



成臣,王志雯,王雅青,等.南丰蜜桔芽变优株“ZZL-03”果实品质及其采后主要变化规律的研究[J].江西农业大学学报,2021,43(4):750-758.

CHENG C,WANG Z W,WANG Y Q,et al.A study on the fruit quality and its main variation law after harvest of the Nanfeng Tangerine bud mutation superior plant ‘ZZL-03’[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2021,43(4):750-758.

南丰蜜桔芽变优株“ZZL-03”果实品质及其采后主要变化规律的研究

成 臣¹,王志雯¹,王雅青¹,朱桢桢¹,陈祥磊¹,高志强¹,
姚锋先¹,卢占军¹,朱 博^{1*},黄文赞²,陈何良³

(1.赣南师范大学 生命科学学院/国家脐橙工程技术研究中心/赣州市设施蔬菜重点实验室,江西 赣州 341000;2.江西省信丰县农业农村局,江西 赣州 341600;3.江西省大余县农业农村局,江西 赣州 341500)

摘要:【目的】南丰蜜桔作为江西省四大特色柑桔产业之一,加快南丰蜜桔品质提升对促进江西柑桔产业高质量发展具有重要作用。2007年笔者发现一棵(4年树龄)砧木为枳、接穗来源于南丰蜜桔“杨小2-6”的芽变优株,并经连续10余年高接鉴定表明该变异品种遗传稳定性较好,品质及耐贮特性也较佳,该变异优株被命名为“南丰蜜桔芽变优株ZZL-03”。为评价南丰蜜桔芽变优株“ZZL-03”(突变体)果实采后品质变化特征,客观探讨其商品性。【方法】以普通南丰蜜桔为对照,采收后每隔10 d测定其果实耐贮特性、内在品质及果皮果汁的色差指数等指标,并于采摘期对果实外在品质进行测定。【结果】研究表明,随贮藏期延长(采后4~34 d内),突变体及对照组的果实硬度、可滴定酸、果皮 L 、 h_0 值均逐渐降低,果实可溶性固形物含量、腐烂率、浮皮率、可溶性糖、糖酸比、固酸比、果皮 a 、 c 值及果汁 L 、 a 、 b 、 c 值均逐渐增加,而维生素C、果皮 b 值及果汁 h_0 值均先增后降。在贮藏各时期,突变体果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖、糖酸比、固酸比和维生素C均显著高于对照($P<0.05$),分别平均高48.7%、53.7%、35.2%、66.9%、89.9%和25.3%;而腐烂率、浮皮率、可滴定酸均显著低于对照,平均低于45.0%、71.0%和18.9%。突变体果皮及果汁 L 、 a 、 b 及 c 值均高于对照,但 h_0 值有所降低。突变体果实皮薄而硬,外在品质显著优于对照。【结论】综上,与对照相比突变体果实采后具有更好的耐贮特性及果实品质,研究得出的贮藏期品质的变化规律可为蜜桔采后加工利用提供理论指导。

关键词:南丰蜜桔;芽变优株;常温贮藏;果实品质;耐贮特性

中图分类号:S666 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2021)04-0750-09

A Study on the Fruit Quality and Its Main Variation Law after Harvest of the Nanfeng Tangerine Bud Mutation Superior Plant ‘ZZL-03’

CHENG Chen¹,WANG Zhiwen¹,WANG Yaqin¹,ZHU Zhenzhi¹,
CHEN Xianglei¹,GAO Zhiqiang¹,YAO Fengxian¹,LU Zhanjun¹,
ZHU Bo^{1*},HUANG Wenyun²,CHEN Heliang³

收稿日期:2021-01-15 修回日期:2021-03-09

基金项目:江西省重点研发计划项目(20171ACF60007,20203BBFL63065)和江西省科技平台建设项目(2017PTGCD0052) Project supported by Science and Technology Department of Jiangxi Province(20171ACF60007,20203BBFL63065) and Construction of Science and Technology Platform in Jiangxi Province(2017PTGCD0052)

作者简介:成臣,orcid.org/0000-0001-7467-0160,chengchenzxm@163.com;*通信作者:朱博,教授,博士,主要从事果树逆境生理与分子生物学研究,orcid.org/0000-0001-8700-2348,nczb615@163.com。

(1. Life Sciences College, Gannan Normal University/National Navel Orange Engineering Research Center/Ganzhou Key Laboratory of Greenhouse Vegetable, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 2. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Xinfeng County of Jiangxi Province, Ganzhou, Jiangxi 341600, China; 3. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Dayu County of Jiangxi Province, Ganzhou, Jiangxi 341500, China)

