

张 驰,穆凯代斯罕·伊萨克,吴俊杰,等. 基于不同去袋期分析红皮梨花青苷合成酶及相关因子[J]. 江苏农业科学,2023,51(9):147-154.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.09.020

基于不同去袋期分析红皮梨花青苷合成酶及相关因子

张 驰^{1,2}, 穆凯代斯罕·伊萨克^{1,2}, 吴俊杰¹, 上 杰¹, 张 琦^{1,2,3}

(1. 塔里木大学园艺与林学院,新疆阿拉尔 843300; 2. 南疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室,新疆阿拉尔 843300;
3. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室,新疆阿拉尔 843300)

摘要:为探明不同去袋时期半红梨的果实品质表现及重要指标,明确参与调控半红梨着红色的关键酶,探讨果皮花青苷积累机制。以库尔勒香梨、新梨 7 号果实为试验材料,利用正交偏最小二乘判别分析、隶属函数法对果实品质进行综合评价并挖掘 2 个品种的重要指标;再利用动态网络热图明确调控半红梨着色的关键酶,并对花青苷积累的机制进行分析。结果表明,外在品质中去袋时间越晚 2 个品种果皮表面越光洁,效果越显著;而红度上新梨 7 号以不套袋最佳,香梨则以 30 d 去袋处理果实红度达到最高;2 个品种 b^* 则套袋处理的黄蓝指数均高于对照处理。套袋可减少果实质量,2 个品种分别于采前 25、20 d 去袋处理硬度最低,分别为 3.96、7.33 N;内在品质中维生素 C 含量 2 个品种均以采前 15 d 去袋处理含量最低,而其他各处理间均无显著性差异。新梨 7 号固酸比以采前 25 d 去袋最佳,而糖酸比则以对照组最高,为 46.85;而香梨固酸比及糖酸比均在采前 25 d 进行去袋可以使果实香梨糖度达到最高。新梨 7 号所有处理蛋白质含量无显著性差异,而香梨以对照组最高,为 0.127 8。套袋处理可降低新梨 7 号 UFGT、DFR 活性,CHS、CHI 活性在采前 30 d 去袋达到最高,PAL 活性在采前 25 d 去袋处理达到最高。香梨采前 25~30 d 去袋处理最好,在 25 d 之后会降低各酶的活性。新梨 7 号花青苷含量与 CHI 活性呈极显著正相关,香梨 CHI 活性和 PAL 活性呈显著正相关,2 个品种花青苷合成关键酶活性都与可溶性糖、可溶性固形物含量呈显著正相关。综合比较香梨不推荐套袋,新梨 7 号以采前 30 d 解袋最佳。新梨 7 号花青苷合成关键酶为 CHI,香梨花青苷合成关键酶是 CHI、PAL。研究结果可为新疆红皮梨的适地适栽及选择优良品种提供理论依据。

关键词: 香梨;新梨 7 号;去袋;综合品质;花青苷

中图分类号: S661.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)09-0147-07

果皮色泽是外观品质最直观的表现,但梨果实花青苷合成与积累规律较为复杂,不同种和品种果皮内花青苷浓度变化规律有所不同^[1],且同一品种在不同的生长环境条件下着色规律也不尽相同。加上栽培区域的光照、有效积温及温差,工人套袋技术以及去袋时间等,都可直接致使梨品质、着色效果等表现不一,都在不同程度上影响了市场竞争力。因此,探明不同相关合成酶促进红皮梨果实花青苷积累及了解红皮梨着色规律的机制,可为新疆红皮梨的适地适栽提供理论依据。我国学者通过对不同梨品种的着色生理研究,明确了部分梨品种的着色规律、相关代谢酶以及套袋等栽培措施促进

果皮着色的作用等。如肖长城等对梨红色果皮的花青苷成分进行了分析^[2];占丽英等指出光照时间越长,对花青苷的合成越有利^[3];蓝光和紫外光对花青苷的合成最有效,可以有效提高促进植物呈色的酶活性;张雪等对早白蜜、中熟 32 及云红梨 1 号 3 个红皮梨品种不同成熟期果实进行研究,发现花青苷生物合成酶在不同的红皮梨品种中作用不尽相同,可溶性糖的积累对于花青苷的生物合成有一定的促进作用^[4]。早白蜜花青苷合成的关键酶为查尔酮异构酶(CHI),而中熟 32 和云红梨 1 号苯丙氨酸解氨酶(PAL)与 CHI 只参与了花青苷的合成启动。冯守千等对 2 个砂梨品种进行套袋试验,表明套袋主要是调节了 CHI 的活性,进而影响了花青苷的合成。红色砂梨 PAL、CHI 活性变化趋势一致。但奥冠 PAL 活性低于满天红,CHI 活性高于满天红^[5]。Song 等分析发现第 4 亚群 R2R3 MYBs 在花青素生物合成调控中发挥重要作用,PbMYB120 被鉴定为花青素生物合成的潜在调控因子,在 5 个梨

收稿日期:2022-07-22

基金项目:新疆生产建设兵团财政科技计划(编号:MSSS201903)。

作者简介:张 驰(1998—),男,新疆阿勒泰人,硕士研究生,主要从事果树栽培生理研究。E-mail:1030713591@qq.com。

通信作者:张 琦,硕士,教授,主要从事果树栽培生理生态方面的研究。E-mail:1041805650@qq.com。

品种中表达量与花青素积累量呈正相关^[6]。刘冰雁分析了苹果梨不同着色时期花青苷合成差异表达基因,并挖掘出花青苷合成中上调关键转录因子^[7]。

然而我国现有研究对象大多为引进品种或极少数代表品种,对于我国特有梨资源品种研究匮乏,尤其是新疆红皮梨。因此,本研究以香梨与新梨 7 号等 2 个新疆特有红皮梨品种为试材。用化学计量学方法比较了 2 种梨品种中 14 项果实品质指标的定量变化,筛选出重要的指标物质。结合动态网络热图及花青苷合成途径,明确了红皮梨品种果皮着色的特点与差异、不同相关酶促进红皮梨果实花青苷积累的机制。以期为新疆红皮梨的适地适栽、生产推广及选择优良品种提供理论依据。

