

# 气调包装材料对厚皮甜瓜采后呼吸途径的影响

谭 归<sup>1</sup> 孟新涛<sup>2</sup> 车凤斌<sup>2</sup> 李德华<sup>1</sup> 木志杰<sup>3</sup> 张世雄<sup>4</sup> 潘 俨<sup>2,\*</sup>

(1.新疆农业大学食品科学与药学学院 新疆乌鲁木齐 830052;

2.新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所 新疆乌鲁木齐 830091;

3.北京恒鲜科技有限公司 北京 101121;

4.吐鲁番果业有限公司 新疆吐鲁番 838000)

**摘 要:**采用聚乙烯醇(PVOH)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚丙烯(PP)3种包装材料在同一气调比例下对新疆厚皮甜瓜进行贮藏实验,每10 d使用液相氧电极仪测定不同呼吸途径:糖酵解(EMP)、三羧酸循环(TCA)、戊糖磷酸途径(PPP)、细胞色素系统途径(CP)、交替途径(AP)、总呼吸(Total)的呼吸速率;采后第70 d统计各处理组甜瓜的腐烂率、好果率情况。结果表明:在贮藏温度为(3±1)℃、相对湿度为75%~85%条件下,甜瓜装入三种包装材料膜内充入O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>浓度分别约为5.59%、1.80%后与CK相比较,采后各处理组总呼吸途径速率均得到有效抑制,其中PP处理组采后各呼吸速率均小于其它三组,EMP路径呼吸速率受环境影响转移到以TCA路径为主。至贮藏结束后,PP包装膜处理的甜瓜贮藏品质相对最好,可以有效降低呼吸速率、延缓甜瓜的成熟衰老、防止病害的发生;CK贮藏效果最差。

**关键词:**厚皮甜瓜 采后 呼吸途径 气调处理 品质

## Effects of modified atmosphere package materials on respiratory pathway of *Cucumis melo* L.

TAN Gui<sup>1</sup> MENG Xin-tao<sup>2</sup> CHE Feng-bin<sup>2</sup> LI De-hua<sup>1</sup> MU Zhi-jie<sup>3</sup> ZHANG Shi-xiong<sup>4</sup> PAN Yan<sup>2,\*</sup>

(1. Institute of Food science and Pharmaceutical Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Institute of Agro-products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

3. Beijing Hengxian Science and Technology Ltd., Beijing 101121, China;

4. Turpan Fruit Industry Co., Ltd., Turpan 838000, China)

**Abstract:** The storage experiments of *Cucumis melo* L. were carried out under the same air-conditioning ratio used 3 different packaging materials of polyvinyl alcohol (PVOH), polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP). Different respiratory pathways were measured by liquid oxygen electrode every 10 days, including the respiration rate of glycolysis (EMP), tricarboxylic acid cycle (TCA), pentose phosphate pathway (PPP), cytochrome pathway (CP), alternative pathway (AP), total respiration (Total). On the 70th day after harvest, the decay rate and fruit rate of each treatment group were analyzed. The results showed that the storage temperature was (3±1)℃ and the relative humidity was 75%~85%. The concentrations of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in the 3 kinds of package materials were about 5.59% and 1.80% and then compared with CK. The total respiratory rate of each treatment group was effectively inhibited. As the respiration rate of PP treatment group was less than that of other three groups and the respiratory pathway of the EMP was affected by environment and shifted to the TCA. At the end of the storage, PP package treatment of melon storage quality was relatively best, which could effectively reduce the respiratory rate, delay the maturity, prevent the occurrence of disease and senescence. The quality of CK was worst.

**Key words:** *Cucumis melo* L.; postharvest; pathway respiratory; controlled atmosphere treatments; quality

中图分类号: TS206

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)14-0248-07

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.14.048

甜瓜是新疆主要的经济作物之一,新疆现有甜瓜种植面积规模不断扩大。根据新疆维吾尔自治区

统计局数据,截至2014年,全区甜瓜种植面积100多万亩,总产量 $2.3495 \times 10^6$  t<sup>[1]</sup>,已成为新疆农业生产

收稿日期:2017-02-07

作者简介:谭归(1988-),男,在读硕士研究生,研究方向:农产品贮藏保鲜,E-mail:350638459@qq.com。

\* 通讯作者:潘俨(1979-),男,博士,副研究员,研究方向:果蔬采后生理,E-mail:panyan1590@163.com。

基金项目:国家星火计划项目(2014GA890002)。

的支柱产业和农民增加收入的重要渠道之一<sup>[2]</sup>。新疆甜瓜采集中在夏季,采收后的甜瓜大量涌入市场,短期内对本地市场冲击大,致使采后大部分新疆甜瓜以外销为主。甜瓜的运输方式以公路为主,运输条件简陋;贮藏方式以冷藏为主,而冷藏条件设施的不完善导致时常发生病害,很大程度上降低了贮藏甜瓜的食用品味、经济价值和卫生安全性,造成甜瓜很大程度的腐烂败坏<sup>[3-5]</sup>。因此,控制和利用呼吸作用这个生理过程来延长甜瓜的贮藏期是至关重要的途径之一。

目前对甜瓜保鲜贮藏研究范围也比较的广泛,多集中于采后过程中使用的物理、化学、生物化学等方法防治。其中化学药物尤其是人工合成保鲜剂会产生农药残留、病原物产生抗药性和环境污染等问题,相比较而言,使用物理保鲜方法安全可靠且无残留问题。呼吸作用无论在维持果实生命活动,还是物质合成方面都有着重要的意义,而甜瓜呼吸途径是一个物质消耗过程,所以在贮藏和运输中,尽可能保持果实低而又正常的呼吸代谢,是维持甜瓜品质、延长贮藏期的基本原则和要求<sup>[6]</sup>。基于上述背景以及结合地域瓜果特色,本实验通过研究相同气体比例不同材料包装的甜瓜,分析气调包装对各呼吸途径的影响与腐烂指数、好果率的关系,以期新疆厚皮甜瓜的贮藏应用及推广提供理论依据和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

