

巨玫瑰葡萄不同日灼敏感物候期及日灼进程果实形态学与相关组分差异研究

秦镜植¹, 李群贤¹, 何思婷¹, 梁雲珍¹, 范旭园¹, 黄泳碧¹, 钟挺威¹,
何建军², 白扬³, 朱秀梅³, 韩佳宇⁴, 白先进⁴, 王博^{1*}

¹广西大学农学院, 南宁 530004; ²广西特色作物研究院, 广西桂林 541004;

³广西真诚农业有限公司, 南宁 530007; ⁴广西农业科学院, 南宁 530007)

摘要:【目的】探索巨玫瑰葡萄不同物候期日灼敏感差异的生理机制及不同日灼进程的果实形态学与相关组分变化。【方法】以一年两收栽培巨玫瑰葡萄夏果和冬果两个生长季各物候期的果实为试材, 采用强光高温加热灯对果实进行人工诱导日灼处理, 测定其发生日灼时的表面阈值温度和诱导一定时间后的日灼发生率, 确定巨玫瑰葡萄不同物候期的日灼敏感性。观察和测定不同日灼敏感物候期的葡萄果实正常果以及不同日灼进程果实的解剖结构、总酚含量及矿质元素含量。【结果】一年两收栽培下巨玫瑰葡萄的夏果与冬果日灼较敏感的物候期均为 E-L 31-32 时期, 相同人工诱导时间处理后冬果的日灼发生率显著低于夏果。日灼不敏感期(E-L 36)较日灼敏感期(E-L 31-32)的果实表皮细胞更大、角质层更平滑、排列更紧密整齐、淀粉粒更少。同时, 日灼不敏感物候期中 K、Ca、Mg 元素含量均显著高于日灼敏感物候期, 而总酚含量显著低于日灼敏感物候期, 冬果中 K、Ca 元素含量显著高于夏果, 而 N、P 元素含量显著低于夏果。在人工诱导果实日灼进程中, 重度日灼果中 N、P、K、Ca 和 Mg 元素的含量均显著高于正常果。【结论】巨玫瑰葡萄在两收栽培模式下, 夏果和冬果对日灼较敏感时期均为 E-L 31-32 时期, 且冬果在一定程度上日灼敏感性低于夏果。巨玫瑰葡萄在不同物候期对日灼的敏感性也存在差异, 这与果实解剖结构的蜡质层和表皮细胞壁特性、果实中的总酚含量有关, 同时, 日灼敏感性也与果实中 K、Ca 元素含量呈负相关, 与 N、P 元素含量呈正相关。因此, 在生产上预防巨玫瑰葡萄日灼可考虑在其日灼敏感物候期(E-L 31-32)前增施 K、Ca 肥。

关键词: 巨玫瑰葡萄; 两收栽培; 日灼进程; 日灼敏感性

中图分类号: S663.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2024)06-1135-15

Study on the differences of fruit morphology and related components of Jumeigui grape in different sunburn sensitive phenophases and sunburn processes

QIN Jingzhi¹, LI Qunxian¹, HE Siting¹, LIANG Yunzhen¹, FAN Xuyan¹, HUANG Yongbi¹, ZHONG Tingwei¹, HE Jianjun², BAI Yang³, ZHU Xiumei³, HAN Jiayu⁴, BAI Xianjin⁴, WANG Bo^{1*}

¹College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China; ²Guangxi Special Crop Research Institute, Guilin 541004, Guangxi, China; ³Guangxi Zhencheng Agriculture Co., Ltd., Nanning 530007, Guangxi, China; ⁴Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China)

Abstract: 【Objective】Sunburn occurs in the vineyard as the result of a combination of high-light intensities, high temperature and UV radiation. Grape sunburn causes brown spots on the surface of the fruits, and the fruits shrink and wilt, which greatly reduces the quality and yield of the fruits and affects the economic income. Under the climatic conditions of high temperature and strong light in Guangxi, some grape varieties under the two-harvest-a-year cultivation mode have serious sunburn phenomena. Here, in order to enrich the mechanism of grape sunburn and provide theoretical basis for preven-

收稿日期: 2024-01-24 接受日期: 2024-04-08

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-29-22); 广西自然科学基金项目(2023GXNSFBA026047); 大学生创新创业训练计划项目(202310593068)

作者简介: 秦镜植, 男, 在读本科生, 研究方向为果树栽培生理与品质调控。E-mail: qinjingzhi2020@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: wangbo0127@163.com

tion and control of the sunburn in production, we explored the differences in sunburn sensitivity and sunburn process between summer and winter fruits of Jumeigui grape under two-harvest cultivation modes. **【Methods】** From April to December 2022, in the grape planting base of Guangxi Zhencheng Agriculture Co., Ltd., Nanning, Guangxi, the berries of Jumeigui grape in different phenological periods of summer fruit and winter fruit under two-harvest-a-year cultivation modes were used as test materials. The sunburn of Jumeigui grapes in each phenological period was artificially induced by high-light and high-temperature heating lamp. The sunburn induction was stopped when the corresponding sunburn traits occurred on the berries. For each sampling phenological period, the threshold temperature on the surface of Jumeigui grapes was determined when the sunburn occurred and the incidence of sunburn berries was calculated after induction for a certain period of time. By comparing the incidence of the sunburn berries and the threshold temperature of sunburn, the typical sunburn sensitive and insensitive phenological periods of Jumeigui were determined. In the typical sunburn sensitive and insensitive phenological periods of the summer and winter fruits of Jumeigui, the paraffin section method was used to make sections and hematoxylin staining was used to study the anatomical structure of the berries during the different sunburn processes, namely “Normal berries”, “Berries under sunburn induction for 6 min”, “Light sunburn berries” and “Severe sunburn berries”. Meanwhile, the content of total phenols in the fruits was determined by Folin-Ciocalteu method, and the results were expressed as gallic acid equivalent (GAE), the content of N in the fruits was determined by flow analyzer, and the content of P, K, Ca and Mg was determined by inductively coupled plasma emission spectrometer. The difference significance analysis and basic trait discussion were carried out for the above indicators. **【Results】** The more sensitive phenological period of sunburn both for the summer fruits and winter fruits of Jumeigui grape under two-harvest-a-year cultivation were E-L 31-32 period, and the threshold temperature of sunburn was about 41.1 °C. The incidence of the sunburn berries in the winter fruits was significantly lower than that in the summer fruits after the same artificial sunburn induction time. In the anatomical structure of the fruits, compared with the sunburn sensitive period (E-L 31-32), the fruits in the sunburn insensitive period (E-L 36) had larger epidermal cells, smoother cuticle, more closely arranged cells, and less starch granules. Compared with the sunburn sensitive phenological period, the total phenol content of the fruits in the sunburn insensitive phenological period decreased significantly by 36.11%, and the contents of K, Ca and Mg of the fruit in the sunburn insensitive phenological period increased significantly by 22.97%, 51.58% and 56.22% respectively. Compared with summer fruits, the contents of K and Ca in the winter fruits increased significantly by 23.66% and 31.68% respectively, while the contents of N and P decreased significantly by 364.14% and 24.99%. In addition, the contents of N, P, K, Ca and Mg in severely sunburned fruits were significantly higher than those in the normal fruits during the sunburn process of artificially induced fruits. **【Conclusion】** Under the two-harvest-a-year cultivation, the sunburn sensitive period of both summer fruit and winter fruit of Jumeigui was E-L 31-32, and the resistance of the winter fruits to sunburn was better than that of the summer fruits to a certain extent. The sensitivity of Jumeigui grape to sunburn at different phenological stages was also different, which was related to the characteristics of wax layer and epidermal cell wall in the fruit anatomical structure and the total phenol content in fruits. At the same time, the sunburn sensitivity was also negatively correlated with K and Ca contents in the fruits, and positively correlated with N and P contents. Therefore, in order to prevent the sunburn of Jumeigui grape in production, application of K and Ca fertilizers before the sunburn sensitive phenological period (E-L 31-32) should be considered.

Key words: Jumeigui grape; Double harvest cultivation; Sunburn process; Sunburn sensitivity

葡萄果实日灼在世界范围的产区均有发生^[1-3]。在澳大利亚日灼降低了酿酒葡萄5%~15%的总产量^[4],智利日灼敏感葡萄品种中40%的果串会出现日灼损伤^[5]。在我国广西高温强光的气候条件下,一年两收栽培的两季葡萄部分品种果实也存在较严重的日灼现象^[6-7]。葡萄发生日灼后,果实表面出现褐色斑点,严重时果实皱缩萎蔫,极大地降低了果实的品质和产量^[3,8]。从葡萄果实日灼发生规律来看,日灼敏感性存在品种间差异^[9-11],Rustioni等^[12]比较了20个白色葡萄品种在去除表皮蜡质后用人工照明(LED)照射离体果实的日灼敏感性,根据保护Chl免受光降解的能力将20个品种分为不同敏感类型。Webb等^[13]研究表明,Viognier、Pinot Noir、Semillon和Shiraz日灼危害严重,但Grenache、Pinot Gris和Sauvignon Blanc的日灼危害较轻。同时,不同发育阶段的葡萄果实对日灼敏感性也有差异,但关于日灼最敏感发育期尚未有一致的研究结果^[6,14],范旭园等^[15]还发现不同葡萄品种日灼最敏感的物候期也存在差异。而关于品种间和不同发育阶段的葡萄日灼敏感性差异的机制尚不明确。

谢兆森等^[16]发现葡萄果实发生日灼后细胞壁变厚,细胞壁物质含量增加,果皮细胞从外向内逐渐死亡,部分果实内周缘维管束中的木质部导管发生断裂,使果实的运输和保护功能下降。植物在光、温胁迫下,体内会积累活性氧,此时总酚含量会逐渐增加^[17-18]。在遭受日灼侵害的果实中,酚类物质的积累可以清除自由基,同时作为氧化底物成为褐变产物,使果皮成为褐色,导致葡萄果实出现褐化、萎蔫的日灼症状^[19]。同时,果实中矿质养分含量对果实的日灼发生也有直接或间接的影响。胡柚和宫川日灼果、沃柑日灼果皮和脐橙日灼果实的果皮和果肉中N含量均显著高于正常果,沃柑和脐橙日灼果皮中

