

采前套袋对东试早柚果实品质及贮藏性的影响

徐祥增¹, 邓乐晔¹, 陈学文², 张小娇¹, 程 卯³, 张彩虹¹, 万子龙¹, 高世德^{1*}

1. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100; 2. 西双版纳傣族自治州绿色食品与乡村产业发展中心, 云南景洪 666100; 3. 景洪市绿色食品与乡村产业发展中心, 云南景洪 666100

摘 要: 为明确不同类型果袋套袋对东试早柚果实品质及采后贮藏性的影响, 筛选出适宜的果袋类型, 为生产应用提供参考。本研究以树龄 23 a 的东试早柚为试验材料, 果实不套袋处理为对照组, 采用 8 种类型果袋进行套袋处理, 比较果实采收时和采收后贮藏品质差异, 并采用隶属函数法进行综合评价。结果表明: 白色单层纸袋套袋处理能够显著提高单果质量, 外黄内黑双层纸袋处理能够显著降低果皮厚度, 而外黄内黑单层纸袋处理果实的可溶性固形物 (TSS) 含量显著低于对照。此外, 单侧透明纸袋、外黄内黑单层纸袋及外黄内黑双层纸袋处理显著降低果实的总酸 (TA) 含量, 其中, 外黄内黑单层纸袋和外黄内黑双层纸袋处理的固酸比 (TSS/TA) 显著提升。采收时果实品质综合评价结果显示, 外黄内黑双层纸袋套袋果实综合得分最高 (0.56), 其次为外黄内黑单层纸袋 (0.55), 均高于对照 (0.50)、白色单层纸袋 (0.49) 及其他套袋处理。采后贮藏期间, 果实失重率随贮藏时间的延长呈逐渐升高趋势; 除单侧透明纸袋套袋处理外, 其他套袋处理果实失重率始终低于对照。失重速率则随贮藏时间延长呈先升高后降低趋势, 于贮藏 45 d 达到峰值; 采后贮藏过程中, 不同类型果袋套袋, 对果实可食率、出汁率、可溶性糖、可溶性蛋白、TSS、TA 含量等内在品质指标的影响差异显著, 且其变化趋势随果袋类型呈波动变化。另外, 套袋处理果实贮藏期间表现出明显的“返酸”现象, 其发生时间及程度因果袋类型而异。采后贮藏品质综合评价结果显示, 白色单层纸袋套袋果实的综合得分随贮藏时间延长呈逐渐升高趋势, 其平均综合得分 (0.65) 高于对照和其他套袋处理, 且综合得分的变异系数最小 (5.14%)。综上所述, 外黄内黑单层纸袋和外黄内黑双层纸袋套袋处理在采收时果实综合品质优于不套袋处理, 但采后综合品质变化幅度较大且耐贮藏性较差; 而白色单层纸袋套袋果实采收时综合品质仅次于对照, 但采后综合品质变化幅度较小且耐贮藏性较好。因此, 兼顾果实采收时的品质和采后耐贮藏性, 建议东试早柚生产上采用白色单层纸袋进行果实套袋。

关键词: 东试早柚; 套袋; 果实品质; 贮藏性; 综合评价

中图分类号: S666.3 **文献标志码:** A

Effects of Pre-harvest Bagging on Fruit Quality and Storage Characteristics of Dongshizao Pummelo

XU Xiangzeng¹, DENG Yueye¹, CHEN Xuewen², ZHANG Xiaojiao¹, CHENG Mao³, ZHANG Caihong¹, WAN Zilong¹, GAO Shide^{1*}

1. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong, Yunnan 666100, China; 2. Green Food and Rural Industry Development Center of Xishuangbanna, Jinghong, Yunnan 666100, China; 3. Jinghong Green Food and Rural Industry Development Center, Jinghong, Yunnan 666100, China

Abstract: The study was aimed to clarify the effects of different bag types on fruit quality and postharvest storage of Dongshizao pomelo, and screen suitable bag types to provide reference for production and application. In this study, 23-year-old Dongshizao pomelo trees were used as the experimental material, fruit without bagging was used as the control group, fruit bagging was carried out with 8 types of bags, including 60-mesh nylon mesh bag, 80-mesh nylon

收稿日期 2025-05-21; **接受日期** 2025-06-19

基金项目 云南省重大科技专项计划项目 (No. 202102AE090048); 云南省热带作物科技创新体系建设专项 (No. RF2025)。

作者简介 徐祥增 (1988—), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 柚类果树育种与栽培生理。*通信作者 (Corresponding author): 高世德 (GAO Shide), E-mail: gaoshide228@126.com。

mesh bag, unilateral polyethylene-paper bag, white nonwoven bag, green-single-layer bag, white-single-layer bag, single-layer bag with yellow outside and black inside, double-layer bag with yellow outside and black inside. Fruit quality difference between harvest and post-harvest storage was compared, and comprehensive evaluation was carried out by the subordinative function method. The results showed that the white-single-layer bag significantly increased the single fruit weight by 47.86%, double-layer bag with yellow outside and black inside significantly decreased the pericarp thickness by 28.19%, and the total soluble solids (TSS) content of fruits with single-layer bag with yellow outside and black inside was significantly decreased. The titratable acid (TA) content of fruits with unilateral polyethylene-paper bag, single-layer bag with yellow outside and black inside, double-layer bag with yellow outside and black inside were decreased. While the single-layer bag with yellow outside and black inside, double-layer bag with yellow outside and black inside were significantly improved the TSS/TA rate by 19.71% and 34.40%, respectively. At harvest, the comprehensive evaluation of fruit quality revealed that fruits bagged with the double-layer bag with yellow exterior and black interior achieved the highest score (0.56), followed by those with the single-layer bag of the same design (0.55), both outperforming the unbagged control (0.50) and white single-layer bag (0.49). During postharvest storage, the fruit weight loss rate generally increased with storage duration, except for one transparent paper bag treatment, and peaked on the 45th day of storage. Throughout the storage period, significant differences were observed in various fruit quality indices, including edible rate, juice yield, soluble sugar, soluble protein, TSS, and TA content, with fluctuations influenced by bag type. Regardless of treatment, the inherent quality indices of the fruit pulp exhibited significant variability rather than a simple upward or downward trend. The bagged fruits also displayed a distinct 'returned acidity' phenomenon, with the timing and intensity of this phenomenon influenced by the type of bag used. The comprehensive evaluation of postharvest storage quality showed that the average comprehensive score of fruits bagged with the white single-layer bag gradually increased with extended storage time, reaching the highest average score (0.65) among all treatments, with the smallest coefficient of variation (5.14%). In conclusion, while fruits bagged with the single-layer and double-layer bags with yellow exterior and black interior demonstrated superior comprehensive quality at harvest, they exhibited greater quality fluctuations and poorer storage stability. Conversely, although the initial harvest quality of fruits bagged with the white single-layer bag was slightly inferior to the control, this treatment exhibited the smallest variation range in storage quality, coupled with the highest overall storage quality and stability. Therefore, the white single-layer bag is recommended as the primary bagging option for the production and cultivation of Dongshizao pomelo, offering a balanced approach to optimizing both fruit quality and postharvest storage performance.

Keywords: Dongshizao pummelo; bagging; fruit quality; storage characteristic; comprehensive evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.11.014

果实套袋是果树生产中常用于果实品质和商品性提升的简便且有效的措施,能够减少病虫害,防止农药与果面接触、降低农药残留,防止机械损伤及日灼现象的发生,还能在一定程度上提升果实外观品质和内在品质等^[1],在苹果^[2]、梨^[3]、柿^[4]、椪柑^[5]等多种果树生产中广泛应用。但由于不同类型果袋的材质不同,果袋内形成的微环境差异,间接影响果实着色及果实内物质代谢变化,进而影响果实外观品质和内在品质^[6]。对于柚类果树生产,因品种特征差异,采用不同类型果袋套袋对果实的生理效应影响也存在差异。如三红蜜柚^[7]、马家柚^[8]等红肉黄皮类型,以及金沙柚^[9]、琯溪蜜柚^[10]等白肉黄皮类型品种,采用透光性差的纸袋进行套袋有利于果实着色,提高果实外观品质,同时能够改善内在品质。而成熟期果皮青绿色的越南青柚,选用透光性差的果袋套袋虽然能够提高果面光洁度,但同时促进

了叶绿素的降解,不能充分表现出该品种固有的色泽;而采用白色单层纸袋能够显著提高可溶性固形物含量和固酸比^[11]。冯方茂等^[12]研究表明,采用黄色纸更有利于马来西亚蜜柚果皮绿色品质的形成,同时能够显著提高可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C (Vc) 含量。因此,根据品种特征选择适宜的纸袋类型,对提升果实品质具有重要意义。

东试早柚 [*Citrus grandis* (L.) Osbeck cv. Dongshi Zaoyou] 为云南省西双版纳州东风农场试验站实生选育的柚品种,果实最早于 7 月上旬成熟,8 月下旬开始大量上市,其成熟果实果皮呈黄绿色,果肉浅黄色,无籽或少籽,果肉细腻化渣,果味纯正,酸甜适中,是国内为数不多的特早熟柚优良品种之一^[13]。目前,该品种在云南热带地区广泛种植,全省种植面积已超 1 万 hm^2 。但在生产上,普遍采用不套袋、白色单层纸袋、

黄色单层纸袋、外黄内黑双层纸袋等多种套袋措施, 导致出现果面呈青绿色、黄绿色、黄色等不同类型商品果, 严重影响果实商品价值和产业的发展, 且目前关于不同类型果袋套袋对东试早柚果实品质的影响尚未见系统报道。

