

拮抗酵母结合热空气处理 对采后海红果的保鲜效果

陈 花¹, 王建军², 向康乐¹, 艾银婷¹, 王建武¹, 王富刚¹

(1. 榆林学院生命科学学院, 陕西榆林 719000;

2. 榆林学院能源工程学院, 陕西榆林 719000)

摘 要: 研究拮抗酵母结合热空气处理对提高采后海红果果实贮藏性能的效果。分别用 10^7 CFU/mL 拮抗罗伦隐球酵母悬浮液浸泡处理 2 min, 36 °C 热空气处理海红果 10 h 以及二者结合先后处理海红果, 于 20 °C 下储藏 15 d, 贮藏期每 3 d 测定相关指标, 研究不同处理对海红果果实贮藏期的保鲜效果。结果表明, 热空气处理、拮抗酵母处理、先拮抗酵母后热空气处理和先热空气后拮抗酵母处理均能降低贮藏过程中海红果的失重率、腐烂率和丙二醛含量, 提高 SOD、CAT 和 POD 活性, 其中先热空气后拮抗酵母处理组的各项指标除 POD 外, 其他均显著 ($P < 0.05$) 优于单一处理组, 表明先热空气后拮抗酵母处理海红果的保鲜效果优于单独处理方式; 能明显降低果实水分和有机质的减少以及病害的发生率, 提高果实抗氧化酶活性, 减少丙二醛的积累, 进而延缓细胞衰老, 延长货架期。先 36 °C 热空气处理 10 h 后 10^7 CFU/mL 罗伦隐球酵母悬浮液浸泡处理 2 min 是采后海红果果实保鲜处理的适宜方式。

关键词: 罗伦隐球酵母, 热空气处理, 采后海红果果实, 保鲜效果

Preservation Effect of Antagonistic Yeast Combined with Hot Air Treatment on Postharvest Circassian Fruit

CHEN Hua¹, WANG Jian-jun², XING Kang-le¹, AI Yin-ting¹, WANG Jian-wu¹, WANG Fu-gang¹

(1. Department of Life Sciences, Yulin College, Yulin 719000, China;

2. Department of Energy Engineering, Yulin College, Yulin 719000, China)

Abstract: In order to improve storage performance, antagonistic yeast combined with hot air was used to treat the postharvest circassian fruit. The fruit was treated by soaked with 10^7 CFU/mL antagonistic yeast suspension for 2 min, hot air at 36 °C for 10 h for alone and their combination. Relevant indicators were determined every three days during storage at 20 °C for 15 d to study the preservation effect of postharvest circassian fruit. The results showed that hot air treatment, antagonistic yeast treatment, antagonistic yeast treatment after hot air treatment and antagonistic yeast treatment after hot air treatment could reduce the weight loss rate, decay rate and malondialdehyde content and improve SOD, CAT and POD activities of circassian fruit during storage. Except POD, the indexes of hot air before antagonistic yeast treatment were significantly better than those of single treatment ($P < 0.05$), which showed that the fresh-keeping effect of circassian fruit for hot air treatment before antagonistic yeast treatment group was better than that of only one treatment. It could significantly reduce the decrease of water and organic matter in fruit and the incidence of diseases, improve the antioxidant enzymes activity of circassian fruit, reduce the malondialdehyde accumulation of circassian fruit, thus delay cell senescence and prolong shelf life. Hot air treatment at 36 °C for 10 h and then immersion treatment with 10^7 CFU/mL suspension of *Cryptococcus laurentii* for 2 min was the suitable method for preservation of postharvest circassian fruit.

Key words: *Cryptococcus laurentii*; hot air treatment; postharvest circassian fruit; preservation effect

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)04-0266-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.045

引文格式: 陈花, 王建军, 向康乐, 等. 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2020, 41(4): 266-270, 276.

海红果 (*Malus micromalus* Makino) 是蔷薇科苹果属滇池海棠系的西府海棠种, 是秦晋蒙交界地带

的特色果品, 栽植历史悠久, 陕西府谷县因其得天独厚的生态环境非常适合海红果的生长, 因此被誉为

收稿日期: 2019-04-28

作者简介: 陈花(1979-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 资源与应用微生物, E-mail: 510697622@qq.com。

基金项目: 榆林市科技局产学研合作项目(2016CXY-07); 陕西省教育厅科学研究项目(18JK0908)。

“中国海红果之乡”,其果实营养丰富,被作为该地区极具产业开发的特色资源。但海红果采后特别容易失水软化,易受病原菌侵染导致腐烂,造成了极大的经济损失,因此海红果采后保鲜对提高当地的经济效益至关重要。目前该地区主要的果蔬保鲜措施是低温保藏,该法虽是一种非常有效的方法,但耗资高,增加了海红果的销售成本,进而影响销量。

