

张瀚,杨福孙,胡文斌,等. 火龙果果实生长及内含物变化规律[J]. 江苏农业科学,2022,50(11):161-168.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.11.023

火龙果果实生长及内含物变化规律

张瀚², 杨福孙², 胡文斌¹, 孙会举², 李洪立¹

(1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101; 2. 海南大学热带作物学院, 海南海口 570228)

摘要:为研究火龙果果实生长发育规律及果实内含物的变化,为火龙果高产栽培、花后管理及品种推广提供理论基础,选取大红、白玉龙和双色3个不同品系的火龙果,测定花后0~35 d果实的形态指标、内含物含量的变化情况。结果表明:(1)火龙果的鲜质量、果实横纵径、果肉横纵径随着生长过程的推进均呈现线性增长的趋势;果皮厚度呈现为先增厚后迅速变薄的趋势。(2)果实可溶性糖、甜菜红素和可溶性固形物含量均呈现为前期稳定积累、后期迅速增加的变化趋势。(3)果实有机总酸含量呈现出“M”形先升高后降低的变化趋势,其中前期主要成分为草酸,后期为苹果酸。(4)花后35 d果实成熟时,大红火龙果的平均鲜质量最大,为313.3 g,果实、果肉横径最大,分别为74.74、70.43 mm,果皮最薄,厚度仅为1.71 mm,双色、白玉火龙果次之;大红、双色火龙果果形为近圆形,白玉龙果实、果肉纵径最大,果形表现为椭圆形;双色火龙果的平均可溶性糖、可溶性固形物含量最大,分别为124.91 mg/g、19.4%,大红火龙果次之,白玉火龙果最少;大红火龙果的甜菜红素含量显著高于双色、白玉火龙果,为57.52 mg/L;大红火龙果的总酸含量最低,为43.26 mg/L,双色火龙果的总酸含量最高,为59.94 mg/L。火龙果果实生长的中后期是果实质量迅速增加的时期,此时果皮迅速变薄,果实横径、纵径快速增长,可溶性固形物、可溶性糖和甜菜红素快速积累,该时期也是有机酸转化含量变少的重要阶段。双色可溶性糖、可溶性固形物含量均最高;大红单果质量大,果皮薄,甜菜红素含量最高,有机酸含量最低;白玉龙果实有机酸含量高。

关键词:火龙果;生长发育;可溶性糖;有机酸;甜菜红素

中图分类号: S667.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)11-0161-08

火龙果果实外观艳丽,外形美观,果肉鲜甜可口,具有较高的研究价值。当前,关于火龙果果实营养成分和功能物质的研究较为成熟,如有关火龙果中有机酸、蛋白质^[1]、甜菜红素^[2]等成分含量的研究。火龙果果实的整个生长发育阶段中,其外观形态、内含物含量和有机酸变化是影响火龙果果实的产量和品质形成的重要因素。从坐果到果实成熟的不同阶段,其果实外观形态和内含物的含量是外界环境和栽培措施作用的反映。

通过对果实生长发育规律、内含物和有机酸变化趋势的研究,可以准确掌握火龙果果实生长中的重要时期,为指导火龙果的栽培和花后管理提供科

学依据,进而提高果实产量和品质。同时测定花后35 d时火龙果的形态、内含物和有机酸的组成和含量,以此探究3种不同品系火龙果果实成熟时的差异,为生产实践中火龙果的采摘、开发和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为3年生长势良好的软枝大红、双色和白玉龙3个不同品系的火龙果植株,均为海南省火龙果种植推广品种。

1.2 试验设计

本试验于2020年9月2号火龙果果期开始,同时标记大红、双色和白玉龙3个品种的幼果各50个,从谢花后开始至果实成熟(花后35 d),每隔5 d采1次样,每次取5颗果实。

1.3 测定项目

1.3.1 果实形态指标的测定 将取回的火龙果果实清洗干净后,用电子天平测定其鲜质量,使用游标卡尺测定果实横径、纵径、果皮厚度、果肉横径、

收稿日期:2021-08-15

基金项目:农业农村部新设财政项目(编号:RZJP2020004);社会公益类科研机构改革专项(编号:PZS2021008);海南省重点研发计划(编号:ZDYF20202051)。

作者简介:张瀚(1996—),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事作物栽培生理生态研究。E-mail:1300405376@qq.com。

通信作者:李洪立,副研究员,主要从事作物栽培生理生态研究。E-mail:167904117@qq.com。

纵径、果形指数等指标。

1.3.2 内含物含量的测定 可溶性糖采用蒽酮比色法测定,甜菜红素含量用浸提法结合紫外分光光度法测定,可溶性固形物含量采用手持糖度计测定。

有机酸含量的测定:先用南京先欧仪器制造有限公司的 TS-48 型高通量多样品组织研磨仪将样品破碎,再用美国 Waters 公司的 Waters e2695 型高效液相色谱仪,采用外标法以保留时间、双波长定性,进行峰面积定量。每个样品重复测定 3 次,取平均值。

