

李百云,李 慧.早熟灵武长枣果实糖代谢酶与早熟的相关性[J].江苏农业科学,2023,51(2):140-147.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.02.021

早熟灵武长枣果实糖代谢酶与早熟的相关性

李百云,李 慧

(宁夏农林科学院园艺研究所,宁夏银川 750002)

摘要:通过研究早熟灵武长枣果实发育过程中糖、相关酶活性的变化,试图解释早熟灵武长枣早熟机制,为枣树新品种认定及育种提供科学依据。以早熟灵武长枣、灵武长枣为材料,定期测定果实转色、横纵径、果实糖酸含量、花青素类含量及果实转色变化过程中的糖代谢酶活性,并对灵武长枣及其早熟果实的糖含量、代谢酶活性进行相关性分析。结果表明,(1)早熟灵武长枣着色提早并且转色速度明显快于灵武长枣;早熟灵武长枣、灵武长枣果实横纵径变化规律一致,但前者横径增速快于灵武长枣,果型指数明显低于灵武长枣。(2)早熟灵武长枣果实发育过程中,维生素 C、类黄酮、原花青素、总酚含量与灵武长枣逐渐下降的变化趋势一致,但在同一时期,早熟灵武长枣果实上述指标的下降速率明显快于灵武长枣。早熟灵武长枣在果糖、葡萄糖和蔗糖积累规律上与灵武长枣一致,但在同一时期,前者糖积累较快,早熟灵武长枣果实在完全成熟时的含糖量与灵武长枣差异不大,但可滴定酸含量低于灵武长枣,糖酸比更高。(3)灵武长枣的蔗糖合成酶(SS)活性出现 2 次高峰,早熟灵武长枣的 SS 活性与灵武长枣一致,均出现 2 次高峰,但早熟灵武长枣的 SS 活性高峰提早 8~10 d 出现,且第 1、第 2 高峰分别高于灵武长枣 61.2%、15.7%。灵武长枣和早熟型灵武长枣果实蔗糖磷酸合成酶(PPS)活性呈现单峰变化规律,早熟灵武长枣的 PPS 活性高峰早于灵武长枣 13 d,且 PPS 活性高 48.9%。由此可见,在枣果实的生长发育过程中,由于果实内蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶提早调控且活性明显提高,从而促进了果实糖分积聚,促进了早熟灵武长枣提早成熟。

关键词:灵武长枣;芽变;早熟;糖代谢酶;育种

中图分类号:S665.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)02-0140-08

灵武长枣是宁夏地区 3 个主栽红枣品种之

收稿日期:2022-02-20

基金项目:宁夏自然科学基金(编号:2022AAC03441);宁夏农林科学院对外合作项目(编号:DW-X-2020004);宁夏回族自治区重点研发计划(编号:2021BBF2011)。

作者简介:李百云(1979—),男,河北承德人,硕士,副研究员,从事枣树栽培育种工作。E-mail:124495776@qq.com。

—^[1],是中国国家地理标志产品。2003 年以来,灵武长枣的相关研究主要包括树形、水肥管理^[2-6]、选育技术与种质资源引进^[7]、果实采后保鲜^[8-11]和果实中糖的转化运转^[12-13]等方面。灵武长枣的群体资源(普通型、大果型、针刺退化型、早熟型)丰富,为了从中找到特早熟型优系,笔者所在团队曾在灵武长枣成熟期前 2 周进行跟踪调查,发现了提前

[4] Legave J M, Blanke M, Christen D, et al. A comprehensive overview of the spatial and temporal variability of apple bud dormancy release and blooming phenology in Western Europe[J]. International Journal of Biometeorology, 2013, 57(2): 317-331.

[5] 张 震,刘 璐,李艳莉.果树物候期研究进展[J].果树学报,2021,38(8):1381-1389.

[6] 王力荣,左覃元,朱瑞端.中国桃品种需冷量的研究[J].园艺学报,1997,24(2):194-196.

[7] 王力荣.桃种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2005.

[8] 严 娟,张明昊,蔡志翔,等.需冷量和需热量差异对桃花叶物候进程的影响[J].植物遗传资源学报,2021,22(5):1281-1292.

[9] 李星敏,柏秦凤,朱 琳.气候变化对陕西苹果生长适宜性影响[J].应用气象学报,2011,22(2):241-248.

[10] 李美荣,杜 军,刘映宁,等.气候变化对苹果开花期的影响分

析[J].陕西农业科学,2009,55(1):97-101.

[11] 杨 栋,朱价敏,丁烨毅,等.浙江省水蜜桃物候、品质和产量对气候变化的响应[J].生态学杂志,2019,38(11):3366-3375.

[12] 吴君涛,尹珊珊.孝感市气候变化对早蜜桃生长发育的影响分析[J].现代农科科技,2018,(4):102,105.

[13] 蔡志翔,马瑞娟,俞明亮,等.南京地区 2010 年春季气候对桃树生长结果的影响[J].江苏农业科学,2011,39(3):173-175.

[14] 彭颖姝,高捍东,苑兆和.全球气候变化对温带果树的影响[J].中国农业科技导报,2018,20(7):1-10.

[15] 刘 璐,王景红,柏秦凤,等.气候变化对黄土高原苹果主产地物候期的影响[J].果树学报,2020,37(3):330-338.

