

不同果袋对‘瑞雪’苹果果实品质的影响

樊淼淼,陶茹,张天皓,王辉,王爽,孙鲁龙,高华*

(西北农林科技大学园艺学院,陕西杨凌 712100)

摘要:【目的】探究不同果袋对‘瑞雪’苹果果实品质的影响,同时为筛选‘瑞雪’苹果专用果袋提供科学参考。【方法】应用常规方法测定果实品质基本指标,采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术测定果实香气成分。【结果】与对照相比,双层果袋处理果实的果面光洁度显著升高,果皮叶绿素含量显著降低,A果袋维生素C含量升高3.33%,果形指数降低了6.52%,果实可溶性固形物含量下降了11.11%,香气物质种类降低50.00%;B果袋果实的香气物质种类降低33.33%;C果袋果实维生素C含量下降了12.10%,香气物质种类降低41.67%;D果袋果实维生素C含量下降了2.93%,香气物质种类降低33.33%;与对照相比,单层果袋显著提高了果实的果面光洁度,果皮叶绿素含量与对照相比无显著差异,E果袋果实与对照相比无显著差异;F果袋果实香气物质种类降低20.83%;G果袋果实的可滴定酸含量显著升高了20.00%,果形指数降低了5.43%,香气物质种类降低29.17%;其他指标与对照相比无显著差异。【结论】B果袋和E果袋显著提升了果实的外观品质,同时,对果实内在品质影响较小,所以推荐‘瑞雪’苹果在生产中使用B果袋和E果袋。

关键词:‘瑞雪’苹果;果袋;果实品质;香气

中图分类号:S661.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2020)09-1326-10

Effect of fruit bagging with different types of bags on fruit quality of ‘Ruixue’ apple

FAN Miaomiao, TAO Ru, ZHANG Tianhao, WANG Hui, WANG Shuang, SUN Lulong, GAO Hua*

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

Abstract: 【Objective】The effect of fruit bagging with different bag types on fruit quality of ‘Ruixue’ apple were studied in order to screen the suitable bags for ‘Rixue’ apple. 【Methods】Four-year-old ‘Ruixue’ apple trees grafted on dwarfing self-rooted M26 were used as the test material. Use different fruit bags to process ‘Ruixue’ fruit, including inner infrared brown fruit bag (A), yellow stripe + white double light fruit bag (B), yellow stripe + white cotton paper fruit bag (C), red stripe + white cotton paper fruit bag (D), Baikang fruit bag (E), surface-coated green fruit bag (F), Laiyang green fruit bag (G). With fruit without bagging serving as the control, 7 types of fruit bags were used to study their effects on the fruit quality of ‘Ruixue’. 【Results】Compared with the control, type A bag, a double-layer bag significantly increased the L^* value compared with the other fruit bag types and the control. Compared with the control, the treatment increased L^* value by 16.0% and vitamin C content by 3.33%. The relative content of aldehydes increased by 85.48%; fruit shape index, chlorophyll a, b and carotenoid contents decreased by 6.52%, 94.44%, 80.00%, and 69.23%, respectively; the soluble solids decreased by 11.11%. There were 12 species of aroma substances detected, 50.0% fewer compared with the control. Type B bag significantly decreased chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid contents by 50.00%, 46.67% and 53.85% compared with the control, respectively. There were 16 species of aroma substances detected, 33.33% fewer than the control. The fruit shape index, soluble solids, titratable acid and vita-

收稿日期:2020-04-24 接受日期:2020-05-31

基金项目:国家苹果产业技术体系(CARS-27)

作者简介:樊淼淼,女,在读硕士研究生,研究方向为苹果高效栽培。Tel:13687684709,E-mail:759607807@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:15332347161,E-mail:gaohua2378@163.com

min C were not significantly affected. The contents of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids in fruit bagged by type C bags were 36.11%, 40.00%, and 46.16% significantly lower than the control, respectively. Vitamin C content was significantly and 12.10% lower than the control. 14 kinds of aroma substances were detected in this treatment. The other indicators were not significantly affected. Type D bags significantly reduced the contents of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids by 61.11%, 46.67%, and 46.15%, respectively. Vitamin C was 2.93% lower than that of the control, and there were 16 species of aroma substances detected. The other indicators were not significantly different from the control. The single-layer type E bags significantly improved the smoothness of the fruit surface. The relative content of aldehydes was significantly and 66.56% lower than that of the control. 21 species of aroma substances were detected. In addition, there was no significant difference between the fruit shape index, fruit soluble solid content, titratable acid and vitamin C content of the fruits treated with different fruit bags and the control fruits. In treatment with type F bags, there were 19 aroma species detected, and fruit shape index, soluble solids, titratable acid and vitamin C were not significantly affected. The titratable acid in the treatment with type G bag was 20.0% higher than that of the control, while fruit shape index was 5.43% lower than the control. 17 kinds of aroma substances were detected in this bagging treatment. The content of solids and vitamin C were not significantly different from the control. **【Conclusion】**Bagging significantly improved the appearance quality of ‘Ruixue’ fruit, but it had some impact on the intrinsic quality of the fruit. Different types of fruit bags displayed different effects on the internal and external quality of the fruit. The 7 types of fruit bags all improved the smoothness of the peel of the fruit. The fruit bagged tended to become smaller and the color became lighter. Bagging reduced the intrinsic quality at varied degrees. Aroma substances were reduced by bagging treatments. The single-layer fruit bag had less change in fruit quality compared with the double layered bags. Based on the effects on the appearance quality and intrinsic quality of ‘Ruixue’ fruit, the double-layered type B bags (yellow stripes + white double light) and the single-layered type E bags (white resistance) were the best.

