

采后 O₃ 处理对使用 CPPU 猕猴桃贮藏品质及其抗性酶活性的影响

苏苗, 罗安伟, 李圆圆, 李琳, 白俊青, 蔺志颖

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘要: 为探究臭氧 (ozone, O₃) 对膨大剂 (N-2-氯-4-吡啶基苯-N'-苯基脲, CPPU) 处理秦美猕猴桃果实贮藏期间其品质劣变的抑制效果, 本文以生长期使用了 20 mg/L CPPU 的秦美猕猴桃果实为试验材料, 在 0±1 °C 条件下贮藏。研究了 10、40 和 70 mg/m³ O₃ 处理对贮藏期间秦美猕猴桃果实的品质指标、乙烯释放量、呼吸强度以及抗性酶活性的影响。试验结果表明 40 mg/m³ O₃ 可以减缓 CPPU 处理的秦美猕猴桃品质的下降趋势, 减轻了可滴定酸、Vc 含量的下降, 保持了较好的硬度, 减缓了可溶性固形物含量的上升; 抑制了乙烯释放量和呼吸强度, 减少果实软化; 并增加了苯丙氨酸解氨酶(Phenylalanine ammonia lyase, PAL)、β-1,3-葡聚糖酶(β-1,3-glucanase, GLU)、几丁质酶(Chitinase, CHI)的活性, 从而减少了秦美猕猴桃果实的腐烂率。O₃ 处理能有效减轻 CPPU 处理对秦美猕猴桃果实产生的负面影响并延长贮藏时间。

关键词: 臭氧; N-2-氯-4-吡啶基苯-N'-苯基脲; 猕猴桃; 贮藏品质; 抗性酶

文章编号: 1673-9078(2018)03-46-53

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.03.007

Effect of O₃ Treatment on the Storage Quality and Resistance Enzyme Activity of Kiwifruit Treated with CPPU

SU Miao, LUO An-wei, LI Yuan-yuan, LI Lin, BAI Jun-qing, LIN Zhi-ying

(College of food science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The inhibitory effect of ozone (O₃) on the quality of kiwifruit treated with expanding agents (N-(2-chloro-4-pyridyl)-N'-phenylurea, CPPU) during the storage was investigated. The postharvest Qinmei kiwifruit in the growth phase was treated with 20 mg/L CPPU and reserved in 0 ± 1 °C, and then treated with 10, 40 and 70 mg/m³ ozone. The quality index, ethylene release, respiration intensity and resistance enzyme activity were studied. The results showed that 40 mg/m³ O₃ could slow down the quality decline of CPPU-treated kiwifruit and the rise of soluble solids content. Besides, it can reduce the drop of titratable acid and Vc contents, maintain good hardness, inhibit the release of ethylene and respiration rate, and increase the activity of Phenylalanine ammonia lyase (PAL), β-1,3-glucanase (GLU) and Chitinase (CHI), thus reducing the decay rate of Kiwifruit fruit. O₃ treatment could effectively reduce the negative effects of CPPU on the fruit of kiwifruit, and thus could better prolong the storage period.

Key words: ozone; CPPU; kiwifruit; storage quality; resistance enzyme

猕猴桃因富含 Vc、氨基酸和多种微量元素, 且果实酸甜可口、多汁细嫩而深受消费者喜爱^[1], 在陕西的种植面积达到 103 万亩, 产量 131 万吨, 约占世界总面积的 1/3, 产量的 1/2, 现在猕猴桃是继陕西苹果之后, 第二张陕西水果名片^[2], 但由于猕猴桃是典型的呼吸跃变型果实, 采后极易软化, 具有“七天软, 十天烂, 半月坏一半”的说法^[3]。膨大剂俗称“膨大素”、

收稿日期: 2017-11-05

基金项目: 陕西省农业科技创新攻关项目 (2015NY051)

作者简介: 苏苗 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与加工

通讯作者: 罗安伟 (1971-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬贮藏与加工

“大果灵”, 化学名称为细胞激动素, 有效成分是氯吡脲 (CPPU), 可以促进细胞分裂、分化、扩大和细胞形成^[4], 从而具有促进果实增大的作用。膨大剂被广泛应用于柿子、甜瓜、苦瓜、猕猴桃、葡萄、番茄、苹果、梨和西瓜等^[5-7]果蔬中。果农在猕猴桃生产中为了增加其单果重和亩产量, 在幼果膨大期普遍使用了较高浓度 CPPU 处理, 虽然产量增加了, 但严重降低了采后猕猴桃果实的风味品质、耐藏性和抗病性^[8]。O₃ 因具有杀菌、抑制和消除乙烯、减缓果实的呼吸作用而在果蔬贮藏保鲜中逐渐得到应用^[9]; O₃ 还能调节果蔬的新陈代谢, 因而延长了果实的贮藏期, 减少过度软化, 抑制菌丝的生长等^[10-13]。O₃ 在果蔬保鲜中具

有成本低、污染小等优点,是一种理想的绿色保鲜剂,将其用在果蔬贮藏保鲜中,已在国内外有很多相关的研究,应用范围也将会越来越广。目前,国内外关于O₃处理能有效减缓因使用CPPU处理而导致猕猴桃果实品质劣变现象的相关文献很少。

本试验以生长期使用 CPPU 的猕猴桃为试验材料,探究 O₃ 处理能否有效减轻 CPPU 对秦美猕猴桃的品质及耐藏性带来的负面影响,为 O₃ 在猕猴桃贮藏保鲜上的应用及贮藏保鲜技术提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

猕猴桃:秦美品种,采自陕西省杨凌示范区一管理良好的果园。猕猴桃在盛花期后 28 d 用 20 mg/L CPPU 进行蘸果处理,当果实生长至可溶性固形物含量达到 6.0%~6.5%时采收。剔除有机械损伤、病斑及畸形果实,预冷 24 h 后入库。

