

## 库尔勒香梨抗寒性研究进展

位杰<sup>1,2</sup>, 蒋媛<sup>2,\*</sup>, 王刚<sup>2</sup>, 马建江<sup>2</sup>, 林彩霞<sup>2</sup>, 张琦<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆阿拉尔843300; <sup>2</sup>新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所, 新疆铁门关841005; <sup>3</sup>塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔843300

**摘要:** 库尔勒香梨(*Pyrus sinkiangensis* Yu)是新疆特色的优良梨品种, 栽培地域性极强, 在新疆特色林果业发展中有着重要的地位。低温冻害是库尔勒香梨产业发展的主要限制因子。国内许多学者对低温条件下香梨生理生化应答机制进行了大量的研究, 并取得了一些成果。基于前人的研究成果, 本文对库尔勒香梨的冻害成因、冻害症状、抗寒生理生化进行了较系统的综述, 并概述了库尔勒香梨的防寒措施, 提出了库尔勒香梨未来抗寒研究工作的展望。

**关键词:** 库尔勒香梨; 冻害; 抗寒性; 研究进展

库尔勒香梨(*Pyrus sinkiangensis* Yu)简称香梨, 是新疆有名的特色水果, 也是新疆梨系统中最具有区域代表性的优良品种, 在新疆的果品生产中占有重要的地位。它具有色泽鲜艳、皮薄肉细、酥脆多汁、果香馥郁等特点, 且具有很高的营养价值, 被誉为梨中珍品, 深受国内外消费者的青睐(江振斌等2016; 何子顺等2016)。香梨的种植管理要求比较高, 栽培的地域性极强, 适宜栽培的区域有限, 主要分布在新疆的巴州地区和阿克苏地区, 因而是新疆特色林果业产品中最具有特色的果品。随着农业产业结构的调整, 香梨的特色优势效益也日益显著, 已成为新疆重要的经济支柱产业, 是出口创汇、农业增效和果农增收的主要产品和重要的经济作物之一(孙晓霞等2015; 徐超等2016)。

温度是影响果树生长和地理区域分布的一个重要环境因素, 对果树的生长发育起着非常重要的作用。低温冻害是香梨产业发展中的主要限制因子, 影响着香梨的区域分布(王玮等2015)。冻害往往突袭性比较强、预防不及、破坏面积大、影响时间长, 不但可使花芽冻死而造成产量大幅下降, 而且还能造成枝干受冻死亡, 严重的甚至造成树体整株死亡和毁园, 灾害损失数年无法弥补。此外, 冻害对树体造成的伤害还常常导致香梨树体在次年发生腐烂病, 使树势衰弱、产量下降、品质变劣, 严重影响着香梨的生产发展(李海燕等2010)。香梨经过长期的栽培和驯化, 已经对低温有了较强的适应性和抗逆性, 但是不良的气象条件及近十几年来的异常气候等因素已严重影响香梨的正常生长发育, 加之生产中灌水、有机肥投入不合理、管理比较粗放、以及越冬防护未得到应有的重视等原因, 导致了香梨树体的抗逆性减

弱, 使得库尔勒地区香梨冻害频繁发生, 香梨产业遭受了严重的损失(林彩霞等2015a)。为了保障香梨产业的健康可持续发展, 稳固农民增收的基础, 迫切需要建立起有效的香梨冻害防御体系, 做好香梨低温冻害的预防工作, 有效避免或最大限度地减轻冻害所造成的损失。本文从冻害成因、冻害症状、抗寒生理生化及防寒措施等方面对香梨抗寒性的相关研究进行了综述, 旨在为香梨抗寒生理生化的深入研究、抗寒品种的选育、鉴定以及为香梨种植区制定具体有效的栽培管理技术措施和提高香梨树的抗寒能力提供科学与理论依据, 同时也为我国寒冷地区发展梨产业提供参考依据。

### 1 冻害成因及冻害症状

#### 1.1 冻害成因

造成香梨树发生冻害的原因很多且比较复杂。从内因来看, 香梨树体能否安全越冬与其越冬性有着非常密切的关系。研究表明香梨树不同部位的抗寒能力不同, 地上部分的抗寒性强于地下部分, 主干、主枝分杈处、骨干枝、嫁接口、枝条的基部发生冻害的程度较重, 中部、枝梢部发生冻害的程度较轻; 不同器官抗寒能力也不同, 抗寒性由强到弱表现为花芽组织、树干阴面形成层、枝条形成层、树干阳面形成层(艾克来木·艾合买提等2016a)。树龄不同抗寒能力也不同, 成年

收稿 2017-01-10 修订 2017-04-18

资助 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室开放课题(BRYB1601)、新疆生产建设兵团第二师铁门关市农业科技攻关计划项目(2014NYGG13)、新疆生产建设兵团科技支疆项目(2014AB003)和河北省科技支撑计划项目(12246803D)。

\* 通讯作者(E-mail: 360315184@qq.com)。

香梨树的抗寒性强于幼年香梨树;树冠不同位置抗寒能力也有差异,树冠南侧的抗寒性强于树冠北侧;不同的组织抗寒能力也不同,在休眠期,形成层的抗寒力最强,其次为皮层,髓部抗寒力最弱,且深休眠期的树体抗寒性强于浅休眠期;嫁接部位高度不同的香梨树的抗寒能力也不同,嫁接部位越高,抗寒能力就越强;立地条件和栽培管理因素也影响着香梨树的抗寒能力,靠近河边、房屋、防护林健全、土质粘重的树体受冻轻,风口、沙壤土、砾石土、低洼地的树体受冻严重;化肥投入过多、有机肥投入少、树体负载量过大、秋末不及时控水、果园间作棉花、蔬菜以及病虫害严重的果园冻害比较严重(任波等2013;于强和李世强2016)。

### 1.1.1 低温及低温持续时间

香梨冻害的发生主要受临界低温的影响,并与低温持续时间有密切的关系,果园低温强度大、低温持续时间长并且频率出现高,冻害必然严重(吉春容等2011;樊丁宇等2014)。低温在四季均可发生,尤以冬季和春季较为严重。香梨的抗寒力在冬春的不同物候期内有所不同,一般休眠期内抗寒力最强,随着早春气温的上升其抗寒力逐渐降低,若早春出现倒春寒现象,香梨就容易发生冻害。夏季低温使香梨树体发育不良,树体贮存的养分不足,保护组织不发达,从而遭受冬季低温冻害。秋季是香梨树由生长到休眠的过渡季节,此时若降温过早,香梨还未进入休眠状态,就容易发生冻害。另外秋季多雨延长了香梨的生长发育期,妨碍了香梨树体正常的抗寒锻炼,从而使香梨抗寒能力下降,树体容易受冻。

冬季树体受冻后能否恢复取决于温度变化是否剧烈,若温度缓慢回升,细胞间隙的水缓慢解冻,原生质能逐渐吸收解冻水而恢复生命活动,反之,若温度突然回升,冰块快速溶解,原生质来不及吸收水分就会导致组织死亡。一般认为香梨树体遭受冻害的临界温度为 $-22\sim-20^{\circ}\text{C}$ , $-22^{\circ}\text{C}$ 为越冬期间较严重冻害的临界温度, $-20^{\circ}\text{C}$ 为香梨冻害发生的临界温度。温度低于 $-22^{\circ}\text{C}$ 时,树体枝条开始受冻,当温度达到 $-24^{\circ}\text{C}$ 时,主干开始发生冻害,温度低至 $-26^{\circ}\text{C}$ 时出现整株受冻死亡(巴特尔·巴克等2008;马建江等2008)。

