

套袋对‘秋雪’桃果实品质及花青素合成相关基因表达的影响

何平, 李林光*, 王海波, 常源升

山东省果树研究所, 山东泰安271000

摘要: 为了探讨套袋对桃(*Prunus persica*)果实品质及花青素合成相关基因表达的影响, 以‘秋雪’桃为试材, 研究了套袋处理与未套袋组间果实生长发育过程中果皮花青苷含量、果实大小、果肉糖含量及花青素合成相关基因表达变化规律, 同时比较了采收前两类果实的香气物质差异。结果表明: 套袋果皮的花青苷含量取袋前显著低于未套袋组, 取袋后迅速上升, 采收时与未套袋组相当; 套袋不同程度地降低了果实可溶性总糖和还原糖含量, 取袋后有所上升, 但始终低于未套袋组; 对花青苷代谢途径中的关键基因表达分析发现, 套袋处理的果实中各基因的表达与未套袋组相比均表现下调趋势, 而套袋果在取袋后各基因的表达迅速上升, 其中*F3H*、*LDOX*、*DFR*、*ANR*和*CHI*基因采收前与未套袋组表达水平相当, 而*UFGT*基因的表达水平超出未套袋组3倍以上; 供试桃共检测到71种香气物质, 套袋处理的香气物质成分总含量低于未套袋组, 套袋提高了果实中醛类和醇类物质含量, 增加了酸类物质含量, 但降低了酯类物质含量。研究表明, 套袋可以提高果实外观品质, 但同时果实风味有一定负面影响。

关键词: 桃; 套袋; 果实品质; 基因表达

桃(*Prunus persica*)是我国为数不多的具有明显国际竞争力的果品之一, 目前我国桃的栽培面积与产量均居世界第一位, 且近年来呈逐年增加的趋势。桃果实色泽是其外观品质的重要因素之一, 着色情况会直接影响其商品价值。果实套袋在一定程度上可以改善果实的外观和内在品质, 明显降低农药残留量, 提高果品食用安全性和商品性(王建武等2003; 高文胜2009)。郭宝林等(2000)和陈海江等(2003)对‘燕红’、‘早露蟠桃’、‘北京早艳’等桃品种进行套袋试验, 结果表明, 套袋处理使果实单果重明显减轻。陈建军(2004)对9个桃品种套袋, 套袋果的可溶性固形物含量均低于对照, 而且套袋处理后油桃的固形物含量比普通桃降低幅度更大。桃果实套袋可改变果实生长发育的微环境, 使果面洁净, 有效防止病虫害对果实的侵害, 改善外观品质和内在品质, 提高商品价值(马瑞娟等2012; Lima等2013)。套袋在改善果实外观的同时, 对果实内在品质产生一定影响(周君和王红清2009; 黄成思等2011), 套袋减少了果实着色, 降低了果实可溶性固形物含量, 使其风味变淡(杜纪红2007)。本研究以易着色的晚熟桃品种‘秋雪’为材料, 研究套袋与无袋栽培对桃果实品质及相关基因表达的影响, 以期探讨套袋影响桃果实着色和品质的机制, 为深入研究桃果实着色的基因调控机制提供理论依据, 进一步为优质桃果品的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料及套袋处理

试验于2014~2015年在山东省果树研究所天平湖实验基地进行。以山东省果树研究所选育的五年生桃[*Prunus persica* (L.) Batsch]新品种‘秋雪’为材料, 果园土质为沙壤土, 管理水平较好, 株行距为2 m×4 m, 主干形整枝。选择生长、结果、干周、冠径及树势等基本一致的健壮树进行。

供试果袋为双层外黄内红纸袋, 规格为14 cm×18 cm, 外层为全木浆纸, 内层为石蜡纸, 选自青岛小林制袋有限公司。

试验设不套袋(对照)和盛花后50 d套袋(2014年5月10日)处理, 8月15日取袋, 单株小区, 随机排列, 尽量保持套袋果在树体生长部分的一致性, 共10株, 分别于6月20日(S1)、7月18日(S2)、8月15日(S3)和9月4日(S4)沿树冠外围距地面1.5~2 m处随机采收20个果实, 3次重复, 用液氮迅速冷冻, -80℃保存备用。

1.2 测定指标及方法

单果质量检测: 每次采果后随机选取30个果,

收稿 2017-06-26 修定 2017-11-13

资助 山东省农业重大应用技术创新课题(2014-38)和山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2016A03)。

* 通讯作者(lig6536@163.com)。

用游标卡尺测量果实的纵、横、侧径,用天平称重,计算平均单果重。

果皮花青苷含量参照李合生(2000)的比色法进行测定。

果肉可溶性总糖含量用蒽酮比色法于波长620 nm下测定,根据蔗糖的标准曲线计算总糖含量;用3,5-二硝基水杨酸法测定波长540 nm下的光密度值,根据葡萄糖的标准曲线计算还原糖含量。

