

柠檬精油复合涂膜对椪柑采后品质的影响

张伟清 林 媚* 王天玉 平新亮 冯先桔 王燕斌 姚周麟 徐程楠

(浙江省柑桔研究所,浙江 台州 318020)

摘 要:为提高柑橘的保鲜效果,本试验以椪柑为材料,研究柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对果实采后贮藏品质的影响。结果表明,柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配可以降低果实腐烂率和失重率,抑制果实呼吸速率,延缓果实可滴定酸(TA)和维生素C(Vc)的降解,更好地维持果实营养价值和感官品质;柠檬精油及其复合物可提高果实超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性,抑制果皮相对电导率的上升和果肉丙二醛(MDA)含量的积累。其中,1%柠檬精油+1%壳聚糖+1%氯化钙+300 mg·L⁻¹纳他霉素复配对椪柑保鲜效果最好,其果实Vc和TA含量最高,腐烂率、失重率、果皮相对电导率和果肉MDA含量最低,且在维持抗氧化酶(CAT、SOD和POD)活性方面的效果最优。本研究结果为柠檬精油及其复合物作为防腐剂保鲜果蔬提供了理论支撑。

关键词:柠檬精油;贮藏品质;保鲜;椪柑;涂膜

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2020.12.2725

柑橘(*Citrus reticulata* Blonco)是我国栽培和产量第一大水果,其果实糖度高且富含维生素C(vitamin C, Vc)。由于缺乏先进的采后保鲜技术,导致大量果实在贮运过程中易发生腐烂变质^[1],其中由青霉菌和绿霉菌引起的腐烂最严重^[2]。目前生产上常使用抑霉唑、咪鲜胺、2-4D等化学杀菌剂来减少柑橘采后病害以延长贮藏期,然而化学杀菌剂易造成农药残留及环境污染问题^[3]。因此,研制高效、安全、天然的新型柑橘保鲜剂具有非常重要的现实意义。

多糖类可食用膜材料,如壳聚糖,因其具有良好的成膜性、生物相容性和抑菌性而广泛应用于果蔬等食品保鲜^[4-6],能有效降低果实腐烂造成的损失^[7-9],但其存在抑菌范围窄、稳定性以及抗氧化性差等问题^[10],因此在实际应用过程中需添加抗氧化物或抑菌剂来改善上述问题^[11]。研究发现植物精油对多种果蔬病原真菌有较强的抑制作用^[12-13],且抗氧化性好,可单独或复合可食用材料用于果蔬保鲜。张文勇等^[14]研究表明,柑橘精油可有效减少草莓腐烂发生,并较好地保持果实的贮藏品质。范小静等^[15]发现柠檬油微乳剂可有效延缓圣女果衰老,减少果实可溶性固形物(total soluble solid, TSS)、可滴定酸(titratable

acid, TA)和Vc的降解。Mohamed等^[16]研究表明柠檬精油等6种挥发性精油混合物可延长桃子4℃冷藏期至30d。郑科旺等^[17]报道柠檬精油-壳聚糖复合涂膜处理能显著减少鲜切山药Vc、水分等养分的流失。赵瑞鹏等^[18]研究发现,柠檬精油微乳液能有效抑制鲜切苹果的菌落总数,减缓TSS含量的降低,其中500 μL·L⁻¹浓度的柠檬精油微乳液保鲜效果较佳。曾祥燕等^[19]报道壳聚糖中添加精油可抑制蜜橘的呼吸作用,减少果实腐烂率和失重率,并较好地保持果实营养价值。

椪柑成熟采收期非常短,易发生过熟现象,因而一般在果实未成熟时进行采摘,经贮藏成熟后再进行销售。然而目前有关精油壳聚糖复配保鲜椪柑的研究较少。因此,本试验以椪柑为试材,研究柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑果实贮藏过程中营养品质及生理变化的影响,以期为柠檬精油在柑橘采后的应用提供技术支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

椪柑样品于2016年12月采自浙江省柑桔研究

收稿日期:2019-11-28 接受日期:2020-02-12

基金项目:国家柑橘质量安全风险评估重大专项(GJFP2017004),台州市科技项目(15ny17)

作者简介:张伟清,女,助理研究员,主要从事农产品贮藏保鲜及营养品质检测分析。E-mail:282148424@qq.com

*通讯作者:林媚,女,高级实验师,主要从事农产品营养功能研究。E-mail:1311219778@qq.com

所,当日运回实验室室温预贮存 2 d;供试青霉菌 (*Penicillium italicum*) 和绿霉菌 (*Penicillium digitatum*) 由浙江省柑桔研究所植保实验室提供;柠檬精油,恒枫食品科技有限公司;琼脂、葡萄糖,美国 Sigama 公司;壳聚糖(脱乙酰度 $\geq 95\%$)、硫代巴比妥酸(分析纯),上海麦克林生化科技有限公司;纳他霉素,浙江新银象生物工程有限公司;氯化钙(CaCl_2 ,食品级),浙江巨化股份有限公司;吐温-80、草酸,上海凌峰化学试剂有限公司;氢氧化钠、醋酸、三氯乙酸、氯化钡,国药集团化学试剂有限公司;超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶试剂盒,南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