[16] 李世忠,李江南.气候变暖背景下广西水稻生育期变化特征[C]//第 32 届中国气象学会年会 S15 提升气象为农服务能力,保障农业提质增效.天津,2015:110-129.

15~20 d 成熟的灵武长枣单株。随后利用嫁接技术,在不同地方嫁接早熟灵武长枣枝条,通过多年和多代观察比较发现,灵武长枣果实均表现出早熟特性。本研究利用枣树物候期的观测资料^[14],跟踪果实着色^[15]、果实不同发育时期糖酸含量及相关酶活性^[16-17],试图阐明灵武长枣的早熟优系形成机制,并促进灵武长枣的新品种审定工作,对宁夏回族自治区农业产业结构调整和产品提升、农村增效和农户增收、低碳绿色高质量生产都具有十分重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为灵武长枣(CK)、早熟灵武长枣(TZ)。试验地位于灵武园艺场,于 2007 年定植灵武长枣自根苗,株行距 2 m×4 m,株干高 180~200 cm,树形采用自由纺锤形。早熟灵武长枣 2018 年嫁接于灵武长枣,每株树设 6 个主枝条进行高接,管理水平与生产园一致。试验于 2021 年 5 月 3 日开始观察物候期,每隔 5~7 d 调查 1 次,直至枣树落叶;8 月 6 日开始采集枣果实,间隔 7 d 采集 1 次直至枣果全红。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 灵武长枣和早熟果实的发育进程 从 2021 年 7 月 12 日开始,各选用 5 株长势一致的灵武长枣、早熟型优系,并用 2 龄以上的枣股枣吊中部果实进行标记,在枣树上每隔 7 d 用游标卡尺测定 1 次枣果纵横径。

1.2.2 灵武长枣和早熟果实品质相关指标的测定 从 2021 年 8 月 6 日开始,每隔 7 d 进行枣果采样。在东、南、西、北方位采集 2 龄以上枣股枣吊的正常果实,将枣果装入采样箱中,带回实验室待测。测定果实中维生素 C、可溶性糖(TSS)、可滴定酸(TA)含量^[18-19]。

1.2.2.1 果实横纵径、果形指数和果实着色情况的测定。取 30 个果粒,用数显游标卡尺测定果粒横纵径,计算果形指数:果形指数=果粒纵径/横径;果实着色情况采用 CR-10 色度计测定。

1.2.2.2 TSS、TA 和可溶性糖含量分别用手持糖量计、蒽酮法和酸碱滴定法测定。

1.2.2.3 果糖、葡萄糖和蔗糖含量参照关军锋的方法^[20]测定。

1.2.2.4 用紫外分光光度法测定总酚含量^[21],原花青素^[22]、总类黄酮含量采用 Peinado 等的方法^[23]测定。

1.2.3 枣果蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)、酸性转化酶(AI)和中性转化酶(NI)活性的测定 SS、SPS、AI、NI 活性采用北京盒子生工科技有限公司的活性检测试剂盒测定。合成酶(SS、SPS)活性单位(U/g)定义:1 g 组织 1 min 内催化产生 1 μg 蔗糖定义为 1 个酶活性单位。转化酶(AI、NI)活性单位(U/g)定义:37 ℃条件下,1 g 组织在 1 min 内催化产生 1 μg 还原糖定义为 1 个酶活力单位。

2 结果与分析

2.1 灵武长枣和早熟优系的生物学特性

由表 1 可以看出,早熟灵武长枣和灵武长枣的萌芽期、展叶期分别在 5 月 3 日、5 月 12 日,没有差异,但是早熟灵武长枣的现蕾期、盛花期比灵武长枣提早 1~2 d;早熟灵武长枣和灵武长枣的物候期逐渐拉开差距是从坐果期开始的,前者的坐果期提早了 7 d 左右,着色期提早了 15 d 左右,二者的半红期、全红期相差 20 d 左右,并且差距延续到落叶期。早熟灵武长枣在 8 月底至 9 月上旬完成果实着色发育,而灵武长枣在 9 月中旬至 10 月上旬完成果实着色发育,时间推后且跨度较长,可能是早熟灵武长枣提早成熟的原因之一。

表 1 灵武长枣和早熟优系的物候期

品种(品系)	萌芽期	展叶期	现蕾期	盛花期	坐果期	着色期	半红期	脆熟全红期	叶黄期	落叶期
早熟灵武长枣	5 月 3 日	5 月 12 日	5 月 22 日	6 月 13 日	6 月 25—27 日	8 月底	9 月 6 日	9 月 12 日	10 月上旬	10 月下旬
灵武长枣	5 月 3 日	5 月 12 日	5 月 24 日	6 月 13—15 日	7 月 1—4 日	9 月 16 日	9 月 23 日	10 月 3 日	10 月下旬	11 月上旬

2.2 灵武长枣及早熟优系果实的着色进程

由图 1-a 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣的 L 值(亮度)在 8 月 26 日前均有小幅上升,分别比 8 月 9 日的 L 值提高了 12.5%、6.8%;之后,灵武

长枣的 L 值一直维持小幅上升趋势,9 月 12 日的 L 值比开始测定时提高了 16.2%,表明灵武长枣的亮度略有增加。

由图 1-b 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣

的 b 值(蓝变黄)在 8 月 21 日前小幅上升,之后灵武长枣的 b 值出现波动式小范围上升,至 9 月 12 日到达 39.5,早熟灵武长枣成熟时呈红色,成熟过程中有由黄变蓝过程。