果实挥发性成分测定:随机选取30个9月4日采收的成熟果实,切薄片后混匀,准确称取6 g样品放入已加10 μ L内标物3-壬酮(0.4 mg·mL⁻¹)的样品瓶中,聚四氟乙烯丁基合成橡胶隔片密封。参照王海波等(2013)方法,采用静态顶空气质谱色谱联用技术,分别利用PerkinElmer TurboMatrix 40 Trap顶空进样器和Shimadzu GCMS-QP2010气相色谱-质谱联用仪提取和测定果实的挥发性物质。

1.3 样品RNA提取、cDNA合成及荧光定量PCR分析

采用天根TRIzol Universal总RNA提取试剂(DP424)提取桃果实表皮的RNA,步骤参考其说明书。采用TransScript II All-in-One First-Strand cDNA Synthesis SuperMix for qPCR (北京全式金)试剂盒对提取的RNA进行反转录;用SYBR Green染料进行荧光定量PCR (qPCR)分析,以2^{- $\Delta\Delta$ C_t}法计算基因的差异倍数。每个样品3次重复。选用*PpNI* (登记号: ppa009483m)为内参基因,引物序列如表1所示。

1.4 数据分析

实验数据用SPSS软件统计分析,每个数据分析重复5次,用Excel软件制作图表。

2 实验结果

2.1 果皮花青苷含量分析

花青苷含量是决定果实着色程度的关键因素。在套袋期间,处理和对照的花青苷含量总体呈上升趋势,但处理含量始终低于对照。其中,套袋开始至S3期取袋前,处理的花青苷含量一直维持在极低的水平;而对照则在S2期开始增长, S3期取样时已达到一定高度,并在S4期采收前达到较高水平(图1)。套袋果在取袋后果实花青苷含量迅速上升,并在S4期采收前果皮花青苷含量超过对照水平。可见,套袋有利于‘秋雪’桃果实的果皮中花青苷的积累,从而促进其果实着色。

2.2 单果质量和可溶性糖分析

‘秋雪’桃套袋处理在单果质量和果实形状上影响不大,套袋果实与对照差异较小(图2)。

套袋期间,套袋‘秋雪’桃的可溶性总糖含量变化与对照果实基本一致,均呈持续上升趋势,但始终低于对照水平。采收(S4期)时套袋果可溶性总糖含量仍显著低于对照。套袋期间‘秋雪’桃还原糖含量与可溶性总糖含量的累积规律相似,但与可溶性总糖含量相比,还原糖含量所占的比重较低,而且变化幅度相对较小(图3)。

表1 用于qPCR分析的基因及其引物
Table 1 qPCR primers for selected genes

基因名称	引物序列(5'→3')	产物大小/bp	登记号(GenBank)
<i>CHI</i>	正向: TGAAGACCTCAAGGAAGCTTCTCAATGG 反向: ACACAGGTGACAACGATACTGCCACT	142	ppa011276m
<i>F3H</i>	正向: TCCGAGGGCAGAGCGAAGAAC 反向: TTGTGGAGGCTTGTGAGGATTGG	115	ppa007636m
<i>DFR</i>	正向: GGTCTGCCAGGTGAACATACTGCC 反向: ATTTCTCATGCCATCCATGCCAC	113	ppa008069m
<i>LDOX</i>	正向: AAGTGGGTCCTGCAAGTGTGTTTC 反向: GTGGCTCACAGAAAAGTGGCCAT	150	ppa007738m
<i>CHS</i>	正向: AACCATCCTTCCCGACAGCGAT 反向: CAGAGATACCCAAAGGTTGGAAGGC	149	ppa006888m
<i>UFGT</i>	正向: CCGCTGCCTCTCCCAACACTC 反向: CCATCAGCCACATCAAACACCTTTAT	121	ppa005162m
<i>PpNI</i>	正向: CCAGGAGAATCGGTGAGCAGAAAA 反向: TCGAGGGTGGAGGACTTGAGAATG	129	ppa009483m

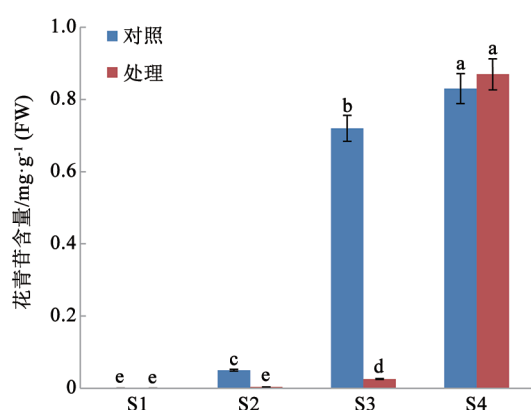


图1 ‘秋雪’桃果实花青苷含量

Fig.1 Anthocyanin contents in ‘Qiuxue’ peach fruits
不同小写字母标识表示差异达5%显著水平, 下图同。

2.3 果实挥发性成分分析

由表2可以看出, 主要香气物质组分为醛类、醇类、酯类和烃类物质。在醛类组分方面, 套袋处理检测到17类, 对照检测到13类, 相对含量差异较小; 在醇类组分方面, 套袋处理相对含量显著高于对照; 对酯类物质而言, 处理与对照的酯类种数同为10类, 相对含量对照显著高于处理; 套袋处理后的果实检测到少量的酸类物质, 但对照未检测到。对于烯烃类、酮类、酸类及其他物质而言, 检测到的相对含量均较少。