氯吡脞(CPPU),四川省兰月科技有限公司;氢氧化钠,广东光华科技股份有限公司;抗坏血酸,广东光华科技股份有限公司;3,5-二硝基水杨酸,国药集团化学试剂有限公司;二硫苏糖醇(DTT),北京索莱宝科技有限公司;聚乙烯吡咯烷酮(PVP),上海蓝季科技发展有限公司;交联聚乙烯吡咯烷酮(PVPP):北京索莱宝科技有限公司;丙酮,利安隆博华(天津)医药化学有限公司;几丁质, Sigam; 四硼酸钾,源叶生物科技有限公司;N-乙酰-D-氨基葡萄糖,源叶生物科技有限公司;脱盐蜗牛酶,北京索莱宝科技有限公司;对二甲氨基苯甲醛,科密欧化学试剂有限公司;昆布多糖,北京博奥拓达科技有限公司;冰醋酸,科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

L5 紫外可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;TAXTPLUS/50 物性测定仪,Stable Micro system Ltd 公司;HC-3018R 高速冷冻离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司;电子天平,北京科普尔科技发展有限公司;DK-98-11-A 电热恒温水浴锅,天津市泰斯特仪器有限公司;MIC-800 有毒有害气体检测报警仪,济南隆安电子有限公司;XM 型 O₃ 发生器,青岛欣美净化设备有限公司;GC-14C 气相色谱,日本岛津。

1.3 方法

1.3.1 处理分组

将预冷后的猕猴桃装于网眼塑料筐中,分别放置

于 4 个小型试验冷库中(每个冷库容积 23 m³),每库 20 箱,每箱 15 kg,库内温度(0±1)℃,RH 90%~95%。O₃ 处理方式:将额定产量为 20 g/h 的 O₃ 发生器产生的 O₃ 通过橡胶管通入到冷库中心部位,当 O₃ 浓度分别达到 10、40、70 mg/m³(用 O₃ 检测仪对 O₃ 浓度进行检测)开始计时,使该浓度维持 2 h,以不通 O₃ 冷库作为对照组(CK);每 15 d 处理一次,每次处理 2 h,随机取样,进行指标测定,试验设 3 次重复。

1.3.2 测定指标

1.3.2.1 硬度: TAXT PLUS/50 物性测定仪

在 TPA 模式下,随机取 4 个果实进行测定,在猕猴桃果实赤道部位均匀取三点,削去果实表皮,沿果实赤道上 120°等距离测定 3 次,重复三次。

1.3.2.2 可滴定酸: NaOH 滴定法(参照 GB/T 12293-1990^[14])

随机取 4 个猕猴桃去皮后混匀,榨汁,称取 10 g,准确至 0.1 g,用蒸馏水定容至 100 mL 容量瓶中并于 10000 g 转速下离心 10 min。取 10 mL 上清液,加入 2 滴酚酞指示剂,用 0.1 mol/L NaOH 标准溶液滴定,记录 NaOH 标准溶液的消耗体积,重复三次。

1.3.2.3 Vc: 碘酸钾滴定法(参照曹健康^[15]的方法)

随机取 4 个猕猴桃去皮切成小块混匀,称取 10 g 置于研钵中,加入少量 2%盐酸溶液,在冰浴条件下研磨,用 2%盐酸溶液定容至 100 mL 容量瓶中并于 10000 g 转速下离心 10 min。分别取 0.5 mL 10 g/L KI 溶液、2.0 mL 5 g/L 淀粉溶液、5.0 mL 提取液和 2.5 mL 蒸馏水置于三角瓶中,混匀。用 KIO₃ 溶液逐滴滴入进行滴定。记录 KIO₃ 溶液的体积,重复三次。

1.3.2.4 叶绿素、类胡萝卜素: 参照曹健康的方法

随机取 4 个猕猴桃去皮后切成小块并混匀,取 3.0 g 左右的果肉,加入 0.3 g CaCO₃ 和 5 mL 80%丙酮,研磨成匀浆。将匀浆过滤至 25 mL 的容量瓶中,用 80%丙酮定容。以 80%丙酮为参比液,分别在 440 nm, 645 nm, 663 nm 处测定吸光度值。重复三次。

1.3.2.5 呼吸强度

每个处理每次随机取 4 个猕猴桃,称重后放于密闭容器内,同时放入呼吸强度仪,开始计时。15 min 后开始读数,即为原始数据。1 h 后再读一次。呼吸强度以单位鲜重猕猴桃每小时所释放的 CO₂ 质量来表示。重复三次。

1.3.2.6 乙烯释放量

取 1 kg 果实放置在 1.6 L 的密封干燥器内 1 h,抽顶空气体,通过气相色谱(GC-14C 型气相色谱仪)进行测定,气相条件: FID 检测器,柱温 90℃,进样口温度 160℃,GDX-102 不锈钢填充柱,载气: N₂

(50 MPa), 燃气: H₂(75 MPa)助燃气: 空气(50 MPa); 对照及处理果实各设 3 组重复。

1.3.2.7 苯丙氨酸解氨酶活性的测定

酶液提取: 取 5 g 果肉, 加入 5 mL 含 5 mmol/L β-巯基乙醇的 0.1 mol/L pH 8.8 硼酸钠缓冲液、40 g/L PVP 和 2 mmol/L EDTA, 冰浴研磨, 12000 g 离心 30 min (4 °C), 上清液为酶提液。

酶活性测定参照 Assis^[16]的方法略有改动: 取 0.3 mL 酶提液、3 mL 0.05 mol/L pH 8.8 硼酸钠缓冲液、0.7 mL 0.02 mol/L L-苯丙氨酸 (0.05 mol/L pH 8.8 硼酸钠缓冲液配制), 总体积为 4 mL。摇匀后置 37 °C 水浴保温 60 min, 加 0.1 mL 6 mol/L HCl 终止反应, 若有沉淀需过滤或离心。以蒸馏水代替酶提液作为对照, 在 290 nm 处测定吸光度。重复三次。

1.3.2.8 β-1,3-葡聚糖酶活性的测定

粗酶液提取: 5 g 果肉和 5 mL 提取缓冲液 (含 1 mmol/L EDTA, 5 mmol/L β-巯基乙醇和 1 g/L L-抗坏血酸), 12000 g 离心 30 min (4 °C), 上清液用于测定。

