

宁夏主要果树花器官及幼果霜冻临界温度比较研究

王 静^{1,2}, 张晓煜^{1,2}, 杨 洋³, 李红英^{1,2}, 卫建国^{1,2}, 朱永宁^{1,2}

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象科学研究所, 宁夏 银川 750002;

3. 惠农区气象局, 宁夏 石嘴山 753600)

摘 要:以宁夏主要果树苹果、梨、杏、李子不同花器官及幼果为试材,利用能够准确模拟霜冻降温过程的模拟霜箱,研究其花期及幼果期过冷却点和结冰点,比较不同果树及同一果树不同器官抗寒性及受霜冻的临界温度,为果园霜冻监测、预报预警及霜冻防御提供参考。结果表明:苹果、李子幼果的抗寒性明显差于花器官。苹果开花期各器官的抗寒性从强到弱为子房>花蕾;李子花器官(花蕾、子房)之间抗寒性差异不大,明显强于叶片和幼果;梨和杏各主要器官抗寒性从强到弱为花蕾>幼果>子房。宁夏苹果、梨、杏和李子蕾期和花期若遇低于-5.2℃的低温将可能全部受冻,幼果遇低于-4.4℃的低温,则幼果将全部受冻。3个品种的李子花器官抗寒性从强到弱为‘红美丽’>‘尤萨’>‘龙园秋李’;幼果抗寒性从强到弱为‘龙园秋李’>‘红美丽’>‘尤萨’。2个杏品种在花期‘金太阳’比‘李梅杏’的耐冻性强,幼果期‘金太阳’的耐冻性弱于‘李梅杏’。

关键词:果树;花器官;幼果;过冷却点;结冰点;抗寒性

中图分类号:S 944.59 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)07-0009-05

霜冻是宁夏仅次于干旱的主要的农业气象灾害之一,尤其是发生于经济林果开花期的晚霜冻害往往给经济林果造成的损失巨大。2010年底,宁夏经济林总面积已逾27万hm²,是农民增收的新的增长点。一次霜冻对

第一作者简介:王静(1987-),女,宁夏平罗人,硕士,助理工程师,研究方向为农业气象灾害及气候变化对作物的影响。E-mail: wj1987.011@163.com.

责任作者:张晓煜(1968-),男,博士,研究员,现主要从事农业气候资源利用及农业气象灾害等研究工作。E-mail: zhang_xyne@163.com.

基金项目:公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201206023)。

收稿日期:2014-11-10

不同果树造成的损失不同,同种果树不同发育器官的抗寒能力也有差异,因此研究宁夏不同果树及同一果树不同器官的抗低温能力,为进一步研究果树霜冻指标、霜冻预报预警及果园霜冻防御提供参考依据。Proebsting等^[1]利用低温冰箱设置不同的低温研究苹果、梨、桃等果树开花期不同发育阶段其10%和90%受冻的临界温度。通过低温冰箱设置一定的低温处理后分析果树器官褐变率,电导率、丙二醛等生理指标的变化,比较不同果树的抗寒性方面研究较多^[2],且主要集中于杏的研究^[3-6],关于苹果、梨等尚鲜见报道,且同一果树在不同地区的抗寒性也有差异。通过植物生理指标的变化来间接确定植物抗寒性的强弱,由于受试验条件控制等差

effect of water stress on photosynthetic characters of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) were studied. The research's aims were to reveal the relationship between drought tolerance and photosynthetic traits, in order to provide the advantage of drip irrigation technology in local pepper cultivation in Xinjiang province. The results showed that when the plants under condition W2, net photosynthetic accumulation, light saturation point, carboxylation efficiency (CE), apparent photosynthetic quantum efficiency(Φ), CO₂ saturation point, photochemical quantum efficiency(Φ PSII) and photochemical quenching coefficient(qP) were higher; but light compensation point, CO₂ compensation point and non-photochemical quenching coefficient(NPQ) were lower than two other conditions. In addition, as the continuance of the growth period and with different amount of watering, intercellular CO₂ concentration(Ci), stomata conductance(Gs), transpiration rate (E) and Pn changed. In conclusion, more or less irrigation was bad for photosynthesis and chlorophyll fluorescence, therefore, the irrigation throughout the whole growing period of chili pepper should be regulated.