722s 可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司;WYA-2S 阿贝折光仪、DDS-307 电导率仪,上海精密科学仪器有限公司;KB240 型微生物培养箱,德国 Binder 公司;85-2 恒温加热磁力搅拌器,杭州仪表电机有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 抑菌效果测定 参照胡秀荣等^[20]的方法。将含 50 mL 培养基的三角瓶于微波炉中加热溶解,待其冷却至 40℃ 左右时,分别量取 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0% 和 2.0% 经 1% 吐温-80 充分乳化的柠檬精油倒入三角瓶中,充分振荡摇匀后倒平板。将已制备的直径 5 mm 的青霉菌和绿霉菌菌丝块分别移入培养皿中,于 25℃ 培养至第 3 和第 7 天时测定菌落直径。每个处理组 3 个重复,以不添加柠檬精油的培养基为对照组(CK)。

1.3.2 试验设计 试验设置 5 种不同涂膜液处理,分别为 CK:对照(样品未经处理);A:1.0% 柠檬精油;B:1.0% 壳聚糖的醋酸溶解液+1.0% CaCl_2 +300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 纳他霉素;C:1.0% 柠檬精油+1.0% 壳聚糖的醋酸溶解液+1.0% CaCl_2 ;D:1.0% 柠檬精油+1.0% 壳聚糖的醋酸溶解液+1.0% CaCl_2 +300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 纳他霉素。其中柠檬油经吐温乳化,壳聚糖醋酸溶解液的醋酸浓度为 1%。

挑选大小均匀,果皮色泽以及果实成熟度相对一致、无损伤的椪柑,分别装入不同的涂膜液中浸泡 2 min(10 L 涂膜液浸 200 个果实),捞出后自然晾干,然后置于垫报纸的塑料筐中,每个处理 200 个果实,重复 3 次,常温贮藏,每隔 15 d 取 1 次样测定相关指标。

1.3.2.1 腐烂率和失重率测定 腐烂率:计数法;失重率:称重法。按照公式计算腐烂率和失重率:

$$\text{腐烂率} = \frac{\text{贮藏后腐烂个数}}{\text{总个数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{失重率} = \frac{\text{初始重量} - \text{贮藏后重量}}{\text{初始重量}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.2.2 呼吸强度、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定 参照曹建康等^[21]的方法,采用静置法测定呼吸强度,单位以 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 表示;采用硫代巴比妥酸比色法测定 MDA 含量,单位以 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示。

1.3.2.3 TA、TSS 和 Vc 含量测定 参照 GB/T 8210-2011^[22]测定。

1.3.2.4 总糖含量测定 参照 GB/T 5009.7-2008^[23]测定。

1.3.2.5 细胞膜透性测定 参照贾晓辉等^[24]的方法。采用电导率仪测定,以相对电导率表示。

1.3.2.6 抗氧化酶活性测定 采用试剂盒测定过氧化氢酶(catalase, CAT)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化物酶(peroxidase, POD)活性。

1.3.2.7 感官评价 参照曾祥燕等^[19]的评分标准,略作修改(表 1),选 6 人对贮藏第 90 天的椪柑进行感官评价。

表 1 椪柑感官评分标准

Table 1 The sensory scoring standard of Ponkan

项目 Items	评分标准 Standard	得分 Score
外观 Appearance	果皮亮且饱满	7
	果皮颜色部分变暗,饱满	4~7
	果皮暗淡且皱缩	1~4
结构 Texture	果实弹性好	7
	果实发软,弹性较好	4~7
	果实软,弹性差	1~4
气味 Aroma	柑橘特有的芳香,无异味	7
	微有酒精味或其他异味	4~7
	酒精味较浓或其他异味	1~4
口感 Taste	柔软多汁,口感爽甜	7
	甜味稍淡	4~7
	甜味较差	1~4

1.4 数据分析

采用 Excel 97-2003 进行数据整理分析,采用 SAS 8.1 软件差异显著性分析($P < 0.05$),OriginPro 8.5 软件制图。

2 结果与分析

2.1 柠檬精油抑菌效果

由表 2 可知,柠檬精油能有效抑制青霉菌丝体的生长,当柠檬精油添加量介于 0.2%~1.0% 之间时,抑菌效果随着柠檬精油添加量增加而提高,且不同添加量处理组间差异显著;当柠檬精油添加量增加至 1.0% 时,培养至第 3 天能 100% 抑制青霉菌活性。柠

檬精油对青霉菌的抑制作用随着培养时间的延长明显下降,这与柠檬精油的抑菌持久性有关。低添加量柠檬精油对绿霉菌抑制作用较弱,当添加量为 0.2% 和 0.4% 时,可促进绿霉菌生长;当添加量达到 0.6% 时,柠檬精油对绿霉菌丝体的生长开始出现抑制作用;当柠檬精油添加量介于 0.6%~2.0% 之间时,其对绿霉菌的抑制作用随添加量的增加逐渐增强,且不同添加量处理组间差异显著。柠檬精油对绿霉菌的抑制作用也随着培养时间的延长出现下降趋势。由此说明,一定添加量的柠檬精油能有效抑制青霉菌和绿霉菌的生长。

表 2 不同柠檬精油添加量对青、绿霉菌丝体生长的影响 ($n=3$)

Table 2 Effects of different adding amount of lemon essential oil on mycelium of *Penicillium italicum* and *Penicillium digitatum* ($n=3$)

