

基于田间自然诱导法的甘薯基腐病 种质资源抗性鉴定与评价研究

沈升法¹, 刘也楠², 李兵¹, 罗志高¹, 刘伟明³, 吴列洪¹, 项超¹

(¹浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所, 杭州 310021; ²台州市农业科学研究院, 浙江临海 317000; ³台州市科技职业学院, 浙江台州 318020)

摘要:甘薯基腐病是在浙江省东南沿海地区新发生的、由间座壳属病原菌侵染引起的真菌病害。为了筛选抗病种质资源和探索病害田间自然诱导抗性鉴定方法,对126份甘薯供试种质资源进行了田间抗性鉴定,并分析了甘薯生长后期的病情变化以及种质抗性对鲜薯产量损失率的影响。抗性鉴定结果表明,对照品种浙薯255表现为高抗,浙薯38表现为抗,浙薯13表现为高感。在89份新收集资源及当地主推品种中不存在高抗等级,抗等级的仅有3份,65%以上品种表现为高感。在抗病品种浙薯255的34份杂交后代中筛选出13份抗病种质,其中高抗的有6份,抗的有2份。甘薯生长后期病情发生显著变化,尤其是中抗、感病种质从120 d至135 d时病情指数跃升幅度大。135 d时整体发病植株的4级病级比例达93.8%,绝大多数发病植株最终基部完全腐烂或枯死。甘薯鲜薯产量与抗性水平呈线性相关,抗性好(高抗或抗等级)的品种鲜薯产量损失率可以控制在15%以下,而感病品种的鲜薯产量损失率超过65%,甚至绝收。总之,甘薯基腐病抗病种质资源稀少,通过抗病亲本的常规杂交可以获得抗性好的育种材料,发病率和病情指数均可以作为甘薯基腐病田间自然诱导抗性鉴定指标。

关键词:甘薯基腐病;种质资源;抗性;发病率;病情指数;产量损失率

Study on Identification and Evaluation of Resistance to Foot Rot of Sweetpotato Germplasm Resources Based on Natural Field Induction Method

SHEN Sheng-fa¹, LIU Ye-nan², LI Bing¹, LUO Zhi-gao¹,
LIU Wei-ming³, WU Lie-hong¹, XIANG Chao¹

(¹Institute of Crops and Nuclear Technology Utilization, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences,
Hangzhou 310021; ²Taizhou Academy of Agricultural Sciences, Zhejiang Linhai 317000;
³Taizhou Vocational College of Science & Technology, Zhejiang Taizhou 318020)

Abstract: Foot rot of sweetpotato caused by *Diaporthe destruens* is a new disease in the southeast coast of Zhejiang province. In order to explore resistant germplasm resources and explore the method of resistance identification in natural induced field, we investigated and identified the resistance of 126 sweetpotato germplasm resources, and analyzed the changes of disease symptom in late growth period of sweetpotato and effects of resistance on yield loss rate of fresh storage root. The results of resistance identification showed that the control variety Zheshu255 was high resistant, Zheshu 38 was resistant and Zheshu 13 was high susceptible. Of which, no

收稿日期: 2022-02-23 修回日期: 2022-03-11 网络出版日期: 2022-04-11

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220223003>

第一作者研究方向为薯类育种与栽培, E-mail: 3398809937@qq.com

通信作者: 吴列洪, 研究方向为薯类育种与栽培, E-mail: zwsgsz@mail.zaasac.cn

项超, 研究方向为薯类育种与栽培, E-mail: xc0409@126.com

基金项目: 国家自然科学基金(31901585); 浙江省农业新品种选育重大科技专项(2021C02064-1); 浙江省物种品种资源保护费项目(111721301354052231-1-4); 浙江省数字旱粮重点实验室(2022E10012)

Foundation projects: National Natural Science Foundation of China (31901585); Zhejiang Science and Technology Major Program on Agricultural New Variety Breeding (2021C02064-1); Zhejiang Species Resources Protection Fee Project (111721301354052231-1-4); Key Laboratory of Digital Dry Land Crops of Zhejiang Province (2022E10012)

high resistance germplasm were identified among 89 new collected resources and local recommended varieties, only 3 accessions were resistant, and more than 65% of the varieties showed high sensitivity. 13 resistant accessions were identified from the 34 progenies of resistant variety Zheshu255, including 6 high resistant and 2 resistant accessions. There were significant changes of disease symptom in the late growth period of sweet potato, especially the disease index sharply increased from the growth period of 120 d to 135 d in moderate resistant and susceptible germplasm. The disease grade of 93.8% of the total susceptible plants was 4 at the growth period of 135 d. Eventually, most of the susceptible plants rotted thoroughly at the base of stem or died. The yield loss rate of varieties with good resistance (high resistance or resistance) could be controlled below 15%, while the yield loss rate of susceptible varieties was over 65%, even no harvest. In a word, the resistant germplasm resources of foot rot disease of sweetpotato were scarce, the good resistant breeding materials could be obtained through the conventional hybrid breeding of the resistant parents, and the incidence and disease index might be used as the identification index of resistance to foot rot of sweetpotato in natural induced field.

Key words: foot rot of sweetpotato; germplasm resources; resistance; incidence; disease index; yield loss rate

甘薯 (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) 是我国重要的非禾谷类粮食作物之一,它不仅含有淀粉、可溶性糖、蛋白质、矿物质等基本食物营养,而且含有丰富的胡萝卜素、花青素、多酚类等具有良好保健价值的功能活性成分^[1],因此,甘薯及其加工产品深受消费者喜爱。浙江省甘薯主要用于鲜食以及淀粉、薯脯、薯片等加工,是山区农村经济的重要来源。近年来浙江省东南沿海甘薯主产区暴发了甘薯真菌性基腐病,这是我国甘薯新发生的一种毁灭性病害^[2-3]。甘薯基腐病由间座壳属病原菌 (*Diaporthe destruens*) 侵染引起的,造成茎基部褐变腐烂直到全株枯死,中后期块根出现腐烂,在枯死的组织上经常可见大量的分生孢子器,发病田逐年迅速加重,新病田则主要通过带菌的种薯种苗传播^[4,6]。该病最早发现于 1912 年美国维吉尼亚州,一般甘薯产量损失率为 10%~50%,高的达 95%,甚至绝收,之后在美国多个州以及格鲁吉亚和巴西等甘薯栽培地区陆续发现;日本于 2011 年开始先后在冲绳县、鹿儿岛县、宫崎县发现了甘薯基腐病为害^[7-8]。我国最早于 2008 年在台湾省花莲县和彰化县发现该病害,随后 2010 年开始在浙江省台州多个县市区,之后在宁波、温州,2020 年以来在丽水、金华、舟山、绍兴等多个地区发现了此病危害^[7-9]。随着病害发生面积逐年增加,流行区域不断扩大,主产区种植面积迅速下降,甘薯基腐病已经成为浙江省甘薯生产威胁最大的毁灭性病害。