由表3可以看出, 检测出的香气物质共有71种。套袋处理下香气物质成分的总含量低于对照, 检测出含有的共同物质成分为: 正己醛、反-2-己烯醛、正己醇、(E,E)-2,4-己二烯醛、苯甲醛、正庚醇、(E,E)-2,4-庚二烯醛、乙酸己酯、乙酸反-2-己烯酯、苯乙醛、罗勒烯、反-2-辛烯醛、1-壬

烯-4-醇、芳樟醇、壬醛、萘、癸醛、2-茨烯、2-甲基萘、十四烷、2,6-二甲基萘、 β -二氢紫罗兰酮、邻苯二甲酸二甲酯、正十八烷、 γ -癸内酯、正十五烷、2-乙基萘、2,4-二叔丁基苯酚、正十六烷、正二十烷、肉豆蔻酸异丙酯、邻苯二甲酸二异丁酯、棕榈酸甲酯、邻苯二甲酸二丁酯, 共计34种化合物, 这些共同化合物大多是桃果实香气成分的重要组成部分。

2.4 着色相关基因表达分析

对花青苷代谢途径中的关键基因*F3H* (ppa-007636m)、*LDOX* (ppa007738m)、*DFR* (ppa-008069m)、*CHS* (ppa006888m)、*CHI* (ppa-011276m)和*UFGT* (ppa005162m)进行qPCR分析(图4), 发现套袋处理的‘秋雪’桃果实各基因的表达与对照相比均表现下调趋势, 而套袋果在取袋后各基因的表达迅速上升, 其中*F3H*、*LDOX*、*DFR*、*CHS*和*CHI*基因在S4期采收前与对照表达水平相当, 而*UFGT*基因的表达水平要超出对照3倍以上。

3 讨论

果实色泽是果实商品品质的重要因素之一, 果实成熟着色是由于叶绿素降解, 同时形成显现类胡萝卜素或花青苷的结果。套袋对果实着色的影响主要是通过影响果皮中的花青苷、叶绿素、类胡萝卜素等实现的。王惠聪等(2002)也认为套袋降低了荔枝果皮中的叶绿素含量。套袋抑制果实叶绿素、类胡萝卜素和类黄酮的合成, 提高果皮总酚含量, 李平等(2003)在番石榴上有类似报道。前人研究认为光照影响花青苷合成和果实着色(高华君等2006), 首先光照影响光合作用, 进而

