

外源 ABA 对仁用杏花期抗寒力及 相关生理指标的影响

魏安智,杨途熙,张睿,杨恒,郑元,杨向娜

(西北农林科技大学 生命科学学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】探讨外源 ABA 对仁用杏花期抗寒力的影响。【方法】以 8 年生仁用杏为材料,自来水为对照,在仁用杏花芽膨大期喷施 18 mg/L ABA 后,分别测定花蕾、花朵和幼果的抗寒力及相关生理指标。【结果】与对照相比,花芽膨大期喷施 18 mg/L ABA,可降低仁用杏花蕾、花朵和幼果的电解质渗出率,且在较低温度下效果尤其显著;可使半致死温度分别降低 2.73,1.73 和 0.38 ℃;MDA 含量分别降低 37.76%,55.1%和 45.41%;SOD 酶活性分别提高 2.3%,9.9%和 0.7%;POD 酶活性分别提高 9.0%,0.7%和 3.4%;可溶性糖含量分别提高 6.5%,15.24%和 12.3%;内源 ABA 含量分别提高 275%,61.7%和 8.3%;使 ABA/GA₃ 维持较高水平。【结论】花芽膨大期喷施 18 mg/L ABA,可在不影响仁用杏花蕾、花朵和幼果发育进程的情况下,提高仁用杏花期的抗寒力。

【关键词】 ABA;仁用杏;花期;抗寒力

【中图分类号】 S662.201

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2008)05-0079-06

Effect of exogenous ABA on cold-resistant ability and related physiological indicators of almond-apricot during blossom period

WEI An-zhi, YANG Tu-xi, ZHANG Rui, YANG Heng, ZHENG Yuan, YANG Xiang-na

(College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This paper studied the effects of exogenous ABA on cold-resistance of almond-apricot during blossom period. 【Method】 Taking 8-year-old almond-apricot as the material, running water as comparison, the cold-resistance and related physiological targets of the flower bud, flowers and young fruit's were determined respectively after spraying 18 mg/L ABA during the swelling-time of flower bud. 【Result】 Compared to control, the results showed that the treatment could decrease the electrolyte osmotic rates of flower buds, flowers and young fruits, especially in lower temperature. It could also decrease the semi-lethal temperature by 2.73, 1.73, 0.38 ℃ and MDA content by 37.76%, 55.1%, 45.41% respectively, while the activity of SOD was enhanced by 2.3%, 9.9%, 0.7% and the activity of POD was enhanced by 9.0%, 0.7%, 3.4% respectively. Soluble sugar was increased by 6.5%, 15.24%, 12.3% and endogenous ABA content was increased by 275%, 61.7%, 8.3% respectively. The treatment could keep a higher ratio of ABA/GA₃. 【Conclusion】 Spruting 18 mg/L ABA during the swelling-time could enhance the cold-resistance of almond-apricot during blossom period in the situation of not affecting flower bud, flowers and young fruit development of almond-apricot.

Key words: ABA; almond-apricot; blossom period; cold-resistant ability

* [收稿日期] 2008-01-04
[基金项目] 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD18B0201);陕西省重大科技专项计划项目(2006kz09-G6)
[作者简介] 魏安智(1961—),男,陕西扶风人,教授,博士,主要从事经济林栽培研究。
[通讯作者] 杨途熙(1963—),男,陕西杨凌人,副教授,主要从事林木育种研究。

仁用杏为我国北方地区重要的经济树种,因春季开花早、花期易遭受低温冻害而常导致减产,给生产带来巨大损失。目前,有关仁用杏冻害防治方面的报道虽然较多,但多为采用燃放烟雾、花期喷水、树干涂白等传统方法,耗时费力,收效甚微。因此,寻找能够增强仁用杏抗寒力的抗寒保护剂,探索冻害防治新方法,不仅在解决生产实际问题上具有广泛的应用价值,而且对抗冻胁迫的基础理论研究也具有重要意义。ABA 作为调节植物生长发育的一种重要植物激素,不仅具有控制植物生长、抑制种子萌发及促进衰老等效应,而且还能提高植物的抗逆性^[1]。有研究表明,ABA 是抗冷基因表达的启动因子,对植物抗寒力的调控起着重要作用^[2-3],外施 ABA 可提高植物的抗寒力,这已在番茄、水稻、芝麻等植物上得到证明^[4-6],但目前关于外源 ABA 对仁用杏花期抗寒力的影响还未见报道。本研究以 8 年生仁用杏为材料,探讨了外施 ABA 对仁用杏花期抗寒力及相关生理指标的影响,以期为揭示仁用杏花期抗寒生理特性和提高防冻技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试植物 试验材料采自陕西岐山县仁用杏品种园,树龄为 8 年,品种为“优一”,砧木为山杏。

