

核桃不同品种间抗寒能力比较

马艺杰, 苏世平*, 李毅, 种培芳

(甘肃农业大学林学院, 兰州 730070)

摘要:【目的】通过对不同品种核桃生理指标特性的研究,探讨萌芽阶段核桃花芽及叶芽受早春寒害影响导致的整体产量下降等问题,为陇南地区选择核桃品种提供理论依据。【方法】以‘强特勒’‘清香’‘香玲’‘温185’‘西洛2号’‘元丰’‘维纳’等11个陇南地区常见核桃对外推广品种作为研究材料。采集3月初早春核桃带有顶芽的嫩枝,通过0℃的低温处理后,取下嫩枝上的顶芽,对不同品种顶芽中脯氨酸(Pro)、可溶性糖(SS)、可溶性蛋白(SP)、丙二醛(MDA)含量,以及过氧化酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性等生理指标进行测定。比较在低温胁迫下,11个核桃品种顶芽各生理指标差异,通过隶属函数法和主成分分析法,对其抗寒能力分别进行评价。【结果】根据主成分分析法得出其抗寒能力由强到弱排序为:‘强特勒’>‘西洛2号’>‘契可’>‘维纳’>‘清香’>‘京861’>‘香玲’>‘西洛3号’>‘陕核5号’>‘元丰’>‘温185’;根据隶属函数法得出由强到弱排序为:‘强特勒’>‘西洛2号’>‘契可’>‘维纳’>‘陕核5号’>‘香玲’>‘元丰’>‘清香’>‘西洛3号’>‘温185’>‘京861’。其中主成分分析法所得结论与隶属函数法所得结论重合率高达72%。【结论】11个品种中抗寒能力较强的是‘强特勒’‘维纳’‘西洛2号’‘契可’,适合在陇南地区栽植;抗寒能力较弱的是‘香玲’‘陕核5号’‘元丰’‘清香’,初春需做好防寒措施;‘温185’‘京861’‘西洛3号’抗寒能力最弱,不适宜在陇南等早春低温地区大面积栽植。

关键词: 核桃;顶芽;低温胁迫;生理指标;抗寒能力

中图分类号: S664.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)08-0987-10

Cold tolerance of different walnut varieties

MA Yijie, SU Shiping*, LI Yi, CHONG Peifang

(Academy of Forestry of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: 【Objective】Longnan region of Gansu province has three climatic types: the subtropical, the warm temperate and the central temperate climates. There is the abundant hydropower resource in Gansu. Longnan is thus the main producing area of walnut in northwest China. To clarify the chilling injury resulting in death of terminal buds and walnut yield loss due to low temperature in spring, we selected 11 common walnut varieties in Longnan and classify them based on cold-hardiness at budbreak. 【Methods】The sprouting of walnut shoots in the varieties, namely, ‘Chandler’ ‘Qingxiang’ ‘Xiangling’ ‘Xiluo No.2’ ‘Wen185’ ‘Yuanfeng’ ‘Vina’ ‘Shanhe No.5’ ‘Xiluo No.3’ ‘Chico’ and ‘Jing861’ were observed in early spring. Then walnut shoots were collected and placed in a low temperature chamber set at 0℃ for low temperature treatment for 24 hours. Simultaneously, we measured contents of proline (Pro), soluble sugars (SS), soluble proteins (SP) and malondialdehyde (MDA), and the activities of peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in buds from walnut branches of different varieties. The data of the physiological indexes were processed with SPSS 22.0 using the membership function value method, principle component analysis, system cluster, correlation analysis and difference significance tests to determine the contribution value of each index to the cold resistance. Then the varieties were classified according to the corresponding score of each physiological index and com-

收稿日期: 2017-10-25 接受日期: 2018-04-14

基金项目: 甘肃省教育厅(2016A-28); 甘肃省教育厅(2016A-025); 国家星火计划项目(2015GA860002); 甘肃省科技厅(GSAU-STS-1628)

作者简介: 马艺杰, 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 林木遗传育种。Tel: 18393919484, E-mail: 447806783@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13919172122, E-mail: 3349086@qq.com

prehensive score. 【Results】 Principal component analysis showed that the cold hardiness of the 11 walnut varieties in descending order was ‘Chandler’> ‘Xiluo No.2’> ‘Chico’> ‘Vina’> ‘Qingxiang’> ‘Jing861’> ‘Xiangling’> ‘Xiluo No.3’> ‘Shanhe No.5’> ‘Yuanfeng’> ‘Wen185’. According to the membership function value method, the order was ‘Chandler’> ‘Xiluo No.2’> ‘Chico’> ‘Vina’> ‘Shanhe No.5’> ‘Xiangling’> ‘Qingxiang’> ‘Xiluo No.3’> ‘Wen185’> ‘Jing861’. The main component analysis and the subordinate function value showed that varieties other than ‘Jing861’ ‘Shanhe No.5’ and ‘Yuanfeng’ were basically in the same level and the coincidence rate was as high as 72%. Among them, ‘Chandler’ had the strongest cold resistance. ‘Vina’ ‘Chico’ and ‘Xiluo No.2’ had strong cold resistance with similar mechanisms, and these varieties were clustered in one group. ‘Shanhe No.5’ ‘Xiangling’ ‘Yuanfeng’ and ‘Qingxiang’ formed another group. Cold resistance of these four varieties was weak. ‘Wen185’ formed a third group. Physiological data and tree morphology showed that ‘Xiluo No.3’ and ‘Jing861’ had the weakest cold hardiness and they were clustered into a fourth group. 【Conclusion】 The results suggested that cold resistance was significantly related to the contents of Pro, SS and SP. Based on the results of subordinate function analysis, principal component analysis and cluster analysis, cold resistance of the 11 walnut terminal buds were sorted and they could be classified into five groups. ‘Chandler’ ‘Xiluo No.2’ ‘Chico’ and ‘Vina’ were hardly affected by low temperature in early spring; the impact of low temperature in early spring on ‘Shanhe No.5’ ‘Xiangling’ ‘Yuanfeng’ and ‘Qingxiang’ was relatively large and they were susceptible to chilling injury. Based on the cold hardiness, ‘Chandler’ ‘Xiluo No.2’ ‘Chico’ and ‘Vina’ can be planted in a large area in Longnan. ‘Shanhe No.5’ ‘Xiangling’ ‘Yuanfeng’ and ‘Qingxiang’ need cold protection measures in early spring, if they are planted in low temperature area. Yield of ‘Xiluo No.3’ ‘Wen185’ and ‘Jing861’ are affected seriously by low temperature, and therefore they are not recommended for areas with chilling injury in early spring. Selection of walnut varieties for planting in this area is important to prevent crop loss due to chilling injury in early spring.