生物防治技术被认为是果蔬采后病害防治的有效环保措施之一,而拮抗酵母以其来源广泛、营养条件低、生长迅速、安全性高等特点,在水果采后病害防治方面被广泛应用,并且证明是一种行之有效的方法^[1-2]。目前,人们对拮抗酵母的抑菌机理还没研究清楚,但普遍认为,应用于保鲜剂的拮抗酵母绝大多数来源于一些果蔬表面,它们可以作为优势群体与病原菌在生长空间和营养方面竞争,进而达到抑菌的效果^[3]。目前已知的具有防腐保鲜作用的拮抗酵母有罗伦隐球酵母(*Cryptococcus laurentii*)^[4-8]、黏红酵母(*Rhodotorula glutinis*)^[9-10]、膜醭毕赤酵母(*Pichia membranaefaciens*)^[11]、季也蒙毕赤酵母(*Pichia guilliermondii*)^[12-13]、Metschnikowia pulcherrima^[14]等。虽然拮抗酵母在果蔬保鲜方面表现突出,但在复杂的环境下,单独使用拮抗酵母其效果还无法与化学杀菌剂相比,因此研究拮抗酵母复合保鲜技术成为拮抗酵母应用的必经之路^[15-18]。

热处理作为一种安全无毒的物理方法可以杀死已经潜伏于果蔬上的病原微生物,但对于热处理之后侵染果实的病原菌作用甚微,也就是采后热处理不能防止果蔬的二次污染,难以对果蔬进行有效保护;而拮抗酵母作为果蔬表面的优势菌可防止其在贮藏过程中被病原菌侵染。本研究拟将拮抗酵母处理和热处理相结合,发挥二者各自优势,弥补不足,探索一种可以逐步替代化学杀菌剂的安全高效保鲜技术。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

新鲜海红果(*M. micromalus* Mak)采自府谷县麻镇海红果种植基地,清晨采摘,采后立即人工挑选成熟度一致、大小和颜色均一、无病虫害和机械损伤的果实作为供试材料,将其用泡沫盒(35 cm × 25 cm × 16 cm,壁厚2 cm)加冰袋的方式运回实验室;拮抗酵母为罗伦隐球酵母(*Cryptococcus laurentii*)购自北钠创联生物技术有限公司(BNCC),将酵母菌接种到5°Be麦芽汁琼脂培养基上在25~28℃下进行活化培养3 d,用接种环刮取菌落置于无菌水中,调整浓度为10⁷ CFU/mL;磷酸二氢钠、磷酸氢二钠天津市科密欧化学试剂有限公司;甲硫氨酸、氮蓝四唑、核黄素、过氧化氢、乙二胺四乙酸二钠、石英砂、愈创木酚上海蓝剂科技发展有限公司;三氯乙酸、硫代巴比妥酸、钼酸铵、草酸、浓硫酸、偏磷酸、氢氧化钠、酚酞、95%乙醇、去离子水、草酸、氢氧化钡、碱石灰、邻苯二酚、液氮、焦磷酸天津市科密欧化学试剂有限公司。

HSX-160 恒温恒湿培养箱 常州迈科诺仪器有

限公司;UV-1780 分光光度计 岛津仪器(苏州)有限公司;D-37520 高速冷冻离心机 赛默飞世尔科技有限公司;SKY-1102C 恒温培养振荡器 上海苏坤实业有限公司;BCD-221MLA 冰箱 合肥美菱股份有限公司;HH·S21-6S 水浴锅 上海跃进医疗器械有限公司;M200 移液枪 大龙医疗设备(上海)有限公司;MLS-3781L 高压蒸汽灭菌锅 日本松下医疗器械株式会社。

1.2 实验方法

1.2.1 实验分组及样品处理 参照赵妍^[19]的方法,实验分为5组,海红果果实不经过清洗,每组30个果实。对照组(CK):果实不经过任何处理作为对照组;H组:果实经过36℃热空气处理10 h;C组:果实经10⁷ CFU/mL罗伦隐球酵母悬浮液浸泡2 min后室温下自然晾干;H+C组:果实先经36℃热空气处理10 h,然后经10⁷ CFU/mL罗伦隐球酵母悬浮液浸泡2 min后室温下自然晾干;C+H组:果实先经10⁷ CFU/mL罗伦隐球酵母悬浮液浸泡2 min后室温下自然晾干,再经36℃处理10 h;每个处理组3次重复。处理完成后将果实置于塑料保鲜盒(175 mm × 135 mm × 60 mm)中,放入20℃、湿度为85%的培养箱恒温恒湿储藏15 d,贮藏期每3 d测量果实各项指标。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 果实失重率测定 采用称重法测定^[20]。

