

不同外源激素对李花抗寒性及 相关生理指标的影响

李学玲¹, 庞海颖¹, 牛东伟², 任士福¹, 李彦慧²

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北 保定 071000)

摘 要:以“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”4个李品种为试材,以喷水处理为对照,研究了喷施适宜浓度的外源水杨酸(SA)或脱落酸(ABA)对-2℃低温处理4h后4个品种的李花抗寒性及相关生理指标的影响。结果表明:0.20 mmol·L⁻¹ SA、0.15 mmol·L⁻¹ SA、50 mg·L⁻¹ ABA、20 mg·L⁻¹ ABA可以分别显著降低“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”的过冷却点温度,提高李花的抗寒性;对“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”4个李品种分别喷施适宜浓度的激素,低温胁迫下4个品种电解质外渗率比对照依次降低了32.19%、15.82%、40.60%、35.52%;丙二醛(MDA)含量比对照依次降低了5.46%、5.11%、17.98%、9.40%,O₂⁻产生速率比对照依次降低了10.24%、32.44%、7.67%、53.09%;H₂O₂含量比对照依次降低了19.99%、53.15%、30.17%、24.04%。喷施适宜浓度的外源SA、ABA可以减弱低温胁迫下李花的膜质过氧化作用,降低低温对细胞膜的破坏,从而一定程度上提高李花的抗寒性。

关键词:李花;低温胁迫;外源激素;抗寒性

中图分类号:S 662.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)11-0017-06

李(*Prunus salicina* Lindl.)属蔷薇科(Rosaceae)李亚科(Prunoideae)李属(*Prunus*)植物,原产于我国长江流域,栽培历史悠久,栽培面积广阔^[1]。李不仅

含有多种人体健康不可或缺的营养成分,还能很好地调节鲜果市场的供给状况。早熟品种晚于樱桃、草莓成熟,极大的丰富了水果市场;晚熟品种贮藏性好,经过贮藏可供应到春节,从而丰富了冬季水果淡季市场,保障了水果市场的多样化^[2]。但李树春季开花较早,花期易遭受晚霜危害而导致减产甚至绝收,花期霜冻给生产带来了巨大损失,制约了李的生产发展。

近年来人们在研究如何提高植物的抗寒性时发现,向植物施加外源激素(如ABA、SA等)能够提高植物的抗寒性。脱落酸(abscisic acid, ABA)是抗寒基因表达的启动因素,能够调控植物的抗寒力^[3]。

第一作者简介:李学玲(1991-),女,硕士研究生,研究方向为经济林栽培生理。E-mail:1556770793@qq.com.

责任作者:李彦慧(1971-),女,河北易县人,博士,教授,现主要从事经济林栽培生理等研究工作。E-mail:YanHuili01@163.com.

基金项目:公益性行业(农业)科研专项资助项目(201003058-5);河北省科技支撑资助项目(16236802D)。

收稿日期:2017-02-09

seven different grape varieties, the wide variation were among the seven grape varieties with variation coefficient between 4.43% and 73.30%; correlation analysis showed that they had certain correlation, in addition to the differences between each quality trait; principal component analysis showed that 12 quality traits could be integrated into three principal components, the cumulative contribution rate of the three principal components reached 90.07%, the variation of grape quality characteristics were relative abundance, the cumulative contribution rate was relatively concentrated, 12 indexes were the main characteristics to evaluate the grape fruit quality.

Keywords: grape; fruit quality; principal component analysis

适当浓度的外源 ABA 能提高仁用杏、茶树、香蕉、荔枝、甘蔗、库尔勒香梨等多种植物的抗寒性^[4-9]。水杨酸(salicylic acid, SA)作为内源信号分子不仅可以激活植物过敏反应,还对植物系统获得性抗性有重要的作用^[10]。适宜浓度的 SA 可提高植物的抗寒力,在桃、西瓜、杏、香蕉、烟草、小麦等植物上均得到了证明^[11-16]。可见激素与植物的抗寒性密切相关,但目前关于外源激素对低温胁迫下李花抗寒性的影响尚鲜见报道。因此,该试验通过对“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”4 个李品种的花喷施适宜浓度的 SA 或 ABA 溶液,分析其对低温胁迫下李花过冷却点温度、膜透性和膜质过氧化作用的影响,进而探讨外源 SA、ABA 对李花抗寒性的影响,以期为李树花期霜冻害的防治提供具体措施和参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2016 年 3 月中下旬在河北省保定市易县中独乐试验基地选择 15 年生“大石早生”、15 年生“安哥诺”、9 年生“黑宝石”、7 年生“李王”作为供试材料,在显蕾期分别从树冠中部东、南、西、北 4 个方向采取 1 年生花枝,实验室水培。