Keywords: chili pepper; water; photosynthesis; chlorophyll fluorescence

异,试验误差较大^[7],虽能比较果树花器官的抗寒性但是不能给出果树不同器官受冻的临界温度。过冷却点是描述植物抗寒能力强弱的重要指标,测试简单,得出的数据可靠^[5,8-9],前人通过研究杏不同器官及草莓不同发育阶段的过冷却点对比了其抗寒性^[8,10]。苹果、梨、杏、李是宁夏最容易遭受晚霜冻的经济林果,一次霜冻过程后,苹果、梨、杏、李等果树的受冻情况也是关注的重点,因此,该试验拟利用能够准确模拟霜冻天气降温过程的模拟霜箱,研究宁夏苹果、梨、杏、李花期不同花器官及幼果的过冷却点和结冰点,比较同一果树代表性品种不同器官的抗寒性和同一器官不同果树的抗寒性,并给出4种果树代表性品种不同器官受冻的临界温度,为深入研究果树花期、幼果期霜冻指标及探索霜冻机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2012—2013年4—5月果树蕾期、盛花期及幼果期在宁夏河东生态园艺试验中心开展,2014年又做了部分补充试验。分别选择宁夏春季果树开花期易遭受霜冻害的苹果、梨、李子、杏4种果树(‘富士’苹果、‘玛瑙’梨、‘红美丽’李子、‘李梅杏’),品种差异试验以3个不同品种李子(‘红美丽’、‘龙园秋李’和‘尤萨’)和2个不同品种杏(‘李梅杏’和‘金太阳’)为试验材料,树龄为10年左右。

试验仪器采用中国农业科学院开发的以PID调节方式控温的MSX-2F型模拟霜箱系统。该系统共包括数据采集系统和人工模拟自然降温气候室2个部分。该模拟霜箱系统能够按照预先设定的温度变化模拟霜冻降温过程。模拟霜箱内有40只TC-40C型热电偶温度传感器用于监测试验材料的温度变化,以1只放置在模拟箱中心的温度控制传感器采集的温度为标准控制试验箱温度。模拟霜箱的控制精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。数据采集系统将监测到的数据存储起来并显示到屏幕上可对试验过程中箱内温度变化进行实时监测。

1.2 试验方法

于盛花期、幼果期选择长势相似的同一种果树、同一品种花枝为试验材料,将热电偶温度传感器探头安置在花枝的待测部位上,分别选择盛花期同一枝条上的花蕾(所测温度为花蕾内部的温度)、全开花朵的花瓣、子房和叶片及幼果期的幼果进行测定(每个器官共5次重复),温度传感器与TC-40数据采集记录软件相连可以连续采集和记录40组数据,时间间隔设置为10s。首先以 $5^{\circ}\text{C}/0.5\text{h}$ 降温到 1°C ,再以 $1^{\circ}\text{C}/0.5\text{h}$ 的速度降温到 -10°C 时采用自然升温过程升温。通过分析组织表面温

度变化,绘制温度变化曲线并确定过冷却点和结冰点。

0°C 是水的液相与固相的平衡点,称为冰点。水在 0°C 以下仍能保持液体状态,这种现象叫过冷却作用(Supercooling)^[11]。随着霜箱中温度降低到 0°C 以下时,花器官溶液并不结冰而是开始进入过冷却状态,处于过冷却状态的组织不受伤害,当温度继续下降到低于植物组织自身能抵御的最低温度(过冷却点T1)时,花器官开始结冰释放潜热,温度突然骤升(T1),该温度骤升的起点温度为过冷却点T1。回升到一定温度后,冰晶核形成,温度不再上升,晶体增长,放热与吸热处于平衡状态,此时温度即结冰点T2(图1),T1到T2的时间为整个结冰过程所用的时间^[8,12-13]。

