

张建桃,叶剑云,曾 莉,等. 柑橘黄龙病苗木微波加热试验研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(12):75-79.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.12.016

柑橘黄龙病苗木微波加热试验研究

张建桃,叶剑云,曾 莉,杨 曦,罗永强,张武标

(华南农业大学数学与信息学院,广东广州 510642)

摘要:针对柑橘黄龙病现有热处理方法存在加热时间长、温度不均匀等缺点,提出以微波加热方式处理柑橘树。搭建柑橘黄龙病微波加热平台,采用不同微波功率和加热时间组合对活体柑橘叶片进行加热,探究不同微波功率下叶片温度达到 48~60℃所需要的时间,以确定最佳微波加热功率和加热时间组合。结果表明,柑橘叶片经微波处理后,升温速度与微波功率和加热时间成正相关;不同微波功率处理下,使叶片表面温度达到 48~60℃的处理时间存在明显差异;为使柑橘叶片表面温度升至 48~60℃范围内,可以在 80 W 功率下加热 36~46 s,在 160 W 微波功率下加热 16~37 s,在 240 W 微波功率下加热 15~29 s,在 320 W 微波功率下加热 13~15 s,在 400 W 微波功率下加热 10~14 s,在 480 W 微波功率下加热 8~10 s,在 640 W 微波功率下加热 7~8 s,在 800 W 微波功率下加热 6 s;根据微波热处理后叶片灼伤程度以及植物的生长情况,确定较优的加热功率和时间组合为(80 W,40 s),进一步优化后的组合为(80 W,37 s)和(80 W,38 s)。

关键词:柑橘黄龙病;微波热处理;微波功率

中图分类号: S436.661.1⁺9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)12-0075-05

柑橘黄龙病是由一种限于韧皮部内寄生的革兰氏阴性细菌引起的病害,具有蔓延速度快、传播范围广、危害严重等特点。据统计该病在 50 多个国家或地区都有分布,已经造成上亿株柑橘树染病或死亡^[1]。我国是世界第三大柑橘生产国^[2],现 19 个柑橘栽培的省(区)中已有 11 个遭受危害,受害产量占总产量的 85% 左右^[3]。

控制黄龙病主要分为防和治 2 个方面。防的主要方法是大面积、严格地防治柑橘木虱(林孔湘等“三步法”^[4]);治主要指化学和物理防治,包括喷洒木虱杀虫剂、树干注射抗生素杀菌剂及热处理等。目前应用最多的依然是化学防治,但从对人体健康和环境安全的角度考虑,化学防治并不适合长期使用^[5]。物理防治主要利用物理因素防治柑橘黄龙病。经过研究,黄龙病病菌在湿热环境下无法保持活性甚至死亡^[5],目前最有效的物理防治方法为热处理,也是一种适合推广的防治方法。

林孔湘等将含有黄龙病病毒的柑桔苗木或接穗芽条用 48~50℃湿热空气处理 40~60 min,可使其成为不带病毒的种植或繁殖材料^[4];邓晓玲等通过研究和试验,发明了一种用自然热罩处理防治柑橘黄龙病的方法^[6];贾志成等开展了热处理对黄龙病病菌有效抑制温度阈值、热处理时间、传热介质、发热装置等研究^[5];张建桃等进行了热空气快速处理带病柑橘树的研究,并在优选参数下对柑橘黄龙病进行快速热空气处理田间试验,处理后病菌浓度平均降低 80.28%^[7];牟群英等指出微波对细菌的致死率远高于常规加热^[8]。综上所述,在一定的温度及处理时间下,利用传热介质对柑橘黄龙病苗木进行热处理能在一定程度上缓解柑橘黄龙病病症,降低柑橘黄龙病苗木的死亡率。

柑橘黄龙病热处理防治还有很大的研究空间,相比传统加热方式,微波加热是一种全新的加热方法——它是一种“冷热源”,在产生和接触到物体时,不是一股热气,而是电磁能,具有加热迅速、处理效率高、穿透性好等优势^[8]。因此,本研究采用抑制黄龙病病菌效率高,且对柑橘树感官无明显损伤的微波热处理柑橘黄龙病苗木,研究微波热处理对柑橘树枝叶生理形态的影响,旨在为防治黄龙病提供一个全新的思路。

