

果袋类型对‘紫金红霞’葡萄果实品质及 花色苷合成相关基因表达的影响

王西成, 吴伟民*, 王 博, 王壮伟, 钱亚明, 闫莉春

(江苏省农业科学院果树研究所, 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014)

摘 要:以‘紫金红霞’葡萄为试验材料,在果实转色前分别进行5种不同类型果袋(白色纸袋、无纺布-白纸双层袋、绿色纸袋、蓝色纸袋、棕色纸袋)套袋处理,以不套袋为对照,测定不同发育时期葡萄果实的单果重、果粒纵横径、可溶性固形物、可滴定酸,及总花色苷含量等生理指标,并利用 qRT-PCR 技术分析不同发育时期花色苷合成相关基因的表达水平,探索不同类型果袋对‘紫金红霞’葡萄果实品质、花色苷含量及花色苷合成相关基因表达的影响。结果表明:(1)白色、蓝色和棕色果袋不利于成熟果实中可溶性固形物含量的升高,蓝色和棕色果袋不利于成熟果实中可滴定酸含量的降低。(2)套袋处理会使果实色泽指数显著降低,除无纺布-白纸双层袋未显著降低成熟果皮中花色苷含量外,其他套袋处理均显著降低了果皮中总花色苷含量。(3)套袋处理对6个花色苷合成相关基因的表达主要表现为抑制作用,但无纺布-白纸双层袋对成熟期 *F3'H* 和 *UFGT* 基因的表达、白色纸袋对成熟期 *MY-BA1*、*DFR* 和 *LDOX* 基因的表达则具有促进作用。研究发现,无纺布-白纸双层袋对成熟期果实的内在品质和果皮着色影响最小,可用于‘紫金红霞’果实套袋,其次为白色和绿色纸袋;蓝色和棕色纸袋可使葡萄果实的品质大幅降低,故不可用于实际生产中葡萄果实的套袋。

关键词:‘紫金红霞’葡萄; 套袋; 花色苷; 基因表达

中图分类号: Q945.79; Q945.78

文献标志码: A

Effect of Bag Types on Fruit Quality and Anthocyanin Biosynthesis Related Genes Expression of ‘Zijinhongxia’ Grape Berry

WANG Xicheng, WU Weimin*, WANG Bo, WANG Zhuangwei, QIAN Yaming, YAN Lichun

(Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: The ‘Zijinhongxia’ grape was used as test material, and the fruit were bagged with 5 different types of bags (white paper bag, non-woven and white paper double-ply bag, green paper bag, blue paper bag and brown paper bag) in the early stage of veraison, and with not bagging as control. In order to study the effect of different fruit bags on fruit quality, anthocyanin content and the expression of anthocyanin synthesis related genes, we determined the fruit weight, fruit vertical and horizontal diameter, total soluble solids and titratable acid of grape berries at different development stages. Meanwhile, the expression of anthocyanin synthesis related genes was also evaluated by qRT-PCR. The results showed that: (1) white,

收稿日期: 2021-07-27; 修改稿收到日期: 2021-11-24

基金项目: 江苏省农业重大新品种创制项目(PZCZ201722); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系; 江苏省苏北科技专项(SZ-XY202006)

作者简介: 王西成(1982—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事葡萄栽培、育种及相关分子生物学研究。E-mail: wxcown@163.com

* 通信作者: 吴伟民, 研究员, 主要从事葡萄育种及优质高效栽培技术研究。E-mail: 5wm@163.com

blue and brown paper bags were not favorable to the increase of total soluble solids in mature fruit, and blue and brown paper bag were not favorable to the reduction of titratable acid content in mature fruit. (2) Bagging treatment will reduce the color index of red grape significantly, and the content of anthocyanin in pericarp was reduced significantly because of bagging except that non-woven and white paper double-ply bag did not significantly influence the mature pericarp. (3) For the expression of 6 anthocyanin synthesis related genes, bagging treatment mainly behaved inhibition. However, non-woven and white paper double-ply bag promoted the up-regulated expression of *F3'H* and *UFGT* genes, and white paper bag promoted the up-regulated expression of *MYBA1*, *DFR* and *LDOX* genes in mature fruit. In summary, our results suggested that the effect of non-woven and white paper double-ply bag on fruit quality and fruit coloring is minimal, and this type of fruit bag can be used for fruit bagging. The second choice is white and green bag. However, because the blue and brown paper bag seriously reduces fruit quality, therefore they are not suitable for 'Zijinhongxia' fruit bagging.

Key words: 'Zijinhongxia' grape; bagging; anthocyanin; gene expression

葡萄是一种重要的经济作物,在世界范围内广泛种植。中国是葡萄生产大国,葡萄栽培面积和产量分居世界第 3 和第 1 位^[1]。色泽是果实外观品质的重要指标,更是葡萄果实成熟程度的重要评价依据,直接决定着葡萄的商品价值和市场竞争力。花色苷是一类广泛存在于植物体内的水溶性色素,是决定葡萄果实颜色的主要物质,可通过苯丙烷代谢途径和类黄酮途径合成,存在于表皮细胞的液泡中,伴随着葡萄果实的发育与成熟,果实中花色苷会逐渐积累,进而使葡萄呈现出不同的颜色^[2-3]。