测定: 分别吸取 0.03 mL 粗酶液和 0.07 mL 4 g/L 昆布多糖, 37 °C 保温 40 min, 加入 1.5 mL 3,5-二硝基水杨酸试剂, 100 °C 水浴 5 min, 冷却至室温 (25 °C) 后用蒸馏水 1.25 稀释, 测定在 540 nm 处的吸光度。同时以葡萄糖做标准曲线。重复三次。

1.3.2.9 几丁质酶活性测定

粗酶液提取: 同 GLU。

测定: 分别吸取 0.5 mL 50 mmol/L、pH 5.2 乙酸乙酸钠缓冲液, 0.5 mL 10 g/L 胶状几丁质悬浮液和 0.5 mL 酶提取液, 混匀, 将反应管置于 37 °C 水浴保温 1 h 后, 加入 0.1 mL 30 g/L 的脱盐蜗牛酶, 混合, 继续在 37 °C 保温 1 h, 保温后立即取出加入 0.2 mL 0.6 mol/L 的四硼酸钾溶液, 并在水中煮沸 5 min, 然后迅速冷却, 加入 2 mL 用冰醋酸稀释 5 倍的对二甲氨基苯甲醛溶液, 在 37 °C 保温 20 min 进行显色反应, 在 585 nm 处测定吸光度值。重复三次。

1.3.2.10 腐烂率

在贮藏开始时分别将每个处理的猕猴桃留出 3 框, 每框有 50 个果实, 至贮藏结束时, 统计各处理的腐烂率。

1.4 数据处理方法

采用 Origin 8.0 软件进行作图分析, SPSS 20 软件对数据进行显著差异性检验, 使用 Duncan 方法进行分析。

2 结果与分析

2.1 O₃ 处理对猕猴桃果实品质的影响

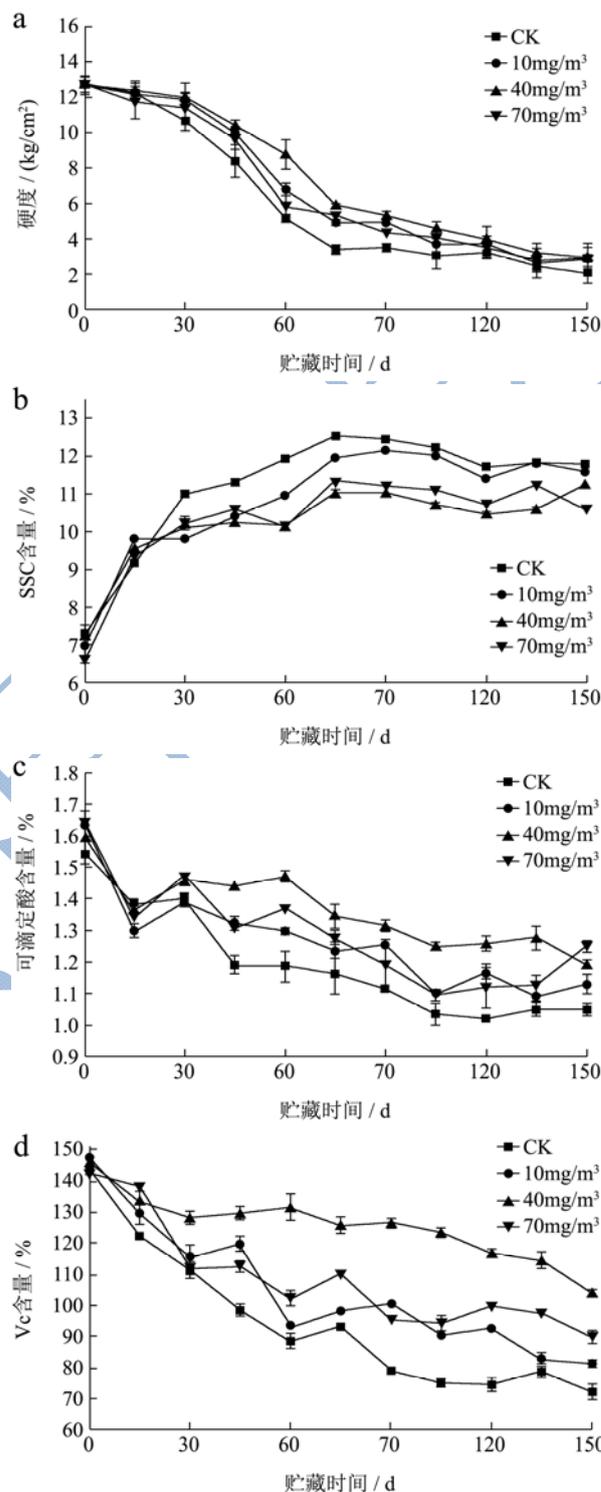


图 1 O₃ 对使用 20mg/L CPPU 秦美猕猴桃硬度 (a)、SSC (b)、TA (c)、Vc (d) 的影响

Fig.1 Effects of O₃ on the hardness (a), SSC (b), TA (c) and Vc (d) of Qinmei kiwifruit treated with 20 mg/L CPPU

图 1 是 O₃ 处理对使用 20 mg/L CPPU 的猕猴桃果实硬度 (a)、SSC (b)、TA (c)、Vc (d) 的影响。

2.1.1 O₃ 处理对猕猴桃果实硬度的影响

果实硬度是影响贮藏效果的关键因素,随着贮藏时间的延长,硬度呈逐渐下降趋势(图1a)。

O₃处理组果实的硬度高于CK组,在贮藏时间为30 d时,各组硬度分别下降了15.95%、7.61%、6.00%和10.17%。贮藏30 d~75 d时硬度呈现快速下降趋势,之后的贮藏期内硬度下降较为缓慢。在贮藏中期,40 mg/m³ O₃处理组的硬度显著高于($p < 0.05$)CK组,10、70 mg/m³ O₃处理效果较差,70 mg/m³ O₃处理可能使猕猴桃果实中的果胶水解了,从而使其硬度下降[17]。