已有报道多菌灵、多菌灵+农用链霉素、多菌灵+代森锰锌等化学药剂对甘薯基腐病有较好的防治效果^[10-11],也有人发现从甘薯根中分离到的芽

孢杆菌菌株能有效抑制病菌^[12],但抗病品种是最经济有效的防治措施。浙江省从 2015 年开始进行甘薯基腐病的抗病品种鉴定和选育,从现有品种中筛选出抗病品种浙薯 255,并从浙薯 255 的杂交后代中筛选出抗病新品种浙薯 38,多年试验示范表明,浙薯 255 在重病田的鲜薯产量为 30 t/hm² 左右,是感病品种浙薯 13 产量的 2.5~20 倍,而浙薯 38 在台州玉环的抗病品种示范方鲜薯产量高达 56.89 t/hm²,是感病品种浙薯 13 产量的 2.4 倍^[11,13]。浙江省甘薯地方品种资源主要集中在浙东南山区,在鲜食及淀粉、薯脯、烤薯、油炸薯片加工上有较好的利用价值^[14]。甘薯地方品种资源能在民间长久保留下来往往与其产量、品质及抗病虫和耐旱、寒、热、贫瘠、涝、盐碱等某些优良特性有很大的关系^[15]。从地方品种资源中筛选、挖掘抗病材料是丰富作物抗病育种基因库的重要途径^[16-17]。本研究对浙江省第三次全国农作物种质资源普查与收集行动中征集到的甘薯品种资源和一些国内主栽品种以及抗病品种浙薯 255 杂交后代的高代育种材料进行田间抗性鉴定试验,以期筛选出抗病种质资源,探索病害自然诱导抗性鉴定方法,为甘薯基腐病抗病种质创新和建立早代抗病材料的大批量筛选方法提供基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 126 份甘薯种质资源(表 1),其中编号 1~34 以 CP 开头的种质来源于以感病品种浙薯 13 为母本、抗病品种浙薯 255 为父本杂交后代选育的高代育种材料,编号 35~113 的 79 份品种资源

表 1 126 份甘薯种质资源

Table 1 126 germplasm resources of sweet potato

编号 Code	名称 Name	编号 Code	名称 Name	编号 Code	名称 Name	编号 Code	名称 Name
1	CP001	33	CP318	65	台湾番薯	97	诸暨南瓜薯
2	CP014	34	CP379	66	徐薯 18	98	杭州番薯
3	CP025	35	北京子	67	胜利百号	99	青滕番薯
4	CP037	36	翅蓬	68	武义番薯	100	乐清红牡丹
5	CP041	37	金瓜红	69	圆叶番薯	101	遂昌黄心
6	CP054	38	木冬	70	瑞薯 1 号	102	临安白甘薯
7	CP081	39	南京子	71	苏薯 4 号	103	宁海黄心
8	CP097	40	南京紫	72	苏薯 8 号	104	桐乡白心
9	CP101	41	永泰薯	73	浙 64-17	105	永嘉红牡丹
10	CP108	42	蜜东	74	鸡爪番薯	106	永康白番薯
11	CP125	43	老南瓜	75	西瓜番薯	107	金山尖薯
12	CP128	44	淳安雪梨	76	小叶青藤	108	龙泉六十日
13	CP130	45	岗头白	77	缙云红头	109	庆元六十日
14	CP132	46	建德紫皮	78	更楼种	110	苋菜番薯
15	CP142	47	红珍珠	79	白皮白心	111	嘉善白心
16	CP146	48	鸡爪番薯	80	临安雪梨	112	遂昌白皮
17	CP152	49	金瓜薯	81	金瓜黄	113	松阳苹果
18	CP161	50	华北 48	82	紫皮黄心	114	浙紫薯 1 号
19	CP162	51	梅尖红	83	建德白心	115	浙薯 75
20	CP163	52	美国种	84	潮薯 1 号	116	浙薯 81
21	CP167	53	磨粉薯	85	淳安南瓜薯	117	心香
22	CP169	54	南京勇	86	东阳白心	118	商薯 19
23	CP176	55	南京种	87	东阳黄心	119	苏薯 16
24	CP181	56	万斤薯	88	白皮栗番薯	120	烟薯 25
25	CP190	57	五爪薯	89	苍南红牡丹	121	广薯 87
26	CP194	58	香番薯	90	黄皮黄心	122	阜甜 1 号
27	CP198	59	新红 3 号	91	莲都红牡丹	123	浙紫薯 6 号
28	CP219	60	洋芋薯	92	桐乡黄皮	124	浙薯 255 (ck)
29	CP231	61	长兴 868	93	瑞安白番薯	125	浙薯 38 (ck)
30	CP276	62	梓桐薯	94	石牛红牡丹	126	浙薯 13 (ck)
31	CP278	63	红尾薯	95	永康黄心		
32	CP279	64	海盐白心	96	诸暨红番薯		

来源于2017-2019年浙江省第三次全国农作物种质资源普查与收集行动,编号114~123的10份种质为目前浙江省甘薯主栽品种和推广品种。以抗病品种浙薯255、浙薯38和感病品种浙薯13为对照。126份种质的供试种苗均来自浙江省农业科学院杭州试验田繁育的健康种苗。

1.2 方法

1.2.1 田间试验设计 于2021年在浙江省台州市临海市东塍镇沙溪下村重病田设立甘薯基腐病自然诱发鉴定圃,该田块2020年被用作甘薯基腐病育种材料抗性鉴定圃,感病品种浙薯13发病率100%。试验设3个重复,采用随机区组排列,每份种质单垄种植15株,垄距80cm,株距20cm,四周设保护行。2021年5月28日薯苗扦插种植,10月29日采收,生育期155d。整个试验期间不喷施任何杀菌剂,田间管理精细。

1.2.2 病情调查与病情、抗性分级标准 在甘薯生长后期,分生育期120d和135d两次进行田间植株发病率和病情指数调查。综合参考甘薯根腐病、甘薯蔓割病、甘薯薯瘟的病情分级和抗性分级标准^[18],根据田间甘薯基腐病的发生规律、病害症状和鲜薯产量损失状况,以及对照品种不同时期的病情变化,确定合理的甘薯基腐病自然诱发鉴定圃病情指数调查时间,制定病情分级标准和抗性分级标准。

病情分5级:0级,植株全株不发病;1级,茎基部有不规则黑褐色病斑,植株生长基本正常;2级,茎基部完全褐变腐烂或枯死的分枝数 \leq 总分枝数的1/3;3级,茎基部完全褐变腐烂或枯死的分枝数 $>$ 总分枝数的1/3,但至少有一个分枝存活;4级,植株枯死或全部分枝的茎基部完全褐变腐烂。