甜瓜 于2015年10月4日采自吐鲁番地区鲁克沁镇西州密17号甜瓜(*Cucumis melo* L.)作为实验材料,选择单瓜重1.8~3.0 kg,带果柄、无机械伤、无病虫害的果实,套发泡网装箱,采后5 h内运输到新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所,使用水果检测仪(经折光仪校正)对西州密17号逐一进行筛选,共筛选出可溶性固形物含量为14.0%~17.0%的500个果实作为实验材料,贮藏温度为 $(3 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的冷库中用于实验;包装材料 根据现有常用果蔬保鲜包装膜材料<sup>[7-11]</sup>,参考选定37.5  $\mu\text{m}$ 聚乙烯醇无孔包装膜(Polyvinyl alcohol, vinylalcohol polymer, PVOH), 53.0  $\mu\text{m}$ 聚对苯二甲酸乙二醇酯包装膜(Polyethylene terephthalate, PET, 为激光打孔,孔距1.0 cm,孔径0.1  $\mu\text{m}$ ); 78.0  $\mu\text{m}$ 聚丙烯无孔包装膜(Polypropylene, PP, 包装膜规格:35 cm  $\times$  45 cm) 北京恒鲜科技有限公司;叠氮钠( $\text{NaN}_3$ ) 上海国药集团化学试剂有限公司;正磷酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )、无水乙醇( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) 天津市致远化学试剂有限公司;丙二酸( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$ )、氟化钠( $\text{NaF}$ ) 上海山蒲化工有限公司;磷酸钾缓冲液( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 天津市光复科技发展有限公司;水杨基氧肟酸(SHAM) 美国Sigma-Aldrich试剂生产商;连二亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ )、氯化钾( $\text{KCl}$ ) 天津市福晨化学试剂厂;所有试剂均为分析纯。

Checkmate3 顶空分析仪 丹麦 Dansensor 公司;K-BA100R 水果检测仪 日本久保寺事业中心制造

部;Oxytherm 液相氧电极仪 英国汉莎公司;HT-D400 型袋式气调包装 浙江瑞安市华腾机械有限公司;KM603 型气体混配仪 德国威特气体技术公司;ML204 型电子分析天平 上海梅特勒-托利多;5810R 型低温高速离心机 德国 Eppendorf Centrifuge;HX-502 型研磨机 IKA 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 处理方法 实验共设为4个处理。分别为CK、PVOH、PET、PP。其中CK处理为单瓜套泡沫网袋放入塑料周转筐内,每箱装5个瓜。PVOH、PET、PP处理:单瓜放入各包装袋中,每一种处理包装袋内放入15 cm  $\times$  30 cm 的高强吸水纸(G07)3张,包装机参数设定抽气时间3.0 s,充气时间5.0 s,热封时间1.0 s,袋内气体成分为 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ ,由储气罐气体经过混配仪时 $\text{O}_2$ 为 $5.59\% \pm 0.2\%$ 、 $\text{CO}_2$ 浓度为 $1.80\% \pm 0.2\%$ ,在使用气调包装机每次包装充气5个果实后,用顶空分析仪检测袋内气体浓度是否符合实验设计要求( $\text{O}_2$ 浓度 $5.59\% \pm 0.2\%$ 、 $\text{CO}_2$ 浓度 $1.80\% \pm 0.2\%$ )。每组处理125个瓜,用于顶空检测气调处理每组5个,呼吸速率测定每组共18个,其余果实为腐烂率、好果率统计。冷库条件为贮藏温度 $(3 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,相对湿度为75%~85%。

1.2.2 测定方法 果实的呼吸速率的测定,参考史青纯方法略有改动<sup>[12]</sup>。液相氧电极仪测定不同呼吸途径:糖酵解(glycolysis, EMP)、三羧酸循环(tricarboxylic acid cycle, TCA)、戊糖磷酸途径(pentose phosphate pathway, PPP)、细胞色素系统途径(cytochrome pathway, CP)、交替途径(alternative pathway, AP)、总呼吸途径的呼吸速率。

获取甜瓜赤道部位中心果肉,切取的样品质量为0.4 g,投入液相氧电极反应池(2.5 mL容量)中,使用移液器取2.0 mL磷酸钾缓冲液至反应池中,以避免伤诱导呼吸。待反应曲线稳定并持续到300 s时,停止反应,记取数据。10 d测定一次,测定6次,每次取样为3个果实,每个呼吸途径取样品重复测定3次,取平均值。

1.2.3 氧电极反应试剂及呼吸抑制剂配制 氧电极测定缓冲液:20.0 mmol/L pH7.4 磷酸缓冲液1.0 L。A液为1.0 mmol/L  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,称取87.085 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,加入蒸馏水溶解定容至500 mL。B液为1.0 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,称取13.609 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,加入蒸馏水溶解定容至100 mL。C液为20.0 mmol/L pH7.4 磷酸缓冲液,取A液16.04 mL,再取B液3.96 mL,加入900 mL蒸馏水定容至1.0 L。

电极液( $\text{KCl}$ 半饱和溶液):使用磁力搅拌器 $20^\circ\text{C}$ 下配制 $\text{KCl}$ 饱和溶液100 mL,不断加入 $\text{KCl}$ 静置至不再有沉淀析出后,取饱和溶液加100 mL蒸馏水稀释为50%至200 mL溶液。

