

外源硝普钠处理对甜瓜采后贮藏特性的影响

姚 军, 郑贺云, 张翠环, 再吐娜·买买提, 汪志伟, 耿新丽*

(新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所, 新疆 鄯善 838200)

摘要:以西州密25号甜瓜为试材, 将采后甜瓜果实使用不同浓度的硝普钠(0.5、1.0、1.5、2.0 mmol/L)进行浸泡处理, 以1 μ L/L 1-甲基环丙烯(1-MCP)熏蒸处理作为对照, 探究采后乙烯控制剂硝普钠对甜瓜贮藏特性的影响。结果表明:1.0 mmol/L 硝普钠处理对抑制甜瓜腐烂、果肉硬度下降和呼吸速率上升的效果优于1 μ L/L 1-MCP处理, 而1 μ L/L 1-MCP处理对减少甜瓜质量损失和延缓乙烯释放的效果优于硝普钠处理。由此说明, 1.0 mmol/L 硝普钠与1 μ L/L 1-MCP在甜瓜采后贮藏和保鲜上的作用效果各有不同, 但均可作为甜瓜采后乙烯控制剂应用于生产。

关键词:甜瓜; 硝普钠(SNP); 1-甲基环丙烯(1-MCP); 贮藏特性

Effect of Exogenous Sodium Nitroprusside Treatment on Postharvest Storage Characteristics of Muskmelon

YAO Jun, ZHENG He-yun, ZHANG Cui-huan, ZAI Tu-na·Mai-mai-ti, WANG Zhi-wei, GENG Xin-li*
(Research Institute of Grape and Melon of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Shanshan 838200, China)

Abstract: Xizhoumi No.25 melon fruits were soaked with sodium nitroprusside (SNP) at different concentrations (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mmol/L), and 1 μ L/L 1-methylcyclopropene (1-MCP) fumigation was used as control, effect of exogenous sodium nitroprusside treatment on the storage characteristics of muskmelon was studied. The results showed that, in the different concentrations of sodium nitroprusside treatments, 1.0 mmol/L SNP treatment had better effect on reducing the decay of melon, and inhibiting the decrease of pulp hardness and increase of respiration rate than 1 μ L/L 1-MCP treatment, while 1 μ L/L 1-MCP treatment had better effect on reducing mass loss and delaying ethylene release than sodium nitroprusside treatment. The results indicated that the effect of 1.0 mmol/L sodium nitroprusside and 1 μ L/L 1-MCP on postharvest storage and fresh-keeping of melon was different, but both could be used as postharvest ethylene control agents in preservation of melon.

Key words: melon; sodium nitroprusside (SNP); 1-methylcyclopropene (1-MCP); storage characteristics

中图分类号:S609⁺.3

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2023.09.001

甜瓜(*Cucumis melo* L.)为葫芦科(Cucurbitaceae)一年生蔓性草本植物,其风味独特,清香可口,深受消费者的喜爱。但甜瓜采收期相对集中,且正值夏

季,果实含糖量较高,生理代谢旺盛,后熟衰老迅速使果实品质下降。乙烯是植物的内源激素,有促进果实成熟和调节衰老的作用。因此,在甜瓜的贮运

基金项目:国家现代农业产业技术体系项目资助(CARS-25)

作者简介:姚 军(1978—),男,汉族,硕士,副研究员,研究方向:农产品贮藏与保鲜。

*通信作者:耿新丽,硕士,研究员,研究方向:农产品贮藏与保鲜。

过程中,研究有效延缓和控制乙烯释放的抑制剂具有重要的现实意义。

一氧化氮(Nitric oxide, NO)是存在于植物体内的一种重要的信号分子,其广泛参与植物的生长、发育、成熟、衰老等生理过程^[1]。硝普钠(Sodium nitropruside, SNP)作为NO的载体化合物,通常被用来研究外源NO对植物生长的作用^[2]。而NO是一种能够有效延缓果实衰老的天然植物生长调节物质,其通过调控乙烯氧化酶和乙烯合成酶活性有效抑制内源乙烯的生物合成^[3],并对植物组织衰老过程中保护酶系统的酶活性进行调节,达到延缓组织衰老的目的^[4]。1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)是一种有效的乙烯拮抗剂,能够不可逆地作用于乙烯受体,从而阻断受体与乙烯的正常结合。1-MCP的乙烯抑制作用已被广泛应用于延迟果蔬成熟,对抑制果实后熟软化,延长呼吸跃变型果实采后的保鲜期,保持果蔬品质发挥了重要的作用,其中包括甜瓜的贮运保鲜^[5-6]。

