

张荣, 徐丹丹, 江立群, 等. 荔枝果皮多酚对荔枝霜疫霉生物学特性的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(6): 82-87.
ZHANG Rong, XU Dandan, JIANG Liqun, et al. Effects of litchi pericarp polyphenols on biological characteristics of *Peronophythora litchii* [J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(6): 82-87.

荔枝果皮多酚对荔枝霜疫霉生物学特性的影响

张 荣^{1†}, 徐丹丹^{2†}, 江立群², 李敏慧², 习平根², 姜子德²

(1 华南农业大学园艺学院, 广东 广州 510642;

2 华南农业大学农学院/广东省微生物信号与作物病害防控重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探讨荔枝多酚对荔枝霜疫霉生长发育的影响。【方法】溶剂浸提法提取荔枝果皮中的总多酚, 采用常规植物病理学手段研究荔枝多酚质量浓度对荔枝霜疫霉菌落形态、生物量、孢子囊萌发方式、游动孢子萌发及卵孢子数量的影响。【结果】荔枝多酚质量浓度为 150~300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 荔枝霜疫霉菌落致密, 菌丝生长量和产孢量显著减少, 孢子囊以释放游动孢子的方式萌发; 培养基中荔枝多酚为 100~300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 可显著促进游动孢子的萌发, 抑制孢子囊的萌发; 在无荔枝多酚的 PDA 培养基上荔枝霜疫霉不易产生卵孢子, 当培养基中荔枝多酚质量浓度达到 100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 荔枝霜疫霉产生卵孢子为 10.8 mm^{-2} 。【结论】荔枝多酚类物质参与荔枝霜疫霉生长发育的调控, 抑制霜疫霉生长和产生孢子囊, 具有开发新型安全性生物源杀菌剂的潜力。

关键词: 荔枝多酚; 荔枝霜疫霉; 生长发育; 溶剂浸提法; 生物源杀菌剂

中图分类号: S432.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2019)06-0082-06

Effects of litchi pericarp polyphenols on biological characteristics of *Peronophythora litchii*

ZHANG Rong^{1†}, XU Dandan^{2†}, JIANG Liqun², LI Minhui², XI Pinggen², JIANG Zide²

(1 College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 College of Agriculture, South China Agricultural University/ Guangdong Province Key Laboratory of Microbial Signals & Disease Control, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To investigate the effects of litchi polyphenols on growth and development of *Peronophythora litchii*. 【Method】Polyphenols were extracted from litchi pericarp by solvent extraction. The effects of polyphenols on colony morphology, biomass, germination mode of sporangium, zoospore germination and oospore number of *P. litchii* were analyzed by phytopathological research methods. 【Result】With the treatment of litchi polyphenols at 150 to 300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, the hyphal colonies of *P. litchii* appeared dense, hyphal dry weight and sporangia number were significantly reduced, and the sporangia germinated to release zoospores. With the treatment of litchi polyphenols at 100 to 300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, zoospores germination was significantly increased while sporangia germination was significantly suppressed. Oospore was hardly observed in PDA control without litchi polyphenols. When litchi polyphenols in the media reached 100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, the produce of oospores was 10.8 mm^{-2} . 【Conclusion】Litchi polyphenols involve in the regulation of the growth

收稿日期: 2019-01-29 网络首发时间: 2019-10-28 09:20:34

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20191025.0844.020.html>

作者简介: 张 荣 (1979—), 女, 高级实验师, 博士, E-mail: r-zhang@scau.edu.cn; 徐丹丹 (1988—), 女, 博士, E-mail: happyxudandan@126.com; †对本文贡献相同; 通信作者: 习平根 (1970—), 男, 副教授, 博士, E-mail: xpg@scau.edu.cn; 姜子德 (1962—), 男, 教授, 博士, E-mail: zdjiang@scau.edu.cn

基金项目: 国家荔枝龙眼产业技术体系资助项目 (CARS32); 农业农村部作物病虫鼠害疫情监测与防治经费项目 (151821301082351701)

and development of *P. litchii*, can suppress the growth of *P. litchii* and sporangia germination, indicating their potential for developing new safe biogenic fungicides.