终浓度为10.0 mmol/L  $\text{NaF}$ :按2.0 mL反应体系计算,加入0.1 mL  $\text{NaF}$ 后反应杯内浓度至10.0 mmol/L,配制 $\text{NaF}$ 溶液浓度为0.2 mol/L。称取0.857 g  $\text{NaF}$ ,用100 mL蒸馏水定容,用于EMP途径呼吸的专一抑制。

终浓度 50.0 mmol/L  $C_3H_4O_4$ ; 按 2.0 mL 反应体系计算,加入 0.1 mL 丙二酸溶液后反应杯内浓度至 50 mmol/L,配制的  $C_3H_4O_4$  溶液浓度为 1.0 mol/L。称取 10.406 g  $C_3H_4O_4$ ,用蒸馏水定容至 100 mL,用于 TCA 循环呼吸的专一抑制。

终浓度 10.0 mmol/L  $Na_3PO_4$ ; 按 2.0 mL 反应体系计算,加入 0.1 mL 正磷酸溶液后反应杯内浓度至 10.0 mmol/L,配制的  $Na_3PO_4$  溶液浓度为 0.2 mol/L。称取 2.45 g  $Na_3PO_4$ ,用 100 mL 蒸馏水定容,用于 PPP 途径呼吸的专一抑制。

终浓度 1.0 mmol/L  $NaN_3$ ; 按 2.0 mL 反应体系计算,加入 0.1 mL  $NaN_3$  溶液后反应杯内浓度至 1.0 mmol/L,应配制  $NaN_3$  溶液浓度 20.0 mmol/L。称取 0.130 g  $NaN_3$ ,用 100 mL 蒸馏水定容,用于 CP 途径呼吸的专一抑制。

终浓度 3.0 mmol/L SHAM; 按 2.0 mL 反应体系计算,加入 0.1 mL SHAM 溶液后反应杯内浓度至 3.0 mmol/L,配制的 SHAM 溶液浓度为 60.0 mmol/L。称取 0.919 g SHAM,20.0 mL 乙醇(80%)溶解后、蒸馏水定容至 100 mL,用于 AP 途径呼吸的专一抑制。

1.2.4 呼吸速率测定 总呼吸速率测定为不加入任何专一性抑制剂,其余各呼吸途径的测定采用以下专一性抑制剂的方法,呼吸速率为样品在液相氧电极的 2.0 mL 反应体系中计算单位时间测得的溶解氧消耗量。按表 1 和表 2 方法使用移液器准确移入总量 2.0 mL 的反应液、各个呼吸主途径和电子传递链的 0.1 mL 专一抑制剂。

表 1 呼吸主途径的呼吸速率测定

Table 1 Measurement of main pathways respiration rate

呼吸速率	计算方式	EMP 途径	TCA 途径	PPP 途径
$V_{Total}$	/	/	/	/
$V_{Rest}$	/	NaF	$C_3H_4O_4$	$Na_3PO_4$
$V_{EMP}$	$V_{Total} - V_{Rest}$	/	$C_3H_4O_4$	$Na_3PO_4$
$V_{TCA}$	$V_{Total} - V_{Rest}$	NaF	/	$Na_3PO_4$
$V_{PPP}$	$V_{Total} - V_{Rest}$	NaF	$C_3H_4O_4$	/

注:  $V_{Total}$  为总呼吸速率测定;  $V_{Rest}$  为剩余呼吸测定;  $V_{EMP}$  为糖酵解呼吸速率测定;  $V_{TCA}$  为三羧酸循环呼吸速率测定;  $V_{PPP}$  为戊糖磷酸途径呼吸速率测定; / 表示该途径呼吸速率测定不添加此专一抑制剂; 表 2 同。

表 2 呼吸电子传递途径的呼吸速率测定

Table 2 Measurement of electron transport chains respiration rate

呼吸速率	计算方式	CP 途径	AP 途径
$V_{Total}$	/	/	/
$V_{Rest}$	/	$NaN_3$	SHAM
$V_{CP}$	$V_{Total} - V_{Rest}$	/	SHAM
$V_{AP}$	$V_{Total} - V_{Rest}$	$NaN_3$	/

注:  $V_{CP}$  为细胞色素系统途径呼吸速率测定;  $V_{AP}$  为交替途径呼吸速率测定。

1.2.5 腐烂指数测定 参照毕阳、陈学红方法略有改动<sup>[13-14]</sup>。按甜瓜腐烂面积大小将甜瓜划分为 9 级: 0 级: 果实无病斑; 1 级: 直径 0.5 cm 下的分散零星小

病斑不超过 20 个; 2 级: 直径 1.0 cm 以下的小病斑在 15 个以上,或总病斑面积小于 3%; 3 级: 最大病斑或病斑连成片直径在 1.5~3.0 cm 之间不超过 3 个,病斑总面积不超过 5% 的果面积; 4 级: 最大病斑直径 3.0 cm 以上,全果病斑面积 5%~10%; 5 级: 10%~20% 果面腐烂; 6 级: 20%~40% 果面腐烂; 7 级: 40%~60% 果面腐烂; 8 级: 全果腐烂。计算腐烂指数公式为:

$$X = \frac{\sum(\text{级数} \times \text{该级甜瓜个数})}{\text{总甜瓜数} \times \text{最高等级数}}$$

1.2.6 好果率测定 好果率的计算式: 好果率(%) = 腐烂指数为 1 级以下的果实数量/总果实数量  $\times 100$

1.2.7  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度变化 用顶空分析仪测定 PVOH、PET、PP 三组气调处理包装袋内  $O_2$  及  $CO_2$  含量的变化,每组处理测定 5 个果实,每 10 d 测定一次,共测定 6 次。