1 材料与方法

试验于 2021 年在新疆塔里木大学梨种质资源圃进行取样,在南疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室进行测定。

1.1 植物材料和冷处理

供试品种为新疆特有红皮梨新梨 7 号(Z)、香梨(C)。2 个品种选取长势中等、产量较一致的 6 株盛果期树,于盛花期 50 d 后开始套袋,采前 30、25、20、15 d 进行去袋处理,以不套袋为对照;新梨 7 号编号为 Z1、Z2、Z3、Z4、CK1,香梨编号为 C1、C2、C3、C4、CK2。各品种果实每次采样以五点采样法在树冠各方位均匀随机采样,每次各处理采 30 个果实,测得外在品质后,用手术刀剥取 1.5 mm 左右厚度果皮及果实萼部位置果肉,迅速液氮速冻后 -80 ℃ 保存以供进一步分析。

1.2 果实指标测定

实验仪器由新疆力德汇科国际贸易有限公司、桂林量具刀具有限责任公司提供。纸袋为邓州尚源果业梨专用袋(外黄内黑双层套袋)^[8]。

果实外在品质参照牛佳佳等的方法^[9]进行测定:电子天平称量单果质量;电子数显游标卡尺测量纵横径,果形指数用纵横径比值表示;果实硬度用果实硬度计测量;果皮色泽采用色差计测量,测量直径为 8 mm,照明为 13 mm,以黑色、白色为标准颜色校准^[9-10]。

果实内在品质:可溶性固形物含量(%)通过手持折光仪^[11]进行测定;蛋白质采用考马斯亮蓝(coomassie brilliant blue)法测定浓度。维生素 C 含

量采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[12]测定;可滴定酸含量参考牛佳佳等采用酚酞指示剂显色法^[9]进行测定。

色素测定:叶绿素、类胡萝卜素含量采用混合液浸提法,分光光度计测定^[13]。花青苷含量采用 10 mL 1% 盐酸甲醇溶液浸提法^[14]测定。

1.3 花青苷合成酶测定

苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮异构酶(CHI)、查尔酮合成酶(CHS)、二氢黄酮醇还原酶(DFR)、类黄酮 3-O-葡萄糖基转移酶(UFGT)活性测定均采用酶联免疫吸附剂(ELISA)法测定,试剂盒由上海酶联生物科技有限公司提供。

1.4 统计分析

采用 Origin 2021 对生理数据进行统计分析,数据标准化;进一步利用 SIMCA14.1 进行正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least-squares discrimination analysis,简称 OPLS-DA),并采用投影重要变量 VIP 值法挖掘重要指标;最后用隶属函数法[计算公式如下: $X(i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。式中 X_i 表示第 i 个指标值, X_{\max} 表示第 i 个指标的最大值, X_{\min} 表示第 i 个指标的最小值;然后将隶属函数值进行累加并求平均数]对各项指标进行综合评价。果皮着色特点与差异、花青苷积累的机制分析则采用在线软件(<https://www.omicshare.com/tools/Home/Soft/getsoft>)进行。

2 结果与分析

2.1 不同去袋时期果实品质分析

本研究对 2 个白梨品种进行了试验。在套袋后,2 个品种的生理指标有明显差异。由表 1 可知,在外在品质上,套袋处理可以减少 2 个品种单果质量,且去袋时间越晚,果实质量越低;但果形指数中,新梨 7 号以对照组最低,而香梨则除采前 15 d 去袋高于对照处理外均低于对照处理。果实硬度中新梨 7 号、香梨分别在采前 25、20 d 去袋最软,分别为 3.96、7.33 N,新梨 7 号采前 25 d 去袋处理显著低于其余处理;香梨采前 20 d 去袋处理显著低于采前 30 d 去袋处理。套袋可以提升果实的亮度指数 L^* ,且果实去袋时间越晚其果实亮度越高,效果越显著;红绿指数 a^* :新梨 7 号以不套袋处理最高,套袋处理可抑制果皮红度,去袋时间越晚红度越低,20、15 d 处理果皮均呈绿色;香梨在 30 d 去袋处

理果实红度达到最高,但与不套袋处理差异不显著。套袋也可以提升果实的黄蓝指数 b^* ,2个品种各套袋处理的黄蓝指数 b^* 均高于对照处理,且新梨7号与香梨均以采前25 d去袋最高,分别为41.68和56.66。

由表2可知,套袋对2个品种的维生素C含量影响效果不大,2个品种均以采前15 d去袋处理含量最低,而其他各处理间均无显著性差异。新梨7号固酸比以采前25 d去袋最佳,而糖酸比则以对照组最高,为46.85;而香梨固酸比及糖酸比均以采前

25 d去袋处理最高,在采前25 d进行去袋可以使果实香梨糖度达到最高。新梨7号所有处理蛋白质含量无显著性差异,而香梨以对照组最高,为0.127 8,但与采前30、20、15 d去袋处理之间无显著差异。新梨7号不套袋处理叶绿素a、类胡萝卜素、花青苷含量均显著高于套袋各处理;套袋会显著抑制新梨7号3种色素的表达。香梨叶绿素a、叶绿素b、花青苷含量不套袋处理显著高于套袋各处理,类胡萝卜素含量则与30 d去袋处理无显著差异;香梨套袋会对叶绿素和花青苷含量产生抑制作用。