### 1.1.2 降雪及积雪时间

冻害与降雪有着密切的关系,积雪覆盖对植物体有一定的保护作用,但对雪面以上的植物体有损害。调查发现,香梨历次冻害的发生都伴随着降雪天气(尹忠岭和李晓川2009;赵勇军等2011)。降雪会加剧气温的降低,而积雪则使树体冻害程度加剧。降雪时间早、次数多、降雪量大、地面积雪厚、积雪时间长等均会加重冻害的发生和危害程度。积雪覆盖使地面的反射率增大,将大量的太阳能辐射反射回去,地面不能靠吸收大量的太阳能增温,近地层的气温持续较低,树体一直处于低温环境中(李茂春和刘海荣2012;曹娟和曹鹏2012)。天气转晴后,积雪消融又吸收一部分热量,在热力的作用下,水气蒸发又形成局部范围的阴雪天气,使得果园树冠下方冷空气滞留的时间长,造成气温回升困难,树体冻害由上往下依次加重。积雪还可以通过影响水分状态的变化而导致树体发生冻害。白天在太阳的照射下,积雪会随着温度的不断升高开始融化,到了夜间,随着温度的降低水分又发生冻结。这样反复的融化与冻结,并且直接作用在根茎部受冻敏感区域,使香梨树体难以适应而发生冻害(任波等2013)。此外,积雪还能使空气湿度增大,在香梨主干和枝条上形成雾凇和雪凇,造成枝条、休眠芽体受冻。

### 1.1.3 立地条件与管理水平

果园地势的高低对冻害程度也有较大的影响,果园地势较高,冻害发生程度较轻,而定植在地势低洼区域的果园,冻害发生的程度较为严重。土壤的质地对冻害发生的程度也有明显的影响,果园土质粘重,土壤通透性比较差,秋季香梨树停止生长的时间较晚,树体休眠时间延迟,冻害程度较为严重;沙质壤土的果园,土壤通透性较好,秋季梨树能及时停止生长进入休眠期,冻害发生的程度较轻(马建江等2008)。

冻害还与栽培管理密切相关,科学的肥水调控、树体合理负载不但能保证果树的正常生长发育,而且还能增强果树自身的抗逆性。研究表明,休眠时间越长,休眠程度越深,抗寒性和越冬性就越强。梨园化肥施入量过大,树体营养生长过旺,枝条生长时间延长,成熟晚,枝条发育不充实,不能及时进入休眠期,抗寒能力下降。秋末不及时控

水,也使树体生长时间延长,进入休眠期时间较晚,冻害发生严重。适宜的负载量关系着香梨的早果、丰产、稳产、优质,而且还与香梨树体的抗寒性有着密切的关系(孙伯筠等2006;于强和匡玉疆2008),研究表明,中产田的抗寒性高于低产田,低产田的抗寒性高于高产田(克热木·伊力等2010a)。合理负载,树体储存营养多,树势生长良好,抗寒性强。而树体过量负载,消耗过多的树体养分,造成树体衰弱,抗寒能力下降。此外,香梨果实采收过晚,树体消耗的养分增多,使得树势变弱,同时树体进入休眠期的时间也偏晚,容易遭受低温的危害。

### 1.2 冻害症状

冻害主要是造成树体组织内结冰,从而引起原生质的脱水而使细胞死亡。因气温下降程度的不同,细胞内或细胞间隙内均有可能形成结冰。当气温降低到一定的程度时,细胞间隙结冰造成细胞内的水分向外流出,与细胞间隙的冰块冻结在一起,同时原生质开始出现脱水,当脱水达到一定的程度时,细胞就会死亡。

花芽、叶芽遭受轻度、中度冻害后心部变黑,萌发时间推迟,萌发后花器、叶片形状、结构不完全或畸形;重度冻害后芽体整体发黑,鳞片疏松,逐渐干缩。一年生枝条、果苔副梢和果苔形成层变褐,严重者发黑,并逐渐枯萎变干。主枝和主干的形成层先变褐,表皮下方的皮层组织先逐渐变黑,然后变为锈红色,木质部变为褐色,表皮外有许多橙红色的菌丝体生出。根茎受冻后,轻者皮层变黑、腐烂,严重的造成整株死亡。根系的冻害不容易被发现,受冻后外部皮层转变为褐色,并与木质部相互分离,甚至翘起、脱落,对香梨生长的影响最大。受冻较轻的树体春季萌动时叶芽能抽生枝条,花芽不断膨大,鳞片虽然裂开,但是很难展开。砧木根茎部位和主干上的隐芽大量萌动、萌发,抽生徒长枝条。香梨树体萌动后,在全年的生长发育期内仍然出现大枝或整株不断死亡,不少香梨树在第二年仍然继续死亡。受冻害后的梨园当年和次年树体腐烂病蔓延发生比较严重。花期遭受冻害后梨花呈下垂萎蔫状态,日出后恢复直立状态。花托皮下形成冰晶,表皮容易剥离,少量的雄蕊和雌花的前端出现干枯。幼果的顶部以及萼部表皮会出现斑状的冻疤(匡玉疆等2005)。

## 2 库尔勒香梨抗寒生理生化

### 2.1 细胞膜通透性与香梨抗寒性

细胞膜是细胞及细胞器与环境接触的一个界面结构,膜系统的稳定性是植物抗寒性强弱的重要因素。低温对细胞的影响首先作用于细胞质膜,引起细胞膜系统由液晶相变为凝胶相,膜系统的相变导致膜上出现孔道或龟裂,通透性增大,膜结合酶的结构改变,活性下降,使得膜内的可溶性物质和电解质大量向膜外渗透,细胞内外的离子平衡被打破,从而进一步引起细胞代谢生理发生变化,代谢功能紊乱(贾慧娟2010;赵金梅等2009)。研究表明,随着低温胁迫程度的增强,香梨膜透性升高(肖坤等2014),电解质外渗率增大(阿依古丽·铁木儿等2014),相对电导率升高。在与香梨抗寒性相关的生理指标中,以相对电导率的贡献率最大,可以单独作为鉴定香梨树抗寒性的指标(克热木·伊力等2009,2010a)。自由水和束缚水是植物组织中的两种水分存在状态,它们在植物体内的含量比例随着外界条件的改变而变化,二者的相对含量可以作为植物组织代谢活动及抗逆性强弱的重要指标。岳英等(2011)研究发现,可溶性糖含量和束缚水/自由水比值与相对电导率呈显著的负相关关系,认为可溶性糖含量和束缚水/自由水比值可以作为香梨抗寒性鉴定的生理指标。而林彩霞等(2015a)通过对不同冻害程度下的香梨一年生枝条的研究发现,受冻害后香梨枝条中自由水/束缚水的比值均有显著下降。

### 2.2 渗透调节物质与香梨抗寒性

渗透调节物质是植物抵御低温危害的重要保护性物质。逆境条件下,植物会诱导产生一些渗透调节物质(可溶性糖、脯氨酸、可溶性蛋白等),它们能提高植物的细胞液浓度,降低细胞的渗透势,降低冰点,提高原生质的保护能力。但脯氨酸和可溶性糖作为香梨的抗性还是敏感性的指标的研究结果并不一致。对自然冻害条件下不同冻害程度的香梨园内保存下来的一年生枝条的研究表明,随着冻害程度的加重,枝条和花芽的可溶性糖含量、游离脯氨酸含量不断降低,氮(N)、钾(K)、镁(Mg)元素含量也不断降低,且差异显著,认为可溶性糖含量、游离脯氨酸含量可以作为香梨树抗冻的主要生理指标,N、K、Mg含量可作为香

梨树抗冻的主要营养元素指标(龙春跃等2009)。人工低温处理下,香梨一年生枝条的可溶性糖含量和脯氨酸含量也呈下降趋势(阿依古丽·铁木儿等2014)。而不同药剂对库尔勒香梨枝条抗冻性影响的结果表明,不同药剂处理的香梨枝条中的脯氨酸含量与可溶性糖的含量与低温胁迫程度的加强呈不同程度的正相关性(克热木·伊力等2009)。撒俊逸等(2016)的研究也表明,在香梨自然越冬过程中,随着环境温度的降低,可溶性糖含量和脯氨酸含量呈不同程度的增加。但也有研究表明,香梨一年生枝条在受到冻害后可溶性糖含量会有所增加,而游离脯氨酸含量则与冻害程度之间没有太大的相关性(林彩霞等2015a)。