Abstract: [Objective] As one of the four characteristic citrus industries in Jiangxi, Nanfeng tangerine has made important contributions to promoting the development of characteristic citrus industry and eliminating poverty of fruit farmers. It is an important direction for the development of citrus industry to pursue high quality and storage performance of citrus. In 2007, a bud mutation superior plant was found in Nancheng County, whose rootstock was poncirus trifoliata and the scion originates from Nanfeng tangerine “Yangxiao2-6”. More than 10 years of high-connection identification showed that the genetic stability of the mutant species was good. In addition, the mutation superior plant was characterized by high fruit soluble solid content, thin and hard skin, storage resistance, good quality and long shelf life, which was named Nanfeng tangerine bud mutation superior plant ‘ZZL-03’. The fruit quality changes greatly, and even loses its commercial performance with the extension of postharvest storage period. However, the variation law of postharvest fruit quality and processing, storage and transportation performance of the mutant is still unclear, and its commodity value needs to be further confirmed. This study aimed to evaluate the changing characteristics of postharvest quality of the fruit of the bud mutation superior plant ‘ZZL-03’ Nanfeng tangerine (mutant), and objectively analyze its commodity value. [Methods] In contrast to ordinary Nanfeng tangerine (CK), the fruit storage characteristics and internal quality characteristics and chromatism index of the tangerine were measured every 10 days after harvest. Meanwhile, the external quality of the fruit was measured during the picking period. [Results] The results showed that the fruit firmness, titratable acid, peel L and h_0 values reduced gradually, the fruit soluble solid content, rotting rate, puffing rate, soluble sugar, SS/TA, SSC/TA, the a and c values of peel, and the L , a , b and c values of juice increased gradually, while the vitamin C, peel b value and the juice h_0 value increased first and then decreased with the extension of storage period during 4~34 days after harvest. The fruit soluble solid content, firmness, soluble sugar, SS/TA, SSC/TA and vitamin C of the mutant were significantly higher than those of the control during the storage period ($P < 0.05$), with an average increase of 48.7%, 53.7%, 35.2%, 66.9%, 89.9% and 25.3%, respectively. While the rotting rate, puffing rate, titratable acid of the mutant were significantly lower than those of the control, with an average of less than 45.0%, 71.0% and 18.9%. The L , a , b and c values of the mutant peel and juice were also higher than those of the control, but the h_0 value reduced. The peel of the mutant was thin and hard, and the internal quality of the mutant was also significantly better than that of the control. [Conclusion] Compared with the control, the postharvest fruits of the mutant had better fruit storability and quality characteristics. According to the changing law of the fruit quality during the period of storage this study provides theoretical guidance for the processing and utilization of tangerine after harvesting.

Keywords: Nanfeng tangerine; bud mutation plants; room temperature storage; characteristic quality; storage characteristics

【研究意义】柑桔是世界上种植区域最广、供应量最大的果品,中国是世界五大柑桔生产国之一,时至2018年,柑桔种植面积已达 2.5×10^6 hm^2 、总产量 4.1×10^7 t,分别占世界的1/3和1/4^[1-2]。中国作为柑桔栽培最早的国家,其适宜栽培区广阔、自然条件优越,尤其是在我国南方亚热带地区^[3]。其中,江西作为我国柑桔主产区之一,现已形成南丰蜜桔、赣南脐橙、井冈蜜柚和新余蜜桔等四大特色柑桔产业。加速推进江西特色柑桔产业发展,对果农脱贫致富、区域经济发展具有重要贡献^[4]。【前人研

究进展】近年来,随着消费者生活质量提升,追求柑桔高产已经不能满足人们的需求,提高柑桔贮运性能、外在品质及内在品质等综合属性,优化其商品性能及经济价值是发展柑桔产业的重要方向^[5-6]。柑桔的品质受到基因、栽培管理技术和生态环境因子等的共同调控,通过遗传育种、良种嫁接繁殖等方法是提高柑桔品质的重要方式^[7-9]。2007年,笔者在江西省南城县百子亭果园发现一棵(4年树龄)砧木为枳、接穗来源于南丰蜜桔“杨小2-6”的芽变优株,经连续10余年高接鉴定表明该变异品种遗传稳定性较好,并且该变异优株表现为果实可溶性固形物含量高(高糖)、皮薄而硬、耐贮藏及货架期长等优良特性,被命名为“南丰蜜桔芽变优株ZZL-03”,具有突出的开发潜力和推广价值,可有效促进我国蜜桔产业高质量发展^[10]。【本研究切入点】前期仅对突变体采收期品质特性进行了初步研究,随着采后贮存期延长,果实品质会发生较大变化,甚至失去其商品性能,然而目前关于突变体采后果实品质的变化规律还不清楚,加工储运性能如何尚不明确,其商品价值的优劣有待于进一步探讨。【拟解决的关键问题】以普通南丰蜜桔“杨小2-6”为对照,通过对突变体果实采后外在品质、内在品质及耐贮特性等指标进行测定分析,以期为突变体有效货架期色选机参数设置、贮运保鲜、果汁加工利用提供理论参考,并为进一步研究突变体高糖及耐贮特性形成的生理及分子机理奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

试验在江西省抚州市南城县上唐镇百子亭南丰蜜桔果园进行(27°23'41"N,116°42'24"E)。试材为普通南丰蜜桔“杨小2-6”(对照,CK)和南丰蜜桔芽变优株“ZZL-03”的高接换种树(突变体,ZZL)。2007年,南丰蜜桔(对照)和突变体蜜桔枝条高接于南丰蜜桔上,于同一果园生长,施肥、灌溉等栽培管理措施一致。于采摘期2016年11月16日,分别随机选取对照和突变体蜜桔各3株树,从树冠外围至内膛均匀采收,每棵树上挑选成熟度基本一致、无机械损伤的蜜桔约5 kg,样品果实装入纸箱及时运回实验室。

样品送回室内后及时摊开晾干,经过24 h预处理后(俗称发汗处理),在自然条件下不经防腐处理,用塑料框常温贮藏(25±0.5)℃。从11月20日起每隔10 d选择外观大小一致、无磕碰病虫害的果实进行耐贮特性、内在品质以及果皮果汁色差等指标测定,并于11月20日对果实大小、质量等外在品质指标进行测定。各项指标每次取10个果实进行测定,3次重复。

