

单氰胺对3个葡萄品种休眠解除 生理特性及综合品质的影响

谭一婷¹, 范秀娟², 纪 薇^{1*}

(¹山西农业大学园艺学院, 山西太谷 030801; ²山西省国有林场和种苗工作总站, 太原 030012)

摘要:【目的】探究单氰胺处理对不同葡萄生长发育的影响, 揭示破眠剂解除葡萄休眠的主要影响因子。【方法】以早黑宝、早霞玫瑰、绍星一号3个葡萄品种为试材, 在设施栽培条件下进行破眠剂单氰胺(H_2CN_2)涂芽处理, 以清水处理为对照(CK)。观察单氰胺处理后各品种葡萄冬芽显微结构及其生长发育动态, 测定各品种葡萄农艺性状、芽酶活性、叶片光合色素含量及果实外观品质和内在品质等相关生理生化指标, 并结合主成分分析与综合评价指数对上述指标进行综合分析。【结果】单氰胺处理促使各品种葡萄萌芽与果实成熟阶段均显著提前, 芽组织形态分化发育加快且结构良好, 萌芽整齐度与萌芽率以及 H_2O_2 含量、POD活性均显著高于对照, 而CAT活性显著降低; 成熟期叶片的叶绿素b、总叶绿素及类胡萝卜素含量显著升高; 果实外在品质均与对照无显著差异, 而可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素C以及可滴定酸含量等内在品质指标在早黑宝和绍星一号葡萄中得到显著提升。结合主成分分析与综合评价指数, 得到各品种葡萄综合品质排序为早黑宝(H_2CN_2)>绍星一号(H_2CN_2)>早黑宝(CK)>早霞玫瑰(H_2CN_2)>绍星一号(CK)>早霞玫瑰(CK)。【结论】萌芽整齐度、萌芽率、 H_2O_2 含量、POD以及CAT活性是单氰胺解除葡萄休眠的主要影响因子; 经单氰胺处理后, 早黑宝葡萄的综合品质优于早霞玫瑰和绍星一号。

关键词:葡萄; 单氰胺; 休眠解除; 生理特性; 综合品质

中图分类号:S663.1 文献标志码:A 文章编号:1009-9980(2021)05-0725-14

Effects of hydrogen cyanamide on physiological characteristics of dormancy release and comprehensive berry quality of three grape cultivars

TAN Yiting¹, FAN Xiujuan², JI Wei^{1*}

(¹College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China; ²Shanxi State Owned Forest Farm and Seedling Work Station, Taiyuan 030012, Shanxi, China)

Abstract:【Objective】Natural dormancy is an insurmountable stage during the growth and development of deciduous fruit trees. Grapevine is a perennial deciduous vine of grapevine family. If the varieties cannot meet the chilling requirement, it often leads to low germination rate and irregular germination, which seriously affects the yield and quality of berries. Therefore, breaking the natural dormancy and promoting early germination has become a key technology to be solved in forcing cultivation. The purpose of this experiment was to explore the effects of monocyandiamide treatment on the growth and development of different grapes, and to reveal the physiological and biochemical mechanism of breaking dormancy of grapes. 【Methods】Three grape cultivars Zaoheibao, Zaoxia Meigui and Shaoxing No.1 were selected as test materials and treated with sleeping breaking agent hydrogen cyanamide (H_2CN_2) and water as the control (CK). The budding stage, flowering stage, berry coloring stage and ripening stage of each grape cultivar were recorded, and the uniformity of germination, germination rate, berry setting rate, fruiting cane rate, diameter change of fruiting mother cane, bearing position, inter-

收稿日期:2021-02-23 接受日期:2021-04-06

基金项目:山西省高等学校优秀成果(科学技术)培育项目(2020KJ037);山西农业大学青年拔尖创新人才支持计划(TYIT201401);山西省现代农业(水果)产业技术体系建设项目(2020-07);山西省“三区”人才支持计划科技人员专项计划(2020Sc50)

作者简介:谭一婷,女,在读硕士研究生,研究方向为设施果树栽培生理及育种研究。Tel:18235447671,E-mail:tyt_vitis@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:0354-6285900, E-mail:jiweiputao@163.com

node length, leaf length, leaf width and the growth dynamics of new buds, leaves and fruits were calculated. The development of each grape bud after dormancy breaking treatment was observed by paraffin section. The content of H_2O_2 , and the activity of POD and CAT were measured. The photosynthetic pigment of mature leaves was measured by ethanol extraction method. The length and width of grape bunch were measured by tape measure. The weights of grape bunch and berry grain were measured by an analytical balance. The vertical and horizontal diameters of berry grain and the thickness of berry peel were measured by a vernier caliper. The ratio of vertical to horizontal diameter of berry grains was fruit shape index. The hardness of berry was determined by a hardness index measure with a thermometer. The method for measuring soluble solids, total sugar and acid-base titration and vitamin C content was determined by 2,6-dichloroindophenol titration method; the relative content of total phenols and flavonoids was determined by hydrochloric acid methanol method; the relative content of total anthocyanins in pericarp was determined by hydrochloric acid absolute ethanol extraction method. Combined with principal component analysis (PCA) and comprehensive evaluation index, the main influencing factors of monocyandiamide on grape dormancy were screened, and the effects of monocyandiamide on the growth and development of different grape cultivars and their comprehensive berry quality were explored.

【Results】The effects of dormancy breaking treatment on the growth of all grape cultivars were similar as a whole, and the germination and berry ripening times were significantly earlier. After dormancy breaking treatment, the internal structure of each grape bud developed rapidly, the growth point gradually increased and elongated, the main axis was differentiated and filled with buds, the number of cells increased, the leaf primordium formed continuously, the inflorescence primordium developed continuously, and the flower meristem morphology was complete; however, after water treatment, the internal growth of bud was slow, the structures developed but did not take shape, and a small amount of leaf primordium and inflorescence could be seen. There was no significant change in the whole primordium. The germination uniformity and germination rate, and the H_2O_2 content and POD activity were significantly higher than those of the control, while the CAT activity was significantly lower. The contents of chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid in mature leaves were significantly higher than those of the control, while the content of chlorophyll a was significantly lower. After breaking dormancy treatment, the appearance quality and internal quality of each grape berries were improved on the basis of maintaining the inherent level, and there was no significant difference in the appearance quality between the treatment and control. For the internal quality of berry, the soluble sugar, soluble protein and starch contents in Zaoxia Meigui grape berries treated by breaking dormancy was significantly higher than those of the control, while the other two kinds of grapes were improved, but there was no significant difference; the contents of soluble solid and vitamin C in Zaoheibao and Shaoxing No.1 grapes significantly increased, but there was no significant difference with Zaoxia Meigui. The relative contents of total phenols, flavonoids and anthocyanins in all grape cultivars increased after dormancy breaking treatment, and there was no significant difference except for the relative contents of total phenols in Shaoxing No.1. PCA was used to analyze the physiological and biochemical indexes of different grape cultivars after breaking dormancy. The three principal components with the highest eigenvalues were extracted, and the cumulative contribution rate reached 94.36%. Combined with comprehensive evaluation index, the order of grape comprehensive quality was as follows: Zaoheibao (H_2CN_2) > Shaoxing No.1 (H_2CN_2) > Zaoheibao (CK) > Zaoxia Meigui (H_2CN_2) > Shaoxing No.1 (CK) > Zaoxia Meigui (CK).

【Conclusion】Germination uniformity, germination rate, H_2O_2 content, POD activity and CAT activity were the main influencing factors for breaking dormancy of grape. The comprehensive quality

of Zaoheibao grape berries was better than that of Zaoxia Meigui and Shaoxing No.1 grape after treatment with H_2CN_2 .

Key words: Grape; Cyanamide; Dormancy release; Physiological characteristics; Comprehensive quality

葡萄(*Vitis spp.*)为多年生落叶藤本植物,是世界五大果树之一^[1]。近年来,我国葡萄种质资源创新与栽培技术改革取得显著成效,为鲜食葡萄产业的栽培结构优化奠定了坚实的基础^[2]。作为一种典型的落叶果树,自然休眠是葡萄生长发育过程中不可逾越的重要阶段,而其冬芽的萌发与生产实际息息相关^[3]。随着我国北方葡萄设施栽培面积的不断扩大,低温不足成为生产中面临的重大挑战,常导致葡萄休眠期延长而推迟成熟,造成萌芽不整齐、产量下降等突出问题^[4]。因此,打破葡萄自然休眠、促进提早萌芽成为目前促成栽培中亟待解决的一项关键技术问题^[5]。

