

不同滤光袋对石榴果实日灼及品质的影响

秦改花, 贾波涛, 苏颖, 刘春燕, 黎积誉, 曹榛, 杨志, 于晴

安徽省农业科学院园艺研究所/园艺作物种质创新与利用农业农村部重点实验室(省部共建)/园艺作物遗传改良与生理生态安徽省重点实验室/果树果实发育与品质生物学安徽省农业科学院重点实验室, 安徽合肥 230001

摘要: 为筛选适宜的石榴防日灼果袋, 以日灼敏感型品种红玉石籽为材料, 研究不同滤光袋对石榴果实日灼指数和内外品质的影响。结果表明, 套袋可显著减少果实日灼的发生, 果实日灼指数下降 62.42%~100%。套袋对果实品质指标影响的主成分分析结果表明, 套袋主要影响果实的可滴定酸、可溶性固形物、可溶性糖以及籽粒硬度。套红袋可提高可溶性糖含量 26.72%, 籽粒硬度降低 35.58%, 可溶性固形物以及可滴定酸度无显著变化; 套绿袋果实的可滴定酸提高 5.80%, 可溶性固形物和可溶性糖含量分别提高 7.03%和 15.40%, 籽粒硬度降低 56.30%; 套蓝袋可滴定酸提高 11.59%, 可溶性固形物和可溶性糖含量分别提高 9.38%和 23.55%, 籽粒硬度降低 16.26%; 套白袋的果实可滴定酸降低 17.39%, 可溶性固形物和籽粒硬度分别降低 2.89%和 35.63%; 套牛皮袋果实的可滴定酸、可溶性固形物分别提高 8.70%和 11.17%, 籽粒硬度降低 38.91%。在主成分分析的基础上, 根据综合评价模型得出套绿袋和红袋的果实品质最佳, 综合不同滤光袋对果实外观和果实品质的影响, 套绿袋果实表面容易形成果锈, 套红袋的果实日灼指数下降 91.80%, 并且果实表面着色均匀, 可溶性糖含量显著增加, 籽粒硬度显著下降。因此, 红袋是红玉石籽商品化生产的理想果袋。

关键词: 石榴; 套袋; 日灼; 果实品质; 主成分分析

中图分类号: S665.4 文献标识码: A

Effects of Different Light Filter Bags on Sunburn and Fruit Quality of Pomegranate Fruit

QIN Gaihua, JIA Botao, SU Ying, LIU Chunyan, LI Jiyu, CAO Zhen, YANG Zhi, YU Qing

Institute of Horticulture Research, Anhui Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Horticultural Crop Germplasm Innovation and Utilization (Co-construction by Ministry and Province) / Key Laboratory of Horticultural Crop Genetic Improvement and Eco-physiology of Anhui Province / Key Laboratory of Fruit Quality and Developmental Biology of Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230001, China

Abstract: Five different light filter bags including red, green, blue, white and double kraft bag were selected to study the effects of different color filter bags on the sunburn incidence and fruit quality of pomegranate. The sunburn index of pomegranate fruit decreased from 62.42% to 100%, comparing to non-bagged fruits. Principal component analysis showed that bagging mainly affected four quality indicators of pomegranate fruit, including titratable acid, soluble solids content, soluble sugar and seed hardness. The content of soluble sugar increased by 26.72% in the red bag, the seed hardness decreased by 35.58%, and the SSC and titratable acidity did not change significantly. The content of titratable acid, SSC and soluble sugar in the green bag fruit increased by 5.80%, 7.03%, 15.40% respectively, seed hardness decreased by 56.30%. The content of titratable acid, SSC and soluble sugar in the blue bag increased by 11.59%, 9.38%, 23.55%, and the seed hardness decreased by 16.26%. Titratable acid, SSC of fruits and seed hardness in the white bag decreased by 17.39%, 2.89% and 35.63%, respectively. The titratable acid and soluble solids of the fruits in the kraft bag increased by 8.70% and 11.17%, respectively, and the seed hardness decreased by 38.91%. The comprehensive analysis of the sunburn incidence and the internal and external quality of the fruit found that the red bag significantly improved the appearance quality of the fruit, reduced the fruit sunburn index by 91.80%, significantly increased the soluble sugar

收稿日期 2022-05-17; 修回日期 2022-08-15

基金项目 淮北市科技重大专项 (No. HK2021014); 安徽省自然科学基金项目 (No. 2108085QC129)。

作者简介 秦改花 (1977—), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果实品质生物学。E-mail: qghahstu@163.com。

content, and reduced the seed hardness. Therefore, the red bag is an ideal fruit bag for Hongyushizi.

Keywords: pomegranate; bagging; sunburn; fruit quality; principal component analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.08.021

石榴 (*Punica granatum* L.) 是千屈菜科 (Lythraceae) 石榴属多年生果树^[1]。石榴果实营养丰富、风味独特, 是我国重要的特色果树。在中国, 石榴生产面积已超过 15 万 hm^2 , 形成了安徽怀远、山东枣庄等 8 个传统优势产区^[2]。石榴生产中, 日灼现象发生普遍, 日灼果实的商品性明显降低。果实日灼是由高温, 高光辐射以及低湿度等引起的生理病害^[3]。当石榴表面温度达到 45~50 $^{\circ}\text{C}$ 时, 暴露于阳光一侧的果实表面会发生严重晒伤^[4]。