1.2 试验方法

1.2.1 利用过冷却点温度进行外源 SA、ABA 浓度的筛选试验处理 将各品种的花枝放在盛有 0.05、0.10、0.15、0.20、0.50 mmol · L⁻¹ SA 和 10、15、20、30、50 mg · L⁻¹ ABA 的水溶液烧杯中进行溶液培养加喷施处理,每品种每处理 5 个花枝,3 次重复,以清水处理为对照。在常温下每隔 2 h 喷施 1 次,喷施至花枝及花蕾湿润为止,共喷施 2 次。之后转入能够准确模拟自然霜夜降温过程的 MSX-2F 人工霜箱内,参照孟庆瑞^[17]的方法测定各处理的过冷却点温度。

表 1 不同浓度外源 SA 处理对李花过冷却点温度的影响

Table 1 Effects of different concentrations of SA treatment on the super cooling point in plum flower

SA 浓度 SA concentration /(mmol · L ⁻¹)	“大石早生” <i>Prunus salicina</i> ‘Oishiwas’	“安哥诺” <i>Prunus salicina</i> ‘Angeleno’	“黑宝石” <i>Prunus salicina</i> ‘Fraier’	“李王” <i>Prunus salicina</i> ‘Liwang’
0.00(CK)	-3.2±0.059 5bB	-3.2±0.162 2cC	-3.2±0.062 6deCD	-3.4±0.057 9cB
0.05	-2.2±0.000 0aA	-3.1±0.125 2cC	-3.3±0.117 3eD	-3.2±0.116 9bB
0.10	-2.4±0.000 0aA	-3.0±0.060 cC	-2.6±0.062 4bAB	-2.7±0.210 0aA
0.15	-3.2±0.059 5bB	-3.5±0.245 3dD	-3.1±0.060 7dC	-3.2±0.123 3bcB
0.20	-3.7±0.311 3cC	-2.2±0.062 6aA	-2.7±0.102 6cB	-3.5±0.057 9cB
0.50	-3.1±0.217 5bB	-2.6±0.104 0bB	-2.4±0.000 0aA	-3.5±0.210 8cB

注:各列不同字母表示差异显著($\alpha=0.05$, A=0.01)。下同。

Note: Different letters in columns show the significant differences($\alpha=0.05$, A=0.01). The same below.

1.2.2 适宜浓度外源 SA、ABA 处理 将各品种花枝放入与其相对应最适浓度激素(“大石早生”0.20 mmol · L⁻¹ SA、“安哥诺”0.15 mmol · L⁻¹ SA、“黑宝石”50 mg · L⁻¹ ABA、“李王”20 mg · L⁻¹ ABA,试验确定的适宜浓度)的烧杯中,进行溶液培养和喷施,每品种每处理 5 个花枝,3 次重复,喷施方法见 1.2.1。之后转入人工霜箱内,1.5 h 降到 0 ℃,之后以 1 ℃/0.5 h 的速度降温,降至 -2 ℃后保持 4 h。取出材料后立即摘取全部李花,用于生理指标的测定。

1.3 项目测定

电解质外渗率测定参照孟庆瑞^[17]的方法。MDA 含量测定参照赵世杰等^[18]的方法。H₂O₂ 含量测定采用林植芳等^[19]的方法。O₂⁻ 产生速率的测定采用王爱国等^[20]的方法。