可溶性蛋白的亲水胶体性较强,能增强细胞的保水能力,降低原生质因结冰而导致的伤害,因此,低温胁迫下植物体内可溶性蛋白含量的增加有利于增强植物的抗寒性。研究表明,随着处理温度的降低,香梨枝条的可溶性蛋白含量总体上呈现先上升后下降的趋势,表明在一定的温度范围内,香梨树对低温有一定的应激调节能力,可通过增加可溶性蛋白的含量来增强抗寒能力,但其调节能力有限,当温度下降到一定程度时,调节能力降低(阿依古丽·铁木儿等2014)。

### 2.3 保护酶系统与香梨抗寒性

低温下植物对氧(O<sub>2</sub>)的利用能力降低,多余的O<sub>2</sub>在代谢过程中会被转化为活性氧(active oxygen species, ASO),加剧膜脂过氧化作用,从而产生大量的丙二醛(malonic dialdehyde, MDA),损害膜系统及与其相关的生物大分子。MDA是活性氧毒害作用的表现,MDA含量积累越多表明组织的保护能力越弱,必须通过抗氧化系统及时清除(代红军和曾洪学2006)。而植物细胞中主要的抗氧化酶有超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)等,它们都起着清除树体内有害活性氧的作用(黄敏和陈杰忠2011)。研究发现,随着低温胁迫程度的加重,香梨枝条中的MDA含量呈不同程度的增加(克热木·伊力等2012),且MDA含量与电解质渗出率呈显著的正相关关系,SOD活性和POD活性总体呈上升趋势(克热木·伊力等2010a)。自然冻害条件下,随着冻害程度的加重,枝条POD活性显著增加,而花芽的POD活性则显著下降(龙春跃等

2009)。林彩霞等(2015b)研究发现自然冻害条件下枝条受冻后SOD活性均有显著性升高,POD与CAT的活性在受冻前后并无显著性差异的变化。

香梨的抗性受到多种因素的影响,生理生化指标在香梨抗寒性的研究中具有重要的意义,各生理生化指标不但有各自的单方面作用,而且相互之间还存在着交互作用,每一项生理生化指标的改变都将会影响香梨抗寒性的变化。有些生理生化指标作为香梨抗寒性还是敏感性的研究结果还不一致,甚至相互矛盾,同一指标在不同部位的变化也不相同,其原因和机理还有待于进一步的研究。单一的抗寒指标难以判断香梨对寒冷的综合适应能力,抗寒性指标的优选还需要结合隶属函数法(董万鹏等2015)、主成分分析法(曲彦婷等2016)等多种分析方法进一步综合分析评价,能反映香梨抗寒性的其他生理生化指标还需要进一步的探索和研究。

## 3 冻害预防与补救措施

### 3.1 冻害预测和预报

建立健全香梨防灾减灾监测预报服务系统,及时准确的做好强冷空气和灾害天气的预测、预报,使生产部门和单位提前做好香梨的防冻减灾准备工作,避免或减少冻害造成的损失。赵勇军等(2011)利用平均减产率、变异系数、风险指数形成了香梨冻害的综合风险指数,划分了香梨冻害的风险区域,为扩大香梨种植规模提供了科学依据。樊丁宇等(2013)选择平均温度、夜间平均温度、平均最低温度等指标比较了果园不同条件下微域环境温度的差异,为预测不同立地条件下香梨园低温冻害发生的可能性及制定有效的防寒措施提供了依据。张仕明等(2012)通过对1959~2011年冬季逐日气温资料的处理分析,得出香梨树综合冻害指数,较好地反映了香梨树历年冻害情况,确定了综合指数值>1.0为香梨树出现冻害的临界指标,对香梨树冻害的监测、预警具有重要的意义。

### 3.2 抗寒品种的选育

选育抗寒品种是防寒的主要途径之一。冻害虽然给香梨产业的发展带来了很大的危害和损失,但同时也为香梨优良种质的变异创造了条件,冻害发生期是选育香梨抗寒芽类型的最佳时机,可在冻害严重区域普查、搜集抗寒优株(系),同时,

开展以香梨与其他抗寒梨品种为亲本的远缘杂交育种工作, 选育出抗寒性强且具有香梨风味的优良新品种, 不失为打破香梨冻害“瓶颈”的又一方法。围绕抗寒性强的育种目标, 国内多家单位已先后培育出了‘新梨1号’、‘新梨2号’、‘新梨3号’、‘新梨6号’、‘新梨7号’、‘新梨8号’、‘新梨9号’(杜萍等1995; 董延年等1998; 刘艳2014; 刘延杰2003)等多个香梨新品种, 大大丰富了香梨种质资源, 形成了以香梨为龙头的系列产品, 为新品种选育和生产上品种结构的调整发挥了重要的作用。

### 3.3 植物生长调节剂的应用

植物生长调节剂广泛用于调节植物的生长发育, 包括从生物中提取的天然植物激素和人工合成的化合物, 植物激素如脱落酸(ABA)、赤霉素(GA<sub>3</sub>)、生长素(IAA)的调控作用已被许多研究者公认, 尤其是ABA对增强植物抗寒性的作用更为明显。外施ABA可以诱导内源ABA水平的提高, 从而增加植物的抗性, 这已在多种植物上被证实(王连荣和刘铁铮2010)。ABA是一种植物生长抑制型激素, 具有抑制植物生长的生理作用, 能引起芽的休眠、叶片脱落等, 并与其他的增长促进型激素之间存在着拮抗作用(潘瑞焱等2012; 袁娟等2004)。王一静等研究认为不同浓度的外源激素处理叶片可以提高香梨的抗寒性, 在香梨生长期叶面喷施一次50 mg·L<sup>-1</sup>的ABA或100 mg·L<sup>-1</sup>的GA<sub>3</sub>, 香梨便能抵抗-24℃的低温; 在落叶前外源激素处理对提高香梨的抗寒力效果最好, 最佳外源ABA浓度为70 mg·L<sup>-1</sup>, GA<sub>3</sub>浓度为75 mg·L<sup>-1</sup>, IAA浓度为100 mg·L<sup>-1</sup>(王一静2015; 王一静等2014, 2015)。克热木·伊力等(2009)研究发现, 水杨酸、腐胺、亚精胺均可以不同程度的提高香梨的抗冻性, 在果实采收后叶面喷施浓度1.0~2.0 mmol·L<sup>-1</sup>的水杨酸可以提高香梨在越冬期间的抗寒性, 但当温度低于-22℃时, 水杨酸、腐胺、亚精胺对提高香梨抗寒性的作用不大。

### 3.4 栽培技术措施的应用

#### 3.4.1 采用实生干技术, 提高嫁接部位

在梨属植物的野生砧中, 起源于北方山区的杜梨是一个抗寒性较强的品种, 引入新疆后基本取代了当地的酸梨砧木。选用抗寒性或抗腐烂病能力强的杜梨砧木作为树体的基本骨架, 可以增

强树体的抗性, 明显减轻主干和主枝基部腐烂病的发生。调查发现, 同等条件下, 嫁接部位低于60 cm的香梨树主干及第一层主枝基角受冻严重, 而嫁接部位在80 cm以上的香梨树体则没有发生冻伤现象(苏柳云等2010)。研究证明, 采用杜梨为砧木进行高位嫁接, 在一定程度上能降低香梨树体在变温层(1.5 m左右)所受到的冻害, 嫁接部位有明显的养分截流作用, 有利于树体营养物质的积累和促进花芽形成, 表现为生长势增强, 叶片质量增加, 花芽量增大, 丰产性和稳产性显著提高(吴玉霞等2012)。克热木·伊力等(2010b)的研究表明在多年生杜梨的三大主枝高度70~120 cm处和主干上高度80~120 cm处进行嫁接, 可以使库尔勒香梨树越冬期间在-24.4℃至-25.3℃的低温下安全越冬, 比传统低位嫁接的香梨树的抗寒性提高了4.4~5.3℃左右。此方法为香梨的抗寒栽培开辟了新的途径, 具有广泛的实践应用价值。