K含量显著低于正常果^[20-22]。黄小云^[6]发现阳光玫瑰葡萄冬果日灼果实中N、P、K、Ca、Mg含量均显著高于正常果。周咏梅等^[7]发现Ca处理有利于保护细胞膜结构,减少高温胁迫对葡萄的伤害,葡萄果实中较高的Ca含量能减轻日灼的发生程度。

笔者基于一年两收栽培两季果不同的气候条件,以人工诱导巨玫瑰葡萄不同物候期果实日灼为技术手段,研究日灼发生差异规律以及不同日灼敏感物候期、不同日灼进程下果实解剖结构、总酚含量和矿质元素含量的变化,为葡萄日灼发生差异及机制研究提供参考,并为生产栽培上防控日灼的发生提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于2022年4—12月在广西南宁广西真诚农业有限公司葡萄种植基地进行,以一年两收栽培模式下5BB为砧木嫁接的6年生巨玫瑰葡萄夏果、冬果为试验材料,棚架大棚避雨栽培,树形为“H”形,南北行向,株行距为4 m × 6 m,土肥水管理一致,统一按照常规一年两收栽培管理。人工诱导日灼所用装置为强光高温加热灯(275 W, 220 V, 45 × 1000 lx, 嘉兴蓝巨星电器科技有限公司生产)。

1.2 试验方法

随机选取长势一致、生长健壮、无病虫害的巨玫瑰葡萄树10株。参照Coombe^[23]物候期划分标准(表1),在夏果和冬果的E-L 31-32(超过E-L 31时期但尚未达到E-L 32时期)、E-L 33、E-L 34、E-L 36和E-L 38等5个物候期开展试验。每个物候期在选出的10株树上各随机选取28穗果,参考张建光等^[24]在苹果上的日灼诱导处理方法对葡萄果穗进行人工诱导日灼处理,即在距离果穗20 cm处用强光高温加

表1 采样的物候期划分标准

Table 1 The division standard of sampling phenological period

物候期 Phenological period	E-L时期 Stages in E-L system	特征 Feature
果穗即将封穗期 Beginning stage of bunch closure	E-L 31-32	浆果直径大于7 mm但尚未封穗 Berries with the diameter greater than 7 mm, before bunch closure when the berries do not touch each other
第一次膨大期 First expansion stage	E-L 33	浆果仍硬、绿色 Berries still hard and green
软化期 Berry softening period	E-L 34	浆果开始软化,糖度开始提升 Berries begin to soften, Brix starts increasing
转色后期 Late veraison	E-L 36	浆果完全转色,糖度达到中等值 Berries with intermediate Brix values medium equivalent
成熟期 Harvest	E-L 38	浆果成熟度达到采收要求 Berries harvest-ripe

热灯对果穗进行照光加热处理,以果实表面出现白色水渍状为果穗出现日灼的症状表现。其中3穗葡萄用于果实发生日灼时表面阈值温度的测定,5穗葡萄用于人工诱导日灼处理后日灼发生率的测定,20穗葡萄用于人工诱导日灼处理进程中果实的解剖结构观察以及矿质元素含量、总酚含量测定。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 不同物候期葡萄果实发生日灼时的表面阈值温度测定 分别于夏果和冬果的上述5个物候期各选取3穗巨玫瑰葡萄果实进行人工诱导日灼处理。在每穗果的上、中、下随机选取5个果粒,在人工诱导日灼处理过程中用德力西872红外线测温仪(德力西电器公司生产)测定果粒表面温度,在日灼发生时(即果实表面出现白色水渍状时)记录果粒的表面温度,每粒果为1个重复,每处理共15个重复。

1.3.2 不同物候期葡萄果实的日灼发生率测定 分别于夏果和冬果巨玫瑰葡萄的上述5个物候期中各选取5穗葡萄果实进行人工诱导日灼处理,分别于人工诱导日灼处理10 min(此时部分品种在部分物候期未发生日灼)和人工诱导日灼处理20 min(此时所有品种在所有物候期均发生日灼)记录每穗果上日灼果粒发生的数量,并统计果穗的日灼发生率,日

灼发生率/%=(日灼果粒/总果粒数)×100。每穗果为1个重复,共5个重复。

1.3.3 不同物候期及日灼进程葡萄果实相关生理指标的测定 (1)样品采集。基于巨玫瑰葡萄冬果和夏果不同物候期的日灼发生阈值温度和日灼发生率的试验结果,判断巨玫瑰葡萄冬果和夏果日灼敏感的物候期,选取典型的日灼敏感(E-L 31-32)和日灼不敏感(E-L 36)两个时期进行后续试验。根据预试验结果将人工诱导日灼处理的果实分为4种不同日灼进程(图1),描述详见表2。对于正常果和诱导处理6 min果,于每穗果的上、中、下各随机采2~3粒果实,每处理共90粒果;对于轻度日灼果和重度日灼果,待日灼表面积完成占果粒相应总表面积时马上采样(此处人工日灼处理的时间或有不同,仅根据日灼症状的状态进行采样),每穗果采集果粒4~5粒,每处理共90粒。其中,每处理的不同日灼进程的各30粒果用于果实解剖结构观察,30粒果用于总酚含量测定,30粒果用于矿质元素含量测定。

(2)不同物候期及日灼进程葡萄果实解剖结构观察。对人工诱导日灼处理后不同日灼进程的各30粒葡萄果实进行果实解剖结构观察。正常果切取果粒中间部位,诱导处理6 min果、轻度日灼果和



A. 正常果;B. 诱导处理 6 min 果;C. 轻度日灼果;D. 重度日灼果。

A. Normal fruit; B. 6 min of sunburn induction fruit; C. Light sunburn fruit; D. Severe sunburn fruit.

图1 日灼诱导处理后不同日灼进程的葡萄

Fig. 1 Grapes with different sunburn processes after sunburn induction treatment

表2 日灼诱导处理后不同日灼进程的划分标准

Table 2 Division criteria of different sunburn processes after sunburn induction treatment

果实分类 Pseudocarps	日灼进程 Sunburn process
正常果 Normal fruit	无处理 No treatment
诱导处理6 min 果 6 min of sunburn induction fruit	开始人工诱导日灼处理但还未开始发生日灼的果实 Berries that were artificially induced of sunburn but had not yet occurred sunburn
轻度日灼果 Light sunburn fruit	日灼表面积占果粒总表面积1/4的果实 Berries with sunburn surface area accounting for 1/4 of the total surface area of fruit grains
重度日灼果 Severe sunburn fruit	日灼表面积占果粒总表面积3/4的果实 Berries with sunburn surface area accounting for 3/4 of the total surface area of fruit grains

重度日灼果切取果实日灼部位。用双面刀片切取厚度为0.5 cm左右带有果皮和果肉的小块,参考黄小云^[6]采用石蜡切片法制作切片,苏木精染色,光学显微镜200×(Nikon Eclipse Ni-E,日本尼康)下观察结果并拍摄显微照片,每粒果观察5个视野,并利用Photoshop 2020软件对照图片标尺分析评估角质层厚度、亚表皮细胞和表皮细胞长度及宽度,每个指标的每幅图片随机选择相应部位4次重复。

(3)不同物候期及日灼进程葡萄果实总酚含量的测定。将不同日灼进程的葡萄果实各30粒放入液氮中带回实验室,放入-80 °C冰箱中保存。采用福林酚法(Folin-Ciocalteu)并加以改动测定果实总酚含量,结果以没食子酸当量(gallic acid equivalent, GAE)表示^[25-26]。每10粒果为1个生物学重复,3次重复。

(4)不同敏感物候期及日灼进程葡萄果实矿质元素含量的测定。将不同日灼进程的各30粒葡萄果实带回实验室,使用干净的毛巾将其表面擦拭干净,放入105 °C烘箱中杀青2 h,85 °C烘干保存。参考王松^[27]的方法进行果实矿质元素含量的测定。每10粒果为1个生物学重复,3次重复。

1.4 统计分析

使用Origin 2022制作柱状图,使用Photoshop

CS 6进行图片的图版设计,使用SPSS 23.0进行差异显著性分析。

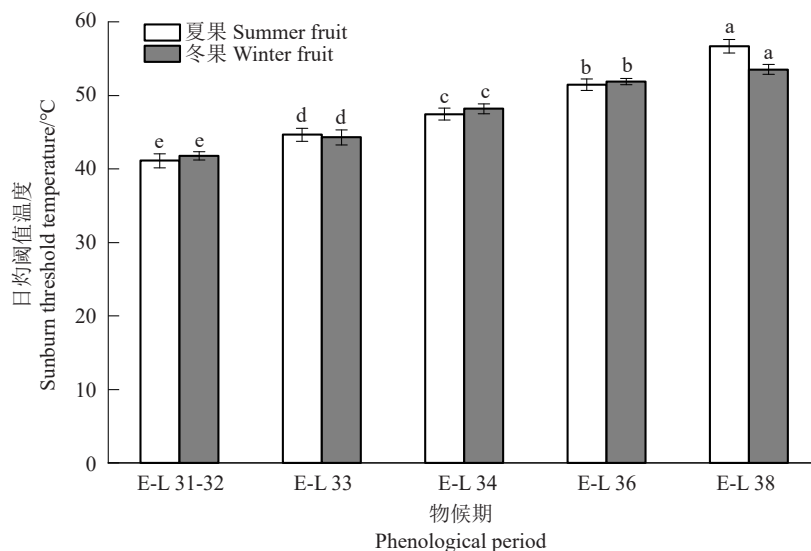
2 结果与分析

2.1 巨玫瑰葡萄夏果和冬果果实人工诱导处理后发生日灼的阈值温度

图2所示为夏果与冬果各物候期巨玫瑰葡萄在人工诱导日灼处理下果实发生日灼时的表面阈值温度变化情况。果面阈值温度反映出不同物候期果实对日灼的敏感程度。巨玫瑰葡萄夏果和冬果各物候期果实发生日灼的表面阈值温度变化趋势一致,均为E-L 31-32时期,在果面温度达到41.4 °C时果实即发生日灼,其后日灼发生阈值温度逐渐升高,在E-L 38时期果实表面温度达到55.1 °C时果实才发生日灼,表明巨玫瑰葡萄夏果和冬果在E-L 31-32时期对日灼最敏感,在果实发育后期(E-L 33~E-L 38时期)对日灼较不敏感。同时,各物候期夏果和冬果发生日灼时的表面阈值温度之间均没有显著性差异。

