0.0001$ 水平上存在差异,红叶木槿和栽培红麻病情指数在 $P<0.01$ 水平上存在差异,可见,不同种类红麻资源在对根结线虫抗性上确实存在差异。



ns: 无显著差异; *: 在 $P<0.05$ 水平上存在显著差异; **: 在 $P<0.01$ 水平上存在显著差异; ***: 在 $P<0.001$ 水平上存在显著差异; ****: 在 $P<0.0001$ 水平上存在显著差异; 下同

ns: No significance; *: There are significant differences at the $P<0.05$ level; **: There are significant differences at the $P<0.01$ level; ***: There are significant differences at the $P<0.001$ level; ****: There are significant differences at the $P<0.0001$ level; The same as below

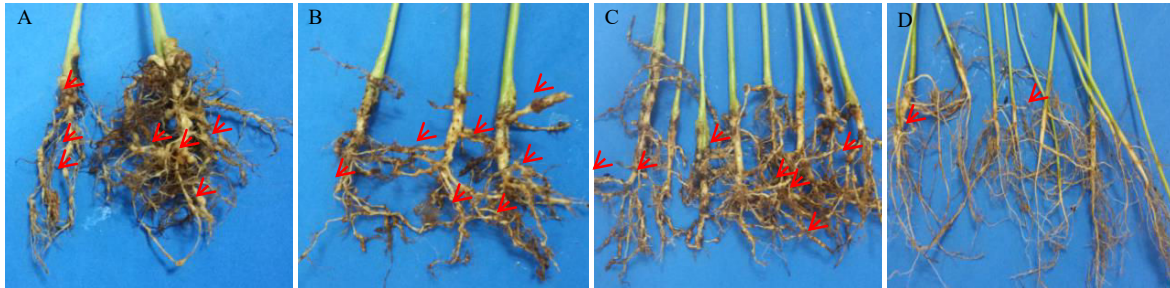
图 3 不同种类红麻资源田间自然发病鉴定病情指数分析

Fig.3 Disease index of analysis of different strains of kenaf resources with in the field

2.3 盆栽接种鉴定结果

盆栽发病鉴定结果表明(图4),220份资源中有7份表现为免疫,占总数的3.18%;表现为高抗的资源有98份,占总数的44.55%;表现为中抗的资源有68份,占总数的30.91%;表现为中感的资源有32份,占总数的14.55%;表现为高感的资源有15份,

占总数的6.82%。各种类资源中,玫瑰茄免疫及高抗资源占比在参试种类中最高,为100%,与田间抗性结果一致;其次是玫瑰麻和红叶木槿,免疫及高抗资源占比分别为81.82%和75.00%;与田间鉴定结果相比,野生近缘和栽培红麻的免疫及高抗资源比率略为下降(表3)。



A:对照(高感);B:中感;C:中抗;D:高抗
A:CK(HS);B:MS;C:MR;D:HR

图4 盆栽鉴定发病情况

Fig.4 The incidence of pot inoculation identification

表3 盆栽抗性鉴定结果

Table 3 Pot culture resistance identification results

类型 Type	种类 Species	数量 Number	平均病情指数 Average DI	不同抗性级别资源数 The number of germplasm resources for different resistance					免疫及高抗 资源占比(%) The proportion of IM and HR
				免疫IM	高抗HR	中抗MR	中感MS	高感HS	
野生资源 Wild resources	野生近缘	18	13.89	2	10	3	2	1	66.67
	红麻	14	78.31	0	1	7	6	0	7.14
	玫瑰麻	11	12.73	0	9	2	0	0	81.82
	玫瑰茄	2	14.95	0	2	0	0	0	100.00
	红叶木槿	4	10.39	1	2	1	0	0	75.00
	金钱吊芙蓉	1	68.68	0	0	0	1	0	0
	信息不详	2	46.66	0	0	2	0	0	0
栽培资源 Cultivar resources	栽培红麻	168	32.99	4	74	53	23	14	46.43
合计 Total		220	34.83	7	98	68	32	15	47.73
百分比(%)Percentage		100.00		3.18	44.55	30.91	14.55	6.82	

