

甘薯种质基腐病抗性鉴定和分析

刘也楠¹, 黄立飞^{2*}, 何贤彪¹, 刘伟明^{3*}

(1. 台州市农业科学研究院, 浙江 台州 318000; 2. 广东省农业科学院作物研究所, 广东省农作物遗传改良重点实验室, 广州 510640; 3. 台州科技职业学院, 浙江 台州 318020)

摘要: 为探索甘薯基腐病田间抗性鉴定方法和筛选抗病种质, 该研究对经过 1~3 a 试验筛选的 81 份甘薯(*Ipomoea batatas*)抗性或性状优良的种质进行田间抗病性鉴定, 并分析甘薯不同生育时期的病情变化, 以及不同抗性等级对鲜薯产量损失率的影响。结果表明, 在 81 份种质中, 表现为高抗和抗的种质分别有 24 和 11 份。生长期从 90 到 120 d 的病情变化明显, 尤其是感病种质的 4 级病级比例迅速提高。鲜薯产量与病情指数呈极显著的负相关($r=-0.9781^{**}$), 每下降 1 个抗性等级, 鲜薯平均产量损失率将增加 19.35%。生长期 120 d 时发病率与病情指数之间呈极显著正相关($r=0.9925^{**}$), 除病情指数外, 发病率也可作为甘薯基腐病抗性鉴定指标。

关键词: 甘薯基腐病; 种质; 抗性; 发病率; 病情指数

doi: 10.11926/jtsb.4874

CSTR:32235.14.jtsb.4874

Identification and Analysis of Resistance to Foot Rot of Sweetpotato Germplasm

LIU Yenan¹, HUANG Lifei^{2*}, HE Xianbiao¹, LIU Weiming^{3*}

(1. Taizhou Academy of Agricultural Sciences, Taizhou 318000, Zhejiang, China; 2. Crop Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of Crops Genetics and Improvement, Guangzhou 510640, China; 3. Taizhou Vocational College of Science and Technology, Taizhou 318020, Zhejiang, China)

Abstract: In order to explore the field resistance identification method of sweet potato (*Ipomoea batatas*) foot rot and to screen resistant germplasm, a total of 81 germplasms with resistance or other traits were identified after 1–3 years experiment, and the disease changes in different growth stages of sweet potato and the effects of different resistance grades on the yield loss rate of fresh sweet potato were analyzed. The results showed that among the 81 germplasms, 24 and 11 were highly resistant and resistant, respectively. From 90 to 120 d of growth stage, the disease changed obviously, especially the proportion of grade 4 disease of the susceptible species increased rapidly. There was a significant negative correlation between fresh potato yield and disease index ($r=-0.9781^{**}$), and the average yield loss rate of fresh potato increased by 19.35% for each resistance grade decrease. At 120 d of growth stage, there was a significant positive correlation between incidence and disease index ($r=0.9925^{**}$). Therefore, in addition to disease index, incidence could also be used as an index to identify resistance to foot rot of sweet potato.

Key words: Sweet potato foot rot; Germplasm; Resistance; Incidence rate; Disease index

收稿日期: 2023-11-16 接受日期: 2024-01-18

基金项目: 浙江省农业(粮食)新品种选育重大科技专项(2016C02050-7-3); 浙江省农业(旱粮)新品种选育重大科技专项(2021C02064-1); 台州市农业类重点科技项目(1701ny12); 台州市科技计划项目(23nya01); 国家甘薯产业技术体系项目(CARS-10)资助

This work was supported by the Project for Agricultural (Grain) New Varieties Breeding Major Science and Technology in Zhejiang (Grant No. 2016C02050-7-3), the Project for Agricultural (drought grain) New Varieties Breeding Major Science and Technology in Zhejiang (Grant No. 2021C02064-1), the Project for Agricultural Key Science and Technology in Taizhou (Grant No. 1701ny12), the Project for Science and Technology Plan in Taizhou (Grant No. 23nya01), and the Project for National Sweet Potato Industry Technology System (Grant No. CARS-10).

作者简介: 刘也楠(1990年生), 女, 主要从事农学、园艺专业相关技术研究、推广。E-mail: 544136843@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hlfl57@163.com; lw4567878@163.com