2.2 巨玫瑰葡萄夏果和冬果果实不同人工诱导时长的日灼发生率

图3为巨玫瑰葡萄夏果和冬果各物候期人工诱导日灼处理10 min和20 min果实的日灼发生率变化。巨玫瑰葡萄夏果和冬果在E-L 31-32时期人工



不同小写字母表示不同物候期差异显著性($p < 0.05$)。*表示相同物候期夏果和冬果的差异显著性($p < 0.05$),无*表示没有显著性差异。下同。
Different small letters indicate significant differences in different phenological periods within the same season ($p < 0.05$). * represents the difference between summer fruit and winter fruit in the same phenological period ($p < 0.05$), and if there is no asterisk (*) in the figure, there is no significant difference between the treatments among all the sampling phenophases. The same below.

图2 人工诱导日灼处理下巨玫瑰葡萄夏果与冬果果实发生日灼的表面阈值温度

Fig. 2 The threshold of surface temperature of sunburn of summer fruit and winter fruit of Jumeigui grape under artificial induced sunburn treatment

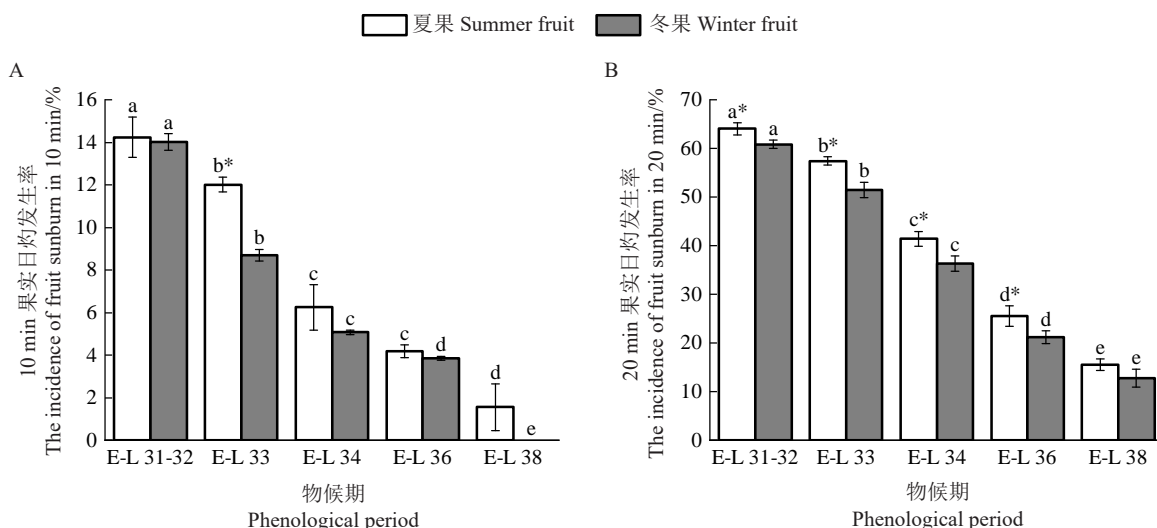


图 3 人工诱导 10 min 和 20 min 后巨玫瑰葡萄夏果、冬果不同物候期果实日灼发生率

Fig. 3 The incidence of fruit sunburn of Jumeigui grape in different phenological periods of summer fruit and winter fruit were induced by artificial induction for 10 min and 20 min

诱导日灼处理 10 min 和 20 min 后果实的日灼发生率最高,分别为 14.12%和 62.44%,其后日灼发生率逐渐降低,在 E-L 38 时期最低,表明巨玫瑰在 E-L 31-32 时期对日灼最敏感。值得注意的是,在人工诱导日灼处理 20 min 后,除 E-L 38 时期外的其他各物候期,冬果的日灼发生率均显著低于夏果。

2.3 不同日灼敏感期巨玫瑰葡萄夏果和冬果果实的解剖结构差异

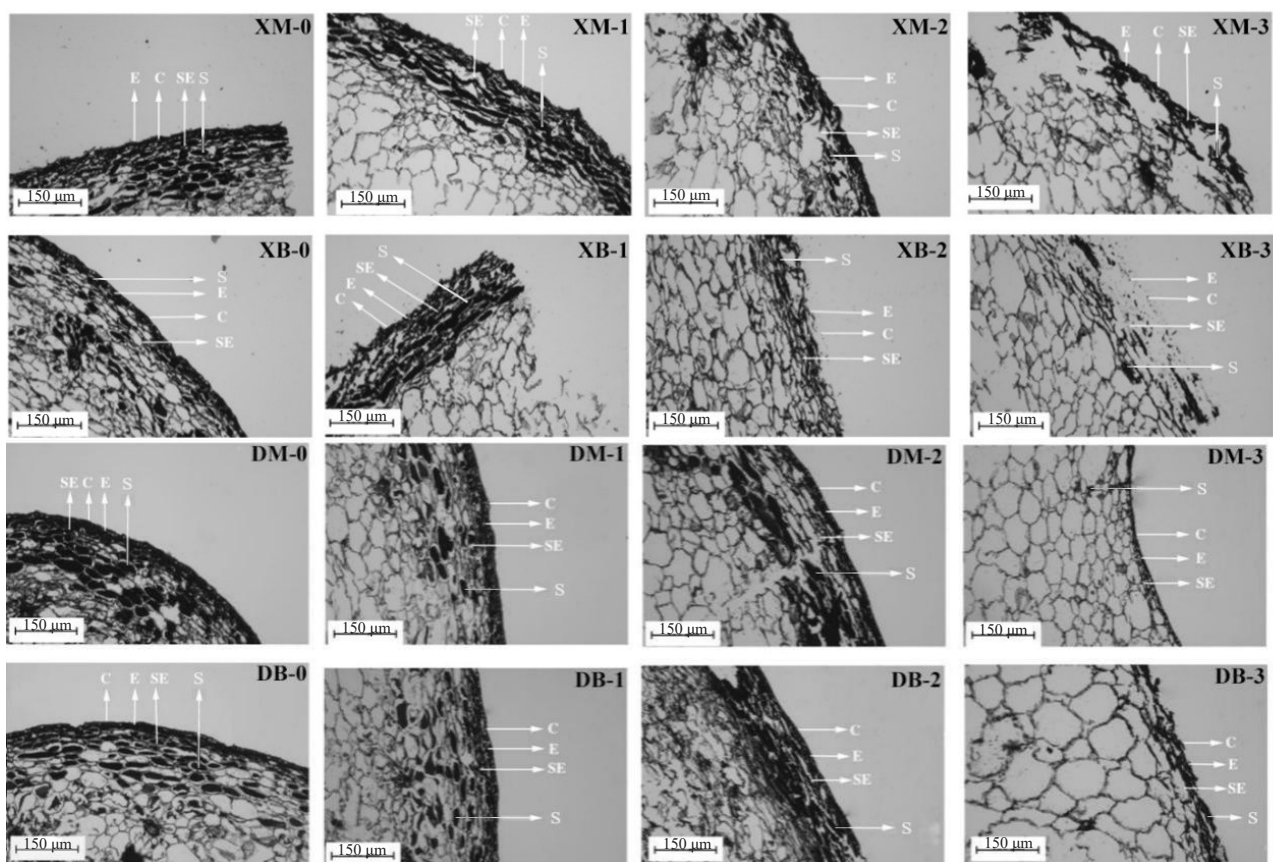
根据各物候期人工诱导日灼处理发生日灼的阈值温度,以及诱导一定时间后的日灼发生率判断各物候期日灼发生的敏感度,选取巨玫瑰葡萄日灼敏感的典型物候期 E-L 31-32 时期和日灼不敏感的典型物候期 E-L 36 时期进行解剖结构差异研究。图 4 为巨玫瑰夏果和冬果日灼敏感和不敏感期人工诱导日灼处理下不同日灼进程果实解剖结构的变化情况。表 3、表 4 为巨玫瑰夏果和冬果不同日灼进程解剖结构的描述性参数。从夏果和冬果的日灼敏感和日灼不敏感物候期的正常果对比均可发现,日灼敏感物候期正常果(XM-0)的部分角质层不平滑,表皮细胞小,亚表皮细胞大,细胞排列较整齐,表皮和亚表皮细胞层之间的界限较为模糊,细胞中淀粉粒较多。而日灼不敏感物候期正常果(XB-0)的角质层平滑,表皮细胞和亚表皮细胞均较大、排列紧密整齐,细胞层之间界限清晰,细胞中淀粉粒较少。不敏感时期果实的角质层厚度、亚表皮细胞长度、亚表皮细胞宽度和表皮细胞宽度均显著大于敏感时期果实,

