油菜素甾醇对章姬草莓贮藏品质的影响

张海园, 宋伊真, 王美艳, 刘 坊, 管晓庆, 田 伟*

(青岛农业大学海都学院, 莱阳 265200)

摘 要: 目的 探讨章姬草莓果实的贮藏特性与油菜素甾醇(brassinosteroids, BRs)的关系。**方法** 以章姬草莓为供试材料, 以蒸馏水为对照, 通过不同浓度的 BRs 溶液(5、10、15 μmol/L)喷洒草莓果实, 观察 BRs 对其失重率、腐烂情况等贮藏品质的影响。**结果** 经过 BRs 处理章姬草莓果实后质量损失明显降低, 腐烂速度减缓, 特别是在 10 μmol/L 浓度喷洒下章姬草莓果实失重率、可溶性固形物和维生素 C (vitamin C, VC)含量的损失均显著低于对照组。在第 6 d 时, 10 μmol/L BRs 处理组章姬草莓果实比对照组的 VC 含量高 1.8 倍, 硬度高 19.2%; 腐烂率、腐烂指数、丙二醛含量的增加量均显著低于对照组(P<0.05); 对照组比 10 μmol/L BRs 处理组章姬草莓果实丙二醛含量高 1.27 倍, 腐烂率高 13%, 腐烂指数高 20%。**结论** 10 μmol/L BRs 喷洒下对延长章姬草莓果实的贮藏时间具有较好的效果。

关键词: 油菜素甾醇; 草莓; 贮藏品质; 维生素 C

Effects of brassinosteroids on the storage quality of Zhangji strawberry

ZHANG Hai-Yuan, SONG Yi-Zhen, WANG Mei-Yan, LIU Fang, GUAN Xiao-Qing, TIAN Wei*

(*Haidu College Qingdao Agricultural University*, *Laiyang* 265200, *China*)

ABSTRACT: Objective To explore the relationship between the storage quality of Zhangji strawberry fruit and brassinosteroids (BRs). **Methods** With Zhangji strawberry as the test material and distilled water as the control, through different concentrations of BRs solutions (5, 10, 15 μmol/L), the effects of BRs on the weight loss rate and decay, *etc* of strawberry fruits were observed. **Results** The quality loss of Zhangji strawberry fruits could be reduced obviously, and the decay rate of Zhangji strawberry fruits slowed down after BRs treatment. In particular, the weight loss rate, and the loss of soluble solids and vitamin C (VC) content in the 10 μmol/L BRs treatment group were significantly lower than those in the control group. On the 6th day, the VC content and hardness of Zhangji strawberry fruit in 10 μmol/L BRs treatment group were 1.8 times and 19.2% higher than those in the control group; the increase of decay rate, decay index and malondialdehyde content in the treatment group were significantly lower than those in the control group (P<0.05); the control group was 1.27 times higher than the malondialdehyde content of Zhangji strawberry fruit in 10 μmol/L BRs treatment group, the decay rate was 13% higher and the decay index was 20% higher. **Conclusion** Spraying with 10 μmol/L BRs has a good effect on prolonging the storage time of Zhangji strawberry fruit.

基金项目: 2020 年山东省本科教学改革研究项目(M2020176)、青岛农业大学海都学院教学研究课题项目(JY201927)、青岛农业大学海都学院教学研究课题项目(JY201907)

Fund: Supported by the 2020 Undergraduate Teaching Reform Research Project in Shandong Province (M2020176), the Teaching Research Project of Haidu College, Qingdao Agricultural University (JY201927), and the Teaching Research Project of Haidu College, Qingdao Agricultural University (JY201907)

*通信作者: 田伟, 副教授, 主要研究方向为园艺植物生物技术。E-mail: 996097748@qq.com

***Corresponding author:** TIAN Wei, Associate Professor, Haidu College Qingdao Agricultural University, No.11, Wenhua Road, Laiyang 265200, China. E-mail: 996097748@qq.com