### 1.3 数据处理

利用 Excel 2007、Sigma Plot 12.0 进行数据处理,相关性分析利用 SPSS 19.0 软件。呼吸速率由电极仪配套电脑软件自动计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 甜瓜在不同包装材料内气体浓度的变化

对三种处理甜瓜袋内气体浓度跟踪检测,从图 1、图 2 中可以看出,果实在入贮时,各包装袋内  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度均约为 5.59%、1.80%,PET 处理组的  $O_2$  含量在贮藏内趋于平稳略上升,且远远高于 PVOH、PP 处理组的  $O_2$  含量,PET 处理组  $O_2$  含量的最大值出现在贮期结束为 6.78%; PP 处理组的  $O_2$  含量在贮藏 20 d 降到最小为 0.61%,贮期结束时 PVOH、PP 处理组的  $O_2$  浓度值小于贮期初始值。PP 处理组的  $CO_2$  含量在贮藏 20 d 内上升至最大浓度值后略有下降,且在 20 d 后的贮藏期内高于 PVOH、PET 处理组的  $CO_2$  含量,最大值为 5.91%; 贮期结束时,相对于其它两处理组,PET 处理组的  $CO_2$  值最小为 2.20%,三组气调处理在贮藏结束时与贮藏初期相比均有上升。

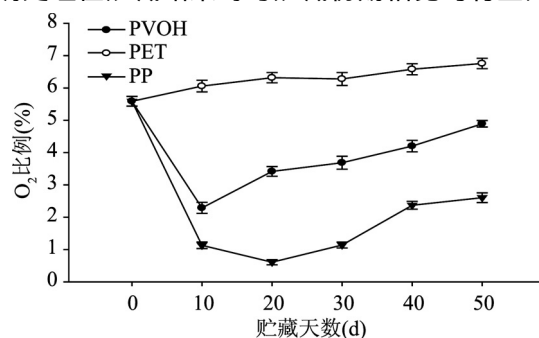


图 1 西州密在不同包装材料内  $O_2$  浓度的变化

Fig.1 Changes in the  $O_2$  content of melom in different package materials

### 2.2 不同包装材料对甜瓜 EMP 呼吸途径的影响

从图 3 可知,贮期期间 CK、PVOH、PET 处理组果实的 EMP 呼吸速率呈先升高后降低的趋势; 而 PP 处理组果实呈先下降后升高再下降的趋势。CK 的



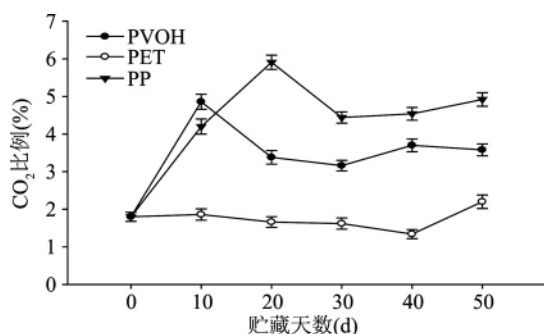
图2 西州密在不同包装材料内 CO<sub>2</sub> 浓度的变化

Fig.2 Changes in the CO<sub>2</sub> content of melon in different package materials

EMP 呼吸峰值出现在贮期为 10 d 时,其值为  $3.48 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,在贮期结束时下降至  $1.56 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。PVOH、PET 两组处理的果实在贮期 20 d 时出现 EMP 呼吸速率峰值,分别为  $2.98$ 、 $3.02 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,这两组气调处理与对照组差异性不显著 ( $p > 0.05$ )。PP 处理组在贮期 10 d 时为  $2.02 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,呼吸峰值出现在贮期 20 d,且低于其余三个处理组。其中 PP 处理在整个贮期内 EMP 呼吸速率是最低的,贮期结束时仅为  $1.07 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,相比 CK 低 31.40%,其呼吸值极显著低于 CK ( $p < 0.01$ )。

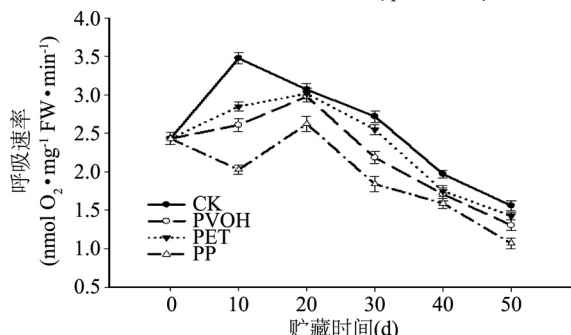


图3 不同包装材料对西州密 EMP 呼吸速率的影响

Fig.3 Effects of different package materials on EMP respiration rate of melon

### 2.3 不同包装材料对甜瓜 TCA 呼吸途径的影响

由图 4 可知,贮藏期间 CK、PET 处理组果实 TCA 呼吸速率先升高后降低,PVOH、PP 处理组果实的 TCA 呼吸速率呈先下降后升高再下降。在贮藏期 0 d 时,四组处理的呼吸值均为  $9.89 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,其中 CK 在贮期 10 d 时上升至  $14.24 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。受气体浓度及材料膜透气率的影响,三组气调处理 TCA 呼吸速率在贮期内均低于 CK,其中 PET、PVOH、PP 峰值出现在贮期 20 d,PP 处理组 TCA 呼吸峰值相比其它两组气调处理最小,约为  $8.475 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,贮期结束时 PP 处理组呼吸值最小为  $0.596 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,相比 CK 偏低约 74.30%,CK 与 PET 处理呈差异不显著 ( $p > 0.05$ ),与 PP 处理呈极显著差异 ( $p < 0.01$ )。而 CK 在贮期结束时呼吸速率仍高于其他三个处理组为  $2.307 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,这有