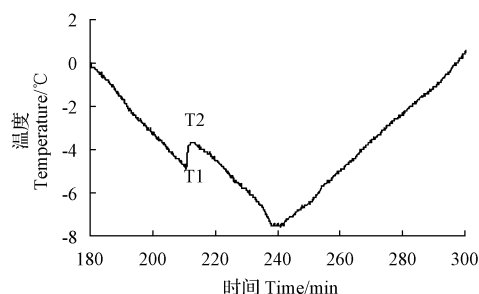


图1 组织温度变化曲线

Fig. 1 Variation curve of tissue temperature

1.3 数据分析

采用DPS统计软件对数据进行分析,采用Duncan分析方法进行多重比较。试验结果均为多次重复的平均值 \pm 标准误。

2 结果与分析

2.1 果树花器官(花瓣、子房、花蕾)、叶片及幼果过冷却点及结冰点

表1为苹果、梨、李子和杏盛花期的花器官、叶片及幼果的过冷却点及结冰点多次测试的平均值。4种果树过冷却点平均在 $-2.9\sim-5.2^{\circ}\text{C}$,结冰点在 $-2.6\sim-4.0^{\circ}\text{C}$;花蕾过冷却点在 $-3.7\sim-5.2^{\circ}\text{C}$,结冰点在 $-3.1\sim-4.0^{\circ}\text{C}$,过冷却点和结冰点从低到高分别为李<苹果、梨<杏;子房的过冷却点平均在 $-5.1\sim-3.0^{\circ}\text{C}$,结冰点在 $-4.4\sim-2.6^{\circ}\text{C}$,苹果和李子最低、其次为梨,最后为杏;幼果过冷却点梨、苹果、杏、李子平均分别为 -4.4 、 -3.9 、 -3.3 、 -3.1°C ,从低到高是梨<苹果<杏<李子。

其中,苹果花蕾、子房、幼果过冷却点分别为 -4.9°C 、 -5.1°C 和 -3.9°C ,各处理间差异显著($P<0.05$),尤其是幼果与子房和花蕾差异达极显著水平($P<0.01$),说明苹果各器官的耐冻性从强到弱分别为子房>花蕾>幼果,花蕾、子房遇低于 -5.1°C 的低温将会致死,幼果遇 -3.9°C 的低温将会严重受冻。

表 1

果树花器官、叶片及幼果过冷却点及结冰点

Table 1

Supercooling point and freezing point in flowers, leaf and young fruits

℃

项目 Items	发育期 Developmental stage	器官 Organ	苹果 Apple	梨 Pear	李子 Plum	杏 Apricot
过冷却点 Supercooling point/℃	盛花期 Full-bloom stage	花蕾 Flower bud	-4.9±0.07 bcB	-4.9±0.02 cB	-5.2±0.17 cC	-3.7±0.02 bB
		花瓣 Petal	-4.8±0.03 bB	-3.9±0.04 aA	-5.0±0.19 cC	-2.9±0.06 aA
		子房 Ovary	-5.1±0.03 cB	-3.9±0.05 aA	-5.0±0.21 cC	-3.0±0.03 aA
		叶片 Leaf	-4.9±0.07 bB	-4.9±0.06 cB	-4.1±0.03 bB	—
结冰点 Freezing point/℃	幼果期 Young fruit stage	幼果 Fruitlet	-3.9±0.03 aA	-4.4±0.25 bAB	-3.1±0.12 aA	-3.3±0.06 bB
		花蕾 Flower bud	-4.0±0.18 bB	-3.9±0.18 bC	-4.0±0.17 bB	-3.1±0.13 bA
	盛花期 Full-bloom stage	花瓣 Petal	-4.5±0.19 cB	-3.1±0.18 aAB	-4.2±0.28 bB	-2.6±0.09 aA
		子房 Ovary	-4.4±0.09 cB	-2.6±0.15 aA	-3.8±0.12 bB	-2.8±0.05 aA
		叶片 Leaf	-4.1±0.07 bcB	-3.6±0.07 bBC	-3.5±0.09 bAB	—
	幼果期 Young fruit stage	幼果 Fruitlet	-3.1±0.03 aA	-2.6±0.10 aA	-2.6±0.07 aA	-2.7±0.08 aAB

注:同列数字后不同大、小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平。下同。

Note: Different capital and lowercase letters after data within the same column show significant difference at 0.01 and 0.05 levels. The same as below.