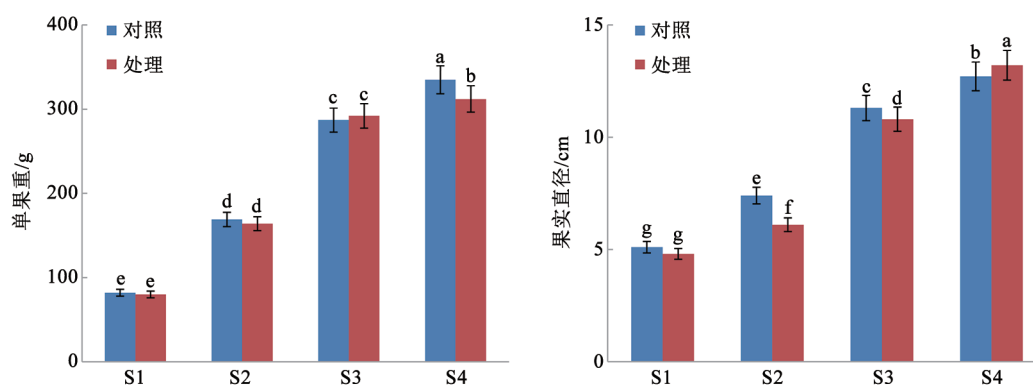


图2 ‘秋雪’桃单果重和果实直径

Fig.2 Weights and diameters of ‘Qiuxue’ peach fruits

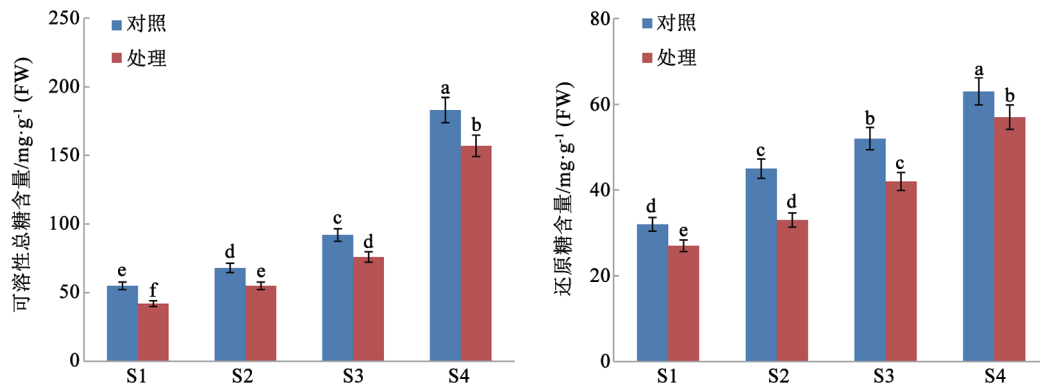


图3 ‘秋雪’桃果实可溶性总糖和还原糖含量

Fig.3 Contents of total soluble sugar and reducing sugar in ‘Qixue’ peach fruits

表2 ‘秋雪’桃果实香气物质种类与相对含量

Table 2 Chemical classes of aroma components and their relative contents in ‘Qixue’ peach fruits

指标		醛类	醇类	酯类	烃类	酮类	酸类	其他
套袋处理	种数	17	6	10	16	2	3	1
	相对含量/%	37.25 ^a	32.74 ^a	5.78 ^b	1.94 ^a	0.25 ^b	0.12	0.07
对照	种数	13	7	10	16	4	—	1
	相对含量/%	36.84 ^a	28.68 ^b	19.53 ^a	0.82 ^b	0.43 ^a	—	0.05

不同小写字母表示同类物质差异达5%显著水平。

表3 ‘秋雪’桃果实香气物质含量

Table 3 Contents of each aroma component identified in ‘Qixue’ peach fruits

序号	成分	保留时间/min	匹配度	反匹配度	含量/ng·g ⁻¹	
					套袋处理	对照
1	2-甲基丁醛	2.95	839	901	—	0.51
2	己二酸	3.09	762	999	0.15	—
3	戊醛	3.44	923	938	1.05	—
4	3-甲基-2-丁烯醛	4.30	697	903	1.30	—
5	反式-2-戊烯醛	4.59	881	896	0.44	—
6	顺-2-戊烯醇	4.53	891	911	0.79	—
7	正己醛	5.61	870	930	90.62	564.37
8	反-2-己烯醛	7.08	918	932	452.67	598.34
9	正己醇	7.50	930	941	165.44	593.87
10	2-甲基-4-戊烯醛	8.17	835	870	15.98	—
11	庚醛	8.37	899	920	2.07	—
12	(E,E)-2,4-己二烯醛	8.60	683	869	1.93	1.52
13	苯甲醛	9.98	923	946	25.31	157.13
14	正庚醇	10.29	842	901	0.51	0.73
15	己酸	10.53	654	907	2.18	—
16	6-甲基-5-庚烯-2-酮	10.77	876	912	—	1.51
17	月桂烯	10.85	886	895	5.66	—
18	(E,E)-2,4-庚二烯醛	11.05	824	901	1.03	0.65
19	乙酸己酯	11.46	928	931	20.54	198.35
20	乙酸反-2-己烯酯	11.53	928	935	1.24	215.33
21	2-乙基己醇	11.86	917	953	—	31.57
22	苯乙醛	12.15	939	954	1.07	5.19

表3 (续)