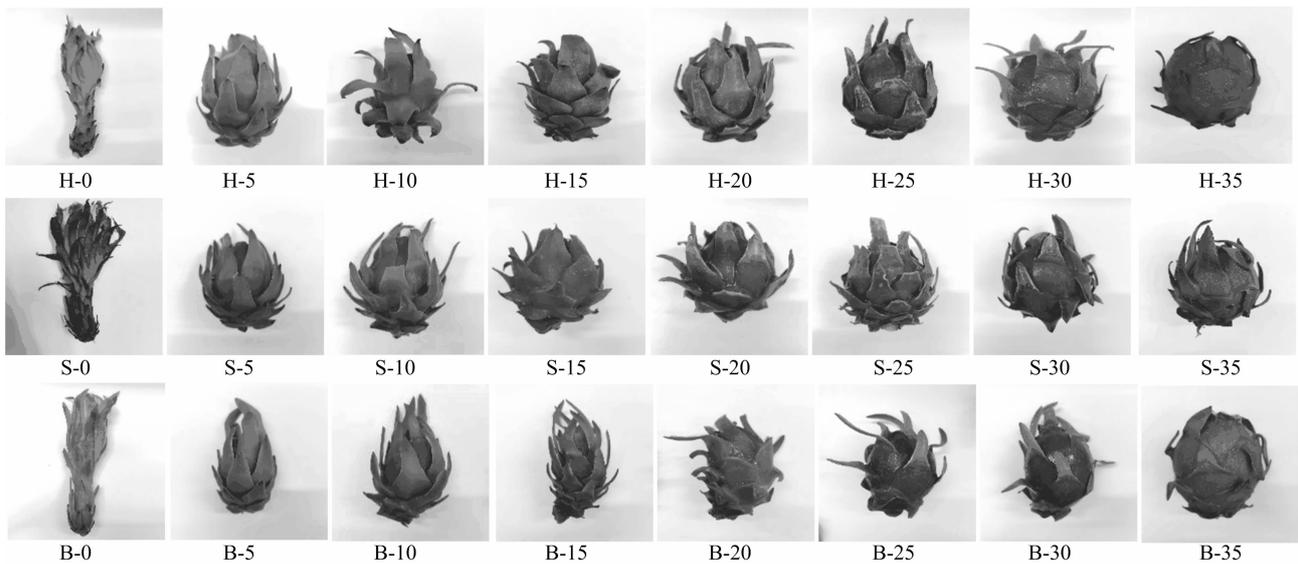
1.4 数据分析

用 Excel 2019 进行数据处理和图表制作,用 SPSS 20.0 进行数据统计和分析,不同处理间的相同指标用 Duncan's 法进行比较($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 果实生长过程中形态指标的变化

2.1.1 果实生长过程中色泽的变化 火龙果成熟时,果实的表皮颜色和鳞片能够反映果实熟度和新鲜度,火龙果的形状会影响火龙果的口感,其形状越圆,果肉越饱满,口感叶更甜。本研究比较了 3 个不同品系的火龙果从坐果期到成熟期的果实外观,从图 1 可以看出,花后 0~20 d,火龙果果皮为绿色;花后 20 d 开始果皮开始转红,鳞片随着生长过程的推进逐渐变小;花后 35 d 时,果皮色泽呈红色,鳞片尖端呈绿色,大红、双色果实呈近圆形,白玉龙为椭圆形,大红的果实最大,白玉龙的果实最长。



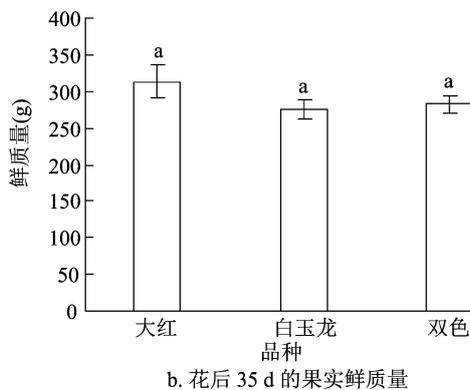
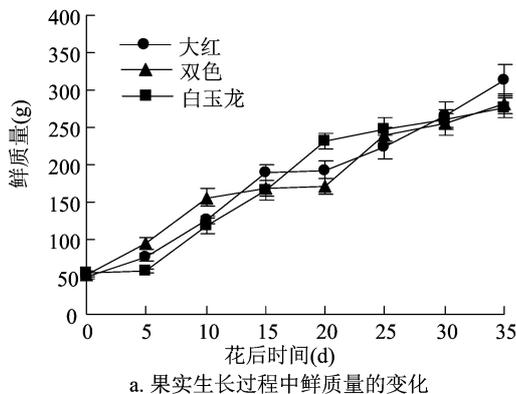
H 表示大红, S 表示双色, B 表示白玉龙, 数字表示花后时间(d)

图1 3种火龙果生长过程果实外观的变化

2.1.2 果实生长过程中鲜质量的变化 果实鲜质量是影响火龙果品质及产量的重要因素。从图 2 可知,3 种火龙果的单果果实发育总体均呈现出“快—慢—快”的变化规律。花后 0~15 d,大红、双色火龙果果实生长速率较快;花后 16~20 d,火龙果果实的生长速度变缓,此时的果实质量增加较不明显;花后 21~35 d 果实成熟时,果实的生长恢复为较快的增长速率,大红、双色火龙果在不同时期的生长速度基本保持一致。白玉龙火龙果花后 5~20 d 的生长速率较快,花后 21~35 d 的生长速率变缓。花后 35 d 时,大红火龙果的平均单果质量最高,为 313.3 g,其次为双色火龙果,平均单果质量为 282.2 g,白玉龙火龙果的单果质量最低,为 275.9 g。