KEY WORDS: brassinosteroids; strawberry; storage quality; vitamin C

0　引　言

草莓(*Fragaria×ananassa* Duch), 多浆植物草莓属, 果肉硬度低、果实汁多、维生素 C (vitamin C, VC)含量高、营养物质多, 有“水果皇后”之称[1], 栽培面积广阔, 深受人们喜爱, 但果实内水分含量过高, 从而导致较其他果实更容易发生腐烂, 极不耐贮藏, 一般采收后 1~2 d 就会发生腐烂, 从而失去商业价值[2]。草莓在贮藏过程中腐烂速度快、养分极易流失。草莓腐烂的发生, 成为限制其远距离运输和商品货架期的主要因素。为延长草莓的贮藏时间, 人们研究了很多方法, 相比之下, 便于操作和效果较为理想的贮藏技术有热处理[3]、等离子气体处理[4]、低温处理[5]等方法。章姬草莓又称甜宝草莓、牛奶草莓, 因含糖量高、气味芳香得名, 是草莓中的极品, 但其果实太软, 在贮藏运输过程中容易遭受机械损伤而加剧腐烂速度。

腐烂会严重影响草莓果实的货架时间, 采收后有伤的果实呼吸加速, 有机物消耗产生大量水分, 导致其腐烂率进一步发生, 急需有效措施进行减缓。而研究发现, 一些植物的成分能够降低果蔬的呼吸速率, 从而延长果实的贮藏时间[6]。油菜素甾醇(brassinosteroids, BRs), 又名芸苔素、表油菜素内酯, 是一种在植物体内本身含有的激素[7]。因首先在花粉中被发现而得名, 被人们称为‘第六激素, 对植物的生长、分化具有重要意义, 经研究发现其对植物的逆境胁迫的防御作用也有重要的意义, BRs 能够抵抗病害的原因可能与其诱导了部分抗性酶活性有关, 从而能够延藏保鲜期[8]。近期, 研究者们发现BRs在杏果实贮藏中也起着重要的作用[9], 随着现代工业技术的进步, 人工合成的 BRs 在水果保鲜上得到了广泛应用, 但在章姬草莓果实的保鲜上很少有报道。本研究以章姬草莓为供试材料, 通过 0、5、10、15 μmol/L 的 BRs 溶液喷洒处理, 研究其对草莓果实贮藏品质的影响, 为 BRs 延长草莓果实中的保鲜时间提供依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

实验材料为晴天的清晨采摘于莱阳市沐浴店镇的章姬草莓果实, 采摘后 1 h 内运回青岛农业大学海都学院。实验选用成熟度均一(九分成熟)、果实大小均一、表面无任何机械损伤、无真菌和病虫害感染的果实进行实验。

油菜素甾醇(分析纯, 50 g, 上海伊生物技术有限公司); 三氯乙酸(分析纯, 500 g, 天津市科密欧化学试剂有限公司); 硫代巴比妥酸(分析纯, 25 g, 上海科丰化学试剂有限公司); 草酸(分析纯, 500 g)、维生素 C(分析纯, 25 g, 莱阳市康德化工有限公司)。

1.2　仪器与设备

GY-3 指针式水果硬度计(浙江托普云农科技股份有限公司); CP114 电子天平[奥豪斯仪器(常州)有限公司]; UV-5100 型紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司); H1650-W 微量台式高速离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司产品); HH-4 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); 2WAJ 阿贝折射仪(上海精密仪器仪表有限公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　原料处理

将采摘并且挑选好的章姬草莓果实随机分为 4 组, 每组选取 70 个草莓, 各取平行实验 3 次。分别均匀喷洒 0 (CK 对照组)、5、10、15 μmol/L 的 BRs 溶液 2 次, 至下层滤纸稍微湿润且上层果实表面无明显小液滴聚集。处理好后放入洁净并且已进行 75%酒精杀毒处理的托盘中, 在托盘上铺一层滤纸, 上面覆盖一层经过消毒杀菌的洁净纱布, 在室温环境下(15 ℃左右, 相对湿度 50%~60%)贮藏 6 d, 每 24 h 测定 1 次果实鲜重、腐烂情况、硬度、可溶性固形物、VC 和丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量。