近年来,NO已广泛用于果蔬保鲜,能够延缓果蔬的成熟和衰老,很多学者已对其在果蔬中的应用进行了大量的试验,其中包括西红柿^[7]、黄瓜^[8]、猕猴桃^[9]、红毛丹^[10]、芒果^[11]、番荔枝^[12]、南果梨^[13]以及板栗^[14]等。而NO处理在甜瓜贮藏保鲜上的应用,主要在对甜瓜采后细胞壁代谢^[15]、黑斑病控制^[16]及采后耐冷性^[17]的影响上。本研究以甜瓜采后保鲜效果较好的乙烯拮抗剂1-MCP为对照,探寻另一种乙烯调控剂SNP对其贮藏特性及品质的影响,以期延缓甜瓜后熟衰老提供更多、更有效的贮藏保鲜手段。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

西州密25号甜瓜,选取相近糖度(可溶性固形物含量14%~16%)、果实大小均匀、无病虫斑、无机械损伤的果实。

硝普钠,天津市致远化学试剂有限公司;1-MCP(聪明鲜),美国罗门哈斯公司。

1.1.2 仪器与设备

K-BA100R型便携式水果无损检测仪,日本Kubota公司;GS-15型水果质地分析仪,北京阳光亿事达科技有限公司;GY-4型数显式水果硬度计,浙江托普仪器有限公司;DDS-307型电导率仪,上海仪电科技有限公司;F-900型便携式乙烯测定仪,美国Felix公司;TEL-7001型红外二氧化碳测定仪,美国Talaire公司。

1.2 方法

1.2.1 处理方法

将采收的甜瓜用无损检测仪测定,挑选出糖度为 $16\% \pm 1\%$ 的单瓜300个,每60个甜瓜为一组,分为A、B、C、D、E五组。A、B、C、D组分别用0.5、1.0、1.5、2.0 mmol/L的硝普钠溶液浸泡5 min, E组以1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP熏蒸12 h作为对照(CK),每个处理重复3次,晾干后将所有的瓜放入6~8 $^{\circ}\text{C}$ 冷库内贮藏,每5 d测定1次可溶性固形物(TSS)含量、失重率、果肉硬度、乙烯释放量及呼吸速率,并记录其腐烂率。当腐烂率大于50%时不再进行乙烯释放量及呼吸速率的测定,即这两个指标测定至25 d。

1.2.2 测定项目与方法

1.2.2.1 可溶性固形物含量

使用K-BA100R型便携式水果无损检测仪进行测定。

1.2.2.2 腐烂率

$$\text{腐烂率}(\%) = \frac{\text{腐烂果实数}}{\text{总果实数}} \times 100$$

1.2.2.3 失重率

采用称重法测定,计算公式如下:

$$\text{失重率}(\%) = \frac{\text{初始质量} - \text{测定时质量}}{\text{初始质量}} \times 100$$

1.2.2.4 果实硬度

使用GY-4型数显式水果硬度计测定。

1.2.2.5 乙烯释放量

使用F-900型便携式乙烯测定仪测定。将有机玻璃容器倒扣放置,使容器中气体与空气平衡,然后放入单瓜,在室温下密闭,将仪器导管插入容器内密封,每2 min记录1次数据。2 h后导出数据,乙烯释放量计算公式如下:

$$\text{乙烯释放量}(\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{C \times (V_0 - V_1)}{m \times t}$$

式中: C 为读取的乙烯生成量, $\mu\text{L/L}$; V_0 为塑料桶体积, L ; V_1 为单瓜体积, L ; m 为样品质量, kg ; t 为测定时间, h 。