由图 1 - c 可以看出,灵武长枣与早熟灵武长枣

在全部采样期的 a 值(由绿变红)均不断提高,灵武长枣的 a 值在整个调查期(8 月 9 日至 9 月 12 日)小幅上升,由 -8.63 升高至 0.01,果实处于绿果期;早熟灵武长枣的 a 值在 8 月 21 日增速加快,在 8 月 26 日果实开始出现红色,在 9 月 12 日变成全红。

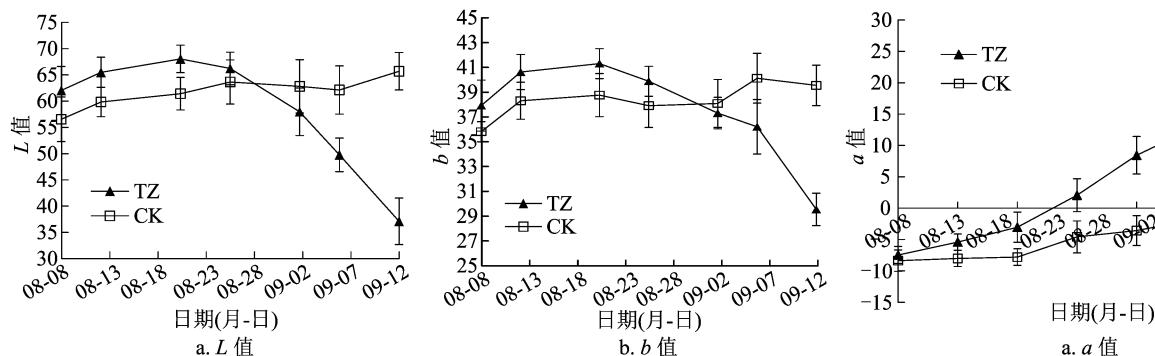


图1 灵武长枣及早熟优系果实的着色进程

2.3 灵武长枣及早熟优系果实的形态发育

由图 2 可以看出,灵武长枣和早熟优系的果实纵径在 7 月 23 日前增长得较快,之后略缓慢增长,但总体变化趋势一致;灵武长枣和早熟优系横径的总体变化趋势一致,但增速不同。6 月 29 日测得的灵武长枣、早熟优系的横径一致,但是随着时间的推移,早熟灵武长枣横径的增速明显加快,特别是

在 7 月底到 8 月底的 1 个月间拉开的差距最大,果实发育进程明显快于普通灵武长枣。灵武长枣、早熟优系果型指数的变化趋势一致,初期(6 月 29 日到 7 月 4 日)增加,随后至 8 月 26 日迅速下降,后期趋于平缓。但在整个果实指数变化过程中,早熟灵武长枣始终低于灵武长枣,二者的果实纵径一致,早熟灵武长枣的横径整体上大于灵武长枣。

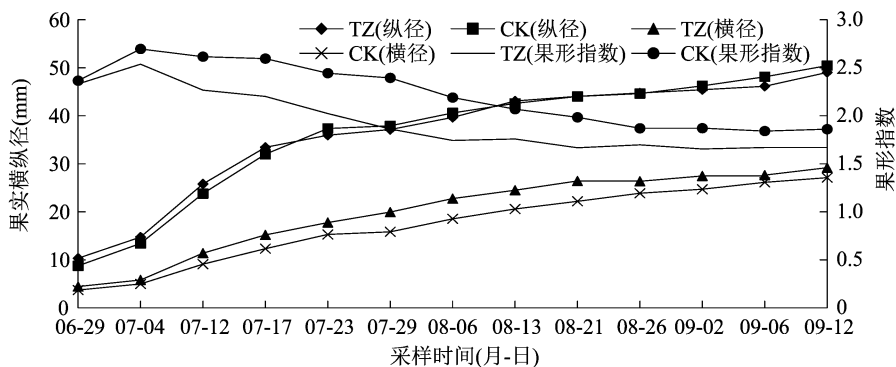


图2 灵武长枣及早熟优系果实的形态发育

2.4 果实糖、酸含量的动态变化

由图 3 - a 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣果实的蔗糖含量在白熟期之前相近。白熟期之后,早熟芽变果实的蔗糖含量会呈直线型增长,而灵武长枣的果实蔗糖含量先出现缓慢增长,随后经历短暂快速增长,在 9 月 12 日后进入一段平稳期,到全熟前会再次增长。

由图 3 - b 可以看出,灵武长枣的葡萄糖含量在整个时期呈多变趋势,在整个 8 月呈较平稳的增长趋势,9 月初期暴增,9 月中旬含量降低,成熟前会继续增长,而早熟灵武长枣果实的葡萄糖含量在各个

时期均呈增长趋势,且含量均高于常规灵武长枣。

由图 3 - c 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣果实的果糖含量也会进入增长期,但早熟灵武长枣果实的果糖含量呈持续增长趋势,而灵武长枣的果糖积累量多变,在白熟期先增后平稳,直到全熟前呈激增的趋势。

由图 3 - d 可以看出,从白熟期至全熟期,早熟灵武长枣果实的总糖含量均高于灵武长枣。

由图 4 - a 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣果实的 TSS 含量随果实的成熟呈上升趋势,其中灵武长枣的 TSS 含量全程均在上升,但在 10 月 1 日后

