

柠檬醛对指状青霉糖酵解的影响

陶能国, 郑世菊, 敬国兴, 王笑

(湘潭大学化工学院生物与食品工程系, 湖南湘潭 411105)

摘要: 本研究测定了不同浓度柠檬醛对指状青霉呼吸代谢及糖酵解途径相关指标的影响。结果表明, 柠檬醛能明显抑制指状青霉的呼吸代谢, 1.0 $\mu\text{L/mL}$ 浓度下柠檬醛与糖酵解途径、三羧酸循环途径以及磷酸戊糖途径典型抑制剂(碘乙酸, 丙二酸, 磷酸钠)的叠加率分别为 15.00%、12.60%和 30.70%, 且此结果显示糖酵解途径受到了柠檬醛的影响。经最小抑菌浓度(minimal inhibitory concentration, MIC, 2.0 $\mu\text{L/mL}$)和最小杀菌浓度(minimal fungicidal concentration, MFC, 4.0 $\mu\text{L/mL}$)柠檬醛处理后, 指状青霉糖酵解途径重要的中间产物葡萄糖和丙酮酸的含量显著增加, 己糖激酶(Hexokinase, HK)的活性下降, 6-磷酸果糖激酶(Phosphofructokinase, PFK)和丙酮酸激酶(Pyruvate kinase, PK)的活性增加。本研究表明柠檬醛能够抑制指状青霉的呼吸代谢, 改变指状青霉糖酵解途径关键酶的活性和重要中间产物的含量。

关键词: 柠檬醛; 指状青霉; 糖酵解; 呼吸代谢

文章编号: 1673-9078(2015)12-172-176

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.026

Effects of Citral on Glycolysis of *Penicillium digitatum*

TAO Neng-guo, ZHENG Shi-ju, JING Guo-xing, WANG Xiao

(Department of Biotechnology and Food Engineering, College of Chemical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: The effects of citral on the respiratory metabolism and glycolysis of *Penicillium digitatum* were determined. Results showed that citral has a significant inhibitory effect on the respiratory metabolism of *P. digitatum* and the superposing percentages of treatment with 1.0 $\mu\text{L/mL}$ citral after addition of malonic acid, iodine acetic acid, and phosphate sodium were 15.00%, 12.60% and 30.70%, respectively. Determination of the superposition percent demonstrated that the glycolytic pathway was affected by citral. After treatment with citral at its minimal inhibitory concentration (MIC, 2.0 $\mu\text{L/mL}$) and minimal fungicidal concentration (MFC, 4.0 $\mu\text{L/mL}$), marked increases in the glucose content, pyruvic acid content, phosphofructokinase activity, and pyruvate kinase activity were observed. Moreover, a reduction in hexokinase activity was also observed. The results of this study indicate that citral affects the activity of key enzymes and the content of important intermediate products of the glycolytic pathway of *Penicillium digitatum*.

Key words: citral; *P. digitatum*; glycolysis; respiratory metabolism

果蔬采后腐烂损失是全球关注的问题, 发达国家有 10%~30% 的新鲜产品由于采后病害导致腐烂, 在缺乏贮运冷链设备的发展中国家, 果实采后腐烂率则高达 40%~50%。柑橘果实水分含量高, 成熟期比较集中, 生产中常需通过一定方式进行贮藏保鲜以调节市场供求。在此过程中, 病原微生物的入侵易导致大量的采后损失, 造成巨大经济损失。由指状青霉(*Penicillium digitatum* Sacc.) 侵染引起的绿霉病是最严重的柑橘采后病害, 近年研究表明, 我国柑橘果实采后腐烂 30~50% 由绿霉病导致^[1]。

收稿日期: 2015-01-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31271964); 湖南省教育厅青年项目(12B126)

作者简介: 郑世菊(1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品贮藏与保鲜

通讯作者: 陶能国(1979-), 男, 博士, 教授, 研究方向为食品贮藏与保鲜

由于病原菌对化学杀菌剂抗性不断增强及化学杀菌剂引起的食品安全等问题, 采后柑橘病害的控制逐渐依赖于生物防治^[2]。柠檬醛, 3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醛, 通常是两种同分异构体(香叶醛和橙花醛)的混合物, 广泛存在于植物精油中^[3], 对多种果蔬采后致病真菌有较强的抑制作用, 是一种潜在的天然抑菌物质^[4-5]。前期研究表明, 无论离体条件或活体接种下, 柠檬醛对指状青霉孢子萌发和菌丝体生长表现出极强的抑制^[6]。