盆栽鉴定结果显示,各资源平均病情指数为34.83,略高于栽培红麻平均病情指数。野生资源中的红麻、金钱吊芙蓉病情指数远远高于平均病情指数。各种类资源病情指数箱式图显示(图5),玫瑰麻与栽培红麻,红叶木槿与栽培红麻的病情指数均在 $P<0.05$ 水平表现差异;红麻分别与红叶木槿、栽培红麻病情指数在 $P<0.01$ 水平存在差异。

2.4 田间自然发病和盆栽接种鉴定结果综合比较

综合两种方法的鉴定结果发现,220份红麻种质资源的田间自然发病和盆栽接种发病抗性鉴定结果存在一定的差异。盆栽接种鉴定结果中,免疫和高抗种质的数量之和低于田间自然发病鉴定数量,高感和中感品种数量之和低于田间自然发病鉴

定中种质的数量;盆栽接种鉴定结果中各抗性等级种质数量更为分散。

为了使得到的结果更加准确,本研究筛选出两者抗性水平表现一致的种质资源(交集资源)(详见<https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220927001>,附表1)作进一步分析。分析发现(表4),两者鉴定结果一致的种质资源共有98份,占资源总数的44.55%。抗性表现一致的26份野生资源中,20份表现为高抗,高于栽培资源中的高抗资源占比。按照资源的抗性级别来分,高抗种质资源最多,有69份,占交集资源数量的70.41%;中抗资源27份,占交集资源数量的27.55%;高感品种仅有1份,占交集资源数量的1.02%。按照资源的种类来分,交