失重率(%) = [果实原有质量(g) - 测量时质量(g)] × 100 / 果实原有质量(g)

1.2.2.2 果实腐烂率测定

腐烂率(%) = 腐烂个数 × 100 / 总个数

1.2.2.3 活性氧代谢酶类的测定 海红果去皮,用剪刀剪取0.5 g海红果样品,加入0.5 g石英砂放入研钵中,量取8 mL磷酸盐缓冲液,在冰浴中研磨成溶液,将匀浆置于离心管中,于2℃冷冻离心机15000 r/min冷冻离心30 min,上清液即为酶提取液冷藏保存。

超氧化物歧化酶(SOD)采用NBT光还原法^[20]。过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法^[20]。过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法^[20]。

1.2.2.4 丙二醛(MDA)含量的测定 采用硫代巴比妥酸法测定^[20]。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2010进行数据统计并制图,数据用平均值 ± 标准差表示;采用SPSS 22.0软件对相同储藏条件下不同处理组的各项指标进行方差分析和邓肯氏多重比较,在P=0.05的水平下检验。

2 结果与分析

2.1 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果果实失重率的影响

果实采摘后由于呼吸作用消耗有机物和水分,必将导致果实的重量减少,失重率增大,故失重率是反应果实采后保鲜的重要指标。

图1表示不同处理对采后海红果果实失重率的影响,拮抗酵母处理组果实失重率几乎在15 d内均显著(P<0.05)低于CK组。大量试验结果也表明果

实经拮抗酵母处理后可以降低其贮藏期的失重率。秦晓杰等^[21]研究发现,采后草莓经拮抗酵母处理后明显减小了果实的失重率;温新宇^[22]研究结果也发现了酵母 Y35-1 液体剂型和活性冻干粉剂对降低贮藏中的枇杷果失重率起到了积极的作用,与本实验结果一致。结合处理组的果实失重率在整个贮藏期间均显著 ($P < 0.05$) 低于单独处理组和 CK,至贮藏第 15 d 时,结合处理组果实颜色多数亮红,而其他处理组果实多数暗红并出现了明显地软化,可能的原因是热处理和拮抗酵母联合处理较单独处理组能有效降低有害菌的定植和繁殖,从而减少了此类菌代谢过程中对果实有机质的损耗。先热空气后拮抗酵母处理组的海红果在贮藏过程中其失重率始终处于最低水平,且后期(第 12 d 开始)显著 ($P < 0.05$) 低于先热空气后拮抗酵母处理组,表明热空气、拮抗酵母单独处理和二者结合处理均可以降低海红果的失重率,但作用效果有差异,先热空气处理后拮抗处理海红果,其后期保鲜效果最佳,能有效降低海红果内水分和有机物的流失。

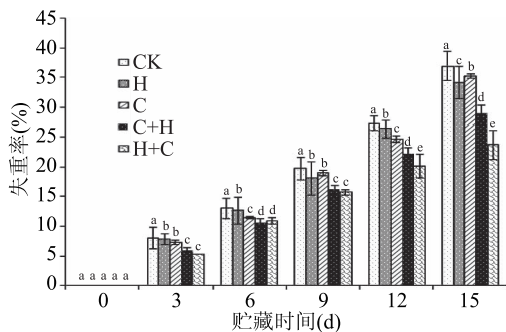


图1 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果果实失重率的影响

Fig.1 Effect of antagonistic yeast combined with hot air treatment on weight loss rate of postharvest circassian fruit

注:H:单独热处理组;C:单独拮抗酵母处理组;H+C:先热空气后拮抗酵母处理组;C+H:先拮抗酵母后热空气处理组;同一时间段,不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$;图2~图6同。

2.2 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果果实腐烂率的影响

腐烂率是判断水果贮藏保鲜效果最直观的感官性状,海红果采后贮藏过程中易被霉菌污染而导致腐烂变质,这直接影响海红果商品的货架期。

由图2可知,海红果果实腐烂率随贮藏时间延长逐步上升,对照组的果实腐烂在贮藏第3 d便开始出现,具体表现为果实的外表面有褐色斑点出现,并有少量的灰褐色菌丝附着其上,处理组的果实腐烂率均在贮藏第6 d开始出现。贮藏至15 d时,对照组腐烂率达到了36.77%,此时的果实表面附着了大量的灰色霉层,霉味极浓,各处理组此时的腐烂率均小于15%,保鲜盒内霉味不明显。差异性显著分析表明,处理组的果实腐烂率在整个贮藏期显著 ($P < 0.05$) 低于对照组;结合处理组的海红果腐烂率在贮