表1 不同处理果实的外部品质

处理	单果质量(g)	果形指数	果实硬度(N)	L^*	a^*	b^*
CK1	225.53±21.53a	1.15±0.01c	4.53±0.11c	56.47±1.11c	12.84±1.45a	31.59±0.89c
Z1	210.42±19.59ab	1.24±0.01b	4.68±0.09bc	61.63±1.51bc	7.06±1.19b	34.23±1.23bc
Z2	198.47±13.51abc	1.16±0.01c	3.96±0.04d	62.65±1.89bc	1.61±0.71c	41.68±2.41a
Z3	176.65±10.20c	1.20±0.01b	4.77±0.06b	67.65±2.73ab	-2.56±0.55d	40.69±1.60a
Z4	181.99±12.62bc	1.27±0.01a	5.36±0.03a	72.65±2.59a	-3.98±0.73d	37.26±1.44ab
CK2	96.04±5.64a	1.18±0.01ab	7.69±0.42b	84.36±1.17c	3.07±1.10a	52.26±1.31b
C1	83.02±3.27bc	1.17±0.03b	8.71±0.30a	94.04±1.59b	3.60±1.31a	55.65±1.15ab
C2	88.45±4.58ab	1.18±0.04ab	7.96±0.30ab	98.31±1.20ab	1.40±1.22ab	56.66±0.55a
C3	80.97±9.50c	1.15±0.01c	7.33±0.53b	101.67±7.91a	-3.40±0.17b	56.38±4.18a
C4	85.97±5.76b	1.20±0.03a	8.39±0.26ab	102.50±2.42a	-2.41±0.73b	55.42±1.18ab

注:同列数据后不同小写字母表示处理在0.05水平上差异显著,下表同。

表2 不同处理果实的内部品质

处理	维生素C含量 (mg/100 g)	固酸比	糖酸比	蛋白质含量 (mg/g)	叶绿素a含量 (mg/L)	叶绿素b含量 (mg/L)	类胡萝卜素含量 (mg/L)	花青苷含量 (U)
CK1	3.20±0.19ab	33.66±1.30a	46.85±3.98a	0.102 3±0.005 5a	2.74±0.02a	0.88±0.01ab	1.23±0.02a	0.049 7±0.010a
Z1	3.24±0.30ab	33.06±2.69ab	45.27±1.87a	0.087 0±0.014 7a	2.35±0.06b	0.91±0.01a	0.92±0.02b	0.032 0±0.009b
Z2	3.41±0.15a	34.27±2.68a	40.56±2.31ab	0.096 2±0.002 6a	1.12±0.01c	0.71±0.01c	0.56±0.01c	0.025 7±0.006c
Z3	3.26±0.27ab	31.33±2.85b	30.10±0.81b	0.098 5±0.000 6a	1.02±0.02d	0.66±0.01d	0.59±0.01c	0.016 6±0.002d
Z4	2.78±0.06b	25.39±1.44c	25.35±2.35c	0.095 4±0.001 7a	1.10±0.02cd	0.85±0.01b	0.45±0.01d	0.013 7±0.004e
CK2	5.33±0.07ab	37.85±2.94b	45.60±6.36b	0.127 8±0.006 5a	2.24±0.05a	1.61±0.03a	0.63±0.01a	0.051 3±0.008a
C1	5.21±0.50ab	31.65±1.30c	43.81±2.39c	0.126 6±0.005 5ab	1.54±0.01b	0.82±0.02b	0.62±0.01a	0.034 0±0.003b
C2	6.05±0.42a	41.38±1.37a	50.12±1.33a	0.109 8±0.006 3b	1.08±0.01c	0.76±0.02c	0.41±0.01b	0.029 7±0.006c
C3	5.59±0.32ab	32.27±2.60c	45.77±4.91b	0.118 0±0.002 9ab	1.55±0.03b	0.84±0.01b	0.34±0.02c	0.029 7±0.001c
C4	4.58±0.63b	20.66±0.12d	30.29±1.35d	0.127 0±0.004 6a	0.63±0.03d	0.47±0.01d	0.36±0.01c	0.021 7±0.006d

2.2 果实生理指标综合分析

利用OPLS-DA绘制模型得分图对2个梨品种的重要生理指标进行评价(图1-A)。以模型重要变量投影(VIP)值作为生理指标对引起组间差异的影响强度进行测量,筛选贡献较大的变量(以VIP值>1为标准):单果质量、 a^* 、固酸比、糖酸比是2个红皮梨品种的重要生理指标。套袋处理下2个品

种的指标有明显的变化,香梨与新梨7号的重要生理指标存在差异(图1-B、图1-C),套袋下香梨的重要生理指标为:单果质量、 a^* 、 L^* 和糖酸比;新梨7号的重要生理指标 L^* 、固酸比、单果质量、糖酸比和 a^* 。