可能是因为在糖酵解过程中的产物丙酮酸进入线粒体后,在氧气充足条件下,持续通过一个包括三羧酸和二羧酸的逐步脱羧脱氢,进行了彻底的氧化分解<sup>[15]</sup>,所以在贮藏期内 TCA 呼吸速率相比其他三组处理仍然偏高。

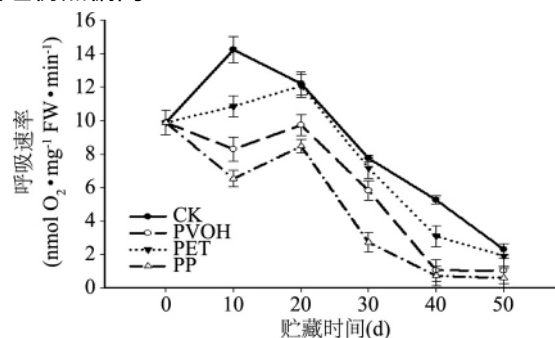


图4 不同包装材料对西州密 TCA 呼吸速率的影响

Fig.4 Effects of different package materials on TCA respiration rate of melon

### 2.4 不同包装材料对甜瓜 PPP 呼吸途径的影响

从图 5 可知,贮藏期间四组处理果实的 PPP 呼吸速率均呈先升高后降低的趋势。在贮藏期 10 d 时,CK 出现最高峰值为  $2.546 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,随后开始逐步下降,至贮期结束时为  $1.355 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在整个贮藏期内四个处理组在 50 d 时均高于初始值,而 PP 处理呼吸速率最小为  $0.425 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ;PVOH、PET 两组处理果实在贮期 20 d 出现峰值,分别为  $1.322$ 、 $1.954 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。其中 PET 处理组至贮期结束时 PPP 呼吸速率仍然很高,为  $1.138 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,与 CK 呈显著差异 ( $p < 0.05$ )。PET 处理组之所以在贮期结束时仍有较高呼吸速率,有可能受气体浓度及材料膜透气率的影响,包装膜内气体浓度维持在一定范围内,PPP 途径对葡萄糖直接氧化分解,有较高的能量转换效率<sup>[16]</sup>。

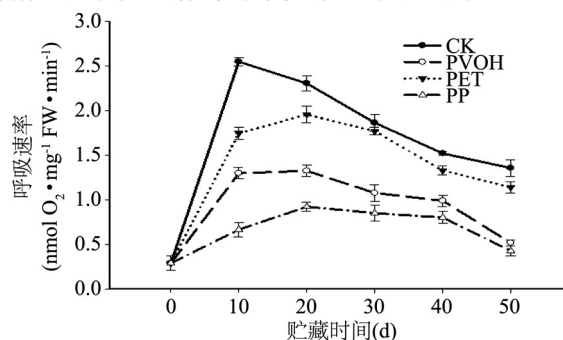


图5 不同包装材料对西州密 PPP 呼吸速率的影响

Fig.5 Effects of different package materials on PPP respiration rate of melon

### 2.5 不同包装材料对甜瓜 CP 呼吸途径的影响

由图 6 可知,贮藏期间各处理组果实细胞色素系统途径呼吸速率有波动且整体降低。在贮藏初期,四个处理组的 CP 呼吸速率值约为  $3.55 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,CK 呼吸峰值出现在 10 d 为  $4.501 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,其余三组气调

处理峰值出现不明显,而 PP 处理组在整个贮藏期中处于较低呼吸状态,至贮藏期 50 d 四个处理组下降至  $0.34 \sim 1.476 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ , PVOH 处理组与 PET 处理组呈显著差异 ( $p < 0.05$ ); PP 处理组与 CK 呈极显著差异 ( $p < 0.01$ )。导致这种现象有可能是因为细胞线粒体中电子传递途径会受到内外因素的影响而发生变化,比如外界环境温度低。除 CK 外,其余三组处理还受到气体浓度及膜材料透气率的影响。

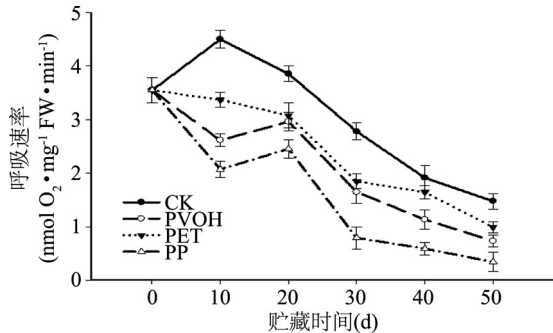


图6 不同包装材料对西州密 CP 呼吸速率的影响

Fig.6 Effects of different package materials on CP respiration rate of melon

## 2.6 不同包装材料对甜瓜 AP 呼吸途径的影响

从图 7 可知,CK、PET 处理组果实抗氰呼吸链呼吸速率呈先上升后降低的趋势,而 PVOH、PP 处理有波动且整体呈降低的趋势。在贮藏期 0 d 时,四个处理组的值均为  $1.73 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,在 10 d 时 CK、PET 处理出现呼吸峰值分别为 2.48、 $2.05 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,与 PP、PVOH 处理的呼吸速率差异性极显著 ( $p < 0.01$ )。PP 处理在整个贮藏期间呼吸速率较小,至贮藏结束时为  $0.22 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,气调包装处理抑制酶类物质转化运输,降低呼吸速率。贮藏结束后三组气调处理与 CK 的呼吸速率相比偏低约 50.24%~78.54%。