夏果中依次分别增大了 5.80、15.55、4.08、10.63 μm ,冬果中依次分别增大了 4.79、7.04、5.72、5.20 μm 。

此外,人工诱导日灼发生进程中,正常果的角质层、表皮和亚表皮细胞排列整齐,随着日灼的发生角质层逐渐发生分离,表皮细胞和亚表皮细胞结构变为扁平状,出现排列不整齐、松散无序现象,在夏果人工诱导 6 min 时(XM-1、XB-1)果实的角质层、表皮细胞和亚表皮细胞出现明显凹凸不平的现象,淀粉粒逐渐向外部细胞移动,细胞结构明显扁平化,而在冬果人工诱导 6 min 时(DM-1、DB-1)则此类现象较轻。值得注意的是,在人工诱导轻度日灼时,夏果外部细胞(XM-2、XB-2)已逐渐发生断裂、溃烂和散乱等现象,而冬果(DM-2、DB-2)淀粉粒外移、细胞分界模糊、结构扁平等现象才逐渐加重,此情况在 DB-2 上症状最浅。随着日灼进程的加深,果实内部细胞进一步扩大化、空心化,外部细胞扁平化至一条线、细胞内部结构逐渐紊乱,淀粉粒逐渐外移消失。到严重日灼果时,各细胞角质层极薄甚至断裂,而表皮细胞中也发生较多断裂和消失,亚表皮细胞逐渐解体,实质细胞变得非常紊乱。

2.4 不同日灼进程巨玫瑰葡萄夏果和冬果果实的总酚含量差异

分别测定巨玫瑰葡萄夏果和冬果不同日灼敏感物候期各日灼进程的果实中总酚含量,如图 5 所示。巨玫瑰日灼敏感物候期的正常果、日灼诱导 6 min 果和重度日灼果的总酚含量均显著高于日灼



X. 巨玫瑰夏果;D. 巨玫瑰冬果;M. 巨玫瑰日灼敏感物候期;B. 巨玫瑰日灼不敏感物候期;0、1、2、3. 正常果、诱导日灼处理 6 min 果、轻度日灼果和重度日灼果;C. 角质层;E. 表皮细胞;SE. 亚表皮细胞;S. 淀粉粒。

X. The summer fruit of Jumeigui; D. The winter fruit of Jumeigui; M. The sunburn sensitive phenological period of Jumeigui; B. The sunburn insensitive phenological period of Jumeigui; 0-3. Normal berries, berries under sunburn induction for 6 min, light sunburn berries and severe sunburn fruit respectively; C. Stratum corneum; E. Epidermal cells; SE. Subepidermal cells; S. Starch grains.

图 4 巨玫瑰不同日灼进程葡萄果实的解剖结构

Fig. 4 Anatomical structure of grape berries with different sunburn process of Jumeigui grape

表 3 巨玫瑰夏果不同日灼进程果实表皮解剖结构特征

Table 3 Characteristics of the skin of the Jumeigui with different sunburn levels during summer harvest

参数 Parameter/ μm	日灼进程 Sunburn process							
	XM-0	XM-1	XM-2	XM-3	XB-0	XB-1	XB-2	XB-3
角质层厚度 Cuticle thickness	6.74 \pm 2.89	7.83 \pm 2.65	8.14 \pm 2.77	6.08 \pm 2.06	12.54 \pm 1.81*	12.14 \pm 1.86*	9.41 \pm 2.04	4.41 \pm 1.18
亚表皮细胞长度 Subepidermal cell length	18.20 \pm 2.38	18.95 \pm 4.82	29.63 \pm 3.39	13.36 \pm 9.75	33.75 \pm 4.90*	32.10 \pm 4.90	45.13 \pm 2.39*	-
亚表皮细胞宽度 Subepidermal cell width	7.17 \pm 2.45	8.65 \pm 4.60	7.77 \pm 0.92	1.72 \pm 2.44	11.25 \pm 3.18*	8.83 \pm 3.18	6.78 \pm 1.26	-
表皮细胞长度 Epidermal cell length	23.28 \pm 7.38	31.12 \pm 2.88	36.11 \pm 4.75	-	26.93 \pm 6.56	34.32 \pm 2.65	39.10 \pm 3.54	56.58 \pm 8.98
表皮细胞宽度 Epidermal cell width	10.70 \pm 1.18	12.63 \pm 3.44	12.10 \pm 2.86	8.61 \pm 6.13	21.33 \pm 2.98*	19.49 \pm 3.35	9.74 \pm 1.35	8.20 \pm 1.03

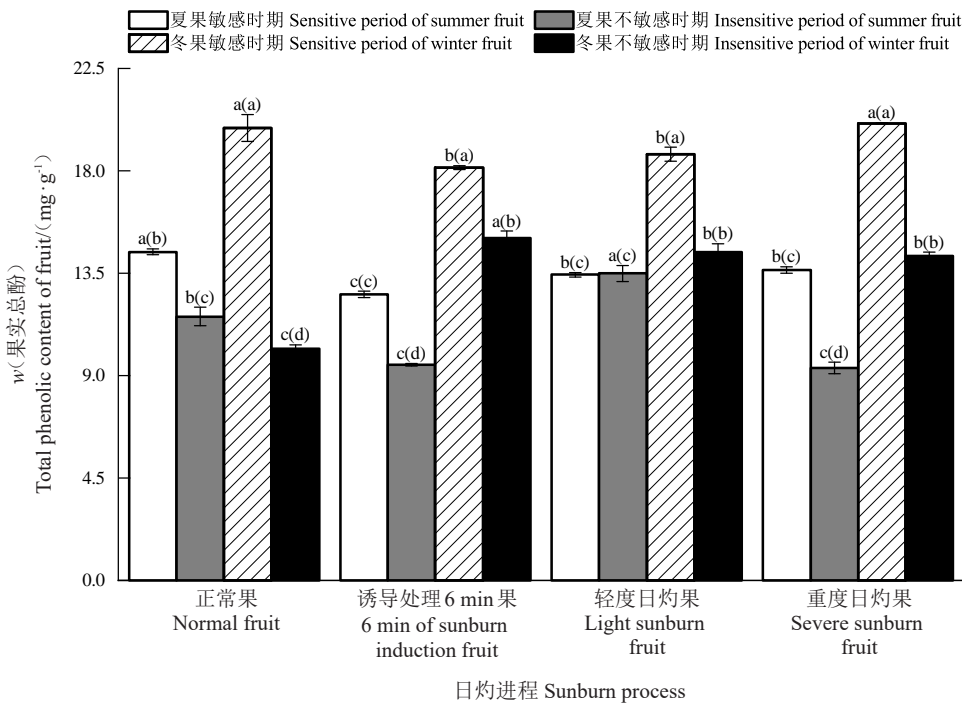
注:*表示相同日灼进程不同物候期差异显著性($p < 0.05$)。-表示组织已破坏,无法采集数据。下同。

Note: * indicates that there are significant differences in different phenological periods of the same sunburn process ($p < 0.05$). - Indicates that the organization has been destroyed and data cannot be collected. The same below.

表 4 巨玫瑰冬果不同日灼进程果实表皮解剖结构特征

Table 4 Characteristics of the skin of the Jumeigui with different sunburn levels during winter harvest

参数 Parameter/ μm	日灼进程 Sunburn process							
	DM-0	DM-1	DM-2	DM-3	DB-0	DB-1	DB-2	DB-3
角质层厚度 Cuticle thickness	5.01±1.75	6.75±0.87	5.92±0.90	3.45±0.62	9.80±1.95*	8.79±1.20*	6.34±1.49	5.07±1.37
亚表皮细胞长度 Subepidermal cell length	14.83±3.79	16.39±0.82	25.03±4.21	19.70±1.66	21.87±0.56*	22.96±3.69*	23.91±2.47	26.51±2.20*
亚表皮细胞宽度 Subepidermal cell width	6.30±0.72	7.62±1.22	5.61±1.58	4.30±1.57	12.02±1.16*	6.35±0.81	5.52±0.54	4.58±0.42
表皮细胞长度 Epidermal cell length	22.88±3.03	28.46±7.32	37.48±5.53	28.17±0.50	28.30±1.57	38.83±5.44	40.76±5.53	67.67±12.13*
表皮细胞宽度 Epidermal cell width	9.00±0.65	9.95±2.28	11.26±0.63	8.52±1.05	14.20±1.89*	11.23±1.97	10.05±0.98	11.57±4.53



括号外不同小写字母表示同一物候期不同日灼进程间差异显著性($p < 0.05$); 括号内不同小写字母表示相同日灼进程不同敏感物候期差异显著性($p < 0.05$)。下同。

Different small letters indicate that there are significant differences between different sunburn processes in the same phenological period ($p < 0.05$); different small letters in brackets indicate that there are significant differences in different sensitive phenological periods of the same sunburn process ($p < 0.05$). The same below.