#### 3.4.2 土肥水管理

选择适宜香梨生长并能安全越冬的地址建园, 以及适宜的栽培方式和高效的果园管理模式都可以增强香梨树自身的越冬性, 可使香梨树适应寒冷气候。地下水位较低的壤土保墒蓄肥的作用较好, 还能有效降低冻害对梨树生长发育的影响; 在透气性好、盐碱度较小的砂壤土建园, 不仅可促进香梨树的生长发育, 还能增强其抵抗寒冷的能力(刘静2016)。在越冬期间, 香梨枝条是冻害发生相对较敏感的部位(阿斯姑力·托合提等2015), 调查发现, 香梨冻害的发生与树体营养水平有着密切的关系(龙春跃等2009)。为了促进香梨树体的养分积累, 应科学合理的进行肥水管理, 注意前促后控, 前期施氮、磷肥, 后期施磷、钾肥, 生长后期严格控制氮肥施用量, 秋季增施有机肥, 配合施入其他微肥, 提升土壤温度。合理施肥, 包括增施有机肥, 有机肥与无机肥相结合, 特别是调节氮、磷、钾肥的比例, 是提高香梨抗寒性的重要措施。施肥量不同, 树体抗寒能力也不同。研究表明, 每株香梨树施80~100 kg农家羊粪可明显提高树体抗寒能力(克热木·伊力等2012)。香梨生长期叶面喷施大量元素氮肥、磷肥、钾肥, 能明显提高树体内氮、磷、钾和钙元素的积累, 对提高树体抗寒性有一定的促进作用, 叶面喷施硼肥处理

也能增加树体的营养积累,但对提高树体抗寒能力的作用并不明显(何香2012;何香等2012)。对香梨树进行配方施肥处理,能明显改善香梨果实品质,增强香梨的抗寒性,且随着配方施肥年限的增加,抗寒效果越好(李经洽2015)。

矿质元素在增强香梨的抗寒性方面也有一定的作用。钙( $\text{Ca}^{2+}$ )在植物对环境的反应和适应中起着非常重要的作用(谢玉明等2003)。低温胁迫条件下,通过激活相关 $\text{Ca}^{2+}$ 通道导致膜质 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度发生改变,多种蛋白激酶被激活后产生相应的生理生化变化,从而增强植物自身的抗寒性(简令成和王红2002)。研究发现,不同浓度的 $\text{CaCl}_2$ 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 处理使香梨叶片中的 $\text{Ca}^{2+}$ 含量均呈不同程度的增加,喷施效果因树龄和 $\text{Ca}^{2+}$ 溶液种类的不同而异,其中叶面喷施 $\text{Ca}^{2+}$ 处理的抗寒性效果优于主干注射 $\text{Ca}^{2+}$ 处理(肖坤等2013;肖坤2014)。

水是植物细胞的重要组成成分和代谢过程的反应物质,也是各种生理生化反应和物质运输的介质,植物正常的生命活动都必须在细胞含有一定水分的状况下才能进行。它能调节植物体温,改善田间小气候,使植物保持固有的姿态,因此,水分管理对提高香梨抗寒性有非常重要的作用。香梨树生长后期要严格控制好灌水量,促进枝条木质化,防止枝条贪青徒长,影响枝条充实老熟和推迟进入越冬休眠。在树木休眠后、土壤封冻前及时进行冬灌,使寒冬期间地温保持相对稳定,从而减轻冻害。花前灌水可以降低土壤温度,延迟开花时节,可有效规避倒春寒的危害。

#### 3.4.3 其他防寒技术的应用

健全防护林带设施,根据果园四周生态环境合理配置主、副林带,可有效发挥防护林对香梨抗寒的防护效益(苏柳芸等2013)。在合理的水肥管理条件下,喷施绿藻粉和保水剂能明显提高香梨一年生枝条的渗透调节物质含量,减轻香梨一年生枝的受冻害程度,对香梨一年生枝起到一定的机械保护作用(艾沙江·买买提等2016)。此外,树干涂白、主干包扎防寒材料(麻袋片、绒布、棉毡、稻草等)、根茎堆土、果园覆草、覆膜、熏烟、霜冻前喷食盐水、降雪后及时清除树枝和树盘积雪等措施均可以有效减轻或避免冻害(周多进等2004;康梅等2007;苏柳云等2010)。艾克来

木·艾合买提等(2016b)研究了不同颜色和不同覆盖材料对越冬期香梨树干形成层温度和冻融交替的影响,发现涂白、稻草和绒毡片覆盖处理对冻害的防治效果较好。马凯等(2012)认为培土措施和稻草包裹措施对香梨树越冬的保温效果更好,也更适宜于在实际生产应用。有条件的地区可采用塑料大棚膜覆盖(李战超等2015)或彩条布覆盖(李燕枝2016;李燕枝等2016)改善梨园小气候,起到保温增温的效果,减轻或避免冻害的发生。

#### 3.5 冻害的补救措施

冻害发生后容易引起腐烂病的发生蔓延,应及时采取措施进行预防。香梨树遭受冻害后,地上部分和根系的水分、营养物质平衡关系被打破,造成根系死亡,因此,早春不宜对受冻香梨树进行施肥,应在新梢旺长期及时进行根外追肥,补充树体生长所需的营养。待树体逐渐恢复后再进行地面追肥。受冻较轻的树体要尽可能的少留花、果,受冻较重的树体不留花留果,从而减少树体的养分消耗,促进树势尽早恢复。遭受冻害香梨树的冬季修剪应推迟到发芽后再进行,以轻剪为主,防止造成过多的伤口,减掉受冻较重的部分,剪后立即涂抹伤口保护剂。注重果园的嫁接更新,发芽后针对主干上的冻害部位利用枝条、根蘖苗或根部栽砧木苗等方式进行桥接。受冻严重的香梨树,应在树干10~15 cm处进行平茬,发芽后选留适当的新梢重新嫁接培养树形。实践证明,平茬后进行断根处理,从根部新发出的根蘖苗生长健壮,当年即可进行嫁接,且枝条生长充实,不易折断,效果较好(周多进等2004)。

#### 4 问题与展望

目前,关于香梨抗寒性的研究已经取得了较大的进展,但是,香梨的抗寒性具有不稳定性,同时,其表现也是多方面的,由诸多环节构成,并随温度、时间、光周期、发育时期、含水量、营养状况、基因等因素的不同而改变,仅从某一个层面去研究香梨抗寒性或抗寒性的某个环节是远远不够的,有的机制可能需要更广泛、更深入的研究。同时,在研究手段上,目前很多研究多采用人工模拟低温胁迫,虽然可以很好的指示单一胁迫对香梨的影响,但是用来推断田间实验结果有很大的局限性,甚至有时控制试验与田间试验的结

果相互矛盾, 在未来的研究中应当多结合田间试验, 并充分关注现代农业条件下香梨抗寒性的研究、提高。

随着分子生物学和基因工程技术手段在抗寒研究领域中的应用, 把植物抗寒性与遗传基因、酶系统的多态性以及代谢改组等有机的结合起来进行深入的研究去揭示植物抗寒性的本质已经成为可能, 今后香梨抗寒性的研究可能在以下几个方面取得更大的进展: 加强香梨抗寒分子生物学和基因工程方面的研究, 利用基因工程技术手段辅助香梨抗寒育种, 将抗寒功能基因导入香梨体内, 促进香梨抗寒品种的选育与改良; 将抗寒生理学与育种学结合, 综合分析各种抗寒指标, 形成香梨抗寒栽培及育种中可利用的可靠抗寒评价体系; 研究抗寒、抗冻保护剂等外源物质对提高香梨抗寒性的调控机理, 使抗寒机理研究与抗寒技术创新紧密结合起来, 将其应用于生产实践, 提高香梨抗寒能力; 加强香梨抗寒矮化砧木的筛选及砧木抗寒基因的挖掘, 研究砧木与接穗联合抗寒效应的作用机理, 获得更多有价值的外源目的基因。另外, 低温胁迫下细胞内的结构物质及其生理生化特性的变化研究也是一个重要的研究方向。

