

生物质热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌及保鲜作用

Study on bacteriostat to *Colletorichum orbiculare* of muskmelon and fresh keeping effects of bio-liquid

刘芳芳¹ 李范洙¹ 张先¹ 李敏²

LIU Fang-fang¹ LI Fan-zhu¹ ZHANG Xian¹ LI Min²

(1. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 延边特色产业发展中心, 吉林 延吉 133000)

(1. Agriculture College of Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China;

2. Characteristic Industry Development Center of Yanbian, Yanji, Jilin 133000, China)

摘要:为了开发低毒无害的新型果蔬保鲜剂,以生物质热解液(简称热解液)为主要研究对象,研究热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌效果、抑菌机理及对甜瓜的保鲜效果。结果表明,热解液对甜瓜炭疽菌有明显的抑菌效果, EC_{50} 为1.8%, EC_{70} 为2.4%。热解液可以破坏甜瓜炭疽菌的细胞膜结构,导致蛋白质、核酸类及糖类物质外渗。保鲜试验结果表明:热解液可以有效减缓甜瓜果肉硬度、可溶性固形物含量及可滴定酸含量的降低,抑制多酚氧化酶和多聚半乳糖醛酸酶活性,并抑制酚类物质的消耗及可溶性果胶含量的增加。热解液浓度越大,对甜瓜保鲜效果越明显。

关键词:热解液;甜瓜炭疽菌;甜瓜;保鲜

Abstract: To develop a new type of fruit and vegetable preservative with low toxicity and harmLess, the bio-liquid was used as the main experimental material, and the antibacterial effects and mechanism of bio-liquid on the *Colletorichum orbiculare* and the effect on the preservation of muskmelon were studied. The results showed that the bio-liquid had obvious antibacterial effect on the *Colletorichum orbiculare*, and the EC_{50} and EC_{70} were 1.8% and 2.4%, respectively. The bio-liquid could destroy the membrane structure of the *Colletorichum orbiculare* and the rupture the cell membrane, which caused the exudation of proteins, nucleic acids, and carbohydrates. Treated with bio-liquid could delay the decrease of pulp's hardness, soluble solid content, titratable acid content, besides, it could inhibit polyphenol oxidase activity and polygalacturonase activity, and also delay the consumption of phenolic substances and inhibit the increase of soluble pectin content. The higher the concentration of bio-liquid was, the more obvious the effect of muskmelon preservation had.

Keywords: bio-liquid; *Colletorichum orbiculare*; muskmelon; preservation

生物质热解液(简称热解液)是农林废弃物如秸秆、锯末、杂木等生物质在一定条件下快速热解得到生物油在精制过程中的水溶性组分^[1],其化学组成主要包括有机酸类、酮类、酚类、醇类等化合物^[2],类似于醋液^[3]。据报道木醋液、竹醋液具有促进植物生长、抑制植物病原菌及保鲜的作用^[4-5],相较于其他农药残留难去除^[6]的问题,木醋液毒性小、无残留,广泛应用于农业生产中,尤其是绿色农产品生产中^[7-9]。但对热解液在抑制植物病原菌和果蔬保鲜方面的研究报道并不多,李金娜等^[10]研究了热解液采前处理对苹果梨贮藏品质的影响,表明热解液对苹果梨起到了保鲜作用;张先等^[11]研究表明采后热解液处理对香水梨具有一定的保鲜效果,因此推测热解液可能对其他果实的贮藏保鲜有一定的作用。甜瓜营养丰富,汁多味甜,备受广大消费者青睐,中国是世界上最大的甜瓜产区^[12]。甜瓜在生产贮藏及运输过程中常发生一些病害,其中甜瓜炭疽菌(*Colletorichum orbiculare*)是主要病害之一^[13]。甜瓜炭疽菌是真菌中的半知菌亚门刺盘孢菌,在甜瓜全生育期都可诱发炭疽病的发生,造成甜瓜严重腐烂,另外由于采收期集中,且正值高温季节,所以甜瓜还存在不耐运输、贮藏时间短、易软化等问题^[14]。目前农民习惯频繁施用化学药剂对甜瓜炭疽病进行防治,既增加防治成本,又加重果品污染,防效也不理想^[15],而在保鲜方面中国采用普通冷藏、化学保鲜剂等^[16],均存在效果不佳、化学残留等问题。另外天然保鲜剂如天然树脂、壳聚糖、魔芋精粉等涂膜处理虽然能对甜瓜起到保鲜作用,但涂膜必须薄厚均匀,过厚会影响果蔬的呼吸作用,导致生理代谢失调,引起腐烂变质,只能在短期贮藏、运输或上市前进行处理^[17],且存在风干时间长、占地面积大等不足。而热解液与上述天然保鲜剂相比于果蔬采前采后

