

仁用杏抗寒性生理指标评价的研究

艾鹏飞¹, 金晓静¹, 靳占忠¹, 闫凤岐², 李克文²

(1. 河北科技大学生物科学与工程学院, 河北石家庄 050018; 2. 张家口市农业科学院, 河北张家口 075000)

摘要:对抗寒性不同的3个仁用杏品种(抗寒性强弱排序为优一>白玉扁>龙王帽)枝条低温处理后,检测其萌芽率和抗寒性生理指标,并对这些生理指标与抗寒性的关系作了研究。结果表明,随温度的降低,萌芽率降低,电解质渗出率、可溶性糖和脯氨酸的含量、SOD和POD的酶活性呈上升趋势;仁用杏品种间抗寒性差异显著性分析显示,枝条的电解质渗出率、表皮的可溶性糖和游离脯氨酸的含量、木质部和表皮的POD酶活性可以作为仁用杏抗寒性能力评价指标,SOD酶活性不宜作为抗寒性评价指标;主成分分析表明,采用这些生理指标对仁用杏抗寒性进行综合评价的结果是可靠的。

关键词:仁用杏; 抗寒性; 生理指标; 主成分分析

中图分类号:R284;S565.5 **文献标志码:**A

Evaluation of cold-resistant physiological indices of kernel apricot

AI Pengfei¹, JIN Xiaojing¹, JIN Zhazhong¹, YAN Fengqi², LI Kewen²

(1. School of Biological Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China; 2. Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou Hebei 075000, China)

Abstract: The germination rate and physiological indices of three cold-resistant kernel apricots (Youyi> Baiyubian> Longwangmao) under low temperature stress are studied. And the relationships between these physiological indices and cold resistance of kernel apricots are also analyzed. The results show that the germination rate decreases as the temperature decreases, while the rate of electrolyte leakage, the amounts of soluble sugar and proline and the activity of SOD and POD increase. The results of significant analysis to cold-resistant comparison among various kernel apricots show that the rate of electrolyte leakage in branch, the amounts of soluble sugar and proline in epidermis, the activity of POD in xylem and epiderm can be used to assess the cold resistance of kernel apricot except for the activity of SOD. The result of principal component analysis shows that it is reliable to comprehensively evaluate the cold resistance of kernel apricot by using these physiological indices.

Key words: kernel apricot; cold resistance; physiological indices; principal component analysis

抗寒性是果树抗逆性的重要指标之一。前人研究表明,抗寒性与植物细胞膜结构、生理活性及酶防御系统的活性有密切关系^[1-3]。采用人工模拟低温胁迫试验研究植物的抗寒性与有关生理指标的关系,并对抗寒性作出评价,是目前抗寒性研究的主要方法之一^[4-6]。

本试验对生产实践中抗寒性不同的3个仁用杏品种一年生枝条进行低温胁迫后,测定枝条木质部、表皮以及侧芽的电解质渗出率、可溶性糖含量等生理指标,比较低温胁迫对仁用杏抗寒性的影响及品种间的差

收稿日期:2012-05-14;修回日期:2012-11-26;责任编辑:王海云

基金项目:河北省教育厅自然科学基金重点资助项目(ZH2007116)

作者简介:艾鹏飞(1974-),男,湖北黄冈人,副教授,博士,主要从事植物种质资源评价与创新方面的研究。

E-mail: apf2002@sina.com

异,旨在确定与抗寒性密切相关的生理指标和能够代表仁用杏品种抗寒性测定的部位;另外,采用主成分分析法对 3 个仁用杏品种的抗寒性强弱进行了验证,为在生产实践中筛选和鉴定不同仁用杏品种的抗寒性提供生理评价方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为生产实践中抗寒性不同的 3 个仁用杏(*Armeniaca vulgaris* Lam.)品种^[7](抗寒性强弱排序为优一>白玉扁>龙王帽),取自张家口市农业科学院林果所仁用杏资源圃。

1.2 试验方法

材料经人工模拟低温处理后,分别测定与抗寒性相关的生理指标,进行抗寒性评价,采用主成分分析法,对品种的抗寒性强弱进行排序。

1.2.1 材料处理

分别将 3 种仁用杏一年生枝条分组标记后,放入可控超低温冰箱中进行人工模拟低温处理,降温速率为 5 °C/h,处理温度分别设为 0, -10, -20, -30 °C,以 10 °C 为对照,达到设定温度后维持 8 h 后取出,冰水温度(0 °C)下缓慢解冻 12 h 后立即进行相关生理指标测定,每个处理重复 3 次。

