中国农业大学学报 2024,29(7):68-78
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

张立霞,朱雯莎,徐国前,张亮,刘国安,李茹一,王志磊,杨帆,王江林,程春颖,薛婷婷. 冬季保温被覆盖对贺兰山东麓葡萄植株越冬生理代谢的影响[J]. 中国农业大学学报,2024,29(07):68-78.

ZHANG Lixia, ZHU Wensha, XU Guoqian, ZHANG Liang, LIU Guoan, LI Ruyi, WANG Zhilei, YANG Fan, WANG Jianglin, CHENG Chunying, XUE Tingting. Effects of winter thermal insulation cover on the overwintering physiological metabolism of grapevines in the eastern foothills of Helan Mountain[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(07): 68-78.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.07.07

冬季保温被覆盖对贺兰山东麓葡萄植株越冬生理代谢的影响

张立霞[1] 朱雯莎[2] 徐国前[1,3] 张 亮[1,3] 刘国安[1] 李茹一[1,3] 王志磊[1,3]
杨 帆[1] 王江林[1] 程春颖[1] 薛婷婷[1,3*]

(1. 宁夏大学 葡萄酒与园艺学院,银川 750021;
2. 西北大学 化工学院,西安 710000;
3. 葡萄与葡萄酒教育部工程研究中心/宁夏葡萄与葡萄酒工程技术研究中心,银川 750021)

摘 要 为探讨新型的冬季保温被覆盖对贺兰山东麓葡萄植株越冬生理代谢的影响,以贺兰山东麓青铜峡产区的'霞多丽''玫瑰香'葡萄为研究对象,以冬季埋土作为对照,分别对土壤温度、植株存活率、枝条含水量、植株抗寒指标、内源激素含量和蔗糖代谢指标进行测定。结果表明:保温被覆盖对维持土壤温度具有明显作用,保温被覆盖处理下土壤温度介于-0.8~2.9 ℃,保温被覆盖处理葡萄植株存活率、游离脯氨酸含量、超氧化物歧化酶活性、蔗糖磷酸合成酶活性、蔗糖转化酶活性、淀粉含量和蔗糖含量均低于埋土处理,保温被覆盖处理枝条含水量、丙二醛、赤霉素和吲哚丙酸含量均高于埋土处理。综上,采用保温被覆盖措施可以保护葡萄安全越冬,以达到防寒效果,且与传统的埋土防寒相比具有省时、省力和节约成本等优势,因此保温被覆盖葡萄植株的越冬方式在贺兰山东麓产区有一定的推广使用价值。

关键词 保温被覆盖; 葡萄; 内源激素; 蔗糖代谢

中图分类号 S663.1 **文章编号** 1007-4333(2024)07-0068-11 **文献标志码** A

Effects of winter thermal insulation cover on the overwintering physiological metabolism of grapevines in the eastern foothills of Helan Mountain

ZHANG Lixia[1], ZHU Wensha[2], XU Guoqian[1,3], ZHANG Liang[1,3], LIU Guoan[1], LI Ruyi[1,3], WANG Zhilei[1,3], YANG Fan[1], WANG Jianglin[1], CHENG Chunying[1], XUE Tingting[1,3*]

(1. College of Enology and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;
2. School of Chemical Engineering Northwest University, Xi'an 710000, China;
3. Engineering Research Center of Grape and Wine, Ministry of Education/Ningxia Grape and Wine Engineering Technology Center, Yinchuan 750021, China)

Abstract To explore the effects of new winter thermal insulation coverage on the physiology and metabolism of overwintering grapevines, 'Chardonnay' and 'Midknight Beauty' varieties from the Qingtongxia region in the eastern foothills of the Helan Mountain was taken as the research objects. Vines that were buried under

收稿日期: 2023-08-21
基金项目: 国家自然科学基金项目(32360804);宁夏自然科学基金(一般项目)资助(2023AAC03143);宁夏自治区重点研发项目(NXNYYZ202101);宁夏自然科学基金(一般项目)资助(2023AAC03064)
第一作者: 张立霞(ORCID:0009-0005-4168-7878),硕士研究生,E-mail:zlx17795417216@163.com
通讯作者: 薛婷婷(ORCID:0000-0003-1721-5756),博士,副教授,主要从事酿酒葡萄冬季免埋土和生态栽培研究,E-mail:xtt@nxu.edu.cn

the soil during the winter were used as the control. The soil temperature, plant survival rate, water content, cold resistance indicators, content of endogenous hormones and the sucrose metabolism of the branches were measured. The results of this study showed as follows: The thermal insulation covering had a significant effect on maintaining the soil temperature, which ranged from −0.8 ℃ to 2.9 ℃ under the thermal insulation covering treatment. The survival rate of the grapevines, their contents of free proline, starch, and sucrose, the enzyme activities of superoxide dismutase, sucrose phosphoribosyl synthase, and sucrose converting enzyme of the vines covered with thermal insulation were lower than those buried. The contents of water, malondialdehyde, gibberellin and indole propionic acid in the branches were all higher than those buried in the soil. On the whole, the use of insulating blankets to cover the grapes safely protected them over the winter. Compared with the traditional method of buried soil to overwinter the vines, the wintering method created in this study also saved time, labor and money. Therefore, the wintering method of thermal insulation and covering grape plants has certain promotional and usage value in the eastern foothills of Helan Mountain.

Keywords　thermal insulation cover; grapevines; endogenous hormone; sucrose metabolism

宁夏贺兰山东麓产区是我国酿酒葡萄的主要种植区之一，越冬冻害是贺兰山东麓产区的农业气象灾害之一，且贺兰山东麓栽培的大部分葡萄是欧亚品种，该品种抗寒性普遍较差，对寒冷的抵御能力较弱[1-2]。贺兰山东麓产区冬季极端气温可达−15 ℃以下，冬季低温以及严重的霜冻都会造成葡萄植株越冬不良，导致葡萄体内的细胞内含物发生生理变化[3-4]，从而影响翌年的葡萄植株长势、浆果质量和产量。