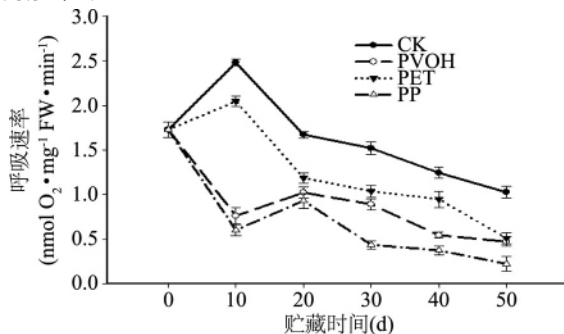


图7 不同包装材料对西州密 AP 呼吸速率的影响

Fig.7 Effects of different package materials on AP respiration rate of melon

## 2.7 不同包装材料对甜瓜总呼吸途径的影响

从图 8 可以看出,随着贮藏时间的推移,CK 与 PET 处理总呼吸速率变化一致,均先升高后降低;PP 与 PVOH 处理总呼吸速率均呈现先降低后升高再降低的趋势。由于 CK 没有经过气体浓度的调节,其总呼吸速率明显高于其他三组气调处理,在采后第 10 d 出现呼吸

高峰,值为  $24.98 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。到贮藏结束时呼吸速率仍有  $6.58 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。PET 处理在 20 d 出现峰值为  $19.44 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。到贮藏结束时逐渐下降为  $5.98 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。PVOH、PP 处理组贮藏期呈先下降后升高再下降的趋势,没有出现明显峰值,在 20 d 时总呼吸速率分别为  $16.98$ 、 $13.76 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ ,PP 处理呼吸速率在贮藏结束时与 CK 相比偏低约 60.63%,PP 处理与 CK 差异极显著 ( $p < 0.01$ )。在整个贮藏结束后 PP 处理总呼吸速率最低,仅为  $2.59 \text{ nmol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

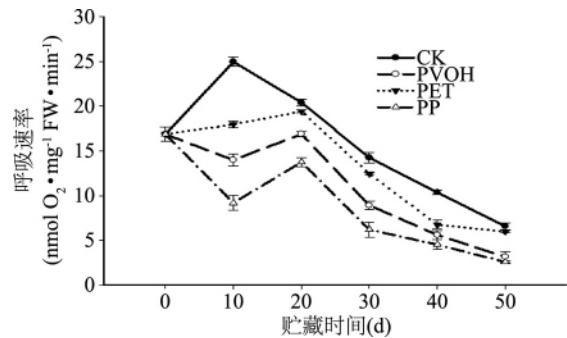


图8 不同包装材料对西州密总呼吸速率的影响

Fig.8 Effects of different package materials on total respiration rate of melon

## 2.8 贮藏结束后不同处理组的贮藏甜瓜腐烂指数及好果率

在冷藏 20 d 后对甜瓜进行腐烂指数和好果率统计。从表 3 中可以看出,CK 的腐烂指数最大,为 0.621,好果率仅为 0.089;PP 组腐烂指数最小为 0.235,好果率最大为 0.588,这是因为在同一低温贮藏环境下,PP 处理组充入约 5.59% 的氧气和 1.80% 的二氧化碳浓度在适宜透气率条件下,既能减弱果实呼吸强度延缓果实衰老又能有效抑制病原菌的生长和病斑的扩大,大大降低其腐烂程度。PVOH 处理组腐烂指数为 0.321,在同样处于同一贮藏环境下,由于 PVOH 材料膜透气率次之,虽然能抑制病原菌的繁殖生长但不能满足果实最低呼吸强度,在切开果实对其观测时发现浸渍软腐现象。PET 处理组的腐烂指数 0.564,明显要高于 PVOH 和 PP 处理组,可能是 PET 膜材料透气率最大,气体交换渗透快,包装袋内气体浓度较高并没有明显抑菌效果,所以没有明显降低果实的腐烂程度。

表3 不同包装处理西州密腐烂指数及好果率

Table 3 Decay index and intact fruit rate of different package treatments melon

	CK	PVOH	PET	PP
腐烂指数	0.621	0.321	0.564	0.235
好果率	0.089	0.387	0.121	0.588

甜瓜腐烂的主要原因之一是病原微生物的侵染,导致果实感官变差和品质下降,出现病斑,随及出现果肉软腐坍塌,从而失去食用价值。合理适宜的气调包装处理能有效抑制采后病害的发生,通过直接抑制病原物的生长及其代谢,以及间接维持寄

表4 同一气体浓度不同膜材料与各呼吸途径的相关性分析

Table 4 Correlative analysis of different membrane materials and respiratory pathways in the same gas concentration

包装材料		TOTAL	EMP	TCA	PPP	CP	AP
PVOH	O <sub>2</sub>	-0.201	-0.482*	-0.222	-0.919**	-0.048	0.397
	CO <sub>2</sub>	-0.257	-0.012	-0.262	0.691**	-0.375	-0.747**
PET	O <sub>2</sub>	-0.359	-0.592**	-0.424	-0.847**	-0.233	-0.379
	CO <sub>2</sub>	-0.122	0.079	-0.061	0.688**	-0.152	0.092
PP	O <sub>2</sub>	0.114	-0.197	-0.038	-0.656**	0.110	0.384
	CO <sub>2</sub>	-0.520*	-0.299	-0.362	0.427	-0.454	-0.692**