Key words: litchi polyphenol; *Peronophythora litchii*; growth and development; solvent extraction; biogenic fungicide

由荔枝霜疫霉 *Peronophythora litchii* 引起的霜疫病是荔枝的一种重要病害,可严重影响荔枝的生产和采后保鲜。在田间自然环境中,该病原菌主要以孢子囊和游动孢子的形式经流水和液滴飞溅传播,以卵孢子的形式在土壤和落果上越冬^[1]。防治霜疫病以使用化学药剂为主^[2-3]。但化学药剂的大量使用不仅污染环境,还会导致病原菌产生抗药性,因此急需开发环境友好型杀菌剂。

荔枝多酚作为荔枝体内重要的次生代谢产物,广泛存在于荔枝叶片、果皮和果核中,其不但具有降糖、抗癌、抗氧化等活性^[4-5],还具有抗细菌和抗病毒活性,例如木犀草素(Luteolin,荔枝叶片多酚类物质)对金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*、大肠埃希菌 *Escherichia coli*、痢疾志贺氏菌 *Shigella dysenteriae* 等具有很强的抑制作用^[6];原花青素 A(A-type proanthocyanidins,荔枝种子多酚类物质)在体外具有抗单纯疱疹病毒(Herpes simplex virus-1)和柯萨奇病毒(Coxsackie virus B3)的活性^[7]。荔枝多酚抗植物病原菌活性鲜有报道。植物多酚具有很强的抗真菌活性,Wang等^[8]报道甜樱桃多酚类物质可以抑制链格孢 *Alternaria alternata* 生长和交链孢菌酮酸的积累;Xu等^[9]研究了18种合成或天然酚类物质对货架期葡萄灰霉病的控制作用,表明紫檀芪和白皮杉醇能显著减轻灰霉病发生的严重程度。关于荔枝多酚对荔枝霜疫霉及霜疫病的作用效果鲜见报道。本文通过纯培养条件研究荔枝多酚对霜疫霉生长、产孢、孢子萌发、卵孢子产生等方面的影响,以期对荔枝霜疫病的发生流行和开发荔枝多酚类生物源杀菌剂研究奠定理论基础。

1 材料和方法

1.1 供试菌株

荔枝霜疫霉菌株(编号SHS3)为华南农业大学农学院植物病理学系真菌研究室分离、鉴定和保存。

1.2 荔枝果皮多酚的抽提及含量测定

1.2.1 多酚物质的抽提 参考王敏等^[10]的方法并略加改进,取黑叶荔枝的果皮,用粉碎机研磨粉碎后置于干燥器中保存。称取荔枝果皮粉末0.2 g,

加入70%(φ)的乙醇溶液15 mL及少许CaCO₃,浸提24 h,在45 °C下超声波(700 W)提取15 min,5 000 r·min⁻¹离心10 min,再加入5 mL 70%(φ)乙醇溶液提取2次,合并浸提液,将浸提液真空浓缩,除去乙醇备用。

1.2.2 多酚含量的测定 多酚含量的测定采用福林-酚比色法^[11]。精密称取没食子酸标准品(美国sigma公司)0.1 g,用去离子水定容至100 mL。将此溶液稀释成质量浓度为500.000、250.000、125.000、62.500、31.250、15.625 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的溶液,各质量浓度梯度的溶液分别取20 μL 于5 mL试管中,加入1.8 mL 2 mol·L⁻¹的福林-酚试剂(购自Fluka公司),放置5 min后加入1.2 mL 15%(w) Na₂CO₃溶液,在40 °C烘箱中保温30 min后,测定D_{760 nm},绘制标准曲线,并进行线性回归分析。

取果皮浸提液20 μL 按上述同样的步骤和方法测定浸提液的D_{760 nm},进而求出抽提得到的多酚总含量。

1.3 荔枝多酚对荔枝霜疫霉的影响

1.3.1 对菌落生长形态的影响 方法参考文献[12],荔枝霜疫霉于25 °C条件下PDA培养基培养7 d后,用打孔器获取直径为5 mm的菌饼置于含有不同质量浓度荔枝多酚(0、10、50、100、150、200、250、300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)的PDA平板上,于25 °C条件下培养7 d后,拍照记录霜疫霉菌落生长状态。试验重复3次。

