

闫强, 刘欢, 王瑞敏, 等. 绿豆腐霉根腐病抗性鉴定技术体系构建及抗病资源筛选[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(3): 510-516.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.03.010

绿豆腐霉根腐病抗性鉴定技术体系构建及抗病资源筛选

闫强, 刘欢, 王瑞敏, 薛冬, 周琰琰, 郑豫, 武婷, 任亚举, 陈雨婷,
刘欣悦, 袁星星, 陈新

(江苏省农业科学院经济作物研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: 由群结腐霉(*Pythium myriotylum*) 侵染引起的绿豆腐霉根腐病是近 2 年新报道的一种土传病害, 该病原菌对绿豆具有强致病性。为了构建绿豆对群结腐霉的室内抗性评价技术, 实现抗病资源的快速有效筛选, 本研究使用灌根接种法、菌层接种法和下胚轴创伤接种法 3 种接种方法评价绿豆对群结腐霉的抗性并比较 3 种接种方法。结果表明, 菌层接种法具有操作简便、试验周期短、结果稳定的优点。为筛选抗腐霉根腐病的绿豆种质资源, 采用菌层接种法对收集到的 394 份绿豆种质资源进行了抗性鉴定。结果表明, 98.48% 的种质(388 份) 表现为中感及以上感病等级[病情指数(DI) > 40.0], 表现中抗的种质资源(20.0 < DI ≤ 40.0) 有 6 份(占 1.52%), 没有发现抗病或免疫的种质资源(DI ≤ 20.0), 表明所收集的绿豆种质资源中具有群结腐霉抗性的种质资源较为缺乏。本研究结果为挖掘绿豆对腐霉根腐病的抗性资源提供了候选方法。

关键词: 绿豆; 群结腐霉; 根腐病; 抗性评价; 抗病资源

中图分类号: S522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2025)03-0510-07

Establishment of resistance identification technology system for mung bean *Pythium myriotylum* root rot and screening of resistant resources

YAN Qiang, LIU Huan, WANG Ruimin, XUE Dong, ZHOU Yanyan, ZHENG Yu, WU Ting,
REN Yaju, CHEN Yuting, LIU Xinyue, YUAN Xingxing, CHEN Xin

(Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: The mung bean root rot caused by *Pythium myriotylum* is a recently reported soil-borne disease that presents a considerable pathogenic hazard to mung bean. To establish a laboratory technique for assessing resistance of mung bean against *P. myriotylum* and achieve rapid and effective screening of disease-resistant resources, three inoculation methods including root irrigation inoculation method, mycelial layer inoculation method and hypocotyl wound inoculation method were used to evaluate and compare the resistance of mung bean to *P. myriotylum*. The results showed that the mycelial layer inoculation method had the advantages of simple operation, short test period, and stable results. To screen mung bean germplasm resources with resistance to root rot disease caused by *P. myriotylum*, 394 collected mung bean germplasm resources were as-

收稿日期: 2024-07-08

基金项目: 国家食用豆产业技术体系生物防治与综合防控岗位科学家项目(CARS-08-G15); 江苏省种业揭榜挂帅项目[JBGS(2021)004]; 种质资源精准鉴定评价项目(005012691230229)

作者简介: 闫强(1986-), 男, 山东济宁人, 博士, 副研究员, 研究方向为豆类作物抗病育种。(E-mail) yanqiang@jaas.ac.cn

通讯作者: 袁星星, (E-mail) yxx@jaas.ac.cn; 陈新, (E-mail) cx@jaas.ac.cn

essed using the mycelial layer inoculation method. The results showed that 98.48% (388 samples) of germplasms exhibited medium to high susceptibility, with disease index (DI) > 40.0, only six germplasms (1.52%) exhibited intermediate resistance (20.0 < DI ≤ 40.0), and none showed resistance or immunity (DI ≤ 20.0). The results indicated that the collected mung bean germplasms with resistance to *P. myriotylum* were scarce. In this study, we established a

potential method for identifying resistance resources of mung bean against root rot disease caused by *Pythium* species.