梨盛花期及幼果期各器官过冷却点在-4.9~-3.9℃之间,其中花蕾过冷却点和结冰点最低,其次是幼果,子房过冷却点和结冰点高于花蕾和幼果,且差异达极显著水平($P<0.01$)。说明梨各器官的耐冻性从强到弱为花蕾>幼果>子房,梨盛花期、幼果期遭受严重霜冻的临界温度分别为-4.9℃和-4.4℃。

杏盛花期及幼果期各器官过冷却点和结冰点平均在-3.7~-3.0℃和-3.1~-2.7℃之间,过冷却点和结冰点最低的是花蕾,与子房差异达极显著水平($P<0.01$),最不耐冻的为子房,过冷却点-3.0℃,幼果处于花蕾和子房中间;杏花期花蕾、盛花期花朵、幼果期幼果分别在遇到-3.7、-3.0、-3.3℃的低温严重受冻。

李子盛花期及幼果期代表器官过冷却点和结冰点平均在-5.2~-3.1℃和-4.0~-2.6℃之间,花蕾和子房之间差异不显著,极显著低于幼果,比幼果低 1.9~2.1℃。说明李子各花器官之间的耐冻性差异不大,显

著强于幼果。梨盛花期花蕾、盛花期花朵、幼果期幼果遭受严重霜冻的临界温度分别为-5.2、-5.0、-3.1℃。

综上所述,苹果、李子都是幼果的过冷却点最高,平均分别为-3.9℃和-3.1℃,且与其它花器官及叶片之间差异达极显著水平($P<0.01$),意味着苹果、李子幼果比花器官的耐冻性差。而梨和杏的耐冻性都是花蕾>幼果>子房。

2.2 不同品种李花器官(花瓣、子房、花蕾)及幼果过冷却点及结冰点

同一果树的不同品种其耐低温能力也有差异。对宁夏 3 个李品种盛花期花瓣和子房的过冷却点和结冰点研究表明,‘红美丽’和‘尤萨’花瓣和子房的过冷却点及结冰点并无显著差异,‘龙园秋李’花瓣的过冷却点和结冰点显著低于子房,说明‘红美丽’和‘尤萨’花瓣的耐冻性和子房差异不大,而‘龙园秋李’花瓣的耐冻性却强于子房。

表 2

不同品种李花器官及幼果过冷却点及结冰点

Table 2

Supercooling point and freezing point in three culture plum of flowers organs and young fruits

℃

项目 Items	发育期 Developmental stage	器官 Organ	‘红美丽’ ‘Hongmeili’	‘龙园秋李’ ‘Longyuan Qiuli’	‘尤萨’ ‘Yousa’
过冷却点 Supercooling point/℃	蕾期 Bud stage	花蕾 Flower bud	-5.2±0.17 bB	-3.4±0.03 aA	-3.6±0.08 bB
	盛花期 Full-bloom stage	花瓣 Petal	-5.0±0.19 bB	-5.2±0.05 cC	-3.7±0.07 bB
		子房 Ovary	-5.0±0.21 bB	-3.5±0.00 aA	-3.8±0.07 bB
	幼果期 Young fruit stage	幼果 Fruitlet	-3.1±0.12 aA	-4.4±0.07 bB	-3.0±0.04 aA
结冰点 Freezing point/℃	蕾期 Bud stage	花蕾 Flower bud	-4.0±0.17 bB	-2.7±0.09 aA	-3.2±0.09 bB
	盛花期 Full-bloom stage	花瓣 Petal	-4.2±0.28 bB	-4.6±0.26 bB	-3.2±0.07 bB
		子房 Ovary	-3.8±0.12 bB	-2.9±0.09 aA	-3.3±0.15 bB
	幼果期 Young fruit stage	幼果 Fruitlet	-2.6±0.07 aA	-2.7±0.07 aA	-2.4±0.10 aA