1.3.2　失重率测定

参照李咏富等[10]失重率检测方法, 章姬草莓果实的失重率计算公式如(1):

$$果实失重率(\%)=[M_0-M_i]/M_0\times 100\% \quad (1)$$

式中, M_0 为章姬草莓贮藏前的重量, g; M_i 为章姬草莓贮藏第 i d 的果重, g。

1.3.3　腐烂率、腐烂指数测定

章姬草莓果实的腐烂等级标准参照杨震峰等[11]的方法进行统计。根据腐烂面积大小将果实分为 4 级: 0 级, 未腐烂; 1 级, 腐烂面积小于果实面积的 25%; 2 级, 腐烂面积介于果实面积的 25% ~ 50%之间; 3 级, 腐烂面积大于 50%。腐烂率和腐烂指数的计算公式如(2)(3):

$$腐烂率(\%)=烂果总数/果实总数\times 100\% \quad (2)$$

$$腐烂指数(\%)=\Sigma(腐烂级别\times该果级数)/(最高腐烂级别\times果实总数)\times 100\% \quad (3)$$

1.3.4　可溶性固形物含量、硬度测定

采用手持阿贝折射仪, 测定草莓果实可溶性固形物。将新鲜草莓汁液挤出, 取 2~3 滴于折光棱镜上, 取 10 次平均值。硬度用 GY-3 指针式水果硬度计测定。选取 3 型压头, 手握硬度计, 垂直于草莓果实表面, 压头均匀压入, 下压 10 mm, 取 10 次平均值。

1.3.5　抗坏血酸含量测定

VC 含量的测定参照刘艳芳等[12]的方法, 略有改进。称取章姬草莓果实 0.50 g, 研磨后 12000 r/min 高速离心 10 min。

取上清液加入到 0.4%草酸中，记录在 243 nm 下的吸光度值。并带入已经计算好的线性曲线 Y=0.0627X+0.0333，其中 Y 为吸光度值，X 为 VC 浓度，单位换算为 0.1 mg/g。

1.3.6 丙二醛含量测定

丙二醛含量的测定参考董树刚等[13]的方法。取 2.0 g 章姬草莓果实，用 5.0 mL 10%的三氯乙酸溶液进行冰浴研磨，8500 r/min 离心 15 min，取 2.0 mL 上清液加入 2.0 mL 0.67%的三氯乙酸溶液，沸水浴 15 min，取出后迅速用自来水冷却，以蒸馏水为空白，取上清液分别测定 450、532、600 nm 波长处的吸光值。计算公式如(4)(5):

$$\text{MDA 浓度}(\mu\text{mol/L})=6.45\times(A_{532}-A_{600})-0.56\times A_{450} \quad (4)$$

$$\text{MDA 含量}(\mu\text{mol/g})=\text{MDA 浓度}(\mu\text{mol/L})\times\text{提取液体积}(\text{mL})\times10^{-3}/\text{植物鲜重}(\text{g}) \quad (5)$$

1.3.7 统计分析

除硬度、可溶性固形物含量各平行 10 次，其他各项生理生化指标测试时取 3 个平行样，重复 3 次，取平均值，采用 WPS Excel 2019 进行统计并作图，用 SPSS 23.0 进行显著性分析，在本实验中，取 P<0.05 为差异显著，P<0.01 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 BRs 喷洒处理对章姬草莓果实失重率的影响

新鲜草莓的含水量极高，水分的散失会影响草莓果实的外观品质，为微生物的加速繁殖提供了良好环境，在将草莓采收后，其无法吸收水分但呼吸作用和蒸腾作用仍然继续，持续消耗水分而无水分的补充，导致果实萎蔫、光洁度下降，腐烂变质失去商业价值[14]。由图 1 可知，各组处理下的草莓果实随着贮藏天数的延长，草莓果实的失重率不断升高，在贮藏后期水分散失尤为严重。在第 6 d 时，10 μmol/L 的 BRs 处理的章姬草莓果实组的失重率显著低于其他处理组(P < 0.05)，对照组章姬草莓果实失重率为 25.5%，10 μmol/L 的 BRs 处理组失重率为 19%，说明 10 μmol/L 的 BRs 喷洒处理能够减缓草莓果实的水分流失。

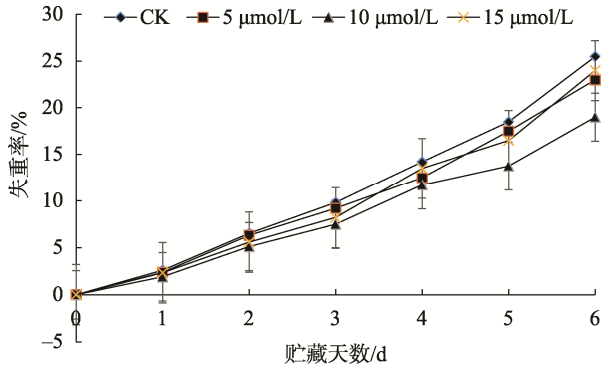

图 1 贮藏期间章姬草莓果实失重率变化情况(n=3)