1.2.2 萌芽率统计

将不同低温处理后的枝条于室温(约 20 °C)下进行水培,4 周后统计萌芽率,每个处理重复 3 次。萌芽率=(萌发芽个数/水培枝条芽的总数)×100%。

1.2.3 生理指标的测定

1) 组织电解质渗出率及半致死温度(LT_{50})

参照文献[8],采用 DDS-11C 型电导仪测定处理样品的电解质渗出率,辅以 Logistic 方程 $y = K / (1 + ae^{-bx})$,求得半致死温度 LT_{50} ,以此 LT_{50} 作为仁用杏抗寒性评价依据。

2) 其他生理指标

采用蒽酮比色法^[9]测定可溶性糖含量,茚三酮比色法^[9]测定游离脯氨酸含量,邻苯三酚自氧化法^[9]测定 SOD 酶活性,愈创木酚比色法^[9]测定 POD 酶活性。

1.2.4 抗寒性主成分分析

采用主成分分析法^[10]对 3 种仁用杏的抗寒性生理指标进行分析,数据处理采用 SPSS 软件。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对萌芽率的影响

树木受冻后能否存活,关键在于枝条能否恢复发芽能力。因此,经人工模拟低温处理后,枝条恢复发芽的能力,可以客观反映出仁用杏品种的实际抗寒水平^[11-12]。低温胁迫下 3 个仁用杏品种的萌芽率统计结果见表 1,在对照(CK, 10 °C)及 0 °C 时,枝条的萌芽率均在 90% 以上;随温度降低,枝条萌芽率明显下降,且 3 个品种萌芽率的大小表现为优一>白玉扁>龙王帽。据此可以认为,3 个仁用杏品种的抗寒能力优一最强,白玉扁次之,龙王帽最弱,与生产实践中的抗寒性表现一致。

表 1 不同低温下 3 个仁用杏品种枝条的萌芽率

Tab.1 Germination rate of 3 kernel apricot varieties under different low temperatures

| 品种 | 萌芽率/% | | | | | 抗寒性 |
|-----|-----------|-------|--------|--------|--------|-----|
| | CK(10 °C) | 0 °C | -10 °C | -20 °C | -30 °C | |
| 优一 | 95.65 | 93.75 | 86.94 | 79.83 | 40.31 | 较强 |
| 白玉扁 | 96.37 | 92.24 | 78.48 | 58.72 | 34.67 | 中等 |
| 龙王帽 | 94.60 | 91.43 | 77.32 | 49.37 | 30.89 | 较弱 |

2.2 低温胁迫对仁用杏膜透性的影响

低温胁迫下,植物细胞膜结构易遭到破坏,且其破坏程度随温度的降低而加剧^[13]。3种仁用杏枝条低温胁迫下电解质渗出率的测定结果见图1,随着温度的降低,电解质渗出率呈上升趋势,表明低温胁迫加剧了枝条细胞膜的透性。0℃时,优一、白玉扁和龙王帽的电解质渗出率都较低,分别为14.86%,16.74%和17.99%;-30℃时,优一、白玉扁、龙王帽的电解质渗出率都增大,分别增至18.31%,25.73%,30.59%,其中龙王帽的增幅最大,优一最小,白玉扁居中;方差分析显示,电解质渗出率增大值在3个品种间的差异水平呈极显著($P < 0.01$)。其原因可能是一30℃条件下,优一细胞膜的伤害程度较白玉扁和龙王帽的小。对电解质渗出率与萌芽率进行相关性分析,相关性好($r = -0.9964$),表明电解质渗出率可以作为仁用杏抗寒性的评价指标。

对电解质渗出率配以 Logistic 方程,求得3个仁用杏品种的半致死温度 LT_{50} : 优一为-42.53℃,白玉扁为-39.85℃,龙王帽为-31.67℃,与低温胁迫下萌芽率的结果一致。