抗性分5级:高抗,病情指数(DI, disease index) ≤ 20 ;抗, $20 < DI \leq 40$;中抗, $40 < DI \leq 60$;感, $60 < DI \leq 80$;高感, $DI > 80$ 。

1.2.3 不同抗性种质的病情和鲜薯产量差异分析 种质按抗性等级归类,采用同一抗性等级种质的平均值与对照抗病品种浙薯255、浙薯38以及感病品种浙薯13测定值进行发病率、病情指数及鲜薯产量的差异比较,采用DPS 9.50软件的Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

1.2.4 发病植株的病级分布变化分析 分别按照整体(Total)以及5种抗性种质的发病植株计算1~4级病级比例。病级比例指同一抗性等级的某一病级(1~4级)数量占该抗性等级发病植株数量的比例,

其中整体病级比例按所有种质的发病植株进行统计。比较不同抗性种质的各病级比例差异和病级比例不同时期的变化。

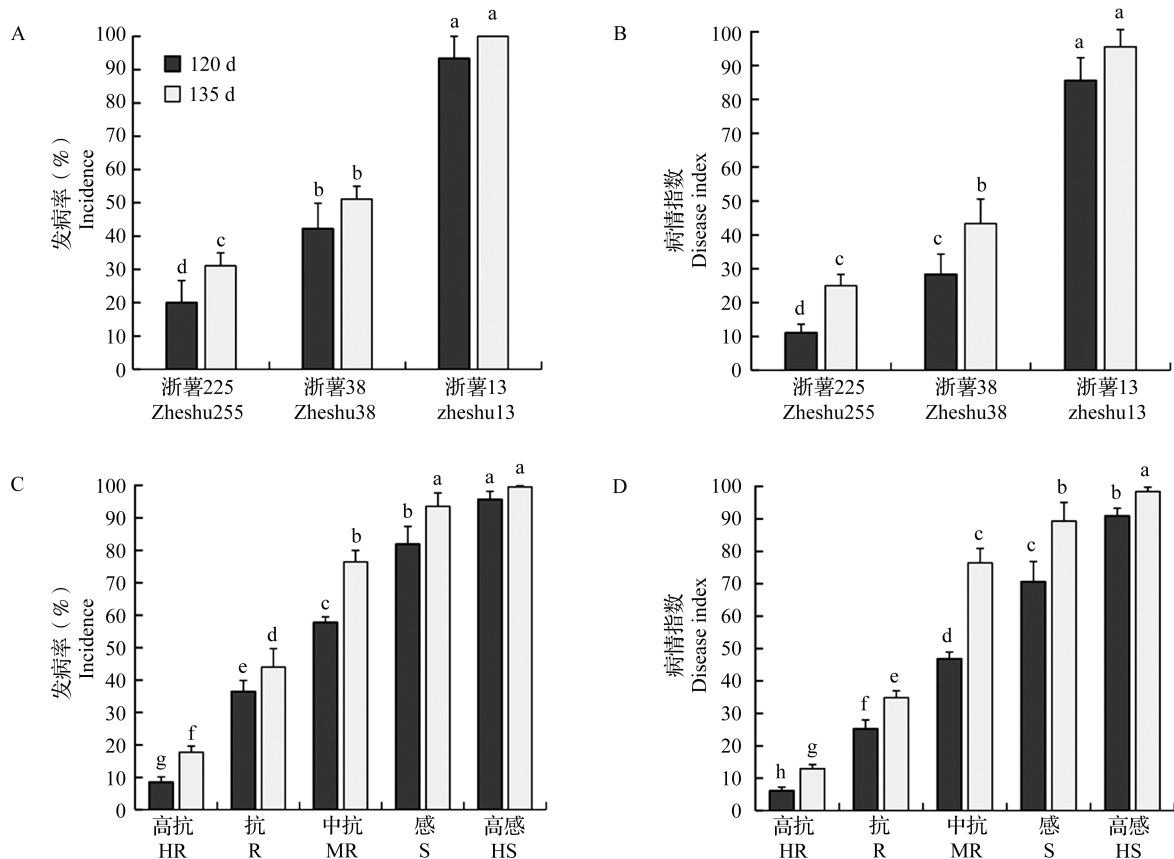
1.2.5 不同抗性种质的鲜薯产量损失率评估 建立反映种质抗性的病情指数(x)和鲜薯产量(y)的拟合方程,获得各种种的估计产量。以病情指数为0时的估计产量为对照,以同一抗性等级种质的平均产量与对照比较,分别以鲜薯产量的估计值和实测值评估不同抗性种质的产量损失率,并采用DPS 9.50软件的Duncan氏新复极差法分析两者差异。

2 结果与分析

2.1 种质资源抗性

2.1.1 不同抗性种质的病情变化 由图1A、B可知,不管生育期120d还是135d,在同一时期抗病品种浙薯255、浙薯38以及感病品种浙薯13相互之间的发病率和病情指数均存在显著差异,抗性浙薯255 $>$ 浙薯38 $>$ 浙薯13。浙薯13在120d时发病率为93.33%,病情指数为85.56%,已经达到高感等级,虽然在135d时发病率达100%,但病情变化并不明显。同时,浙薯255、浙薯38在120d和135d时病情出现了明显的变化。浙薯255在120d时抗性等级可判定为高抗(DI=11.11),而在135d时抗性等级下降为抗(DI=25.00)。同样,浙薯38在120d时抗性等级可判定为抗(DI=28.33),而在135d时抗性等级下降为中抗(DI=43.33)。根据以往生产实际中的品种抗性表现,以120d时病情指数为抗性鉴定标准能够较好地反映对照品种的抗性水平,即浙薯255表现为高抗,浙薯38表现为抗,浙薯13表现为高感。

以120d时病情指数为抗性鉴定标准进行种质资源的抗性分级,比较不同等级种质在120d和135d时的平均发病率和平均病情指数,出现了明显的病情变化(图1C、D)。除了高感种质外,其他等级种质的平均发病率在不同时期之间存在明显差异,而所有不同等级种质的平均病情指数在不同时期之间均存在明显差异,说明甘薯基腐病在生长后期病情发展较快。中抗种质病情变化最快,平均病情指数从120d时的46.83上升到135d时的76.44,感病种质病情变化次之,平均病情指数从120d时的70.62上升到135d时的89.32,而高抗、抗和高感种质在不同时期之间平均病情指数的差距均不足10。



A: 对照品种发病率; B: 对照品种病情指数; C: 不同抗性种质发病率; D: 不同抗性种质病情指数;

图中数据为平均数 \pm 标准差, 不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平差异显著, 下同

A: Incidence of the control variety; B: Disease index of control variety; C: Incidence of different resistant germplasm;