目前,关于落叶果树芽休眠与解除的研究已有大量报道,其中脱落酸(ABA)在植物休眠过程中通过抑制芽分生组织活性而积累,其降解是解除休眠的关键^[6]。Yang等^[7]通过研究亚洲梨芽休眠特性,解析了ABA对DAM基因表达的精细调控机制,为ABA相关的芽休眠调控提供了新的信息;Rubio等^[8]发现ABA与低温的共同作用可使VvCBF/DREB1转录因子在葡萄休眠芽中的表达量大幅增加,并与芽脱水和抗寒性的增加以及脱水素和抗氧化基因的表达量增加有关,强调了这些转录因子和ABA在葡萄休眠芽冷驯化过程中的重要作用。在生产实际中,使用外源破眠剂可以有效打破休眠期植物的固定低温时限,代替一定的低温需冷量^[9]。已有研究发现,石灰氮、硝酸铵以及赤霉素等化学物质有代替部分低温的作用,对打破葡萄休眠和促进成熟均有一定的效果^[10-11]。此外,单氰胺(Hydrogen cyanamide)作为生产中广泛应用的化学破眠剂,能够更有效地促使葡萄冬芽提早结束休眠,并通过刺激活性物质来加速体内基础物质的生成^[12]。孟凡丽^[13]研究表明,使用25倍52%(φ)单氰胺溶液处理植株,能够有效打破辽峰葡萄休眠,提高萌芽率和花芽率;韩真等^[14]发现,1%(φ)单氰胺和4倍“破眠1号”处理能够使藤稔葡萄的萌芽期提前10 d,萌芽率提高,可溶性固形物含量显著增加,可滴定酸含量降低。然而,虽已有大量关于不同含量单氰胺对葡萄解除休眠促进效果的研究,但其主要影响因子及生理生化机制尚

未阐明。

笔者在本试验中选取3个设施栽培葡萄品种早黑宝、早霞玫瑰、绍星一号为试材,以清水处理为对照,进行破眠剂单氰胺涂芽处理。记录和观察设施内环境变化情况及各品种葡萄生长发育动态,并进行相关生理生化指标的测定;利用主成分分析法对33个生理生化指标进行综合分析,以探究破眠剂单氰胺解除葡萄休眠的主要影响因子及其对不同品种葡萄打破休眠、促进早熟的效果,从而揭示破眠剂单氰胺解除葡萄休眠的生理生化机制,为生产中科学使用破眠剂、促进葡萄的早熟优质丰产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与处理

试验于2019年10月至2020年8月在山西农业大学葡萄生产基地(37°27'12"N, 112°42'55"E, 海拔803 m)进行。以4年生早黑宝、早霞玫瑰、绍星一号葡萄为试材,采用日光温室南北行向双行密植栽培模式,株行距为0.6 m×1.2 m,树势良好,常规管理。

破眠剂“九九叶绿”购自昆明天邦生物科技有限公司,有效成分为50%(φ)单氰胺(H_2CN_2)。用于组织包埋切片的石蜡由美国Sigma公司生产,环保型浸蜡脱蜡透明液购自北京索莱宝科技有限公司。

1.2 试验处理

于2019年10月25日开始对日光温室进行低温处理,白天拉下棉被遮光降温,夜间室外温度如果在0~7.2 °C时卷起棉被,打开温室通风口降温。11月10日用毛刷蘸取破眠剂,充分涂抹各品种葡萄结果母枝的每个芽眼,每处理30株葡萄树,按东西两侧共设2个小区,每小区5株,3次重复,以清水处理(CK)为对照。此后,及时灌水保湿,其中新梢生长期和花期,白天温度控制在25~28 °C,夜晚温度控制在15~18 °C,湿度控制在50%~70%;果实膨大至成熟期,白天温度控制在28~32 °C,夜晚温度控制在20~22 °C,湿度控制在60%~80%;休眠期,温度控制在0~7.2 °C。保持处理间管理一致,期间观察并记录葡萄生长发育情况。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 葡萄物候期及相关农艺性状调查 涂抹破眠剂后观察葡萄的生长情况,每处理随机调查9株树,记录其物候期^[13],包括萌芽期、始花期、果实着色期及成熟期,并计算萌芽整齐度、萌芽率、坐果率、果枝率、结果母枝粗度变化量以及结果位、节间长度、叶长度、叶宽度^[15]。

1.3.2 葡萄芽组织显微结构观察 将当天采集涂抹破眠剂的各品种葡萄芽作为第1次取样,20 d后分别采集各品种葡萄单氰胺和清水处理的芽组织,每次取20个芽保存于FAA固定液中,采用石蜡切片法^[16]进行显微结构观察。

1.3.3 葡萄芽组织过氧化氢含量与相关酶活性测定 采集各品种葡萄萌芽初期的芽组织,参照温璐华等^[17]的方法,测定其过氧化氢(H_2O_2)含量;过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性参照张良英等^[18]的方法测定。

1.3.4 葡萄叶片光合色素含量测定 采集各品种葡萄成熟期叶片,采用无水乙醇提取法^[19]分别测定总叶绿素(Chl)、叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)及类胡萝卜素(Car)的含量。

1.3.5 葡萄果实品质指标测定 果实外观品质与内在品质的测定指标与方法参照笔者课题组前期的研究^[20]。

1.4 数据分析

萌芽整齐度:各处理的萌芽结束的日期减去各处理的萌芽开始的日期,单位为天数(d)。数值越小,代表萌芽整齐度越好。

结果母枝粗度增长幅度/%=(落叶后结果母枝粗度-萌芽前结果母枝粗度)/萌芽前结果母枝粗度×100。

所有数据的采集和计算均设3组生物学重复。运用Excel 2007进行数据整理,采用SPSS 17.0软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和主成分分析(Principal Component Analysis,PCA)^[21]。

2 结果与分析

2.1 破眠处理对不同葡萄品种生长发育及相关农艺性状的影响

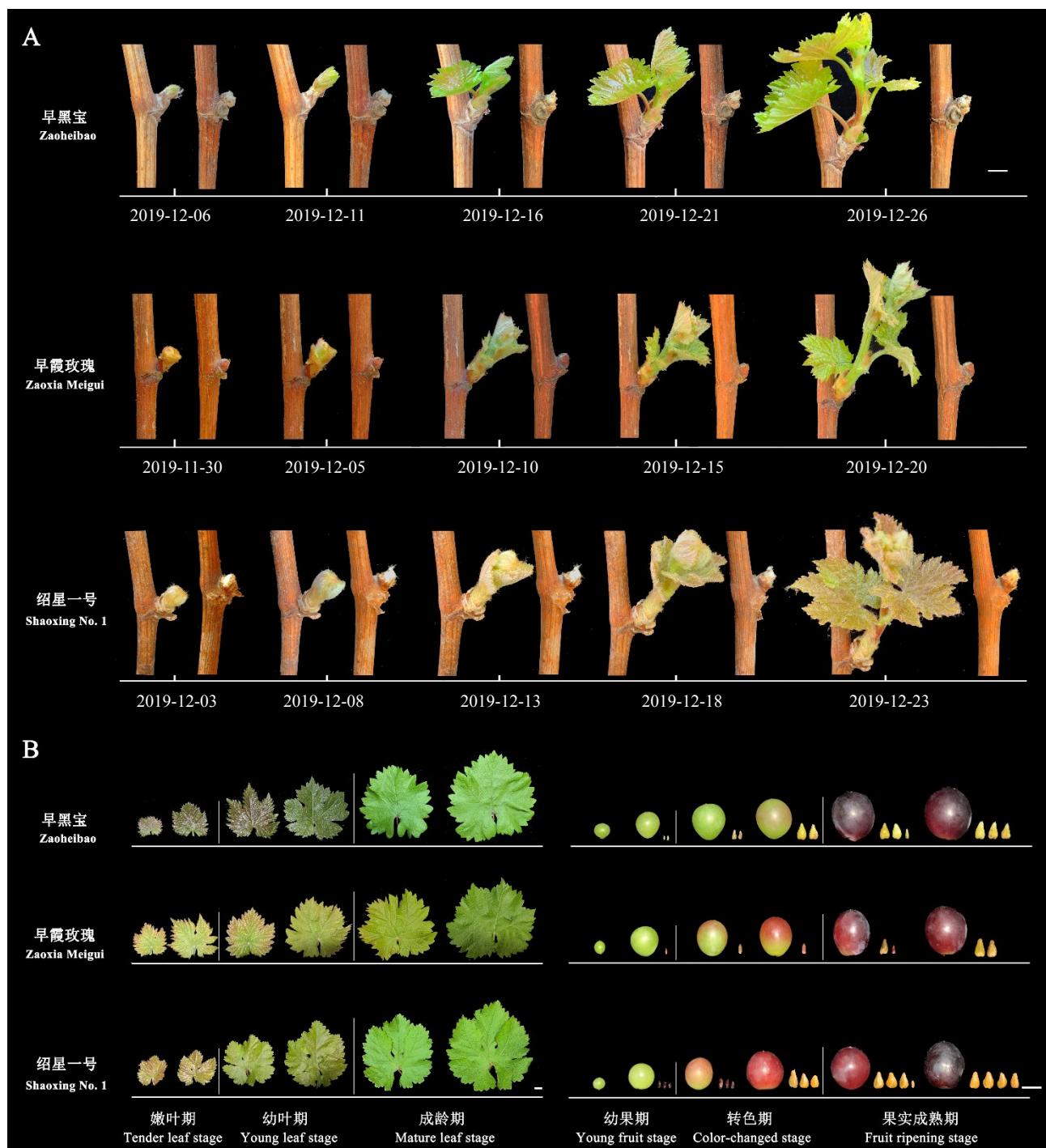
破眠处理后各品种葡萄芽生长发育动态如图1-A所示,涂抹破眠剂单氰胺后,各品种葡萄芽提前结束休眠,快速生长至20 d左右完成萌芽期并出现3~