序号	成分	保留时间/min	匹配度	反匹配度	含量/ng·g ⁻¹	
					套袋处理	对照
23	罗勒烯	12.39	867	875	2.35	4.31
24	反-2-辛烯醛	12.65	844	879	0.65	5.39
25	正癸烯	12.98	731	812	—	5.13
26	正辛醇	13.10	755	826	1.08	—
27	丙烯酸正辛酯	13.15	684	816	—	0.65
28	萜品油烯	13.40	893	925	0.91	—
29	1-壬烯-4-醇	13.45	721	852	0.83	3.56
30	芳樟醇	13.74	944	965	15.72	95.36
31	壬醛	13.85	935	938	0.47	10.81
32	1,2,3,5-四甲基苯	14.28	943	951	—	1.28
33	反式-2-壬醛	15.28	899	925	—	0.85
34	L-薄荷醇	15.64	792	854	—	3.19
35	萘	15.75	951	957	0.58	5.69
36	α -松油醇	15.93	891	899	—	0.56
37	水杨酸甲酯	16.18	938	948	—	5.09
38	十二烷	16.25	698	854	—	0.98
39	癸醛	16.38	924	936	1.27	6.83
40	3,4-二羟基苯基丙酸	16.47	751	963	0.58	—
41	2-茨烯	17.04	847	885	0.23	0.55
42	2-甲基萘	18.57	794	862	0.53	3.49
43	癸酸乙酯	20.65	851	901	0.66	—
44	十四烷	20.76	925	931	0.18	1.85
45	十二醛	21.05	775	892	—	2.91
46	2,6-二甲基萘	21.33	695	857	7.95	9.32
47	1,7-二甲基萘	21.50	763	931	0.21	—
48	β -二氢紫罗兰酮	21.83	912	928	0.52	7.33
49	邻苯二甲酸二甲酯	22.05	857	965	0.69	0.83
50	正十八烷	22.23	781	845	0.48	1.02
51	γ -癸内酯	22.37	921	935	0.51	1.07
52	β -紫罗兰酮	22.67	686	844	—	9.55
53	正十五烷	22.76	680	923	22.51	12.39
54	2-乙烯基萘	22.81	576	853	1.04	0.51
55	2-丙基环己酮	23.05	644	816	—	0.19
56	2-甲基-2-戊烯醛	23.12	694	822	0.61	—
57	十三醛	23.20	848	853	0.21	—
58	2,4-二叔丁基苯酚	23.25	914	953	0.88	6.38
59	正十六烷	24.51	851	903	0.57	9.32
60	正十七烷	25.39	918	954	—	5.29
61	苯甲酸苄酯	26.21	782	905	0.15	—
62	正二十烷	26.57	861	897	0.34	5.10
63	正二十一烷	27.10	866	953	0.39	—
64	正十九烷	27.53	853	911	—	5.43
65	十五醛	27.66	782	863	0.14	—
66	十六醛	27.81	856	943	—	0.39
67	肉豆蔻酸异丙酯	27.83	861	952	0.29	2.40
68	邻苯二甲酸二异丁酯	28.15	921	945	0.54	7.32
69	2,6-二异丙基萘	28.67	625	832	0.22	—
70	棕榈酸甲酯	28.95	876	921	0.18	0.68
71	邻苯二甲酸二丁酯	29.55	849	921	0.74	3.51

