



王志磊, 胡媛楠, 薛婷婷, 徐国前, 翟肖宇, 束超, 张军翔. ‘紫大夫’与‘爱格丽’种内杂交 F_1 代半致死温度遗传分析与综合评价[J]. 中国农业大学学报, 2026, 31(01): 49-58.

WANG Zhilei, HU Yuannan, XUE Tingting, XU Guoqian, ZHAI Xiaoyu, SHU Chao, ZHANG Junxiang. Genetic analysis and comprehensive evaluation of semi-lethal temperature in F_1 progeny of intraspecific hybridization between ‘Dunkelfelder’ and ‘Ecolly’ [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(01): 49-58.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.01.05

‘紫大夫’与‘爱格丽’种内杂交 F_1 代半致死温度遗传分析与综合评价

王志磊^{1,2,3} 胡媛楠¹ 薛婷婷^{1,2,3} 徐国前^{1,2,3} 翟肖宇¹ 束超¹ 张军翔^{1,3*}

(1. 宁夏大学 葡萄酒与园艺学院, 银川 750021;

2. 葡萄与葡萄酒教育部工程中心, 银川 750021;

3. 宁夏葡萄与葡萄酒工程技术中心, 银川 750021)

摘要 为选育优质抗寒酿酒葡萄新品种, 以欧亚种葡萄‘紫大夫’与‘爱格丽’的正反交子代为试验材料, 利用差热分析技术, 于2023—2025年连续3年对244个种内杂交子代冬芽高温半致死温度(mHTE)和低温半致死温度(mLTE)进行遗传分析与综合评价。结果表明: 1) 杂交后代群体冬芽mHTE和mLTE值是连续分布的, 符合正态或偏正态; 正反交组合子代冬芽mHTE和mLTE值的遗传传递力均在80%以上, 广义遗传力介于0.61~0.80。2) 冬芽mHTE和mLTE值存在一定的正相关关系, 2023、2024和2025年相关性系数分别为0.549 8、0.513 9和0.303 6; 回归模型的判定系数年份之间差异较大, 2023、2024和2025年判定系数分别为0.302 3、0.264 1和0.092 1。3) 综合连续3年冬芽mHTE和mLTE值, 224个欧亚种内杂交子代中, C6组合的2106007、2006008和2006014, 以及C10组合的2110007和2010031可作为抗寒优系。欧亚种葡萄的抗寒性属于数量性状遗传, 欧亚种葡萄进行种内杂交可以创制出少数抗寒优系。

关键词 酿酒葡萄; 差热分析; 遗传特点; 抗寒育种

中图分类号 S31

文章编号 1007-4333(2026)01-0049-10

文献标志码 A

Genetic analysis and comprehensive evaluation of semi-lethal temperature in F_1 progeny of intraspecific hybridization between ‘Dunkelfelder’ and ‘Ecolly’

WANG Zhilei^{1,2,3}, HU Yuannan¹, XUE Tingting^{1,2,3}, XU Guoqian^{1,2,3}, ZHAI Xiaoyu¹,

SHU Chao¹, ZHANG Junxiang^{1,3*}

(1. College of Enology and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Engineering Center of Grape and Wine Education Ministry, Yinchuan 750021, China;

3. Ningxia Grape and Wine Engineering Technology Center, Yinchuan 750021, China)

Abstract To breed high-quality and cold-resistant wine grape varieties, the reciprocal cross progenies of Eurasian grape ‘Dunkelfelder’ and ‘Ecolly’ were used as experimental materials, the genetic analysis and comprehensive evaluation of winter bud mean high-temperature exotherm (mHTE) and mean low-temperature exotherm (mLTE) of 244 intraspecific Hybrid Progenies of ‘Dunkelfelder’ and ‘Ecolly’ were carried out in 2023,

收稿日期: 2025-03-26; 接受日期: 2025-07-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(32460732); 宁夏自然科学基金项目(2024AAC03085); 宁夏重点研发计划(2025BBF02001)

第一作者: 王志磊(ORCID:0009-0008-6679-249X), 副教授, 主要从事葡萄与葡萄酒学研究, E-mail: wangzl1994@nxu.edu.cn

通讯作者: 张军翔(ORCID:0000-0002-9487-0247), 教授, 主要从事葡萄与葡萄酒学研究, E-mail: zhangjunxiang@126.com

2024 and 2025 by using differential thermal analysis(DTA). The results showed that: 1) The mHTE and mLTE values of winter buds in the intraspecific hybrids were continuously distributed, conforming to a normal or skewed normal distribution; The heritability of mHTE and mLTE values in the winter buds of the progenies of reciprocal crosses was more than 80%, and the generalized heritability ranged from 0.61 to 0.80. 2) There was a positive correlation between the mHTE and mLTE values of winter buds, and the correlation coefficients in 2023, 2024 and 2025 are 0.549 8, 0.513 9 and 0.303 6, respectively. The judgment coefficients of the regression model differ greatly between years, the determination coefficients in 2023, 2024 and 2025 are 0.302 3, 0.264 1 and 0.092 1, respectively. 3) According to the mHTE and mLTE values of winter buds for three consecutive years, among the 224 intraspecific hybrids of *Vitis vinifera* L., 2106007, 2006008 and 2006014 of combination six, and 2110007 and 2010031 of combination ten can be regarded as the better cold-resistant strains. This study revealed that the cold resistance in *V. vinifera* belongs to quantitative trait inheritance, and a few superior strains of cold resistance can be created by intraspecific hybridization.