2.3 低温胁迫对仁用杏可溶性糖含量的影响

可溶性糖是植物细胞内重要的渗透调节物质,能增加细胞内溶质浓度,降低细胞溶液的结冰点,保护细胞质胶体不致遇冷凝固,从而减小低温对细胞的伤害。一些研究表明,可溶性糖含量与植物抗寒性间存在相关性^[14]。

图2的变化趋势表明,不同温度处理对仁用杏可溶性糖含量的影响不同。随着温度的下降,3个品种的不同部位(木质部、表皮和侧芽)可溶性糖含量变化总体均表现为上升趋势,且优一始终处于较高水平,龙王帽最低,白玉扁居中。另外,白玉扁(图2b)和龙王帽(图2c)在0℃时出现了下降的情况,这可能是由于它们尚未适应低温环境而导致没有产生糖类物质来抵御低温。

以品种为研究对象进行方差分析,-30℃时,优一的每个部位可溶性糖含量较龙王帽含量的差异都达到显著水平($P < 0.05$),且表皮中的含量(质量分数)差异(优一为1623.93 μg/g,龙王帽为424.06 μg/g)达到极显著水平($P < 0.01$);白玉扁与龙王帽间只在表皮差异显著($P < 0.05$)。由此说明,低温胁迫时,品种间可溶性糖含量变化存在差异,抗寒性较强的优一最高,龙王帽最低,白玉扁居中。

对不同部位的可溶性糖含量与萌芽率进行相关性分析,结果显示表皮中的可溶性糖含量与萌芽率相关性最好($r = -0.9294$)。这说明表皮中的可溶性糖含量是评价仁用杏抗寒性较好的生理指标。

2.4 低温胁迫对仁用杏游离脯氨酸含量的影响

低温胁迫下,植物体内游离脯氨酸含量迅速上升,增加细胞液的浓度,对细胞起保护作用^[15]。3个仁用杏品种不同部位的游离脯氨酸含量测定结果见图3,随着温度降低,游离脯氨酸含量呈上升趋势;-30℃时,3个品种间木质部脯氨酸含量(质量分数,下同)(图3a)无显著性差异($P > 0.05$),表皮中的脯氨酸含量(图3b)只有优一(139.31 μg/g)与龙王帽(86.57 μg/g)间差异显著($P < 0.05$),对于侧芽中的脯氨酸含量(图3c),3个品种间也无显著性差异($P > 0.05$)。相关性分析表明,低温胁迫下,表皮中的脯氨酸含量与萌芽率相关性最好($r = -0.9008$),故其可作为评价仁用杏抗寒性的生理指标。

2.5 低温胁迫对仁用杏 SOD 和 POD 酶活性的影响

正常情况下,植物细胞内活性氧的产生和清除处在一种动态平衡的状态,不会对植物造成伤害;低温胁迫时,植物体内活性氧代谢系统的平衡遭到破坏,保护酶系统迅速启动,SOD负责将体内的超氧阴离子自由基($\cdot O_2^-$)歧化为 H_2O_2 ,其活性大小可以反映细胞对低温逆境的适应能力; H_2O_2 的过量积累导致 $\cdot OH^-$ 量增加,对细胞产生进一步伤害,而POD主要是通过酶促降解 H_2O_2 来避免对细胞膜的过氧化伤害,所以POD酶活性在一定程度上也可以反映植物的抗寒能力^[16-17]。