2.1.3 果实生长过程中果皮厚度的变化 果皮厚度的变化过程影响着果实的发育,果皮的发育会影响果肉生长发育所需要的养分供给关系,尤其是果实发育后期为最关键的节点。同时,成熟的果实果皮厚度也会影响果肉质量及果实品质。从图 3 可知,3 种火龙果果实生长过程中果皮厚度的变化无明显差异,从坐果期至成熟期,果皮厚度均呈现先增厚后变薄的变化规律。花后 0~15 d,果皮逐渐增厚,花后 15 d 达到最厚,花后 16~35 d 果皮厚度迅速变薄,到花后 35 d 时最薄,其中大红最薄,为 1.71 mm。

2.1.4 果实生长过程中果形指数的变化 果形指数主要影响了果实成熟时的形状,也是火龙果作为



不同品种间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 图 4~图 8、图 14 同

图2 果实生长过程中鲜质量的变化

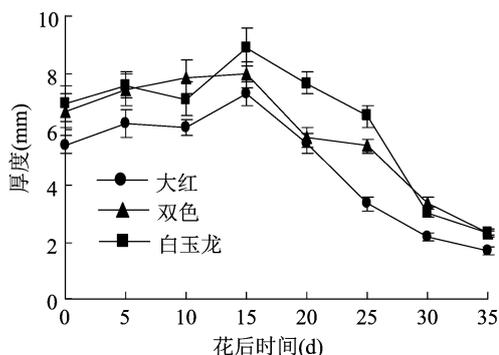


图3 果实生长过程中果皮厚度的变化

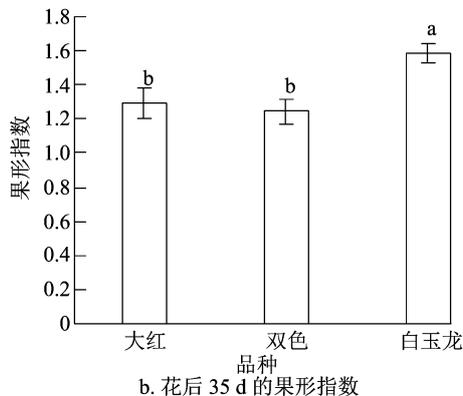
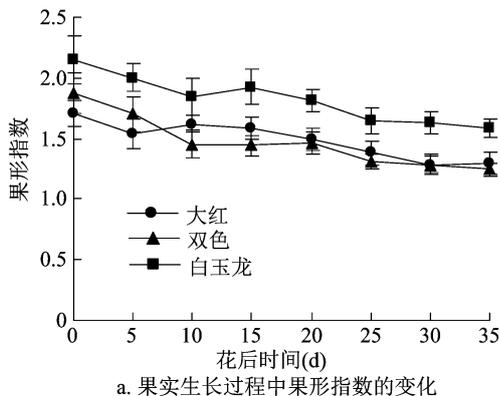


图4 果实生长过程中果形指数的变化

2.1.5 果实生长过程中果肉横径和纵径变化 果肉横径和纵径决定了果实的体积,运用球体积公式计算可得到果肉的近似体积,果肉在果实中的占比影响果实的商品品质。从图 5 可知,大红、双色和白玉龙 3 种火龙果的果肉在发育过程中总体呈现出线性的生长规律。在花后 35 d 成熟时,白玉龙果肉的纵径最大,为 87.46 mm,其次为大红,为 78.97 mm,双色最小,为 73.92 mm;大红的果肉横径最大,为 70.43 mm,其次为双色,为 66.94 mm,白玉龙最小,

商品果实的质量指标之一。从图 4 可以看出,大红、双色和白玉龙 3 种火龙果的果实横径随着生长发育呈线性增长,纵径在花后 0~15 d 生长速率较快,花后 16~35 d 生长速率变缓。火龙果的果形指数呈现出逐渐变小的变化趋势,花后 0~10 d 的果形指数快速变小,花后 11~20 d 的果形指数基本保持不变,花后 21~35 d 果形指数快速变小。花后 35 d 成熟时,白玉龙火龙果的果形指数显著大于大红、双色火龙果,其中白玉龙火龙果的果形指数为 1.58,果实呈椭圆形;大红火龙果的果形指数为 1.29,双色火龙果的果形指数为 1.24,果实趋向于圆形。

为 62.80 mm;白玉龙果肉呈现为椭圆形,大红和双色的果肉形状趋近于圆形。

2.2 果实生长过程中内含物的变化

2.2.1 果实生长过程中的可溶性糖含量 可溶性糖含量主要影响火龙果的口味,糖含量高的果实口味更浓甜。从图 6 可以看出,3 个不同品系的火龙果果实生长过程中可溶性糖含量的变化均呈现出“先慢后快”的增加趋势。花后 0~20 d,可溶性糖含量缓慢积累;花后 21~35 d,可溶性糖含量迅速