基金项目:吉林省科技发展计划项目(编号:20130204045NY)

作者简介:刘芳芳,女,延边大学在读硕士研究生。

通信作者:李范洙(1965—),男,延边大学副教授,博士。

E-mail: fzli@ybu.edu.cn

收稿日期:2018-01-06

均可进行经喷洒或浸泡处理,且易风干。根据热解液处理苹果、梨的贮藏品质研究试验可以看出热解液可以延长贮藏期。因此合理有效开发天然保鲜剂对甜瓜炭疽病的防治和甜瓜保鲜来说具有重要意义,而目前没有热解液对甜瓜保鲜的研究报道。

本试验拟研究热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌效果及抑菌机理,同时研究热解液对甜瓜采后贮藏品质的影响,以期为开发低毒无害的果蔬保鲜剂提供一定的理论参考,并为生物质资源的综合利用及热解液的开发应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试材料

热解液:2014年广州迪森集团提供的以木屑为原料,中温快速热解法制造的生物油,生物油与水按体积比1:1混合,在0.1 MPa的真空度下蒸馏,收集100~120℃时的蒸馏液;

甜瓜:八里香薄皮甜瓜,延吉市万源批发市场。

1.1.2 供试菌种

甜瓜炭疽菌:吉林省蔬菜花卉科学研究院。

1.2 仪器设备

数显电导率仪:DDS-11A型,上海雷磁创益仪器仪表有限公司;

质构仪:TMS-PRO型,美国Food Technology Corporation公司;

超微量紫外分光光度计:Q5000型,美国Quawell公司。

1.3 试验方法

1.3.1 热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌试验 用PDA固体培养基灭菌后冷却至50℃,以10倍间隔对热解液进行稀释配制热解液浓度为0.9%~3.3%的培养基。用打孔器(直径为5 mm)在已培养6~8 d的甜瓜炭疽菌平板上选取菌落生长旺盛处制备菌饼,之后将菌丝朝下放入含热解液的培养皿中央,以不加热解液的培养基为对照(CK),每个培养皿中放置一个菌饼,每个浓度重复3次,24℃下培养至对照菌落长到平板2/3时用十字交叉法测定菌落直径,通过抑菌率公式计算不同浓度热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌率^[18]。以热解液浓度的对数值为横坐标,抑菌率的几率值为纵坐标,得到毒力回归方程,从毒力回归方程计算得出热解液对甜瓜炭疽菌的 EC_{50} 值和 EC_{70} 值。

1.3.2 热解液对甜瓜炭疽菌抑菌机理试验 用1.4%,1.7%,2.0%,2.5%的热解液处理甜瓜炭疽菌菌丝后,使用电导率仪进行电导率的测定^[19];参照徐俊光^[20]的方法进行细胞蛋白质和核酸类物质外渗的测定;蒽酮试剂法测定菌丝总糖含量^[21]。

1.3.3 果实品质指标的测定

(1) 果肉硬度:用质构仪测定,参数为检测速度30 mm/s,测定深度6 mm,起始力0.5 N^[22]。

(2) 可溶性固形物含量:用手持折光仪测定。

(3) 可滴定酸含量:用指示剂滴定法测定^[23]。

1.3.4 果实生理生化指标的测定

(1) 多酚氧化酶(polyphenol oxidase,PPO)活性:采用邻苯二酚氧化法^[24]。

(2) 酚类物质含量:福林试剂法^[25]。

(3) 多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase,PG)活性:DNS比色法^{[26]88-89}。

(4) 可溶性果胶含量:咔唑比色法^{[26]90}。

1.4 保鲜试验设计

选取热解液对甜瓜炭疽菌抑菌试验中确定的 EC_{50} 值和 EC_{70} 值,即浓度为1.8%和2.4%的热解液对甜瓜浸泡2~3 min后沥干,置于室温,每隔4 d进行相关指标的测定,并设置对照组(CK)。

1.5 数据分析

试验数据采用Excel计算标准差,应用SPSS 17.0采用Duncan多重比较法对数据进行统计分析,显著水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌作用

热解液对甜瓜炭疽菌有较好的抑菌效果(图1)。如表1所示,随着热解液浓度的增加,热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌率逐渐增大,当热解液浓度 $>2.0\%$ 时,抑菌率 $>50\%$,且差异显著($P<0.05$),热解液浓度为3.3%时抑菌率达到100%。通过不同浓度热解液对甜瓜炭疽菌抑菌率的测定,求得毒力回归方程为 $y=4.064\ 4X^2+2.109\ 1X+4.106$, $R^2=0.996\ 7$,根据回归方程得出热解液对甜瓜炭疽菌的 EC_{50} 值为1.8%, EC_{70} 值为2.4%。