甘薯(*Ipomoea batatas*)为旋花科(*Convolvulaceae*)甘薯属块根作物,不仅富含淀粉、膳食纤维、矿物质等,而且还含胡萝卜素、去氢表雄酮等成分,具有调节血糖、提高免疫力、预防癌症等功能^[1-2]。甘薯在我国粮食作物中占有重要地位,其产量仅次于水稻(*Oryza sativa*)、小麦(*Triticum aestivum*)和玉米(*Triticum aestivum*),此外,也是重要的工业原料作物和饲料作物^[3-4]。浙江省的甘薯主要用于鲜食和淀粉加工等,是山区半山区农村经济的重要补充。然而,2010年浙江省台州市部分区域出现甘薯茎基部腐烂病(后简称基腐病)^[5],主要表现为7月初前后甘薯茎基部变褐(或暗褐色),并逐渐坏死,中后期薯块出现腐烂,重病田甘薯绝收,即使病田有薯块收获,也易腐烂,难以贮藏。此后该病害在浙江省温州市、宁波市、舟山市、丽水市、金华市、绍兴市等地陆续发现,随着病害流行区域的不断扩大,甘薯种植面积快速下降,甘薯基腐病成了浙江省甘薯生产受威胁最大的病害。2011年笔者团队开始进行甘薯地轮作试验,结果表明轮作未能降低病害发病率及产量损失,采用其他农业防控方法也未能取得明显效果^[5];2013年和2016—2018年开展病害的化学防治试验,多菌灵等药剂虽能取得较好防效,但防治浓度要比其推荐的浓度高得多^[6-8];2015—2018年对浙江省甘薯基腐病主要病区开展调查,并在11个县市区的44个村采集病样127份,主要鉴定到爪哇镰孢(*Fusarium javanicum*)、甘薯间座壳菌(*Diaporthe batatas*)、毁灭性拟茎点霉(*Phomopsis destruens*)、拟轮枝镰孢菌(*F. verticillioides*)、尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)、腐皮镰刀菌(*F. solani*)、齐整小核菌(*Sclerotium rolfsii*)和达旦提狄克氏菌(*Dickeya dadantii*)等8种致病菌,地区不同病原菌组成分布也有所不同,且多种致病菌复合侵染为害的现象较为普遍^[9],根据鉴定结果,在临海市东塍镇沙溪下村建立了甘薯基腐病田间病圃,病圃主要致病菌为毁灭性拟茎点霉、拟轮枝镰孢菌、甘薯间座壳菌、腐皮镰刀菌、尖孢镰刀菌和爪哇镰孢;10多年来,在现有甘薯品种中鉴定筛选抗病品种^[10],并开展甘薯基腐病田间自然诱导抗性鉴定试验、抗病种质创制及新品种选育与应用等研究。近几年来,从现有品种中鉴定筛选出了抗病品种‘浙薯255’,2019—2022年在病区多点示范应用,平均鲜薯产量33.46 t/hm²,比‘浙薯13’等对照品种平均鲜薯产量13.14 t/hm²增产154.55%^[10];分别以‘广薯79’、‘绵紫薯9号’为母

本,通过开放授粉杂交获得后代,结合病圃抗病性鉴定等,培育出了甘薯基腐病抗性强、综合性状优良的甘薯新品系‘广台薯1号’和‘台紫薯1号’,2022年在浙江省温岭市大溪镇示范,其甘薯基腐病发病率分别为8.36%和10.71%,产量分别为35.62和34.43 t/hm²,对照品种‘浙薯13’的发病率62.13%,产量17.69 t/hm²,‘广台薯1号’和‘台紫薯1号’分别比对照‘浙薯13’增产101.36%和94.65%;2023年‘广台薯1号’在浙江省台州市黄岩区黄杜岙村甘薯基腐病田间进行生产试验,结果‘广台薯1号’和对照‘浙薯13’的甘薯基腐病发病率分别为4.38%和77.41%,产量分别为39.78和18.25 t/hm²,抗病品种‘广台薯1号’的增产率达到了118.04%。通过一系列的试验研究和生产调查认为,选育与应用抗病品种是防控甘薯基腐病最经济有效的措施。本文在前期鉴定甘薯基腐病病原菌、病害防控试验、抗病种质创制及新品种选育的基础上,旨在进一步明确甘薯基腐病田间抗性鉴定方法和抗病种质筛选指标,为甘薯基腐病抗病育种提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为81份甘薯(*Ipomoea batatas*)种质(表1),其中编号1~45种质来源于广东省农业科学院作物研究所2018—2020年提供的以‘广薯87’、‘广薯79’、‘绵紫薯9号’为母本,通过开放授粉杂交获得的1500多份低代材料中,经过1~3 a田间试验筛选保留的甘薯基腐病抗性相对较强,或薯型、表皮颜色、肉色和产量等性状较好的45份育种材料;编号46~75种质来源于台州市农业科学研究所和台州科技职业学院于2019年从以‘广台薯1号’、‘台紫薯1号’、‘浙薯255’、‘台广薯1号’、‘广台紫薯1号’、‘浙紫薯3号’为母本,通过开放授粉杂交获得的1300多份低代材料中,经过2 a田间试验筛选保留的甘薯基腐病田间抗性相对较强,或其他性状较好的30份育种材料;编号76~81种质是浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所提供的6个对甘薯基腐病具有不同抗性的对照品种(高抗品种‘浙薯255’,抗品种‘浙薯38’,高感品种‘浙薯13’、‘心香’、‘浙薯75’、‘浙紫薯3号’)。

