

侯宗海,王光飞,马艳,等.不同温度下淹水对辣椒疫病的防效研究[J].江苏农业科学,2020,48(22):111-116.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.021

# 不同温度下淹水对辣椒疫病的防效研究

侯宗海<sup>1</sup>,王光飞<sup>2</sup>,马艳<sup>2</sup>,梁永红<sup>3</sup>,仇美华<sup>3</sup>

(1.江苏省丰县耕地质量保护站,江苏丰县 2217001; 2.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/

农业农村部长江下游平原农业环境重点实验室,江苏南京 210014; 3.江苏省耕地质量与农业环境保护站,江苏南京 210036)

**摘要:**以辣椒疫病发生严重的大棚土壤为研究对象,研究不同温度下淹水对不同辣椒疫霉数量病土辣椒疫病的防控效果,并对土壤常规微生物数量、辣椒疫霉数量进行动态分析,此外,也分析了与防病反应相关的植物生理指标。结果显示,土壤淹水会明显减少土壤中真菌、放线菌和辣椒疫霉的数量,而对细菌有增殖作用,这种现象在环境温度为 35℃/30℃时更为明显。温度设置为 30℃/25℃时,自然病土保湿处理病情指数在 55%以上,淹水 20、35 d 对自然病土防效均为 100%。自然病土接种辣椒疫霉孢子 1 000 个/g 后保湿处理病情指数在 80%以上,淹水 25、35 d 防效分别为 38.3%、28.3%。35℃/30℃下自然病土保湿和淹水处理均无发病,接菌病土保湿处理病情指数为 8.3%~11.7%,而淹水处理无发病。与防病反应相关的植物生理指标与病情指数呈显著或极显著正相关,这些进一步证实了温度偏高时淹水防控效果更佳,而淹水天数设为 20 d 即可。

**关键词:**土壤;淹水温度;辣椒疫霉;防控效果

**中图分类号:** S436.418.1<sup>+</sup>9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)22-0111-05

将病土进行淹水处理以抑制土传病害发生是一种常见的防病农艺措施<sup>[1-3]</sup>。有多位学者对淹水防控土传病害进行了研究,Pullman 等的研究显示,夏天长时间淹水可有效抑制棉花黄萎病,这与其显著削减土壤中大丽轮枝菌病原菌相关<sup>[4]</sup>。丝核菌、镰刀菌、青枯假单胞菌等土壤病原菌也能被淹水措施控制<sup>[5-7]</sup>。Stolzy 等研究表明,淹水措施能有效防治病原真菌引起的病害,但不能防治疫霉等低等卵菌土传病害<sup>[1]</sup>。也有研究表明,短期淹水反而能加快、加重疫霉引起的病害<sup>[8-9]</sup>。但在江苏省淮安市辣椒生产基地,有些农户将大棚土壤进行淹水以防控辣椒疫霉(*Phytophthora capsici* L.)引起的病害,并取得了一定的效果,但防控效果不稳定。可见,土壤淹水对辣椒疫病是有防效的。

土壤中辣椒疫霉的生存和致病性与土壤温度密切相关<sup>[10-11]</sup>,因此推测不同温度下的土壤淹水处理对辣椒疫病的防效具有差异性。鉴于实际生产中淹水措施主要在夏季进行,所以本试验以不同浓度辣

椒疫霉土壤为试验对象,人为模拟 2 种夏季田间温度环境,以研究不同温度下土壤淹水对辣椒疫病的防控效果。此外,我们在不同淹水温度的基础上设置淹水时间变量,以进一步判定淹水对辣椒疫病是否具有防控作用,并明确何种淹水条件下防控效果最佳。另外,通过对土壤常规微生物和辣椒疫霉进行动态定量分析,以明确淹水措施是否能改变土壤微生物,是否能减少土壤辣椒疫霉的数量,以及两者的联系。病情指数是不同条件下的淹水是否具有防控效果的最佳指标,但具有随机性和误差性。因此通过测定植株与防病反应相关信号物质的含量,可以更精确判定不同淹水条件对辣椒疫病的防控效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

在淮安市盐河镇辣椒大棚取试验土壤,大棚辣椒种植年限为 8 年,辣椒疫病严重。土壤基本性状为:有机质含量 31.53 g/kg、全氮含量 4.55 g/kg、全磷含量 1.45 g/kg、全钾含量 11.74 g/kg, pH 值 7.42。供试辣椒疫霉病菌为该棚辣椒病株分离所得。供试辣椒品种为洛椒 5 号。