虽然前人对柠檬醛的抑菌性能进行了较好的研究, 但对其抑菌机制的研究目前依然薄弱。通常认为, 植物精油的抑菌机制与其脂溶性特点能破坏细胞膜结构有关^[7]。前期研究发现, 经 2.0 $\mu\text{L/mL}$ (MIC)和 4.0 $\mu\text{L/mL}$ (MFC)柠檬醛处理后的意大利青霉、指状青霉和酸腐病菌菌丝体结构发生不规则变化, 表面粗糙,

线性损失, 细胞膜通透性发生显著改变, 胞内物质如 K^+ 、 Mg^{2+} 、核酸和蛋白质等泄露, 脂质和麦角固醇等细胞膜结构物质含量减少^[8-9]。还有研究指出, 植物精油能影响真核生物的呼吸代谢, 破坏能量供给平衡, 从而导致细胞凋亡^[10]。

糖酵解途径是生物体呼吸代谢的第一个途径, 是一切生物有机体中普遍存在的葡萄糖降解通路^[11], 但柠檬醛对指状青霉呼吸代谢的影响目前尚未见报道。鉴于此, 本研究拟探讨柠檬醛对指状青霉呼吸代谢和糖酵解途径的影响, 为揭示柠檬醛的抑菌机制和柑橘采后病害生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

柠檬醛(95%)购自西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司; 碘乙酸、丙二酸和磷酸钠均为分析纯(AR)购自生工生物工程(上海)股份有限公司。

指状青霉(*P. digitatum*)分离自腐烂的柑橘果实表面, 现保存于湘潭大学生物与食品工程专业实验室。

1.2 仪器与设备

SPX-250B-D 生化培养箱(上海博迅实业有限公司); BL320H 电子天平(SHIMADZ 公司); TDL5A 大容量冷冻离心机(长沙英泰仪器有限公司); JPSJ-605 溶氧仪(上海仪电科学仪器股份有限公司); UV2450 紫外分光光度计(SHIMADZU 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 不同浓度柠檬醛对指状青霉溶解氧的影响

采用溶氧仪测定柠檬醛对指状青霉溶解氧的影响^[12]。在反应杯中加入 1.8 mL (pH 7.0, 0.1 mol/L) 磷酸缓冲液 (PBS) 和 0.5 mL 浓度为 5×10^5 cfu/mL 的指状青霉菌悬液, 手动延同一方向摇匀并开始测定菌悬液中的溶氧量, 测定时保证整个体系处于封闭状态。5 min 时加入 0.2 mL 1% 葡萄糖 (G) 溶液手动延同一方向摇匀并测定溶氧量。10 min 时, 加入柠檬醛, 使其终浓度为 1.0、2.0、3.0 和 4.0 $\mu\text{L}/\text{mL}$, 以不加柠檬醛组为对照组, 每隔 5 min 测一次, 每个处理浓度重复 3 次。

1.3.2 柠檬醛对指状青霉呼吸代谢途径的影响

参考前人文献^[12-13], 在反应杯中加入 1.8 mL (pH 7.0, 0.1 mol/L) PBS 和 0.5 mL 浓度为 5×10^5 cfu/mL 的指状青霉菌悬液, 手动延同一方向摇匀并开始测定

菌悬液中的溶氧量, 测定时保证整个体系处于封闭状态。5 min 后加入 0.2 mL 1% 葡萄糖 (G) 溶液手动延同一方向摇匀并测定溶氧量。10 min 时分别加入碘乙酸、丙二酸和磷酸钠使其终浓度皆为 0.50 mg/mL, 手动延同一方向摇匀并测定溶氧量。15 min 时再加入柠檬醛使其终浓度为 1.0 $\mu\text{L}/\text{mL}$, 以不加柠檬醛组为对照组, 手动延同一方向摇匀并测定溶氧量。根据菌悬液中溶氧量的变化, 求出菌体呼吸速率。按照下列公式求出 3 种典型抑制剂与柠檬醛的叠加率。