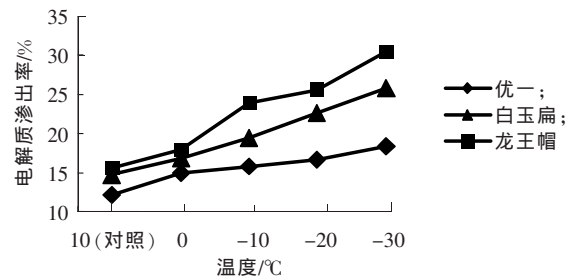


图1 3个仁用杏品种枝条电解质渗出率

Fig. 1 Electrolyte leakage of branches of 3 kernel apricot varieties

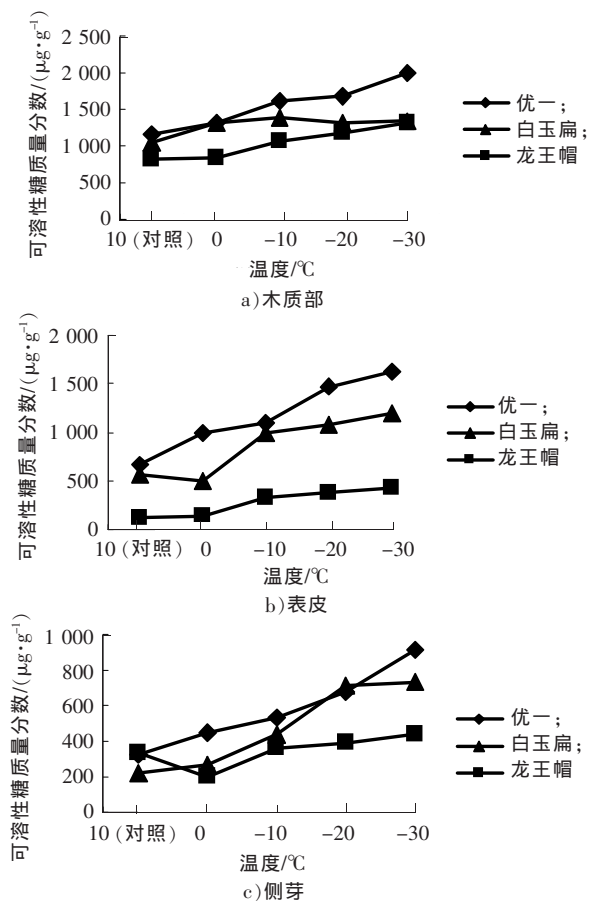


图 2 3 个仁用杏品种枝条木质部、表皮、侧芽可溶性糖质量分数变化
Fig. 2 Changes of soluble sugar content in xylem, epidermis and bud in three kernel apricots

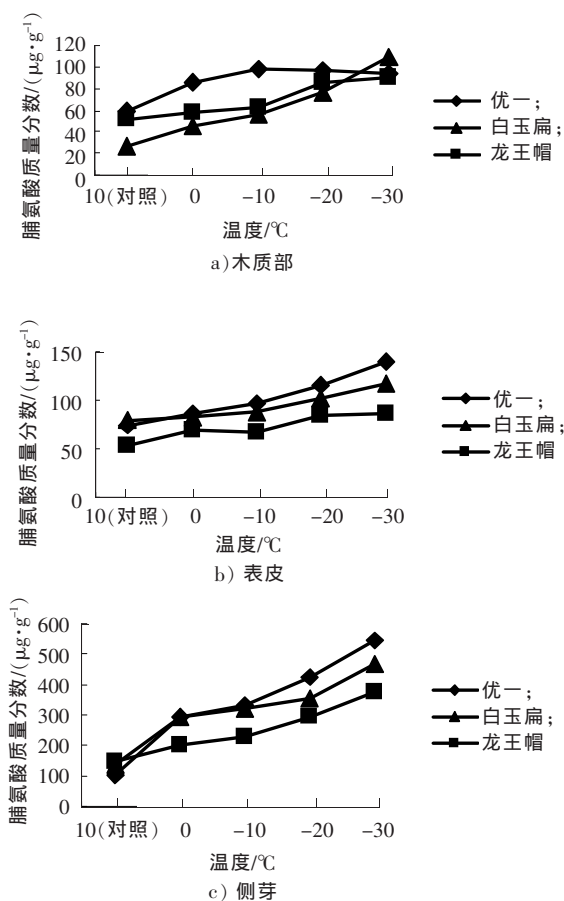


图 3 3 个仁用杏品种枝条木质部、表皮、侧芽游离脯氨酸质量分数变化
Fig. 3 Changes of proline content in xylem, epidermis and bud in three kernel apricots

图 4 显示,随着温度的降低,仁用杏中 SOD 和 POD 的酶活性都呈上升趋势。方差分析表明, -30 °C 时,3 个品种间的 SOD 酶活性在木质部、表皮和侧芽中均不存在差异($P > 0.05$);在 POD 酶活性方面,只有抗寒性强的优一与抗寒性弱的龙王帽在木质部和表皮中存在显著性差异($P < 0.05$)。相关性分析显示,低温胁迫下,POD 酶活性与萌芽率相关性好($r = -0.9091$)。因此,仁用杏木质部和表皮中的 POD 酶活性变化在一定程度上能反映出其抗寒性的强弱。