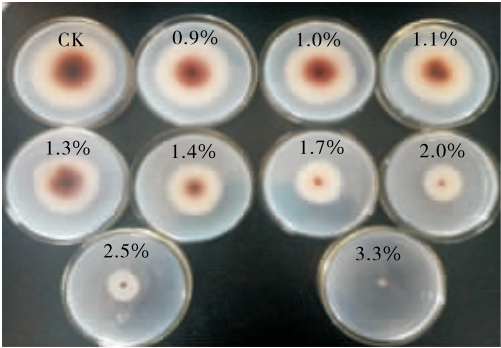


图1 热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌效果

Figure 1 Inhibitory effect of bio-liquid on *Colletorichum orbiculare*

表1 热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌率[†]

Table 1 The bacteriostasis rate of bio-liquid against *Colletorichum orbiculare* %

热解液浓度	抑菌率	热解液浓度	抑菌率
CK	—	1.4	32.89±1.58 ^e
0.9	15.84±1.18 ^b	1.7	43.33±1.21 ^d
1.0	19.16±2.61 ^{ab}	2.0	55.08±2.73 ^c
1.1	21.18±1.11 ^{fg}	2.5	73.37±5.66 ^b
1.3	25.54±3.32 ^f	3.3	100.00±0.00 ^a

[†] 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌机理

2.2.1 对炭疽菌相对电导率的影响 相对电导率可表示细胞膜通透性,通过测定相对电导率可以看出热解液是否破坏甜瓜炭疽菌的细胞膜结构。选取对甜瓜炭疽菌抑菌率在 30%~80% 的不同浓度热解液对甜瓜炭疽菌进行处理后测定电导率,从图 2 可以看出病菌的相对电导率在处理 1 h 后达到高峰,之后 2 h 内迅速下降,3 h 后趋于平缓。1~5 h 内经热解液处理的病菌的相对电导率随着处理浓度的增高而增大,各处理组相对电导率均显著高于对照组,处理 1 h 后 2.5% 热解液处理组相对电导率为 56.9%,对照组为 30.7%。说明热解液破坏了甜瓜炭疽菌菌体的细胞膜,造成电解质外渗导致电导率升高,而且处理浓度越高,对细胞膜的破坏程度越大。

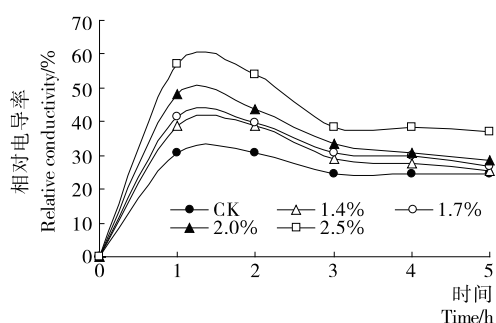


图 2 热解液对甜瓜炭疽菌相对电导率的影响

Figure 2 Effects of bio-liquid on relative conductivity of *Colletotrichum orbiculare*

2.2.2 对炭疽菌蛋白质和核酸类物质外渗的影响 从图 3 可以看出,蛋白质和核酸类物质外渗的变化趋势类似,均随着热解液处理时间的延长外渗量持续增加,而且热解液浓度越大外渗量越多,各处理组的蛋白质和核酸类物质外渗量均显著高于对照组。说明热解液破坏甜瓜炭疽菌细胞膜结构,导致蛋白质和核酸类物质外渗,且热解液浓度越大对细胞膜的破坏作用也越大,并且会持续一定时间。同时在甜瓜炭疽菌刚接触到热解液时就有蛋白质和核酸类物质外渗,说明热解液对甜瓜炭疽菌细胞膜结构破坏作用迅速。吴慧娟等^[27]研究表明神农香菊全草精油化学成分主要为萜烯类、醇类和醛酮类,抑菌机制可能在于此等物质破坏细菌细胞壁,导致细菌细胞变形和菌体蛋白质外渗。付长雪等^[28]通过 GS-MS 对热解液成分进行了分析,表明热解液主要组成成分为酸类、胺类、酮类物质,还含有少量的醇类、酯类、酚类、醛类物质,进一步说明了热解液的抑菌作用可能与其活性成分有关。