D: Disease index of different resistant germplasm. Data in the figure refer to mean \pm SD,

different lowercase letters indicate significant different at $P < 0.05$, the same as below

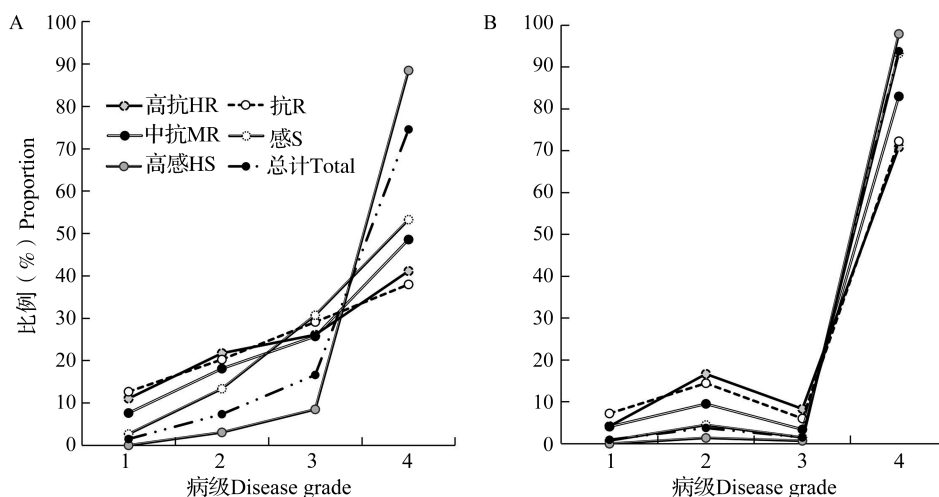
图 1 不同抗性种质的病情变化

Fig.1 Disease changes of different resistant germplasm

2.1.2 发病植株的病级分布变化 由图 2 可知, 120 d 时, 在整体水平上 4 级病级比例为 74.56%, 3 级病级比例为 16.61%, 而 1 级和 2 级病级比例分别仅为 1.48% 和 7.35%。不同抗性种质均呈现病级越高占比越大, 其中高感等级种质 4 级病级比例高达 90%。135 d 时, 在整体水平上 4 级病级比例跃升至 93.8%, 而 1~3 级病级比例均有不同程度下降, 其中 3 级病级比例下降速度最快, 从 120 d 时的 16.61% 降至 135 d 时的 1.50%。不同抗性种质的 4 级病级比例均超过 70%, 并呈现抗性越差 4 级病级比例越大的趋势, 其中高感和感等级种质 4 级病级比例分别达 97.93% 和 93.28%。1 级或 2 级轻症病株主要出现在高抗、抗、中抗等级中。说明甘薯基腐病在甘薯生长后期不仅病情发展快, 而且

绝大多数发病植株最终茎基部完全褐变腐烂或全株枯死, 发病率能够较好地反映甘薯基腐病的严重程度。120 d 时甘薯基腐病的发病率与病情指数之间相关系数 $r=0.977$, 两者呈高度正相关, 因此, 除了病情指数之外, 发病率也可以作为甘薯基腐病抗性鉴定指标。根据 120 d 时发病率 (y) 与病情指数 (x) 的关系式 $y=0.989x+8.209$, 基于发病率的甘薯基腐病抗性鉴定等级可以划分为: 高抗, 发病率 (I , incidence) $\leq 28\%$; 抗, $28\% < I \leq 48\%$; 中抗, $48\% < I \leq 68\%$; 感, $68\% < I \leq 87\%$; 高感, $I > 87\%$ 。

2.1.3 抗病种质 除对照之外, 在 123 份供试材料中共筛选出抗病种质 21 份 (表 2), 其中高抗有 6 份, 抗有 5 份, 中抗有 10 份。在 89 份新收集资



A: 120 d 时病级分布; B: 135 d 时病级分布
 A: Disease grade distribution at 120 d; B: Disease grade distribution at 135 d

图 2 不同抗性种质中发病植株的病级分布
Fig.2 Disease grade distribution of diseased plants in different resistant germplasm

表 2 21 份抗病甘薯种质资源

Table 2 21 resistant germplasm resources of sweetpotato

编号 Code	名称 Name	120 天 120 d		135 天 135 d		抗性等级 Resistance grade
		发病率 (%) Incidence	病情指数 Disease index	发病率 (%) Incidence	病情指数 Disease index	
84	潮薯 1 号	26.67	21.67	31.11	30.00	抗
113	松阳苹果	40.00	26.67	53.33	30.00	抗
112	遂昌白皮	33.33	26.67	40.00	36.67	抗
41	永泰薯	51.11	40.56	66.67	53.33	中抗
111	嘉善白心	57.78	42.22	80.00	66.67	中抗
46	建德紫皮	66.67	56.67	73.33	66.67	中抗
101	遂昌黄心	53.33	41.67	73.33	51.67	中抗
50	华北 48	80.00	55.00	86.67	73.33	中抗
8	CP097	0	0	0	0	高抗
16	CP146	0	0	20.00	8.89	高抗
19	CP162	20.00	11.67	26.67	23.33	高抗
24	CP181	13.33	11.11	20.00	16.67	高抗
26	CP194	17.78	13.89	26.67	22.22	高抗
32	CP279	0	0	13.33	6.67	高抗
5	CP041	33.33	24.44	33.33	33.33	抗
7	CP081	48.89	26.67	62.22	44.44	抗
12	CP128	51.11	44.44	80.00	70.00	中抗
25	CP190	57.78	47.22	100.00	80.00	中抗
28	CP219	46.67	41.11	66.67	66.67	中抗
29	CP231	62.22	54.44	77.78	75.56	中抗
33	CP318	51.11	45.00	60.00	60.00	中抗

源和主推品种中有抗病种质 8 份, 占该类资源的 8.99%, 而且均来源于浙江省本地收集的老品种, 其中没有高抗, 抗的仅有 3 份, 占比 3.37%, 而高感的有 58 份, 占比 65.17%; 浙江省甘薯主要栽培品种浙薯 13、心香、瑞薯 1 号、浙薯 75、徐薯 18、胜利百号、苏薯 8 号以及推广品种广薯 87、商薯 19、烟薯 25、苏薯 16、阜甜 1 号均表现为高感。在浙薯 255 杂交后代的选育材料中有 13 份抗病种质, 占 34 份高代育种材料的 38.24%, 其中高抗的有 6 份, 抗的有 2 份, CP097 在 120 d、135 d 和采收时均没有发病。说明在现有的品种资源中甘薯基腐病抗性好的种质稀少, 大多数品种表现为高感; 只要有抗病亲本, 通过常规杂交方法可以获得甘薯基腐病抗性好的育种材料。