1.4 数据分析

采用 Excel 和 DPS 软件对试验数据进行统计分析绘图处理。

2 结果与分析

2.1 外源 SA、ABA 浓度的筛选

由表 1 可知,喷施不同浓度的 SA 处理对李花过冷却点温度的影响不同。0.05、0.10 mmol · L⁻¹ 的 SA 处理均极显著的提高了“大石早生”李花的过冷却点温度,分别比对照提高了 31.25%、25.00%;而 0.20 mmol · L⁻¹ 的 SA 处理使其过冷却点温度比对照降低了 15.63%,且有极显著差异;0.20、0.50 mmol · L⁻¹ 的 SA 处理使“安哥诺”李花的过冷却点温度分别比对照提高了 31.25%、18.75%,均与对照差异极显著,而 0.15 mmol · L⁻¹ 的 SA 处理降低了李花的过冷却点温度,并与对照存在极显著差异;0.10、0.20、0.50 mmol · L⁻¹ 的 SA 处

理均极显著的提高了“黑宝石”李花的过冷却点温度,分别比对照提高了 18.75%、15.63%、25.00%,而其它 2 个处理对过冷却点温度的影响与对照无显著差异;0.10 mmol·L⁻¹ 的 SA 处理极显著的提高了“李王”的过冷却点温度,其它浓度与对照之间不存在显著差异。

由表 2 可知,喷施不同浓度的 ABA 处理对李花过冷却点温度的影响不同。各浓度的 ABA 处理均极显著提高了“大石早生”李花的过冷却点温度;对

于“安哥诺”李花除了 20 mg·L⁻¹ ABA 处理与对照无差异,其它浓度均显著提高了过冷却点温度;50 mg·L⁻¹ 的 ABA 处理使“黑宝石”李花的过冷却点温度比对照降低了 15.63%,与对照存在极显著差异,而 15 mg·L⁻¹ ABA 处理的“黑宝石”李花过冷却点温度为-2.7℃,比对照提高了 15.63%;对于“李王”品种 20、50 mg·L⁻¹ ABA 处理均显著降低了“李王”李花的过冷却点温度,30 mg·L⁻¹ ABA 处理显著提高了“李王”李花的过冷却点温度。

表 2 不同浓度外源 ABA 处理对李花过冷却点温度的影响

ABA 浓度 ABA concentration		过冷却点温度 Supercooling temperature/℃			
/(mg·L ⁻¹)		“大石早生” <i>Prunus salicina</i> ‘Oishiwas’	“安哥诺” <i>Prunus salicina</i> ‘Angeleno’	“黑宝石” <i>Prunus salicina</i> ‘Fraiar’	“李王” <i>Prunus salicina</i> ‘Liwang’
0(CK)		-3.2±0.062 6dD	-3.2±0.118 9cD	-3.2±0.059 1bB	-3.4±0.107 4bAB
10		-2.6±0.165 6bBC	-2.7±0.063 4bB	-3.1±0.103 4bB	-3.2±0.058 8abA
15		-2.9±0.060 0cC	-2.4±0.101 1aA	-2.7±0.061 5aA	-3.4±0.273 8bAB
20		-2.7±0.173 2bBC	-3.2±0.167 4cCD	-3.3±0.060 5bBC	-3.7±0.059 6cB
30		-2.0±0.158 1aA	-2.8±0.058 0bBC	-3.5±0.206 8cCD	-3.1±0.152 9aA
50		-2.6±0.057 7bB	-2.8±0.058 0bB	-3.7±0.063 3dD	-3.7±0.124 2cB

过冷却点温度作为评价植物抗寒性的重要指标,温度越低,抗寒性越强。能够显著降低李花的过冷却点温度的激素浓度即为与该品种对应的适宜激素浓度。综合表 1、2 可知,对于不同品种,不同激素作用不同。通过比较得知,喷施 0.20 mmol·L⁻¹ SA、0.15 mmol·L⁻¹ SA、50 mg·L⁻¹ ABA、20 mg·L⁻¹ ABA 分别使“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”的过冷却点温度显著降低,提高了其李花的抗寒性。