藏第12 d 差异不显著 ($P > 0.05$) 外,其余时间内,海红果先经热空气后经拮抗酵母处理,其腐烂率均显著 ($P < 0.05$) 低于其他处理组。结合处理的先后顺序对自然状态下病原菌的生防效果有显著性的影响,先热空气处理后拮抗酵母处理能明显地抑制病原微生物的生长,原因是热处理后,果实表面已潜伏的病原微生物得到了控制,后经拮抗酵母处理能有效地抑制病原微生物在果实表面的生长繁殖,从而起到了持久的防腐效果。而若果实先经拮抗酵母处理,后又经热空气处理,热空气不仅抑制了病原微生物的生长也会导致定植在果实表面的部分酵母菌丧失活力,因此效果不如先空气处理后拮抗酵母处理组。这与韦莹莹^[20]的研究结果一致。

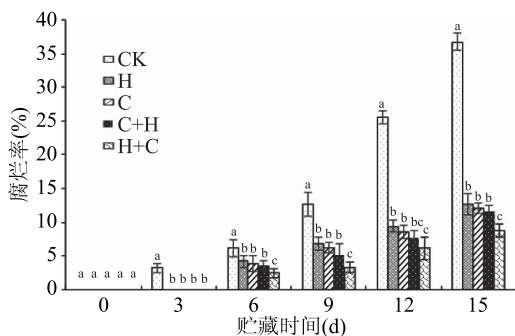


图2 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果果实腐烂率的影响

Fig.2 Effect of antagonistic yeast combined with hot air treatment on decay rate of postharvest circassian fruit

2.3 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果抗氧化酶活性的影响

植物受到病原菌侵扰时,会启动一系列的防御反应,增强自身抗病能力,从而保护组织免受病原侵害^[14]。果蔬在正常生长的情况下,外界的诱导因子也可以激活自身的抗病体系,防止被病原菌感染^[19],在早期的防御反应中会出现活性氧(ROS)爆发,产生大量的超氧阴离子、过氧化氢和羟基自由基等活性氧反应的中间物质。过多的ROS能加速细胞的脂质过氧化反应,进而导致植物组织衰老甚至死亡,植物组织为了阻止这一过程的发生,存在着一套完整的ROS清除体系,主要是一些抗氧化酶包括POD、SOD、CAT、APX和GPX共同协调植物体内活性氧的代谢平衡,对诱导果蔬的抗性起到了重要作用。

2.3.1 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

SOD是清除ROS的第一道防线,其功能催化 O_2^- 发生歧化反应转化为 H_2O_2 和 O_2 ,从而清除 O_2^- ,延缓果实的衰老。

图3为不同处理对采后海红果超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响,开始储藏时,各组果实SOD活性之间差异不显著 ($P > 0.05$)。随时间的延长,各组SOD活性均呈先快速下降后缓慢上升的趋势,且酶活性均在第6 d达到最低。可能的原因是贮藏初期,果实脱离了母体养分供给,表现为SOD活性迅速下降是一个适应突变环境的自我保护反应^[23],后期SOD活性缓慢上升,原因是果实的衰老积累了大量

的 ROS 诱导果实的 SOD 活性增加。各处理组相比较,贮藏第 3 d 开始,先热空气后拮抗酵母处理组 SOD 活性始终处于最高水平,显著高于其他处理组 ($P < 0.05$)。相比单一防治方法,两种防治方法结合处理表现了一定的协同效应,能进一步提高 SOD 活性,且先热空气后拮抗酵母处理组效果最好。

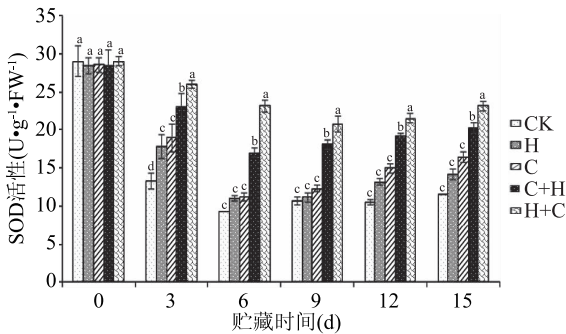


图3 拮抗酵母结合热空气处理

对采后海红果 SOD ($U \cdot g^{-1} \cdot FW^{-1}$) 活性的影响

Fig.3 Effect of antagonistic yeast combined with

hot air treatment on SOD activity of postharvest circassian fruit

2.3.2 拮抗酵母结合热空气处理对采后海红果果实过氧化物氢酶 (CAT) 活性影响 在维持细胞活性氧代谢平衡过程中, CAT 能将 O_2^- 经 SOD 催化作用产生的 H_2O_2 进一步分解为 H_2O 和 O_2 , 减少 H_2O_2 对果实组织细胞的伤害。