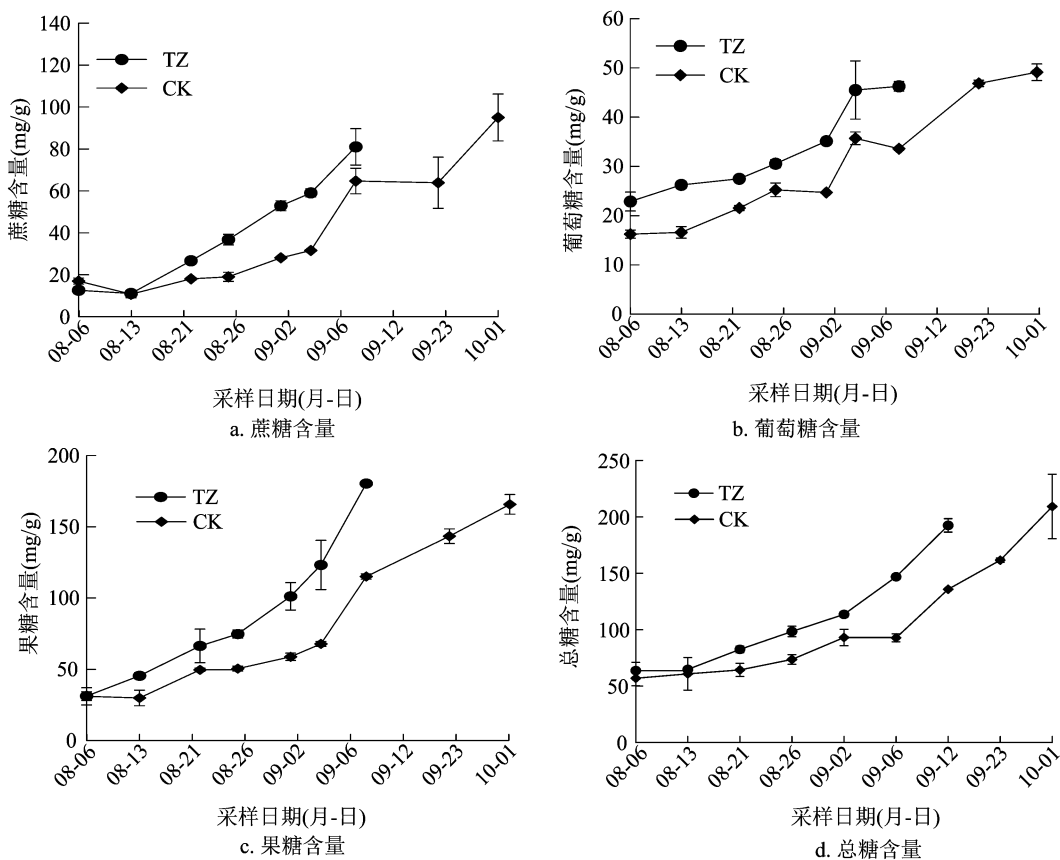


图3 灵武长枣和早熟优系果实主要糖组分含量的变化

变化平缓,早熟灵武长枣果实的 TSS 含量在 8 月 21 日趋于平缓,从 8 月下旬直到成熟均表现为较快的上升趋势。综合比较可知,早熟灵武长枣果实的可溶性固形物含量高于灵武长枣,果实甜度更高,口感更优越。

由图 4-b 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣果实的 TA 含量随着果实的生长同样呈上升的趋

势。其中灵武长枣果实的 TA 含量在 8 月初至 9 月上旬缓慢上升,后期上升较快,成熟期达到 0.32%;早熟灵武长枣果实的 TA 含量在果实发育时期的 8 月初至成熟的 9 月中旬缓慢上升,由 0.185% 上升至 0.219%。早熟灵武长枣全熟后果实中的 TA 含量比灵武长枣果实低,但糖酸比更高。

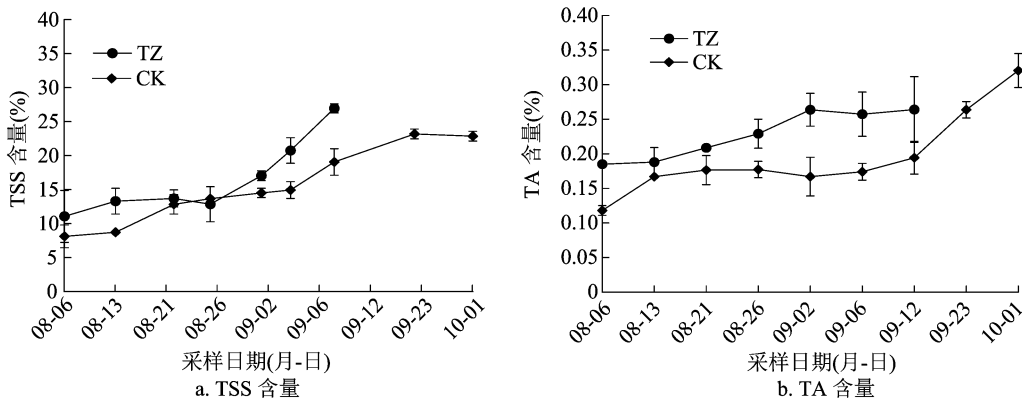


图4 灵武长枣及其早熟芽变果实可溶性固形物、可滴定酸含量的变化

2.5 果实中维生素 C 和酚类物质含量的动态变化

由图 5-a 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣果实的维生素 C 含量均呈下降趋势,其中灵武长枣