Fig.1 Changes of weight loss rates of Zhangji strawberry during storage (n=3)

2.2 BRs 喷洒处理对章姬草莓果实腐烂率、腐烂指数的影响

草莓果实的表面腐烂情况是评价草莓果实贮藏效果的重要指标。由表 1 可知，在贮藏期间章姬草莓果实的腐烂发生率不断上升，说明随着贮藏的天数延长，腐烂情况持续加剧。在第 6 d 时，对照组腐烂率和腐烂指数均大于 3 个处理组，10 μmol/L BRs 处理的章姬草莓果实组其腐烂率和腐烂指数显著低于对照组(P < 0.05)，对照组比 10 μmol/L BRs 处理组章姬草莓果实腐烂率高 13%，腐烂指数高 20%，说明其能有效抑制草莓果实的外表腐烂，延长草莓果实外观表型保存期。

表 1 贮藏期间章姬草莓果实的腐烂率、腐烂指数变化情况(n=3)

Table 1 Change of decay rate and decay index of Zhangji strawberry during storage (n=3)

贮藏天数/d	浓度/(μmol/L)	腐烂率/%	腐烂指数/%
1	CK	30±0.69^{cd}	11.8±0.35^{ef}
	5	23±0.52^{d}	7.4±0.27^{f}
	10	20.6±0.26^{d}	7.2±0.16^{f}
	15	33±0.85^{cd}	11.69±0.38^{ef}
2	CK	38±1.24^{c}	13±0.95^{e}
	5	28±1.68^{d}	9.7±0.74^{ef}
	10	25±0.56^{d}	8±0.65^{ef}
	15	37±0.34^{cd}	13.7±0.68^{de}
3	CK	48±0.75^{b}	15.4±0.72^{de}
	5	37±1.26^{cd}	12±0.29^{ef}
	10	30±1.34^{cd}	9.3±0.64^{ef}
	15	42±0.59^{bc}	17.3±0.98de
4	CK	51±0.78^{b}	26.3±0.76^{c}
	5	45±0.39^{bc}	15±0.85^{de}
	10	35±0.84^{cd}	12.4±1.21^{ef}
	15	51±1.23^{b}	18.5±0.98^{d}
5	CK	56±1.62^{ab}	34±0.76^{b}
	5	50±1.34^{b}	24±0.95^{c}
	10	44±2.13^{bc}	18±1.36^{de}
	15	56±2.23^{ab}	23±2.10^{cd}
6	CK	65±1.95^{a}	48±0.95^{a}
	5	59±2.64^{ab}	36±1.25^{b}
	10	52±2.79^{b}	28±1.36^{c}
	15	60±3.10^{b}	33±1.84^{bc}

注：同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2.3　BRs 喷洒处理对章姬草莓果实可溶性固形物、硬度的影响

可溶性固形物和硬度也是评价草莓果实贮藏品质的重要指标。可溶性物质主要指可溶性糖类，其越高表示产品质量越好,草莓的可溶性物质主要是糖类[15]。在图 2 中草莓果实的可溶性固形物均是先上升，在第 2 d 达到最高而后逐渐下降，推测这可能与其体内淀粉转化为糖类，所以可溶性固形物含量升高，后期可溶性固形物作为呼吸作用的底物大量被消耗，使果实内的可溶性固形物在贮藏天数内先升高而后降低[16]。在第 6 d 时，10 μmol/L 的 BRs 喷洒处理后章姬草莓果实可溶性固形物含量贮藏最多且显著高于对照组($P < 0.05$)。在草莓果实成熟期间，果实硬度进入红熟期开始持续降低[17]。由图 3 可以看出在贮藏期间，草莓果实的硬度持续下降，BRs 在一定程度上能够减慢果实硬度的降低，以 10 μmol/L BRs 处理的章姬草莓果实硬度下降最小，比对照组的硬度高 19.2%，但贮藏期内，处理组和对照组果实硬度无显著差异($P > 0.05$)。综上，10 μmol/L 的 BRs 处理对延长草莓果实可溶性固形物的贮藏起到一定作用，也可以起到一定延缓果实硬度下降的效果。