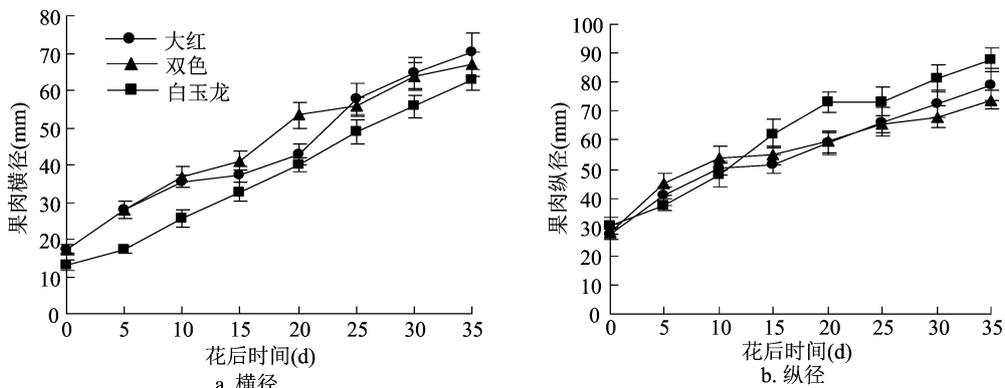


图5 果实生长过程中果肉横径和纵径的变化

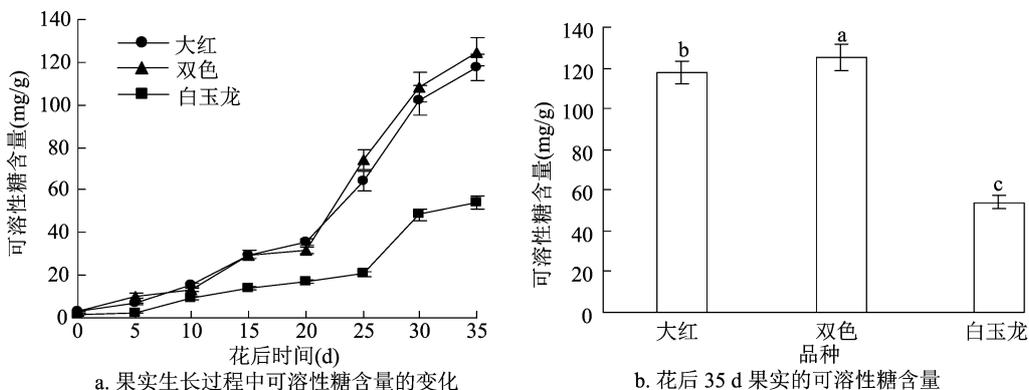


图6 果实生长过程中可溶性糖含量的变化

增加;花后 35 d 果实成熟时,双色火龙果的可溶性糖含量显著高于大红、白玉龙火龙果,为 124.91 mg/g,大红火龙果的可溶性糖含量显著高于白玉龙火龙果,为 117.69 mg/g,白玉龙的可溶性糖含量最低,为 54.03 mg/g。

2.2.2 果实生长过程中甜菜红素含量的变化 火龙果果实、果皮中富含甜菜红素,是影响火龙果果实营养品质的重要因素。从图 7 可以看出,3 个不同品系的火龙果果实生长发育过程中的甜菜红素含量的变化均呈现出增加趋势。花后 0~15 d,甜菜

红素含量较少,增加较为缓慢,花后 16~35 d,甜菜红素含量迅速增加,其中大红火龙果果实中甜菜红素含量的增长速率最快。花后 35 d 果实成熟时,大红火龙果的甜菜红素含量显著高于双色、白玉龙火龙果,达到 57.52 mg/L,双色火龙果的甜菜红素含量显著高于白玉龙火龙果,为 23.52 mg/L,白玉龙的甜菜红素含量最低,为 15.58 mg/L。

2.2.3 果实生长过程中可溶性固形物含量的变化 果实中的可溶性固形物含量主要影响火龙果的口感。从图 8 可以看出,3 个不同品系火龙果果实

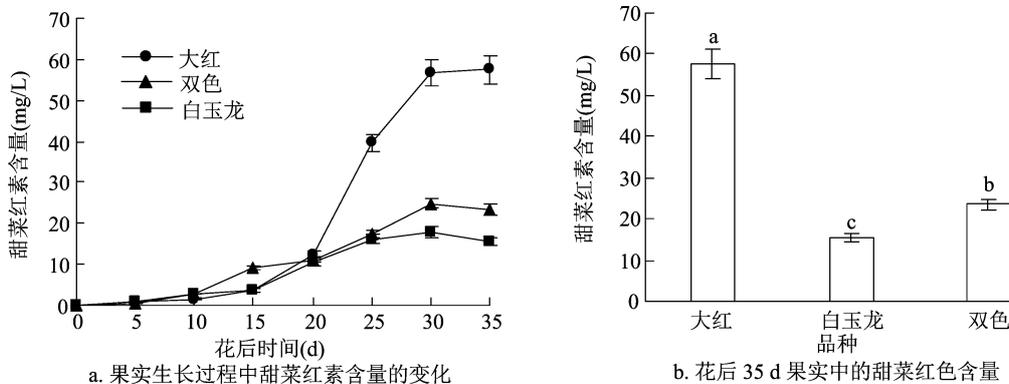


图7 果实生长过程中甜菜红素含量的变化

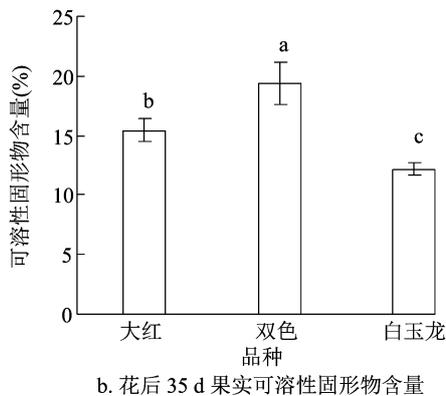
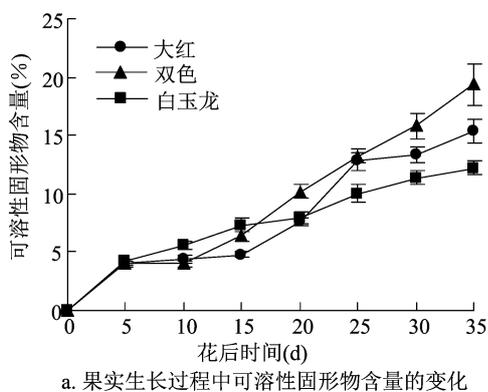


