



冬前喷施 EBR 对‘美乐’葡萄枝条生理特性及萌芽的影响

赵芳芳,郭学良,刘 研,汪月宁,殷梦婷,代红军

(宁夏大学 农学院,银川 750021)

摘 要 研究低温条件下外源油菜素内酯对‘美乐’葡萄枝条生理特性的影响,为其在酿酒葡萄抗寒性方面的研究与应用提供理论依据和技术指导。以酿酒葡萄‘美乐’为试材,外源喷施油菜素内酯(0、0.2、0.4、0.6 mg/L),后置于不同低温(5℃、-5℃、-10℃、-20℃)下24 h,研究其对葡萄枝条抗寒性的影响,并运用主成分分析对葡萄枝条的抗寒能力作综合评价。外源油菜素内酯提高了葡萄枝条 SOD、POD 活性及抗坏血酸的含量,降低了电导率及丙二醛(MDA)含量;同时提高了游离脯氨酸和可溶性糖的含量。与对照相比,0.4 mg/L 处理差异显著,POD 活性提高 48.05%,MDA 含量降低 73.8%,脯氨酸和可溶性糖含量分别提高 8.65%和 46.96%。外源油菜素内酯通过提高葡萄枝条的抗氧化能力和渗透调节物质含量,从而提高葡萄枝条的抗寒性,其中 0.4 mg/L 表现最优。

关键词 油菜素内酯;‘美乐’葡萄;生理特性;主成分分析;抗寒性

中图分类号 S663.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2022)03-0328-07

随着宁夏葡萄酒业的发展,酿酒葡萄的种植面积逐年扩大,但主产区冬季低温干旱,冻害频繁发生,造成葡萄产量和品质下降,在一定程度上影响和制约着葡萄酒业的发展^[1-3]。2,4-表油菜素内酯(2,4-Epibrassinolide,简称 EBR)被誉为第六大植物生长调节剂^[4],极低浓度即可提高植物的抗性,如抗旱性、抗寒性和抗毒性^[5-6]。酿酒葡萄对低温反应敏感,枝条萌发适温为 18~20℃,低于 15℃萌芽率显著降低,气温达到-25℃时植株将会死亡^[7-8]。因此,寻找简单有效的方法,对缓解酿酒葡萄的受害程度具有重要的应用价值,对解决酿酒葡萄生产有着重要的现实意义。刘良松等^[9]研究表明,EBR 能有效缓解低温胁迫对华山松幼苗的影响,降低活性氧对其幼苗的伤害,减轻膜脂过氧化程度,提高华山松幼苗的抗寒能力。刘丽杰等^[10]研究表明,在低温条件下,EBR 能提高小麦叶片中保护酶活性,并通过多种作用机制,增加了小麦对低温的抵抗力。张霓雯等^[11]研究了低温胁迫下,喷施 EBR 能明显减缓黄金香柳叶片生长受抑制程度,显著增加叶片中抗氧化酶 SOD、POD、CAT 的活性,同时降低了

MDA 含量,表明外源应用 EBR 可通过影响黄金香柳叶片叶绿素含量及促进根系抗氧化系统活性升高,从而增强植株抗低温的能力。近年来,许多学者对 EBR 在不同作物抗性方面的应用进行了大量研究,但在酿酒葡萄抗寒性方面的应用少有报道。本研究以酿酒葡萄‘美乐’为试材,经不同浓度 EBR(0、0.2、0.4、0.6 mg/L)喷施处理,随后在低温(5℃、-5℃、-10℃、-20℃)条件下处理,研究其对酿酒葡萄枝条抗寒性的影响。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 10 月在宁夏农垦集团玉泉营农场,国家葡萄产业技术体系栽培生理与调控岗位试验基地中进行(北纬 38°12′,东经 105°99′,冬季日均气温-11℃,绝对低温-24℃),20~40 cm 处的地温经常达到-5℃以下。