集资源中,玫瑰茄和红叶木槿全部为高抗资源,其次是野生近缘和玫瑰麻,免疫及高抗资源占比分别

为 83.33% 和 85.71%。1 份高感品种来自于野生近缘。

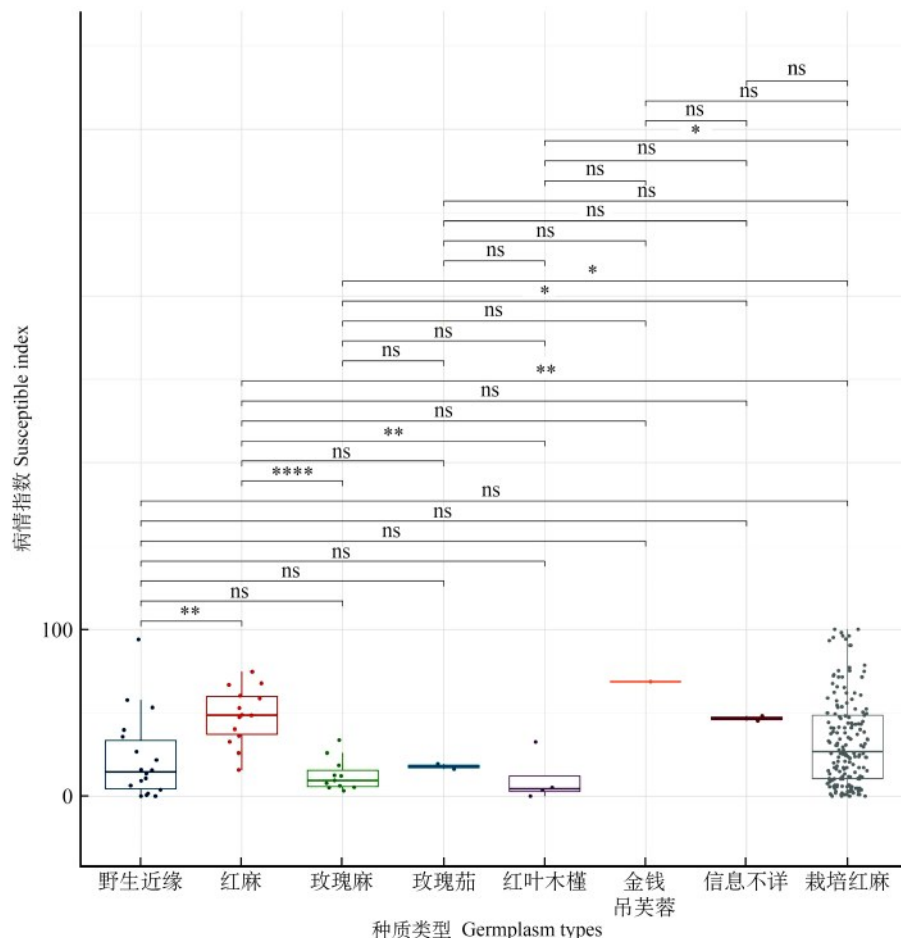


图 5 不同种类红麻资源盆栽接种鉴定病情指数分析

Fig.5 Disease index of analysis of different strains of kenaf resources with in the pot

表 4 98 份抗性鉴定结果一致的资源

Table 4 Resistance identification results were consistent with resource statistics

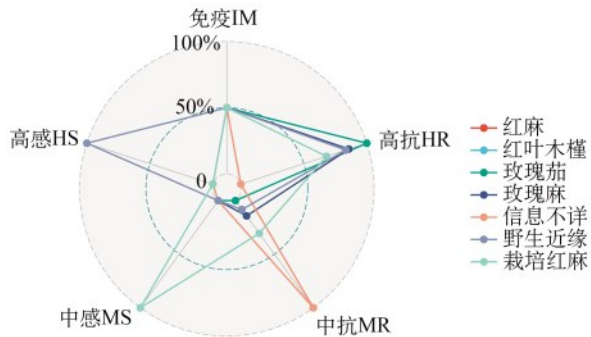
类型 Types	种类 Species	数量 Number	平均病情指数 Average DI	不同抗性级别资源数 The number of germplasm resources for different resistance					免疫及高抗 资源占比(%) The proportion of
				免疫 IM	高抗 HR	中抗 MR	中感 MS	高感 HS	IM and HR
野生资源 Wild resources	野生近缘	12	17.35	0	10	1	0	1	83.33
	红麻	2	32.44	0	0	2	0	0	0
	玫瑰麻	7	11.29	0	6	1	0	0	85.71
	玫瑰茄	2	16.39	0	2	0	0	0	100.00
	红叶木槿	2	5.10	0	2	0	0	0	100.00
	信息不详	1	41.4	0	0	1	0	0	0
栽培资源 Cultivar resources	栽培红麻	72	19.28	0	49	22	1	0	68.06
合计 Total		98	20.46	0	69	27	1	1	70.41
百分比(%) Percentage		100.00		0	70.41	27.55	1.02	1.02	

对交集资源中不同种类的资源构建雷达图(图 6),结果显示,栽培红麻在中感资源上占主导,野生近缘在高感资源上占主导,玫瑰茄在高抗资源

中占主导。栽培红麻在高抗资源上低于玫瑰茄、玫瑰麻和野生近缘。

在田间试验和盆栽鉴定中表现一致的交集资

源,对于红麻生产具有重要的意义。栽培红麻中的抗性资源,可直接用于生产,可大大降低线虫发生对红麻种植的影响。无法直接用于生产的野生资源,是红麻抗病育种及抗性基因发掘利用的重要材料。



0:代表某一抗性级别最小资源数与最大资源数比值的百分数;
50%:代表某一抗性级别资源数的中值与最大资源数比值的百分数;
100%:代表某一抗性级别最大资源数与最大资源数比值的百分数
0:Representing the percentage of the minimum number to the maximum number of resources for a resistance level;
50%:Representing the percentage of the median number to the maximum number of resources for a resistance level;
100%:Representing the percentage of the maximum number to the maximum number of resources for a resistance level