1.1.2 试剂与仪器 外源 ABA 由北京鼎国生物技术有限责任公司生产;GA₃、ABA 标样为 sigma 公司产品(纯度≥99%),色谱纯甲醇由德国 MER-CK 生产;分析纯乙酸、甲醇、乙酸乙酯、石油醚均为西安化学试剂厂产品;激素测定用水为超纯水。SCL-10A VP 高效液相色谱仪为日本岛津产品,包括 SPD-10A VP UV-检测器、Class-VP 液相色谱工作站、KQ-100DE 型超声波脱气机;另有 pH S-3B 型精密 pH 计、SENCO R 系列旋转蒸发器、低温冰箱和 DDS-11C 型电导仪。

1.2 方法

1.2.1 试验处理 于 03-01 花芽膨大期喷施 18 mg/L ABA(为多次试验筛选浓度),以喷自来水作为对照(CK)。试验按 3 株小区、3 次重复、随机区组设计。ABA 喷施后在 03-10(显蕾期)、03-20(盛花期)和 04-08(幼果期)分别采集花蕾、花朵和幼果作为试样。将试样分为 2 部分:一部分在液氮中冷冻 20 min 后保存于超低温冰箱(<-40 ℃)中,用于内源激素(ABA、GA₃)含量测定;另一部分直接用于电解质渗出率、可溶性糖、丙二醛(MDA)含量及

超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)酶活性测定。

1.2.2 测定项目与方法 (1)电解质渗出率与半致死温度测定。对需进行低温胁迫处理的材料,在低温冰箱中分别进行如下温度的低温处理(降温速度为 4 ℃/h),设 3 次重复:

花蕾:-8,-10,-12,-14,-16 ℃;

花朵:-2,-4,-6,-8,-10 ℃;

幼果:-1,-2,-3,-4,-5 ℃。

冰箱降温达到所需的低温温度后维持 8 h,之后切断电源,让冰箱温度逐渐回升至室温时取出材料,在室内静置 10 h 后进行电解质渗出率的测定。测定时,称样品 2.0 g 放入 50 mL 三角瓶中,加入 40 mL 蒸馏水,于室内静置 4 h,用 DDS-11C 型电导仪测得的电导值作为煮沸前电导值(S/cm)。然后将样品煮杀 10 min,静置 2 h,测得的电导值作为煮沸后的电导值(S/cm)。用以下公式求出电解质渗出率^[7]:

电解质渗出率/%=(煮沸前的电导值/煮沸后的电导值)×100%。

对电解质渗出率配以 Logistic 方程 $Y=K/(1+ae^{-bx})$,用拟合的 Logistic 方程的拐点温度表示组织的半致死温度 LT_{50} ^[8]。式中:Y 表示电导率,x 表示处理温度,K、a、b 为常数,e 为自然对数。

(2)可溶性糖、丙二醛含量及 SOD、POD 酶活性测定^[9]。可溶性糖含量用蒽酮比色法测定,丙二醛含量用硫代巴比妥酸 TBA 显色法测定,SOD 酶活性用氮兰四唑(NBT)显色法测定,POD 酶活性用愈创木酚比色法测定。

(3)内源 ABA、GA₃ 的提取及其含量测定^[10]。精确称取 1 g 样品,在冰浴下研磨成浆,加入体积分数 80%冷甲醇 20 mL,保鲜膜密封,4 ℃冰箱内冷浸过夜。浸提液抽滤,10 mL 甲醇润洗研钵 2 次,过滤后与浸提液合并,40 ℃下减压蒸发至没有甲醇残留。剩余水相完全转移到三角瓶中。用 30 mL 石油醚萃取脱色 2 次,弃去醚相。水相 pH 调至 6.4,加 0.5 g 聚乙烯基吡咯烷酮,超声 30 min,抽滤。滤液 pH 调至 2.9,用 30 mL 乙酸乙酯萃取 3 次,合并酯相,40 ℃下减压蒸干。用流动相溶解残渣并定容至 2 mL,经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后得待测液,保存于 4 ℃冰箱中。取待测液 10 μL,在选定的色谱条件下注入高效液相色谱仪(n=3),积分求色谱峰面积,以标准曲线计算样品中激素含量。色谱条件:色谱柱为 Shim-Park C18 VP-ODS (150 mm×4.6

mm,5 μ m),流动相为 V(甲醇):V(0.075%冰乙酸水溶液)=45:55,检测波长 254 nm,流速 0.7 mL/min,进样量 10 μ L,柱温 30 $^{\circ}$ C。