### 1.2 试验方法

将土壤与草炭以体积比 5:1 混合,并加入 10 g/kg 的有机肥。土壤设置不同的辣椒疫霉接种

收稿日期:2020-06-19

基金项目:江苏省重点研发计划(编号:BE2019394)。

作者简介:侯宗海(1977—),男,江苏丰县人,高级农艺师,主要从事土壤肥料研究。E-mail: xftfz@163.com。

通信作者:马艳,博士,研究员,主要从事植物营养与废弃物资源化利用研究。E-mail: myjaas@sina.com。

浓度、水分管理和温度处理:辣椒疫霉接种浓度分别为 0、1 000 个/g;水分管理分别为保湿 20 d(对照 1)、淹水 20 d、保湿 35 d(对照 2)及淹水 35 d;温度处理分别为 30 ℃/25 ℃ 和 35 ℃/30 ℃。30 ℃/25 ℃ 即 30 ℃、12 h,25 ℃、12 h,间隔交替。35 ℃/30 ℃ 即 35 ℃、12 h,30 ℃、12 h,间隔交替。共计 16 个处理。环境温度通过气候箱设置。2012 年 3—4 月在气候箱的塑料箱(长、宽、高分别为 0.4、0.2、0.2 m)中进行淹水或保湿处理,淹水结束后将土壤摊开,置于阴暗通风处快速晾干后分装到 5 个塑料盆中(长、宽、高分别为 0.25、0.12、0.12 m),每盆移栽 3 棵辣椒苗。总计 15 棵辣椒苗,每 5 棵为 1 个重复。盆栽地点为江苏省农业科学院温室。

分别在淹水前、淹水后 4、9、18、27、35 d 和移栽后 10、20 d 取土,以接种辣椒疫霉孢子 1 000 个/g(干土)的保湿 35 d 组和淹水 35 d 组为分析对象,分析土壤中常规微生物和辣椒疫霉的数量动态变化。在辣椒发病前,各处理均取顶端第 4、5 张叶测定与植株防病反应相关的信号物质。移栽 20 d 后统计辣椒病情指数。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤常规微生物数量 真菌、细菌和放线菌数量测定采用试管梯度稀释涂平板法<sup>[12]</sup>。

1.3.2 土壤中辣椒疫霉数量 采用 MP 公司的 FastDNA 试剂盒提取土壤 DNA。采用 qPCR 技术测定辣椒疫霉菌数量,特异引物为 CAPFW(5′-TTTA GTTGGGGGTCTTGTACC-3′)和 CAPRV1(5′-CCT CCACAACCAGCAACA-3′)<sup>[13]</sup>。qPCR 试剂盒为 TaKaRa 公司的 SYBR premix Ex Taq<sup>[12]</sup>。将标准土样 DNA(接种 10、40、160、640、2 560、10 240 个/g 辣椒疫霉孢子的 6 个土样提取的 DNA)与待测土样 DNA 同时上机扩增,根据标准曲线计算出待测样品疫霉数量。