注: \*\*: 在  $p < 0.01$  水平(双侧) 上极显著相关; \*: 在  $p < 0.05$  水平(双侧) 上显著相关。

主抗病性的方式来延缓果实的成熟衰老, 延长果实可食用期。

## 2.9 三种膜材料在同一气体比例与各呼吸途径相关性分析

相关性分析是在同一成熟度时三组膜材料在同一气体比例条件下, 对整个贮期内各呼吸途径速率的分析。如表4所示, PVOH、PET、PP处理组中O<sub>2</sub>与PPP呼吸途径的呼吸速率呈极显著负相关( $p < 0.01$ ), PVOH、PET处理组中CO<sub>2</sub>与PPP呼吸途径的呼吸速率呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。在PVOH处理组中O<sub>2</sub>浓度与EMP呼吸途径的呼吸速率呈显著负相关( $p < 0.05$ )、CO<sub>2</sub>与AP呼吸途径的呼吸速率呈极显著负相关( $p < 0.01$ ); PET处理组中O<sub>2</sub>浓度与EMP呼吸途径的呼吸速率呈极显著负相关( $p < 0.01$ ); 在PP处理组中CO<sub>2</sub>浓度与总呼吸的呼吸速率呈显著负相关( $p < 0.05$ ), 与AP呼吸途径的呼吸速率呈极显著负相关( $p < 0.01$ )。

## 3 讨论

本次实验材料西州密17号甜瓜属于呼吸跃变果实, 呼吸跃变与果实的品质和耐贮性有密切的关系, 甜瓜伴随着呼吸跃变, 果实的颜色、质地、风味、营养物质都在发生变化<sup>[17]</sup>。甜瓜采后贮藏过程中会受大量的病害侵染, 黑斑病是甜瓜贮藏期危害性最大的病害之一, 造成果实品质下降<sup>[18]</sup>。为了抑制甜瓜病害, 降低甜瓜腐烂率, 延长贮藏期、可食用性, 采用气调包装技术能有效降低果实呼吸速率, 抑制果实采后侵染性病害的发生。因此, 气调包装因其保鲜效果明显和非化学物质处理之特性而被认为是极大发展和应用价值的水果保鲜技术之一<sup>[19]</sup>。

此次实验中通过设计5.59% O<sub>2</sub>和1.80% CO<sub>2</sub>同一气体浓度和不同包装材料膜结合处理甜瓜, 其贮藏温度为(3±1)℃, 库内相对湿度为75%~85%。在图8中, CK总呼吸峰值比其他三组总呼吸高峰出现约提前10d, PP处理组在20d时呼吸速率分别比PET、PVOH处理组偏低约29.19%、18.52%, 表明气调保鲜包装延缓了果实呼吸高峰的出现, 同时抑制呼吸强度<sup>[20-21]</sup>。图3、图4、图8中显示, 甜瓜贮藏期间总呼吸与EMP、TCA的呼吸速率变化趋势基本保持一致, 其中TCA占总呼吸速率的比例较大, 这有可能是EMP呼吸主路径受气调环境影响, 呼吸路径转移到另一主路径TCA途径上的原因所致。图5中PPP途径呼吸速率在贮期有峰值出现, 有可能是果实

受逆境胁迫、病原菌侵染等原因导致。在冷藏20d, CK最先出现腐烂症状, 主要表现为果实颜色变暗、霉菌、凹陷、皱缩、水渍状等, 从表3中显示腐烂指数为0.621; 三个材料膜包装处理组都有效抑制黑斑病的发生, PVOH处理组切开果肉部分出现水浸渍现象, PET处理组甜瓜在食用时风味、色泽等感官品质较差, PP处理组果实腐烂指数最小仅为0.235, 好果率值最大, 这与陈存坤等<sup>[22]</sup>的研究结果相似。在表4相关性分析中, O<sub>2</sub>浓度在三组气调包装中均对甜瓜PPP呼吸途径存在负相关, 这有可能说明O<sub>2</sub>浓度越大越能加速PPP途径的前端路径呼吸速率。

但低浓度O<sub>2</sub>和高浓度CO<sub>2</sub>共同处理对有些真菌抑制的效果并不明显<sup>[23]</sup>。在此次实验中有效抑制了链格孢属黑斑病, 但对镰刀菌属白霉病控制效果不明显。今后将会进一步探究如何有效利用低温气调贮藏对新疆厚皮甜瓜采后病害的防治。

## 4 结论

气调包装处理均有降低甜瓜呼吸速率的重要性, 采用PP包装膜处理的甜瓜贮藏品质相对最好, 腐烂率和好果率均要优于CK、PVOH和PET处理组。

在气调包装处理条件下, O<sub>2</sub>浓度对甜瓜PPP呼吸途径有显著影响, TCA途径对贮藏期甜瓜果肉总呼吸贡献最大; 5.59% O<sub>2</sub>和1.80% CO<sub>2</sub>浓度能有效抑制甜瓜黑斑病病原菌的繁殖生长, 相对减少甜瓜贮藏过程中的腐烂损失。因此, 选择合适包装膜材料用于包装西州密17号甜瓜, 可以有效降低呼吸速率、延缓甜瓜的成熟衰老、防止病害的发生, 能更好的保持甜瓜原有色、香、味、质地特性等品质和营养价值, 最终有效地延长甜瓜的贮藏期, 从而增加经营者的经济收益和为消费者带来经济价值、营养价值。

## 参考文献

- [1]新疆维吾尔自治区统计局. [http://www.xjtj.gov.cn/sjcx/tjnj\\_3415/2015xjtjnj/ny\\_2015/201603/t2016031\\_6\\_492676.html](http://www.xjtj.gov.cn/sjcx/tjnj_3415/2015xjtjnj/ny_2015/201603/t2016031_6_492676.html).
- [2]秦宗权, 沈艾彬, 刘峰娟, 等. 热水处理对哈密瓜采后生理指标影响的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 32-36.
- [3]卞生珍, 甄卫军. 哈密瓜常温贮藏膜剂保鲜剂的研制[J]. 食品科学, 2004, 25(4): 171-174.
- [4]Teitel D C, Barkaiz C R, Abaroni Y, et al. Toward a practical, postharvest heat treatment for Galia melons[J]. Hort Sci, 1991, (下转第262页)



论文集 2005 246-248.