2.2 种质抗性对鲜薯产量的影响

2.2.1 不同抗性种质之间的鲜薯产量差异 由图 3 可知, 抗病品种浙薯 255 和浙薯 38 之间鲜薯产量无明显差异, 但两者鲜薯产量显著高于感病品种浙薯 13, 浙薯 13 鲜薯产量仅有 9.55 t/hm², 不足浙薯 255 鲜薯产量的 1/3。不同抗性种质之间呈现抗性越好鲜薯产量越高的趋势。高抗、抗的种质之间鲜薯产量无明显差异, 但均显著高于中抗的种质, 高感、感的种质之间鲜薯产量无明显差异, 但均显

著低于中抗的种质, 高感的种质平均鲜薯产量仅有 6.61 t/hm², 不足高抗的种质鲜薯产量的 1/4, 其中有 1 份种质绝收。

2.2.2 种质抗性与鲜薯产量的关系 以 120 d 时病情指数代表种质的抗性水平, 则病情指数越低抗性水平越高。由图 4 可知, 鲜薯产量与种质病情指数呈极显著的负相关 ($P < 0.001$), 可以由病情指数 (x) 和鲜薯产量 (y) 的关系式 $y = 29.95 - 0.2623x$ 估算不同抗性种质的鲜薯产量。以病情指数为 0 时的估计产量 29.95 t/hm² 为对照, 则估计产量损失率 (%) = $0.2623x / 29.95 \times 100$, 即种质抗性下降一个等级平均产量损失率增加 17.5 个百分点。采用 126 份种质的产量实测值和估计值分别计算不同抗性等级种质的平均产量、产量损失率, 由表 3 可知, 高抗、中抗、感、高感种质的平均产量及产量损失率在实测值和估计值之间差异不明显, 但抗的种质的平均产量及产量损失率在实测值和估计值之间均存在明显差异, 实测值的产量损失率显著低于估计值。上述结果表明, 选用抗病品种对防治甘薯基腐病非常有效, 只要选择抗性好 (高抗或抗) 的品种, 重病田鲜薯产量损失率可以控制在 15% 以下, 而感病品种的重病田鲜薯产量损失率会超过 65%, 甚至绝收。

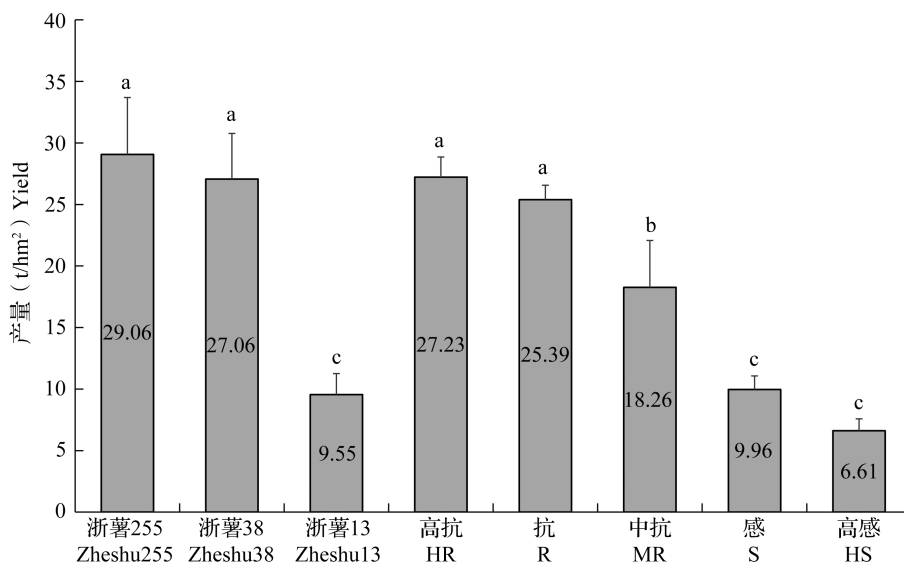


图 3 不同抗性种质的鲜薯产量

Fig.3 Yield of fresh storage root in different resistant germplasm

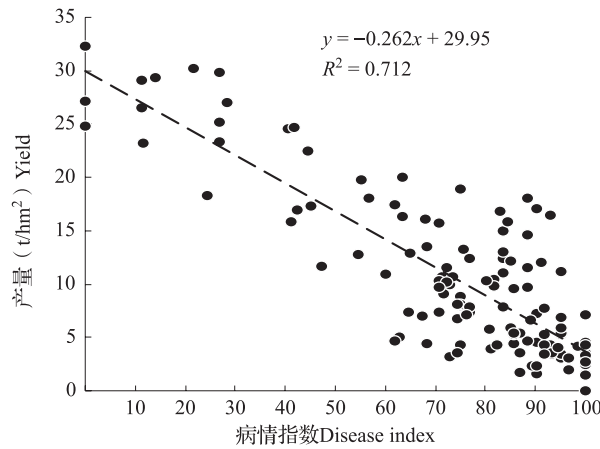


图4 病情指数与鲜薯产量的关系

Fig.4 Relationship between disease index and yield of fresh storage root

表3 不同抗性种质的鲜薯产量损失率

Table 3 Yield loss rate of fresh storage root in different resistant germplasm

抗性等级 Resistance grade	平均产量 (t/hm ²) Mean yeild		产量损失率 (%) Yield loss rate	
	估计值 Estimated value	实测值 Observed value	估计值 Estimated value	实测值 Observed value
高抗 HR	28.35 ± 0.29a	27.49 ± 1.64a	5.35 ± 0.98a	8.22 ± 5.48a
抗 R	23.33 ± 0.73b	25.66 ± 1.17a	22.09 ± 2.44a	14.31 ± 3.91b
中抗 MR	17.67 ± 0.55a	18.42 ± 3.02a	41.02 ± 1.83a	38.50 ± 10.74a
感 S	11.43 ± 1.63a	9.96 ± 1.11a	61.85 ± 5.45a	66.73 ± 3.70a
高感 HS	6.10 ± 0.63a	6.66 ± 0.97a	79.63 ± 2.10a	77.78 ± 3.23a

3 讨论

在我国主要甘薯病害中能引起植株地上部和根系或块根腐烂直至全株死亡的病害有甘薯根腐病、甘薯蔓割病和甘薯薯瘟3种。甘薯根腐病是北方薯区主要病害之一,由腐皮镰刀菌(*Fusarium solani*)侵染引起的一种真菌性病害,植株感染后先根系发病腐烂变黑,造成叶片发黄,植株矮化,分枝少或无,大量现蕾开花,甚至枯死,病株不结薯或结薯畸形,高温干旱天气易诱发病害^[19]。甘薯蔓割病和甘薯薯瘟是南方薯区主要病害。甘薯蔓割病是由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)侵染引起的一种真菌性病害,病菌从茎基部或根部的伤口侵染,植株茎基部维管束褐变纵裂,后期根和茎蔓其他部位也会维管束变褐开裂,高温多雨天气易诱发病害^[20]。甘薯薯瘟是由青枯菌(*Ralstonia solanacearum*)侵染引起的一种细菌性病害,病菌从伤口、茎基部侧根或块根侧根侵染,造成植株茎基部维管束褐变腐烂而引起枯萎死亡和块根腐烂,高温多雨天气易诱发病害^[21]。根据甘薯种质资源描述规范^[18],在抗性鉴