1.2 测定内容与方法

1.2.1 果实硬度及可溶性固形物 果实硬度采用GY-1型果实硬度计进行测定,在蜜桔上、中、下部分别测定3个点,3个点呈120°夹角分布,即每果共测9个点取其均值。而果实可溶性固形物含量采用深圳京都电子KEM牌手持式数字糖度计(RA-250WE)进行测定。

1.2.2 果皮及果汁色度 采用Sucolor SC-10精密色差仪(便携式通用色差仪)测定果皮和果汁的 L 、 a 、 b 、 c 和 h_0 值等色差指标,每个果皮各指标分别在蜜桔上、中、下部取4个点,4个点呈90°夹角分布,即每果共测量12次求其均值。果汁色差指标测定以蒸馏水为参比样,每果测定3次取其均值。 L 值表示亮度, a 值表示红绿度(正值为红色,负值为绿色), b 值表示黄蓝度(正值为黄色,负值为蓝色),上述绝对值越大表示其程度越深。并由此计算 c (色饱和度)和 h_0 (色调角)值, $c = \sqrt{a^2 + b^2}$,其值越大表示颜色的彩度越纯。在本试验中 $h_0 = \text{DEGREES}(\text{ATAN}(b/a))$,从0°~90°依次为紫红色(0°)、红色、橙红色、橙黄色和黄色(90°)。

1.2.3 果实内在品质 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定,可滴定酸含量测定采用酸碱滴定法,维生素C采用2,6-二氯靛酚法测定^[10]。

1.3 数据分析

采用Microsoft excel 2010进行数据整理,SPSS 22.0和Origin 9.0软件分析数据和制图;Duncan's新复极差法进行差异显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 果实耐贮特性及内在品质

随贮藏期延长,突变体及对照果实硬度均逐渐降低,二者果实硬度平均下降速率分别为 $0.092 \text{ kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$ 和 $0.124 \text{ kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$ (表1)。而突变体及对照的果实腐烂率和浮皮率均逐渐增加,腐烂率增加速度分别为 $0.222\% \text{ d}^{-1}$ 和 $0.418\% \text{ d}^{-1}$,浮皮率增加速率分别为 $0.625\% \text{ d}^{-1}$ 和 $0.883\% \text{ d}^{-1}$ 。其中,贮藏各时期突变体果实硬度均显著高于对照蜜桔,平均高48.7%;而腐烂率及浮皮率均显著低于对照,平均低45%和71.0%。

随贮藏期延长,突变体及对照果实的可溶性固形物含量、可溶性糖、糖酸比和固酸比均逐渐增加。果实可溶性固形物平均增加速率分别为 $0.028\% \text{ d}^{-1}$ 和 $0.021\% \text{ d}^{-1}$,可溶性糖含量平均增加速率分别为 $0.907\% \text{ d}^{-1}$ 和 $0.906\% \text{ d}^{-1}$,糖酸比平均增加速率分别为 0.188 d^{-1} 和 0.381 d^{-1} ,固酸比平均增加速率分别为 0.090 d^{-1} 和 0.296 d^{-1} 。突变体和对照果实的可滴定酸均逐渐降低,平均降低速率分别为 $0.005\% \text{ d}^{-1}$ 和 $0.003\% \text{ d}^{-1}$,而果实维生素C含量则随贮藏期的延长呈先增后降的趋势,在采收后24 d果实维生素C含量值达最大(表1)。其中,贮藏各时期突变体果实可溶性固形物含量、可溶性糖、糖酸比、固酸比、维生素C均显著高于对照,平均高出53.7%、35.2%、66.9%、89.9%和25.3%;可滴定酸均显著低于对照,平均低18.9%。

表1 贮藏期间果实耐贮特性及内在品质的变化

Tab.1 Change of the fruit storability and internal quality characteristics during the period of storage

采收后 天数/d	处理	果实硬度/ ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	果实 腐烂率/%	果实 浮皮率/%	可溶性固形 物含量/%	可溶性糖/% Soluble sugar (SS)	可滴定酸/% Titratable acid(TA)	糖酸比 SS/TA	固酸比 SSC/TA	维生素C/ ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) Vitamin C
Day after harvesting	Treatment	Fruit firmness	Rotting rate	Puffing rate	Fruit soluble solid content					
4	CK	10.8±1.4 ^b	4.6±0.7 ^a	20.1±1.5 ^a	12.6±0.8 ^b	12.0±0.5 ^b	0.80±0.07 ^a	15.0±0.7 ^b	15.8±1.3 ^b	27.4±0.8 ^b
	ZZL	14.8±1.3 ^a	2.5±0.4 ^b	1.5±1.0 ^b	19.4±1.0 ^a	16.9±0.6 ^a	0.68±0.04 ^b	24.9±0.7 ^a	28.7±1.5 ^a	35.0±1.6 ^a
14	CK	10.0±1.6 ^b	9.5±0.9 ^a	38.5±2.2 ^a	12.9±0.7 ^b	13.1±0.7 ^b	0.76±0.04 ^a	17.2±0.4 ^b	17.0±0.8 ^b	33.8±1.5 ^b
	ZZL	13.7±1.1 ^a	5.2±0.6 ^b	10.7±2.2 ^b	19.8±0.9 ^a	17.5±0.5 ^a	0.64±0.02 ^b	27.4±0.3 ^a	31.0±1.2 ^a	42.1±1.5 ^a
24	CK	8.3±0.6 ^b	12.5±2.1 ^a	44.3±1.6 ^a	13.1±0.7 ^b	13.8±0.4 ^b	0.74±0.02 ^a	18.7±0.2 ^b	17.8±0.5 ^b	37.3±1.0 ^b
	ZZL	12.7±1.7 ^a	7.0±0.5 ^b	17.0±1.1 ^b	20.1±0.7 ^a	18.5±0.9 ^a	0.59±0.04 ^b	31.3±1.1 ^a	34.1±2.2 ^a	46.8±1.3 ^a
34	CK	7.2±1.1 ^b	17.5±0.9 ^a	47.6±1.8 ^a	13.2±0.9 ^b	14.8±0.4 ^b	0.71±0.04 ^a	20.8±1.7 ^b	18.5±1.1 ^b	35.8±1.2 ^b
	ZZL	12.1±1.3 ^a	9.3±0.9 ^b	20.3±1.6 ^b	20.3±1.0 ^a	19.6±0.3 ^a	0.54±0.03 ^b	36.3±2.2 ^a	37.6±2.0 ^a	44.2±1.0 ^a