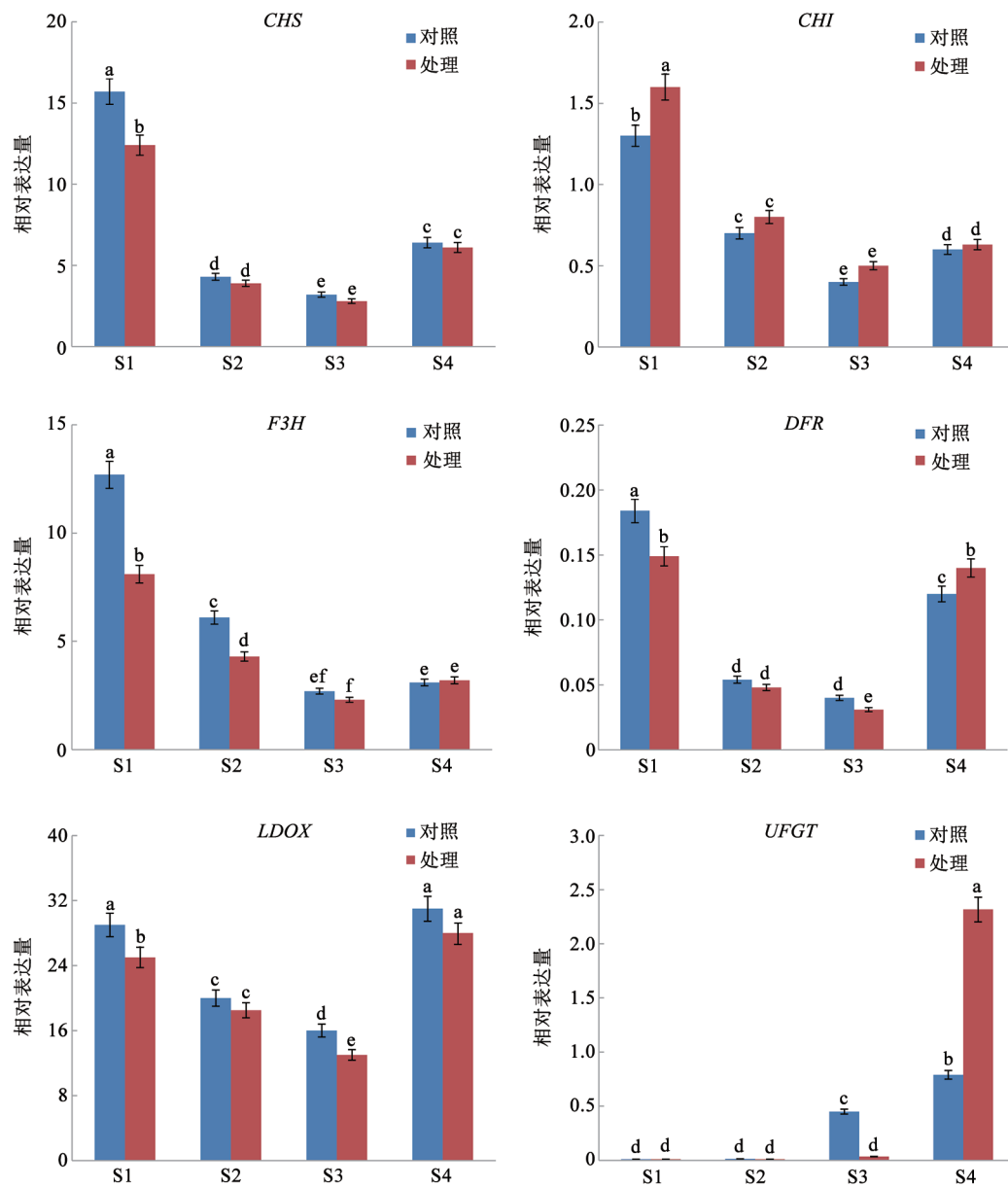


图4 ‘秋雪’桃果实花青苷代谢相关基因表达情况

Fig.4 Transcription profiling based on qPCR of genes involved in anthocyanin synthesis in ‘Qixue’ peach fruits

影响糖、苯丙氨酸等有机物合成;其次光照调解花青苷合成的相关酶的活性,其中查尔酮合成酶(CHS)、查尔酮异构酶(CHI)、黄烷酮-3-羟化酶(F3H)、二羟基黄酮醇还原酶(DFR)、花色苷合成酶(ANS)等基因的表达受到光照因子的诱导(张蕾等2015; Tsuda等2004; Guo等2010; Ubi等2006; 周君等2009),高文胜(2009)在对套袋对果实中花青苷合成的研究中得到相同的结果。本研究通过对套袋处理与无袋对照中果皮花青苷含量及其代谢

途径相关基因表达的检测发现,套袋期果皮花青苷含量低于对照,同时代谢相关基因表达水平受到一定抑制,摘袋后果皮花青苷迅速合成,迅速启动花青苷合成酶类的基因协作表达,果实中PAI、CHS和UFGT的酶活性迅速提高,同时花青苷的合成量大量增加。

糖在花青苷合成过程中起着重要的作用,是花青苷合成过程中的重要传导信号(杨绍兰等2013; 齐秀娟等2005; 陈文龙等2013)。花青苷是使果皮显

现红色的主要色素,影响花色苷含量必然影响果实着色。研究表明花青苷含量、着色程度与果肉中还原糖和可溶性糖含量呈显著正相关(Jia等2005)。本试验结果表明,套袋期间‘秋雪’桃果实的可溶性总糖含量与对照果一样呈持续上升趋势,但始终低于对照,至采摘时虽与对照果差异变小,但仍达到显著差异水平;其还原糖含量与可溶性总糖含量的累积规律相似,但比可溶性总糖含量低得多。取袋后果实可溶性总糖续上升,采摘时两类果实差异逐渐变小,但套袋果糖含量都低于对照。

本研究对‘秋雪’桃果实中的香气成分进行测定,共检出套袋和未套袋桃果实71种香气成分,主要组分为醛类、醇类、酯类、烯炔类和酮类等物质,套袋处理香气物质成分的总含量低于对照,套袋提高了桃果实中醛类和醇类物质的含量,但降低了酯类物质的含量,同时套袋也增加了酸类物质和其他化合物的形成,此结果与郭东花等(2016a, b)在‘瑞光19号’油桃和阿布白桃上的结果相似。

本研究通过套袋处理分析‘秋雪’桃果实发育过程中果皮花青苷含量、果实大小、果肉糖含量、花青素合成相关基因表达及香气物质的变化规律,结果表明套袋明显抑制果实早期花青素合成,但不影响最终果实成熟期花青素总量;同时,套袋提高了桃果实中醛类和醇类物质的含量,但降低了酯类物质的含量,在一定程度上影响了果实的风味。本研究为探索光调控植物果实花青素合成和品质的分子机制提供参考。

参考文献(References)