对宁夏 3 个李品种代表性器官的过冷却点研究表明,‘红美丽’和‘尤萨’的花蕾、子房过冷却点和结冰点差异不显著,且极显著高于幼果($P<0.01$),‘红美丽’花蕾和子房过冷却点平均值在-5.0~-5.2℃之间,比幼果

低 1.9~2.1℃。‘尤萨’过冷却点平均为-3.6~-3.8℃,比幼果低 0.6~0.8℃。即‘红美丽’和‘尤萨’花器官的耐冻性明显强于幼果。‘龙园秋李’的表现不同于其它 2 个品种,花蕾、子房的过冷却点和结冰点差异

不显著,但是极显著高于幼果($P<0.01$),花蕾和子房的过冷却点比幼果高 $0.9\sim 1.0^{\circ}\text{C}$,即‘龙园秋李’的幼果耐冻性强于花器官。

花蕾和子房的过冷却点和结冰点平均值以‘红美丽’最低,其次为‘尤萨’和‘龙园秋李’,即花器官(花蕾和子房)耐冻性从强到弱为‘红美丽’ $>$ ‘尤萨’ $>$ ‘龙园秋李’。幼果过冷却点为‘龙园秋李’最低为 -4.4°C ,其次为‘红美丽’和‘尤萨’,即幼果耐冻性‘龙园秋李’最强。

表 3 不同品种杏花器官及幼果过冷却点及结冰点

Table 3 Supercooling point and freezing point in three culture apricot of flowers organs and young fruits $^{\circ}\text{C}$

项目 Items	发育期 Developmental stage	器官 Organ	‘李梅杏’ ‘Limeixing’	‘金太阳’ ‘Jintaiyang’
过冷却点 Supercooling point/ $^{\circ}\text{C}$	蕾期 Bud stage	花蕾 Flower bud	-3.7 ± 0.02 cC	-4.4 ± 0.13 bB
	盛花期 Full-bloom stage	花瓣 Petal	-2.9 ± 0.06 aA	-4.6 ± 0.04 bB
		子房 Ovary	-3.0 ± 0.03 aA	-4.6 ± 0.17 bB
	幼果期 Young fruit stage	幼果 Fruitlet	-3.3 ± 0.06 bB	-2.8 ± 0.07 aA
结冰点 Freezing point/ $^{\circ}\text{C}$	蕾期 Bud stage	花蕾 Flower bud	-3.1 ± 0.13 bB	-4.0 ± 0.13 bB
	盛花期 Full-bloom stage	花瓣 Petal	-2.6 ± 0.09 aA	-4.1 ± 0.11 bB
		子房 Ovary	-2.8 ± 0.05 aAB	-3.8 ± 0.11 bB
	幼果期 Young fruit stage	幼果 Fruitlet	-2.7 ± 0.08 aAB	-2.2 ± 0.19 aA

3 讨论

苹果、梨、李子、杏是宁夏的主要经济林果,通过对比 4 种果树花蕾、子房及幼果的过冷却点而比较其耐低温能力可为霜冻结束后各种果树受冻程度的损失评估提供参考。4 种果树花蕾过冷却点和结冰点从低到高分别为李 $<$ 苹果、梨 $<$ 杏,因此花蕾的耐冻性从强到弱依次为李子 $>$ 苹果、梨 $>$ 杏;4 种果树子房的过冷却点平均在 $-5.1\sim -3.0^{\circ}\text{C}$ 之间,结冰点在 $-4.4\sim -2.6^{\circ}\text{C}$ 之间,苹果和李子最低、其次为梨,最后为杏,即耐冻性从强到弱为:苹果、李子 $>$ 梨 $>$ 杏。4 种果树幼果的耐冻性最强的是梨,其次为苹果,最差的是杏和李子。宁夏苹果、梨、杏和李子在花期若遇低于 -5.2°C 的低温,将可能全部受冻;花蕾初期无盛开花受冻,则杏受冻最严重,李子受冻最轻;同为盛花状态则杏受冻最严重,苹果受冻最轻;幼果期遇低于 -4.4°C ,则幼果将全部受冻,且杏和李子受冻最严重。但是同一果园,栽培的树种不同、同一树种的品种不同遭受霜冻的概率和程度也不同^[13]。李子不同品种过冷却和结冰点研究发现,‘红美丽’和‘尤萨’花蕾与子房的耐冻性差异不显著且比幼果耐冻,而‘龙园秋李’的幼果耐冻性则强于花器官,说明耐冻性品种间差异较大。