Keywords wine grapes; differential thermal analysis; genetic characteristics; breeding for cold-resistance

中国酿酒葡萄90%以上分布在埋土越冬区,低温成为制约中国葡萄酒产业发展的主要限制因素之一,选育抗寒品种一直是中国酿酒葡萄育种的重点方向^[1-2]。当前的埋土越冬栽培频繁下架、埋土、出土和上架,存在容易加大劳动强度、加速植株早衰、损伤葡萄树体、造成环境破坏、限制机械化水平以及增加生产投入成本等问题,这也是当前中国酿酒葡萄主产区普遍存在的问题^[3-4]。针对制约发展的关键问题,选育优质抗寒酿酒葡萄新品种,推进免埋土越冬栽培是中国葡萄酒产业发展的重中之重。

传统的育种方式(种间杂交)较难打破抗寒主效基因与劣质品质基因之间的连锁遗传,多年的育种实践证明,绝大多数种间杂种果实品质低,葡萄酒感官质量差,难以大面积推广^[5-7]。欧亚种葡萄是优质葡萄酒生产的主要供应原料,欧亚种内轮回选择在保证果实品质优质的前提下,利用欧亚种葡萄中抗寒多基因的取代积累,成为葡萄优质抗寒育种的有效方法^[8-9]。李华等^[10]和张振文等^[10]利用该方法成功选育出优质抗寒酿酒葡萄新品种‘爱格丽’和‘媚丽’。这2个品种在中国的多个省市均有栽培,且在埋土越冬区的部分边缘产区搭配可降解

液态地膜的使用,实现了免埋土栽培越冬^[12-13]。

基于此,本研究拟以‘爱格丽’为抗寒育种的中
间材料,与‘紫大夫’进行种内正反交,通过差热分析连续3年鉴定种内杂交F₁代的过冷却点及冰点,并对其高温半致死温度和低温半致死温度进行偏向统计与遗传分析,从而筛选抗寒优系,旨在为欧亚种内杂交后代的早期选择以及进一步遗传改良提供理论依据。初选的育种材料有望直接用于生产实践或通过进一步的轮回选择以选育优质抗寒酿酒葡萄新品种。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以‘爱格丽’为抗寒育种中间材料,与‘紫大夫’进行种内正反交,各杂交组合对应的杂种数量如表1所示。以欧亚种葡萄为参照,‘爱格丽’的品种特性为抗寒性好、抗旱性高、果实品质优、抗病性强、早熟、长势中等,‘紫大夫’的品种特性表现为抗寒性中等、抗病性好、中熟、长势强、产量高、果粒大等^[8,14]。224株实生苗均于2021年定植于杨凌盛唐酒庄(34°27' N,108°10' E),采用单臂篱架栽培,密

表1 试验材料
Table 1 Test materials in this study

组别 Group	杂交组合(♀×♂) Cross combination	处理编号 Treatment number	数量/株 Total amount
正交 Positive	‘紫大夫’×‘爱格丽’	C6	144
反交 Negative	‘爱格丽’×‘紫大夫’	C10	80

注:♀是雌性,即杂交母本;♂是雄性,即杂交父本。下同。
Note: ♀ represents female, that is, the hybrid mother; ♂ represents male, that is, the hybrid father.
The same below.

植,株行距0.6 m×1.0 m。杂交亲本的扦插苗随杂种实生苗同步进行定植,每个亲本定植数量为10株。所有试验材料的土壤、灌溉、修剪和疾病控制采取相同的管理措施,各植株长势良好。

1.2 试验方法

于2023—2025年连续3年对2个杂交亲本及224株杂交子代进行差热分析,杂交亲本及后代群体冬芽的采集于每年的1月份前后进行,每个单株选取不低于24个冬芽进行差热分析,其中8个冬芽为一组,采集后置于4℃冰箱待测。杂交亲本设置3个生物学重复。

从4℃冰箱中取出待测的休眠枝条进行差热系统分析(DTA),DTA操作参照Kaya等^[15]的方法,稍作修改。首先将PT100温度传感器的探针紧贴葡萄冬芽,并用封口膜进行包裹以保证获得最大的热传递,然后置于高低温交变湿热试验箱(YSGJS-408,上海览浩仪器设备有限公司)。试验箱的控温曲线以10℃/h的恒定冷却速率进行降温,冷却温度从4℃开始,在-26℃结束。采用48通道的无纸记录仪(R8000,安徽聚杰自动化科技有限公司)以2 s/次的频率记录冬芽的降温曲线。随着温度下降,降温曲线会出现2个越变峰,分别是高温放热(High temperature exothermal, HTE)和低温放热(Low temperature exothermal, LTE)。冬芽的HTE与非致死的细胞外结冰有关,用mHTE表示高温半致死温度,即高温放热过程中产生高温过冷却点的中位数;冬芽的低温半致死温度用mLTE表示,即50%冬芽被杀死的温度。

1.3 统计分析

变异系数(CV)、超高亲率(HH)、高亲中率(HM)、低低亲率(LL)、遗传传递力(Ta)和广义遗

传力(H^2)的计算方法分别参照以下公式:

$$HH = \frac{\text{高于较高亲本的单株数}}{\text{测试单株的总数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$HM = \frac{\text{高于亲中值的单株数}}{\text{测试单株的总数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$LL = \frac{\text{低于较低亲本的单株数}}{\text{测试单株的总数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$Ta = \frac{\text{子代平均值}}{\text{亲中值}} \times 100\% \quad (4)$$

$$H^2 = \frac{V_H - 1/2(V_{P1} + V_{P2})}{V_H} \quad (5)$$

式中: V_H 为杂交组合子代群体的表现型方差; V_{P1} 为母本的表现型方差; V_{P2} 为父本的表现型方差。DTA导出的数据利用Microsoft Excel 2021软件进行整理,剔除异常通道,将整理好的文件绝对路径赋给data_path,设定threshold(默认是0.2),输出路径名赋给out_path,通过Python自动检索高温放热曲线和低温放热曲线的过冷却点值,再通过Microsoft Excel 2021软件进行高温过冷却点和低温过冷却点的汇总与分析,确定中位数,即mHTE值和mLTE值。

用Microsoft Excel 2021软件进行数据整理,用SPSS 22.0软件进行数据统计和显著性分析,用Origin Pro 2024软件进行遗传分布、结合聚类热图、回归和相关分析等插件进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 杂交亲本的半致死温度鉴定