随着葡萄酒产业的发展，关于葡萄越冬技术的研究有了一定的成果。有研究者利用欧洲种葡萄与美洲种葡萄杂交，培育出抗寒性强、拥有丰富酚类物质和品质优良的新品种[5-6]。Han等[7]在葡萄植株越冬期间喷洒可生物降解液膜（BLF），提高了葡萄果实的成熟系数，促进了糖和酚类物质的积累，从而改善了葡萄果实的整体质量。Wang等[8]采用外源 $CaCl_2$、水杨酸或复合外源活性物质等来提高果树的抗冻性。Ahmadi等[9]使用不同浓度水杨酸（SA）和硫酸钾（K_2SO_4），增强了植株抗冷应激而减少葡萄芽损伤。Su等[10]基于电解液泄漏和叶绿素荧光参数估计半致死温度的方法，为葡萄植株抗旱抗冻的能力提供了评判参数。Meyer等[11]利用植物生长调节剂以延迟植株萌芽，以此减少晚霜对葡萄芽造成的损害，保证来年产量。

近几年来，除传统的埋土防寒越冬方式外，越来越多的保温材料被用来保护葡萄安全越冬。如使用太空棉、玻璃棉、聚苯乙烯泡沫颗粒保温被、草席、稻草、无纺布和地膜等材料来改变或提升不同土层的地温、土壤湿度，为葡萄安全越冬提供良好的条件[12]。研究发现保温被覆盖相较于其他冬季覆盖材料而言，显著提高了土壤温度（地表温度和地下温度），增加了土壤湿度，可防止大风造成葡萄枝条水分的大量蒸发[13-14]。保温被覆盖措施有利于改善植株生长及果实品质。研究发现保温被覆盖可以使冬剪延迟，延长植株越冬前的准备时间，帮助树体贮藏更多的营养，提高翌年葡萄产量[15-16]。在保温被覆盖措施下葡萄植株的含水量、可溶性糖和可溶性蛋白含量均有提升[17-18]，为葡萄萌芽提供良好的条件，使葡萄植株来年的萌芽率和结果率显著高于埋土措施[19]。与埋土措施相比，覆盖保温被后葡萄果实含糖量和总酚含量增加，极大地改善了葡萄果实的品质，从而酿造出口感平衡、更为优质的葡萄酒[20-21]。因此，研究保温被覆盖措施代替传统埋土使葡萄免受冬季低温冻害具有重要意义。

本研究在贺兰山东麓葡萄种植区选择‘霞多丽’‘玫瑰香’为研究对象，采用保温被覆盖作为处理方法，以传统埋土防寒措施作为对照。通过统计葡萄植株存活率，测定枝条含水量、枝条抗寒相关指标（游离脯氨酸（Pro）、可溶性蛋白质（SP）、丙二醛（MDA）含量和超氧化物歧化酶活性（SOD））、内源激素（脱落酸（ABA）、赤霉素（GA_3）、生长素（IAA）和吲哚丙酸（IPA））含量和蔗糖代谢指标（蔗糖磷酸合成酶活性（SPS）、蔗糖转化酶活性（Inv）、淀粉含量和蔗糖含量），研究保温被覆盖措施对‘霞多丽’‘玫瑰香’葡萄越冬生理代谢和越冬保护作用的影响，为进一步评估保温被覆盖措施在葡萄越冬栽培中的作用提供数据支持，也为其在葡萄埋土防寒区的应用提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　采样区概况

2020—2021年在宁夏贺兰山东麓青铜峡市甘

城子鸽子山产区塞上江南酒庄(38°07′ N,105°56′ E)开展研究。该研究地点的平均海拔1 120~1 700 m,年降雨量260 mm左右,全年日照2 955 h,无霜期176 d,属于中温带大陆性气候。宁夏贺兰山东麓昼夜温差大,冬季最低气温在-15 ℃以下,葡萄植株需要埋土以确保安全越冬。通过统计宁夏贺兰山东麓青铜峡产区2001—2021年最低气温数据(中国气象局气象信息中心提供数据),青铜峡地区近20年冬季最低气温均在-15 ℃以下。2021年1月6日最低温度为-21 ℃,是青铜峡地区近10年的最低气温,故本年份对于葡萄埋土防寒研究有很大的参考价值。

1.2 试验材料

本研究以树龄相同、栽培管理一致,于2016年定植的'霞多丽''玫瑰香'葡萄为研究对象。试验选用的保温被用灰色拉力毡、生态膜和羊毛层等制成,在覆盖时两边用圆盘犁自动翻土压实,防止冬季发生冻害及春季抽条。

1.3 试验设计

将试验地分为2个地块,于2020年10月冬季修剪后,分别进行埋土处理(厚度为40 cm)(图1(a))和保温被覆盖处理(图1(b))。每个防寒处理选取长势一致且田间管理模式一致的葡萄植株,试验地面积共300 m^2,并对空气温度和土壤地表下20和40 cm土层温度进行统计。

(a) 埋土处理
(a) Soil burial

(b) 保温被覆盖处理
(b) Covered with insulation

图1 2种处理现场布置图

Fig.1 Layout pictures of two treatment sites

2021年1月和3月进行2次采样,每个处理采集3个重复试验样品,收集从基部数第3至第10个芽部位的枝条检测葡萄植株枝条含水量、土壤温度、枝条抗寒指标(游离脯氨酸、可溶性蛋白质、丙二醛含量和超氧化物歧化酶活性)、枝条内源激素(脱落酸、赤霉素、生长素和吲哚丙酸)含量和枝条蔗糖代谢指标(蔗糖磷酸合成酶活性、蔗糖转化酶活性、淀粉含量和蔗糖含量)。

1.4 指标测定

1.4.1 葡萄试验园土壤温度及越冬存活率统计

在保温被覆盖处理和埋土处理地面深度20和40 cm处,使用曲管地温计进行土壤温度测定,并同时测定空气温度。

在春季气温回升后,揭取覆盖物调查'霞多丽''玫瑰香'在2种处理下植株存活率(地上部正常生长)和整株存活率(地上部正常生长或根部萌蘖)。葡萄植株越冬存活率计算公式如下:

植株存活率=存活枝条数/调查总数×100%

整株存活率=存活植株数/调查总数×100%

1.4.2 葡萄枝条含水量测定

在105 ℃下将葡萄枝条杀青6 h,之后在85 ℃下干燥至恒重并称重,计算枝条含水量。

1.4.3 葡萄植株抗寒性相关指标测定

游离脯氨酸、可溶性蛋白质、丙二醛含量和超氧化物歧化酶活性测定均参照高俊凤[22]的方法测定。

1.4.4 葡萄植株内源激素含量测定

赤霉素、脱落酸、生长素和吲哚丙酸含量测定参照Zhao等[23]和闫芳[24]的方法测定。

1.4.5 葡萄枝条蔗糖代谢测定

蔗糖磷酸合成酶活性测定使用蔗糖磷酸合成酶活性检测试剂盒,蔗糖转化酶活性[25]测定使用3,5二硝基水杨酸(DNS)法,淀粉含量测定使用碘-碘化钾(I-KI)比色法[25],蔗糖含量测定使用间苯二酚法[25]。