Key words: mung bean; *Pythium myriotylum*; root rot; resistance evaluation; resistant resources

群结腐霉(*Pythium myriotylum*)是腐霉属中重要的死体营养型植物病原菌,主要分布在世界温带地区,是多种植物的重要致病菌^[1-2]。群结腐霉不仅可以侵染小麦^[3]、大豆^[4]、辣椒^[5]等大宗粮油、蔬菜作物,而且可以危害如芝麻^[6]、大麻^[7]、花生^[8]、绿豆^[9]等多种经济作物。群结腐霉病原菌在田间通常侵染寄主植物根部或茎基部,继而导致根部腐烂,叶片发黄,植株枯萎甚至倒伏死亡。此外,群结腐霉还可以侵染萌发前的种子,引起种子腐烂,造成缺苗断垄^[4]。群结腐霉利用孢子在土壤和寄主病残体中过冬并长期存活,在遇到温暖湿润的条件时依赖土壤和流水传播,具有传染性强、发病前期症状隐蔽、病情扩展迅速的特点。

目前农业生产中主要采用化学药剂喷施及种子包衣处理来控制该病害。长期使用化学农药会导致病原菌在强烈的选择压力下变异,产生抗药菌株,从而使化学药剂失去防治效果。此外,过量的农药使用不仅会导致农产品农药残留超标,危害人类健康,而且农药会进入土壤和水体,破坏生态平衡^[10]。此外,化学杀菌剂对作物根际有益微生物的存活也具有危害性^[11]。因此培育抗病品种是作物病害防控最经济有效和环境友好的策略。

抗病种质资源的系统挖掘是选育抗病品种的前提^[12]。高效、稳定的抗性鉴定技术体系在抗性资源筛选中起着重要作用。根据病原菌不同致病方式及作物生长特性,研究人员建立了多种不同的室内抗病性鉴定方法。其中下胚轴创伤接种法和黄化苗接种法被广泛应用于大豆抗疫霉菌种质资源筛选^[13-14];伤根蘸菌法则被用于棉花对大丽轮枝菌(棉花黄萎病致病菌)的抗性评价^[15];菌丝匀浆液灌根法被用于评价烟草对群结腐霉的抗性^[16]。依据接种方法不同,抗性评价的标准也存在一定差异。国家标准《棉花抗病虫害性评价技术规范 第5部分:黄萎病》(GB/T 22101.5-2009)中规定了使用五级分类法评判棉花接种大丽轮枝菌后的发病等级,吉林省地方标准《大豆主要病虫害抗性鉴定技术规范 第1部分:抗疫霉根腐病》(DB22-T 2805.1-2017)根据大豆下胚轴接种大豆疫霉后的死亡率(P)将大豆抗性水平划分为抗病型($0 \leq P \leq 30$)、中间类型($30 < P < 70$)和感病型($70 \leq$

$P \leq 100$)3个等级。

绿豆作为中国传统的杂粮作物^[17-19],其种子不仅富含蛋白质、氨基酸及维生素等多种营养成分,而且具有抗逆性强、适应性广的特点,是土壤贫瘠地区的一种重要的经济作物。由多种病原菌混合侵染引起的绿豆根腐病是造成绿豆减产的重要病害之一。在2019年对国内6个省(市、自治区)绿豆种植区病害调查中首次鉴定到群结腐霉可以侵染绿豆,且具有强致病性^[9,20]。建立绿豆对群结腐霉根腐病的抗性评价体系,开展绿豆抗病资源筛选,有助于通过抗病品种种植降低该病的危害,并为后续抗病品种的选育提供标准。

为实现绿豆腐霉根腐病抗性的精准鉴定,挖掘绿豆抗病种质资源,本研究综合比较了蘸根接种法、菌层接种法和下胚轴创伤接种法3种接种方法,并进一步对394份绿豆种质资源进行抗病性鉴定,明确其抗性水平,以期为绿豆抗腐霉根腐病育种及抗病机理研究提供抗病材料和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试菌株为作者所在实验室前期分离获得的群结腐霉菌株 pmCQ。用于接种方法筛选及评价的绿豆采用苏绿1号、苏绿3号、皖绿2号和潍绿525,抗性种质资源筛选材料为本课题组收集保存的394份绿豆自然群体。