图6 红麻交集资源不同种类抗性雷达图

Fig.6 Radar map of resistance of different strains in kenaf intersections

3 讨论

根结线虫病给红麻生产造成严重的损失^[16],对室内栽培作物造成损失高达30%~60%^[17],对蔬菜、水果、大田粮食作物等均造成严重的经济损失^[18],每年约5%作物的总产量被根结线虫严重危害^[19]。已有研究表明,为害我国红麻的优势根结线虫品种主要是南方根结线虫(*M. incognita*)^[20],偶有花生根结线虫(*M. arenaria*)和爪哇根结线虫(*M. javanica*)报道,本研究所用田块根结线虫种类与前人研究一致,为南方根结线虫。南方根结线虫是导致红麻根结线虫病的优势种群,但是在生产上缺乏抗南方根结线虫的红麻品种,因此该种根结线虫存在潜在的威胁,应予以重视^[21-23]。

筛选和培育红麻抗性品种是红麻生产上亟待解决的问题。本研究对220份红麻种质进行了田间自然发病和盆栽接种根结线虫抗性鉴定,鉴定出两者交集资源98份,其中高抗资源69份,中抗资源27份,中感和高感资源各1份,高抗资源中49份为栽培红麻种质,20份为野生资源种质。野生资源中,野生近缘和玫瑰麻资源表现出了对根结线虫较高

的抗性。国内外学者仅对红麻抗病性有一些零星报道^[24-25]。牛小平等^[11]通过室内盆栽方法对25份在田间表现良好的红麻种质资源进行筛选评价,未发现高抗品种。本研究首次针对国内外收集的红麻种质资源进行较大规模的抗性评价,筛选到高抗栽培品种,为下一步抗性资源直接利用提供了依据。

本研究中田间鉴定是在连续种植红麻的重茬地内进行的自然发病鉴定,能够短时间内较大批次的评价红麻品种对根结线虫的抗性表现。但是田间抗性鉴定受到气候、土壤状况以及田间线虫分布不均等外界的影响,田间鉴定结果在一定程度上具有局限性。这也是造成部分品种鉴定结果与盆栽鉴定结果不一致的原因。采用盆栽接种鉴定具有发病条件好控制、鉴定速度快、能排除红麻根结线虫其他种的干扰等特点。因此,将多次重复的田间试验结果与盆栽接种鉴定结果综合评价,更能科学地表现红麻对根结线虫的抗性。本研究针对红麻种质资源对南方根结线虫的抗性进行评价,对其他种类线虫的抗性结果还需做进一步的试验。

参考文献

- [1] Chen T, Qi J M, Xu J T, Chen P, Tao A, Chen F, Chen W. Optimization of two-dimensional gel electrophoresis for kenaf leaf proteins. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(12): 1842-1850
- [2] 陈玉森, 祁建民, 方树民, 陶爱芬. 红麻种子携带真菌与苗期病害发生的关系. *福建农业大学学报*, 2003(4): 438-442
Chen Y S, Qi J M, Fang S M, Tao A F. Relationship between kenaf seed borne fungi and the seedling diseases. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 2003(4): 438-442
- [3] Karssen G. The plant-parasitic nematode genus *Meloidogyne* göldi, (Tylenchida) in Europe. *Gent: Drukkerij Modern*, 1982: 5-24
- [4] Diyapoglu A, Oner M, Meng M. Application potential of bacterial volatile organic compounds in the control of root-knot nematodes. *Molecules*, 2022, 27(14): 4355-4358
- [5] Hartley C. Notes on *Hibiscus* disease in West Java. *Phytopatholog*, 1927, 17: 25-27
- [6] Margaret Y. Menzel, 黄培坤. 红麻与玫瑰麻的新种质资源. *中国麻作*, 1988(1): 45-48
Margaret Y M, Huang P K. New germplasm resources of *Hibiscus cannabinus* and *Hibiscus sabdariffa*. *China's Fiber Crops*, 1988(1): 45-48
- [7] 吴家琴, 薛召东, 陈绵才. 红麻根结线虫病综合防治研究. *中国麻作*, 1989(2): 19-24
Wu J Q, Xue Z D, Chen M C. Research of kenaf integrated control of root knot nematode disease. *China's Fiber Crops*, 1989(2): 19-24
- [8] 熊和平. 麻类作物育种学. 北京: 中国农业科学技术出版社,