$$R_R(\%) = \frac{(R_I - R_I')}{R_I} \times 100$$

注: R_R 为典型抑制剂对柠檬醛的叠加率(%); R_I 为加入柠檬醛后菌体的呼吸速率; R_I' 为加入典型抑制剂后菌体的呼吸速率。

1.3.3 柠檬醛对指状青霉糖酵解途径相关指标的影响

指状青霉在马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)上预培养 7 d, 待产生孢子后用无菌水洗脱注入马铃薯葡萄糖液体培养基 (PDB), $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 160r/min 震荡培养 2 d 后, 4000 r/min 离心 15 min, 水洗三次, 每次 10 min, 收集菌丝体, 重新悬于新鲜培养基中, 加入浓度为 0、MIC 和 MFC 的柠檬醛处理 0、30、60 和 120 min 后, 测定所需指标, 重复 3 次。主要测定葡萄糖和丙酮酸含量, 以及己糖激酶 (HK)、6-磷酸果糖激酶 (PFK) 和丙酮酸激酶 (PK) 活性。丙酮酸含量、HK 和 PK 活性采用南京建成生物工程研究所相应试剂盒测定, 葡萄糖含量和 PFK 活性采用上海索莱宝生物科技有限公司相应试剂盒测定。测定方法的主要步骤为: 准确称取菌丝体, 加入 9 倍生理盐水, 液氮研磨, 离心后取上清液, 采用紫外可见分光光度法测定葡萄糖和丙酮酸含量 (505 nm), 以及 HK、PFK 和 PK 活性 (340 nm)。

1.3.4 数据分析

每一组有三次重复, 采用常规的分析方法标注标准偏差, 数据分析采用 SPSS16.0 统计分析软件, ANOVA 来分析显著性差异 ($P < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 不同浓度柠檬醛对指状青霉溶解氧的影响

图 1 结果显示, 新鲜细胞悬浮液表现出中等水平的内源呼吸, 其溶解氧含量为 6.38 ± 0.01 mg/L, 5 min 时加入 1% 葡萄糖后, 溶解氧显著 ($P < 0.05$) 下降到

5.97±0.04 mg/L。经柠檬醛处理 5min 后, 对照和处理组指状青霉中溶解氧含量开始急速下降, 但柠檬醛处理组溶解氧含量略高于对照, 说明呼吸代谢开始受到抑制。随着时间延长, 处理组溶解氧含量下降速度明显放缓, 显著低于空白对照, 且浓度越高, 溶解氧下降的趋势越缓慢, 30 min 时, 0.0、1.0 和 2.0 μL/mL 柠檬醛作用后的指状青霉溶解氧浓度分别为 3.94±0.09、4.19±0.05 和 4.35±0.01 mg/L, 而 3.0 和 4.0 μL/mL 柠檬醛作用后的指状青霉溶解氧浓度分别为 5.13±0.01 和 5.25±0.06 mg/L, 显著 ($P<0.05$) 高于前者, 说明此时指状青霉呼吸代谢受到显著抑制。这一现象与 Cu-蒙脱石作用于细菌菌悬液后溶解氧的变化类似^[12]。至于产生此现象的原因, 可能与柠檬醛损伤细胞质膜后出现氧化磷酸化的解耦联作用有关, 也可能是柠檬醛阻止了葡萄糖在细胞内的运输或是迫使细胞缺少辅酶、辅酶因子及呼吸链的组成成分^[13]。

