

网络出版时间:2021-05-17 12:04 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.11.011  
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210517.1042.012.html

# 低温和膜袋包装对瑞玉猕猴桃果实贮藏品质的影响

王香兰<sup>1</sup>,薛 洁<sup>1</sup>,李 欢<sup>1</sup>,祝庆刚<sup>1</sup>,索江涛<sup>2</sup>,陈春晓<sup>2</sup>,饶景萍<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100;2 陕西佰瑞猕猴桃研究院有限公司,陕西 西安 710054)

【摘 要】 【目的】探讨低温和膜袋包装对瑞玉猕猴桃果实采后贮藏特性和品质的影响,为瑞玉冷藏保鲜提供参考。【方法】将瑞玉猕猴桃果实分别放入 $(0\pm 0.5)$ 、 $(1\pm 0.5)$ 、 $(2\pm 0.5)$ ℃,相对湿度 $(90\pm 5)\%$ 的冷库以及常温(CK1)下贮藏,定期取样测定果实硬度、可溶性固形物含量、相对电导率、丙二醛含量、呼吸速率、乙烯释放速率、冷害指数等指标,果实出库后统计失重率、腐烂率和冷害率,筛选适宜贮藏温度;在适宜温度下,采用不同厚度 $(0\text{ (CK2)}, 0.01, 0.03, 0.05\text{ mm})$ 聚乙烯(polyethylene, PE)膜袋密封包装果实,贮藏相对湿度 $(90\pm 5)\%$ 的冷库中,定期测定上述指标,分析膜袋包装和低温贮藏对果实贮藏特性的影响。【结果】低温可延缓猕猴桃果实硬度、淀粉含量下降和可溶性固形物含量上升, $(0\pm 0.5)$ ℃处理效果最佳;与 $(1\pm 0.5)$ ℃处理相比, $(0\pm 0.5)$ ℃处理果实冷害提前 10 d 出现,出库时果实冷害率约是 $(1\pm 0.5)$ ℃处理的 1.85 倍,贮藏期间 $(2\pm 0.5)$ ℃处理果实相对电导率和丙二醛含量始终保持较低水平且未发生冷害;贮藏 10 d 时,CK1 处理果实出现呼吸高峰和乙烯释放高峰,低温贮藏果实呼吸高峰和乙烯释放高峰均推迟 20 d 出现,且峰值显著降低;贮藏 25 d 时,CK1 处理果实失重率和腐烂率最高,分别为 13.2%和 13.0%。与对照 CK2 相比,用不同厚度 PE 膜袋包装均可抑制果实淀粉酶活性,减缓淀粉含量和果实硬度下降,延缓可溶性固形物含量的上升;0.03 和 0.05 mm PE 袋内  $\text{O}_2$  体积分数保持在 9.54%~12.72%,果实呼吸和乙烯释放高峰均较 CK2 和 0.01 mm 处理推迟 10 d 出现;0.03 mm PE 袋内  $\text{CO}_2$  体积分数稳定在 3.91%~4.51%,果实冷害相比 CK2 和 0.01 mm 处理推迟 20 d 出现,贮藏 110 d 时冷害率仅为 7.67%,且相对电导率显著低于 0.05 mm 处理。【结论】在 $(1\pm 0.5)$ ℃下,用 0.03 mm PE 膜袋贮藏( $\text{CO}_2: 3.91\%\sim 4.51\% + \text{O}_2: 11.57\%\sim 12.72\%$ )有利于保持瑞玉猕猴桃果实品质,抑制冷害的效果最佳。

【关键词】 瑞玉猕猴桃;果实冷害;自发性气调包装;采后保鲜

【中图分类号】 S663.409<sup>+</sup>.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2021)11-0079-12

## Effects of low temperature and film bag packing on postharvest quality of Ruiyu kiwifruit

WANG Xianglan<sup>1</sup>, XUE Jie<sup>1</sup>, LI Huan<sup>1</sup>, ZHU Qinggang<sup>1</sup>, SUO Jiangtao<sup>2</sup>,  
CHEN Chunxiao<sup>2</sup>, RAO Jingping<sup>1</sup>

(1 College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Shaanxi Bairui Kiwi fruit Research Company, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study explored effects of temperature and film bag packaging on postharvest storage characteristics and quality to provide references for cold storage of Ruiyu kiwifruit. 【Method】 The tested fruits were stored in conditions of  $(0\pm 0.5)$ 、 $(1\pm 0.5)$  and  $(2\pm 0.5)$ ℃ with relative humidity of  $(90\pm 5)\%$  using room temperature as control (CK1). Samples were taken regularly for determination of fruit firmness, soluble solid content, relative conductivity, MDA content, respiration rate, ethylene release

【收稿日期】 2020-11-16

【基金项目】 国家“十三五”重点研发计划专项(2016YFD0400102);陕西省科技统筹重大项目(2018TSCXL-NY-01-05)

【作者简介】 王香兰(1995—),女,山东潍坊人,硕士,主要从事园艺产品采后生理及贮藏保鲜研究。E-mail:17854231301@163.com

【通信作者】 饶景萍(1957—),女,陕西汉中,人,教授,硕士,博士生导师,主要从事园艺产品采后生理及贮藏保鲜研究。

E-mail:dqr0723@163.com

rate, chilling injury index and other indicators. Then, weight loss rate, rotting rate and chilling injury rate were calculated for selecting appropriate storage temperature. Using polyethylene (PE) film bags with different thicknesses of 0 (CK2), 0.01, 0.03, and 0.05 mm, fruits were packaged and stored at relative humidity of  $(90 \pm 5)\%$  and obtained suitable temperature. All indicators were measured and analyzed. Analysis of the influence of film bag packaging and low-temperature storage on fruit storage characteristics was explored. **【Result】** Low temperature delayed the decrease of fruit firmness and starch content and the increase of soluble solid content with the best effect in  $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  treatment. Fruits treated by  $(1 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  showed chilling injury 10 days later than those by  $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  treatment. The chilling injury rate of  $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  fruits at the time of delivery was about 1.85 times that of the  $(1 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  treatment. During the storage period  $(2 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ , relative conductivity and MDA content of the fruits treated at  $(2 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  remained low without chilling injury. At 10 days of storage, respiratory peak and ethylene release peak appeared in CK1. The peak respiratory and ethylene release peaks were delayed by 20 days after low temperature treatments, and the peaks were significantly reduced. At the end of test, weight loss rate and rotting rate of CK1 were the highest of 13.2% and 13.0%, respectively. Compared with CK2, PE film bag packaging with different thicknesses inhibited fruit amylase activity, slowed down the decrease of starch content and fruit firmness, and delayed the increase of soluble solid content. The  $\text{O}_2$  content in the 0.03 and 0.05 mm PE bags was maintained at 9.54%–12.72%, and the peaks of respiration and ethylene release of treated fruits appeared 10 days later than CK2 and 0.01 mm treatments. The  $\text{CO}_2$  content in the 0.03 mm PE bag was stable at 3.91%–4.51%. The occurrence of chilling injury of 0.03 mm PE fruits was delayed by 20 days compared with CK2 and 0.01 mm treatments, and the chilling injury rate was only 7.67% after 110 days. The relative conductivity was significantly lower than that of 0.05 mm treatment. **【Conclusion】** The obtained optimal conditions for maintaining fruit quality and inhibiting chilling injury were cold storage at  $(1 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  and packed with 0.03 mm PE film bag ( $\text{CO}_2$ : 3.91%–4.51% +  $\text{O}_2$ : 11.57%–12.72%).

**Key words:** Ruiyu kiwifruit; fruit chilling injury; modified atmosphere packaging (MAP); postharvest preservation

美味系猕猴桃新品种瑞玉是以秦美为母本、K56 为父本进行杂交选育的中熟绿肉猕猴桃<sup>[1]</sup>, 其果实肉质细腻, 风味酸甜, 综合品质高<sup>[2]</sup>。猕猴桃 (*Actinidia chinensis*) 为呼吸跃变型果实, 对乙烯敏感, 采后软化速度快, 低温保存可以有效延长其贮藏期。但不适宜的低温贮藏条件又很容易诱发冷害<sup>[3]</sup>, 造成果实外观和食用品质下降, 腐烂率升高, 丧失果实商品性<sup>[4]</sup>。王强等<sup>[5]</sup>发现, 在  $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$  低温下, 皖翠贮藏性能逊于海沃德。亚特在  $0^\circ\text{C}$  下贮藏效果较好<sup>[6]</sup>; 金香贮藏最适温度为  $1^\circ\text{C}$ <sup>[7]</sup>; 翠香在  $2^\circ\text{C}$  下贮藏可减轻果实冷害产生, 降低果肉苦味<sup>[8]</sup>。冉昇等<sup>[9]</sup>研究发现,  $(1 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  为绿迷一号果实适宜贮藏温度。且国内外大量研究表明, 低温结合自发性气调包装 (modified atmosphere packaging, MAP) 对杏<sup>[10]</sup>、柿<sup>[11]</sup>、李<sup>[12]</sup>、甜樱桃<sup>[13]</sup>、西红柿<sup>[14]</sup>、猕猴桃<sup>[15]</sup>等果实的贮藏保鲜优化效果显著, 但该贮藏方式对不同品种果实的适用性差异较大。因此为取得良好的贮藏效果, 针对不同品种果实应探究其