[9] Sanyal M K, Keshri R C. Changes in quality of chicken soup and chicken-whey soup in laminated pouches during refrigerated storage [J]. Journal of Food Science and Technology, 2002, 39 (3): 288-291.

[10] 李媛媛, 赵钜阳, 韩齐, 等. 反复冻融对肉制品品质影响的研究进展 [J]. 食品工业, 2015, 36(8): 243-248.

[10] 何苗, 陈洁, 曾茂茂, 等. 高温杀菌对福建风味鸭风味的影响 [J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 29-34.

[11] 王莉嫦. 鲢鱼下脚料生产方便鱼汤的关键技术研究 [D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2015.

[12] 鸿巢章二, 桥本周久. 水产利用化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

[13] Ramirez JA, Martin MO, Bandman E. Fish myosin aggregation as affected by freezing and initial physical state [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(4): 556-560.

[14] Zhang J, Yao Y, Ye X, et al. Effect of cooking temperatures on protein hydrolysates and sensory quality in crucian carp (*Carassius auratus*) soup [J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 50(3): 542-548.

[15] 徐红梅. 热加工对鳙鱼汤品质影响的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2008.

[16] Ravishankar CN, Sihabudheen K, Joseph S. Heat penetration characteristics of seafood cocktail soup processed at different temperatures in retortable pouches [M] // Coastal Fishery Resources of India: Conservation and Sustainable Utilisation.

India, 2010: 766-779.

[17] 曾清清, 张立彦. 熬煮条件对鸡骨高汤品质的影响研究 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 106-110, 115.

[18] 倪静安, 张墨英. 食品冷冻中的物理化学变化 [C]. “21 世纪中国食品冷链大会暨速冻食品发展研讨会”论文集, 1998: 44-47.

[19] McClements DJ. Critical review of techniques and methodologies for characterization of emulsion stability [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007, 47(7): 611-649.

[20] 龙肇. 蛋白质-多糖交互作用对高乳脂乳液稳定性的影响及作用机理研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2014.

[21] Triyannanto E, Lee KT. Effects of emulsifiers, pre-cooking and washing treatments on the quality of retorted ginseng chicken soup [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 1770-1777.

[22] Mei LY, McClements DJ, Wu JN, et al. Iron-catalyzed lipid oxidation in emulsion as affected by surfactant, pH and NaCl [J]. Food Chemistry, 1998, 61(3): 307-312.

[23] Silvestre MPC, Chaayasit W, Brannan RG, et al. Ability of surfactant headgroup size to alter lipid and antioxidant oxidation in oil-in-water emulsions [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2000, 48(6): 2057-2061.

[24] 何小峰. 瓦罐鸡汤工艺优化、品质形成及储藏研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.

[25] 杨玉宝. 两种工艺对鸡汤保质期的研究 [J]. 肉类加工, 2012(7): 27-30.

(上接第 253 页)

45: 339-344.

[5] 廖新福, 孙玉萍, 张瑞, 等. 新疆厚皮甜瓜贮藏和保鲜现状及发展对策 [J]. 中国瓜菜, 2010(2): 58-59.

[6] 罗云波. 果蔬采后生理与生物技术 [M]. 中国农业出版社, 2010: 74-95.

[7] 孙炳新, 杨金玲, 赵宏侠, 等. 鲜切果蔬包装的研究现状与进展 [J]. 食品工业科技, 2013(7): 393.

[8] Liu Y, Li Y, Wang R, et al. Model of gas exchange dynamics for modified-atmosphere package containing fresh produce [J]. J Southeast Univ (English Edition), 2005, 21(3): 314-318.

[9] Song Y, Norsa N, Yam K L. Modeling respiration-transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry [J]. J Food Eng, 2002, 53: 103-109.

[10] S Mangaraj, TK Goswami, PV Mahajan. Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review [J]. Food Engineering Reviews, 2009, 1(2): 133-158.

[11] 朱永. 果蔬呼吸速率测定方法改进及气调包装设计方法研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2012.

[12] 史青纯. 外源水杨酸处理对采后黄冠梨果实呼吸途径的影响 [D]. 保定: 河北农业大学, 2009.

[13] Bi Y, Tian S P, Liu H X, et al. Effect of temperature on chilling injury, decay and quality of Hami melon during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 29(8): 229-232.

[14] 陈学红, 郑永华, 杨震峰, 等. 高氧处理对草莓采后腐烂和品质的影响 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 200-202.

[15] 罗云波, 蔡同一. 园艺产品贮藏加工学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 83-93.

[16] 李合生. 现代植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003(3): 54-55.

[17] 王文生, 杨少桢. 果品蔬菜保鲜包装应用技术 [M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008(1): 195-198.

[18] 赵劼. 厚皮甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 主要采后病害的潜伏侵染及生物学控制 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2003.

[19] 段华伟. 鲜果气调包装的理论与实验研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2010.

[20] R Singh, SK Giri, N Kotwaliwale. Shelf-life enhancement of green bell pepper (*Capsicum annum* L.) under active modified atmosphere storage [J]. Food Packaging & Shelf Life, 2014, 1(2): 101-112.

[21] 李萍, 车凤斌, 胡柏文, 等. 气调贮藏不同气体比例对哈密瓜 86-1 贮藏品质及生理活性的影响 [J]. 新疆农业科学, 2010(1): 53-55.

[22] 陈存坤, 高芙蓉, 薛文通, 等. 不同贮藏条件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(3): 1-10.

[23] 徐克章. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 106-132.