- Chen H, Duan H, Xu J, et al (2003). Test on improving peach fruits quality in facilities. Shanxi Fruits, 91: 4-5 (in Chinese) [陈海江, 段红喜, 徐继忠等(2003). 提高设施桃果实品质试验. 山西果树, 91: 4-5]
- Chen J (2004). Brief report on different-period bagging of peach cultivars. Gansu Agr Sci Technol, (6): 26-27 (in Chinese) [陈建军(2004). 几个桃品种不同时期套袋试验结果简报. 甘肃农业科技, (6): 26-27]
- Chen W, Zhao C, Zhi W, et al (2013). Progress of regulation of anthocyanin biosynthesis in higher plants. Chin Agr Sci Bull, 29 (33): 271-276 (in Chinese with English abstract) [陈文龙, 赵昶灵, 支伟特等(2013). 高等植物花色苷生物合成调控的研究进展. 中国农学通报, 29 (33): 271-276]
- Du J (2007). The change of anthocyanin and sugar and acid in peach fruit and the effect of bagging on them (dissertation). Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese with English abstract) [杜纪红(2007). 桃果实花青苷和糖酸含量变化及其与套袋关系研究(学位论文). 南京: 南京农业大学]
- Gao HJ, Wang SM, Wang JY (2006). Effect of bagging on anthocyanin biosynthesis and pigmentation in apple skin. J Fruit Sci, 23 (5): 750-755 (in Chinese with English abstract) [高华君, 王少敏, 王江勇(2006). 套袋对苹果果皮花青苷合成及着色的影响. 果树学报, 23 (5): 750-755]
- Gao W (2009). Studies on apple fruit quality development and correlative factors under the system of bagging cultivation (dissertation). Shenyang: Shenyang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [高文胜(2009). 有袋栽培体系下苹果果实品质发育及其相关因子研究(学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学]
- Guo B, Yang J, Lu R, et al (2000). Test on improving the fruits quality of ‘Yanhong’ peach by bagging. China Fruits, (3): 19-20 (in Chinese) [郭宝林, 杨俊霞, 鲁韧强等(2000). 套袋提高燕红桃果实质量的试验研究. 中国果树, (3): 19-20]
- Guo D, Bai H, Shi P, et al (2016a). Effects of bagging at different stages on volatiles and color of “Ruiguang No.19” nectarine fruits. Food Sci, 37 (8): 242-247 (in Chinese with English abstract) [郭东花, 白红, 石佩等(2016a). 不同时期套袋对“瑞光19号”油桃果实挥发性成分及着色的影响. 食品科学, 37 (8): 242-247]
- Guo D, Han C, Li G, et al (2016b). Effects of bagging on the aroma components of “Abubai” peaches. Food Sci, 37 (2): 232-237 (in Chinese with English abstract) [郭东花, 范崇辉, 李高潮等(2016b). 不同果袋对“阿布白”桃果实香气成分的影响. 食品科学, 37 (2): 232-237]
- Guo J, Wang MH (2010). Ultraviolet A-specific induction of anthocyanin biosynthesis and PAL expression in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Plant Growth Regul, 62 (1): 1-8
- Huang CS, Shu ZX, Zhu LJ, et al (2011). Effect of bagging on outside quality of *Citrus grandis* Var. J Anhui Agr Sci, 39 (20): 12036-12037 (in Chinese with English abstract) [黄成思, 苏智先, 朱利君等(2011). 套袋对新都柚果实外观品质的影响. 安徽农业科学, 39 (20): 12036-12037]
- Jia HJ, Araki A, Okamoto G (2005). Influence of fruit bagging on aroma volatiles and skin coloration of ‘Hakuho’ peach (*Prunus persica* Batsch). Postharv Biol Technol, 35 (1): 61-68
- Li H (2000). Principle and Technology of Plant Physiological and Biochemical Experiments. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [李合生(2000). 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社]
- Li P, Zheng R, Wen H, et al (2003). Effects of bagging on pigments and total phenol in Xinshiji guava fruit skin. J