适宜的处理方式<sup>[16]</sup>。

目前关于瑞玉的研究报道较少, 雷玉山等<sup>[1]</sup>介绍了瑞玉的田间管理栽培技术, 王依等<sup>[2]</sup>对瑞玉果实品质进行了综合评价; 而对其采后冷藏保鲜的研究尚未见报道。为此, 本试验探讨了温度和膜袋包装对瑞玉果实冷害发生、贮藏保鲜效果的影响, 以期对瑞玉的冷藏保鲜提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

瑞玉果实采自陕西省佰瑞猕猴桃研究院有限公司(陕西西安)所属一管理良好的猕猴桃园。在可溶性固形物含量达 6.5%~7.5% 时(2019-09-27)采收, 当天运回西北农林科技大学园艺学院实验室, 在  $20^\circ\text{C}$  左右条件下愈伤 48 h。挑选成熟度均一、果形端正、无病虫害和机械损伤的果实为试材。

聚乙烯平口膜袋: 尺寸  $30\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ , 单面膜厚度分别选 0.01, 0.03, 0.05 mm, 购自未来星包装

工厂店。所用试剂均为分析纯。

## 1.2 试验方法

1.2.1 最适贮藏温度的筛选 将供试果实随机分为 4 个处理,每处理 3 次重复,每重复 35 kg(约 390 个果)。果实在相对湿度为 $(90\pm 5)\%$ 的 $(0\pm 0.5)$ , $(1\pm 0.5)$ , $(2\pm 0.5)$ ℃冷库中分别贮藏 100,80,70 d,常温(CK1)下贮藏 25 d。贮藏当天(0 d)取样,之后冷藏处理每隔 10 d 取样一次,每重复每次随机取 30 个果;CK1 处理每隔 5 d 取样一次,每重复每次随机取 20 个果。其中 5 个样果用于测定果实硬度、可溶性固形物含量(SSC)、相对电导率,并留样速冻保存在 $-80$ ℃冰箱中,后续用于丙二醛(MDA)含量、淀粉含量及淀粉酶活性指标测定;10 个样果常温放置 5 d(模拟货架期)后,削皮观察冷害情况,并计算冷害指数(CK1 处理果实除外);15 个样果用于测定果实呼吸速率和乙烯释放速率。当试验结束时,每重复再选取 100 个果,统计各处理冷害率(CK1 处理果实除外)、失重率和腐烂率。

1.2.2 最适温度下膜厚处理 在筛选的最适温度下,将果实分别用 0(CK2),0.01,0.03 和 0.05 mm 厚的 PE 膜袋(30 cm×40 cm)密封包装,每袋装果 1.5 kg(15~17 个果)。每处理设 3 个重复,每重复 40 kg(约 450 个果),放入相对湿度为 $(90\pm 5)\%$ 的冷库中贮藏。入库后每隔 10 d 取样一次,硬度平均降至 2 kg/cm<sup>2</sup> 时试验结束。每重复每次随机取 1 袋果,开口前测定袋内 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 体积分数。其余各项指标测定同 1.2.1 节。

## 1.3 测定指标及方法

1.3.1 品质指标测定 沿果实赤道线附近均匀 3 个点去皮,用 GY-4 型硬度计测定硬度,测定直径为 11 mm,深度为 8 mm,单位为 kg/cm<sup>2</sup>;可溶性固形物含量(SSC)(%)用 PAL-BXIACID 型数显糖度计测定。

1.3.2 生理指标测定 相对电导率参照姚丹等<sup>[17]</sup>的方法,使用 DDS-307 型电导仪测定,于果实赤道部位取厚度为 2 mm 的果肉片,4 号打孔器纵向打孔,放入 50 mL 0.35 mmol/L 甘露醇溶液中(每份溶液 10 片),25℃、100 r/min 振荡 2 h,测定甘露醇溶液初始电导率( $L_0$ )和振荡 2 h 后溶液的电导率( $L_1$ );然后将溶液煮沸 15 min,并将溶液体积调整至 50 mL,测定其电导率( $L_2$ );计算相对电导率。

$$\text{相对电导率} = (L_1 - L_0) / (L_2 - L_0) \times 100\%$$

在每个密闭抽气缸中放入 15 个果,同时放入 TEL-7100 型红外 CO<sub>2</sub> 分析仪,每处理 3 个重复,每

间隔 20 min 读数(读数 3 次),测定果实呼吸速率,单位为 mg/(kg·h)。在果实密闭放置 1 h 后,用注射器抽取 1 mL 气体,参照董晓庆等<sup>[18]</sup>的方法测定乙烯释放速率,采用 Trace GC Ultra 型气相色谱仪测定,单位为  $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。

1.3.3 生化指标测定 参照曹建康等<sup>[19]</sup>的研究,采用 TBA 法测定丙二醛(MDA)含量,单位为 mmol/g。淀粉含量(%)采用 I<sub>2</sub>-KI 法测定。淀粉酶活性参照曹建康等<sup>[19]</sup>的方法测定,反应液中加入 0.5 mL 10 g/L 淀粉溶液、0.1 mL 酶提取液和 0.4 mL 蒸馏水,置于 40℃水浴反应 10 min 后取出,立即加入 1 mL 3,5-二硝基水杨酸(DNS)试剂终止反应,沸水浴 5 min,冷却至室温加蒸馏水至 10 mL 摇匀,测 540 nm 处的吸光值;以每分钟每克果蔬样品(鲜质量)在酶催化作用下产生的麦芽糖质量表示淀粉酶活性,单位为 mg/(g·min)。

1.3.4 贮藏指标测定 参照 Burdon 等<sup>[20]</sup>的方法,冷害指数按严重程度分为 5 级:0 级,无冷害发生;1 级,冷害发生面积 $\leq 20\%$ ;2 级,冷害发生面积 $20\% < \sim < 40\%$ ;3 级,冷害发生面积 $40\% \leq \sim < 60\%$ ;4 级,冷害面积 $\geq 60\%$ 。每重复选 100 个果,出库时统计冷害率。按下式计算相关指标:

$$\text{冷害指数} = \sum(\text{冷害级数} \times \text{果实数}) / (4 \times \text{总果实数})$$

$$\text{冷害率} = (\text{发生冷害果实数} / \text{总果实数}) \times 100\%$$

$$\text{失重率} = (\text{果实入库当天质量} - \text{果实出库当天质量}) / \text{果实入库当天质量} \times 100\%$$

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

1.3.5 膜袋内气体体积分数测定 袋内气体体积分数用 OXYBABY 微量 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 检测仪(德国威特)测定。检测仪针孔扎入 PE 膜袋内,按开始键进行仪器抽气检测,静置数秒后读数,每袋均检测 3 次。

## 1.4 数据处理

数据采用 Excel 2010 进行处理,用 SPSS 26 作方差分析,显著性值为 0.05,用 Sigma Plot 14 软件制图。

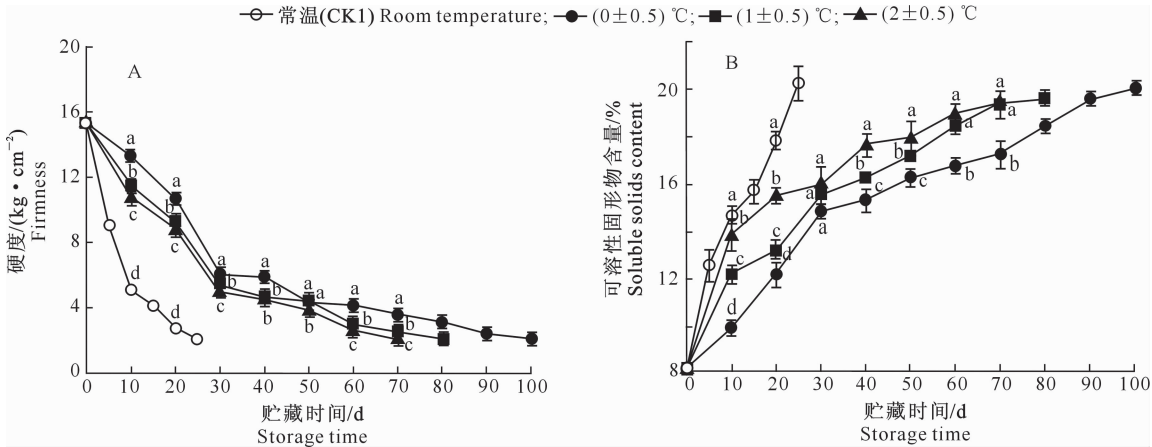
# 2 结果与分析

## 2.1 温度对瑞玉果实贮藏特性的影响

2.1.1 硬度和可溶性固形物含量 硬度可反映果实的耐贮性。如图 1-A 所示,随着贮藏时间的延长,不同冷藏温度下瑞玉果实硬度呈持续下降趋势。常温果(CK1)硬度在贮藏 25 d 时迅速下降到 2.09

kg/cm<sup>2</sup>, (0±0.5) °C 冷藏果硬度下降最慢, 除 50 d 外, 均显著高于 CK1 和其他处理 ( $P<0.05$ )。表明低温贮藏有利于延缓果实硬度下降。由图 1-B 可知, 常温果 (CK1) 可溶性固形物含量在 25 d 时达到