1.5 数据处理及分析

使用SPSS 26.0、GraphPad Prism 9.0对数据结果的方差进行显著性分析并绘图,所有试验数据均设3个重复。在进行单因素方差分析(ANOVA)比较各指标均值之前,分别用Shapiro-Wilk和Levene's检验法检验方差的正态性和齐性;使用Fisher最小差异(LSD)和Duncan分析进行多重比较,$P<0.05$为差异显著,$P<0.01$为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 保温被覆盖处理对土壤温度与葡萄植株存活情况的影响

2.1.1 对土壤温度的影响

2020年12月25日—2021年2月23日,试验地空气温度先降低,再逐渐升高。在测定时间范围内,保温被覆盖和埋土处理20 cm土层土壤温度变化不大,

但2021年1月8日之后保温被覆盖处理的20 cm土层土壤温度高于埋土处理(图2(a))；保温被覆盖处理的40 cm土层土壤温度高于埋土处理(图2(b))。说明与埋土处理相比，保温被覆盖处理能提高土壤温度。

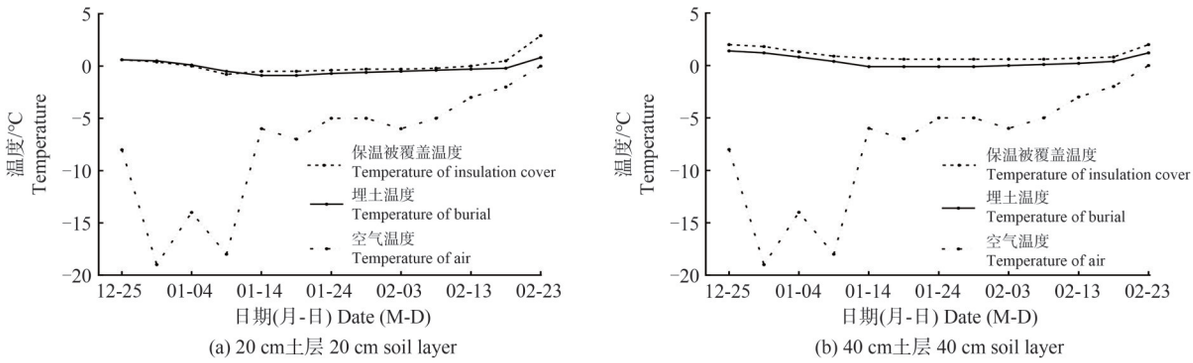


图2　不同时间保温被覆盖与埋土处理下土壤温度以及空气温度变化

Fig.2　Soil temperature changes and air temperature changes under thermal insulation covering and burial treatments at different times

2.1.2　对葡萄植株越冬存活率的影响

通过对葡萄植株调查发现，‘玫瑰香’保温被覆盖和埋土处理下的植株存活率分别为85%和90%，整株存活率均为95%；‘霞多丽’保温被覆盖和埋土处理下的植株存活率分别为81%和86%，整株存活率分别为92%和94%(图3)。说明与埋土处理相比，保温被覆盖处理下葡萄植株存活率和整株存活率较低。

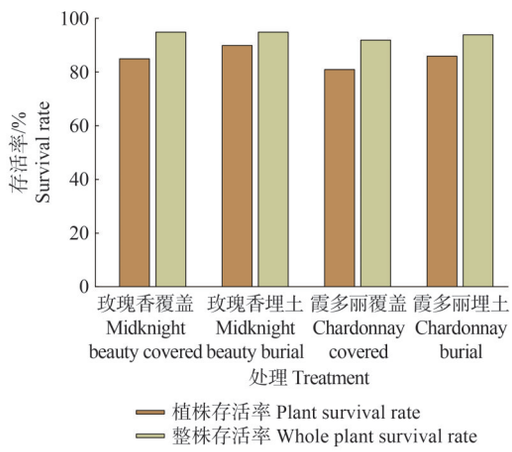


图3　不同处理对葡萄植株存活率的影响

Fig.3　Effect of different treatments on the survival of grapevine

2.2　对葡萄枝条含水量的影响

在2021年1月4日—3月14日，‘玫瑰香’‘霞多丽’保温被覆盖和埋土处理的枝条含水量均处于正常范围内，且2021年3月14日保温被覆盖处理的‘玫瑰香’葡萄枝条含水量显著高于埋土处理($P<0.05$)，其余时间葡萄枝条含水量无显著差异($P>0.05$)(图4)。

2.3　对葡萄植株抗寒相关指标的影响

2021年1月4日，保温被覆盖处理的‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条游离脯氨酸含量显著低于埋土处理($P<0.05$)，但2种处理的葡萄枝条可溶性蛋白质含量无显著差异($P>0.05$)。除2021年3月14日‘霞多丽’葡萄枝条SOD活性保温被覆盖和埋土处理无显著差异($P>0.05$)外，其余时间保温被覆盖处理的葡萄枝条SOD活性显著低于埋土处理($P<0.05$)；保温被覆盖处理的‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条MDA含量显著高于埋土处理($P<0.05$)，说明保温被覆盖处理下葡萄枝条有受到冻害的迹象(表1)。

2.4　对葡萄植株内源激素含量的影响

保温被覆盖处理的‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条GA_3含量显著高于埋土处理($P<0.05$)，说明保温被覆盖处理能够提前葡萄的萌发日期，促进冬芽萌发。而保温被覆盖和埋土处理下葡萄枝条IAA含量的差异不显著。另外，只有2021年1月4日保温被覆盖处理的‘霞多丽’葡萄枝条ABA含量显著高于埋土处理($P<0.05$)，其余时间葡萄枝条ABA含量均无显著差异($P>0.05$)。保温被覆盖处理的‘霞多丽’葡萄枝条IPA含量显著高于埋土处理($P<0.05$)，‘玫瑰香’葡萄枝条IPA含量在两处理下无显著性差异($P>0.05$)(表2)。

2.5　对葡萄枝条蔗糖代谢的影响

保温被覆盖处理的‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条SPS活性、淀粉和蔗糖含量均显著低于埋土处理