2.6 仁用杏抗寒性生理指标主成分分析

采用主成分分析法对仁用杏抗寒性生理指标作相关分析,得到相关矩阵(见表 2),可溶性糖含量(表皮)、游离脯氨酸含量(表皮)和 POD 酶活性(木质部、表皮)彼此间呈正相关,它们与电解质渗出率之间都表现出负相关,且这 5 个指标两两之间相关性都较好,说明这些生理指标能较好地反映出仁用杏的抗寒性。

表 3 显示,前 3 个主成分 PRIN 1, PRIN 2, PRIN 3 的贡献率分别为 28.68%, 25.56%, 17.06%, 累计贡献率达到 71.30%,反映了这 5 个抗寒性指标的大部分信息,说明这 3 个主成分起到了重要作用。根据这 3 个仁用杏品种的主成分值,利用公式 $\sum k_j \mu_j$ (k 为主成分贡献率, μ 为品种主成分值, j 取值 1 ~ 3) 计算出 3 个仁用杏品种抗寒性强弱顺序为优一 > 白玉扁 > 龙王帽(见表 4),与实际生产中的结果一致。可见,主成分分析能较综合地反映出仁用杏不同品种的抗寒性。

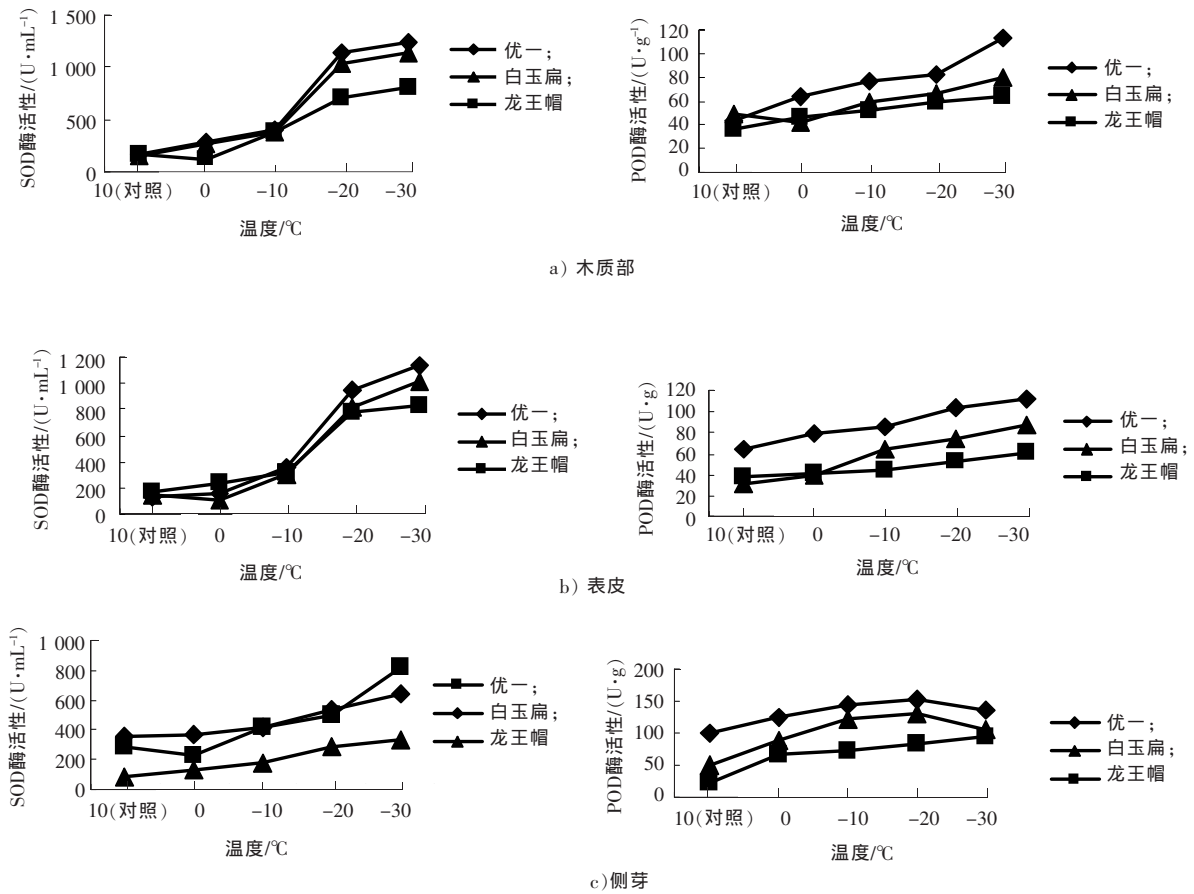


图 4 3个仁用杏品种枝条木质部、表皮及侧芽的 SOD 和 POD 酶活性的变化

Fig. 4 Changes of SOD and POD activities in xylem, epidermis and bud in three kernel apricots

表 2 仁用杏抗寒性指标的相关矩阵

Tab. 2 Correlation matrix of cold-resistant physiological indices in kernel apricot

| 项 目 | 可溶性糖含量(表皮) | 游离脯氨酸含量(表皮) | POD 酶活性(表皮) | POD 酶活性(木质部) | 电解质渗出率(枝条) |
|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------|
| 可溶性糖含量(表皮) | 1.000 | | | | |
| 游离脯氨酸含量(表皮) | 0.997 | 1.000 | | | |
| POD 酶活性(表皮) | 0.894 | 0.860 | 1.000 | | |
| POD 酶活性(木质部) | 0.928 | 0.900 | 0.996 | 1.000 | |