Key words: Walnut; Terminal bud; Low temperature stress; Physiological index; Cold resistance

核桃(*Juglans regia* L.),又名胡桃、羌桃,属于胡桃科胡桃属,是世界上主要的经济林树种之一。我国作为核桃的原产地之一,有悠久的栽培历史,多个原始品种皆出自我国,这也为今后的研究培育提供了良好的基础。目前核桃作为我国重要的经济林树种具有十分丰富的食用价值、观赏价值和药用价值。核桃果实中含有大量蛋白质、不饱和脂肪酸及多种维生素,具有很高的营养价值,核桃仁中较高的脂肪含量也让它成为重要的食用油料来源。核桃生长范围广泛,对环境气候适应能力强,我国核桃主要自然分布在西北黄土高原、新疆盆地、华中华南、东部沿海、西南山地以及西藏部分区域,其中西南及西藏区域所种植的多为铁核桃和栽培型泡核桃^[1]。

核桃作为典型的喜温怕寒树种,温度尤其是早春低温成为影响核桃生长发育的主要因素。研究表明,早春寒害对核桃花芽和叶芽的伤害以及对其产

量的影响最显著。核桃多在3月底到4月初开始萌芽,其中部分早实核桃在2月就开始萌芽,在这期间的核桃营养吸收逐渐开始加快,不同品种核桃植株间各项生理指标在此时差异最大,是研究早春核桃受寒害冻害影响的最佳时刻^[2]。植物细胞膜的稳定性及酶保护系统与植物抗寒能力紧密相连,寒害通过低温使膜透性增强,部分溶质大离子渗出打破细胞内外离子浓度平衡,并对酶活性造成影响引发代谢失调;冻害多是低温导致植物细胞间隙和内部结冰,原生质脱水且冰晶刺破细胞膜及细胞壁导致植物细胞死亡。而渗透调节物质和部分酶均具有降低细胞脱水或细胞质结晶、保护细胞膜的能力^[3]。田景花等^[4]通过对核桃休眠期枝条生理指标测定表明,在低温胁迫下核桃芽中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化酶(peroxidase, POD)酶活性随温度下降逐渐变化,叶绿体在后期出现融

合现象,脯氨酸、可溶性蛋白与可溶性糖含量上升,且不同品种间变化速率差异显著。

甘肃陇南市位于北亚热带半湿润气候与暖温带半干旱气候的过渡区域,气候垂直差异性明显,四季分明,气候温和湿润,年均温度为14.9℃,最高温40℃,最低温-9℃,年降水400~900mm,适宜核桃生长。该区域作为甘肃省核桃主要栽培地区,偶会发生“倒春寒”天气,影响花芽和叶芽的正常生长,导致落花落果,影响核桃产业的正常发展。笔者以甘肃省核桃主要分布区陇南市内主要推广栽培的11个不同品种核桃为研究对象,通过人工模拟早春低温环境,测定核桃叶片中POD、SOD、过氧化氢酶(catalase, CAT)、脯氨酸(proline, Pro)、可溶性糖(soluble sugars, SS)以及可溶性蛋白(soluble proteins, SP)等指标的变化,研究比较不同品种核桃的抗寒能力,以期为今后核桃品种选育以及抗寒稳产提供科学依据和理论参考。

1 材料和方法

1.1 材料

以甘肃陇南市武都区林科所核桃实验基地栽植的‘强特勒’‘清香’‘香玲’‘温185’‘西洛2号’‘西洛3号’‘元丰’‘契可’‘维纳’‘陕核5号’‘京861’等11个品种为研究材料。从中分别选取长势良好、树龄4~5a(年)生的植株,于3月初上旬(日均温16℃)早春时采样,选择植株带有顶芽的嫩枝保存,再在0℃低温处理24h后作为实验材料。

1.2 指标测定方法

将采集的11个品种材料进行编号整理,通过0℃的低温处理后摘取枝条上的顶芽。每个品种的顶芽分别测定POD、CAT、SOD酶活性,以及MDA、SS、SP、Pro含量,每个品种指标进行3次重复。其中POD活性采用愈创木酚法^[5]进行测定,SOD活性采用氮蓝四唑光化还原法^[6]测定,CAT活性采用紫外线吸收法^[6]测定,SS采用蒽酮比色法^[7]测定,SP采用考马斯亮蓝法^[7]测定,Pro采用酸性茚三酮法^[5]测定,MDA采用硫代巴比妥酸法^[5]测定。

1.3 数据处理

通过Excel 2014进行分析后,比较各个不同核桃品种在同一地区正常的环境条件下生理指标的差异。其中,通过SPSS 22.0软件进行主成分分析,结合隶属函数法对11个品种的抗寒能力进行综合

排序,通过聚类分析对这11个核桃品种的抗寒能力进行分类。

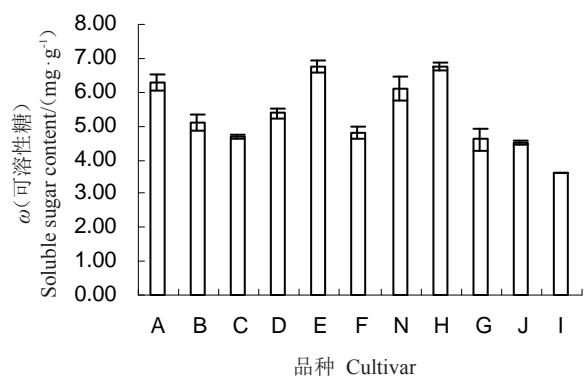
其中隶属函数法求平均隶属函数值分2种情况,当由SPSS 22.0软件分析相关性得出正相关的部分指标为升型函数,计算公式为 $U_{ij}=(X_{ij}-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$;当相关性为负相关时为降型函数,计算公式为 $U_{ij}=1-(X_{ij}-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$,其中, U_{ij} 表示在0℃的低温处理后,第*i*个品种的第*j*项指标的隶属函数值($0<U_{ij}<1$), X_{ij} 表示在0℃的低温处理后,第*i*个品种的第*j*项指标的测定值, X_{min} 、 X_{max} 分别表示所有品种中第*j*项指标测定值的最大值和最小值^[8]。

主成分分析法通过SPSS 22.0,可知第一主成分SS,第二主成分SP,第三主成分Pro的方差 $D(X_j)$ 分别为:2.318、1.652、1.121,以及因子得分 N_{ij} ,推导出主成分得分模型: $F_j=D(X_j)^{0.5} \times N_{ij}$,综合得分模型: $F=0.4553F_1+0.3245F_2+0.2202F_3$ 。其中 $D(X_j)$ 表示第*j*主成分方差, N_{ij} 表示第*i*个品种的第*j*个主成分因子得分。

2 结果与分析

2.1 可溶性糖(SS)含量比较

11个核桃品种在低温条件下,顶芽中SS含量(ω ,后同)差别明显(图1)。其中‘维纳’‘京861’‘强特勒’中SS含量较高,分别为6.768、6.769、6.258 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$;‘陕核5号’‘西洛2号’‘西洛3号’中SS含量较低,分别为3.619、4.599、4.485 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。以SS含量进行排列为:‘京861’>‘维纳’>‘强特勒’>‘契可’>‘元丰’>‘香玲’>



A. 强特勒;B. 香玲;C. 清香;D. 元丰;E. 维纳;F. 温185; N. 契可;H. 京861;G. 西洛2;J. 西洛3;I. 陕核5号。下同。
A. Chandler; B. Xiangling; C. Qingxiang; D. Yuanfeng; E. Vina; F. Wen 185; N. Chico; H. Jing861; G. Xiluo No. 2; J. Xiluo No.3; I. Shanhe No.5. The same below.