### 参考文献

- Aisajan Mamat, Zhang XL, Mei C, Yan P, Wang JX (2016). Effects of spraying water-retaining agent chiorella powder solution on the cold hardness of Korla fragrant pear. *Xinjiang Agric Sci*, 53 (3): 445-454 (in Chinese with English abstract) [艾沙江·买买提, 张校立, 梅闯, 闫鹏, 王继勋(2016). 保水剂、绿藻粉处理对库尔勒香梨抗冻能力的影响. *新疆农业科学*, 53 (3): 445-454]
- Akrem Ahmet, Ablet Mamat, Batur Bake, Altun Tursunhali, Sajida Abdulkarim, Zulkiye Manaf (2016a). Changes of cold hardness indexes of Korla fragrant pear's different organs with air temperature during over-wintering period. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 36 (7): 1408-1416 (in Chinese with English abstract) [艾克来木·艾合买提, 阿不来提·买买提, 巴特尔·巴克, 阿丽腾·吐尔孙哈力, 萨吉旦·阿卜杜克日木, 祖力克艳·麻那甫(2016a). 越冬期间库尔勒香梨不同器官抗寒指标随气温的变化. *西北植物学报*, 36 (7): 1408-1416]
- Akrem Ahmet, Ablet Mamat, Batur Bake, Altun Tursunhali, Sajida Abdulkarim, Zulkiye Manaf (2016b). Different color and material covering measures: the effect on trunk cambium temperature and alternately freezing of Korla fragrant pear during over-wintering period. *Chin Agric Sci Bull*, 32 (31): 74-78 (in Chinese with English abstract) [艾克来木·艾合买提, 阿不来提·买买提, 巴特尔·巴克, 阿丽腾·吐尔孙哈力, 萨吉旦·阿卜杜克日木, 祖力克艳·麻那甫(2016b). 不同颜色和材料覆盖措施对越冬期库尔勒香梨树干形成层温度及融冻交替的影响. *中国农学通报*, 32 (31): 74-78]
- Asigul Tohti, Ablet Mamat, Akrem Ahmet, Batur Bake, Wu YF, Altun Tursunhali (2015). Analysis on cambium soluble protein and proline variation on bark in Korla fragrant pear during over-wintering period. *Southwest China J Agric Sci*, 28 (6): 2672-2675 (in Chinese with English abstract) [阿斯姑力·托合提, 阿不来提·买买提, 艾克来木·艾合买提, 巴特尔·巴克, 吴燕锋, 阿丽腾·吐尔孙哈力(2015). 香梨越冬期树干形成层脯氨酸、可溶性蛋白质含量变化特性分析. *西南农业学报*, 28 (6): 2672-2675]
- Ayiguli Tiemuier, Yusufu Abulitifu, Patiman Abudureheman, Li J (2014). Evaluation on cold resistance of land race pears in Xinjiang. *Chin Agric Sci Bull*, 30 (28): 217-225 (in Chinese with English abstract) [阿依古丽·铁木儿, 玉苏甫·阿不力提甫, 帕提曼·阿布都热合曼, 李疆(2014). 新疆地方梨品种抗寒性评价. *中国农学通报*, 30 (28): 217-225]
- Batur Bake, Karim Ali, Kuang YJ, Aihemaiti Abuduriyimu (2008). Evaluation of low temperature in winter over years and analysis on the reasons of Korla fragrant pear freezing injury. *J Xinjiang Agric Univ*, 31 (6): 17-20 (in Chinese with English abstract) [巴特尔·巴克, 克热木·伊力, 匡玉疆, 艾合买提·阿不都热依木(2008). 库尔勒香梨历年冬季低温评价及严重冻害成因分析. *新疆农业大学学报*, 31 (6): 17-20]
- Cao J, Cao P (2012). Analysis of climate factors on the freezing injury of Korla fragrant pear in Korla reclamation area. *Xinjiang Farm Res Sci Tech*, (5): 20 (in Chinese) [曹娟, 曹鹏(2012). 库尔勒垦区香梨冻害的气候因素分析. *新疆农垦科技*, (5): 20]
- Dai HJ, Zeng HX (2006). Research progress on plant freezing resistance. *J Agric Sci*, 27 (3): 71-74 (in Chinese with English abstract) [代红军, 曾洪学(2006). 植物抗冻性研究进展. *农业科学学报*, 27 (3): 71-74]
- Dong WP, Luo C, Long XQ, Hu J, Li Y (2015). Effects of low temperature stress on physiological indexes of cold resistance of *Passiflora edulis*. *Plant Physiol J*, 51 (5): 771-777 (in Chinese with English abstract) [董万鹏, 罗充, 龙秀琴, 胡静, 李燕(2015). 低温胁迫对西番莲抗寒生理指标的影响. *植物生理学报*, 51 (5): 771-777]
- Dong YN, Zhou J, Liu Y, Wu ZH (1998). A new hardy resistant pear variety with good quality-'Xinli No. 6'. *China Fruits*, (2): 6-7 (in Chinese) [董延年, 周进, 刘艳, 吴忠华(1998). 抗寒优质梨新品种-'新梨6号'. *中国果树*, (2): 6-7]
- Du P, Han QQ, Liao QA, Bai WJ, Ling YZ (1995). A new hardy resistant pear variety with good quality-'Xinli No. 3'. *China Fruits*, (4): 15-16 (in Chinese) [杜萍, 韩其庆, 廖庆安, 白文菊, 凌益章(1995). 抗寒优质梨新品种-'新梨3号'. *中国果树*, (4): 15-16]
- Fan DY, Lu CS, Yan P, Ma K, Wang JX (2013). Preliminary study on temperature difference of orchard micro-environment in winter under different conditions in southern Xinjiang. *J Fruit Sci*, 30 (6): 989-993 (in Chinese with English abstract) [樊丁宇, 卢春生, 闫鹏, 马凯, 王继勋(2013). 南疆冬季不同条件下果园微环境的温度差异. *果树学报*, 30 (6): 989-993]
- Fan DY, Yan P, Han LQ, Wang JX, Lu CS, Han SA (2014). Analysis on the reasons of Korla fragrant pear wintering freezing injury