收稿日期:2019-07-20

基金项目:广东省普通高校特色创新项目(编号:2018KTSCX019);广州市科学技术协会科普项目(编号:K2019010201039);华南农业大学省级大学生创新创业训练计划(编号:201810564100)。

作者简介:张建桃(1978—),男,湖南双峰人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事精细农业和压电器件方面的研究。E-mail: zhangjiantao@yeah.net。

1 材料和方法

1.1 柑橘黄龙病微波加热平台搭建

柑橘黄龙病苗木微波加热试验平台配置有微波炉(广东格兰仕集团有限公司),型号为 GalanzG80F20CN2L-B8;无纸记录仪(杭州盘古自动化系统有限公司),型号为 VX8140R;在线式红外测温仪(南京隆顺仪器仪表有限公司),型号为 LSCI-SJG/300A,量程为 $-50 \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验用柑橘树购自广州花地湾花鸟市场,高约 1.5 m,直径为 0.9 m。

将柑橘枝条置于微波炉底板中心。在微波炉后盖中部以上位置钻取直径为 3 cm 的孔,将在线式红外测温仪置于微波炉后侧适当位置,使激光能够对准微波炉底板中心。将在线式红外测温仪的信号传输线接于无纸记录仪信号输入端口,由无纸记录仪记录树叶在某个微波功率下从 0 s 至 $T\text{ s}$ N 个时间点叶片温度值,减少试验误差。

1.2 微波输出功率与时间确定

为使柑橘枝叶表面温度达到 $48 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验采用不同输出功率(80、160、240、320、400、480、640、800 W),对柑橘枝叶进行微波加热处理,确定适宜的微波处理时间,从而优选出微波功率及处理时间组合(P, T),每组试验重复 3 次。

1.3 数据处理方法

采用插值法,通过 MATLAB 数据处理软件拟合出在某个微波功率下各个时间段内的温度值,进而拟合出叶片表面温度从 0 s 到 $T\text{ s}$ 各时间点的温度

值,绘制相应叶片表面温度随时间变化曲线。确定不同功率下加热至 $48 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间范围,再继续通过试验确定更加精确的功率时间组合。

根据上述试验得出的微波功率、处理时间和柑橘叶片表面温度的关系,分别选取以上试验的 8 个微波不同功率下的较优处理时间,组成 8 个较优微波功率处理时间(P, T),用较优微波功率处理时间(P, T)对柑橘树枝干进行处理,每处理设置 3 个平行,并设 1 组 3 个平行空白对照,每次试验选取同株柑橘树的不同枝干,观察统计不同处理后的柑橘树枝叶形态、灼伤程度、枝干枯死率变化。以此作为选择最优组合的依据。

2 结果与分析

2.1 加热功率与时间对叶片表面温度的影响

图 1 是以 SPLINE 函数内插绘制的不同微波强度下柑橘树叶片表面温度随微波处理时间变化的关系图。由图 1 可见,当辐射时间在 5 s 以内时,不同微波功率对叶片表面升温速度差别不大;而随着加热时间的增加,不同微波功率下柑橘枝叶表面温度出现显著差异;加热功率为 640 W 和 800 W 时,加热 7 ~ 10 s,柑橘叶片表面温度可达 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,并很快出现焦灼现象。

通过比较微波加热功率与升温速度的关系。结果表明,进行微波热处理时,柑橘叶片升温速度与微波功率呈正相关关系,即随着微波功率的增加,柑橘叶片表面升温速度加快。

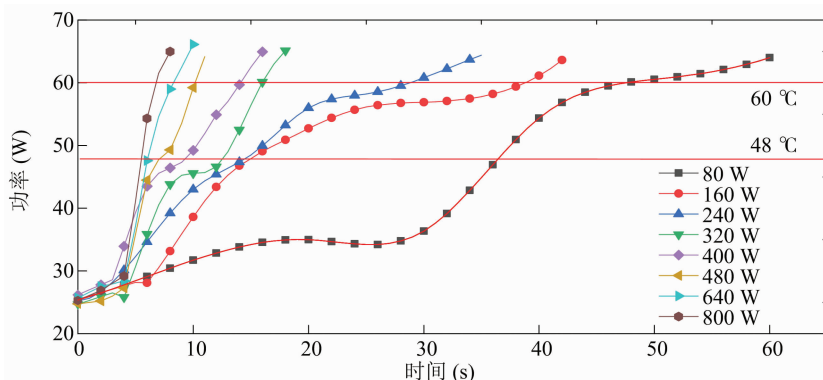


图1 不同微波强度下处理时间与叶片表面温度关系

通过比较微波加热时间与升温速度的关系。结果表明,微波输出功率一定,柑橘叶片表面温度随加热时间的延长而上升;微波功率越大,叶片表面温度总体上升趋势越快。不同微波功率处理下,柑橘叶片表面温度达到 $48 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的处理时间存在