Key words: ‘Ruixue’ apple; Fruit bag; Quality; Aroma

苹果 (*Malus × domestica* Borkh.) 是中国农业部确定的 11 种优势农产品之一, 也是中国第一大果品产业^[1]。‘瑞雪’作为黄色晚熟新品种, 由西北农林科技大学赵政阳教授团队由‘秦富 1 号’和‘粉红女士’杂交选育而成, 因其风味独特, 深得消费者喜爱, 而且具有品质优、丰产稳产、易管理、具短枝、抗病性强等优良特性, 乔化、矮化均可栽培, 在高海拔地区套袋栽培果实阳面会着红晕^[2]。

套袋能显著改善果实的外观品质。苹果套袋后, 果实处在温度相对稳定的“小温室”条件下, 可避免风、雨、药剂、烈日、有害光线、机械摩擦等因素对果皮的刺激与损害, 有利于果皮正常良好的发育^[3]。王华峰等^[4]研究表明, 套袋可以降低过氧化物酶 (POD) 的活性, 而 POD 是果实合成木质素的关键性酶, 所以木质素的合成减少, 木栓化细胞的木质化程度降低, 从而使果皮皮孔变小、果点颜色变浅。厉

恩茂等^[5]研究发现套袋给果实造成一种弱光环境, 使果皮叶绿素含量显著减少, 而叶绿素对果实的着色影响较大, 其含量不同导致果皮底色不同, 最终影响果实的外观色泽。套袋对果实内含物含量产生了一定影响^[6]。套袋后所形成的“微域”环境可以引起果实物质代谢途径发生改变, 导致果实的内在品质如糖、酸、维生素 C 等物质的含量降低, 风味变淡。王少敏等^[7]发现套袋导致‘富士’苹果采收时香气物质相对百分含量降低。套双层果袋‘富士’苹果采收时香气物质相对百分含量平均为 85.53%, 而不套袋的对照为 92.19%。

不同类型果袋对果实内外在品质影响不同。张修德等^[8]研究认为不同颜色果袋处理, 对‘金冠’苹果外观色泽和内在品质都存在一定影响。张学英等^[9]认为, 白色袋与未套袋李果实外观差异不大, 但果皮花青苷含量差异显著。厉恩茂等^[10]研究了不同

颜色果袋套袋对成熟苹果果实中的芳香物质成分种类及含量的影响,发现红色和蓝色果袋酯类物质含量均有降低,但绿色果袋升高;红色和蓝色果袋烯类物质含量升高,而绿色果袋显著降低。

目前‘瑞雪’品种套袋方面的研究较少,刘俊灵等^[10]仅对不套袋‘瑞雪’特征香气进行了研究,并未展开套袋对‘瑞雪’香气组成的系统研究;邓瑞等^[12]研究了 2 种不同材质果袋对‘瑞雪’苹果果实可溶性糖及香气物质的影响;李静^[13]主要研究了不同果袋对‘瑞雪’矿质元素及抗氧化物质含量的影响,均未研究不同类型果袋对‘瑞雪’果实品质的影响。为筛选出能够提高果实外观品质,同时最小程度降低果实内在品质的果袋,笔者采用 7 种果袋处理,测定果实品质,比较分析其果皮叶绿素、果形指数、色泽、可溶性糖、可滴定酸、维生素 C 以及香气物质含量的差

异,结合果实的内外在品质对果袋进行综合评价,以期为‘瑞雪’果袋的应用提供理论基础,为其优质高效生产提供科学参考。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于 2019 年在陕西省白水南马村天鑫农业园区(35°11'56.75" N, 109°28'26.20" E)进行,海拔 908 m,年均降雨量 578 mm,年均气温 11.4 °C。试验材料为 4 a(年)生新品种‘瑞雪’,M26 矮化自根砧栽培,株行距 1.5 m×3 m,统一正常管理。于花后 44 d 统一套袋,选取树冠外围通风透光较好的果实进行套袋,每种果袋套 30 个果,并于花后 180 d 统一带袋采收,试验 3 次重复。

试验共设置 7 种果袋处理(表 1),以不套袋为对

表 1 果袋类型、厂家、规格及特点

Table 1 Fruit bag types, manufacturers, sizes and characteristics

| 编号 Numbering | 类型 Type | 生产厂家 Manufacturer | 规格 Specification/mm | 特点 Features |
|-----------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------|---|
| A | 双层果袋 Double fruit bag | 鸿泰果袋厂 Hongtai Fruit Bag Factory | 155×180 | 外袋灰色,内袋红色 Outer bag gray, inner bag red |
| B | 双层果袋 Double fruit bag | 鸿泰果袋厂 Hongtai Fruit Bag Factory | 155×180 | 外袋黄色,内袋白色涂蜡 Yellow outer bag, white waxed inner bag |
| C | 双层果袋 Double fruit bag | 鸿泰果袋厂 Hongtai Fruit Bag Factory | 155×180 | 外袋黄色,内袋白绵纸 Outer bag yellow, inner bag white cotton paper |
| D | 双层果袋 Double fruit bag | 鸿泰果袋厂 Hongtai Fruit Bag Factory | 155×180 | 外袋红色,内袋白绵纸 Outer bag red, inner bag white cotton paper |
| E | 单层果袋 Single layer fruit bag | 鸿泰果袋厂 Hongtai Fruit Bag Factory | 155×180 | 白色单层袋 White single layer bag |
| F | 单层果袋 Single layer fruit bag | 鸿泰果袋厂 Hongtai Fruit Bag Factory | 155×180 | 莱阳绿色,阳光玫瑰袋 Laiyang green, sunshine rose bag |
| G | 单层果袋 Single layer fruit bag | 鸿泰果袋厂 Hongtai Fruit Bag Factory | 155×180 | 表涂绿色,表层涂蜡 Surface coated with green surface, coated with wax |

照(CK)。果袋均选自陕西省鸿泰果袋厂。

1.2 方法

叶绿素:利用紫外-可见分光光度计测定叶绿素和类胡萝卜素含量。分别测定 663、646 和 470 nm 波长处的吸光度值,按照公式分别计算出叶绿素 a、b 和类胡萝卜素(Car)含量。

果形指数:取 30 个果实,用游标卡尺测量果实纵径、横径,并求其比值的平均值。

果实色泽参数:使用 Minolta CR-400 型色差计进行测定。

单果质量:用精度为 0.1 g 的天平测量,每个处理称重 30 个果实,求其平均值。

果实硬度:用 FTA-GS-15 水果质地分析仪(南京

铭奥仪器公司)测定。测 30 个果实,求其平均值。

可溶性固形物含量:用日产 ATAGO(PAL-1)手持数显折光仪(日本爱拓公司)测定,每个处理测 20 个果实,求其平均值。

可滴定酸含量:采用 FFRUIT ACIDZTY METER GMK-835 型酸度计(韩国 G-WON 公司)测定。

维生素 C 含量:通过钼蓝比色法,利用紫外-可见分光光度计测定 760 nm 波长处的吸光度值,按照公式分别计算出维生素 C 含量。

香气:应用顶空固相微萃取法提取果实的挥发性香气物质,具体方法参照邓瑞等^[12],果实挥发性成分的测定:用 GC-MSQP-2010 气相色谱-质谱联用仪^[14]。色谱条件:色谱柱 Rtx-1MS(30 m×0.25 mm×