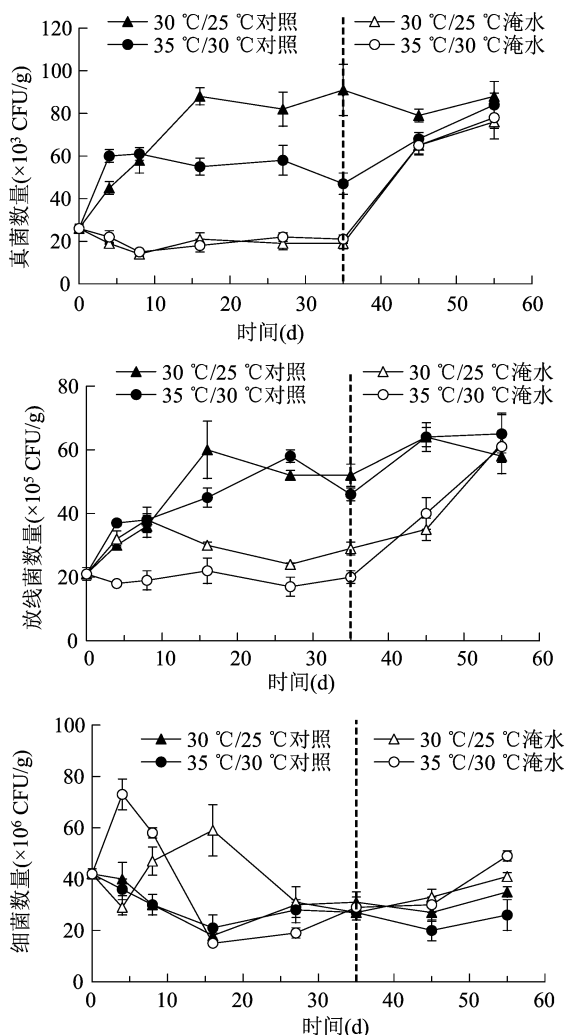
1.3.3 与辣椒植株防病反应相关信号物质的测定

测定辣椒叶片内几丁质酶活性、超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量<sup>[14]</sup>。几丁质酶活性采用显色法,以 1 g 叶片 1 h 分解胶体几丁质产生 *N*-乙酰氨基葡萄糖的微克数表示。 $O_2^- \cdot$  测定采用羟胺氧化反应法。 $H_2O_2$  含量测定采用  $Ti(IV) - H_2O_2$  比色法。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤及辣椒根际常规微生物数量动态变化

从图 1 可以看出,不同温度淹水处理下,土壤的真菌、细菌和放线菌数量的变化趋势各不相同。



图中虚线为处理期和栽植期的时间划分点。图 3 同  
图 1 不同温度淹水对土壤及辣椒根际真菌、细菌和放线菌数量的影响

土壤处理前 8 d,在 2 种温度下真菌变化趋势一致,即淹水组真菌数量明显下降,而对照真菌数量明显增加。随后,30 ℃/25 ℃ 对照组真菌数量继续上升,最后维持在  $88 \times 10^3$  CFU/g 左右,而 35 ℃/30 ℃ 对照组开始逐渐下降,处理结束时真菌数量为  $47 \times 10^3$  CFU/g。30 ℃/25 ℃ 淹水组和 35 ℃/30 ℃ 淹水组在淹水处理 8~35 d 真菌数量基本维持在  $19 \times 10^3$  CFU/g 左右。栽植辣椒后,30 ℃/25 ℃ 对照组真菌数量下降,降幅较小,其余组真菌数量明显增加,栽植 20 d 各组真菌数量相当。

30 ℃/25 ℃ 对照组、35 ℃/30 ℃ 对照组和 30 ℃/25 ℃ 淹水组的放线菌数量在 8 d 内都有较大的上升,而 35 ℃/30 ℃ 淹水组数量有所下降。随后,对照组数量继续上升,而 30 ℃/25 ℃ 淹水组数量开始下降。处理结束时,30 ℃/25 ℃ 淹水组与 35 ℃/30 ℃ 淹水组放线菌数量的比值是 1.45。辣

椒栽植后,对照组放线菌数量有一定的增加,而淹水组放线菌数量则猛增至对照组水平。

处理期 2 种温度下,对照组的细菌数量变化一致,在前 17 d 内下降较快,随后维持不变。淹水组的细菌数量变化较为复杂,但都有一个高峰和低谷,低峰值与同期相应对照组的数值相差较小,高峰值是同期对照组值的 2 倍及以上。辣椒栽植后,

对照组细菌数量变化较小,淹水组细菌数量呈现上升趋势。

## 2.2 土壤及根际辣椒疫霉数量动态变化

6 个标准样 DNA 进行扩增后,用 ABI 7500 绘制标准曲线,如图 2 所示, $R^2 = 0.991$ ,扩增效率为 91.4%,在规定的 90% ~ 110% 范围内。溶解曲线为单峰,符合 RT-PCR 要求。因此,定量检测结果可靠。