2.3 果实品质综合评价

为比较全面地了解2个品种不同处理的果实品

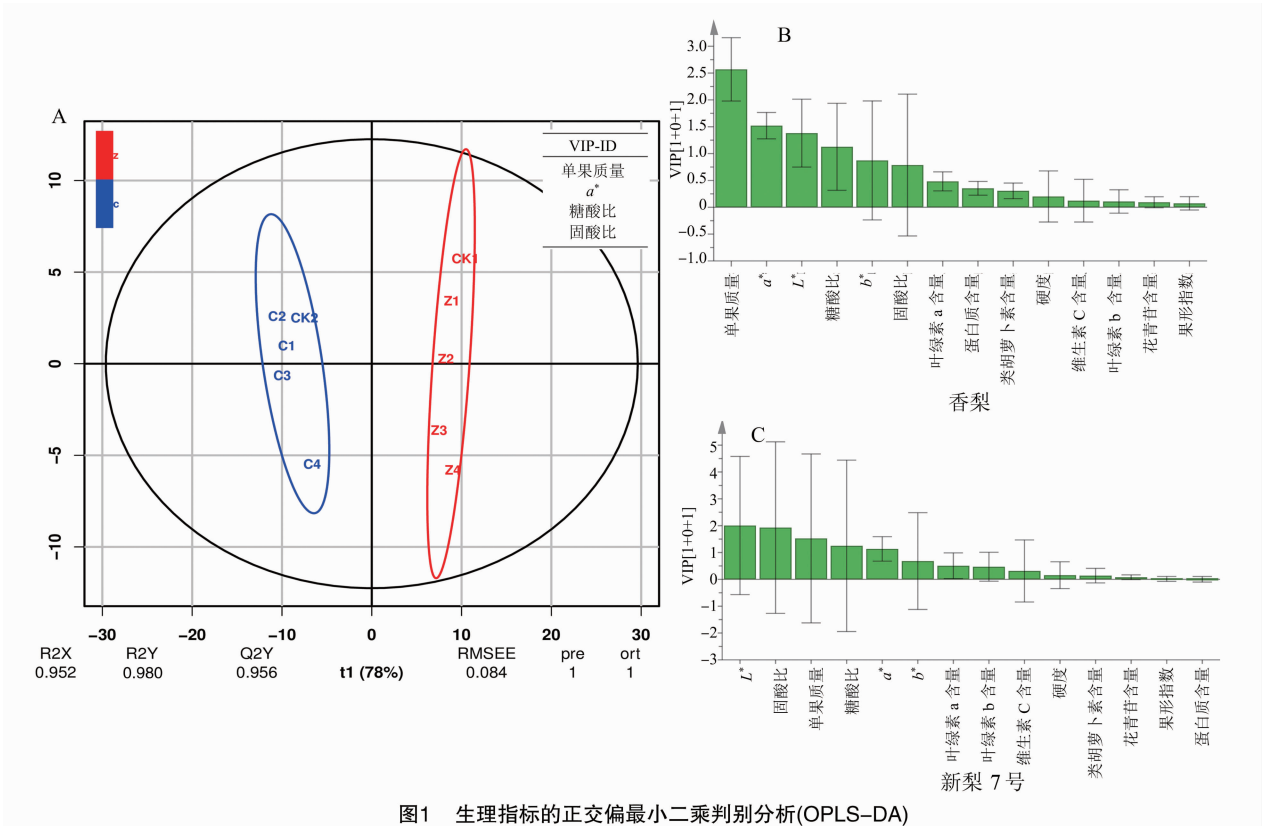


图1 生理指标的正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)

质,本研究采用模糊数学中隶属函数法对 10 个处理进行综合评价,隶属函数平均值越大品质越高,反之越差(表 3)。新梨 7 号综合评价排序为 Z1 >

CK1 > Z2 > Z3 > Z4,采前 30 d 去袋果实综合品质最好;香梨综合评价排序为 CK2 > C1 > C2 > C3 > C4,不套袋处理最佳。

表 3 不同处理果实品质综合评价

处理	隶属函数值														隶属函数值均值	等级
	单果质量	果形指数	果实硬度	L*	a*	b*	维生素 C 含量	固酸比	糖酸比	蛋白质含量	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	类胡萝卜素含量	花青苷含量		
CK1	1.000	0.000	0.402	0.000	1.000	0.000	0.670	0.931	1.000	0.017	1.000	0.874	1.000	1.000	0.045	2
Z1	0.933	0.978	0.873	0.848	0.550	0.821	0.952	0.965	0.966	0.088	0.860	1.000	0.752	0.643	0.057	1
Z2	0.446	0.089	0.000	0.382	0.332	1.000	1.000	1.000	0.707	0.974	0.057	0.195	0.143	0.333	0.034	3
Z3	0.000	0.434	0.573	0.691	0.085	0.901	0.759	0.669	0.221	1.000	0.000	0.000	0.173	0.082	0.029	4
Z4	0.109	1.000	1.000	1.000	0.000	0.562	0.000	0.000	0.000	0.966	0.046	0.746	0.000	0.000	0.028	5
CK2	1.000	0.537	0.256	0.000	0.925	0.000	0.514	0.830	0.772	1.000	1.000	1.000	0.992	1.000	0.050	1
C1	0.136	0.425	1.000	0.533	1.000	0.772	0.429	0.530	0.682	0.930	0.564	0.306	0.935	0.417	0.044	2
C2	0.496	0.626	0.451	0.769	0.686	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.282	0.248	0.198	0.269	0.041	3
C3	0.000	0.000	0.000	0.954	0.000	0.937	0.686	0.560	0.781	0.452	0.572	0.324	1.000	0.270	0.033	4
C4	0.332	1.000	0.766	1.000	0.142	0.719	0.000	0.000	0.000	0.953	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	5

2.4 不同时期去袋对花青苷合成酶活性的影响

新梨 7 号不同时期去袋对花青苷各合成酶活性的影响存在明显差异。套袋处理对 UFGT、DFR 活性的抑制最为显著,去袋时间越晚其含量整体越

低;说明光对 UFGT、DFR 活性的影响较大,光照时间越长其活性越高。而 PAL 活性在 25 d 去袋处理中达到最高,且 30 d 去袋处理、10 d 去袋处理和不套袋处理差异不显著。CHS、CHI 活性在 30 d 去袋

处理中达到最高;CHS 活性不套袋处理和其他处理没有显著差异,而 CHI 活性中除 30 d 去袋处理外,显著高于其他处理,CHS 活性与 CHI 活性在采前 30 d 去袋可达到最佳值(表 4)。香梨中,CHI 及 UFGT 活性在 30 d 去袋处理中达到最高值,但与不套袋处理无显著差异;PAL 与 DFR 活性在 25 d 去