图8 果实生长过程中可溶性固形物含量的变化

生长过程中的可溶性固形物含量均呈现出“先慢后快”的增加趋势:花后0~15 d,可溶性固形物含量缓慢积累;花后16~35 d,可溶性固形物含量迅速增加;花后35 d果实成熟时,双色火龙果的可溶性固形物含量显著高于大红、白玉龙,为19.4%,大红的可溶性固形物含量显著高于白玉龙,为15.4%,白玉龙可溶性固形物含量最低,为12.2%。

2.2.4 果实生长过程中草酸含量的变化 从图9可以看出,大红、双色和白玉龙火龙果生长过程中草酸含量的变化趋势基本一致,呈现出先升高后降低再稳定的倒“V”形变化趋势。在花后0~5 d,大红、白玉龙火龙果果实形成初期的果实中草酸大量积累,在花后5 d草酸含量达到最高值,其中白玉龙火龙果草酸含量达到36.43 mg/L,大红火龙果达到26.41 mg/L;在花后6~35 d生长过程中,草酸含量不断下降,花后35 d成熟时,果实中的草酸含量下降到最低值;双色火龙果的草酸含量则在花后15 d达到最高值,为40.35 mg/L,花后16~35 d草酸含量不断下降,尤其是花后16~20 d的下降速度较快,在花后35 d时草酸含量均下降到最低值。

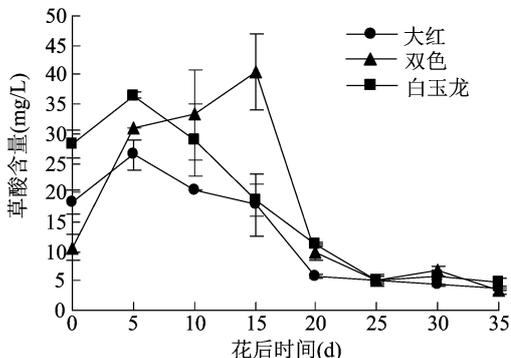


图9 3种火龙果生长过程草酸含量的变化

2.2.5 果实生长过程中酒石酸含量的变化 从图10可以看出,大红、双色和白玉龙3种火龙果果实

生长过程中酒石酸含量的变化规律保持一致,均呈现出先迅速积累后下降最后略微上升并保持稳定水平的趋势。在花后0~5 d,酒石酸含量迅速上升,在花后5 d时,酒石酸含量均达到最高值,其中花后5 d时大红火龙果的酒石酸含量最高,达到8.82 mg/L,其次为白玉龙火龙果,为5.27 mg/L,双色火龙果的酒石酸含量最低,为3.81 mg/L;花后6~35 d,酒石酸含量缓慢下降,在花后35 d成熟时,酒石酸含量略微上升并保持在稳定的水平。

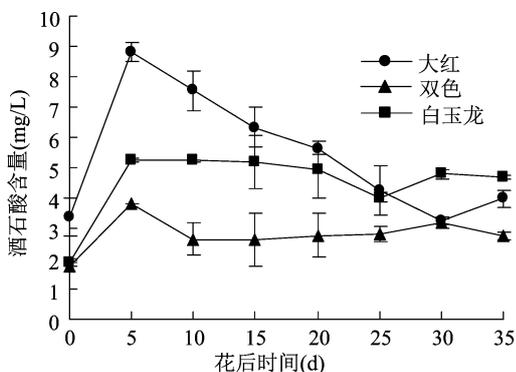


图10 3种火龙果生长过程酒石酸含量的变化

2.2.6 果实生长过程中苹果酸含量的变化 从图11可以看出,大红、双色和白玉龙3种火龙果果实生长过程中苹果酸含量的变化呈现出“降—升—降”的趋势。花后0~15 d,苹果酸含量先下降至最低值,在花后16~20 d迅速升高,花后20 d时达到最高值,花后21~30 d时苹果酸含量逐渐下降,到花后35 d成熟时,苹果酸含量又少量上升至稳定水平,花后35 d时,白玉龙、双色火龙果的苹果酸含量显著高于大红火龙果,其中白玉龙火龙果中的苹果酸含量最高,为37.86 mg/L,双色火龙果为37.07 mg/L,大红火龙果最低,为28.66 mg/L。

