

仁用杏抗寒性研究进展

田介云,魏安智*,刘玉林,王胜淇,刘永红

(西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100)

摘要:仁用杏是以杏仁为主要产品的杏属果树的统称,在北方普遍栽植,耐干旱、抗性强且易于管理,对于改善生态环境、防止水土流失和荒漠化均有良好效果,是理想的经济型树种。但在实际生产中,仁用杏常遭受冬季严寒和早春晚霜的危害,产量受到影响,造成仁用杏的产业化发展受到制约。仁用杏的抗寒研究主要集中于新品种选育和生理生化机制方面:‘围选1号’等抗寒新品种已应用于抗逆研究及生产中;通过抗逆相关物质的分析也使抗寒机制研究趋于深入。综合论述了仁用杏在分子生物方面的研究及其同种植物的抗寒性等,为仁用杏的进一步抗寒研究做参考和理论依据。

关键词:仁用杏;品种选育;生理研究;抗寒基因

中图分类号:S662.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)01-0174-05

Research Progress on Cold Resistance of Kernel Apricot

TIAN Jie-yun, WEI An-zhi*, LIU Yu-lin, WANG Sheng-qi, LIU Yong-hong

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

Abstract: Kernel apricot is a general designation of apricot producing almond. It has the advantages of being tolerant to drought, strong resistance and easy to manage, which are generally suitable to be planted in northern China. Kernel apricot has good effects on improving ecological environment, preventing soil erosion and desertification, making it an ideal non-timber tree species. However, in the actual production, kernel apricot often suffers from coldness in winter and frost in early spring, resulting in the reduction of the yield and limited development of industrialization. In this paper, the general situations and progress of cold resistance on kernel apricot study were summarized from three aspects: new variety breeding, physiological and biochemical mechanism and molecular biology. It would provide a reference and theoretical basis for further study on cold resistance of kernel apricot.

Key words: kernel apricot; variety breeding; physiological study; cold resistant gene

仁用杏是以杏仁为主要食用、药用产品的杏属果树的统称,具有很高的开发利用价值和潜力,同时兼备适应性广、抗逆性强且栽培技术较简单等优点,可用于改善生态环境、防止水土流失和荒漠化,从而成为重要的经济林树种^[1-2]。仁用杏主要分布于我国河北、辽宁、甘肃、内蒙、山西、陕西、新疆等省(区)^[3]。在实际生产中,受到北方气候环境的影响,

易受冬季严寒危害,造成花芽、枝条损伤;同时又由于杏树开花较早,在春季极易遭受晚霜危害,造成减产甚至绝收,因此,低温和霜冻是制约仁用杏产业化发展的根本因素^[4]。本研究在前人有关仁用杏抗寒性研究的基础上,对仁用杏抗寒性方面的研究进展进行了分析,旨在为仁用杏抗寒机制研究和抗寒育种提供参考。

收稿日期:2017-03-09 修回日期:2017-04-26

基金项目:“十二五”科技支撑项目“仁用杏和巴旦杏高效生产关键技术研究示范”(2013BAD14B02);西北农林科技大学基本科研业务费专项资金(2452015167、2452016035)。

作者简介:田介云,女,硕士研究生,研究方向:林木遗传育种。E-mail:tjytianjieyun@163.com

*通信作者:魏安智,男,教授,研究方向:林木遗传育种。E-mail:weianzhi@126.com

1 抗寒品种的选育

仁用杏从1968年开始在河北省张家口地区大量兴起并发展,随之在实际生产中出现问题,有些主栽品种的幼树进入结果期后常遭受冻害,产量和品质均受到很大影响,因而仁用杏抗寒品种的选育工作也相应展开^[5]。

解决仁用杏免受晚霜低温冻害的根本途径是选育出抗寒新品种^[6]。抗寒育种初期,经过多年田间选育和观察,选出了“优一”、“三杆旗”、“新四号”3个抗冻害优系^[7]。针对陕北黄土丘陵区冬季寒冷干燥、全年降雨分布不均、阳光充足的大陆性季风气候,研究人员对引进的4个仁用杏品种进行设点观测及各生长发育指标调查,最终从中选出“优一”、“一窝蜂”2个仁用杏品种作为陕北地区的适栽品种,并于2005年通过品种审定^[3]。目前,‘围选1号’是公认的抗晚霜仁用杏新品种,该品种是在河北围场从龙王帽品系中选出,经嫁接繁殖后,其性状稳定,抗晚霜能力明显强于其他品种,于2007年12月通过河北省林木品种审定委员会审定^[6]。