1.2.2.6 呼吸速率

使用TEL-7001红外二氧化碳测定仪测定。将单瓜放入有机玻璃罐内,并将红外二氧化碳测定仪放入罐内,用凡士林密封盖边缘,密闭1 h后读数得二氧化碳释放量 $C(\mu\text{L/L})$,呼吸速率的计算公式为:

$$\text{呼吸速率}(\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{C \times (V_0 - V_1)}{m \times t}$$

式中: V_0 为塑料桶体积, L ; V_1 为单瓜体积, L ; m 为样品质量, kg ; t 为测定时间, h 。

1.2.3 数据处理

利用Excel软件对数据进行统计分析并绘图,采用SPSS 17.0软件对数据进行方差分析(ANOVA),采用Duncan's多重比较对差异显著性进行分析。

2 结果与分析

2.1 外源硝普钠处理对采后甜瓜腐烂率的影响

由图1可以看出,腐烂率随着贮藏时间的延长逐渐升高,贮藏第15天时,1.5 mmol/L SNP处理组未发生腐烂,其他处理均有腐烂发生,且以2.0 mmol/L SNP处理组腐烂最严重,腐烂率达到20%。贮藏第20天,0.5、1.0、1.5 mmol/L SNP处理组的腐烂率低于对照,仍以2.0 mmol/L SNP处理组最高。贮藏第25天,1.0、1.5 mmol/L SNP处理组腐烂率最低,均为40%,2.0 mmol/L SNP处理组最高。贮藏30 d,1.0 mmol/L SNP处理组腐烂率最低,为60%。整个贮藏期间,0.5、1.0、1.5 mmol/L SNP处理组的腐烂率均低于对照,而2.0 mmol/L SNP处理组的腐烂率高于对照。由此说明,在供试浓度范围内,低浓度的硝普钠处理能延缓甜瓜腐烂,而高浓度处理则加速甜瓜腐烂,且适宜浓度的硝普钠处理延缓甜瓜腐烂的效果优于1 μ L/L 1-MCP处理,以1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SNP处理对降低甜瓜腐烂率效果较好。

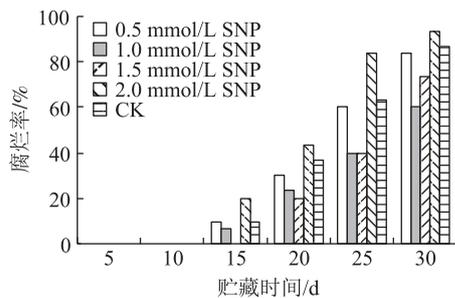


图1 硝普钠处理对采后甜瓜腐烂率的影响

Fig.1 Effect of sodium nitroprusside treatment on the decay rate of postharvest muskmelon

2.2 外源硝普钠处理对采后甜瓜失重率的影响

由图2可以看出,随着贮藏时间的延长,采后甜瓜果实的失重率呈现逐渐升高的趋势。对照组的失重率低于各浓度SNP处理组,贮藏第25天,1.0、1.5 mmol/L SNP处理组失重率显著高于对照($P < 0.05$),0.5、2.0 mmol/L SNP处理组失重率极显著高于对照($P < 0.01$);各处理浓度之间比较,以1.0 mmol/L SNP处理组失重率最低,贮藏第30天,0.5、1.0、1.5、2.0 mmol/L SNP处理组的失重率分别为5.46%、4.89%、5.10%、5.98%。综上,1.0 μ L/L 1-MCP处理对延缓甜瓜贮藏期间的失重效果最好,这与齐宁利等^[12]