柠檬精油添加量 Adding amount of lemon essential oil/%	青霉菌菌丝体直径 Diameter of <i>P. italicum</i> /mm		绿霉菌菌丝体直径 Diameter of <i>P. digitatum</i> /mm	
	3 d	7 d	3 d	7 d
	0	27.0±0.7a	58.0±0.7a	31.0±0.4d
0.2	20.8±0.3b	44.2±0.7b	35.6±0.4a	63.1±0.3a
0.4	15.2±0.6c	33.4±0.6c	31.7±0.4b	58.5±0.3b
0.6	11.2±0.8d	31.1±0.5d	29.6±0.7c	57.4±0.7c
0.8	8.8±0.6e	25.0±0.3e	27.2±0.7d	53.6±0.3d
1.0	5.0±0f	16.2±0.7f	25.1±0.4e	49.8±0.3e
2.0	5.0±0f	14.3±0.3g	23.4±0.4f	46.9±0.4f

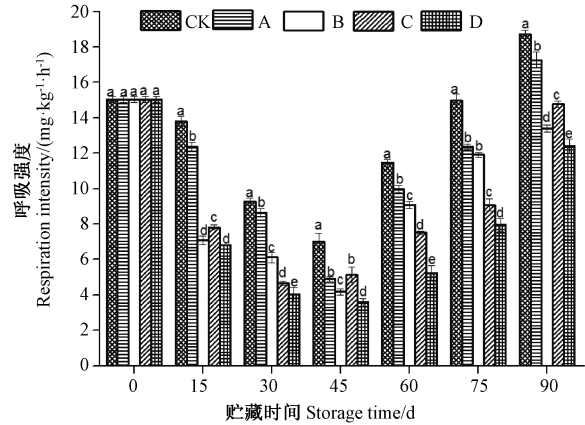
注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same as following.

试验中发现,当采用添加量大于 1.5% 的柠檬精油处理椪柑果实时,果皮会出现褐色伤疤,加速了果实腐烂进程,因而后续试验选择柠檬精油的添加量为 1.0%。

2.2 柠檬精油及其复配处理对椪柑果实呼吸强度的影响

由图 1 可知,随着贮藏期的延长,各试验组椪柑果实的呼吸强度均呈先下降后上升的趋势。柠檬精油及复配处理均可抑制椪柑果实呼吸作用,整个贮藏过程中 CK 果实的呼吸强度明显高于其他处理组,且 D 处理组最低。贮藏第 90 天,CK 椪柑果实的呼吸强度为 $18.72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,与其相比,A、B、C 和 D 组椪柑果实呼吸强度分别降低了 7.8%、28.4%、21.1% 和 33.8%。综上所述,柠檬精油及其复配处理均能抑制椪柑果实的呼吸速率,而 D 处理组的抑制作用更强。



注:不同小写字母表示同一贮藏期不同处理组间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between various treatment groups at the same storage time at 0.05 level. The same as following.

图 1 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑呼吸强度的影响

Fig.1 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on respiration intensity of Ponkan

2.3 柠檬精油及其复配处理对椪柑果实腐烂率和失重率的影响

由图 2 可知,随着贮藏期延长,各试验组椪柑果实腐烂率均呈上升趋势,其中 CK、B 和 C 处理组果实在第 15 天时出现腐烂,而 A 和 D 处理组在第 30 天时出现腐烂。整个贮藏期间,除 A 处理组椪柑果实腐烂率在贮藏第 30 和 60 天时与 CK 无显著差异外,其他处理组椪柑果实腐烂率均显著低于 CK。贮藏第 90 天

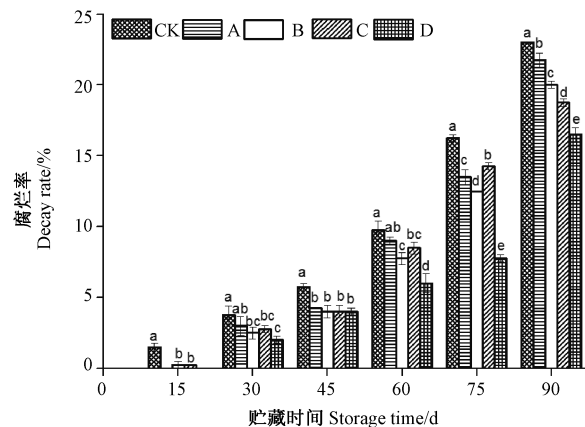


图 2 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑腐烂率的影响

Fig.2 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on decay rate of Ponkan

时,CK 椪柑果实的腐烂率高达 23.0%,是 D 处理组的 1.4 倍。D 处理组在贮藏第 60~第 90 天时椪柑果实腐烂率均显著低于其他试验组,表明,D 处理组减少腐烂发生的效果更佳。

由图 3 可知,各试验组椪柑果实失重率在整个贮藏期间均有不同程度的上升。贮藏 45~75 d 后,处理组椪柑果实失重率显著低于 CK。当贮藏至 90 d 时,A、C 和 D 处理组椪柑果实失重率分别为 23.76%、22.53%和 20.16%,显著低于 CK(25.52%),CK 与 B 处理组间无显著差异,且两组果实失重率均增加较快。可见,柠檬精油及其复配浸泡处理能有效降低椪柑储藏期间的失重率,其中 D 处理组的效果更好。

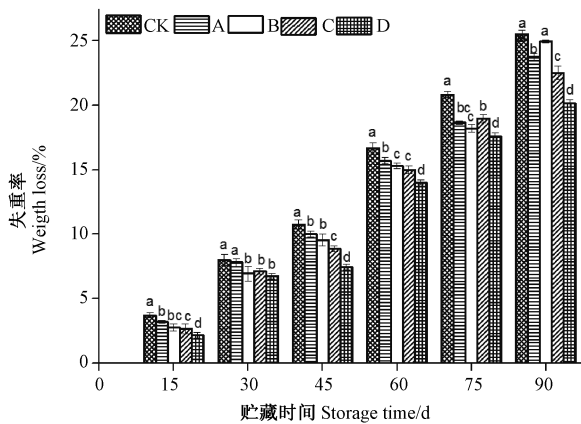


图 3 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑失重率的影响

Fig.3 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on weight loss rate of Ponkan