2.1.2 O₃处理对猕猴桃可溶性固形物含量(SSC)的影响

可溶性固形物能直接反映果实的成熟度。从图1b中可以看出O₃处理可以减缓可溶性固形物上升的趋势,经40、70 mg/m³ O₃处理果实的SSC在贮藏后期显著低于CK组和10 mg/m³处理组果实,在贮藏30 d时,CK组显著高于处理组,随着贮藏时间的延长,到60 d时,10 mg/m³ O₃处理和CK组没有显著性差异($p > 0.05$),40、70 mg/m³ O₃与CK仍然有显著性差异($p < 0.05$)。在贮藏时间为60 d时,CK组和O₃处理组的猕猴桃SSC分别上升了64.36%、58.09%、42.30%和54.43%。40、70 mg/m³ O₃处理可以减缓SSC含量的增加,有利于贮藏。

2.1.3 O₃处理对猕猴桃可滴定酸含量的影响

O₃处理明显减缓了TA的下降(图1c)。从贮藏45 d开始,经过O₃处理的猕猴桃下降速率显著低于($p < 0.05$)CK组,各组猕猴桃TA含量分别下降了23.07%、19.45%、10.17%和20.82%。TA在贮藏45 d前下降速度较快,之后趋于平缓,这可能是由于果蔬中TA作为呼吸基质,随着呼吸强度的增加,TA消耗加快,后期由于呼吸强度趋于平稳,TA下降也随之减少。40 mg/m³ O₃处理效果最为显著,能有效减缓TA下降速率,维持较好的口感。

2.1.4 O₃处理对猕猴桃Vc含量的影响

Vc是衡量果实风味、口感好坏的重要指标。如图1d所示,贮藏前期Vc下降较快,60 d之后Vc下降较为缓慢。处理组比CK组Vc含量较高,40 mg/m³ O₃处理显著性高于($p < 0.05$)CK组,在60 d时为CK组的1.49倍。40 mg/m³ O₃处理能有效维持果实较高Vc含量,10、70 mg/m³ O₃效果较差。

2.1.5 O₃处理对叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

叶绿素含量(图2a)和类胡萝卜素含量(图2b)在贮藏期间内均呈下降趋势,O₃处理组能有效减缓叶绿素和类胡萝卜素含量的下降。在贮藏30 d时,叶绿

素和类胡萝卜素均下降较快,之后趋于平缓。叶绿素含量在贮藏时间为75 d之后,40 mg/m³ O₃处理要显著性高于($p < 0.05$)CK组。

在贮藏结束时,各组叶绿素含量分别下降了86.35%、71.08%、67.83%和82.29%,类胡萝卜素含量分别下降了51.71%、47.55%、56.88%和48.85%,猕猴桃果肉在贮藏后期变黄,是因为叶绿素降解速率要大于类胡萝卜素的降解速率,因此显露出黄色。

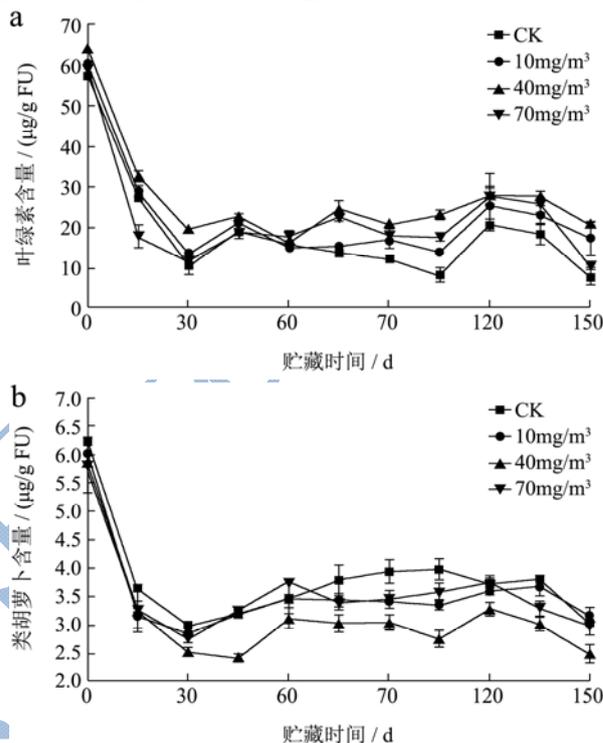


图2 O₃对使用20mg/L CPPU秦美猕猴桃Chl (a)、Car (b)的影响

Fig.2 Effects of O₃ on the Chl (a) and Car (b) of Qinmei kiwifruit treated with 20 mg/L CPPU

2.2 O₃处理对猕猴桃生理指标的影响

2.2.1 O₃处理对猕猴桃呼吸强度的影响

如图3a所示,处理组和CK组的呼吸速率呈先上升后下降的趋势,处理组呼吸高峰出现在第30 d时,而CK组在第15 d,且呼吸峰值要高于处理组,各组呼吸峰值为18.77、16.15、12.24、15.48 mg/(kg·h),O₃不仅能降低呼吸峰值还能延迟其出现时间。随着贮藏时间的延长,处理组果实呼吸强度始终低于($p < 0.05$)CK组。

40 mg/m³ O₃处理效果适宜,贮藏期内果实呼吸强度最低;10、70 mg/m³ O₃处理对果实呼吸作用的抑制效果均较差,说明O₃处理并不是浓度越高越好,而是要有一个合理的浓度。