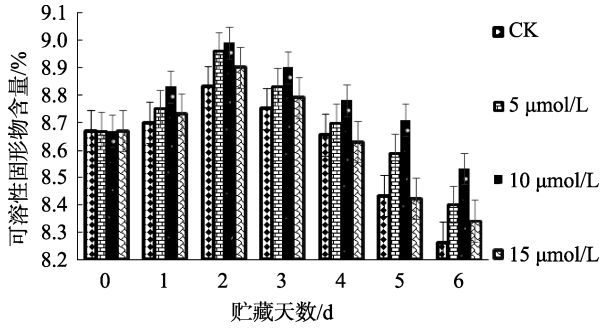

图 2　贮藏期间章姬草莓果实可溶性固形物含量变化情况(n=3)

Fig.2　Changes of soluble solids content in Zhangji strawberry fruits during storage (n=3)

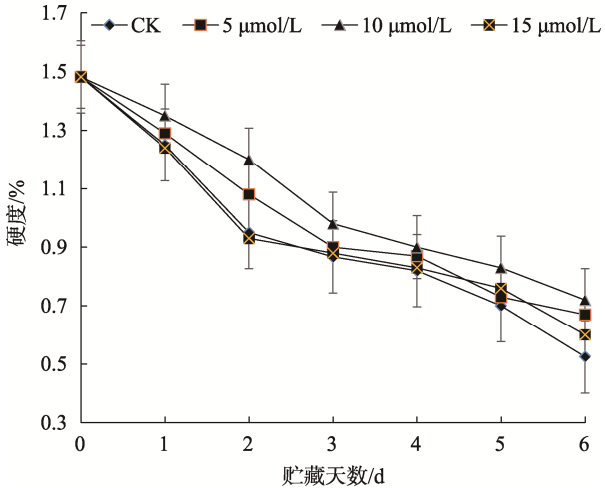

图 3　贮藏期间章姬草莓果实的硬度变化情况(n=3)

Fig.3　Changes of hardness of Zhangji strawberry fruits during storage (n=3)

2.4　BRs 喷洒处理对章姬草莓果实 VC 含量的影响

VC 是还原性物质，具有一定的抗氧化功能，在贮藏过程中易被氧化而流失，是不稳定的一种水溶性维生素，贮藏中极易分解，因此 VC 含量也可以用来反映草莓果实的贮藏品质[18]。从图 4 可得，所有组草莓果实的 VC 含量都随着保存时间的延长先升高后降低且变化幅度较大。对照组章姬草莓果实 VC 下降速度最快，在第 6 d 时最低。3 种不同浓度 BRs 喷洒处理均不同程度上延长了章姬草莓果实 VC 含量的保存时间。在第 6 d 时，10 μmol/L 的 BRs 喷洒处理贮藏效果最好，15 μmol/L 次之，10 μmol/L BRs 处理的章姬草莓果实比对照组的 VC 含量高 1.8 倍，显著高于对照组($P < 0.05$)，对照组章姬草莓果实 VC 含量比 10 μmol/L 的 BRs 处理组低 26 mg/100 g。综上，10 μmol/L 的 BRs 喷洒处理对抑制章姬草莓果实 VC 含量的下降具有一定效果。

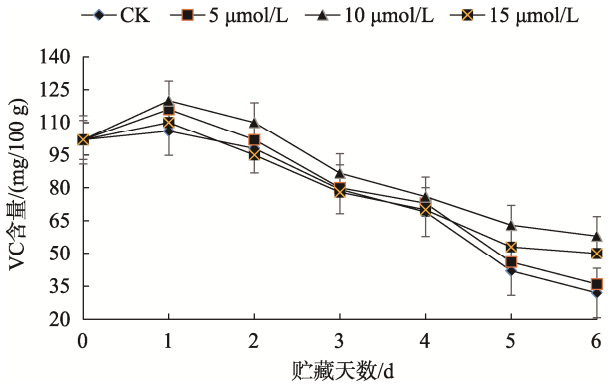

图 4　贮藏期间章姬草莓果实的 VC 变化情况(n=3)