0.25 μm)柱;进样口温度 200 $^{\circ}\text{C}$;柱温:初始温度 35 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,以 6 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 120 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min,然后以 10 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 180 $^{\circ}\text{C}$ 后以 20 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min。质谱条件:载气为 He 气,流量 1.03 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,电离方式 EI,电子能量 70 eV,离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$ 。扫描质量范围:45~450 amu。进样:不分流进样。挥发性成分的定性方法:未知化合物质谱图经计算机检索同时与 NIST05 质谱库相匹配,确认各种挥发性成分;定量方法:按峰面积归一化法求得各成分相对质量百分含量,并选择 3-壬酮为内标进行定量。

1.3 数据分析

试验数据测定 3 次生物学重复,用 Microsoft Excel 2010 处理数据和作图,用 SPSS 21.0 软件对数据进行单因素方差分析。数据以(平均值 \pm 标准误)表示。

2 结果与分析

2.1 不同果袋对‘瑞雪’果实外观品质的影响

2.1.1 不同果袋对‘瑞雪’果实果形指数的影响 不同果袋处理后,果实果形指数差异不显著,A、G 果袋果实果形指数显著低于对照,分别降低了 6.52%、5.43%,其他 5 种果袋果实与对照无显著差异(表 2)。

表 2 不同果袋对‘瑞雪’果实果形指数的影响

Table 2 Effects of different fruit bags on fruit shape index of ‘Ruixue’

| 处理 Treatment | 纵径 Longitudinal diameter/mm | 横径 Lateral diameter/mm | 果形指数 Fruit shape index |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| A | 68.87 \pm 4.86 a | 79.63 \pm 7.12 a | 0.87 \pm 0.04 b |
| B | 72.24 \pm 3.35 a | 79.45 \pm 2.35 a | 0.91 \pm 0.03 ab |
| C | 71.99 \pm 3.97 a | 79.77 \pm 2.62 a | 0.90 \pm 0.05 ab |
| D | 71.93 \pm 6.25 a | 80.08 \pm 3.22 a | 0.90 \pm 0.05 ab |
| E | 70.02 \pm 4.13 a | 77.98 \pm 2.14 a | 0.90 \pm 0.03 ab |
| F | 73.52 \pm 6.11 a | 78.51 \pm 6.34 a | 0.94 \pm 0.03 a |
| G | 71.81 \pm 4.05 a | 82.39 \pm 4.09 a | 0.87 \pm 0.02 b |
| CK | 74.16 \pm 3.80 a | 81.07 \pm 2.54 a | 0.92 \pm 0.04 a |

注:数据为来自 3 个独立生物学重复的平均值 \pm 标准误差,纵向不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$),下同。

Note: The data are the mean \pm standard error from three independent biological replicates, different small letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$), the same below.

2.1.2 不同果袋对‘瑞雪’果实色泽的影响 不同果袋果实的 L^* 值均高于对照(表 3),其中,A 果袋果实的 L^* 值显著高于其他果袋及对照,相比对照提高了 16.0%,B、C、E、F、G 果袋果实的 L^* 值差异不显著;

表 3 不同果袋对‘瑞雪’果实色泽的影响

Table 3 Effect of different fruit bags on the color of ‘Ruixue’ fruit

| 处理 Treatment | L^* | a^* | b^* |
|-----------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| A | 83.96 \pm 1.03 a | -5.90 \pm 0.58 a | 29.22 \pm 1.05 d |
| B | 77.75 \pm 2.13 c | -13.23 \pm 1.12 cd | 40.47 \pm 1.28 c |
| C | 77.05 \pm 1.97 cd | -14.34 \pm 1.89 de | 42.37 \pm 2.47 b |
| D | 79.94 \pm 1.99 b | -12.32 \pm 2.16 c | 39.76 \pm 1.80 c |
| E | 77.01 \pm 1.21 cd | -12.64 \pm 1.50 cd | 45.04 \pm 1.16 a |
| F | 75.77 \pm 1.28 d | -15.07 \pm 1.71 e | 44.32 \pm 0.62 a |
| G | 76.83 \pm 1.97 cd | -14.34 \pm 1.82 de | 44.29 \pm 1.30 a |
| CK | 72.40 \pm 2.11 e | -8.61 \pm 2.17 b | 43.38 \pm 1.79 ab |

B、C、D、E、G 果袋果实的 a^* 值差异不显著,但均低于对照,F 果袋果实的 a^* 值显著低于其他果袋和对照,C、E、F、G 果袋与对照 b^* 值差异不显著,A 果袋果实的 b^* 值显著低于其他果袋及对照,比对照降低了 32.6%。

试验结果表明,不同果袋处理后果皮叶绿素含量存在显著差异。E 果袋果实的果皮叶绿素 A 及类胡萝卜素含量显著高于 A、B、C、D、G 果袋处理,A 果袋果实果皮叶绿素及类胡萝卜素含量最少,分别比对照低 94.4%、69.2%,同时与其他 6 种果袋处理相比存在显著差异,B、C、D 果袋处理后,果实果皮叶绿素及类胡萝卜素含量差异不显著(表 4)。

表 4 不同果袋对‘瑞雪’果皮叶绿素含量的影响

Table 4 Effects of different fruit bags on chlorophyll contents in ‘Ruixue’ peel

| 处理 Treatment | w(叶绿素 a) Chlorophyll a content/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) | w(叶绿素 b) Chlorophyll b content/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) | w(类胡萝卜素) Carotenoids content/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) |
|-----------------|---|---|---|
| A | 0.002 \pm 0.001 e | 0.003 \pm 0.001 d | 0.004 \pm 0.001 e |
| B | 0.018 \pm 0.002 cd | 0.008 \pm 0.002 c | 0.006 \pm 0.002 de |
| C | 0.023 \pm 0.001 cd | 0.009 \pm 0.002 bc | 0.007 \pm 0.001 cd |
| D | 0.014 \pm 0.004 d | 0.008 \pm 0.003 c | 0.007 \pm 0.002 cd |
| E | 0.033 \pm 0.003 ab | 0.013 \pm 0.002 ab | 0.010 \pm 0.002 ab |
| F | 0.026 \pm 0.002 bc | 0.011 \pm 0.002 bc | 0.008 \pm 0.001 bc |
| G | 0.019 \pm 0.001 cd | 0.009 \pm 0.004 bc | 0.006 \pm 0.002 cde |
| CK | 0.036 \pm 0.004 a | 0.015 \pm 0.003 a | 0.013 \pm 0.003 a |

2.2 不同果袋对‘瑞雪’果实内在品质的影响

套袋果实的单果质量与对照相比,虽然都略低于对照,但无显著差异(表 5)。F、G 果袋果实的单果质量较大,分别为 245.81 g 和 245.25 g, A 果袋果实的单果质量最小,为 211.81 g。