表中数据均采用“平均值±标准差”;同列不同小写字母表示同一时期不同处理间差异达5%显著水平($P<0.05$)。下同。

In this paper, the chart data were shown as “Mean±standard deviation”, Different lowercase letters in the same column indicate significantly different treatments of the same period at 5%.The same below.

2.2 果实色差

2.2.1 色差L值 随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果皮L值均呈降低趋势,其中二者分别在采收后24 d和14 d降幅较大,之后果皮L值降幅均较小,总体趋于稳定(表2)。与对照相比,突变体蜜桔果皮L值在采收后4 d和14 d分别增加12.4%和13.8%,差异均达显著水平,而在采收后24 d和34 d二者差异均不显著。随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果汁L值均呈增加的趋势,二者果汁L值平均增加速率分别为 0.042 d^{-1} 和 0.049 d^{-1} (表2)。其中,贮藏各时期突变体蜜桔果汁L值平均高于对照6.4%,但差异均不显著。

2.2.2 色差a值 随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果皮和果汁a值均逐渐增加,其中二者果皮a值平均增加速率分别为 1.21 d^{-1} 和 0.99 d^{-1} ,而果汁a值平均增加速率分别为 0.07 d^{-1} 和 0.05 d^{-1} (表2)。贮藏各时期突变体蜜桔果皮和果汁a值均高于对照,分别平均高于13.8%和16.5%;除贮藏前期(采收后4 d)二者果汁a值差异不显著,其他时期果皮和果汁a值差异均达显著水平。

2.2.3 色差 b 值 随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果皮 b 值均先增后降、在采收后 14 d 值最大(表 2);贮藏各时期突变体蜜桔果皮 b 值均显著高于对照,平均高 5.2%。随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果汁 b 值均呈增加的趋势,其中均在采收后 24 d 内增幅较大,而之后 b 值总体变化不大(表 2);贮藏各时期突变体蜜桔果汁 b 值均高于对照,平均高于 13.0%,但仅在采收后 14 d 二者差异达显著水平。

2.2.4 色差 c 值 随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果皮和果汁 c 值均逐渐增加,其中二者果皮 c 值平均增加速率分别为 $0.44 d^{-1}$ 和 $0.23 d^{-1}$,而果汁 c 值均在采收后 24 d 之内增幅较大,之后果汁 c 值总体趋于稳定(表 2)。贮藏各时期突变体蜜桔果皮和果汁 c 值均高于对照,分别平均高于 6.8% 和 14.5%;除贮藏前期(采收后 4 d)二者果汁 c 值差异不显著,其他时期二者果皮及果汁 c 值差异均达显著水平。

2.2.5 色差 h_0 值 随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果皮 h_0 值均降低,二者果皮 h_0 值平均下降速率分别为 $0.83^\circ d^{-1}$ 和 $0.88^\circ d^{-1}$ (表 2)。贮藏各时期突变体蜜桔果皮 h_0 值均低于对照,平均低于 2.6%;除采收后 14 d 二者果皮 h_0 值差异不显著外,其他时期果皮 h_0 值差异均达显著水平。随贮藏期延长,突变体及对照蜜桔果汁 h_0 值均先增后降,但变幅较小(表 2)。虽贮藏各时期突变体蜜桔果汁 h_0 值均低于对照,但二者差异不显著。

表 2 果实贮藏期间果皮及果汁色差指数的变化

Tab.2 Change of the chromatism index variation of fruit peel and juice during the period of fruit storage