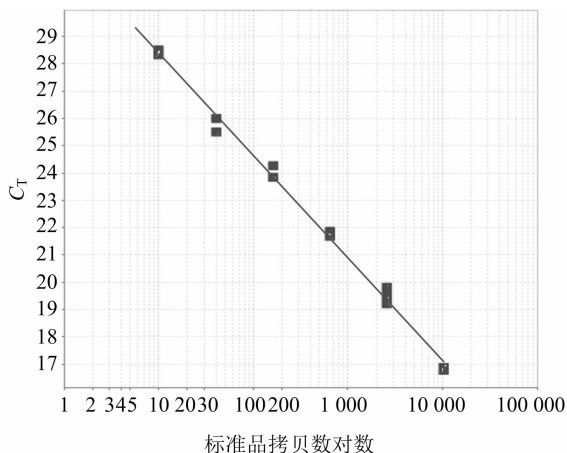


图2 辣椒疫霉 RT-PCR 标准曲线及溶解曲线

接种 1 000 个/g 辣椒疫霉孢子的病土在土壤处理期和辣椒栽植期的土壤辣椒疫霉数量变化趋势见图 3。土壤接入辣椒疫霉后,大部分辣椒疫霉在处理期前 9 d 内死亡。分别比较 30 °C/25 °C 对照组、35 °C/30 °C 对照组和 30 °C/25 °C 淹水组、35 °C/30 °C 淹水组,可知,2 种处理的辣椒疫霉在 35 °C/30 °C 下的生存率都小于 30 °C/25 °C。处理结束时,30 °C/25 °C 对照组与 35 °C/30 °C 对照组的土壤辣椒疫霉数量比值是 2.73,30 °C/25 °C 淹水组和 35 °C/30 °C 淹水组比值是 1.65。另外,比较同一温度处理下的对照组和淹水组,可知,淹水能加重土壤辣椒疫霉数量的削减。处理结束时,30 °C/25 °C 下,对照组土壤中疫霉的浓度是淹水组的 4.89 倍,而 35 °C/30 °C 下,对照组土壤中疫霉的浓度是淹水组的 2.95 倍。栽植辣椒后,对照组和淹水组辣椒疫霉数量都有一定的增加。

## 2.3 辣椒叶片中与植株防病反应相关的信号物质

由表 1 可知,30 °C/25 °C 下,无论是对照组还是淹水组,接种 1 000 个/g 辣椒疫霉孢子的病土组与不接种辣椒疫霉孢子的病土组相比较,前者的 3 种植物信号普遍大于后者,这说明 3 种植物信号能确切反应植物与防病相关生理指标的变化,尤其是超氧阴离子产生速率和几丁质酶活性。淹水 20 d 组和淹水 35 d 组植物中的几丁质酶活性和超氧阴

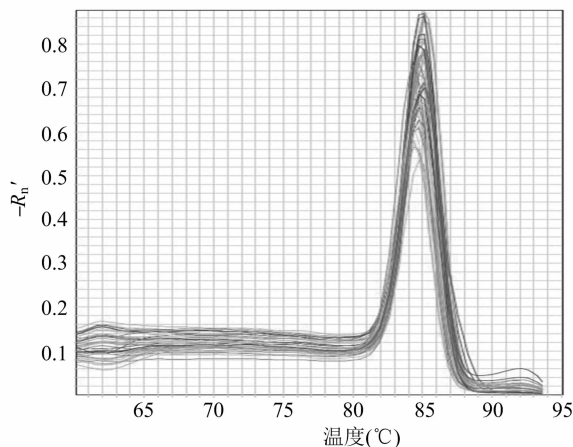
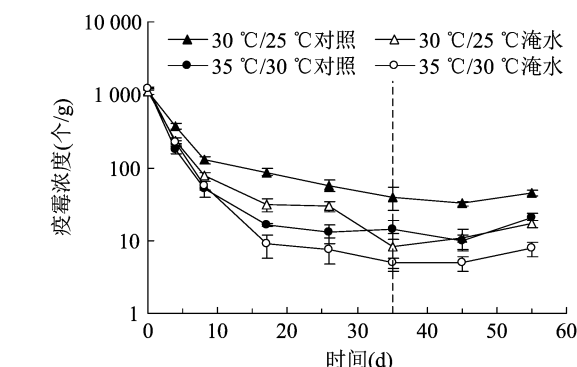


图3 不同温度淹水对土壤及辣椒根系疫霉数量的影响



离子产生速率显著低于对照 1 组和对照 2 组,另外,淹水 20 d 组与淹水 35 d 组相比,3 种植物信号基本一致,所以可以看出淹水 20 d 与淹水 35 d 对疫病有防控效果,且两者效果相当。

35 °C/30 °C 各组的植物信号值普遍小于 30 °C/25 °C 组的对照 1 组和对照 2 组,而和 30 °C/25 °C 组的淹水 20 d 组和淹水 35 d 组的植物信号值相当,这与 35 °C/30 °C 组各处理都不发病或发病低相关。35 °C/30 °C 组的对照组植物信号值略大于对应淹水组,这应该与土壤处理后对照组疫霉数量低于淹水组相关。