2.4 柠檬精油及其复配处理对椪柑果实感官评分的影响

由图 4 可知,椪柑果实经 90 d 贮藏后,A 处理组果实外观、口感、结构和气味得分均与 CK 无显著差异。B 处理组椪柑果实气味与 CK 间无显著差异,外观、结构和口感得分均显著高于 CK。C 处理组椪柑果实除结构评分外其他感官得分均显著高于 CK。D 处理组椪柑果实外观、结构、气味和口感得分分别为 5.5、5.3、5.4 和 5.2,均高于其他试验组,表明 D 处理组能更有效地保持椪柑的感官品质。

2.5 柠檬精油及其复配处理对椪柑果实营养品质的影响

由表 3、4 可知,在整个贮藏过程中,各试验组椪柑果实的 TSS 和总糖含量总体呈先上升后下降再上升的趋势,这可能是由于贮藏前期果实内淀粉转化为可溶性糖引起含量上升,贮藏中期呼吸作用消耗糖原导致

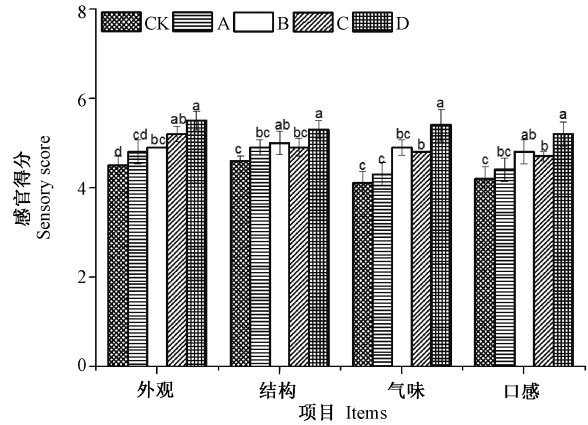


图 4 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑贮藏至 90 d 时感官得分的影响

Fig.4 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on Sensory score of Ponkan after 90 days storage

含量下降,贮藏后期失水导致 TSS 和总糖含量再次升高。除贮藏 0、30、45 和 60 d 外,A 处理组果实 TSS 含量与 CK 间存在显著差异;第 45 天开始,CK 椪柑果实 TSS 含量和 C 处理组之间均差异显著;B 和 D 处理组在整个贮藏期间果实 TSS 含量始终显著高于 CK。当贮藏至 90 d 时,A、B、C 和 D 处理组椪柑果实 TSS 含量和总糖含量均显著高于 CK,但 A、B、C 和 D 各处理组间均无显著差异。表明,柠檬精油及其复配处理均可较好地维持果实营养品质。

由图 5 可知,贮藏期间,CK 和处理组椪柑果实 TA 含量持续下降,其中 D 处理组果实 TA 含量在贮藏 30 d 后显著高于其他处理组。贮藏 90 d 时,CK 椪柑果

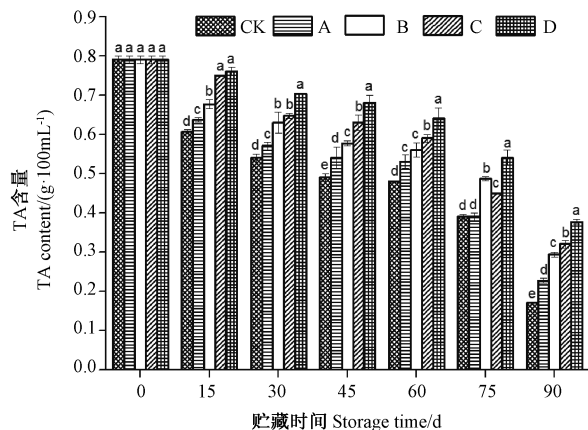


图 5 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑 TA 含量的影响

Fig.5 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on TA content of Ponkan

表 3 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑 TSS 含量的影响 ($n=3$)Table 3 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on TSS content of Ponkan ($n=3$)

组别 Group	贮藏时间 Storage time/d						
	0	15	30	45	60	75	90
CK	11.2±0.5a	11.5±0.2c	11.8±0.2b	12.0±0.3c	11.8±0.2c	11.6±0.4b	11.6±0.6b
A	11.2±0.5a	12.0±0.2b	12.1±0.3b	12.3±0.4bc	12.2±0.4bc	12.4±0.4a	13.2±0.6a
B	11.2±0.5a	12.2±0.2ab	12.6±0.4a	12.6±0.2ab	12.5±0.3ab	12.5±0.3a	13.5±0.5a
C	11.2±0.5a	11.8±0.3bc	12.2±0.2ab	12.7±0.3ab	12.4±0.3ab	12.7±0.6a	13.3±0.4a
D	11.2±0.5a	12.6±0.3a	12.6±0.3a	13.0±0.4a	12.9±0.4a	12.5±0.4a	13.1±0.9a

表 4 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑总糖含量的影响 ($n=3$)Table 4 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on total sugar content of Ponkan ($n=3$)