2 结果与分析

2.1 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果电解质渗出率的影响

图 1 表明,在低温胁迫下,仁用杏花蕾、花朵和幼果的电解质渗出率,均随温度的下降而上升,说明

随着低温胁迫的加剧,低温对细胞的伤害增加。喷施 ABA 后,仁用杏花蕾、花朵和幼果电解质渗出率均基本小于对照,说明 ABA 能缓解低温对植物细胞造成的伤害。另外,在较高温度下(花蕾-8~-12 $^{\circ}$ C、花朵-2~-4 $^{\circ}$ C、幼果-1~-2 $^{\circ}$ C),ABA 的作用不明显;而在较低温度下(花蕾<-14 $^{\circ}$ C、花朵<-6 $^{\circ}$ C、幼果<-3 $^{\circ}$ C),ABA 能显著降低各器官的电解质渗出率,减小低温伤害。

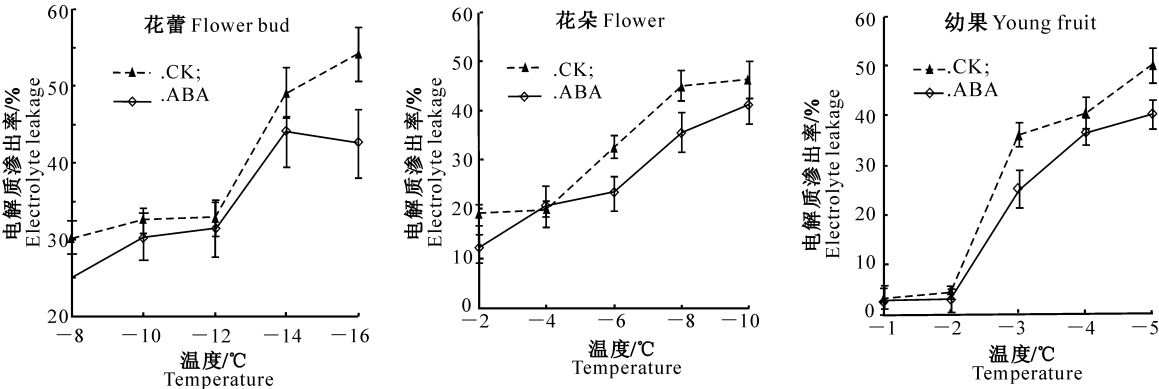


图 1 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果电解质渗出率的影响

Fig. 1 Influence of exogenous ABA on electrolyte leakage of the flower bud,flowers and young fruit of almond-apricot

2.2 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果半致死温度的影响

采用电解质渗出率及 Logistic 回归方程,求得仁用杏花蕾、花朵和幼果的半致死温度(LT_{50})(表 1)。从表 1 可以看出,无论是喷施了 ABA 的仁用杏还是对照,其花蕾、花朵、幼果的半致死温度大小排

序均为:花蕾<花朵<幼果,表明在开花座果过程中,随着环境温度的逐渐上升,仁用杏半致死温度逐渐升高,抗寒性逐渐降低。喷施 ABA 后,仁用杏花蕾、花朵和幼果的半致死温度分别较对照降低了 2.73,1.73 和 0.38 $^{\circ}$ C,表明外源 ABA 能降低仁用杏半致死温度,提高抗寒力。

表 1 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果半致死温度的影响

Table 1 Influence of exogenous ABA on half lethal temperature of the flower bus,flowers and young fruis of almond-apricot