1.2 试验设计

供试材料为 5 a 生欧洲酿酒葡萄‘美乐’。2020 年 10 月 3 日果实采收后选取长势基本一致的植株 3 行,每行 4 组,每组 10 株标签标记。随

收稿日期:2021-03-31 修回日期:2021-07-20

基金项目:宁夏自然科学基金(2020AAC03088)。

第一作者:赵芳芳,女,硕士研究生,研究方向为葡萄逆境生理与分子生物学。E-mail:1725869442@qq.com

通信作者:代红军,女,教授,研究方向为葡萄逆境生理与分子生物学。E-mail:dai_hj@nxu.edu.cn

机机组设计,重复 3 次,将各浓度 EBR(0、0.2、0.4、0.6 mg/L,依次标记为 CK、T1、T2、T3)喷施于葡萄整株,每组大约喷施 10 L 左右,以枝条滴水为准,第 1 次喷施后隔 1 d 进行第 2 次喷施处理,共计喷施 2 次。之后在埋土防寒前采样,各组剪取 1 a 生枝条 30 枝,分别从基部起第 6 节剪取 20~30 cm(粗度在 0.9~1.1 cm)的枝条,剪取枝条后两端封蜡,用保鲜膜密封后置于冰盒带回实验室。

将埋土之前采集的样本于 4 ℃ 沙藏 1 个月后,分别置于 5 ℃、-5 ℃、-10 ℃、-20 ℃ 的变温试验箱(型号:BC1300)进行低温处理。降温至设定温度后持续 24 h,之后逐步升温至 0 ℃,并保持 12 h,升降温速率均为 4 ℃/1 h。其余枝条避开芽眼切成 1~2 mm 薄片,测定其相关指标。

1.3 单芽段恢复生长试验

将用不同浓度油菜素内酯和低温处理后的单芽段用蒸馏水冲洗后晾干,插入含有轻型基质的培养盘中,每个处理 3 盘,每盘 10 个单芽段。将培养盘置于人工气候培养箱(MGC-100 H)中,白天温度设置为 23 ℃,夜间温度 15 ℃,湿度为 60%~80%,光照度为 3 000 lx。培养 40 d 后观察记录萌芽率,以露绿芽为标准。

1.4 测定指标及方法

电导率采用电导仪法(DDS-307 型)测定,丙

二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法,可溶性糖含量采用蒽酮比色法,游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮比色法,过氧化物酶活性(POD)采用愈创木酚法^[12-13],超氧化物歧化酶活性(SOD)采用试剂盒法(购自南京建成生物科技有限公司)。扦插培养 40 d 后调查萌芽率,并按下式计算。

$$\text{萌芽率} = \text{萌发芽总数} / \text{扦插芽段总数} \times 100\%$$

1.5 数据分析

采用 Excel 2016、SPSS 21.0 软件对试验数据进行作图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 EBR 处理对‘美乐’葡萄枝条相对电导率和 MDA 含量的影响

在低温胁迫条件下植物细胞膜结构被破坏,致使电解质外渗,电导率增大,因此,电导率越小,耐寒性就越强。由图 1 可知,各处理葡萄枝条的电导率及 MDA 均随温度的降低而增加,在 -10 ℃ 低温处理下,电导率差异显著,其中 CK 的电导率值最大,为 81.77%,T2 处理电导率最小,为 45.8%;经 EBR 处理的葡萄枝条相对电导率和 MDA 增幅也较小,其中 T2 处理增幅最小,与 CK 相比增幅分别减少 15.3% 和 51.2%。因此,EBR 可以降低葡萄枝条细胞膜的损害程度,减少电解质外渗。