1.3.2 对生长量的影响 方法参考文献[13],荔枝霜疫霉于25 °C条件下PDA培养基培养7 d后,用打孔器获取直径一致的菌饼($d=5\text{ mm}$),接种于含有100 mL PD培养基的250 mL三角瓶中,PD培养基中荔枝多酚的终质量浓度分别为0、10、50、100、150、200、250和300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。每个锥形瓶中接入3个菌饼,置于28 °C条件下,200 r·min⁻¹培养5 d后,使用真空抽滤的方法收集菌丝和孢子,80 °C烘箱中烘干至恒质量,以只接相同大小的空白PDA培养基作为对照,将每个处理的质量减去对照的质量即可计算菌丝的生长量。每个处理设置3次重复。

1.3.3 对孢子囊产量的影响 方法参考文献[14],

将荔枝霜疫霉在 PDA 培养基上培养 7 d 后, 切取生长直径一致的菌落, 用无菌水冲洗孢子囊并配制成 $5 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ 的悬浮液。吸取 100 μL 的孢子囊悬浮液分别涂布在含有多酚质量浓度为 10、50、100、150、200、250、300 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的 PDA 平板上, 以空白 PDA 为对照, 每个处理设置 3 次重复。将所有的处理置于 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下分别培养 2、4、6 d 后, 于每个培养皿的 5 个不同点各取菌碟 5 块, 无菌水冲洗后测定单位面积孢子囊的数量。

1.3.4 对孢子囊形态和萌发方式的影响 将“1.3.3”不同处理培养得到的霜疫霉配制成浓度为 10^4 mL^{-1} 的孢子囊悬浮液, 分别吸取 30 μL 不同处理的孢子囊悬浮液于凹玻片上, 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下黑暗培养 2 h 后, 在显微镜下观察孢子囊的形态和萌发, 每个处理设置 3 次重复, 每次重复选取 50 个孢子囊测定大小, 计数 100 个孢子囊测定萌发率。

1.3.5 对孢子囊萌发的影响 将荔枝霜疫霉在胡萝卜培养基上培养 7 d 后, 切取生长直径一致的菌落, 用无菌水冲洗后配制成 $5 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ 的孢子囊悬浮液。分别在水琼脂平板上加入荔枝多酚化合物使其终质量浓度分别达到 10、50、100、150、200、250、300 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 然后取 200 μL 孢子囊悬浮液分别涂布在含不同浓度多酚的平板上, 以不加多酚为对照。参照 Kao 等^[15] 和 Neufeld 等^[16] 方法, 将处理后的平板在 16 $^{\circ}\text{C}$ 条件下放置 30 min, 然后在 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下放置 2 h 后加入 2 μL 12%(w) CuSO_4 溶液固定, 观察孢子囊的萌发, 统计萌发率。每个处理设置 3 次重复, 每次重复计数 100 个孢子囊。

1.3.6 对游动孢子萌发的影响 参考 Pauline 等^[17] 方法, 将荔枝霜疫霉在胡萝卜培养基中于 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下培养 7 d 后, 用无菌水迅速配成浓度为 10^4 mL^{-1} 的孢子囊悬浮液, 置于 16 $^{\circ}\text{C}$ 黑暗培养 2 h 后用孔径为 20 μm 的滤膜过滤混合液, 即可除去孢子囊, 配制得到游动孢子悬浮液, 将得到的悬浮液在振荡

器震荡 30 s。

分别在水琼脂平板上加入荔枝多酚化合物使其终质量浓度分别达到 10、50、100、150、200、250、300 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 取 200 μL 配制得到的游动孢子悬浮液分别涂布在含不同浓度多酚的平板上, 以不加多酚为对照。将处理的平板在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下放置 2 h 后统计游动孢子的萌发, 每个处理设置 3 次重复, 每次重复计数 100 个游动孢子。

1.3.7 对卵孢子产量的影响 参照 Flier 等^[18] 方法, 将荔枝霜疫霉菌饼接种在含有多酚质量浓度分别为 10、50、100、150、200、250、300 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的 PDA 平板中央, 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下黑暗培养 25 d 后, 在离接种点 10 mm 的区域内随机切取 2 块 10 mm \times 10 mm 的菌丝块, 置于 10 mL 离心管中, 加入 3 mL 去离子水, 用高速匀浆机 (6 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 匀浆 2 min, 吸取 50 μL 匀浆液, 在显微镜下记录其中的卵孢子数量, 从而求得每平方毫米卵孢子数量。每个处理设置 3 次重复。