- 2008: 213-214
Xiong H P. Hemp crop breeding. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008: 213-214
- [9] Minton N A, Adamson W C. Control of *Meloidogyne javanica* and *M. arenaria* on kenaf and roselle with genetic resistance and nematicides. *Journal of Nematology*, 1979, 11(1):37-41
- [10] Wilson F D, Summers T E. Reaction of kenaf, roselle, and related species of *Hibiscus* to root-knot nematodes. *Phytopathology*, 1966, 56(6): 687-690
- [11] 牛小平, 祁建民, 陈玉森, 陈绵才, 陈美霞, 栗建光, 李爱青, 王会芳, 芮凯, 王典. 红麻种质资源根结线虫病抗性鉴定. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(2): 355-360
Niu X P, Qi J M, Chen Y S, Chen M C, Chen M X, Su J G, Li A Q, Wang H F, Rui K, Wang D. Resistance identification of kenaf germplasm resources to root knot nematode disease. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(2): 355-360
- [12] 陈常理, 骆霞虹, 朱关林, 张加强, 金关荣. 7份红麻品种(系)对花生根结线虫抗性鉴定. *作物杂志*, 2013(5): 37-39
Chen C L, Luo X H, Zhu G L, Zhang J Q, Jin G R. Identification of resistance of 7 kenaf varieties (lines) to peanut root-knot nematodes. *Crops*, 2013(5): 37-39
- [13] 王江岭, 张建成, 顾建锋. 单条线虫DNA提取方法. *植物检疫*, 2011, 25(2): 32-35
Wang J L, Zhang J C, Gu J F. Method of extract DNA from a single nematode. *Plant Quarantine*, 2011, 25(2): 32-35
- [14] 王大江, 高源, 张玉刚, 张校立, 孙思邈, 路翔, 郭绍霞, Khurshid S. Turakulov, 李连文, 王昆. 苹果种质资源火疫病抗性鉴定评价与筛选. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(6): 1682-1695
Wang D J, Gao Y, Zhang Y G, Zhang X L, Sun S M, Lu X, Guo S X, Turakulov K S, Li L W, Wang K. Evaluation and screening of malus germplasm resources with fire blight resistance. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(6): 1682-1695
- [15] 孟庆鹏, 龙海, 徐建华. 南方、爪哇和花生根结线虫的快速灵敏的PCR鉴定方法(英文). *植物病理学报*, 2004(3): 204-210
Meng Q P, Long H, Xun J H. Rapid and sensitive PCR method for identification of *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2004(3): 204-210
- [16] 王会芳, 陈绵才, 王三勇, 芮凯. 红麻根结线虫病的发生特点及综合防控技术. *农民致富之友*, 2014(16): 96-97
Wang H F, Chen M C, Wang S R, Rui K. Occurrence characteristics and comprehensive prevention and control techniques of kenaf root-knot nematode disease. *Friends of the Peasant Enrichment*, 2014(16): 96-97
- [17] Alamri S, Nafady N A, El-Sagheer A M, El-Aal M A, Mostafa Y S, Hashem M, Hassan E A. Current utility of arbuscular mycorrhizal fungi and Hydroxyapatite Nanoparticles in suppression of tomato root-knot nematode. *Agronomy*, 2022, 12(3): 671
- [18] Stare B G, Susič N, Starovič M, Širca S. Potato (*Solanum tuberosum*)-a new host for the root-knot nematode *Meloidogyne inornata*. *Phytopathologia Mediterranea*, 2022, 61(1): 165-168
- [19] Asaturova A M, Bugaeva L N, Homyak A I, Slobodyanyuk G A, Kashutina E V, Yasyuk L V, Sidorov N M, Nadykta V D, Garkovenko A V. *Bacillus velezensis* strains for protecting cucumber plants from root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in a greenhouse. *Plants*, 2022, 11(3): 275
- [20] 吴家琴, 陈锦才, 张怀芳. 红麻生长期病虫害防治研究. *中国麻作*, 1995(2): 25-28
Wu J Q, Chen J C, Zhang H F. Research on pest control during the growth period of kenaf. *China's Fiber Crops*, 1995(2): 25-28
- [21] 王年, 石金开, 孔凡玉, 王丛丽, 郭永峰, 朱贤朝. 烟草品种资源对根结线虫病抗病性鉴定. *植物病理学报*, 2000, 30(1): 82-86
Wang N, Shi J K, Kong F Y, Wang C L, Guo Y F, Zhu X C. Evaluation on resistance of tobacco germplasm to root-knot nematodes. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2000, 30(1): 82-86
- [22] 王静, 石金开, 朱贤朝, 王年, 孔凡玉. 烟草品种资源对根结线虫病抗病性鉴定研究. *沈阳农业大学学报*, 2001, 32(3): 183-185
Wang J, Shi J K, Zhu X C, Wang N, Kong F Y. Evaluation of resistance of tobacco germplasm to root-knot nematodes. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2001, 32(3): 183-185
- [23] 孔凡玉, 王年, 王丛丽, 石金开, 郭永峰, 王静. 山东烟草根结线虫病病原种、小种鉴定初报. *中国烟草科学*, 2000(3): 29-32
Kong F Y, Wang N, Wang C L, Shi J K, Guo Y F, Wang J. Preliminary report on the identification of pathogenic species and small species of tobacco root knot nematode disease in Shandong. *Chinese Tobacco Science*, 2000(3): 29-32
- [24] Crandall, Bowen S, Joh N L. A Probable new race of kenaf an thracnose in zambia. *Plant Disease Report*, 1992, 56: 1049-1050
- [25] 陈玉森, 刘晓倩, 刘伟, 祁建民, 方树民, 林荔辉, 方平平, 陶爱芬, 黄文忠. 红麻抗炭疽病鉴定的影响因素及抗源种质筛选. *福建农业学报*, 2011, 26(2): 200-205
Chen Y S, Liu X Q, Liu W, Qi J M, Fang S M, Lin L H, Fang P P, Tao A F, Huang W Z. Determination of kenaf's resistance to *Colletotrichum indicum* and selection of tolerant germplasm. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 26(2): 200-205