套袋是果树生产中广泛使用的一项技术, 不同颜色的果袋决定了入射光的波长, 不同波长的光代表不同的光质^[5]。光质是影响果实品质形成的主导生态因子, 会影响果实大小、果形指数、果肉硬度、可滴定酸含量、可溶性糖含量等^[6]。红光有利于提高植物体内碳水化合物的含量, 蓝光有利于提高蛋白质的含量^[7]。草莓果实中, 蓝色膜可提高可滴定酸、可溶性蛋白和抗坏血酸(维生素 C) 的含量^[8]。枇杷果实中, 低透光率的双层纸袋(内黑外灰) 处理显著增加了果实可滴定酸含量, 降低了总糖和维生素 C 含量^[9]。对石榴的套袋研究发现, 套袋不仅可以保护果实免受疾病和害虫的影响, 还能显著减少晒伤石榴果实比例, 改变水果发育的微环境(如光质、光强、湿度等), 有效提高石榴果实的内外品质^[10], 但是不同颜色滤光袋对石榴果实日灼发生及果实品质影响的系统研究尚未见报道。

红玉石籽是安徽传统优良石榴品种, 籽粒大, 可食性高, 风味醇厚, 受到广大消费者喜爱, 但该品种极易发生日灼, 导致其商品性下降。调查表明, 树冠西南象限(南面、西面和西南面)的

果实最易发生日灼, 而其他方位由于高温、强光胁迫较少, 发生日灼的几率较小^[11]。因此, 本研究以红玉石籽为材料, 用不同颜色的滤光袋进行套袋处理, 测定西南侧果实表面温度和光照强度, 以及不同果袋类型对果实生理和品质指标的影响, 旨在探明不同光质对石榴果实生长微环境及果实内外品质, 尤其是日灼指数的影响, 并为石榴防日灼果袋的筛选提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料取自 5 年生石榴红玉石籽, 基地位于安徽省怀远县天兆石榴基地 (32 $^{\circ}$ 97'N, 117 $^{\circ}$ 18'E)。株行距为 4.0 m \times 4.0 m, 按照常规栽培措施管理。

于 2020 年盛花后 50 d (7 月 9 日), 选择树势和负载量相对一致的健壮植株, 喷施多菌灵可湿性粉剂 800 倍液, 上午 10:00 前和下午 16:00 后对树冠外围大小相对一致的果实进行套袋。本研究选取的滤光袋包括红色单层纸袋、绿色单层纸袋、蓝色单层纸袋、白色单层纸袋和双层牛皮纸袋。所用果袋均购自烟台市好台果制袋有限公司, 规格为 190 mm \times 260 mm, 不同袋型对应光谱见表 1, 未套袋果实作为对照 (CK)。每个处理 90 个果实, 3 个重复。果实近成熟时调查日灼发生情况, 并采摘果实带回实验室, 迅速剥离向光面果皮, 切成小块混样, 置于液氮中冷冻, 随后在 -80 $^{\circ}\text{C}$ 下保存备用。

1.2 方法

1.2.1 套袋果实微环境监测 结合往年石榴日灼发生时期, 根据天气预报, 选择连续 10 d 最高气

表 1 果袋类型及规格
Tab. 1 Types and specifications of bags

波长 Wavelength/nm	各波段光透过率 Ttransmittance of different wavelengths/%				
	红袋 Red bag	绿袋 Green bag	蓝袋 Blue bag	白袋 White bag	牛皮纸袋 Kraft bag
≤ 400 (紫外光)	0.586	0.394	0.064	0.694	0.031
380~710 (光合作用有效辐射)	0.381	0.342	0.213	0.755	0.011
380~460 (紫光)	0.098	0.241	0.532	0.498	0.010
460~520 (蓝光)	0.499	0.394	0.764	0.546	0.044
610~690 (橙光)	0.701	0.488	0.078	0.797	0.035
690~780 (红光)	0.798	0.453	0.034	0.785	0.071

温大于 35 °C 的晴天,对气温和果实表面的温度和光照强度进行监测。将水银温度计挂在树冠西南面树外围进行气温的实时监测。选取树冠西南面的果实进行果实表面温度和光照强度的监测,测定时间为上午 9:30 开始,以后每隔 1 h 监测 1 次。每个处理测定 10 个果实,结果采用平均值。果实表面温度监测使用红外测温仪 (RAYST20-XBAP, 美国) 进行。具体方法如下:将测温仪的红外探头置于石榴果实表面进行温度测定,待读数稳定计数,套袋果实表面温度测定需将探头伸进果袋内部进行。光照强度的监测时间、部位与果实表面温度相同,使用袖珍式数字照度表 (LX1010Bs, 欣宝科仪有限公司) 进行测定。

1.2.2 指标测定 (1) 果实日灼指数调查。在果实近成熟期,调查果实的日灼发生情况,并统计日灼发生率和日灼指数。

日灼的分级标准参考 LIU 等^[12]的分级方法。本研究将石榴日灼分为 4 个等级,分别为:SB-0 (CK, 果面无日灼); SB-1 (果面出现轻微日灼症状,日灼部分出现暗红斑点且面积不到总面积的 1/4); SB-2 (果面褐色斑点开始逐渐明显,占总面积的 1/5~1/4); SB-3 (果面呈现黑褐色斑点,且开始出现坏死,占总面积的 1/4 及以上)。

日灼指数根据日灼等级,采用加权法进行。日灼发生率和日灼指数的计算方法如下:

日灼发生率=日灼果数/调查总果数×100%

日灼指数= \sum (各级日灼果数×各级代表值)/
(调查总果数×最高级代表值)×100%

(2) 果实品质指标测定。百粒重和籽粒出汁率测定方法按照《石榴质量等级》(LY/T 2135—2019) 进行。具体方法如下:每处理选取 10 个大小相对一致的健康果实,剥取籽粒,随机取 100 粒进行称重;称重后的籽粒手动去除果肉,称取核百粒重,并计算籽粒出汁率。籽粒出汁率=(百粒重-核百粒重)/百粒重×100%。

籽粒硬度的测定方法参照秦改花等^[13]的方法进行。用 TA-XT 质构仪 (Stable Micro Systems, Surry, 英国), HDV 探头,每处理随机测定 30 个籽粒,3 次重复,取平均值。