## 2.4 辣椒疫病病情指数

由表 2 可知,环境温度设置为 35 °C/30 °C 时,接种辣椒疫霉孢子浓度为 1 000 个/g 的对照组病情

表 1 不同处理下辣椒叶片中与植株防病反应相关信号物质

植物信号物质	辣椒疫霉孢子数量(个/g)	30 ℃/25 ℃				35 ℃/30 ℃			
		对照 1	淹水 20 d	对照 2	淹水 35 d	对照 1	淹水 20 d	对照 2	淹水 35 d
几丁质酶活性	0	956 ± 109b	607 ± 48c	1141 ± 135a	516 ± 64c	648 ± 88c	582 ± 30c	592 ± 105c	679 ± 46c
[μg/(h·g)]	1 000	1240 ± 127a	732 ± 98c	1174 ± 106a	652 ± 74c	914 ± 80b	700 ± 84c	992 ± 104b	685 ± 89c
超氧阴离子	0	9.02 ± 1.86a	3.98 ± 1.35b	9.75 ± 1.70a	3.28 ± 0.63b	5.29 ± 1.41b	4.53 ± 1.26b	3.76 ± 0.83b	3.97 ± 1.12b
产生速率	1 000	13.02 ± 2.06a	4.79 ± 0.50cd	8.31 ± 0.98b	5.87 ± 1.26cd	6.19 ± 1.24bc	5.50 ± 0.42cd	6.72 ± 1.79bc	4.25 ± 0.76d
[nmol/(min·g)]									
过氧化氢含量	0	65.4 ± 4.8ab	66.3 ± 2.2ab	73.6 ± 11.2a	60.4 ± 4.7bc	71.2 ± 5.3ab	60.3 ± 9.2bc	49.3 ± 4.1c	51.3 ± 5.5c
(μmol/g)	1 000	82.5 ± 7.8ab	66.2 ± 4.7cd	89.0 ± 8.4a	55.3 ± 9.1d	81.5 ± 9.9ab	81.1 ± 6.1ab	68.0 ± 5.6cd	69.4 ± 3.3bc

注:同行数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。表 2 同。

指数为 8.3% ~ 11.7%,而其余处理辣椒的病情指数都为 0。环境温度设置为 30 ℃/25 ℃时,各处理病情指数差异显著。自然病土保湿处理不同时间后栽植辣椒,辣椒的病情指数为 56.7% ~ 58.3%。淹水 20 d 或 35 d 后栽植,辣椒病情指数都为 0。由此可见,在本试验条件下自然病土淹水 20 d 就能达到对辣椒疫病 100% 的防效。接种辣椒疫霉孢子浓

度为 1 000 个/g 的病土保湿处理不同时间后,病情指数为 81.7% ~ 83.3%。淹水 20、35 d 再栽植辣椒,对应的病情指数分别为 38.3%、28.3%,防效分别为 53.1%、66.0%。因此可以看出,对于重病土淹水对辣椒疫病也有良好防控效果,且淹水 35 d 的防效比 20 d 略高,但两者无显著差异。

表 2 不同温度淹水对辣椒疫病病情指数的影响 %

辣椒疫霉孢子数量 (个/g)	30 ℃/25 ℃				35 ℃/30 ℃			
	对照 1	淹水 20 d	对照 2	淹水 35 d	对照 1	淹水 20 d	对照 2	淹水 35 d
0	58.3 ± 16.1a	0b	56.7 ± 2.9a	0b	0b	0b	0b	0b
1 000	81.7 ± 12.6a	38.3 ± 12.6b	83.3 ± 7.6a	28.3 ± 5.8b	8.3 ± 7.6c	0d	11.7 ± 2.9c	0d

3 讨论与结论

本试验常规微生物的数量变化说明了淹水对土壤真菌、放线菌和细菌产生很大的影响。淹水能明显减少土壤真菌和放线菌数量。淹水对细菌的影响较为复杂,在一定的淹水时段能明显增加土壤细菌数量。由此可见,淹水能明显改变土壤微生物区系。Unger 等的研究表明,20 ℃ 下 24 d 的淹水处理对森林土壤微生物区系有较大的影响<sup>[15]</sup>;Wilson 等的研究显示,17 ~ 20 ℃ 下 56 d 的淹水处理后,温室土壤微生物群落结构有显著的变化<sup>[16]</sup>,本文的试验结果与之相符。晾土后栽植辣椒,土壤中不利微生物生长因素消除,所以土壤真菌、放线菌数量上升至对照组水平。淹水土壤中的辣椒疫霉数量、真菌数量、放线菌数量的变化规律在一定程度上相似,即在淹水期逐渐减少,栽植辣椒后有所上升。35 ℃/30 ℃ 下保湿处理中后期,真菌数量开始逐渐减少,这说明 35 ℃/30 ℃ 下不利于真菌的生存,所以可以推测 35 ℃/30 ℃ 会降低辣椒疫霉的生存率。通过比较分析不同温度下对照组和淹水组土