Fig.4　Changes of VC in Zhangji strawberry fruits during storage (n=3)

2.5　BRs 喷洒处理对章姬草莓果实 MDA 含量的影响

MDA 是植物发生过氧化反应的产物，MDA 积累越少表明其器官或组织受损程度越低，反之积累越多表明受损程度越大，间接表明植物受害程度越大，过氧化程度也就越高[19]。从图 5 中看出，随着贮藏时间的延长，所有组的草莓果实内 MDA 含量均不断升高，其中对照组 MDA 升高最为明显。在第 6 d 时，经 BRs 处理的 3 组 MDA 含量均低于对照组，其中 10 μmol/L 的 BRs 处理的章姬草莓果实 MDA 含量显著低于对照组($P < 0.05$)，对照组比 10 μmol/L BRs 处理组章姬草莓果实 MDA 含量高 1.27 倍，综上，10 μmol/L BRs 处理对于降低草莓果实过氧化作用及产生过氧化产物 MDA 起到一定作用。

3　结论与讨论

草莓果实的腐烂会严重影响其外观品质，降低其商品

价值，限制草莓远距离运输。在果实成熟过程中可溶性固形物和 VC 含量不断升高，硬度持续降低，且腐烂会导致其可溶性固形物和 VC 降低从而降低其营养价值。果实采后腐烂除了与自身衰老导致的抗氧化能力降低有关，还与外界机械损伤和微生物侵染有关。油菜素甾醇作为一种植物体内产生的无副作用的植物激素，在植物生长发育、果实贮藏保鲜中具有重要意义[20]。

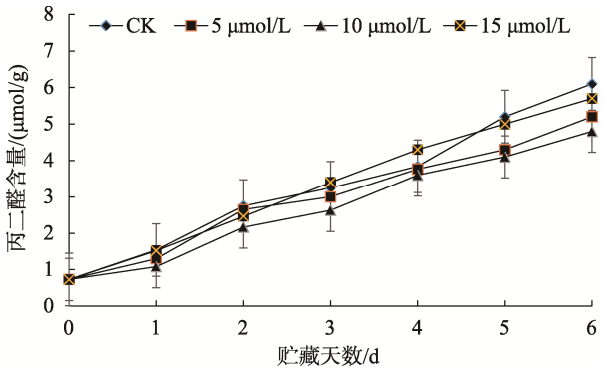

图 5 贮藏期间章姬草莓果实的丙二醛含量变化情况(n=3)

Fig.5 Change of malondialdehyde content in Zhangji strawberry fruits during storage (n=3)

可溶性固形物和硬度，二者都是评价草莓果实贮藏能力的重要参照标准。可溶性固形物的含量多少反映了果实营养价值以及可用来判断果实耐贮藏能力[21]，本研究中 10 μmol/L 的 BRs 喷洒处理提高了章姬草莓果实内可溶性固形物的保存时间，以及显著降低了章姬草莓果实在贮藏过程中腐烂率的发生($P < 0.05$)。MA 等[22]研究结果表明 0.1 mg/L 的 BRs 可以调节植物体内生长素的含量，以此来改善葡萄果实色泽以及营养物质的征调情况，这与本研究可溶性固形物含量变化的结果一致，说明 BRs 对果实贮藏过程中呼吸速率有一定的抑制作用，从而降低了可溶性固形物的消耗。果实的硬度是指果肉抗压的能力，草莓果实发生腐烂变质，细胞壁内的原果胶转变为果胶，导致果实硬度下降，在本研究当中，油菜素甾醇处理可以降低章姬草莓果实在贮藏过程中硬度的损失，这与 ZHU 等[23]在枣果实的研究结果一致。

PONGPRASER 等[24]的研究证实香蕉果皮变褐与果实内相关的过氧化物酶活性升高相关。本研究结果表明经过 10 μmol/L BRs 喷洒处理后能够起到延长草莓果实贮藏时间的效果，维持其体内营养物质及降低过氧化产物的产生，与 PONGPRASER 等的结果一致。虽然本研究测定了 BRs 处理后章姬草莓果实与贮藏品质相关的部分生理及生化指标，但是 BRs 对章姬草莓果实抗氧化系统其他相关酶活性的影响仍有待进一步研究。同时草莓贮藏中通风、消毒及有害物质的产生及微生物的侵入等问题都会影响到草莓的贮藏时间，需多方面综合分析研究，以便为 BRs 能够提高章姬草莓果实贮藏品质的影响提供理论依据，达到延长保鲜期的目的。