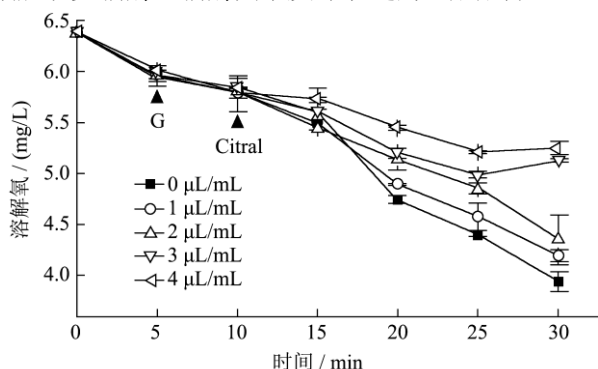


图1 柠檬醛对指状青霉溶解氧的影响

Fig.1 Effect of citral on the O₂ consumption by *P. digitatum*

2.2 柠檬醛对指状青霉呼吸代谢途径的影响

表1 柠檬醛(1.0 μL/mL)对指状青霉呼吸代谢叠加率的影响

Table 1 Superposition percentage of treatment with citral (1.0

μL/mL) on the respiratory metabolism of *P. digitatum*

抑制剂	浓度/(mg/mL)	叠加率/%
碘乙酸	0.50	15.00±1.02
丙二酸	0.50	12.60±0.94
磷酸钠	0.50	30.70±1.61

磷酸钠、碘乙酸和丙二酸是磷酸戊糖途径、糖酵解途径和三羧酸循环途径的典型抑制剂, 通过计算某种抑菌物质与这三种典型抑制剂叠加率的大小, 可反映抑菌物质与典型抑制剂对呼吸抑制率的增效作用, 叠加率越小, 表明该抑菌物质与典型抑制剂抑制相同代谢途径的可能性就越大^[12-13]。表1 数据结果表明, 柠檬醛浓度为 1.0 μL/mL 时, 其相对于碘乙酸、丙二酸和磷酸钠的叠加率分别为 15.00%、12.60% 和 30.70%, 暗示着糖酵解途径和三羧酸循环途径可能受

到了抑制, 前期结果已证实指状青霉三羧酸循环代谢的确受到柠檬醛的抑制^[14]。

2.3 柠檬醛对指状青霉糖酵解关键酶的影响

柠檬醛处理后, 丙酮酸激酶 (PK) 活性缓慢上升, 但前 60 min 对照组 (CK)、MIC 和 MFC 组没有显著差别 (图2)。随着时间延长到 120 min 时, MIC 和 MFC 柠檬醛处理组 PK 活性较 CK 分别增加了 8.33% 和 11.11%, 但总体变化量保持平稳。

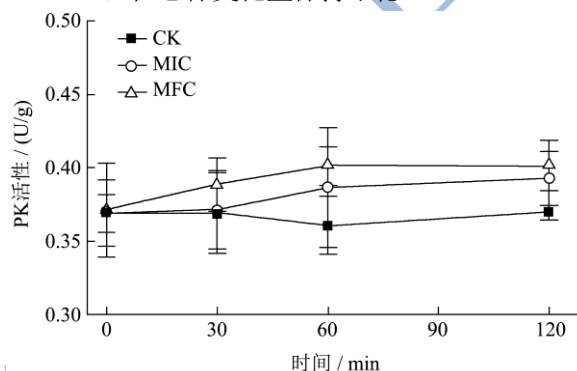


图2 柠檬醛对指状青霉 PK 活性的影响

Fig.2 Effect of citral on the pyruvate kinase (PK) activity of *P. digitatum*

6-磷酸果糖激酶 (PFK) 活性变化较为明显, 其含量随柠檬醛处理时间的增加稳步上升 (图3)。处理 30min 时, MIC 和 MFC 组 PFK 活性分别为 412.50±9.54 和 582.00±31.82 U/g, 显著高于对照组 (337.50±25.46 U/g, $P<0.05$); 30~120 min 内, 柠檬醛处理组 PFK 活性增加幅度比前 30 min 略微平缓, 120 min 时对照组 PFK 活性基本保持稳定 (330.50±9.37 U/g), 而 MIC 和 MFC 处理组 PFK 活性分别为 480.00±31.81 和 676.05±31.81 U/g。

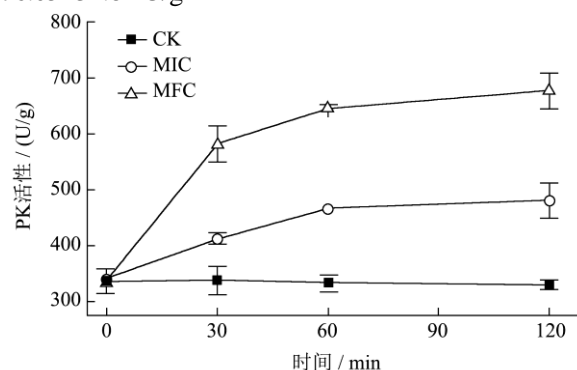


图3 柠檬醛对指状青霉 PFK 活性的影响

Fig.3 Effect of citral on the 6-phosphofructokinase (PFK) activity of *P. digitatum*