花色苷的合成不仅受遗传因素影响,同时还受到环境和理化因素的影响,如光照^[4]、温度^[5]、水分^[6]、植物生长调节剂^[7-8]等。遗传因素决定了花色苷合成的种类和时期,而环境因素则会影响花色苷生物合成的速率和积累量^[9-10]。一般认为葡萄果实中花色苷的合成主要包括苯丙氨酸代谢、类黄酮代谢、二氢黄酮醇生成花色素、花色素骨架合成后的修饰,以及花色苷合成后在液泡内的转运和汇集 5 个阶段。而花色苷生物合成相关基因主要包括结构基因和调节基因,结构基因可编码直接与花色苷合成和转运贮藏相关的酶,如:苯丙氨酸裂解酶基因(*PAL*)、查尔酮合成酶基因(*CHS*)、查尔酮异构酶基因(*CHI*)、黄烷酮-3-羟化酶基因(*F3H*)、黄烷酮 3'羟化酶基因(*F3'H*)、黄烷酮 3'5'羟化酶基因(*F3'5'H*)、二氢黄酮醇还原酶基因(*DFR*)、无色花色素双加氧酶基因(*LDOX*)、3-O-类黄酮葡萄糖基转移酶基因(*UFGT*)、甲基转移酶基因(*OMT*)等^[11];调节基因可控制花色苷生物合成过程中相关结构基因的时空特异表达,进而影响花色苷生物合成的强度和模式,如:转录因子基因 *MYB*、*bHLH* 等^[12-13]。在花色苷合成过程中,充足的光照可促进 *UFGT* 基

因的上调表达,进而促进葡萄果皮中花色苷的合成;而遮光处理则会抑制 *UFGT* 基因的表达,并最终影响花色苷的合成^[14]。*MYB* 是调控花色苷合成的重要转录因子,可在葡萄果皮中特异性表达^[13-14]。枝条环剥和 ABA 处理均可通过促进 *MYBA1* 和 *MYBA2* 转录因子基因的表达,进而调控 *UFGT* 基因的上调表达,诱导花色苷的积累^[15-16]。同时,*MYB* 也可通过与 *bHLH* 互作来实现对果实花色苷合成的调控^[17]。

套袋是优质葡萄生产过程中的一个关键环节,它不仅可以防止昆虫、鸟类等对果实的危害,同时还可有效阻碍病菌的侵染,大幅降低病果发生几率^[18]。同时,套袋还能避免灰尘、农药等对果实的污染,保持果面的清洁和果粉的完整,有利于果实外观品质的提高^[19]。此外,由于套袋改变了果实生长发育期的温度和光照条件,因此也会对果实的产量和内在品质产生一定的影响^[20-21]。

目前,有关套袋对葡萄果实着色影响的研究尽管已有报道,但其影响果实着色的深层机理仍不清楚^[22-23]。为进一步明确果实套袋对葡萄果实中花色苷合成及相关基因表达的影响,本研究以'紫金红霞'葡萄为试材,考察 5 种不同类型果袋对果皮中花色苷合成及相关基因表达影响,以期在转录水平上探讨套袋影响葡萄花色苷合成的分子机理,同时也为'紫金红霞'葡萄生产中果袋的选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于 2020 年 6—8 月在江苏省农业科学院溧水植物科学基地内进行。供试材料为长势基本一致

的3年生‘紫金红霞’葡萄,常规栽培管理。供试果袋包括白色纸袋、无纺布-白纸双层袋(双层袋)、绿色纸袋、蓝色纸袋和棕色纸袋。

1.2 材料处理与样品采集

2020年6月12日,选取生长发育相对较为一致的葡萄进行5种果袋套袋处理,不套袋为对照(CK)。试验设置3次生物学重复,单株小区,每个处理3株葡萄。分别于套袋后40、50和60 d时各取样一次,直至果实完全成熟。每次从每个小区葡萄果穗的上、中、下部位随机取样20粒。样品采集后分两部分保存,一部分冰盒带回实验室,用于单果重、果粒纵横径、可溶性固形物(total soluble solid, TSS)、可滴定酸(titrate acid, TA)、花色苷含量,以及果实色泽指标的测定;另一部分用手术刀片剥取果皮,液氮速冻后转移至-80℃冰箱中保存备用。

1.3 果实品质测定

单果重量用电子天平称量,果实的纵径和横径用游标卡尺测量,据此计算果形指数(纵径与横径的比值)。可溶性固形物含量采用PAL-1手持式糖度计(ATAGO)测定,可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定。葡萄果实赤道(中纬线)处对称4面的果面色泽采用Color Quest XT色差计Hunter Lab表色系统进行测定^[24],主要包括 L^* (亮度)、 a^* (红绿色差)、 b^* (黄蓝色差)。然后,进一步利用色差计所测值计算出色泽饱和度(chroma, C^*)、色调角(hue angle, h°)和葡萄果实色泽指数(color index of red grape, CIRG)。其中, $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$, $CIRG = (180 - h^\circ)/(L^* + C^*)$ 。葡萄果实色泽指数评价果实色泽的标准为:CIRG < 2 为黄绿色,2 < CIRG < 4 为粉红色,4 < CIRG < 5 为红色,5 < CIRG < 6 为深红色,CIRG > 6 为紫黑色^[25]。

1.4 花色苷含量测定

果皮总花色苷的提取参考Jia等^[26]的方法并加以改进:分别取不同发育时期、不同处理的果皮样品,液氮研磨成粉末,称取1.0 g样品粉末,加入10 mL含1%盐酸的甲醇溶液,4℃黑暗条件中静置24 h,10 000 r/min高速离心10 min,沉淀反复浸提3次,合并上清液即得果皮总花色苷提取液。花色苷含量的测定参考王小青等^[27]的方法进行,首先利用分光光度计分别测出530和650 nm处的吸光度值 D_{530} 和 D_{650} ,然后根据公式计算出葡萄果皮中花色苷含量。其中,花色苷含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = $(D_{530} - 0.25 \times D_{650}) \times \text{提取液总体积} / 0.0462 / \text{果皮鲜重}$ 。