本研究结果表明，随着贮藏时间的延长，所有组章姬草莓果实的失重率、腐烂率、腐烂指数、丙二醛均不同程度上升，硬度持续下降，可溶性固形物呈现先上升后下降、VC 含量先上升后下降的变化趋势。比较 4 组数据，经过 10 μmol/L 的 BRs 处理的章姬草莓果实，除对硬度影响较小外，其他各项生理生化指标均有较好的影响作用。综上，10 μmol/L BRs 喷洒下对延长章姬草莓果实的贮藏时间具有较好的效果，为 BRs 在草莓果实贮藏保鲜的应用提供了理论依据。

参考文献

[1] 杨俞娟, 王林伟, 叶放, 等. 仙居草莓红颊肥效试验[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(1): 23–24.
YANG YJ, WANG LW, YE F, *et al*. Experimental study on the effect of red cheeks of strawberry in Xianju [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2021, 62(1): 23–24.

[2] 奚裕婷, 郭虹娜, 姜毅, 等. 葡萄汁有孢汉逊酵母挥发性代谢物熏蒸处理对草莓果实香气成分及贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 168–174.
XI YT, GUO HN, JIANG Y, *et al*. Effect of fumigation with volatile metabolites of *Hanseniaspora uvarum* on aroma components and storage quality of strawberry fruit [J]. Food Sci, 2020, 41(9): 168–174.

[3] 薛红丽. 草莓采收和采后处理技术[J]. 上海蔬菜, 2021, (3): 66–67.
XUE HL. Strawberry harvesting and post-harvest treatment techniques [J]. Shanghai Veget, 2021, (3): 66–67.

[4] 傅佳, 平凡, 沈超怡, 等. 等离子体气体连续处理对草莓采后保鲜效果的研究[J]. 中国果菜, 2021, 41(5): 1–6
FU J, PING F, SHEN CY, *et al*. Study on preservation of strawberry by plasma-processed air continuous treatment [J]. China Fruit Veget, 2021, 41(5): 1–6.

[5] 朱虹. 草莓果实采后病害及控制措施[J]. 农村实用技术, 2021, (6): 70–71.
ZHU H. Postharvest strawberry fruit disease and its control measures [J]. Rural Pract Technol, 2021, (6): 70–71.

[6] 黄鸿晖, 顾里娟, 李美琳, 等. 褪黑素处理对草莓品质与活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 187–193.
HUANG HH, GU LJ, LI ML, *et al*. Effect of melatonin treatment on quality and reactive oxygen species metabolism in strawberry [J]. Food Sci, 2021, 42(15): 187–193.

[7] 姚佳瑜, 于吉祥, 王志琴, 等. 水稻内源油菜素甾醇对施氮量的响应及其对颖花退化的调控作用[J]. 作物学报, 2021, 47(5): 894–903.
YAO JY, YU JX, WANG ZQ, *et al*. Response of endogenous brassinosteroids to nitrogen rates and its regulatory effect on spikelet degeneration in rice [J]. Act Agronom Sin, 2021, 47(5): 894–903.

[8] 李园园, 王莉, 周梦洁, 等. 2,4-表油菜素内酯对草莓果实贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 279–284.
LI YY, WANG L, ZHOU MJ, *et al*. Effect of 2,4-epibrassionolide on postharvest quality and antioxidant activity of strawberry fruit [J]. Food Sci, 2018, 39(1): 279–284.

[9] 张瑞杰, 张杼润, 李丽花, 等. 24-表油菜素内酯对杏果实贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 36–40.
ZHANG RJ, ZHANG ZR, LI LH, *et al*. Effects of 24-epibrassinolide on the storage quality of apricot fruit [J]. Storage Process, 2020, 20(1): 36–40.

[10] 李咏富, 哈益明, 李伟明, 等. 不同处理方式对甜樱桃冰温贮藏效果影响的研究[J]. 核农学报, 2013, 27(11): 1675–1680.
LI YF, HA YM, LI WM, *et al*. Effects of different treatment methods on frozen storage effect of sweet cherry [J]. J Nucl Agric Sci, 2013, 27(11): 1675–1680.