图1 低温胁迫下不同核桃品种可溶性糖含量
Fig. 1 Soluble sugar content in different varieties of walnut under cold stress

‘温 185’>‘清香’>‘西洛 2 号’>‘西洛 3 号’>‘陕核 5 号’。

2.2 可溶性蛋白(SP)含量比较

可溶性蛋白与植物的抗寒能力密切相关。SP 作为植物细胞中重要的渗透物质对植物细胞稳定性有着一定的调节作用。经过对不同品种核桃中 SP 含量的测定,可以大致预测其抗寒能力。结果表明,‘西洛 2 号’SP 含量最高,为 9.829 mg·g⁻¹,‘强特勒’次之,为 9.721 mg·g⁻¹。‘香玲’、‘清香’含量 SP 最低,分别为 9.221、9.222 mg·g⁻¹(图 2)。对 SP 含量依次排序为:‘西洛 2 号’>‘强特勒’>‘陕核 5 号’>‘契可’>‘京 861’>‘维纳’>‘西洛 3 号’>‘元丰’>‘温 185’>‘清香’>‘香玲’。

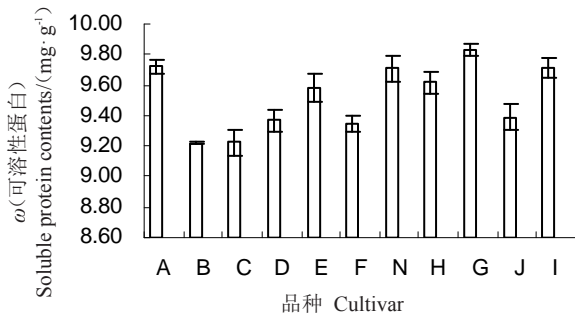


图 2 低温胁迫下不同核桃品种可溶性蛋白含量

Fig. 2 Soluble protein contents in different cultivars of walnut under cold stress

2.3 丙二醛(MDA)含量比较

11 个不同品种核桃在低温条件下 MDA 含量差异明显,其中‘维纳’最高,‘京 861’最低,‘清香’与‘温 185’含量相同(图 3)。以 MDA 含量对不同品种核桃进行排序为:‘维纳’>‘西洛 2 号’>‘香玲’>‘温 185’=‘清香’>‘西洛 3 号’>‘元丰’>‘契可’>‘强特勒’>‘陕核 5 号’>‘京 861’。由抗寒能力来划分,‘强特勒’、‘陕核 5 号’、‘京 861’等含量较低的抗寒能力相对较好。

2.4 脯氨酸(Pro)含量比较

11 个品种顶芽所含 Pro 有着很大的差异,‘强特

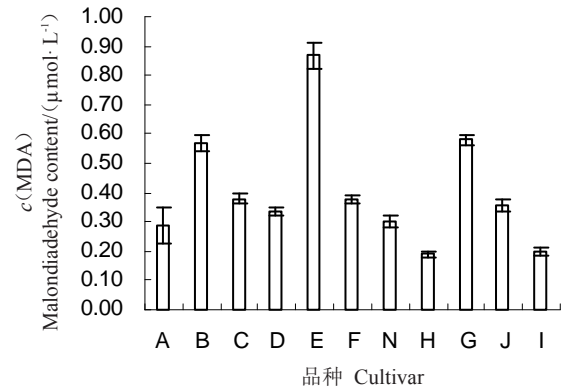


图 3 低温胁迫下不同核桃品种丙二醛含量

Fig. 3 Content of MDA in different cultivars of walnut under cold stress

勒’、‘维纳’、‘西洛 2 号’、‘陕核 5 号’的 Pro 含量(ω, 后同)均较高分别为 0.958、0.741、0.779、0.684 mg·g⁻¹, ‘契可’的含量最低 0.201 mg·g⁻¹(图 4)。根据 Pro 含量对 11 个品种进行排序为:‘强特勒’>‘西洛 2 号’>‘维纳’>‘陕核 5 号’>‘清香’>‘香玲’>‘西洛 3 号’>‘京 861’>‘温 185’>‘元丰’>‘契可’。

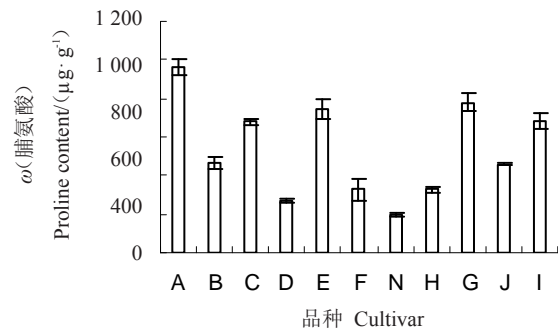


图 4 低温胁迫下核桃不同品种脯氨酸含量

Fig. 4 Proline content in different cultivars of walnut under cold stress

2.5 SOD、CAT、POD 酶活性比较

对不同品种核桃酶活性研究表明,选取材料时设温度为 0℃,以模拟早春低温环境,此温度下不同品种的核桃中酶活性如表 1,依次分别排序如下:

表 1 低温胁迫下不同核桃品种酶活性

Table 1 Enzyme activities in different cultivars of walnut under cold stress

酶 Enzyme	强特勒 Chandler	香玲 Xiangling	清香 Qingxiang	元丰 Yuanfeng	维纳 Vina	温 185 Wen185	契可 Chico	京 861 Jing861	西洛 2 Xiluo No.2	西洛 3 Xiluo No.3	陕核 5 号 Shanhe No.5
过氧化酶 POD/(u·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	231.972	144.267	106.753	590.849	142.518	660.667	109.994	207.736	112.750	225.750	358.960
超氧化物歧化酶 SOD/(u·g ⁻¹)	525.514	702.957	699.665	686.876	641.596	760.341	683.718	850.584	618.404	840.167	690.909
过氧化氢酶 CAT/(u·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	1 187.808	949.385	2 291.063	893.622	1 027.881	564.308	791.643	2 998.201	1 022.601	1 183.111	854.846