果皮厚度的测定,取果实胴部果皮用数显游标卡尺 (0~200 mm, MNT 美耐特, 德国) 进行厚度测定,结果用 mm 表示。每处理 3 个果实,3 次重复,取平均值。果皮含水量采用烘干法进行测定^[14]。

果实可溶性固形物 (soluble solids content,

SSC) 含量的测定,取 10 个果实的混合果汁,用手持折光仪 (PAL-1 型, Brix 0-53%, ATAGO, 日本) 进行测定。3 次重复,计算平均值。可滴定酸 (TA) 含量采用酸碱滴定法进行测定^[15]。可溶性糖含量采用蒽酮比色法进行测定^[15]。

固酸比=可溶性固形物含量/可滴定酸含量×100%

(3) 果实生理指标测定。丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量测定方法参考 HEATH 等^[16]的方法,并作适当改良。主要步骤如下:0.7 g 石榴果皮中加 7 mL 10% 三氯乙酸 (TCA),磨成匀浆后离心,取上清液作为待测液。2 mL 上清液+2 mL 0.6% 硫代巴比妥酸摇匀 (对照加 2 mL 蒸馏水),置于沸水浴反应 15 min,迅速冷却后再离心。取上清液测定 532、600、450 nm 波长下吸光值。样品 MDA 含量 (nmol/g)=[(6.45×(OD₅₃₂-OD₆₀₀)-0.56×OD₄₅₀)]×V_总/W。其中 V_总 表示测定体系总体积, W 表示所取样品质量。

相对电导率测定方法参考王红亮等^[17]的方法并做适当修改。每个处理随机选择 10 个果实,用直径 0.8 cm 的打孔器钻取 0.1 cm 的果皮原片,准确称取 1 g,置入去离子水冲洗后的烧杯中。随后加入 30 mL 去离子水,立即使用电导率仪 (PB-10, Sartorius, 德国) 测定相对电导率,记录为 L₁。再将试管放入沸水浴中煮沸,冷却后再次测定提取液的电导率,记录为 L₂。最终的相对电导率计算方法为:相对电导率=L₁/L₂×100%。

1.3 数据处理

数据处理使用 Excel 2019 软件,方差分析 (ANOVA)、显著性差异分析、主成分分析使用 SPSS 25.0 (美国) 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同滤光袋内果实生长微环境

如图 1、图 2 所示,不同滤光袋内果实生长的温度和光照强度均呈规律性变化,温度和光照的日变化均呈现先上升后下降的趋势。

从图 1 可以看出,5 种滤光纸袋内果实表面温度的日变化趋势与气温一致。在 10:30 之前,5 种果袋内温度均小于空气温度。此后,随着时间的推移,5 种果袋内温度逐渐高于气温,至 14:30 袋内温度均高于气温,温度从高到低依次为:牛皮纸袋、红袋、白袋、绿袋、对照 (CK, 未套袋)、蓝袋。在 5 种滤光纸袋中,11:30 后,牛皮纸袋

袋内温度最高，蓝袋内温度最低，说明牛皮纸袋散热效果较差，蓝袋散热效果较好。

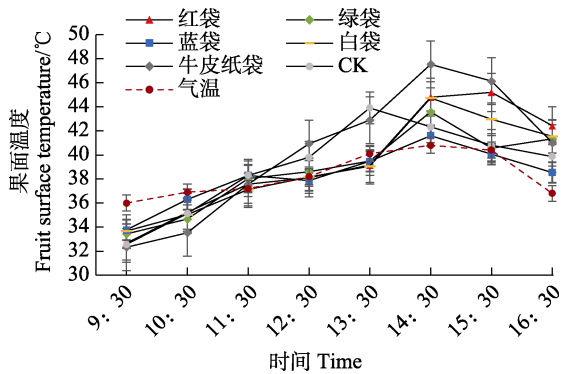


图 1 不同滤光袋内果面温度日变化

Fig. 1 Diurnal variation of fruit surface temperature in different fruit bags

不同颜色滤光袋内光强日变化趋势与对照基本保持一致(图 2)。对照果实表面光照强度从 9:30 开始逐渐增加，在 14:30 达到最大，随后逐渐下降，16:30 降到最低。套袋可显著降低果实接受到的光照强度，在 11:30 之后，白袋内光照强度比红、绿、蓝 3 种袋型更强。红袋、绿袋、蓝袋 3 种果袋内光照强度变化幅度无明显差异。牛皮纸袋内光照强度为 0，表明牛皮纸袋的遮光效果最好，白袋的遮光效果最差。

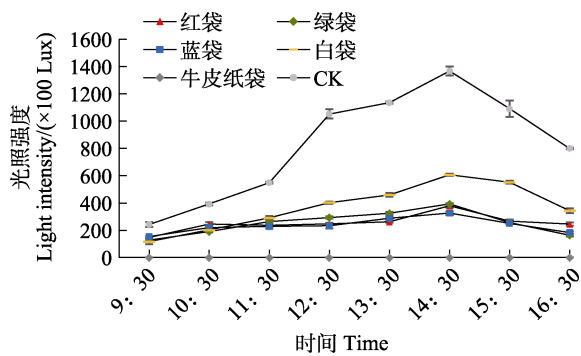


图 2 不同滤光袋内光照强度日变化

Fig. 2 Diurnal variation of light intensity in different fruit bags

综上所述，牛皮纸袋可有效遮光，但透气性较差，导致果袋内部温度较气温高 6~7℃。蓝袋内温度与气温无显著差异，而白袋、绿袋、红袋均可使袋内温度增加。红袋、绿袋和蓝袋均有较好的遮光效果，但不同袋型之间无显著差异，而白袋对光照强度的影响最小。