4枚新叶,整体呈现先慢后快的趋势,其中早黑宝葡萄的比其他两种葡萄生长快;清水处理后,各品种葡萄的对照生长均较为缓慢,在相应时间内并无显著变化,而相比于其他两种葡萄,未破眠处理的绍星一号生长较快。破眠处理后各品种葡萄叶片与果实发育动态如图1-B所示,叶片发育时期可分为嫩叶期、幼叶期和成龄期,果实发育时期可分为幼果期、转色期以及果实成熟期。随着各品种葡萄叶片的生长发育,颜色逐渐变浅至绿色,叶长度、叶宽度增加,形状接近圆形;而各品种葡萄果实在经历不同发育时期后大小逐渐增加,颜色均由绿色转变为黑红色,早黑宝葡萄果实形状近于球形,早霞玫瑰和绍星一号葡萄则为椭圆形;此外,3种葡萄均为有核品种,随着果实的生长发育,种子逐渐变大且数量增多,最终早霞玫瑰、早黑宝和绍星一号葡萄的种子数平均分别为2、3、4个。

对破眠处理后不同品种葡萄物候期及农艺性状的调查结果(表1)显示,涂抹破眠剂后,早霞玫瑰萌芽开始时间最早,为11月30日;其次为绍星一号,萌芽时间为12月3日;最后是早黑宝葡萄,为12月6日。相比于对照,分别提前了34、37、32 d。然而,果实成熟时间最早的是绍星一号,为4月26日;其次为早霞玫瑰,5月4日;早黑宝成熟最晚,为5月6日。不同葡萄在涂抹破眠剂后,果实着色至成熟的时间均显著缩短7~11 d,但品种间无显著差异;各品种葡萄萌芽至成熟的时间均显著缩短,且在品种间存在显著差异;各品种葡萄萌芽率和萌芽整齐度与对照相比均显著提高,另外,早黑宝葡萄萌芽率(88.34%)显著高于早霞玫瑰(79.67%)和绍星一号葡萄(82.33%),而整齐度无显著差异。各品种葡萄破眠剂处理后的坐果率与对照无显著差异,而早霞玫瑰葡萄(73.67%)显著低于其余两种葡萄(78.82%和81.33%)。此外,除绍星一号葡萄的果枝率显著增加外,早黑宝和早霞玫瑰葡萄均与对照无显著差异,且绍星一号葡萄的果枝率(84.68%)显著高于早黑宝(68.89%)和早霞玫瑰葡萄(74.16%)。除早黑宝葡萄外,早霞玫瑰和绍星一号葡萄在涂抹破眠剂后结果母枝粗度均显著增加。涂抹破眠剂对各品种葡萄的节间长度、叶长度、叶宽度无显著影响。

2.2 破眠处理对不同品种葡萄芽显微结构的影响

破眠剂单氰胺与清水处理不同品种葡萄芽形态分化显微结构如图2所示。处理0 d,各品种葡萄



A. 破眠处理后各品种葡萄萌芽动态,左侧为破眠处理的葡萄芽,右侧为对照。B. 破眠处理后各品种葡萄叶片和果实发育动态,左右两侧均为破眠处理的叶片和果实。图中横线标尺均为1 cm。

A. The sprout dynamics of each grape after breaking dormancy treatment, the left is the sprout of breaking dormancy treatment, and the right is the control. B. The leaf and fruit development dynamics of each grape after breaking dormancy treatment. Both sides of the leaves and fruits were treated with H_2CN_2 . The scale of horizontal line in the figure is 1 cm.

图1 破眠处理后各品种葡萄芽、叶片与果实发育动态

Fig. 1 Development dynamics of grape buds, leaves and fruits after H_2CN_2 treatment

表1 破眠处理对不同品种葡萄物候期及农艺性状的影响

Table 1 The effect of H_2CN_2 treatment on the phenology and agronomic characters of different grape varieties

品种 Varieties	处理 Treatment	萌芽期 Budbreak date	始花期 Booming date	着色期 Coloring date	成熟期 Maturity date	着色至 成熟时间 Coloring to maturity/ cycle/d	萌芽 整齐度 Uniformi- ty of ger- mination/ rate/%	萌芽率 Fruit setting rate/%	坐果率 Fruit branch rate/%	果枝率 Growth rate of diameter of fruiting branch/%	结果母枝粗度 Growth rate of internode length/cm	节间长度 Internode length/cm	叶长度 Length of leaf/cm	叶宽度 Width of leaf/cm	
早黑宝	H_2CN_2	2019-12-06	2020-02-16	2020-04-12	2020-05-06	24±0.78 a	153±0.58 b	20±0.58 a	88.34±2.63 c	81.33±1.25 c	74.16±1.49 b	25.50±0.19 ab	6.82±0.30 bc	19.24±0.27 c	20.86±0.40 c
Zaoheibao	CK	2020-01-09	2020-04-05	2020-05-11	2020-06-14	35±1.16 b	158±1.00 c	31±1.53 b	74.28±1.44 a	77.87±1.33 c	71.27±1.23 b	24.98±0.08 a	6.58±0.08 ab	18.85±0.63 c	20.19±0.45 c
早霞玫瑰	H_2CN_2	2019-11-30	2020-02-04	2020-04-12	2020-05-04	22±1.00 a	157±1.52 c	22±1.16 a	79.67±1.55 b	73.67±1.22 ab	64.89±1.54 a	31.00±0.28 e	6.30±0.15 a	13.93±0.66 a	17.67±0.49 ab
Zaoxia Meigui	H_2CN_2	2020-01-06	2020-03-21	2020-05-15	2020-06-12	29±2.52 b	159±1.69 c	36±1.16 b	73.27±1.39 a	71.23±1.18 a	62.48±0.76 a	27.26±0.11 c	6.24±0.05 a	12.24±0.82 a	16.83±0.39 a
绍星一号	H_2CN_2	2019-12-03	2020-02-12	2020-04-02	2020-04-26	24±1.02 a	146±2.04 a	21±1.00 a	82.33±0.93 b	78.82±1.48 c	84.68±0.77 d	28.28±0.10 cd	7.28±0.09 c	16.04±0.58 b	18.17±0.60 ab
Shaoxing No.1	CK	2020-01-04	2020-03-28	2020-04-24	2020-06-04	31±1.19 b	152±1.81 b	34±1.03 b	73.52±0.97 a	77.29±1.00 bc	79.23±0.95 c	29.06±0.06 de	7.23±0.10 c	16.13±0.48 b	19.25±0.78 bc

注:不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 差异显著。下同。Note: Different small letters indicate significant difference at $p < 0.05$. The same below.

体内部较为空旷,呈包围紧缩状,生长点形态狭窄,未开始分化发育(图2-a、d、g);单氰胺处理20 d后,芽的生长点增大伸长,主轴分化充满芽体内部,细胞数量增多,可见新的叶原基形成,花序原基发育良好,花分生组织完整(图2-b、e、h);清水处理20 d后,各品种葡萄芽体内细胞数量增多,生长点略有变化,花分生组织逐渐开展,形成少量叶原基,花序分生组织未开始分化发育,形态变化无显著差异(图2-c、f、i)。

2.3 破眠处理对不同品种葡萄芽 H_2O_2 含量及相关酶活性的影响

破眠处理后各品种葡萄芽在萌芽初期的 H_2O_2 含量及 POD、CAT 活性如图3所示。各品种葡萄 H_2O_2 含量与 POD 活性均显著升高,同时早黑宝葡萄的 H_2O_2 含量($121.60 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, b)显著高于早霞玫瑰($106.92 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)和绍星一号葡萄($111.06 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$),绍星一号葡萄的 POD 活性($868.52 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)显著高于早黑宝($855.13 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)和早霞玫瑰葡萄($845.39 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)。然而,各品种葡萄芽在破眠处理后期的 CAT 活性均显著低于对照,且在品种间亦存在显著差异,绍星一号葡萄($5.21 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)显著低于早霞玫瑰($6.15 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)和早黑宝葡萄($7.03 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)。