群结腐霉接种在马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基上,在25℃生化培养箱中培养。绿豆植株在25℃、16h(光照)/8h(黑暗)条件的人工气候室中培养。

1.2 病原菌接种方法筛选

以群结腐霉 pmCQ 为供试菌株,苏绿1号为供试绿豆品种,对不同接种方法在可操作性、试验周期及结果稳定性等方面进行比较。

灌根接种法:取新鲜活化的群结腐霉培养5d,待菌丝布满平板后用镊子小心挑取培养基表面的菌丝,按照1L灭菌水中添加1皿菌丝的比例混合后用搅拌机匀浆处理30s作为接种物。在绿豆对生真叶完全展开后,选择生长状态一致的植株,在钵钵中用无菌玻璃棒在距离植株茎基部1cm的营养土中钻取1个5cm深的孔,将上述接种物添加至孔中。每株接

种量设置 15 mL、20 mL、25 mL、30 mL 4 个梯度,以接种 15 mL 灭菌水的植株作为空白对照,每个处理接种 3 盆。接种后植株在气候室中继续培养,每隔 3 d 浇水 1 次,于接种后第 7 d、第 14 d 统计植株发病情况。

菌层接种法:使用灭菌手术刀将培养 5 d 的群结腐霉切成边长约 1 cm 的菌丝块,装入 50 mL 注射器中,反复挤压 3~5 次进行匀浆处理。在体积约 250 mL (70 mm×52 mm×85 mm) 的塑料盆中装入约 150 mL 蛭石,然后平铺厚度为 0.5 cm 的群结腐霉匀浆,之后覆盖 1 层厚度为 0.5 cm 的蛭石,未培养菌丝的培养基按同样方法处理作为空白对照。然后每个品种按照 10 粒/盆的密度播种 3 盆,并置于温室中培养。培养期间每隔 3 d 浇水 1 次,植株生长 14 d 后将其从盆中拔出并尽量避免损伤根部组织,根据根部表型记录发病等级。

下胚轴创伤接种法:在生长 8~10 d 后第 1 张真叶完全展开的绿豆子叶节下约 1 cm 处用消毒后的刀片划 1 个不超过绿豆茎粗 1/3 深度的伤口。在新鲜培养的菌落边缘切取边长为 3 mm 的菌丝块嵌入伤口中,接种后的植株保湿处理 12 h,然后移到气候室内继续培养。

1.3 绿豆种质资源抗性鉴定接种方法及结果评价标准

以群结腐霉 pmCQ 作为供试菌株,采用菌层接种法对 394 份绿豆种质资源进行抗性鉴定。每个品种设置 3 盆重复,每盆种植 10 株。接种 14 d 后按照前面描述的方法处理植株,并记录不同绿豆品种的发病等级。参照闫强等^[20]的方法划分为以下 5

个等级,0 级:植株根系生长健康,无肉眼可见的发病症状;1 级:侧根表现出轻微的发病症状,发病根系组织占整个根系组织的 1%~20%;2 级:侧根发病明显,同时主根可见发病症状,发病根系组织占整个根系组织的 21%~75%;3 级:主根及侧根均出现明显腐烂症状,发病根系组织占整个根系组织的 76%~100%;4 级:种子腐烂不萌发(在灌根接种法中,4 级描述为植株枯萎死亡)。

调查接种后植株的各发病等级,利用下列公式计算病情指数(DI):

病情指数 = \sum (各级发病植株数 × 发病等级数值) / (植株总数 × 最高发病等级数值) × 100。

根据病情指数将抗性水平划分为以下 6 个等级,免疫:DI=0;抗病:0<DI≤20.0;中抗:20.0<DI≤40.0;中感:40.0<DI≤60.0;感病:60.0<DI≤80.0;高感:80.0<DI≤100.0。