因此, 本研究以东试早柚为试验材料, 探究不同类型果袋套袋对东试早柚果实品质及采后贮藏品质的影响, 并对果实品质进行综合评价, 以期筛选出适宜的果袋种类, 为生产上合理运用套袋技术以提高东试早柚果实品质提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在云南省热带作物科学研究所早熟柚关键技术核心示范园进行, 试验地地理位置 22°01'N, 100°78'E; 海拔为 540 m, 全园配备水肥一体化设施。试验材料为东试早柚, 树龄 23 a, 株行距为 3.0 m×4.0 m。试验于东试早柚第 2 次生理落果结束后进行。试验共设 9 个处理: 以果实不套袋处理为对照 (CK), 采用 60 目尼龙网袋 (60M)、80 目尼龙网袋 (80M)、单侧透明纸袋 (DT)、白色无纺布袋 (WF)、绿色单层纸袋 (LD)、白色单层纸袋 (BD)、外黄内黑单层纸袋 (HD)、外黄内黑双层纸袋 (HS) 8 个类型果袋, 对东试早柚进行套袋处理。于 2022 年 6 月 1 日, 选取长势基本一致的东试早柚植株 27 株, 每个处理 3 株, 每株选取果形端正、大小相近的果实 20 个进行套袋处理。2022 年 9 月 1 日果实成熟时采收, 每个处理选取大小均匀、无病虫害为害的果实各 40 个, 摘除套袋后带回实验室, 整齐摆放在实验桌面常温贮藏 (室温 21~30 ℃)。采收当天测定果实各项品质指标; 之后每隔 15 d 取样 1 次, 用于贮藏期果实品质指标测定。每个处理每次随机取样果实 3 个。

1.2 方法

果实采收后, 每个处理标记 3 个大小均匀的果实, 每隔 15 d 称量单果质量, 并计算失重率和失重速率。同时, 每个处理随机选取 3 个大小均匀的果实, 分别称量每个果实的单果质量、果肉质量, 以及果肉榨汁后的果汁质量, 计算可食率和出汁率。取 100 g 新鲜果肉, 于 80 ℃烘箱烘干至恒重并称量, 计算果肉含水率。采用蒽酮比色法测定可溶性糖 (Soluble sugar, SS) 含量, 采用

2,6-二氯酚靛酚滴定法测定 Vc 含量, 采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白 (soluble protein, SP) 含量^[14]。使用 PAL-BX/ACID1 糖酸仪测定可溶性固形物 (total soluble solid, TSS) 含量、总酸 (titratable acidity, TA) 含量、固酸比 (TSS/TA)。

1.3 数据处理

利用 Microsoft Excel 2010 软件对数据进行统计分析, 利用 SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析, 利用 Sigma Plot 10.0 软件作图。采用隶属函数法^[15]对果实采收品质及贮藏品质进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 不同套袋处理对东试早柚采收果实品质的影响

由表 1 可知, 白色单层纸袋处理的单果质量显著高于其他处理, 而白色无纺布袋处理的单果质量显著高于 60 目尼龙网袋和外黄内黑双层纸袋处理。外黄内黑双层纸袋处理的果实果皮最薄 (7.44 mm), 显著低于白色单层纸袋、60 目尼龙网袋、白色无纺布袋、绿色单层纸袋及 CK 处理。白色无纺布袋处理的果实可食率较低 (53.42%), 显著低于外黄内黑双层纸袋处理。外黄内黑单层纸袋处理的果实果肉含水率最高 (88.63%), 显著高于白色无纺布袋、外黄内黑双层纸袋处理。各套袋处理的果实出汁率及可溶性糖、可溶性蛋白、Vc 含量与 CK 处理之间差异不显著, 但单侧透明纸袋处理出汁率显著高于白色无纺布袋处理, 而白色无纺布袋处理的可溶性糖含量显著高于单侧透明纸袋、外黄内黑单层纸袋、外黄内黑双层纸袋、绿色单层纸袋以及 60 目尼龙网袋处理, 80 目尼龙网袋处理果实 Vc 含量显著高于单侧透明纸袋、外黄内黑单层纸袋和外黄内黑双层纸袋处理。白色无纺布袋处理的 TSS 含量最高 (11.47%), 显著高于 60 目尼龙网袋和外黄内黑单层纸袋处理; 绿色单层纸袋、60 目尼龙网袋以及 CK 处理的 TA 含量, 均显著高于单侧透明纸袋、外黄内黑单层纸袋和外黄内黑双层纸袋处理; 外黄内黑双层纸袋和外黄内黑单层纸袋处理的 TSS/TA 相对较高, 其中外黄内黑双层纸袋处理的 TSS/TA 显著高于 CK 和其他 6 个套袋处理。

2.2 不同套袋处理东试早柚采收果实品质综合评价

通过隶属函数法对东试早柚不同套袋处理采

收果实品质进行综合评价，选取单果质量、可食率、出汁率、果肉含水率、TSS 含量、TSS/TA、SS 含量、SP 含量、Vc 含量等 9 项指标采用隶属函数法分别计算隶属函数值，果皮厚度和 TA 含量 2 项指标采用反隶属函数法分别计算隶属函数值，最终计算所有指标隶属函数平均值即为综合评价值，结果如表 2 所示。综合评价结果得出，外黄内黑双层纸袋处理采收果实综合评分最高

表 1 不同套袋处理东试早柚采收果实品质
Tab. 1 Fruit quality of Dongshizao pummelo at harvest with different bagging treatments

处理 Treatment	单果质量 Single fruit mass/g	果皮厚度 Pericarp thick- ness/mm	可食率 Edible rate/%	出汁率 Juice extraction rate/%	果肉含水率 Juicy sac moisture content/%	TSS 含量 TSS content/%
CK	904.20±233.77 ^{bc}	10.36±0.30 ^{ab}	58.67±3.17 ^{ab}	74.13±2.18 ^{ab}	87.70±0.61 ^{ab}	11.23±0.21 ^{ab}
60M	711.23±75.25 ^c	10.88±0.77 ^{ab}	54.72±1.91 ^{ab}	77.36±2.18 ^{ab}	88.10±0.36 ^{ab}	10.77±0.15 ^{bc}
80M	744.90±100.57 ^{bc}	9.26±0.88 ^{abc}	54.29±2.30 ^{ab}	75.90±4.51 ^{ab}	87.87±0.06 ^{ab}	10.90±0.17 ^{abc}
DT	746.70±37.60 ^{bc}	8.94±2.27 ^{bc}	56.70±2.74 ^{ab}	80.11±7.82 ^a	88.20±0.56 ^{ab}	11.07±0.32 ^{abc}
WF	1042.43±361.37 ^b	10.54±1.05 ^{ab}	53.42±3.80 ^b	70.29±3.64 ^b	87.23±0.40 ^b	11.47±0.21 ^a
LD	794.23±77.39 ^{bc}	9.94±1.96 ^{ab}	55.85±2.16 ^{ab}	75.25±3.59 ^{ab}	87.97±0.81 ^{ab}	11.10±0.53 ^{ab}
BD	1336.93±166.90 ^a	11.63±1.01 ^a	58.85±2.65 ^{ab}	77.51±1.37 ^{ab}	87.77±0.38 ^{ab}	10.83±0.21 ^{abc}
HD	828.57±101.96 ^{bc}	9.66±1.09 ^{abc}	58.74±1.70 ^{ab}	76.89±3.43 ^{ab}	88.63±1.37 ^a	10.43±0.40 ^c
HS	702.40±38.26 ^c	7.44±0.23 ^c	59.68±4.09 ^a	76.90±1.75 ^{ab}	87.27±0.40 ^b	11.33±0.58 ^{ab}

处理 Treatment	TA 含量 TA content/%	固酸比 TSS/TA	可溶性糖含量 SS cotent/(mg·g ⁻¹)	可溶性蛋白含量 SP content/(mg·g ⁻¹)	Vc 含量 Vc content/(mg·g ⁻¹)
CK	0.86±0.11 ^a	13.14±1.59 ^{cd}	6.73±1.59 ^{ab}	0.45±0.07 ^a	0.43±0.01 ^{ab}
60M	0.88±0.05 ^a	12.26±0.67 ^d	4.77±1.34 ^b	0.31±0.25 ^a	0.39±0.03 ^{ab}
80M	0.80±0.04 ^{ab}	13.60±0.91 ^{bcd}	5.84±1.34 ^{ab}	0.42±0.02 ^a	0.46±0.03 ^a
DT	0.74±0.06 ^{bc}	14.97±1.51 ^{bc}	5.51±0.46 ^b	0.29±0.33 ^a	0.37±0.01 ^b
WF	0.85±0.09 ^{ab}	13.57±1.11 ^{bcd}	7.57±0.89 ^a	0.45±0.21 ^a	0.44±0.03 ^{ab}
LD	0.91±0.05 ^a	12.29±1.19 ^d	4.92±1.47 ^b	0.43±0.09 ^a	0.41±0.06 ^{ab}
BD	0.85±0.04 ^{ab}	12.81±0.39 ^{cd}	6.81±0.45 ^{ab}	0.41±0.06 ^a	0.40±0.03 ^{ab}
HD	0.67±0.05 ^c	15.73±1.72 ^{ab}	5.40±0.93 ^b	0.48±0.22 ^a	0.38±0.06 ^b
HS	0.64±0.05 ^c	17.66±1.13 ^a	5.10±0.52 ^b	0.37±0.15 ^a	0.38±0.07 ^b

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

表 2 不同套袋处理东试早柚采收果实品质综合评价
Tab. 2 Comprehensive evaluation of different bagging treatments on fruit quality of Dongshizaoy pummelo at harvest