2.2.3 对炭疽菌菌丝总糖含量的影响 从图 4 可以看出,不同浓度热解液处理甜瓜炭疽菌 48 h 后,菌丝中总糖含量显著低于对照组。热解液浓度越大,菌丝总糖含量越低,其中 2.5% 热解液处理组的总糖含量为 1.24%,显著低于其他浓度的。说明热解液破坏了细胞膜结构,糖类物质渗出,导致总糖含量降低,与王海英等^[29]对木醋液的研究结果一致。

2.3 热解液处理对甜瓜贮藏品质的影响

2.3.1 对果肉硬度的影响 由图 5 可以看出,在贮藏期间甜

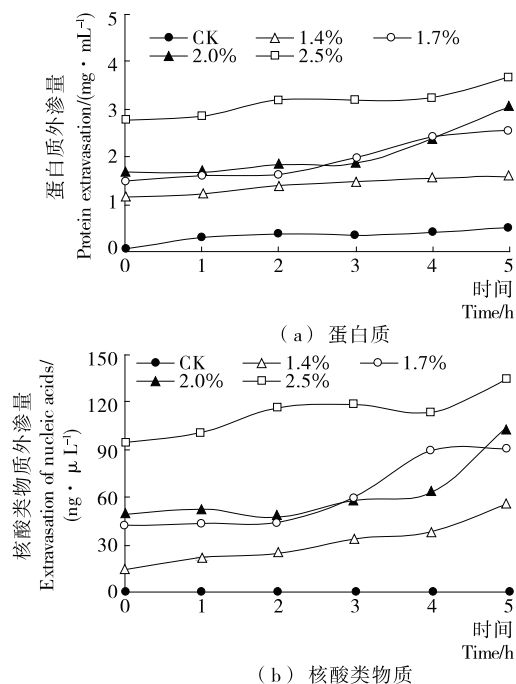


图 3 热解液对甜瓜炭疽菌蛋白质和核酸类物质外渗的影响
Figure 3 Effects of bio-liquid on protein and nucleic acids extravasation of *Colletotrichum orbiculare*

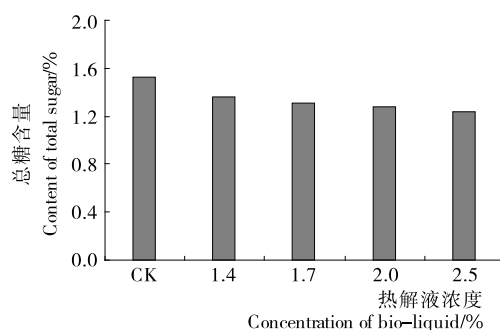


图 4 热解液对甜瓜炭疽菌菌丝总糖含量的影响

Figure 4 Effects of bio-liquid on total sugar content of *Colletotrichum orbiculare*

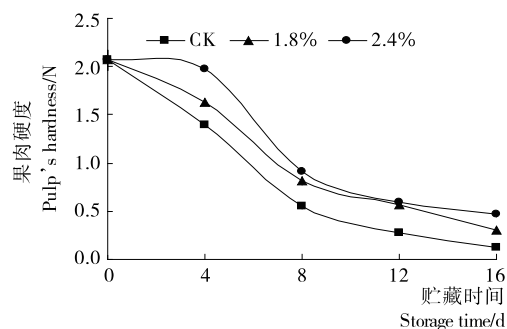


图 5 热解液对甜瓜果肉硬度的影响

Figure 5 Effects of bio-liquid on the pulp's hardness of muskmelon

瓜果肉硬度呈下降趋势,可能是在酶的作用下原果胶被水解生成可溶性果胶,细胞壁的纤维变得松散,果实逐渐变软,硬度下降^[30]。热解液处理组的果肉硬度较 CK 组下降缓慢,贮藏 8 d 起热解液处理组的硬度显著大于 CK 组的,16 d 时

2.4% 热解液处理组的硬度显著大于 1.8% 热解液处理组的。说明热解液处理对甜瓜的硬度下降有保护作用,且热解液浓度越大,硬度下降越缓慢。可能是热解液抑制了 PG 活性,减缓了对果胶的降解,使可溶性果胶的增加受到抑制,进而减缓了果肉硬度的下降。