和姚军等^[18]的研究结果一致。而不同浓度硝普钠处理中以1.0 mmol/L处理延缓失重效果较好。

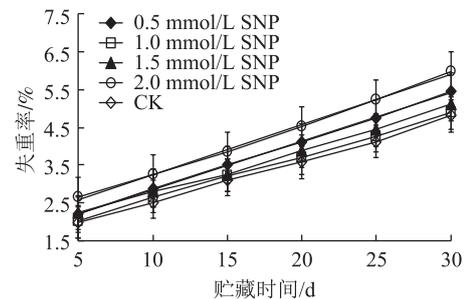


图2 硝普钠处理对采后甜瓜失重率的影响

Fig.2 Effect of sodium nitroprusside treatment on weight loss rate of postharvest muskmelon

2.3 外源硝普钠处理对采后甜瓜果肉硬度的影响

由图3可以看出,随着贮藏时间的延长,甜瓜果肉硬度逐渐降低。贮藏5~15 d,各组甜瓜果肉硬度差异不显著;贮藏20~30 d,1.0 mmol/L SNP处理组的果肉硬度高于对照,其他SNP处理组低于对照。贮藏第20天时,对照与各浓度SNP处理的果肉硬度较第5天分别降低24.82%、25.74%、16.65%、22.16%和29.68%,1.0 mmol/L SNP处理组与其他浓度SNP处理之间差异达到显著水平($P < 0.05$),且1.0 mmol/L SNP处理甜瓜果肉硬度降幅最低。说明1.0 mmol/L SNP处理对延缓甜瓜果肉硬度下降效果最好。

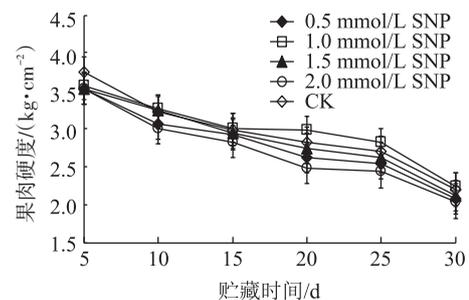


图3 硝普钠处理对采后甜瓜果肉硬度的影响

Fig.3 Effect of sodium nitroprusside treatment on hardness of pulp of postharvest muskmelon

2.4 外源硝普钠处理对采后甜瓜乙烯释放量的影响

由图4可见,随着贮藏时间的延长,甜瓜乙烯释放量呈先升后降再升的变化趋势,不同浓度SNP处理组与对照均在贮藏10 d时出现第1次乙烯释放高峰。不同浓度SNP处理之间比较,1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SNP处理组乙烯释放量低于0.5 mmol/L和2.0 mmol/L SNP处理组,但各处理之间差异不显著。不同浓度SNP处理与对照相比较,贮藏5~15 d,对照组的乙烯释放量均低于不同浓度SNP处理组,贮藏15 d后,1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SNP处理组乙烯释放量低于对照组。说明贮藏前期1-MCP处理对抑制

乙烯释放量效果优于SNP处理,贮藏后期1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SNP处理效果较好。

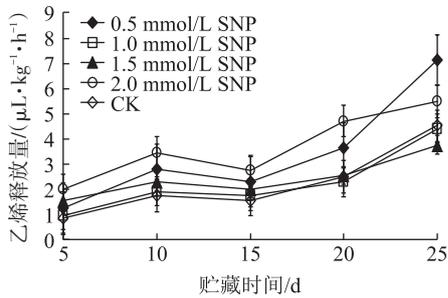


图4 硝普钠处理对采后甜瓜乙烯释放量的影响

Fig.4 Effect of sodium nitroprusside treatment on ethylene release of postharvest muskmelon

2.5 外源硝普钠处理对采后甜瓜呼吸速率的影响

由图5可以看出,随着贮藏时间的延长,甜瓜的呼吸速率逐渐升高。贮藏前期(5~15 d),呼吸速率升高缓慢,而贮藏后期(15~25 d),呼吸速率升高较快。整个贮藏期间,1.0 mmol/L SNP处理组呼吸速率均最低。贮藏第20天时,0.5、1.0、1.5、2.0 mmol/L SNP处理组的呼吸速率较第5天分别升高51.37%、47.41%、102.32%、103.05%,对照组呼吸速率高于1.0 mmol/L SNP处理组,低于0.5、1.5、2.0 mmol/L SNP处理组。说明1.0 mmol/L SNP处理对降低果实呼吸速率效果明显,略优于1 μL/L 1-MCP处理。