组别 Group	贮藏时间 Storage time/d						
	0	15	30	45	60	75	90
CK	8.09±0.25a	9.16±0.22b	5.99±0.23c	7.73±0.33c	7.01±0.23d	8.73±0.40b	8.24±0.32b
A	8.09±0.25a	9.19±0.21b	6.54±0.26b	8.95±0.42ab	8.13±0.39ab	9.92±0.0a	10.00±0.31a
B	8.09±0.25a	9.95±0.37a	6.67±0.21b	8.00±0.15c	7.53±0.16c	9.52±0.23a	9.41±0.16a
C	8.09±0.25a	8.91±0.52b	6.88±0.31b	8.57±0.13b	7.98±0.34bc	9.89±0.28a	10.05±0.50a
D	8.09±0.25a	10.37±0.18a	7.35±0.21a	9.23±0.18a	8.55±0.20a	9.71±0.24a	9.54±0.42a

实 TA 含量下降至 $0.17 \text{ g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$, 下降最快, A、B、C 和 D 处理组 TA 含量分别是 CK 的 1.4、1.7、1.9 和 2.2 倍。可见柠檬精油及其复配处理能减缓椪柑果实 TA 的降解, 其中 D 处理组能更好地保持 TA 含量, 维持果实风味品质。

由图 6 可知, 各处理组椪柑果实 Vc 含量变化趋势一致, 均随贮藏时间的延长而降低, 其中 D 处理组果实 Vc 含量下降最为缓慢, 在贮藏期间 (90 d) 损失了 $11.34 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, CK 椪柑果实 Vc 含量损失了 $14.34 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, D 处理组在贮藏第 90 天时果实 Vc 含量是 CK 的 1.2 倍。从贮藏第 15 天开始处理组果实 Vc 含量显著高于 CK, 且第 75 天开始除 CK 外其他 4 个处理组间差异均达显著水平。综上所述, 柠檬精油及其复配处理能有效延缓果实 Vc 的降解, 其中 D 处理组维持 Vc 含量的效果更好。

2.6 柠檬精油及其复配处理对椪柑果皮细胞膜透性和果肉 MDA 醛含量的影响

机体维持正常代谢活动需要完整的细胞膜, 通常用细胞膜透性来表示细胞膜的完整程度。由表 5 可知, 贮藏过程中, 各处理组椪柑果皮相对电导率均有不同程度的上升, 其中 D 处理组变化最平缓, CK 上升最快; 贮藏至第 90 天时, D 处理组和 CK 的果皮相对电导率分别上升至 30.5% 和 38.9%, CK 的果皮相对电

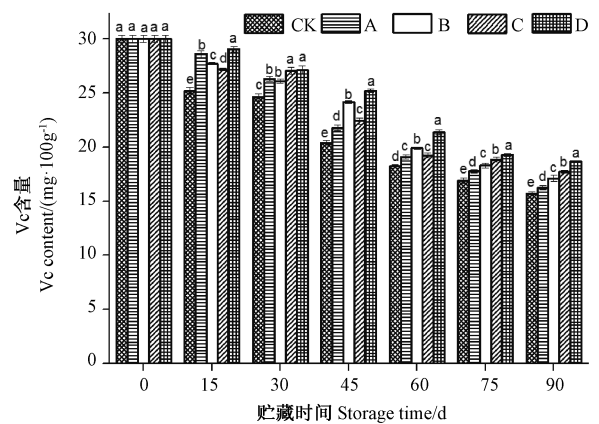


图 6 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑 Vc 含量的影响

Fig.6 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on Vc content of Ponkan

导率是 D 处理组的 1.3 倍。从第 60 天开始, CK 与其他处理组间差异均显著。表明柠檬精油及其复配处理可有效保护细胞膜, 减缓相对电导率的升高, 其中 D 处理组效果最佳。

由表 6 可知, 各处理组椪柑果肉 MDA 含量均随着贮藏时间的延长呈上升趋势, A、B、C 和 D 处理组 MDA 含量始终低于 CK, 其中 D 处理组 MDA 含量增幅

最小,CK 升高最快。贮藏至 90 d 时,椪柑果实 MDA 含量高达 $1.860 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,显著高于 B、C 和 D 处理组,与 A 处理组之间无显著差异。表明柠檬精油及其

复配处理可抑制椪柑果实的膜脂过氧化反应,其中 D 处理组的抑制作用相对更强。

表 5 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对果皮相对电导率的影响 ($n=3$)

Table 5 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on relative electric conductivity of Ponkan ($n=3$)

组别 Group	贮藏时间 Storage time/d							/%
	0	15	30	45	60	75	90	
CK	20.8±0.3a	23.6±0.4a	25.2±0.2a	27.5±0.3a	30.4±0.2a	34.0±0.0a	38.9±0.3a	
A	20.8±0.3a	22.8±0.2bc	23.1±0.2c	26.0±0.5b	28.6±0.6b	31.5±0.5b	35.0±0.3b	
B	20.8±0.3a	23.4±0.5ab	24.6±0.2b	26.9±0.4a	28.0±0.3b	29.3±0.3c	33.0±0.7c	
C	20.8±0.3a	23.1±0.4ab	24.6±0.4b	25.8±0.1b	28.4±0.5b	29.7±0.4c	32.9±0.5c	
D	20.8±0.3a	22.2±0.2c	23.3±0.5c	24.2±0.4c	25.1±0.3c	26.4±0.7d	30.5±0.3d	

表 6 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对果肉 MDA 含量的影响 ($n=3$)