图 5 两收栽培不同日灼进程巨玫瑰葡萄果实总酚含量的变化

Fig. 5 Changes of total phenolic content in Jumeigui grape fruit under different sunburn processes in two-harvest-a-year cultivation

不敏感物候期, 夏果中依次分别提高了 24.53%、32.60%、46.07%, 冬果中依次分别提高了 95.19%、20.53%、40.79%。从不同人工诱导日灼进程中果实总酚含量的变化来看, 巨玫瑰葡萄夏果敏感期总酚含量于诱导 6 min 时下降后上升; 在夏果不敏感期总酚含量在诱导 6 min 时下降后上升, 在重度日灼时下降, 冬果敏感期总酚含量于诱导 6 min 时下降

后逐渐上升, 冬果不敏感期总酚含量于诱导 6 min 时上升后逐渐下降。

2.5 不同日灼进程巨玫瑰葡萄夏果和冬果果实的矿质元素含量变化差异

2.5.1 不同日灼进程巨玫瑰葡萄夏果和冬果的氮元素含量变化差异 图 6 为巨玫瑰葡萄夏果和冬果不同日灼敏感物候期各日灼进程果实中氮元素含量。

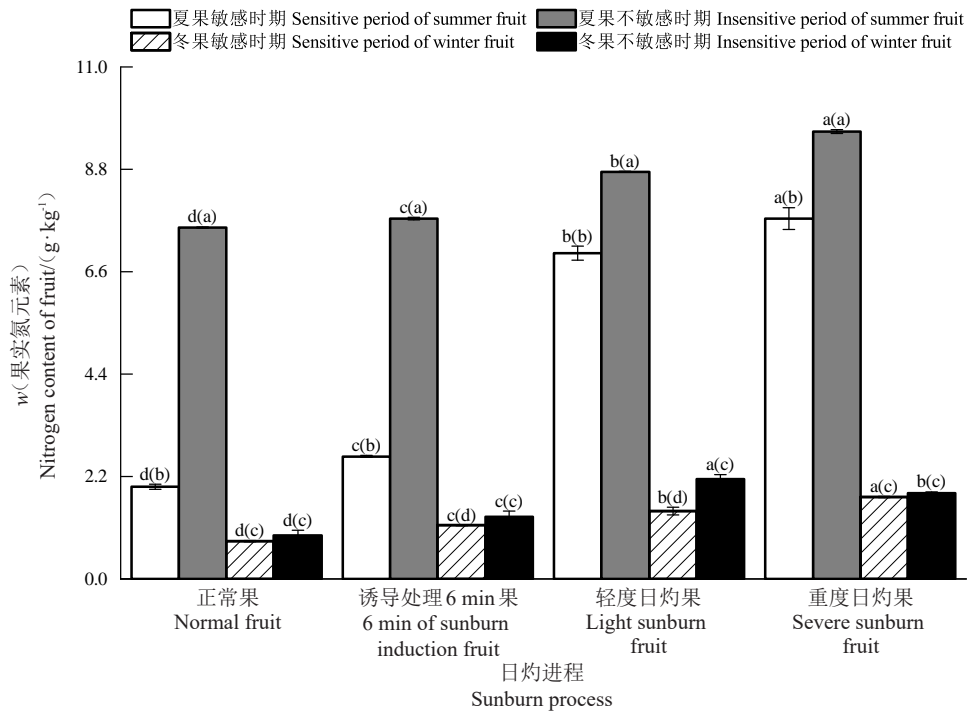


图6 两收栽培不同日灼进程巨玫瑰葡萄果实氮元素含量的变化

Fig. 6 Changes of nitrogen content in Jumeigui grape fruit under different sunburn processes in two-harvest-a-year cultivation

从不同敏感期氮元素含量看,巨玫瑰葡萄夏果日灼不敏感物候期正常果中氮元素含量为 $7.52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于日灼敏感时期的 $1.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,在6 min日灼果实、轻度日灼果实和重度日灼果实中也表现出相同的差异趋势,冬果的6 min日灼果实、轻度日灼果实也有同样的差异趋势。夏果的氮元素含量均显著高于相应物候期相应日灼进程冬果。从不同日灼进程果实中氮元素含量变化趋势看,巨玫瑰葡萄夏果和冬果日灼敏感和不敏感物候期的果实的氮元素含量随着日灼的发生而升高。

2.5.2 不同日灼进程巨玫瑰葡萄夏果和冬果的磷元素含量变化差异 图7为巨玫瑰葡萄夏果和冬果不同日灼敏感物候期各日灼进程果实中磷元素含量。从不同敏感期磷元素含量看,巨玫瑰葡萄夏果日灼敏感物候期正常果、6 min日灼果实、轻度日灼和重度日灼果中磷元素含量均显著高于日灼不敏感物候期,分别高出 0.19 、 0.41 、 0.57 和 $0.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,但是冬果日灼敏感物候期正常果、6 min日灼果和重度日灼果的磷元素含量却显著低于日灼不敏感物候期,分别低了 0.25 、 0.15 和 $0.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。夏果敏感物候期的磷元素含量均显著高于相应物候期相应日灼进程冬果。从不同日灼进程果实中磷元素变化

趋势看,巨玫瑰葡萄夏果和冬果在日灼敏感物候期的磷元素含量随着日灼的发生而升高,在日灼不敏感物候期磷元素含量变化不大。

2.5.3 不同日灼进程巨玫瑰葡萄夏果和冬果的钾元素含量变化差异 图8为巨玫瑰葡萄夏果和冬果不同日灼敏感物候期各日灼进程果实中钾元素含量。从不同敏感期钾元素含量看,巨玫瑰葡萄夏果和冬果日灼敏感物候期各日灼进程的果实中的钾元素含量范围为 $12.32 \sim 13.37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,均显著低于日灼不敏感物候期($15.59 \sim 16.17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。此外,冬果敏感物候期和不敏感物候期的正常果、日灼诱导6 min果和重度日灼果中钾元素含量均显著高于夏果。从不同日灼进程果实中钾元素含量变化趋势看,巨玫瑰葡萄夏果日灼敏感物候期钾元素含量随着日灼进程呈先升高后在重度日灼时下降;冬果日灼敏感期钾元素含量随着日灼进程先升高后下降,在重度日灼时升高;在夏果日灼不敏感物候期钾元素含量在日灼进程中变化不大,冬果日灼不敏感物候期钾元素含量在诱导6 min时升高后保持不变。

2.5.4 不同日灼进程巨玫瑰葡萄夏果和冬果的钙元素含量变化差异 图9为巨玫瑰葡萄夏果和冬果不同日灼敏感物候期各日灼进程果实中钙元素含量。

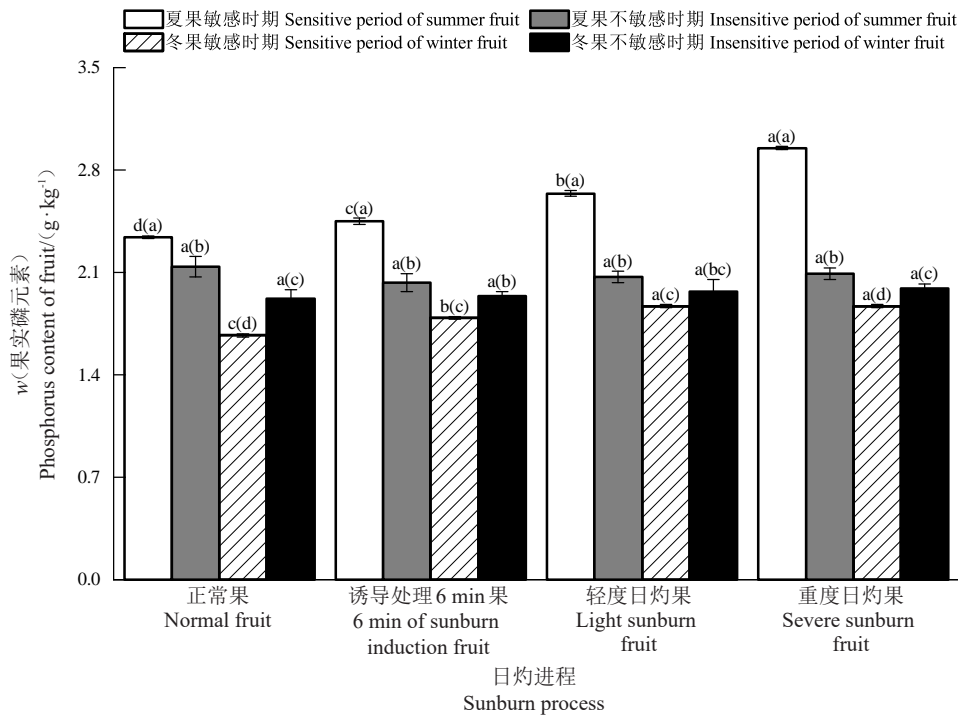


图 7 两收栽培不同日灼进程巨玫瑰葡萄果实磷元素含量的变化

Fig. 7 Changes of phosphorus content in Jumeigui grape fruit under different sunburn processes in two-harvest-a-year cultivation

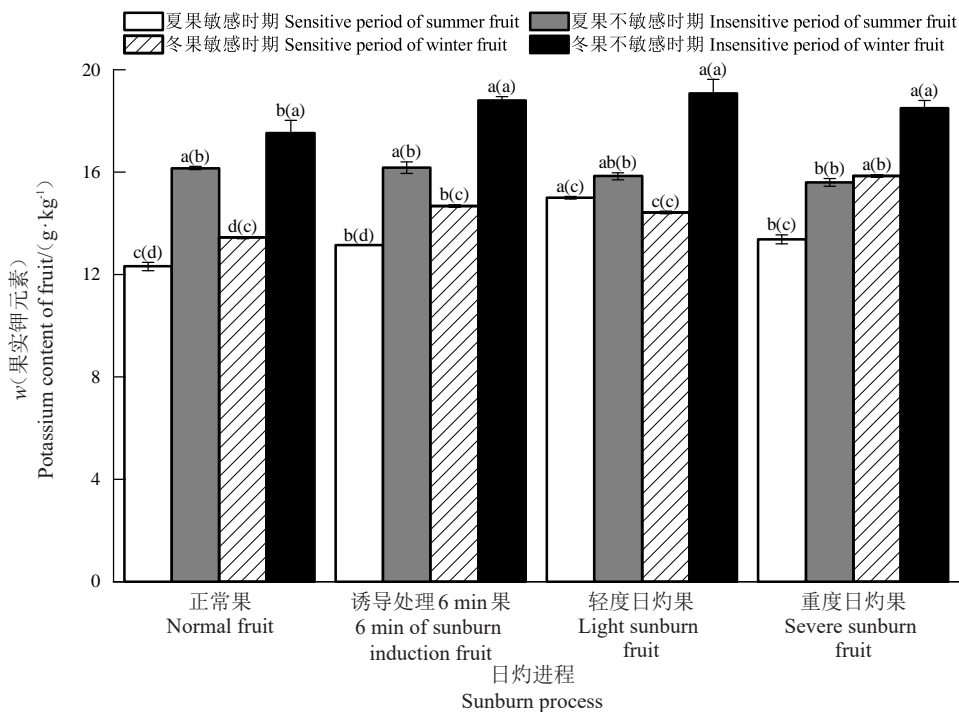


图 8 两收栽培不同日灼进程巨玫瑰葡萄果实钾元素含量的变化

Fig. 8 Changes of potassium content in Jumeigui grape fruit under different sunburn processes in two-harvest-a-year cultivation