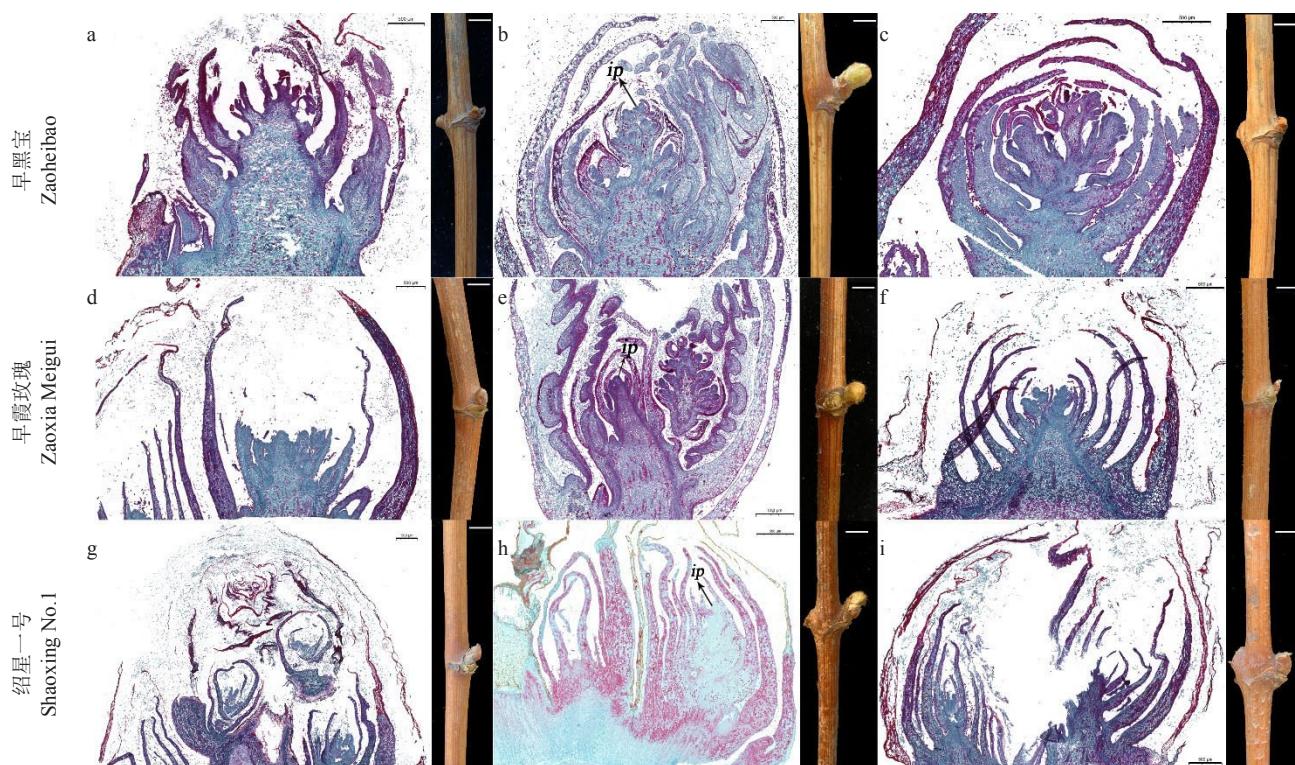
2.4 破眠处理对不同品种葡萄叶片光合色素含量的影响

破眠处理后各品种葡萄叶片光合色素含量如图4所示,不同品种葡萄及不同色素含量对破眠处理的响应并不相同。涂抹破眠剂对各品种葡萄叶片叶绿素a含量影响较小,与对照均不存在显著差异,同时绍星一号葡萄叶片的叶绿素a含量($0.43 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, w)显著低于早黑宝($0.53 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)和早霞玫瑰葡萄($0.56 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。破眠处理后早黑宝和绍星一号葡萄叶片的叶绿素b含量均显著升高,而早霞玫瑰葡萄($0.32 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)与对照($0.31 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)无显著差异,但显著低于其他两个品种葡萄。破眠处理后,3个品种葡萄叶片的总叶绿素与类胡萝卜素含量均显著增加,同时早黑宝和早霞玫瑰葡萄的总叶绿素含量显著高于绍星一号葡萄,而早黑宝葡萄的类胡萝卜素显著低于其余二者。

2.5 破眠处理对不同品种葡萄果实品质的影响

2.5.1 破眠处理对不同品种葡萄果实外观品质的影响

图5为破眠处理对不同品种葡萄果实外观品质



a,d,g. 处理后 0 d; b,e,h. 单氰胺处理后 20 d; c,f,i. 清水处理后 20 d。ip. 花序原基。显微图中标尺均为 500 μm, 表型图中标尺均为 1 cm。
a, d, g. 0 DAT (Days after treatments). b, e, h. 20 DAT with H_2CN_2 . c, f, i. 20 DAT with water. ip. inflorescence primordium. The scales are 500 μm in micrograph and 1 cm in phenotype.

图 2 破眠处理后不同葡萄芽形态分化显微结构

Fig. 2 Morphological differentiation microstructure of different grape buds after H_2CN_2 treatment

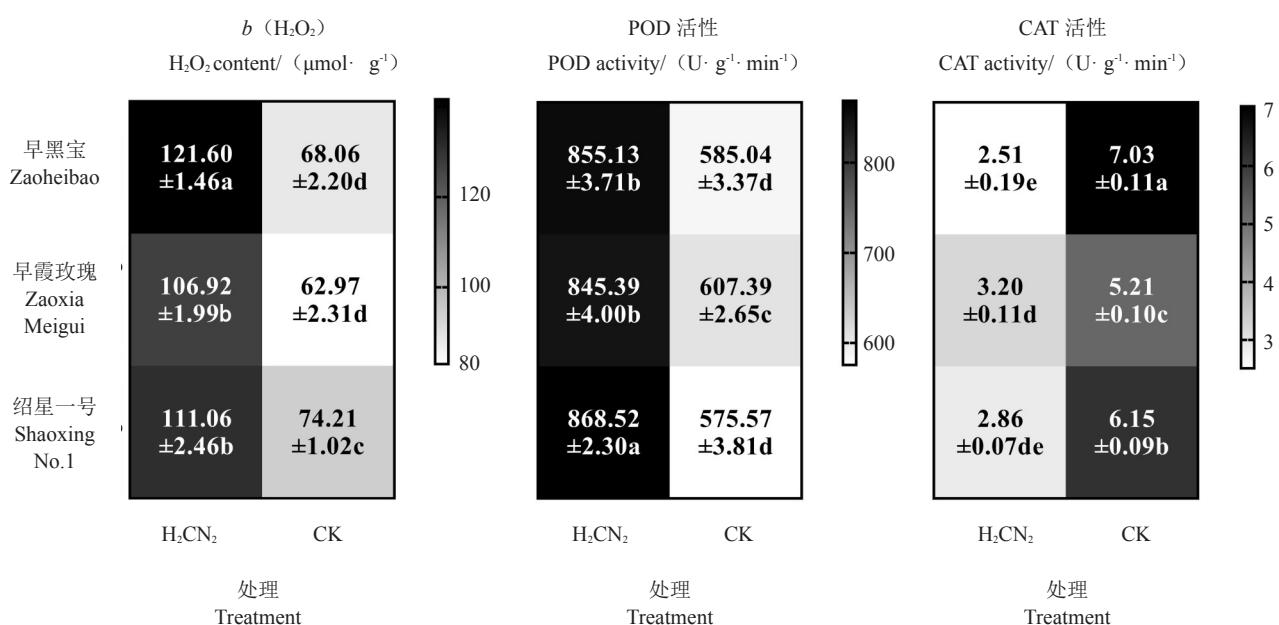


图 3 破眠处理对不同葡萄芽过氧化氢含量及相关酶活性的影响

Fig. 3 Effects of H_2CN_2 treatment on H_2O_2 content and related enzyme activities in different grape buds