不同果袋果实的硬度与对照相比无显著差异,其中,A 果袋果实的硬度相对较高,G 果袋果实的硬度最低。

表 5 不同颜色果袋对‘瑞雪’果实内在品质的影响

Table 5 Effects of different color fruit bags on the internal quality of Ruixue fruits

| 处理 Treatment | 单果质量 Single fruit mass/g | 硬度 Firmness/(kg·cm ⁻²) | w(可溶性固形物) Soluble sugar content/% | w(可滴定酸) Titratable acid content/% | 固酸比 Sugar-acid ratio | w(维生素C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--|
| A | 211.81±17.53 a | 7.60±0.45 a | 13.28±0.82 c | 0.18±0.03 cd | 76.81±5.28 ab | 7.75±0.09 a |
| B | 231.69±14.69 a | 7.22±0.42 a | 14.19±0.69 b | 0.17±0.02 d | 84.91±6.64 a | 7.37±0.01 bc |
| C | 237.38±16.45 a | 7.42±0.61 a | 14.18±0.63 b | 0.23±0.04 ab | 62.89±8.10 c | 6.59±0.03 d |
| D | 227.00±19.39 a | 7.50±0.68 a | 14.73±0.65 ab | 0.23±0.02 ab | 64.90±7.38 bc | 7.28±0.09 c |
| E | 225.31±12.43 a | 7.48±0.64 a | 14.39±0.62 ab | 0.21±0.04 abc | 72.69±5.99 bc | 7.22±0.17 c |
| F | 245.81±19.24 a | 7.33±0.65 a | 14.65±0.76 a | 0.24±0.04 ab | 64.97±9.68 bc | 7.53±0.14 b |
| G | 245.25±21.72 a | 7.14±0.55 a | 14.49±0.71 a | 0.24±0.04 a | 62.56±7.66 c | 7.31±0.02 c |
| CK | 248.06±18.96 a | 7.39±0.42 a | 14.94±0.24 ab | 0.20±0.01 bcd | 72.85±2.97 bc | 7.50±0.03 b |

A果袋果实可溶性固形物及可滴定酸含量显著低于其他果袋果实,且低于对照11.11%。E、F、G 3种单层果袋果实在可溶性糖含量、可滴定酸含量和固酸比方面无显著差异。

A果袋果实的维生素C含量高于对照3.2%,C果袋果实维生素C含量显著低于其他果袋果实和对照果实。

2.3 不同果袋对‘瑞雪’果实香气物质的影响

通过对不同果袋及对照果实香气物质的测定,共检测出28种挥发性化合物,其中酯类19种,醛类3种,醇类3种,烯炔类2种,其他类1种,分别占总香气物质种类的67.9%、10.7%、10.7%、7.2%、3.5%。试验结果表明,套袋主要抑制了(Z)-2-壬烯醛、异丁酸己酯、乙酸己酯、己酸戊酯、丙酸异戊酯、丙酸己酯、甲基庚烯酮的合成(表6)。

A、B、C、D、E、F、G 7种处理及对照(CK)分别含有的香气物质为12、16、14、16、21、19、17、24种,以CK香气物质种类最多,7种处理中相对含量较高的香气物质分别为:正己醛、2-己烯醛、异戊酸己酯、丁酸己酯、正己醇、 α -法呢烯,各香气物质总含量在A、B、C、D、E、F、G果袋果实中分别占91.01%、92.73%、93.90%、93.75%、91.29%、92.09%、93.18%和87.03%,7种果袋果实共同含有的香气成分有:正己醛、2-己烯醛、异戊酸己酯、丁酸己酯、丁酸丁酯、2-甲基丁酸丁酯、正己醇、反式-2-己烯-1-醇、 α -法呢烯,共9种香气物质,其中,A、B果袋果实所特有的香气物质为丁酸乙酯和正己酸乙酯,E果袋果实所特有的香气物质为2-甲基丁酸丙酯(表6)。

在A、B、C、D 4种双层果袋中,A果袋果实的醛类物质相对含量为68.83%,显著高于其他果袋果实,同时显著高于对照85.48%,B果袋果实与C、D

果袋果实的醛类物质相对含量无显著差异,D果袋果实的醛类物质相对含量显著高于C果袋果实31.4%;C果袋果实酯类物质相对含量较高,分别高于A、B、D果袋果实46.6%、29.3%、18.35%;A果袋果实的醇类物质相对含量显著高于B果袋51.0%,C、D果袋果实无显著差异;A果袋果实的烯炔类相对含量显著低于B、C、D果袋果实,分别降低了77.6%、80.3%、71.3%,B果袋果实与C、D果袋果实差异不显著;A果袋果实在其他物质含量上显著低于其他果袋果实(图1,表7)。

在E、F、G 3种单层袋中,E、F果袋果实与G果袋果实相比,醛类物质相对含量有差异,但不显著;E果袋果实的醛类物质相对含量显著低于F果袋果实48.33%,低于G果袋果实42.99%,F、G果袋果实相比差异不显著,E、F、G果袋果实的醛类物质相对含量均显著低于对照,分别降低了66.6%、35.3%、41.35%;E、F、G果袋果实的酯类物质相对含量均有差异,但不显著;E、F、G果袋果实的醇类物质相对含量没有差异,但与对照相比,显著低于对照;E果袋果实的 α -法呢烯相对含量显著高于F、G果袋果实,分别是F、G果袋果实的1.29倍和1.15倍,高于对照(图1,表7)。

以不同类型果袋挥发性香气物质组分及其相对含量为数据源,进行主成分分析,结果如图2所示。在PCA模型中,PC1(58.87%)和PC2(39.43%)累计方差贡献为98.30%。能够反映样本的大部分信息,因此选取2个主成分(PC1-PC2)进行分析。由图2可知,不同类型果袋处理的苹果分别聚集在PCA得分图的不同区域。根据其距离间隔的大小可分为3类。第1类为A果袋处理,位于得分图左上方;第2类为B、C、D、F、G果袋处理和对照,位于得分图的