处理 Treatment	采样时间 Date	发育阶段 Growth time	logistic 方程 Logistic equation	符合度 R	$LT_{50}/^{\circ}$ C Half lethal temperature
CK	03-10	花蕾 Flower bud	$y=29.73(1+7.751e^{0.1348x})$	0.9246**	-15.19
	03-20	花朵 Flower	$y=63.06(1+7.188e^{0.1908x})$	0.9726**	-9.71
	04-08	幼果 Young fruit	$y=50.88(1+88.62e^{0.9859x})$	0.8587*	-4.55
ABA	03-10	花蕾 Flower bud	$y=73.31(1+7.121e^{0.1095x})$	0.9398**	-17.92
	03-20	花朵 Flower	$y=54.11(1+10.05e^{0.2018x})$	0.9839**	-11.44
	04-08	幼果 Young fruit	$y=61.10(1+110.76e^{0.9550x})$	0.9265**	-4.93

另外,经实地观测,芽膨大期喷施 18 mg/L ABA,对仁用杏花蕾、花朵和幼果的发育进程未产生影响。

2.3 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果 SOD、POD 酶活性的影响

喷施 ABA 后,仁用杏花蕾、花朵和幼果的 SOD 酶活性分别较对照提高 2.3%,9.9%和 0.7%(图 2),POD 酶活性分别较对照提高 9.0%,0.7%和

3.4%(图 3),说明喷施 ABA 能提高仁用杏的 SOD 和 POD 酶活性。

2.4 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果 MDA、可溶性糖含量的影响

喷施 ABA 后,仁用杏花蕾、花朵和幼果的 MDA 含量较对照分别降低 37.76%,55.1%和 45.41%,说明外源 ABA 对仁用杏膜脂过氧化有明显的缓解作用(图 4)。

喷施 ABA 后,仁用杏花蕾、花朵和幼果可溶性糖含量分别较对照提高 6.5%,15.24%和 12.3%

(图 5)。

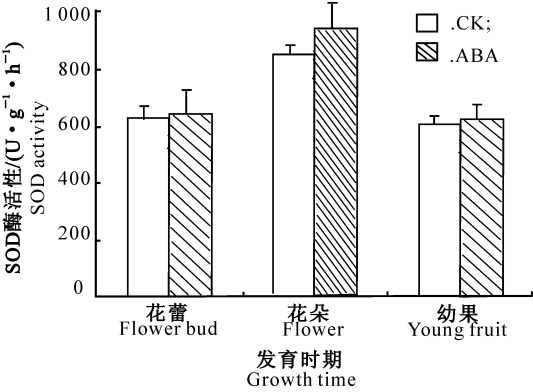


图 2 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果 SOD 酶活性的影响

Fig. 2 Influence of exogenous ABA on SOD activity of the flower bud, flower and young fruit of almond-apricot

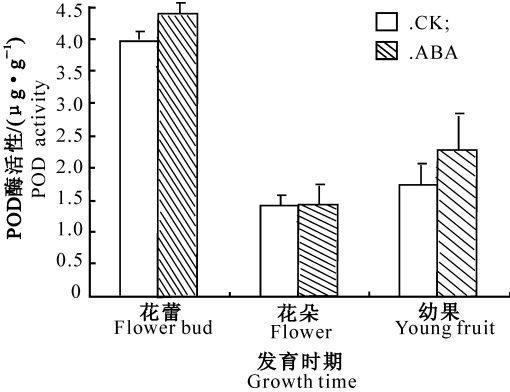


图 3 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果 POD 酶活性的影响

Fig. 3 Influence of exogenous ABA on POD activity of the flower bud, flower and young fruit of almond-apricot

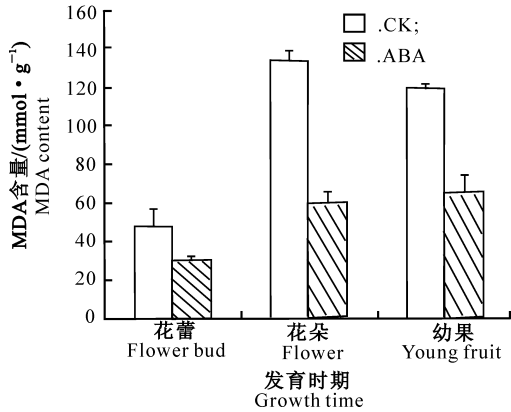


图 4 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果 MDA 含量的影响

Fig. 4 Influence of exogenous ABA on MDA contents in the flower bud, flower and young fruit of almond-apricot