壤辣椒疫霉的存活率,可以明确不同温度的淹水对土壤辣椒疫霉存活率产生的影响。在本试验土中,淹水处理可一定程度削减土壤辣椒疫霉数量,且 35 ℃/30 ℃ 下效果更好,这与淹水后土壤生物性状和理化性状的变化相关。前人研究报道,淹水对土传病害有防效,可能与土壤微生物区系的变化及抗病微生物的增加有关<sup>[1,17]</sup>,抗病微生物是否增加还有待于进一步研究。淹水期间短期激发增殖的某些细菌种类可能对辣椒疫霉抑制具有贡献。本研究证实了土壤微生物发生了明显的变化,这必然对土壤辣椒疫霉的存活率和致病性产生不可忽视的影响。土壤淹水后氧化还原电位降低,氧气含量减少,对病原菌有害物质增加等也是土壤病原菌数量减少的重要原因<sup>[18]</sup>。温度较高时微生物呼吸需要更多的氧气,35 ℃/30 ℃ 下淹水较 30 ℃/25 ℃ 下淹水除氧速率快且含氧量低,所以病原菌在 35 ℃/30 ℃ 下更能被淹水处理抑制<sup>[1]</sup>。在本试验中 35 ℃/30 ℃ 对照组比 30 ℃/25 ℃ 对照组辣椒疫霉存活率低,这说明了 30 ~ 35 ℃ 环境下不利于辣椒疫霉的生存。所以 35 ℃/30 ℃ 下淹水土壤辣椒疫霉存活率低,温

度对其产生的影响也是原因之一,这与 35 ℃/30 ℃ 下的真菌数量明显少于 30 ℃/25 ℃ 下相吻合。

植物受到病原真菌、细菌、线虫等浸染后均可产生并积累  $H_2O_2$  和超氧阴离子。两者在植物抗病反应中起着重要的作用<sup>[19-21]</sup>。几丁质酶是可诱导的病程相关蛋白,可抵抗病原菌的侵染<sup>[22]</sup>。统计分析各组的病情指数和 3 种植物信号,结果显示两者是密切相关的。超氧阴离子产生速率、几丁质酶活性与辣椒病情指数呈极显著正相关,相关系数分别为 0.929、0.898 ( $P < 0.01$ ),过氧化氢含量与辣椒病情指数的呈显著正相关,相关系数为 0.554 ( $P < 0.05$ )。30 ℃/25 ℃ 下各淹水组 3 种植物信号明显小于对应 30 ℃/25 ℃ 对照组,这说明土壤淹水后辣椒植株受到的辣椒疫霉侵染少, $H_2O_2$  和超氧阴离子产生和积累较非淹水组少,几丁质酶也不被诱导,这与 Esra 等的研究报道<sup>[23-24]</sup>相符。所以,可以从植物信号中看出淹水措施对辣椒疫病有防控作用。35 ℃/30 ℃ 各组植物信号数据与病情指数相符合,数据普遍较低,且差异不显著。这在一定程度上说明了 35 ℃/30 ℃ 下不利于辣椒疫霉的生存和其对辣椒的侵染。

环境温度设置为 25 ~ 30 ℃ 时,对于自然连作土而言,淹水 20、35 d 都能达到 100% 防效。对于接种 1 000 个/g 辣椒疫霉孢子的重病土而言,淹水 35 d 的防效仅比淹水 20 d 高 10%。在实际生产中,保护地并没有 35 d 及以上的空闲时间,所以采用淹水措施时可以适当缩短至 20 d 左右。在本试验条件下,30 ~ 35 ℃ 下淹水 20 d 即可 100% 防控自然病土和重病土辣椒疫病。鉴于本试验为室内模拟试验,所以不能保证在田间实施后会有一样的效果,但可以确定利用淹水防治辣椒疫病时,应优选气温最高的月份。25 ~ 30 ℃ 下接种辣椒疫霉孢子 1 000 个/g 的土壤淹水处理后的病情指数为 28.3% ~ 38.3%,可见利用淹水措施防控辣椒疫病具有一定的不稳定性。另外,即使是 35 ℃/30 ℃ 淹水组,在淹水后土壤中仍存在一定数量的辣椒疫霉。之所以不致病,可能是辣椒疫霉数量没有达到致病浓度,或者辣椒疫霉致病力被削弱。所以,考虑到田间土壤状况更为复杂,在田间利用淹水措施防控辣椒疫病时,有必要结合其他有效防控措施。