图4 结果显示, 柠檬醛对指状青霉中己糖激酶 (HK) 存在抑制。30 min 时, 对照组 HK 活性还处于相对较高水平 (0.23±0.02 U/g), 而柠檬醛 MIC 和 MFC

处理组 HK 活性分别下降为 0.19 ± 0.01 和 0.18 ± 0.02 U/g; 随着柠檬醛处理时间延长, HK 活性持续下降, 到 120 min 时柠檬醛 MIC 和 MFC 处理组 HK 活性分别为 0.14 ± 0.01 和 0.13 ± 0.02 U/g, 对照组 HK 活性仍处于较高水平 (0.25 ± 0.02 U/g), 显著高于处理组 ($P<0.05$)。

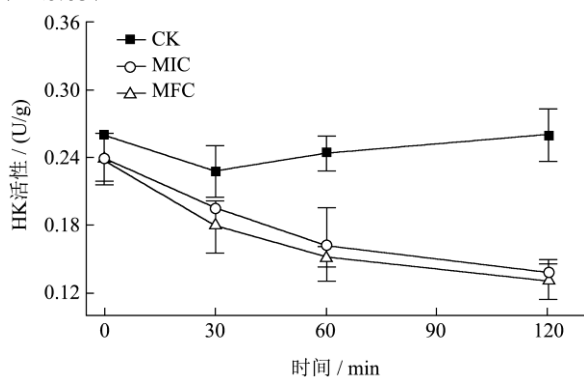


图4 柠檬醛对指状青霉 HK 活性的影响

Fig.4 Effect of citral on the hexokinase (HK) activity of *P. digitatum*

己糖激酶(HK)、6-磷酸果糖激酶(PFK)和丙酮酸激酶(PK)是糖酵解途径的关键酶, HK 催化葡萄糖磷酸化为 6-磷酸葡萄糖, 6-磷酸果糖在 PFK 的作用下生成 1,6-双磷酸果糖, 磷酸烯醇式丙酮酸在 PK 的作用下转化为丙酮酸^[11]。糖酵解途径最主要的生理意义是迅速提供能量, 一旦胞内 ATP 含量下降, 细胞为满足自身对 ATP 的需求就必须启动 ATP 补偿途径(糖酵解途径)。PK 作为糖酵解途径中直接产生 ATP 的关键酶, 可直接生成 ATP, 其活性增加通常意味着生物体对 ATP 的需求增加^[12]。刘立明等^[11]研究指出, 当光滑球拟酵母培养液中含有 10.00 mg/mL 鱼藤酮时, 胞内 ATP 含量下降为对照组的 43.00%, PK 的活性提高为对照组的 32.00%。前期研究表明, 柠檬醛可导致指状青霉胞内 ATP 含量迅速降低^[14], 存在诱导 PK 活性增加的可能。本研究结果进一步证实柠檬醛处理可诱导指状青霉 PK 活性缓慢增加, 虽然增加幅度不大, 但足以推动糖酵解直接生成 ATP, 有利于糖酵解的顺利进行。

PK 活性增加可导致中间产物 1,6-双磷酸果糖含量减少, 为保证产物浓度的稳定, PFK 活性会对应增加, 催化更多的 6-磷酸果糖转化为 1,6-双磷酸果糖, 从而维持细胞正常生长, 为细胞提供稳定的能量来源^[11]。此外, PFK 的活性与其变构抑制剂(ATP 和柠檬酸)以及变构激活剂(AMP、ADP 和 1,6 双磷酸果糖)的含量密切相关, 当细胞内 ATP/AMP 比例降低时, PFK 能被快速激活。前期研究表明, 柠檬醛处理后指状青霉胞内 ATP 和柠檬酸含量显著降低, AMP 含量增加^[14]。这些均解释了柠檬醛处理后指状青霉 PFK 活