从不同敏感期的正常果钙元素含量看,巨玫瑰葡萄夏果和冬果日灼不敏感物候期的果实中钙元素含量显著高于日灼敏感物候期,在日灼敏感物候期冬果

的钙元素含量比相应日灼进程的夏果分别高4.72、5.00、6.03和4.09 g·kg⁻¹。从不同日灼进程果实中钙元素含量变化趋势看,巨玫瑰葡萄夏果敏感期钙元

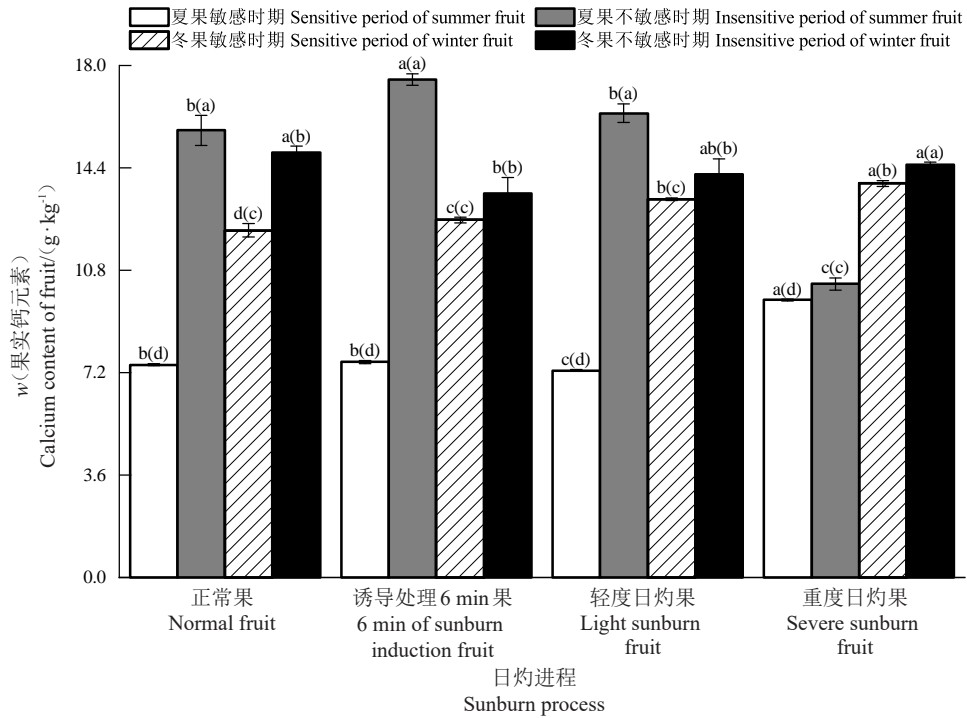


图 9 两收栽培不同日灼进程巨玫瑰葡萄果实钙元素含量的变化

Fig. 9 Changes of calcium content in Jumeigui grape fruit under different sunburn processes in two-harvest-a-year cultivation

素含量在重度日灼时显著升高,夏果不敏感期钙元素含量先升高后逐渐下降,冬果敏感期钙元素含量随着日灼进程逐渐升高,冬果不敏感期钙元素含量

呈先下降后升高的变化趋势。

2.5.5 不同日灼进程巨玫瑰葡萄夏果和冬果的镁元素含量变化差异 图 10 为巨玫瑰葡萄夏果和冬果

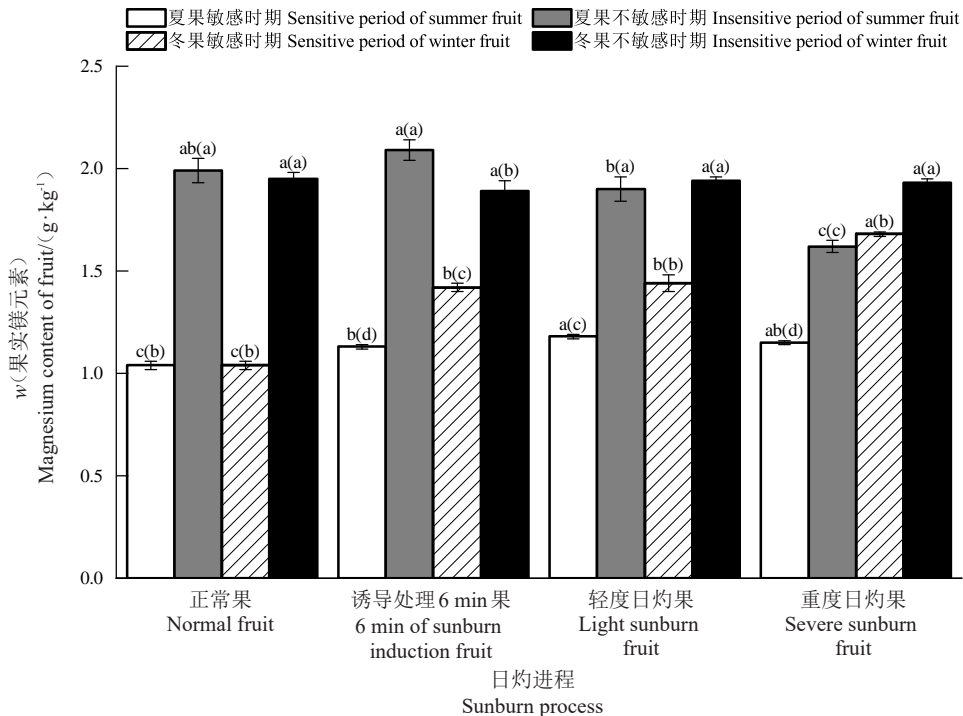


图 10 两收栽培不同日灼进程巨玫瑰葡萄果实镁元素含量的变化

Fig. 10 Changes of magnesium content in Jumeigui grape fruit under different sunburn processes in two-harvest-a-year cultivation

不同日灼敏感物候期各日灼进程果实中镁元素含量。从不同敏感期的正常果镁元素含量看,巨玫瑰葡萄夏果日灼不敏感物候期各日灼进程的果实中镁元素含量为 $1.62\sim 2.09\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著高于日灼敏感物候期($1.04\sim 1.18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),同样,冬果中日灼不敏感物候期各日灼进程的果实中镁元素含量也显著高于日灼敏感物候期。从不同日灼进程果实中镁元素含量变化趋势看,巨玫瑰葡萄夏果和冬果日灼敏感物候期果实的镁元素含量随着日灼进程逐渐升高,夏果日灼不敏感物候期果实的镁元素含量随着日灼进程呈先上升后下降的趋势,而冬果日灼不敏感物候期镁元素含量在日灼进程中差异不大。

3 讨 论

3.1 巨玫瑰葡萄夏果和冬果发育期果实日灼敏感性变化规律

葡萄果实对日灼的敏感度与葡萄发育期有关^[1],Gouot等^[28]发现果实在发育早期有更高的热敏感度。国内也有很多报道称葡萄果实日灼多发生在果实膨大期或快速膨大期^[14,29-30]。但研究发现Semillon品种果实发育过程中转色后期日灼发生较严重^[13,31-32]。葡萄果实对日灼的敏感性可能与叶绿素和光保护色素的比例有关,随着果实的发育,他们的比例逐渐降低,抗日灼能力随之下降^[1]。此外,在果实发育的早期阶段存在类似叶片的自身光保护机制,随着果实的发育,这种能力逐渐丧失^[33]。而日灼敏感性在转色前后存在差异可能与转色后花色苷含量的变化有关^[34]。在本研究中,巨玫瑰葡萄夏果和冬果发育各物候期的日灼敏感性变化规律较一致,均在果实发育前期即E-L 31-32时期对日灼最敏感,在E-L 33至E-L 38时期相对不敏感。值得注意的是,在相同人工诱导处理条件下,相对于夏果而言,冬果日灼发生程度更轻一些,可见发育期的环境条件对葡萄果实本身的日灼敏感性也存在一定影响。

3.2 巨玫瑰葡萄夏果和冬果不同日灼敏感物候期果实形态学与相关组分差异

不同发育时期的日灼敏感性与细胞结构特点有关。果实上的表皮蜡可以通过散射、反射甚至吸收光辐射,从而降低底层组织的暴露水平以降低果实受光和热胁迫的影响。研究表明,板状、平滑的蜡晶体比不定形蜡能反射和散射更高比例的光^[35]。此外,葡萄较厚的表皮蜡质层和较厚的细胞壁具有更

强的光反射能力,同时,较厚的表皮也增加了花青素和黄酮醇的积累^[36-38]。笔者在本研究中发现,与日灼不敏感期相比,日灼敏感期葡萄果皮角质层上的蜡质层更不平滑,同时,果实表皮和亚表皮细胞较小,因此表皮较薄,光反射能力和贮藏抗氧化活性物质的能力也较差,故对日灼更为敏感。而另一方面,从物理学角度看,比热容大的物质升温慢,果实细胞内细胞液的主要成分为水,比热容大于淀粉^[39]。笔者在本研究中发现,日灼敏感期葡萄果实表皮和亚表皮细胞中淀粉粒较多,在相同日灼处理下淀粉粒较多会导致果实升温较快,因此更易发生日灼。

酚类是植物抗氧化系统中的重要代谢物,在果实上表皮、皮下组织和角质层中积累,因为其可以吸收太阳辐射带来的部分光能和紫外线,他们被植物组织用作光保护剂,从而构成植物抵御光胁迫的第一道防线^[1]。葡萄果实中的酚类物质具有抗氧化作用,在抑制蛋白质及脂质的氧化、减少 H_2O_2 的形成、抑制抗氧化酶系统表达及清除自由基等方面均发挥一定的作用^[40]。在本研究中,冬果日灼发生率比夏果低,其总酚含量在各日灼进程中均显著高于夏果。这可能与夏果和冬果发育期的气候差异促进果实的酚类合成有关^[41],酚类物质含量的增加在一定程度上提高了冬果的抗日灼能力。