杂交亲本的高低温曲线如图1所示。杨凌地区连续3个越冬季节的温度范围主要集中在-10~20℃,第1个越冬季的极端低温出现在11月下旬,

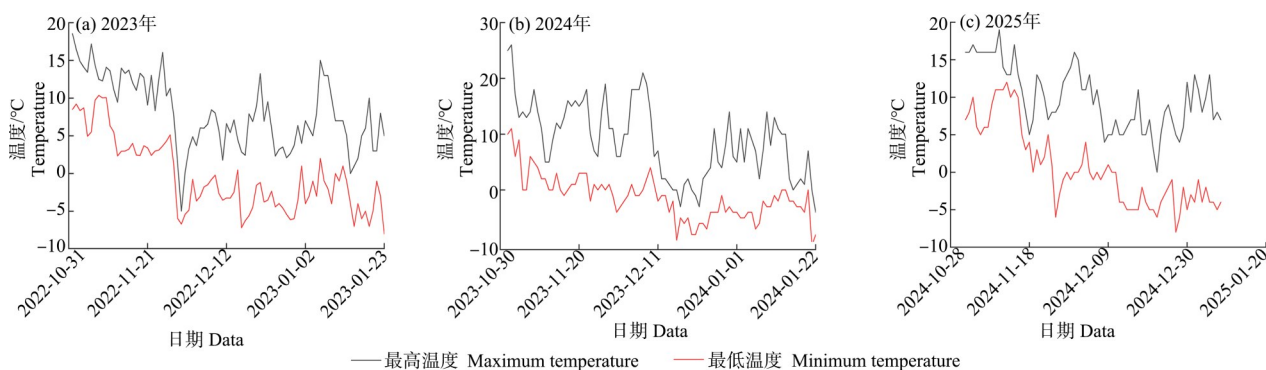
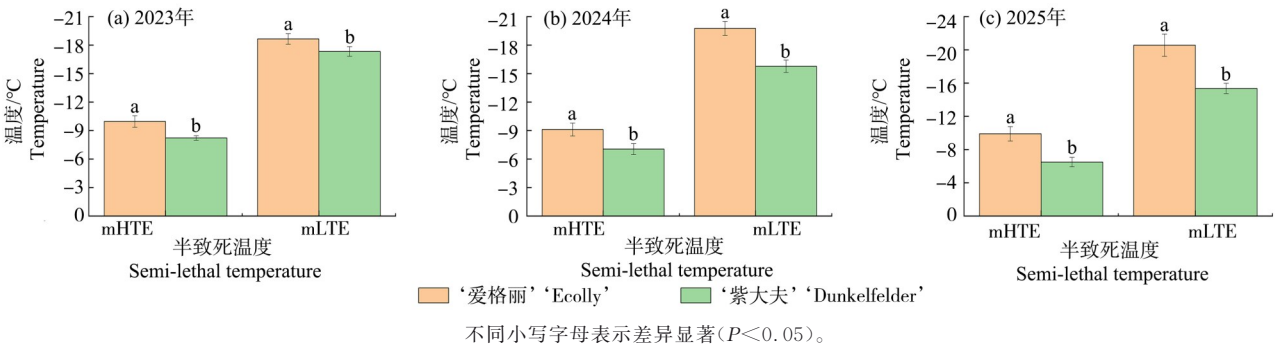


图1 越冬季节田间高低温曲线

Fig. 1 mHTE and mLTE curves in the field in Yangling overwintering season

第2个越冬季的极端低温出现在12月上旬,第3个越冬季的极端低温出现在12月下旬。杂交亲本的半致死温度如图2所示,2023年杂交亲本‘爱格丽’与‘紫大夫’的mHTE和mLTE值略低于2024和2025年,连续3年‘爱格丽’的mHTE和mLTE值均显著低于‘紫大夫’($P<0.05$)。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图2 杨凌地区杂交亲本的mHTE和mLTE值

Fig. 2 mHTE and mLTE values of hybrid parents in Yangling

2.2 杂交F₁代的半致死温度鉴定

杂交亲本及正反交组合后代群体冬芽mHTE值偏向统计和遗传分析结果见表2。后代群体冬芽mHTE值主要在亲中值附近分布,2023年亲中值略低于2024和2025年。不同年份,超高亲率、高亲中率及低低亲率存在差异,2023和2024年正交(C6)后代群体mHTE值在超高亲率和高亲中率低于反

交(C10)后代群体;正交后代群体mHTE值低低亲率高于反交后代群体。各年份变异系数介于为17.65%~28.34%,遗传传递力介于83.31~115.37,广义遗传力相对稳定,介于0.61~0.80。同一年份正反交组合后代群体之间相对稳定,不同年份正反交后代群体之间广义遗传力存在一定差异。

表2 冬芽mHTE值的偏向统计和遗传分析

Table 2 Biased statistical and genetic analysis of mHTE values of winter buds

年份 Year	处理编号 Treatment number (♀×♂)	亲本 Parent			子代偏向统计 Bias in progenies			CV/%	Ta/%	H ²
		P1(♀)	P2(♂)	$\bar{P}$	HH	HM	LL			
2023	C6	-7.19±0.31	-8.08±0.49	-7.64	72.52	76.34	16.03	28.34	85.84	0.66
	C10	-8.08±0.49	-7.19±0.31		74.29	81.43	15.71	25.58	83.31	0.61
2024	C6	-7.05±0.58	-9.11±0.68	-8.08	33.90	54.24	22.88	21.46	98.05	0.73
	C10	-9.11±0.68	-7.05±0.58		64.44	75.56	11.11	23.16	85.54	0.73
2025	C6	-6.50±0.58	-9.90±0.86	-8.20	38.76	79.84	6.98	17.65	115.37	0.80
	C10	-9.90±0.86	-6.50±0.58		4.17	25.00	19.17	17.98	89.51	0.75

注:P1为杂交母本,P2为杂交父本, $\bar{P}$ 为亲中值,即杂交父本与杂交母本的平均值。HH超高亲率,HM为高亲中率,LL为低低亲率,CV为变异系数,Ta为遗传传递力,H²为广义遗传力。处理编号同表1。下同。

Note: P1 is the hybrid mother, P2 is the hybrid father, and $\bar{P}$ is the mid-parent value, which is the average of the hybrid father and the hybrid mother. HH is ultra-high mid-parent value ratio, HM is high mid-parent value ratio, LL is low mid-parent value ratio, CV is coefficient of variation, Ta is heritability, and H² is broad-sense heritability. The treatment numbers are the same as in Table 1. The same below.