1.5 基因表达分析

本研究选择了部分花色苷合成相关基因用于表达分析。总RNA的提取采用上海浦迪生物科技有限公司生产的多糖多酚植物总RNA提取试剂盒进行,操作方法参考说明书进行,并利用琼脂糖凝胶电泳对RNA质量进行检测。以总RNA为模板,利用MonScript™ RT III All-in-One Mix with dsDNase试剂盒反转录合成cDNA。

Real-Time PCR引物设计:MYBA1和CHS1基因引物参考张雷等^[22],F3'H、DFR和LDOX基因引物参考Jeong等^[28],UFGT基因引物参考柳巧禛等^[29],内参基因KyActin1引物参考Kobayashi等^[12],引物由通用生物系统(安徽)有限公司合成(表1)。

Real-Time PCR反应体系为20 μL: MonAmp™ SYBR Green qPCR Mix 10 μL, cDNA模板2 μL,上游和下游引物各0.4 μL, ddH₂O 7.2 μL。反应程序为两步法:95℃预变性30 s; 95℃变性10 s, 60℃退火+延伸30 s, 40个循环。每个循环第2步进行荧光数据读取。每个样品设置3次重复,相关数据采用 $2^{-\Delta\Delta CT}$ 法进行处理,以确定目的基因的相对表达水平。

1.6 数据分析

数据平均值、标准差、标准曲线等利用Excel 2016软件进行计算,单因素方差分析使用SPSS 25.0统计软件完成。

表1 qRT-PCR引物序列
Table 1 Primer sequences for qRT-PCR

基因 Gene	序列号 Accession No.	引物序列 Primer sequence(5'→3')
CHS1	AB015872	F: GACGTCCCAGGGTTGATTT R: GCGATCCAGAACAAGGAGTT
F3'H	AB213605	F: GAGATCAACGGCTACACATC R: CCTGAATTCTAGTGGCTTCTCC
DFR	X75964	F: GAAACCTGTAGATGGCAGGA R: GGCCAAATCAAACCTACCAGA
LDOX	X75966	F: AGGGAAGGGAAAACAAGTAG R: ACTCTTTGGGGATTGACTGG
UFGT	DQ513314	F: CTGGTAGCTGACGCATTCAT R: GTAAACATGGGTGGAGAGTGAG
MYBA1	AB097923	F: GGTCCTTGATTGCGGGTAG R: TGTCAATCATTCGGTTGTGG
KyActin1	AB073011	F: GATTCTGGTGATGGTGTGAGT R: GACAATTTCCCGTTTCAGCAGT

2 结果与分析

2.1 果袋类型对葡萄果实品质的影响

由表 2 可知,随着葡萄果实的发育与成熟,各套袋处理和对照葡萄果实的单果重、纵横径和可溶性固形物含量均在逐步增加,而可滴定酸含量则呈逐步下降趋势。与同期对照相比,套袋处理在多数时期并未对果实单果重、纵横径和果形指数产生较大影响,但随着果实的生长发育,不同类型果袋却对果实 TSS 和 TA 含量产生了不同程度的影响。其中,套袋 40 d 时,各色果袋处理果实中 TSS 含量与对照相比均无显著变化;在套袋 50 d 时,其 TSS 含量在白色袋、双层袋和绿色袋处理下与对照相比仍无显著变化,而在蓝色和棕色果袋处理下显著降低;在成熟期(套袋后 60 d)时,双层袋、绿色袋处理 TSS 含量与对照还无显著差异,而在白色袋、蓝色和棕色

袋处理下均比对照显著降低,并以蓝色袋降幅最大(19.17%);而无纺布-白纸双层果袋和绿色纸袋则未对 TSS 含量产生较大影响。果实 TA 含量在白色袋、绿色和棕色袋处理 40 d,以及双层袋处理 50 d 时均比同期对照显著降低,其余套袋处理均与同期对照无显著差异;在果实完全成熟时(套袋后 60 d),蓝色纸袋处理果实中 TA 含量显著高于对照,其他果袋处理均未对 TA 含量产生显著影响。

2.2 果袋类型对葡萄果实色泽及总花色苷含量的影响

表 3 显示,随着葡萄果实的发育成熟,套袋处理和对照果实的 L^* 值和 b^* 值整体呈逐渐下降趋势,而 a^* 值和 CIRG 值则呈逐步升高趋势。与对照相比,各取样时期套袋果实 L^* 值和 b^* 值均高于同期对照,且大多达到显著水平;与之相反,各取样时期套袋果实 a^* 值和 CIRG 值则均低于同期对照,且

表 2 不同类型果袋处理下葡萄果实品质的变化
Table 2 The grape fruit quality under different types of fruit bags