2.2.2 O₃处理对猕猴桃乙烯释放量的影响

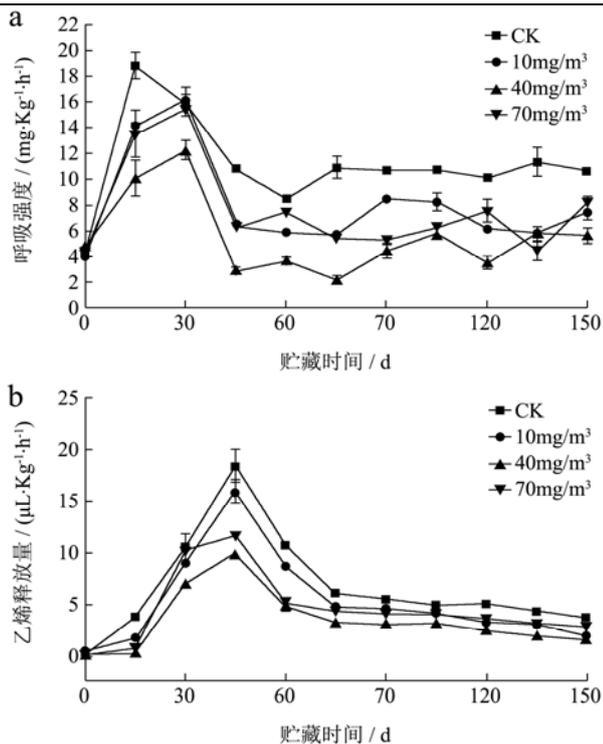


图3 O₃对使用20 mg/L CPPU 秦美猕猴桃呼吸强度 (a)、乙烯释放量 (b) 的影响

Fig.3 Effects of O₃ on the respiration intensity(a) and ethylene releasing volume (b) of Qinmei kiwifruit treated with 20 mg/L CPPU

猕猴桃是典型的呼吸跃变型水果，乙烯能催化果实软化，加速果实衰老，乙烯释放量越高，果实软化越快。O₃ 处理对果实乙烯释放量的影响如图 3b 所示。

从图 3b 中可以看出，各处理组果实乙烯释放量均在 45 d 时达到高峰，其值分别为 18.42、15.99、9.86、11.69 μL/(kg·h)，乙烯高峰出现时间晚于呼吸高峰这与王玉萍^[18]等人的研究一致。O₃ 处理不能推迟猕猴桃乙烯高峰出现的时间，只是显著降低了乙烯高峰值，这可能是因为 O₃ 一方面能消除库内的乙烯等有害气体，另一方面可以经过果实表皮进入到果实内部，将果实中产生的乙烯消除，从而减少乙烯释放量^[19]。40 mg/L O₃ 处理组果实的乙烯释放量在整个贮藏期始终最低，是适宜的处理浓度。

2.3 O₃ 处理对猕猴桃果实腐烂率的影响

果实在贮藏期间腐烂情况可以较好的反映贮藏效果的好坏。O₃ 处理对果实腐烂率的影响如图 4 所示。猕猴桃随着贮藏时间的延长会逐渐出现腐烂现象 (图 4)，贮藏至 75 d 时，各组果实均开始出现腐烂，腐烂率分别为 8.33%、5.13%、4.76%和 4.76%。在贮藏结束时即贮藏至 150 d 时，各组腐烂率为 28.83%、14.42%、9.52%和 12.79%。不同浓度 O₃ 处理均降低了

猕猴桃的腐烂率，这是因为 O₃ 具有杀菌作用，能有效减轻果实因微生物引起的腐烂。40 mg/m³ O₃ 处理的防腐效果最佳，10 mg/m³ O₃ 处理没有达到最佳的抑菌浓度，而 70 mg/m³ O₃ 处理可能对果实造成了一定程度的损伤，使其抗病性有所下降。未经 CPPU 处理的猕猴桃同样是在 75 d 出现腐烂现象，CK 组和 10 mg/m³ O₃ 处理组的腐烂率分别为 2.86%和 2.56%，而 40 和 70 mg/m³ O₃ 处理组均未出现腐烂现象。在贮藏时间至 150 d 时，各组腐烂率分别达到 23.08%、12.20%、7.32%和 12.5%。O₃ 均能降低未使用 CPPU 处理和 20 mg/L CPPU 处理猕猴桃的腐烂率，且未使用 CPPU 处理猕猴桃的腐烂率低于使用 20 mg/L CPPU 处理，说明 CPPU 处理不利于猕猴桃的贮藏，而 O₃ 消除了 CPPU 对猕猴桃贮藏带来的负面影响。

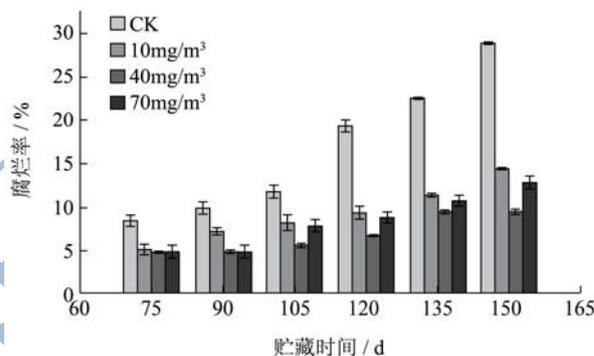


图4 O₃对使用20 mg/L CPPU 处理秦美猕猴桃腐烂率的影响

Fig.4 Effects of O₃ on the decay rate of Qinmei kiwifruit treated with 20 mg/L CPPU

2.4 O₃ 处理对猕猴桃抗性酶活性的影响

O₃ 处理能有效提高抗性酶活性，抵御微生物入侵，从而减少腐烂，图 5 为 O₃ 处理对 PAL、GLU、CHI 酶活性的影响。

2.4.1 O₃ 处理对猕猴桃苯丙氨酸解氨酶活性的影响

PAL 是苯丙烷类代谢途径中的关键酶和限速酶。如图 5a 所示，PAL 活性呈先上升后下降的趋势，在贮藏期为 30 d 时，各组果实 PAL 活性均达到高峰，其值分别为 259.46、268.23、292.8.8、268.57 U/g m_F。40 mg/m³ O₃ 处理组显著高于 CK 组，是 CK 组的 1.13 倍，可以减缓 PAL 活性的降低，有利于猕猴桃的贮藏，防止病害侵染。10 mg/m³ O₃ 处理与 CK 组差异不显著，效果较差，而 70 mg/m³ O₃ 处理可以相对的增加 PAL 活性，减缓果实软化。