袋处理中达到最高值;CHS 活性则以不套袋处理最高,但与 30 d 去袋处理差异不显著。香梨花青苷各合成酶以采前 30 d 去袋处理和不去袋处理活性较高,香梨套袋后在采前 15~25 d 去袋处理对花青苷各合成酶活性影响较大(表 4)。

表 4 不同处理对花青苷合成酶的影响

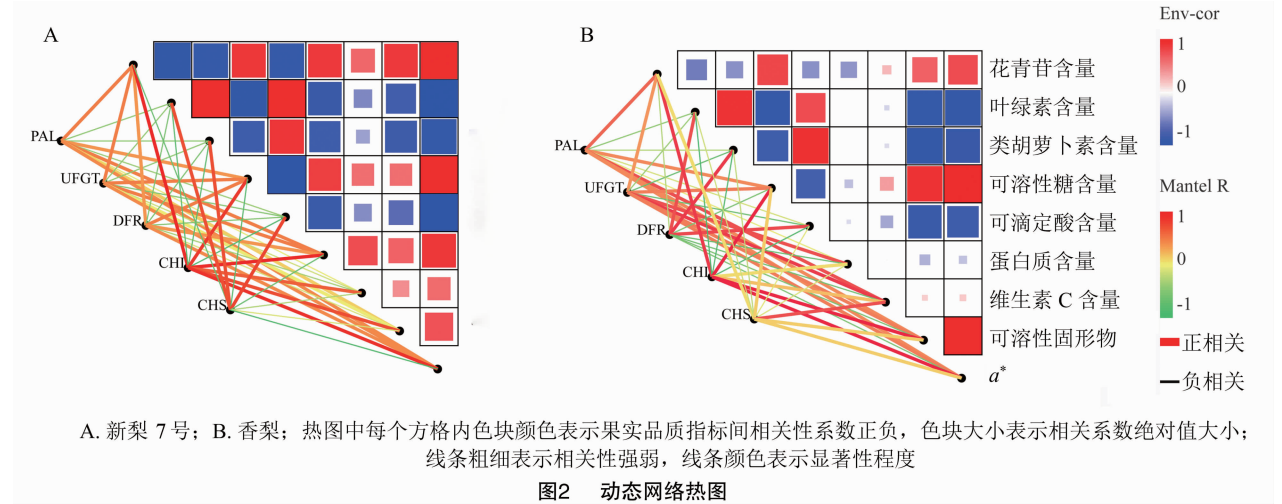
处理	PAL 活性(U/g)	CHS 活性(U/g)	CHI 活性(U/g)	DFR 活性(U/g)	UFGT 活性(U/g)
CK1	10.36 ± 1.26a	63.57 ± 6.65ab	68.23 ± 4.65a	36.79 ± 2.68a	103.35 ± 12.65a
Z1	10.13 ± 1.03a	75.64 ± 5.69a	69.14 ± 6.25a	34.88 ± 3.65a	87.28 ± 8.65b
Z2	10.85 ± 0.99a	53.06 ± 2.36b	55.96 ± 5.64b	30.93 ± 4.25a	85.17 ± 7.65b
Z3	7.61 ± 0.66b	54.56 ± 5.24b	57.33 ± 3.25b	24.65 ± 1.32b	80.62 ± 8.45b
Z4	9.11 ± 0.26a	65.02 ± 6.25ab	59.35 ± 5.69ab	31.38 ± 0.91a	80.63 ± 6.35b
CK2	6.00 ± 1.10a	78.20 ± 6.98a	76.55 ± 4.68b	15.46 ± 2.68b	97.52 ± 4.25a
C1	5.92 ± 0.36a	77.83 ± 7.54a	77.43 ± 8.24b	20.21 ± 0.64a	112.22 ± 8.54a
C2	6.99 ± 0.54a	66.68 ± 5.23b	74.88 ± 2.99b	22.66 ± 1.98a	93.32 ± 10.35ab
C3	6.29 ± 0.65a	67.17 ± 1.29b	87.20 ± 10.60a	19.32 ± 1.68a	85.32 ± 4.52b
C4	4.48 ± 0.25b	70.37 ± 10.56a	76.70 ± 5.25b	14.38 ± 3.25b	94.32 ± 4.65ab

2.5 果实内在品质对花青苷及其合成酶的影响

由图 2-A、图 2-B 可知,在果实着色中 a^* 与花青苷含量极显著正相关,果皮中花青苷含量越高,其红色程度越深。内在品质中,可溶性糖与可溶性固形物含量与花青苷含量呈显著正相关,可溶性糖与可溶性固形物含量越多,花青苷的表达就越高。反之花青苷含量与叶绿素、类胡萝卜素、可滴定酸含量呈极显著负相关,其含量过高则会抑制花青苷的合成。

花青苷合成的 5 个相关酶中,CHI、PAL 与香梨果皮花青苷含量呈极显著正相关,其次为 UFGT、

CHS,表明香梨花青苷合成关键酶为 CHI 与 PAL。可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C 含量与 CHI 活性呈极显著正相关,PAL 活性则与可溶性固形物、维生素 C 含量呈极显著正相关;增加可溶性糖及维生素 C 的含量可以提高 CHI 的表达,进而有效增加果实红色程度。新梨 7 号花青苷合成关键酶为 CHI,与花青苷含量呈极显著正相关;CHI 活性与可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C 含量呈极显著正相关,在果实着色期间可以适当喷施三者的外源物来增加 CHI 的表达进而促进果实着色。