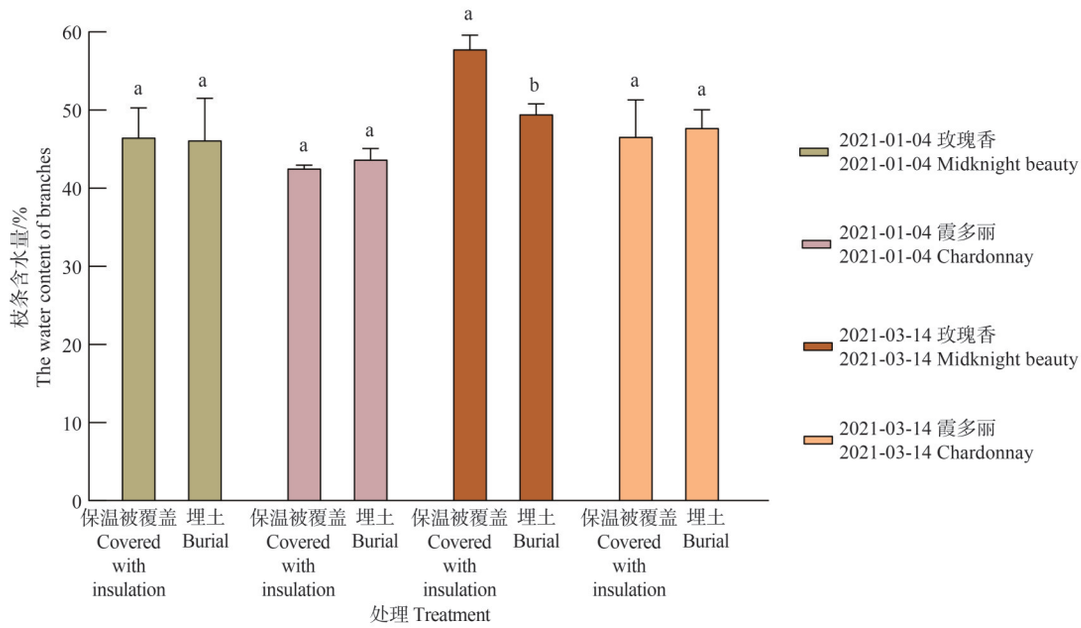


图 4 不同处理对葡萄枝条含水量的影响

Fig.4 Effect of different treatments on water content of branches

表 1 不同处理对葡萄枝条抗寒性指标的影响

Table 1 Effect of different treatments on cold resistance indexes of grapevine branches

处理 Treatment	日期 Date	葡萄品种 Grape variety	游离脯氨酸质量分数/(μg/g) Free proline mass fraction	可溶性蛋白质质量分数/(mg/g) Soluble protein mass fraction	丙二醛含量/(nmol/g) Malondialdehyde content	超氧化物歧化酶活性/(U/(g·h)) Superoxide dismutase activity
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-01-04	玫瑰香	63.72±5.75 b	3.15±0.10 a	66.82±8.27 a	136.21±8.86 b
埋土 Burial			90.88±8.81 a	3.27±0.20 a	38.96±6.13 b	164.85±12.02 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-01-04	霞多丽	86.52±1.46 b	3.71±0.20 a	52.92±4.72 a	111.83±9.71 b
埋土 Burial			113.3±2.60 a	3.50±0.41 a	32.36±3.69 b	218.74±14.65 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-03-14	玫瑰香	85.66±6.84 a	3.55±0.17 a	70.25±6.25 a	130.58±13.49 b
埋土 Burial			94.59±2.88 a	3.56±0.07 a	46.28±3.09 b	247.36±3.09 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-03-14	霞多丽	85.39±4.50 a	3.44±0.04 a	66.15±4.61 a	121.74±21.22 a
埋土 Burial			97.64±3.68 a	3.40±0.43 a	36.52±1.75 b	148.01±7.22 a

注：每列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

Note: A different letter srepresent significant difference ($P<0.05$), while the same letter srepresent no significant difference ($P>0.05$). The same below.

表 2　不同处理对葡萄枝条内源激素含量的影响

Table 2　Effect of different treatments on endogenous hormone content of branches

处理 Treatment	日期 Date	葡萄品种 Grape variety	脱落酸质量分数/(ng/g) Abscisic acid mass fraction	赤霉素含量/(pmol/g) Gerythromycin content	生长素含量/(μmol/g) Growth hormone content	吲哚丙酸含量/(pmol/g) Indolepropionic acid content
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-01-04	玫瑰香	84.17±2.56 a	195.84±16.37 a	0.02±0.00 a	191.08±9.57 a
埋土 Burial			87.03±12.09 a	160.99±8.23 b	0.02±0.00 a	182.37±19.06 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-01-04	霞多丽	95.93±7.86 a	210.91±19.91 a	0.02±0.00 a	176.31±15.16 a
埋土 Burial			81.33±3.69 b	154.20±11.81 b	0.02±0.00 a	137.48±4.71 b
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-03-14	玫瑰香	83.70±1.79 a	184.27±13.83 a	0.02±0.00 a	184.08±7.19 a
埋土 Burial			86.36±6.19 a	154.32±4.00 b	0.02±0.00 a	183.66±28.14 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-03-14	霞多丽	94.25±13.46 a	210.38±18.47 a	0.02±0.00 a	175.37±15.34 a
埋土 Burial			87.82±6.34 a	156.21±22.61 b	0.02±0.00 a	135.25±16.51 b

($P<0.05$)；保温被覆盖处理的‘霞多丽’葡萄枝条Inv活性显著低于埋土处理($P<0.05$)，而保温被覆盖和埋土处理的‘玫瑰香’葡萄枝条Inv活性无显著差异($P>0.05$)。总体来看，‘玫瑰香’‘霞多丽’埋土处理的蔗糖代谢含量高于保温被覆盖处理，说明保温被覆盖处理的葡萄枝条抗寒性低于埋土处理(表3)。

2.6　葡萄植株越冬生理代谢指标相关性分析

皮尔逊相关性分析确定了葡萄植株越冬生理代谢指标之间的关系[25]。由图5可知，葡萄植株越冬生理代谢指标中大部分指标之间的相关性达到了显著水平。其中‘玫瑰香’葡萄枝条丙二醛含量与SOD活性、SPS活性、淀粉和蔗糖含量呈显著负相关，SOD活性、SPS活性与淀粉、蔗糖含量呈显著正相关，淀粉含量与蔗糖含量呈显著正相关(图5(a)～(b))。‘霞多丽’葡萄枝条游离脯氨酸、可溶性蛋白质含量与SPS活性、Inv活性、淀粉和蔗糖含量呈显著正相关，与ABA、GA_3、IAA和IPA含量呈负相关关系，但丙二醛含量与SPS活性、Inv活性、淀粉和蔗糖含量呈显著负相关，且ABA、GA_3、IAA和IPA含量与SPS活性、Inv活性、淀粉和蔗糖含量呈负相关关系，SPS活性、Inv活性与淀粉、蔗糖含量呈显著正相关，淀粉含量与蔗糖含量呈显著正相关(图5(c)～(d))。