2 抗寒生理生化方面的研究

植物抗寒性是由众多基因控制的数量性状^[8]。植物在遭受冻害时,细胞和组织中的水分会凝结而引起伤害。首先,细胞间隙中细胞壁附近的水分会结冰,引起原生质脱水、蛋白质变性,即胞间结冰;随之,原生质体和液泡在受冻后所结冰晶会使原生质体结构遭到破坏,造成不可逆的机械损伤,致使代谢发生紊乱甚至细胞死亡,即胞内结冰^[9]。细胞膜系统是低温危害作用的首要部位,生物膜系形态和成分的改变,在抗寒机制上起至关重要的作用^[10]。大量研究表明,低温胁迫下植物体内自由基和活性氧大量积累,引起膜脂过氧化和蛋白质被破坏,这可能是植物细胞膜系统受损的原因之一^[11]。植物体内存在保护酶系统,可清除活性氧和自由基,保护酶系统包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)及抗坏血酸氧化酶(ASP)等。

针对植物抗寒性复杂的生理机制,逐渐形成了一系列表征植物抗寒能力的生理指标,从而可对植物抗寒性机理进行进一步揭示与验证。通过对杏品种的1年生枝条进行-24~-40℃低温胁迫处理,测定电解质渗出率并与Logistic方程结合,可得到杏休眠枝的临界致死温度,为仁用杏抗冻锻炼提供理论依据^[12]。试验表明,通过铜、锌处理仁用杏品种龙王帽的叶、枝、干、主根、侧根等各部位,可有效

抑制仁用杏苗木细胞膜的脂质过氧化作用,降低细胞膜的受损程度,使仁用杏抗寒性得到提高^[4];铜、锌作用体为SOD酶,可使SOD活性增强而超氧自由基含量降低。在对仁用杏“优一”、“白玉扁”、“龙王帽”3个品种的各繁殖器官自然升温过程中相关生理指标的变化情况研究中发现,仁用杏半致死温度随着自然界温度的升高而逐渐上升,SOD和可溶性糖含量呈“M”型变化趋势,POD和脯氨酸含量总体下降,说明杏树体内一系列抗寒性相关物质在自然条件下会随外界温度环境条件的变化而做出相应调整^[13]。郑元^[14]等则采用人工模拟的方式,对仁用杏品种“一窝蜂”、“优一”和“龙王帽”进行低温胁迫处理,得出电解质渗出率、丙二醛(MDA)含量与仁用杏抗寒性具有相关性。仁用杏盛花期枝条上的花瓣、雄蕊、雌蕊在低温胁迫处理后,抗寒能力大小也不同,花瓣的抗寒能力强于花蕊,而雄蕊又强于雌蕊^[15]。另有研究中发现,在对抗寒性不同的‘围选1号’和“龙王帽”雌蕊进行8个温度梯度的低温处理后,抗寒能力强的‘围选1号’具有较高的AsA-GSH循环效率,体内过氧化氢(H_2O_2)的积累被有效抑制,使其 H_2O_2 含量低于晚霜敏感型品种,这可能是‘围选1号’抗晚霜能力较强的原因之一^[16]。

3 分子生物学方面的研究

植物在低温胁迫下产生的一系列生理生化反应会诱导相关抗寒基因的表达。这一应激反应要经过低温信号感受、信号传导和转录调控等多个相当复杂的过程^[17]。C.J. Weiser^[18]指出,冷驯化期间植物抗冻性的提高受到基因表达的调控,多年生木本植物适应低温的机制是通过转录激活特异基因及合成新蛋白质。植物抗寒的分子机制目前尚不完全清楚,普遍的观点认为植物中作为第二信使的 Ca^{2+} 在前期低温信号的感受和传导中起着重要作用。在低温胁迫下,一系列生理生化的改变会引起细胞内 Ca^{2+} 浓度升高,经由磷脂酶、三磷酸肌醇和磷脂酸等的信号级联放大,激活下游抗寒转录因子和抗寒基因的表达。随着分子生物学技术在植物中的深入研究应用,大量与抗寒相关的基因被分离和鉴定出来。

冷胁迫诱导的基因分为2类:一类是功能基因,如编码抗冻蛋白、水通道蛋白、渗透调节蛋白基因等;另一类是调控基因,包括转录因子(Transcription factors, TFs)、编码蛋白激酶和与磷酸肌醇代谢有关的酶基因等^[19]。抗冻蛋白(Antifreeze protein, AFP)因其特有的3大特性可有效提高植物抗寒性,AFP首先在动物中发现,随后才逐渐在植物中展开研究。CBF(CRT/DRE binding factor)转录