套袋天数 Days after bagging/d	处理 Treatment	单果重 Single fruit weight/g	果实纵径 Longitudinal diameter/cm	果实横径 Cross diameter /cm	果形指数 Shape index	可溶性固形物 Total soluble solids/%	可滴定酸 Titrate acid/%
40	CK	10.21±0.37	2.74±0.04	2.32±0.05	1.18±0.04	12.26±0.87ab	0.80±0.10a
	I	10.28±0.59	2.60±0.06	2.28±0.09	1.14±0.02	11.35±0.42b	0.64±0.01b
	II	9.98±0.74	2.69±0.10	2.34±0.09	1.15±0.02	13.34±0.45a	0.71±0.01ab
	III	10.12±0.52	2.62±0.04	2.24±0.01	1.17±0.03	11.45±0.49b	0.63±0.02b
	IV	9.95±0.45	2.77±0.03	2.28±0.03	1.22±0.01	10.80±0.30b	0.81±0.02a
	V	9.78±0.38	2.67±0.12	2.33±0.12	1.14±0.02	11.23±0.64b	0.66±0.10b
50	CK	10.27±0.38	2.75±0.13ab	2.43±0.07	1.13±0.04ab	14.62±0.43a	0.54±0.06a
	I	10.47±0.32	2.63±0.15b	2.43±0.10	1.08±0.03b	14.26±0.74a	0.50±0.01ab
	II	10.29±0.61	2.70±0.03ab	2.35±0.01	1.15±0.01ab	14.90±0.37a	0.43±0.01b
	III	10.20±0.19	2.83±0.06a	2.46±0.05	1.15±0.04ab	14.92±0.16a	0.52±0.05a
	IV	10.21±0.63	2.80±0.10ab	2.36±0.06	1.19±0.02a	12.96±0.38b	0.58±0.01a
	V	9.86±0.41	2.67±0.04ab	2.39±0.04	1.12±0.02ab	13.18±0.13b	0.53±0.04a
60	CK	10.57±0.57	2.83±0.07ab	2.44±0.07	1.16±0.03ab	16.43±0.34a	0.40±0.01bc
	I	10.63±0.53	2.75±0.03b	2.59±0.02	1.06±0.01b	14.64±0.76b	0.38±0.01c
	II	10.54±0.28	2.99±0.15a	2.45±0.08	1.22±0.02a	15.48±0.50ab	0.43±0.01abc
	III	10.22±0.33	2.83±0.11ab	2.48±0.07	1.14±0.04ab	16.15±0.58a	0.42±0.02abc
	IV	11.50±0.46	2.94±0.09a	2.43±0.07	1.21±0.01a	13.28±0.38c	0.51±0.04a
	V	10.34±0.65	2.72±0.11b	2.44±0.11	1.12±0.03ab	14.41±0.24b	0.48±0.07ab

注:CK. 对照(不套袋); I. 白色纸袋; II. 无纺布-白纸双层袋; III. 绿色纸袋; IV. 蓝色纸袋; V. 棕色纸袋; 表中同列数据不同字母表示同时期不同处理在 0.05 水平差异显著;下同

Note: CK. Not bagging as control; I. White paper bag; II. Non-woven and white paper double-ply bag; III. Green paper bag; IV. Blue paper bag; V. Brown paper bag; Different normal letters within the same column indicate significant difference among treatments in the same stage at 0.05 level. The same as below

表 3 不同类型果袋处理下对葡萄果实色泽的变化

Table 3 The grape fruit color change under different types of fruit bagging treatments

套袋天数 Days after bagging/d	不同处理 Treatment	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>CIRG</i>
40	CK	31.49±1.86c	5.17±0.83a	−0.13±0.75e	4.91±0.17a
	I	35.49±1.20b	3.01±1.34b	1.81±0.58d	4.56±0.14b
	II	36.22±1.52b	2.33±1.93b	2.44±1.49d	4.46±0.09b
	III	38.21±1.18a	−0.33±0.75c	3.86±1.04c	4.28±0.15c
	IV	39.48±0.54a	−1.77±0.50d	6.79±0.94a	3.90±0.17d
	V	39.10±1.86a	−0.95±1.59cd	5.53±1.38b	4.03±0.23d
50	CK	30.14±1.99c	5.22±0.63a	−1.29±0.68c	5.08±0.27a
	I	33.14±1.98b	4.82±1.59a	0.49±1.42b	4.70±0.12b
	II	32.38±3.18b	4.55±1.93ab	1.33±1.61b	4.83±0.36b
	III	33.89±1.11b	3.56±1.09b	0.62±1.01b	4.76±0.09b
	IV	37.13±1.50a	0.33±0.12d	5.01±1.36a	4.25±0.24c
	V	37.05±2.28a	2.21±0.87c	4.44±0.95a	4.26±0.13c
60	CK	29.19±1.18c	5.37±0.64	−0.74±0.14b	5.20±0.22a
	I	32.54±2.39b	5.05±1.99	0.44±1.24a	4.74±0.17b
	II	31.74±1.78b	5.26±1.43	−0.32±0.86b	4.85±0.12b
	III	32.88±1.85b	4.52±1.49	0.35±0.17ab	4.77±0.16b
	IV	37.23±0.84a	5.01±1.38	−0.71±1.09b	4.26±0.20c
	V	37.42±1.25a	4.21±1.39	0.17±1.67ab	4.28±0.18c

CIRG 值的变化在各时期均达到显著水平。总体而言,‘紫金红霞’葡萄套袋处理有助于果皮亮度 *L** 和黄蓝色差 *b** 值的提高,但却降低了红绿色差 *a** 值和果实色泽指数 *CIRG*。尽管套袋处理不利于 *CIRG* 值的增加,但不同类型果袋间处理也存在一定差异,其中对 *CIRG* 值影响较小的为无纺布-白纸双层果袋、绿色纸袋和白色纸袋,而蓝色纸袋和棕色纸袋则对 *CIRG* 值影响较大。

为进一步明确不同类型果袋对‘紫金红霞’葡萄果实着色的影响,本研究对不同处理果皮中的总花色苷含量进行了测定分析。由图 1 可知,随着葡萄果实发育成熟,套袋处理和对照果皮中总花色苷含量总体均呈逐步增加趋势。其中,在套袋后 40~50 d 时,套袋处理果皮中总花色苷含量均显著低于对照,并以蓝色和棕色果袋处理果皮中花色苷含量最低;在果实完全成熟时(套袋后 60 d),除无纺布-白纸双层袋处理果皮总花色苷含量与对照样品之间无显著差异外,其他套袋处理均比对照显著降低,显著抑制了果皮中花色苷的合成。