1.2 试验设计

试验采用田间自然诱导鉴定种质抗性,于2021

表 1 81 份甘薯种质

Table 1 81 germplasm resources of *Ipomoea batatas*

编号 Code	种质 Germplasm	编号 Code	种质 Germplasm	编号 Code	种质 Germplasm	编号 Code	种质 Germplasm
1	117	22	19-71	43	20-76	64	T5-1
2	682	23	19-74	44	20-78	65	T5-2
3	779	24	19-79	45	20-87	66	T5-3
4	824	25	19-80	46	A11	67	T5-4
5	19-4	26	19-87	47	A37	68	T5-5
6	19-11	27	19-91	48	A203	69	T5-6
7	19-13	28	19-96	49	A407	70	T5-7
8	19-14	29	19-104	50	A849	71	T5-8
9	19-15	30	19-105	51	T1-4	72	T5-10
10	19-17	31	19-107	52	T1-6	73	T5-12
11	19-18	32	19-121	53	T1-7	74	T5-13
12	19-22	33	19-123	54	T1-9	75	T5-21
13	19-25	34	19-125	55	T1-14	76	‘浙薯 255’
14	19-26	35	19-131	56	T2-1	77	‘浙薯 38’
15	19-27	36	19-133	57	T2-2	78	‘浙薯 13’
16	19-28	37	20-2	58	T2-3	79	‘心香’
17	19-34	38	20-9	59	T3-2	80	‘浙薯 75’
18	19-39	39	20-13	60	T3-3	81	‘浙紫薯 3 号’
19	19-52	40	20-23	61	T3-4		
20	19-55	41	20-41	62	T3-5		
21	19-65	42	20-47	63	T4-2		

年在浙江省临海市东塍镇沙溪下村甘薯基腐病重病田上进行。多年来,该田块一直被作为甘薯基腐病抗病种质创制及新品种选育的基腐病自然诱发鉴定圃,高感甘薯品种‘心香’和‘浙薯 13’于 5 月中旬至 6 月上旬在该鉴定圃扦插,10 月下旬至 11 月上旬收获,发病率均达 100%。试验于 5 月 29 日扦插,垄距 80 cm,株距 20 cm,每份种质单垄扦插 10 株,3 个重复,随机区组排列。试验过程中,不使用杀菌剂,栽培管理精细,四周设置保护行。

1.3 方法

病情调查 分别在生长 90 和 120 d 时,对每个种质的植株进行田间发病率和病情指数调查,120 d 时还对每个种质进行测产。

发病率、病情指数分析 计算同一抗性等级的发病率、病情指数平均值,然后对不同抗性等级种质的发病率、病情指数的平均值进行差异显著性比较分析。

病级分布 计算不同时期所有参试种质发病总株数中 1~4 级病株的分布比例,以及同一抗性等级发病总株数中 1~4 级病株的分布比例,比较不同时期和不同抗性等级的发病植株病级分布变化。

发病率与病情指数相关性分析 建立反映

种质的发病率和病情指数的回归方程,通过病情指数的 5 级抗性等级赋值,测算依据发病率的甘薯基腐病抗性等级指标。

发病率和生育期的关系 把 120 d 时鉴定归类的高抗、抗、中抗 3 个抗性等级各种质的发病率,分别与 90 d 时同一种质的发病率作相关分析,以探讨生育期 90 d 时依据发病率大致确定种质抗性的可能性。

病情指数和生育期的关系 把 120 d 时鉴定归类的高抗、抗、中抗 3 个抗性等级各种质的病情指数,分别与 90 d 时同一种质的病情指数作相关分析,以探讨生长期 90 d 时依据病情指数大致确定种质抗性的可能性。

鲜薯产量 计算同一抗性等级的鲜薯产量平均值,然后对不同抗性等级种质的鲜薯产量平均值进行差异显著性比较分析;鲜薯产量为完好鲜薯产量。

鲜薯产量损失率评估 通过建立种质的病情指数和鲜薯产量关系的回归方程,以病情指数为 0 时的产量估计值为对照,评估不同抗性等级的产量损失率。

1.4 数据的统计分析

数据分析采用 DPS 17.10 软件,差异显著性分

析采用 Duncan 氏新复极差法。

2 结果和分析

2.1 种质抗性

本研究把甘薯基腐病的发病等级分为 5 级：0 级，植株不发病，生长正常；1 级，植株茎基部有不规则褐色或暗褐色病斑，生长基本正常；2 级，植株茎基部完全褐变腐烂，或枯死分枝数≤总分枝数的 1/3；3 级，植株茎基部完全褐变腐烂，或枯死分枝数>总分枝数的 1/3，但至少有一个分枝存活；4 级，植株的全部分枝基部完全褐变腐烂，或全株枯死。抗性分 5 级：以生育期 120 d 时的病情指数为抗性鉴定标准，高抗，病情指数≤20；抗，20<病情指数≤40；中抗，40<病情指数≤60；感，60<病情指数≤80；高

感，病情指数>80。因此由表 2 可知，生长 90 d 时，抗病等级为高抗(‘浙薯 255’)、抗(‘浙薯 38’)和高感(‘浙薯 13’、‘心香’、‘浙薯 75’、‘浙紫薯 3 号’)的各对照品种的病情还处于相对轻症阶段，未能反映出实际抗性水平，但此时不同抗性等级间的发病率和病情指数已呈显著或极显著差异。到 120 d 时，病情出现了明显变化，尤其是 4 个高感品种的病情指数急剧跃升，从 28.33~39.17 上升到 83.33~92.50，病情迅速加重；各等级间的平均发病率和病情指数差异极显著；‘浙薯 255’的病情指数虽然从 1.67 上升到了 13.33，但仍判定为高抗，‘浙薯 38’抗性等级已下降为抗，4 个高感品种的病情指数已能反映出其实际抗性水平，达到了高感等级。结合以往生产实际中的品种抗性表现判断，以 120 d 时的病情指数作为抗性鉴定标准，能够较好地反映对照品种的抗性水平。