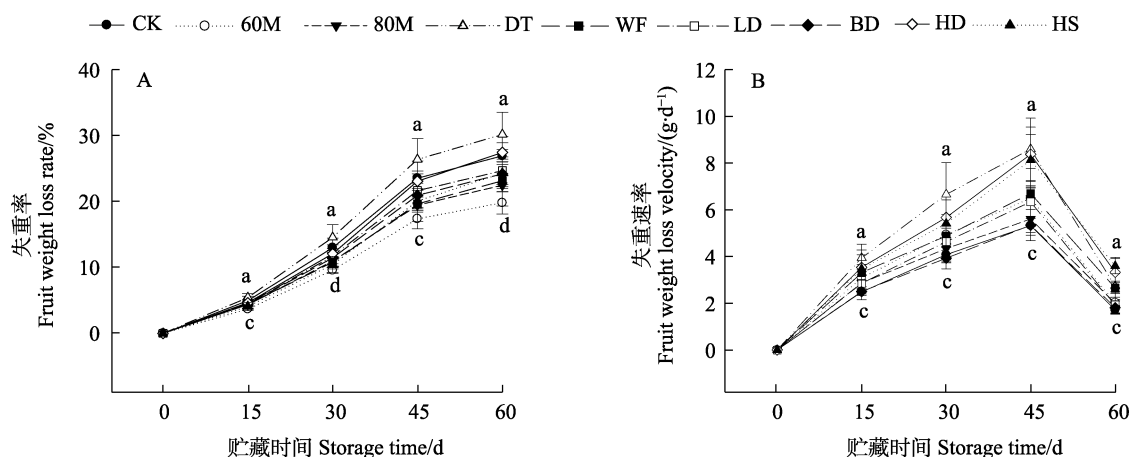
处理 Treatm ent	隶属函数值 Subordinative function value											综合评分 Compre- hensive value	综合 排名 Rank
	单果 质量 Single fruit mass	果皮 厚度 Pericarp thickness	可食率 Edible rate	出汁率 Juice extrac- tion rate	果肉含 水率 Juicy sac moisture content	TSS 含量 TSS con- tent	TA 含量 TA content	固酸比 TSS/TA	可溶性糖 含量 SS content	可溶性蛋 白含量 SP content	Vc 含量 Vc content		
CK	0.32	0.30	0.84	0.39	0.34	0.77	0.19	0.16	0.70	0.84	0.63	0.50	3
60M	0.01	0.18	0.21	0.72	0.62	0.33	0.11	0.00	0.00	0.11	0.26	0.23	9
80M	0.07	0.57	0.14	0.57	0.46	0.45	0.41	0.25	0.38	0.68	1.00	0.45	5
DT	0.07	0.64	0.53	1.00	0.69	0.62	0.63	0.50	0.26	0.00	0.00	0.45	6
WF	0.54	0.26	0.00	0.00	0.00	1.00	0.22	0.24	1.00	0.84	0.81	0.45	7
LD	0.14	0.40	0.39	0.51	0.53	0.64	0.00	0.01	0.05	0.74	0.44	0.35	8
BD	1.00	0.00	0.87	0.74	0.39	0.38	0.22	0.10	0.73	0.63	0.37	0.49	4
HD	0.20	0.47	0.85	0.67	1.00	0.00	0.89	0.64	0.23	1.00	0.11	0.55	2
HS	0.00	1.00	1.00	0.67	0.03	0.87	1.00	1.00	0.12	0.42	0.07	0.56	1

(0.56), 其次为外黄内黑单层纸袋处理(0.55), 均高于 CK 处理(0.50); 白色单层纸袋处理果实综合评价为 0.49, 高于其他套袋处理。

2.3 不同套袋处理对东试早柚果实贮藏性的影响

2.3.1 单果质量变化 常温贮藏条件下, 果实失重率和失重速率如图 1 所示。随着贮藏时间的延长, 果实失重率逐渐升高(图 1A); 失重速率升高后迅速降低, 于贮藏 45 d 时达到峰值(图 1B)。在整个贮藏期间, 单侧透明纸袋处理失重率最大,

其次为 CK、外黄内黑单层纸袋处理, 三者之间差异不显著, 但单侧透明纸袋处理失重率显著高于其他 6 个处理。贮藏 15~45 d 时, 单侧透明纸袋处理失重速率最高, 与外黄内黑单层纸袋、外黄内黑双层纸袋处理三者间差异不显著, 但均显著高于 CK 处理; 贮藏 60 d 时, 外黄内黑单层纸袋、外黄内黑双层纸袋处理失重速率则显著高于 CK 和其他 6 个处理, 说明外黄内黑单层纸袋、外黄内黑双层纸袋处理, 在贮藏后期果实劣变速度较快。



不同小写字母表示同一贮藏时期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters at the same storage time indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 1 不同套袋处理东试早柚贮藏期果实失重率 (A) 和失重速率 (B) 变化

Fig. 1 The variation of fruit weight loss ratio (A) and weight loss velocity (B) of stored Dongshizao pummel with different bagging treatments

2.3.2 可食率、出汁率、果肉含水率变化 由表 3 可知, 在整个贮藏期间, 单侧透明纸袋、白色无纺布袋、外黄内黑单层纸袋和外黄内黑双层纸袋处理果实可食率变化不显著; 不套袋、60 目尼龙网袋、绿色单层纸袋、白色单层纸袋处理果实, 在贮藏 60 d 时可食率显著升高。在贮藏 0~15 d 时, 不同处理间果实可食率差异显著, 而贮藏 30~60 d 时差异不显著, 说明不同套袋处理可食率差异主要由贮藏前期果皮失重导致。贮藏期间, 不套袋、白色单层纸袋处理果实的出汁率变化不显著, 变异系数相对较小(分别为 3.99%、4.74%); 而其他处理贮藏期间出汁率均不同幅度显著降低, 其中绿色单层纸袋、外黄内黑单层纸袋、单侧透明纸袋处理的出汁率变异系数相对较大(分别为 11.68%、12.15%、13.52%), 且贮藏 60 d 时的果肉含水率显著降低。

2.3.3 TSS、TA、TSS/TA 变化 由表 4 可知, 贮

藏 0~30 d 时, 白色无纺布袋、绿色单层纸袋处理果实 TSS 含量逐渐降低, 而其他处理果实 TSS 含量则不同幅度升高后逐渐降低; 贮藏 30~60 d 时, 所有处理果实 TSS 含量均随贮藏时间延长呈逐渐升高趋势。贮藏 0~60 d 时, 外黄内黑单层纸袋、外黄内黑双层纸袋处理果实 TA 含量呈逐渐升高趋势; CK 及其他套袋处理 TA 含量呈先降低后升高趋势。另外, CK 处理果实贮藏期间 TA 含量差异不显著, 而套袋处理果实贮藏期间 TA 含量差异显著, 且各处理 TA 含量变异系数为 8.02%~22.19%。由此可见, 采前套袋处理能够影响果实采后贮藏期间的有机酸代谢, 且套袋果实采后贮藏期间存在明显“返酸”现象, 同时“返酸”现象发生时间及程度受果袋类型的影响。

TSS/TA 是评价果实风味品质的重要指标。采后贮藏期间, 不套袋、80 目尼龙网袋、白色无纺布袋处理果实的 TSS/TA 差异不显著(表 4)。贮

表 3 不同套袋处理东试早柚贮藏期果实可食率、出汁率、果肉含水率变化
Tab. 3 The variation of edible rate, juice extraction rate, juicy sac moisture content of stored Dongshizao
pummel with different bagging treatments