因子作为调控基因,在转录水平上对抗寒基因表达进行调节。由冷胁迫诱导表达的基因可统称为冷诱导基因(Cold regulated gene,COR),在低温、干旱及 ABA 诱导的逆境胁迫中都表达,其种类繁多且存在复杂的相互作用^[20-21]。目前对于 CBF 的转录调控研究较多,张亮^[22]等从仁用杏近缘物种扁桃中分离得到了 *AF-PdCBF1* 转录因子,推测 *AF-Pd-CBF1* 在扁桃冷驯化途径中具有一定功能;在新疆野扁桃中利用染色体移步法得到了 *AlsCBF* 翻译起始位点上游的启动子序列,研究验证表明该启动子具有非生物胁迫诱导型启动子的功能^[23];在樱桃中获得了与蔷薇科植物同源性较高的 CBF 序列,可用于进一步研究樱桃中 CBF 基因的作用^[24];桃中 *PpCBF1* 基因在苹果中的异位表达可增加其耐冻能力,抑制生长,推迟春芽萌发^[25];而最新研究发现,在桃树开花期施用适当浓度外源水杨酸可缓解花器官冻结,这一作用是通过调节 *PpCBF* 基因的表达模式实现的^[26]。同时,植物中还存在其他转录因子也参与植物抗寒调节,长柄扁桃中克隆得到 *ApDREB* 转录因子,与同科植物的 *DREB* 基因具有相似功能,为果树抗寒育种提供了新的候选基因^[27];湖北海棠中获得的 *MhWRKY40b* 基因除与抗病相关外,还可能在湖北海棠的抗寒过程中也起重要作用^[28]。另外,CBF 基因的上游调控基因 *ICE* 也有研究报道,从梅中克隆得到 *PmICE1* 基因,其与 *ICE1* 同源基因具有一致性^[29]。H. Shin^[30]等研究桃脱水蛋白基因 *PpDhn* 在自然降温过程中发现,*PpDhn1* 和 *PpDhn3* 的表达随温度的变化呈正相关调节。而梅中抗冻蛋白 *PmLEA* 在花器官中高度表达,并且会被 ABA 诱导上调,随后在另一研究中证实,梅 *PmLEA* 基因可多种胁迫如 ABA,SA,低温等处理诱导表达^[31-32]。

在仁用杏抗寒性研究中,关于抗寒分子机制和抗寒基因的研究仍处于发展阶段,相关研究相对较少。抗冻蛋白研究方面,利用氮离子注入技术将抗寒蛋白基因 *afp* 导入杏树,发现变异率为 100%,嫁接成活率最高为 33.3%^[33]。之后罗磊^[34]等以 3 个杏树品种的变异植株为试材,低温胁迫处理后测定其相关生理指标,结果发现变异植株在抗氧化作用、膜稳定性等方面均高于作为对照的野生型植株。通过花粉管通道技术将沙冬青抗寒基因 *AmEBP1* 成功转化入岱玉杏 T₀ 代中,得到转基因株系的抗寒性>对照组育苗^[35]。在之后的研究中,沙冬青抗寒基因 *AmEBP1* 又被成功转化到‘大果’杏幼胚中,抗寒试验结果表明,相同低温条件下转基因植株的成活率均比对照高;半致死温度比对照低,从而再

次证明 *AmEBP1* 基因可提高杏的抗寒性^[36]。研究发现低温下对杏花施用适宜浓度的外源水杨酸(SA)会诱导 CBF 转录基因的表达,增强杏花的抗寒性^[37]。此外,T. Trainin^[38]等通过研究提出,杏中的 *ParSOC1* 基因可能在调节昼夜节律来适应环境的通路中起作用,同时调节杏树需冷量打破休眠达到影响开花时间的目的,此发现可用于杏树开花调节研究,间接避开晚霜危害。