杂交后代群体冬芽mHTE值如图3所示。连续3年正反交组合后代群体冬芽mHTE值均呈典型的

偏正态分布,表现出多基因控制的数量性状遗传特点。同一组合不同年份间杂交后代群体冬芽mHTE

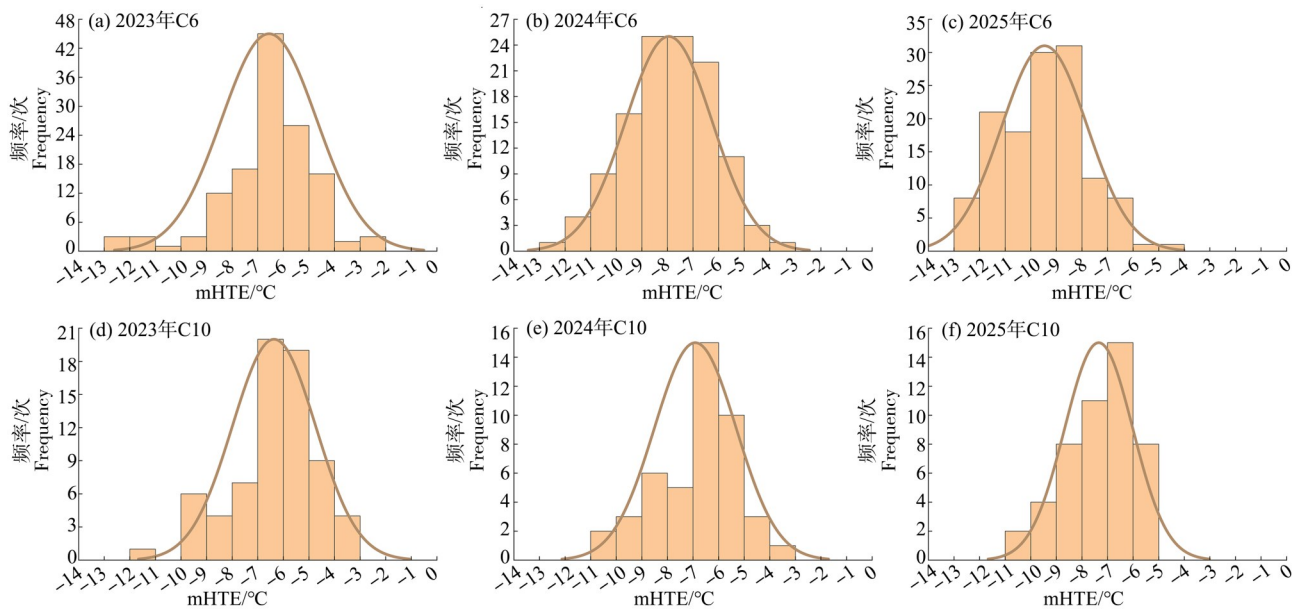


图3 杨凌地区 2023—2025 年杂交后代群体冬芽 mHTE 值的频率分布直方图

Fig. 3 Frequency distribution histogram of mHTE values of intraspecific hybrid progenies in Yangling from 2023 to 2025

值分布存在一定差异,其中,C6组合与C10组合冬芽 mHTE 值在 2023 年略高于 2024 和 2025 年。此外,2024 和 2025 年 C6 组合的后代冬芽 mHTE 值低于 C10 组合,以‘爱格丽’为父本的杂交后代冬芽 mHTE 值低于以‘爱格丽’为母本的杂交后代。

对杂交亲本及正反交组合后代群体冬芽 mLTE 值进行偏向统计和遗传分析,结果如表 3 所示。后代群体冬芽 mLTE 值主要在亲中值附近分布,2023 年亲中值略低于 2024 和 2025 年;正交后代群体 mLTE 值在超高亲率及高亲中率略高于反交后代群体;2024 和 2025 年正交后代群体 mLTE 值在低低亲率略高于反交后代群体。各年份变异系

数介于 8.68%~18.96%,2024 和 2025 年的变异系数比较接近,整体均低于 2023 年;遗传传递力介于 93.05~118.65;广义遗传力相对稳定,介于 0.62~0.77,不同年份或正反交后代群体的广义遗传力较为接近。

杂交后代群体冬芽 mLTE 值如图 4 所示。连续 3 年正反交组合后代群体冬芽 mHTE 值均呈典型的偏正态分布,表现出多基因控制的数量性状遗传特点。同一组合不同年份间杂交后代群体冬芽 mLTE 值分布存在一定差异,2025 年 C6 组合与 C10 组合冬芽 mLTE 值整体偏高。正反交之间后代群体冬芽 mLTE 值无明显的偏向分布。

表3 冬芽 mLTE 值的偏向统计和遗传分析

Table 3 Biased statistical and genetic analysis of mLTE values of winter buds

年份 Year	处理编号 Treatment number (♀×♂)	亲本 Parent			子代偏向统计 Bias in progenies			CV/%	Ta/%	H ²
		P1(♀)	P2(♂)	$\bar{P}$	HH	HM	LL			
2023	C6	−13.95±0.54	−16.95±0.34	−15.45	40.46	64.12	18.32	18.96	93.05	0.71
	C10	−16.95±0.34	−13.95±0.54		40.00	52.86	24.29	17.56	96.94	0.70
2024	C6	−15.77±0.65	−19.76±0.74	−17.77	13.68	56.41	14.53	8.89	98.89	0.69
	C10	−19.76±0.74	−15.77±0.65		4.44	51.11	13.33	8.01	101.25	0.77
2025	C6	−15.36±0.62	−20.56±1.34	−17.96	75.91	93.43	23.36	8.68	118.65	0.62
	C10	−20.56±1.34	−15.36±0.62		47.92	91.67	2.08	9.67	113.36	0.64