指标 Index	处理 Treatment	贮藏时间 Storage time/d					平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coeffi- cient/%
		0	15	30	45	60			
可食率/%	CK	58.67±3.17 ^{ABb}	61.27±3.57 ^{ABb}	68.46±2.44 ^{Aa}	62.29±0.65 ^{Ab}	70.50±2.62 ^{Aa}	64.24	5.01	7.81
	60M	54.72±1.91 ^{ABb}	56.20±7.35 ^{Bb}	62.10±3.21 ^{Aab}	67.94±2.16 ^{Aa}	66.34±6.08 ^{Aa}	61.46	5.90	9.60
	80M	54.29±2.30 ^{ABa}	56.85±3.20 ^{Bb}	65.13±2.14 ^{Aa}	61.50±1.56 ^{Aa}	63.38±1.98 ^{Aa}	60.23	4.53	7.53
	DT	56.70±2.74 ^{ABa}	65.90±0.42 ^{Aa}	62.85±11.73 ^{Aa}	62.93±5.75 ^{Aa}	70.74±9.80 ^{Aa}	63.82	5.11	8.01
	WF	53.42±3.80 ^{Ba}	59.67±4.61 ^{ABa}	62.32±8.24 ^{Aa}	64.79±15.14 ^{Aa}	64.55±2.75 ^{Aa}	60.95	4.69	7.69
	LD	55.85±2.16 ^{ABc}	60.69±1.70 ^{ABbc}	58.97±4.73 ^{Abc}	64.45±3.17 ^{Aab}	66.20±1.41 ^{Aa}	61.23	4.17	6.81
	BD	58.85±2.65 ^{ABb}	59.53±3.60 ^{ABb}	62.26±1.28 ^{Aab}	68.34±2.15 ^{Aa}	66.80±5.71 ^{Aa}	63.15	4.26	6.75
	HD	58.74±1.70 ^{ABa}	58.58±4.81 ^{ABa}	59.67±1.35 ^{Aa}	57.97±2.15 ^{Aa}	64.26±6.00 ^{Aa}	59.84	2.54	4.25
	HS	59.68±4.09 ^{Aa}	59.09±5.78 ^{ABa}	59.26±4.39 ^{Aa}	60.82±4.33 ^{Aa}	61.82±4.15 ^{Aa}	60.13	1.16	1.93
出汁率/%	CK	74.13±2.18 ^{ABa}	74.24±0.64 ^{CDa}	72.69±2.71 ^{Aa}	68.02±3.52 ^{ABa}	69.29±6.49 ^{ABa}	71.67	2.86	3.99
	60M	77.36±2.18 ^{ABa}	73.40±4.22 ^{CDa}	74.95±2.60 ^{Aa}	63.93±4.41 ^{ABCb}	66.89±3.15 ^{ABb}	71.30	5.66	7.94
	80M	75.90±4.51 ^{ABa}	76.31±0.72 ^{BCDa}	71.29±4.02 ^{Aab}	66.23±4.09 ^{ABbc}	64.55±1.75 ^{ABc}	70.86	5.40	7.62
	DT	80.11±7.82 ^{Aa}	80.48±3.85 ^{ABa}	66.93±6.55 ^{Ab}	58.97±6.61 ^{BCb}	65.54±4.05 ^{ABb}	70.41	9.52	13.52
	WF	70.29±3.64 ^{Bab}	78.79±1.56 ^{ABCa}	67.07±11.38 ^{Ab}	68.87±2.95 ^{Aab}	65.18±2.65 ^{ABb}	70.04	5.25	7.50
	LD	75.25±3.59 ^{ABa}	75.72±2.38 ^{BCDa}	73.70±7.42 ^{Aa}	56.56±5.07 ^{Cb}	66.77±6.40 ^{ABa}	69.60	8.13	11.68
	BD	77.51±1.37 ^{ABa}	75.55±2.28 ^{BCDa}	72.88±8.73 ^{Aa}	68.86±5.09 ^{Aa}	70.96±3.21 ^{Aa}	73.15	3.47	4.74
	HD	76.89±3.43 ^{ABab}	82.00±2.36 ^{Aa}	73.53±2.31 ^{Abc}	59.74±7.24 ^{ABCD}	66.72±3.86 ^{ABcd}	71.78	8.72	12.15
	HS	76.90±1.75 ^{ABa}	71.32±5.49 ^{Dab}	69.37±4.33 ^{Abc}	64.61±4.24 ^{ABCbc}	62.48±1.96 ^{Bc}	68.93	5.69	8.26
果肉含水率/%	CK	87.70±0.61 ^{ABa}	86.67±1.10 ^{Aa}	86.93±0.74 ^{Aa}	85.97±2.92 ^{Aa}	86.40±0.95 ^{Aa}	86.73	0.65	0.75
	60M	88.10±0.36 ^{ABa}	87.60±1.00 ^{Aa}	87.27±0.85 ^{Aa}	86.93±1.08 ^{Aa}	86.83±0.32 ^{Aa}	87.35	0.52	0.59
	80M	87.87±0.06 ^{ABa}	88.07±1.30 ^{Aa}	86.77±0.38 ^{Aa}	86.53±1.16 ^{Aa}	87.20±1.21 ^{Aa}	87.29	0.67	0.77
	DT	88.20±0.56 ^{ABa}	87.27±0.95 ^{Aa}	86.67±0.31 ^{Aab}	86.63±0.85 ^{Aab}	85.33±1.59 ^{Ab}	86.82	1.05	1.20
	WF	87.23±0.40 ^{Ba}	87.50±0.95 ^{Aa}	87.50±0.72 ^{Aa}	87.50±0.61 ^{Aa}	86.37±1.01 ^{Aa}	87.22	0.49	0.56
	LD	87.97±0.81 ^{ABa}	87.67±0.46 ^{Aa}	87.10±0.40 ^{Aab}	86.57±0.25 ^{Abc}	85.80±0.61 ^{Ac}	87.02	0.87	1.00
	BD	87.77±0.38 ^{ABa}	86.73±0.67 ^{Aa}	86.17±2.14 ^{Aa}	85.47±0.29 ^{Aa}	85.47±1.55 ^{Aa}	86.32	0.97	1.12
	HD	88.63±1.37 ^{Aa}	87.47±0.80 ^{Aab}	86.07±1.10 ^{Ab}	87.43±0.95 ^{Aab}	85.77±1.02 ^{Ab}	87.07	1.17	1.34
	HS	87.27±0.40 ^{Ba}	86.53±0.81 ^{Aa}	86.63±0.51 ^{Aa}	87.23±1.05 ^{Aa}	86.27±0.90 ^{Aa}	86.79	0.44	0.51

注:同列数据后不同大写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),同行数据后不同小写字母表示不同贮藏时间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different uppercase letters in the same column indicate significant difference at different treatments ($P<0.05$); Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at different storage time ($P<0.05$).

藏 0~15 d 时, 除外黄内黑双层纸袋处理外, 其他处理果实的 TSS/TA 均不同幅度升高, 其中绿色单层纸袋、白色单层纸袋、60 目尼龙网袋处理果实的 TSS/TA 分别显著升高 24.65%、47.39%、53.26%。贮藏 30 d 时单侧透明纸袋、白色单层纸袋、外黄内黑双层纸袋、外黄内黑单层纸袋、60 目尼龙网袋处理果实的 TSS/TA 较贮藏 15 d 时分别降低 15.65%、23.73%、25.88%、26.02%、31.08%, 且差异显著 ($P<0.05$)。贮藏 30~60 d 时, 绿色单层纸袋处理果实的 TSS/TA 较贮藏 45 d 时显著升高, 而其他处理果实的 TSS/TA 差异不显著。

2.3.4 可溶性糖、可溶性蛋白、Vc 含量变化 由表 5 可知, 不套袋处理果实可溶性糖含量随贮藏时间的延长呈逐渐升高趋势; 而套袋处理果实可溶性糖含量呈动态变化趋势。贮藏 0~15 d 时, 不套袋及套袋处理果实可溶性糖含量均呈不同幅度升高。60 目尼龙网袋、单侧透明纸袋、外黄内黑双层纸袋处理果实贮藏 15 d 时, 80 目尼龙网袋、外黄内黑单层纸袋处理果实贮藏 30 d 时, 白色无纺布袋、绿色单层纸袋、白色单层纸袋处理果实贮藏 45 d 时, 可溶性糖含量达到最大值。从整体来看, 贮藏期间不同处理果实可溶性糖含量变异

表 4 不同套袋处理东试早柚贮藏期果实 TSS、TA 含量及 TSS/TA 变化
Tab. 4 The variation of TSS content, TA content, TSS/TA ratio of stored Dongshizao
pummel with different bagging treatments