4 仁用杏抗寒性研究存在问题及展望

由于果树生长周期长,杂交不稳定,其育种工作较难进行^[39]。对于仁用杏抗寒性研究进展而言,现阶段研究仁用杏抗寒性的主要方法是从生理、生化方面进行综合分析和研究,而在仁用杏抗寒基因工程方面的研究仍处于发展阶段。近年来,利用基因工程技术手段将外源植物抗寒基因转入植物中,在模式植物及其他作物中都取得了很大的进展,关于木本植物抗寒基因的研究相对较为落后,用于仁用杏抗寒遗传转化的外源基因相对较少。随着基因工程技术的日渐成熟,利用生物技术手段对林木进行定向改良已成为趋势。将相关抗性基因从木本植物中分离,再转化到木本植物中,现在已经成为木本植物抗性育种新的发展方向 and 途径^[40]。对于仁用杏这些易受冬季严寒和春季晚霜危害的树种,可借鉴其他林木抗寒基因研究的经验,将今后的研究重点放在对于仁用杏抗寒基因及阐述引起抗寒生理生化变化的分子机制上,集中于抗冻蛋白 AFP、抗寒转录因子、抗寒相关调控蛋白基因、抗寒基因启动子及多基因转化等众多热点和重点问题研究上,充分利用现代生物技术手段,探索仁用杏抗寒分子机制,筛选出适宜的抗寒相关基因,用于仁用杏抗寒育种,培育出兼备抗逆性状和其他优良性状的新型仁用杏品种。

参考文献:

[1] 赵峰,张毅,张力思. 中国仁用杏的生产概况及发展前景[J]. 河北林果研究,2001,16(4):377-379.
ZHAO F,ZHANG Y,ZHANG L S. Production status and developmental prospect of stone producing apricot in China[J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research,2001,16(4): 377-379. (in Chinese)
[2] 刘金龙,姚延禧,陈家峰,等. 仁用杏铜锌含量变化规律研究[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2002,22(2):132-134.
LIU J L,YAO Y T,CHEN J F, et al. Study on the variation regularity of copper and zinc content in apricot kernel[J]. Journal of Shanxi Agricultural University:Nature Science Edition, 2002,22(2):132-134. (in Chinese)
[3] 吴万兴,朱绪余,张忠良,等. 陕北黄土丘陵区抗冻仁用杏品种

选择研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(6):64-67.

WU W X,ZHU X Y,ZHANG Z L,*et al.* Selection of superior species of almond-apricot in northern district of Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22(6):64-67. (in Chinese)

[4] 杨秀清,闫海冰,李国明. 铜锌元素与仁用杏丙二醛含量关系的研究[J]. 山西林业科技. 2005(4):4-6.

YANG X Q,YAN H B,LI G M. Relationship between copper and zinc element and the amount of malondialdehyde in kernel-apricot[J]. Shanxi Forestry Science And Technology,2005(4):4-6. (in Chinese)

[5] 王树杞,温扑轩,翟江旺,等. 仁用杏抗寒选种研究报告[J]. 北方果树,1989(4):17-19.

WANG S Q,WEN P X,ZHAI J W,*et al.* Research report on the selection of kernel apricot[J]. Northern Fruits,1989(4):17-19. (in Chinese)

[6] 李彦慧,高连祥,任士福,等. 耐寒仁用杏新品种‘围选 1 号’[J]. 园艺学报,2010,37(1):155-156.

LI Y H,GAO L X,REN S F,*et al.* A new apricot cultivar resistance to coldness ‘Wei Xuan’[J]. Acta Horticulturae Sinica,2010,37(1):155-156. (in Chinese)

[7] 温普轩,曹泽猷,王万银. 仁用杏抗寒良种选育研究初报[J]. 河北果树,1992(3):29-31.

WEN P X,CAO Z Y,WANG W Y. Preliminary study on breeding of cold resistant varieties of apricot kernel[J]. HeBei Fruits,1992(3):29-31. (in Chinese)

[8] 徐呈祥. 提高植物抗寒性的机理研究进展[J]. 生态学报,2012,32(24):7966-7980.

XU C X. Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness[J]. Acta Ecologica Sinica,2012,32(24):7966-7980. (in Chinese)

[9] 魏安智. 仁用杏抗寒机理研究与抗寒物质筛选[D]. 陕西杨陵:西北农林科技大学,2006.

[10] 沈漫,王明庥,黄敏仁. 植物抗寒机理研究进展[J]. 植物学通报,1997,14(2):2-9.

SHEN M,WANG M X,HUANG M R. Advances in research on chilling resistance mechanisms of plants[J]. Chinese Bulletin of Botany,1997,14(2):2-9. (in Chinese)

[11] 刘冰. 花椒抗寒性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2005.

[12] 王飞,陈登文,李嘉瑞. 应用 Logistic 方程确定杏枝条低温半致死温度的研究[J]. 河北农业技术师范学院学报,1998,12(4):31-36.