附表1 98份红麻资源抗性鉴定结果

Attached table1 Identification results of 98 Kenaf germplasm resources

序号 Code	类型 Types	种类 Species	名称 Name	平均病情指数 Average DI	抗性水平 Resistance level
1	野生资源	野生近缘	H038	93.58	HS
2	Wild resources	野生近缘	H150	1.76	HR
3		野生近缘	H160	8.57	HR
4		野生近缘	H188	8.41	HR
5		野生近缘	H321	13.21	HR
6		野生近缘	H353 绿	15.14	HR
7		野生近缘	H353 全叶	36.29	MR
8		野生近缘	近缘小种子	7.26	HR
9		野生近缘	宽叶玫瑰麻	2.22	HR
10		野生近缘	太玫 76 黄(绿茎)	3.42	HR
11		野生近缘	太玫红茎	11.47	HR
12	野生近缘	泰麻 2 号	6.81	HR	
13		玫瑰麻	4114	10.36	HR
14		红麻	4119	38.68	MR
15		玫瑰麻	4371	28.09	MR
16		玫瑰麻	4390	12.36	HR
17		玫瑰麻	4400	6.81	HR
18		玫瑰茄	4611	18.72	HR
19		红麻	4652	26.19	MR
20		玫瑰麻	4667	5.18	HR
21		玫瑰麻	4688 绿茎	10.96	HR
22		玫瑰麻	4688 紫茎	5.29	HR
23		红叶木槿	ACC-NO-4114	4.34	HR
24		玫瑰茄	ACC-NO-4293	14.06	HR
25		信息不详	ACC-NO-4790	41.4	MR
26		红叶木槿	ACC-NO-5083	5.86	HR
27	栽培资源	栽培红麻	K48	37.93	MR
28	Cultivar resources	栽培红麻	K128	39.8	MR
29		栽培红麻	K165	7.09	HR
30		栽培红麻	K194	38.02	MR
31		栽培红麻	K232	2.01	HR
32		栽培红麻	K240	4.21	HR
33		栽培红麻	7802	6.21	HR
34		栽培红麻	71-4	38.37	MR
35		栽培红麻	71-14	10.07	HR
36		栽培红麻	71-22	4.32	HR
37		栽培红麻	71-44	10.04	HR
38		栽培红麻	71-57	39.33	MR
39		栽培红麻	7630A	7	HR