的维生素 C 含量在 8 月 6 日到 8 月 13 日无明显变化,之后至 9 月 2 日持续降低,在 9 月 2 日至 9 月 6 日略有增加后缓慢下降,至全熟时维生素 C 含量最

低。早熟灵武长枣果实发育时期缩短,在相同采样时间内均低于灵武长枣,但在完熟期,早熟灵武长枣果实的维生素 C 含量却高于灵武长枣。

由图 5-b、图 5-c、图 5-d 可以看出,灵武长枣和早熟灵武长枣果实的总酚、类黄酮、原花青素含量均呈下降趋势,且变化趋势总体一致。灵武长枣果实类黄酮在 8 月 6 日到 8 月 13 日下降较快,之后至 9 月 2 日呈缓慢下降趋势,9 月 2 日至 9 月 6 日

略有增加后快速下降至成熟期最低,原花青素含量在 8 月 6 日至 8 月 21 日呈缓慢下降趋势,之后至 9 月 12 日变化较平稳,9 月 12 日后出现快速下降。早熟灵武长枣果实的类黄酮、原花青素含量在 8 月初至 8 月中旬缓慢下降,至成熟期(9 月中旬)下降得较快,成熟期早熟灵武长枣果实中总酚、类黄酮、原花青素含量略高于灵武长枣。

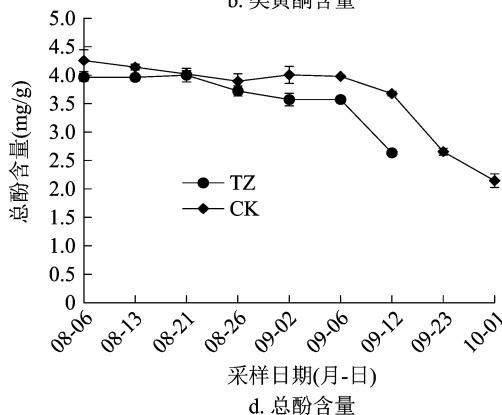
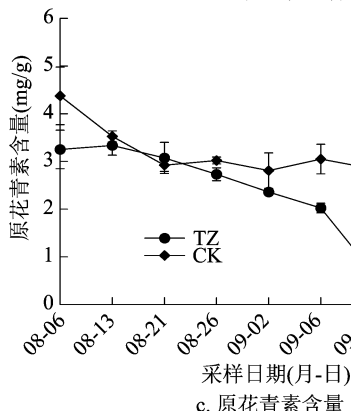
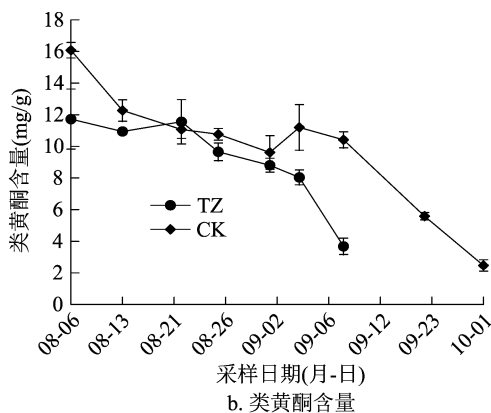
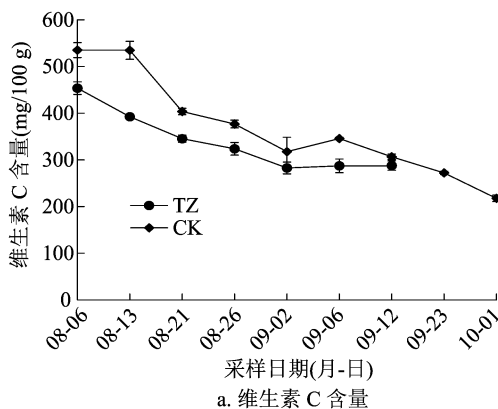


图5 灵武长枣及其早熟芽变果实维生素 C 和酚类物质含量的变化

2.6 果实中糖代谢酶活性的动态变化

由图 6-a 可以看出,灵武长枣的 SS 活性有 2 个峰值,表现为经过 2 个高峰后呈下降趋势,第 1 峰值出现在 8 月 21 日,达 55.7 U/g,第 2 个峰值出现在 9 月 6 日,达 110.0 U/g;早熟灵武长枣的 SS 活性变化与灵武长枣一致,均出现 2 次峰值,分别在 8 月 13 日、8 月 26 日,分别达 89.8、127.3 U/g,早熟灵武长枣 SS 的活性峰值较灵武长枣提早 8~10 d,且第 1、第 2 峰值对应的 SS 活性分别比灵武长枣高 61.2%、15.7%。

由图 6-b 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣果实蔗糖磷酸合成酶活性先升高到达 1 个峰值,然后下降。灵武长枣果实生长至 8 月 26 日时的 SPS 活性最高,为 129.0 U/g;早熟灵武长枣在 8 月 13 日

的 SPS 活性达到峰值,为 192.1 U/g,到达峰值所需时间早于灵武长枣 13 d,且 SPS 活性比灵武长枣高 48.9%。由此可以看出,早熟灵武长枣提早成熟,与 SS、SPS 活性的提前有密切关系。