| 电解质渗出率(枝条) | -0.956 | -0.956 | -0.996 | -0.985 | 1.000 |

表 3 主成分特征值、贡献率及累计贡献率

Tab. 3 Eigenvalues, rate of contribution, and cumulative rate of contribution of principal components

| 主成分 | 特征值 | 贡献率/% | 累计贡献率/% |
|--------|-------|-------|---------|
| PRIN 1 | 1.435 | 28.68 | 28.68 |
| PRIN 2 | 1.278 | 25.56 | 54.24 |
| PRIN 3 | 0.853 | 17.06 | 71.30 |
| PRIN 4 | 0.771 | 15.42 | 86.72 |
| PRIN 5 | 0.664 | 13.28 | 100.00 |

表 4 3 个仁用杏品种的主成分值
Tab.4 Values of principal components of three kernel apricot varieties

| 序号 | 品种 | PRIN 1 | PRIN 2 | PRIN 3 | 抗寒性 |
|----|-----|----------|---------|---------|---------|
| 1 | 优一 | 1.353 8 | 1.231 9 | 0.836 2 | 0.838 2 |
| 2 | 白玉扁 | 1.076 2 | 0.902 3 | 0.732 1 | 0.664 2 |
| 3 | 龙王帽 | -0.298 4 | 0.983 2 | 0.579 3 | 0.264 7 |

3 结 语

基于本试验结果,可得出如下结论:低温胁迫下,仁用杏萌芽率降低,电解质渗出率增大,可溶性糖含量、游离脯氨酸含量、SOD 和 POD 的酶活性都不同程度的升高,但抗寒能力不同的品种(抗寒性强弱排序为优一>白玉扁>龙王帽)的表现不完全一样;差异显著性分析表明,利用生理指标评价仁用杏抗寒性,针对不同的检测部位应该选用不同的生理指标,即评价仁用杏抗寒性的生理指标为枝条的电解质渗出率、表皮的可溶性糖和游离脯氨酸的含量、木质部和表皮 POD 的酶活性;主成分分析证实,利用这些生理指标评价仁用杏品种的抗寒性,其结果与生产实际是一致的。

参考文献/References:

- [1] 江 勇,贾士荣,费云标,等. 抗冻蛋白及其在植物抗寒生理中的作用[J]. 植物学报,1999,41(7):677-685.
JIANG Yong, JIA Shirong, FEI Yunbiao, et al. Antifreeze proteins and their role in plant antifreeze physiology[J]. Acta Botanica Sinica, 1999,41(7):677-685.
- [2] KANG S K, MOTOSUGI H, YONEMORI K, et al. Supercooling characteristics of some deciduous fruit trees as related to water movement within the bud [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 1998,73(2):165-172.
- [3] 罗立津,徐福乐,翁华钦,等. 脱落酸对甜椒幼苗抗寒性的诱导效应及其机理研究[J]. 西北植物学报,2011,31(1):94-100.
LUO Lijin, XU Fule, WENG Huaqin, et al. Inducing effects and its biological mechanisms of ABA on the chilling resistance of sweet pepper seedlings[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011,31(1):94-100.
- [4] 郭惠明,李召春,张 晗,等. 棉花 CBF 基因的克隆及其转基因烟草的抗寒性分析[J]. 作物学报,2011,37(2):286-293.
GUO Huiming, LI Zhaochun, ZHANG Han, et al. Cloning of cotton CBF gene and its cold tolerance expression in transgenic tobacco [J]. Acta Agronomica Sinica, 2011,37(2):286-293.
- [5] 张春晓,张 莹. 高质量冬青卫矛 DNA 提取方法[J]. 河北科技大学学报,2008,29(1):27-29.
ZHANG Chunxiao, ZHANG Ying. Isolation method for high quality genomic DNA of *Euonymus japonica* Thunb [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2008,29(1):27-29.
- [6] 田丹青,葛亚英,潘刚敏,等. 低温胁迫对 3 个红掌品种叶片形态和生理特性的影响[J]. 园艺学报,2011,38(6):1 173-1 179.
TIAN Danqing, GE Yaying, PAN Gangmin, et al. Morphological and physiological characteristics of different cultivars of anthurium andraenum under chilling stress[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011,38(6):1 173-1 179.
- [7] 艾鹏飞,甄志军,方闪闪,等. 仁用杏 SRAP-PCR 体系的正交设计[J]. 河北科技大学学报,2009,30(3):248-252.
AI Pengfei, ZHEN Zhijun, FANG Shanshan, et al. Optimization of SRAP-PCR system for kernelled apricot by orthogonal design[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2009,30(3):248-252.
- [8] 王 飞,李嘉瑞,陈登文. 用电导法配合 Logistic 方程确定杏花期的抗寒性[J]. 西北农业大学学报,1997,25(2):59-63.
WANG Fei, LI Jiarui, CHEN Dengwen. Cold resistance determination of apricot flower dates with electrolyte leakage and Logistic Equation[J]. The Journal of Northwestern Agricultural University, 1997,25(2):59-63.
- [9] 李合生,孙 群,赵世杰,等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
LI Hesheng, SUN Qun, ZHAO Shijie, et al. Experimental Principles and Techniques of Plant Physiology and Biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [10] 郭爱华,陈 钰,姚月俊,等. 杏品种抗寒性主成分分析[J]. 山西农业大学学报,2007,27(3):234-237.
GUO Aihua, CHEN Yu, YAO Yuejun, et al. Principle component analysis method of almonds' tolerance to cold[J]. Journal of Agricultural University of Shanxi, 2007,27(3):234-237.
- [11] 郑 元,杨途熙,魏安智,等. 低温胁迫对仁用杏几个抗寒生理指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报,2008,36(1):164-167.
ZHENG Yuan, YANG Tuxi, WEI Anzhi, et al. Effects of low temperature stress on several cold resistance indexes of apricot[J]. Journal of Northwest A & F University, 2008,36(1):164-167.

(下转第 59 页)