2.2 不同滤光袋对石榴果实外观及日灼指数的影响

套袋可显著改善石榴果实的外观品质(图 3)，

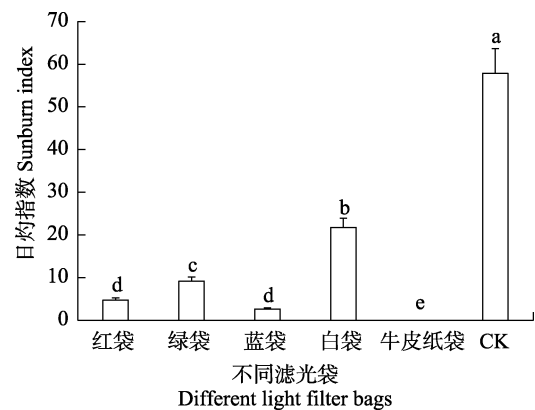
但不同袋型之间有一定差异。套红袋果实的着色效果较好，且着色均匀，无明显日灼现象。套牛皮纸袋果实表面无日灼，但果实容易形成果锈。套蓝袋后果实无日灼，果皮较光滑，但是果面不着色。套绿袋果实日灼率明显下降，但是果实表面不光滑，产生果锈。套白袋果实日灼面积减少，但是果面不光洁。对套不同滤光袋后果实日灼指数进行调查后发现，套袋后石榴果实的日灼指数显著降低(图 4)。套红色、绿色、蓝色、白色和牛皮纸袋果实的日灼指数分别比对照果实的日灼指数下降 91.80%、84.10%、95.39%、62.42%和



A: 红袋; B: 绿袋; C: 蓝袋; D: 牛皮纸袋; E: 白袋; F: 对照。
A: Red bag; B: Green bag; C: Blue bag; D: Kraft paper bag; E: White bag; F: CK.

图 3 果实外观

Fig. 3 Fruit appearance



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

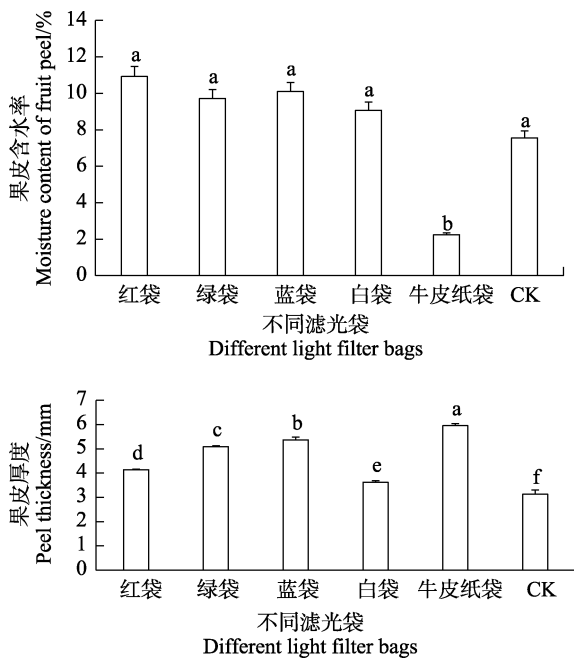
图 4 不同处理对果实日灼指数的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on fruit sunburn index

100%。综合日灼指数和果实外观品质,可以认为套红袋对石榴果实外观品质的改善效果最好。

2.3 不同滤光袋对石榴果皮厚度和含水率的影响

果皮厚度和含水量直接影响石榴果实的外观和耐贮性等特征,也是石榴重要的品质性状。从不同滤光袋对石榴果皮厚度和含水率的影响结果来看,套袋可显著增加石榴果皮厚度(图 5),套牛皮纸袋、蓝袋、绿袋、红袋、白袋的果皮厚度分别比对照增加 90.10%、71.57%、62.62%、32.27%、7.99%,均达到显著水平。对果皮含水量的分析发现,套牛皮纸袋后果皮的含水率显著下降,比对照减小 70.35%。其他袋型的果皮含水率略有增加,但与对照相比差异不显著。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

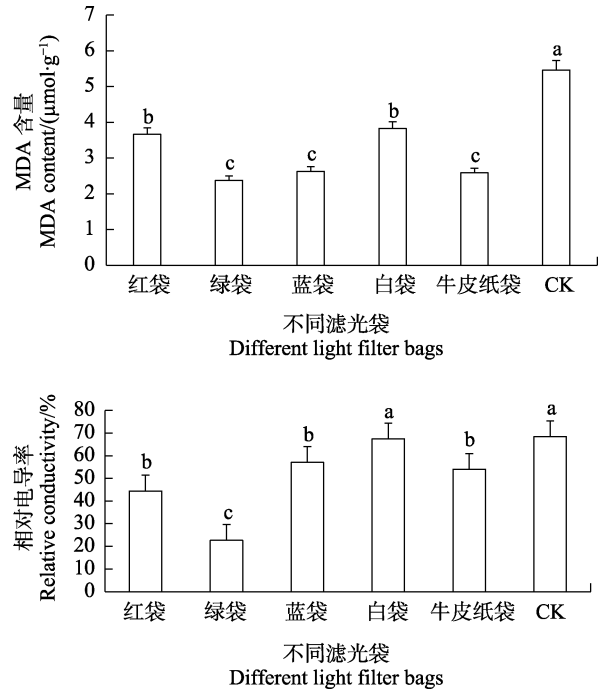
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 5 不同颜色滤光袋对果皮含水率和果皮厚度的影响
Fig. 5 Effects of different light filter bags on peel moisture content and peel thickness

2.4 不同颜色滤光袋对果皮 MDA 含量和相对电导率的影响

MDA 含量和相对电导率可以反映果实细胞中的膜透性和电解质外渗情况。研究发现(图 6),套袋后果皮 MDA 含量显著降低,套绿袋、牛皮纸袋、蓝袋、红袋、白袋果实的 MDA 含量分别比对照减小 56.44%、52.66%、51.85%、32.91%、29.88%。套绿袋、红袋、牛皮纸袋和蓝袋果皮相