Table 6 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on MDA content of Ponkan ($n=3$)

组别 Group	贮藏时间 Storage time/d							/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)
	0	15	30	45	60	75	90	
CK	0.359±0.036a	0.577±0.065a	0.845±0.054a	0.970±0.039a	1.132±0.024a	1.452±0.068a	1.860±0.025a	
A	0.359±0.036a	0.512±0.005b	0.761±0.014b	0.837±0.011b	1.065±0.011b	1.340±0.030b	1.816±0.035a	
B	0.359±0.036a	0.435±0.021c	0.519±0.018c	0.669±0.016c	1.054±0.022b	1.157±0.017c	1.583±0.031c	
C	0.359±0.036a	0.410±0.022c	0.449±0.020cd	0.674±0.029c	0.906±0.023c	1.075±0.018d	1.657±0.024b	
D	0.359±0.036a	0.377±0.027c	0.492±0.023d	0.613±0.017d	0.761±0.022d	0.974±0.016e	1.248±0.022d	

2.7 柠檬精油及其复配处理对椪柑果实抗氧化酶活性的影响

由图 7-A 可知,柠檬精油及其复配处理均能有效保持椪柑果实 CAT 活性。各处理组椪柑果实在贮藏期间 CAT 活性总体呈下降趋势,活性介于 $3.02 \sim 10.16 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间。贮藏 45 d 内,各处理组在维持椪柑 CAT 活性方面的效果显著优于 CK;贮藏 45 d 后,B、C 和 D 处理组 CAT 活性显著高于 CK,且 D 处理组 CAT 活性最高。贮藏 90 d 时,D 处理组椪柑果实 CAT 活性降至 $6.10 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$,是 CK 的 2.0 倍。由图 7-B 可知,各处理组椪柑果实 SOD 活性随着贮藏时间的延长呈先下降后上升的趋势,活性介于 $55.79 \sim 176.23 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间。在整个贮藏期 CK 椪柑果实 SOD 活性显著低于其他处理组。贮藏 90 d 时,D 处理组椪柑果实 SOD 活性显著高于其他处理组,说明 D 处理组清除自由基能力更强。由图 7-C 可知,柠檬精油及其复配处理均可减缓果实中 POD 活性的降低,各处理组在贮藏期间椪柑果实 POD 活性变化趋势一致,均先上升后下降。贮藏 90 d 时,A、B、C 和 D 处理组果实 POD 活性显著高于

CK,其中 D 处理组维持 POD 活性效果最优,其 POD 活性为 $89 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

3 讨论

椪柑一般经贮藏完熟后销售,因此,维持果实品质和口感尤为重要。本研究结果表明,柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配均能不同程度地抑制椪柑果实呼吸作用,而且可以延缓果实 TA 和 Vc 含量的下降,减少果实失重和腐烂发生,更好地保持果实营养和外观品质。其中 D 处理组(1%柠檬精油+1.0%壳聚糖+1.0%氯化钙+300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 纳他霉素的复合物)对椪柑的保鲜效果最好,这与曾祥燕等^[19]利用柑橘精油、壳聚糖、氯化钙和溶菌酶复合液较好地保持雪峰蜜桔贮藏品质、减少果实腐烂的结果一致。此外,苟亚峰等^[25]研究发现 $60 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 肉桂精油与 1%壳聚糖和 1% CaCl_2 复配处理砀山酥梨保鲜效果最优,这与本研究结论类似。这可能是由于壳聚糖在果蔬表面形成一层薄膜,通过调节果蔬内外气体交换,形成高 CO_2 低 O_2