20.24%, 冷藏处理温度越低, 可溶性固性物含量上升速度越缓。除 30 d 外, (0±0.5) °C 处理果的可溶性固性物含量均显著低于 CK1 和其他处理 ( $P<0.05$ )。



不同时间不同处理标不同小写英文字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。下同  
Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at same storage time ( $P<0.05$ ). The same below

图 1 贮藏温度对瑞玉果实硬度(A)和可溶性固形物含量(B)的影响

Fig. 1 Effects of different storage temperatures on firmness (A) and SSC (B) of Ruiyu kiwifruit

2.1.2 相对电导率和丙二醛含量 图 2 表明, 贮藏期间瑞玉果实相对电导率和丙二醛含量持续上升, 其中(2±0.5) °C 处理果实相对电导率和丙二醛含量始终处于最低水平。贮藏 30 d 后, (0±0.5) °C 处

理果实相对电导率和丙二醛含量(70 d 除外)显著高于其他处理; 整个贮藏期间, (1±0.5) °C 和 (2±0.5) °C 处理果实相对电导率和丙二醛含量(60 和 70 d 除外)无显著差异 ( $P>0.05$ )。

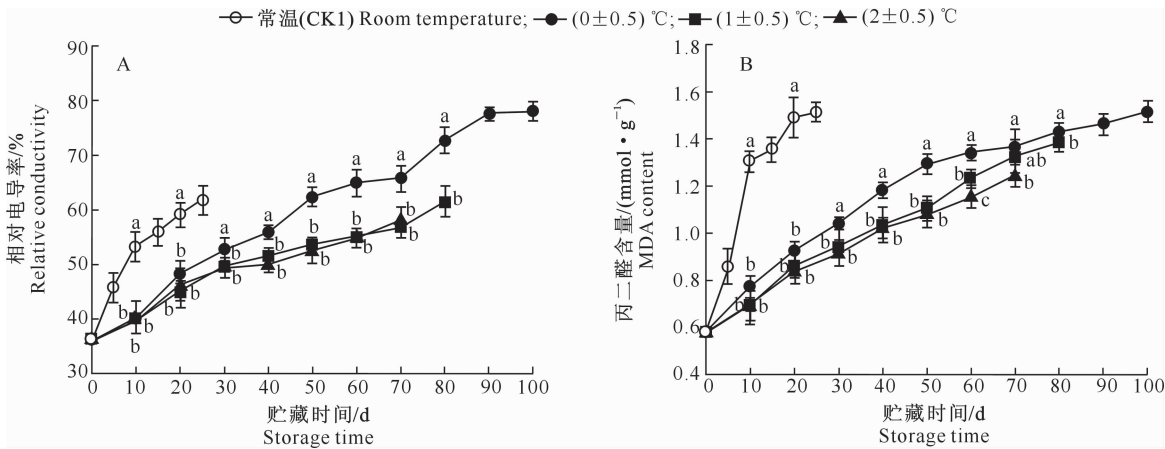


图 2 贮藏温度对瑞玉果实相对电导率(A)和丙二醛含量(B)的影响

Fig. 2 Effects of different storage temperatures on relative conductivity (A) and MDA content (B) of Ruiyu kiwifruit

2.1.3 淀粉含量和淀粉酶活性 如图 3-A 所示, 在贮藏过程中, 瑞玉果实淀粉含量持续下降。除 30 d 外, (0±0.5) °C 处理果实淀粉含量均显著高于(1±0.5) °C 处理 ( $P<0.05$ )。CK1 果实淀粉酶活性在 10 d 达到高峰, 峰值高达 8.05 mg/(g·min); 冷藏处理果实淀粉酶活性高峰均推迟 30 d 出现, 其中 (0±0.5) °C 处理果实淀粉酶活性显著低于另 2 个

处理 ( $P<0.05$ ) (图 3-B)。

2.1.4 冷害表现 将猕猴桃从低温移至常温条件后, 其冷害症状逐渐出现<sup>[21]</sup>。瑞玉果实冷害症状为果肉组织出现水渍状斑块, 贮藏 70 d 时, (0±0.5) °C 冷藏果冷害已很严重, 且明显重于(1±0.5) °C 贮藏果; 而此时(2±0.5) °C 处理果肉完好, 未出现冷害症状(图 4)。

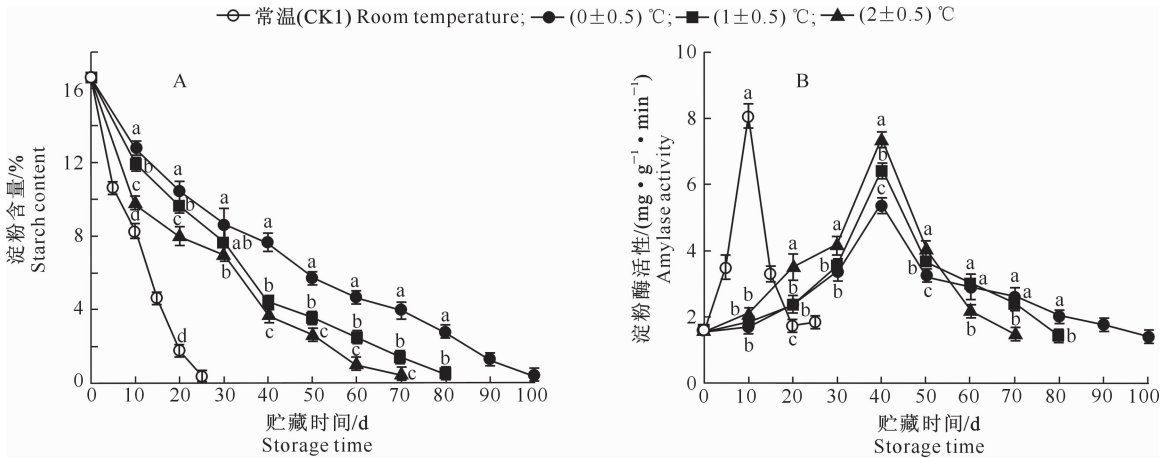


图 3 贮藏温度对瑞玉果实淀粉含量(A)和淀粉酶活性(B)的影响

Fig. 3 Effects of different storage temperatures on starch content (A) and amylase activity (B) of Ruiyu kiwifruit

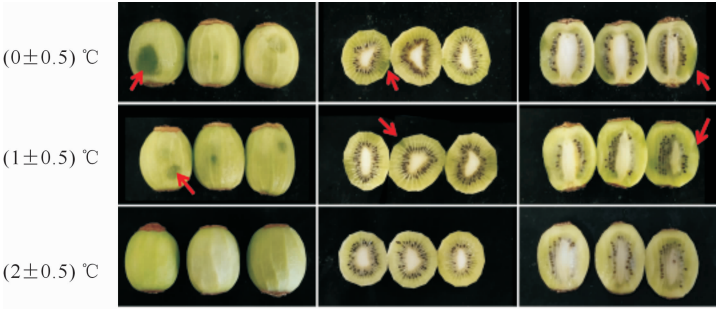


图 4 不同低温下贮藏 70 d 的瑞玉果实移至常温放置 5 d 后的冷害表现

Fig. 4 Chilling injury symptoms of Ruiyu kiwifruit stored at different temperatures for 70 d and placed at room temperature for 5 d

2.1.5 冷害指数和冷害率 果实受低温胁迫的程度可以用冷害指数表示,冷害指数值越高,说明果实冷害越严重<sup>[22]</sup>。如图 5-A 所示, $(0\pm0.5)^\circ\text{C}$ 冷藏果在 50 d 发现冷害, $(1\pm0.5)^\circ\text{C}$ 冷藏果冷害发生推

迟 10 d 出现, $(2\pm0.5)^\circ\text{C}$ 冷藏果在整个贮藏期无冷害发生。出库时, $(0\pm0.5)^\circ\text{C}$ 冷藏果实冷害率高达 27.67%,显著高于 $(1\pm0.5)^\circ\text{C}$ 冷藏果( $P<0.05$ ) (15.00%)(图 5-B)。