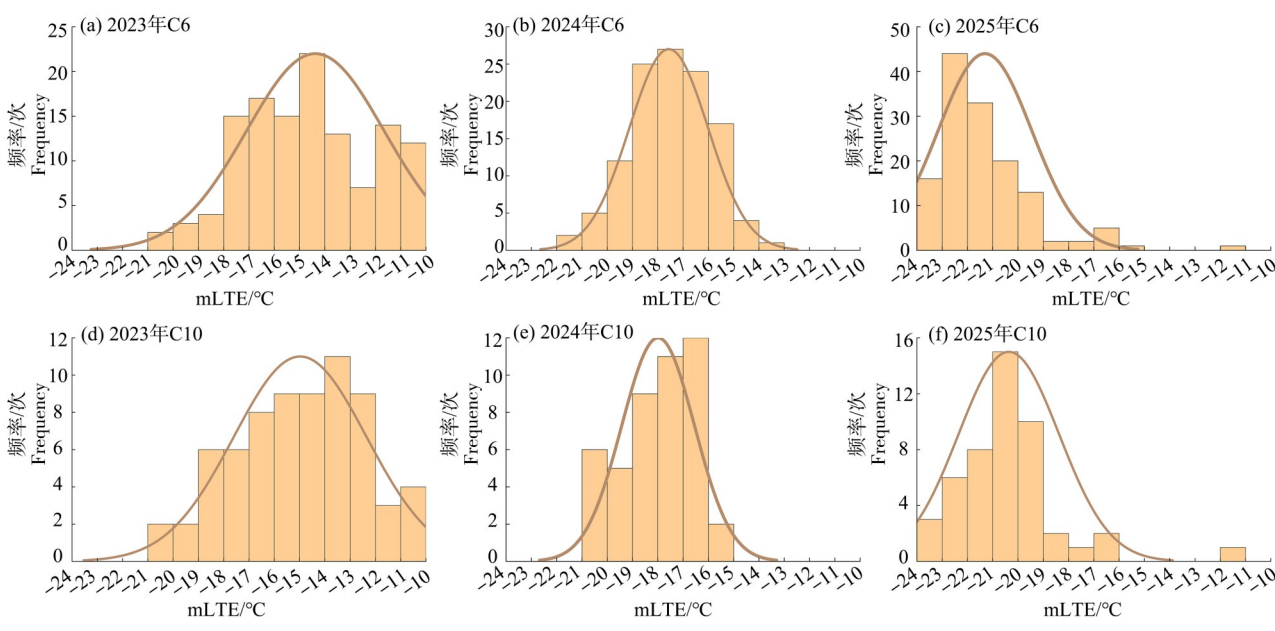


图4 杨凌地区2023—2025年杂交后代群体冬芽mLTE值的频率分布直方图

Fig. 4 Frequency distribution histogram of mLTE values of intraspecific hybrid progenies in Yangling from 2023 to 2025

2.3 种内杂种的综合评价筛选

为明确冬芽mHTE和mLTE值之间的关系，采用线性回归方程对其进行评价，结果如图5所示。同一组合杂交后代群体冬芽mHTE和mLTE值在不同年份间相关性系数与回归系数均存在一定差异，冬芽mHTE和mLTE值存在一定的正相关关系。2023年相关性系数最高(0.302 3)，2024和2025年的相关性系数分别为0.264 1和0.092 1。

对C6和C10组合后代群体连续3年的冬芽mHTE和mLTE值进行聚类分析，结果如图6所示。C6组合中冬芽mHTE值较低的一类包括种质

2106007、2106016、2006008、2106013、2106095、2006014、2106117、2106028和2006006，mLTE值较低的一类包括种质2106008、2106007、2106006、2006016、2006008、2106015、2106114、2106037、2106034、2106019和2006014；两者重合的种质是2106007、2006008和2006014，其可以作为抗寒优系。C10组合中冬芽mHTE值较低的一类包括种质2110007和2010031，mLTE值较低的一类包括种质2110006、2110024、2110021、2010035、2110007、2110005、2010031、2110015、2110014、2110026、2010033、2110033和2010002；两者重合的种质是2110007和2010031，其可以作为抗寒优系。

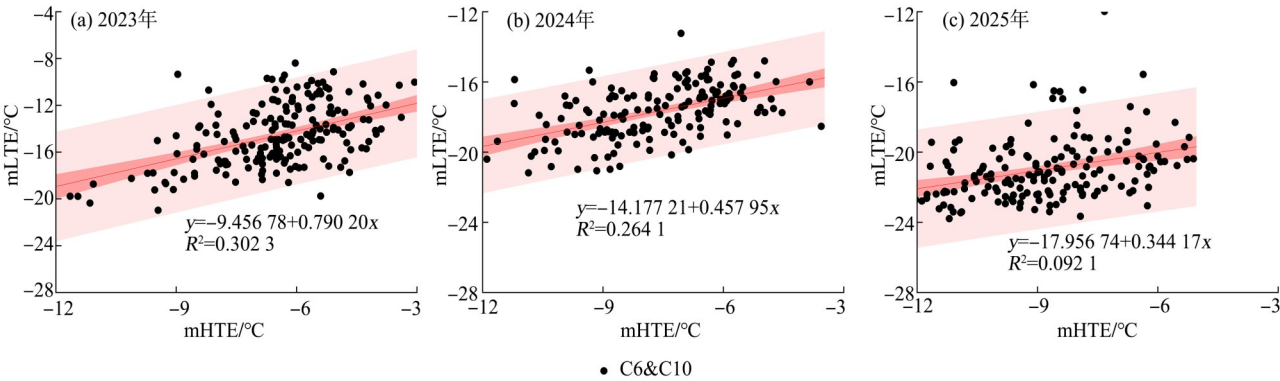


图5 杨凌地区2023—2025年杂交群体冬芽mHTE和mLTE值的回归分析

Fig. 5 Regression analysis of mHTE and mLTE values of winter buds in Yangling from 2023 to 2025

