

# 防除杏树 (*Prunus armeniaca* L.) 冰核细菌 药剂筛选及花期防霜效果

孟庆瑞<sup>1</sup> 李彦慧<sup>1</sup> 李帅英<sup>1</sup> 张 倩<sup>1</sup> 陈少坤<sup>1</sup> 温林柱<sup>2</sup> 杨建民<sup>1,\*</sup>

(1. 河北农业大学,保定 071001 2. 张家口市蔚县科学技术局,河北张家口 075700)

**摘要** 采用 vali 结冻法和含菌平板培养法,从 9 种供试药剂中筛选出 1 号、2 号、3 号、5 号、7 号 5 种对 INA 细菌触杀及破坏冰蛋白作用的药剂。将 5 种筛选的药剂于日光温室和田间进行药剂防霜试验研究,结果表明,日光温室霜冻温度为  $-4^{\circ}\text{C}$  时,5 种药剂中 3 号、7 号防霜效果显著,分别为 47.05% ~ 67.74% 和 49.44% ~ 69.33%。3 号、7 号分别提高座果率 12.25% ~ 14.83% 和 4.69% ~ 11.36%,与对照相比差异达显著水平。大田温度为  $-6.5^{\circ}\text{C}$  时,5 种药剂中 3 号的防霜效果为 21.80%,提高座果率 9.17%,与对照相比达显著水平。

**关键词** 杏 (*Prunus armeniaca* L.) 冰核活性细菌 防霜药剂 防霜效果 座果率

文章编号:1000-0933 (2007)10-4191-06 中图分类号:Q142,Q948,S662.2,S718 文献标识码:A

## Selection of bactericides controlling INA bacteria and their efficacy on frost damage prevention during blooming period of apricot

MENG Qing-Rui<sup>1</sup>, LI Yan-Hui<sup>1</sup>, LI Shuai-Ying<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, CHEN Shao-Kun<sup>1</sup>, WEN Lin-Zhu<sup>2</sup>, YANG Jian-Min<sup>1,\*</sup>

1 Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

2 Bureau of Science and Technology of Yu County, Zhangjiakou 075700, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (10) 4191 ~ 4196.

**Abstract** : Apricot (*Prunus armeniaca* L.) trees are highly susceptible to late frost injury during blooming period. Frost is a serious problem for apricots in Northern China, and it causes considerable yield losses to growers. For many years, the extent of frost injury has been associated with the intensity and duration of low temperatures and the resistance of different cultivars to frost. However, the discovery that ice nucleation-active (INA) bacteria can severely damage plants due to inducing ice nucleation at  $-2 - -5^{\circ}\text{C}$ , has provided a new field for further researches on the prevention of frost injury. In recent years, the relationship between INA bacteria and frost damage has been paid a great attention in apricot. Two strains of INA bacteria, isolated from apricot, were identified as *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* Van Hall 1920 and *Erwinia uredovora* Dye 1963. Relevant studies have showed that INA bacteria could increase supercooling points of apricot floral organs by about  $2^{\circ}\text{C}$ . The INA bacteria have become an important factor stimulating and aggravating frost damage to apricot.

In order to alleviate the frost damage to apricot by controlling INA bacteria, five out of nine bactericides, labeled as

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (30471414) ;河北农业大学科学研究基金

收稿日期 2006-08-20 ;修订日期 2007-05-19

作者简介 孟庆瑞 (1976 ~ ) 女,河北沧州人,博士生,主要从事果树抗寒生理研究. E-mail: mqrui@126.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangjm3706@sina.com

**Foundation item** :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30471414) and Scientific Research Foundation of Agricultural University of Hebei

**Received date** 2006-08-20 ; **Accepted date** 2007-05-19

**Biography** MENG Qing-Rui, Ph. D. candidate, mainly engaged in cold resistance physiology of fruit trees. E-mail: mqrui@126.com

No. 1 , No. 2 , No. 3 , No. 5 , and No. 7 , were selected for eradicating INA bacteria and destroying ice nucleating protein by means of vali and culture on medium containing INA bacteria. The effects of selected bactericides were investigated on preventing frost damage in solar greenhouse and field. The results indicated that when frost occurred at  $-4^{\circ}\text{C}$  in solar greenhouse , both No. 3 and No. 7 were most effective among the five bactericides with frost-controlling efficacy being 47.05%—67.74% and 49.44%—69.33% , respectively , and No. 3 and No. 7 increased percentage of fruit set by 12.25%—14.83% and 4.69%—11.36% , respectively , as compared with control. In filed experiment , the frost-controlling efficacy of No.3 was 21.80% at  $-6.5^{\circ}\text{C}$  , and it significantly increased the percentage of fruit set by 9.17% .

**Key Words** : apricot ; INA bacteria ; frost-controlling bactericide ; frost-controlling efficacy ; percentage of fruit set

杏 (*Prunus armeniaca* L. )是春季开花较早的树种之一 ,花期一旦遇到晚霜危害 ,轻者出现减产 ,重者造成绝产。因此 ,霜冻已成为杏树生产和发展的限制因子<sup>[1,2]</sup>。近年来研究证明 ,自然界存在冰核活性细菌 (Ice nucleation active bacteria ,简称 INA 细菌 ) ,能诱发植物细胞水在  $-2 \sim -5^{\circ}\text{C}$  结冰而发生霜冻<sup>[3~6]</sup>。课题组首次从仁用杏上分离到 INA 细菌 ,确认为 2 个属中的 2 个种 (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae* Van Hall 1920 , *Erwina uredovora* Dye 1963 )<sup>[7]</sup> ,并证明 INA 细菌能提高杏花器官结冰温度约  $2^{\circ}\text{C}$  左右 ,是诱发和加重霜冻的重要因素<sup>[5,8]</sup>。这一研究结果为防御杏花期霜冻提供了一条新途径。目前关于防除杏树上 INA 细菌药剂的筛选及药剂防御杏花霜冻效果的研究尚属空白。