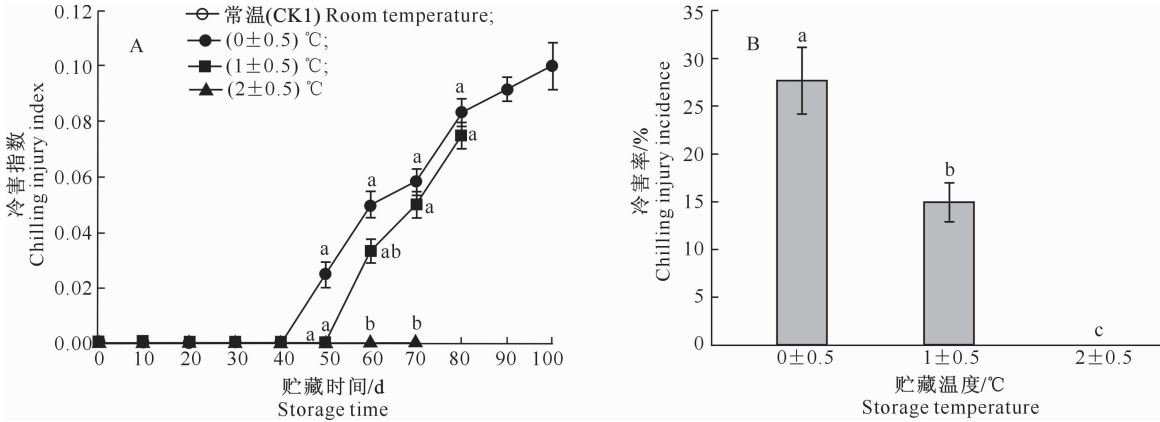


图 5 贮藏温度对瑞玉果实冷害指数(A)和冷害率(B)的影响

Fig. 5 Effects of different storage temperatures on chilling injury index (A) and chilling injury incidence (B) of Ruiyu kiwifruit

2.1.6 呼吸速率和乙烯释放速率 呼吸速率和乙烯释放速率的大小影响果实的贮藏性和食用品质。

由图 6-A 可知,CK1 果实贮藏 10 d 时出现呼吸高峰,峰值为  $10.76\text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ;3 个冷藏处理果实

的呼吸高峰均推迟 20 d 出现,且与 CK1 相比,峰值均明显降低,但三者间无显著差异( $P>0.05$ )。在贮藏期间乙烯释放速率与呼吸速率的变化相似(图 6-B)。CK1 果实在贮藏 10 d 时出现乙烯释放高峰,

峰值为  $1.28 \mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ;冷藏处理果实乙烯释放高峰在贮藏 30 d 出现,表明低温贮藏可推迟果实呼吸和乙烯释放高峰出现,并可降低峰值。

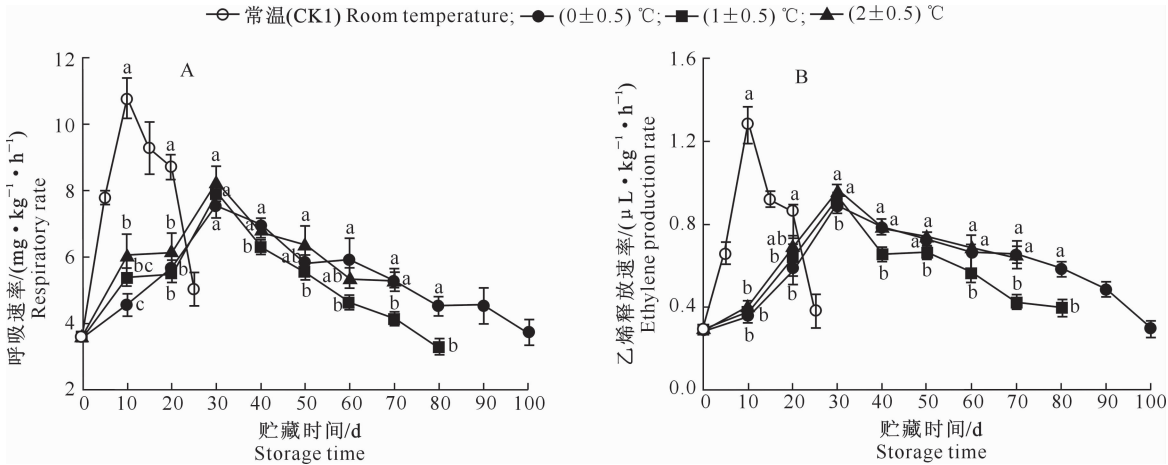


图 6 贮藏温度对瑞玉果实呼吸速率(A)和乙烯释放速率(B)的影响

Fig. 6 Effects of different storage temperatures on respiration rate (A) and ethylene production rate (B) of Ruiyu kiwifruit

2.1.7 出库后失重率和腐烂率 图 7 表明,在果实出库时,CK1 处理瑞玉猕猴桃果实失重率和腐烂率最高,且显著高于各冷藏处理( $P<0.05$ )。但各冷

藏处理的腐烂率间无显著性差异; $0\pm0.5$  °C 处理果实失重率显著高于 $1\pm0.5$  °C 和 $2\pm0.5$  °C 处理( $P<0.05$ ),但后两者间无显著差异。

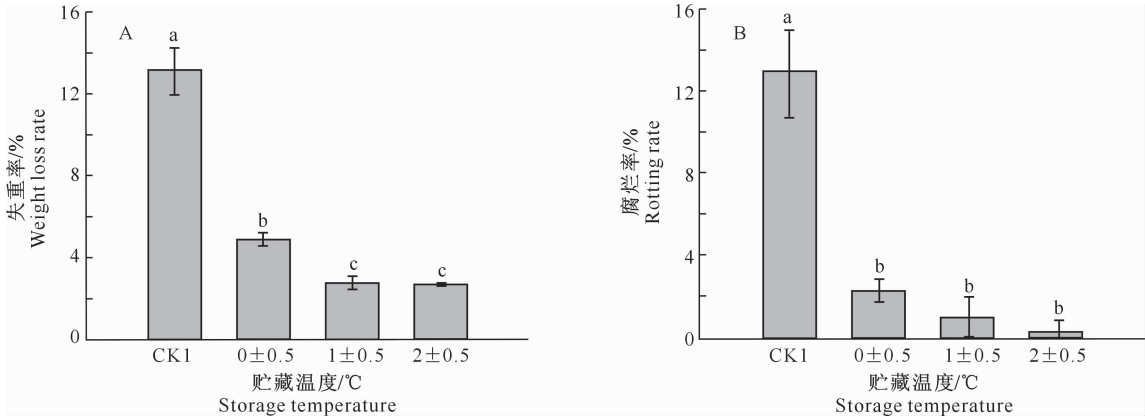


图 7 贮藏温度对瑞玉果实失重率(A)和腐烂率(B)的影响

Fig. 7 Effects of different storage temperatures on weight loss rate (A) and rotting rate (B) of Ruiyu kiwifruit

综合上述试验结果可知,常温下果实软化速度快,贮藏 25 d 时果实硬度降至  $2.09 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 。3 个冷藏处理相比,虽然 $0\pm0.5$  °C 处理对延缓瑞玉果实硬度、淀粉含量下降及可溶性固形物含量上升的效果最佳,但此温度下果实相对电导率、丙二醛含量、冷害率和腐烂率高,果实损失率高; $2\pm0.5$  °C 处理果实在贮藏期间虽无冷害发生、腐烂率低,但果实软化速度快,有效贮藏时间短。因此瑞玉适宜贮藏温度为 $1\pm0.5$  °C,故以此温度进行后续试验。

2.2 不同厚度 PE 膜袋包装对瑞玉果实贮藏特性的影响

2.2.1 PE 膜袋包装内部气体成分 由图 8 可知,在贮藏初期,各 PE 包装处理袋内的  $\text{O}_2$  体积分数均快速下降, $\text{CO}_2$  体积分数均快速上升,之后在较小范围内波动。贮藏 30 d 后, $0.01, 0.03, 0.05 \text{ mm}$  PE 袋内  $\text{O}_2$  体积分数分别维持在  $13.54\% \sim 15.12\%$ ,  $11.57\% \sim 12.72\%$ ,  $9.54\% \sim 10.01\%$ ,各处理间差异显著 ( $P<0.05$ ),  $\text{CO}_2$  体积分数分别维持在