2.3.2 对可溶性固形物和可滴定酸含量的影响 可溶性固形物含量直接反映果蔬的成熟程度和品质,可作为判断果品适时采收和耐贮藏性的重要指标,而酸作为果蔬中呼吸作用和能量代谢的底物,可反映出营养物质被消耗的程度。由图 6 可以看出,随着贮藏时间的延长,甜瓜果实的可溶性固形物和可滴定酸含量均呈缓慢下降趋势,且热解液处理组的下降速度均缓于 CK 组的。贮藏 4 d 后热解液处理组的可溶性固形物含量始终显著高于 CK 组的,12 d 后 2.4% 热解液处理组的含量始终显著高于 1.8% 热解液处理组的。在整个贮藏过程中热解液处理组的可滴定酸含量始终显著高于 CK 组的,且 2.4% 热解液处理组的含量始终显著高于 1.8% 热解液处理组的。因此热解液处理对甜瓜果实可溶性固形物和可滴定酸含量的下降均有明显的抑制效果,且热解液浓度越大抑制效果越明显。这可能是甜瓜呼吸强度受到抑制从而减缓了对可溶性固形物和可滴定酸的消耗,试验中发现经热解液浸泡处理的甜瓜起初有热解液的气味,但不影响甜瓜的香气,因此推测热解液会在甜瓜表面形成保护膜,起到抑制呼吸强度的作用。

2.4 热解液处理对甜瓜生理生化指标的影响

2.4.1 对 PPO 和 PG 活性的影响 PPO 能催化多种酚类物质氧化形成醌类化合物,加速果蔬的衰老进程,降低品质^{[31]102}。由图 7(a)可以看出,贮藏期间甜瓜的 PPO 活性呈

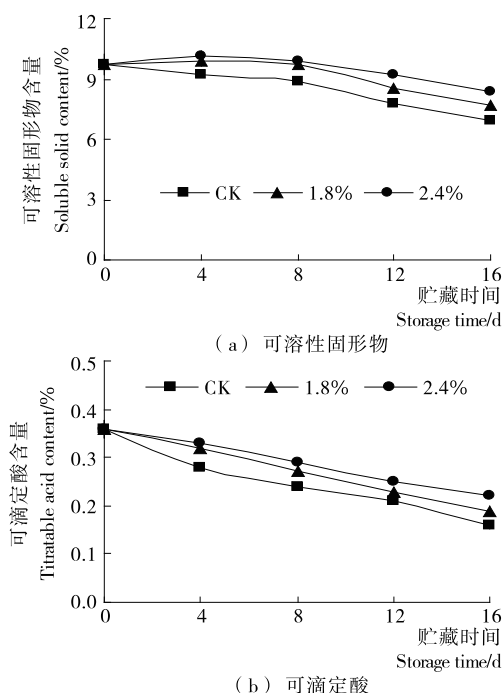


图 6 热解液对甜瓜可溶性固形物和可滴定酸含量的影响
Figure 6 Effects of bio-liquid on the content of soluble solid and titratable acid of muskmelon

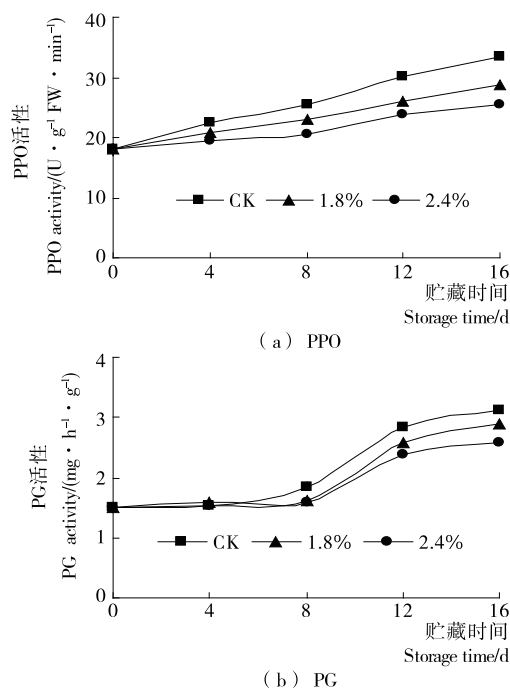


图 7 热解液对甜瓜 PPO 和 PG 活性的影响
Figure 7 Effects of bio-liquid on the PPO and PG activity of muskmelon

上升趋势,且热解液处理组的 PPO 活性上升速度显著缓于 CK 组,贮藏 8 d 后 2.4% 热解液处理组 PPO 活性上升速度显著缓于 1.8% 热解液处理组。说明热解液处理能够抑制 PPO 活性的上升,同样热解液浓度越大对 PPO 活性上升的抑制作用越明显。

PG 能够水解 α -(1,4)-半乳糖链的亲水末端,从而导致果胶裂解,加速果实软化进程^[32]。由图 7(b)可以看出,甜瓜果实中 PG 活性在贮藏前 8 d 维持一定水平,8 d 后迅速上升。贮藏第 8 天开始,热解液处理组的酶活性始终显著低于 CK 组的,贮藏 12 d 起,2.4% 热解液处理组的酶活性显著低于 1.8% 热解液处理组的。可以看出热解液对 PG 活性有明显的抑制效果,且随着贮藏时间的延长,热解液浓度越高对 PG 活性的影响越大。研究^[33]表明 PG 受乙烯的正向调控,说明热解液可能会对乙烯产生抑制作用进而抑制了 PG 活性。另外热解液含有一定量的 Ca^[1],刘剑锋^[34]研究表明浸 Ca 处理可以抑制 PG 酶活性,所以可能也与热解液中的 Ca 有关。