对电导率分别比对照减小 66.89%、35.14%、21.12%、16.64%。白袋果皮相对电导率与对照相比无显著差异。结果表明,套红袋、绿袋、蓝袋、牛皮纸袋可以显著降低日灼对果皮的损伤。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 6 不同滤光袋对红玉石籽果皮中 MDA 含量和相对电导率的影响

Fig. 6 Effects of different fruit bags on MDA and relative electrical conductivity in pericarp of 'Hongyushizi'

2.5 不同滤光袋对石榴果实品质的影响

2.5.1 石榴籽粒 不同滤光袋对石榴籽粒百粒重、核百粒重、籽粒出汁率以及籽粒硬度等指标均有显著影响(表 2)。其中,套绿袋和红袋果实的百粒重分别比对照增加 22.01%和 13.79%,套白袋、蓝袋和牛皮纸袋后百粒重较对照分别减少 3.70%、17.46%和 23.45%。套红袋、绿袋、蓝袋果实核百粒重较对照分别降低 35.84%、25.95%、33.99%,套牛皮纸袋果实中内种皮的百粒重无显著变化,套白袋果实的内种皮显著增加 20.70%。套袋也显著降低石榴果实的籽粒硬度,蓝袋、红袋、白袋、牛皮袋、绿袋果实的籽粒硬度较对照分别降低 16.30%、35.60%、35.60%、38.90%和 56.30%。作为石榴食用部位的外种皮,是果实重要的商品性状,其大小决定籽粒的出汁率。在本研究中,除牛皮纸袋外,套其余滤光袋

表 2 不同滤光袋对果实品质的影响
Tab. 2 Effects of different fruit bags on fruit quality

处理 Treatment	百粒重 100-seed weight/g	核百粒重 100-seed (ex- cluding outer seed coat) weight/g	籽粒出汁率 Juice yield of seed/%	籽粒硬度 Seed hardness /(g·mm ⁻²)	可溶性固形物 含量 SSC/%	可滴定酸 含量 TA/%	可溶性糖含量 Soluble sugars content /(mg·g ⁻¹)	固酸比 SSC/TA ratio
红袋	60.81±1.27 ^b	6.23±0.13 ^d	89.75±0.42 ^a	2971.23±3.42 ^c	12.73±0.06 ^d	0.70±0.01 ^c	15.55±0.17 ^a	18.28 ^b
绿袋	65.20±0.88 ^a	7.19±0.16 ^c	82.02±1.05 ^c	2015.48±1.11 ^c	13.70±0.00 ^c	0.73±0.02 ^b	14.16±0.49 ^b	18.71 ^b
蓝袋	44.11±0.72 ^c	6.41±0.41 ^d	85.46±1.05 ^b	3862.00±4.36 ^b	14.00±0.00 ^b	0.77±0.02 ^a	15.16±0.50 ^{ab}	18.23 ^b
白袋	51.46±0.09 ^d	11.72±0.53 ^a	86.03±0.31 ^b	2968.80±19.9 ^c	12.43±0.06 ^c	0.57±0.03 ^d	12.73±0.57 ^c	21.80 ^a
牛皮袋	40.91±0.49 ^f	9.83±0.12 ^b	75.97±0.09 ^d	2817.35±8.97 ^d	14.23±0.06 ^a	0.75±0.01 ^{ab}	11.92±1.05 ^c	18.86 ^b
CK	53.44±0.53 ^c	9.71±0.07 ^b	81.82±0.06 ^c	4612.42±1.07 ^a	12.80±0.00 ^d	0.69±0.02 ^c	12.27±0.64 ^c	18.61 ^b

注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

果实的籽粒出汁率均有一定程度的提高，其中红袋效果最好，比对照增加 9.69%。

2.5.2 风味物质含量 对套不同滤光袋果实中的可溶性固形物 (SSC)、可滴定酸 (TA)、可溶性糖以及固酸比进行比较发现，套牛皮纸袋、蓝袋和绿袋果实的可溶性固形物含量分别比对照增加 11.20%、9.37%和 7.03% (表 2)。套袋也可一定程度上提高果实的可溶性糖含量，套红袋、绿袋、蓝袋果实的可溶性糖含量分别比对照增加 26.72%、15.40%和 23.57%。套蓝袋和牛皮袋的可滴定酸含量较对照分别增加 5.80%、11.60%、8.70%，套白袋果实的可滴定酸含量下降 17.40%，套红袋果实的可滴定酸含量较对照无显著变化。固酸比作为反映果实风味的综合指标，在本研究中，不同滤光袋对果实固酸比影响不大。

2.5.3 果实品质的主要影响因素分析 对不同滤光纸袋处理果实的百粒重、核百粒重、籽粒出汁率、籽粒硬度、果皮厚度、可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸以及固酸比等 9 个品质指标进行主成分分析，筛选反映不同滤光袋对石榴果实品质影响的主要因子。根据特征值大于 1 的原则，共提取 3 个主成分，这 3 个主成分的累积贡献率达 89.435% (表 3)。从表 4 可以看出第一主成分代表指标为可滴定酸和可溶性固形物，其特征向量绝对值分别为 0.965 和 0.910；第二主成分代表指标为可溶性糖，特征向量绝对值为 0.872；第三主成分籽粒硬度具有最高的特征向量绝对值，为 0.966。因此，套袋对果实品质的影响主要反映在可滴定酸、可溶性固形物、可溶性糖和籽粒硬度 4 个指标。

表 3 石榴果实品质评价因子的特征值和方差贡献率
Tab. 3 characteristic value and variance contribution rate of pomegranate fruit quality evaluation factors

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigen- value	方差贡献率 Variance con- tribution rate/%	累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
1	3.813	42.370	42.370
2	2.803	31.141	73.511
3	1.433	15.924	89.435