定方法上,甘薯根腐病采用田间自然诱导法,而甘薯蔓割病和甘薯薯瘟可以采用盆苗接菌和田间诱发2种方法,种苗先用菌液浸泡,种植后在盆或土壤中浇灌菌液,其中甘薯薯瘟盆苗接菌时也可采用带菌剪叶接种。在病情分级上,3种病害均采用0、1、2、3、4五级分级法,根据地上部茎叶发病程度轻重分级,一般0级健康不发病,1级植株出现病症但生长基本正常,4级全株枯死,甘薯根腐病和甘薯薯瘟的2~4级还需结合块根产量损失程度(结薯减少或薯块腐烂)分级。在抗性分级上,基本以病情指数20为间隔划分高抗(0~20)、抗(20.1~40)、中抗(40.1~60)、感(60.1~80)、高感(>80)5个等级,但甘薯蔓割病的感等级扩大至60.1~90,而甘薯薯瘟抗性要求较高,高抗等级病情指数范围为0~1,之后等级指标依次下降一个病情指数20的间隔。甘薯薯瘟田间诱发鉴定时还可采用发病率为抗性指标,发病率(%)分级范围为高抗(0~10)、抗(10.1~20)、中抗(20.1~50)、感(50.1~70)、高感(>70)。甘薯基腐病发生需要高温多雨天气条件,但与上述3种主要病害有较大的区别,首先,3种

主要病害在植株苗期就能发病,而甘薯基腐病苗期不发病,病菌从种苗切口侵染后有一个很长的潜伏期,在浙江台州病田于5月下旬至6月上旬甘薯种植后最早于6月下旬至7月上旬梅雨季节末期开始发病,8-9月台风季节出现发病高峰,因此,生产上将甘薯移栽期延迟至6月下旬至7月上旬,可以大幅度降低发病率,起到较好的防控效果,现在该方法已经成为重疫区的主要防治措施^[9,22]。高岩^[8]采用微伤口接种的盆苗14 d后出现不规则病斑,45 d后出现与田间症状相同的植株茎基部完全腐烂直至枯死,而采用菌丝块直贴接种的盆苗30 d后发病,60 d后出现与田间相同的症状。其次甘薯基腐病发病前期植株不规则病斑的病健交界明显^[8],虽然多数病株茎基部完全腐烂甚至断裂,但茎蔓依靠上部不定根仍能存活,田间几乎见不到植株叶片萎蔫,一般中后期才出现茎蔓枯死。另外甘薯基腐病植株初始病斑出现部位对病害发展有很大影响,多数病株在贴近土壤表面的薯拐或主茎基部发病,容易造成基部很快完全腐烂,病害向上蔓延引起全株枯死,向下蔓延引起薯块腐烂。但也有少数病株初始病斑出现在茎基部高一些部位(离土壤30 cm以下)的分枝上,先引起发病分枝褐变腐烂,然后病害再向上下其他分枝发展,病程较长。本研究根据甘薯基腐病发生发展规律,参照了甘薯根腐病、甘薯蔓割病和甘薯薯瘟3种病害的抗性鉴定方法,采用了以分枝数腐烂多少为主要标准的病情五级法分级,由于因块根腐烂造成的产量损失主要出现在植株基部完全腐烂或枯死的4级,1~3级基本没有出现块根腐烂,因此分级标准没有考虑块根腐烂的产量损失。在抗性分级上采用了与前人相同的以病情指数20为间隔划分高抗、抗、中抗、感、高感的五级法。结果表明以120 d病情指数为鉴定指标,对照品种浙薯255、浙薯38、浙薯13分别表现为高抗、抗、高感,与以往生产实际相符,同时126份种质的病情指数与鲜薯产量呈极显著负相关($P<0.001$),相关系数 $r=-0.844$,能较好地反映种质抗性水平。因此,本研究的甘薯基腐病田间自然诱导抗性鉴定方法的病情、抗性分级方法基本合理。由于本试验甘薯生长后期120 d(9月25日)和135 d(10月10日)之间病情仍在显著变化,尤其是中抗、感等级种质的病情发展很快。从采收时田间发病率的大致观察,10月10日以后随着日均气温下降至20℃以下病情发展才开始变缓,地上部病情加重不明显。因此,甘薯基腐病田间自然诱导抗性鉴定时应当设置几个不同抗性的

对照品种,根据对照品种的病情变化确定合理的病情调查时间。另外,甘薯生长后期绝大多数病株最终基部完全腐烂或枯死,发病率与病情指数呈高度正相关,发病率也能成为甘薯基腐病田间诱导抗性鉴定指标,可用于大批量早代抗病育种材料的快速筛选。

生产上缺乏抗病品种以及感病品种的大面积种植是作物病害大流行的主要原因之一^[23-24]。1845年因马铃薯晚疫病大爆发而发生了著名的爱尔兰大饥荒,造成了以马铃薯为主食的大量贫苦农民在饥饿中死亡或迁移,就是由于欧洲当时引进品种单一,缺乏抗马铃薯晚疫病品种^[25-26]。近年来浙江省发生了甘薯基腐病和甘薯茎腐病两种我国甘薯毁灭性新病害,虽然两种病害均会引起植株茎部腐烂而枯死以及中后期地下块根腐烂,但甘薯基腐病是一种真菌性病害,而甘薯茎腐病是一种由达旦提狄克氏菌 *Dickeya dadantii* 侵染引起的细菌性病害^[22]。姚海峰等^[27]研究发现主栽品种心香的高感病性是杭州临安迷你甘薯主产区发生甘薯茎腐病流行的重要因素之一。楼兵干等^[28]用甘薯茎腐病菌针刺接种法进行了50份种质资源的抗性鉴定,在水培组及盆栽组中分别筛选出25份和29份抗病品种,浙江省种植面积最大的主栽品种浙薯13为抗级,并有浙薯259、浙薯6025、苏薯28、烟薯25、徐薯18共5份高抗品种,说明在现有品种资源中存在较多的甘薯茎腐病抗病基因型,有利于抗病品种的合理调整布局和阻止茎腐病的蔓延。本研究结果表明,在现有的品种资源中甘薯基腐病抗性好的种质稀少,达到抗等级的仅有浙江省本地收集的老品种潮薯1号、松阳苹果、遂昌白皮3份,浙江省甘薯主栽品种和推广品种均表现为高感,而在抗病品种浙薯255的杂交后代中筛选出了6份高抗等级和2份抗等级的育种材料,其中CP097始终没有发病。因此利用珍贵的抗原基因,加强甘薯基腐病抗病育种,丰富抗病基因型,对于阻止浙江省甘薯基腐病大流行十分重要和迫切。