2 结果与分析

2.1 采用灌根接种法评价绿豆对群结腐霉的抗性

使用 4 种不同体积菌丝液接种苏绿 1 号植株 14 d 后根部均可见发病(图 1A、图 1B)。每株使用 25 mL 和 30 mL 菌丝液接种的处理与每株使用 15 mL 和 20 mL 菌丝液接种的处理相比,绿豆单株鲜重极显著降低,且病情指数极显著增加,但是增加接种量对株高的影响相对较小(表 1)。接种量为每株 25 mL 时,病情指数为 87.5,达到高感级别,能够反映出材料的真实抗性水平,进一步增加接种量没有显著提高病情指数,因此选择每株 25 mL 的接种量作为适宜的灌根接种条件。

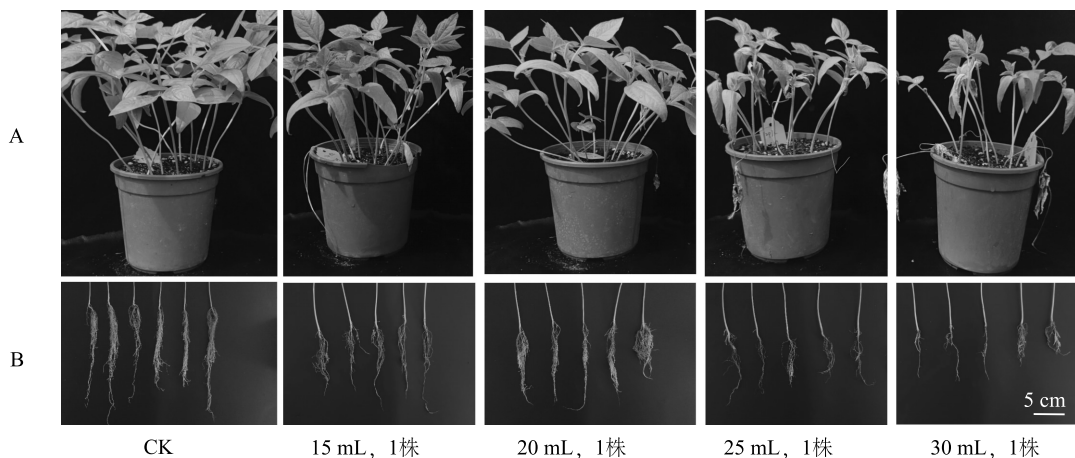


图 1 不同体积菌丝匀浆液灌根接种绿豆幼苗 14 d 后植株地上部(A)和根系(B)表型

Fig.1 Phenotypes of the aerial parts (A) and root systems (B) of mung bean seedlings after 14 days of root irrigation inoculation with varying volumes of mycelial homogenate

表 1 不同体积菌丝匀浆液灌根接种对绿豆苗期株高、鲜重的影响及病情指数统计结果

Table 1 Effect of different root irrigation inoculation amounts of mycelial homogenate on plant height and fresh weight of mung bean seedlings and results of disease index

接种量 (mL, 1 株)	株高 (cm)	鲜重 (g)	病情指数
0	15.73±0.81A	3.05±0.12A	0C
15	15.30±1.05A	2.94±0.21AB	11.1±2.4B
20	14.94±0.89AB	2.84±0.15B	12.5±4.2B
25	14.26±1.20BC	1.83±0.23C	87.5±4.2A
30	13.80±1.46C	1.69±0.32C	90.3±2.4A

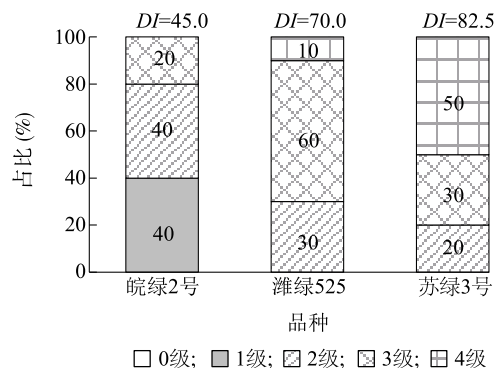
同一列数据后不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