3 结论与讨论

在新疆梨业生产上,套袋不仅可以有效调控果皮色泽,亦能改善梨果实的口感品质与营养品质^[15]。史梦琪等对梨果套袋处理后,发现果面亮度和饱和度均有不同程度增加^[16]。区善汉等研究表明,套袋可解决果皮着色差的问题并可以有效提高果面亮度、增加果面红绿色度和色泽饱和度^[17]。本试验结果支持了套袋可改善果皮色差 L 、 b^* 值增加着色效果的观点。而新梨 7 号套袋处理后 a^* 仍以不套袋最佳,香梨采前 30 d 去袋处理与不套袋无明显差异。其原因可能与地区、温度、光照时间及强度或品种属性不同有关,而这一结果与王龙等研究结果一致,单独利用套袋技术不能显著改善果皮着红色^[18]。

套袋能减少病虫害及果面的机械损伤等,提升果实内在品质^[19]。姜晓艳等表明套袋对外观品质提高明显,可溶性固形物与可溶性糖含量变化较小,而可滴定酸含量显著降低^[20]。于强等发现西洋梨品种套袋后外观品质、内在品质均有显著改善^[21],但 Zeng 等研究则发现,套袋果实中可溶性固形物、可溶性总糖含量和果肉硬度大多下降,而且固酸比增大^[22]。本研究发现,套袋处理可以减少 2 个品种单果质量,果实硬度分别以采前 25、20 d 去袋处理最低;新梨 7 号果形指数以对照组最低,而香梨果形指数除采前 15 d 显著低于对照处理外,其余处理都与对照组无显著差异。套袋对维生素 C 含量影响不大;新梨 7 号固酸比以采前 25 d 去袋最佳,香梨也是;新梨 7 号糖酸比则以对照组最高,香梨在采前 25 d 进行去袋可以使果实糖度达到最高。与前人研究套袋可以提升可溶性糖、可滴定酸、可溶性固形物含量相似,Luo 等研究发现套袋果实外观品质优于不套袋果实^[23-24]。

套袋对花青苷合成的影响可分为 2 个阶段,套袋期显著抑制花青苷的合成,去袋后花青苷迅速合成。有研究明确表明,富丽和富吉 2 种苹果阳侧果皮中花青素含量分别是相应阴侧果皮的 1.58 倍和 1.16 倍^[25]。夏静等研究发现,苹果在去袋后花青苷含量迅速上升,4 d 后果皮花青苷含量开始超过对照水平,8 d 超过对照处理 1 倍左右^[26]。本试验发现,花青苷含量在去袋后虽然会有短期内的提升,但会逐渐趋于平稳,最终花青苷含量仍以不套袋最高;这与黄春辉等发现云红梨 1 号和美人酥去

袋后花青苷含量急速上升,10 d 后趋势变缓^[27],以及赵亚蒙等 2 年试验中,与对照相比套袋处理使单体花青苷含量降低了 30.47% (2014 年) 和 4.28% (2015 年) 的结果^[28] 一致。其原因可能是套袋是通过影响其他物质含量来间接影响花青苷含量,并不能直接作用于花青苷。如陈霞等研究发现,套袋果实去袋后是通过降低其中叶绿素含量,从而提高果皮色泽和着色面积^[29];李秀菊等研究了富士苹果套袋后果皮花青苷合成与内源激素含量变化的关系,表明套袋是从内源激素方面影响了花青苷的合成^[13]。

花青苷合成途径中相关酶有苯丙氨酸解氨酶、查尔酮合成酶、查尔酮异构酶、二氢黄酮醇还原酶、类黄酮—糖基转移酶等^[30]。这些酶相互协作,最终完成从花青苷合成前体苯丙氨酸到各种主要色素的合成和转化过程。有学者认为套袋处理抑制了紫草酚和花青素的生物合成,但促进了原花青素的积累^[31]。Zhou 等对 Kyoho (*V. labruscana*) 采用 5 种不同颜色袋子为对比,发现白色、绿色和黄色袋子可以显著增加香豆酰化和甲基化在花青苷中的比例^[32]。Zhang 等在试验中观察到采前覆膜和去袋 2 种处理在试验开始时均上调了 *UFGT*、*CHS* 基因的转录水平,而后 *DFR*、*LDOX* 和 *F3H* 的表达亦均有所增强;不套袋的果皮 PAL 活性呈下降趋势,而其他 2 个处理的果皮 PAL 活性先升高后降低^[33]。本研究综合比较发现,套袋可抑制新梨 7 号 *UFGT*、*DFR* 活性;PAL 活性对照处理除与 20 d 去袋处理有显著差异外,与其他处理无显著差异,CHS 活性对照处理与各套袋处理无显著差异,CHI 活性在 30 d 去袋处理有所增加,其余时间去袋处理均低于对照。在香梨中,套袋对 PAL、CHI、*UFGT* 活性影响不大,而 CHS 活性在 20~25 d 去袋活性会显著降低,而 *DFR* 活性在 20~30 d 内去袋均可以显著增加。

梨果实花青苷的合成途径是一个复杂的、多因素协同作用的过程,同品种甚至是同一品种的不同发育阶段、不同组织结构,这些酶的功能也可能会各不相同。张梦燕等研究发现,果皮中的花青苷积累量与其合成相关的 PAL 活性达显著水平^[34]。杨俊枫等则认为 PAL、*UFGT* 是花青苷合成的关键酶^[35]。而华星研究发现,花青苷含量与合成相关酶 CHS、CHI、*DFR*、ANS 的表达量呈极显著正相关^[36]。本试验研究发现,新梨 7 号的花青苷含量与 CHI 表达量呈显著正相关,香梨花青苷含量则与 CHI、PAL