指标 Index	处理 Treat- ment	贮藏时间 Storage time/d					平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coeffi- cient/%
		0	15	30	45	60			
TSS 含量/%	CK	11.23±0.21 ^{ABbc}	11.87±0.90 ^{Aab}	10.60±0.36 ^{Ac}	12.03±0.84 ^{ABab}	12.70±0.50 ^{Aa}	11.69	0.80	6.85
	60M	10.77±0.15 ^{BCb}	11.37±0.06 ^{ABab}	9.87±0.31 ^{Ac}	12.03±0.84 ^{ABa}	11.90±0.35 ^{Aa}	11.19	0.89	7.97
	80M	10.90±0.17 ^{ABCb}	11.17±0.29 ^{ABb}	10.73±0.38 ^{Ab}	11.37±0.15 ^{BCb}	12.43±0.76 ^{Aa}	11.32	0.67	5.90
	DT	11.07±0.32 ^{ABCbc}	11.33±0.42 ^{ABbc}	10.33±0.38 ^{Ac}	12.10±0.62 ^{ABab}	13.03±1.40 ^{Aa}	11.57	1.03	8.92
	WF	11.47±0.21 ^{Ab}	10.87±0.15 ^{Bbc}	10.33±0.50 ^{Ac}	11.47±0.12 ^{BCb}	12.57±1.03 ^{Aa}	11.34	0.83	7.34
	LD	11.10±0.53 ^{ABb}	10.80±0.26 ^{Bb}	10.03±0.25 ^{Ac}	11.90±0.46 ^{ABa}	12.57±0.38 ^{Aa}	11.28	0.98	8.71
	BD	10.83±0.21 ^{ABCb}	11.57±0.35 ^{ABab}	10.67±1.16 ^{Ab}	12.67±0.38 ^{Aa}	12.87±0.86 ^{Aa}	11.72	1.02	8.67
	HD	10.43±0.40 ^{Cbc}	10.97±0.35 ^{Bb}	10.17±0.32 ^{Ac}	11.90±0.26 ^{ABa}	12.23±0.35 ^{Aa}	11.14	0.90	8.09
	HS	11.33±0.58 ^{ABab}	11.87±0.45 ^{Aa}	10.30±0.26 ^{Ac}	10.90±0.17 ^{Cbc}	12.20±0.70 ^{Aa}	11.32	0.76	6.68
TA 含量/%	CK	0.86±0.11 ^{Aa}	0.74±0.07 ^{Aa}	0.71±0.06 ^{Ca}	0.83±0.09 ^{ABa}	0.88±0.19 ^{ABa}	0.81	0.07	9.20
	60M	0.88±0.05 ^{Aa}	0.61±0.04 ^{Bb}	0.76±0.03 ^{ABCa}	0.87±0.12 ^{ABa}	0.80±0.05 ^{Ba}	0.78	0.11	14.02
	80M	0.80±0.04 ^{ABab}	0.66±0.01 ^{ABb}	0.75±0.07 ^{ABCab}	0.78±0.10 ^{ABab}	0.85±0.16 ^{ABa}	0.77	0.07	9.09
	DT	0.74±0.06 ^{BCb}	0.66±0.04 ^{ABc}	0.72±0.03 ^{BCbc}	0.83±0.03 ^{ABa}	0.82±0.01 ^{Ba}	0.75	0.07	9.24
	WF	0.85±0.09 ^{ABa}	0.70±0.08 ^{ABb}	0.75±0.03 ^{ABCab}	0.76±0.05 ^{ABab}	0.84±0.03 ^{ABa}	0.78	0.06	8.02
	LD	0.91±0.05 ^{Aa}	0.71±0.04 ^{ABb}	0.72±0.02 ^{ABCb}	0.73±0.03 ^{ABb}	0.86±0.03 ^{ABa}	0.78	0.09	11.71
	BD	0.85±0.04 ^{ABa}	0.61±0.03 ^{Bb}	0.75±0.09 ^{ABCa}	0.84±0.06 ^{ABa}	0.86±0.10 ^{ABa}	0.78	0.10	13.27
	HD	0.67±0.05 ^{Cb}	0.67±0.13 ^{ABb}	0.81±0.03 ^{ABa}	0.89±0.09 ^{Aa}	0.87±0.02 ^{ABa}	0.78	0.11	13.95
	HS	0.64±0.05 ^{Cb}	0.70±0.03 ^{ABb}	0.82±0.04 ^{Ab}	0.83±0.05 ^{Bb}	1.11±0.32 ^{Aa}	0.82	0.18	22.19
固酸比 TSS/TA	CK	13.14±1.59 ^{CDa}	16.11±1.72 ^{ABa}	14.93±1.36 ^{Aa}	14.49±0.74 ^{ABa}	14.91±2.89 ^{ABa}	14.71	1.07	7.27
	60M	12.26±0.67 ^{Db}	18.79±1.32 ^{Aa}	12.95±0.84 ^{ABb}	14.09±2.43 ^{ABb}	14.85±0.96 ^{ABb}	14.59	2.56	17.52
	80M	13.60±0.91 ^{BCDa}	16.84±0.52 ^{ABa}	14.44±1.16 ^{ABa}	14.70±1.55 ^{ABa}	15.00±3.03 ^{ABa}	14.92	1.19	8.00
	DT	14.97±1.51 ^{BCab}	17.12±0.97 ^{ABa}	14.44±0.95 ^{ABb}	14.61±1.17 ^{ABab}	15.97±1.83 ^{Ab}	15.42	1.12	7.25
	WF	13.57±1.11 ^{BCDa}	15.57±1.54 ^{ABa}	13.74±1.03 ^{ABa}	15.05±0.76 ^{ABa}	14.94±1.71 ^{ABa}	14.57	0.88	6.01
	LD	12.29±1.19 ^{Dc}	15.32±1.12 ^{Bab}	13.88±0.56 ^{ABbc}	16.41±1.35 ^{Aa}	14.63±0.70 ^{ABab}	14.50	1.55	10.70
	BD	12.81±0.39 ^{CDb}	18.88±1.00 ^{Aa}	14.40±1.95 ^{ABb}	15.21±1.49 ^{ABb}	15.09±1.98 ^{ABb}	15.28	2.23	14.61
	HD	15.73±1.72 ^{ABab}	16.99±4.16 ^{ABa}	12.57±0.84 ^{Bb}	13.40±1.23 ^{Bab}	14.07±0.61 ^{ABab}	14.55	1.79	12.30
	HS	17.66±1.13 ^{Aa}	17.04±0.52 ^{ABa}	12.63±0.79 ^{Bb}	13.10±0.54 ^{Bb}	11.42±2.52 ^{Bb}	14.37	2.79	19.45

注：同列数据后不同大写字母表示不同处理间差异显著（ $P<0.05$ ），同行数据后不同小写字母表示不同贮藏时间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different uppercase letters in the same column indicate significant difference at different treatments ($P<0.05$); Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at different storage time ($P<0.05$).

系数为 13.54%~24.86%，其中外黄内黑双层纸袋处理变异系数最大（24.86%），其次为外黄内黑单层纸袋处理（24.16%）。

由表 5 可知，贮藏期间不同处理果实可溶性蛋白、Vc 含量均呈动态变化趋势。在整个贮藏期间，60 目尼龙网袋、单侧透明纸袋处理可溶性蛋白含量差异不显著；而其他处理果实贮藏 60 d 时的可溶性蛋白含量较贮藏 0 d 时均显著降低（ $P<0.05$ ）。从整体来看，果实采后贮藏期间可溶性蛋白含量变化较大，变异系数为 12.75%~45.56%。外黄内黑双层纸袋、80 目尼龙网袋、白

色无纺布袋处理，果实贮藏期间 Vc 含量差异显著，分别于贮藏 15、45、60 d 时最高。

2.4 不同套袋处理东试早柚果实贮藏品质综合评价

采用隶属函数法对果实采后贮藏品质进行综合评价，鉴于上述 10 项果实品质指标对贮藏性有正面也有负面影响，因此选取可食率、出汁率、果肉含水率、TSS 含量、TSS/TA、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、Vc 含量等 8 项指标，通过隶属函数法分别计算隶属函数值；失重率和 TA 含量 2 项指标，采用反隶属函数法计算隶属函数值，最

表 5 不同套袋处理东试早柚贮藏期果实可溶性糖、可溶性蛋白、Vc 含量变化
Tab. 5 The variation of soluble sugar content, soluble protein content, vitamin C content of stored Dongshizao pummel with different bagging treatments

指标 Index	处理 Treat- ment	贮藏时间 Storage time/d					平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable co- efficient/%
		0	15	30	45	60			
可溶性糖含量 (mg·g ⁻¹)	CK	6.73±1.59 ^{ABb}	7.85±1.24 ^{Bab}	8.19±0.46 ^{Aab}	9.24±0.98 ^{ABa}	9.80±1.42 ^{Aa}	8.36	1.20	14.37
	60M	4.77±1.34 ^{Bb}	7.20±0.50 ^{Ba}	6.68±1.62 ^{Aab}	6.06±0.23 ^{CDab}	6.43±0.78 ^{BCab}	6.23	0.91	14.68
	80M	5.84±1.34 ^{ABb}	6.91±0.92 ^{Bab}	9.03±1.83 ^{Aa}	6.79±1.37 ^{BCDab}	5.65±1.22 ^{BCb}	6.84	1.34	19.63
	DT	5.51±0.46 ^{Bc}	8.46±0.74 ^{ABa}	8.03±1.17 ^{Aab}	6.02±1.76 ^{CDbc}	7.01±0.87 ^{Babc}	7.00	1.26	18.03
	WF	7.57±0.89 ^{Aab}	8.10±1.03 ^{ABa}	7.39±1.10 ^{Aab}	8.51±1.08 ^{ABCa}	5.86±0.67 ^{BCb}	7.49	1.01	13.54
	LD	4.92±1.47 ^{Bb}	7.20±1.30 ^{Bab}	7.46±1.54 ^{Aab}	9.17±1.54 ^{ABa}	6.46±0.42 ^{BCb}	7.04	1.55	21.98
	BD	6.81±0.45 ^{ABb}	9.86±0.58 ^{Aa}	7.58±2.19 ^{Ab}	10.41±1.32 ^{Aa}	6.64±0.69 ^{Bb}	8.26	1.76	21.28
	HD	5.40±0.93 ^{Bb}	8.29±1.24 ^{ABa}	9.08±1.22 ^{Aa}	6.13±0.58 ^{CDb}	5.63±0.49 ^{BCb}	6.91	1.67	24.16
	HS	5.10±0.52 ^{Bb}	8.38±1.04 ^{ABa}	7.68±2.04 ^{Aab}	5.64±2.11 ^{Db}	4.94±0.47 ^{Cb}	6.35	1.58	24.86
可溶性蛋白含量 (mg·g ⁻¹)	CK	0.45±0.07 ^{Aa}	0.31±0.01 ^{Abc}	0.24±0.04 ^{Ac^d}	0.34±0.05 ^{ABb}	0.18±0.03 ^{ABCd}	0.30	0.10	33.32
	60M	0.31±0.25 ^{Aa}	0.23±0.10 ^{Aa}	0.28±0.02 ^{Aa}	0.27±0.02 ^{Ba}	0.13±0.01 ^{CDa}	0.24	0.07	28.99
	80M	0.42±0.02 ^{Aa}	0.25±0.05 ^{Ab}	0.24±0.01 ^{Abc}	0.28±0.02 ^{ABb}	0.18±0.05 ^{ABCc}	0.27	0.09	32.77
	DT	0.29±0.33 ^{Aa}	0.26±0.05 ^{Aa}	0.26±0.05 ^{Aa}	0.32±0.04 ^{ABa}	0.23±0.04 ^{Aa}	0.27	0.03	12.75
	WF	0.45±0.21 ^{Aa}	0.29±0.01 ^{ABb}	0.25±0.03 ^{Ab}	0.29±0.01 ^{ABab}	0.16±0.02 ^{BCDb}	0.29	0.10	36.20
	LD	0.43±0.09 ^{Aa}	0.23±0.05 ^{Ab}	0.24±0.04 ^{Ab}	0.36±0.06 ^{Aa}	0.11±0.03 ^{Dc}	0.27	0.12	45.56
	BD	0.41±0.06 ^{Aa}	0.23±0.07 ^{Ab}	0.29±0.05 ^{Ab}	0.29±0.02 ^{ABb}	0.20±0.04 ^{ABb}	0.28	0.08	27.66
	HD	0.48±0.22 ^{Aa}	0.24±0.03 ^{Ab}	0.23±0.05 ^{Ab}	0.35±0.04 ^{ABab}	0.23±0.01 ^{Ab}	0.31	0.11	35.80
	HS	0.37±0.15 ^{Aa}	0.28±0.03 ^{ABb}	0.25±0.05 ^{ABb}	0.34±0.08 ^{ABab}	0.19±0.05 ^{ABCb}	0.29	0.07	24.86
Vc 含量 (mg·g ⁻¹)	CK	0.43±0.01 ^{ABa}	0.42±0.05 ^{ABa}	0.43±0.03 ^{Aa}	0.46±0.08 ^{Aa}	0.40±0.05 ^{Aa}	0.43	0.02	5.32
	60M	0.39±0.03 ^{ABa}	0.41±0.04 ^{ABa}	0.37±0.02 ^{Aa}	0.40±0.12 ^{Aa}	0.42±0.01 ^{Aa}	0.40	0.02	4.65
	80M	0.46±0.03 ^{Aa}	0.36±0.01 ^{Bb}	0.41±0.01 ^{ABb}	0.46±0.02 ^{Aa}	0.39±0.07 ^{ABb}	0.42	0.04	10.67
	DT	0.37±0.01 ^{Ba}	0.41±0.05 ^{ABa}	0.40±0.06 ^{Aa}	0.46±0.05 ^{Aa}	0.45±0.08 ^{Aa}	0.42	0.04	8.76
	WF	0.44±0.03 ^{ABab}	0.37±0.02 ^{Bbc}	0.36±0.04 ^{Ac}	0.43±0.07 ^{Abc}	0.46±0.03 ^{Aa}	0.41	0.04	10.59
	LD	0.41±0.06 ^{ABa}	0.40±0.06 ^{ABa}	0.35±0.02 ^{Aa}	0.44±0.06 ^{Aa}	0.40±0.03 ^{Aa}	0.40	0.03	8.05
	BD	0.40±0.03 ^{ABa}	0.49±0.04 ^{Aa}	0.40±0.06 ^{Aa}	0.45±0.05 ^{Aa}	0.52±0.13 ^{Aa}	0.46	0.05	11.77
	HD	0.38±0.06 ^{Ba}	0.41±0.06 ^{ABa}	0.38±0.06 ^{Aa}	0.46±0.09 ^{Aa}	0.47±0.09 ^{Aa}	0.42	0.04	10.12
	HS	0.38±0.07 ^{Bab}	0.47±0.08 ^{Aa}	0.35±0.02 ^{Ab}	0.39±0.05 ^{ABb}	0.42±0.04 ^{ABb}	0.40	0.05	11.64