图 4 表示不同处理对采后海红果过氧化物氢酶 (CAT) 活性的影响, 各组果实 CAT 活性变化和 SOD 活性变化趋于一致。贮藏前 9 d 果实 CAT 活性下降, 之后虽有平稳回升, 但贮藏结束时 CAT 活性仍低于贮藏时的 CAT 活性, 且在贮藏第 9 d 时活性降到了最低。CAT 活性在贮藏初期下降的原因仍是一个适应外部环境, 重新调整代谢的一个过程, 后期有所回升的原因是受到由于细胞代谢活力下降而导致体内累积的 H_2O_2 刺激诱导产生了较多 CAT, 但此时细胞活力较贮藏开始时差, 所以即使 CAT 活性有所提高但仍不及贮藏开始时活力强。与 CK 相比, 整个贮藏期, 海红果经单独热空气处理、单独拮抗酵母处理和二者结合处理均显著地 ($P < 0.05$) 提高 CAT 活性, 且先热空气处理后拮抗酵母处理组 POD 活性从贮藏第 3 d 开始一直处于最高水平, 分别比 CK 提高了 62.16%、76.61%、112.92%、114.21%、73.99%; 先拮抗酵母后热空气处理组仅次其后, 分别比 CK 提高了 55.28%、72.23%、100.18%、105.76%、71.90%。各处理组相比较, 结合处理组的 CAT 活性在这个贮藏期均显著 ($P < 0.05$) 高于单独处理组。拮抗酵母和热空气的结合应用协同性地诱导了 CAT 活性的积累, 效果优于单独处理组。

2.3.3 拮抗酵母结合热空气对采后海红果果实过氧化物酶 (POD) 活性的影响 POD 的功能与 CAT 一样, 能够清除 H_2O_2 , 是细胞的活性氧调节剂, 还可以催化酚类物质氧化成木质素, 增强植物的抗性。

图 5 表示不同处理对采后海红果过氧化物酶 (POD) 活性的影响, 各组果实 POD 活性在整个贮藏

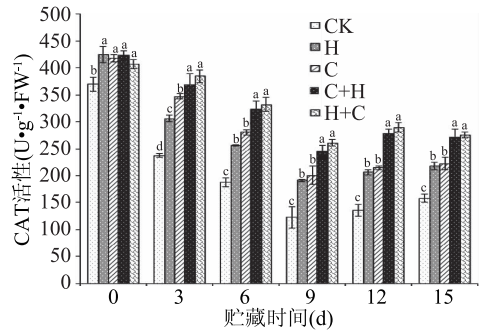


图4 拮抗酵母结合热空气处理对海红果 CAT 活性的影响

Fig.4 Effect of antagonistic yeast combined with

hot air treatment on CAT activity of postharvest circassian fruit

过程中变化不大。整个贮藏过程中, POD 活性处于较高水平的处理组为拮抗酵母单独处理组和结合处理组, 且先热空气后拮抗酵母处理组 POD 活性始终处于最高水平, 但三组的差异性不显著 ($P > 0.05$); POD 活性处于较低水平的处理组是 CK 和热空气单独处理组, 此两组酶活性除贮藏的第 6 d 外, 其他时间差异不显著 ($P > 0.05$)。在贮藏后期 (第 9 d 开始), 较高水平的三个处理组均显著 ($P < 0.05$) 高于较低水平的两个处理组, 在贮藏的 15 d 时, 拮抗酵母单独处理组、先拮抗酵母处理后热空气处理组和先热空气处理后拮抗酵母处理组 POD 活性较 CK 分别提高了 41.56%、57.36% 和 65.18%; 可见, 拮抗酵母和热空气结合处理海红果, 能提高其 POD 活性, 较单独拮抗酵母处理组差异不显著 ($P > 0.05$), 能显著 ($P < 0.05$) 高于 CK 和热空气处理组, 分析其原因可能是拮抗酵母处理能显著提高 POD 酶活性, 但 POD 活性较热源敏感, 热空气作用可能抑制了 POD 活性, 因此二者结合处理虽表现一定的促进效应, 但效果并未优于单独拮抗菌处理效果。