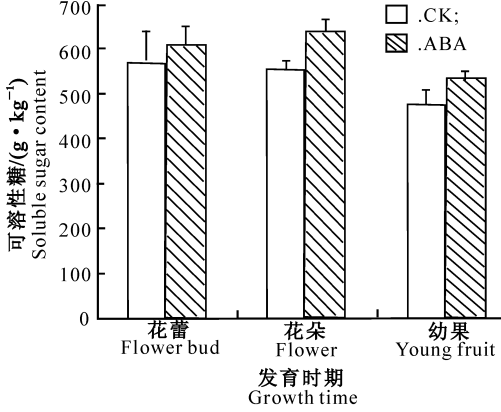


图 5 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果可溶性糖含量的影响

Fig. 5 Influence of exogenous ABA on soluble sugar content in the flower bud, flower and young fruit of almond-apricot

2.5 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果内源 ABA 和 GA₃ 的影响

图 6~8 表明,喷施 ABA 能使仁用杏花蕾、花朵和幼果的内源 ABA 含量较对照分别提高 275%, 61.7%和 8.3%,内源 GA₃ 分别较对照降低 6.3%, 3.1%和 4.7%,ABA/GA₃ 比值分别较对照提高 248.4%,18.17%和 13.99%。说明喷施 ABA 能提高仁用杏花蕾、花朵和幼果的内源 ABA 含量,降低内源 GA₃ 含量,使 ABA/GA₃ 值提高。

3 讨论

低温胁迫后植物细胞膜的结构遭受破坏,且破坏程度随胁迫程度的增加而增大。细胞内电解质外渗率的大小能够反映细胞膜结构的被破坏程度,比较相同胁迫水平下电解质的外渗率,是间接评价植物应对低温胁迫能力的一种有效途径^[11]。用电解质渗出率及 Logistic 方程求得的半致死温度(LT₅₀),是鉴定植物抗寒性强弱的常用方法,已被广泛应用^[12]。植物处于逆境条件下,细胞内自由基产生与清除的平衡遭到破坏,自由基的增加使膜系统

首先受伤害,造成膜内离子外渗和膜脂过氧化。而膜脂氧化的中间产物丙二醛,能使生物膜受到更严重的损害^[13]。SOD 和 POD 是防御膜脂过氧化作

用的重要保护酶。增加植物体内清除自由基的保护酶活性,就可以减轻膜脂的过氧化程度,降低低温对植物的伤害^[14]。

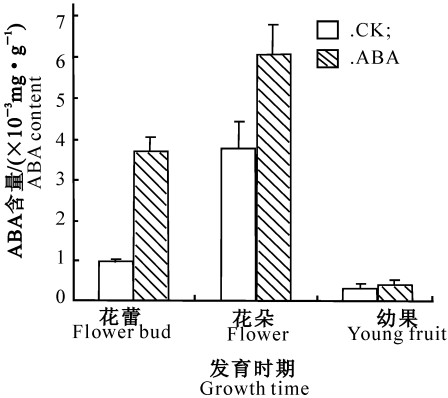


图 6 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果内源 ABA 含量的影响

Fig. 6 Influence of exogenous ABA on endogenous ABA content in the flower bud, flower and young fruit of almond-apricot

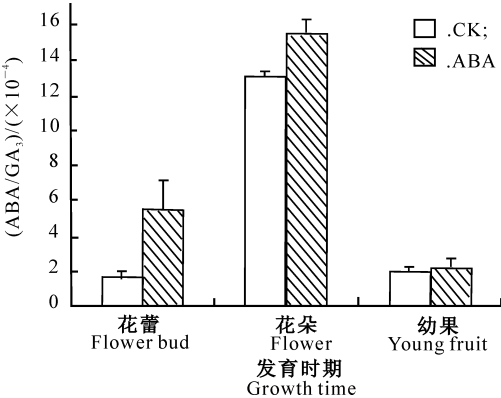


图 8 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果内源 ABA/GA₃ 的影响

Fig. 8 Influence of exogenous ABA on endogenous ABA/GA₃ content in the flower bud, flower and young fruit of almond-apricot