表6 不同果袋对‘瑞雪’果实香气物质含量的影响
Table 6 The effect of different fruit bags on the aroma content of 'Rixue' fruit

| 挥发性成分 Volatile compounds | 不同果袋处理的相对含量 Relative content in different bagging treatments/% | | | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | E | F | G | CK |
| 正己醛 Hexanal | 14.49 | 8.43 | 6.02 | 8.61 | 1.42 | 2.45 | 2.15 | 3.98 |
| 2-己烯醛 2-Hexenal | 54.33 | 35.07 | 28.59 | 41.84 | 10.99 | 21.57 | 19.62 | 32.93 |
| (Z)-2-壬烯醛 2-Heptenal, (Z)- | N | N | N | N | N | N | N | 0.21 |
| 异戊酸己酯 Butanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester | 5.75 | 11.77 | 19.05 | 15.17 | 20.81 | 22.90 | 20.36 | 19.49 |
| 异丁酸己酯 Propanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester | N | N | N | N | 0.22 | 0.18 | N | 0.28 |
| 乙酸己酯 Acetic acid, hexyl ester | N | N | N | N | N | N | N | 0.25 |
| 己酸戊酯 Hexanoic acid, pentyl ester | N | N | N | N | 0.20 | N | N | 0.19 |
| 己酸己酯 Hexanoic acid, hexyl ester | N | 0.52 | 0.72 | 0.49 | 1.14 | 0.71 | 0.67 | 1.12 |
| 丁酸异戊酯 Butanoic acid, 2-methylbutyl ester | N | N | N | 0.32 | 0.30 | 0.31 | 0.28 | 0.50 |
| 丁酸己酯 Butanoic acid, hexyl ester | 2.06 | 1.64 | 1.59 | 1.34 | 1.45 | 1.23 | 1.21 | 2.35 |
| 丁酸丁酯 Butanoic acid, butyl ester | 0.96 | 0.79 | 0.44 | 0.34 | 0.33 | 0.37 | 0.42 | 1.07 |
| 丙酸异戊酯 1-Butanol,3-methyl-,propanoate | N | N | N | N | N | N | N | 0.20 |
| 丙酸己酯 Propanoic acid, hexyl ester | N | N | N | N | 0.29 | 0.15 | N | 0.41 |
| 3-甲基-丁酸戊酯 Butyl 3-methylpentanoate | N | N | 0.33 | 0.28 | 0.49 | 0.42 | 0.33 | 0.72 |
| 2-甲基丁酸戊酯 Butanoic acid, 2-methyl-, pentyl ester | N | 0.29 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.4 | 0.45 | 0.42 |
| 2-甲基丁酸丁酯 Butyl 2-methylbutanoate | 0.72 | 0.92 | 0.69 | 0.77 | 0.78 | 0.98 | 0.95 | 1.52 |
| 2-甲基丁酸2-甲基丁酯 Butanoic acid, 2-methyl-, 2-methylbutyl ester | N | 0.28 | 0.34 | 0.77 | 0.67 | 0.75 | 0.54 | 0.65 |
| 2-甲基丁酸丙酯 Butanoic acid, 2-methyl-, propyl ester | N | N | N | N | 0.28 | N | N | N |
| 2-甲基丁基己酸酯 Hexanoic acid, 2-methylbutyl ester | N | N | N | 0.16 | 0.49 | 0.34 | 0.25 | 0.34 |
| (Z)-丁酸2己烯酯 Butanoic acid, 2-hexenyl ester, (Z)- | N | 0.43 | 0.30 | N | 0.24 | 0.16 | 0.23 | 0.44 |
| 丁酸乙酯 Butanoic acid, ethyl ester | 1.23 | 0.48 | N | N | N | N | N | N |
| 正己酸乙酯 Hexanoic acid, ethyl ester | 1.92 | 0.58 | N | N | N | N | N | N |
| 正己醇 1-Hexanol | 7.16 | 3.53 | 2.04 | 1.62 | 0.79 | 0.74 | 1.40 | 2.15 |
| 反式-2-己烯-1-醇 2-Hexen-1-ol, (E)- | 1.66 | 1.34 | 0.71 | 0.54 | 0.25 | 0.22 | 0.43 | 1.10 |
| 2-甲基丁醇 1-Butanol, 2-methyl- | 2.20 | 0.81 | N | 1.28 | 1.16 | 1.03 | 0.75 | 1.45 |
| α -法呢烯 (3Z,6E)- α -Farnesene; | 7.22 | 32.29 | 36.61 | 25.17 | 55.83 | 43.20 | 48.44 | 26.13 |
| 甲基庚烯酮 5-Hepten-2-one, 6-methyl- | N | N | N | N | N | N | N | 0.30 |
| 总计 Total | 99.71 | 99.17 | 97.84 | 99.11 | 98.37 | 98.21 | 98.49 | 98.20 |

注:“N”表示未检出。Note: “N” means not detected.

右上方,距离间隔较小,表明它们之间的相似性较大;第3类为E果袋处理,位于得分图的右下侧,在第一主成分上两样本间间距较大,挥发性香气物质的组分与相对含量差异较大,而在第二主成分上两样本间间距较小,挥发性香气物质的组分与相对含量差异较小。

3 讨论

大量研究表明,套袋后改变了果实所处的微域

环境(包括温度、湿度、气体和光照)^[15],可显著改善果实的外观品质,但降低了果实的内在品质。

3.1 套袋对‘瑞雪’苹果果实外观品质的影响

决定苹果色泽的主要因素有叶绿素、花青苷、胡萝卜素及可溶性碳水化合物含量,果皮色素的合成受光照强度的影响^[16],张修德等^[8]通过研究不同果袋对‘金冠’果皮叶绿素含量及品质的影响,发现果袋透光率越低,反映果实光泽明亮度的 L^* 值越