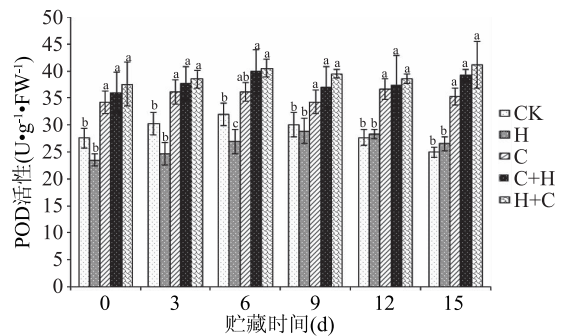


图5 拮抗酵母结合热空气处理对海红果 POD 活性的影响

Fig.5 Effect of antagonistic yeast combined with

hot air treatment on POD activity of postharvest circassian fruit

整个贮藏过程中结合处理组果实的三种酶活性均高于其他处理组, 其中先热空气后拮抗酵母处理组的活性氧代谢酶活性始终处于最高水平, 其次是先拮抗酵母后热空气处理组, 其 SOD 活性从贮藏的第 3 d 开始均显著低于先热空气后拮抗酵母处理组 ($P < 0.05$) 外, POD 和 CAT 活性虽低于先拮抗酵母处理后热空气处理组, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 表明拮抗酵母和热空气联合处理的顺序不同, 对海红果贮藏期细胞的抗氧化系统影响不大, 但结合处理效

果优于单独处理组。大量研究结果也表明,拮抗酵母复合技术在果实的生防和保鲜方面优于拮抗酵母单独处理。Guo 等^[24]研究表明茉莉酸甲酯结合拮抗酵母 *C.laurentii* 处理对诱导提高柑橘 POD 和 CAT 活性,优于单独施用的茉莉酸甲酯或拮抗酵母,与本试验研究结果相似。

2.4 拮抗酵母结合热空气对采后海红果果实丙二醛(MDA)含量的影响

MDA 是膜脂过氧化作用的产物之一,它的产生进一步加剧了膜的损伤,促进了细胞的衰老。

图 6 表示不同处理对采后海红果丙二醛(MDA)含量的影响,各组果实丙二醛含量在贮藏期内呈上升趋势,均在 15 d 达到了最大值;在贮藏前 3 d 内,MDA 含量差异不显著($P > 0.05$);从第 6 d 开始,各处理组均显著低于 CK($P < 0.05$),结合处理组均显著($P < 0.05$)低于单一处理组;整个贮藏期,先热空气后拮抗酵母处理组 MDA 含量始终处于最低水平,先拮抗酵母后热空气处理组 MDA 含量次之,但二者差异不显著($P > 0.05$)。结果表明,拮抗酵母和热空气结合处理海红果能减轻 MDA 含量的积累,此方面优于单独处理组。罗凯^[25]研究拮抗酵母菌 *Hanseniaspora uvarum* 分别结合化学物质 CaCl_2 、 NaHCO_3 和水杨酸对提高草莓果实采后贮藏性能的研究结果表明,其二者结合使用明显提高草莓的抗性相关酶活性,减缓了丙二醛(MDA)含量的积累,这与本研究结果相一致。

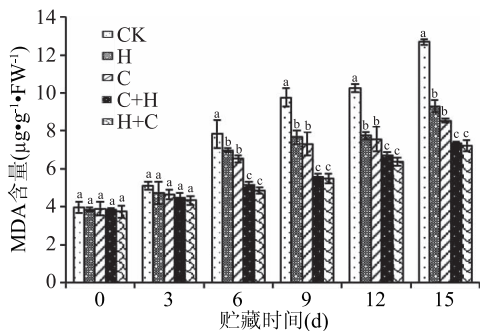


图 6 拮抗酵母结合热空气处理对海红果 MDA 含量的影响

Fig.6 Effect of antagonistic yeast combined with

hot air treatment on MDA content of postharvest circumscissian fruit

3 结论

大量研究结果表明拮抗酵母复合技术在果实的生防和保鲜方面优于拮抗酵母单独处理。本研究结果也证实了 10^7 CFU/mL 罗伦隐球酵母结合 36°C 热空气处理确能有效降低果实的失重率和腐烂率,提高果实的病害生防效果,也能有效提高活性氧代谢酶的活性进而清除细胞内代谢产生的 ROS,减轻膜脂过氧化反应,进而降低丙二醛含量来延缓细胞衰老,达到了保鲜的目的,其保鲜效果优于单独处理组;尤其是在整个贮藏过程中,先热空气后拮抗酵母处理组的海红果果实所测指标几乎均处于最优水平。因此,先 36°C 热空气处理 10 h 后 10^7 CFU/mL 罗伦隐球酵母悬浮液浸泡处理 2 min 是采后海红果果实保鲜处理的适宜方式。本实验研究了拮抗酵母复合技术对海红果采后生