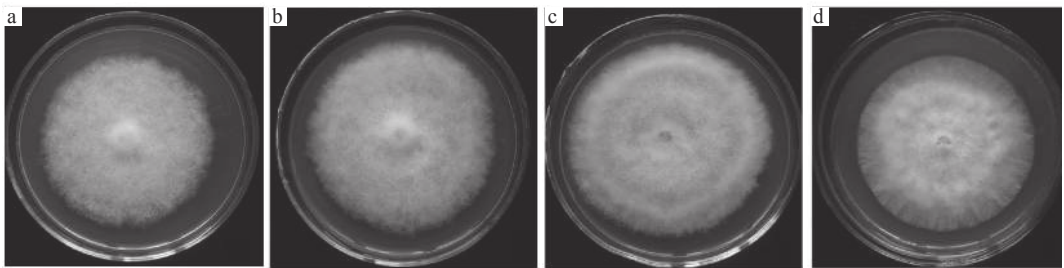
2 结果与分析

2.1 没食子酸标准曲线的绘制及荔枝多酚质量浓度的确定

通过测定不同质量浓度没食子酸的 $D_{760 \text{ nm}}$, 得到没食子酸标准曲线图, 其线性方程为 $y = 0.0008x + 0.1434$, $R^2 = 0.9992 > 0.95$, $D_{760 \text{ nm}}$ 与对应的质量浓度呈线性关系。根据测得的标准曲线和荔枝多酚的 $D_{760 \text{ nm}}$ 求出分离得到的荔枝多酚质量浓度, 并在此基础上配制不同质量浓度的荔枝多酚溶液。

2.2 荔枝多酚对荔枝霜疫霉菌落形态的影响

多酚的不同质量浓度影响荔枝霜疫霉的菌落形态。多酚质量浓度较低时, 霜疫霉菌落的气生菌丝为绒状; 多酚质量浓度为 300 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 气生菌丝为毡状, 菌落致密, 平铺在平板表面 (图 1)。



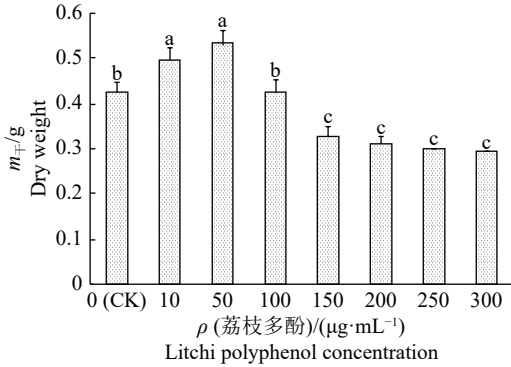
a: 0(CK); b: 50 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; c: 200 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; d: 300 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

图 1 荔枝霜疫霉在不同质量浓度荔枝多酚的 PDA 平板上的菌落形态

Fig. 1 Colony morphologies of *Peronophthora litchii* cultured on PDA plates at different concentrations of litchi polyphenols

2.3 荔枝多酚对荔枝霜疫霉生长量的影响

不同质量浓度的荔枝多酚能够显著影响霜疫霉的生长量。如图 2 所示, 低质量浓度的多酚对荔



图中柱子上方不同小写字母者, 表示差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 法)

Columns with different lowercase letters indicate significantly different ($P < 0.05$, Duncan's method)

图 2 不同质量浓度的荔枝多酚对荔枝霜疫霉菌丝干质量的影响

Fig. 2 Effects of different litchi polyphenol concentrations on dry weight of *Peronophythora litchii*

枝霜疫霉的生长量有显著促进作用, 多酚质量浓度为 $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 霜疫霉的生长量最大, 菌丝干质量达到 0.53 g ; 荔枝多酚质量浓度为 $150\sim 300 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 霜疫霉的生长量无显著差异, 但显著低于对照。