- based on measured temperature of orchards. *Chin Agric Sci Bull*, 30 (7): 100–103 (in Chinese with English abstract) [樊丁宇, 闫鹏, 韩立群, 王继勋, 卢春生, 韩守安(2014). 基于果园实测气温的库尔勒香梨树越冬冻害成因分析. *中国农学通报*, 30 (7): 100–103]
- He X (2012). Different fertilizer treatment on the Korla fragrant pear tree body nutrition accumulation and hardness influence [Master's thesis]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [何香(2012). 不同施肥处理对库尔勒香梨树体营养积累与抗寒性的影响(硕士论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- He X, Karim Ali, Mahemuti Kari (2012). Correlative study of foliage fertilization on Korla fragrant pears for improving cold resistance. *Xinjiang Agric Sci*, 49 (8): 1401–1407 (in Chinese with English abstract) [何香, 克热木·伊力, 买合木提·卡热(2012). 叶面施肥对提高库尔勒香梨抗寒相关性的研究. *新疆农业科学*, 49 (8): 1401–1407]
- He ZS, Li FF, Zhang SL, Bai R, Zhang HP (2016). Changes in fatty acid and free amino acid contents in fruit of *Pyrus sinkiangensis* 'Kuerle Xiangli' by bagging. *J Fruit Sci*, 33 (7): 804–813 (in Chinese with English abstract) [何子顺, 李芳芳, 张绍铃, 白茹, 张虎平(2016). 套袋对'库尔勒香梨'果实中游离脂肪酸和游离氨基酸含量的影响. *果树学报*, 33 (7): 804–813]
- Huang M, Chen JZ (2011). Research progress on cold-resistance of fruit trees. *Subtrop Plant Sci*, 40 (1): 80–84 (in Chinese with English abstract) [黄敏, 陈杰忠(2011). 果树抗寒性研究进展(综述). *亚热带植物科学*, 40 (1): 80–84]
- Ji CR, Zou C, Chen CM, Fan L, Ma HR, Li XJ (2011). Review on frozen injury of fruit trees in Xinjiang. *Desert Oasis Meteor*, 5 (4): 1–4 (in Chinese with English abstract) [吉春容, 邹陈, 陈丛敏, 樊磊, 马鸿儒, 李新建(2011). 新疆特色林果冻害研究概述. *沙漠与绿洲气象*, 5 (4): 1–4]
- Jia HJ (2010). Research progress on plant freezing resistance. *Anhui Agric Sci Bull*, 16 (6): 33–34, 138 (in Chinese) [贾慧娟(2010). 植物抗冻性研究进展. *安徽农学通报*, 16 (6): 33–34, 138]
- Jian LC, Wang H (2002). Role of the Calcium ( $Ca^{2+}$ ) in plant cold tolerance. *Chin J Cell Biol*, 24 (3): 166–171 (in Chinese) [简令成, 王红(2002). 钙( $Ca^{2+}$ )在植物抗寒中的作用. *细胞生物学杂志*, 24 (3): 166–171]
- Jiang ZB, Liao K, Pang HX, Mansuer Nasier, Zhao SR, Du RQ, Dong SL (2016). Sap flow changes of three tree shapes in Korla fragrant pear and their relationships with meteorological factors. *J Fruit Sci*, 33 (7): 814–822 (in Chinese with English abstract) [江振斌, 廖康, 庞洪翔, 曼苏尔·那斯尔, 赵世荣, 杜润清, 董胜利(2016). 库尔勒香梨3种树形树干液流变化及其与气象因子的关系. *果树学报*, 33 (7): 814–822]
- Kang M, Dong ZH, Yang JB, Xu P (2007). Measures on technology to prevent cold injury of Korla fragrant pear body. *Xinjiang Agric Sci*, 44 (S2): 157 (in Chinese) [康梅, 董智慧, 杨建波, 许鹏(2007). 库尔勒香梨树体冻害预防技术措施. *新疆农业科学*, 44 (S2): 157]
- Karim Ali, He X, Palida Yahefu (2012). Effects of different fertilizer rate on cold resistance of Korla fragrant pear. *J Xinjiang Agric Univ*, 35 (1): 18–21 (in Chinese with English abstract) [克热木·伊力, 何香, 帕丽达·牙合甫(2012). 不同施肥量对库尔勒香梨抗寒性的影响. *新疆农业大学学报*, 35 (1): 18–21]
- Karim Ali, Kuang YJ, Li J, Aihemaiti Abudureyimu (2010b). A new measure to improving cold hardness of Korla fragrant pear by top-grafting: China, CN101828485A. 2010-09-15 (in Chinese) [克热木·伊力, 匡玉疆, 李疆, 艾合买提·阿布都热依木(2010). 一种高位嫁接提高库尔勒香梨抗寒性的方法: 中国, CN101828485A. 2010-09-15]
- Karim Ali, Long CY, Mahemuti Kari, Kuang YJ (2009). Effect of different treatments on freezing resistance of the branches of Korle fragrant pear. *J Xinjiang Agric Univ*, 32 (5): 56–62 (in Chinese with English abstract) [克热木·伊力, 龙春跃, 买合木提·卡热, 匡玉疆(2009). 不同药剂处理对库尔勒香梨枝条抗冻性的影响. *新疆农业大学学报*, 32 (5): 56–62]
- Karim Ali, Mahemuti Kari, Long CY, Aihemaiti Abudureyimu (2010a). Evaluation on freezing resistance of branches of Korle fragrant pear with different yield. *Xinjiang Agric Sci*, 47 (2): 230–236 (in Chinese with English abstract) [克热木·伊力, 买合木提·卡热, 龙春跃, 艾合买提·阿布都热依木(2010). 不同产量库尔勒香梨枝条抗寒性的评价. *新疆农业科学*, 47 (2): 230–236]
- Kuang YJ, Yu Q, Chen X, Heng YZ (2005). The causes analysis and countermeasures of freezing damage of Korla fragrant pear. The collected papers of 4<sup>th</sup> national academic seminar conference on scientific research, Beijing: 484–486 (in Chinese) [匡玉疆, 于强, 陈霞, 衡永忠(2005). 库尔勒香梨冻害原因的分析与对策. 全国第四届梨科研、生产与产业化学术研讨会论文集, 北京: 484–486]
- Li HY, Yang SF, Bahaguli Maimaiti (2010). Synthetical analysis on weather conditions of the two freezing injury to fruit trees in Kuerle city since 2000. *Desert Oasis Meteor*, 4 (4): 55–58 (in Chinese with English abstract) [李海燕, 杨诗芳, 巴哈古丽·买买提(2010). 2000年以来库尔勒市果树冻害气象条件综合分析. *沙漠与绿洲气象*, 4 (4): 55–58]
- Li JQ (2015). Effects of formulated fertilization on fruit quality and freezing resistance of Korla fragrant pear [Master's thesis]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [李经洽(2015). 配方施肥对库尔勒香梨果实品质及抗寒性的影响(硕士论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Li MC, Liu HR (2012). Analysis of agricultural meteorological factors on the freezing injury of Korla fragrant pear. *China Fruits*, (1): 27–30 (in Chinese) [李茂春, 刘海荣(2012). 库尔勒香梨冻害的农业气象因素分析. *中国果树*, (1): 27–30]
- Li YZ (2016). Effects research of microclimate antifreeze on fragrant pear trees covered by striped cloth in winter [Master's thesis]. Urumqi: Xinjiang Normal University (in Chinese with English abstract) [李燕枝(2016). 冬季香梨树彩条布覆盖防冻的小气候研究(硕士论文). 乌鲁木齐: 新疆师范大学]
- Li YZ, Li XJ, Huang J, Li ZC, Fan JX, Wu XG (2016). Effects of temperature and humidity on fragrant pear trees covered by striped cloth in winter. *Desert Oasis Meteor*, 10 (2): 89–94 (in Chinese with English abstract) [李燕枝, 李新建, 黄健, 李战超, 范金霞, 吴新国(2016). 冬季香梨树彩条布覆盖棚的温湿效应分析. *沙漠与绿洲气象*, 10 (2): 89–94]
- Li ZC, Zhao CM, Li XJ, Gu JM, Fan JX, Wu XG (2015). Study on