性的增加。有意思的是, 指状青霉 HK 活性并没有随着 PFK 活性增加(中间产物 6-磷酸葡萄糖含量减少)而增加, 反而受柠檬醛的影响而降低, 出现这种现象可能是 HK 受其反应产物 6-磷酸葡萄糖的反馈抑制致使 HK 内不存在 6-磷酸葡萄糖的变构部位。另一种可能是, 由于 Mg^{2+} 是 HK 的激活剂和辅助因子, 加入柠檬醛后 Mg^{2+} 泄露到胞外^[8], 致使细胞内 Mg^{2+} 镁离子浓度相对或绝对缺乏, 导致其活性降低。

2.4 柠檬醛对指状青霉葡萄糖和丙酮酸含量的影响

整个处理过程中, 柠檬醛组葡萄糖含量都处于增加趋势, 对照组基本保持不变(图 5), 30 min 时, 柠檬醛 MIC 和 MFC 处理组葡萄糖含量分别为 19.67 ± 0.35 和 23.34 ± 1.36 $\mu\text{g/g}$, 显著高于对照组 (3.96 ± 0.15 $\mu\text{g/g}$, $P<0.05$); 随着处理时间延长, 葡萄糖含量持续上升, 120 min 时, 柠檬醛 MIC 和 MFC 处理组葡萄糖含量分别达到 23.67 ± 0.44 和 29.86 ± 0.30 $\mu\text{g/g}$, 而对照组葡萄糖含量仅为 4.26 ± 0.11 $\mu\text{g/g}$ 。出现这种情况可能是 HK 活性受抑制后, 葡萄糖由 HK 催化形成 6-磷酸葡萄糖过程受阻, 从而导致葡萄糖积累。此外, 柠檬醛可损伤指状青霉细胞膜流动性^[8], 致使细胞对葡萄糖的转运能力下降, 抑制葡萄糖在机体的代谢, 使葡萄糖利用率下降, 从而使葡萄糖的含量增加。

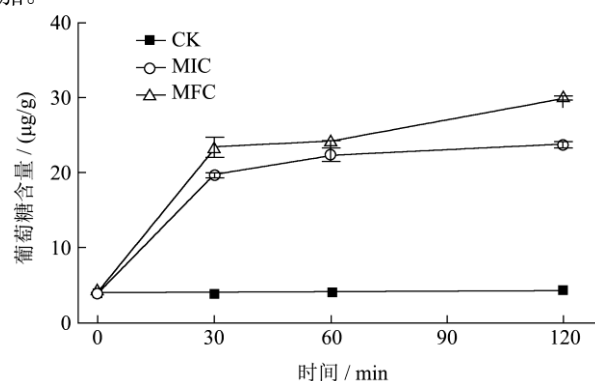


图5 柠檬醛对指状青霉葡萄糖含量的影响

Fig.5 Effect of citral on the glucose content of *P. digitatum*

作为糖酵解的最终代谢产物, 丙酮酸的含量会随着 PFK 和 PK 活性的增加而增加^[11]。如图所示, 整个过程柠檬醛处理组丙酮酸含量都呈增加趋势(图 6)。处理 30 min 时, MIC 和 MFC 组丙酮酸含量分别为 3.46 ± 0.12 和 16.26 ± 1.30 $\mu\text{g/g}$, 显著高于对照组的 2.30 ± 0.57 $\mu\text{g/g}$ ($P<0.05$); 随着处理时间延长和柠檬醛浓度增加, 丙酮酸含量持续增加, 120 min 时, 柠檬醛 MIC 和 MFC 处理组丙酮酸含量分别达到

12.45±1.65 和 36.71±1.58 μg/g, 远远超过对照组的 2.26±0.07 μg/g ($p<0.05$), 这一结果与 PFK 和 PK 活性的增加相对应, 也可能是由于柠檬醛处理后三羧酸循环途径受到抑制^[14], 导致丙酮酸向三羧酸循环途径输送过程受阻, 从而导致丙酮酸含量增加。