3.12%~3.55%, 3.91%~4.51%, 5.77%~6.44%,各处理间差异显著( $P<0.05$ ,80 d 除外)。

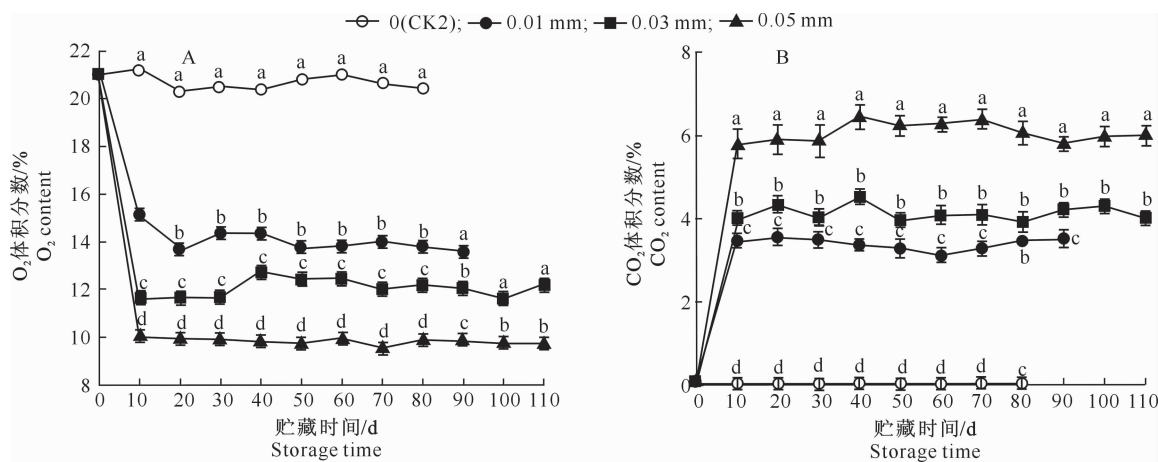


图 8 不同厚度 PE 膜袋包装内部 O<sub>2</sub> (A)和 CO<sub>2</sub> 体积分数的(B)变化

Fig. 8 Changes of O<sub>2</sub> content (A) and CO<sub>2</sub> content (B) with different thicknesses of PE film bags

2.2.2 硬度和可溶性固形物含量 图 9-A 所示,随着 PE 膜袋厚度增大,果实硬度下降速度变慢。除 60,70 d 外,CK2 果实硬度显著小于各 PE 处理 ( $P<0.05$ )。到贮藏 110 d 时,0.05 mm PE 处理果实硬度是 0.03 mm 处理果实的 2.33 倍。由图 9-B

可知,随着 PE 膜袋厚度的增大,可溶性固形物含量上升越缓。在整个贮藏期间,CK2 果实的可溶性固形物含量始终显著高于 PE 处理组 ( $P<0.05$ )。3 个 PE 处理相比,0.01 mm PE 处理可溶性固形物含量最高,0.03 mm 处理次之,0.05 mm 处理最低。

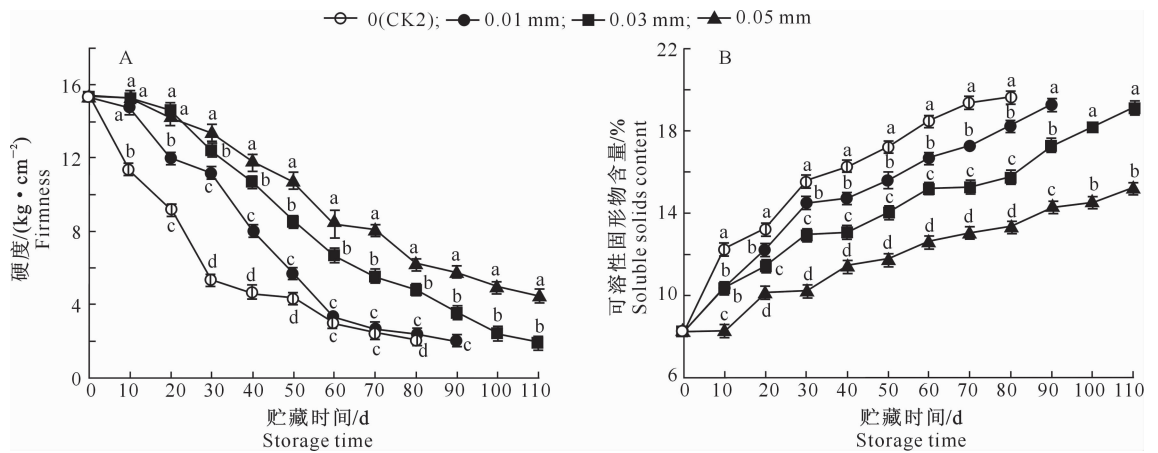


图 9 不同厚度 PE 膜袋包装对瑞玉果实硬度(A)和可溶性固形物含量(B)的影响

Fig. 9 Effects of different packaged thicknesses of PE film bags on firmness (A) and SSC (B) in Ruiyu kiwifruit

2.2.3 相对电导率和丙二醛含量 相对电导率和丙二醛含量均可用来衡量细胞膜完整性<sup>[23]</sup>。由图 10 可知,在贮藏期间,CK2 果实相对电导率始终高于 PE 处理组,0.03,0.05 mm 处理相对电导率在贮藏前 60 d 无显著差异,之后 0.05 mm 处理相对电导率迅速上升,出现显著差异 ( $P<0.05$ )。PE 处理果实丙二醛含量低于 CK2,其中 0.03 处理较低。贮藏 60 d 后,0.05 mm PE 处理果实丙二醛含量显著高于 0.03 mm 处理 ( $P<0.05$ )。

2.2.4 淀粉含量和淀粉酶活性 图 11-A 所示,

0.01 mm PE 处理猕猴桃果实淀粉含量下降速度与 CK2 处理基本一致。0.03,0.05 mm PE 处理果实淀粉含量在贮藏前 50 d 无显著差异,50 d 后 0.03 mm 处理降速加快,与 0.05 mm 处理差异显著 ( $P<0.05$ );到贮藏 110 d 时,0.05 mm PE 处理果实的淀粉含量是 0.03 mm 处理的 7.37 倍。图 11-B 显示,CK2 与 0.01 mm PE 处理果实淀粉酶活性均在贮藏 40 d 时达到高峰,且 CK2 显著高于 0.01 mm 处理 ( $P<0.05$ )。0.03,0.05 mm PE 处理淀粉酶活性高峰推迟 10 d 出现,但两者间无显著差异 ( $P>0.05$ )。

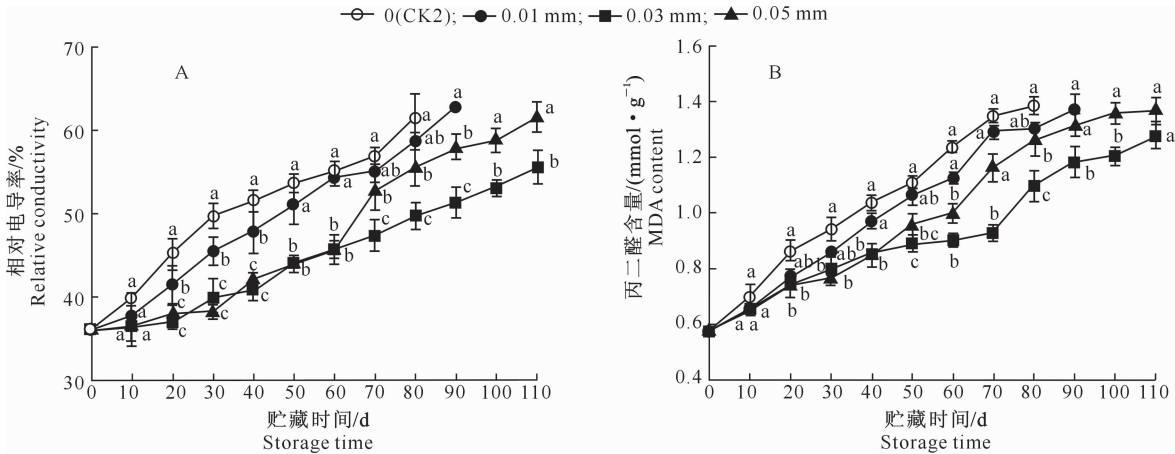


图 10 不同厚度 PE 膜袋包装对瑞玉果实相对电导率(A)和丙二醛含量(B)的影响  
Fig. 10 Effects of different packaged thicknesses of PE film bags on relative conductivity (A) and MDA content (B) in Ruiyu kiwifruit