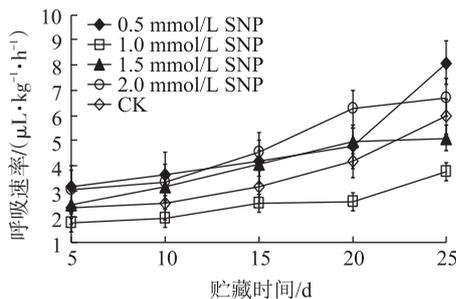


图5 硝普钠处理对采后甜瓜呼吸速率的影响

Fig.5 Effect of sodium nitroprusside treatment on respiration rate of postharvest muskmelon during storage

3 讨论与结论

由采后病害引起的腐烂是影响甜瓜果实贮藏品质和寿命的重要因素。NO作为一种植物体内的信号分子,在植物的抗病反应中起到重要的作用。魏佳^[19]和常雪花等^[16]研究发现,外源NO处理提高了甜瓜果实的抗氧化性,增强了果实抵御病原菌侵染的能力。本研究中适宜浓度的外源硝普钠处理延缓甜瓜贮藏期间腐烂的效果优于1 μL/L 1-MCP处理,且以1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SNP处理对减少甜瓜腐烂效果较好,说明在减少腐烂、提高果蔬抗病性上,外源

SNP效果较好。

果实失重率和果肉硬度的变化直接反映采后果蔬品质的变化,失重率越高,表明果蔬品质下降越严重^[20]。本研究中,1 μL/L 1-MCP处理对延缓甜瓜贮藏期质量损失的效果最好,不同浓度硝普钠处理中以1.0 mmol/L SNP处理延缓失重率下降的效果最好,且1.0 mmol/L SNP处理组的果肉硬度高于对照组。说明1 μL/L 1-MCP和1.0 mmol/L SNP处理均可以抑制甜瓜果实硬度的下降及失重率的上升,减少质量损失,从而保持果实品质。

对于呼吸跃变型果实,较理想的保鲜处理是抑制其乙烯释放和推迟呼吸高峰的出现。王斌等^[21]研究发现,SNP处理显著降低了甜瓜果实的呼吸速率和乙烯释放量,并推迟了呼吸高峰的出现,延缓了果实的后熟。马文平等^[22]也发现,1-MCP处理能显著抑制玉金香甜瓜乙烯的产量,并通过减弱乙烯对甜瓜衰老的调控效应,抑制成熟和软化进程。本研究中1.0 mmol/L SNP处理对降低甜瓜呼吸速率效果明显,而贮藏前期1 μL/L 1-MCP处理对抑制乙烯释放量效果优于SNP处理,贮藏后期1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SNP处理效果较好。

综合来看,不同浓度的SNP处理与1 μL/L 1-MCP处理进行比较,1.0 mmol/L SNP处理对减少甜瓜腐烂、抑制果肉硬度下降和呼吸速率上升的效果优于1 μL/L 1-MCP处理。而1 μL/L 1-MCP处理对减少质量损失,抑制乙烯释放的效果优于SNP处理。说明1.0 mmol/L SNP与1 μL/L 1-MCP处理在甜瓜采后贮藏保鲜上的作用效果均很明显,可根据实际需求进行采后处理。

参考文献:

- [1] CORPAS F J, BARROSO J B. Nitric oxide from a "green" perspective[J]. Nitric Oxide, 2015, 45: 15-19. DOI:10.1016/j.niox.2015.01.007.
- [2] 郭芹, 吴斌, 王吉德, 等. NO延缓果蔬成熟衰老与抗病机理研究进展[J]. 热带作物学报, 2010, 31(7): 1212-1217. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2010.07.030.
- [3] ZAHARAH S S, SINGH Z. Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored 'Kensington Pride' mango[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60(3): 202-210. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2011.01.011.
- [4] WU F H, YANG H Q, CHANG Y Z, et al. Effects of nitric oxide on reactive oxygen species and antioxidant capacity in Chinese Bayberry during storage[J]. Scientia Horticulturae,