WANG F,CHEN D W,LI J R. A study on determination of lethal dose-50 temperature for apricots shoots with logistic function [J]. Journal of Hebei Normal University of Science& Technology,1998,12(4):31-36. (in Chinese)

[13] 杨向娜,杨途熙,魏安智,等. 自然升温过程中仁用杏抗寒性的变化[J]. 北方园艺,2009(12):16-20.

YANG X N,YANG T X,WEI A Z,*et al.* Changes in cold resistance mechanism of almond apricot during variation of natural temperature[J]. Northern Horticulture,2009(12):16-20. (in Chinese)

[14] 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:自然科学版,2008,36(1):163-167.

ZHENG Y,YANG T X,WEI A Z,*et al.* Effects of low temperature stress on several cold resistance indexes of apricot [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition,2008,36(1):163-167. (in Chinese)

[15] 宁超,孟庆瑞,李淑贤,等. 抗霜冻仁用杏优株花器官抗寒性的比较研究[J]. 河北农业大学学报,2010,33(3):37-41.

NING C,MENG Q R,LI S X,*et al.* Comparative study of cold resistance in kernel-apricot germplasm floral organs[J]. Journal of Agricultural University of Hebei,2010,33(3):37-41. (in Chinese)

[16] 王萍,李彦慧,张雪梅,等. 低温对仁用杏雌蕊抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响[J]. 园艺学报,2013,40(3):417-425.

WANG P,LI Y H,ZHANG X M,*et al.* Effects of low temperature stress on ascorbate-glutathione cycle in kernel apricot pistil[J]. Acta Horticulturae Sinica,2013,40(3):417-425. (in Chinese)

[17] 王达,马纪. 植物耐寒机理与耐寒植物新品种培育[J]. 生物技术通报,2012(1):7-13.

WANG D,MA J. Mechanism of plant cold tolerance and breeding of cold tolerant plant[J]. Biotechnology Bulletin,2012(1):7-13. (in Chinese)

[18] WEISER C J. Cold resistance and injury in woody plants: knowledge of hardy plant adaptations to freezing stress may help us to reduce winter damage [J]. Science,1970,169(3952):1269-1278.

[19] 张燕燕. 利用 cDNA 阵列筛选橡胶树抗寒相关基因的研究[D]. 海口:海南大学,2010.

[20] JAGLO K R,KLEFF S,AMUNDSEN K L,*et al.* Components of the Arabidopsis C-repeat/dehydration-responsive element binding factor cold-response pathway are conserved in Brassica napus and other plant species[J]. Plant Physiology,2001,127(3):910-917.

[21] JAGLOOTTOSEN K R,GILMOUR S J,ZARKA D G,*et al.* Arabidopsis CBF1 overexpression induces COR genes and enhances freezing tolerance[J]. Science,1998,280(5360):104-106.

[22] 张亮,李疆,代培红,等. 扁桃 CBF1 转录因子的克隆及原核表达分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(3):612-617.

ZHANG L,LI J,DAI P H,*et al.* Cloning and prokaryotic expression of almond CBF1 transcription factor[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2015,16(3):612-617. (in Chinese)

[23] 余曦瑶,李疆,姚正培,等. 新疆野扁桃 CBF 基因启动子克隆及瞬时表达分析[J]. 分子植物育种,2015(6):1214-1222.

YU X Y,LI J,YAO Z P,*et al.* Cloning and transient expressing the promoter of *AlsCBF* gene *Amygdalus ledebouriana* schleche in Xinjiang[J]. Molecular Plant Breeding,2015(6):1214-1222. (in Chinese)

[24] 张建朋,陈新,徐丽,等. 樱桃 CBF 基因的克隆及序列分析[J]. 山东农业科学,2014,13(10):12-15.

ZHANG J P,CHEN X,XU L,*et al.* Cloning and sequence analysis of CBF gene from cherry[J]. Shandong Agricultural Sciences,2014,13(10):12-15. (in Chinese)

[25] WISNIEWSKI M,NORELLI J,ARTLIP T. Over expression of a peach CBF gene in apple;a model for understanding the integration of growth,dormancy,and cold hardiness in woody

plants[J]. *Frontiers in Plant Science*,2015,6:85.

[26] ZHANG B B, GUO L, SONG Z Z, *et al.* Effect of salicylic acid on freezing injury in peach floral organs and the expressions of *CBF* genes[J]. *Biologia Plantarum*,2017,61(4):622-630.