#### 参考文献:

[1] Stolzy L H, Sojka R E. Effects of flooding on plant disease [M]//

Flooding and plant growth. New York: Academic Press, 1984: 221 - 264.

[2] Stover R H. Flooding of soil for disease control [M]// Mulder D. Soil disinfestation. Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company, 1979: 19 - 28.

[3] Kim S I, Kim H H, Seong B J, et al. Influence of soil flooding with organic matters amendment on reducing the root rot disease and content of ginsenosides in ginseng crops [J]. Planta Medica International Open, 2017, 4 (S): S1 - S202.

[4] Pullman G S, DeVay J E. Effect of soil flooding and paddy rice culture on the survival of *Verticillium dahliae* and incidence of Verticillium wilt in cotton [J]. Phytopathology, 1981, 71 (12): 1285 - 1289.

[5] 顾和平, 袁星星, 陈新, 等. 高温浸泡土壤对连作大棚土体修复和病害防治的效果 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41 (7): 348 - 351.

[6] Ulacio D, Nass H, Pineda J B, et al. Viability of *Rhizoctonia solani* Kuhn AG1 - IA under flooding conditions. I. Mycoflora associated to the pathogen in *Oryza sativa* tissue [J]. Bioagro, 1998, 10 (2): 40 - 47.

[7] Matheron M E, Porchas M. Evaluation of soil solarization and flooding as management tools for Fusarium wilt of lettuce [J]. Plant Disease, 2010, 94 (11): 1323 - 1328.

[8] Bowers J H, Mitchell D J. Effect of soil - water matric potential periodic flooding on mortality of pepper caused by *Phytophthora capsici* [J]. Ecology and Epidemiology, 1990, 80 (20): 1447 - 1450.

[9] Wilcox W F, Mircetich S M. Effects of flooding duration on the development of *Phytophthora* root and crown rots of cherry [J]. Phytopathology, 1985, 75 (12): 1451 - 1455.

[10] 郑小波. 疫霉菌及其研究技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 103 - 104.

[11] 王光飞, 马艳. 抗甲霜灵辣椒疫霉菌的环境适合度 [J]. 微生物学报, 2015, 55 (5): 627 - 634.

[12] Silvar C, Duncan J M, Cooke D E, et al. Development of specific PCR primers for identification and detection of *Phytophthora capsici* Leon [J]. European Journal of Plant Pathology, 2005, 112 (1): 43 - 52.

[13] 王光飞, 马艳, 常志州, 等. 淹水改良土壤性态及对辣椒疫病的防效研究 [J]. 水土保持学报, 2013, 27 (2): 209 - 214.

[14] 张治安. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.

[15] Unger I M, Kennedy A C, Muzika R M. Flooding effects on soil microbial communities [J]. Applied Soil Ecology, 2009, 42 (1): 1 - 8.

[16] Wilson J S, Baldwin D S, Rees G N, et al. The effects of short - term inundation on carbon dynamics, microbial community structure and microbial activity in floodplain soil [J]. River Research and Applications, 2011, 27 (2): 213 - 225.

[17] 李世昌, 刘梅娟, 何随成, 等. 淹水对人参锈腐病菌 (*Cylindrocarpon distructans*) 和人参根腐病菌 (*Fusarium* sp.) 的影响 [J]. 特产研究, 1984 (2): 13 - 14.

[18] Katan J. Physical and cultural methods for the management of soil - borne pathogens [J]. Crop Protection, 2000, 19 (8/9/10): 725 - 731.