2.4.2 O₃ 处理对猕猴桃 β-1,3-葡聚糖酶活性的影响

图 5b 中 GLU 活性呈现先上升后下降的趋势，在

75 d~120 d 时, 40 mg/m³ O₃ 处理显著高于 ($p<0.05$) CK 组, 并在贮藏 120 d 时出现高峰, 各组 GLU 活性分别为 142.55、179.12、194.63、162.30 U/g m_F。处理组的 GLU 活性峰值要高于 CK 组, 出现峰值的时间均早于 CK 组。40 mg/m³ O₃ 处理能减缓 GLU 活性的降低, 增加对病菌的抵抗能力, 减少腐烂率。

2.4.3 O₃ 处理对猕猴桃几丁质酶活性的影响

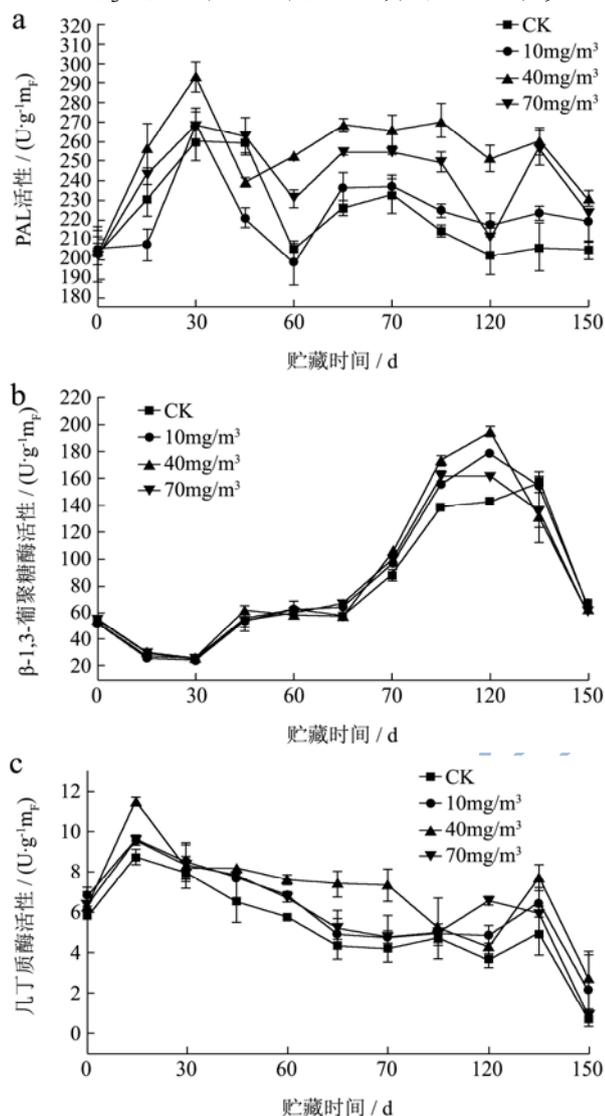


图 5 O₃对使用 20mg/L CPPU 秦美猕猴桃 PAL (a)、GLU (b)、CHI (c) 的影响

Fig.5 Effects of O₃ on the PAL (a), GLU (b) and CHI (c) of Qinmei kiwifruit treated with 20 mg/L CPPU

几丁质酶能降解真菌细胞壁的几丁质, 从而达到抑菌作用。图 5c 中 CHI 活性在贮藏期间内呈先上升后下降的趋势, 在 15 d 时出现峰值, 各组的 CHI 活性依次为 8.73、9.62、11.46、9.55 U/g m_F。40 mg/m³ O₃ 处理组是 CK 组的 1.31 倍。在贮藏时间为 45 d~90 d 时 40 mg/m³ O₃ 处理组和 CK 组有显著性差异 ($p<0.05$)。40 mg/m³ O₃ 处理提高了几丁质酶活性,

抑制了真菌生长、繁殖, 从而减少果实腐烂。10、70 mg/m³ O₃ 处理组对几丁质酶活性下降抑制效果较差。

3 讨论与结论

3.1 猕猴桃在采后贮藏中的主要问题是果实后熟中出现的品质下降和贮藏过程中的病害问题。而 O₃ 在果蔬贮藏中可以杀灭或抑制微生物的生长和繁殖, 同时还能使果蔬新陈代谢的有毒有害产物被氧化, 从而达到延长贮藏期的效果^[20]。不同的果蔬, O₃ 处理的适宜浓度不相同, 即使都是猕猴桃贮藏, 由于品种的不同, O₃ 处理的适宜浓度也不相同, 张丽华等^[21]人研究发现 0.7 mg/L 的臭氧水处理海沃德猕猴桃可以降低细菌总数, 减缓 SSC、Vc 含量的下降; 曹彬彬等^[22]人研究了不同浓度臭氧对皖翠猕猴桃品质的影响, 发现 10.7 mg/m³ O₃ 处理能显著降低腐烂率, 抑制呼吸强度; 夏丽佳等^[23]人研究发现 200×10⁻⁶ 臭氧处理能有效减缓 SCC 含量的上升。本试验是采用低浓度 O₃ 处理对使用了 20 mg/L CPPU 的秦美猕猴桃的品质及其抗性酶活性的研究。王玮等^[24]人研究表明 CPPU 能增大华优猕猴桃果实单果质量, 但是降低了 Vc 含量、可溶性总糖和糖酸比, 使其风味品质变差, 并降低了果形指数。郭叶等^[25]人发现高浓度 (20 mg/L) CPPU 处理使果实品质变差, 从而影响商品价值。本研究发现 O₃ 处理能更好的维持高浓度 CPPU 的猕猴桃在贮藏期内的品质, 并降低了猕猴桃的腐烂率, 这与曹珊珊等^[26]人的研究结果相同。王瑞玲等^[27]人研究 O₃ 处理能有效降低红阳猕猴桃在室温 (20±3 °C) 条件下的腐烂率, 与本研究结果一致, 但与 0±1 °C 条件下贮藏对其腐烂率影响不大的结果不同, 这可能是由于 O₃ 浓度、处理时间不同造成的。适宜的 O₃ 浓度处理能延缓 SSC (图 1b) 的上升、硬度、TA、Vc 和叶绿素含量 (图 1a、c、d 和图 2a) 的下降, 这与 Asgar Ali 等^[28]和 Han Q 等^[29]的结论一致。O₃ 处理抑制乙烯释放量和呼吸强度^[30], 并推迟呼吸高峰的出现时间, 这与 TA 下降一致, 原因可能 TA 为呼吸基质。本研究表明 O₃ 能够降低使用了 CPPU 猕猴桃的腐烂率, 并且能够有效减轻 CPPU 对猕猴桃贮藏品质的负面影响, 从而延长贮藏期。