[11] 杨震峰, 王吉如, 王珊珊, 等. 短波紫外线处理对采后草莓果实腐烂和抗氧化能力的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(5): 775–780.
YANG ZF, WANG JR, WANG SS, *et al*. Effect of UV-C treatment on fruit decay and antioxidant activity of strawberry [J]. J Nucl Agric Sci, 2012, 26(5): 775–780.

[12] 刘艳芳, 孙学文, 杨晴. 紫外分光光度法测定 VC 含量的方法改进[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(22): 13270–13272.
LIU YF, SUN XW, YANG Q. Improvement of ultraviolet spectrophotometry to measure the content of VC [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(22): 13270–13272.

[13] 董树刚, 吴以平. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国海洋大学出版社, 2006.
DONG SG, WU YP. Plant physiology experimental techniques [M]. Beijing: Ocean University of China Press, 2006.

[14] 苏卿, 周志钦. 采后因素对果蔬产品营养和质量安全的影响研究现状[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 362–369.
SU Q, ZHOU ZQ. Current research status of the influences of postharvest factors on the nutrition and quality of fruit and vegetable products [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(19): 362–369.

[15] CASSANI L, SANTOS M, GERBINO E, *et al*. A combined approach of infrared spectroscopy and multivariate analysis for the simultaneous determination of sugars and fructans in strawberry juices during storage [J]. J Food Sci, 2018, 83(1-3): 631–638.

[16] 邵俊艳. PBAT/PE 气调保鲜膜的制备及其对樱桃番茄保鲜效果研究[J]. 数字印刷, 2021, (3): 137–146.
SHAO JY. Preparation of PBAT/PE film of air condition and its efficacy for cherry tomato preservative [J]. Digit Print, 2021, (3): 137–146.

[17] 张桂霞, 王英超, 石璐, 等. 草莓果实成熟过程中 VC 和可溶性固形物含量的变化[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(12): 6995–6996.
ZHANG GX, WANG YC, SHI L, *et al*. Research on changes of VC content and soluble solid concentration content during strawberry fruit ripening [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(12): 6995–6996.

[18] 蒋岚, 朱毅, 李茹. 白茅根和连翘提取物对保鲜草莓的研究[J]. 北方园艺, 2011, (21): 138–141.
JIANG L, ZHU Y, LI R. Study on fresh-keeping strawberry with extracts from rhizome imperatae and forsythia [J]. North Horticul, 2011, (21): 138–141.

[19] 马欣, 宗静, 韦强. 不同保鲜膜对草莓果实贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2018, (13): 120–124.
MA X, ZONG J, WEI Q. Effects of different preservative film on storage quality of strawberry fruit [J]. North Horticul, 2018, (13): 120–124.

[20] 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 JK, JIANG WB, ZHAO YM. Guidance of physiological and biochemical experiment of postharvest fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.

[21] 陈锳, 余婷, 王允祥, 等. 壳聚糖-纳米氧化锌复合涂膜对甜樱桃采后生理和贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(9): 1767–1774.
CHEN L, YU T, WANG YX, *et al*. Influence of chitosan and nano oxide composited coating on postharvest postharvest quality of sweet cherry fruits during cold storage [J]. J Nucl Agric Sci, 2017, 31(9): 1767–1774.

[22] MA LN, XI ZM, HUO SS, *et al*. Studies on the regulation of anthocyanin biosythesis in grape by brassionteroid and abscisic acid [J]. J Fruit Sci, 2012, 29(5): 830–836.

[23] ZHU Z, ZHANG Z, QIN G, *et al*. Effects of brassinosteroids on post harvestdiease and senescence of jujube fruit in strong [J]. Sci Horticul, 2012, 144: 195–200.

[24] PONGPRASERT N, SEKOZAWA Y, SUGAYA S, *et al*. A novel postharvest UV-C treatment to reduce chiling injury (membrane diage, browning and chlorophyll degradation) in banana peel [J]. Sci Hortic, 2011, 130: 73–77.

(责任编辑：于梦娇　郑丽)

作者简介

张海园，主要研究方向为园艺学。
E-mail: 2717501260@qq.com

田　伟，副教授，主要研究方向为园艺植物生物技术。
E-mail: 996097748@qq.com