表 2 对照品种病情变化

Table 2 Disease changes of control varieties at different growth periods

品种 Variety	平均发病率 Average incidence rate /%			平均病情指数 Average disease index		
	90 d	120 d	增加 Increment	90 d	120 d	增加 Increment
‘浙薯 255’	6.67±0.96eB	23.33±6.94cC	16.66	1.67±0.48eC	13.33±5.08cC	11.66
‘浙薯 38’	20.00±6.74dB	40.00±1.93bB	20.00	7.50±1.93dC	28.33±2.60bB	20.83
‘浙薯 13’	56.67±9.18abA	86.67±5.09aA	30.00	30.83±7.28bcAB	85.83±3.61aA	55.00
‘心香’	63.33±6.31aA	93.33±3.85aA	30.00	39.17±2.93aA	92.50±2.60aA	53.33
‘浙薯 75’	53.33±4.81bcA	86.67±5.09aA	33.34	35.83±1.74abAB	84.17±5.73aA	48.34
‘浙紫薯 3 号’	46.67±0.96cA	86.67±5.09aA	40.00	28.33±2.68cB	83.33±6.89aA	55.00

同列数据后不同大写和小写字母分别表示差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)。下同

Data followed different capital and lowercase letters indicate significant difference at 0.01 and 0.05, respectively. The same below

以 120 d 时的病情指数为抗性鉴定标准对各种质材料的抗性进行分级，比较不同抗性等级种质在 120 d 和 90 d 时的平均发病率和平均病情指数，发现病情出现了明显变化(表 3)，除高抗等级外，同一抗性等级的病情指数增速均高于发病率增速，从高抗到高感种质，平均发病率和平均病情指数的上升速度不断加快，说明基腐病在甘薯生长中后期病

情发展较快，尤其是感病种质的病情发展更快；不同抗性等级间的发病率和病情指数均存在极显著差异。

结果表明，生长 90 d 时，发病植株的病级以 2 级为主，占发病植株的 69.11%，其次是 3 级，占 16.25%，1 级和 4 级分别仅占 10.10%和 4.54%；而到 120 d 时，1、2、3 和 4 级发病植株占比分别为

表 3 种质的病情变化

Table 3 Disease changes of germplasms

抗性等级 Resistance	数量 Number	平均发病率 Average incidence rate /%			平均病情指数 Average disease index		
		90 d	120 d	增加 Increment	90 d	120 d	增加 Increment
高抗	24	4.44±0.98eE	13.06±0.70eE	8.62	1.25±0.35eE	8.85±0.96eE	7.60
抗	11	17.27±2.30dD	38.48±0.40dD	21.21	9.47±1.42dD	32.88±1.34dD	23.41
中抗	14	29.52±0.11cC	55.24±1.41cC	25.72	15.83±0.62cC	49.52±1.13cC	33.69
感	17	43.92±2.41bB	70.20±1.90bB	26.28	23.43±0.97bB	66.52±1.66bB	43.09
高感	15	55.78±3.87aA	91.11±2.80aA	35.33	32.17±2.44aA	89.11±2.27aA	56.94

0.66%、3.38%、25.04%和 70.67%，表现为 1、2 级病级快速向 3、4 级病级发展，尤其是 4 级上升显著。

从表 4 可见，生长 90 d 时，高抗种质的发病植株主要以 1 级病级为主，占 84.37%，没有 3 级和 4 级病株；其他抗性种质的发病植株均以 2 级病级为主，约占 70%，其次为 3 级病级，占比不到 20%，并已出现 4 级病级植株，病情还处于前中期发展阶段。生长到 120 d 时，高抗种质的发病植株主要以 3 级病级为主，占 63.33%，其次为 2 级病级，占 22.22%，4 级病级仅占 6.67%；抗性种质的发病植株主要以 3

级和 4 级病级为主，分别占 45.74%和 44.18%，中抗、感、高感种质的 1、2 级病株几乎为 0，4 级病株占比分别达 59.13%、80.06%和 91.20%，总体上呈现出抗性越弱，发病植株的 4 级病级比例越高的趋势。1、2 级轻症病株主要出现在高抗等级中，高抗等级不仅发病率低，而且其病株的病情发展也较慢。比较 90 和 120 d 的病情发展可以发现，甘薯基腐病在生长中后期不仅病情发展快，而且感病种质绝大多数病株的茎基部已完全病变腐烂或全株枯死。

表 4 发病植株的病级分布

Table 4 Disease grade distribution of diseased plants

抗性 Resistance	时间 (d) Time	发病等级 Disease level			
		1 /%	2 /%	3 /%	4 /%
高抗	90	84.37	15.63	0	0
	120	7.87	22.46	61.80	7.87
抗	90	7.14	73.22	16.07	3.57
	120	0.78	9.30	45.74	44.18
中抗	90	6.61	74.38	15.70	3.31
	120	0	3.48	37.39	59.13
感	90	11.16	69.20	15.62	4.02
	120	0	0	19.61	80.39
高感	90	2.00	72.40	19.20	6.40
	120	0	0.24	8.56	91.20