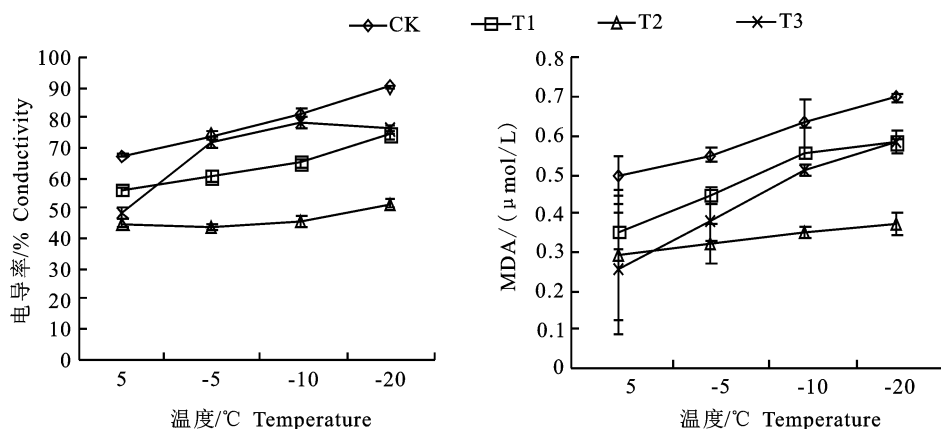


图 1 ‘美乐’葡萄枝条中相对电导率和 MDA 含量

Fig. 1 Relative conductivity and malondialdehyde content in branches of ‘Merlot’ grape

2.2 EBR 处理对‘美乐’葡萄枝条 POD 和 SOD 活性的影响

由图 2 可知,随温度的降低,各处理葡萄枝条的 POD 活性呈先升后降趋势。随 EBR 浓度的增加,当温度大于 -5 ℃ 处理时,POD 活性呈先升后降趋势,小于 -5 ℃ 时,呈上升趋势。经 EBR

处理的葡萄枝条 POD 活性均高于 CK,在 -5 ℃ 时达到最大,其中 0.4 mg/L 处理差异显著,与对照相比增加 48.05%;在 -20 ℃ 时,POD 活性有所下降,但经 EBR 处理的葡萄枝条 POD 依然高于对照,0.6 mg/L 处理差异显著,与对照相比增加 61.81%。总的来说,EBR 能够提高葡萄枝条

的抗氧化能力,减轻膜脂氧化程度,其中浓度为 0.4、0.6 mg/L EBR 处理效果较好。随着温度的降低,各处理葡萄枝条的 SOD 活性呈波动趋势,随着 EBR 浓度的升高,SOD 活性呈上升趋势。EBR 浓度为 0.6 mg/L 时,SOD 活性最高,与 CK

差异显著,这说明浓度为 0.6 mg/L 的 EBR 有利于提高葡萄枝条的 SOD 活性。温度在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,SOD 活性增幅最大,说明 EBR 在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,对葡萄枝条 SOD 活性的影响最大。