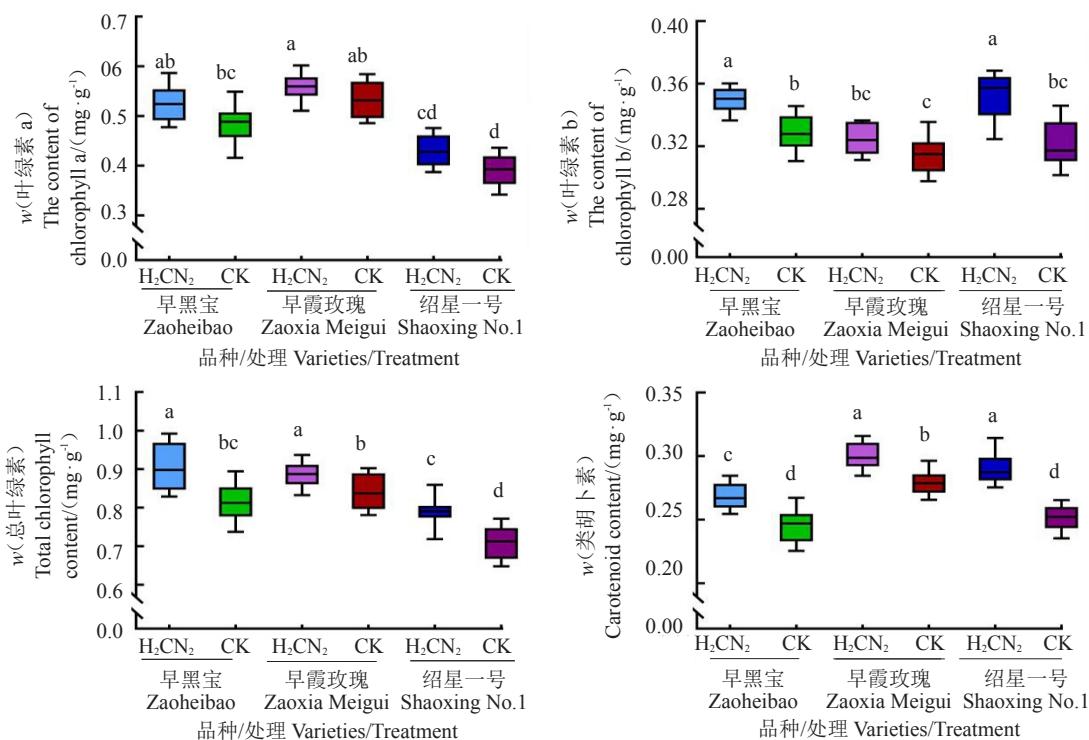


图4 破眠处理对不同葡萄叶片光合色素含量的影响

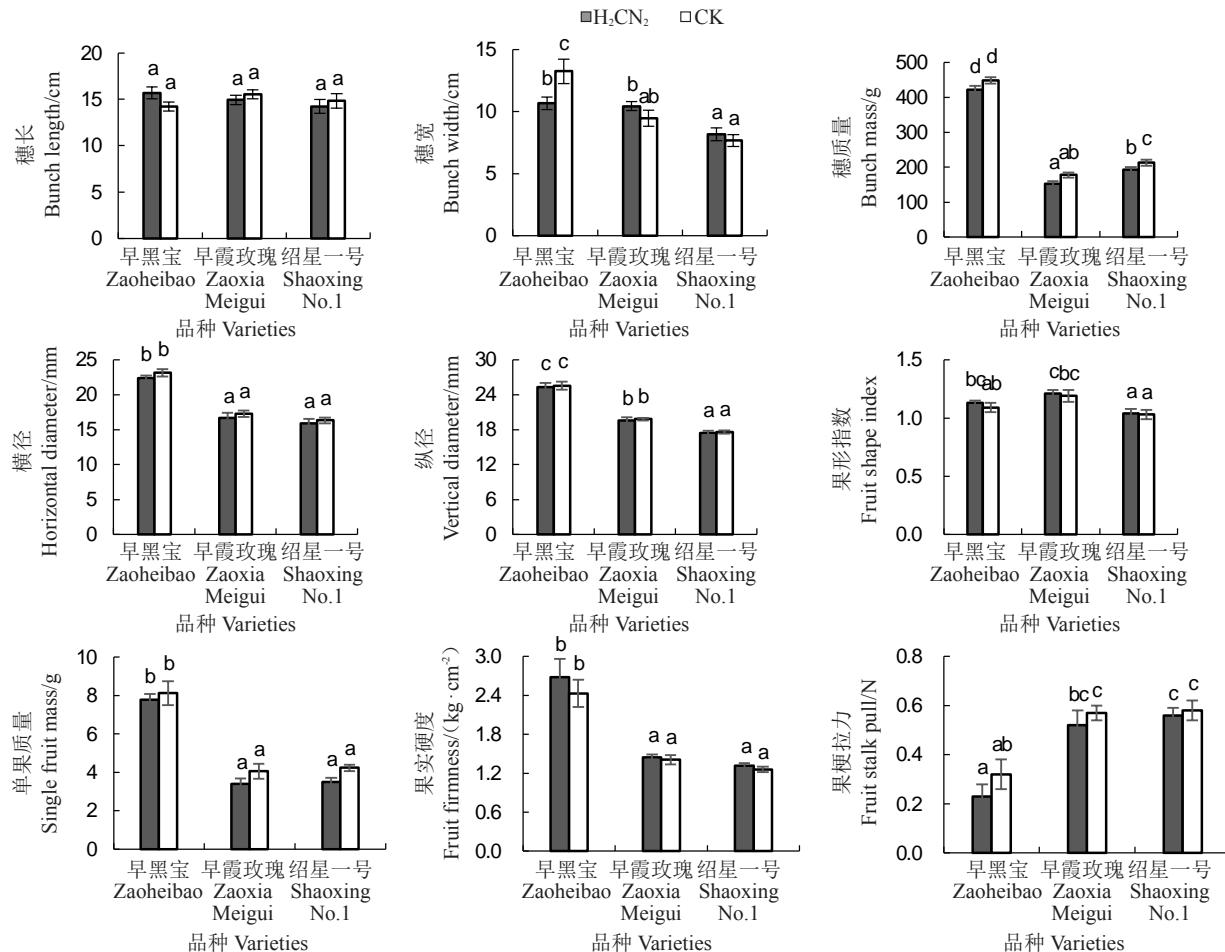
Fig. 4 Effect of H₂CN₂ treatment on photosynthetic pigment content in different grape leaves

图5 破眠处理对不同葡萄果实外观品质的影响

Fig. 5 Effect of H₂CN₂ treatment on appearance quality of different grape fruits

的影响。与对照相比,破眠处理后各品种葡萄穗长度无明显变化,且各品种间也无显著差异;各品种葡萄果穗质量略有减小,但均无显著差异,而早黑宝葡萄果穗质量(421.96 g)显著高于早霞玫瑰(152.22 g)和绍星一号葡萄(192.69 g)。早黑宝葡萄在破眠处理后,其穗宽度显著降低,而其他两种葡萄无显著变化。破眠处理后,各品种葡萄单果质量及横径、纵径略有减小,果形指数略有增加,但均无显著差异,而早黑宝葡萄单果质量(7.78 g)及横径(22.39 cm)、纵径(25.35 cm)均显著高于早霞玫瑰(3.41 g, 16.69 cm, 19.58 cm)和绍星一号葡萄(3.50 g, 15.92 cm, 17.45 cm),同时绍星一号葡萄果形指数显著低于二者。此外,破眠处理后的各品种葡萄果实硬度增加,而果梗拉力减小,但均无显著差异,同时早黑宝葡萄的果实硬度(2.68 kg·cm⁻²)显著高于早霞玫瑰(1.45 kg·cm⁻²)和绍星一号葡萄(1.32 kg·cm⁻²),而果梗拉力显著低于二者。

2.5.2 破眠处理对不同品种葡萄果实内在品质的影响

对破眠处理后不同葡萄果实内在品质进行测定,结果(图6)显示,3个品种葡萄可溶性糖、可溶性蛋白质及淀粉含量均有所增加,其中早霞玫瑰葡萄果实中上述3种物质的含量均显著高于对照;早黑

宝葡萄的可溶性蛋白质含量(0.83 mg·g⁻¹, w)与淀粉含量(2.57 mg·g⁻¹)显著增加,而可溶性糖含量(152.49 mg·g⁻¹)无显著差异;绍星一号葡萄的可溶性糖含量(148.2 mg·g⁻¹)和淀粉含量(2.42 mg·g⁻¹)显著增加,而可溶性蛋白质含量(0.67 mg·g⁻¹)无显著差异。

破眠处理后,各品种葡萄可滴定酸含量降低,但均无显著差异,可溶性固形物与维生素C含量均增加。与对照相比,破眠处理的早黑宝和绍星一号葡萄可溶性固形物和维生素C含量均显著增加,而早霞玫瑰葡萄均无显著差异。此外,破眠处理后早黑宝葡萄的可滴定酸含量(0.41%, w)显著高于早霞玫瑰(0.33%)和绍星一号葡萄(0.24%),而绍星一号葡萄的可溶性固形物含量(20.8%, w)和维生素C含量(8.98 mg·100 g⁻¹, w)均显著高于其他两个品种。

破眠处理后,各品种葡萄总酚、类黄酮及总花青素相对含量均有所增加,其中绍星一号葡萄的总酚相对含量(0.52 OD·g⁻¹)差异较为显著,类黄酮(0.64 OD·g⁻¹)和总花青素相对含量(35.39 OD·g⁻¹)无显著差异,而早黑宝和早霞玫瑰葡萄的上述3种物质含量均无显著差异。此外,破眠处理后,绍星一号葡萄的总酚和类黄酮相对含量显著高于早黑宝和早霞玫