2.2 外施适宜浓度的 SA、ABA 对低温胁迫下李花膜透性和膜质过氧化作用的影响

2.2.1 对电解质外渗率的影响 细胞膜结构的破坏程度可以通过细胞内电解质外渗率的大小来反映,在相同胁迫水平下比较电解质的外渗率,是一种间接评价植物应对低温胁迫能力的有效途径^[21]。低温胁迫下不同处理对李花电解质外渗率的影响见图 1,可知喷施与之相对应的最适浓度激素,使各品种的相对电导率均降低,“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”分别比对照降低了 32.19%、15.82%、40.60%、35.52%,并且喷施适宜浓度 ABA 的 2 个品种比喷施适宜浓度 SA 处理的 2 个品种降低明显。说明不同品种选择适宜浓度的 SA 或 ABA

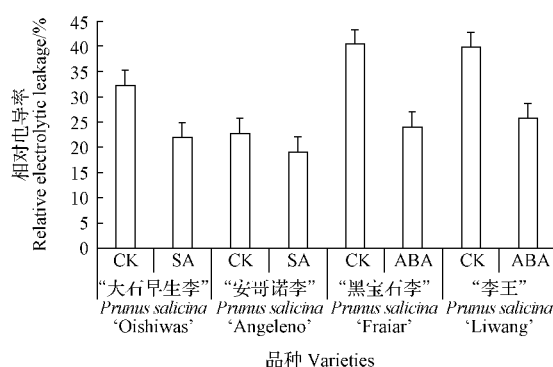


图 1 低温胁迫下不同处理对李花相对电导率的影响

Fig.1 Effects of different treatments on the relative electrolytic leakage in plum flower during chilling treatment

处理可以降低低温对李花细胞的伤害,减轻膜系统损伤,使李花细胞更好的适应低温,且外源 ABA 处理比 SA 处理效果显著。

2.2.2 对丙二醛含量的影响 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的最后产物,是膜系统受害的重要标志之一^[17]。由图 2 可知,喷施与之相对应的适宜浓度激素使“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”的 MDA 含量较对照分别降低了 5.46%、5.11%、17.98%、9.40%,并且喷施适宜浓度 ABA 的 2 个品

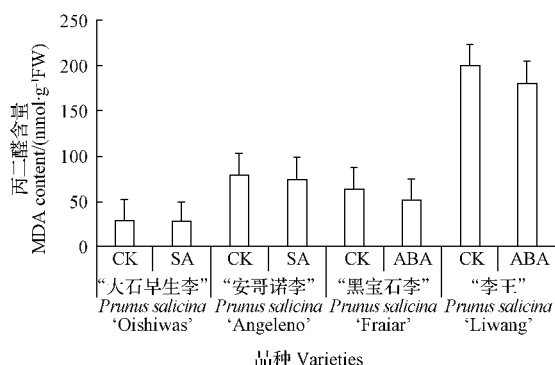


图2 低温胁迫下不同处理对李花MDA含量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on the MDA content in plum flower during chilling treatment

种比喷施适宜浓度SA处理的2个品种降低明显。说明不同品种选择适宜浓度的SA或ABA处理可以减缓李花的膜质过氧化,减轻膜系统的受害程度,且外源ABA处理比SA处理效果显著。

2.2.3 对 O_2^- 产生速率的影响 O_2^- 参与启动膜脂过氧化作用,会导致细胞内的多种活性成分变性,进而影响细胞的活性和功能^[22]。由图3可知,喷施与之相对应的适宜浓度激素之后,各品种的 O_2^- 产生速率均有所下降,“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王” O_2^- 产生速率分别比对照降低了10.24%、32.44%、7.67%、53.09%,说明不同品种选择适宜浓度的SA或ABA处理能快速有效的降低李花细胞内 O_2^- 产生速率,减缓膜质过氧化作用,保护细胞内的活性物质。

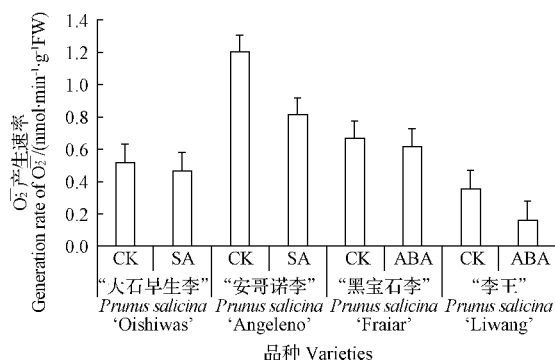
图3 低温胁迫下不同处理对李花 O_2^- 产生速率的影响

Fig. 3 Effects of different treatment on the generation rate of O_2^- in plum flower during chilling treatment