3　讨论与结论

3.1　讨论

本研究发现，保温被覆盖处理较埋土处理可整体提高20和40 cm土层土壤的温度。这与李鹏程等[26-27]研究中不同防寒物覆盖可使0～60 cm土层土壤温度提高0.34～2.32 ℃、吴亮等[28]使用不同规格玻璃棉保温被可使‘红地球’葡萄土壤越冬温度提高0.1～3.5 ℃的研究结果一致。此外，本研究发现在2021年3月14日，保温被覆盖处理的‘玫瑰香’葡萄枝条含水量显著高于埋土处理，其余时间枝条含水量无显著差异，说明了保温被覆盖在保湿方面与埋土越冬的性能持平，保温被覆盖满足了最基本的保温保湿要求，可以投入酿酒葡萄生产过程，降低葡萄酒生产的原材料成本。

在低温环境下，植物体内各种渗透调节物质大量积累，赋予植物多种渗透调节的能力，如可溶性蛋白质、游离脯氨酸和丙二醛含量等均是重要的抗

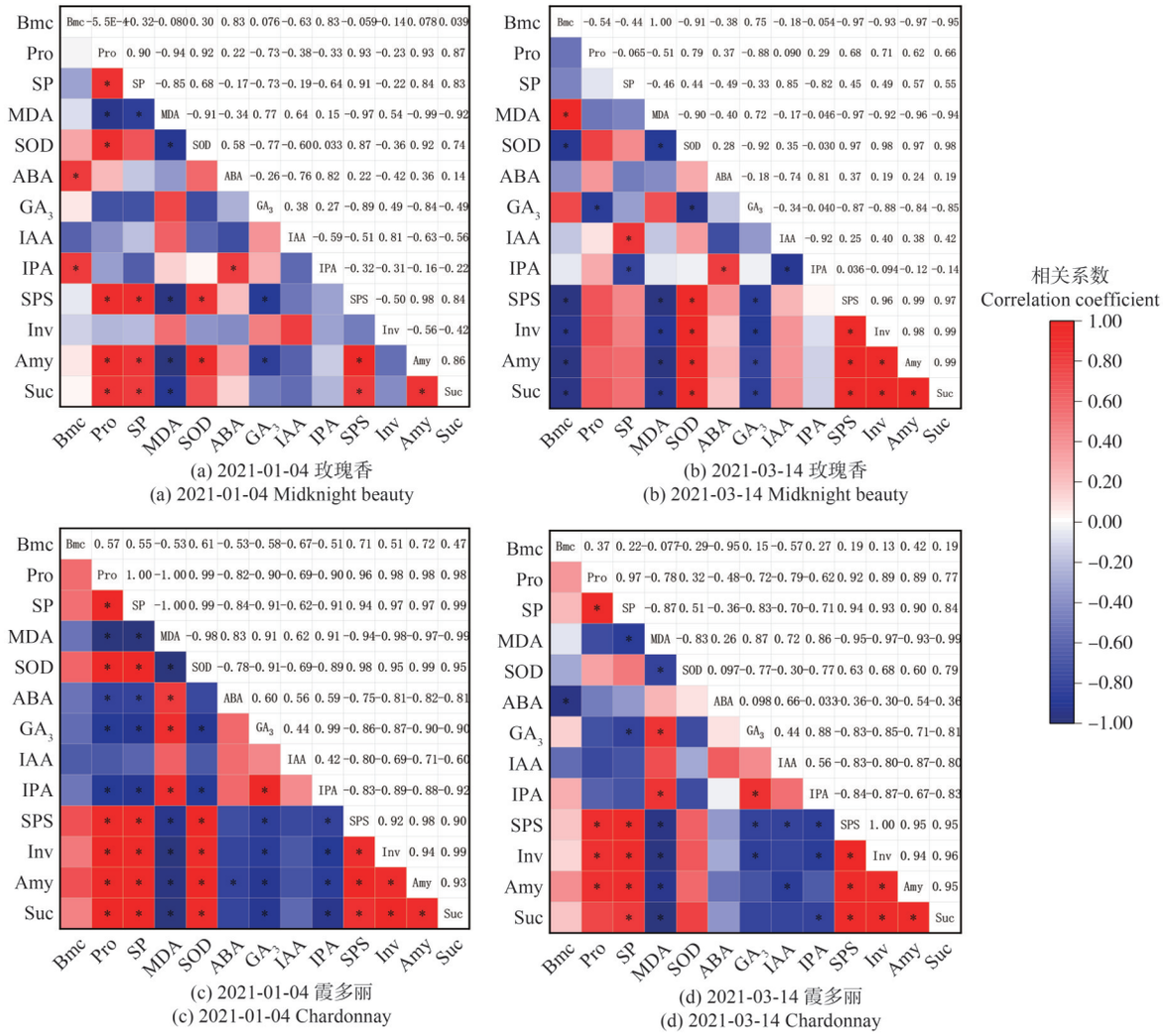
表3 不同处理对葡萄枝条蔗糖代谢的影响

Table 3 Effect of different treatments on sucrose metabolism in grapevine branches

处理 Treatment	日期 Date	葡萄品种 Grape variety	蔗糖磷酸合成酶活性/(μg/(min·g)) Sucrose phosphate synthase activity	蔗糖转化酶活性/(μg/(min·g)) Sucrose converting enzyme activity	淀粉质量分数/(mg/g) Starch mass fraction	蔗糖质量分数/(mg/g) Sucrose mass fraction
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-01-04	玫瑰香	226.88±9.62 b	48.86±3.78 a	1.42±0.03 b	10.69±0.75 b
埋土 Burial			466.65±13.01 a	42.84±9.20 a	1.95±0.08 a	12.26±0.20 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-01-04	霞多丽	280.49±18.53 b	35.17±3.50 b	1.44±0.03 b	11.38±0.20 b
埋土 Burial			398.36±28.77 a	73.09±4.88 a	1.75±0.06 a	14.71±0.37 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-03-14	玫瑰香	194.08±17.05 b	17.38±2.41 ab	1.30±0.05 b	6.78±0.21 b
埋土 Burial			415.78±17.53 a	43.17±3.86 a	1.83±0.05 a	14.29±1.08 a
保温被覆盖 Covered with insulation	2021-03-14	霞多丽	136.32±28.90 b	39.67±1.70 b	1.64±0.05 b	6.75±0.56 b
埋土 Burial			441.27±20.46 a	63.07±1.62 a	1.94±0.05 a	14.63±1.32 a