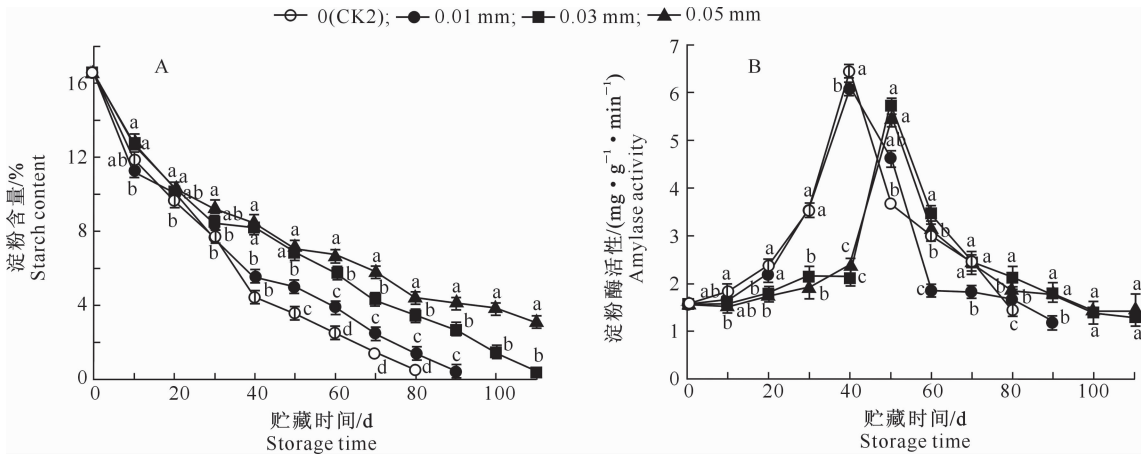


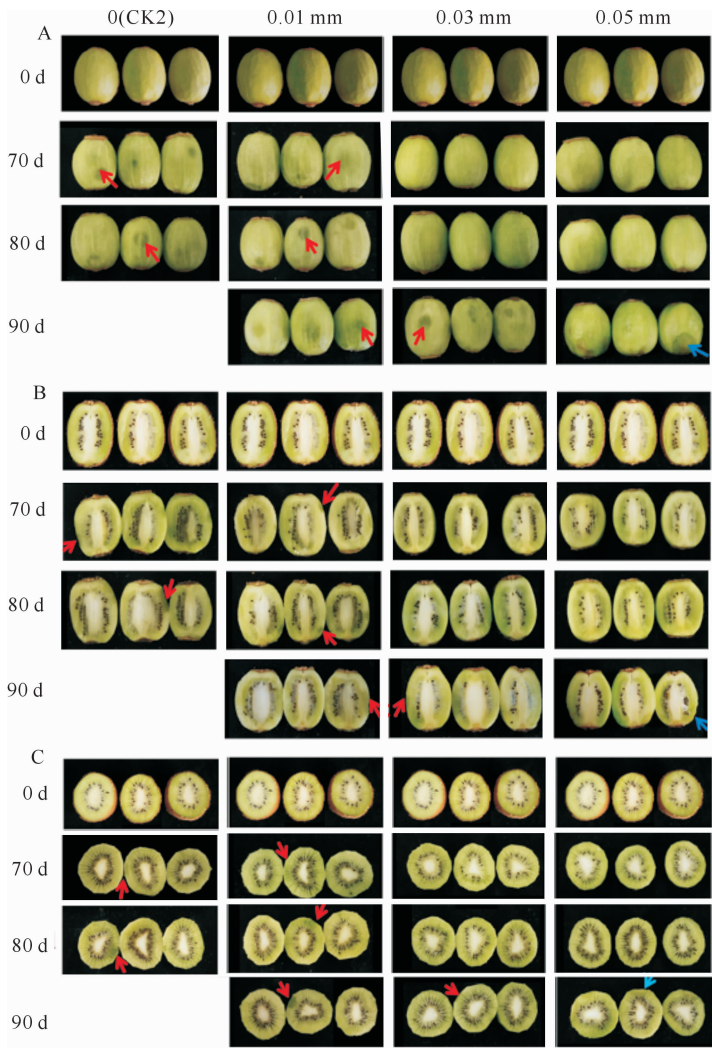
图 11 不同厚度 PE 膜袋包装对瑞玉果实淀粉含量(A)和淀粉酶活性(B)的影响  
Fig. 11 Effects of different packaged thicknesses of PE film bags on starch content (A) and amylase activity (B) in Ruiyu kiwifruit

2.2.5 冷害表现 如图 12 所示,在贮藏 70 d 时,CK2 与 0.01 mm PE 处理果实的冷害症状已很明显,果肉组织出现水渍状斑块;此时 0.03,0.05 mm 处理果实皮下果肉完好,无明显冷害症状。随冷藏时间的延长,CK2 和 0.01 mm 处理果实的水渍状斑块不断扩大;0.03 mm 处理果实直到贮藏 90 d 时才出现明显的冷害症状;0.05 mm 处理果实在冷藏后期出现果皮凹陷,果肉腐烂褐变现象。

2.2.6 冷害指数和冷害率 由图 13-A 可知,由于贮藏 50 d 后,CK2 与 0.01 mm 处理猕猴桃果实已出现冷害症状,因此随着贮藏时间的延长,冷害指数不断上升;0.03 mm 处理果实冷害症状推迟 20 d 出现,冷害指数显著低于 CK2 和 0.01 mm 处理果实 ( $P<0.05$ );0.05 mm 处理果实在整个贮藏期无冷害发生。果实出库时,CK2 与 0.01 mm 处理冷害率

显著高于 0.03 mm 处理(图 13-B)。表明 PE 膜袋包装可以有效减缓果实冷害发生,显著降低冷害率。

2.2.7 呼吸速率与乙烯释放速率 由图 14-A 可知,CK2 与 0.01 mm PE 处理果实在冷藏 30 d 时出现呼吸高峰,峰值分别为 7.92 和 7.82 mg/(kg·h),两者无显著差异( $P>0.05$ );0.03,0.05 mm PE 处理果实呼吸高峰在贮藏 40 d 出现,与 CK2 处理相比推迟了 10 d,峰值分别较 CK2 降低了 10.14% 和 20.01%,差异显著( $P<0.05$ )。CK2 与 0.01 mm PE 处理果实在冷藏 30 d 时出现乙烯释放高峰,峰值分别为 0.94 和 0.86  $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ,两者无显著差异( $P>0.05$ );0.03,0.05 mm PE 处理果实乙烯释放高峰在贮藏 40 d 出现,与 CK2 处理相比推迟 10 d,且峰值低于 CK2 处理(图 14-B)。表明膜袋包装可抑制猕猴桃果实呼吸和乙烯释放作用。



CK2 贮藏 80 d 时即达到要求并出库,故无 90 d 数据。红色箭头表示水渍状斑块,蓝色箭头表示腐烂  
CK2 met the requirement when stored for 80 d and left the cold storage,so there was no 90 d data.

The red arrows indicate water-soaked appearance,the blue arrows indicate decay

图 12 不同厚度 PE 膜袋包装瑞玉果实的果表面(A)、纵切(B)、横切(C)图

Fig. 12 Skin (A),longitudinal sections (B) and cross sections (C) of Ruiyu kiwifruit in PE film bags with different thicknesses

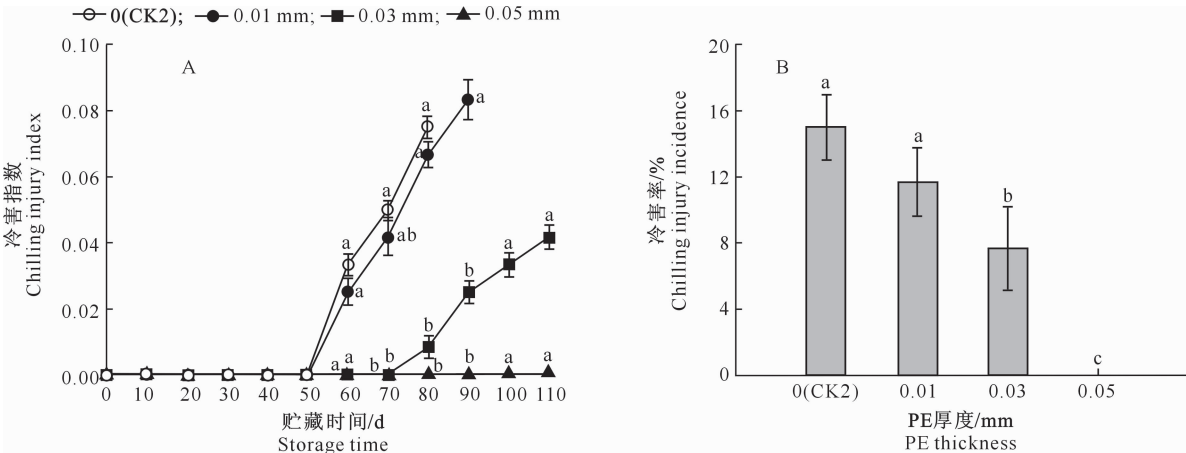


图 13 不同厚度 PE 膜袋包装对瑞玉果实冷害指数(A)和冷害率(B)的影响

Fig. 13 Effects of different packaged thicknesses of PE film bags on chilling injury index (A) and chilling injury incidence (B) of Ruiyu kiwifruit

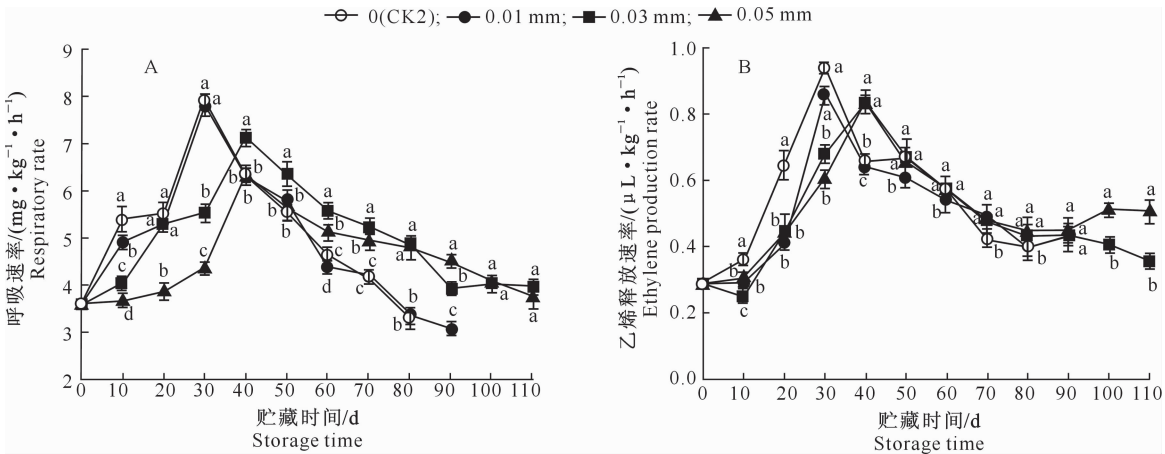


图 14 不同厚度 PE 膜袋包装对瑞玉果实呼吸速率(A)和乙烯释放速率(B)的影响  
Fig. 14 Effects of different packaged thicknesses of PE film bags on respiration rate (A) and ethylene production rate (B) in Ruiyu kiwifruit