2.2.4 对 H_2O_2 含量的影响 H_2O_2 是活性氧中的强氧化剂,通过Haber-Weiss或Fenton反应可以产

生攻击力更强的 $\cdot\text{OH}$,启动膜脂过氧化。因此,清除细胞内的 H_2O_2 是减少活性氧伤害的关键措施^[23-24]。从图4可以看出,可知喷施与之相对应的适宜浓度激素之后,4个品种的 H_2O_2 含量均有所下降,“大石早生李”“安哥诺李”“黑宝石李”“李王”的 H_2O_2 含量分别比对照降低了19.99%、53.15%、30.17%、24.04%。说明不同品种选择适宜浓度的SA或ABA处理能清除李花细胞内积累的过量 H_2O_2 ,降低膜质过氧化程度,减少活性氧伤害。

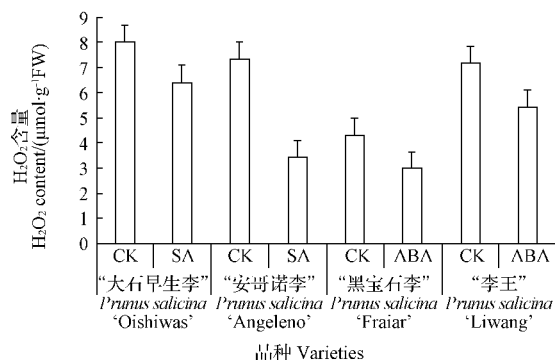
图4 低温胁迫下不同处理对李花 H_2O_2 含量的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on the H_2O_2 content in plum flower during chilling treatment

3 结论与讨论

植物器官生理适应的最低温度即为过冷却点温度^[25],作为描述植物抗寒能力强弱的重要指标,过冷却点温度越低,植物的抗寒性越强^[26]。该研究表明,喷施外源激素可以改变李花的过冷却点温度。但不同的激素对同一品种的影响不同,“大石早生李”“安哥诺李”SA处理中有适宜浓度可以显著降低过冷却点温度,提高李花抗寒性,而ABA处理均极显著的提高了过冷却点温度,减弱了李花的抗寒性;“黑宝石李”“李王”ABA处理中有适宜浓度可以降低过冷却点温度,而SA处理均没有显著降低二者的过冷却点温度。相同激素浓度不同,对不同品种的过冷却点温度的影响也不同,“大石早生李”低浓度(0.05、0.10 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)的SA处理均极显著的提高了过冷却点温度,降低了抗寒性;而“安哥诺李”“黑宝石李”高浓度(0.20、0.50 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)的SA处理的过冷却点温度均高于对照,降低了李花的抗寒性。“黑宝石李”高浓度的ABA处理能够显著降低过冷却点温度,增强李花的抗寒性。针对不同的李品种选择合适的激素种类及浓度可以降低其过冷却点温度,

使抗寒性提高。

植物受低温胁迫影响后,细胞膜结构被破坏,膜透性增大,电解质大量外渗,电解质外渗率变大。因而细胞电解质外渗率的大小能够反映细胞膜结构的破坏程度,电解质外渗率越小,细胞受害程度越低,植物的抗寒性越强^[21,26]。该研究表明,喷施适宜浓度的激素之后李花电解质外渗率均低于对照,说明了适宜浓度的激素可以减轻低温胁迫下细胞膜的受害程度,提高李花的抗寒性;又因为喷施适宜浓度 ABA 的 2 个品种比喷施适宜浓度 SA 处理的 2 个品种降低明显,说明外源 ABA 处理比 SA 处理在降低电解质外渗率方面效果显著。

MDA 是由低温胁迫引发的细胞膜质过氧化作用的最终产物,会破坏体内的多种反应,破坏膜结构影响膜功能,甚至导致细胞死亡。许多研究表明,MDA 含量与抗寒性呈负相关,可作为衡量抗寒性强弱的指标^[27-29]。该研究表明,喷施适宜浓度的激素之后李花 MDA 含量均低于对照,说明适宜浓度的外源激素可以减缓膜质过氧化,提高李花的抗寒性。