活性呈显著正相关,认为 CHI 是 2 个品种的共有关键酶,而香梨中 PAL 也是影响花青苷合成的关键酶。且 2 个红皮梨品种关键酶皆与可溶性糖、可溶性固形物含量呈显著正相关,与可滴定酸含量呈显著负相关。若对红皮梨品种增色则可以适当增加外源物或酸抑制剂来达到增加花青苷含量、增大果皮着红色面积的目的。

综合评价,新梨 7 号在采前 30 d 去袋可以使果实总品质达到最佳,香梨以对照处理表现最佳,不建议进行套袋处理。新梨 7 号是香梨的优质杂交后代,两者花青苷合成关键酶存在相似性与差异性,梨果皮花青苷合成关键酶为 CHI、PAL,新梨 7 号为 CHI;且两者均可以从提升果实可溶性糖和可溶性固形物含量,以及抑制类胡萝卜素、叶绿素、酸的表达这 2 个方面来促使果实颜色更加鲜艳。

参考文献:

- [1] Liu H M, Liu Z J, Wu Y, et al. Regulatory mechanisms of anthocyanin biosynthesis in apple and pear[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(16): 8441.
- [2] 肖长城, 李甲明, 姚改芳, 等. 不同红梨品种果皮中花色素苷组分及含量特征分析[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(4): 60 – 66.
- [3] 占丽英, 王 晶, 林义章. 光影响植物花青苷合成研究[J]. 北方园艺, 2016(12): 197 – 201.
- [4] 张 雪, 王 荔, 瞿 飞, 等. 引种红梨花青苷合成及相关因子变化[J]. 西南农业学报, 2017, 30(5): 1162 – 1167.
- [5] 冯守千, 陈学森, 张春雨, 等. 砂梨品种‘满天红’及其芽变品系‘奥冠’花青苷合成与相关酶活性研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3184 – 3190.
- [6] Song L Y, Wang X L, Han W, et al. PbMYB120 negatively regulates anthocyanin accumulation in pear [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(4): 1528.
- [7] 刘冰雁. 苹果梨果实解袋后花青苷生物合成相关基因的挖掘与分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- [8] 宋长新. 圆黄梨品种特性及套袋技术[J]. 河南农业, 2018(19): 16 – 17.
- [9] 牛佳佳, 张四普, 张 柯, 等. 9 个梨品种综合品质评价分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 149 – 156.
- [10] 张四普, 牛佳佳, 郭超峰, 等. 1 – MCP 结合不同保鲜袋对半地下通风库贮藏酥梨品质的影响[J]. 果树学报, 2017, 34(5): 611 – 619.
- [11] Cao Y F, Liu F Z, Hu H J, et al. Descriptors and data standard for pear (*Pyrus* spp.) [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2006.
- [12] 李姝晋, 易 芳. 水果蔬菜中维生素 C 含量测定及其稳定性研究[J]. 科教导刊(中旬刊), 2017(35): 60 – 61.
- [13] 李秀菊, 刘用生, 束怀瑞. 红富士苹果套袋果实色泽与激素含量的变化[J]. 园艺学报, 1998, 25(3): 209 – 213.
- [14] 孙莎莎, 王 楠, 冀晓昊, 等. 红皮梨花青苷调控基因 *PyMYBa* 的克隆与表达分析[J]. 园艺学报, 2014, 41(6): 1183 – 1190.
- [15] 何婉琳, 施 露, 李亚辉, 等. 梨果实品质及其影响因素研究进展[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(2): 330 – 333.
- [16] 史梦琪, 李 慧, 徐 凯, 等. 套袋对“黄花”梨果实外观品质的影响[J]. 中国南方果树, 2019, 48(1): 100 – 106.
- [17] 区善汉, 刘冰浩, 蔡 军, 等. 套袋措施对广西容县三红蜜柚果皮着色及品质的影响[J]. 中国南方果树, 2022, 51(1): 23 – 27.
- [18] 王 龙, 李鸿雁, 杨 健, 等. ‘红香酥’梨果皮色素变化规律及套袋对其形成的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(3): 333 – 337, 523.
- [19] Yang J, Gan H Y, Wang B, et al. Effects of bag type on fruit quality of red massh grapefruit [J]. Agricultural Biotechnology, 2021, 10(3): 4.
- [20] 姜晓艳, 李俊才, 王家珍, 等. 套袋对‘早金酥’梨果实品质的影响[J]. 中国果树, 2021(5): 44 – 47.
- [21] 于 强, 李玉春, 李庆余, 等. 套袋对不同梨品种果实性状的影响[J]. 烟台果树, 2020(3): 13 – 16.
- [22] Zeng W G. Effect of bagging with different fruit bags on fruit quality of fengshui pear[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(14): 5872 – 5875.
- [23] Luo G L, Wang D P. Effects of bagging and harvest timing on green spot disease occurrence and fruit quality of licheng orange [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(7): 85 – 86, 88.
- [24] 李艳婷, 徐 雷, 周 铮, 等. 梨果套袋技术现状及展望[J]. 现代园艺, 2021(9): 62 – 65.
- [25] Meng X U, Liu L, Guo S, et al. Study on anthocyanin content and analysis of expression of relative genes in ‘Fuli’ apple [J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2020, 37(1): 1 – 6.
- [26] 夏 静, 章 镇, 吕 东, 等. 套袋对苹果发育过程中果皮色素及果肉糖含量的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(8): 1675 – 1680.
- [27] 黄春辉, 俞 波, 苏 俊, 等. 红色砂梨 2 个品种着色过程中的外观变化及其解剖学结构观察[J]. 果树学报, 2009, 26(1): 19 – 24, 127.
- [28] 赵亚蒙, 尹春晓, 乐小凤, 等. 套袋对刺葡萄果实品质及酚类物质的影响[J]. 北方园艺, 2019(11): 49 – 54.
- [29] 陈 霞, 周 娜. 荔枝果实发育过程中果皮色素变化对着色效果的影响[C]//重庆市果树研究所. 重庆市园艺学会会员代表大会论文集. 2005: 56 – 58.
- [30] Wang H Q, Arakawa O, Motomura Y. Influence of maturity and bagging on the relationship between anthocyanin accumulation and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity in ‘Jonathan’ apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 19(2): 123 – 128.
- [31] Shi B, Wu H X, Zheng B, et al. Analysis of light-independent anthocyanin accumulation in mango (*Mangifera indica* L.) [J]. Horticulturae, 2021, 7(11): 423.