为了进一步对灌根接种法的可用性进行评价,每株使用 25 mL 接种量接种 3 个对群结腐霉有抗感差异的绿豆品种。3 个品种间各发病等级的植株所占比例表现出明显差异,抗性最强的皖绿 2 号发病等级为 1 级和 2 级的植株各占 40%,而抗性最弱的苏绿 3 号有 50% 的植株枯萎死亡,表现出最高发病等级(4 级)。皖绿 2 号病情指数为 45.0,明显低于潍绿 525(70.0)和苏绿 3 号(82.5)(图 2)。

2.2 采用菌层接种法评价绿豆对群结腐霉的抗性

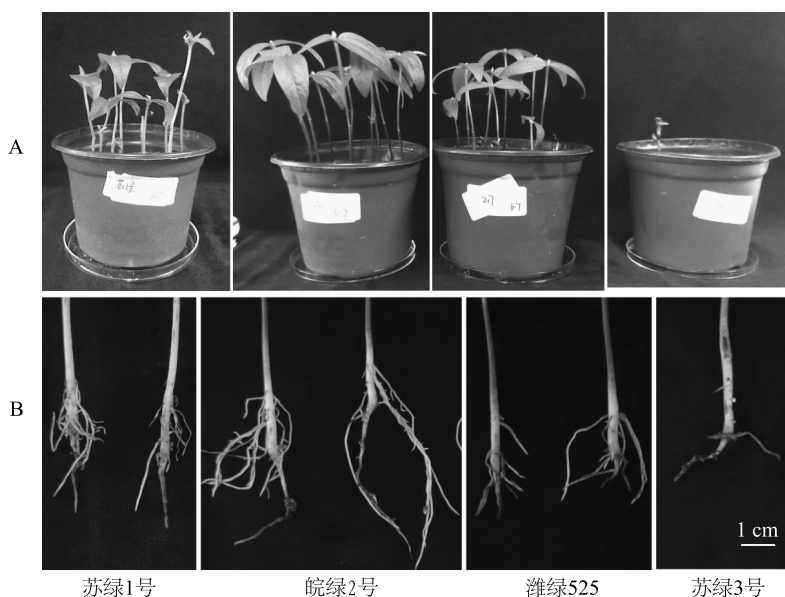
在菌层接种试验中,病原菌对种子萌发前后均

有影响,植株根部和茎基部均出现腐烂症状(图 3A、图 3B)。苏绿 1 号 60% 植株发病等级达到 3 级,另有 40% 种子无法萌发(图 4)。进一步对皖绿 2 号、潍绿 525 和苏绿 3 号 3 个品种进行抗性评价,结果显示,病情指数分别达到 57.5、70.0 和 95.0(图 4)。与灌根接种法相比,使用菌层接种法的试验中植株发病等级较为集中,且对不同抗性品种具有较好的区分效果。



图柱内部数字表示该发病等级植株数占总接种植株数的比例; DI 为对应品种病情指数。

图 2 灌根接种 14 d 后根部各发病等级植株所占比例
Fig.2 Proportion of plants of each root disease grade 14 days after root irrigation inoculation