O_2^- 和 H_2O_2 是活性氧在细胞内的 2 种存在形式,具有很强的攻击性,能使细胞内多种活性成分如蛋白质、核酸等变质。低温胁迫下, O_2^- 和 H_2O_2 会参与启动膜脂过氧化作用,因而 H_2O_2 含量和 O_2^- 产生速率可以作为衡量氧化胁迫程度的指标^[30-31]。该试验研究表明,喷施适宜浓度的激素之后李花 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量均低于对照,说明外源激素的喷施能够清除低温胁迫下李花细胞内的 O_2^- 和 H_2O_2 ,降低膜质过氧化程度,提高李花的抗寒性。

低温胁迫会阻碍植物细胞内的代谢活动,打破代谢平衡,使细胞对氧气的利用率降低,并产生大量破坏力强的活性氧。 O_2^- 和 H_2O_2 是活性氧在细胞内的主要存在形式,低温胁迫下 O_2^- 产生速率会不断加快, H_2O_2 含量会不断增加,膜脂过氧化作用会不断加剧,进而使得 MDA 含量增加,细胞膜结构被破坏,最终导致电解质大量外渗,相对电导率不断增大^[32]。该试验研究结果表明,喷施适宜浓度的 SA 或 ABA 处理后的各个品种的李花相对电导率、MDA 含量、 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量的变化规律一致,均比对照有所降低。说明喷施适宜浓度的 SA 或 ABA 可以减弱低温胁迫下李花的膜质过氧化作用,降低低温对细胞膜的破坏,从而一定程度上提高李花的抗寒性。

参考文献

- [1] 靖玉柱. 高产李栽培与加工[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1989.
- [2] 宋俊伟. 三种长效基肥对李果园土壤养分及果实产量品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [3] HEINO P, SANDMAN G, NORDIN K, et al. Abscissic acid deficiency prevents development of freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh[J]. Theor Appl Genet, 1990, 79: 801-806.
- [4] 魏安智, 杨途熙, 张睿, 等. 外源 ABA 对仁用杏花期抗寒力及相关生理指标的影响[J]. 西农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(5): 79-84.
- [5] 杨亚军, 郑雷英, 王新超. 冷驯化和 ABA 对茶树抗寒力及其体内脯氨酸含量的影响[J]. 茶叶科学, 2004, 24(3): 177-182.
- [6] 刘德兵, 魏军亚, 崔百明, 等. 脱落酸对香蕉幼苗抗寒性的影响[J]. 热带作物学报, 2007, 28(2): 1-4.
- [7] 周碧燕, 李宇彬, 陈杰忠, 等. 低温胁迫和喷施 ABA 对荔枝内源激素和成花的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(6): 577-578.
- [8] 黄杏, 陈明辉, 杨丽涛, 等. 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗抗寒性及内源激素的影响[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(4): 6-11.
- [9] 王一静, 克热木·伊力, 肖坤. 外源脱落酸处理对库尔勒香梨抗寒性的影响[J]. 经济林研究, 2015, 33(3): 13-19.
- [10] 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.
- [11] 郭守华, 杨晴, 杨晓玲, 等. 水杨酸对桃树花期抗寒性的影响[J]. 园艺学报, 2004, 31(5): 675.
- [12] TASGIN E, ATICI O, NALBANTOGIU B, et al. Effects of salicylic acid and cold treatments on protein levels and on the activities of antioxidant enzymes in the apoplast of winter wheat leaves[J]. Phytochemistry, 2006, 67: 710-715.
- [13] 邓世媛, 陈建军, 罗福命, 等. 外源水杨酸对低温胁迫下烤烟抗氧化代谢的影响[J]. 烟草科技, 2012(2): 71-74.
- [14] YANG J H, GAO Y, LI Y M, et al. Salicylic acid-induced enhancement of cold tolerance through activation of antioxidative capacity in watermelon[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 118: 200-205.
- [15] 张俊环, 王玉柱, 孙浩元, 等. 外源 SA 对低温下杏花器官超微结构的影响[J]. 园艺学报, 2014, 41(3): 429-436.
- [16] 周利民, 陈惠萍. 水杨酸对冷胁迫下香蕉幼苗抗冷性的效应[J]. 亚热带植物科学, 2009, 38(1): 19-22.
- [17] 孟庆瑞. 杏花器官霜冻害生理机制研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [18] 赵世杰, 许长城, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.
- [19] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 衰老叶片和叶绿体中 H_2O 的累积与膜脂过氧化的关系[J]. 植物生理学报, 1988, 14(1): 12-16.
- [20] 王爱国, 罗广华. 植物的超超氧阴离子与巯胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, 19(6): 55-57.
- [21] 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.