2.4 荔枝多酚对霜疫霉孢子囊产量的影响

荔枝多酚抑制霜疫霉孢子囊的产量, 由表 1 可知, 随着荔枝多酚质量浓度的提高, 霜疫霉孢子囊的产量呈下降趋势。培养 6 d 时, 对照的孢子囊产量最多, 当荔枝多酚质量浓度增大为 $250 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 孢子囊产量下降了 89.6%, 仅为 28.0 mm^{-2} 。

2.5 荔枝多酚对霜疫霉孢子囊萌发方式的影响

荔枝多酚影响霜疫霉孢子囊的萌发方式和大小。当荔枝多酚的质量浓度不大于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 孢子囊只以产生芽管的方式萌发, 当多酚质量浓度为 $150 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 有 1.9% 的孢子囊以释放游动孢子的方式萌发, 且随着多酚质量浓度的增加, 孢子囊释放游动孢子的萌发方式所占的比例逐渐加大 (表 2)。随着多酚质量浓度的增加, 孢子囊变长, 多

表 1 荔枝多酚对霜疫霉孢子囊产量的影响¹⁾

Table 1 Effects of litchi polyphenols on sporangia production of *Peronophythora litchii*

t/d	ρ (荔枝多酚)/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) Litchi polyphenol concentration							
	0(CK)	10	50	100	150	200	250	300
2	2.1±0.2a	0.7±0.1b	0.3±0.09c	0.2±0.0c	0.2±0.0c	0.1±0.0c	0.1±0.0c	0±0.0c
4	117.3±2.9b	253.5±24.3a	88.9±2.9c	80.2±2.1c	65.8±2.5cd	46.1±0.4d	16.0±1.4e	13.6±1.2e
6	268.3±13.2a	290.5±26.4a	140.7±4.9b	111.1±1.4bc	94.7±3.7c	53.9±4.6d	28.0±3.7d	27.2±1.4d

1)表中数据为3次重复的平均值±标准误, 同行数据后不同小写字母者表示差异显著($P < 0.05$, Duncan's 法)

1)The data in the table indicate the average value of three repetitions (\pm standard error), data with different lowercase letters in the same line are significantly different($P < 0.05$, Duncan's method)

表 2 荔枝多酚对霜疫霉孢子囊萌发方式及大小的影响¹⁾

Table 2 Effects of litchi polyphenols on sporangia germination mode and size of *Peronophythora litchii*

ρ (荔枝多酚)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) Litchi polyphenol concentration	孢子囊萌发方式及比例		孢子囊长度/ μm Length of sporangia	孢子囊宽度/ μm Width of sporangia
	Germination mode and proportion of sporangia			
	萌发成芽管/% Rate of germination to germ tube	释放游动孢子/% Rate of zoospores release		
0(CK)	60.6	0	27.9d	20.3ab
10	54.4	0	29.6cd	19.5b
50	52.3	0	30.7bcd	19.6b
100	51.7	0	32.9bc	19.6b
150	56.2	1.9	33.2b	18.9b
200	48.6	3.8	33.0bc	18.6b
250	42.6	9.3	36.7a	18.9b
300	50.6	10.7	38.6a	21.6a

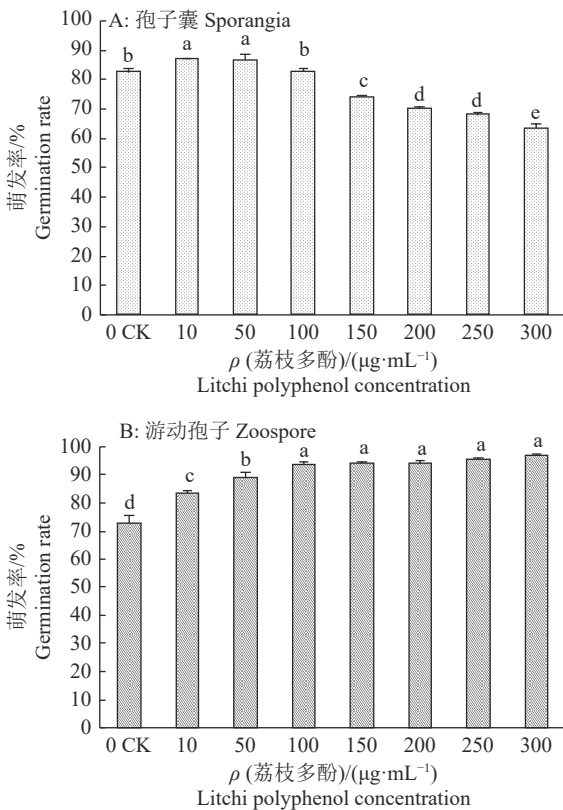
1)同列数据后不同小写字母者, 表示差异显著($P < 0.05$, Duncan's 法)