A: 4 个绿豆品种播种 14 d 后的植株表型; B: 4 个绿豆品种播种 14 d 后的根系表型。

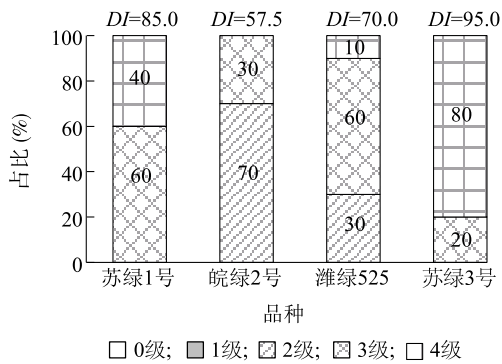
图 3 菌层接种处理后不同品种表型差异

Fig.3 Phenotypic differences of varieties by pathogen layer inoculation method

2.3 采用下胚轴创伤接种法评价绿豆对群结腐霉的抗性

在下胚轴接种试验中,苏绿 1 号所有植株在接种

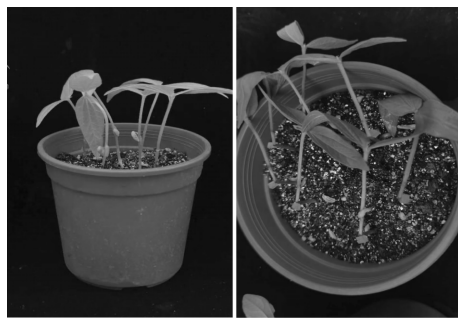
3 d 后均倒伏,表现出感病。皖绿 2 号、潍绿 525 和苏绿 3 号 3 个品种接种后倒伏死亡的植株比例均达到 100%,没有表型差异(图 5A、图 5B)。



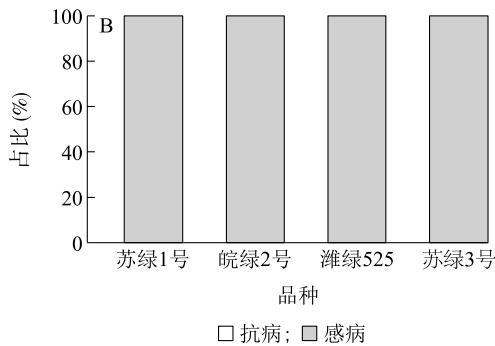
图柱内部数字表示该发病等级植株数占总接种植株数的比例; DI 为对应品种的病情指数。

图 4 采用菌层接种法接种 14 d 后根部各发病等级植株所占比例

Fig.4 Proportion of plants of each root disease grade 14 days after inoculation with pathogen layer inoculation method



A



A: 苏绿 1 号幼苗利用下胚轴接种法接种前(左图)、接种后 3 d (右图)表型; B: 4 个绿豆品种接种 3 d 后表型统计。图 B 中纵坐标表示表现出倒伏死亡的植株数占接种植株数的比例。

图 5 采用下胚轴创伤接种法评价绿豆对群结腐霉的抗性

Fig.5 Evaluation of mung bean resistance by hypocotyl wound inoculation method

2.4 绿豆种质资源对群结腐霉抗性的鉴定

综合比较 3 种接种方法的操作简便性、试验周期以及发病结果稳定性,选择菌层接种法对 394 份

绿豆种质资源进行抗性鉴定。结果显示,没有发现对群结腐霉表现出免疫 ($DI=0$) 或抗病 ($0 < DI \leq 20.0$) 的种质资源; 分别有 22 份、103 份和 263 份种质抗病水平达到中感 ($40.0 < DI \leq 60.0$)、感病 ($60.0 < DI \leq 80.0$) 和高感 ($80.0 < DI \leq 100.0$), 达到中感及以上感病级别的种质数目占试验种质总数的 98.48% (表 2)。有 6 份种质表现中抗 ($20 < DI \leq 40$), 占试验种质总数的 1.52%, 其中油绿豆病情指数为 25.0, 是所有试验种质中抗性最强的种质 (表 3)。

表 2 394 份绿豆种质资源对群结腐霉抗性鉴定结果统计

Table 2 Evaluation of resistance of 394 mung bean germplasm to *Pythium myriotylum*

抗性水平	病情指数 (DI)	数量 (份)	比例 (%)
免疫(I)	$DI=0$	0	0
抗病(R)	$0 < DI \leq 20.0$	0	0
中抗(MR)	$20.0 < DI \leq 40.0$	6	1.52
中感(MS)	$40.0 < DI \leq 60.0$	22	5.58
感病(S)	$60.0 < DI \leq 80.0$	103	26.14
高感(HS)	$80.0 < DI \leq 100.0$	263	66.75

表 3 6 份中抗材料抗病性鉴定结果

Table 3 Disease resistance of six medium resistant varieties

种质编号	材料名称	病情指数
vr203	油绿豆	25.0
vr182	郑绿 11 号	27.5
vr129	广饶 1 号	30.0
vr266	郑 90-1	32.5
vr272	新金县绿豆 1	32.5
vr021	并绿 20 号	37.5