2.2.8 出库时失重率和腐烂率 猕猴桃果实失重率随 PE 膜袋厚度的增加不断降低,出库时 CK2 果实失重率最高,且显著高于 PE 处理组( $P<0.05$ ),

0.05 mm 处理失重率最低(图 15-A)。但 0.05 mm 处理果实在贮藏 110 d 时腐烂率高达 46.67%,显著高于 CK2 和 0.01,0.03 mm 处理( $P<0.05$ )(图 15-B)。

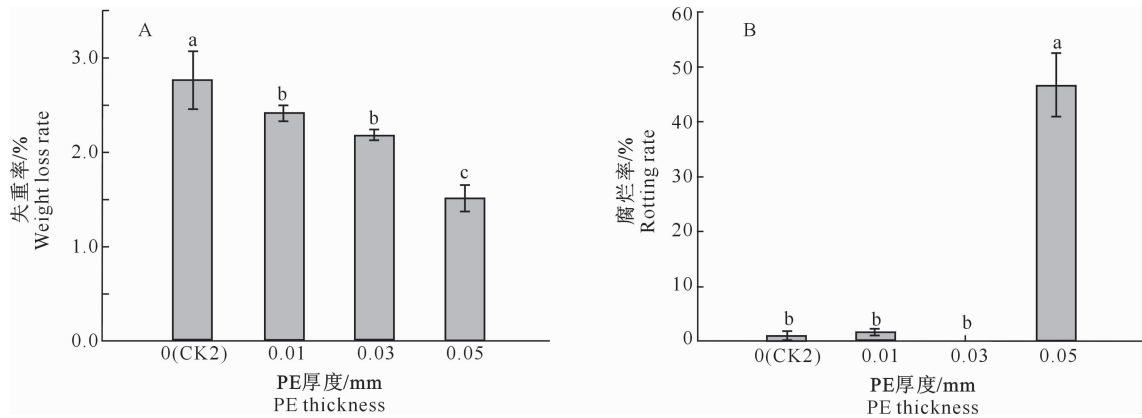


图 15 不同厚度 PE 膜袋包装对瑞玉果实出库时失重率(A)和腐烂率(B)的影响  
Fig. 15 Effects of different packaged thicknesses of PE film bags on weight loss rate (A) and rotting rate (B) in Ruiyu kiwifruit

3 讨 论

冷害是冷敏性果蔬在不适宜低温环境下发生的一种生理性病害<sup>[24]</sup>。冷害的发生会加速果实贮藏品质劣变并导致经济损失<sup>[25]</sup>。本试验中(1±0.5)℃处理猕猴桃果实冷害率显著低于(0±0.5)℃,有效贮藏时间长于(2±0.5)℃处理。猕猴桃果实冷害症状主要为果面凹陷,果皮及果肉褐变,果肉水渍化、木质化及不能正常成熟等<sup>[3,25]</sup>。但因猕猴桃品种不同,生理生化与遗传特性也不同,其冷害症状表现各异<sup>[26]</sup>。红阳果实主要表现为果皮褐变、果肉木质化<sup>[27]</sup>,翠香果实表现为水浸状、褐变<sup>[28]</sup>,这些冷害症状在猕猴桃品种徐香<sup>[21,29]</sup>、华优<sup>[30]</sup>等果实上均有发生。而本试验中瑞玉果实冷害症状仅有水渍状斑

点出现,随冷藏时间延长,斑点扩大成块,至贮藏结束时未发现木质化及褐化现象,推测可能是品种间差异所致。

低温条件下,细胞膜相变,果实细胞膜透性增加,进而代谢紊乱,膜系统被破坏<sup>[31]</sup>。MDA 是膜脂过氧化的产物,随着 MDA 的积累,细胞膜结构和功能完整性受到破坏并引发一系列次生反应,最终导致果实冷害的发生。本研究中不同厚度 PE 膜袋处理与对照(CK2)相比,均有效抑制了果实相对电导率和 MDA 含量的上升,减轻了细胞膜损伤,不同程度减缓了冷害的发生。其中 0.03 mm 膜袋处理效果最好,该试验结果与 Jiao<sup>[15]</sup>的研究结果一致,证实膜袋包装可减轻果实冷害。正如冷害发生相关机理研究所示,膜袋包装处理果实有较高的多胺水平,

多胺可稳定细胞膜、清除活性氧,减轻冷害发生<sup>[32]</sup>。但果实腐烂率与膜袋内 CO<sub>2</sub> 含量相关,据报道,当袋内 CO<sub>2</sub> 含量超过 6%时,猕猴桃果实就会受到伤害<sup>[33]</sup>,果实腐烂率与袋内 CO<sub>2</sub> 含量呈极显著正相关<sup>[34]</sup>。本试验中 0.03 mm PE 袋内 CO<sub>2</sub> 体积分数稳定维持在 3.91%~4.51%,显著低于 0.05 mm 处理。至贮藏结束,0.03 mm 处理果实未发生腐烂,而 0.05 mm 处理果实大量霉变,腐烂率高达 46.67%。这极有可能是因为 0.05 mm 袋内 CO<sub>2</sub> 含量过高(5.77%~6.44%),导致果实发生 CO<sub>2</sub> 毒害而大量腐烂。贮藏后期 0.05 mm 处理果实相对电导率和 MDA 含量迅速上升,显著高于 0.03 mm 处理。根据胡花丽等<sup>[12]</sup>在安哥诺李上的研究结果,推测是因为袋内高含量 CO<sub>2</sub> 使果实细胞膜受损,电解质渗透率增大所致。

PE 膜袋处理能够延长采后果实保鲜期的原理在于,果实呼吸和乙烯释放速率受到抑制,从而延缓果实后熟<sup>[35]</sup>。本试验研究结果也证实,与 CK2 相比,PE 膜袋处理可显著减弱果实的呼吸速率和乙烯释放,抑制淀粉酶活性,延缓淀粉水解,从而更好地维持果实硬度,延长有效贮藏期,其中 0.03 mm 处理效果优于 0.01 mm 处理,这与郭乐音<sup>[28]</sup>在猕猴桃上的研究结果一致。而由于不同厚度膜袋内气体组分不同,对果实呼吸强度、淀粉酶活性的抑制效果不同,因此各处理果实硬度的下降速度存在差异。

综上,(1±0.5)℃是瑞玉果实的适宜贮藏温度;而(1±0.5)℃冷藏结合 0.03 mm PE 膜袋处理(CO<sub>2</sub>:3.91%~4.51%+O<sub>2</sub>:11.57%~12.72%)更有利于保持瑞玉果实的贮藏品质,抑制冷害发生。

[参考文献]

[1] 雷玉山,李 亮,王西锐.猕猴桃中熟新品种瑞玉的选育[J].中国果树,2015,9(5):1-2.  
Lei Y S,Li L,Wang X R. Breeding report of a new kiwifruit cultivar Ruiyu [J]. China Fruits,2015,9(5):1-2.

[2] 王 依,雷 靖,陈 成,等.美味猕猴桃新品种‘瑞玉’果实品质综合评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(10):101-107,125.  
Wang Y,Lei J,Chen C,et al. Comprehensive evaluation of fruit quality of a new delicious kiwifruit variety ‘Ruiyu’ [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed),2018,46(10):101-107,125.

[3] Jiang Y M,Gao H Y,Chen W X,et al. Effects of short-term anoxic treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwifruit during storage [J]. Food Chemistry,2009(114):1216-1221.

[4] 张美芳,何 玲,张美丽,等.猕猴桃鲜果贮藏保鲜研究进展[J].食品科学,2014,35(11):343-347.  
Zhang M F,He L,Zhang M L,et al. Advances in preservation methods for kiwifruit [J]. Food Science,2014,35(11):343-347.

[5] 王 强,董 明,刘延娟,等.不同猕猴桃品种贮藏特性的研究[J].保鲜与加工,2010,10(2):44-47.  
Wang Q,Dong M,Liu Y J,et al. Study on storing property in varieties of kiwifruit [J]. Storage and Process,2010,10(2):44-47.