由图 6-c、图 6-d 可以看出,灵武长枣、早熟灵武长枣果实的酸性转化酶、中性转化酶活性从 8 月初至果实成熟时均呈现缓慢下降的趋势,并且变化趋势基本一致。

2.7 果实中糖含量与代谢酶活性的相关性分析

由表 2 可以看出,在整个发育时期,早熟灵武长枣幼果果实中的果糖含量 SS、SPS 活性呈极显著正相关(相关系数分别为 0.946、0.955),与 AI 活性呈显著负相关(-0.863);在果实白熟期,蔗糖、葡萄糖和总糖含量与 SS、SPS 活性呈极显著正相关,

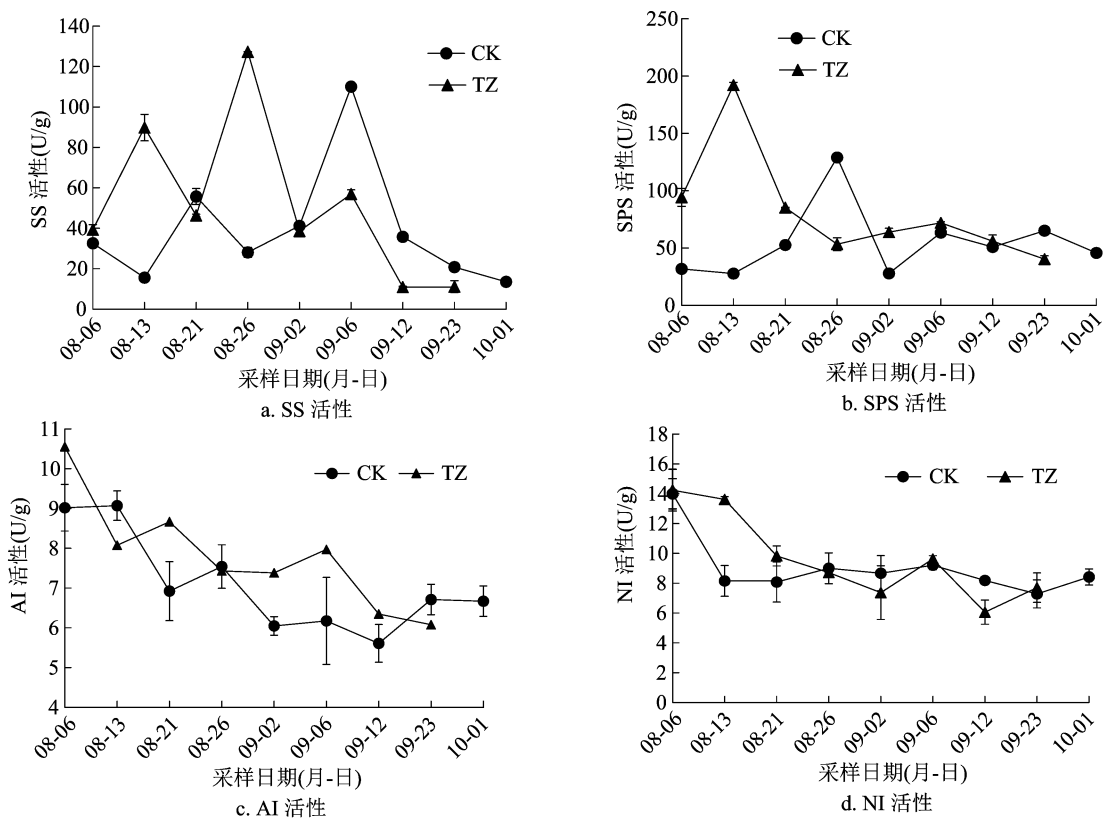


图6 灵武长枣及其早熟芽变果实糖代谢相关酶活性的变化

表 2 早熟灵武长枣果实不同发育时期糖含量与糖代谢酶活性的相关性分析

果实发育时期	类别	相关系数			
		SS 活性	SPS 活性	AI 活性	NI 活性
幼果期	蔗糖含量	0.712	0.700	0.721	-0.060
	果糖含量	0.946 **	0.955 **	-0.863 *	0.362
	葡萄糖含量	0.795	0.784	-0.893 *	-0.099
	总糖含量	0.145	0.179	0.210	0.854 *
	可溶性固形物含量	0.439	0.443	-0.250	0.465
白熟期	蔗糖含量	0.960 **	0.958 **	0.672	0.956 **
	果糖含量	0.508	0.478	0.165	0.579
	葡萄糖含量	0.953 **	0.976 **	0.797	0.950 **
	总糖含量	0.929 **	0.936 **	0.710	0.908 *
	可溶性固形物含量	-0.246	0.211	0.029	-0.286
转色期	蔗糖含量	0.816 *	0.901 *	-0.920 **	0.581
	果糖含量	0.746	0.669	-0.623	0.594
	葡萄糖含量	0.881 *	0.806	-0.762	0.727
	总糖含量	0.978 **	0.997 **	-0.993 **	0.781
	可溶性固形物含量	0.838 *	0.819 *	-0.817 *	0.783
全红期	蔗糖含量	0.908 *	0.862 *	-0.915 *	0.772
	果糖含量	-0.436	-0.376	0.453	-0.198
	葡萄糖含量	0.993 **	0.978 **	-0.991 **	0.830 *
	总糖含量	0.045	0.079	-0.049	-0.380
	可溶性固形物含量	0.408	0.332	-0.432	0.097