3 讨论

简便可靠的室内抗性鉴定技术能够真实鉴定出种质资源的抗病性,既是挖掘抗病资源用于抗病育种的前提,也是鉴定抗病基因并解析绿豆对根腐病抗病性机制的关键环节。本研究通过比较灌根接种法、菌层接种法和下胚轴创伤接种法 3 种接种方法,最终选择操作简便、试验周期较短、便于抗性水平区分、结果稳定性较好的菌层接种法,构建了基于根系

损伤的抗性等级评价标准,建立了绿豆对群结腐霉根腐病的抗性鉴定技术体系。该技术体系对不同抗性水平种质具有较好的区分能力^[20],适用于绿豆抗病种质资源的室内高通量快速筛选。

每年约有 13%的农作物产量因病害而损失,使用抗病品种并综合其他管理措施是一种可靠且有效的病害防控方法^[21]。近几十年来,寄主抗性已被广泛用于通过传统育种手段或最新的基因工程选育新的抗病品种^[22]。但是抗病育种也存在挑战性,其中之一就是抗病资源在种质资源中所占比例较小。例如对世界范围内的1 047份大麦种质资源进行茎基腐病抗性鉴定,仅发现 13 份材料的病情指数低于 20.0^[23]。金京京等^[24]的研究结果表明中国仅有 2%的小麦品种(系)具有茎基腐病抗性。在本研究中,选择的 394 份绿豆种质资源包含众多中国绿豆生产中的主要品种,鉴定结果表明中国绿豆整体抗群结腐霉根腐病的水平不容乐观。由于群结腐霉可以侵染多种植物,随着寄主作物及感病品种的多年种植,病原菌在发病田块土壤中的积累逐年增加,会大大增加群结腐霉为害风险。鉴于目前对绿豆抗群结腐霉根腐病机制尚不明确,筛选优异抗病资源是防治该病害扩展的重要任务。因此,应进一步扩大筛选规模,充分利用收集的绿豆品种、农家种、近缘和野生材料开展抗病资源挖掘,为后续绿豆抗病改良育种提供材料^[25]。

寄主与病原菌“军备竞赛”协同进化意味着病原菌在抗病品种的选择压力下会发生变异并克服先前的抗病品种的抗性^[26]。因此,抗病品种选育是一项持续的工作,其中最大的挑战是新的抗病资源及抗病基因的挖掘。此外,尽管室内抗性鉴定具备操作简便、适于大批量操作等优点,但作物病害的发生还受到田间环境,如土壤微生物群落、栽培措施、气象条件等因素的影响,因此,为了准确掌握绿豆种质资源对群结腐霉的抗病性,有必要在田间对筛选的抗病材料进行进一步鉴定。

参考文献:

- [1] OKUBARA P A, DICKMAN M B, BLECHL A E. Molecular and genetic aspects of controlling the soilborne necrotrophic pathogens *Rhizoctonia* and *Pythium*[J]. *Plant Science*,2014,228:61-70.
- [2] LEGRIFI I, TAOUSSI M, AL FIGUIGUI J, et al. Oomycetes root rot caused by *Pythium* spp. and *Phytophthora* spp.: host range, detection, and management strategies, special case of olive trees [J]. *Journal of Crop Health*,2024,76(1):19-47.
- [3] REEVES E R, KERNS J P, SHEW B B. *Pythium* spp. associated with root rot and stunting of winter crops in north Carolina [J]. *Plant Disease*,2021,105(11):3433-3442.
- [4] FENG H, CHEN J J, YU Z, et al. Pathogenicity and fungicide sensitivity of *Pythium* and *Phytophythium* spp. associated with soybean in the Huang-Huai region of China [J]. *Plant Pathology*,2020,69(6):1083-1092.
- [5] HYDER S, GONDAL A S, RIZVI Z F, et al. Biological control of chili damping-off disease, caused by *Pythium myriotylum* [J]. *Frontiers in Microbiology*,2021,12:587431.
- [6] JIA M, NI Y, LIU X T, et al. First report of root rot caused by *Pythium myriotylum* on sesame in China [J]. *Plant Disease*,2023,107(8):2558.
- [7] PITMAN T L, PHILBROOK R N, WARREN J G. First report of *Pythium myriotylum* causing root rot in *Cannabis sativa* (L.) in California [J]. *Plant Disease*,2021,105(11):3766.
- [8] CHOI S Y, LEE S Y, GEUM C O, et al. First report of wilt disease caused by *Pythium myriotylum* on peanut plants in Korea [J]. *Plant Disease*,2024,108(3):822.
- [9] YAN Q, HU Y Q, ZHANG Q X, et al. Occurrence of root rot caused by *Pythium aphanidermatum* on mung bean (*Vigna radiata*) in China [J]. *Plant Disease*,2021,105(1):233.
- [10] LAMICHHANE J R, DÜRR C, SCHWANCK A A, et al. Integrated management of damping-off diseases. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*,2017,37(2):10.
- [11] HUSSAIN S, SIDDIQUE T, SALEEM M, et al. Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions [J]. *Advances in Agronomy*,2009,102:159-200.
- [12] 张妙宜,周登博,起登凤,等. 香蕉枯萎病综合防控研究进展 [J]. *中国科学(生命科学)*,2024,54(10):1843-1852.
- [13] YANG J, YE W W, WANG X M, et al. An improved method for the identification of soybean resistance to *Phytophthora sojae* applied to germplasm resources from the Huanghuaihai and Dongbei regions of China [J]. *Plant Disease*,2020,104(2):408-413.
- [14] DORRANCE A E, BERRY S A, ANDERSON T R, et al. Isolation, storage, pathotype characterization, and evaluation of resistance for *Phytophthora sojae* in soybean [J]. *Plant Health Progress*,2008,9(1):35.
- [15] 邓亚辉,陈全家,曲延英. 抗大丽轮枝菌黄萎病的棉花种质资源鉴定与分析 [J]. *分子植物育种*,2022,20(11):3677-3685.
- [16] ZHANG X M, JOHNSON C, REED D. Management of *Pythium myriotylum* in tobacco transplant production greenhouses [J]. *Plant Health Progress*,2021,22(3):250-259.
- [17] 武泉栋,王新好,姚玲,等. 干旱和盐单一胁迫对绿豆种子萌发期的影响及其种质评价 [J]. *江苏农业科学*,2024,52(10):120-128.
- [18] 刘金洋,林云,陈景斌,等. 绿豆 C₃H 和 NBS 转录因子家族成员鉴定及盐胁迫响应分析 [J]. *江苏农业学报*,2023,39(5):1097-1109.

- [19] 吕重阳, 张晓燕, 黄璐, 等. 不同绿豆品种的芽用特性评价及其专用品种筛选[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(4): 152-163.
- [20] 闫强, 丁佩, 张勤雪, 等. 绿豆根腐病原菌分离和致病力鉴定[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(6): 86-92.
- [21] OERKE E C, DEHNE H W. Safeguarding production: losses in major crops and the role of crop protection[J]. Crop Protection, 2004, 23(4): 275-285.
- [22] NELSON R, WIESNER-HANKS T, WISSER R, et al. Navigating complexity to breed disease-resistant crops[J]. Nature Reviews Genetics, 2018, 19(1): 21-33.
- [23] LIU Y X, ZHENG Y L, WEI Y M, et al. Genotypic differences to crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Plant Breeding, 2012, 131(6): 728-732.
- [24] 金京京, 齐永志, 王丽, 等. 小麦种质对茎基腐病抗性评价及优异种质筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(2): 308-313.
- [25] DENG Y W, NING Y S, YANG D L, et al. Molecular basis of disease resistance and perspectives on breeding strategies for resistance improvement in crops[J]. Molecular Plant, 2020, 13(10): 1402-1419.
- [26] NGOU B P M, DING P T, JONES J D G. Thirty years of resistance; zig-zag through the plant immune system [J]. The Plant Cell, 2022, 34(5): 1447-1478.

(责任编辑: 陈海霞)