明显差异;高功率(如 480、640、800 W)加热柑橘叶片所需的处理时间为 6 ~ 10 s;低功率(如 80、160、240 W)加热柑橘叶片所需的处理时间为 15 ~ 46 s。

考虑到利用内插法对不同微波功率下柑橘叶片表面温度随时间变化的模拟可能存在偏差,因此

有必要对模拟结果进行检验。在前期试验的基础上,对 80、160、240、320、400、480、640、800 W 微波功率分别设置几组适当的处理时间并进行试验,每组试验重复 3 次,结果取平均值。检验试验结果见表 1。

表 1 不同微波功率加热一定时间后柑橘叶片表面平均温度					
功率 (W)	时间 (s)	温度 (℃)	功率 (W)	时间 (s)	温度 (℃)
80	35	45.9	160	15	47.1
	36	48.3		16	48.9
	37	49.5		36	58.2
	46	59.4		37	59.6
	47	60.4		38	61.1
240	14	47.7	320	13	48.7
	28	58.5		15	58.4
	29	59.6		16	60.1
400	10	51.7	480	7	46.7
	14	59.4		10	59.2
640	7	54.7	800	5	40.9
	11	64.4		7	64.1

对内插法所得拟合统计量趋势图(图 1)与检验试验结果(表 1)进行综合分析,在误差允许范围内,要使柑橘叶片表面温度达到 48~60℃,微波功率为 80 W 时,需加热 36~46 s;微波功率为 160 W 时,需加热 16~37 s;微波功率为 240 W 时,需加热 15~29 s;微波功率为 320 W 时,需加热 13~15 s;微波功率为 400 W 时,需加热 10~14 s;微波功率为 480 W 时,需加热 8~10 s;微波功率为 640 W 时,需加热 7~8 s;微波功率为 800 W 时,需加热 6 s 左右。

2.2 微波对柑橘枝干的辐射效应

2.2.1 微波功率处理时间(P,T)选取 根据“2.1”节结果,为了使柑橘叶片表面温度控制在 48~60℃ 范围内,分别选取 8 个微波功率(80、160、240、320、400、480、640、800 W)和对对应功率处理下的较优处理时间,组成 8 个微波功率与处理时间组合,记为(P,T)。同时,本试验将设 1 组平行空白对照。选取的微波功率及相应处理时间见表 2。

依据表 2 中的微波功率及对应处理时间实施试验,每组试验重复 3 次。微波加热处理后的叶片表面温度如表 3 所示。

2.2.2 柑橘叶片生理形态统计与分析 分别在试验 24、48、72 h 后对“2.2.1”节处理的柑橘叶片进

表 2 微波功率及处理时间组合 (P,T)	
微波功率 (W)	处理时间 (s)
80	40
160	30
240	20
320	15
400	12
480	9
640	8
800	6
空白对照	0

表 3 微波功率及处理时间组合 (P,T) 处理结果			
(P,T) 组合	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	(P,T) 组合	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
80 W,40 s	53.8	400 W,12 s	55.7
	52.7		58.6
	53.5		54.6
160 W,30 s	56.9	480 W,9 s	52.3
	57.6		53.6
	54.8		55.7
240 W,20 s	50.9	640 W,8 s	59.3
	53.2		57.1
	54.5		51.9
320 W,15 s	55.2	800 W,6 s	52.1
	56.8		50.0
	57.5		57.1
空白对照	24.9		
	25.4		
	24.7		

行观察,统计不同处理后的柑橘树叶片形态、灼伤程度及枯叶率变化。本试验将处理后的柑橘叶片发黄比例(发黄叶片数占该枝干叶片总数之比)分为 5 个等级(A~E)。各等级叶片发黄比例对应的叶片图片见图 2,柑橘树叶片发黄比例为 1%~5% 时,等级为 A(图 2-a),6%~29% 时等级为 B(图 2-b),30%~69% 时等级为 C(图 2-c),70%~99% 时等级为 D(图 2-d),100% 时等级为 E(图 2-e)。