[27] 王建武,段义忠,相微微. 长柄扁桃 *ApDREB* 基因的克隆与序列分析[J]. *陕西农业科学*,2016,62(7):76-79.

WANG J W, DUAN Y Z, XIANG W W. Cloning and sequence analysis of *ApDREB* gene of *Amygdalus pedunculata* Pall [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*,2016,62(7):76-79. (in Chinese)

[28] 罗昌国,渠慎春,张计育,等. 湖北海棠 MhWRKY40b 在几种胁迫下的表达分析[J]. *园艺学报*,2013,40(1):1-9.

LUO C G, QU S C, ZHANG J Y, *et al.* Expression analysis of *Malus hupehensis* (Pamp) Rehd. MhWRKY40b gene in response to several stresses [J]. *Acta Horticulturae Sinica*,2013,40(1):1-9. (in Chinese)

[29] 曹宁,张启翔,郝瑞杰,等. 梅花 *PmICE1* 基因的克隆及低温条件下的表达[J]. *东北林业大学学报*,2014,42(4):21-25.

CAO N, ZHANG Q X, HAO R J, *et al.* Molecular cloning and expression analysis of cold-resistant transcription factor *Pm-ICE1* from *Prunus mume* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*,2014,42(4):21-25. (in Chinese)

[30] SHIN H, OH S, KIM M, *et al.* Relationship between cold hardness and dehydrin gene expression in peach shoot tissues under field conditions[J]. *Horticulture Environment and Biotechnology*,2015,56(3):280-287.

[31] DU D L, ZHANG Q X, CHENG T R, *et al.* Genome-wide identification and analysis of late embryogenesis abundant (LEA) genes in *Prunus mume* [J]. *Molecular Biology Reports*,2013,40(2):1937-1946.

[32] BAO F, DU D D, AN Y, *et al.* Overexpression of *Prunus mume* dehydrin genes in Tobacco enhances tolerance to cold and drought[J]. *Frontiers in Plant Science*,2017,8:151.

[33] 冯殿齐,刘静,孙仲序,等. 利用氮离子注入技术转化抗寒基因 (*afp*)初步研究[J]. *山东农业大学学报:自然科学版*,2005,36(1):86-92.

FENG D Q, LIU J, SUN Z X, *et al.* The preliminary research of the transforming cold-resistant gene (*afp*) by the way of the nitrogen ion injection[J]. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*,2005,36(1):86-92. (in Chinese)

[34] 罗磊,冯殿齐,刘静,等. 氮离子注入变异杏抗寒性的初步研究[J]. *山东农业大学学报:自然科学版*,2011,42(4):465-470.

LUO L, FENG D Q, LIU J, *et al.* The preliminary study on cold resistance of variant apricots treated by nitrogen iron implantation[J]. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*,2011,42(4):465-470. (in Chinese)

[35] 牛庆霖. ‘岱玉杏’抗寒基因 AmEBP1 转化试验研究[D]. 泰安:山东农业大学,2011.

[36] 牛庆霖,曹帮华,王玉山,等. 利用沙冬青抗寒基因 *AmEBP1* 转化杏的研究[J]. *园艺学报*,2014,41(5):825-832.

NIU Q L, CAO B H, WANG Y S, *et al.* Molecular identification and cold-resistance analysis of the *AmEBP1* transgenic apricot plants[J]. *Acta Horticulturae Sinica*,2014,41(5):825-832. (in Chinese)

[37] 张俊环,王玉柱,孙浩元,等. 外源水杨酸对低温下杏花抗氧化酶和 *CBF* 转录因子表达的影响[J]. *植物生理学报*,2014,50(2):171-177.

ZHANG J H, WANG Y Z, SUN H H, *et al.* Effects of exogenous salicylic acid on antioxidant enzymes and *CBF* transcription factor in apricot (*Prunus armeniaca* L.) flowers under chilling stress[J]. *Plant Physiology Journal*,2014,50(2):171-177. (in Chinese)

[38] TRAININ T, BAR-YA'AKOV I, HOLLAND D. ParSOC1, a MADS-box gene closely related to *Arabidopsis* AGL20/SOC1, is expressed in apricot leaves in a diurnal manner and is linked with chilling requirements for dormancy break [J]. *Tree Genetics & Genomes*,2013,9(3):753-766.

[39] 张丽君. 杏树氮离子注入转化抗寒基因初步研究[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院,2011.

[40] 牛庆霖. 沙冬青 ErbB3 结合蛋白基因转化杏的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014.