采收后天数/d Day after harvesting	处理 Treatment	色差 L 值 The L value		色差 a 值 The a value		色差 b 值 The b value		色差 c 值 The c value		色差 h_0 值 The h_0 value	
		果皮 Peel	果汁 Juice	果皮 Peel	果汁 Juice	果皮 Peel	果汁 Juice	果皮 Peel	果汁 Juice	果皮 Peel	果汁 Juice
		4	CK	63.5±2.0 ^b	8.1±0.6 ^a	11.4±1.2 ^b	6.8±1.4 ^a	64.8±2.3 ^b	6.5±1.8 ^a	65.8±2.4 ^b	9.4±1.0 ^a
	ZZL	71.4±3.2 ^a	8.8±1.2 ^a	13.2±1.1 ^a	7.4±1.7 ^a	66.6±1.6 ^a	6.9±1.2 ^a	67.9±2.6 ^a	10.2±1.4 ^a	78.7±1.1 ^b	42.7±2.9 ^a
14	CK	60.2±1.9 ^b	8.5±0.9 ^a	23.5±1.3 ^b	7.1±0.7 ^b	65.1±2.5 ^b	6.9±0.7 ^b	69.2±2.5 ^b	10.0±0.9 ^b	71.8±1.9 ^a	44.3±2.4 ^a
	ZZL	68.5±2.6 ^a	9.1±0.7 ^a	24.9±1.3 ^a	8.7±0.9 ^a	67.9±2.0 ^a	8.2±1.1 ^a	72.4±1.9 ^a	12.0±1.3 ^a	70.8±1.3 ^a	43.0±3.0 ^a
24	CK	59.3±2.7 ^a	9.0±0.7 ^a	32.1±1.7 ^b	7.9±0.7 ^b	62.5±1.2 ^b	7.6±1.9 ^a	70.3±2.8 ^b	11.1±1.7 ^b	62.8±1.1 ^a	44.0±2.6 ^a
	ZZL	59.7±2.4 ^a	9.4±1.1 ^a	36.4±2.8 ^a	9.1±0.9 ^a	66.8±2.3 ^a	8.7±0.6 ^a	76.2±2.5 ^a	12.6±0.7 ^a	61.5±1.4 ^b	43.8±2.8 ^a
34	CK	57.2±2.2 ^a	9.6±0.8 ^a	41.7±1.2 ^b	8.1±1.0 ^b	60.2±1.4 ^b	7.7±1.8 ^a	73.2±1.6 ^b	11.2±1.4 ^b	55.3±1.4 ^a	43.4±2.1 ^a
	ZZL	57.4±2.4 ^a	10.1±1.0 ^a	49.7±2.6 ^a	9.6±0.8 ^a	64.4±2.0 ^a	8.7±0.7 ^a	81.4±2.9 ^a	13.0±1.2 ^a	52.4±1.5 ^b	42.3±3.0 ^a

2.3 各特征品质指标间相关性分析

相关分析表明(表 3),突变体及对照果实可溶性固形物与果皮的 a 及 c 值、果汁的 a 、 b 及 c 均呈显著正相关,与果皮 h_0 值均呈显著负相关。此外,对照蜜桔可溶性固形物与果皮 L 值呈显著负相关,突变体蜜桔可溶性固形物与果实硬度呈极显著负相关。

表 3 不同品种可溶性固形物与果实硬度及色度指数之间相关性分析

Tab.3 Relative coefficient among soluble solid content(SSC)and the fruit firmness and chromatism index of tangerine in different varieties

类别 Type	处理 Treatment	硬度 Fruit firmness	果皮 Fruit peel					果汁 Fruit juice				
			L	a	b	c	h_0	L	a	b	c	h_0
SSC	CK	-0.93	-0.98 [*]	0.97 [*]	-0.79	0.96 [*]	-0.96 [*]	0.93	0.95 [*]	0.97 [*]	0.96 [*]	-0.22
	ZZL	-0.99 ^{**}	-0.94	0.97 [*]	-0.52	0.97 [*]	-0.97 [*]	0.91	0.99 ^{**}	0.97 [*]	0.99 ^{**}	0.02

$r_{0.05}=0.95, r_{0.01}=0.99.$

2.4 采摘期果实外在品质特征

由表4可知,与对照相比,突变体果实横径、果实纵径、果皮厚度、单果质量、果肉质量、果汁质量和果渣质量分别小于对照3.8%、7.7%、23.0%、6.8%、10.3%、7.3%和14.8%,而突变体的果皮质量高于对照11.1%,除在果实横径、纵径外,二者在其他指标上差异均达显著水平。

表4 采摘期果实外在品质特征

Tab.4 External quality characteristics of fruits during picking period

处理 Treatment	果实横径/mm Suture diameter	果实纵径/mm Polar diameter	果皮厚度/mm Pericarp thickness	单果质量/g Fruit weight	果肉质量/g Fruit meat weight	果汁质量/g Juice weight	果渣质量/g Pomace weight	果皮质量/g Pericarp weight
CK	44.3±0.8 ^a	31.3±2.3 ^a	1.91±0.08 ^a	32.5±0.9 ^a	27.3±0.6 ^a	16.5±0.4 ^a	10.8±0.6 ^a	5.2±0.1 ^b
ZZL	42.6±1.1 ^a	28.9±1.0 ^a	1.47±0.10 ^b	30.3±1.0 ^b	24.5±0.7 ^b	15.3±0.4 ^b	9.2±0.3 ^b	5.8±0.1 ^a

3 讨论

采收后果实作为一个独立的生命有机体,在贮藏中无养分供给,但正常的生理代谢活动仍有序开展^[11]。其中呼吸作用为果实提供各种代谢活动中所需能量,然而果实采后的特征品质、后熟衰老及有效货架期等均受其呼吸作用所影响,进而关系着果实采后加工利用及其商品价值的高低^[12]。因此,果实收获前品质达到较高水平以及采后果实品质劣变速率降低,是果实实现较高商品价值的主要途径。