2.2 发病率和病情指数的关系

分析 120 d 时发病率和病情指数的相互关系可知，发病率与病情指数之间呈极显著正相关，相关系数 $r=0.992\ 5^{**}$ ，因此，除病情指数外，发病率也可作为甘薯基腐病抗性鉴定指标。通过建立发病率(y)与病情指数(x)的回归方程 $y=5.1189+0.9796x$ ($P<0.01$)，则可划分依据发病率的甘薯基腐病抗性鉴定等级：高抗，发病率 $\leq 25\%$ ；抗， $25\%< \text{发病率} \leq 44\%$ ；中抗， $44\%< \text{发病率} \leq 64\%$ ；感， $64\%< \text{发病率} \leq 83\%$ ；高感，发病率 $>83\%$ 。

为了探索生长 90 d 时依据发病率确定抗性较强种质的可能性，分别对高抗、抗、中抗 3 个抗性等级的发病率对应关系进行分析，结果表明只有高抗种质 90 d 时的发病率和 120 d 时的发病率呈极显著相关($r=0.745\ 4^{**}$)，通过建立高抗种质 90 d 时的发病率(y)与 120 d 时的发病率(x)的回归方程 $y=0.50049+0.3120x$ ($P<0.01$)，可确定 90 d 时基于发病率的甘薯基腐病高抗等级发病率 $<4\%$ 。

对高抗、抗、中抗 3 个抗性种质的病情指数对

应关系的分析表明，只有高抗种质 90 d 时的病情指数和 120 d 时的病情指数呈极显著相关($r=0.716\ 8^{**}$)，通过建立高抗等级 90 d 时的病情指数(y)与 120 d 时的病情指数(x)的回归方程 $y=0.12256+0.1336x$ ($P<0.01$)，可确定 90 d 时基于病情指数的甘薯基腐病高抗种质的病情指数 <3 。

综上，对 81 个种质的甘薯基腐病抗性鉴定结果表明(表 5)，高抗、抗、中抗、感和高感 5 个等级的种质分别有 24、11、14、17 和 15 个。

2.3 种质抗性对鲜薯产量的影响

在生长 120 d 时，对照高抗品种‘浙薯 255’、抗品种‘浙薯 38’、高感品种‘浙薯 13’、‘心香’、‘浙薯 75’和‘浙紫薯 3 号’的平均鲜薯产量分别为 29.69、27.17、3.95、1.85、3.38 和 3.17 t/hm²，不同抗性品种的平均鲜薯产量间存在极显著差异；同是高感的 4 个对照品种中，‘心香’的鲜薯产量显著低于‘浙薯 13’，其他 3 个高感品种间的产量差异不显著；4 个高感品种的平均产量只有 3.09 t/hm²。

81 个种质中，从高抗到高感 5 个抗性等级的平

表 5 抗性鉴定结果

Table 5 Identification results of disease resistance

编号 Code	种质 Germplasm	病情指数 Disease index	抗性 Resistance	编号 Code	种质名称 Germplasm	病情指数 Disease index	抗性 Resistance
1	117	10.00	高抗	42	20-47	65.00	感
2	682	2.50	高抗	43	20-76	50.83	中抗
3	779	16.67	高抗	44	20-78	62.50	感
4	824	14.17	高抗	45	20-87	85.83	高感
5	19-4	60.83	感	46	A11	7.50	高抗
6	19-11	70.00	感	47	A37	30.83	抗
7	19-13	15.83	高抗	48	A203	100.00	高感
8	19-14	12.50	高抗	49	A407	19.17	高抗
9	19-15	87.50	高感	50	A849	50.00	中抗
10	19-17	60.83	感	51	T1-4	7.50	高抗
11	19-18	77.50	感	52	T1-6	0.00	高抗
12	19-22	64.17	感	53	T1-7	7.50	高抗
13	19-25	51.67	中抗	54	T1-9	9.17	高抗
14	19-26	85.00	高感	55	T1-14	48.33	中抗
15	19-27	79.17	感	56	T2-1	43.33	中抗
16	19-28	83.33	高感	57	T2-2	63.33	感
17	19-34	2.50	高抗	58	T2-3	4.17	高抗
18	19-39	65.83	感	59	T3-2	27.50	抗
19	19-52	34.17	抗	60	T3-3	40.00	抗
20	19-55	100.00	高感	61	T3-4	2.50	高抗
21	19-65	39.17	抗	62	T3-5	32.50	抗
22	19-71	67.50	感	63	T4-2	17.50	高抗
23	19-74	53.33	中抗	64	T5-1	0.00	高抗
24	19-79	100.00	高感	65	T5-2	9.17	高抗
25	19-80	66.67	感	66	T5-3	25.83	抗
26	19-87	95.00	高感	67	T5-4	22.50	抗
27	19-91	53.33	中抗	68	T5-5	50.83	中抗
28	19-96	84.17	高感	69	T5-6	50.00	中抗
29	19-104	36.67	抗	70	T5-7	54.17	中抗
30	19-105	87.50	高感	71	T5-8	4.17	高抗
31	19-107	49.17	中抗	72	T5-10	0.00	高抗
32	19-121	61.67	感	73	T5-12	41.67	中抗
33	19-123	39.17	抗	74	T5-13	10.00	高抗
34	19-125	49.17	中抗	75	T5-21	0.00	高抗
35	19-131	40.83	中抗	76	‘浙薯 255’	13.33	高抗
36	19-133	75.00	感	77	‘浙薯 38’	28.33	抗
37	20-2	85.00	高感	78	‘浙薯 13’	82.50	高感
38	20-9	60.83	感	79	‘心香’	90.00	高感
39	20-13	68.33	感	80	‘浙薯 75’	84.17	高感
40	20-23	62.50	感	81	‘浙紫薯 3 号’	83.33	高感
41	20-41	15.83	高抗				