注:同列数据后不同大写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),同行数据后不同小写字母表示不同贮藏时间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different uppercase letters in the same column indicate significant difference at different treatments ($P<0.05$); Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at different storage time ($P<0.05$).

终计算所有指标隶属函数平均值即为综合得分。分别计算不同处理贮藏 15、30、45、60 d 时的综合得分,综合得分值越大,综合品质越好;反之则越差。

由图 2 可知,不套袋、80 目尼龙网袋处理果实贮藏 30 d 时的综合得分最高(分别为 0.72、0.68),该贮藏时期不套袋果实的可食率、TSS/TA、Vc 含量等指标最高,且 TA 含量最低;而 80 目尼龙网袋处理果实的 TSS 含量和可溶性糖含量相对较高(表 3~表 5)。绿色单层纸袋、白色无纺布袋处理果实贮藏 45 d 时的综合得分最高(0.67、

0.65),其中绿色单层纸袋处理果实 TSS/TA 和可溶性蛋白含量较高,且 TA 含量最低;白色无纺布袋处理果实的出汁率和果肉含水率较高(图 2,表 3~表 5)。从整体来看,白色单层纸袋处理果实的综合得分随贮藏时间的延长呈逐渐升高趋势,其中贮藏 45、60 d 时的综合得分均高于其他处理;其平均综合得分(0.65)高于不套袋和其他套袋处理,且综合得分变异系数(5.14%)最小(图 2,表 6)。说明白色单层纸袋处理果实采后贮藏期间综合品质相对较高,品质变化幅度较小,较耐贮藏。

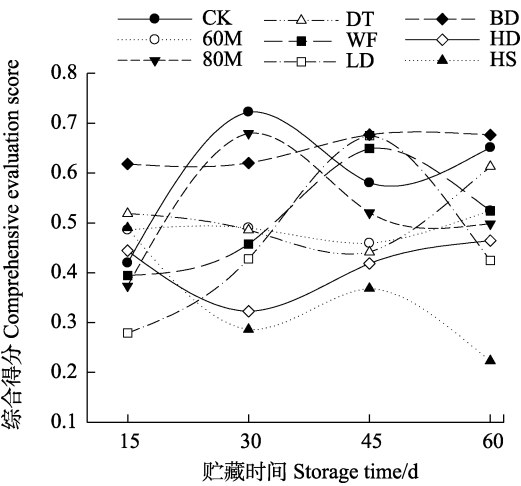


图 2 不同套袋处理东试早柚贮藏期果实品质隶属函数综合评价

Fig. 2 Comprehensive evaluation of fruit quality in stored Dongshizao pummelo with different bagging treatments

表 6 不同套袋处理东试早柚果实贮藏品质综合得分及变异系数

Tab. 6 Average comprehensive score and comprehensive score variable coefficient of stored Dongshizao pummel with different bagging treatments

处理 Treatment	平均综合得分 Average comprehensive score	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coefficient/%
CK	0.59	0.13	21.82
60M	0.49	0.03	5.44
80M	0.52	0.13	24.26
DT	0.51	0.07	14.12
WF	0.51	0.11	21.51
LD	0.45	0.16	36.39
BD	0.65	0.03	5.14
HD	0.41	0.06	15.21
HS	0.34	0.12	33.69

3 讨论

套袋主要通过改变果袋内微环境的光照、温度、湿度等因素，对果实生长发育及物质代谢进行调控，从而影响果实品质^[16]。诸多研究表明，采前套袋处理会对果实质量和果皮厚度产生影响，但影响效果存在争论。有研究发现，套袋能够有效提高金兰柚^[17-18]、蜜橘^[19]单果质量和果皮厚度，而另有研究表明套袋能够降低纽荷尔脐橙^[20]、马家柚^[8]、金沙柚^[9]、三红柚和琯溪蜜柚^[10]单果质量，对金桔蜜柚^[21]、广丰马家柚^[22]单果质量无显著影响，但显著降低果皮厚度；而套袋对马来西亚蜜柚果实质量和果皮厚度无影响^[12]。本研究

发现，不同套袋处理对东试早柚单果质量和果皮厚度有正面和负面影响，这可能是由于不同类型果袋内温度、湿度、光照、气等条件差异影响果实的生长发育导致^[23-24]。白色单层纸袋处理的单果质量显著增加，原因可能是白色单层纸袋形成的微环境有利于果实生长和物质的积累。

果实内在品质是决定果实商品性优劣的关键，诸多研究表明套袋对果实内在品质既有正面也有负面影响。有研究表明，套袋降低金兰柚^[18]、塔罗科血橙^[25]、三红柚和琯溪蜜柚^[7]的可溶性固形物、可溶性糖含量及固酸比，可能是由于套袋形成高温高湿和弱光环境，提高了果实的呼吸强度，使得碳水化合物的消耗增加，同时果实中同化物的分配和积累受到影响^[26-27]。也有研究发现，套袋能够提高椪柑^[5]、青皮红心柚^[11]、爱媛 28^[28]的可溶性固形物含量，降低可滴定酸和 Vc 含量^[29-30]，从而提高固酸比和糖酸比。推测由于套袋改变袋内果实所处环境的温度、湿度，导致果实蔗糖合成相关基因表达水平上调，增强果实对同化物的调运能力，从而促进光合产物在果实中的积累导致；并且通过柠檬酸合成和降解相关基因表达水平来调控柠檬酸含量，导致果实内在品质的提升^[5, 28]。本研究发现，不同类型果袋套袋对东试早柚果实内在品质有正面效应也有负面效应，推测可能由于不同类型果袋形成的微环境差异，进而影响果实内在品质的形成。外黄内黑单层和双层纸袋处理果实总酸含量显著降低，其原因可能由于果袋透气性差，果袋内温度的升高加快酸的降解以及合成酸的能力降低^[20]，导致果实中酸含量较低，从而提升果实内在品质。

贮藏品质是决定果实商品性和货架期的重要因素，而失重率是一项重要果实贮藏品质评价指标，不仅反映果实失水状况，还间接反映果实的呼吸强度^[31-32]。本研究发现，果实失重率随着贮藏时间延长而逐渐升高，除单侧透明纸袋处理外的其他处理果实失重率均低于不套袋处理，这与林燕金等^[33]、黄成思等^[34]关于套袋能够延缓黄金蜜柚、金沙柚果实失重的研究结果类似。前人研究表明，套袋能够改变果皮结构^[35-36]。果实水分散失主要通过皮孔和角质层裂缝，而果实套袋后果皮表面皮孔数量减少，使得果实贮藏期间不易失水^[37]。单侧透明纸袋处理果实失重率较高，说明其果皮更容易失水。在同一贮藏时期，不同套袋处理间果肉含水率差异不显著；而贮藏 45~

60 d 时, 单侧透明纸袋、绿色单层纸袋、外黄内黑单层纸袋处理果实果肉含水率显著降低, 这可能是由于随着呼吸强度的增加, 果肉组织细胞膜被破坏, 束缚水转为自由水被蒸发耗散, 导致含水率降低^[38], 也意味着果肉组织衰老粒化。