寒指标[29]。本研究发现在2021年1月4日,‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条游离脯氨酸含量埋土处理均高于保温被覆盖处理,这与李鹏程等[26]的研究结果一致。此外本研究中‘玫瑰香’葡萄保温被覆盖处理的枝条可溶性蛋白质含量逐渐增加,这可能是因为保温被覆盖处理的枝条抗寒性较强,低温促进了可溶性蛋白质的积累,这与陈淑丽[30]、韩瑶[31]的研究结果一致。丙二醛是植物在受到逆境胁迫时膜脂过氧化的最终产物,对细胞膜有伤害作用,通常情况下植物体中MDA含量很少,在受到逆境胁迫时,其含量升高导致膜系统受到严重损伤[30]。本研究发现随着低温的累积,保温被覆盖处理的‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条MDA含量显著高于埋土处理,证明保温被覆盖处理的葡萄植株细胞因寒冷受损程度较埋土处理高。SOD活性在植物体内具有氧化清洁作用,最终产生过氧化氢,植物处于极端环境时,SOD活性上升,以应对极端环境的影响。本研究中除2021年3月14日‘霞多丽’SOD活性保温被覆盖处理和埋土处理无显著差异外,其余时间保温被覆盖处理的‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条SOD活性显著低于埋土处理,说明保温被覆盖处理葡萄植株的酶活性普遍低于埋土处理,SOD的功能受到限制。以上情况说明保温被覆盖处理对葡萄的保护作用略微逊于埋土处理,但足够应对宁夏贺兰山东麓产区的冬季气候,本研究结果与李从娟等[16]的研究结果一致。

植物激素是植物面对逆境时的重要信号分子,在受到逆境胁迫时植物会通过增加或降低某种激素或通过调节激素间的比值来应对胁迫[32]。本研究发现葡萄枝条中ABA含量在休眠前期较高,之后枝条ABA含量呈下降趋势。枝条IAA含量在2种处理间无显著差异,保温被覆盖处理的‘霞多丽’葡萄枝条IPA含量显著高于埋土,‘玫瑰香’葡萄2种处理间枝条IPA含量无显著性差异。GA_3是最早被确认为与抗寒力有关的植物激素。本研究发现保温被覆盖处理的‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条GA_3含量显著高于埋土处理,且ABA和GA_3的比值保温被覆盖处理要高于埋土处理,说明保温被覆盖处理有助于越冬葡萄提前萌芽和提高坐果率,避



(a) 2021-01-04 玫瑰香
(a) 2021-01-04 Midknight beauty

(b) 2021-03-14 玫瑰香
(b) 2021-03-14 Midknight beauty

(c) 2021-01-04 霞多丽
(c) 2021-01-04 Chardonnay

(d) 2021-03-14 霞多丽
(d) 2021-03-14 Chardonnay

Bmc，枝条含水量；Pro，游离脯氨酸；SP，可溶性蛋白；MDA，丙二醛；SOD，超氧化物歧化酶；ABA，脱落酸；GA_3，赤霉素；IAA，生长素；IPA，吲哚丙酸；SPS，蔗糖磷酸合成酶；Inv，蔗糖转化酶；Amy，淀粉；Suc，蔗糖。

Bmc，branch water content；Pro，free proline；SP，soluble protein；MDA，malondialdehyde；SOD，superoxide dismutase；ABA，abscisic acid；GA_3，gibberellin；IAA，growth hormone；IPA，indolepropionic acid；SPS，sucrose phosphosynthesis synthetase；Inv，sucrose converting enzyme；Amy，starch；Suc，sucrose.

图 5　葡萄植株越冬生理代谢指标的相关性

Fig.5　Correlation of physiological metabolic indicators of overwintering in grape plant

免倒春寒的影响，间接提高了葡萄质量。罗正荣[33]的研究表明，ABA/GA_3比值与抗寒性呈显著正相关，ABA/GA_3值升高，抗寒性提高，ABA/GA_3作为抗寒基因表达的启动因子，改变平衡状态会导致代谢途径发生变化。

蔗糖代谢相关酶在糖的运输、代谢和积累中起重要作用。本研究中‘玫瑰香’‘霞多丽’葡萄枝条SPS活性和‘霞多丽’葡萄枝条Inv活性的保温被覆盖处理均显著低于埋土处理，说明葡萄枝条的生存环境导致植株体内各项酶活性降低。此外，SPS活性可直接影响植物体蔗糖含量，植物在低温逆境下，SPS活性提高，改变了植物体内碳同化物的分配方向，增加蔗糖等可溶性糖含量，从而改变细胞渗透压来抵御胁迫环境[34]。本研究中蔗糖含量的高低与SPS活性呈正相关关系。蔗糖是植物进行光合作用的主要产物，在碳水化合物运输、果实中糖分的积累、植物的生长发育、信号转导和植物抗寒性物质的形成等方面扮演重要的角色。Jiang

等[35]研究表明,葡萄枝条在越冬期蔗糖含量较高并持续上升,是葡萄抗寒性形成的重要原因。淀粉是植物休眠期主要的贮存物质,在休眠后期淀粉转化为糖,提高细胞的渗透浓度,降低水势,维持细胞膜在低温下的正常功能[30]。本研究中保温被覆盖处理的蔗糖和淀粉含量均显著低于埋土处理,植株体内各项酶活性降低,导致淀粉分解速率降低,且蔗糖含量的减少将影响葡萄植株的抗寒性,对葡萄植株的细胞造成损伤,这与张倩[36]的研究结果一致。

此外,在研究中存在保温被下长满霉菌的情况,对于霉菌群的菌种和特点目前尚不清楚,过量微生物生长的环境是否会对葡萄植株的生理代谢造成影响,什么情况下微生物会在保温被下大量生长,仍需要进一步的研究。