根据图 2 分别对试验 24、48、72 h 后的柑橘树叶片发黄程度进行评价,结果见表 4。

结合表 4 对试验处理 24 h 后柑橘叶片生理形态进行综合评价,得到较优的组合为(80 W,40 s)、(480 W,9 s)。其中组合(80 W,40 s)的叶片发黄程



图2 等级照片

度等级全部为 B,表现为叶片发黄占比低,无枝叶枯死现象,叶片焦灼程度低;组合(480 W,9 s)的叶片发黄程度等级为 C、D、B,表现为叶片发黄占比中等,叶片焦灼程度低;而(160 W,30 s)、(240 W,20 s)、(320 W,15 s)、(400 W,12 s)、(640 W,8 s)、(800 W,6 s)组合容易造成叶片焦灼,发黄程度较高,同时部分出现卷叶现象。

试验处理 48 h 后,对柑橘叶片生理形态进行观察统计,发现组合(80 W,40 s)的第 3 组叶片出现部分卷叶,叶片光泽下降,其他 2 组无明显变化;同样,组合(480 W,9 s)的第 2 组叶片发黄比例提高,部分叶片出现卷叶,其他 2 组叶片光泽略有下降;而其余 6 个微波功率处理时间组合处理 48 h 后,叶片出现大

面积发黄以及卷叶现象,失水严重,表面无光泽。因此,较优的组合为(80 W,40 s),其次是(480 W,9 s)。

试验处理 72 h 后对柑橘叶片进行观察统计。组合(80 W,40 s)的柑橘叶片光泽略有下降,部分叶片出现卷叶现象;组合(480 W,9 s)整体枝叶发黄比例提高,卷叶数增多,叶片光泽进一步下降;而其他微波功率处理时间组合下,叶片发黄程度加剧,卷叶现象严重,表面无光泽,枯叶多。

综上,较优的柑橘叶片微波功率和处理时间组合为(80 W,40 s),而其他微波功率及处理时间组合会对柑橘叶片造成较大伤害,试验后叶片大面积发黄和焦灼,伴有卷叶现象且枯叶较多,不宜考虑。

表 4 24、48、72 h 后柑橘枝叶发黄比例

(P,T)组合	等级			(P,T)组合	等级		
	24 h 后	48 h 后	72 h 后		24 h 后	48 h 后	72 h 后
80 W,40 s	B	B	C	400 W,12 s	E	E	E
	B	B	B		D	D	D
	B	C	C		D	E	E
160 W,30 s	E	E	E	480 W,9 s	C	C	D
	E	E	E		D	E	E
	E	E	E		B	B	C
240 W,20 s	D	D	E	640 W,8 s	D	D	E
	C	D	D		E	E	E
	D	D	E		D	D	D
320 W,15 s	E	E	E	800 W,6 s	E	E	E
	E	E	E		D	D	D
	E	E	E		E	E	E

2.2.3 微波对柑橘枝干辐射效应的优化研究 研究发现所有的微波功率组合中,(80 W,40 s)能在达到加热目前提下,使柑橘枝干受到最低程度的伤害。但是(80 W,40 s)处理效果仍未达到理想的整体效果,因此,有必要对功率时间组合做进一步的

优化。在此,优化试验选取(80 W,37 s)、(80 W,38 s)、(80 W,39 s)组合,对柑橘枝叶进行微波加热试验,每组重复 3 次。处理结果如表 5 所示。

同样,对优化试验处理 24、48、72 h 后的柑橘枝叶进行生理形态观察统计。根据图 2 统计 3 个优化

表 5 优化处理分组

(P,T)组合	温度 (℃)	(P,T)组合	温度 (℃)
80 W,37 s	49.0	80 W,38 s	49.1
	48.5		50.4
	48.3		50.3
80 W,39 s	50.6	空白对照	25.3
	51.3		24.6
	50.9		24.8

试验组合柑橘叶片发黄比例,评价结果见表 6。

结合表 6 对试验 24 h 后的柑橘枝叶生理形态进行综合评价。在微波功率 80 W 下加热 37 s,叶片发黄占比较低,无枝叶枯死现象,叶片焦灼程度较低;微波功率 80 W 下加热 38 s,整体形态与加热 37 s 时柑橘枝叶形态相似,叶片发黄占比较低,无枝叶枯死现象,叶片焦灼程度较低;微波功率 80 W 下加热 39 s,枝叶焦灼较以上 2 组严重,总体叶片发黄比例也较高,部分叶片出现卷叶现象。