吕蒙蒙,陈宇,林思祖. 铝胁迫下植物生长调节剂对杉木幼苗叶绿素荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):116-121.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.022

# 铝胁迫下植物生长调节剂对杉木幼苗 叶绿素荧光特性的影响

吕蒙蒙<sup>1,2</sup>, 陈宇<sup>1,2</sup>, 林思祖<sup>1,2</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 国家林业局杉木工程技术研究中心, 福建福州 350002)

**摘要:**以杉木实生苗为试验材料,选择萘乙酸(NAA)、吲哚-3-乙酸(IAA)、6-苄氨基嘌呤(6-BA)等3种生长调节剂,采用单因素试验,各因素设置3个浓度,研究不同生长调节剂对铝胁迫下杉木幼苗叶绿素荧光特性的影响。结果表明,铝胁迫对杉木幼苗的叶绿素荧光参数造成了影响,与CK(无 $\text{Al}^{3+}$ 、pH值为4.5的Hoagland-Arnon营养液)相比,CKAL处理(有 $\text{Al}^{3+}$ 、pH值为4.5的Hoagland-Arnon营养液)下的初始荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )、可变荧光( $F_v$ )、PS II实际光化学效率(QY)、PS II最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和PS II潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )总体呈现先升高后降低又升高的趋势。总的来说,生长调节剂在一定程度上提高了杉木叶片的 $F_v$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、光化学猝灭系数( $q_p$ )、QY,降低了 $F_o$ 、非光化学猝灭系数(NPQ)。

**关键词:**杉木;生长调节剂;铝胁迫;叶绿素荧光

**中图分类号:** S791.270.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)22-0116-06

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)别称沙木、沙树等,为杉科乔木,是亚热带地区优质速生针叶树种,林业价值高,分布广阔,是我国南方地区经营历史最长的用材树种之一<sup>[1-2]</sup>。目前,杉木人工林面积分别占全国人工林面积和森林总面积的18.2%、37.4%,且扩增趋势明显<sup>[3-4]</sup>。叶绿素荧光分析技术是一种快速、高效、精确且无损伤测定植物叶片荧光参数以反映植物光合过程动态变化的技术,在

测定叶片光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特的作用,具有反映内在特性的特点<sup>[5-7]</sup>。通过观测植物叶绿素荧光参数的变化,可以研究和分析植物利用光能的一般规律及其在不同外界因素影响下的动态响应,因此叶绿素荧光参数被广泛应用于植物光合生理、抗性育种以及林木引种等方面<sup>[8-11]</sup>。

植物生长调节剂对植物具有重要的生理调节作用,适当浓度的生长调节剂对植物抵抗逆境胁迫的作用也较显著<sup>[12-14]</sup>。目前,关于铝胁迫及叶绿素荧光参数方面已经有不少研究<sup>[15-18]</sup>,但是关于植物生长调节剂对铝胁迫下杉木荧光特性的影响尚未见报道,因此相关研究具有重要的理论意义和应用价值。

本研究以杉木实生苗为材料,分析植物生长调节剂萘乙酸(NAA)、吲哚-3-乙酸(IAA)和6-苄

收稿日期:2020-03-25

基金项目:国家林业和草原局杉木工程技术研究中心平台建设项目(编号:ptjh13002)。

作者简介:吕蒙蒙(1993—),男,河南灵宝人,硕士研究生,主要从事森林培育研究。E-mail:1257044523@qq.com。

通信作者:林思祖,博士,教授,主要从事森林培育及林木遗传育种研究。E-mail:Szlin53@126.com。

[19]饶力群,官春云,罗泽民. 过氧化氢、水杨酸与植物抗病性关系的研究进展[J]. 湖南农业大学学报,2000,26(1):9-14.

[20]Mejía-Teniente L, Durán-Flores B A, Torres-Pacheco I, et al. Hydrogen peroxide protects pepper (*Capsicum annuum* L.) against pepper golden mosaic geminivirus (PepGMV) infections [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2019, 106: 23-29.

[21]郭泽建,李德葆. 活性氧与植物抗病性[J]. 植物学报, 2000, 42(9): 881.

[22]程笑笑,冯自力,冯鸿杰,等. 真菌源几丁质酶在植物抗真菌病

害中的应用[J]. 植物保护, 2017, 43(3): 29-35.

[23]Esra K, Ayşen S Ü, Cemil İ, et al. Defence responses in leaves of resistant and susceptible pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars infected with different inoculum concentrations of *Phytophthora capsici* Leon [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 128(4): 434-442.

[24]Sandeep V R, Johnson G K, Balaji S, et al. Differential induction of chitinase in *Piper colubrinum* in response to inoculation with *Phytophthora capsici*, the cause of foot rot in black pepper [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2009, 16(1): 11-16.