采后贮藏过程中, 果实通过呼吸作用维持正常生命活动, 糖、有机酸、蛋白质等物质作为底物逐渐被消耗。贮藏前期可溶性糖含量均不同幅度升高, 是由于非糖物质在相关酶作用下转化成糖类; 随着贮藏时间的延长, 由于果肉组织呼吸作用的不断消耗, 以及糖在转运蛋白的作用下向果皮运输, 用于维持果皮的生命活动, 最终导致含糖量降低^[39-41]。贮藏期间, 果实中酸含量随贮藏时间的延长呈先降低后升高的趋势, 这与琯溪蜜柚^[42]、沙田柚^[43]贮藏过程中有机酸含量变化规律相似, 这可能是由于柠檬酸的异常积累^[44], 最终导致果实“返酸”现象。可溶性固形物含量整体呈升高趋势, 这与谭李梅等^[45]的研究结果类似, 其原因可能是随着呼吸强度的增加, 多糖的水解使得可溶性固形物质量分数升高^[46]。采后贮藏期间果肉组织中可溶性糖、可溶性蛋白、总酸含量变异系数较大, 这是由于贮藏过程中糖、有机酸、蛋白质等物质作为呼吸底物逐渐被消耗, 致使其含量始终处于动态变化中, 最终导致贮藏期间果实品质的动态变化^[47]。综合评价结果表明, 白色单层纸袋套袋处理果实贮藏期间综合品质变化幅度较小, 且综合品质保持相对较高; 而其他套袋处理果实贮藏品质均低于不套袋处理, 且贮藏品质变化幅度较大。

综上所述, 套袋不仅影响东试早柚果实采收品质, 还影响采后贮藏性。采用外黄内黑单层纸袋和外黄内黑单层纸袋进行果实套袋, 采收时果实综合品质高于不套袋处理, 但采后综合品质变化幅度较大且不耐贮藏; 而白色单层纸袋套袋处理果实采收时综合品质略低于不套袋处理, 但采后综合品质变化幅度较小, 耐贮藏性较好。

参考文献

- [1] 魏志峰, 李秋利, 高登涛, 杨文佳, 刘军伟, 韩园园. 果实套袋对果实品质影响研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 36-41.
WEI Z F, LI Q L, GAO D T, YANG W J, LIU J W, HAN Y Y. Effects of bagging on fruit quality: a review[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(24): 36-41. (in Chinese)
- [2] 王贵平, 翟浩, 陈汝, 路超, 薛晓敏, 王金政. 不同类型果袋微环境对富士苹果果实发育和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(17): 138-142.
WANG G P, ZHAI H, CHEN R, LU C, XUE X M, WANG J Z. Impacts of different types of fruit bag microenvironment on fruit development and quality of Fuji apple[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(17): 138-142. (in Chinese)
- [3] 李刚波, 樊继德, 赵林, 张婷, 张梅, 常有宏, 蔺经, 杨峰. 套袋微环境特征及其对早熟梨果实品质的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(9): 1882-1890.
LI G B, FAN J D, ZHAO L, ZHANG T, ZHANG M, CHANG Y H, LIN J, YANG F. Changes of microenvironment in different bagging time and their effects on fruit quality of early-maturing pear[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(9): 1882-1890. (in Chinese)
- [4] 叶令帅, 刁松峰, 傅建敏. 套袋处理对涩柿果实品质性状的影响[J]. 经济林研究, 2023, 41(2): 282-289.
YE L S, DIAO S F, FU J M. Effect of bagging on persimmon fruit quality characteristics[J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(2): 282-289. (in Chinese)
- [5] 石莹, 陈思怡, 曾译可, 唐俊, 李迪平, 李国敬, 黄先彪, 李春龙, 谢宗周, 刘继红. 套袋提升椪柑果实品质的作用机制[J]. 中国农业科学, 2023, 56(14): 2776-2786.
SHI Y, CHEN S Y, ZENG Y K, TANG J, LI D P, LI G J, HUANG X B, LI C L, XIE Z Z, LIU J H. Mechanism underlying the improved quality of bagged fruits in ponkan[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(14): 2776-2786. (in Chinese)
- [6] 马创举, 吴群, 孙建城, 陈俊, 刘丽丽, 王登亮. 套袋对柑橘果实微环境及品质的影响[J]. 中国果树, 2025(1): 77-82.
MA C J, WU Q, SUN J C, CHEN J, LIU L L, WANG D L. Effects of bagging on the microenvironment and quality of citrus fruit[J]. China Fruits, 2025(1): 77-82. (in Chinese)
- [7] 吴世涛, 余文琴, 李水祥, 陈晶英, 孙宇晨, 马文, 王杰. 套袋对‘三红蜜柚’果实着色的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(5): 687-695.
WU S T, SHE W Q, LI S X, CHEN J Y, SUN Y C, MA W, WANG J. Effects of bagging on rind pigmentation of 'Sanhongmiyou' fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(5): 687-695. (in Chinese)
- [8] 谢婧蕻, 杨莉, 旦世浩, 邱丽, 张王妮, 刘德春, 胡威, 刘勇. 套袋对马家柚果实外观及内在品质的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(1): 229-237.
XIE J H, YANG L, DAN S T, QIU L, ZHANG W N, LIU D C, HU W, LIU Y. Effect of bagging on fruit appearance and inner quality of Majia pomelo[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(1): 229-237. (in Chinese)
- [9] 文婷, 靳三鹏, 杨莉, 刘德春, 胡威, 匡柳春, 刘勇. 不同套袋处理对金沙柚果实品质的影响[J]. 江西农业大学学

- 报, 2023, 45(1): 78-87.
- WEN T, JIN S P, YANG L, LIU D C, HU W, KUANG L C, LIU Y. Effects of different bagging treatments on the quality of Jinsha pomelo[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2023, 45(1): 78-87. (in Chinese)
- [10] 吴世涛, 余文琴, 黄菊升. 不同套袋对 2 个柚品种果实品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(14): 150-153.
- WU S T, SHE W Q, HUANG J S. Effect of paper bagging on fruit quality of two pomelo varieties[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(14): 150-153. (in Chinese)
- [11] 赵东兴, 李春, 赵志昆, 岳建伟, 杨永智, 陈林杨. 不同材质果袋对青皮红心柚果实品质影响[J]. *热带农业科学*, 2021, 41(3): 7-10.
- ZHAO D X, LI C, ZHAO Z K, YUE J W, YANG Y Z, CHEN L Y. Effect of different bagging materials on the quality of grapefruit with green skin and red pulp[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2021, 41(3): 7-10. (in Chinese)
- [12] 冯方茂, 曾丽萍, 姜成东, 李雪青, 关潇, 刘香. 套袋对‘马来西亚’蜜柚果实品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(17): 264-267.
- FENG F M, ZENG L P, JIANG C D, LI X Q, GUAN X, LIU X. Effects of bagging on fruit quality of ‘Malaysia’ sweet pummelo[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(17): 264-267. (in Chinese)
- [13] 徐祥增, 邓乐晔, 张小娇, 王勇方, 高世德. 柚和葡萄柚花粉直感对东试早柚果实生长及品质的影响[J]. *果树学报*, 2024, 41(4): 665-678.
- XU X Z, DENG Y Y, ZHANG X J, WANG Y F, GAO S D. Effects of grapefruit and pummelo pollens on fruit growth and quality of Dongshizao pummelo[J]. *Journal of Fruit Science*, 2024, 41(4): 665-678. (in Chinese)
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. (in Chinese)
- [15] 孙佩光, 程志号, 孙长君, 吴琼, 郭素霞, 郭刚, 李洪立. 16 份火龙果种质资源果实营养品质分析[J]. *分子植物育种*, 2022, 20(19): 6585-6592.
- SUN P G, CHENG Z H, SUN C J, WU Q, GUO S X, GUO G, LI H L. Analysis of fruit nutritional quality of 16 pitaya germplasm resources[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(19): 6585-6592. (in Chinese)
- [16] 郝燕燕, 李妙玲, 张惠荣, 牛铁荃. 套袋微环境对果实品质的影响及其机理分析[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2003(3): 238-241, 260.
- HAO Y Y, LI M L, ZHANG H R, NIU T Q. Influences on fruit quality under the microenvironment of bagging and analysis about its mechanism[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2003(3): 238-241, 260. (in Chinese)
- [17] TANG Y Q, YAN C P, WANG Y T, HU Z D, ZHU F H. Effects of different bagging treatments on fruit quality of Jinlan pomelo[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2022, 23(1): 1-5.
- [18] 汤雨晴, 朱方红, 胡钟东, 闫承璞, 王雨亭. 不同套袋时间对金兰柚果实品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2023, 51(7): 36-40.
- TANG Y Q, ZHU F H, HU Z D, YAN C P, WANG Y T. Effects of different bagging time on fruit quality of Jinlan pomelo[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2023, 51(7): 36-40. (in Chinese)
- [19] 冉皓杰, 范诗雨, 曾凯芳, 邓丽莉. 采前套袋处理对蜜橘采后乙烯褪绿行为和贮藏特性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(13): 221-226.
- RAN H J, FAN S Y, ZENG K F, DENG L L. Effect of pre-harvest bagging treatment on postharvest degreening behavior and storage characteristics of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit[J]. *Food Science*, 2020, 41(13): 221-226. (in Chinese)
- [20] 淳长品, 彭良志, 曹立, 江才伦, 雷霆, 王振兴, 王雪生, 唐海涛. 不同纸袋套袋对纽荷尔脐橙果实品质的效应研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2008(4): 106-110.
- CHUN C P, PENG L Z, CAO L, JIANG C L, LEI T, WANG Z X, WANG X S, TANG H T. Effect of bagging with different paper bags on fruit quality of Newhall navel orange[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2008(4): 106-110. (in Chinese)
- [21] 刘要鑫, 陈香玲, 欧智涛, 李果果, 仇惠君, 陈东奎, 廖惠红, 赵洪涛, 黄其椿, 李珍, 廖荣珍, 罗秋娟. 不同套袋处理对金桔蜜柚果实品质及果皮转色的影响[J]. *中国南方果树*, 2019, 48(5): 21-23.
- LIU Y X, CHEN X L, OU Z T, LI G G, QIU H J, CHEN D K, LIAO H H, ZHAO H T, HUANG Q C, LI Z, LIAO R Z, LUO Q J. Effect of different bagging treatments on fruit quality and fruit color changing of Jinju pummelo[J]. *South China Fruits*, 2019, 48(5): 21-23. (in Chinese)
- [22] 吴方方, 程玉芬, 谢金长, 韦柳成, 黄昌新, 毛祥青. 套袋对广丰马家柚果实品质的影响[J]. *中国南方果树*, 2015, 44(4): 35-37, 40.
- WU F F, CHENG Y F, XIE J C, WEI L C, HUANG C X, MAO X Q. Effects of bagging on fruit quality of Guangfeng majiayou pummelo[J]. *South China Fruits*, 2015, 44(4): 35-37, 40. (in Chinese)
- [23] 王小媚, 刘业强, 任惠, 苏伟强, 李果果, 方位宽. 不同材质果袋夏季套袋对大果甜杨桃果实品质和发育的影响[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(23): 43-46.
- WANG X M, LIU Y Q, REN H, SU W Q, LI G G, FANG W