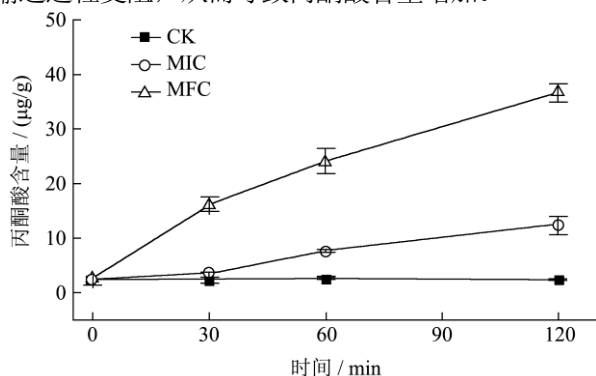


图6 柠檬醛对指状青霉丙酮酸含量的影响

Fig.6 Effect of citral on the pyruvic acid content of *P. digitatum*

3 结论

本研究结果表明: 柠檬醛对指状青霉有抑制作用, 可抑制指状青霉的呼吸代谢, 降低 HK 活性, 增加 PFK 活性、PK 活性、葡萄糖含量和丙酮酸含量。

参考文献

- [1] Liao H L, Alferez F, Burns J K. Assessment of blue light treatments on citrus postharvest diseases [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 81: 81-88
- [2] Sukorini H, Sangchote S, Khewkhom N. Control of postharvest green mold of citrus fruit with yeasts, medicinal plants and their combination [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 79:24-31
- [3] Dudai N, Weinstein Y, Krup M, et al. Citral is a new inducer of caspase-3 in tumor cell lines [J]. Planta Medica, 2005, 71(05):484-488
- [4] Wuryatmo E, Able A J, Ford C M, et al. Effect of volatile citral on the development of blue mould, green mould and sour rot on navel orange [J]. Australasian Plant Pathology, 2014, 43(4):1-9
- [5] Patrignani F, Tabanelli G, Siroli L, et al. Combined effects of high pressure homogenization treatment and citral on microbiological quality of apricot juice [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013,160(3):273-281
- [6] Tian J, Huang B, Luo X, et al. The control of *Aspergillus flavus* with *Cinnamomum jensenianum* Hand.-Mazz essential oil and its potential use as a food preservative [J]. Food Chemistry, 2012, 130(3):520-527
- [7] Droby S, Eick A, Macarasin D, et al. Role of citrus volatiles in host recognition, germination and growth of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3):386-396
- [8] 贾雷. 柑桔精油及其抑菌组分对柑橘采后青、绿霉菌的作用 [D]. 湘潭:湘潭大学,2013
- [9] JIA Lei. Effect of citrus essential oil and its antibacterial components on citrus postharvest blue and green mold [D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2013
- [9] Tao N, Jia L, Zhou H. Anti-fungal activity of *Citrus reticulata* Blanco essential oil against *Penicillium italicum* and *Penicillium digitatum* [J]. Food Chemistry, 2014, 153: 265-271
- [10] 曾晓房,高苏娟,林衍宗,等.肉桂精油对紫金春甜桔贮藏保鲜的影响[J].现代食品科技,2012,28(10):1281-1284
- [10] ZENG Xiao-fang, GAO Su-juan, LIN Yan-zong et al. Preservation effect of cinnamon essential oil on Zijin sweet orange [J] Modern Food Science and Technology, 2012, 28(10):1281-1284
- [11] 刘立明.光滑球拟酵母中糖酵解效率与丙酮酸合成的调控研究[D].无锡:江南大学,2006
- [11] LIU Li-ming. Smooth Torulopsis regulation of pyruvate synthesis efficiency and solution of sugar fermentation yeast [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006
- [12] Guo T, Ma Y L, Guo P, et al. Antibacterial effects of the Cu (II)-exchanged montmorillonite on *Escherichia coli* K88 and *Salmonella choleraesuis* [J]. Veterinary Microbiology, 2005, 105(2):113-122
- [13] 周磊,云宝仪,汪业菊,等.大黄素对金黄色葡萄球菌的抑菌作用机制[J].中国生物化学与分子生物学报,2011,27(12):1156-1160
- [13] ZHOU Lei, YUN Bao-yi, WANG Ye-ju, et al. The antibacterial mechanism of emodin on *Staphylococcus aureus* [J]. China Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2011, 27(12): 1156-1160
- [14] Zheng S, Jing G, Wang X, et al. Citral exerts its antifungal activity against *Penicillium digitatum* by affecting the mitochondrial morphology and function [J]. Food Chemistry, 2015, 178: 76-81