2.2.7 果实生长过程中柠檬酸含量的变化 从图12可以看出,大红、双色和白玉龙3种火龙果果实

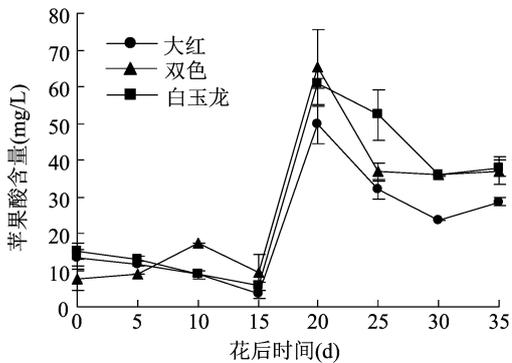


图11 3种火龙果生长过程苹果酸含量的变化

生长过程中柠檬酸含量的变化呈先升高后下降的趋势。花后0~10 d,柠檬酸含量先快速积累,在花后10 d达到最高值;花后11~35 d逐步下降;在花后35 d果实成熟时柠檬酸含量下降最低值,其中白玉龙火龙果含量最高,为2.66 mg/L,其次为大红火龙果,为2.15 mg/L,双色火龙果最低,为1.73 mg/L。

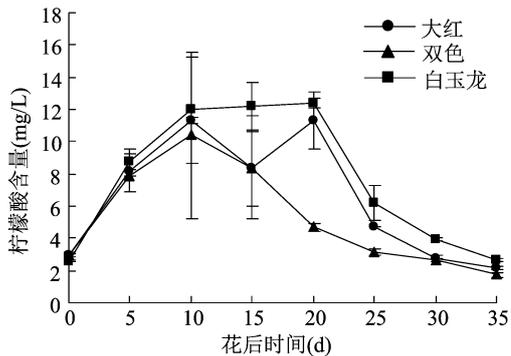


图12 3种火龙果生长过程中柠檬酸含量的变化

2.2.8 果实生长过程中总酸含量的变化 从图13可以看出,在火龙果果实生长发育过程中总酸含量呈“M”形变化,生长前期积累有机酸,后期有机酸含量下降。花后0~5 d,有机总酸逐渐积累;花后6~15 d,有机酸含量下降,花后16~20 d又迅速升高,花后20 d时有机总酸含量达到顶峰,花后21~35 d逐渐降低。

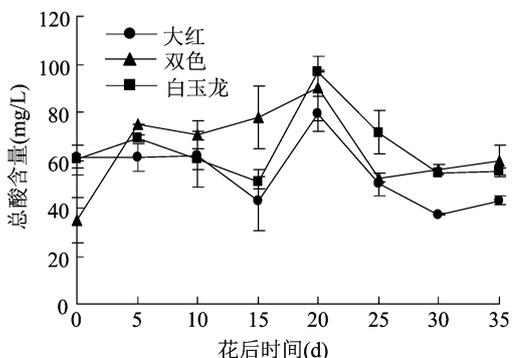


图13 3种火龙果生长过程中总酸含量的变化

2.2.9 果实成熟时3种火龙果的有机酸成分含量

从图14可以看出,火龙果果实成熟时,不同有机酸含量差异明显,其中苹果酸含量最高,草酸、酒石酸和柠檬酸含量次之。花后35 d时,果实中草酸含量表现为白玉龙火龙果显著高于双色火龙果;酒石酸含量表现为白玉龙火龙果显著大于大红火龙果,大红火龙果显著高于双色火龙果;苹果酸含量表现为白玉龙、双色火龙果显著高于大红火龙果;柠檬酸含量表现为白玉龙火龙果显著高于大红火龙果,大红火龙果显著高于双色火龙果;总酸含量为草酸、酒石酸、苹果酸、柠檬酸含量之和。从表1可以看出,双色火龙果的总酸含量显著高于大红火龙果,为 (59.94 ± 6.01) mg/L,其次为白玉龙火龙果,为 (54.93 ± 1.73) mg/L,大红火龙果的含量最低,为 (43.26 ± 1.83) mg/L。

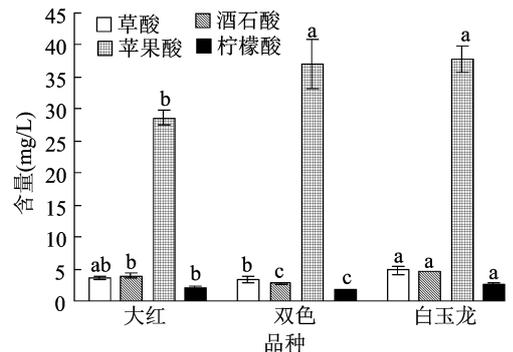


图14 花后35 d 3种火龙果的有机酸成分含量

3 讨论与结论

3.1 火龙果果实生长发育规律

火龙果的形态特征是影响其外观品质的重要因素之一,果实质量、果皮厚度、果形指数和果肉会直接影响火龙果果实的经济价值。本研究以大红、双色和白玉龙3个不同品系的火龙果为材料,对其鲜质量、果皮厚度、果肉横径和纵径进行分析比较。结果表明,火龙果果实鲜质量在初期形成和后期成熟时迅速增加,花后16~20 d时增加速度变缓;果皮厚度先升后降,在花后15 d最厚,花后35 d下降到最薄;果肉横纵径呈线性增长。由此可见,火龙果前期0~15 d生长速率最大,此时是细胞膨大的时期,也是果实鲜质量和果实品质形成的关键时期^[3]。王金乔的研究结果^[4]表明,金都一号火龙果果肉鲜质量呈“J”形增长,果皮鲜质量呈先增后降的变化趋势。在本研究中,在果实形成初期,果实中的果肉、果皮同时迅速生长,在花后15 d左右,