葡萄果实中酚类物质含量与矿质元素含量有关^[42],在很多果树中也报道了果实中矿质元素含量与日灼敏感性有关,Ca元素与中胶层果胶质形成钙盐,能够提高果实的抗逆性^[21]。周咏梅等^[7]发现Ca处理有利于保护细胞膜结构,减少高温胁迫对葡萄的伤害。高志键等^[43]也发现经钙处理后果实的日灼发生率较对照显著降低。在本研究中,日灼不敏感期夏果与冬果中K、Ca元素含量均显著高于日灼敏感物候期,说明K、Ca元素含量的增加和累积在一定程度上提高了果实对日灼的抗性和日灼阈值温度,从而降低了果实日灼的发生率。同时也发现在日灼较敏感的夏果中,K、Ca元素含量均显著低于日灼较不敏感的冬果,均与前人报道的K、Ca含量与日灼抗性呈正相关的结果较一致。此外,笔者在本研究中还发现,日灼不敏感期夏果与冬果中Mg含量显著高于日灼敏感物候期,日灼相对较敏感的夏果日灼敏感物候期的N、P元素含量高于冬果,说明果实中Mg元素含量也与果实日灼抗性呈正相关,而N、P元素含量与果实日灼抗性呈负相关。

3.3 巨玫瑰葡萄夏果和冬果日灼进程之间的差异

在果实日灼进程中,果面高温和强太阳辐射可引起果实表皮、下表皮细胞的代谢紊乱,导致细胞内活性氧分子大量积累,并使细胞膜损伤,进一步导致细胞结构的改变和果实的损伤^[17]。谢兆森等^[16]发现,葡萄果实发生日灼后果皮组织结构被破坏,由外至内1~3层细胞均显著缩小,细胞失水破裂。随着日灼的发生,果实内淀粉粒逐渐分解,细胞从外向内逐渐死亡。在本研究中的巨玫瑰葡萄夏果和冬果中均发现,日灼进程中细胞结构的变化趋势一致,果实表皮、次表皮和果肉组织对日灼进行应答反应,内部物质通过沉积和转移来抵抗外界日灼的影响,果实的角质层由微裂纹变得光滑,之后逐渐变薄、断裂,表皮和亚表皮细胞逐渐塌陷和扁平化,内部细胞形成空洞,外部细胞向外层积,以此来抵御日灼对葡萄果实的危害,这与前人研究结果一致。

日灼发生后氧化聚合酚类物质积累可导致果实表皮颜色发生改变,且可提高浆果的耐日灼能力,增强对过量辐射的抵抗能力^[3]。酚类化合物在果实中的积累受到果实环境变化的强烈调控^[44]。Liu等^[18]研究发现,石榴日灼时果皮中总酚含量随日灼程度的加重而增加。在本研究中,对巨玫瑰葡萄果实进行人工诱导日灼处理后,葡萄果实的总酚含量在夏果和冬果日灼敏感期的日灼进程中均表现为先下降后显著上升的趋势,这与范旭园等^[15]的研究一致。说明葡萄果实在遭受日灼后,体内的总酚含量增加以增强果实的抗氧化作用,从而应对日灼给葡萄果实带来的氧化反应和活性氧增加所造成的伤害。

在很多果树中报道了日灼发生过程中果实矿质元素含量会发生显著变化。胡艺帆等^[21]发现,沃柑日灼果果皮的K含量显著高于正常果,这可能与K离子浓度调节渗透压、影响果实内部水分分布和物质合成,间接影响果实对日灼的抵抗能力有关。同时,日灼是一种光热胁迫反应^[44-45],在受到光热影响后,果实会增强蒸腾作用而产生水分胁迫,使果实K、Ca、Mg等元素和物质积累以抵御日灼^[46-47],王建华等^[20]发现,柑橘日灼果N、K元素含量显著高于正常果。笔者在本研究中发现,两物候期中夏果与冬果的重度日灼果中N、P、K、Ca和Mg元素的含量与正常果相比均显著上升,这些矿质元素含量的升高可能在一定程度上提高了果实对日灼的抵抗能力。

4 结 论

巨玫瑰在两收栽培模式下,夏果和冬果的日灼敏感期一致,均为E-L 31-32时期,但夏果较冬果更敏感。此外,巨玫瑰葡萄在不同物候期和生长期对日灼的敏感性也存在差异,这与果实的解剖结构中蜡质层和表皮细胞壁中的特性有关,也与果实中的总酚、K、Ca含量密切相关,建议生产上预防巨玫瑰葡萄日灼可考虑在果实的敏感物候期(E-L 31-32)前适当增施K、Ca、Mg肥。

参考文献 References:

- [1] GAMBETTA J M, HOLZAPFEL B P, STOLL M, FRIEDEL M. Sunburn in grapes: A review[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 11: 604691.
- [2] RUSTIONI L, ALTOMARE A, SHANSHIASHVILI G, GRECO F, BUCCOLIERI R, BLANCO I, COLA G, FRACASSETTI D. Microclimate of grape bunch and sunburn of white grape berries: Effect on wine quality[J]. *Foods*, 2023, 12(3): 621.
- [3] 王浩, 杜远鹏, 高振. 葡萄日灼病发生机理研究进展[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2021(6): 84-89.
WANG Hao, DU Yuanpeng, GAO Zhen. Research progress on occurrence mechanism of grape sunburn[J]. *Sino- Overseas Grapevine & Wine*, 2021(6): 84-89.
- [4] GREER D H, ROGIERS S Y, STEEL C C. Susceptibility of Chardonnay grapes to sunburn[J]. *Vitis*, 2006, 45: 147-148.
- [5] CALDERÓN-ORELLANA A, STEPKE I S, PUENTES P. Golpe de sol en uva para vino en el valle de Itata: Más de lo esperado[J]. *Boletín Del Vinos Sur*, 2018, 2: 3-4.
- [6] 黄小云. ‘阳光玫瑰’葡萄冬果日灼发生规律及防治研究[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
HUANG Xiaoyun. Study on the regularity of occurrence and prevention of sunburn in winter fruits of ‘Shine Muscat’ grape[D]. Nanning: Guangxi University, 2020.
- [7] 周咏梅, 谢太理, 林玲, 黄羽, 韦荣福. 钙处理对巨峰葡萄夏果日灼病发生率及品质的影响[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(5): 754-757.
ZHOU Yongmei, XIE Taili, LIN Ling, HUANG Yu, WEI Rongfu. Effects of calcium treatment on sunscald incidence and quality in summer fruits of Kyoho grape[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(5): 754-757.
- [8] MUNNÉ-BOSCH S, VINCENT C. Physiological mechanisms underlying fruit sunburn[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2019, 38(2): 140-157.
- [9] 李小红, 王鹏, 吕中伟, 蒯传化, 刘启山, 艾建东. 河南省葡萄日灼病发生情况调查及原因分析[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2012(6): 46-48.
LI Xiaohong, WANG Peng, LÜ Zhongwei, KUAI Chuanhua,