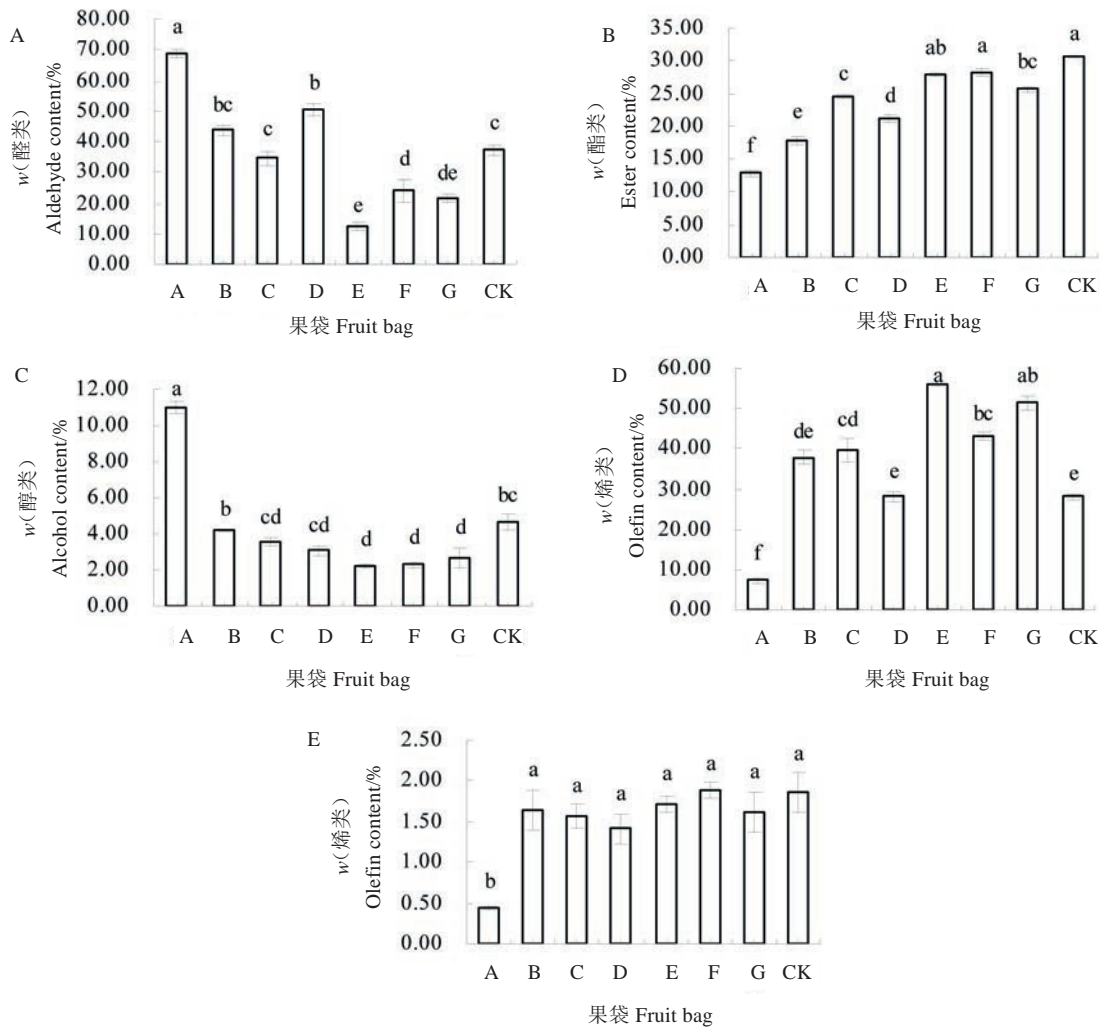


图 1 不同果袋‘瑞雪’果实的香气物质分类相对含量

Fig. 1 Absolute content of classified aroma substances in different fruit bagging treatments

表 7 不同果袋‘瑞雪’果实的香气物质分类相对含量

Table 7 Relative contents of classification aroma substances in different fruit bagging treatments

%

| 处理 Treatment | 醛类 Aldehydes | 酯类 Esters | 醇类 Alcohols | 烯烃类 Olefins | 其他类 Others |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| A | 68.83±0.011 a | 12.79±0.005 f | 11.02±0.003 a | 7.22±0.008 f | 0.14±0.002 b |
| B | 43.73±0.116 bc | 16.93±0.016 e | 5.40±0.021 b | 32.29±0.094 de | 1.65±0.004 a |
| C | 34.61±0.215 c | 23.94±0.076 c | 3.26±0.038 cd | 36.61±0.152 cd | 1.58±0.008 a |
| D | 50.45±0.068 b | 19.57±0.027 d | 3.40±0.006 cd | 25.17±0.051 e | 1.41±0.005 a |
| E | 12.41±0.002 e | 27.85±0.003 ab | 2.19±0.001 d | 55.83±0.002 a | 1.72±0.003 a |
| F | 24.02±0.045 d | 28.84±0.012 a | 2.03±0.004 d | 43.20±0.039 bc | 1.91±0.007 a |
| G | 21.77±0.054 de | 25.70±0.005 bc | 2.67±0.006 d | 48.44±0.053 ab | 1.42±0.007 a |
| CK | 37.11±0.047 c | 29.83±0.013 a | 4.71±0.004 bc | 26.13±0.036 e | 2.11±0.003 a |

大,而反映果实绿色饱和度的 a^* 值和果实黄色饱和度 b^* 值越小,透光率较高的蓝色果袋和红色果袋有利于果皮叶绿素的积累,使果面黄色、绿色饱和度增强,而不同果袋对果实果形指数无显著影响。Ilag 等^[17]研究发现,叶绿素生物合成过程中需要多个基因的调控,这些基因编码相关酶的表达,

许多酶活性受光照影响。果实套袋后降低了果面的光照强度,使果皮叶绿素的合成减少^[18],本试验中,不同果袋均显著升高了果实色泽的 L^* 值,显著降低了果实色泽的 a^* 值和 b^* 值,降低了果皮叶绿素含量,对果形指数无显著影响,试验结果与前人研究基本一致。