SOD活性为:‘京861’>‘西洛3号’>‘温185’>‘香玲’>‘清香’>‘陕核5号’>‘元丰’>‘契可’>‘维纳’>‘西洛2号’>‘强特勒’;CAT活性为:‘京861’>‘清香’>‘强特勒’>‘西洛3号’>‘维纳’>‘西洛2号’>‘香玲’>‘元丰’>‘陕核5号’>‘契可’>‘温185’;

POD活性为:‘温185’>‘元丰’>‘陕核5号’>‘强特勒’>‘西洛3号’>‘京861’>‘香玲’>‘维纳’>‘西洛2号’>‘契可’>‘清香’。

由表2可以看出,不同品种中仅SS含量差异不显著,其他指标含量差异均显著。

表2 低温胁迫下不同核桃品种间生理指标的比较

Table 2 Comparison of physiological indexes among different cultivars of walnut under cold stress

品种 Cultivar	ω (可溶性糖) Soluble sugar/ (mg·g ⁻¹)	ω (可溶性蛋白) Soluble protein/ (mg·g ⁻¹)	ω (脯氨酸) Proline/ (μ g·g ⁻¹)	c(丙二醛) malondialdehyde/ (μ mol·L ⁻¹)	过氧化酶活性 POD activity/ (u·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	超氧化物 歧化酶活性 SOD activity/ (u·g ⁻¹)	过氧化氢酶活性 CAT activity/ (u·g ⁻¹ ·min ⁻¹)
强特勒 Chandler	6.258 2± 0.241 0 cd	9.720 9± 0.044 9 cd	958.499 5± 40.745 3 e	0.289 0± 0.087 3 abc	231.972 0± 38.549 7 a	525.513 7± 28.046 4 a	1 187.807 6± 32.158 8 c
香玲 Xiangling	5.123 4± 0.350 0 abcd	9.221 2± 0.006 3 a	467.178 0± 29.470 4 c	0.569 1± 0.039 0 d	144.267 4± 22.097 5 a	702.956 9± 11.878 7 d	949.385 2± 3.833 3 bc
清香 Qingxiang	4.669 5± 0.100 3 abc	9.222 1± 0.081 5 a	681.712 7± 15.816 5 d	0.379 3± 0.025 0 c	106.753 4± 7.426 1 a	699.665 0± 36.324 6 d	2 291.062 6± 62.520 9 d
元丰 Yuanfeng	5.364 5± 0.141 9 bcd	9.366 1± 0.075 9 ab	268.802 4± 10.524 6 ab	0.336 7± 0.021 8 c	590.848 8± 51.228 9 bc	686.876 4± 18.469 1 c	893.621 6± 25.066 5 b
维纳 Vina	6.767 8± 0.165 0 d	9.577 3± 0.089 2 bc	740.932 0± 53.680 8 d	0.867 5± 0.060 8 e	142.518 4± 58.008 7 a	641.596 5± 0.453 4 b	1 027.880 7± 47.304 7 bc
温185 Wen185	4.810 6± 0.181 9 abc	9.347 7± 0.048 0 a	326.839 4± 64.700 0 b	0.378 8± 0.019 45 c	660.666 7± 60.444 9 c	760.340 8± 23.732 8 e	564.307 9± 15.779 5 a
契可 Chico	6.117 4± 0.303 0 bcd	9.711 4± 0.080 6 cd	200.668 5± 10.328 8 a	0.302 5± 0.027 0 bc	109.993 8± 10.396 9 a	683.718 3± 14.168 4 c	791.643 2± 21.901 8 ab
京861 Jing861	6.768 8± 0.064 5 d	9.616 6± 0.073 7 cd	329.624 0± 14.427 2 b	0.189 3± 0.016 9 a	207.736 2± 28.660 9 a	850.583 8± 17.239 1 f	2 998.201 1± 70.455 4 e
西洛2 Xiluo No.2	4.598 6± 0.343 1 abc	9.828 9± 0.033 1 d	778.744 2± 54.431 4 d	0.579 5± 0.023 5 d	112.750 0± 1.767 8 a	618.403 7± 26.086 0 b	1 022.601 5± 38.501 3 bc
西洛3 Xiluo No.3	4.485 1± 0.050 2 ab	9.390 3± 0.086 1 ab	459.085 5± 6.059 1 c	0.357 9± 0.028 2 c	225.750 0± 35.813 0 a	840.167 2± 22.590 4 f	1 183.111 4± 37.423 2 c
陕核5号 Shanhe No.5	3.619 3± 0.013 2 a	9.712 5± 0.068 9 cd	684.178 9± 40.882 3 d	0.198 3± 0.022 0 ab	358.960 3± 23.684 0 ab	690.909 3± 23.176 0 d	854.846 5± 23.253 7 b

注:不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。

Note: Different small letters mean significant difference ($p < 0.05$).

3 抗寒能力综合评价分析

通过SPSS 22.0进行主成分分析,确定各个指标对核桃抗寒能力的贡献值,并对贡献值利用隶属函数法计算出各个指标的平均隶属函数,对不同品种的核桃再进行综合排序,得出其抗寒能力的大小。

3.1 指标主成分分析

第一主成分贡献率为33.109%,第二主成分贡献率为22.606%,第三主成分贡献率为16.012%(表3),前三个主成分累计贡献率为72.727%,选取这3个主成分所对应的指标作为代表通过SPSS 22.0分析其负荷量^[9],其中三个主成分对应的指标分别为SS、SP、Pro。

表3 核桃品种不同生理指标的特征根及贡献率

Table 3 Characteristic roots and contribution rates of different physiological indexes of walnut

主成分 Component	特征向量 Characteristic vector		
	特征根 Eigenvalue	贡献率 Contributiveness/%	累计贡献率 Cumulative/%
1	2.318	33.109	33.109
2	1.652	23.606	56.714
3	1.121	16.012	72.727
4	0.949	13.551	86.277
5	0.526	7.513	93.790
6	0.358	5.116	98.907
7	0.077	1.093	100.000

前三个主成分分别对应原有指标的荷载数,通过负荷量分别计算各指标在3个主成分线性组合中

的系数,最终在综合模型中指标系数的基础上进行归一化,求得指标权重^[10]。最终求得的权重可知 Pro、SP 和 SS 对核桃抗寒能力影响较大(表 4),而 MDA 和 POD、SOD、CAT 3 个酶对核桃抗寒能力影响较小。也符合孙红梅等^[11]对早实核桃抗寒能力的研究。