表 6 优化处理 24、48、72 h 后柑橘枝叶发黄比例

(P,T)组合	等级		
	24 h 后	48 h 后	72 h 后
80 W,37 s	A	B	A
	B	C	A
	A	A	B
80 W/38 s	B	A	C
	B	C	D
	B	B	B
80 W,39 s	B	B	C
	B	C	D
	B	B	B

试验 48 h 后柑橘叶片形态整体上发黄比例上升,叶片光泽下降,部分叶片出现卷叶现象;其中,(80 W,37 s)叶片发黄比例上升不明显,无卷叶现象;(80 W,38 s)叶片开始出现卷叶,叶片光泽下降明显;(80 W,39 s)叶片进一步枯化,卷叶增多。因此,组合(80 W,37 s)、(80 W,38 s)明显优于组合(80 W,39 s)。

试验 72 h 后对柑橘枝叶进行观察统计,3 组叶片发黄比例均较试验 48 h 后有所上升,叶片光泽进一步下降,部分叶片出现脱落现象。其中,组合(80 W,37 s)叶片形态变化不大,仅在原有叶片上扩大泛黄面积;(80 W,38 s)的一组枝叶进一步卷化,泛黄比例上升,而其余 2 组无卷叶,仅在原有叶片上扩大泛黄面积;(80 W,39 s)下叶片出现脱落现

象,发黄比例上升。综上,优化试验较优组合为(80 W,37 s),其次为(80 W,38 s)。

3 结论

通过上述对数据的分析与讨论,研究结果表明:(1)进行微波热处理时,柑橘枝叶升温速度与微波功率成正相关关系,即加热时间一定时,随着微波功率的增加,柑橘枝叶表面升温速度加快;(2)柑橘枝叶升温速度与加热时间成正相关,即微波功率一定时,随着加热时间的增加,柑橘枝叶表面升温速度加快;(3)不同微波功率处理下,使叶面温度达到 48~60℃的处理时间存在明显差异。

为使柑橘枝叶表面温度升至 48~60℃范围内,可以在 80 W 加热功率下加热 36~46 s,在 160 W 微波功率下加热 16~37 s,在 240 W 微波功率下加热 15~29 s,在 320 W 微波功率下加热 13~15 s,在 400 W 微波功率下加热 10~14 s,在 480 W 微波功率下加热 8~10 s,在 640 W 微波功率下加热 7~8 s,在 800 W 微波功率下加热 6 s。

微波功率及处理时间组合(80 W,40 s)、(160 W,30 s)、(240 W,20 s)、(320 W,15 s)、(400 W,12 s)、(480 W,9 s)、(640 W,8 s)、(800 W,6 s)中,较优组合为(80 W,40 s),优化后的组合为(80 W,37 s)和(80 W,38 s),其他组合易造成较大的枝叶枯死率,对柑橘枝叶造成较大伤害,不宜作为柑橘黄龙病微波热处理方案。

参考文献:

- [1] Bové J M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus[J]. Journal of Plant Pathology, 2006, 88(1): 7-37.
- [2] 吴如健,柯冲. 柑橘黄龙病病理试验及综合防治措施[J]. 江西农业学报, 2007, 19(9): 69-71.
- [3] 范国成,刘波,吴如健,等. 中国柑橘黄龙病研究 30 年[J]. 福建农业学报, 2009, 24(2): 183-190.
- [4] 林孔湘,骆学海. 柑橘黄梢(黄龙)病热治疗的初步研究[J]. 植物保护学报, 1965(2): 169-175.
- [5] 贾志成,郑加强,黄雅杰,等. 柑橘黄龙病热处理防治技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 1-9.
- [6] 邓晓玲,许美容,关磊,等. 一种利用热处理防治柑橘黄龙病的方法: CN201310318834.2[P]. 2013-11-21
- [7] 张建桃,陈鸿,文晟,等. 柑橘黄龙病热空气快速处理温度场分布特性试验研究[J]. 农业工程学报, 2017, 33(8): 267-277.
- [8] 牟群英,李贤军. 微波加热技术的应用与研究进展[J]. 物理, 2004, 33(6): 438-442.