1)Data in the same column with different letters are significantly different($P < 0.05$, Duncan's method)

酚为 $300 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 孢子囊为 $38.6 \mu\text{m} \times 21.6 \mu\text{m}$, 明显长于对照孢子囊。

2.6 荔枝多酚对霜疫霉孢子囊和游动孢子萌发的影响

荔枝多酚质量浓度为 $10\sim 50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时促进孢子囊萌发, 之后多酚质量浓度的增加抑制霜疫霉孢子囊萌发, 当多酚质量浓度为 $300 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 孢子囊萌发率降低了 19.2%(图 3A)。荔枝多酚质量浓度为 $0\sim 300 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 显著促进游动孢子萌发(图 3B)。

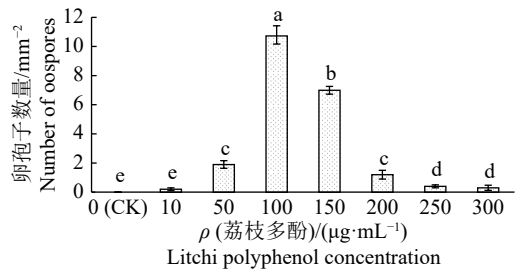


图中柱子上方不同小写字母者, 表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
Columns with different lowercase letters are significantly different ($P<0.05$, Duncan's method)

图 3 荔枝多酚对霜疫霉孢子囊和游动孢子萌发的影响
Fig. 3 Effects of litchi polyphenols on germination of sporangia and zoospores of *Peronophthora litchii*

2.7 荔枝多酚对荔枝霜疫霉卵孢子产量的影响

在 PDA 培养基中加入荔枝多酚后, 可显著提高荔枝霜疫霉卵孢子产量。在无荔枝多酚的 PDA 培养基上, 培养荔枝霜疫霉 2~4 周末见卵孢子产生, 而在培养基中加入 $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的荔枝多酚, 培养 1 周后可见大量卵孢子产生, 最多可达 10.8mm^2 , 继而随着多酚质量浓度的提高, 卵孢子的产量逐渐降低至稳定水平(图 4)。



图中柱子上方不同小写字母者, 表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
Columns with different lowercase letters are significantly different ($P<0.05$, Duncan's method)

图 4 荔枝多酚对荔枝霜疫霉卵孢子产量的影响
Fig. 4 Effect of litchi polyphenols on oospore number of *Peronophthora litchii*

3 结论与讨论

多酚作为植保素的重要组成部分, 广泛存在于各种植物体内, 对多种病原微生物的活性均有显著的影响^[19-20]。本文利用溶剂浸提法, 从果皮中提取荔枝多酚类物质, 当其质量浓度大于 $150 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时可明显抑制霜疫霉的生长、孢子囊萌发; 孢子囊的产量随着荔枝多酚质量浓度的升高明显减少。此结果说明荔枝多酚类物质具有抑制霜疫霉生长和产生孢子囊的活性, 表明其具有开发新型安全性生物源杀菌剂的潜力, 但具体是哪一种酚起主要作用有待于进一步研究。

荔枝多酚类物质可参与荔枝霜疫霉生长发育的调控。研究表明当荔枝多酚质量浓度大于 $150 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 孢子囊开始以释放游动孢子的形式萌发, 而且随着多酚质量浓度增加, 游动孢子的萌发率亦增加; 荔枝霜疫霉在含有荔枝多酚的 PDA 培养基上产生大量卵孢子, 而在 PDA 培养基上不易产生卵孢子。据此推测荔枝霜疫霉在长期的进化中, 因为不断适应环境和寄主, 一方面荔枝多酚类物质可导致孢子囊数量的减少并抑制其萌发, 但可通过促进游动孢子的产生和萌发来弥补孢子囊作为侵染源数量上的损失; 另一方面霜疫霉利用荔枝多酚类物质产生卵孢子, 并以此度过不良环境条件而使之成为次年的初侵染源。由此可见, 荔枝多酚类物质对霜疫病的发生和流行起到一定的抑制作用。