表 4 核桃品种不同生理指标的负荷量及权重

Table 4 Load and weight of different physiological indexes

指标 Indicator	负荷量 Capacity			权重 Weight
	第一主成分 The first principal component	第二主成分 The second principal component	第三主成分 The third principal component	
可溶性糖 Soluble sugar	0.236 0	0.587 0	0.368 0	0.983 5
可溶性蛋白 Soluble protein	0.573 0	0.139 0	-0.573 0	-2.049 0
脯氨酸 Proline	0.810 0	-0.041 0	-0.158 0	-2.498 2
丙二醛 Malondialdehyde	0.500 0	-0.183 0	0.786 0	-0.683 1
过氧化酶 POD	-0.509 0	-0.618 0	-0.063 0	0.103 4
超氧化物歧化酶 SOD	-0.856 0	0.283 0	0.080 0	2.991 5
过氧化氢酶 CAT	-0.187 0	0.890 0	-0.068 0	2.151 7

通过综合得分模型计算不同品种核桃综合得分,并进行排序得到表 5。

由表 5 可知,11 种不同品种的核桃综合比较,其抗寒能力由强到弱排序为:‘强特勒’>‘西洛 2 号’>‘契可’>‘维纳’>‘清香’>‘京 861’>‘香玲’>‘西洛 3 号’>‘陕核 5 号’>‘元丰’>‘温 185’。

3.2 指标隶属函数值分析

通过对所测指标相关性的分析可知,SS、SP、MDA 和 Pro 采用升型函数公式计算,SOD、POD 和

表 5 不同核桃品种抗寒生理指标根据主成分的综合排序
Table 5 Physiological indexes of cold resistance sorted by principal component in different varieties of walnut

品种 Cultivar	第一主成分得分 The first principal component score	第二主成分得分 The second principal component score	第三主成分得分 The third principal component score	综合得分 Composite score	排序 Precedence
强特勒 Chandler	2.3323	0.150 9	-1.002 4	1.290 2	1
香玲 Xiangling	-0.233 5	-0.402 8	1.392 2	0.069 5	7
清香 Qingxiang	-0.207 7	0.987 5	0.299 8	0.291 9	5
元丰 Yuanfeng	-1.176 8	-0.872 7	0.262 0	-0.761 3	10
维纳 Vina	2.078 7	0.189 7	1.955 4	0.438 6	4
温 185 Wen185	-1.956 2	-1.984 1	0.245 5	-1.480 5	11
契可 Chico	0.013 5	0.489 6	-0.308 5	0.497 1	3
京 861 Jing861	-1.536 3	3.006 2	-0.453 5	0.176 1	6
西洛 2 Xiluo No.2	1.968 8	-0.456 4	-0.521 6	0.833 5	2
西洛 3 Xiluo No.3	-1.366 2	-0.041 0	0.041 8	-0.626 2	8
陕核 5 号 Shanhe No.5	0.083 6	-1.067 1	-1.910 6	-0.728 9	9

CAT 采用降型函数计算,得出下表 6。

通过表 6 所得隶属函数,运用加成法则: $I = W_i \times U_{ij}$, 计算出不同品种各个生理指标所对应的综合指数并求和后进行排序,得表 7。

由表 7 可知,11 种不同品种的核桃综合比较,其抗寒能力由强到弱排序为:‘强特勒’>‘西洛 2 号’>‘契可’>‘维纳’>‘陕核 5 号’>‘香玲’>‘元丰’>‘清

表 6 不同核桃品种抗寒生理指标的隶属度

Table 6 Membership degree of physiological indexes of cold resistance in different varieties of walnut

品种 Cultivar	隶属函数值 Subordinative function value						
	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	脯氨酸 Proline	丙二醛 Malondialdehyde	过氧化酶 POD	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化氢酶 CAT
强特勒 Chandler	0.162 1	0.177 8	0.000 0	0.147 0	0.779 8	1.000 0	0.743 8
香玲 Xiangling	0.522 4	1.000 0	0.712 4	0.560 0	0.869 5	0.454 1	0.841 8
清香 Qingxiang	0.666 5	0.998 5	0.401 3	0.280 2	1.000 0	0.464 3	0.290 5
元丰 Yuanfeng	0.445 9	0.761 6	1.000 0	0.217 4	0.412 5	0.503 6	0.864 7
维纳 Vina	0.000 3	0.414 1	0.315 5	1.000 0	0.871 3	0.642 9	0.809 5
温 185 Wen185	0.621 7	0.791 9	0.915 9	0.279 4	0.000 0	0.277 6	1.000 0
契可 Chico	0.206 8	0.193 4	1.098 8	0.167 0	0.976 2	0.513 3	0.906 6
京 861 Jing861	0.000 0	0.349 3	0.911 8	0.000 0	0.804 6	0.000 0	0.000 0
西洛 2 Xiluo No.2	0.689 1	0.000 0	0.260 6	0.575 3	0.901 8	0.714 2	0.811 7
西洛 3 Xiluo No.3	0.725 1	0.721 7	0.724 1	0.248 7	0.786 1	0.032 0	0.745 8
陕核 5 号 Shanhe No.5	1.000 0	0.191 6	0.397 7	0.013 3	0.649 8	0.491 2	0.880 6

表7 根据综合指数确定不同核桃品种抗寒生理指标的综合排序

Table 7 Comprehensive ordination of physiological indexes of cold resistance of different varieties of walnut

品种 Cultivar	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	脯氨酸 Proline	丙二醛 Malond- ialdehyde	过氧化酶 POD	超氧化物 歧化酶 SOD	过氧化 氢酶 CAT	综合指数 Integrated index	排序 Precedence
强特勒 Chandler	-0.029 8	-0.017 0	0.000 0	-0.034 5	0.368 0	0.729 3	0.333 7	1.349 7	1
香玲 Xiangling	-0.095 9	-0.095 5	-0.096 9	-0.131 3	0.410 3	0.331 2	0.377 6	0.699 5	6
清香 Qingxiang	-0.122 4	-0.095 4	-0.054 6	-0.065 7	0.471 9	0.338 6	0.130 3	0.602 8	8
元丰 Yuanfeng	-0.081 9	-0.072 7	-0.136 0	-0.051 0	0.194 7	0.367 3	0.387 9	0.608 3	7
维纳 Vina	-0.000 1	-0.039 5	-0.042 9	-0.234 5	0.411 2	0.468 9	0.363 2	0.926 2	4
温 185 Wen185	-0.114 2	-0.075 6	-0.124 6	-0.065 5	0.000 0	0.202 5	0.448 6	0.271 2	10
契可 Chico	-0.038 0	-0.018 5	-0.149 4	-0.039 2	0.460 7	0.374 4	0.406 7	0.996 7	3
京 861 Jing861	0.000 0	-0.033 4	-0.124 0	0.000 0	0.379 7	0.000 0	0.000 0	0.222 3	11
西洛 2 Xiluo No.2	-0.126 5	0.000 0	-0.035 4	-0.134 9	0.425 5	0.520 9	0.364 1	1.013 7	2
西洛 3 Xiluo No.3	-0.133 1	-0.068 9	-0.098 5	-0.058 3	0.371 0	0.023 4	0.334 5	0.370 1	9
陕核 5号 Shanhe No.5	-0.183 6	-0.018 3	-0.054 1	-0.003 1	0.306 7	0.358 2	0.395 0	0.800 8	5