3.1 贮藏期果实耐贮特性及内在品质的变化

果实硬度可作为评价果实质地状况及采后耐贮特性的重要指标,可溶性固形物可为评价果实营养物质及其风味品质提供参考依据,二者均影响着果实的感官评价及商品价值^[13]。崔建潮等^[14]研究表明,常温下随贮藏期延长,新梨7号果实硬度降低,而可溶性固形物含量基本保持在12.0%~13.0%,变幅较小且变化规律不明显。何义仲等^[15]研究认为,货架期内随贮藏期延长赣南纽荷尔脐橙果实硬度及可溶性固形物含量均逐渐下降。本研究也表明,随贮藏期延长,突变体及对照果实硬度均逐渐降低。这可能是由于贮藏期细胞壁中果胶甲酯酶、多聚半乳糖醛酸酶和纤维素酶等降解酶促进细胞壁中果胶物质降解为原果胶,原果胶进一步分解为可溶性果胶及果胶酸,而果胶酸为无黏结性物质,组织将变松软;同时原纤维细胞也大量降低,上述等因素共同导致了果胶物质形态发生改变、果实硬度降低、果皮塌陷等现象^[15]。同时本研究表明随贮藏期延长,突变体及对照果实可溶性固形物含量均逐渐增加。究其原因,可能是在贮藏期虽然呼吸作用会消耗桔汁营养物质(可溶性糖等),导致可溶性固形物总量下降,但由于果实在常温条件下贮藏,会通过蒸腾作用使其含水量降低,从而造成可溶性固形物含量相对提高^[12];且淀粉等多糖类物质将会转化成葡萄糖以及不溶性原果胶不断转化成可溶性果胶等诸多因素,共同作用导致贮藏期果实可溶性固形物含量出现增加的现象^[16]。并且本研究还发现,随贮藏期延长突变体及对照果实腐烂率、浮皮率、可溶性糖、糖酸比、固酸比增加,可滴定酸含量降低,维生素C先增后降。综上,随贮藏期延长(采后4~34 d内),突变体及对照耐贮特性及内在品质均呈降低趋势。

采后贮藏期果实耐贮特性及内在品质的变化特征均受遗传基因所调控。本研究表明,贮藏各时期突变体果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖、糖酸比、固酸比及维生素C均显著高于对照,分别平均高48.7%、53.7%、35.2%、66.9%、89.9%及25.3%。而腐烂率、浮皮率、可滴定酸均显著低于对照,平均低45%、71.0%及18.9%。说明与对照相比突变体果实具有较高的贮运性能及商品价值,其深加工利用的前景较好。

3.2 贮藏期果实色差指标的变化

果皮色泽作为果实外观品质的重要体现,也是评价果实商品价值的重要组成。叶绿素、类胡萝卜素及花青苷等是决定果实色泽的重要物质,若在贮藏期果实自身内在营养物质未能供应充足的能量

时,叶绿素等降解代谢及其衰老将加剧,果皮色泽将发生较大改变。而柑橘类属非呼吸跃变型果品,其叶绿素等降解变化较为平稳^[17]。本研究也表明,在贮藏期蜜桔果皮色泽变化是缓慢渐变的过程。阚超楠等^[18]研究表明,随贮藏期延长,翠冠梨不同采后处理下果实 L 、 b 值均降低,而 a 值呈增加趋势。何义仲等^[19]研究表明,随着贮藏期的延长,赣南纽荷尔脐橙果皮 L 、 h_0 、 c 值均下降。陈楚英等^[19]研究认为,贮藏期2个采收期新余蜜桔果皮色差 L 、 b 、 h_0 值均下降, a 值上升,而 c 值总体显著不明显。罗焘^[20]研究认为,椪柑各品种采后果皮 a 值均增加,而 L 和 b 值在贮藏0~20 d较为稳定,而在贮藏期20~50 d呈现小幅下降。而本研究结果与上述较为相似,表明随贮藏期延长,突变体及对照果皮 L 、 h_0 值均逐渐降低,而果皮 b 值先增后降,果皮 a 、 c 值均逐渐增加。由此可知,上述关于色差指数的结论基本较为一致,仅 c 值的变化规律存在截然相反的结论,而 c 值与 a 、 b 值的变幅大小有关,即可能与品种特性、采后管理技术等因素不同而使 c 值变化规律产生较大差异。从品种果实色泽差异来看,本研究表明,在贮藏各时期,突变体蜜桔果皮 L 、 a 、 b 及 c 值也均高于对照,但 h_0 值有所降低。因此与对照相比突变体蜜桔果皮偏亮,颜色偏红偏黄且色彩度较饱满,这也与实际观察结果较吻合。因此突变体果实具有更高的加工利用价值和商品价值。