2.4.2 对酚类物质和可溶性果胶含量的影响 酚类物质是果实中重要的抗氧化物质,随着贮藏时间的延长,酚类物质被逐渐消耗。由图 8(a)可以看出,在贮藏 0~4 d 时,甜瓜果实中的酚类物质有一个缓慢上升的过程之后下降,可能是试验中甜瓜所处的温度高于之前贮藏销售环境的温度,导致呼吸强度增大,代谢旺盛,促进了果实内部酚类物质的合成,使酚类物质含量呈现上升趋势^[35],之后酚类物质被消耗逐渐下降。8 d 后热解液处理组的酚类物质含量始终显著高于 CK 组,且 2.4% 热解液处理组酚类物质含量始终显著高于 1.8% 热解液处理组。由此结果可知,热解液处理可有效抑

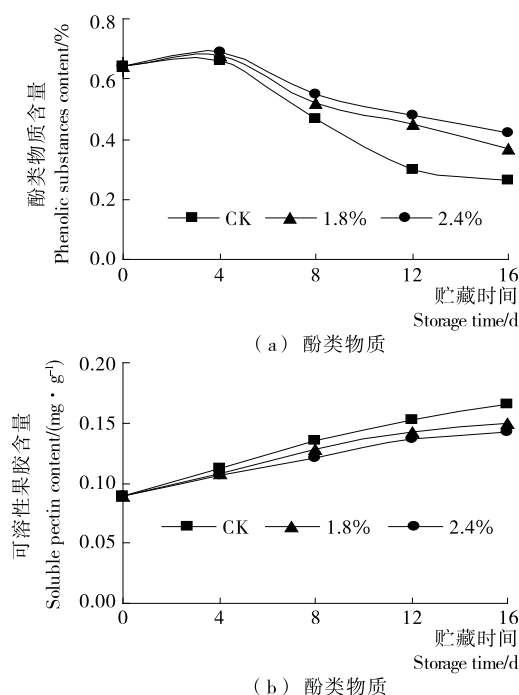


图 8 热解液对甜瓜酚类物质和可溶性果胶含量的影响

Figure 8 Effects of bio-liquid on the phenolic substances and soluble pectin content of muskmelon

制甜瓜贮藏过程中酚类物质的消耗,且热解液浓度越大抑制效果越明显。热解液含有多种活性成分,可能和木醋液一样也具有较强的抗氧化活性^[36],从而减缓了氧化进程,对酚类物质的消耗起到了一定的抑制作用。另外试验结果表明 PPO 活性被抑制,从而也对酚类物质的消耗起到了延缓作用。

果实在成熟过程中,PG 可催化果胶降解,从而使可溶性果胶含量增加,果肉硬度下降,加快果实软化程度^{[31]100}。由图 8(b)可以看出,甜瓜果实的可溶性果胶含量随着贮藏时间的延长而逐渐增加,贮藏 4 d 后,热解液处理组的可溶性果胶含量显著低于 CK 组的,贮藏 8 d 后 2.4% 热解液处理组的可溶性果胶含量显著低于 1.8% 热解液处理组的。因此可以看出热解液处理后可以明显抑制可溶性果胶含量的增加,而且热解液浓度越大抑制效果越明显。这可能与 PG 活性受到抑制有关。

3 结论

热解液可以破坏甜瓜炭疽菌的细胞膜结构,使菌丝体中的蛋白质、核酸及糖类物质外渗,总糖含量降低从而对病菌起到了抑制作用。从甜瓜贮藏过程中果实硬度、可溶性固形物和可滴定酸含量的变化以及 PPO、PG 酶活性等生理生化指标可知,热解液对甜瓜具有良好的保鲜作用。证实了热解液与醋液一样具有抑菌及保鲜作用。

热解液处理能有较好的保鲜效果也可能是热解液具有较强的抑菌活性,抑制了甜瓜表面腐败菌的生长,进而对甜瓜保鲜起到了良好的作用,在试验过程中也发现经热解液处理的甜瓜腐烂率明显低于对照组。而且随着贮藏时间的延长,发现热解液浓度大,对甜瓜的保鲜效果越明显,因此对热