- [4] 周燕平, 焦健, 周先锋, 等. 碳酸酐酶 XIV 抑制剂的定量构效关系研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2010, 44(4): 618-622.
ZHOU Yanping, JIAO Jian, ZHOU Xianfen, et al. QSAR studies of sulfonamides as the carbonic anhydrase XIV inhibitors by artificial neural network-based transformation for nonlinear partial least-square regression[J]. Journal of Huazhong Normal University (Natural Sciences), 2010, 44(4): 618-622.
- [5] LEOW J L, BARON R, CASEY P J, et al. Quantitative structure-activity relationship (QSAR) of indoloacetamides as inhibitors of human isoprenylcysteine carboxyl methyltransferase[J]. Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters, 2007, 17(4): 1 025-1 032.
- [6] HEMMATEENEJAD B, SHAMSIPUR M. Quantitative structure electrochemistry relationship study of some organic compounds using PC-ANN and PCR[J]. Internet Electronic Journal of Molecular Design, 2004, 3(6): 316-334.
- [7] 周鲁, 夏昆华. 喹诺酮类化合物的定量构效关系[J]. 华西药学杂志, 2006, 21(5): 433-435.
ZHOU Lu, XIA Kunhua. The quantitative structure-pharmacokinetic relationship of quinolones compounds[J]. West China Journal of Pharmaceutical, 2006, 21(5): 433-435.
- [8] 陈国华, 陆瑶, 陈虹. 基于逐步回归所得变量集的遗传反向传播神经网络的 QSAR 研究[J]. 计算机与应用化学, 2010, 27(9): 1 257-1 262.
CHEN Guohua, LU Yao, CHEN Hong. The QSAR study of backpropagation neural network using genetic algorithm based on variable pool selected by stepwise linear regression[J]. Computers and Applied Chemistry, 2010, 27(9): 1 257-1 262.
- [9] 堵锡华, 陈艳, 唐自强, 等. 抗糖尿病新药熔点的定量构效关系研究[J]. 南京工业大学学报, 2006, 28(2): 98-100.
DU Xihua, CHEN Yan, TANG Ziqiang, et al. QSPR research for melting point of new antidiabetic drugs[J]. Journal of Nanjing University of Technology, 2006, 28(2): 98-100.
- [10] 高鸿斌, 张永强, 张佳. BP-神经网络算法在分布式 VOD 系统流量预测中的应用[J]. 河北科技大学学报, 2001, 22(3): 23-26.
GAO Hongbin, ZHANG Yongqiang, ZHANG Jia. Application of BP-neural network to network-flow prediction of distributed VOD system[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2001, 22(3): 23-26.
- [11] HANGAN M T, DEMUTH H B, BEALE M. Neural Network Design[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [12] KAHANER D, MOLER C B, NASH S. Numerical Methods and Software[M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989.
- [13] SMITH B T, BOYLE J M, DONGARRA J J, et al. Matrix Eigensystem Routines-EISPACK Guide[M]. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1976.
- [14] 郝平娇, 李士雨. 浅谈 MATLAB 在化工计算中的应用[J]. 计算机与应用化学, 2000, 17(4): 371-374.
HAO Pingjiao, LI Shiyu. Applications of MATLAB in chemical engineering calculating[J]. Computers and Applied Chemistry, 2000, 17(4): 371-374.
- [15] 冯剑. MATLAB 在化工计算中的应用[J]. 化学工程师, 2008, 22(5): 25-27.
FENG Jian. Applications of MATLAB in chemical engineering calculating[J]. Chemical Engineer, 2008, 22(5): 25-27.

~~~~~

(上接第 53 页)

- [12] 廖海斌, 徐洪章. 基于鉴别主成份分析的基因表达数据特征提取[J]. 燕山大学学报, 2010, 34(5): 426-430.  
LIAO Haibin, XU Hongzhang. Gene expression data feature extraction based on discriminant principal component[J]. Journal of Yanshan University, 2010, 34(5): 426-430.
- [13] 李玉梅, 陈艳秋, 李莉. 梨品种枝条膜透性和水分状态与抗寒性的关系[J]. 北方果树, 2005(1): 3-5.  
LI Yumei, CHEN Yanqiu, LI Li. Relationship of between the membrane permeability, water status and hardiness in pear shoots[J]. Northern Fruits, 2005(1): 3-5.
- [14] 杨建民, 李艳华, 杨敏生, 等. 几个仁用杏品种抗寒性比较研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 46-50.  
YANG Jianmin, LI Yanhua, YANG Minsheng, et al. Comparative study on cold resistance of apricot varieties[J]. Agricultural Sciences in China, 1999, 32(1): 46-50.
- [15] 马艳青, 戴雄泽. 低温胁迫对辣椒抗寒性相关生理指标的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2000, 26(6): 461-462.  
MA Yanqing, DAI Xiongze. Influences of low temperature stress on pepper's physiological index related to resistance to coldness[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2000, 26(6): 461-462.
- [16] 王飞, 陈登文, 王卿, 等. 杏品种的需寒量与抗寒性的相关研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(5): 465-468.  
WANG Fei, CHEN Dengwen, WANG Qing, et al. Correlation study on chilling requirements and hardiness of apricot varieties[J]. Agricultural Sciences in China, 2001, 34(5): 465-468.
- [17] 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. The advance in frost injury research of fruit trees[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2000, 23(3): 54-58.