表 4 主成分相关矩阵
Tab. 4 Principal component correlation matrix

指标 Index	成分特征值 Component eigenvalue		
	第一主成分 Principal component 1	第二主成分 Principal component 2	第三主成分 Principal component 3
百粒重	-0.243	0.704	0.356
核百粒重	-0.648	-0.744	0.072
籽粒硬度	-0.178	-0.100	-0.966
籽粒出汁率	-0.385	0.837	-0.080
果皮厚度	0.860	-0.245	0.368
可溶性固形物	0.910	-0.344	0.123
可滴定酸含量	0.965	0.025	-0.213
可溶性糖含量	0.285	0.872	0.046
固酸比	-0.758	-0.323	0.404

根据主成分的特征值及相应的特征向量，计算各主成分得分，公式如式 (1) ~ (3) 所示。

$$F_1 = -0.064X_1 + (-0.170X_2) + (-0.047X_3) + (-0.101X_4) + 0.225X_5 + 0.239X_6 + 0.075X_7 + 0.253X_8 + (-0.199X_9) \quad (1)$$

$$F_2 = 0.251X_1 + (-0.265X_2) + (-0.036X_3) + 0.299X_4 + (-0.087X_5) + (-0.123X_6) + 0.311X_7 + 0.009X_8 + (-0.115X_9) \quad (2)$$

$$F_3=0.249X_1+0.050X_2+(-0.674X_3)+(-0.056X_4)+0.257X_5+0.086X_6+0.032X_7+(-0.149X_8)+0.282X_9 \quad (3)$$

式中, $X_1 \sim X_9$ 分别对应百粒重、核百粒重、籽粒硬度、籽粒出汁率、果皮厚度、可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖、固酸比 9 个品质指标的原始数据。以 3 个主成分对应的方差贡献率作为权重, 得到主成分综合评价模型式 (4):

$$F_{\text{综}}=0.424F_1+0.311F_2+0.159F_3 \quad (4)$$

在主成分分析的基础上, 根据综合评价模型计算不同滤光袋处理果实内在品质的综合得分和排名 (表 5), 综合得分越高说明果实综合内在品质越好。排名前 2 的为绿袋和红袋, 说明这 2 个袋型处理的石榴果实品质最好; 白袋、未套袋果实的综合得分排名靠后, 说明这 2 个处理的石榴果实品质最差。

表 5 石榴果实品质主成分得分及排名

Tab. 5 Scores and ranking of principal components in pomegranate fruit quality

处理 Treatment	F_1	F_2	F_3	$F_{\text{综}}$	排名 Ranking
红袋	-0.103040	1.537512	0.001222	0.434670	2
绿袋	0.545336	0.503383	1.344198	0.601502	1
蓝袋	1.009035	0.326710	-0.837800	0.396227	3
白袋	-1.707550	0.713044	0.679447	-0.394210	5
牛皮	0.926826	-1.586090	0.370799	-0.041340	4
CK	-0.670600	-0.329260	-1.557860	-0.634440	6

3 讨论

日灼是由高温和强光造成的生理性伤害, 果实日灼具有一定的阈值温度。石榴果实发生日灼的阈值温度为 45~50 °C^[18]。日灼对石榴果实外观品质具有很大影响。研究表明, 套袋可有效保护果实免受阳光直射, 从而减少日灼发生率^[19]。在 Wonderful 石榴的研究中, 与对照 (未套袋) 相比, 套纸袋极大地降低了晒伤果实百分比^[10]。此外, 不同颜色 (白色、蓝色和红色) 滤光袋会提供特定的微域光环境^[20]。在本研究中, 相比于未套袋, 套袋果实日灼指数降低, 明显改良了石榴外观品质, 验证了前人的观点。在本研究中, 与未套袋果实相比, 不同滤光果袋内温度明显增加, 其中牛皮纸袋内的温度明显超过石榴日灼发生的阈值温度。同时, 套袋也显著降低了光照强度, 如牛皮纸袋具有极好的遮光效果, 其袋内光照强度降

至 0 Lux, 且套牛皮纸袋果实的日灼指数为 0。因此, 本研究认为套袋可能主要通过减弱强光胁迫来提高果实抗日灼能力, 同时, 不同颜色滤光袋对光照的减弱和过滤效果有所不同, 造成了石榴果实不同的抗日灼能力。但是套绿袋和牛皮纸袋的果实均出现果锈的现象, 推测可能是绿袋和牛皮纸袋导致袋内形成高温高湿的环境, 造成果皮细胞老化、坏死, 表皮下的薄壁细胞经过细胞壁加厚和栓化后, 在角质层、蜡质层及表皮层破裂处露出果面而形成果锈^[21]。

果皮的 MDA 含量反映果皮膜脂过氧化程度。相比于对照, 套袋处理后石榴果皮 MDA 含量显著降低, 表明套袋处理可很好地保护果实免受膜脂过氧化伤害。胁迫产生的自由基由于其反应性升高导致电解质渗漏和细胞死亡, 造成膜完整性的破坏^[22]。陈立松等^[23]在柚子的研究中证明了电解质泄漏率与水果应对逆境胁迫的抗性有关。本研究发现, 除白袋外, 其余袋型处理的石榴果皮相对电导率与对照相比显著降低, 说明套袋能减小石榴果皮细胞膜透性, 从而提高果实的抗性。