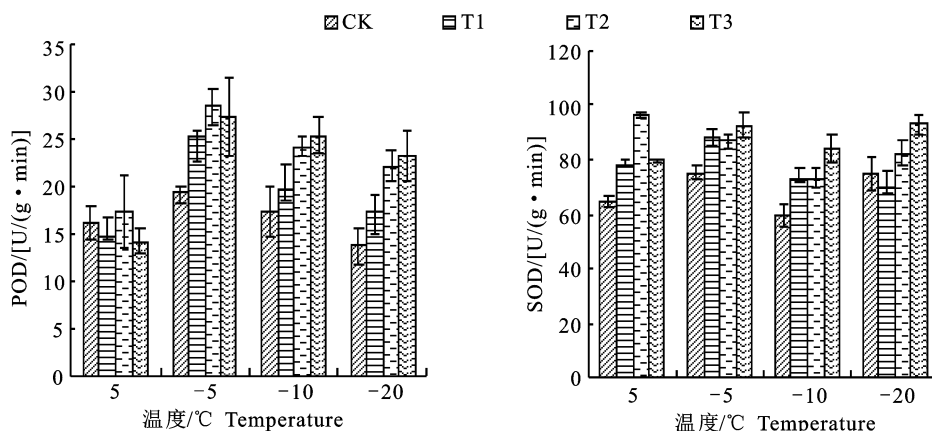


图2 ‘美乐’葡萄枝条中 POD 和 SOD 活性

Fig. 2 Activity of POD and SOD in branches of ‘Merlot’ grape

2.3 EBR 处理对‘美乐’葡萄枝条渗透调节物质的影响

从图 3 可以看出,随着温度的降低,葡萄枝条脯氨酸含量呈先升后降的变化趋势,但整体趋势较为平稳,除 T1 处理外,其余处理均高于对照。 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理时,T2 处理的脯氨酸含量最高,与 CK 相比增加 8.65%;当 EBR 浓度低于 0.4 mg/L 时,脯氨酸含量与 CK 接近,差异不显著 ($P>0.05$),说明浓度低于 0.4 mg/L 的 EBR 对提高葡萄枝条在低温条件下的脯氨酸含量作用

小。随着温度的降低,除 T2 处理外,各处理葡萄枝条的可溶性糖呈下降趋势;随着 EBR 浓度的增加,呈先升后降趋势,经 EBR 处理的葡萄枝条可溶性糖含量均高于 CK。不同浓度 EBR 在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时各处理间差异不显著,在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下增幅最大,T2 处理与 CK 相比增加 46.96%;说明在低温条件下 EBR 可以促进可溶性糖的积累来保持渗透压平衡,减少水分散失,避免植物因过量脱水死亡。

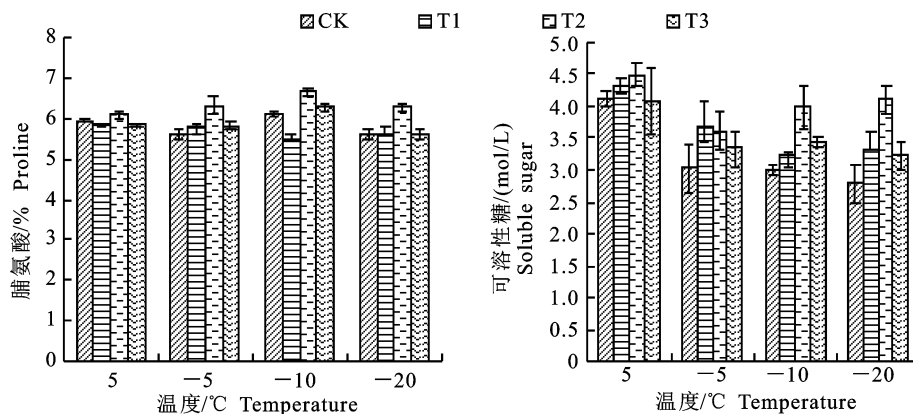


图3 ‘美乐’葡萄枝条中渗透调节物质

Fig. 3 Osmotic adjustment substances in branches of ‘Merlot’ grape

2.4 EBR 处理对‘美乐’葡萄枝条萌芽率的影响

由表 1 可知,通过对低温胁迫后,各处理葡萄枝条进行可恢复生长试验,得出各处理枝条在

$5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理时生长势较好,低温胁迫后的萌芽率为 60% 以上; $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,各处理萌芽率都有所降低,0.4 mg/L 与对照相比增加了 24.05%; $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$,

除了对照其余均高于 60% 以上,0.4 mg/L 与对照相比增加了 48.07%。在-20℃时,各处理萌芽率差异显著,其中 0.4 mg/L 处理萌芽率最高,与对照相比增加了 77.87%。这说明,EBR 能够

提高低温胁迫时葡萄枝条的萌芽率,且不同浓度对其影响不同,差异显著,其中 0.4 mg/L 处理相对较好。

表 1 ‘美乐’葡萄枝条的萌芽率
Table 1 Germination rate of branches of ‘Merlot’ grape %

处理 Treatment	5℃	-5℃	-10℃	-20℃
CK	85.12±1 bAB	66.1±1 aA	52±1 cC	37.5±1 cD
T1	86.70±1 bB	67.7±1 bB	61±1 bB	50.0±1 bB
T2	100.00±1 aA	82.0±1 aA	77±1 aA	66.7±1 aA
T3	91.72±1 aA	66.0±1 bB	60±1 bB	56.5±1 bAB

注:数值表示为“平均值±标准误”。同列不同大小写字母分别表示差异显著($P<0.01$)和($P<0.05$)。
Note: Data are “mean±standard error”. Different uppercase and lowercase letters in same columns indicate significant differences ($P<0.01$) and ($P<0.05$).