2.3 果袋类型对葡萄果皮中花色苷合成相关基因表达的影响

qRT-PCR 分析结果(图 2)表明,在葡萄果实发

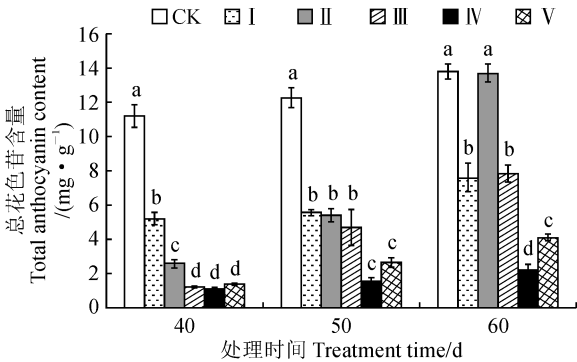


图 1 不同类型果袋处理下葡萄果皮中总花色苷含量的变化
Fig.1 The total anthocyanin content in grape skin under different types of fruit bagging

育后期(套袋后 40、50 和 60 d),套袋处理对果皮中花色苷合成相关基因的表达主要表现为抑制作用。在套袋后 40 和 50 d 时,除白色纸袋在套袋后 40 d 时促进了 *MYBA1* 基因的上调表达外,其他套袋处理对于相关基因的表达主要表现为抑制作用。在套袋后 60 d 时,不同类型果袋对果皮中花色苷合成相关基因表达的影响差异较大,其中,白色纸袋促进了 *MYBA1*、*DFR* 和 *LDOX* 基因的上调表达,无纺布-白纸双层果袋则对 *F3'H* 和 *UFGT* 基因的表达产生

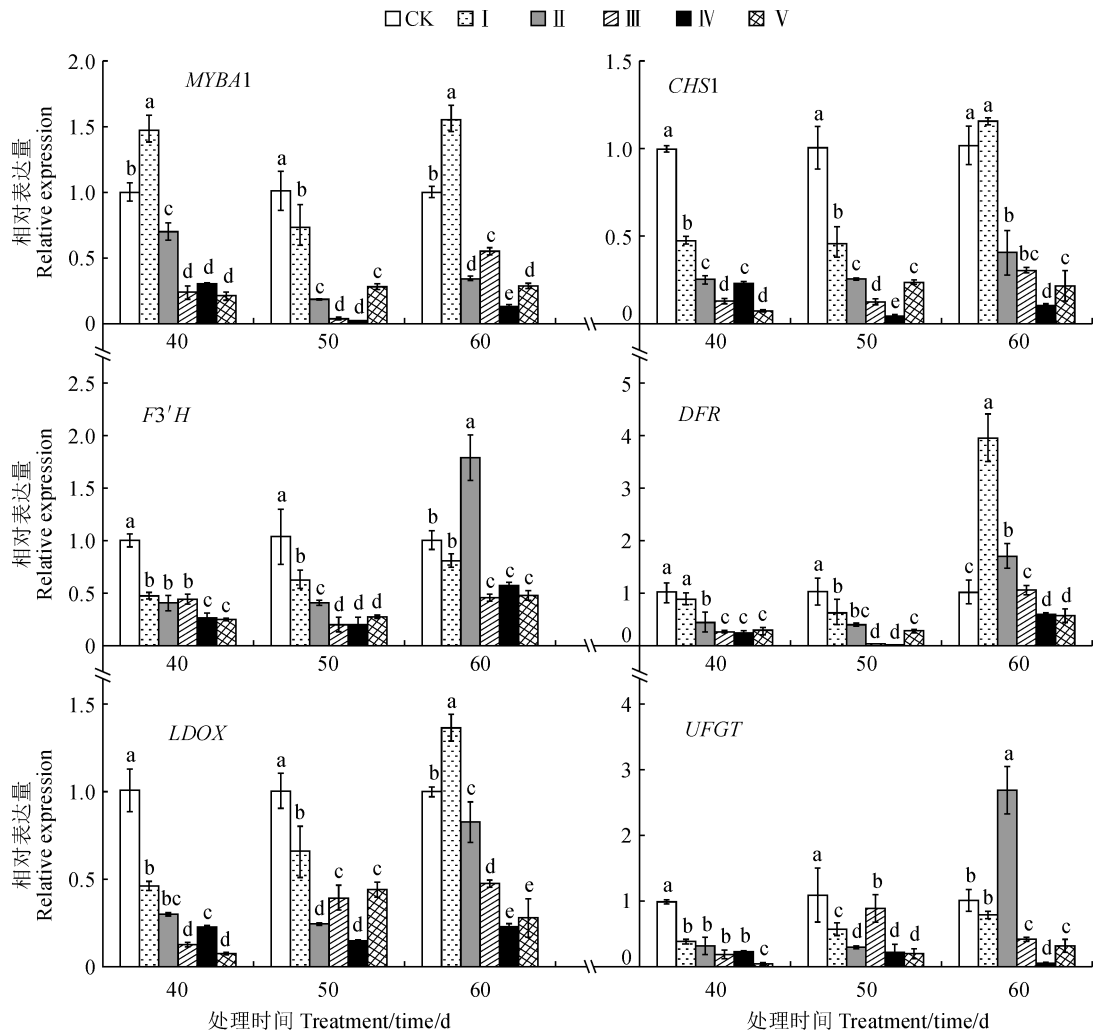


图2 不同类型果袋处理下转录因子及花色苷合成相关基因表达的变化

Fig. 2 The expression of transcription factors and anthocyanin synthesis related genes under different types of fruit bagging

了促进作用,而绿色、蓝色和棕色果袋对于相关基因的表达仍表现为抑制作用。

3 讨论

果实套袋是果树生产中常用的一种栽培管理技术,由于果实套袋后其生长的微环境发生了变化,因此会对果实生长发育特性和果实品质产生一定的影响。果实色泽与果面光洁度是葡萄外观品质的重要指标,生产中常通过果实套袋技术来提高葡萄的外观品质。然而,不同类型的果袋其效果也存在较大的差异,生产中常根据葡萄品种的具体特点来选择使用不同类型的果袋^[30]。