- LIU Qishan, AI Jiandong. Investigation and cause analysis of grape sunburn in Henan province[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2012(6):46-48.
- [10] 刘建福,蒋建国,汤青林. 梨果日灼病的发生规律及其预防[J]. *中国南方果树*, 2002, 31(2):51-52.
- LIU Jianfu, JIANG Jianguo, TANG Qinglin. Occurrence regularity and prevention of pear sunburn[J]. *South China Fruits*, 2002, 31(2):51-52.
- [11] 蒯传化,陈勇朋. 葡萄日灼病的发生与防治[J]. *果农之友*, 2020(6):27-29.
- KUAI Chuanhua, CHEN Yongpeng. Occurrence and control of grape sunburn[J]. *Fruit Growers' Friend*, 2020(6):27-29.
- [12] RUSTIONI L, MILANI C, PARISI S, FAILLA O. Chlorophyll role in berry sunburn symptoms studied in different grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 185: 145-150.
- [13] WEBB L, WHITING J, WATT A, HILL T, WIGG F, DUNN G, NEEDS S, BARLOW E W R. Managing grapevines through severe heat: A survey of growers after the 2009 summer heatwave in south-eastern Australia[J]. *Journal of Wine Research*, 2010, 21(2/3):147-165.
- [14] 邓学林,胡漂浩. 葡萄日灼病的发生与防治[J]. *新疆林业*, 2021(2):37-38.
- DENG Xuelin, HU Jinghao. Occurrence and control of grape sunburn[J]. *Forestry of Xinjiang*, 2021(2): 37-38.
- [15] 范旭园,黄泳碧,谭茗月,白扬,韩佳宇,张延晖,廖原,白先进,王博. 不同物候期人工诱导葡萄果实日灼的相关研究[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2023(5):48-53.
- FAN Xuyuan, HUANG Yongbi, TAN Mingyue, BAI Yang, HAN Jiayu, ZHANG Yanhui, LIAO Yuan, BAI Xianjin, WANG Bo. Study on sunburn induced by different phenology of grape fruit[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2023(5):48-53.
- [16] 谢兆森, Bhaskar. 日灼对酿酒葡萄‘霞多丽’果实品质与解剖结构的影响[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(1):68-76.
- XIE Zhaosen, Bhaskar. Impacts of sunburn on the anatomical structure and quality of Chardonnay grape berry[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, 38(1):68-76.
- [17] RACSKO J, SCHRADER L E. Sunburn of apple fruit: Historical background, recent advances and future perspectives[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2012, 31(6):455-504.
- [18] LIU C Y, SU Y, LI J Y, JIA B T, CAO Z, QIN G H. Physiological adjustment of pomegranate pericarp responding to sunburn and its underlying molecular mechanisms[J]. *BMC Plant Biology*, 2022, 22(1):169.
- [19] 卢立媛, 尤文忠, 刘振盼, 刘广平, 李仁浩, 白云松, 陈喜忠, 孙阳. 北方落叶果树果实日灼病研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(5):26-30.
- LU Liyuan, YOU Wenzhong, LIU Zhenpan, LIU Guangping, LI Renhao, BAI Yunsong, CHEN Xizhong, SUN Yang. Research progress on fruit sunscald of northern deciduous fruit trees[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(5):26-30.
- [20] 王建华. 柑橘果实日灼病与主要矿质元素含量关系的分析[J]. *浙江柑橘*, 2020, 37(3):15-17.
- WANG Jianhua. Analysis of the relationship between citrus fruit sunburn and the content of main mineral elements[J]. *Zhejiang Citrus*, 2020, 37(3):15-17.
- [21] 胡艺帆, 葛聪聪, 李凤琪, 邱发发, 黄世炎, 韦杰, 黄桂香. 沃柑日灼果皮结构和生理生化指标观测分析[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(8):2220-2226.
- HU Yifan, GE Congcong, LI Fengqi, QIU Fafa, HUANG Shiyuan, WEI Jie, HUANG Guixiang. Observation and analysis of pericarp structure, physiological and biochemical indexes of sunburn orah[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(8):2220-2226.
- [22] 杨梅, 李延红, 付艺萍, 刘桂东, 魏清江, 米兰芳, 周高峰. 从养分状况角度解析纽荷尔脐橙日灼果的形成机制[J]. *江西农业学报*, 2023, 35(6):30-38.
- YANG Mei, LI Yanhong, FU Yiping, LIU Guidong, WEI Qingjiang, MI Lanfang, ZHOU Gaofeng. Study on formation mechanism of ‘Newhall’ navel orange fruit sunburn based on nutrient status[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2023, 35(6):30-38.
- [23] COOMBE B G. Growth stages of the grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages[J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1995, 1(2):104-110.
- [24] 张建光, 刘玉芳, 孙建设, 施瑞德. 苹果果实日灼人工诱导技术及阈值温度研究[J]. *园艺学报*, 2003, 30(4):446-448.
- ZHANG Jianguang, LIU Yufang, SUN Jianshe, SHI Ruide. Studies on artificial induction and threshold temperatures of apple fruit sunburn[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2003, 30(4):446-448.
- [25] 孟江飞. 山西乡宁地区葡萄采收时间对葡萄及葡萄酒酚类物质与抗氧化活性影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- MENG Jiangfei. Effect of harvest time on phenolic contents and antioxidant properties of grape and wines in Xiangning County, Shanxi province[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2011.
- [26] 郭子微, 侯文赫, 付鸿博, 张建英, 王鹏飞, 穆霄鹏, 张建成. 不同苹果果实发育过程中酚类物质含量及抗氧化能力变化研究[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(11):35-44.
- GUO Ziwei, HOU Wenhe, FU Hongbo, ZHANG Jianying, WANG Pengfei, MU Xiaopeng, ZHANG Jiancheng. Changes of phenolic substances and antioxidant capacity during fruit development of different apple varieties[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2021, 53(11):35-44.
- [27] 王松. 一年两收栽培阳光玫瑰葡萄夏、冬果生长期地上部营养及激素差异研究[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
- WANG Song. Study on the differences of nutrition and hormone in the above ground part of shine muscant grape under the two-harvest-a-year cultivation during summer and winter fruits growth period[D]. Nanning: Guangxi University, 2020.
- [28] GOUOT J C, SMITH J P, HOLZAPFEL B P, BARRIL C. Impact of short temperature exposure of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grapevine bunches on berry development, primary metabolism

- and tannin accumulation[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2019, 168:103866.
- [29] 万保雄,易显荣,宋雅琴,贺申魁,常运涛,陈爱军,梁瑞郑. 2009年广西灵川县葡萄日灼病异常发生的调查[J]. *中国南方果树*, 2010, 39(6):55-56.
- WAN Baoxiong, YI Xianrong, SONG Yaqin, HE Shenkui, CHANG Yuntao, CHEN Aijun, LIANG Ruizheng. Investigation on the abnormal occurrence of grape sunburn in Lingchuan County of Guangxi in 2009[J]. *South China Fruits*, 2010, 39(6): 55-56.
- [30] 蒯传化,杨朝选,刘三军,吴国良,陈汉杰,郑先波. 落叶果树果实日灼病研究进展[J]. *果树学报*, 2008, 25(6):901-907.
- KUAI Chuanhua, YANG Chaoxuan, LIU Sanjun, WU Guoliang, CHEN Hanjie, ZHENG Xianbo. Advances in research on fruit sunburn of deciduous fruit crops[J]. *Journal of Fruit Science*, 2008, 25(6):901-907.
- [31] HULANDS S, GREER D H, HARPER J D I. The interactive effects of temperature and light intensity on *Vitis vinifera* cv. 'Semillon' grapevines. II. Berry ripening and susceptibility to sunburn at harvest[J]. *European Journal of Horticultural Science*, 2014, 79(1):1-7.
- [32] HULANDS S, GREER D H, HARPER J D I. The interactive effects of temperature and light intensity on *Vitis vinifera* cv. 'Semillon' grapevines. I. Berry growth and development[J]. *European Journal of Horticultural Science*, 2013, 78(6):249-257.
- [33] JOUBERT C, YOUNG P R, EYÉGHÉ-BICKONG H A, VIVIER M A. Field-grown grapevine berries use carotenoids and the associated xanthophyll cycles to acclimate to UV exposure differentially in high and low light (shade) conditions[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7:786.
- [34] SMART R E, SINCLAIR T R. Solar heating of grape berries and other spherical fruits[J]. *Agricultural Meteorology*, 1976, 17(4):241-259.
- [35] JENKS M A, ASHWORTH E N. Plant epicuticular waxes: Function, production, and genetics[J]. *Horticultural Reviews*, 1998: 1-68.
- [36] ROSENQUIST J K, MORRISON J C. Some factors affecting cuticle and wax accumulation on grape berries[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1989, 40(4):241-244.
- [37] MUGANU M, BELLINCONTRO A, BARNABA F E, PAOLOCCI M, BIGNAMI C, GAMBELLINI G, MENCARELLI F. Influence of bunch position in the canopy on berry epicuticular wax during ripening and on weight loss during postharvest dehydration[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2011, 62(1):91-98.
- [38] VERDENAL T, ZUFFEREY V, DIENES-NAGY A, BOURDIN G, GINDRO K, VIRET O, SPRING J L. Timing and intensity of grapevine defoliation: An extensive overview on five cultivars in Switzerland[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2019, 70(4):427-434.
- [39] SANG D, JONES G, CHADHA G, WOODSIDE R. Cambridge international as and a level physics coursebook with CD-ROM[M]. 2 nd. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, 103-105.
- [40] 谭伟,唐晓萍,董志刚,李晓梅,王新平. '赤霞珠'和'梅露辄'不同营养系果实不同部位酚类物质含量的比较分析[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(8):229-234.
- TAN Wei, TANG Xiaoping, DONG Zhigang, LI Xiaomei, WANG Xinping. Comparative analysis of the polyphenol contents in different fruit parts of different Cabernet Sauvignon and Merlot clones[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(8):229-234.
- [41] 王博,覃富强,邓凤莹,罗惠格,陈祥飞,成果,白扬,黄小云,韩佳宇,曹雄军,白先进. '阳光玫瑰'葡萄一年两收果实类黄酮组分及含量差异分析[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(22):4473-4486.
- WANG Bo, QIN Fuqiang, DENG Fengying, LUO Huige, CHEN Xiangfei, CHENG Guo, BAI Yang, HUANG Xiaoyun, HAN Jiayu, CAO Xiongjun, BAI Xianjin. Difference in flavonoid composition and content between summer and winter grape berries of shine muscat under two-crop-a-year cultivation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(22):4473-4486.
- [42] 王小龙,张正文,邵学东,钟晓敏,王福成,史祥宾,张艺灿,王海波. 气象因子和施肥对赤霞珠植株矿质元素和果实品质的影响[J]. *果树学报*, 2022, 39(11):2074-2087.
- WANG Xiaolong, ZHANG Zhengwen, SHAO Xuedong, ZHONG Xiaomin, WANG Fucheng, SHI Xiangbin, ZHANG Yican, WANG Haibo. Effects of meteorological factors and fertilization on mineral element contents and berry quality in Cabernet Sauvignon[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39(11): 2074-2087.
- [43] 高志键,李春侠,周秋蓉,李江波,李延,王平. 外源钙对蜜橘抗日灼生理病害的分子与生理机制研究[J]. *西北植物学报*, 2023, 43(1):97-105.
- GAO Zhijian, LI Chunxia, ZHOU Qiurong, LI Jiangbo, LI Yan, WANG Ping. Molecular and physiological mechanism of resisting physiological disease-sunburn in tangerine with exogenous calcium treatment[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2023, 43(1):97-105.
- [44] GONZÁLEZ C V, FANZONE M L, CORTÉS L E, BOTTINI R, LIJAVETZKY D C, BALLARÉ C L, BOCCALANDRO H E. Fruit-localized photoreceptors increase phenolic compounds in berry skins of field-grown *Vitis vinifera* L. cv. Malbec[J]. *Phytochemistry*, 2015, 110:46-57.
- [45] WOOLF A B, FERGUSON I B. Postharvest responses to high fruit temperatures in the field[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, 21(1):7-20.
- [46] 王忠. 植物生理学[M]. 2版. 北京:中国农业出版社, 2009.
- WANG Zhong. *Plant physiology*[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2009.
- [47] DÜRING H, OGGIONNI F. Transpiration und mineralstoffeinlagerung der weinbeere[J]. *Vitis*, 2015, 25:59-66.