序号 Code	类型 Types	种类 Species	名称 Name	平均病情指数 Average DI	抗性水平 Resistance level
40		栽培红麻	F60	9.51	HR
41		栽培红麻	F65	8.48	HR
42		栽培红麻	F72	29.93	MR
43		栽培红麻	F77	12.49	HR
44		栽培红麻	F82	36.23	MR
45		栽培红麻	F83	40.96	MR
46		栽培红麻	S-47	10.57	HR
47		栽培红麻	S-48	63.45	MS
48		栽培红麻	S-58	22.04	HR
49		栽培红麻	非州裂叶	38.05	MR
50		栽培红麻	广西红皮	17.77	HR
51		栽培红麻	红麻 1 号	3.83	HR
52		栽培红麻	红麻 4 号	33.27	MR
53		栽培红麻	惠阳红麻	6.14	HR
54		栽培红麻	揭阳红麻	9.68	HR
55		栽培红麻	耒阳红麻	12.67	HR
56		栽培红麻	辽 34 早	15.63	HR
57		栽培红麻	勐海红皮	6.27	HR
58		栽培红麻	勐海紫茎	19.18	HR
59		栽培红麻	黔红一号	7.19	HR
60		栽培红麻	台湾红麻	18.46	HR
61		栽培红麻	湘红 1 号	6.71	HR
62		栽培红麻	选字 4 号	14.58	HR
63		栽培红麻	元江紫茎	18.62	HR
64		栽培红麻	粤 704	11.24	HR
65		栽培红麻	粤 75-2	32.02	MR
66		栽培红麻	粤红 3 号	7.85	HR
67		栽培红麻	粤红 5 号	38.55	MR
68		栽培红麻	紫光	8.85	HR
69		栽培红麻	85-208	40.49	MR
70		栽培红麻	85-237	9.57	HR
71		栽培红麻	85-239	25.84	MR
72		栽培红麻	H085	19.87	HR
73		栽培红麻	H134 (B)	21.08	HR
74		栽培红麻	H201	3.13	HR
75		栽培红麻	H305	44.36	MR
76		栽培红麻	K433	29.34	MR
77		栽培红麻	K445	11.4	HR
78		栽培红麻	RS-10	25.92	MR
79		栽培红麻	UG93 (紫茎)	38.23	MR
80		栽培红麻	ZB223	20.79	HR
81		栽培红麻	ZB90	22.09	HR

序号 Code	类型 Types	种类 Species	名称 Name	平均病情指数 Average DI	抗性水平 Resistance level
82		栽培红麻	ZM401	6.07	HR
83		栽培红麻	金光无刺 2 号	5.06	HR
84		栽培红麻	金光无刺 3 号	3.5	HR
85		栽培红麻	8601	14.16	HR
86		栽培红麻	83-20	6.43	HR
87		栽培红麻	95-98	20.58	HR
88		栽培红麻	Gm28	38.1	MR
89		栽培红麻	K339	40.29	MR
90		栽培红麻	KGSU156	28.48	MR
91		栽培红麻	MSI77	26.73	MR
92		栽培红麻	Tainung 2	8.18	HR
93		栽培红麻	阿联红麻	9.82	HR
94		栽培红麻	福红 2 号	14.87	HR
95		栽培红麻	福红 7 号	4.98	HR
96		栽培红麻	耒红 B	12.81	HR
97		栽培红麻	闽红 362	15.28	HR
98		栽培红麻	新红 95	16.11	HR

表中数据为田间和盆栽鉴定的平均值

The data in the table are average values of field and pot identification