3.2 PAL 是许多植物苯丙烷代谢的关键酶, 与植物的抗逆境胁迫和抗病性密切相关, 并在植物的正常生长发育和抵御病原菌侵害过程中起着重要的作用^[31]。O₃ 能够提高其活性, 从而提高猕猴桃的抗病性, 这与 Zheng X^[32]和 Mei K O^[33]等人的研究一致。GLU 和 CHI 是两类重要的病程相关蛋白, 并对病原菌有直接的杀伤作用, O₃ 处理在贮藏后期能够减缓其下降趋势, 增强对病害的抵御能力, 达到延长贮藏期的效果, 这与

齐馨^[34]等人的研究相同。O₃可以提高 PAL、GLU 和 CHI 酶的活性,降低病害的发生,从而减少果实腐烂,达到延长贮藏时间的效果。但是 O₃ 浓度太低达不到贮藏保鲜的效果, O₃ 浓度太高又会造成生理伤害反而使抗病性下降。O₃ 提高抗性酶活性及延缓 CPPU 对果实品质负面效应的影响机制有待进一步研究。

3.3 40 mg/m³ O₃ 处理能延长使用了 20 mg/L CPPU 猕猴桃的贮藏时间,并有效提高贮藏期内秦美猕猴桃的品质,抑制乙烯的释放,降低呼吸速率,减缓 TA、Vc 含量的下降趋势,保持较好的硬度,而 10、70 mg/m³ O₃ 处理对保持 CPPU 猕猴桃的品质效果一般。40 mg/m³ O₃ 处理还能减缓 PAL、GLU、CHI 活性,而 10、70 mg/m³ O₃ 处理和 CK 组没有显著性差异。由此可知,40 mg/m³ O₃ 处理对维持 20 mg/L CPPU 的秦美猕猴桃品质效果适宜,可以减缓 CPPU 对秦美猕猴桃贮藏品质的负面影响。

参考文献

- [1] 陈招弟,陈义挺,陈婷,等.猕猴桃的主要功能成份及其开发利用[J].热带农业科学,2014,34(8):104-108
CHEN Zhao-di, CHEN Yi-ting, CHEN Ting, et al. Functional ingredients and exploitation of Kiwifruit [J]. Tropical Agricultural Sciences, 2014, 34(8): 104-108
- [2] 王雯慧.陕西猕猴桃:果业后起之秀[J].中国农村科技,2016,3:42-43
WANG Wen-hui. Shaanxi kiwi fruit: the bright younger generation [J]. China Rural Science and Technology, 2016, 3: 42-43
- [3] 连喜军,鲁晓翔,刘敬,等.猕猴桃的采收保鲜与贮藏[J].农产品加工,2005,11:44-45
LIAN Xi-jun, LU Xiao-xiang, LIU Jing, et al. Harvest reservation and storage of Kiwifruit [J]. Agricultural Products Processing, 2005, 11: 44-45
- [4] 蒋小平.膨大剂在猕猴桃上应用的利弊[J].北方果树,2010,3:43-43
JIANG Xiao-ping. Application of swelling agent in kiwifruit [J]. Northern Fruits, 2010, 3: 43-43
- [5] 陈海玲,宋智生,陆弟敏.膨大剂对芒果的影响分析[J].广西农学报,2016,31(3):31-33
CHEN Hai-ling, SONG Zhi-sheng, LU Di-min. Analysis on the effect of swelling agent on Mango [J]. Journal of Guangxi Agricultural, 2016, 31(3): 31-33
- [6] 蔡金术,王中炎.低浓度 CPPU 对猕猴桃果实重量及品质的影响[J].湖南农业科学,2009,2009(9):146-148
CAI Jin-shu, WANG Zhong-yan. Effect of low concentration CPPU on fruit size and quality of kiwifruit [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2009, 2009(9): 146-148
- [7] 牛锐敏,陈雀民,于蓉,等.臭氧处理对红富士苹果生理变化及贮藏品质的影响[J].安徽农业科学,2009,37(8):3749-3751
NIU Rui-min, CHEN Que-min, YU Rong, et al. Effects of Ozone treatment on physiological changes and storage quality of 'Fuji' apple [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(8): 3749-3751
- [8] 刘兴华,郭井泉,罗安伟,等.果实膨大剂对陕西省猕猴桃产业负效应的调查分析[J].保鲜与加工,2004,4(1):30-32
LIU Xing-hua, GUO Jing-quan, LUO An-wei, et al. Investigations and conclusions on sprays of fruit-expander to kiwi fruit in Shaanxi province [J]. Storage and Process, 2004, 4(1): 30-32
- [9] 李艳杰.猕猴桃臭氧贮藏技术及其 HACCP 质量控制体系的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009
LI Yan-jie. Ozone storage technology of kiwifruit and its HACCP quality control system of establishment [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2009
- [10] Tzortzakis N, Taybi T, Roberts R, et al. Low-level atmospheric ozone exposure induces protection against Botrytis cinerea, with down-regulation of ethylene-, jasmonate- and pathogenesis-related genes in tomato fruit [J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 61(2-3): 152-159
- [11] Rodoni L, Casadei N, Concellón A, et al. Effect of short-term ozone treatments on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit quality and cell wall degradation [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2010, 58(1): 594
- [12] Minas I S, Vicente A R, Dhanapal A P, et al. Ozone-induced kiwifruit ripening delay is mediated by ethylene biosynthesis inhibition and cell wall dismantling regulation [J]. Plant Science, 2014, 229: 76-85
- [13] Crisosto C H, Smilanick J L. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development & physiological responses of peaches & table grapes in cold storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2002, 24(1): 39-48
- [14] GB/T12293-1990, 水果蔬菜制品可滴定酸度的测定[S]
GB/T12293-1990, fruit and vegetable products Determination of titratable acidity [S]
- [15] 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
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment guidance of postharvest physiological and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: Press of Chinese Light