- Fruit Sci, 20 (2): 120–123 (in Chinese with English abstract) [李平, 郑润泉, 温华良等(2003). 套袋对新世纪番石榴果皮色素及酚类物质的影响. 果树学报, 20 (2): 120–123]
- Lima AJB, Alvarenga AA, Malta MR, et al (2013). Chemical evaluation and effect of bagging new peach varieties introduced in southern Minas Gerais – Brazil. Food Sci Technol, 33 (3): 434–440
- Ma RJ, Zhang BB, Cai ZX, et al (2012). Effect of different bags on fruit quality of Xianguang nectarine. Jiangsu J Agr Sci, 28 (3): 627–631 (in Chinese with English abstract) [马瑞娟, 张斌斌, 蔡志翔等(2012). 不同类型果袋对霞光油桃果实品质的影响. 江苏农业学报, 28 (3): 627–631]
- Qi X, Li Z, Xu S (2005). Relationship between soluble sugars and peel pigments in hawthorn fruit. J Fruit Sci, 22 (1): 81–83 (in Chinese with English abstract) [齐秀娟, 李作轩, 徐善坤(2005). 山楂果实中可溶性糖与果皮色素的关系. 果树学报, 22 (1): 81–83]
- Tsuda T, Yamaguchi M, Honda C, et al (2004). Expression of anthocyanin biosynthesis genes in the skin of peach and nectarine fruit. J Am Soc Hort Sci, 129 (6): 857–862
- Ubi BE, Honda C, Bessho H, et al (2006). Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin: Effect of UV-B and temperature. Plant Sci, 3 (170): 571–578
- Wang H, Huang X, Huang H (2002). A study on the causative factors retarding pigmentation in the fruit of ‘Feizixiao’ litchi. Acta Hort Sin, 29 (5): 408–412 (in Chinese with English abstract) [王惠聪, 黄旭明, 黄辉白(2002). ‘妃子笑’荔枝果实着色不良原因的研究. 园艺学报, 29 (5): 408–412]
- Wang HB, Li LG, Liu JF, et al (2013). Changes of qualities during the fruit late development of ‘Golden Delicious’ apple and distinguishing its ripening process. Sci Agr Sin, 46 (20): 4310–4320 (in Chinese with English abstract) [王海波, 李林光, 刘嘉芬等(2013). ‘金冠’苹果果实发育后期的品质变化及其成熟阶段区分. 中国农业科学, 46 (20): 4310–4320]
- Wang J, Chen H, Zhou Q, et al (2003). Effects of bagging on the fruit quality in *Litchi chinensis* fruit and pesticide residues in it. Chin J Appl Ecol, 14 (5): 710–712 (in Chinese with English abstract) [王建武, 陈厚彬, 周强等(2003). 套袋对荔枝果实质量和农药残留的影响. 应用生态学报, 14 (5): 710–712]
- Yang SL, Egna M, Zhang XF, et al (2013). Effects of bagging treatment on sugar metabolism and related gene expression in ‘Chili’ pear fruits. Acta Hort Sin, 40 (10): 1887–1897 (in Chinese with English abstract) [杨绍兰, 王玫, 张晓菲等(2013). 套袋对‘荏梨’果实蔗糖代谢及相关酶基因表达的影响. 园艺学报, 40 (10): 1887–1897]
- Zhang L, Zhu LX, Xu C, et al (2015). The effect of silencing chalcone synthase on anthocyanin metabolism in peach. Acta Hort Sin, 42 (1): 31–37 (in Chinese with English abstract) [张蕾, 朱立新, 徐川等(2015). 查尔酮合酶基因对桃果实花色苷代谢的影响. 园艺学报, 42 (1): 31–37]
- Zhou J, Chen ZL, Zhang Q, et al (2009). Effects of bagging on accumulation of phenolic acids and flavonoids in peach pericarp during fruit maturity. Acta Hort Sin, 36 (12): 1717–1724 (in Chinese with English abstract) [周君, 陈宗玲, 张琼等(2009). 套袋对桃果实成熟过程中酚酸类和类黄酮类物质积累的影响. 园艺学报, 36 (12): 1717–1724]
- Zhou J, Wang HQ (2009). Effect of reflective film on the photosynthetic capacity of leaf and fruit quality at different canopies of peach. J China Agr Univ, 14 (4): 59–64 (in Chinese with English abstract) [周君, 王红清(2009). 铺设反光膜对桃树不同冠层叶片最大光合能力和果实品质的影响. 中国农业大学学报, 14 (4): 59–64]

Effect of bagging on fruit quality and anthocyanin synthesis-related gene expression of ‘Qiuxue’ peach

HE Ping, LI Lin-Guang*, WANG Hai-Bo, CHANG Yuan-Sheng

Shandong Institute of Pomology, Taian, Shandong 271000, China

Abstract: The experiment was proceeded with ‘Qiuxue’ peach (*Prunus persica*) as material to investigate the effect of bagging on fruit quality and anthocyanin synthesis-related gene expression. The contents of anthocyanin and flesh sugar, fruit size and related gene expression were measured, and aroma components were investigated after debagging. The content of peel anthocyanin was notably less than that of control, but increased quickly after bags removed and was the same as control before harvest. The total soluble and reducing sugar decreased for the bagged ones, sucrose content was increased immediately after debagging, which was declined later. The expression of related key genes in anthocyanin biosynthesis pathway was down-regulation than that of control, but increased quickly after debagging and was the same as control before harvest for *F3H*, *LDOX*, *DFR*, *CHS* and *CHI*, more than three times for *UFGT*. A total of 71 different volatile compounds were detected in ‘Qiuxue’ peach fruits. Compared to controls, total content of aroma substance was reduced in bagged fruit. Bagging improved aldehydes and alcohol contents and increased acid contents in peach fruits, but decreased the contents of esters. In conclusion, bagging was beneficial for ‘Qiuxue’ peach fruit, but the fruit quality was affected since the total sugar was declined partially.

Key words: peach; bagging; fruit quality; gene expression

Received 2017-06-26 Accepted 2017-11-13

This work was supported by Innovation Project for Major Agricultural Application Technology of Shandong Province (2014-38), and Agricultural Science and Technology Innovation Project of Shandong Academy of Agricultural Sciences (CXGC2016A03).

*Corresponding author (llg6536@163.com).