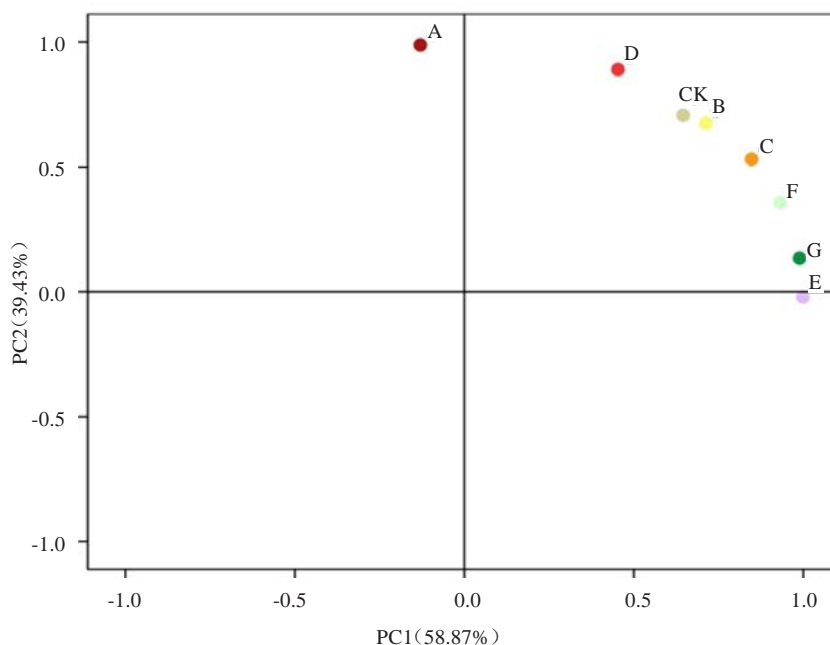


图2 不同果袋‘瑞雪’果实的香气含量 PCA 得分图

Fig. 2 PCA scores of aroma content of fruits treated with different fruit bags

3.2 套袋对‘瑞雪’苹果果实内在品质的影响

前人研究认为,套袋微环境中的弱光因子导致果实果皮叶绿素含量显著减少,光合作用能力几乎丧失,向果肉输送的果皮同化产物几乎为零;而且果皮所需的光合产物全部由叶供应,加剧了果实库之间对叶同化产物的竞争,使分配到果肉的光合产物占整个果实的百分比下降,导致套袋果的可溶性总糖和可溶性固形物含量降低^[19]。透光率低的果袋减弱了光合同化物的来源,源强降低,不利于向果实运输养分,减少了果实碳同化物积累^[20]。Arakawa等^[21]研究发现,套双层纸袋后,苹果果实总糖含量显著降低,其中蔗糖含量下降比较明显,糖酸比较对照略有升高。本试验中,双层果袋显著增大了果实的固酸比,显著降低了果实的可溶性固形物含量,对单果质量和果实硬度无显著影响;单层果袋对果实内在品质无显著影响。这可能与双层果袋的透光率低有关,透光率高的果袋可以促进苹果果实的生长,增强其光合作用,提高果实含糖量^[22]。

3.3 套袋对‘瑞雪’苹果果实香气成分的影响

套袋抑制苹果果实香气物质的产生,降低和减少果实总香气物质的含量和种类,李慧峰等^[23]报道,不同材质果袋对苹果香气影响也有差异,套塑膜袋的果实香气总含量略低于不套袋果实,套双层纸袋的果实香气总含量为不套袋果实香气总量的59.97%。本研究中,与对照相比,7种果袋果实的香

气物质种类均降低,双层果袋处理果实的香气物质种类显著低于单层果袋处理果实,这种差异可能与不同材质果袋的颜色、透光率、温度、湿度等微域环境有关。赵峰等^[24]对‘红富士’苹果的研究表明,未套袋果实芳香成分中酯类、醛类和醇类化合物的相对含量较高,但以酯类化合物含量最高,套袋后果实的风味变淡,而且酯类和醇类物质含量均降低,醛类物质含量高于未套袋果1.77倍,导致果实的特有风味有所改变。本试验中,双层果袋果实与对照相比,醛类物质含量升高,酯类物质含量有所下降,而单层果袋果实与对照相比无显著差异。前人研究发现芳香生物合成途径中的某些点受到乙烯的调控,乙烯积累量增加会促进香气物质的产生^[25-26],而套袋明显抑制苹果乙烯释放和相关基因的表达,套袋果实乙烯受体(ethylene receptors, ERS)基因表达明显下调,乙烯含量低于不套袋果实,在套袋果实中脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)基因、醇脱氢酶(alcohol dehydrogenase, ADH)基因显著下调,由此推测套袋果实乙烯合成减少导致MdLOX和MdADH基因表达下调,影响果实香气物质的合成,进而改变苹果果实的风味品质^[27]。对于不同果袋对苹果香气物质的影响机制,有待深入研究。

4 结 论

套袋可显著提高‘瑞雪’果实的外观品质,7种

果袋处理均使果实的果皮光洁度得到改善,果点变小且颜色变浅,套袋使果实的内在品质出现不同程度的降低。不同质地的果袋间相比较,单层果袋果实品质变化较小,更接近对照果实,双层果袋对果实内在品质改变较大。综合比较各种果袋对‘瑞雪’果实外观品质和内在品质的影响,本试验认为,以双层果袋B(黄条纹+白双光)和单层果袋E(白抗)效果较好。

参考文献 References:

- [1] 王海波,李林光,陈学森,李慧峰,杨建明,刘嘉芬,王超. 中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质[J]. 中国农业科学, 2010,43(1):2300-2306.
WANG Haibo, LI Linguang, CHEN Xuesen, LI Huifeng, YANG Jianming, LIU Jiafen, WANG Chao. Flavors and flavor quality of apple fruits of middle-early maturity[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43 (1): 2300-2306.
- [2] 高华,赵政阳,王雷存,苹果新品种‘瑞雪’的选育[J]. 果树学报, 2016,33(3):374-377.
GAO Hua, ZHAO Zhengyang, WANG Leicun. Breeding of a new apple variety ‘Ruixue’ [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(3):374-377.
- [3] 孙艳,张媛,李中勇,徐继忠. 套袋‘红富士’苹果果实表皮结构的发育及其与裂纹的关系[J]. 北方园艺, 2013(15):5-10.
SUN Yan, ZHANG Yuan, LI Zhongyong, XU Jizhong. The development of the skin structure of bagged ‘Red Fuji’ apple fruit and its relationship with cracks[J]. *Northern Horticulture*, 2013 (15): 5-10.
- [4] 王华峰,秦翠平,高丽清. 套袋对梨幼果生长发育的影响[J]. 山西师范大学学报, 2008,22(3):81-83.
WANG Huafeng, QIN Cuiping, GAO Liqing. Effect of bagging on growth and development of young pear fruit[J]. *Journal of Shanxi Normal University*, 2008, 22(3): 81-83.
- [5] 厉恩茂,徐锴,安秀红,李敏,程存刚,李壮,刘尚涛. 不同颜色果袋对红富士苹果果实品质的影响[J]. 中国南方果树, 2016, 45(3):141-143.
LI Enmao, XU Yan, AN Xiuhong, LI Min, CHENG Cungang, LI Zhuang, LIU Shangtao. Effects of different color fruit bags on fruit quality of Red Fuji apples[J]. *South China Fruits*, 2016, 45 (3): 141-143.
- [6] 魏建梅,范崇辉,赵政阳,套袋对嘎拉苹果品质的影响[J]. 西北农业学报, 2005, 14(4): 191-193.
WEI Jianmei, FAN Chonghui, ZHAO Zhengyang. Effects of bagging on the quality of Gala apples [J]. *Journal of Northwest Agricultural Sciences*, 2005, 14(4): 191-193.
- [7] 王少敏,魏树伟,翟衡. 套袋对富士苹果贮藏过程中香气物质的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2009, 26(4): 330-333.
WANG Shaomin, WEI Shuwei, ZHAI Heng. Effect of bagging on aroma substances of Fuji apple during storage [J]. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2009, 26(4): 330-333.
- [8] 张修德,宋成秀,厉恩茂,李壮,李敏,程存刚,安秀红. 不同颜色果袋对‘金冠’果皮叶绿素含量及品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(10):1801-1809.
ZHANG Xiude, SONG Chengxiu, LI Enmao, LI Zhuang, LI Min, CHENG Cungang, AN Xiuhong. Effects of different color fruit bags on chlorophyll content and quality of ‘Jinguan’ peel [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53(10): 1801-1809.
- [9] 张学英,张上隆,叶正文. 不同颜色果袋对李果实着色及花色素苷合成的影响因素分析[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 605-610.
ZHANG Xueying, ZHANG Shanglong, YE Zhengwen. Analysis of influencing factors of different color fruit bags on plum fruit coloring and anthocyanin synthesis[J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(5): 605-610.
- [10] 厉恩茂,安秀红,李敏,李壮,赵德英,程存刚. 不同颜色果袋对富士苹果果实香气组分的影响[J]. 中国南方果树, 2018, 47(5): 72-76.
LI Enmao, AN Xiuhong, LI Min, LI Zhuang, ZHAO Deying, CHENG Cungang. Effects of different color fruit bags on aroma components of Fuji apple fruit[J]. *South China Fruits*, 2018, 47 (5): 72-76.
- [11] 刘俊灵,李红光,党美乐,杨惠娟,赵政阳. 苹果新品种‘瑞雪’及几个常见品种果实香气物质成分差异分析[J]. 果树学报, 2019, 36(5):590-602.
LIU Junling, LI Hongguang, DANG Meile, YANG Huijuan, ZHAO Zhengyang. Difference analysis of aroma components of new apple variety ‘Ruixue’ and several common varieties[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(5): 590-602.
- [12] 邓瑞,袁仲玉,夏雪,刘振中,史涛,高华,赵政阳. 套袋对‘瑞雪’苹果果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(7):117-123.
DENG Rui, YUAN Zhongyu, XIA Xue, LIU Zhenzhong, SHI Tao, GAO Hua, ZHAO Zhengyang. Effect of bagging on fruit quality of ‘Ruixue’ apple[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2018, 46(7): 117-123.
- [13] 李静. 苹果新品种‘瑞雪’专用育果袋的筛选[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019.
LI Jing. Selection of special fruit-growing bags for new apple variety ‘Ruixue’ [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019.
- [14] 陈美霞,陈学森,冯宝春. 两个杏品种果实香气成分的气相色谱-质谱分析[J]. 园艺学报, 2004, 31(5):663-665.
CHEN Meixia, CHEN Xuesen, FENG Baochun. Gas chromatography-mass spectrometry analysis of aroma components of two apricot varieties [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(5): 663-665.
- [15] 张建光,王慧英,王梅. 套袋对苹果微域生态环境的影响[J].