注：*、** 分别表示相关性在 0.05、0.01 水平上显著，下表同。

与 NI 活性呈极显著或显著正相关;在转色期,果实总糖含量与 SS、SPS 活性呈极显著正相关(相关系数分别为 0.978、0.997),与 AI 活性呈极显著负相关(−0.993);在全红期,果实葡萄糖含量与 SS、SPS 活性呈极显著正相关(相关系数分别为 0.993、0.978),与 AI 活性呈极显著负相关(−0.991)。

表 3 灵武长枣果实不同发育时期糖含量与糖代谢酶活性的相关性分析

果实发育时期	类别	相关系数			
		SS 活性	SPS 活性	AI 活性	NI 活性
幼果期	蔗糖含量	0.599	0.589	−0.565	0.323
	果糖含量	0.567	0.726	−0.763	0.091
	葡萄糖含量	0.307	0.810	−0.767	0.365
	总糖含量	0.044	0.625	−0.441	0.332
	可溶性固形物含量	0.474	0.768	−0.752	0.154
白熟期	蔗糖含量	0.993 **	0.990 **	−0.867 *	0.549
	果糖含量	0.931 **	0.935 **	−0.920 **	0.187
	葡萄糖含量	0.991 **	0.989 **	−0.918 **	0.450
	总糖含量	−0.036	−0.047	−0.169	0.257
	可溶性固形物含量	0.250	0.239	−0.409	0.362
转色期	蔗糖含量	−0.323	−0.195	−0.901 *	0.675
	果糖含量	0.998 **	0.997 **	0.382	−0.877 *
	葡萄糖含量	0.972 **	0.994 **	0.218	−0.785
	总糖含量	0.934 **	0.973 **	0.144	−0.692
	可溶性固形物含量	0.838 *	0.857 *	0.032	−0.707
全红期	蔗糖含量	0.794	0.817	−0.817	0.817
	果糖含量	0.794	0.770	−0.770	0.770
	葡萄糖含量	−0.780	−0.804	0.804	−0.804
	总糖含量	−0.885	−0.867	0.867	−0.867
	可溶性固形物含量	−0.868	−0.848	0.848	−0.848

3 讨论

水果成熟是一个复杂且协调的不可逆过程,在这个过程中受到植物激素的调节,同时伴随着一系列生理生化的改变,涉及果实品质性状的变化,也包括果实颜色的转变、香气的释放、果实体积的明显增大等外观品质变化,也有果实内部物质的变化如果肉硬度、糖类物质、有机酸组分、酚类物质含量的变化等^[24-25]。

果实的发育机制相当复杂,在果树生产过程中发现,果实成熟期的芽变材料是研究果实成熟机制的最佳材料。早熟灵武长枣是灵武长枣的早熟芽变,除成熟期外,其他特性与灵武长枣基本一致。早熟灵武长枣整个果实发育进程明显缩短,枣树果实的生长曲线属于双“S”形曲线,根据生长状态,可将其分为 3 个阶段(第Ⅰ阶段为快速生长期,第Ⅱ阶段为缓慢生长期,第Ⅲ阶段为快速生长期),生长呈

由表 3 可以看出,在整个发育时期,白熟期灵武长枣果实蔗糖、果糖和葡萄糖含量与 SS、SPS 活性呈极显著正相关,与 NI 活性呈极显著负相关;在转色期,灵武长枣果实果糖、葡萄糖和总糖含量与 SS、SPS 活性呈极显著正相关。

快—慢—快的动态曲线^[26]。灵武长枣及其早熟芽变果实的生长曲线属于这个变化规律,但早熟芽变横径的增长一直快于灵武长枣,灵武长枣早熟芽变果型指数明显低于灵武长枣。可溶性糖和有机酸是影响水果味道的重要组成部分,它们与香气一同对水果的整体感官品质有很大影响^[27]。但是糖的种类和比例也是影响果实品质的重要因素,因此笔者所在课题组对早熟灵武长枣的果糖、葡萄糖和蔗糖含量持续进行监测,从白熟期至全熟期每个时期糖含量均高于常规灵武长枣的含量,表明在相同时期内早熟灵武长枣明显积累快于普通灵武长枣,但最终早熟灵武长和普通灵武长枣均达到全红时相差不大。早熟芽变果实的 TA 含量在全熟前均高于常规灵武长枣的含量,但全熟后早熟 TA 含量低于普通灵武长枣。在监测过程中,早熟灵武长枣的维生素 C、类黄酮、原花青素、总酚含量整体低于普通灵武长枣,但果实成熟时的含量基本一致。

早熟灵武长枣、灵武长枣果实的蔗糖合成酶活性均显现双峰型变化规律,蔗糖磷酸合成酶活性呈现单峰变化规律,这与章英才等研究得出的灵武长枣果实糖积累规律相近^[28]。但是,早熟灵武长枣果实蔗糖合成酶峰值提早了 8~10 d,蔗糖磷酸合成酶峰值提早了 13 d,且两者的高峰明显高于普通灵武长枣。崔纪芳研究西瓜果实发育期间糖分积累及糖代谢相关酶活性发现,中晚熟品种果糖、葡萄糖含量出现的高峰比早熟品种晚 4~8 d,SS、SPS 活性升高与果实成熟阶段蔗糖含量的增加一致^[29]。许传强等研究发现,嫁接网纹甜瓜中果肉内蔗糖积累时间较自根提前了 7 d 左右,主要由于提高了蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶活性^[30]。上述研究结果与本研究结果有类似之处。在早熟灵武长枣幼果期,其果实果糖含量与蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性呈现极显著正相关(相关系数分别为 0.946、0.955),与酸性转化酶活性呈显著负相关(-0.863),而在灵武长枣白熟期,其果实果糖积累量与蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性呈现极显著正相关,相对早熟灵武长枣延后。