- 2012,135:106-111. DOI:10.1016/j.scienta.2011.12.011.
- [5] 贾丽娥,何伟明,刘庞源.1-甲基环丙烯处理对甜瓜贮藏特性影响的研究进展[J].中国瓜菜,2021,34(10):1-7. DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2021.0255.
- [6] 张明明,白羽嘉,热合满·艾拉,等.乙烯与1-MCP处理对伯谢克辛甜瓜采后生理品质的影响[J].新疆农业科学,2018, 55(10):1829-1836. DOI: 10.6048/j.issn.1001-4330.2018.10. 008.
- [7] LAI T F, WANG Y Y, LI B Q, et al. Defense responses of tomato fruit to exogenous nitric oxide during postharvest storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 62(2): 127-132. DOI:10.1016/j.postharvbio.2011.05.011.
- [8] 王云香,王清,高丽朴,等.外源NO处理对黄瓜采后生理特性的影响[J].北方园艺,2018(18):109-113. DOI:10.11937/bfy.20174754.
- [9] 周礼超,宋丽君,李生娥,等.一氧化氮对猕猴桃采后果实品质和乙醇代谢的影响[J].浙江农业科学,2020,61(8): 1614-1617. DOI:10.16178/j.issn.0528-9017.20200845.
- [10] 陈加利,吕金慧,邢馨予,等.硝普钠(SNP)对红毛丹采后生理指标的影响[J].南方农业,2018,12(20):137-139. DOI: 10.19415/j.cnki.1673-890x.2018.20.070.
- [11] 何俊瑜,任艳芳,陈元有,等.一氧化氮对常温贮藏下芒果果实软化和细胞壁代谢的影响[J].食品工业科技,2018,39 (17):269-275. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.045.
- [12] 齐宁利,程志华,龚霄,等.不同保鲜剂处理对冷藏番荔枝贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(22):233-239. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021600.
- [13] 程园,李灿婴,侯佳宝,等.采后硝普钠处理对南果梨果实贮藏品质和细胞壁降解酶的影响[J].食品科学,2020,41 (1):252-257. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181225-289.
- [14] 何秀娟,邱文明,徐育海.外源一氧化氮对板栗果实贮藏品质的影响[J].中国南方果树,2017,46(6):96-99. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431.20170155.
- [15] 石玲,吴斌,敬媛媛,等.一氧化氮熏蒸处理对甜瓜采后细胞壁代谢及黑斑病控制的影响[J].食品科学,2019,40(23): 239-245. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181201-006.
- [16] 常雪花,王振菊,陈振涛,等.一氧化氮处理对采后甜瓜黑斑病的控制及贮藏品质的影响[J].新疆农业大学学报,2019, 42(2):139-144. DOI:10.3969/j.issn.1007-8614.2019.02.010.
- [17] 王鲁阳.一氧化氮熏蒸对哈密瓜果实采后耐冷性的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2018. DOI: 10.27431/d.cnki. gxnyu.2018.000485.
- [18] 姚军,耿新丽,郑贺云,等.新疆哈密瓜冷链物流体系温湿度监控及保鲜调控[J].江苏农业科学,2018,46(15):158-161. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.043.
- [19] 魏佳.一氧化氮和二氧化氯对哈密瓜和葡萄采后病害及农药残留的影响[D].乌鲁木齐:新疆大学,2018.
- [20] SALATO G S, PONCE N M A, RAFFO M D, et al. Developmental changes in cell wall polysaccharides from sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars with contrasting firmness[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 84: 66-73. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.04.009.
- [21] 王斌,姜红,韩占红,等.采前硝普钠喷洒增强厚皮甜瓜果实的采后抗病性[J].果树学报,2019,36(11):1558-1565. DOI:10.13925/j.cnki.gsx.20190124.
- [22] 马文平,倪志婧,赵玉梅,等.1-MCP处理对采后甜瓜果实内源激素变化的影响[J].北方园艺,2010(18):189-193.

收稿日期:2023-03-09