2.5 葡萄枝条抗寒指标主成分分析

对不同浓度 EBR 处理的葡萄枝条中 6 种抗寒指标进行主成分分析,前 2 个主成分累积贡献率达到提取要求 80% 以上的要求,为 80.446%,可以代表 6 种抗寒指标的绝大部分信息。从表 2 可知,第一主成分的特征值为 3.128,贡献率为 52.125%,主要反映低温胁迫下 EBR 对葡萄枝条中电导率、MDA 的影响;第二主成分的特征值为 1.699,贡献率为 28.321%,主要反映低温胁迫下 EBR 对葡萄枝条中 POD、SOD、脯氨酸的影响,因此抗氧化酶可作为第二主成分。

表 2 主成分分析
Table 2 Principal component analysis

项目 Item	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2
电导率 Conductivity	0.936	-0.067
MDA	0.940	-0.032
脯氨酸 Proline	-0.688	0.271
可溶性糖 Soluble sugar	-0.895	-0.308
SOD	0.224	0.844
POD	-0.206	0.902
特征值 Eigenvalues	3.128	1.699
贡献率/% Contribution rate	52.125	28.321
累积贡献率/% Cumulative contribution rate	52.125	80.446

3 讨论

3.1 EBR 处理对‘美乐’葡萄枝条萌芽率的影响

低温胁迫将会导致植物萌芽延迟、生长发育受阻,生长量增加迟缓,胁迫严重时生长完全停止^[14]。有研究发现,喷施 EBR 对烟草萌芽有显

著促进作用,随处理浓度升高,促进作用增强^[15]。也有研究表明,适宜浓度的 EBR 能有效缓解低温胁迫对水稻萌芽的影响^[16]。本研究发现,随低温胁迫程度的增加,各处理萌芽率都有所降低,但经 EBR 处理的葡萄枝条萌芽率随温度的减低降幅较小,0.4 mg/L 处理的 EBR 能够显著提高葡萄枝条的萌芽率。这与前人研究结果一致^[15-16]。

3.2 EBR 处理对‘美乐’葡萄枝条生理指标的影响

植物受到低温胁迫时,细胞内活性氧大量积累,使其代谢失衡,导致膜脂过氧化产生丙二醛(MDA),最终造成细胞膜系统氧化损伤,细胞内的离子外渗,细胞的相对电导率增大^[17-18]。此时,植物体内抗氧化防御系统活性增加,防止细胞内过量积累的活性氧对植物造成的氧化伤害。SOD 作为植物细胞的第一道抗氧化防线,能将超氧阴离子自由基转化为过氧化氢。POD 能将过氧化氢(H₂O₂)分解,从而缓解了由于活性氧积累对细胞带来的伤害^[19-20]。本研究发现低温胁迫后,经 0.4 mg/L 处理的葡萄枝条的电导率和 MDA 含量最低,适当浓度的 EBR 可以降低 MDA 含量和减少离子外渗,这与小麦和甘薯等其他作物上的研究结果一致^[21]。本研究还发现,低温胁迫时,0.4 mg/L 和 0.6 mg/L 的 EBR 使得 SOD 活性都显著增强,EBR 浓度为 0.4 mg/L 时达到峰值,这与杨莲等^[22]对番茄的研究基本一致,0.2 mg/L 的 SOD 活性虽然也增强,但不显著。这说明一定浓度的 EBR 能显著提高葡萄枝条 POD 活性,从而降低氧自由基含量,清除过多的活性氧,从而减轻膜脂过氧化程度,进而增强葡萄枝条的抗寒性。这与张爱敏等^[23]在低温胁迫下 BR 处