前人对果树过冷却点及抗寒性的研究主要集中在

2.3 不同品种杏花器官(花瓣、子房、花蕾)及幼果过冷却点及结冰点

由表 3 对宁夏 3 个李品种盛花期花瓣和子房的过冷却点和结冰点研究表明,‘李梅杏’花器官的过冷却点在 $-3.7\sim -2.9^{\circ}\text{C}$ 之间,‘金太阳’的过冷却点在 $-4.6\sim -4.4^{\circ}\text{C}$ 之间,‘金太阳’各花器官间过冷却点并无显著差异,明显高于幼果。‘金太阳’的花器官过冷却点都低于‘李梅杏’,说明花期‘金太阳’比‘李梅杏’的耐冻性强。幼果期‘金太阳’的过冷却点和结冰点高于‘李梅杏’,说明幼果期‘金太阳’的耐冻性弱于‘李梅杏’。

杏树上,该研究通过能够准确模拟自然霜冻降温过程的人工霜冻模拟箱模拟一定的降温过程研究苹果、梨、李、杏不同发育阶段花器官及幼果的过冷却点和结冰点,分析同一果树不同器官的抗寒性及受冻的临界温度,同时也分析了同一器官,不同果树的抗寒性及受冻临界温度,可为霜冻损失评估提供参考,为了比较不同果树同一器官的抗寒性,每种果树只选取了 1 个品种作为代表,虽然不能代表整个果树的情况,但研究结果对于把握各种果树耐低温能力仍具有一定的参考价值。

由于核果类和仁果类果树霜冻发生后,雄蕊(花药)受冻,柱头、花柱和子房正常,还可以通过人工授粉来完成,即使柱头、花柱受冻,但已经完成授粉只要子房正常,还可以继续生长,如果柱头、花柱正常,子房受冻,花朵将不能完成授粉和结果,因此该研究选择子房作为盛花期较重要的花器官和蕾期的花蕾及幼果期的幼果进行了抗寒性比较并确定了遭受严重霜冻的临界温度。

果树霜冻是一个非常复杂的生理过程,对霜冻害的忍耐力受发育阶段、低温强度、持续时间、管理水平、树龄、品种等因素共同影响,因此需要进一步研究同一果树不同品种的过冷却点及结冰点,分析其不同品种的耐冻性。加上该研究对比分析果树过冷却点和结冰点时仅选了一个品种,霜冻发生时果树所处的发育期也不完全相同,在运用研究成果对霜冻损失进行评估时应根据具体情况进行分析。

最后值得注意的是,植物过冷却点测试的温度是植物体温的变化,而实际生产中所用的气温是 1.5 m 百叶箱的温度,在应用研究结果时需要考虑植物体温和气温的对应关系。

梨、杏和李盛花期,花瓣和子房的耐低温能力差异不显著,苹果子房明显比花瓣耐冻。苹果花器官的耐冻性从高到低分别为子房>花蕾且显著强于幼果;李各花器官之间的耐冻性差异不大,显著强于幼果和叶片;梨和杏的耐冻性都是花蕾>幼果>子房。

宁夏苹果、梨、杏和李子花期若遇低于 -5.2°C 的低温,将可能全部受冻。若宁夏苹果、梨、杏和李子幼果遇低于 -4.4°C 的低温,则幼果将全部受冻,且杏和李子受冻最严重。

3个李子品种中,‘红美丽’和‘尤萨’花器官的耐冻性明显强于幼果,‘龙园秋李’的幼果耐冻性强于花器官;花器官(花蕾和子房)耐冻性从强到弱为‘红美丽’>‘尤萨’>‘龙园秋李’,幼果耐冻性‘龙园秋李’最强。2个杏品种中,花期‘金太阳’比‘李梅杏’的耐冻性强,幼果期‘金太阳’的耐冻性弱于‘李梅杏’。

(该文作者还有田磊,单位同第一作者。)

参考文献

[1] Proebsting E L Jr, Mills H H. Low temperature resistance of developing

flower buds of six deciduous fruit species[J]. Journal American Society Horticultural Science, 1978, 103: 192-198.