本研究发现,与对照相比,尽管在‘紫金红霞’葡萄果实发育过程中不同套袋处理会对果实品质相关指标产生不同程度的影响,但到果实完全成熟时,除白色、蓝色和棕色果袋抑制了果实中可溶性固形物含量的增高,蓝色果袋阻碍了果实中可滴定酸含量

的降低外,套袋处理并未对果实的单果重、纵横径、果形指数等产生显著影响,这说明套袋不利于‘紫金红霞’葡萄果实内在品质的提升,但对果实大小和形状并不会产生较大的影响^[31-32]。

在花色苷含量方面,5种果袋均对‘紫金红霞’葡萄花色苷的合成产生了一定的影响,其中蓝色和棕色果袋对成熟期果实中总花色苷合成的影响最为显著,其次是白色和绿色果袋,而无纺布-白纸双层袋则未对成熟期葡萄果皮中的总花色苷含量产生显著影响。这与果实色泽分析中,套袋处理果面亮度指标 L^* 和黄蓝色差指标 b^* 值多显著高于对照,而红绿色差 a^* 值和色泽指数 $CIRG$ 值多显著低于对照的研究结果是一致的。究其原因可能在于光照是影响果实着色的重要因素,充足的光照可通过光合作用为花色苷的合成提供所需的底物,进而促进花色苷的合成^[33-34]。但由于蓝色和棕色果袋透光率偏差,白色和绿色果袋透光率稍强,使得不同类型果

袋对葡萄果皮中花色苷的合成产生了不同的影响;无纺布-白纸双层袋未对成熟期果皮中花色苷含量产生显著影响的原因,可能与果袋透光率和袋内温度双重环境因素的变化有关。

花色苷的合成与积累受多个转录因子和结构基因的协同调控。已有研究表明,MYBA 类转录因子与果皮中花色苷合成密切相关^[8, 35],CHS、F3H、DFR、LDOX、UFGT 等结构基因也在调控果实着色方面发挥着重要的作用^[22, 36]。本研究发现,在葡萄果实生长发育后期(套袋后 40~60 d),除白色纸袋外,其他果袋对 MYBA1 基因的表达主要表现为抑制作用,这与其他果树上的研究结果较为相似^[37-38];对于结构基因而言,除套袋处理 60 d 时白色纸袋促进了 DFR 和 LDOX 基因的上调表达、无纺布-白纸双层袋促进了 F3'H、DFR 和 UFGT 的上调表达外,其他处理对于果实发育后期相关基因的表达主要表现为抑制作用,这与总花色苷含量的

测定结果基本吻合。尤其对于无纺布-白纸双层袋而言,成熟期果皮中花色苷含量与对照间并不存在显著差异,这可能与 F3'H、DFR 和 UFGT 三个基因在处理果皮中的上调表达有关。

综上所述,套袋处理未对‘紫金红霞’葡萄果实单果重和果型指数产生显著影响,但不利于果实可溶性固形物含量和果实色泽指数的提高;不同类型果袋可通过抑制花色苷合成相关基因的表达,进而阻碍果皮中花色苷的合成。套袋处理虽对果实内在品质和着色产生了一定的不利影响,但却有利于果面光洁度和整体外观品质的提高。综合分析认为由于无纺布-白纸双层袋对成熟期果实综合品质影响最小,因此可作为‘紫金红霞’葡萄套袋的优先选择;其次是白色和绿色纸袋;而由于蓝色和棕色果袋对果实综合品质产生了较大的不利影响,因此不适用于该品种果实套袋。

参考文献:

[1] 联合国粮食及农业组织. <http://www.fao.org/statistics/zh>. 2019.
Food and Agricultural Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/statistics/zh>. 2019.

[2] 高燕会, 黄春红, 朱玉球, 等. 植物花青素苷生物合成及调控的研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2012, 32(8): 94-99.
GAO Y H, HUANG C H, ZHU Y Q, *et al.* Progress on plant anthocyanin biosynthesis and regulation[J]. *China Biotechnology*, 2012, 32(8): 94-99.

[3] 李惠清, 杨航宇, 陈为凯, 等. 不同品种染色葡萄转色期花色苷积累的差异性研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(9): 140-147.
LI H Q, YANG H Y, CHEN W K, *et al.* Difference of anthocyanins accumulation in different varieties of teinturier grapes at veraison [J]. *China Brewing*, 2018, 37(9): 140-147.

[4] 丁云龙, 张斌斌, 严娟, 等. 桃树体不同部位果实着色差异及其与环境因子的关系研究[J]. 西北植物学报, 2019, 39(4): 660-668.
DING Y L, ZHANG B B, YAN J, *et al.* Study on difference of peach fruit coloring and relationship with environmental factors in different tree canopy position[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, 39(4): 660-668.

[5] MARTINSEN B K, AABY K, SKREDE G. Effect of temperature on stability of anthocyanins, ascorbic acid and color in strawberry and raspberry jams[J]. *Food Chemistry*, 2020, 316: 126 297.

[6] AN J P, ZHANG X W, BI S Q, *et al.* The ERF transcription factor MdERF38 promotes drought stress-induced anthocyanin biosynthesis in apple[J]. *The Plant Journal*, 2020, 101(3): 573-589.

[7] 于森, 刘海峰, 王军. ABA 对葡萄花色苷合成相关基因表达的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(1): 29-35.
YU M, LIU H F, WANG J. Effects of ABA on expression of genes related to anthocyanin biosynthesis in grapevine[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(1): 29-35.