柑桔类水果主要以鲜食果肉为主,但桔汁、罐头等主要加工产品也是其果品重要利用方式,因此贮藏期桔汁色泽是一项较为关键的感官品质,直接影响着果汁的外观及其商品价值^[21]。前人研究认为,导致桔汁色泽变化的关键原因是类胡萝卜素及维生素C含量发生变化,这可能与富含类胡萝卜素的不稳定悬浮颗粒(部分)发生沉淀现象所导致;其中维生素C具有稳定类胡萝卜素、防治褐变功能并维持桔汁色泽等作用,若贮藏期维生素C含量降低会促进类胡萝卜素的降解,进而改变着桔汁的色泽^[22]。韩燕^[23]研究表明,随冷藏时间延长,甜橙汁 L 、 b 、 c 、 h 增加,但 a 值降低,说明橙汁亮度、黄色度、色彩饱和度和色调角均增加,红色度降低。本研究结果与之存在一定差异,表明随贮藏期延长,突变体及对照果汁 L 、 a 、 b 、 c 值均逐渐增加,而果汁 h_0 值均先增后降、总体变幅较小。表现为果汁亮度增加,红色度、黄色度及色彩饱和度均升高,色调角在红色与橙红色之间缓慢转变。即果汁 h 及 a 值的变化存在不同,这可能与品种及储藏环境等因素不同有关。但也有贮藏期果汁 a 值增加的研究报道^[24],因此有必要对贮藏期果汁中维生素C及类胡萝卜素含量的变化特征进行深入研究并延长贮藏期进行测定。从品种差异来看,本研究表明在贮藏各时期,突变体蜜桔果汁 L 、 a 、 b 及 c 值也均高于对照,但 h_0 值有所降低但差异不显著。因此与对照相比突变体蜜桔果汁具有更高的外观品质和加工利用价值。深入研究贮藏期突变体蜜桔果汁色泽的变化机理,以期为柑桔贮藏保鲜、桔汁产品质量提升奠定基础。

3.3 贮藏期各特征品质指标间相关性分析

本研究表明,突变体及对照果实可溶性固形物含量与果皮的 a 及 c 值均呈显著正相关,与果皮 h_0 值均呈显著负相关;与果实硬度及果皮 L 值相关性也均较高,其中对照蜜桔可溶性固形物含量与果皮 L 值呈显著负相关,突变体蜜桔可溶性固形物含量与果实硬度呈极显著负相关。由此可知蜜桔在采后贮藏中果实可溶性固形物含量与果皮部分色差指数及硬度是紧密联系的,因此通过果皮硬度及果实外观可以预测果实可溶性固形物含量的状态。本研究还表明,突变体及对照果实可溶性固形物含量与果汁的 a 、 b 及 c 均呈显著正相关,即根据果实可溶性固形物含量也可预测桔汁色泽状况。综上,通过果皮硬度及果皮色泽状况,可判断和预测贮藏期果实可溶性固形物含量、果汁色泽状况以及果实品质劣程度,从而为更好地通过果实外观来判断蜜桔的新鲜程度提供了理论参考。

3.4 采摘期果实外在品质分析

与对照相比,突变体果实横、纵径较小,果皮厚度显著低于对照23.0%,但果皮质量显著高于对照11.0%,说明突变体的果皮薄而密度大,这与贮藏期突变体果皮硬度显著较高相吻合,再次论证了突变体果实具有较高贮运性能。综上,突变体作为贮运性较好、果品质量较佳的优良单株,具有较大的商品价值、推广应用和开发价值,主推突变体可作为加快南丰蜜桔产业发展的有效途径之一。

4 结论

与普通南丰蜜桔相比,芽变优株“ZZL-03”果实采后具有显著较高的耐贮特性及内在品质,表现出较好的果皮果汁色泽,并且果实具有皮薄而硬等突出的外在品质特性。下一步需系统性对果实成熟特性、采后抗性及贮藏特性等方面从转录、蛋白及细胞器等水平来研究果实的品质特征及其调控机理。

参考文献 References:

- [1] 严丹.柑橘种植对寻乌县农民经济生活及农业产业结构的影响[D].南昌:江西师范大学,2019.
YAN D.Effects of citrus cultivation on farmers' economic life and agricultural industrial structure in Xunwu County[D].Nanchang:Jiangxi Normal University,2019.
- [2] 中华人民共和国农业农村部编.中国农业统计资料2018[M].北京:中国农业出版社,2019.
Ministry of agriculture and rural affairs,PRC.Agricultural statistics of China 2018[M].Beijing:China Agriculture Press,2019.
- [3] YI L,ZHOU C Y.Phylogenetic analysis of *Citrus tristeza* virus isolates of wild type *Citrus* in China[J].Journal of integrative agriculture,2014,13(12):2669-2677.
- [4] 罗省根,陈团显,双巧云,等.江西省特色柑桔产业集群分析:以赣南脐橙、南丰蜜桔、新余蜜桔、井冈蜜柚四大柑桔产业为例[J].现代园艺,2019,42(23):61-63.
LUO S G,CHEN T X,SHUANG Q Y,et al.Analysis of characteristic citrus industry cluster in Jiangxi Province-Take four citrus industries of gannan navel orange,Nanfeng tangerine,Xinyu tangerine and Jinggang tangerine as examples[J].Modern gardening,2019,42(23):61-63.
- [5] MAGWAZA L S,OPARA U L,NIEUWOUDT H,et al.NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit—a review[J].Food and bioprocess technology,2012,5(2):425-444.
- [6] 邓利珍,刘可,冷飞凡,等.川芎提取液对脐橙的防腐保鲜效果[J].农业工程学报,2016,32(7):296-302.
DENG L Z,LIU K,LENG F F,et al.Effect of *Ligusticum chuanxiong* hort extract for antiseptis and preservation of navel orange[J].Transactions of the Chinese society of agricultural engineering,2016,32(7):296-302.
- [7] MACHADO M A,CRISTOFANI Y M,BASTIANEL M.Breeding,genetic and genomic of citrus for disease resistance[J].Revista brasileira de fruticultura,2011,33(S1):158-172.
- [8] VAN N S,GARDINER S E.Breeding better cultivars,faster: applications of new technologies for the rapid deployment of superior horticultural tree crops[J].Horticulture research,2014,1(1):1-8.
- [9] 樊卫国,马文涛,罗燕,等.洞穴灌溉促进脐橙生长并提高果实品质[J].农业工程学报,2013,29(18):90-98.
FAN W G,MA W T,LUO Y,et al.Cave irrigation to improve navel orange growth and fruit quality in karst mountainous area [J].Transactions of the Chinese society of agricultural engineering,2013,29(18):90-98.
- [10] 朱博,张露,徐小彪,等.南丰蜜桔高糖变异优株“ZZL-03”选育初报[J].中国南方果树,2013,42(4):52-53.
ZHU B,ZHANG L,XU X B,et al.Preliminary breeding report of “ZZL-03” of Nanfeng tangerine with high sugar variation [J].South China fruits,2013,42(4):52-53.
- [11] ASHEBRE K M.Pre-harvest and post-harvest factors affecting citrus fruit and post-harvest treatments[J].Journal of biology, agriculture and healthcare,2015,5(23):19-29.
- [12] 熊亚波.不同处理对桔、柚采后贮藏生理和品质的影响研究[D].四川:四川农业大学,2014.
XIONG Y B.Effects of different treatment on postharvest physiology and storage quality of orange and pomelo[D].Sichuan: Sichuan Agricultural University,2014.
- [13] 何义仲,陈兆星,刘润生,等.不同贮藏方式对赣南纽荷尔脐橙果实品质的影响[J].中国农业科学,2014,47(4):736-748.
HE Y Z,CHEN Z X,LIU R S,et al.Effects of different storage methods on fruit quality of ‘Newhall’ navel orange(*Citrus sinensis* Osbeck ‘Newhall’) in southern Jiangxi Province[J].Scientia agricultura Sinica,2014,47(4):736-748.
- [14] 崔建潮,彭增瑞,王文辉,等.采收期对‘新梨7号’梨果实品质及采后生理的影响[J].中国果树,2019,61(1):21-26.
CUI J C,PENG Z R,WANG W H,et al.Effects of harvest period on fruit quality and postharvest physiology of ‘Xinli 7’ pear

- [J].China fruits, 2019, 61(1):21-26.
- [15] 吴雪莹, 屈立武, 周雅涵, 等.壳聚糖和纳米 SiO₂ 处理对采后脐橙果实硬度的影响[J].食品科学, 2015, 36(2): 204-209.
WU X Y, QU L W, ZHOU Y H, et al.Effects of chitosan and SiO₂ treatments on firmness of postharvest navel orange fruits [J].Food science, 2015, 36(2):204-209.
- [16] MEIR S, AKERMAN M, FUCHS Y, et al.Further studies on the controlled atmosphere storage of avocados [J].Postharvest biology and technology, 1995, 5(4):323-330.
- [17] ALES E, CERCES M, RODRIGO M J, et al.Regulation of color break in *Citrus fruits* changes in pigment profiling and gene expression induced by gibberellins and nitrate, two ripening retardants [J].Journal of agricultural and food chemistry, 2006, 54(13):4888-4895.
- [18] 阚超楠, 高阳, 陈明, 等.不同采后处理对翠冠梨果实品质的影响[J].核农学报, 2019, 33(3):518-529.
KAN C N, GAO Y, CHEN M, et al.Effect of different postharvest treatments on the quality of Cuiguan pear [J].Journal of nuclear agricultural sciences, 2019, 33(3):518-529.
- [19] 陈楚英, 陈明, 郭娟华, 等.两个采收期的新余蜜桔贮藏特性及品质研究[J].中国南方果树, 2013, 42(1):43-48.
CHEN C Y, CHEN M, GUO J H, et al.Study on the storage characteristics and quality of new preserved candied oranges in two harvesting periods [J].South China fruits, 2013, 42(1):43-48.
- [20] 罗焘.青瓯柑和黄皮椪柑果实采后色泽变化及调控机理研究[D].武汉:华中农业大学, 2016.
LUO T.Characteristics and regulatory mechanism of pigmentation in postharvest green ougan and yellowish ponkan [D].Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [21] STINCO C M, FERNANDAR V R, ESUDERO G M L, et al.Effect of orange juice's processing on the color, particle size, and bioaccessibility of carotenoids [J].Journal of agricultural and food chemistry, 2012, 60(6):1447-1455.
- [22] 郑平.温州蜜柑橘瓣罐头加工与贮藏中营养成分和色泽变化规律的研究[D].南京:南京农业大学, 2014.
ZHENG P.Study on the variation of nutrient contents and colour in satsuma mandarin can during processing and storage [D].Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [23] 韩燕.橙汁色泽及其在杀菌贮藏过程中变化的研究[D].重庆:西南大学, 2008.
HAN Y.Orange juice color and its discolor during sterilization and storage [D].Chongqing: Master Dissertation of Southwest University, 2008.
- [24] 赵光远, 纵伟, 姚二民.混浊苹果汁储藏过程中色泽稳定性的研究[J].食品科学, 2006, 27(8):93-97.
ZHAO G Y, ZONG W, YAO E M.Studies on color stability during storage of cloudy apple juice [J].Food science, 2006, 27(8):93-97.