许多病害的发生会引起作物产量的损失,产量损失率与病情严重程度有关。李信申等^[29]认为芝麻产量损失率与青枯病严重程度呈极显著负相关($P<0.001$),病级1、3、5、7、9的病株平均产量损失率分别为12.56%、29.53%、54.01%、72.57%和81.98%。徐强等^[30]发现茭白纹枯病可以用病级(x)与单茭重减低率(y)的线性拟合方程 $y=4.06+10.08x$ 评估植株病情严重程度对单茭

产量的影响。王爽等^[31]采用人工嫁接病穗法对商薯19、济薯18、北京553等12个中国主栽品种进行甘薯病毒病害SPVD的抗性鉴定和产量损失研究,发现这些品种均没有明显的抗性,病情指数为51.0~95.2,单株薯块产量损失为55.1%~97.8%。本研究结果表明,在鉴定圃中甘薯基腐病种质资源鲜薯产量与其抗性水平呈线性相关,高抗、抗品种的平均产量损失率低于15%,中抗品种的平均产量损失率约40%,而感病品种的平均产量损失率超过65%,甚至绝收。因此,在甘薯基腐病重疫区,选用抗性好的品种则可以通过常规栽培获得高产,而选用中抗水平以下的品种时需要通过延迟种植和提早收获等栽培措施以减轻病害对产量的严重影响。

参考文献

- [1] 沈升法,项超,吴列洪,李兵,罗志高. 甘薯块根可溶性糖组分特征及其与食味的关联分析. 中国农业科学, 2021, 54(1): 34-45
Shen S F, Xiang C, Wu L H, Li B, Luo Z G. Analysis on the characteristics of soluble sugar components in sweetpotato storage root and its relationship with taste. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(1): 34-45
- [2] Gai Y P, Ma H J, Chen X L, Zheng J Y, Chen H H, Li H Y. Stem blight, foot rot and storage tuber rot of sweet potato caused by *Plenodomus destruens* in China. *Journal of General Plant Pathology*, 2016(82): 181-185
- [3] 何贤彪,刘伟明,黄立飞. 9种药剂对甘薯茎基部腐烂病的防治效果. 浙江农业科学, 2017, 58(5): 806-808
He X B, Liu W M, Huang L F. Control effect of 9 chemicals on stem base rot of sweetpotato. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2017, 58(5): 806-808
- [4] 余继华. 一种重要的甘薯新病害——甘薯基腐病. 植物检疫, 2018, 32(6): 51-54
Yu J H. Sweet potato foot rot, a new important disease of sweet potato. *Plant Quarantine*, 2018, 32(6): 51-54
- [5] 冯晓晓,许燎原,周小军,郑永利. 甘薯基腐病原菌分离鉴定及对甘薯品种的致病性测定. 浙江农业科学, 2021, 62(5): 1001-1003, 1005
Feng X X, Xu L Y, Zhou X J, Zheng Y L. Foot rot of sweetpotato: Isolation, identification and pathogenicity determination of variety. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2021, 62(5): 1001-1003, 1005
- [6] Huang L F, Zhang X X, Yang Y L, Zou H D, Fang B P, Liu W M. High-quality genome resource of *Diaporghie destruens* causing foot rot disease of sweet potato. *Plant Disease*, 2021, 105(10): 3279-3281
- [7] 余继华,林飞荣,石建尧,张敏荣,卢璐,张宁. 甘薯2种新入侵有害生物的防控研究. 农学学报, 2019, 9(2): 18-23
Yu J H, Lin F R, Shi J Y, Zhang M R, Lu L, Zhang N. Prevention and control of two newly-invasive diseases of sweet potato. *Journal of Agriculture*, 2019, 9(2): 18-23
- [8] 高岩. 甘薯基腐病原菌鉴定与杀菌剂的室内筛选. 杭州: 浙江大学, 2020
- Gao Y. Identification of sweet potato foot rot pathogens and indoor screening of fungicides. Hangzhou: Zhejiang University, 2020
- [9] 刘伟明,黄立飞,何贤彪,刘也楠. 甘薯茎基部腐烂病防控技术研究. 农学学报, 2017, 7(10): 19-24
Liu W M, Huang L F, He X B, Liu Y N. Stem rot disease of sweet potato: prevention and control technology. *Journal of Agriculture*, 2017, 7(10): 19-24
- [10] 何贤彪,刘也楠,刘伟明. 不同药剂防控甘薯茎基部腐烂病的效果研究. 农业灾害研究, 2019, 9(5): 8-9, 19
He X B, Liu Y N, Liu W M. Study on the effect of different reagents on prevention and control of rot disease at the base of sweet potato stem. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2019, 9(5): 8-9, 19
- [11] 刘伟明,何贤彪,刘也楠,黄立飞. 甘薯茎基部腐烂病原鉴定及药剂防控试验. 农学学报, 2019, 9(12): 9-16
Liu W M, He X B, Liu Y N, Huang L F. Stem base rot of sweet potato: Pathogen identification and prevention and control test of agentia. *Journal of Agriculture*, 2019, 9(12): 9-16
- [12] Mateus J R, Rio I D, Jurelevicius D, Mota F F, Marques J M, Ramos R T J, Silva A L C, Gagliardi P R, Seldin L. *Bacillus velezensis* T149-19 and *bacillus safensis* T052-76 as potential biocontrol agents against foot rot disease in sweet potato. *Agriculture*, 2021(11): e1046
- [13] 刘也楠,刘伟明. ‘浙薯255’茎基部腐烂病的抗性及其主要栽培技术研究. 农学学报, 2021, 11(5): 22-27
Liu Y N, Liu W M. ‘Zhesu 255’: Resistance to stem base rot and main cultivation techniques. *Journal of Agriculture*, 2021, 11(5): 22-27
- [14] 沈升法,项超,吴列洪,李兵,罗志高. 浙江省甘薯种质资源的品质鉴定与聚类分析. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 247-259
Shen S F, Xiang C, Wu L H, Li B, Luo Z G. Quantification and cluster analysis of quality-related traits in sweetpotato germplasm resources in Zhejiang province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(1): 247-259
- [15] 姚祝芳,吴柔贤,张雄坚,戴彰言,杨义伶,黄立飞,刘军,房伯平. 广东甘薯种质资源系统收集与鉴定评价. 植物遗传资源学报, 2021, 22(6): 1498-1508
Yao Z F, Wu R X, Zhang X J, Dai Z Y, Yang Y L, Huang L F, Liu J, Fang B P. Systematic field collection and identification of sweetpotato resources in Guangdong. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(6): 1498-1508
- [16] 尉法刚,王光浩,王长有,张宏,刘新伦,田增荣,朱建峰,陈春环,吉万全,王亚娟. 400份小麦品种(系)条锈病成株期抗性鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 2020, 21(4): 846-854
Yu F G, Wang G H, Wang C Y, Zhang H, Liu X L, Tian Z R, Zhu J F, Chen C H, Ji W Q, Wang Y J. Evaluation and identification of adult resistance to stripe rust from 400 wheat varieties (lines). *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(4): 846-854
- [17] 郭成,王宝宝,杨洋,王春明,周天旺,李敏权,段灿星. 玉米茎腐病研究进展. 植物遗传资源学报, 2019, 20(5): 1118-1128
Guo C, Wang B B, Yang Y, Wang C M, Zhou T W, Li M Q, Duan C X. Advances in studies of maize stalk rot. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(5): 1118-1128
- [18] 刘喜才,张丽娟. 马铃薯种质资源描述规范和数据标准. 北