香’>‘西洛3号’>‘温185’>‘京861’。

综合表5、表7,主成分分析法所得结论与隶属函数值法所得结论除‘京861’‘元丰’‘陕核5号’3个品种外其余8个品种基本一致,重合率高达72%,说明用这两种方法中的任何一种,都可以作为核桃抗寒能力的评价方法。

3.3 聚类分析

通过SPSS 22.0对这11个不同品种的核桃已经得出的抗寒能力综合指数进行聚类系统分析。由图5可知,这11个品种的核桃根据其抗寒能力的强弱

及抗寒指标所占比重可以分为5类。其中,‘强特勒’抗寒能力最强,单独为一类;‘维纳’‘西洛2号’‘契可’为一类,抗寒能力较强且抗寒机制较为一致,主要通过调整体内可溶性糖及可溶性蛋白等含量增加植物抗寒能力以适应低温环境;‘香玲’‘陕核5号’‘元丰’‘清香’为一类,抗寒能力较弱,植物体内自我调节范围小且应对速度较慢,易发生寒害冻害;‘温185’抗寒能力较弱,根据树状图显示单独为一类;‘京861’及‘西洛3号’抗寒能力最弱为同一类。

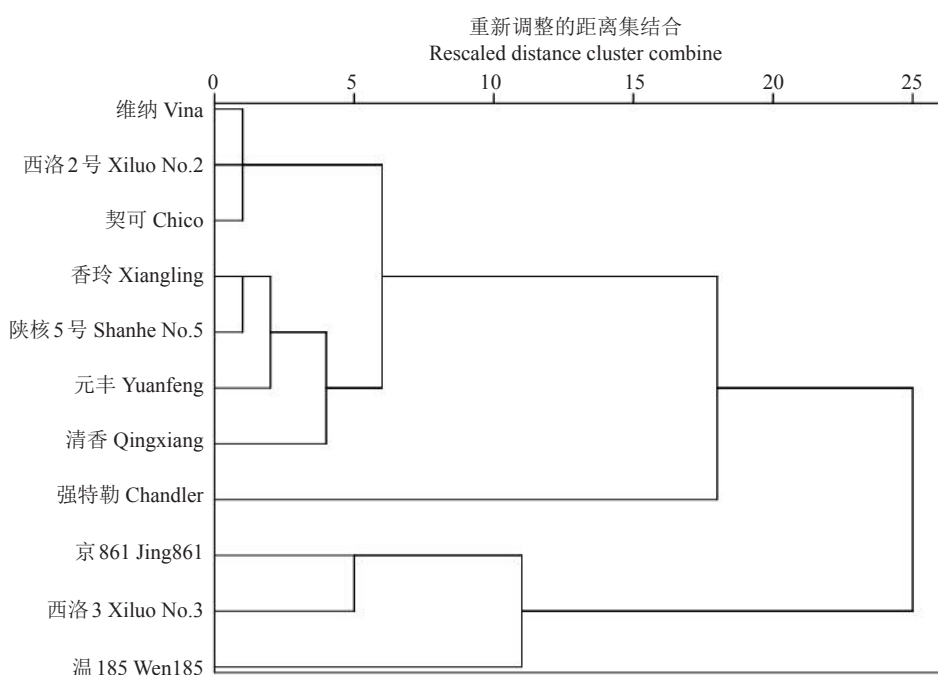


图5 不同核桃品种抗寒综合指标聚类树状分析

Fig. 5 Dendrogram of comprehensive index of cold resistance of different walnut varieties

4 讨 论

本研究对常见的部分核桃品种早春低温状况下的抗寒能力做了初步探讨,对不同核桃品种的生理指标与抗寒能力之间关系的研究得到部分有效的成果,且对已有研究进行了补充和证明。核桃抗寒能力与多种生理指标相关,其中 Pro、SS、SP 对核桃抗寒能力的影响较大,而 MDA、SOD、POD、CAT 3 种酶活性对核桃抗寒能力也有一定的影响。在逆境胁迫下,植物自身通过逐渐积累可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸等物质的含量来调节对逆境的适应能力。

研究发现在低温条件下 SS 作为参与细胞调剂渗透的小分子物质,为合成植物体内的生物大分子提供能量从而有效阻止细胞失水^[11-12],SS 在植物调节体内水分平衡上具有重要的作用。根据 SS 的含量大致推断出的 11 个核桃品种的抗寒能力与最终研究后得出的综合结果基本一致。宫德衬^[13]、赵丽丽等^[14]对小麦、金荞麦的研究表明,随着低温胁迫程度的增加,SP 含量也在不断攀升。本研究同时发现,在低温胁迫下,抗寒能力强的核桃品种 SP 含量增加幅度要明显大于抗性弱的品种,这与王兆等^[15]对不同品种彩叶草的研究一致,在 2 °C 时抗寒性最强的品种 SP 含量最大且远高于其他抗寒性差的品种。MDA 作为植物膜脂过氧化产物,可反应细胞膜受损程度及植物抗寒能力。低温胁迫下氧自由基逐渐积累,使得膜脂过氧化活动加强,增加了 MDA 的总体含量^[16],MDA 含量越高则植物抗寒能力就越弱,由此得出的部分核桃抗寒能力排序与潘莉等^[17]对部分核桃品种的研究结果一致。Pro 作为研究植物抗寒能力的重要生理指标之一,可以通过测定低温胁迫下植物体内 Pro 含量来鉴定植物不同品种间的抗寒能力^[18]。0 °C 低温环境下,11 个核桃品种中抗寒性强的 Pro 含量越高,其中抗寒品种‘强特勒’中含 0.958 mg·g⁻¹ 远高于非抗寒品种‘香玲’,这与梁立峰等^[19]对大蕉和香蕉的研究相同,常温状况下香蕉中 Pro 含量高于大蕉,但随温度降低至 1 °C 时,抗寒性强的香蕉中 Pro 的含量则迅速增加至超出香蕉中的含量。