理能提高黄瓜 POD 活性以及吴旺娣等^[24]对低温胁迫下 EBR 处理可使水稻种子的 POD 活性显著增强的研究结果一致。

低温胁迫下植物细胞内正常的代谢活动会发生改变,细胞内会积累一些渗透调物质来维持细胞膨压对一些生理功能的调控,从而缓解逆境胁迫给植物带来的伤害^[9]。本研究中 EBR 促进了枝条对可溶性糖和脯氨酸的积累,可溶性糖在 0.4 mg/L 处理中积累得最多,而 EBR 对脯氨酸积累则不显著,这说明葡萄枝条在受到低温胁迫时,通过提高自身可溶性糖含量来增强抵抗低温的能力,这与其他学者在作物^[25-26]中的研究结果一致。植物在受到低温胁迫时 EBR 可调控葡萄植株积累较多的可溶性糖等渗透调节物质,这些可溶性糖可防止细胞脱水,降低冰点,从而减轻低温伤害。

4 结 论

EBR 提高了葡萄枝条的抗氧化能力和渗透调节物质的含量,减少了质膜受损程度,提高了葡萄枝条的抗寒性,其中 0.4 mg/L 表现最优。

参考文献 Reference:

- [1] 段晓凤,张 磊,李红英,等. 贺兰山东麓酿酒葡萄新梢萌芽期室内霜冻模拟试验[J]. 经济林研究, 2017, 35(4): 171-176.
DUAN X F, ZHANG L, LI H Y, *et al.* Laboratory frost simulation experiment of wine grape at germination period of young sprouts at eastern foot of Helan Mountain[J]. *Nonwood Forest Research*, 2017, 35(4): 171-176.
- [2] 李 华,王 华. 中国葡萄酒[M]. 西安:西北农林科技大学出版社, 2010.
LI H, WANG H. Wine in China [M]. Xi'an: Publishing House, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2010.
- [3] ADAMS W W, ZATER C R, EBBER T V, *et al.* Photoprotective strategies of ower intering evergreens[J]. *Bio Science*, 2004, 54(1): 41-49.
- [4] 刘亚洁,安黎哲. 低温胁迫下油菜素内酯对高山离子芥悬浮细胞膜系统的影响[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2020(4): 797-803.
LIU Y J, AN L ZH. Effect of brassinosteroids on the membrane system of *Chorispora bungeana* suspension-cultured cells under chilling stress [J]. *Journal of Sichuan University(Natural Science Edition)*, 2020(4): 797-803.
- [5] 任鸿雁,王 莉,马青秀,等. 油菜素内酯生物合成途径的研究进展[J]. 植物学报, 2015, 50(6): 768-778.
REN H Y, WANG L, MA Q X, *et al.* Progress in biosynthetic pathways of brassinosteroids[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2015, 50(6): 768-778.
- [6] 郑 洁,王 磊. 油菜素内酯在植物生长发育中的作用机制研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(1): 52-58.
ZHENG J, WANG L. Research progress on the mechanism of brassinolide in plant growth and development[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2014, 16(1): 52-58.
- [7] 范宗民,孙军利,赵宝龙,等. 不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条抗寒性比较[J]. 果树学报, 2020, 37(2): 215-225.
FAN Z M, SUN J L, ZHAO B L, *et al.* Evaluation of cold resistance of one-year shoots from ‘Cabernet Sauvignon’ grape vine grafted on different rootstocks[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(2): 215-225.
- [8] 何 伟,艾 军,范书田,等. 葡萄品种及砧木抗寒性评价方法研究[J]. 果树学报, 2015, 32(6): 1135-1142.
HE W, AI J, FAN SH T, *et al.* Study on evaluation method for cold resistance of grape cultivars and rootstock [J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(6): 1135-1142.
- [9] 刘良松,杨宏艳,赵 冬,等. 油菜素内酯预处理对低温胁迫下山松幼苗生理特性的影响[J]. 西部林业科学, 2020, 49(2): 99-105.
LIU L S, YANG H Y, ZHAO D, *et al.* Effects of brassinolide pretreatment on physiological characteristics of *Pinus armandii* seedlings under low temperature stress[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2020, 49(2): 99-105.
- [10] 刘丽杰,丁美云,刘晓娜,等. 外源油菜素内酯对小麦幼苗抗冷性的诱导效应[J]. 分子植物育种, 2020, 18(20): 6815-6821.
LIU L J, DING M Y, LIU X N, *et al.* Induction effect of exogenous epibrassinolide on cold resistance of wheat seedlings[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18(20): 6815-6821.
- [11] 张霓雯,王 莉,吴 云,等. 低温条件下油菜素内酯对黄金香柳生理指标的影响[J]. 北方园艺, 2016(17): 67-72.
ZHANG N W, WANG L, WU Y, *et al.* Effect of brassinolide on physiology indexes of *Melaleuca bracteata* cv. ‘Revolution Gold’ under different low temperature[J]. *Northern Horticulture*, 2016(17): 67-72.
- [12] 郝再彬,苍 晶,徐 仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004: 101-104.
HAO Z B, CANG J, XU ZH. Plant Physiology Experiment [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004: 101-104.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000: 164-169.
LI H SH. Experimental Principles and Techniques of Plant Physiology and Biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164-169.
- [14] 袁凌云,朱世东,赵冠艳,等. 油菜素内酯诱导番茄幼苗抗冷效果的研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(5): 205-208.
YUAN L Y, ZHU SH D, ZHAO G Y, *et al.* Studies of in-