- 京: 中国农业出版社, 2006: 96-102
- Liu X C, Zhang L J. Descriptors and data standard for potato. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 96-102
- [19] 李鹏, 马代夫, 李强, 张安. 甘薯根腐病的研究现状和展望. 江苏农业科学, 2009(1): 114-116
- Li P, Ma D F, Li Q, Zhang A. Research status and prospect of sweet potato root rot. Jiangsu Agricultural Sciences, 2009(1): 114-116
- [20] 林羽立. 甘薯蔓割病水培鉴定体系的建立与病菌致病相关基因的克隆. 福州: 福建农林大学, 2015
- Lin Y L. Establishing of hydroponic system of sweet potato for identification of resistance to fusarium wilt and cloning related gene from the pathogen. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015
- [21] 张联顺, 杨秀娟, 陈福如. 国内甘薯瘟病的研究动态及今后研究途径. 江西农业大学学报, 2000, 22(2): 254-258
- Zhang L S, Yang X J, Chen F R. The study developments and study ways on *Ralstonia solanacearum* at home. Acta Agriculturae Universitatis Jiang Xiensis, 2000, 22(2): 254-258
- [22] 黄立飞, 刘伟明, 刘也楠, 何贤彪. 甘薯茎基部腐烂病调查及病原鉴定. 中国农学通报, 2019, 35(18): 135-141
- Huang L F, Liu W M, Liu Y N, He X B. Investigation of stem base rot of sweetpotato and the pathogeny identification. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(18): 135-141
- [23] 张鸿, 刘中华, 林志坚, 许泳清, 林赵森, 李国良, 李华伟, 邱永祥, 纪荣昌, 罗文彬, 汤浩, 余华, 邱思鑫. 福建甘薯薯瘟病菌致病型分布和甘薯抗病品种筛选. 江苏师范大学学报: 自然科学版, 2017, 35(4): 15-20
- Zhang H, Liu Z H, Lin Z J, Xu Y Q, Lin Z M, Li G L, Li H W, Qiu Y X, Ji R C, Luo W B, Tang H, Yu H, Qiu S X. Distribution of different pathotypes of sweetpotato *Ralstonia solanacearum* and selection of disease resistant sweetpotato varieties in Fujian province. Journal of Jiangsu Normal University: Natural Science, 2017, 35(4): 15-20
- [24] 金京京, 齐永志, 王丽, 王芳芳, 闫翠梅, 李保云, 解超杰, 甄文超, 马骏. 小麦种质对茎基腐病抗性评价及优异种质筛选. 植物遗传资源学报, 2020, 21(2): 308-313
- Jin J J, Qi Y Z, Wang L, Wang F F, Yan C M, Li B Y, Xie C J, Zhen W C, Ma J. Evaluation of Chinese wheat germplasm resources for crown rot resistance. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(2): 308-313
- [25] Geber J, Murphy E. Scurvy in the great Irish famine: Evidence of vitamin C deficiency from a Mid-19th century skeletal population. American Journal of Physical Anthropology, 2012, 148(4): 512-524
- [26] Yoshida K, Schuenemann V J, Cano L M, Pais M, Mishra B, Sharma R, Lanz C, Martin F N, Kamoun S, Krause J, Thines M, Weigel D, Burbano H A. The rise and fall of the *Phytophthora infestans* lineage that triggered the Irish potato famine. eLife, 2013(2): e00731
- [27] 姚海峰, 仇智灵, 沈肖玲, 楼兵干, 顾建强, 祝小祥. 甘薯茎腐病传播侵染途径与田间发病流行因子探讨. 中国农学通报, 2020, 36(30): 112-119
- Yao H F, Qiu Z L, Shen X L, Lou B G, Gu J Q, Zhu X X. The stem and root rot of sweet potato: Dispersal and infection path and field epidemic factors. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(30): 112-119
- [28] 楼兵干, 沈肖玲, 陆国权, 林贤宝, 李月红, 张勇, 卢英. 甘薯种质资源茎腐病抗性分析. 浙江农业科学, 2018, 59(12): 2204-2207
- Lou B G, Shen X L, Lu G Q, Lin X B, Li Y H, Zhang Y, Lu Y. Resistance analysis of germplasm resources to stem and root rot of sweetpotato. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(12): 2204-2207
- [29] 李信申, 肖运萍, 黄瑞荣, 魏林根, 汪瑞清, 华菊玲. 芝麻青枯病严重度对芝麻生长与产量的影响. 植物保护学报, 2019, 46(4): 762-769
- Li X S, Xiao Y P, Huang R R, Wei L G, Wang R Q, Hua J L. Effects of bacterial wilt on the growth and yield traits of sesame. Journal of Plant Protection, 2019, 46(4): 762-769
- [30] 徐强, 梁继农, 曹碚生, 江解增. 菱白纹枯病发生规律及产量损失测定. 植物保护学报, 2002, 29(2): 114-118
- Xu Q, Liang J N, Cao B S, Jiang X Z. The epidemic development of water bamboo sheath blight and its yeild loss assessment. Journal of Plant Protection, 2002, 29(2): 114-118
- [31] 王爽, 刘顺通, 乔奇, 张德胜, 秦艳红, 张振臣. 甘薯病毒病害 SPVD 抗性鉴定方法及产量损失估计. 植物保护学报, 2014, 41(2): 176-181
- Wang S, Liu S T, Qiao Q, Zhang D S, Qin Y H, Zhang Z C. Methodology for identification of disease resistance of sweet potato cultivars to sweet potato virus disease and yield loss estimation. Journal of Plant Protection, 2014, 41(2): 176-181