- 生态学报,2005,25(5):1082-1087.
- ZHANG Jianguang, WANG Huiying, WANG Mei. Effects of bagging on the ecological environment of apple microdomains [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1082-1087.
- [16] 程存刚,刘凤之,魏长存,丛佩华,杨振峰,董丽梅. 套袋对富士苹果果皮叶绿素和花青苷含量的影响[J]. *中国果树*, 2002(4):9-10.
- CHENG Cungang, LIU Fengzhi, WEI Changcun, CONG Peihua, YANG Zhenfeng, DONG Limei. Effects of bagging on chlorophyll and anthocyanin content in Fuji apple peel[J]. *China Fruits*, 2002(4): 9-10.
- [17] ILAG L L, KUMAR A M, SOLL D. Light regulation of chlorophyll biosynthesis at the level of 5 aminolevulinic acid formation in *Arabidopsis*[J]. *The Plant Cell*, 1994, 6(2): 265-275.
- [18] 陶俊,张上隆,安新民. 光照对柑橘果皮类胡萝卜素和色泽形成的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1833-1836.
- TAO Jun, ZHANG Shanglong, AN Xinmin. Effects of light on carotenoids and color formation of citrus peel [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1833-1836.
- [19] HONG K H, KIM J K, JANG H I, CHOI J H. Effect of paper sources for bagging on the appearance of fruit skin in Oriental pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Gam chonbae and Yeongsanbae) [J]. *Horticulture Environment & Biotechnology*, 1999, 40(5): 554-558.
- [20] HIRATSUKA S, YOKOYAMA Y, NISHIMURA H, MIYAZAKI T, NADA K. Fruit photosynthesis and phosphoenolpyruvate carboxylase activity as affected by lightproof fruit bagging in Satsuma Mandarin[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2012, 137(4): 215-220.
- [21] ARAKAWA O, UEMATSU N, NAKAJIMA H. Effect of bagging on fruit quality in apples (*Malus pumila*) [J]. *Bulletin of the Faculty of Agriculture Hirosaki University*, 1994, 120(3): 828-831.
- [22] 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 Food and Agriculture*, 2010, 90(11): 1783-1788.
- [23] 李慧峰,王海波,李林光,吕德国,杨建明. 套袋对‘寒富’苹果果实香气成分的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(4): 843-847.
- LI Hui Feng, WANG Haibo, LI Linguang, LÜ Deguo, YANG Jianming. Effects of bagging on ‘Hanfu’ apple aroma compounds [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(4): 843-847.
- [24] 赵峰,王少敏,高华君,孙山. 套袋对红富士苹果果实芳香成分的影响[J]. *果树学报*, 2006, 23(3): 322-325.
- ZHAO Feng, WANG Shaomin, GAO Huajun, SUN Shan. Effect of bagging on the content of aromatic substances of Red Fuji apple[J]. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(3): 322-325.
- [25] LI D P, XU Y F, SUN L P, LIU L X, HU X L, LI D Q, SHU H R. Salicylic acid, ethephon, and methyl jasmonate enhance ester regeneration in 1-MCP-treated apple fruit after longterm cold storage[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(11): 3887-3895.
- [26] SCHAFFER R J, FRIEL E N, SOULEYRE E J F, BOLITHO K, THODEY K, LEDGER S E, BOWEN J H, MA J, NAIN B, COHEN D, GLEAVE A P, CROWHURST R N, JANSSEN B J, YAO J L, NEWCOMB R D. A genomics approach reveals that aroma production in apple is controlled by ethylene predominantly at the final step in each biosynthetic pathway[J]. *Plant Physiology*, 2007, 144(4): 1899-1912.
- [27] 冯帅帅,闫成太,张天皓,张莉,吉苗苗,王帆,高华. 套袋对‘瑞雪’苹果香气成分的影响及相关基因表达分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(4): 1-14.
- FENG Shuaishuai, YAN Chengtai, ZHANG Tianhao, ZHANG Li, JI Miaomiao, WANG Fan, GAO Hua. Effects of bagging on aroma components and expression of related genes in ‘Ruixue’ apples [J]. *Food Science*, 2020, 41(4): 1-14.