- duced by BR on resistance of seedling of tomato to chilling injury[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(5):205-208.
- [15] 张娟,吴晓颖,许娜,等. 2,4-表油菜素内酯对烟苗幼茎生长及相关基因表达的影响[J/OL]. *中国烟草科学*, 2021(4):1-6.
ZHANG J, WU X Y, XU N, *et al.* The effect of 2,4-epibrassinolide on the growth and related gene expression of tobacco seedlings[J/OL]. *China Tobacco Science*, 2021(4):1-6.
- [16] 周伟江. 油菜素内酯对低温胁迫下水稻种子萌发及幼苗生长特性的调控机制[D]. 长沙:湖南农业大学, 2019.
ZHOU W J. Regulation mechanism of brassinolide on rice-seed germination and seedling growth characteristics under low temperature stress[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.
- [17] 张剑侠. 葡萄种质资源对晚霜冻害的抗性表现[J]. *果树学报*, 2019, 36(2):137-142.
ZHANG J X. The resistance of grape germplasm resources to late frost damage[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(2):137-142.
- [18] ASADA K. Production and Action of Active Oxygen Species in Photosynthetic Tissues[M]. Boca Raton FL: CRC Press, 1994:77-104.
- [19] 刘亚洁,安黎哲. 2,4-表油菜素内酯对高山离子芥悬浮细胞抗寒性的影响[J]. *生物学杂志*, 2020, 37(6):64-67.
LIU Y J, AN L ZH. Effect of 2,4-epibrassinolide on chilling tolerance of *Chorispora bungeana* suspension cultured cells[J]. *Journal of Biology*, 2020, 37(6):64-67.
- [20] 张小贝,祝志欣,南文卓,等. 2,4-表油菜素内酯(EBR)对菜用甘薯抗寒生理生化的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2017, 44(3):525-529.
ZHANG X B, ZHU ZH X, NAN W ZH, *et al.* Effect of 2,4-epibrassinolide on chilling tolerance of *Chorispora bungeana* suspension cultured cells[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2017, 44(3):525-529.
- [21] 普布卓玛. 2,4-表油菜素内酯和脯氨酸对低温胁迫下垂穗披碱草幼苗的生理调控作用[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2020.
PUBUZHUMA. Physiological effects of brassinosteroid and proline on *Elymus nutans* under low temperature stress[D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2020.
- [22] 杨莲,高欢,吴凤芝. 2,4-表油菜素内酯对亚低温胁迫下番茄幼苗生长与钾积累的影响[J]. *中国蔬菜*, 2021(1):48-55.
YANG L, GAO H, WU F ZH. Effects of exogenous 2,4-epibrassinolide on tomato seedling growth and potassium accumulation under sub-low temperature[J]. *Chinese Vegetables*, 2021(1):48-55.
- [23] 张爱敏,周国顺,付丽军,等. 低温胁迫下油菜素内酯对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *中国瓜菜*, 2019, 32(12):31-36.
ZHANG A M, ZHOU G SH, FU L J, *et al.* Effects of brassinosteroids on seed germination and seedling growth of cucumber under low temperature stress[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2019, 32(12):31-36.
- [24] 吴旺娣,周伟江,唐才宝,等. 2,4-表油菜素内酯对低温胁迫下水稻种子萌发及生理特性的影响[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(13):4427-4434.
WU W B, ZHOU W J, TANG C B, *et al.* Effects of exogenous 2,4-epibrassinolide on germination and physiological characteristics of rice seeds under chilling stress[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18(13):4427-4434.
- [25] 刘丽杰,丁美云,刘晓娜,等. 外源表油菜素内酯对小麦幼苗抗冷性的诱导效应[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(20):6815-6821.
LIU L J, DING M Y, LIU X N, *et al.* Induction effect of exogenous epibrassinolide on cold resistance of wheat seedlings[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18(20):6815-6821.
- [26] 姜寒玉,雷天翔,李唯,等. 低温胁迫下‘贝达’和‘赤霞珠’葡萄不同组织糖含量及细胞结构的变化[J]. *果树学报*, 2015, 32(4):604-611.
JIANG H Y, LEI T X, LI W, *et al.* Changes of sugar contents in different tissues and cell structure in two grape (*Vitis vinifera* L.) varieties under low temperature stress[J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(4):604-611.