套袋种类、颜色不仅影响石榴果实外观品质, 还会对果实内在品质造成影响^[24]。光是植物生长发育的最重要环境因子之一, 不同波长的光形成不同的光质^[25]。在柑橘、芒果、苹果等多种果树的研究发现, 由于果实接收到不同的光质, 会影响果实品质各项指标^[7]。不同颜色滤光袋对光的吸收能力有差异, 可改变光质、光强和透光率, 因此对果实品质形成具有不同的调节作用^[26]。蓝色滤光膜可以提高草莓的含糖量、可滴定酸含量以及固酸比^[27], 紫色滤光膜袋处理的梨果实品质较高, 其硬度和可滴定酸减小, 可溶性固形物和可溶性糖含量提高^[26]。WU 等^[28]证明套袋提高了石榴果实总糖含量。蒲高斌等^[29]研究表明, 红光和蓝光处理可提高番茄转色期果实的可溶性糖及有机酸含量。在本研究中, 套红色和蓝色果袋的果实可溶性糖含量显著提高, 这与前人的研究结果一致。在番茄果实的研究中发现, 不同光质处理对番茄果实可滴定酸含量有影响, 红光可以增加果实可滴定酸含量, 而蓝光降低可滴定酸含量^[30]。在本研究中, 套绿袋、蓝袋和牛皮纸袋的果实可滴定酸含量显著增加, 白袋果实可滴定酸显著降低, 可能是不同光质对石榴有机酸 (如柠檬酸和苹果酸) 的合成或者降解酶的活性造成了不同程度的影响。

在本研究中,与对照相比,套红袋和绿袋果实百粒重显著增加,套红袋、绿袋、蓝袋果实核百粒重显著下降,说明套红袋和绿袋能显著增加石榴的可食用部分。本研究发现 5 种颜色滤光袋处理的石榴籽粒硬度与对照相比显著下降,且不同滤光袋处理的果实之间籽粒硬度有所不同。籽粒的硬度主要由木质素含量决定^[13],套袋可以显著抑制 PAL、C4H、4CL 等木质素代谢相关酶的活性,导致其催化进入木质素合成途径中的苯丙氨酸含量减少,导致木质素合成和沉积减少,从而导致硬度下降^[31]。

主成分分析表明,果实套袋主要影响可滴定酸、可溶性固形物、可溶性糖和籽粒硬度 4 个品质指标。在主成分分析的基础上结合综合评价结果可以看出:本研究中,与对照相比,套红袋果实的可滴定酸和可溶性固形物含量无显著变化,可溶性糖含量增加,籽粒硬度降低籽粒出汁率增加,可食性高。套绿袋果实可滴定酸、可溶性固形物和可溶性糖含量均显著增加,籽粒硬度降低,籽粒出汁率无显著变化,但在调查中发现,其表面容易产生果锈,果实外观品质差;而红袋处理的果实日灼指数较低,外观品质良好,且着色较佳。因此,综合果实外在和内在品质,本研究认为红玉石籽适宜用红袋进行套袋栽培。

参考文献

- [1] GRAHAM S A, HALL J, SYTSMA K, SHI S H. Phylogenetic analysis of the Lythraceae based on four gene regions and morphology[J]. *International Journal of Plant Sciences*, 2005, 166(6): 995-1017.
- [2] 曹尚银, 侯乐峰. 中国果树志. 石榴卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
CAO S Y, HOU L F. Chinese fruit trees: volume pomegranate[M]. Beijing: China Forest Press, 2013. (in Chinese)
- [3] SCHRADER L, ZHANG J, SUN J. Environmental stresses that cause sunburn of apple[J]. *Acta Horticulturae*, 2003(618): 397-405.
- [4] YZZICI K, KAYNAK L. Effects of kaolin and shading treatments on sunburn on fruit of Hicaznar cultivar of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar)[J]. *Acta Horticulturae*, 2009(818): 167-174.
- [5] 赵英, 程智慧, 孟焕文. 不同光质果袋春夏季节套袋对番茄果实发育及品质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2008(6): 1398-1402.
ZHAO Y, CHEN Z H, MENG H W. Effect of fruit bagging with different spectra bags on the growth and quality of tomato in spring-summer season[J]. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2008(6): 1398-1402. (in Chinese)
- [6] HAMED S F, MORADINEZHAD F, KHAYYAT M. Pre-harvest bagging influences sunburn, cracking and quality of pomegranate fruits[J]. *Journal of Horticulture and Post-harvest Research*, 2019, 2(2): 131-142.
- [7] 张微慧, 张光伦. 光质对果树形态建成及果实品质的生理生态效应[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(1): 78-83.
ZHANG W H, ZHANG G L. The physiological and ecological effect of light quality to morphogenesis and fruit quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1): 78-83. (in Chinese)
- [8] 胡阳, 古松, 江莎, 张晓春, 李洁, 高玉葆, 乔艳丽. 不同光质对‘达赛莱克特’草莓果实品质的影响[J]. *四川农业大学学报*, 2010, 28(2): 164-168.
HU Y, GU S, JIANG S, ZHANG X C, LI J, GAO Y B, QIAO Y L. Effect of different light quality on fruit quality of ‘Darselect’ strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.)[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2010, 28(2): 164-168. (in Chinese)
- [9] XU H X, CHEN J W, XIE M. Effect of different light transmittance paper bags on fruit quality and antioxidant capacity in loquat[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(11): 1783-1788.
- [10] SAMRA B N, SHALAN A M. Studies on thinning, bagging and aluminum silicate spraying on yield and quality of Wanderfull pomegranate[J]. *Journal of Plant Production*, 2013, 4(2): 219-227.
- [11] 宫美英, 张凤敏. 影响套袋苹果质量的原因与对策[J]. *山西果树*, 2002(2): 26-27.
GONG M Y, ZHANG F M. Caused and countermeasures affecting the quality of bagged apples[J]. *Shanxi Fruits*, 2002(2): 26-27. (in Chinese)
- [12] LIU C Y, SU Y, LI J Y, JIA B T, CAO Z, QIN G H. Physiological adjustment of pomegranate pericarp responding to sunburn and its underlying molecular mechanisms[J]. *BMC Plant Biology*, 2022, 22(1): 1-13.
- [13] 秦改花, 徐义流, 李艳玲, 刘春燕, 齐永杰, 高正辉, 潘海发, 伊兴凯, 刘长华. 石榴籽粒硬度特征及其相关生理指标研究[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(1): 67-71.
QIN G H, XU Y L, LI Y L, LIU C Y, QI Y J, GAO Z H, PAN H F, YI X K, LIU C H. Characteristics of seed hardness and its relative physiological indexes in pomegranate[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(1): 67-71. (in Chinese)
- [14] 张欢, 慕新浩, 李珂, 李玉英, 张君. 不同石榴品种果实品质的主成分分析[J]. *南阳师范学院学报*, 2020, 19(6): 33-39.
ZHANG H, MU X H, LI K, L Y Y, ZHANG J. Principal component analysis of fruit quality of different pomegranate