均鲜薯产量分别为 28.26、21.55、16.60、11.98 和 3.06 t/hm²，不同抗性种质间表现为抗性越差产量越低的趋势，不同抗性等级间的鲜薯产量均存在极显著差异，高抗的平均鲜薯产量是高感的 9.25 倍。

以 120 d 时的病情指数为种质的抗性水平，则病情指数越低，抗性水平越高。统计分析表明，鲜

薯产量与病情指数呈极显著的负相关($r=-0.978\ 1^{**}$); 可以鲜薯产量(y)与病情指数(x)的回归方程 $y=31.1367-0.3012x$ 估算不同抗性种质的鲜薯产量。把病情指数为 0 时的产量估计值 31.14 t/hm² 作为对照，则估计产量损失率(%)= $0.3012x/31.1367\times100\%$ ，即种质抗性每降低 1 个等级，其鲜薯平均产量损失率将增

加 19.35%。这表明选用抗病品种对于甘薯基腐病的防控效果十分明显。

3 讨论和结论

甘薯基腐病发病时间的迟早取决于夏季多雨潮湿天气的提前或推后^[5]。2022 年从 6 月下旬开始到 8 月底, 由于连续的高温干旱, 田间湿度低, 高感品种‘浙薯 13’、‘心香’在生长 120 d 时的发病率为 71.7% 和 74.3%, 病情指数为 57.5 和 62.5, 到 130 d 时的发病率分别达到 86.67%、90.00%, 病情指数分别为 84.17、85.83, 才体现出品种本来的抗性水平。因此, 在正常年份把生长期 120 d 作为甘薯基腐病抗性鉴定的时间节点是适当的, 但在一些特殊年份则要酌情调整, 即在抗性鉴定时, 应设置不同抗性等级的对照品种, 尤以高感对照品种的设置更为重要, 以高感品种的抗性水平达到高感等级后, 再进行种质的抗性调查鉴定较为合理。

本研究各抗性等级种质 90 d 时的发病率和病情指数还相对较低, 显然, 把 90 d 作为甘薯基腐病田间自然诱导抗性鉴定的时间节点还为时尚早; 本研究对生长 90 和 120 d 时的高抗、抗和中抗 3 个抗性等级的发病率对应关系和病情指数对应关系的分析结果表明, 只有高抗等级 90 和 120 d 的发病率对应关系和病情指数对应关系呈高度相关, 其原因还有待于继续深入研究。本研究提出的生长 90 d 时高抗等级的发病率和病情指数鉴定指标, 可作为甘薯生育中期早代抗病育种材料鉴定筛选的参考。

从 2011 年开始, 笔者团队通过一系列的甘薯基腐病防控试验, 提出了防控甘薯基腐病的策略、途径是采取以选育与应用抗病品种为基础, 以农业防控和化学防控为辅助的综合防控措施^[5], 本研究也再次印证了选用抗病品种对防控甘薯基腐病的有效性。有关甘薯抗病种质创制及新品种选育方面的研究报道很少, 能够检索到的主要有甘薯根腐病^[11-12]、黑斑病^[13-14]、茎线虫病^[15-16]等抗病育种, 但数量有限, 也有学者进行了甘薯蔓割病、甘薯瘟病等抗病种质筛选鉴定等研究^[17-18], 而对于甘薯基腐病抗病育种的相关工作, 尚处起步阶段。

对甘薯基腐病调查和病原鉴定的研究表明^[9], 有多种病原菌能引起甘薯茎基部腐烂, 除毁灭性拟茎点霉为甘薯基腐病的病原菌外, 笔者团队首次发现拟轮枝镰孢菌也能引起甘薯基腐病^[9]; 甘薯间座

壳菌除能引起甘薯干腐病^[19], 也是甘薯基腐病的致病菌, 且与毁灭性拟茎点霉所引起的病害症状十分相似^[9]; 腐皮镰刀菌和尖孢镰刀菌能引起甘薯根腐病^[20-21], 这 2 种病原菌还可引起甘薯茎根腐烂病和甘薯镰刀菌干腐病^[19,22]; 在浙江省温岭市、临海市等地甘薯病样中分离到的爪哇镰孢的致病力明显高于腐皮镰刀菌^[9,23]。此外, 在病样中还分离到了齐整小核菌和达旦提狄克氏菌。因此, 引起甘薯基腐病的病原菌较多, 其互作和复合侵染^[9]等因素复杂, 这给农业和药剂等防治措施带来了较大难度, 同时对抗病品种选育也提出了更高的要求。多年来, 笔者团队以甘薯基腐病病原菌构成复杂的重病圃为抗病育种基地, 采用田间自然诱导鉴定抗性, 筛选抗病种质, 取得了一定进展, 选育的‘广台薯 1 号’和‘台紫薯 1 号’在类似病区种植示范取得了较好的抗病增产效果。