表 1 花后 35 d 3 种火龙果的有机酸成分含量

品种	草酸含量 (mg/L)	酒石酸含量 (mg/L)	苹果酸含量 (mg/L)	柠檬酸含量 (mg/L)	总酸含量 (mg/L)
大红	3.58 ± 0.33ab	3.98 ± 0.30b	28.66 ± 1.13b	2.15 ± 0.16b	43.26 ± 1.83b
双色	3.25 ± 0.48b	2.73 ± 0.13c	37.07 ± 3.87a	1.73 ± 0.08c	59.94 ± 6.01a
白玉龙	4.78 ± 0.54a	4.67 ± 0.05a	37.86 ± 2.10a	2.66 ± 0.09a	54.93 ± 1.73ab

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

果皮开始变薄,果肉的增长速度又加快,说明果实在 16~35 d 的生长期间,果肉、果皮在养分竞争中果肉占据优势,果皮所积累的营养物质同时也供给果肉生长。

在花后 35 d 果实成熟时,大红火龙果的果实鲜质量最大,果皮厚度最薄,果肉横径最大,呈现出较优的形态特征和果实品质;双色火龙果的果实鲜质量排第 2,果皮最厚,果肉的横、纵径较小;白玉龙火龙果的鲜质量最小,果皮较厚,果实呈椭圆形,果肉纵径较长。王彬研究发现,红肉火龙果黔龙 1 号成熟时的果形指数为 1.01,白肉火龙果黔龙 2 号成熟时的果形指数为 1.06,果形主要表现为近圆形^[5]。在本研究中,大红、双色火龙果在花后 35 d 时果形为近圆形,白玉龙火龙果果形为椭圆形。叶维雁等的研究表明,越饱满、越趋于球形的火龙果果实其果皮越薄、甜度越高^[6]。由此可见,大红、双色火龙果的口感更好,白玉龙火龙果的口感略差。

3.2 火龙果生长过程中内含物的变化

可溶性糖既是重要的营养成分,也是重要的风味物质^[7]。可溶性固形物的含量可以反映其糖分变化情况,也决定了火龙果果实的食用品质^[8]。可溶性糖和可溶性固形物含量的积累最终会影响果实的食用品质和营养品质。杨道富等的研究表明,火龙果可溶性糖、可溶性固形物含量在前期稳定积累,在后期逐渐增加^[9-10]。在本研究中,火龙果生长过程中可溶性糖和可溶性固形物均呈现出前期稳定积累、后期迅速增加的变化趋势。

火龙果富含甜菜红素,果皮和果肉均有检出,果肉中的含量突出,是继甜菜和苋菜之后第 3 个富含甜菜色素的物种^[11],甜菜红素有清除自由基、抗氧化^[12]、护肝^[13]等作用。根据上述所知,甜菜红素是作为衡量火龙果品质的重要指标之一,火龙果果实生长过程中甜菜红素含量不断积累,提高了果实的食用品质和营养品质。在本研究中,甜菜红素含量呈现为前期稳定积累、后期迅速上升的趋势。

在花后 35 d 果实成熟时,双色火龙果的可溶性糖、可溶性固形物含量均最高,其次为大红火龙果,白玉龙火龙果最低。这与李涛红肉火龙果的可溶性固形物含量平均值显著高于白肉火龙果的研究结果^[14]一致,说明双色火龙果、大红火龙果吃起来较甜,口感较好,营养丰富,而白玉龙火龙果则较差,这与邓爱妮关于红肉火龙果口感比白肉火龙果甜的研究结果^[15]一致。大红火龙果的甜菜红素含量最高,达到 57.52 mg/L,显著高于双色、白玉龙火龙果,双色火龙果的甜菜素含量显著高于白玉龙火龙果,说明大红火龙果含有较高的营养价值和品质,红肉火龙果果实中的甜菜红素含量高于白肉火龙果。

3.3 火龙果生长过程中的有机酸变化

有机酸是水果的重要成分,决定了水果的特殊味道,并在食品营养学中占有重要地位^[16-17]。火龙果果实生长发育过程中的有机酸成分主要有草酸、酒石酸、苹果酸、柠檬酸等,不同时期的有机酸含量差异较大,前期主要成分为草酸,随着生长发育进程的推进,草酸含量不断减少,苹果酸成为主要有有机酸成分。此结果与杨道富关于火龙果有机酸中前期主要成分为草酸后期主要为苹果酸的研究结果^[9]一致。但在本研究中,草酸、酒石酸、苹果酸和柠檬酸含量在火龙果生长过程中的变化规律与杨道富等关于火龙果有机酸的研究报道^[9,18]有差异。在本研究中,各种有机酸含量的变化规律波动较大,成熟火龙果中柠檬酸含量较少,可能与火龙果的产地、品种、地理环境、分析方法等因素有关,相关研究还需要进一步验证。

在大多数果实生长过程中,生长前期有机酸含量逐步积累,到生长后期有机酸含量下降,如葡萄、枇杷、桃、菠萝和梨^[19-22]等。王立娟等研究表明,火龙果果实发育过程中有机酸整体呈现先升高后降低的变化趋势^[10]。在本研究中,火龙果果实生长过程中总酸含量的总体变化是前期大量积累,之