- K. Effects of different material fruit bags on quality and development of *Averrhoa carambola* fruit in summer[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(23): 43-46. (in Chinese)
- [24] 张斌斌, 马瑞娟, 蔡志翔, 张春华, 颜志梅. 采前套袋微环境变化对桃果实品质的影响[J]. 植物生理学报, 2015, 51(2): 233-240.
- ZHANG B B, MA R J, CAI Z X, ZHANG C H, YAN Z M. Effects of preharvest micro-environment inside baggs on peach fruit quality[J]. Plant Physiology Journal, 2015, 51(2): 233-240. (in Chinese)
- [25] QI S, LI Z, XI W P, HE S L, YI S L, LV Q, ZENG Y Q, LIE D, XIE R J. Transcriptome analysis of blood orange (*Citrus sinensis*) following fruit bagging treatment by digital gene expression profiling[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2014, 89(4): 397-407
- [26] 陈俊伟, 张上隆, 张良诚, 徐昌杰, 陈昆松. 柑橘果实遮光处理对发育中的果实光合产物分配、糖代谢与积累的影响[J]. 植物生理学报, 2001(6): 499-504.
- CHEN J W, ZHANG S L, ZHANG L C, XU C J, CHEN K S. Effects of fruit shading on photosynthate partitioning, sugar metabolism and accumulation in developing satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2001(6): 499-504. (in Chinese)
- [27] 周兴本, 郭修武. 套袋对红地球葡萄果实发育过程中糖代谢及转化酶活性的影响[J]. 果树学报, 2005(3): 207-210.
- ZHOU X B, GUO X W. Effects of bagging on the fruit sugar metabolism and invertase activities in Red Globe grape during fruit development[J]. Journal of Fruit Science, 2005(3): 207-210. (in Chinese)
- [28] 杨晓婷. 不同中间砧以及套袋对‘爱媛 28’果实品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- YANG X T. Effect of different intermediate rootstocks and bagging on fruit quality of ‘Ehime 28’ [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022. (in Chinese)
- [29] 张义, 王雪芳. 套袋对温州蜜柑果实品质的效应[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(6): 1165-1168.
- ZHANG Y, WANG X F. Effects of bagging on fruit qualities of *Citrus reticulata* cv. unshiu[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(6): 1165-1168. (in Chinese)
- [30] 王贵元, 金铃, 夏仁学. 套袋对纽荷尔脐橙果实品质的影响[J]. 亚热带植物科学, 2003(4): 8-10.
- WANG G Y, JIN L, XIA R X. Effect of bagging on fruit quality of *Newhall navel* orange[J]. Subtropical Plant Science, 2003(4): 8-10. (in Chinese)
- [31] ZHANG M, YANG H, ZHU F, XU R, CHENG Y. Transcript profiles analysis of citrus aquaporins in response to fruit water loss during storage[J]. Plant Biology, 2021, 23(5): 819-830.
- [32] 韩春红, 王倩, 张向展, 李博, 陈迪新, 薛华柏. 采前套袋栽培对“红香酥”梨果品质和鲜切保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2023(2): 80-87.
- HAN C H, WANG Q, ZHANG X Z, LI B, CHEN D X, XUE H B. Effects of bagged cultivation pre-harvest on fruit quality and fresh-cut fresh-keeping effect of ‘Hongxiangsu’ pear[J]. Northern Horticulture, 2023(2): 80-87. (in Chinese)
- [33] 林燕金, 林旗华, 姜翠翠, 黄雄峰, 卢新坤. 套袋对‘黄金蜜柚’果实贮藏品质的影响[J]. 福建农业学报, 2014, 29(9): 870-873.
- LIN Y J, LIN Q H, JIANG C C, HUANG X F, LU X K. Effect of bagging on storage quality of ‘Huangjinmiyou’ pomelo[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29(9): 870-873. (in Chinese)
- [34] 黄成思, 苏智先, 胡进耀, 万洪森, 王玲玲. 套袋对新都柚果实贮藏品质影响的研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(6): 1661-1663.
- HUANG C S, SU Z X, HU J Y, WAN H S, WANG L L. Effect of bagging on storage quality of Xindu pumelo[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 21(6): 1661-1663. (in Chinese)
- [35] 李丹, 关军锋, 韩亚楠, 吴子龙, 殷春燕. 套袋对鸭梨果实蜡质组分及贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(20): 349-358.
- LI D, GUAN J F, HAN Y N, WU Z L, YIN C Y. Effect of bagging on wax components and storage quality of ‘Yali’ pear[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(20): 349-358. (in Chinese)
- [36] 陶世蓉. 梨果实结构与耐贮性及品质关系的研究[J]. 西北植物学报, 2000(4): 544-548, 699.
- TAO S R. Studies on the relationship among the structure store resistance and quality of fruit of pear[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2000(4): 544-548, 699. (in Chinese)
- [37] 岳正洋. 不套袋栽培对苹果果实品质及耐贮性的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021.
- YUE Z Y. Effects of non-bagging cultivation on quality and storability of apple[D]. Xianyang: College of Horticulture Northwest A & F University, 2021. (in Chinese)
- [38] 郑国华, 潘东明, 丘友萍, 潘文国. 柚果实采后组织含水量、保护酶活性与汁胞粒化的关系[J]. 福建农业大学学报, 1999(4): 428-433.
- ZHENG G H, PAN D M, QIU Y P, PAN W G. Water content of tissues, protective enzyme activity and their relationship to juicy sac granulation in pummelo at postharvest stage[J]. Journal of Fujian Agriculture University, 1999(4): 428-433. (in Chinese)
- [39] WANG S C, TU H, WAN J, CHEN W, LIU X Q, LUO J, XU J, ZHANG H Y. Spatio-temporal distribution and natural

- variation of metabolites in citrus fruits[J]. Food Chemistry, 2016, 199: 8-17.
- [40] DING Y D, CHANG J W, MA Q L, CHEN L L, LIU S Z, JIN S, HAN J W, XUE R W, ZHU A D, GUO J, LUO Y, XU J, XU Q, ZENG Y L, DENG X X, CHENG Y J. Network analysis of postharvest senescence process in citrus fruits revealed by transcriptomic and metabolomic profiling[J]. Plant Physiology, 2015, 168(1): 357-76.
- [41] DENG S Y, MAI Y T, NIU J. Fruit characteristics, soluble sugar compositions and transcriptome analysis during the development of *Citrus maxima* 'seedless', and identification of SUS and INV genes involved in sucrose degradation[J]. Gene, 2019, 689: 131-140.
- [42] 张小红, 赵依杰, 潘东明, 林航. 琯溪蜜柚果实采后有机酸代谢[J]. 果树学报, 2010, 27(2): 193-197.
- ZHANG X H, ZHAO Y J, PAN D M, LIN H. Study on the post-harvest metabolism of organic acids in fruit of Guanxi-miyu pomelo cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(2): 193-197. (in Chinese)
- [43] 刘萍, 牛英, 邓光宙, 刘冰浩, 范七君, 娄兵海. 室温和低温贮藏沙田柚果实的有机酸含量变化[J]. 南方农业学报, 2016, 47(9): 1542-1546.
- LIU P, NIU Y, DENG G Z, LIU B H, FAN Q J, LOU B H. Variation of organic acids in *Citrus maxima* (Burm.) Merr. cv. Shatian You under room and low temperature storage[J]. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(9): 1542-1546. (in Chinese)
- [44] 徐世荣. 琯溪蜜柚果实采后柠檬酸代谢的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
- XU S R. Studies on citric acid metabolism of Guanxi pumelo fruit during postharvest storage[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017. (in Chinese)
- [45] 谭李梅, 蒋南, 简路军, 史吟欣, 骆夏辉, 徐严. 单果包装对‘雷公一号’柚果实贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(8): 15-19, 25.
- TAN L M, JIANG N, JIAN L J, SHI Y X, LUO X H, XU Y. Effects of single fruit packaging on the storage quality of 'Leigong 1' pomelo[J]. Storage and Process, 2024, 24(8): 15-19, 25. (in Chinese)
- [46] WANNABUSSAPAWICH B, SERAYPHEAP K. Effects of putrescine treatment on the quality attributes and antioxidant activities of 'Nam Dok Mai No.4' mango fruit during storage[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 233: 22-28.
- [47] 孙晓华. 柚果实采后贮藏期间有机酸代谢的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- SUN X H. Organic acid metabolism in pumelo fruit during postharvest storage phase[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013. (in Chinese)