- [22] NOCTOR G, FOYER C H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control[J]. *Annu Rev Plant Physiol Mol Biol*, 1998, 49:249-279.
- [23] 蒋明义, 荆家海. 植物体内羟自由基的产生及其与膜脂过氧化作用启动的关系[J]. *植物生理学通讯*, 1993, 29(4):300-305.
- [24] FOYER C H, LOPEZ-DELGADO H, DAT J F, et al. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclamatory stress tolerance and signalling[J]. *Physiol Plant*, 1997, 100:241-254.
- [25] 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.
- [26] 宁超, 孟庆瑞, 李淑贤, 等. 抗霜冻仁用杏优良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.
- [27] 王华, 王飞, 李嘉瑞, 等. 低温对杏品种花及幼果的伤害和若干生理指标的影响[J]. *江苏农业学报*, 1999, 15(4):237-240.
- [28] 宁超. ‘围选1号’仁用杏花器官抗寒性及生物学特性研究[D]. 保定:河北农业大学, 2010.
- [29] BOWLER C. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Bio*, 1992, 143:83-116.
- [30] SELOTE D S, KHANNA-CHOPRAR. Drought acclimation confers oxidative stress tolerance by inducing coordinated antioxidant defense at cellular and subcellular level in leaves of wheat seedlings[J]. *Physiologia Plantarum*, 2006, 127:494-500.
- [31] SHAO H B, CHU L Y, SHAO M A, et al. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses[J]. *Comptes Rendus Biologies*, 2008, 331:433-441.
- [32] 王萍. 仁用杏‘围选1号’花期低温适应机制研究[D]. 保定:河北农业大学, 2012.

Effect of Different Exogenous Hormones on Cold-resistant Ability and Related Physiological Indicators of Plum Flower

LI Xueling¹, PANG Haiying¹, NIU Dongwei², REN Shifu¹, LI Yanhui²

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. College of Landscape and Travel, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000)

Abstract: Four plum cultivars *Prunus salicina* ‘Oishiwas’, ‘Angeleno’, ‘Fraiar’, ‘Liwang’ were used as the test materials, H₂O treatment as comparison, the effects of exogenous SA or ABA in their proper concentration on the cold-resistance and related physiological targets of flowers during -2 °C chilling stress were studied. The results showed that 0.20 mmol · L⁻¹ SA for *Prunus salicina* ‘Oishiwas’, 0.15 mmol · L⁻¹ SA for ‘Angeleno’, 50 mg · L⁻¹ ABA for ‘Fraiar’ and 20 mg · L⁻¹ ABA for ‘Liwang’ could decrease the supercooling temperature and enhance chilling tolerance in plum flowers. Four suitable concentration of hormone which were sprayed on four varieties compared with the control, could decrease the electrolyte osmotic rates by 32.19%, 15.82%, 40.60%, 35.52%; decrease the MDA content by 5.46%, 5.11%, 17.98%, 9.40%; decrease the generation rate of O₂⁻ by 10.24%, 32.44%, 7.67%, 53.09% and decrease the H₂O₂ content by 19.99%, 53.15%, 30.17%, 24.04%. Taken together, it was considered that the suitable exogenous SA, ABA could enhance chilling tolerance in plum flowers by reducing the membrane lipid peroxidation and the destruction of cell membrane under low temperature stress.

Keywords: plum flower; low temperature stress; exogenous hormone; chilling tolerance