参考文献:

- [1] 张荣. 荔枝霜疫霉侵染过程研究及农业措施控制作用初探[D]. 广州: 华南农业大学, 2012: 25.
- [2] 李莹娟, 黄远峰, 叶建春, 等. 五种杀菌剂防治荔枝霜疫病的田间药效试验[J]. 广西农学报, 2013, 28(2): 12-13.
- [3] 易赛, 潘汝谦, 徐大高, 等. 荔枝霜疫霉菌对烯酰吗啉的敏感性测定[J]. 广东农业科学, 2014, 41(2): 87-91.

- [4] MA Q, XIE H, JIANG Y, et al. Phenolics and sesquiterpenes from litchi pericarp[J]. *J Funct Foods*, 2014, 9: 156-161.
- [5] IARAHIM S R M, MOHAMED G A. *Litchi chinensis*: Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacology[J]. *J Ethnopharmacol*, 2015, 174: 492-513.
- [6] WEN L, WU D, JIANG Y, et al. Identification of flavonoids in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) leaf and evaluation of anticancer activities[J]. *J Funct Foods*, 2014, 6: 555-563.
- [7] XU X, XIE H, WANG Y, et al. A-type proanthocyanidins from lychee seeds and their antioxidant and antiviral activities[J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58: 11667-11672.
- [8] WANG M, JIANG N, WANG Y, et al. Characterization of phenolic compounds from early and late ripening sweet cherries and their antioxidant and antifungal activities[J]. *J Agric Food Chem*, 2017, 65: 5413-5420.
- [9] XU D, DENG Y, HAN T, et al. In vitro and in vivo effectiveness of phenolic compounds for the control of postharvest gray mold of table grapes[J]. *Postharvest Biol Tec*, 2018, 139: 106-114.
- [10] 王敏, 陈磊, 黄雪松. 荔枝中多酚含量的测定[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(2): 172-175.
- [11] SINGLETON V L, ROSSI J A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents[J]. *Am J Enol Viticult*, 1965, 16: 144-158.
- [12] 曾勇, 罗建军, 丘麒, 等. 23种植物提取物对荔枝霜疫霉病菌的抑菌活性[J]. *华中农业大学学报*, 2007, 26(6): 780-784.
- [13] 方中达. 植病研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 40-41.
- [14] KO W H, CHASE L L, KUNIMOTO R K. A microsyringe method for determining concentration of fungal propagules[J]. *Phytopathol*, 1973, 63: 1206-1207.
- [15] KAO W H, LEU L S. Sporangium germination of *Pero-nophythora litchii*, the causal organism of litchi downy blight[J]. *Mycologia*, 1980, 72(4): 737-748.
- [16] NEUFELD K N, OJIAMBO P S. Interactive effects of temperature and leaf wetness duration on sporangia germination and infection of cucurbit hosts by *Pseudoperonospora cubensis*[J]. *Plant Dis*, 2012, 96(3): 345-353.
- [17] PAULINE B, GRANT B R. Some conditions governing zoospore production in axenic cultures of *Phytophthora cinnamomi* Rands[J]. *Aust J Bot*, 1979, 27(2): 103-115.
- [18] FLIER W G, GRÜNWARD N J, FRY W E, et al. Formation, production and viability of oospores of *Phytophthora infestans* from potato and *Solanum demissum* in the Toluca Valley, central Mexico[J]. *Mycol Res*, 2001, 105(8): 998-1006.
- [19] 黄谦. 蓝药睡莲 (*Nymphaea stellata* Willd) 多酚活性研究及遗传毒性评价[D]. 成都: 四川师范大学, 2009.
- [20] LAMBERT C, BISSO J, WAFFO-TEGUO P, et al. Phenolics and their antifungal role in grapevine wood decay: Focus on the Botryosphaeriaceae family[J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60: 11859-11868.

【责任编辑 霍 欢】