解液的保鲜机理需要进一步探究。

参考文献

- [1] 张先,李范洙,李铨军,等. 生物质热解液的精制及其理化特性研究[J]. 延边大学农学报, 2013, 35(2): 156-159.
- [2] 崔晓宇,李铨军,刘芳芳,等. 农业废弃物为原料的生物质热解液理化特性研究[J]. 吉林农学报, 2017, 39(5): 551-557.
- [3] WU Qiao-mei, ZHANG Shou-yu, HOU Bao-xin, et al. Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process [J]. Bioresource Technology, 2015, 179: 98-103.
- [4] 倪维龙. 木醋液抑菌作用及对寒公主桃保鲜效果的研究[D]. 延吉: 延边大学, 2016: 10-33.
- [5] 魏琦. 竹醋液对苹果防腐保鲜的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010: 5-35.
- [6] 马梦晴,朱凤妹,高海生. 不同处理方法对蔬菜中残留农药的去除效果[J]. 河北科技师范学院学报, 2015, 29(1): 29-33.
- [7] WU Hao, HAN Xiao-ying. Research progress on properties and application of wood vinegar [J]. Proceeding of Annual Conference Chinese Academy of Environment Science, 2010, 9: 4 132-4 134.
- [8] LEE Soo-yong, LI Guang-yong, YIN Hu-quan, et al. Studies on the genetic toxicity of Guh Sung Y.L.S.-95[J]. J Fd Hyg Safety, 2006, 21: 107-112.
- [9] JU In-ok, JUNG Gi-tai, CHEONG Seong-soo, et al. Effect of chitosan, grain amino acid and wood vinegar foliar spray on the quality and storability of grapes(Campbell Early) [J]. Korean J. Food Preserv., 2007, 14: 119-123.
- [10] 李金娜,付长雪,郑慧明,等. 生物质热解液采前处理对苹果梨贮藏品质的影响[J]. 延边大学农学报, 2016, 38(3): 214-219.
- [11] ZHANG Xian, JIANG Gui-hun, LI Fan-zhu, et al. Effect of biomass pyrolysis liquid on the quality characteristics of 'Xiangshui' pears (Pyrus ussuriensis) during storage [J]. Korean J. Food Preserv., 2007, 24(3): 374-380.
- [12] WANG Zhi-dan, WU Jing-xue, MAO Shi-ping, et al. Comparative analysis and promotion countermeasures for international competitiveness of Chinese muskmelon industry[J]. Research of Agricultural Modernization, 2013, 34(1): 81-84.
- [13] 米保明. 甜瓜病害的测报与绿色防控技术研究[J]. 农业科技通讯, 2014(5): 265-267.
- [14] 张翠环,耿新丽,廖新福. 新疆甜瓜贮藏保鲜现状与对策[J]. 现代农业科技, 2015(13): 332-333.
- [15] 黄云鲜,吴小明,叶志文. 甜瓜炭疽病的发生与综合防控技术[J]. 广西热带农业, 2009(2): 37-38.
- [16] 胡建萍. 甜瓜采后生理和贮藏保鲜研究进展[J]. 甘肃科技, 2005(7): 181-182, 204.
- [17] 张润光,王良艳,黄丽婉. 甜瓜贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(1): 36-39.
- [18] 周清,李保同,汤丽梅. 大蒜素对辣椒炭疽病和辣椒疫病病菌的室内抑制活性测定及田间防效研究[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 262-268.
- [19] 段晓玲. 白桦木醋液的精制及其生物活性组分研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016: 20-24.

(下转第 147 页)