本试验中,外施 ABA 降低了仁用杏花蕾、花朵和幼果的电解质渗出率,使 SOD 和 POD 酶的活性增强,减缓了 MDA 的积累,增加了可溶性糖的含量,降低了半致死温度,提高了仁用杏的抗寒性。这与前人在番茄^[15]、芝麻^[6]、水稻^[16]、香蕉^[17]等植物上的研究结论基本一致。外施 ABA 还增加了内源 ABA 含量,使 ABA/GA₃ 维持在较高水平,说明外源 ABA 改变了仁用杏内源激素的平衡。而内源激素的平衡状况发生改变,可启动抗寒基因的表达,改变代谢途径,合成和积累抗寒物质,促进抗寒性提高^[2]。另外,本试验中喷施 ABA 对仁用杏花蕾、花

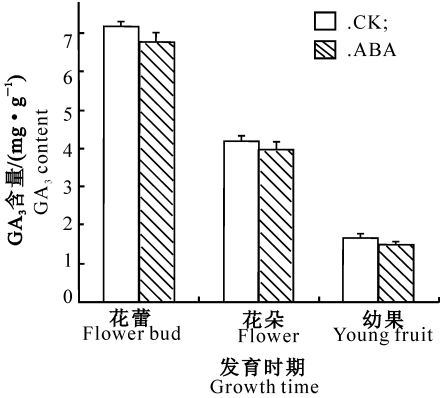


图 7 外源 ABA 对仁用杏花蕾、花朵和幼果内源 GA₃ 含量的影响

Fig. 7 Influence of exogenous ABA on endogenous GA₃ content in the flower bud, flower and young fruit of almond-apricot

朵和幼果的发育进程与对照相比差异不明显,这与在小麦^[18]、番茄^[3]上喷施适宜浓度的 ABA 可以在不抑制生长的情况下提高抗寒力的试验结果相似。

4 结 论

芽膨大期喷施 18 mg/L ABA,可在不影响仁用杏花蕾、花朵和幼果发育进程的情况下,提高抗寒力。

[参考文献]

[1] 彭艳华,黄永秀.脱落酸应答基因的结构、表达调控及信号转导[J].植物生理学通讯,1996,32(2):155-158.
Peng Y H, Huang Y X. Structure, expression regulation and signal transduction of ABA-responsive gene [J]. Plant Physiology Communications, 1996, 32(2): 155-158. (in Chinese)
[2] 谢吉容,向邓云,梅 虎,等.南方红豆杉抗寒性的变化与内源激素的关系 [J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2002, 27 (2):231-234.
Xie J R, Xiang D Y, Mei H, et al, Relationship between changes of cold resistance and endogenous hormone of *Taxus chinensis* var. *mairei* Cheng et L. K. F [J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2002, 27(2): 231-234. (in Chinese)
[3] 郭凤领,卢育华,李宝光.外源 ABA 对番茄苗期和开花期抗冷特性的影响 [J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2000, 31 (4):357-362.
Guo F L, Lu Y H, Li B G. Effect of exogenous ABA on chilling-resistance during seedling and florescence in tomato [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science

Edition ,2000,31(4):357-362. (in Chinese)

[4] 党秋玲,余超,王祯丽. ABA 处理种子对加工番茄幼苗抗寒力及相关生理指标的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2005,23(3):349-351.

Dang Q L, Yu C,Wang Z L. Studies on the chilling resistance and physiological index in processing tomatoesafter treating seeds by ABA [J]. Journal of Shihezi University:Natural Science Edition,2005,23(3):349-351. (in Chinese)

[5] 曾韶西,王以柔,李美茹,等. 冷锻炼和 ABA 诱导水稻幼苗提高抗冷性期间膜保护系统的变化[J]. 热带亚热带植物学报,1994,2(1):44-50.

Zeng S X,Wang Y R, Li M R,et al. Change of the membrane protective system during the enhancement of chilling resistance induced by cold hardening and ABA treatment in rice seedlings [J]. Tropical Subtropical Botany, 1994,2(1):44-50. (in Chinese)

[6] 李亚男,陈大清,胡培丽. ABA 和 6-BA 对不同温度条件下芝麻幼苗某些生理指标的影响[J]. 长江大学学报:自然科学版,2005,2(8):67-68.

Li Y N,Chen D Q,Hu P L. Effects of ABA and 6-BA on some physiological characteristics of sesame under different temperatures [J]. Journal of Yangtze University:Natural Science Edition,2005,2(8):67-68. (in Chinese)

[7] 杨向娜,魏安智,杨途熙,等. 仁用杏 3 个生理指标与抗寒性的关系研究 [J]. 西北林学院学报,2006,21(3):30-33.