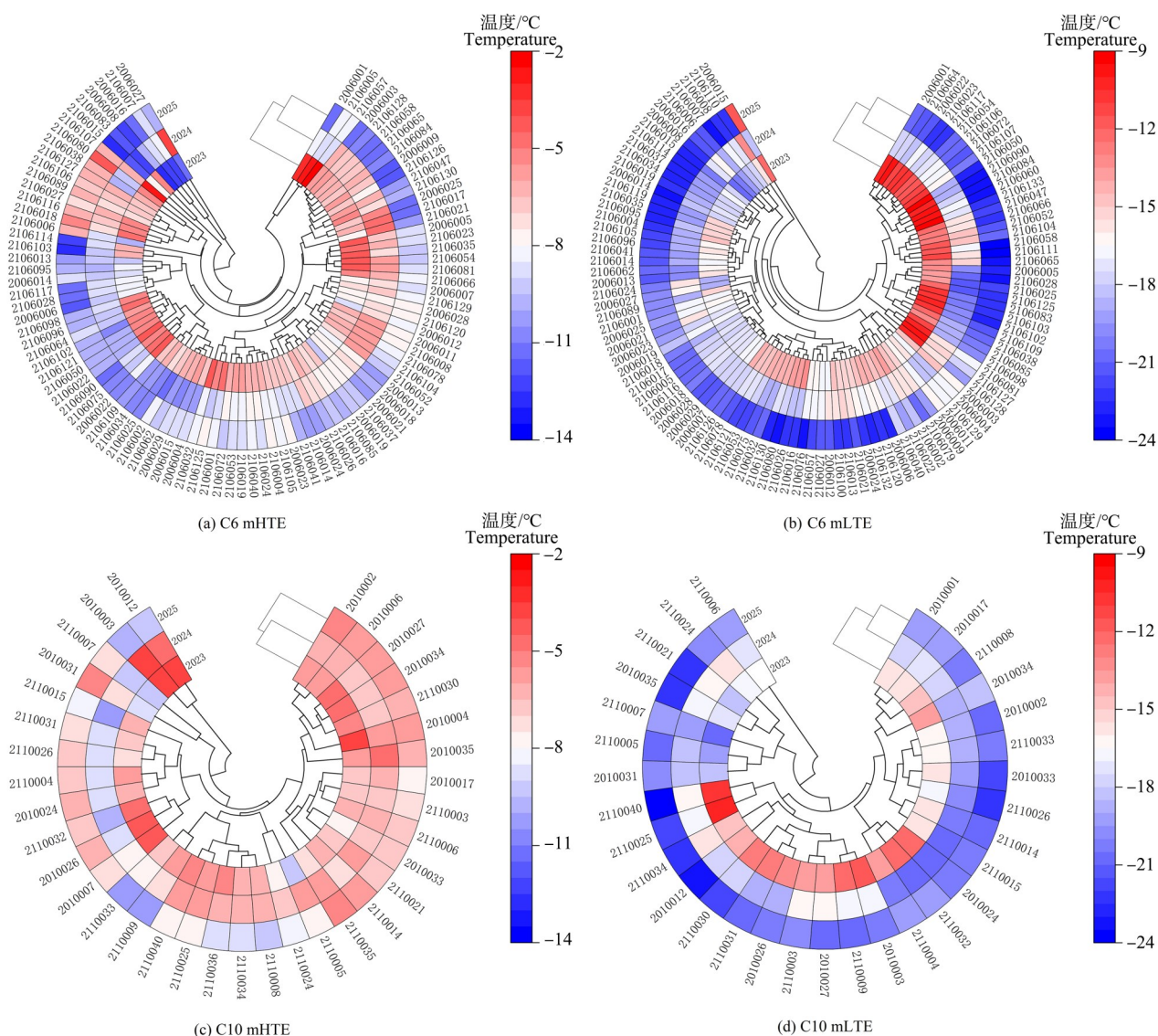


图6 冬芽mHTE和mLTE值的聚类分析

Fig. 6 Cluster analysis of mHTE and mLTE values of winter buds

3 讨论

3.1 抗寒指标的遗传特点

欧-山种间杂交试验证明葡萄的抗寒性属于多基因控制的数量性状,种间杂交存在不同程度的超亲遗传^[16]。本研究以欧亚种内杂交群体为试验材料,表明不同组合及年份间冬芽mHTE与mLTE值分布是连续的,呈现正态或偏正态分布,正反交后代群体中存在超亲遗传现象,整体表现为趋中变异。这与人对种间杂交后代群体冬芽LTE(冰点值)的研究结果一致^[17-18]。考虑到冬芽mHTE值的遗传分析较少,本研究的遗传分析结果显示,冬芽mHTE值的变异系数高于LTE值。变异系数的差

异可能与葡萄冬芽高温放热的过冷却能力有关,高温放热的过冷却能力一般大于低温过冷却能力^[19],这也是导致第1个放热峰大于第2个放热峰的主要原因。此外,本研究中,冬芽mHTE和mLTE值的遗传传递力和广义遗传力整体比较接近,暗示了冬芽抗寒性受遗传因素的影响较大,具有较高的遗传稳定性。

山葡萄种间杂交后代群体的抗寒力强弱取决于山葡萄基因所占的比例,不同杂交模式杂种后代抗寒性不同,以山葡萄作母本与欧美杂种杂交的F₁代抗寒性显著高于以山葡萄作父本与欧美杂种杂交的F₁代,利用山葡萄的种间杂交F₁代再与欧亚栽培种杂交,抗寒性显著降低^[20]。‘北红’×‘ES7-

11-49'、'北红'×'赤霞珠'、'北醇'×'康可'以及'北红'自交后代群体的抗寒性均偏向于抗寒性增强的方向^[18,21]。本研究中,不同组合及年份间冬芽mLTE值的遗传无明显的偏向分布,暗示了葡萄抗寒性在欧亚种内杂交群体中并没有母本优势,这可能与杂交亲本间抗寒性的差异较小有关,Wang等^[22]抗寒鉴定结果表明,'爱格丽'依据染色指数拟合的半致死温度为-19.57℃,'爱格丽'的半致死温度是-21.07℃。因此,欧亚种葡萄种内杂交选育抗寒品种时可以同时选择抗寒性较好的品种(系)作为杂交亲本,这样可以加大欧亚种内杂交选育优质抗寒株系的概率。

3.2 抗寒指标的评价特点

当前评价葡萄抗寒性的常用方法有电导法^[23]、TTC染色法^[24]、恢复生长法^[25]、差热分析法^[26]以及隶属函数综合评价法^[22]。差热分析法作为目前最先进的抗寒评价方法,具有高度的准确性和重复性,在葡萄抗寒评价中应用广泛^[27-29]。对花芽和营养器官进行的研究中,差热分析法确定低温耐冻性阈值的可行性已被广泛证实^[30-31]。本研究中,对杂交亲本进行了连续3年的差热分析鉴定,'爱格丽'冬芽mHTE和mLTE值均显著高于'紫大夫',这与Wang等^[32]通过电导法鉴定的结果一致。再次验证了欧亚种葡萄虽然不抗寒,但存在抗寒性相对较高的种质资源,这些种质资源可以作为抗寒育种改良的中间材料。

葡萄的抗寒性受越冬期间抗寒锻炼的影响,抗寒性先降低后保持稳定,Wang等^[33]对杨凌地区越冬期间4个欧亚种葡萄抗寒鉴定结果表明,11月1日—次年1月1日抗寒性持续降低,1月1日—2月1日抗寒性差异不显著。本研究中选取的抗寒鉴定时间均为1月份前后,抗寒性相对稳定,对冬芽mHTE和mLTE值的回归分析表明,mHTE和mLTE值存在正相关关系,但不同年份之间相关性系数与回归系数差异较大。这与前人的研究结果不完全一致^[15],具体体现在mHTE和mLTE值的相关性系数与回归系数相对较低,并不存在一个强因果关系。此外,本研究中2023和2024年的相关性系数和回归判定系数均高于2025年。研究表明,冬芽mHTE值与第一次结冰或非致死的细胞外结冰有关,冬芽mLTE值反映的是过冷却点,与致死温度有关,即50%冬芽被杀死的