肪代谢、抑制或清除动脉血栓等作用。竹柏果仁油富含长链不饱和脂肪酸,在保健品领域有极大的开发前景。

3 结论

本试验以成熟的竹柏果为原料,优化了超声波辅助索氏抽提法提取竹柏果仁油的工艺条件,并研究了该油脂的基本理化性质及脂肪酸组成。研究发现,竹柏果仁油中不饱和脂肪酸含量达 95.81%,且多不饱和脂肪酸总量为 76.27%,显著高于单不饱和脂肪酸。竹柏果仁油亚油酸含量相比同类陆生食用油脂优势明显, C_{20} 以上的长链不饱和脂肪酸占脂肪酸组成的 33.76%。本试验尚未对竹柏果仁油中不饱和脂肪酸的应用进行开发,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 钱伟,钱志远. 高胆固醇血症的危害与现行对策[J]. 实用预防医学, 2009, 16(2): 632-634.
- [2] 王欢,郭婕,周云雷. 竹柏叶总黄酮不同提取方法比较[J]. 天然产物研究与开发, 2016(3): 409-415.
- [3] 张嘉芷. 不饱和脂肪酸在预防和治疗心脑血管疾病上的应用前景[J]. 食品工业科技, 1999(S1): 149-151.
- [4] 胡亚平,吴刚,张丽,等. 长链多不饱和脂肪酸的替代来源—转基因油料作物[J]. 生物技术通报, 2009(6): 1-6.
- [5] 陈定如. 长叶竹柏生物学特性和繁殖栽培的初步研究[J]. 广西植物, 1987, 7(2): 159-166.
- [6] 周俊新. 福建省竹柏资源状况及开发利用前景分析[J]. 江西林业科技, 2008(5): 38-40.
- [7] 黄忠良. 长叶竹柏生长和繁殖与环境的关系[J]. 植物资源与环境, 1998(4): 44-47.
- [8] 何道航,庞义,任三香,等. 长叶竹柏挥发油的化学成分研究[J]. 林产化学与工业, 2005(2): 119-121.
- [9] 谢黛,刘瑶,杜红光,等. 竹柏叶的高效液相色谱特征图谱研究[J]. 广州中医药大学学报, 2014, 31(3): 448-451.
- [10] 刘娟. 长叶竹柏化学成分的研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2015: 27-33.
- [11] 张立华,张元湖,刘静,等. 石榴籽油超声波辅助萃取工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2009(4): 82-86.
- [12] 徐文秀,翟永亮. 超声波辅助提取花椒籽油的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2013(4): 62-66.
- [13] GOULA A M. Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil-Kinetic modeling[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(4): 492-498.
- [14] 杨艺婷,张红城,董捷. 3 种甲酯化方法对 GC-MS 测定花粉中脂肪酸的影响[J]. 中国食品学报, 2015(3): 248-254.
- [15] 杨艺婷. 二十种蜂花粉中脂肪酸的组成分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 12-21.
- [16] 薄海波,王霞,翟宗德,等. 碱催化法衍生化气相色谱/质谱法分析青海湖裸鲤鱼油中的脂肪酸[J]. 色谱, 2006(2): 181-184.
- [17] 林海. 欧李仁油抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2012(15): 105-107.
- [18] LARRAURI J A, CONCEPCIÓN SÁNCHEZMORENO A, SAURACALIXTO F. Effect of temperature on the free radical scavenging capacity of extracts from red and white grape pomace peels [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1998, 46(7): 2 694-2 697.
- [19] (上接第 127 页)
- [20] 徐俊光. 壳寡糖对植物病原真菌的抑菌活性及其机理的初步研究[D]. 大连: 中国科学院, 2007: 116-122.
- [21] 曾荣. 凤仙透骨草抑菌活性成分抑菌机理及对柑橘防腐保鲜效果的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2012: 91-117.
- [22] 陈存坤. 新疆主栽厚皮甜瓜采后贮藏保鲜试验研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2009: 24.
- [23] CHEN Zhao, ZHU Chuan-he, HAN Zi-qiang. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on nutritional components and shelf-life of mulberry fruit (*Morus alba* L.)[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2011, 111(6): 675-681.
- [24] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 143-158.
- [25] ALTUNKAYA A, GOMEN V. Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. sativa*)[J]. Food Chemistry, 2009, 117(1): 122-126.
- [26] 曹建康,姜微波,赵玉根. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
- [27] 吴慧娟,黄杨名,陈科廷,等. 神农香菊全草精油的化学成分及抑菌机理研究[J]. 食品科学, 2012, 33(17): 35-39.
- [28] 付长雪,刘芳芳,都璐珩,等. 生物质热解液和壳聚糖复合保鲜剂对辣椒炭疽病菌抑菌作用研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 286-291.
- [29] 王海英,曹宏颖. 农林废弃物木醋液抑菌机理进展[J]. 安徽农业科学, 2014(3): 741-742, 839.
- [30] 李富军,张新华. 果蔬采后生理与衰老控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 159.
- [31] 马琳. 壳寡糖复合其他保鲜剂对杏果贮藏品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [32] HADFIELD K A, BENNETT A B. Polygalacturonases: many genes in search of a function[J]. Plant Physiology, 1998, 117(2): 337-343.
- [33] WAKABAYASHI K, CHUN J P, HUBER D J. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea americana*) ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase[J]. Physiologia Plantarum, 2000, 108: 345-352.
- [34] 刘剑锋. 梨果实钙的吸收、运转机制及影响因素研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004: 60-74.
- [35] 程建军,王震新,于静海,等. 苹果梨和鸭梨酶促褐变机理的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(2): 71-73.
- [36] 施琳. 山杏壳木醋液有效成分及生物活性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2013: 44-68.