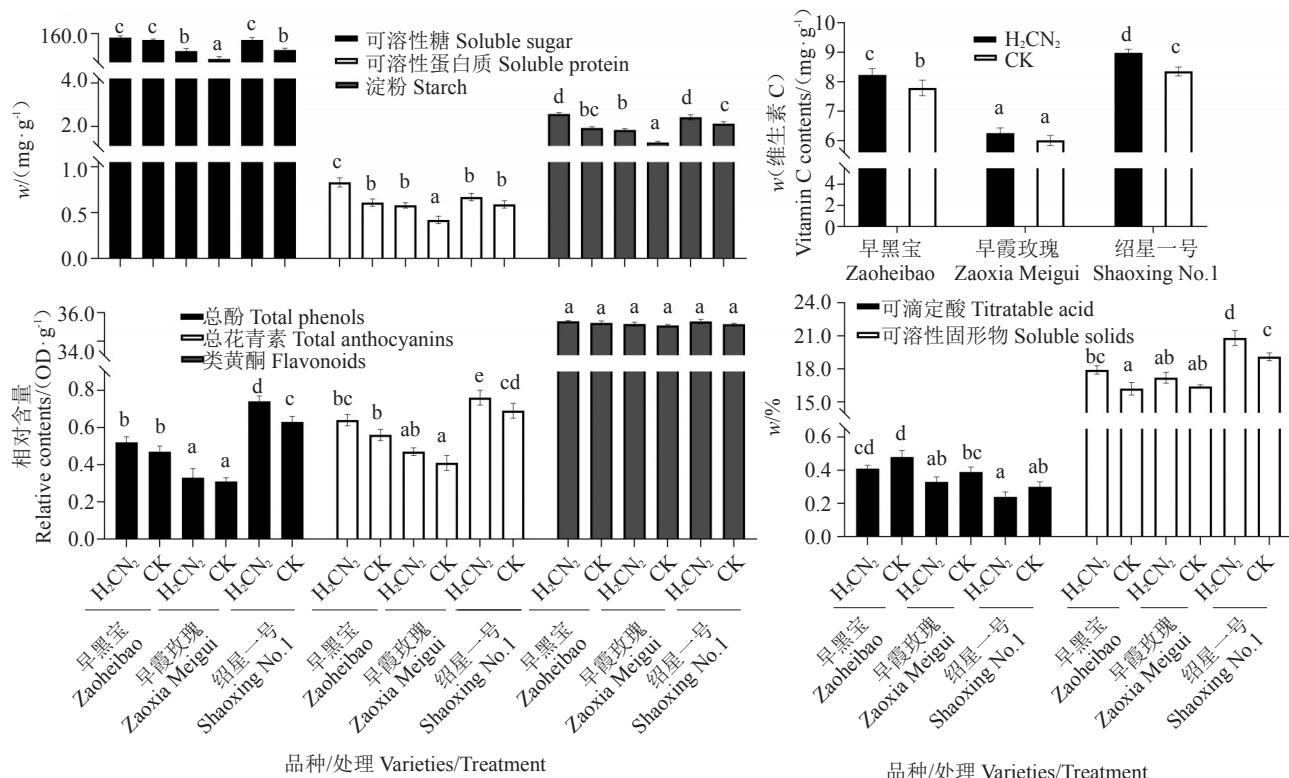


图6 破眠处理对不同葡萄果实内在品质的影响

Fig. 6 Effect of H₂CN₂ treatment on intrinsic quality of different grape fruits

瑰葡萄,而总花青素相对含量在3个品种葡萄间均无显著差异。

2.6 不同生理生化指标主成分分析

对破眠处理后不同品种葡萄生理生化指标进行主成分分析(PCA),提取特征值最高的3个主成分,累计贡献率达到94.36%(表2)。第1主成分主要有坐果率、结果母枝粗度变化量、叶长度、叶宽度、穗质量、单果质量、果实横纵径、果实硬度、果梗拉力以及果实可溶性糖和可溶性蛋白质含量,其特征值为12.98,累计方差贡献率为39.34%;第2主成分主要有萌芽整齐度、果枝率、节间长度以及叶绿素b果实

淀粉、可滴定酸、可溶性固体物、维生素C、总酚和类黄酮含量,其特征值为11.46,累计方差贡献率为74.07%;第3主成分主要有萌芽率、POD和CAT活性以及H₂O₂含量、叶绿素a、总叶绿素和类胡萝卜素含量,其特征值为6.70,累计方差贡献率为94.36%。在第1主成分中,坐果率、果枝率、结果母枝粗度增长幅度等对PC1产生负向影响,叶长度、叶宽度、穗质量、单果质量、果实横纵径、果实硬度、果梗拉力以及果实可溶性糖、可溶性蛋白质含量等对PC1产生正向影响,PC1可称为生长发育与果实外观指标;在第2主成分中,萌芽整齐度、果实可滴定

表2 各指标主成分的特征向量及贡献率

Table 2 Characteristic vector and contribution rate of principal components of each indicator

指标 Index	编号 Code	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3
萌芽整齐度 Uniformity of germination	k1	-0.39	-0.74	-0.51
萌芽率 Germination rate	k2	-0.21	0.33	0.84
坐果率 Fruit setting rate	k3	-0.80	0.56	0.20
果枝率 Fruit branch rate	k4	-0.70	0.71	-0.09
结果母枝粗度增长幅度 Growth rate of diameter of fruiting branch	k5	-0.78	0.30	0.25
节间长度 Internode length	k6	0.14	0.89	-0.42
叶长度 Length of leave	k7	0.93	0.28	-0.16
叶宽度 Width of leave	k8	0.92	0.17	-0.19
H ₂ O ₂ 含量	k9	0.26	0.60	0.74
POD活性	k10	0.10	0.53	0.84
CAT活性	k11	0.01	-0.49	-0.85
叶绿素a含量 Chlorophyll a	k12	0.06	-0.64	0.77
叶绿素b含量 Chlorophyll b	k13	0.55	0.72	0.36
总叶绿素含量 Total chlorophyll	k14	0.30	-0.37	0.87
类胡萝卜素含量 Carotenoid	k15	-0.54	0.21	0.80
穗质量 Bunch mass	k16	0.98	-0.17	-0.14
穗长度 Bunch length	k17	-0.02	-0.39	0.41
穗宽度 Bunch width	k18	0.65	-0.59	0.14
单果质量 Single fruit mass	k19	0.95	-0.28	-0.12
果形指数 Fruit shape index	k20	-0.22	-0.69	0.69
果实横径 Horizontal diameter	k21	0.93	-0.37	-0.01
果实纵径 Vertical diameter	k22	0.89	-0.44	0.13
果实硬度 Fruit firmness	k23	0.96	-0.25	0.16
果梗拉力 Fruit stalk pull	k24	-0.96	0.17	-0.22
可溶性糖含量 Soluble sugar content	k25	0.82	0.52	0.07
可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	k26	0.74	0.55	0.30
淀粉含量 Starch content	k27	0.56	0.79	0.11
可滴定酸含量 Titratable acid content	k28	0.63	-0.77	-0.07
可溶性固体物含量 Soluble solids content	k29	-0.18	0.98	-0.08
维生素C含量 Vitamin C content	k30	0.46	0.82	-0.35
总酚含量 Total phenols content	k31	0.19	0.91	-0.37
类黄酮含量 Flavonoids content	k32	0.28	0.92	-0.29
总花青含量 Total anthocyanins content	k33	0.69	0.66	0.25
特征根 Eigen value		12.98	11.46	6.70
方差贡献率 Variance contribution rate/%		39.34	34.73	20.29
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%		39.34	74.07	94.36

酸含量等对PC2产生负向影响,果枝率、节间长度以及果实淀粉、可溶性固形物、叶绿素b、维生素C、总酚、类黄酮含量等对PC2产生正向影响,PC2可称为果实营养指标;在第3主成分中,CAT活性等对PC3产生负向影响,萌芽率、POD活性以及H₂O₂、叶绿素a、总叶绿素、类胡萝卜素含量等对PC3产生正向影响,PC3可称为生理特性指标。综合分析3个主成分,贡献率较大的萌芽整齐度、萌芽率、H₂O₂含量、POD和CAT活性等生理生化指标,是破眠剂单氰胺解除

葡萄休眠的主要影响因子。

对各指标数据进行标准化处理后,分别计算不同品种葡萄生理生化指标的综合评价得分值(Y),进一步根据各得分值与相应特征值的方差贡献率的乘积累加得出不同品种葡萄响应破眠处理的综合评价指数(S),以此评价破眠处理对不同品种葡萄生长发育的综合影响。由表3可知,单氰胺处理后各品种葡萄综合品质排序依次为早黑宝(H₂CN₂)>绍星一号(H₂CN₂)>早黑宝(CK)>早霞玫瑰(H₂CN₂)>

表3 不同处理葡萄的主成分值与综合评价指数值

Table 3 Values of principal components and synthetic analysis indexes of grape under different treatments

品种 Varieties	处理 Application	主成分值 Value of principal components, Y			综合评价指数 Synthetic analysis indexes, S	排名 Order
		Y1	Y2	Y3		
早黑宝 Zaoheibao	H ₂ CN ₂	2.074 1	0.252 0	0.480 2	2.806 2	1
	CK	1.707 3	-0.965 6	-0.462 7	0.279 1	3
早霞玫瑰 Zaoxia Meigui	H ₂ CN ₂	-1.130 2	-0.401 6	0.702 1	-0.829 7	4
	CK	-1.405 8	-1.499 7	-0.024 3	-2.929 7	6
绍星一号 Shaoxing No.1	H ₂ CN ₂	-0.482 3	1.991 7	0.081 2	1.590 6	2
	CK	-0.763 2	0.623 2	-0.776 4	-0.916 4	5

绍星一号(CK)>早霞玫瑰(CK)。

3 讨 论

葡萄芽休眠是其响应低温、干旱等胁迫形成的生理机制,逆境时休眠以维持最低水平的生理状态,环境适宜时恢复生长^[22]。Lang等^[23]定义芽休眠为芽内结构可见生长的暂时停止,根据休眠诱导因素将其分为相对休眠、生理休眠和生态休眠3类;之后Lavee等^[24]依照葡萄发育周期,结合Lang的方法将葡萄芽休眠分为前休眠、休眠和后休眠3个阶段,探究休眠形成与解除之间的动态变化过程。低温诱导葡萄芽休眠,而休眠的解除也有低温要求,即需冷量^[3]。大量研究表明,使用外源破眠剂单氰胺可以很好地提供葡萄休眠所需低温积累量,通过提前打破休眠,提高其萌芽率,改善农艺性状,促进果实提早成熟^[25-27]。本试验以3个设施栽培葡萄品种为试材,使用破眠剂单氰胺处理各品种葡萄休眠芽,有效加快了葡萄休眠解除及生长发育的进程,促使萌芽提前30~40 d,果实成熟提前30 d左右,明显缩短了萌芽至成熟的时间。此外,破眠处理后各品种葡萄的萌芽整齐度及萌芽率显著提高,而坐果率虽有所提升但均未达到显著差异,表明破眠剂处理主要对葡萄芽萌发效率有重要的影响。破眠处理后,不同