- varieties[J]. Journal of Nanyang Normal University, 2020, 19(6): 33-39. (in Chinese)
- [15] 李祥, 于巧真, 吴养育, 张淑芬. 石榴套袋方式对石榴品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(2): 48-50.
LI X, YU Q Z, WU Y Y, ZHANG S F. Effect of paper bags on quality of pomegranate[J]. Northern Horticulture, 2011(2): 48-50. (in Chinese)
- [16] HEATH R L, PACKER L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1968, 125(1): 189-198.
- [17] 王红亮, 陈丽丽. 低温胁迫对 9 种绿化树木相对电导率的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(4): 167-169.
WANG H L, CHEN L L. Effects of low temperature stress on the relative conductivity of nine species of green trees[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(4): 167-169. (in Chinese)
- [18] 王荔, 胡又厘, 黄旭明, 王惠聪. 枇杷果实锈斑病的发生原因及其控制[J]. 果树学报, 2009, 26(5): 678-682.
WANG L, HU Y L, HUANG X M, WANG H C. Causes of occurrence and prevention of russet on loquat fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(5): 678-682. (in Chinese)
- [19] YANG W H, ZHU X C, BU J H, HU G B, WANG H C, HUANG X M. Effects of bagging on fruit development and quality in cross-winter off-season longan[J]. Scientia Horticultural, 2009, 120(2): 194-200.
- [20] ASREY R, KUMAR K, SHARMA R R, MEENA N K. Fruit bagging and bag color affects physico-chemical, nutraceutical quality and consumer acceptability of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils[J]. Journal of Food Science & Technology, 2020, 57(4): 1469-1476.
- [21] 王少敏, 高华君, 张骁兵. 梨果实套袋研究进展[J]. 中国果树, 2002(6): 49-52.
WANG S M, GAO H J, ZHANG X B. Research progress on pear fruit bagging[J]. China Fruits, 2002(6): 49-52. (in Chinese)
- [22] EL-TANANY M M, KHEDER A M A, ABDALLAH H R. Effect of some treatments on reducing sunburn in balady mandarin fruit trees (*Citrus reticulata*, Blanco)[J]. Middle East Journal of Agriculture Research, 2019, 8(3): 889-897.
- [23] 陈立松, 刘星辉. 高温胁迫对桃和抽细胞膜透性和光合色素的影响[J]. 武汉植物学研究, 1997, 15(3): 233-237.
CHEN L S, LIU X H. Effect of high temperature stress on cell membrane permeability and photosynthetic pigment in leaves of peach and pomelo[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 1997, 15(3): 233-237. (in Chinese)
- [24] ABOU EL-WAFA M. Effect of bagging type on reducing pomegranate fruit disorders and quality improvement[J]. Egyptian Journal of Horticulture, 2014, 41(2): 263-278.
- [25] 杨有新, 王峰, 蔡加星, 喻景权, 周艳虹. 光质和光敏色素在植物逆境响应中的作用研究进展[J]. 园艺学报, 2014, 41(9): 1861-1872.
YANG Y X, WANG F, CAI J X, YU J Q, ZHOU Y H. Recent advances in the role of light quality and phytochrome in plant defense resistance against environmental stresses[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(9): 1861-1872. (in Chinese)
- [26] 孔佳君, 曹鹏, 吴潇, 袁亚洲, 余珮嘉, 陶书田, 张绍铃. 不同颜色滤光膜套袋对‘砀山酥梨’果实品质及矿质元素含量的影响[J]. 园艺学报, 2018, 45(6): 1173-1184.
KONG J J, CAO P, WU X, YUAN Y Z, YU P J, TAO S T, ZHANG S L. Effects of light quality on fruit quality and absorption of mineral elements in ‘Dangshan Suli’ pear fruit development[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45(6): 1173-1184. (in Chinese)
- [27] 徐凯, 郭延平, 张上隆, 戴文圣, 符庆功. 不同光质膜对草莓果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2007(3): 585-590.
XU K, GUO Y P, ZHANG S L, DAI W S, FU Q G. Effect of light quality on the fruit quality of ‘Toyonoka’ strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.)[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007(3): 585-590. (in Chinese)
- [28] WU Z J. Effect of bag encasing conditions on fruit quality of pomegranate[J]. Agricultural Science & Technology-Hunan, 2004, 5(2): 17-19.
- [29] 蒲高斌, 刘世琦, 杜洪涛, 刘磊. 光质对番茄果实转色期品质变化的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(4): 176-178.
PU G B, LIU S Q, DU H T, LIU L. Effect of light quality on tomato fruit qualities in turning-color period[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(4): 176-178. (in Chinese)
- [30] 陈强. 不同 LED 光源对番茄果实转色过程中生理特性及果实品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
CHENG Q. Effect of different light emitting diode sources on tomato physiological characteristics and fruit quality during the process of color-changed[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [31] 王斌, 张楠, 闫冲冲, 金青, 林毅, 蔡永萍, 张金云. 套袋对砀山酥梨果实石细胞发育及木质素代谢的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(3): 531-539.
WANG B, ZHANG N, YAN C C, JIN Q, LIN Y, CAI Y P, ZHANG J Y. Bagging for the development of stone cell and metabolism of lignin in *Pyrus bretschneideri* ‘Dangshan Suli’[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(3): 531-539. (in Chinese)