[2] 李盼华,石丽环,沙翠云,等. 10种早春开花植物花器官抗寒临界温度比较研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 98-102.

[3] 吉国强,姚月俊,杨秀清,等. 3个杏品种花器官抗霜性的比较[J]. 中国果树, 2007(4): 10-12.

[4] 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.

[5] 孟庆瑞,徐秀英,杨建民,等. 杏花器官抗寒性初步研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(3): 22-25.

[6] 李捷,王有科. 四个杏品种抗寒性的比较研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(1): 37-40.

[7] 祁娇娇,崔如海,李宝国,等. 5个核桃品种结果母枝过冷却点及结冰点的研究[J]. 林业实用技术, 2012(11): 13-16.

[8] 孟庆瑞,王文凤,梁隐泉,等. 杏品种花器官过冷却点及结冰点的研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(4): 1128-1133.

[9] 李志勇,薛运波,王志,等. 东西方蜜蜂越冬期过冷却点的测试及过冷却点与越冬性能的关系[J]. 蜜蜂杂志, 2006(11): 23-24.

[10] 钟秀丽,王道龙,饶敏杰,等. 草莓开花期发生霜害的温度[J]. 植物学通报, 2005(5): 50-55.

[11] 孙福在,赵廷昌. 冰核细菌生物学特性及其诱发植物霜冻机理与防霜应用[J]. 生态学报, 2003(2): 118-127.

[12] 刘晓静,石萌,马纪. 小胸鳖甲各龄期幼虫过冷却点的测定[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(6): 1080-1085.

[13] 冯玉香,何维勋. 霜冻的研究[M]. 北京:气象出版社, 1996.

Comparative Study of Critical Temperature Suffering Frost of Floral Organs and Young Fruit of the Main Fruit Trees in Ningxia Province

WANG Jing^{1,2}, ZHANG Xiao-yu^{1,2}, YANG Yang³, LI Hong-ying^{1,2}, WEI Jian-guo^{1,2}, ZHU Yong-ning^{1,2}, TIAN Lei^{1,2}

(1. Ningxia Key Lab for Meteorological Disaster Prevention and reduction, Yinchuan, Ningxia 750002; 2. Ningxia Meteorological Science Institute, Yinchuan, Ningxia 750002; 3. Meteorological Bureau of Huinong, Shizuishan, Ningxia 753600)

Abstract: The floral organs and young fruits of main fruit trees (apple, pear, apricot and plum) in Ningxia were used as test materials, and treated to comparative cold resistance and critical temperature suffering frost by finding out the super cooling point and freezing point using an artificial climate chamber. The objective of the study was to provide effective reference for frost forecast, monitoring, early-warming, as well as disaster prevention. The results showed that, for the apple and plum, the cold resistance of young fruit was weaker than the flower organs. The order of cold resistance of apple organs in bud stage full-bloom stage was ovary>flower bud. There was no significant difference between the floral organs (flower bud and ovary) in plum about cold resistance, but floral organs were stronger than the leaf and young fruit. When in budding and flowering stage of apple, pear, apricot and plum met low temperature below -5.2°C , and young fruit met low temperature below -4.4°C , would suffer frost. The order of cold resistance of floral organs of plum was ‘Hongmeili’>‘Yousa’>‘Longyuan Qiuli’ and young fruit was ‘Longyuan Qiuli’>‘Hongmeili’>‘Yousa’. The order of cold resistance of young fruit of plum was ‘Longyuan Qiuli’>‘Hongmeili’>‘Yousa’. The order of cold resistance of floral organs in two culture apricot was ‘Jintaiyang’>‘Limeixing’ and young fruit was ‘Limeixing’>‘Jintaiyang’.

Keywords: fruit tree; floral organs; young fruit; supercooling point; freezing point; cold resistance