品种葡萄的物候期及相关农艺性状也存在显著差异,早霞玫瑰葡萄萌芽最早,而绍星一号葡萄成熟最早;早黑宝葡萄萌芽率(88.34%)显著高于早霞玫瑰(79.67%)和绍星一号葡萄(82.33%)等,这主要是由品种自身特性与遗传因素对破眠剂的响应不同造成的。

石蜡切片观察是研究细胞、组织和器官形态变化规律的有效手段之一,已广泛应用于植物组织形态发育及花芽分化规律等方面的研究^[28]。笔者选取各品种葡萄不同处理0 d和20 d后的芽组织进行形态分化显微结构观察,发现破眠处理后各品种葡萄芽内部结构迅速发育,生长点逐渐增大并伸长,主轴分化充满芽体,细胞数量增多,叶原基不断形成,花序原基持续发育,花分生组织形态完整;而清水处理后的相同时间内,芽体内部生长缓慢,各结构虽发育但未成形,可见少量叶原基与花序原基,整体无显著变化。因此,破眠处理能够促使葡萄休眠芽恢复活跃生长,加快芽体内部结构分化进程,促进结构形态良好发育,为后期果实的提早成熟奠定基础。

大量研究表明,梨、桃、葡萄以及苹果等落叶果树芽的萌发与过氧化氢(H₂O₂)密切相关^[29-31],其中闵卓^[30]发现单氰胺处理使葡萄芽萌发过程中的H₂O₂含量水平显著上升。本试验研究结果与其一致,破眠

处理后各品种葡萄芽萌发初期 H_2O_2 含量均显著高于对照,且品种间亦存在差异,早黑宝葡萄显著高于早霞玫瑰和绍星一号葡萄。此外,在落叶果树芽由休眠期向萌芽期转变的过程中,其自身酶活性也在随之逐渐变化,主要是抗氧化酶活性等。POD 和 CAT 是植物体内重要的 H_2O_2 相关抗氧化酶,能够将其分解为 O_2 和 H_2O ,构成抗氧化酶防御系统^[32]。在本试验中,破眠处理后各品种葡萄芽 POD 活性均显著高于对照,而 CAT 活性显著降低。这可能是由于单氰胺处理抑制了 CAT 基因的表达,同时促使 H_2O_2 分解减少、含量增加^[33]。

光合色素是植物体进行光合作用的重要物质基础,其含量与组成影响植物叶片的光合速率^[34]。Liu 等^[35]研究表明,对不同发育时期的两个鲜食葡萄品种香悦和夏黑使用单氰胺涂抹芽眼后,叶片总叶绿素含量在生长期整体呈现先升后降的趋势,且成熟期叶片的含量显著高于未处理的对照植株。本试验研究结果与上述一致,破眠处理后各品种葡萄成熟期叶片的总叶绿素含量均显著高于对照,其中叶绿素 b 含量显著升高,而叶绿素 a 变化不明显。同时,各品种葡萄成熟期叶片中的类胡萝卜素含量水平亦显著上升,表明破眠处理能够促使葡萄成熟期叶片光合色素含量整体增加。此外,不同品种之间比较发现,早黑宝和早霞玫瑰葡萄的总叶绿素含量均显著高于绍星一号葡萄,而早黑宝葡萄的类胡萝卜素显著低于其余二者,其原因还需进一步深入探究。

葡萄果实品质是检验破眠剂单氰胺解除葡萄芽休眠、促进其提早成熟效果的重要指标^[25]。本试验中,破眠处理后各品种葡萄果实的外观品质与内在品质均在固有水平的基础上得到提升,其中各品种葡萄外观品质均与对照无显著差异,表明其未因提早成熟而受到不良的影响。相较于不同葡萄品种,早黑宝葡萄穗质量、果实横纵经、单果质量以及果实硬度均显著高于早霞玫瑰和绍星一号葡萄,而果梗拉力显著低于二者。对于果实内在品质,破眠处理的早霞玫瑰葡萄果实中可溶性糖、可溶性蛋白质及淀粉含量均显著高于对照,而其他两个品种葡萄均有所提高但无显著差异;早黑宝和绍星一号葡萄可溶性固体物和维生素 C 含量均显著增加,而早霞玫瑰葡萄无显著差异。破眠处理后各品种葡萄总酚、类黄酮及总花青素相对含量均有所增加,其中除绍

星一号葡萄的总酚相对含量差异较为显著外,其余均无显著差异。综上所述,破眠剂单氰胺在打破葡萄休眠、促进提早萌芽在稳定并提升早熟果实的品质方面有着积极的作用,可将其广泛推行于生产实践当中。

4 结 论

萌芽整齐度、萌芽率、 H_2O_2 含量、POD 以及 CAT 活性是单氰胺解除葡萄休眠的主要影响因子;单氰胺处理后,早黑宝葡萄的综合品质优于早霞玫瑰和绍星一号。

参考文献 References:

- [1] 焦晓博,纪薇.葡萄抗寒机制研究进展[J].中外葡萄与葡萄酒,2019(5): 63-68.
JIAO Xiaobo, JI Wei. Progress in the mechanisms of cold tolerance in grape[J]. Sino-Overseas Grapevine and Wine, 2019(5): 63-68.
- [2] 邓秀新,王力荣,李绍华,张绍铃,张志宏,丛佩华,易干军,陈学森,陈厚彬,钟彩虹.果树育种 40 年回顾与展望[J].果树学报,2019,36(4): 514-520.
DENG Xiuxin, WANG Lirong, LI Shaohua, ZHANG Shaoling, ZHANG Zhihong, CONG Peihua, YI Ganjun, CHEN Xuesen, CHEN Houbin, ZHONG Caihong. Retrospection and prospect of fruit breeding for last four decades in China[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(4): 514-520.
- [3] 郭松涛,张亚红,李琴,张晓丽,付玉芳,刘帅.宁夏地区设施葡萄需冷量和需热量研究[J].果树学报,2020,37(7): 997-1007.
GUO Songtao, ZHANG Yahong, LI Qin, ZHANG Xiaoli, FU Yufang, LIU Shuai. Chilling and heat requirements of grape cultivars under protected culture in Ningxia area[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(7): 997-1007.
- [4] 孙利鑫,张亚红.落叶果树休眠期解除界定的研究进展[J].中国果树,2016(2): 55-59.
SUN Lixin, ZHANG Yahong. Research progress on dormancy release of deciduous fruit tree[J]. China Fruits, 2016(2): 55-59.
- [5] 付立中,申海林,邹利人,陈蕾,温景辉.落叶果树自然休眠研究进展[J].北方果树,2014(4): 1-3.
FU Lizhong, SHEN Hailin, ZOU Liren, CHEN Lei, WEN Jing-hui. Research progress of natural dormancy of deciduous fruit tree[J]. Northern Fruits, 2014(4): 1-3.
- [6] ZHENG C, HALALY T, ACHEAMPONG AK, TAKEBAYASHI Y, JIKUMARU Y, KAMIYA Y, OR E. Abscisic acid (ABA) regulates grape bud dormancy, and dormancy release stimuli may act through modification of ABA metabolism[J]. Journal of Experimental Botany. 2015, 66(5): 1527-1542.
- [7] YANG Q S, YANHG B, LI J Z, WANG Y, TAO R Y, YANG F,