理生化指标的影响,对该复合技术的作用机制并未深入研究,这将作为今后研究的重点。

参考文献

- [1] 喻最新,贺明阳,王日葵,等.利用拮抗酵母防治水果采后病害的研究进展[J].果树学报,2018,35(3):358-366.
- [2] 贺蕾,李嘉欣,罗列.陕西府谷海红果产业发展困境及解决对策[J].果树实用技术与信息,2016(12):37-42.
- [3] 戴莹,王纪华,韩平,等.拮抗酵母复合保鲜技术在果蔬保鲜中的应用研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015,6(3):742-746.
- [4] 毛淑波,朱娜,韦莹莹,等.采前喷施拮抗菌罗伦隐球酵母对草莓保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2013,34(4):344-348.
- [5] 孙瑜,潘文秀,唐云,等.苯并噻二唑结合罗伦隐球酵母对桃果采后青霉病的控制[J].食品工业科技,2013,34(13):296-299.
- [6] 刘霞,刘莉,王鹏,等.罗伦隐球酵母对柑橘采后酸腐病的抑制效果[J].浙江师范大学学报:自然科学版,2010,33(1):13-17.
- [7] Calvo J, Calvente V, Orellano M E, et al. Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on apple fruit by mixtures of bacteria and yeast[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 3(5):644-650.
- [8] Zhang H Y, Zheng X D, Fu C X, et al. Postharvest biological control of gray mold rot of pear with *Cryptococcus laurentii*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(1):79-86.
- [9] Qin G Z, Tian S P, Xu Y, et al. Enhancement of biocontrol efficacy of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2003, 62(3):147-154.
- [10] 王瑶,姜冬梅,王刘庆,等.拮抗酵母控制果蔬采后真菌病害研究进展[J].食品工业科技,2018,39(8):309-317.
- [11] Qing F, Shiping T. Postharvest biological control of Rhizopus rot of nectarine fruits by *Pichia membranefaciens* [J]. Plant Disease, 2000, 84(11):1212-1216.
- [12] Droby S, Hofstein R, Wilson C L, et al. Pilot testing of *Pichia guilliermondii*: A biocontrol agent of postharvest diseases of citrus fruit[J]. Biological Control, 1993, 3(1):47-52.
- [13] Jalal G, Hasan R E. Effect of calcium chloride on the biocontrol efficacy of two antagonistic yeasts against *Penicillium expansum* on apple fruit [J]. Phytoparasitica, 2009, 37(7):255-261.
- [14] Tian Y Q, Li W, Jiang Z T, et al. The preservation effect of *Metschnikowia pulcherrima* yeast on anthracnose of postharvest mango fruits and the possible mechanism [J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(1):95-105.
- [15] 张建,毛晓英.酵母拮抗酵母与碳酸氢钠配合对蟠桃果实采后腐烂及品质的影响[J].江苏农业科学,2009(3):297-299.
- [16] 郭东起.拮抗酵母在果蔬采后保鲜中的应用[J].食品研究与开发,2016,37(8):4.

(下转第 276 页)