Yang X N,Wei A Z,Yang T X,et al. Studies on relationships between soluble protein contents, SOD and POD activity and cold resistant ability of 3 apricot varieties [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006,21(3):30-33. (in Chinese)

[8] 龚月桦,周永学,樊军锋,等. 美国黄松、班克松和油松的抗寒性比较 [J]. 应用生态学报,2006,17(8):1389-1392.

Gong Y H,Zhou Y X,Fan J F,et al. Cold hardiness of *Pinus ponderosa*, *P. banksian* and *P. tabulaeformis* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006,17(8):1389-1392. (in Chinese)

[9] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安:世界图书出版公司,2000.

Gao J F. Experiment technology of plant physiology [M]. Xi'an; World Books Press,2000. (in Chinese)

[10] 杨途熙,魏安智,郑元,等. 高效液相色谱法同时分离测定仁用杏花芽中 8 种植物激素[J]. 分析化学,2007,35(8):1359-1361.

Yang T X,Wei A Z,Zheng Y,et al. Simultaneous determination of 8 endogenous hormones in apricot floral bud by RP-HPLC [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry,2007,35(9):1359-1361. (in Chinese)

[11] 聂庆娟,孟朝,梁海永,等. 低温胁迫对 4 种常绿阔叶植物膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 植物研究,2007,27(5):578-581.

Nie Q G,Meng C,Liang H Y,et al. Effect on low temperature stress on lipid peroxidation and activity of cell defense enzymes of four evergreen broad leaved tree species [J]. 2007,27(5):578-581. (in Chinese)

[12] 赵习平,刘铁铮,付雅丽. 杏树花期霜冻危害及其抗寒性研究进展 [J]. 江西农业学报,2007,19(11):33-35.

Zhao X P,Liu T Z,Fu Y L. Research progress in frost injury to apricot at flowering stage and its cold resistance [J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2007,19(11):33-35. (in Chinese)

[13] 和红云,田丽萍,薛琳. 植物抗寒性生理生化研究进展[J]. 天津农业科学,2007,13(2):10-13.

He H Y, Tian L P, Xue L. Research progress on physiology and biochemistry of plant cold hardiness [J]. Tianjin Agricultural Sciences,2007,13(2):10-13. (in Chinese)

[14] 王燕凌,廖康,刘君,等. 越冬前低温锻炼期间不同品种葡萄枝条中渗透性物质和保护酶活性的变化[J]. 果树学报,2006,23(3):375-378.

Wang Y L,Liao K,Liu J,et al. Changes of contents of osmosis substances and antioxidant enzyme activiy in grape vines during cold exercise period before over-wintering[J]. Journal of Fruit Science,2006,23(3):375-378. (in Chinese)

[15] 白洁,蒋卫杰,余宏辉,等. 外源 ABA、Put 和 BR 对亚适温条件下番茄幼苗叶片保护酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(6):317-320.

Bai J,Jiang W J,Yu H H,et al. Effect of extrinsic ABA,Put and BR on protective enzyme activities of tomato seedlings under sub-optimal temperature [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2007,23(6):317-320. (in Chinese)

[16] 詹嘉红,蓝宗辉. 外源 ABA 对低温胁迫水稻幼苗酯酶同工酶的影响 [J]. 生物技术,2000,10(4):19-21.

Zhan J H, Lan Z H. Effects of external ABA on esterase isoenzyme in rice seedlings under chilling temperature [J]. Biotechnology,2000,10(4):19-21. (in Chinese)

[17] 周玉萍,郑燕玲,田长恩,等. 脱落酸、多效唑和油菜素内酯对低温期间香蕉过氧化物酶和电导率的影响[J]. 广西植物,2002,22(5):444-448.

Zhou Y P,Zheng Y L,Tian C E,et al. Effects of ABA,PP333 and BR on the POD activity and REC of leaves in banana plantlets [J]. Guihaia,2002,22(5):444-448. (in Chinese)

[18] 简令成,孙龙华,孙德兰. 小麦质膜及液泡膜的 ATP 酶活性在抗寒锻炼中的变化 [J]. 实验生物学报,1983,16(2):133-145.

Jian L C, Sun L H, Sun D L. Changes in ATPase activity at plasmallemma and tonoplast during cold hardening of wheat seedlings [J]. Acta Biologica Experimentalis Sinica, 1983,16(2):133-145. (in Chinese)