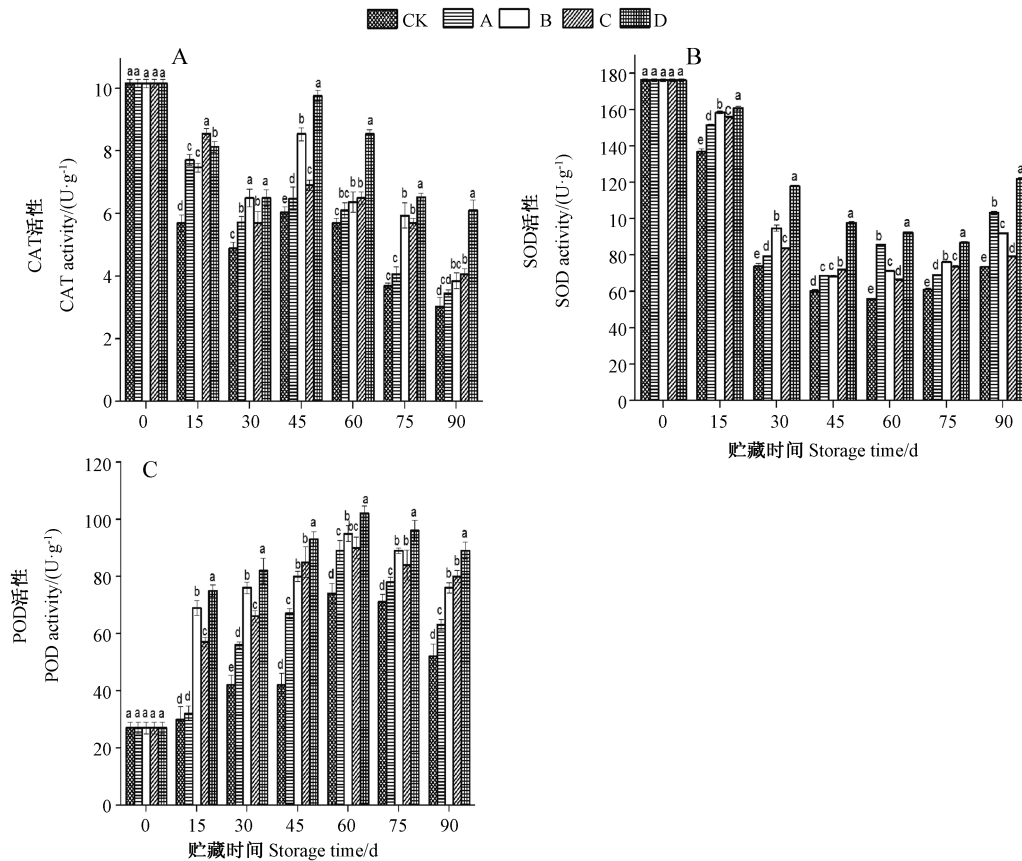


图7 柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑果实抗氧化酶活性的影响

Fig.7 Effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on antioxidant enzymes activity of Ponkan

的微环境,从而抑制呼吸作用对养分的消耗,减少水蒸气的渗透,达到保鲜果蔬的效果^[26];同时壳聚糖具有抑菌作用^[26];且柠檬精油作为天然抑菌物质,其含有的柠檬烯、萜烯、松油醇、柠檬醛等活性成分对青霉、绿霉和酸腐病菌具有较强的抑制作用^[27-30],与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复合使用,可对椪柑的保鲜达到协同增效的作用。

SOD、POD 和 CAT 与果蔬贮藏品质的劣变紧密相关^[31],且 3 种抗氧化酶共同作用能减少自由基和 H₂O₂ 对细胞膜的损伤,延缓膜脂过氧化产物——MDA 的积累,从而达到延缓果实衰老的效果。魏彦珍等^[32]研究发现,茶树精油能有效提高 CAT 活性,保持草莓品质。钟曼茜等^[33]表明黄皮精油熏蒸番木瓜果蒂能提高 SOD 活性,减少 MDA 积累,维持果实贮藏品质。宋姝婧等^[34]发现,百里香精油能有效延缓樱桃番茄的衰老,保持果实品质和风味,减少 MDA 积累。杨莹等^[35]表明选用浓度为 6~8 μL·L⁻¹的肉桂精油保鲜救心菜,可有效维持其 CAT、SOD 和 POD 活性,保持救心菜的贮藏品质。本研究也得到类似结果,柠檬精油及

其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配处理可以通过提高的椪柑果实 CAT、SOD 和 POD 活性来减少 MDA 积累,从而延缓果实衰老。这可能是由于柠檬精油能诱导椪柑果实通过调节抗氧化酶活性来降低机体所遭受的损伤,从而延缓衰老进程,减少腐烂发生。

本研究利用柠檬精油对椪柑进行采后保鲜,并分析了果实贮藏过程中营养品质与抗氧化酶活性的变化,发现柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素处理均可有效抑制果实腐烂率和失水率,保持营养和风味品质。但由于柠檬精油组分复杂,在椪柑保鲜过程中起重要作用的成分以及其保鲜机理尚不明确,有待进一步深入研究。

4 结论

本研究结果表明,柠檬精油及其与壳聚糖、氯化钙和纳他霉素复配对椪柑果实具有不同程度的保鲜效果。其中 1%柠檬精油复合 1.0%壳聚糖、1.0%氯化钙和 300 mg·L⁻¹纳他霉素处理椪柑果实保鲜效果最好,

其果实 Vc 和 TA 含量最高,腐烂率和失重率最低,且在减缓果皮相对电导率升高和 MDA 积累,以及维持抗氧化酶(CAT、SOD 和 POD)活性方面的效果最优。

参考文献:

- [1] 罗梦,赵博,陈浩,黄敏. γ -辐照对椪柑果实保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 1-7
- [2] 朱子华,盛恒彬,梅象信,赵金锁,周德根. 果实采后病害种类[J]. 河南林业科技, 2004, 24(12): 17-18
- [3] 周梦娇,万春鹏,陈金印. 植物提取物对柑橘采后病害抑制及保鲜效果的研究进展[J]. 北方园艺, 2014(2): 186-190
- [4] 杨丽丽,郝晗,张璇,孙彤. 壳聚糖浓度对原位合成纳米 SiO_x 壳聚糖涂膜性能的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 85-92
- [5] Shahidi F, Arachchi J K V, Jeon Y J. Food applications of chitin and chitosans[J]. Trends in Food Sciednce and Technology, 1999, 10(2): 35-37
- [6] 周锐丽,陈轶. 甲壳素、壳聚糖的保健功能及应用展望[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(11): 65-69
- [7] 和岳,王明力,张洪,毛玉涛,闫岩,陆雅丽. 壳聚糖复合膜的制备及其对草莓的保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(5): 133-137
- [8] 万丽,申琳,赵丹莹,丁洋,生吉萍. 壳聚糖复合涂膜对鲜切冬枣安全性与贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 277-281
- [9] 杨玉红,康宗利. 壳聚糖和 V_c 复合涂膜对草莓保鲜的影响[J]. 西北农业学报, 2006, 15(2): 131-133
- [10] 董泽义,谭丽菊,王江涛. 壳聚糖保鲜膜研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(6): 147-151
- [11] 徐甜,高成成,汤晓智. 壳聚糖/植物精油可食性抗菌膜研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 323-329, 335
- [12] Burt S. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods-a review [J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94(3): 223-253
- [13] 陈林林,米强,辛嘉英. 柑橘皮精油成分分析及抑菌活性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 25-28
- [14] 张文勇,陈瑶,任文琪. 柑橘精油和壳聚糖复合物对草莓保鲜效果的研究[J]. 山西化工, 2015, 35(6): 22-24, 35
- [15] 范小静,闫合,李昂,冯俊涛,马志卿,张兴. 柠檬油微乳剂研制及对圣女果的采后保鲜效果研究[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(4): 56-61
- [16] Mohamed H, Saad A M, Maha S A, Saeed R Z. A multiple volatile oil blend prolongs the shelf life of peach fruit and suppresses postharvest spoilage [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 251: 48-58
- [17] 郑科旺,付梅芳,朱洁倩,覃彩芹,李伟,颜永斌. 壳聚糖精油复合涂膜对鲜切山药保鲜的应用[J]. 食品科技, 2017, 42(5): 26-30
- [18] 赵瑞鹏,陈素芬,张赟彬,赵亦鸣,叶琳,王一非. 柠檬精油微乳液对鲜切苹果的保鲜效果[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 87-89
- [19] 曾祥燕,赵良忠. 柑橘精油对雪峰蜜桔保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(12): 2208-2214
- [20] 胡秀荣,牡丹超,黄振东,蒲占滔,鹿连明,陈国庆. 柑桔提取物对 8 种植物病原真菌的抑制作用研究[J]. 中国南方果树, 2011, 40(5): 1-4
- [21] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007
- [22] 中华人民共和国广西出入境检验检疫局. GB/T 8210-2011 柑桔鲜果检验方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2011
- [23] 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所,北京市疾病预防控制中心. GB/T 5009.7-2008 食品中还原糖的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2008
- [24] 贾晓辉,夏玉静,王文辉,佟伟,姜云斌,王志华. 采收成熟度结合 1-MCP 对苹果采后品质和生理效应的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(8): 197-203
- [25] 苟亚峰,冯俊涛,张兴,江志利. 肉桂精油及其复合物对砀山酥梨保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 298-301
- [26] 孔庆龙,许伟,高正卿. 复合壳聚糖保鲜剂在食品保藏方面的研究[J]. 食品与生物, 2015(3): 5-6, 35
- [27] 秦轶,侯小桢,章斌,邓其海,丁心,邹利运. 柠檬精油的化学成分分析及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 169-173
- [28] Tao N G, Yang Q L, Jia L. Citral inhibits mycelial growth of *Penicillium italicum* by a membrane damage mechanism [J]. Food Control, 2014, 41(2): 116-121
- [29] Zhou H E, Tao N G, Jia L. Antifungal activity of citral, octanal and α -terpineol against *Geotrichum citri-aurantii* [J]. Food Control, 2014, 37(1): 277-283
- [30] 欧阳秋丽,贾雷,陶能国,何湘丽. α -松油醇对意大利青霉的抑制作用[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 32-35
- [31] Forer C H, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: Regulation and signalling[J]. New Phytologist, 2000, 146(3): 359-388
- [32] 魏彦珍,邵兴锋,韦莹莹,许凤,王鸿飞. 茶树精油电辅助加热熏蒸处理对草莓品质和相关酶类的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(4): 135-140
- [33] 钟曼茜,张史青,黄绵佳,陈翠,陈沛龙,从心黎. 黄皮精油熏蒸果蒂对番木瓜常温保鲜效果的影响[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(9): 87-95
- [34] 宋姝婧,王晓拓,王志东,许牡丹. 5 种植物精油对樱桃番茄常温保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(5): 932-939
- [35] 杨莹,韩延超,吴伟,邵海燕,陈杭君,邓尚贵. 肉桂精油对救心菜贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(12): 2376-2383

Effects of Compound Coating of Lemon Essential Oil Composite Coating on Postharvest Storage Quality of Ponkan

ZHANG Weiqing LIN Mei* WANG Tianyu PING Xinliang FENG Xianju
WANG Yanbin YAO Zhoulin XU Chengnan
(Zhejiang Institute of Citrus Research Address, Taizhou, Zhejiang 318020)

Abstract: To improve the fresh-keeping effect of citrus, the effects of lemon essential oil and its mixture with chitosan, calcium chloride and natamycin on postharvest storage quality of Ponkan mandarin were investigated in this study. The results showed that all the treatments could reduce the rate of fruit decay and weight loss, inhibited respiration rate, and delayed the decomposition of titratable acids and Vc, which helped to maintain nutritional value and preserve sensory quality of ponkan. In addition, lemon essential oil and its mixture also significantly enhanced the activities of SOD, CAT and POD, and inhibited the increase of relative electric conductivity and accumulation of MDA content during storage. Specially, the ponkan treated by the mixture with 1% lemon essential oil, 1% chitosan, 1% calcium chloride and 300 mg · L⁻¹ natamycin had the highest contents of titratable acids and Vc, the lowest rate of fruit decay and weight loss, MDA content and relative electric conductivity, and better activities maintenance of SOD, CAT and POD, all of which suggested that this mixture had the best fresh-keeping effect for the storage of ponkan. These results will provide theoretical evidence for using lemon essential oil mixture as preservative for the storage of fruits and vegetables.

Keywords: lemon essential oil, storage quality, fresh-keeping, Ponkan, coating