POD 具有清除氧化物保护细胞膜的作用,与氧化物反应,可以更灵活的维持细胞膜稳定性;SOD 与超氧化物阴离子自由基反应,阻止氧化速率。本研究发现在 0 °C 低温处理 24 h 后部分抗寒能力较强

的核桃品种 POD、SOD 含量较少,而抗寒能力较弱的品种中含量偏高,这与刘杜玲等^[20]对‘强特勒’等核桃品种在 -2~0 °C 低温处理后研究得出的酶活性变化规律一致,但是田景花等^[21]对‘哈特雷’等品种的研究得出,在 1 °C 低温处理 24 h 后,3 个核桃品种中抗寒性强的品种 SOD、POD 含量最高,且随处理时间的延长,抗寒性弱的品种 SOD、POD 活性急剧下降且一直低于抗寒性强的品种,本研究结论与之相悖,可能是由于核桃品种不同所致。CAT 作为降解植物中的氧化物的主要反应物质,0 °C 时,‘清香’等抗寒能力弱的品种中 CAT 含量高于‘强特勒’‘维纳’‘契可’等抗寒能力强的品种,此结果与田景花等^[21]在核桃研究中在 1 °C 时核桃中 CAT 活性和抗寒能力之间的关系相同。而在部分研究中 CAT 仅随低温胁迫的加剧逐渐上升,且酶活性的具体变化趋势与不同温度范围不同植物品种均有着一定关系^[22-23]。

植物抗寒能力是生理生化特征及其他因素的综合表现,单一指标难以全面准确的判断植物的抗寒性,应从多方面进行综合考虑^[24]。本研究分别运用主成分分析法与隶属函数值法对 11 个不同核桃品种的抗寒性排序,重合率 72%,并根据抗寒能力的大小分成了 5 个级别,其结果与前人对部分核桃品种抗寒能力分类及排序结果基本一致。其中通过周晓康等^[25]对甘肃天水引种的部分品种的研究发现‘元丰’抗寒性差,杨惠等^[26]和刘杜玲等^[27]对陕西地区常见核桃品种的研究则表明,‘强特勒’及‘契可’属于抗寒类型,‘维纳’为中抗寒类型,‘清香’、‘香玲’、‘西洛 3 号’属非抗寒类型。

陇南地区地形复杂多变,气候垂直差异性明显,核桃栽植品种及地理位置的选择尤为重要,‘强特勒’几乎不受早春低温影响,对环境适应能力强且具有很大的推广种植优势;‘维纳’‘西洛 2 号’‘契可’这 3 个品种的花芽叶芽受早春低温影响较小,可在高海拔区域选择坡度缓和的阳坡适当密植;‘香玲’‘陕核 5 号’‘元丰’‘清香’4 个品种受早春低温影响较大,比较易发生早春寒害,做好防寒措施的同时应密植于陇南部分气候条件温和低海拔的地区;‘温 185’‘京 861’‘西洛 3 号’受早春低温影响大,极易发生早春寒害,影响后期核桃结实,在栽植时对周边气候环境要求高,不适大面积植于低温高海拔地区及其他易发生“倒春寒”现象的地区,小面积栽植时可

密植并在周边营造防护林带,改善小气候避免早春冷空气对核桃树嫩芽的直接伤害^[28]。本研究为陇南地区选择核桃品种提供了理论依据,可有效避免选种不当引起的萌芽阶段核桃花芽及叶芽受早春寒害影响而导致结实率下降等问题。

参考文献 References:

- [1] 郗荣庭. 中国核桃(*Juglans regia* L.)起源考证[J]. 河北农业大学学报, 1990, 13(1): 89-94.
XI Rongting. Textual research on the origin of Chinese walnut (*Juglans regia* L.)[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 1990, 13(1): 89-94.
- [2] 张琴, 刘德良. 三台核桃的芽生物学特性观察[J]. 经济林研究, 2001, 19(1): 17-19.
ZHANG Qin, LIU Deliang. Observation on biological characteristics of buds of three walnuts[J]. Economic Forest Research, 2001, 19(1): 17-19.
- [3] 杨建民, 周怀军, 王文凤. 果树霜冻害研究进展[J]. 河北农业大学学报, 2000, 23(3): 54-58.
YANG Jianmin, ZHOU Huaijun, WANG Wenfeng. Research progress of frost damage of fruit trees[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2000, 23(3): 54-58.
- [4] 田景花. 核桃低温胁迫下的生理反应及钙信使系统的适应性变化[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
TIAN Jinghua. Physiological responses of walnut under low temperature stress and adaptive changes of calcium messenger system[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2008.
- [5] 李忠光, 龚明. 抗氧化系统在热诱导的玉米幼苗耐热性形成中的作用[J]. 云南植物研究, 2007, 29(2): 231-236.
LI Zhongguang, GONG Ming. The role of antioxidant system in heat shock induced heat tolerance of maize seedlings[J]. Yunnan Plant Research, 2007, 29(2): 231-236.
- [6] 张志良, 瞿伟箐, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 159-160.
ZHANG Zhiliang, QU Weijing, LI Xiaofang. Guidance of plant physiology experiment[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003: 159-160.
- [7] 徐爱东. 张志良等编《植物生理学实验指导》中不足之处和改进意见[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(6): 1173-1174.
XU Aidong. Deficiencies and suggestions for improvement in Zhang Zhiliang's experiment on Plant Physiology[J]. Plant Physiology Communication, 2007, 43(6): 1173-1174.
- [8] 刘小艳, 刘欣宇, 王梅. 隶属函数的确定及应用[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(31): 8831-8832.
LIU Xiaoyan, LIU Xinyu, WANG Mei. The determination and application of membership functions[J]. Computer Knowledge and Technology, 2010, 6(31): 8831-8832.
- [9] 林海明, 杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J]. 统计研究, 2013, 30(8): 25-31.
LIN Haiming, DU Zifang. Attention should be paid to the comprehensive evaluation of principal component analysis[J]. Statistical Research, 2013, 30(8): 25-31.
- [10] 马建华. 制定综合评价指标时各主成分权重系数确定方法研究[J]. 淮北师范大学学报(自然科学版), 2013, 34(4): 19-22.
MA Jianhua. Study on determining the weight coefficients of principal components in formulating comprehensive evaluation Indexes[J]. Journal of Huaibei Normal University (Natural Science Edition), 2013, 34(4): 19-22.
- [11] 向丹. 水稻苗期低温耐性差异及其调控研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
XIANG Dan. Study on difference and regulation of low temperature tolerance in rice seedling stage[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.
- [12] 王川, 谢惠民, 王娜, 王宏礼. 小麦品种可溶性糖和保护性酶与抗旱性关系研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(5): 94-99.
WANG Chuan, XIE Huimin, WANG Na, WANG Hongli. Study on the relationship between soluble sugar and protective enzymes in wheat and drought resistance[J]. Agricultural Research in Arid Area, 2011, 29(5): 94-99.
- [13] 宫德衬. 小麦抗旱性生理指标研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2014.
GONG Dechen. Studies on physiological indexes of drought resistance in wheat[D]. Yantai: University of Yantai, 2014.
- [14] 赵丽丽, 王普昶, 陈超, 邓蓉, 向清华, 陈燕萍. 持续干旱对金荞麦生长、生理生态特性的影响及抗旱性评价[J]. 草地学报, 2016, 24(4): 825-833.
ZHAO Lili, WANG Puchang, CHEN Chao, DENG Rong, XIANG Qinghua, CHEN Yanping. The influence of continuous drought on the growth, physiological and ecological characteristics of buckwheat and evaluation of drought resistance[J]. Journal of Grassland, 2016, 24(4): 825-833.
- [15] 王兆. 低温胁迫对彩叶草的生理效应及抗寒性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
WANG Zhao. Physiological effects and cold resistance of coleus officinalis under low temperature stress [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014.
- [16] 高京草, 王慧霞, 李西选. 可溶性蛋白、丙二醛含量与枣树枝条抗寒能力的关系研究[J]. 北方园艺, 2010(23): 18-20.
GAO Jingcao, WANG Huixia, LI Xixuan. Study on the relationship between the content of soluble protein and MDA and cold resistance of jujube branches[J]. North Horticulture, 2010(23): 18-20.
- [17] 潘莉, 范志远, 曾清贤, 刘娇, 李淑芳, 杜春花, 赵廷松, 杨建华, 邹伟烈, 张顺芬. 低温胁迫下云南3个核桃品种抗寒生理生化指标的变化[J]. 西部林业科学, 2014(6): 72-75.
PAN Li, FAN Zhiyuan, ZENG Qingxian, LIU Jiao, LI Shufang, DU Chunhua, ZHAO Tingsong, YANG Jianhua, ZOU Weilie, ZHANG Shunfen. Changes of physiological and biochemical indexes of cold resistance of 3 walnut varieties in Yunnan under