温度^[15,34]。此外,冬芽的抗寒性还受渗透调节剂及水分含量^[35],冬芽结构及大小^[36],冬芽所处节间位置^[37]等因素的影响,造成本研究中年份之间的差异或许与冬芽中的含水量有关,受被检测群体数量的影响,前2年差热分析的持续时间较长,第3年C6和C10群体的测试比较集中且持续时间短。因此,单一指标评价葡萄的抗寒性并不全面,且不能准确反映其抗寒能力。本研究中综合冬芽mHTE和mLTE值的聚类分析,在C6和C10中均筛选出部分抗寒优系,可以作为重点关注的对象。

4 结 论

欧亚种葡萄抗寒性是由多基因控制的数量性状遗传,种内杂种后代冬芽mHTE和mLTE值是连续的,符合偏正态分布。冬芽mHTE与mLTE值存在一定的正相关关系,但mHTE与mLTE值之间并无显著的因果关系。欧亚种内杂交可以创制出少数抗寒优系,C6组合中2106007、2006008和2006014,以及C10中的2110007和2010031可以作为抗寒优系,有望直接用于生产实践或作为抗寒育种改良的中间材料。

参考文献 References

- [1] Wan N J, Yang B H, Yin D Z, Ma T T, Fang Y L, Sun X Y. Overwintering covered with soil or avoiding burial of wine grapes under cold stress: Chinese wine industry's past and future, challenges and opportunities[J]. *Stress Biology*, 2023, 3(1): 40
- [2] Ren C, Fan P G, Li S H, Liang Z C. Advances in understanding cold tolerance in grapevine[J]. *Plant Physiology*, 2023, 192(3): 1733-1746
- [3] 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
- [4] 王志磊, 翟肖宇, 李超, 薛婷婷, 徐国前, 要菲, 张军翔. 外源物质提高葡萄抗寒性的作用机制及其应用进展[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(4): 119-130
Wang Z L, Zhai X Y, Li C, Xue T T, Xu G Q, Yao F, Zhang J X. Mechanism and application of exogenous substances to improve cold resistance of *Vitis* L[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(4): 119-130 (in Chinese)
- [5] Teissedre P L. Composition of grape and wine from resistant vines varieties[J]. *OENO One*, 2018, 52(3): 211-217
- [6] Manso-Martínez C, Sáenz-Navajas M P, Hernández M M, Menéndez C M. Sensory profiling and quality assessment of wines derived from Graciano× Tempranillo selections[J]. *LWT*, 2020, 127: 109394
- [7] Xiao H, Wang Y, Liu W W, Shi X Y, Huang S Y, Cao S, Long Q M, Wang X, Liu Z J, Xu X D, Peng Y L, Wang P F, Jiang Z H, Riaz S, Walker A M, Gaut B S, Huang S W, Zhou Y F. Impacts of reproductive systems on