郝 鹏,王 紫,王玉刚,等. 碱地番茄果实相关性状变化及差异表达基因分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(9):154-161.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.09.021

碱地番茄果实相关性状变化及差异表达基因分析

郝 鹏¹,王 紫¹,王玉刚²,江宏伟¹,李 海¹,安 利¹,于小彭¹,李蔚然¹

(1. 辽宁省盐碱地利用研究所,辽宁盘锦 124010; 2. 沈阳农业大学,辽宁沈阳 110866)

摘要:在正常土壤和碱性土壤栽培条件下,对鑫圣、辽粉 185、鲜阳、草莓 2 号、精彩 6 号等 5 个番茄品种的生长指标、果实品质和果实产量进行比较,以期筛选出最优质的番茄品种。同时利用转录组测序技术对响应不同土壤栽培条件的果实品质相关差异基因进行分析,以期在碱性土壤下种植高品质番茄提供理论依据。研究结果如下:碱性土壤对番茄的株高、茎粗和果实产量均有明显的抑制作用;碱性土壤条件下,番茄果实的可溶性固形物、可溶性糖、有机酸、维生素 C 等含量均明显提高,其中维生素 C 含量较正常土壤高出 31.98%~99.58%。番茄各品种中草莓 2 号的产量和果实品质较好。取优质的番茄品种草莓 2 号,在正常土壤和碱性土壤栽培条件下的果肉和果胶,进行转录组检测,共鉴定出 559 个差异表达基因(DEGs),其中 332 个表达上调,227 个表达下调。通过 GO 功能富集分析和 KEGG Pathway 的功能富集分析,发现番茄的类胡萝卜素生物合成中番茄红素环化酶(*sls00906*)基因和半乳糖代谢中的糖代谢(*sls00052*)基因较为活跃,在番茄植株的生长激素方面,苯丙素生物合成(*sls00940*)、植物激素信号的转导(*sls04075*)和脱落酸 8'-羟化酶 CYP707A1(*sls04626*)基因都与植物的抗盐碱性有关。推测在碱性土壤下种植的番茄类果实品质以及植物的抗逆性与正常土壤下种植的番茄有明显的变化,会对植物生长过程产生更大的影响。

关键词:番茄;品种比较;碱性土壤;转录组

中图分类号:S641.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)09-0154-08

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)别称西红柿、洋柿子等,为茄科番茄属植物,原产于南美洲^[1],是我国设施栽培的主要蔬菜品种之一^[2]。近 20 年来,随着我国设施蔬菜产业的迅猛发展,设施番茄越来越普遍^[3],2010 年我国番茄种植面积为 1 032.5 万 hm²,占当年总种植面积的 7%,产量达 3 608.5 万 t,约占蔬菜总产量的 9%^[4]。截至 2014 年,我国设施蔬菜面积为 386.5 万 hm²,其中,番茄是最主要的栽培作物^[5]。截至 2017 年,我国设施园艺面积为 370 万 hm²,位居世界榜首^[6]。

番茄的果实品质由外观品质、风味品质、营养

品质和加工贮藏品质构成^[7],在果实品质方面含有可溶性糖、有机酸、维生素 C 等营养元素,以及番茄红素等抗氧化元素,能够增强体质、预防疾病,在鲜食或医药领域都具有广泛的用途,同时番茄是世界上消费量最大的蔬菜,也是我国种植最为广泛的一类大宗蔬菜^[8]。

碱地番茄是在辽宁省盘锦市独特的高盐碱土壤和灌溉水的自然环境条件下,集成优良品种与特定的栽培方式生产出的独特风味品质、高营养价值的番茄果实,但常规栽培方式下碱地番茄商品率低,肥水不易控制^[9]。在盐碱胁迫中,对番茄的生长发育以及代谢造成影响,减少果实产量,但是特殊的土壤条件也会提高番茄果实的品质和风味^[10]。在盐碱土壤种植下,果实中的水分减少能够有效提

收稿日期:2022-06-21

作者简介:郝 鹏(1992—),男,辽宁营口人,硕士,助理研究员,从事碱地番茄栽培研究。E-mail:469383608@qq.com。

[32] Zhou S H, Guo R R, Wei R F, et al. Effects of bagging or the combination of umbrella and bag treatments on anthocyanin accumulation in the berry skin of 'Kyoho' (*Vitis labruscana*) Grape[J]. Food Science and Technology, 2020, 40(2): 394-400.

[33] Zhang B B, Ma R J, Zhang C H, et al. Effect of bag removing with reflective film mulching before harvest on fruit coloration and expression of anthocyanin related genes in peach[J]. Horticultural

Plant Journal, 2015, 1(3): 139-146.

[34] 张梦燕,孙军利,赵宝龙,等. 外源 ALA 对葡萄果实品质及 PAL 活性的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2017(3): 16-19.

[35] 杨俊枫,史文君,杨 乐,等. 紫外光对'北陆'越橘转色果花青苷积累、关键酶活性及其基因表达的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(4): 663-673.

[36] 华 星. 蓝莓果实关键品质形成规律及花青苷合成相关酶的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2012.