3.2 结论

1)保温被覆盖处理具有和埋土处理一致的保温和保湿能力,满足葡萄生长基本的保温保湿要求。

2)保温被覆盖处理的葡萄枝条游离脯氨酸含量和SOD活性均低于埋土处理,但仍能保证葡萄正常生长发育。

3)保温被覆盖处理的葡萄枝条GA_3含量高于埋土处理,这保证了保温被覆盖处理的葡萄能更早地萌芽,避免倒春寒的影响,间接保护了葡萄正常的生长发育。

4)保温被覆盖处理的酶活性、蔗糖和淀粉含量相较于埋土处理较低,证明保温被覆盖处理的葡萄枝条抗寒性低于埋土处理。

综上,保温被覆盖和埋土都能够有效保证葡萄安全越冬,但考虑到保温被覆盖措施操作的简便性,能节约人力成本以及其能保证葡萄正常发育的特点,保温被覆盖措施在埋土防寒区有一定的推广价值与潜力。

参考文献 References

[1] Londo J P, Kovaleski A P, Lillis J A. Divergence in the transcriptional landscape between low temperature and freeze shock in cultivated grapevine (*Vitis vinifera*)[J]. *Horticulture Research*, 2018, 5: 10

[2] 王素艳, 郑广芬, 李欣, 杨建玲, 张晓煜, 李剑萍, 马力文. 气候变暖对贺兰山东麓酿酒葡萄热量资源及冷冻害的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(11):3776-3786
Wang S Y, Zheng G F, Li X, Yang J L, Zhang X Y, Li J P, Ma L W. Impact of climate warming on heat resources and freezing injuries in wine grapes at the east foot of the helan mountains of ningxia[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(11): 3776-3786 (in Chinese)

[3] Chen S J, Su H Y, Xing H, Mao J, Sun P, Li M F. Comparative proteomics reveals the difference in root cold resistance between *Vitis riparia*×*V labrusca* and cabernet sauvignon in response to freezing temperature[J]. *Plants*, 2022, 11(7):971

[4] Camargo-Alvarez H, Salazar-Gutiérrez M, Keller M, Hoogenboom G. Modeling the effect of temperature on bud dormancy of grapevines[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2020, 280:107782

[5] Rahemi A, Fisher H, Carter K, Taghavi T. Mitigating grapevine winter damage in cold climate areas[J]. *Horticultural Science*, 2022, 49(2): 59-70

[6] North M, Workmaster B A, Atucha A. Cold hardiness of cold climate interspecific hybrid grapevines grown in a cold climate region[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2021, 72(4):318-327

[7] Han X, Yao F, Wang Y, Duan X Y, Wang Z L, Li Y H, Xue T T, Liu X, Wang H, Li H, Li H. Effects of biodegradable liquid film on cabernet sauvignon (*V vinifera* L) grape quality[J]. *Agriculture*, 2022, 12(5):604

[8] Wang W L, Wang X, Zhang X Y, Wang Y, Huo Z Y, Huang M, Cai J, Zhou Q, Jiang D. Involvement of salicylic acid in cold priming-induced freezing tolerance in wheat plants[J]. *Plant Growth Regulation*, 2021, 93(1):117-130

[9] Ahmadi J, Abedy B, Eshghi S, Fahliani R A, Shoor M. The effect of foliar spray of salicylic acid and potassium sulphate on biochemical characteristics of grape bud in dormant period[J]. *Revista QUID* (*Special Issue*), 2017, 2537-2547

[10] Su L Y, Dai Z W, Li S H, Xin H P. A novel system for evaluating drought-cold tolerance of grapevines using chlorophyll fluorescence[J]. *BMC Plant Biology*, 2015, 15: 82

[11] Meyer G De A, Talamini J, Bueno M E, Rufato L, Kretzschmar A A, Rufato A De R. Gradual release of growth regulators for a delay in budding and growth of 'chardonnay' and 'pinot gris' in southern brazil[J]. *Acta Horticulturae*, 2016(1115):237-242

[12] 吴志军, 邓恩征, 顾琴, 耿晨晨, 张光弟, 张军翔. 三种覆盖方式对越冬期间"赤霞珠"葡萄枝蔓逆境指标的影响[J]. 北方园艺, 2017(3): 37-41
Wu Z J, Deng E Z, Gu Q, Geng C C, Zhang G D, Zhang J X. Effects of three covering ways on stress indexes of 'cabernet sauvignon' vines during winter[J]. *Northern Horticulture*, 2017(3): 37-41 (in Chinese)

[13] 李红英, 段晓凤, 旭花, 杨洋, 朱永宁, 杨凯凯, 张晓煜, 张磊. 贺兰山东西两麓酿酒葡萄越冬覆盖防寒措施效果对比[J]. 中国农业气象, 2022, 43(7):575-586
Li H Y, Duan X F, Xu H, Yang Y, Zhu Y N, Yang K K, Zhang X Y, Zhang L. Comparison on effect between two anti-freezing measures taken for wine grape overwintering in the east and west foothills of helan mountain[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2022, 43(7): 575-586 (in Chinese)

[14] Horiuchi R, Arakawa K, Kasuga J, Suzuki T, Jitsuyama Y. Freezing resistance and behavior of winter buds and canes of wine grapes cultivated

in northern Japan[J]. *Cryobiology*, 2021,101:44-51

[15] 覃杨，鲁会玲，肖丽珍，杨瑞华，董畅，胡禧熙．哈尔滨地区露地“蜜汁”葡萄越冬覆盖研究[J]．北方园艺，2019(8)：47-52
Qin Y, Lu H L, Xiao L Z, Yang R H, Dong C, Hu X X. Research on covering overwintering of ‘mizhi’ grapes in harbin area[J]. *Northern Horticulture*, 2019(8): 47-52 (in Chinese)

[16] 李从娟，王世杰，孙永强，张恒．葡萄越冬防寒技术研究综述[J]．沙漠与绿洲气象，2021,15(2):138-143
Li C J, Wang S J, Sun Y Q, Zhang H. Overview of the grape protection techniques against the cold in winter[J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2021,15(2):138-143 (in Chinese)

[17] 杨光，王雅琳，孙萍，幸华，杨德龙，栗孟飞，李唯．酿酒葡萄越冬抗寒生理机制[J]．甘肃农业大学学报，2018,53(3):105-111
Yang G, Wang Y L, Sun P, Xing H, Yang D L, Li M F, Li W. Cold resistance physiological mechanism of wine grape during wintering stages [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2018, 53(3): 105-111 (in Chinese)

[18] Zhao Y, Wang Z X, Yang Y M, Liu H S, Shi G L, Ai J. Analysis of the cold tolerance and physiological response differences of amur grape (*Vitis amurensis*) germplasms during overwintering[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020,259:108760

[19] Dinu D G, Ricciardi V, Demarco C, Zingarofalo G, De Lorenzis G, Buccolieri R, Cola G, Rustioni L. Climate change impacts on plant phenology: Grapevine (*Vitis vinifera*) bud break in wintertime in southern italy[J]. *Foods*, 2021, 10(11): 2769