本研究结果表明, 以生育期 120 d 时的病情指数为鉴定指标, 对照品种‘浙薯 255’、‘浙薯 38’、‘浙薯 13’、‘心香’、‘浙薯 75’、‘浙紫薯 3 号’的抗性表现与以往生产实际相符, ‘浙薯 255’和‘浙薯 38’分别表现为高抗和抗, ‘浙薯 13’、‘心香’、‘浙薯 75’、‘浙紫薯 3 号’均表现为高感; 并且从 81 份种质整体上看, 病情指数越高, 鲜薯产量越低, 两者呈极显著负相关, 这也能较好地体现种质的抗性水平。因此, 本研究基于田间自然诱导的甘薯基腐病抗性鉴定方法是基本可行的。本研究还表明, 在甘薯生长期绝大多数感病植株基部已完全腐烂或枯死, 发病率与病情指数呈极显著正相关, 因此, 发病率也可作为甘薯基腐病田间自然诱导抗性鉴定指标, 这对于大批量早代抗病育种材料的快速鉴定筛选尤为高效。

参考文献

- [1] CHEN P F, ZOU H F, HUANG S R, et al. *In vitro* antioxidant and anticancer properties of dehydroepiandrosterone from sweet potato [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2022, 38(9): 71–79. [陈蓬凤, 邹浩峰, 黄师荣, 等. 甘薯去氢表雄酮的体外抗氧化活性与抗癌功效初探 [J]. *现代食品科技*, 2022, 38(9): 71–79. doi: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1171.]
- [2] JIA R X, CHEN Y H, ZHANG R, et al. Simultaneous determination of 13 carotenoids in sweetpotato by ultra-performance liquid chromatography [J]. *Acta Agron Sin*, 2023, 49(8): 2259–2274. [贾瑞雪, 陈伊航, 张荣, 等. 超高效液相色谱法同时测定甘薯中 13 种类胡萝卜素的