[8] 李芳菲, 王莎, 谷世超, 等. 叶面喷施 ABA 和 PDJ 对‘巨峰’葡萄果实着色及品质的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(3): 362-370.
LI F F, WANG S, GU S C, *et al.* Effects of foliar application of ABA and PDJ on the coloration and quality of ‘Kyoho’ grape berry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(3): 362-370.

[9] ZHANG K K, LIU Z J, GUAN L, *et al.* Changes of anthocyanin component biosynthesis in ‘summer black’ grape berries after the red flesh mutation occurred[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(35): 9 209-9 218.

[10] 魏永赞, 胡福初, 郑雪文, 等. 光照对荔枝果实着色和花色苷生物合成影响的分子机制研究[J]. 园艺学报, 2017, 44(7): 1 363-1 370.
WEI Y Z, HU F C, ZHENG X W, *et al.* The molecular mechanism of the impacts of illumination on Litchi fruit coloration and anthocyanin biosynthesis[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2017, 44(7): 1 363-1 370.

[11] 孙欣, 韩键, 房贵, 等. 葡萄浆果着色分子机理的重要研究进展[J]. 植物生理学报, 2012, 48(4): 333-342.
SUN X, HAN J, FANG J G, *et al.* Important research pro-

gress of coloring molecular mechanisms in grape berry[J]. *Plant Physiology Journal*, 2012, **48**(4): 333-342.

[12] KOBAYASHI S, ISHIMARU M, HIRAOKA K, *et al.* Myb-related genes of the Kyoho grape (*Vitis labruscana*) regulate anthocyanin biosynthesis[J]. *Planta*, 2002, **215**(6): 924-933.

[13] DELUC L, BARRIEU F, MARCHIVE C, *et al.* Characterization of a grapevine R2R3-MYB transcription factor that regulates the phenylpropanoid pathway[J]. *Plant Physiology*, 2006, **140**(2): 499-511.

[14] 邵建辉, 马春花, 祖艳群, 等. 转色初期喷施 BTH 对‘红地球’葡萄着色和果实品质的影响[J]. *果树学报*, 2017, **34**(12): 1 556-1 565.

SHAO J H, MA C H, ZU Y Q, *et al.* Effects of BTH application at veraison on berry coloration and quality of ‘Red Globe’ berries[J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, **34**(12): 1 556-1 565.

[15] 任俊鹏, 李小红, 董瑞奇, 等. 环剥和脱落酸处理对‘夏黑’葡萄果实着色及相关基因表达的影响[J]. *果树学报*, 2013, **30**(6): 968-974.

REN J P, LI X H, DONG R Q, *et al.* Effect of girdling and ABA treatment on fruit quality and peel coloring of ‘Summer Black’ grape[J]. *Journal of Fruit Science*, 2013, **30**(6): 968-974.

[16] 徐献斌, 李 慧, 耿晓月, 等. ABA 信号通路对葡萄果皮花青苷生物合成的调控机制研究[J]. *西北植物学报*, 2021, **41**(3): 406-415.

XU X B, LI H, GENG X Y, *et al.* Regulation mechanism of ABA pathway genes on anthocyanin biosynthesis in grape skins[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(3): 406-415.

[17] ZHOU H, KUI L W, WANG H L, *et al.* Molecular genetics of blood-fleshed peach reveals activation of anthocyanin biosynthesis by NAC transcription factors[J]. *The Plant Journal*, 2015, **82**(1): 105-121.

[18] KARAJEH M R. Pre-harvest bagging of grape clusters as a non-chemical physical control measure against certain pests and diseases of grapevines[J]. *Organic Agriculture*, 2018, **8**(3): 259-264.

[19] 楚燕杰. 果实套袋提高鲜食葡萄质量[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 1999,(2): 24-25.

CHU Y J. Bagging improve the quality of table grapes[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 1999,(2): 24-25.

[20] 蒯传化, 刘三军, 杨朝选, 等. 套袋葡萄日灼病的发生与防治[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2009,(9): 27-30.

KUAI C H, LIU S J, YANG C X, *et al.* Occurrence and control of grapes sun-burn with bagging[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2009,(9): 27-30.

[21] KIRAN A S, KAVITHA C, SOORIANATHASUNDARAM K, *et al.* Impact of fruit bagging with different coloured non-woven polypropylene bags on yield attributes in grapes[J]. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 2020, **39**(4): 359-362.

[22] 张 雷, 贾 玥, 王继源, 等. 套袋对‘美人指’葡萄花色苷组分及合成相关基因表达的影响[J]. *果树学报*, 2014, **31**(6): 1 032-1 039.

ZHANG L, JIA Y, WANG J Y, *et al.* Effects of bagging on anthocyanins component and biosynthetic genes expression in ‘Manicule finger’ grape[J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, **31**(6): 1 032-1 039.

[23] 刘笑宏, 肖秋红, 孙永江, 等. 两种叶幕类型‘摩尔多瓦’葡萄套袋果实花色苷代谢的差异[J]. *园艺学报*, 2018, **45**(3): 457-470.

LIU X H, XIAO Q H, SUN Y J, *et al.* Difference of bagged ‘Moldova’ grapes’ anthocyanin metabolism for two trellis systems[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, **45**(3): 457-470.

[24] 马瑞娟, 张斌斌, 蔡志翔, 等. 不同类型果袋对霞光油桃果实品质的影响[J]. *江苏农业学报*, 2012, **28**(3): 627-631.

MA R J, ZHANG B B, CAI Z X, *et al.* Effect of different bags on fruit quality of Xiguang nectarine[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, **28**(3): 627-631.