[20] Xue T T, Han X, Zhang H J, Wang Y, Wang H, Li H. Effects of a biodegradable liquid film on winter chill protection of winegrape cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019,246:398-406

[21] Han X, Xue T T, Liu X, Wang Z L, Zhang L, Wang Y, Yao F, Wang H, Li H. A sustainable viticulture method adapted to the cold climate zone in china[J]. *Horticulturae*, 2021,7(6):150

[22] 高俊凤．植物生理学实验指导[M]．北京：高等教育出版社，2006
Gao J F. *Experimental Guidance for Plant Physiology*[M]. Beijing: Higher Education Press,2006 (in Chinese)

[23] Zhao J, Li G, Yi G X, Wang B M, Deng A X, Nan T G, Li Z H, Li Q X. Comparison between conventional indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay (icelisa) and simplified icelisa for small molecules[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2006,571(1):79-85

[24] 闫芳．黄瑞香种子休眠机理研究[D]．兰州：甘肃农业大学，2017
Yan F. Studies on seed dormancy mechanism of daphne giraldii nitsche[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017 (in Chinese)

[25] 周兰兰，栗孟飞，孙萍，杨光，李甜甜，李唯．酿酒葡萄枝条生长发育过程中蔗糖代谢及相关酶活性的变化[J]．植物生理学报，2015,51(6):962-968
Zhou L L, Li M F, Sun P, Yang G, Li T T, Li W. Changes of sucrose metabolism and enzyme activities in wine grape branches at growth stages[J]. *Plant Physiology Journal*, 2015,51(6): 962-968 (in Chinese)

[26] 李鹏程，郭绍杰，李铭，王晶晶，苏学德，符小发．不同材料覆盖越冬对葡萄枝蔓及根系抗寒生理指标的影响[J]．西南农业学报，2014,27(1):253-258
Li P C, Guo S J, Li M, Wang J J, Su X D, Fu X F. Effect of cold resistance indexes of winter grape tendrils and roots covered with different insulation materials[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 27(1): 253-258 (in Chinese)

[27] 李鹏程，郭绍杰，李铭，王晶晶，苏学德，符小发．4种材料覆盖越冬对葡萄根系抗寒生理指标的影响[J]．新疆农业科学，2013,50(12):2230-2235
Li P C, Guo S J, Li M, Wang J J, Su X D, Fu X F. The effect of cold resistance indexes of the winter grape roots when covered with four different insulation materials[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, 50(12): 2230-2235 (in Chinese)

[28] 吴亮，梁智，王碧箫，郑金梅．玻璃棉保温被在新疆红地球葡萄免埋土越冬防寒中的应用研究[J]．河北林业科技，2010(2): 8-9
Wu L, Liang Z, Wang B X, Zheng J M. Study on the application of glass wool thermal insulation quilt in xinjiang red globe grape overwintering and cold protection without burying soil [J]. *The Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 2010(2): 8-9 (in Chinese)

[29] Wang Z L, Wu D, Hui M, Wang Y, Han X, Yao F, Cao X, Li Y H, Li H, Wang H. Screening of cold hardiness-related indexes and establishment of a comprehensive evaluation method for grapevines (*V vinifera*)[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 1014330

[30] 陈淑丽．覆盖防寒对葡萄越冬性的影响[D]．秦皇岛：河北科技师范学院，2015
Chen S L. Effects of covering on overwintering ability of grapevine[D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology, 2015 (in Chinese)

[31] 韩瑶．不同防寒措施对早黑宝葡萄越冬性的影响[D]．太谷：山西农业大学，2018
Han Y. Effects of different cold protection measures on overwintering of zaoheibao grape[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2018 (in Chinese)

[32] Hong J H, Seah S W, Xu J. The root of ABA action in environmental stress response[J]. *Plant Cell Reports*, 2013,32(7):971-983

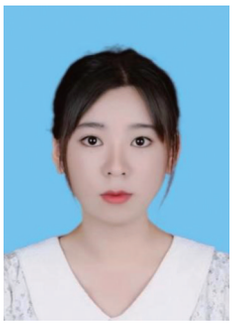
[33] 罗正荣．植物激素与抗寒力的关系[J]．植物生理学通讯，1989(3): 1-5
Luo Z R. Relationship between plant hormones and cold resistance[J]. *Plant Physiology Communications*, 1989(3): 1-5 (in Chinese)

[34] 姜寒玉，高玉红，何百鋆，王旺田．酿酒葡萄‘赤霞珠’埋土越冬期的蔗糖代谢研究[J]．中国果树，2016(2): 1-6
Jiang H Y, Gao Y H, He B J, Wang W T. Study on sucrose metabolism of wine grape‘cabernet sauvignon’ during the overwintering period[J]. *China Fruits*, 2016(2): 1-6 (in Chinese)

[35] Jiang H Y, Li W, He B J, Gao Y H, Lu J X. Sucrose metabolism in grape (*Vitis vinifera* L) branches under low temperature during overwintering covered with soil[J]. *Plant Growth Regulation*, 2014, 72(3): 229-238

[36] 张倩．葡萄根系抗寒性研究[D]．洛阳：河南科技大学，2013
Zhang Q. Studies on cold resistance of grape root[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013 (in Chinese)

责任编辑：董金波



第一作者简介：张立霞，女，硕士研究生，现就读于宁夏大学葡萄酒与园艺学院，攻读农艺与种业（园艺）专业，研究方向为酿酒葡萄生态栽培。参与贺兰山东麓赤霞珠葡萄根区土壤有机碳固存的微生物机理等项目的研究，本科期间获得校级三等奖学金、优秀共青团员等荣誉。

通讯作者简介：薛婷婷，女，博士，硕士生导师，宁夏大学葡萄酒与园艺学院副教授。2019年西北农林科技大学葡萄与葡萄酒学本硕博连读毕业。主要从事酿酒葡萄冬季免埋土和生态栽培研究，集成宁夏贺兰山东麓产区葡萄生态栽培措施的生理和分子技术，将高效生态的生产措施进行基础理论研究并进行推广应用。主持国家自然科学基金1项、省级引才专项1项、宁夏自然科学基金1项，参与区级科技重大专项1项、国家自然科学地区基金项目1项，主持校级教改项目2个；发表论文十余篇，其中以第一作者或并列第一作者发表SCI论文5篇、国内核心期刊2篇，参与专利2项。