- 含量 [J]. 作物学报, 2023, 49(8): 2259–2274. doi: 10.3724/SP.J.1006.2023.24202.]
- [3] CAO R X, XU S, LI L, et al. Changes of cell wall components and degradation enzyme activity in sweetpotato storage roots during storage [J]. J China Agric Univ, 2020, 25(5): 59–69. [曹如霞, 徐舒, 李玲, 等. 甘薯块根贮藏期间细胞壁成分及降解酶活性变化 [J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(5): 59–69. doi: 10.11841/j.issn.1007-4333.2020.05.06.]
- [4] WANG X, LI Q, CAO Q H, et al. Current status and future prospective of sweetpotato production and seed industry in China [J]. Sci Agric Sin, 2021, 54(3): 483–492. [王欣, 李强, 曹清河, 等. 中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 483–492. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2021.03.003.]
- [5] LIU W M, HUANG L F, HE X B, et al. Stem rot disease of sweet potato: Prevention and control technology [J]. J Agric, 2017, 7(10): 19–24. [刘伟明, 黄立飞, 何贤彪, 等. 甘薯茎基部腐烂病防控技术研究 [J]. 农学学报, 2017, 7(10): 19–24. doi: 10.11923/j.issn.2095-4050.cjas17040014.]
- [6] HE X B, LIU W M. Preliminary report on control experiment of sweetpotato *Sclerotium rolfsii* [J]. Shanghai Agric Sci Technol, 2015(2): 133–134. [何贤彪, 刘伟明. 甘薯白绢病防治试验初报 [J]. 上海农业科技, 2015(2): 133–134. doi: 10.3969/j.issn.1001-0106.2015.02.086.]
- [7] HE X B, LIU W M, HUANG L F. Control effects of 9 fungicides on stem rot disease of sweet potato [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2017, 58(5): 806–808. [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 [J]. 浙江农业科学, 2017, 58(5): 806–808. doi: 10.16178/j.issn.0528-9017.20170527.]
- [8] HE X B, LIU Y N, LIU W M, et al. Prevention and control of fungicides on stem base rot of sweet potato [J]. Chin Agric Sci Bull, 2018, 34(32): 125–129. [何贤彪, 刘也楠, 刘伟明, 等. 不同杀菌剂对甘薯茎基部腐烂病的防控试验 [J]. 中国农学通报, 2018, 34(32): 125–129. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb18070060.]
- [9] HUANG L F, LIU W M, LIU Y N, et al. Investigation of stem base rot of sweetpotato and the pathogen identification [J]. Chin Agric Sci Bull, 2019, 35(18): 135–141. [黄立飞, 刘伟明, 刘也楠, 等. 甘薯茎基部腐烂病调查及病原鉴定 [J]. 中国农学通报, 2019, 35(18): 135–141. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb19030138.]
- [10] LIU Y N, LIU W M. ‘Zheshu 255’: Resistance to stem base rot and main cultivation techniques [J]. J Agric, 2021, 11(5): 22–27. [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 [J]. 农学学报, 2021, 11(5): 22–27. doi: 10.11923/j.issn.2095-4050.cjas2020-0114.]
- [11] SU W J, WANG L J, LEI J, et al. Identification of AFLP markers linked to a locus conferring inducible root rot in sweetpotato [J]. Hubei Agric Sci, 2011, 50(24): 5254–5255. [苏文瑾, 王连军, 雷剑, 等. 甘薯根腐病相关 AFLP 标记筛选 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50(24): 5254–5255. doi: 10.3969/j.issn.0439-8114.2011.24.066.]
- [12] ZHAO Y Q, XU Z, ZHANG C L, et al. Effects of sweetpotato root rot on yield of different resistant variety [J]. J Guangxi Agric, 2016, 31(6): 8–10. [赵永强, 徐振, 张成玲, 等. 甘薯根腐病对不同抗性品种产量的影响 [J]. 广西农学报, 2016, 31(6): 8–10. doi: 10.3969/j.issn.1003-4374.2016.06.003.]
- [13] XIE Y Z, YIN Q H, DAI Q W, et al. Identification of sweetpotato varieties for resistance to black rot and inheritance of the resistance [J]. J Plant Genet Resour, 2003, 4(4): 311–313. [谢一芝, 尹晴红, 戴起伟, 等. 甘薯品种抗黑斑病鉴定及其遗传趋势 [J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(4): 311–313. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2003.04.006.]
- [14] JIA Z D, XIE Y Z, YIN Q H, et al. Study progress and perspective of black rot resistant germplasm in sweetpotato [J]. J Plant Genet Resour, 2010, 11(4): 424–427. [贾赵东, 谢一芝, 尹晴红, 等. 甘薯抗黑斑病种质资源的研究及育种利用 [J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(4): 424–427. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2010.04.007.]
- [15] WANG X, MA D F, LI Q, et al. Initial application of SCAR markers linked to a gene for stem nematode disease resistance in assisted selection in sweetpotato breeding [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2009, 25(1): 49–53. [王欣, 马代夫, 李强, 等. 甘薯抗茎线虫病基因 SCAR 标记辅助育种初探 [J]. 江苏农业学报, 2009, 25(1): 49–53. doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2009.01.010.]
- [16] YANG G H, LI J X. A new sweetpotato variety Zhenghong 22 with high starch content and stem nematode resistance [J]. J Henan Agric Sci, 2011, 40(10): 44–45. [杨国红, 李君霞. 高抗茎线虫病、高淀粉兼用型甘薯新品种郑红 22 的选育 [J]. 河南农业科学, 2011, 40(10): 44–45. doi: 10.3969/j.issn.1004-3268.2011.10.013.]
- [17] FANG S M, CHEN Y S, GUO X D. Identifying and screening sweet potato varieties resistance to bacterial wilt and fusarium wilt diseases [J]. J Plant Genet Resour, 2001, 2(1): 37–39. [方树民, 陈玉森, 郭小丁. 甘薯兼抗薯瘟病和蔓割病种质筛选鉴定 [J]. 植物遗传资源科学, 2001, 2(1): 37–39. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2001.01.008.]
- [18] YU C Z, FU W Z, HUANG R F, et al. Selection and evaluation of sweetpotato germplasm with resistance to bacterial wilt [J]. J Plant Genet Resour, 2006, 7(2): 252–255. [余成章, 傅文泽, 黄瑞方, 等. 甘薯抗瘟种质创新与评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 252–255. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2006.02.025.]
- [19] Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Shandong Academy of Agricultural Sciences. Chinese Sweet Potato Cultivation [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984: 11–12, 265–294. [江苏

- 省农业科学院, 山东省农业科学院. 中国甘薯栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1984: 11–12, 265–294.]
- [20] LIU Q J, YE D C, XU Z T. On the root rot of sweetpotato [J]. Acta Phytopathol Sin, 1982(3): 21–28. [刘泉蛟, 叶道纯, 徐作珽. 甘薯根腐病的初步研究 [J]. 植物病理学报, 1982(3): 21–28. doi: 10.13926/j.cnki.apps.1982.03.003.]
- [21] LI L Y, XIAO H J, WANG W Q, et al. Isolation and molecular identification of pathogenic bacteria of sweet potato root rot disease [J]. Curr Biotechnol, 2016, 6(1): 67–70. [李凌燕, 肖海峻, 王伟青, 等. 北京大兴区甘薯根腐病原菌的分离及分子鉴定 [J]. 生物技术进展, 2016, 6(1): 67–70. doi: 10.3969/j.issn.2095-2341.2016.01.13.]
- [22] LUO Z X, FANG B P, HUANG L F, et al. Isolation and identification of the pathogens causing vine stalk and root rot of sweetpotato [C]// Sustainable Sweetpotato Production Technology for Food, Energy, Health and Environment. Beijing: China Agricultural University Press, 2008: 250–256.
- [23] CHEN X L, CHEN J Y, LUO Z X, et al. Indoor fungicide screening for two strains of *Fusarium* spp. with strong pathogenicity to sweet potato [J]. Chin Agric Sci Bull, 2023, 39(8): 106–111. [陈新亮, 陈景益, 罗忠霞, 等. 2 株甘薯强致病力镰刀菌的室内药剂筛选 [J]. 中国农学通报, 2023, 39(8): 106–111. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb2022-0251.]