- grapevine genome and breeding[J]. *Nature Communications*, 2025, 16: 2031
- [8] Wang Z L, Xue T T, Gao F F, Zhang L, Han X, Wang Y, Hui M, Wu D, Li H, Wang H. Intraspecific recurrent selection in *V. vinifera*: An effective method for breeding of high quality, disease-, cold-, and drought-resistant grapes[J]. *Euphytica*, 2021, 217(6): 111
- [9] Kui L, Tang M, Duan S, Wang S, Dong X. Identification of selective sweeps in the domesticated table and wine grape (*Vitis vinifera* L.)[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 572
- [10] 李华, 张振文, 王华, 刘延琳. 葡萄新品种: 爱格丽[J]. 园艺学报, 2000(1): 75
Li H, Zhang Z W, Wang H, Liu Y L. A new grape variety-Ecolly[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2000(1): 75 (in Chinese)
- [11] 张振文, 王华, 房玉林, 惠竹梅, 李华. 优质抗病酿酒葡萄新品种‘媚丽’[J]. 园艺学报, 2013, 40(8): 1611-1612
Zhang Z W, Wang H, Fang Y L, Hui Z M, Li H. A new high quality wine-grape cultivar ‘Meili’ with disease resistance [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(8): 1611-1612 (in Chinese)
- [12] 惠森, 韩星, 董新义, 郑怀堂, 王华, 李华. 酿酒葡萄爱格丽、媚丽在夏县地区的栽培适应性研究[J]. 中国酿造, 2023, 42(4): 40-45
Hui M, Han X, Dong X Y, Zheng H T, Wang H, Li H. Cultivation adaptability of wine grape varieties Ecolly and Meili in Xia County [J]. *China Brewing*, 2023, 42(4): 40-45 (in Chinese)
- [13] 李一晗, 薛婷婷, 要菲, 钟晓敏, 刘兴凯, 王华, 李华. 可降解液态膜在葡萄越冬应用中的安全性调查[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2024(1): 36-41
Li Y H, Xue T T, Yao F, Zhong X M, Liu X K, Wang H, Li H. Application of biodegradable liquid film on viticulture overwintering and its safety survey [J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2024(1): 36-41 (in Chinese)
- [14] Wang Z L, Hui M, Shi X Q, Wu D, Wang Y, Han X, Cao X, Li H, Wang H. Characteristics of the seed germination and seedlings of six grape varieties (*V. vinifera*) [J]. *Plants*, 2022, 11(4): 479
- [15] Kaya Ö, Köse C. Determination of resistance to low temperatures of winter buds on lateral shoot present in Karaerik (*Vitis vinifera* L.) grape cultivar[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2017, 39(9): 209
- [16] Guo L, Wang X, Ayhan D H, Rhaman M S, Yan M, Jiang J F, Wang D Y, Zheng W, Mei J J, Ji W, Jiao J, Chen S Y, Sun J, Yi S, Meng D, Wang J, Bhuiyan M N, Qin G C, Guo L L, Yang Q X, Zhang X N, Sun H S, Liu C H, Deng X W, Ye W X. Super pangenome of *Vitis* empowers identification of downy mildew resistance genes for grapevine improvement[J]. *Nature Genetics*, 2025, 57(3): 741-753
- [17] Wang Z M, Chai F M, Zhu Z F, Kirabi E G, Xin H P, Liang Z C, Li S H. The inheritance of cold tolerance in seven interspecific grape populations[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 266: 109260
- [18] 唐玄德, 王荣, 刘玉娟, 段伟, 梁振昌, 范培格. ‘赤霞珠’与‘北红’正反交群体抗寒旱性能遗传特点[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2022(1): 20-26
Tang X D, Wang R, Liu Y J, Duan W, Liang Z C, Fan P G. Genetic characteristics of cold and drought resistance based on reciprocal cross of ‘Cabernet Sauvignon’ and ‘Beihong’ [J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2022(1): 20-26 (in Chinese)
- [19] Kaya O. Defoliation alleviates cold-induced oxidative damage in dormant buds of grapevine by up-regulating soluble carbohydrates and decreasing ROS[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2020, 42(7): 106
- [20] 张利鹏, 刘怀锋, 辛海平. 葡萄抗寒机制研究进展[J]. 果树学报, 2023, 40(2): 350-362
Zhang L P, Liu H F, Xin H P. Research progress in cold tolerance mechanism of grape [J]. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40(2): 350-362 (in Chinese)
- [21] 柴凤梅. 葡萄种质资源抗寒性评价及抗寒候选基因挖掘[D]. 武汉: 中国科学院大学(武汉植物园), 2018
Chai F M. Evaluation of cold hardiness in grape germplasm resources and screening of candidate genes related to cold [D]. Wuhan: University of Chinese Academy of Sciences(Wuhan Botanical Garden), 2018 (in Chinese)
- [22] 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
- [23] Wang Z L, Wang Y, Wu D, Hui M, Han X, Xue T T, Yao F, Gao F F, Cao X, Li H, Wang H. Identification and regionalization of cold resistance of wine grape germplasms (*V. vinifera*) [J]. *Agriculture*, 2021, 11(11): 1117
- [24] 赵滢. 山葡萄种质抗寒性评价及抗寒机制研究[D]. 长春: 中国农业科学院, 2018. Zhao Y. Evaluation for cold tolerance in germplasms of *Vitis amurensis* and study on mechanisms of cold tolerance [D]. Changchun: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2018 (in Chinese)
- [25] 刘政海, 董志刚, 李晓梅, 谭敏, 杨铭兆, 杨兆亮, 唐晓萍. 基于恢复生长法分析酿酒葡萄品种的抗寒性[J]. 果树资源学报, 2021, 2(2): 5-8
Liu Z H, Dong Z G, Li X M, Tan M, Yang R Z, Yang Z L, Tang X P. Analysis of cold resistance of wine grape based on recovery growth method [J]. *Journal of Fruit Resources*, 2021, 2(2): 5-8 (in Chinese)
- [26] 柴凤梅, 祝为, 项悦, 辛海平, 李绍华. 利用低温放热(LTE)测定葡萄冬芽耐寒性方法的优化及应用[J]. 园艺学报, 2015, 42(1): 140-148
Chai F M, Zhu W, Xiang Y, Xin H P, Li S H. Optimized method for detecting the cold hardiness of grape dormant bud by low temperature exotherms(LTE)analysis and its utilization [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(1): 140-148(in Chinese)
- [27] Jun S H, Yu D J, Im D, Hur Y Y, Lee H J. Comparison of mid-winter cold hardiness in the bud and cane tissues of 24 grape cultivars based on low-temperature exotherm and electrolyte leakage analyses[J]. *Horticultural Science and Technology*, 2024, 42(6): 689-700
- [28] Kandilli G G, Candar S, Söylemezoğlu G. Changes in cold tolerance and biochemical responses to air temperature parameters: A case study of three commercial grapevine buds[J]. *Scientia Horticulturae*, 2025, 341: 113964
- [29] Kaya O, Kose C. How pretest temperatures change the cold hardiness of grapevine (*Vitis Vinifera* L. Cv. Karaerik) dormant buds[J]. *International Journal of Fruit Science*, 2020, 20(S3): 1470-1482
- [30] Jun S H, Yu D J, Hur Y Y, Lee H J. Identifying reliable methods for evaluating cold hardiness in grapevine buds and canes[J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2021, 62(6): 871-878
- [31] Kaya O, Kose C. Sensitivity of some sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars to late spring frosts during different phenological stages following bud burst [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2022, 148(3): 1713-1725
- [32] Wang Z L, Han X, Ma W L, Xu G Q, Xue T T. Mining, screening, and validation of cold-resistance molecular markers in *Vitis vinifera* L [J]. *Euphytica*, 2024, 220(6): 81
- [33] Wang, Z. L, Kaya, O, Xu, G. Q, Ma, W. L, Zhao, X. R, Xue, T. T, Zhang, J. X. Unlocking the secrets of intraspecific hybrids (*Vitis vinifera* L.) cold hardiness: A comprehensive study of genetic factors and trait correlations [J]. *Horticultural Plant Journal*, 2024
- [34] 陈仁伟, 张晓煜, 丁琦, 杨豫, 南学军, 胡宏远, 冯蕊, 李芳红, 张亚红. 基

于差热分析技术的4个酿酒葡萄品种不同部位抗寒性综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(7): 1022-1032

Chen R W, Zhang X Y, Ding Q, Yang Y, Nan X J, Hu H Y, Feng R, Li F H, Zhang Y H. Comprehensive evaluation of cold resistance in different parts of four wine grape varieties based on different thermal analysis[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(7): 1022-1032 (in Chinese)

[35] Ershadi A, Karimi R, Mahdei K N. Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars

[J]. *Acta physiologiae plantarum*, 2016, 38: 1-10

[36] Küpe M, Köse C. The relationship between bud size and exotherm formation in dormant buds of grapevine[J]. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2020, 51(3): 243-248

[37] Buztepe A, Kose C, Kaya O. Evaluation of cold tolerance of dormant buds according to position using thermal analysis in Karaerik (*V. vinifera* L.) grape[J]. *International Journal of Research and Review*, 2017, 4(10): 38-45

责任编辑: 申青苗



第一作者简介: 王志磊,工学博士,宁夏大学葡萄酒与园艺学院副教授,硕士生导师。主要从事葡萄与葡萄酒学研究。主持国家自然科学基金地区项目1项,宁夏自然科学基金项目1项,参与多项国家级、省部级项目。以第一作者或通讯作者在 *Horticultural Plant Journal*、*Euphytica*、《中国农业大学学报》等期刊发表论文10余篇。



通讯作者简介: 张军翔,工学博士,宁夏大学葡萄酒与园艺学院教授,博士生导师。主要从事葡萄与葡萄酒学研究。先后主持国家重点研发项目课题、国家自然科学基金、国家联合基金等多个项目。发表论文80余篇,主编教材2部,授权专利2项。获2019年度宁夏回族自治区科学技术进步奖一等奖1项。