[6] 张 浩,周会玲,张晓晓,等.不同低温对‘亚特’猕猴桃果实贮藏效果的研究[J].安徽农业大学学报,2014,41(6):981-984.  
Zhang H,Zhou H L,Zhang X X,et al. Effect of different hypothermia on fruits of ‘Yate’ kiwifruit storage effect [J]. Journal of Anhui Agricultural University,2014,41(6):981-984.

[7] 张 浩,周会玲,张晓晓,等.“金香”猕猴桃果实冷藏最适温度研究[J].北方园艺,2014(13):126-129.  
Zhang H,Zhou H L,Zhang X X,et al. The researches of optimum temperature of ‘Jinxiang’ kiwifruit during cold storage [J]. Northern Horticulture,2014(13):126-129.

[8] 郭乐音,裴晔晔,赵倩兮,等.低温贮藏对“翠香”猕猴桃冷害和品质的影响[J].食品工业,2020,41(3):175-179.  
Guo L Y,Pei H H,Zhao Q X,et al. Effect of low temperature storage on chilling injury and quality of postharvest “Cuixiang” kiwifruit [J]. The Food Industry,2020,41(3):175-179.

[9] 冉 昇,高 萌,屈 魏,等.限气包装对‘绿迷一号’软枣猕猴桃采后贮藏特性的影响[J].西北农业学报,2020,29(12):1848-1858.  
Ran B,Gao M,Qu W,et al. Effect of air-limiting package on postharvest storage characteristics of ‘Lümi No.1’ *Actinidia arguta* fruit [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2020,29(12):1848-1858.

[10] Bulent O,Yuksel S,Kadir O,et al. Storage of apricot ‘Hacıhaliloglu’ under modified atmosphere and cold storage conditions [J]. Acta Horticulturae,2018(1214):151-157.

[11] Zhao Q X,Jin M J,Guo L Y,et al. Modified atmosphere packaging and 1-methylcyclopropene alleviate chilling injury of ‘Youhou’ sweet persimmon during cold storage [J]. Food Packaging and Shelf Life,2020,24(100479):1-9.

[12] 胡花丽,李鹏霞,王毓宁.薄膜包装限气贮藏在李果实上的保鲜效果[J].西北农业学报,2011,20(3):138-143.  
Hu H L,Li P X,Wang Y N. Effect of modified atmosphere packaging storage on fresh-keeping of plum fruit [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2011,20(3):138-143.

[13] Larsen H,Borve J. MA-packages in simulated retail conditions maintained sweet cherry fruit quality [J]. Acta Horticulturae,2018(1194):641-648.

[14] Park M H,Sang P,Choi J W. Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging [J]. Scientia Horticulturae,2018(231):66-72.

- [15] Jiao J Q, Guo L Y, Liu H, et al. Effect of different packaging film thicknesses on chilling injury in postharvest ‘Cuixiang’ kiwifruit [J]. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2020(1): 1-14.
- [16] 赵倩兮, 郭乐音, 裴哗哗, 等. 自发性气调包装对‘阳丰’甜柿贮藏期冷害及相关指标的影响 [J]. *中国果树*, 2019(3): 28-33.  
Zhao Q X, Guo L Y, Pei H H, et al. Effects of modified atmosphere packaging on chilling injury and its correlation physiological indexes of ‘Youhou’ sweet persimmon during storage [J]. *China Fruits*, 2019(3): 28-33.
- [17] 姚 丹, 潘多军, 刘 翔, 等. 番茄果实组织在衰老和热胁迫中死亡率及 DNA 片段化的测定 [J]. *食品与生物技术学报*, 2011, 30(3): 440-444.  
Yao D, Pan D J, Liu X, et al. Determination of cell viability and DNA fragmentation in tomato fruit induced by senescence and heat stress [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2011, 30(3): 440-444.
- [18] 董晓庆, 饶景萍, 田改妮, 等. 草酸复合清洗剂对红富士苹果贮藏品质的影响 [J]. *园艺学报*, 2009, 36(4): 577-582.  
Dong X Q, Rao J P, Tian G N, et al. Effect of oxalic acid compound cleaning agent on storage quality of fruits of apple ‘Red Fuji’ [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2009, 36(4): 577-582.
- [19] 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 J K, Jiang W B, Zhao Y M. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [20] Burdon J, Lallu N, Francis K, et al. The susceptibility of kiwifruit to low temperature breakdown is associated with preharvest temperatures and at harvest soluble solids content [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007(43): 283-290.
- [21] 杨青珍, 饶景萍, 王玉萍. ‘徐香’猕猴桃采后逐步降温处理对果实冷害、品质和活性氧代谢的影响 [J]. *园艺学报*, 2013, 40(4): 651-662.  
Yang Q Z, Rao J P, Wang Y P. Effects of different cooling modes on chilling injury, quality and active oxygen metabolism in harvested ‘Xuxiang’ kiwifruits [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(4): 651-662.
- [22] 王玉萍, 段 琪, 饶景萍. 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 Y P, Duan Q, Rao J P. Regulating action of 1-MCP on chilling injury of different kiwifruits [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2013, 22(3): 110-114.
- [23] Nukuntornprakot O A, Chanjirakul K, Doom W V, et al. Chilling injury in pineapple fruit: fatty acid composition and antioxidant metabolism [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 99: 20-26.
- [24] Antunes M D C, Sfakiotakis E M. Chilling induced ethylene biosynthesis in ‘Hayward’ kiwifruit following storage [J]. *Scientia Horticulture*, 2002(92): 29-39.
- [25] 王玉萍, 饶景萍, 李 萌, 等. 1-MCP 对‘徐香’猕猴桃冷藏期间冷害与果实品质的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(11): 93-99.
- Wang Y P, Rao J P, Li M, et al. Effect of 1-MCP on chilling injury and quality of ‘Xuxiang’ kiwifruit during cold storage [J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed)*, 2013, 41(11): 93-99.
- [26] 李华佳, 李 可, 袁怀瑜, 等. 猕猴桃采后冷害及其防控技术研究进展 [J]. *西华大学学报(自然科学版)*, 2018, 37(3): 17-23.  
Li H J, Li K, Yuan H Y, et al. Research advance in chilling injury and control technologies of postharvest kiwifruit [J]. *Journal of Xihua University (Natural Science Edition)*, 2018, 37(3): 17-23.
- [27] 马秋诗, 饶景萍, 李秀芳, 等. 贮藏前热水处理对‘红阳’猕猴桃果实冷害的影响 [J]. *食品科学*, 2014, 35(14): 256-261.  
Ma Q S, Rao J P, Li X F, et al. Effect of pre-storage hot water treatments on chilling injury in ‘Hongyang’ kiwifruit [J]. *Food Science*, 2014, 35(14): 256-261.
- [28] 郭乐音. 温度和限气包装对‘翠香’猕猴桃冷害及品质的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2019.  
Guo L Y. Effect of temperature and different modified atmosphere packaging on chilling injury and quality in postharvest ‘Cuixiang’ kiwifruit [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest Agriculture and Forestry University, 2019.
- [29] 王玉萍, 饶景萍, 杨青珍, 等. 猕猴桃 3 个品种果实耐冷性差异研究 [J]. *园艺学报*, 2013, 40(23): 341-349.  
Wang Y P, Rao J P, Yang Q Z, et al. Chilling tolerance difference among three kiwifruit cultivars [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(23): 341-349.
- [30] 梁春强, 吕 荭, 饶景萍. 草酸处理对采后‘华优’猕猴桃果实耐冷性的影响 [J]. *食品科学*, 2017, 38(19): 230-235.  
Liang C Q, Lü J, Rao J P. Effects of oxalic acid treatment on chilling resistance in harvested ‘Huayou’ kiwifruits under low temperature stress [J]. *Food Science*, 2017, 38(19): 230-235.
- [31] Lyons J M. Chilling injury in plants [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1973, 24(1): 445-466.
- [32] Wang C Y. Atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1997, 10: 195-200.
- [33] 贺军民, 王仲田, 李忠歧. 限气贮藏猕猴桃果实伤害产生机制的研究 [J]. *西北植物学报*, 1999, 19(4): 612-617.  
He J M, Wang Z T, Li Z Q. Biochemical mechanism of physiological injury of kiwifruit storage by MA [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 1999, 19(4): 612-617.
- [34] 郑永华, 席均芳. 枇杷薄膜包装贮藏效果研究 [J]. *食品科学*, 2000, 21(9): 56-58.  
Zheng Y H, Xi Y F. Study on the storage effect of loquat film packaging [J]. *Food Science*, 2000, 21(9): 56-58.
- [35] 黄元彬, 吴 洋, 李玉珍, 等. 猕猴桃采后生理变化及贮藏保鲜技术研究进展 [J]. *南方农业*, 2018, 12(34): 59-61.  
Huang Y B, Wu Y, Li Y Z, et al. Research progress on postharvest physiological changes and storage preservation technology of kiwifruit [J]. *South China Agriculture*, 2018, 12(34): 59-61.