4 结论

果糖、蔗糖是灵武长枣所含主要糖类。在枣果实发育过程中,果实内蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶提早调控且活性显著提高,从而加速果实糖积累,促进早熟灵武长枣提早成熟。

参考文献:

- [1] 李百云,李慧. 灵武长枣优系选育[J]. 果树资源学报,2021,2(6):81-86.
- [2] 刘洁. 不同水肥处理对灵武长枣生长与果实品质的影响[D]. 银川:宁夏大学,2014.
- [3] 张玉方. 枣园施用秸秆与麦壳对土壤养分、灵武长枣生长及果实品质的影响[D]. 银川:宁夏大学,2016.
- [4] 党娜娜. 行间生草对灵武长枣园区土壤特性与果实品质的影响[D]. 银川:宁夏大学,2017.
- [5] 朱钰. 灵武长枣合理施肥及水肥一体化应用效果研究[D]. 银川:宁夏大学,2015.
- [6] 万仲武,芮长春,张治业. 灵武长枣物候期与气温和地温的关系研究[J]. 北方园艺,2013(15):47-50.
- [7] 喻菊芳,魏天军,陈卫军,等. 灵武长枣种质资源调查和品种选优研究[J]. 中国果树,2008(1):56-57.
- [8] 班兆军,冯建华,徐新明,等. 不同保鲜膜对灵武长枣低温贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工,2010,10(1):20-23.
- [9] 许牡丹,肖程顺. 硅烷气调对灵武长枣生理变化的影响[J]. 食品研究与开发,2011,32(12):172-174.
- [10] 胡云峰,吴强,薛丽霞,等. 复合保鲜剂对灵武长枣贮藏效果的研究[J]. 中国果树,2008(2):46-49.
- [11] 吴小华,领敏华,吕建国,等. 纳米 SiO₂ 涂膜对灵武长枣采后品质的影响[J]. 北方园艺,2010(9):187-191.
- [12] 姜晓燕,胡云峰,崔翰元. 酶法提取灵武长枣多糖及抗氧化作用的研究[J]. 食品工业,2009(6):31-33.
- [13] 陈雅萍. 灵武长枣果实糖代谢生理机制的研究[D]. 银川:宁夏大学,2014.
- [14] 宋锋惠,卓热木·塔西,史彦江,等. 阿克苏市 4 个枣品种物候特性的观测研究[J]. 新疆农业科学,2012,49(11):2014-2021.
- [15] 黄娟,李新建. 基于色差仪法的库尔勒香梨果实颜色分级标准[J]. 北方园艺,2018(17):38-44.
- [16] 樊保国,李月梅,李登科. 鲜食枣品质性状的综合评价[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):79-82.
- [17] 林蝉蝉,何舟阳,单文龙,等. 基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质[J]. 果树学报,2020,37(4):520-532.
- [18] 苏娟娟. 陕北鲜食枣果实品质性状研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [19] 李丹,纪晴,王连春,等. 3 个鲜食冬品种果实品质对比分析[J]. 西南林业大学学报,2017,37(3):80-84.
- [20] 关军锋. 果实品质生理[M]. 北京:华夏英才基金学术文库(科学出版社),2008.
- [21] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007:44-46.
- [22] 李根. ABA 与 NO 调控枸杞果实花青素类含量变化的拮抗性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020.
- [23] Peinado J, de Lema N L, Moreno J, et al. Antioxidant activity of different phenolics fractions isolated in must from Pedro Ximenez grapes at different stages of the off-vine drying process[J]. Food Chemistry,2009,114(3):1050-1055.
- [24] 王西成,吴伟民,赵密珍,等. 激素调控葡萄果实发育与成熟的生理与分子机制研究进展[J]. 江西农业大学学报,2015,37(4):604-611.
- [25] White P J. Recent advances in fruit development and ripening: an overview[J]. Journal of Experimental Botany,2002,377(53):1995-2000.
- [26] 赵晓晓. 桑椹果实内源激素变化及其与果实发育成熟关系的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [27] Borsani J, Budde C O, Porrini L, et al. Carbon metabolism of peach fruit after harvest: changes in enzymes involved in organic acid and sugar level modifications[J]. Journal of Experimental Botany,2009,60(6):1823-1837.
- [28] 章英才,陈亚萍,景红霞,等. ‘灵武长枣’果实糖积累与蔗糖代谢相关酶的关系[J]. 果树学报,2014,31(2):250-257.
- [29] 崔纪芳. 糖代谢酶活性与西瓜坐果及糖分积累关系的研究[D]. 保定:河北农业大学,2008.
- [30] 许传强,李天来,齐红岩. 嫁接对网纹甜瓜果实发育、糖含量及蔗糖代谢相关酶活性的影响[J]. 园艺学报,2006,33(4):773-778.