Effect of Brassinolide on Physiological Characteristics of ‘Merlot’ Grape Branches under Low Temperature Stress

ZHAO Fangfang, GUO Xueliang, LIU Yan, WANG Yuening,
YIN Mengting and DAI Hongjun

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract To study the effect of exogenous brassinolide on the physiological characteristics of ‘Merlot’ grape branches under low temperature condition, and to provide theoretical basis and technical guidance for its research and application of the cold resistance. Using wine grape ‘Merlot’ as the test material, different concentrations (0, 0.2, 0.4, 0.6 mg/L) brassinolide and different low temperatures (5 °C, -5 °C, -10 °C, -20 °C) were set to study its influence on the cold resistance of grape branches, and the principal component analysis was conducted to comprehensively evaluate the cold resistance of grape branches. Different concentrations of EBR increased the SOD, POD activity and ascorbic acid content of grape branches, reduced electrical conductivity and malondialdehyde content; at the same time, it increased free proline and soluble sugar content. Compared with the control, 0.4 mg/L treatment was significantly different, POD activity increased by 48.05%, malondialdehyde content decreased by 73.8%, proline and soluble sugar content increased by 8.65% and 46.96%, respectively. So EBR improves the cold resistance of grape branches by increasing the antioxidant capacity and osmotic adjustment substance content of grape branches, and 0.4 mg/L is the best.

Key words Brassinolide; ‘Merlot’ grape; Physiological characteristics; Principal component analysis; Cold resistance

Received 2021-03-31

Returned 2021-07-20

Foundation item Natural Science Foundation of Ningxia (No. 2020AAC03088).

First author ZHAO Fangfang, female, master student. Research area: grape adversity physiology and molecular biology. E-mail: 1725869442@qq.com

Corresponding author DAI Hongjun, female, professor. Research area: grape adversity physiology and molecular biology. E-mail: dai_hj@nxu.edu.cn

(责任编辑: 潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)