- Industry, 2007
- [16] Assis J S, Maldonado R, Muñoz T, et al. Effect of high carbon dioxide concentration on PAL activity and phenolic contents in ripening cherimoya fruit [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2001, 23(1): 33-39
- [17] 李艳杰,孙先鹏,郭康权,等.臭氧、保鲜剂对猕猴桃贮藏保鲜效果的比较[J].*食品科技*,2009,34(2):45-48
LI Yan-jie, SUN Xian-peng, GUO Kang-quan, et al. Comparison of the storage effect on kiwi fruit between ozone and preservative [J]. *Food Science and Technology*, 2009, 34(2): 45-48
- [18] 王玉萍,段琪,饶景萍,等.1-MCP 对不同品种猕猴桃果实冷害的调控作用[J].*西北农业学报*,2013,22(3):110-114
WANG Yu-ping, DUAN Qi, RAO Jing-ping, et al. Regulating action of 1-methylcyclopropene on chilling injury of different kiwifruits [J]. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2013, 22(3): 110-114
- [19] 王文生.臭氧保鲜果品的应用技术及作用机理研究[D].北京:中国农业大学,2005
WANG Wen-sheng. Study on the mechanism and application of preservation of fruits with Ozone [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005
- [20] 徐春涛,王瑾.臭氧果蔬保鲜技术的研究[J].*江西食品工业*,2009,4:92-92
XU Chun-tao, WANG Jin. Study on preservation of fruits and vegetables with Ozone [J]. *Jiangxi Food Industry*, 2009, 4: 92-92
- [21] 张丽华,纵伟,李青,等.臭氧水处理对鲜切猕猴桃品质的影响[J].*食品工业科技*,2015,36(8):315-319
ZHANG Li-hua, ZONG Wei, LI Qing, et al. Effect of ozonated water on quality of fresh-cut kiwifruit [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(8): 315-319
- [22] 曹彬彬,董明,赵晓佳,等.不同浓度臭氧对皖翠猕猴桃冷藏过程中品质和生理的影响[J].*保鲜与加工*,2012,12(2):5-8
CAO Bin-bin, DONG Ming, ZHAO Xiao-jia, et al. Effects of different Ozone concentrations on quality and physiology of Wancui kiwifruit during cold storage [J]. *Storage and Process*, 2012, 12(2): 5-8
- [23] 夏丽佳,李胜华.空气放电臭氧猕猴桃保鲜技术研究[J].*广东化工*,2014,41(19):60-61
XIA Li-jia, LI Sheng-hua. The research on the Chinese gooseberry storage by ozone produced from the air discharge [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2014, 41(19): 60-61
- [24] 王玮,何宜恒,李桦,等.CPPU 处理对‘华优’猕猴桃品质及耐贮性的影响[J].*食品科学*,2016,37(6):261-266
WANG Wei, HE Yi-heng, LI Hua, et al. Effect of 1-(2-Chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea (CPPU) treatment on postharvest fruit quality and storability in ‘Huayou’ kiwifruit [J]. *Food Science*, 2016, 37(6): 261-266
- [25] 郭叶,王亚萍,费学谦,等.不同浓度 CPPU 处理对‘徐香’猕猴桃贮藏生理和品质的影响[J].*食品工业科技*,2012,33(20):324-327
GUO Ye, WANG Ya-ping, FEI Xue-qian, et al. Effect of different concentrations of CPPU on physiological and nutritional quality of "xuxiang" kiwifruit [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(20): 324-327
- [26] 曹彬彬,董明,赵晓佳,等.不同浓度臭氧对皖翠猕猴桃冷藏过程中品质和生理的影响[J].*保鲜与加工*,2012,12(2):5-8
CAO Bin-bin, DONG Ming, ZHAO Xiao-jia, et al. Effects of different Ozone concentrations on quality and physiology of Wancui Kiwifruit during cold storage [J]. *Storage and Process*, 2012, 12(2): 5-8
- [27] 王瑞玲.红阳猕猴桃采后病害生理及臭氧保鲜技术研究[D].成都:四川农业大学,2010
WANG Rui-ling. Study on physiology of post-harvest diseases of "red sun" kiwifruit and preservation technology by Ozone [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2010
- [28] Ali A, Ong M K, Fomey C F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage [J]. *Food Chemistry*, 2014, 142(2): 19-26
- [29] Han Q, Gao H, Chen H, et al. Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits [J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1947
- [30] 陈存坤,高芙蓉,薛文通,等.臭氧处理对新疆厚皮甜瓜贮藏品质和生理特性的影响[J].*食品科学*,2016,37(20):215-220
CHEN Cun-kun, GAO Fu-rong, XUE Wen-tong, et al. Effects of Ozone treatment on storage quality and physiological characteristics of Xinjiang thick-skinned melon [J]. *Food Science*, 2016, 37(20): 215-220
- [31] 周晓婉,唐永萍,石亚莉,等.1-MCP 对低温贮藏苹果灰霉病抗性的诱导作用[J].*食品科学*,2016,37(12):254-260
ZHOU Xiao-wan, TANG Yong-ping, SHI Ya-li, et al. Mechanism of 1-MCP treatment in induced resistance to Gray mold of apples during low-temperature storage [J]. *Food Science*, 2016, 37(12): 254-260
- [32] Zheng X, Hu B, Song L, et al. Changes in quality and defense resistance of kiwifruit in response to nitric oxide treatment during storage at room temperature [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 222: 187-192

- [33] Mei K O, Ali A, Alderson P G, et al. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 179: 163-169
- [34] 齐馨,杨晨茜,徐乐艺,等.臭氧与海藻酸钠涂膜对葡萄的保鲜效果及其贮藏生理特性的影响[J].西北植物学报,2016,36(12):2477-2483
- QI Xin, YANG Chen-qian, XU Le-yi, et al. Effect of Ozone treatment with and without sodium alginate coatings on preservation and resistance index of grape fruits [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(12): 2477-2483

现代食品科技