[25] AMIRI M E, FALLAHI E, PARSEH S. Application of ethephon and aba at 40% veraison advanced maturity and quality of ‘beidaneh ghermez’ grape [J]. *Acta Horticulturae*, 2010, (884): 371-377.

[26] JIA H R, ZHANG Z B, ZHANG S H, *et al.* Effect of the methylation level on the grape fruit development process[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, **68**(7): 2 099-2 115.

[27] 王小青, 韩 键, 文 杨, 等. 呈色机制不同的桃叶片花色素苷积累及合成相关基因表达的季节性差异[J]. *南京农业大学学报*, 2016, **39**(6): 924-931.

WANG X Q, HAN J, WEN Y, *et al.* Seasonal difference in the expression pattern of genes related to anthocyanin accumulation and biosynthesis in leaves of peach with different coloration modes[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, **39**(6): 924-931.

[28] JEONG S T, GOTO-YAMAMOTO N, KOBAYASHI S, *et al.* Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape berry skins[J]. *Plant Science*, 2004, **167**(2): 247-252.

[29] 柳巧祺, 席 奔, 孙艳丽, 等. 外源 6-BA 对葡萄果实花色苷含量及相关基因表达的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2019, **47**(2): 112-118.

LIU Q Z, XI B, SUN Y L, *et al.* Effects of exogenous 6-BA on anthocyanin content and expression of related genes in grape berry[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2019, **47**(2): 112-118.

[30] 郭 亮, 郑辉艳, 曾 蓓, 等. 套袋对葡萄果实品质的影响[J]. *湖南农业科学*, 2015,(5): 65-67.

GUO L, ZHENG H Y, ZENG B, *et al.* Effects of bagging on berry quality of grape[J]. *Hunan Agricultural Sciences*,

2015,(5): 65-67.

[31] 任晨琛,任俊鹏,陶建敏. 不同套袋处理对美人指葡萄果实生长的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, **30**(1): 178-183.
REN C C, REN J P, TAO J M. Impact of bagging on fruit growth of Manicure finger grape[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2014, **30**(1): 178-183.

[32] 查倩,奚晓军,和雅妮,等. 套袋对鲜食葡萄‘沪培1号’果实品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2019,(2): 54-57.
ZHA Q, XI X J, HE Y N, *et al.* The effect of bagging on the quality of table grape ‘Hupei 1’[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2019,(2): 54-57.

[33] PLUNKETT B J, HENRY-KIRK R, FRIEND A, *et al.* Apple B-box factors regulate light-responsive anthocyanin biosynthesis genes[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: 17 762.

[34] AN J P, LIU Y J, ZHANG X W, *et al.* Dynamic regulation of anthocyanin biosynthesis at different light intensities by the BT2-TCP46-MYB₁ module in apple[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2020, **71**(10): 3 094-3 109.

[35] MATUS J T, CAVALLINI E, LOYOLA R, *et al.* A group of grapevine MYBA transcription factors located in chromosome 14 control anthocyanin synthesis in vegetative organs with different specificities compared with the berry color locus[J]. *The Plant Journal*, 2017, **91**(2): 220-236.

[36] 王倩兰,李慧,郑焕,等. 红肉葡萄果实发育过程中花青苷组分变化与基因表达规律分析[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(4): 648-659.
WANG Q L, LI H, ZHENG H, *et al.* Analysis of anthocyanin compositions and gene expression in red-flesh grape during the berry development[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, **39**(4): 648-659.

[37] BAI S L, TUAN P A, SAITO T, *et al.* Epigenetic regulation of MdMYB₁ is associated with paper bagging-induced red pigmentation of apples[J]. *Planta*, 2016, **244**(3): 573-586.

[38] 崔雯,李玉阔,方金豹,等. 软枣猕猴桃果肉花色苷关键光响应调节因子 AaMYB1 的筛选[J]. 果树学报, 2020, **37**(3): 301-312.
CUI W, LI Y K, FANG J B, *et al.* Screening of anthocyanin-related key light-response transcription factor AaMYB1 in *Actinidia arguta* [J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, **37**(3): 301-312.

(编辑:裴阿卫)

《西北植物学报》2020 年审稿专家名单
(以姓氏笔画为序)

于澄宇	王军卫	王军辉	王得祥	韦毅刚	甘立军	叶绍明	田惠桥	冯自力	巩振辉	吕德国
朱仁斌	朱月林	朱华	朱咏华	乔玉山	庄静	刘文哲	刘占林	刘西平	刘冰	刘志鹏
刘保东	刘培亮	孙广玉	孙玉合	苏旭	杜峰	杜雄明	杨洪强	杨清	李玉红	李世清
李英	李忠虎	李周岐	李彦	李钱峰	李秧秧	李得孝	李登科	李韬	吴卫	吴振海
邱全胜	何兴金	沈世华	张飞雄	张文辉	张吉宇	张宏利	张宪春	张硕新	张鲁刚	张福生
陈兴福	陈坤明	陈贵林	陈素梅	陈勤	陈鹏	林金水	林雁冰	罗建	岳明	金效华
於丙军	单卫星	房经贵	赵建成	赵继新	郝建锋	胡永红	胡银岗	洪棋斌	贺军民	秦峰
钱前	徐炎	高志奎	郭守玉	郭晓思	唐明	黄康	曹建国	盛仙永	常朝阳	康永祥
阎侃	梁文裕	梁国华	梁振昌	董娟娥	程金凤	谢树莲	赖钟雄	雍洪军	蔡霞	廖文波
黎星辉	黎斌	上官周平	买买提明·苏来曼							

以上为《西北植物学报》2020 年的审稿专家,感谢一年来在百忙之中为本刊把好学术质量关,在此特向专家们致以最诚挚的谢意,还望在今后的岁月中继续支持学报的工作。