- low temperature[J]. *Western Forestry Science*, 2014(6): 72-75.
- [18] 王小华, 庄南生. 脯氨酸与植物抗寒性的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(11): 398-402.
WANG Xiaohua, ZHUANG Nansheng. Advances in research on proline and plant cold resistance[J]. *China Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(11): 398-402.
- [19] 梁立峰, 王泽槐, 周碧燕, 黄辉白. 低温及多效唑对香蕉叶片过氧化物酶及其同工酶的影响[J]. *华南农业大学学报*, 1994, 15(3): 65-70.
LIANG Lifeng, WANG Zehuai, ZHOU Biyan, HUANG Huibai. Effects of low-temperature and paclobutrazol on peroxidase and its isoenzymes in banana leaves [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 1994, 15(3): 65-70.
- [20] 刘杜玲, 张博勇, 孙红梅, 彭少兵, 朱海兰. 早实核桃不同品种抗寒性综合评价[J]. *园艺学报*, 2015, 42(3): 545-553.
LIU Duling, ZHANG Boyong, SUN Hongmei, PENG Shaobing, ZHU Hailan. Comprehensive evaluation of cold-resistance of different early walnut varieties [J]. *Hydrological Science*, 2015, 42(3): 545-553.
- [21] 田景花, 王红霞, 张志华, 高仪. 低温逆境对不同核桃品种抗氧化系统及超微结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1320-1326.
TIAN Jinghua, WANG Hongxia, ZHANG Zhihua, GAO Yi. Effects of low temperature stress on antioxidant system and ultra-structure of different walnut cultivars [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(5): 1320-1326.
- [22] 王勇, 乔永胜, 梅霞, 靳文梅, 石美娟, 武彦霞, 刘朝红, 田鑫, 樊新萍. 不同低温下核桃枝条抗寒性生理生化指标分析[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(10): 40-44.
WANG Yong, QIAO Yongsheng, MEI Xia, JIN Wenmei, SHI Meijuan, WU Yanxia, LIU Chaohong, TIAN Xin, FAN Xinping. Analysis of physiological and biochemical indexes of cold-resistance of walnut branches at different low temperatures [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(10): 40-44.
- [23] 张婷, 车凤斌, 潘俨, 胡柏文, 许娟, 李萍. 低温胁迫对核桃枝条几个抗寒生理指标的影响[J]. *新疆农业科学*, 2011, 48(8): 1428-1433.
ZHANG Ting, CHE Fengbin, PAN Yan, HU Baiwen, XU Juan, LI Ping. Effects of chilling stress on some cold resistance indexes of walnut shoots [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48(8): 1428-1433.
- [24] 吕优越, 贺佳圆, 白小明, 董沁, 雷娅伟. 9个野生早熟禾对低温胁迫的生理响应及苗期抗寒性评价[J]. *草地学报*, 2014, 22(2): 326-333.
LÜ Youwei, HE Jiayuan, BAI Xiaoming, DONG Qin, LEI Ya-wei. Physiological responses of nine wild bluegrass to low temperature stress and evaluation of cold-resistance in seedling stage [J]. *Journal of Grassland*, 2014, 22(2): 326-333.
- [25] 周晓康. 5个早实核桃品种在甘肃天水的引种试验[J]. *中国果树*, 2017(5): 58-60.
ZHOU Xiaokang. Introduction trial of five early-ripe walnut varieties in Tianshui of Gansu [J]. *China Fruits*, 2017(5): 58-60.
- [26] 杨惠, 翟梅枝, 李丽, 肖志娟. 陕西核桃栽培品种优系抗寒性评价[J]. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(4): 50-55.
YANG Hui, ZHAI Meizhi, LI Li, XIAO Zhijuan. Evaluation of cold-resistance of walnut cultivars in Shaanxi Province [J]. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2013, 33(4): 50-55.
- [27] 刘杜玲, 张博勇, 彭少兵, 朱海兰, 刘淑明, 杜婷. 基于早实核桃不同品种叶片组织结构的抗寒性划分[J]. *果树学报*, 2012, 29(2): 205-211.
LIU Duling, ZHANG Boyong, PENG Shaobing, ZHU Hailan, LIU Shuming, DU Ting. Differentiation of cold resistance based on tissue structure of different walnut varieties [J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(2): 205-211.
- [28] 蒲建霞. 甘肃天水核桃冻害发生的主要原因及防冻措施[J]. *果树实用技术与信息*, 2017(12): 33-34.
PU Jianxia. The main causes of freezing injury of walnut in Tianshui, Gansu and its antifreezing measures [J]. *Fruit Technology and Information*, 2017(12): 33-34.