- the defense of Korla fragrant pear's low temperature freezing injury from the cover of plastic greenhouse. *Shanxi Agric Sci*, 43 (11): 1482–1488 (in Chinese with English abstract) [李战超, 赵聪敏, 李新建, 顾军明, 范金霞, 吴新国(2015). 塑料大棚覆盖对库尔勒香梨低温冻害防御的研究. *山西农业科学*, 43 (11): 1482–1488]
- Lin CX, Wu YJ, Lu XY, Liu Y, Wang G (2015a). Effect of different freezing injury degree on physiological indexes in fragrant pear. *Anhui Agric Sci*, 43 (10): 121–123, 125 (in Chinese with English abstract) [林彩霞, 吴运建, 鲁晓燕, 刘艳, 王刚(2015a). 不同冻害程度对香梨生理指标的影响. *安徽农业科学*, 43 (10): 121–123, 125]
- Lin CX, Xue GS, Ren XY (2015b). Effect of different degrees of frost damage on antioxidant enzyme activity of Korla pear. *Northern Hortic*, (6): 15–18 (in Chinese with English abstract) [林彩霞, 薛根生, 任晓燕(2015b). 不同冻害程度对库尔勒香梨抗氧化酶活性的影响. *北方园艺*, (6): 15–18]
- Liu J (2016). Factor analysis and preventive measures of *Pyrus betulaefolia* Bunge cold injury in Korla region. *Modern Agri Sci Tech*, (18): 172, 175 (in Chinese) [刘静(2016). 库尔勒地区杜梨树冻害成因及预防措施. *现代农业科技*, (18): 172, 175]
- Liu Y (2014). Advances in research on variety breeding of Korla fragrant pear. *Xinjiang Farm Res Sci Tech*, (9): 13–16 (in Chinese) [刘艳(2014). 库尔勒香梨品种选育研究进展. *新疆农垦科技*, (9): 13–16]
- Liu YJ (2003). Breeding and prospect on cold-resistant variety of pears. *Northern Hortic*, (3): 16–18 (in Chinese) [刘延杰(2003). 梨抗寒品种的选育与展望. *北方园艺*, (3): 16–18]
- Long CY, Karim Ali, Mahemuti Kari, Gunqam (2009). Study on freezing damage occurrence of branches, flower buds and its correlation physiological indexes. *J Xinjiang Agric Univ*, 32 (2): 6–10 (in Chinese with English abstract) [龙春跃, 克热木·伊力, 买合木提·卡热, 温且·木(2009). 库尔勒香梨枝条、花芽冻害发生程度与相关生理指标研究. *新疆农业大学学报*, 32 (2): 6–10]
- Ma JJ, Lin CX, Yang YQ (2008). Investigation on the freezing injury of Korla fragrant pear. *Xinjiang Farm Res of Sci Tech*, (4): 33–34 (in Chinese) [马建江, 林彩霞, 杨玉琼(2008). 库尔勒香梨冻害调查. *新疆农垦科技*, (4): 33–34]
- Ma K, Wang JX, Lu CS, Yan P, Li SQ, Wang F, Fan DY (2012). Effects of different cold-proof measures on temperature indexes of fruit trees overwintering in southern Xinjiang. *Xinjiang Agric Sci*, 49 (2): 230–236 (in Chinese with English abstract) [马凯, 王继勋, 卢春生, 闫鹏, 李世强, 王斐, 樊丁宇(2012). 不同防寒措施对南疆果树越冬温度指标的影响. *新疆农业科学*, 49 (2): 230–236]
- Pan RC, Wang XJ, Li NH (2012). *Plant Physiology*. 7th ed. Beijing: Higher Education Press, 219–225 (in Chinese) [潘瑞焱, 王小菁, 李娘辉(2012). *植物生理学*. 第7版. 北京: 高等教育出版社, 219–225]
- Qu YT, Xiong Y, Han H, Li Y, Zuo YH (2016). Physiological response to low temperature stress and comprehensive evaluation of cold resistance on different *Phlox* varieties. *Plant Physiol J*, 52 (4): 487–496 (in Chinese with English abstract) [曲彦婷, 熊燕, 韩辉, 李洋, 左豫虎(2016). 不同福禄考品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性综合评价. *植物生理学报*, 52 (4): 487–496]
- Ren B, Xiong RC, Chen XF, Huang YY (2013). Discussion on the occurrence reasons and control approaches of Korla fragrant pear freezing injury. *China Venture Capital*, (14): 189–190, 194 (in Chinese with English abstract) [任波, 熊仁次, 陈小飞, 黄妍妍(2013). 库尔勒香梨树冻害发生原因及防治途径探讨. *中国科技投资*, (14): 189–190, 194]
- Sa JY, Bai R, Sun ZH, Fan XM (2016). Changes of physiological indexes in Korla fragrant pear related to cold resistance during natural overwintering. *J Shihezi Univ (Nat Sci)*, 34 (2): 170–175 (in Chinese with English abstract) [撒俊逸, 白茹, 孙志红, 樊新民(2016). 自然越冬过程中库尔勒香梨抗寒性生理指标的变化. *石河子大学学报(自然科学版)*, 34 (2): 170–175]
- Su LY, Shao X, Li L, Ma YY (2013). Effects of different shelter forest planting patterns on cold resistance of Korla fragrant pear. *Shanxi Fruits*, (3): 9–10 (in Chinese) [苏柳芸, 邵昕, 李林, 马云英(2013). 不同防护林模式对库尔勒香梨冻害发生的影响. *山西果树*, (3): 9–10]
- Su LY, Yu Q, Yuan BZ, Li L (2010). The key technology measures to improving the cold resistance of Korla fragrant pear. *Shanxi Fruits*, (5): 21–23 (in Chinese) [苏柳芸, 于强, 袁必真, 李林(2010). 提高库尔勒香梨树抗冻能力的关键技术措施. *山西果树*, (5): 21–23]
- Sun BJ, Fan SP, Zhao XM (2006). Study on the appropriate fruit load and parameters of pear tree in arid and cold region. *J Inner Mongolia Agric Univ*, 27 (4): 87–90 (in Chinese with English abstract) [孙伯筠, 樊淑萍, 赵秀梅(2006). 干旱寒冷地区梨树适宜负载量及树体参数的研究. *内蒙古农业大学学报*, 27 (4): 87–90]
- Sun XX, Niu JX, Wang BH, Pei MS, Li CJ, Cao FJ (2015). Screening of differentially expressed genes in 'Korla fragrant pear' flower samples with persistent or deciduous calyx. *J Fruit Sci*, 32 (6): 1020–1027 (in Chinese with English abstract) [孙晓霞, 牛建新, 王博慧, 裴茂松, 李陈静, 曹福军(2015). '库尔勒香梨'脱萼组与宿萼组样品差异表达基因的筛选. *果树学报*, 32 (6): 1020–1027]
- Wang LR, Liu TZ (2010). Research progress on frost resistance and frost-resistant measures of fruit tree. *J Anhui Agric Sci*, 38 (18): 9483–9484 (in Chinese with English abstract) [王连荣, 刘铁铮(2010). 果树抗寒生理与防寒措施的研究进展. *安徽农业科学*, 38 (18): 9483–9484]
- Wang W, Li HX, Zhao MX, Cao SF (2015). Study on the cold resistance and the semilethal temperatures for seven pear cultivars. *J Fruit Sci*, 32 (5): 860–865 (in Chinese with English abstract) [王伟, 李红旭, 赵明新, 曹素芳(2015). 7个梨品种的低温半致死温度及耐寒性评价. *果树学报*, 32 (5): 860–865]
- Wang YJ (2015). The research of Korla fragrant pear on cold physiological changes of different exogenous hormone treatment [Master's thesis]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [王一静(2015). 不同外源激素处理对库尔勒香梨抗寒生理变化的研究(硕士论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Wang YJ, Karim Ali, Xiao K (2015). Effects of exogenous abscisic