后逐渐下降,在花后 15 d 存在下降再上升的趋势。

Wu 等通过检测红肉和白肉火龙果的可溶性糖和有机酸的组成和含量,验证了不同品种火龙果果实中可溶性糖和有机酸的组成和含量存在差异^[23]。还有研究发现,果实中可溶性糖、有机酸含量及组成的差异会直接影响果实的甜酸风味和品质^[24]。花后 35 d 时,双色和白玉龙火龙果中的总酸含量高于大红火龙果,说明大红、双色和白玉龙火龙果的果实风味和品质存在差异。综合比较可知,在大红、双色和白玉龙 3 个不同品系的火龙果中,大红火龙果在外观品质、食用品质和营养品质等指标方面的评价结果更优异,双色和白玉龙火龙果的口感具有独特风味。

上述研究结果表明,火龙果果实生长的中后期是果实增质,果肉迅速膨大,可溶性糖、甜菜红素和可溶性固形物等内含物快速积累,及有机酸转化含量下降的阶段。此阶段果实的生长发育出现转折,是影响果实质量和品质的关键时期,在生产实践中应该注重此时的栽培管理,以确保火龙果产量,提高果实品质。在果实生长发育过程中,可溶性固形物和可溶性糖含量具有一致的变化趋势,在生产实践可以通过测量可溶性固形物的含量估计可溶性糖含量来确定果实的成熟度和采摘时间。双色果实中可溶性糖、可溶性固形物和有机酸含量均最高;大红火龙果单果质量高,果皮薄,甜菜红素含量最高,有机酸含量最低,口感浓甜;白玉龙果实纵径长,有机酸含量高。

参考文献:

[1] 蔡永强,向青云,陈家龙,等. 火龙果的营养成分分析[J]. 经济林研究,2008,26(4):53-56.

[2] Wybraniec S, Platzner I, Geresh S, et al. Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus* [J]. Phytochemistry, 2001, 58(8):1209-1212.

[3] 王 亚. 丰水梨果实发育及贮藏期的品质变化研究[D]. 南京:南京农业大学,2006.

[4] 王金乔,马翠凤,张学娟,等. ‘金都 1 号’火龙果果实生长发育规律研究[J]. 热带农业科学,2017,37(2):24-27.

[5] 王 彬,郑 伟,蔡永强. 火龙果果实发育期间营养元素含量的变化[J]. 热带作物学报,2015,36(7):1242-1246.

[6] 叶维雁,欧景莉,宁 蕾,等. 火龙果结果枝对果实品质的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2021,36(1):91-96.

[7] 郑丽静,聂继云,闫 震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报,2015(2):304-312.

[8] 林兴娥,丁哲利,明建鸿,等. 海南 5 个火龙果栽培品系主要性状分析[J]. 浙江农业科学,2020,61(6):1098-1100.

[9] 杨道富,林旗华,谢鸿根,等. 火龙果果实生长过程有机酸与可溶性糖变化研究[J]. 福建农业学报,2012,27(10):1076-1080.

[10] 王立娟,蔡汝翠,肖图舰,等. 火龙果果实发育过程中糖和酸积累及相关酶活性分析[J]. 中国南方果树,2020,49(4):39-43.

[11] Ferreres F, Grosso C, Gil - Izquierdo A, et al. Optimization of the recovery of high - value compounds from pitaya fruit by - products using microwave - assisted extraction [J]. Food Chemistry, 2017, 230:463-474.

[12] Esatbeyoglu T, Wagner A E, Motafakkerazad R, et al. Free radical scavenging and antioxidant activity of betanin: electron spin resonance spectroscopy studies and studies in cultured cells [J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 73:119-126.

[13] Song H Z, Chu Q, Xu D D, et al. Purified betacyanins from *Hylocereus undatus* peel ameliorate obesity and insulin resistance in high - fat - diet - fed mice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(1):37-41.

[14] 李 涛,王明月,杜海群,等. 红肉火龙果与白肉火龙果的品质分析[J]. 保鲜与加工,2015,15(4):59-61,65.

[15] 邓爱妮,叶海辉,何秀芬,等. 海南红肉与白肉火龙果营养成分含量分析[J]. 保鲜与加工,2020,20(3):177-182.

[16] 何志刚,李维新,林晓姿,等. 枇杷果实成熟和贮藏过程中有机酸的代谢[J]. 果树学报,2005,22(1):23-26.

[17] 李刚波,陈 刚,赵 林,等. 大棚栽培对砂梨果实生长发育及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(2):136-139.

[18] 李文云,彭志军,王 彬,等. 火龙果不同品种(品系)果肉糖、酸含量及组成分析[J]. 贵州农业学,2010,38(11):215-217.

[19] Lamikanra O, Inyang I, Leong S. Distribution and effect of grape maturity on organic acid content of red muscadine grapes [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1995, 43:3026-3028.

[20] 沈志军,马瑞娟,俞明亮,等. 桃果实发育过程中主要糖及有机酸含量的变化分析[J]. 华北农学报,2007,22(6):130-135.

[21] 张秀梅,杜丽清,孙光明,等. 菠萝果实发育过程中有机酸含量及相关代谢酶活性的变化[J]. 果树学报,2007,24(3):381-384.

[22] 沙守峰,李俊才,张绍铃,等. ‘新苹果’果实和叶片发育期有机酸含量的变化及其相关性研究[J]. 南京农业大学学报,2011,34(6):41-46.

[23] Wu M C, Chen C S. Variation of sugar content in various parts of pitaya fruit [J]. Proc Fla State Hort Soc, 1997, 110:225-227.

[24] 郝荣庭. 果树栽培学总论[M]. 北京:中国农业出版社,2000:86-90.