- WU X Y, YAN X H, Ahmad M, SHEN J Q, BAI S L, TENG Y W. ABA- responsive ABRE- BINDING FACTOR 3 activates *DAM3* expression to promote bud dormancy in Asian pear[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2020, 43(6): 1360-1375.
- [8] RUBIO S, NORIEGA X, PEREZ F J. Abscisic acid (ABA) and low temperatures synergistically increase the expression of CBF/DREB1 transcription factors and cold-hardiness in grapevine dormant buds[J]. *Annals of Botany*, 2019, 123: 681-689.
- [9] 冯争光,刘晓杰,张永信,王俊山,杨金库,姚国胜.设施油桃无需冷栽培破眠剂的筛选[J].中国果树,2015(2): 23-26.
FENG Zhengguang, LIU Xiaojie, ZHANG Yongxin, WANG Junshan, YANG Jinku, YAO Guosheng. Screening of dormancy breaking agents for nectarine in greenhouse without cold cultivation[J]. *China Fruits*, 2015(2): 23-26.
- [10] 孙培琪,刘婧,贾建民,王秀惠,史作安,李宪利.不同药剂对打破玫瑰香葡萄芽休眠的效果研究[J].中国农学通报,2011, 27(8): 222-225.
SUN Peiqi, LIU Jing, JIA Jianmin, WANG Xiuhui, SHI Zuo'an, LI Xianli. Effect of different chemicals on dormancy release of *Vitis vinifera* 'Muscat Hamburg' [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(8): 222-225.
- [11] 孔凡梅.不同药剂打破葡萄休眠试验研究[J].辽宁农业职业技术学院学报,2016,18(1): 4-5.
KONG Fanmei. Study on breaking dormancy of grape with different chemicals[J]. *Journal of Liaoning Agricultural Technical College*, 2016, 18(1): 4-5.
- [12] 刘芳,寇芯,聂萧,王进,吕秀兰.不同促萌处理对葡萄芽萌发和果实品质的影响[J].分子植物育种,2017,15(1): 370-376.
LIU Fang, KOU Xin, NIE Xiao, WANG Jin, LÜ Xiulan. The effect of different treatments of stimulating germination on grapes buds and fruit quality[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15 (1): 370-376.
- [13] 孟凡丽.单氰胺打破温室辽峰葡萄休眠萌芽效果的研究[J].山西果树,2018(2): 5-6.
MENG Fanli. Study on effect of bud by mono cyanamide breaking dormancy of Liaofeng grape in greenhouse[J]. *Shanxi Fruits*, 2018(2): 5-6.
- [14] 韩真,李晨,姜建刚,腾兴隆,李勃.单氰胺和破眠1号对大棚藤稔葡萄破眠的影响[J].山东农业科学,2016,48(10): 78-80.
HAN Zhen, LI Chen, JIANG Jiangang, TENG Xinglong, LI Bo. Effects of hydrogen cyanamide and dormancy breaking medicament No.1 on dormancy breaking of *Vitis vinifera* variety Fujiminori in greenhouse[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2016, 48(10): 78-80.
- [15] 董华芳,任海,许延波,张旭东,刘永碧.破眠剂单氰胺对葡萄农艺性状的影响[J].湖北农业科学,2018,57(17): 59-61.
DONG Huafang, REN Hai, XU Yanbo, ZHANG Xudong, LIU Yongbi. The influence of broken sleep agent single melamine on grape agronomic traits[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, 57 (17): 59-61.
- [16] 杨盛,郝国伟,张晓伟,白牡丹,李凯,石美娟,程培红,郭黄萍,李六林.'玉露香梨'僵芽发生与内源激素和碳氮营养的关系[J].园艺学报,2015,42(6): 1057-1065.
YANG Sheng, HAO Guowei, ZHANG Xiaowei, BAI Mudan, LI Kai, SHI Meijuan, CHENG Peihong, GUO Huangping, LI Liulin. Effects of endogenous hormone, carbon and nitrogen nutrition on development of wizened bud in 'Yulu Xiangli' Pear[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(6): 1057-1065.
- [17] 温璐华,王真,庄维兵,王淼,朱飚秋,李百健,高志红.外源GA₄处理解除果梅花芽休眠的生理效应研究[J].中国南方果树,2015,44(5): 16-22.
WEN Luhua, WANG Zhen, ZHUANG Weibing, WANG Miao, ZHU Xianqiu, LI Baijian, GAO Zhihong. Physiological effect of exogenous GA₄ on the dormancy release of Japanese apricot flower buds[J]. *South China Fruits*, 2015, 44(5): 16-22.
- [18] 张良英,牛歆雨,刘林.UV-B增强下6-BA、GA₄对油桃光合和抗氧化酶活性的影响[J].果树学报,2012,29(5): 820-824.
ZHANG Liangying, NIU Xinyu, LIU Lin. Effects of 6-BA and GA₄ on photosynthesis and antioxidant enzyme activity of nectarine under enhanced UV-B radiation[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(5): 820-824.
- [19] 高虹,宋喜娥,姚满生,余凯凯,郭美俊,高贞攀,冯雷,王斌强,郭平毅,原向阳.不同施肥量对马铃薯产量的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2015,35(1): 416-420.
GAO Hong, SONG Xi'e, YAO Mansheng, YU Kaikai, GUO Meijun, GAO Zhenpan, FENG Lei, WANG Binjiang, GUO Pingyi, YUAN Xiangyang. Effects of different fertilizer application on potato yield[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2015, 35(1): 416-420.
- [20] JI W, HAN K, CAI Y H, MU Y Y, ZHAO L, ZHANG M, HOU C, GAO M Y, ZHAO Q F. Characterization of rhizosphere bacterial community and berry quality of Hutai No.8 (*Vitis vinifera* L.) with different ages, and their relations[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(10): 4532-4539.
- [21] 刘丙花,唐贵敏,梁静,舒秀阁,李萍萍,赵登超,侯立群.不同树形对早实核桃'鲁光'坚果产量和品质的影响[J].果树学报,2021,38(1): 73-81.
LIU Binghua, TANG Guimin, LIANG Jing, SHU Xiuge, LI Pingping, ZHAO Dengchao, HOU Liquan. Effects of different tree shapes on yield and quality of 'Luguang' walnut[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(1): 73-81.
- [22] 樊绍刚,吴胜,朱明涛,余俊,白描,杨国顺.葡萄冬芽生理休眠机理研究进展[J].东北农业大学学报,2019,50(10): 88-96.
FAN Shaogang, WU Sheng, ZHU Mingtao, YU Jun, BAI Miao, YANG Guoshun. Progress research on mechanism of grape bud dormancy[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2019, 50(10): 88-96.
- [23] LANG G, EARLY J, MARTIN G, DARNEll R. Endo-, para-, and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research[J]. *HortScience*, 1987, 22(3): 371-377.

- [24] LAVEE S, MAY P. Dormancy of grapevine buds-facts and speculation[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 1997, 3(1): 31-46.
- [25] 龚林忠, 刘芳杰, 李林, 何华平, 王富荣, 王会良, 诸小敏, 朱文达. 不同浓度单氰胺处理对夏黑葡萄生长发育、产量、经济性状的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(29): 14225-14226.
GONG Linzhong, LIU Fangjie, LI Lin, HE Huaping, WANG Furong, WANG Huijiang, ZHU Xiaomin, ZHU Wenda. Effects of hydrogen cyanamide with different concentration on growth and development, yield and economic characteristics of Summer Black grape (*Vitis vinifera*) [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(29): 14225-14226.
- [26] 刘鑫铭, 陈婷, 雷龑. 单氰胺处理对‘巨峰’葡萄果实品质的影响[J]. 东南园艺, 2018, 6(6): 8-12.
LIU Ximming, CHEN Ting, LEI Yan. Effect of hydrogen cyanamide on fruit quality of grape cv. ‘Kyoho’ [J]. Southeast Horticulture, 2018, 6(6): 8-12.
- [27] 刘鑫铭, 许鲁杰, 陈婷, 王建超, 雷龑. 单氰胺处理对设施葡萄物候期及果实品质的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(12): 1838-1844.
LIU Ximming, XU Lujie, CHEN Ting, WANG Jianchao, LEI Yan. Effect of cyanamide on phenophase and fruit quality of grape cultivated under greenhouse[J]. Acta Agriculturae Borealioccidentalis Sinica, 2017, 26(12): 1838-1844.
- [28] SUDAWAN B, CHANG C S, CHAO H F, KU M S B, YEN Y F. Hydrogen cyanamide breaks grapevine bud dormancy in the summer through transient activation of gene expression and accumulation of reactive oxygen and nitrogen species[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16(1): 202.
- [29] HUSSAIN S, NIU Q, YANG F, HUSSAIN N, TENG Y. The possible role of chilling in floral and vegetative bud dormancy release in *Pyrus pyrifolia*[J]. Biologia Plantarum, 2015, 59(4): 726-734.
- [30] 闵卓. 葡萄芽休眠相关基因 *VvArp* 和 *VvCdk* 的表达及休眠解除过程中氮素、抗氧化指标的变化[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
MIN Zhuo. Expression of two genes associated with grape bud dormancy and changes of nitrogen and anti-oxidation system during the process of dormancy release[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.
- [31] 高东升, 束怀瑞, 李宪利. 几种落叶果树 H_2O_2 含量变化与自然休眠关系的研究[J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 209-213.
GAO Dongsheng, SHU Huairui, LI Xianli. The relationship of H_2O_2 content changes in buds with the endodormancy of fruit trees[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(3): 209-213.
- [32] MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance [J]. Trends in Plant Science, 2002, 7(9): 405-410.
- [33] 黄晓婧. 单氰胺处理对葡萄冬芽萌发的影响及其调控机理初探[D]. 成都: 四川农业大学, 2019.
HUANG Xiaojing. Effect of hydrogen cyanamide treatment on winter buds germination of grapevine and the study of its regulation mechanism[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2019.
- [34] 杨忠义, 郭雯岩, 李戌彦, 董志刚, 乔治军, 纪薇. 不同光质对‘秋红宝’葡萄试管苗生长的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(6): 838-847.
YANG Zhongyi, GUO Wenyan, LI Xuyan, DONG Zhigang, QIAO Zhijun, JI Wei. Effect of light quality on the growth of in vitro seedling of ‘QiuHongBao’ grape[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(6): 838-847.
- [35] LIU F, LIANG D, WANG J, LV X L, GONG M F. The effect of promoting sprouting process by cyanamide on the growth of grape leaves[J]. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 2017, 11(6): 649-654.