- acid (ABA) on cold resistance of Korla fragrant pear. *Nonwood Forest Res*, 33 (3): 13–19 (in Chinese with English abstract) [王一静, 克热木·伊力, 肖坤(2015). 外源脱落酸处理对库尔勒香梨抗寒性的影响. *经济林研究*, 33 (3): 13–19]
- Wang YJ, Karim Ali, Xiao K (2014). Effects of exogenous GA<sub>3</sub> on cold resistance of Korla fragrant pear. *Hans J Agric Sci*, 4 (6): 123–131 (in Chinese with English abstract) [王一静, 克热木·伊力, 肖坤(2014). 外源赤霉素(GA<sub>3</sub>)对库尔勒香梨抗寒性的影响. *农业科学*, 4 (6): 123–131]
- Wu YX, He TM, Li J, Liu B, Ma SH, Zhou MX, Li FF (2012). Increasing cold hardness of Kuerle fragrant pear (*Pyrus bretschneideri*) by top-grafting. *Acta Agri Bot Bor-Occ Sin*, 21 (6): 129–133 (in Chinese with English abstract) [吴玉霞, 何天明, 李疆, 刘博, 马少红, 周梦新, 李芳芳(2012). 高位嫁接提高库尔勒香梨越冬性的初步研究. *西北农业学报*, 21 (6): 129–133]
- Xiao K (2014). Effects of Ca<sup>2+</sup> treatment improve cold resistance of Korla fragrant pear [Master's thesis]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [肖坤(2014). Ca<sup>2+</sup>对提高库尔勒香梨抗寒性的影响(硕士论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Xiao K, Karim Ali, Mahemuti Kari, Aihemaiti Abudureyimu (2013). Effects of different Calcium treatment on Korla fragrant pears (*Pyrus bretschneideri*) leaves Calcium absorption. *J Xinjiang Agric Univ*, 36 (1): 38–41 (in Chinese with English abstract) [肖坤, 克热木·伊力, 买合木提·卡热, 艾合买提·阿布都热依木(2013). 不同钙处理对库尔勒香梨叶片Ca<sup>2+</sup>吸收的影响. *新疆农业大学学报*, 36 (1): 38–41]
- Xiao K, Karim Ali, Wang YJ, Mahemuti Kari (2014). Research on improving cold resistance of different ages of Korla fragrant pear by CaCl<sub>2</sub> treatment. *Xinjiang Agric Sci*, 51 (2): 241–249 (in Chinese with English abstract) [肖坤, 克热木·伊力, 王一静, 买合木提·卡热(2014). CaCl<sub>2</sub>处理对不同树龄库尔勒香梨提高抗寒性的研究. *新疆农业科学*, 51 (2): 241–249]
- Xie YM, Yi GJ, Zhang QM (2003). Effects of Calcium in physiology and metabolism of fruit crops. *J Fruit Sci*, 20 (5): 369–373 (in Chinese with English abstract) [谢玉明, 易干军, 张秋明(2003). 钙在果树生理代谢中的作用. *果树学报*, 20 (5): 369–373]
- Xu C, Wang XM, Chen BL, Chai ZP, Ding K, Huo KL (2016). Research on the characteristics of soil nutrients in a 'Korla fragrant pear' orchard with different ages for the trees. *J Fruit Sci*, 33 (3): 275–282 (in Chinese with English abstract) [徐超, 王雪梅, 陈波浪, 柴仲平, 丁阔, 霍凯丽(2016). 不同树龄'库尔勒香梨'园土壤养分的特征. *果树学报*, 33 (3): 275–282]
- Yin ZL, Li XC (2009). Analysis of fruit tree freeze injury in Bazhou area. *Desert Oasis Meteor*, 3 (3): 55–58 (in Chinese with English abstract) [尹忠岭, 李晓川(2009). 巴州果树冻害的成因分析. *沙漠与绿洲气象*, 3 (3): 55–58]
- Yu Q, Kuang YJ (2008). The investigation and countermeasure of fruit trees freeze injury in Korlar. *J Tarim Univ*, 20 (3): 81–85 (in Chinese with English abstract) [于强, 匡玉疆(2008). 巴州果树冻害调查分析与对策. *塔里木大学学报*, 20 (3): 81–85]
- Yu Q, Li SQ (2016). Korla Fragrant Pear. Wujiaku, Xinjiang: Xinjiang Production & Construction Corps Press, 80–81 (in Chinese) [于强, 李世强(2016). 库尔勒香梨. 新疆五家渠: 新疆生产建设兵团出版社, 80–81]
- Yuan J, Wu TL, Chen D (2004). Effects of photoperiodic treatment on the endogenous hormones and dissociative amino acid of hyacinth. *J Shanghai Jiaotong Univ (Agric Sci)*, 22 (3): 215–220 (in Chinese with English abstract) [袁娟, 武天龙, 陈典(2004). 光周期对扁豆真叶内源激素及游离氨基酸含量的影响. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 22 (3): 215–220]
- Yue Y, Lu XY, Yang XJ, Liu Y, Yang YQ, Bai R, Ma BG, Wang L (2011). Cold resistance indexes identification of pear varieties. *J Shihezi Univ (Nat Sci)*, 29 (5): 551–556 (in Chinese with English abstract) [岳英, 鲁晓燕, 杨小娟, 刘艳, 杨玉琼, 白茹, 马兵钢, 王蕾(2011). 梨抗寒性生理指标的筛选. *石河子大学学报(自然科学版)*, 29 (5): 551–556]
- Zhang SM, Wu J, Shi YH, Zhang KY (2012). Winter freezing damage index and its effect to fragrant pear trees in Korla area. *Chin J Agrom*, 33 (3): 462–467 (in Chinese with English abstract) [张仕明, 吴钧, 史玉辉, 张克云(2012). 库尔勒香梨树冬季冻害指数及其变化特征分析. *中国农业气象*, 33 (3): 462–467]
- Zhao JM, Zhou H, Sun QZ, Guo Q, Li F (2009). Study on the influence of plant fatty acid desaturation on cold tolerance. *Pratac Sci*, 26 (9): 129–134 (in Chinese with English abstract) [赵金梅, 周禾, 孙启忠, 郭强, 李芳(2009). 植物脂肪酸不饱和性对植物抗寒性影响的研究. *草业科学*, 26 (9): 129–134]
- Zhao YJ, Wu XG, Ji CR (2011). Freezing injury of Korla fragrant pear and the risk distribution. *Desert Oasis Meteor*, 5 (1): 53–57 (in Chinese with English abstract) [赵勇军, 吴新国, 吉春容(2011). 库尔勒市香梨冻害及风险分布. *沙漠与绿洲气象*, 5 (1): 53–57]
- Zhou DJ, Niu JX, Pan XF (2004). Preventive and remedial measures to cold injury of Korla fragrant pear. *Anhui Agric Sci Bull*, 10 (6): 58–59 (in Chinese) [周多进, 牛建新, 潘新仿(2004). 库尔勒香梨的冻害预防与补救措施. *安徽农学通报*, 10 (6): 58–59]

## Research progress of cold resistance in Korla fragrant pear

WEI Jie<sup>1,2</sup>, JIANG Yuan<sup>2,\*</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>, MA Jian-Jiang<sup>2</sup>, LIN Cai-Xia<sup>2</sup>, ZHANG Qi<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Alar, Xinjiang 843300, China; <sup>2</sup>Agricultural Scientific Institute of 2nd Division of Xinjiang Production & Construction Corps, Tiemenguan, Xinjiang 841005, China; <sup>3</sup>College of Plant Sciences, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China

**Abstract:** Korla fragrant pear (*Pyrus sinkiangensis* Yu) is an excellent pear variety with local characteristics in Xinjiang, its cultivation demands a specific regional environment, and it plays an important role in the development of Xinjiang characteristic forestry and fruit industry. Low temperature freezing injury is the main factor which limits the development of Korla fragrant pear industry. Extensive researches have been carried out to study on the physiological and biochemical response mechanism of Korla fragrant pear under low temperature conditions and some achievements have been obtained. Based on the previous studies, the reasons of freezing injury, freezing symptoms and physiology and biochemistry characteristics were systematically reviewed in this paper, the cold-resistant measures of Korla fragrant pear was presented, and the related research work in the future was also involved.

**Key words:** Korla fragrant pear; freezing injury; cold resistance; research progress

---

Received 2017-01-10 Accepted 2017-04-18

This work was supported by the Open Projects of Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin (Grant No. BRYB1601), Agricultural Science and Technology Key Projects Programs of 2nd Division of Xinjiang Production & Construction Corps of Tiemenguan (Grant No. 2014NYGG13), Science and Technology Support Project Programs of Xinjiang Production & Construction Corps (Grant No. 2014AB003), and Science and Technology Support Project Programs of Hebei Province (Grant No. 12246803D).

\*Corresponding author (E-mail: 360315184@qq.com).