- [8] Lu Y, Wang B L. The research progress of antitumor effectiveness of *Stichopus japonicus* acid mucopolysaccharide in north of China[J]. *Am J Med Sci*, 2009, 337(3): 195-198.
- [9] Wang J, Ge B, Li Z, et al. Structural analysis and immunoregulation activity comparison of five polysaccharides from *Angelica sinensis*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 140: 6-12.
- [10] 张文州, 许嵘. 食药菌多糖的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(15): 395-399.
- [11] 汤小芳, 刘想, 胡美华, 等. 多糖对免疫系统调控的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(9): 323-241.
- [12] 苏畅, 李小江, 贾英杰, 等. 香菇多糖的抗肿瘤作用机制研究进展[J]. *中草药*, 2019(6): 1499-1504.
- [13] Zhang M, Cui S W, Cheung P C K, et al. Antitumor polysaccharides from mushrooms: A review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2007, 18(1): 4-19.
- [14] 熊川, 罗强, 金鑫, 等. 人工栽培灵芝中多糖的部分理化性质及免疫调节作用[J]. *微生物学通报*, 2018, 45(4): 825-835.
- [15] Lu Wang, Xiao Li. Preparation, physicochemical property and *in vitro* antioxidant activity of zinc-Hohenbuehelia serotina polysaccharides complex [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 121: 862-869.
- [16] Li X, Wang Z, Wang L. Polysaccharide of *Hohenbuehelia serotina* as a defense against damage by whole-body gamma irradiation of mice[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013: 829-835.
- [17] 李小雨. 元蘑多糖活性部位分析及对⁶⁰Co- γ 辐射损伤的防护作用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [18] Honghui Bao, Mehdi Tarbasa, Heemun Chae, et al. Molecular properties of water-unextractable proteoglycans from *Hypsizygus marmoreus* and their *in vitro* immunomodulatory activities [J]. *Molecules*, 2012, 17: 207-226.
- [19] Bao H H, You S G. Molecular characteristics of water-soluble extracts from *Hypsizygus marmoreus* and their *in vitro* growth inhibition of various cancer cell lines and immunomodulatory function in Raw 264.7 cells [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2011, 75(5): 891-898.
- [20] 董群, 郑丽伊, 方积年. 改良的苯酚-硫酸法测定多糖和寡糖含量的研究[J]. *中国药物学杂志*, 1996, 31(9): 550-553.
- [21] Honghui Bao, Won-seok Choi, Sangguan You. Effect of sulfated modification on the molecular characteristics and biological activities of polysaccharides from *Hypsizygus marmoreus* [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2010, 74(7): 1408-1414.
- [22] Ji Z, Tang Q, Zhang J, et al. Immunomodulation of RAW264.7 macrophages by GLIS, a proteopolysaccharide from *Ganoderma lucidum*[J]. *Ethnopharmacology*, 2007, 112: 445-450.
- [23] Porcheray F, Viaud S, Rimaniol A C, et al. Macrophage activation switching: An asset for the resolution of inflammation [J]. *Clinical & Experimental Immunology*, 2005, 142: 481-489.
- [24] 包鸿慧, 侯凤蒙, 周睿, 等. 真姬菇多糖 HMP 的分子特性及抗癌免疫活性[J]. *食品科技*, 2013, 38(6): 205-209.
- [25] 吴怡亮, 仲磊, 马宁, 等. 大豆分离蛋白-杏鲍菇多糖共价结合物对 RAW264.7 细胞的免疫调节作用[J]. *食品科学*, 2019, 40(17): 202-207.
- [26] Paterson R R M. *Ganoderma*-A therapeutic fungal biofactory [J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(18): 1985-2001.
- [27] Paul A T, Gohil V M, Bhutani K K. Modulating TNF- α signaling with natural products [J]. *Drug Discov Today*, 2006, 11(15-16): 725-732.
- [28] Cunther C, Martini E, Wittkopf N, et al. Caspase-8 regulate TNF- α -induced epithelial and terminal ileitis [J]. *Nature*, 2011, 477(7364): 335-339.
- [29] 韩真. 蜜环菌葡聚糖对 RAW264.7 细胞的免疫调节活性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [30] Zhang Y, Guan Y, Schneider A, et al. Characterization of murine vasopressor and vasodepressor prostaglandin E (2) receptors [J]. *Hypertension*, 2000, 35: 1129-1134.
- [31] 张翅腾, 王毅. COX-2-PGE2 调节肿瘤的发生和发展机制研究进展[J]. *西南军医*, 2018, 20(1): 50-53.
- [32] 李红霞, 宋政军, 和水祥, 等. Cox-2, iNOS 的表达及其与胃癌血管生成的关系[J]. *西安交通大学学报: 医学版*, 2005, 26(2): 149-151.
- [33] Kinoshita T, Takahashi Y, Sakashita T, et al. Growth stimulation and induction of epidermal growth factor receptor by overexpression of cyclooxygenases 1 and 2 in human colon carcinoma cells [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1999, 1438(1): 120-130.
- (上接第 270 页)
- [17] 韦莹莹, 刘威, 沙嫣, 等. 拮抗酵母结合热空气处理对樱桃番茄采后病害防治及其品质的影响[J]. *农产品加工: 学刊*, 2013(16): 8-11.
- [18] Ting Y, Chen Y, Huang P L, et al. Effect of *Cryptococcus laurentii* and calcium chloride on control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* infections in pear fruit [J]. *Biological Control*, 2012, 61(2): 169-175.
- [19] 赵妍. 拮抗酵母及结合热空气处理对樱桃番茄采后病害的防治及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [20] 韦莹莹. 热空气结合罗伦隐球酵母处理诱导樱桃番茄果实采后抗病性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [21] 秦晓杰, 许皎皎, 索娜, 等. 草莓灰霉病拮抗酵母的筛选鉴定及对采后草莓品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(21): 330-335, 339.
- [22] 温新宇. 拮抗酵母的筛选、鉴定及其制剂对枇杷贮藏保鲜的影响[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.
- [23] 李青云, 刘文玉, 魏长庆, 等. 拮抗酵母对北疆冬枣采后病害生防效果的研究[J]. *食品工业*, 2015, 36(12): 72-75.
- [24] Guo J, Fang W, Lu H, et al. Inhibition of green mold disease in mandarins by preventive applications of methyl jasmonate and antagonistic yeast *Cryptococcus laurentii* [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 88: 72-78.
- [25] 罗凯. 拮抗酵母结合化学物质提高草莓果实采后贮藏性能的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.