基于此背景 ,课题组 2005 ~ 2006 年开展了防除 INA 细菌药剂筛选及防霜效果试验 ,其目的是筛选出防除杏树上 INA 细菌的有效药剂 ,通过田间药剂防霜效果的试验 ,为制定有效防御杏花期霜冻害的措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试冰核细菌

试验采用自杏树上分离的冰核活性较强的菌种<sup>[7]</sup> :丁香假单胞菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae* )。

1.1.2 供试药剂

1 号 4000 倍溶液、2 号 800 倍溶液、3 号 1000 倍溶液、4 号 400 倍溶液、5 号 800 倍溶液、6 号 1000 倍溶液、7 号 1000 倍溶液、8 号 0.1%、9 号 4000 倍溶液。以下简称 1 号 ~ 9 号。

1.1.3 供试品种

防霜试验在河北保定和张家口进行 ,供试杏树为保定满城县日光温室栽培的 4a 生凯特、金寿星、美特 3 个品种 ,和张家口蔚县长宁乡大田栽培的 8a 生龙王帽品种。各试验地管理条件一致 ,杏树长势良好。

1.2 防霜药剂筛选方法<sup>[9]</sup>

1.2.1 破坏 INA 细菌冰核活性的药剂筛选

将供试菌株配成  $5 \times 10^8 \text{CFU/ml}$  菌悬液 ,用菌悬液将供试药剂稀释成所需浓度 ,即菌药混合液 ,室温放置 5h 后 ,采用 Vali 小滴冻结法 ,用定量加样器吸取药菌混合液 ,滴在平底船型铝箔纸上 ,每滴  $10\mu\text{l}$  ,每处理 10 滴 ,重复 3 次 ,以  $5 \times 10^8 \text{CFU/ml}$  菌悬液 (未加药剂 )作对照。将铝箔纸分别浮于  $-3^{\circ}\text{C}$  和  $-5^{\circ}\text{C}$  低温水浴槽内 , 2min 后记录各温度处理的冻滴数 ,换算成冻滴率 (%) :

$$\text{破坏率}(\%) = \text{对照冻滴率} - \text{处理冻滴率}$$

1.2.2 触杀 INA 细菌的药剂筛选

用  $5 \times 10^8 \text{CFU/ml}$  的 INA 细菌菌悬液 ,将供试药剂配成所需浓度的菌药混合液 ,室温下放置 5h、10h、20h 后 ,分别取 0.1ml 菌药混合液涂抹于 KB 平板培养基上 ,设 3 次重复 ,并以 INA 细菌菌液 (未加药剂 )作对照 ,  $22^{\circ}\text{C}$  培养 48h ,观察 INA 细菌是否生长及生长差异 ,以此判定供试药剂对 INA 细菌有无触杀效果或其强弱程度。

INA 细菌生长分级调查标准：

- 全部细菌不生长 ,杀菌作用 100% -
- 1/4 以内细菌生长 ,杀菌作用 75% +
- 1/2 以内细菌生长 ,杀菌作用 50% + +
- 3/4 以内细菌有生长 ,杀菌作用 25% + + +
- 细菌全部生长 ,药剂无触杀作用 + + + +

1.3 试验设计

1.3.1 日光温室杏树药剂防霜试验

日光温室栽培杏达初花期 (2 月 24 日) ,用  $5 \times 10^8$  CFU/ml INA 细菌菌液喷接杏花 ,菌液自然风干后 ,分别喷施筛选的药剂 ,隔 7d 再喷 1 次 ,以喷接菌液为对照 (CK) ,单株小区 3 次重复。日光温室内安放最低温温度计记载温度。从盛花期 (3 月 1 日) 18 00 时 (4.0℃) 开始 ,通过采取打开日光温室通风口、逐步揭开草帘及棚膜等措施使日光温室内温度逐渐下降 ,至次日凌晨 6 00 时使日光温室内温度达到 -3 ~ -4℃ ,使日光温室内杏花处于发生霜冻状态 ,持续 30min 后 ,通过封闭通风口、覆盖棚膜等措施使日光温室内温度逐步上升。24h 后调查药剂的防霜效果。

于每个品种树冠外围东、西、南、北 4 个方位距地面 1.5m 处各选一中果枝加以标记并统计花朵数 ,盛花后 3 周统计座果数 ,计算平均座果率。

1.3.2 田间杏树药剂防霜试验

于张家口蔚县长宁乡仁用杏生产园选择树龄、长势相同的龙王帽作为供试植株 ,并在每个供试植株东、南、西、北 4 个方向距地面 1.5m 处各选 1 个调查枝 ,各枝条之间生长势和营养状况相一致。于杏花花蕾期喷第 1 次药 ,之后隔 7d 再喷 1 次 ,直至发生霜冻为止 ,以喷清水为对照 (CK) ,每处理 3 次重复 ,单株小区。在试验区地面 1.5m 处放置最低温温度计 ,每天观察记载温度。

统计选定调查枝上的花朵数 ,盛花后 3 周统计座果数 ,计算平均座果率。

1.4 防霜效果调查方法 [9~11]

1.4.1 霜冻程度分级

依据花药或柱头受冻面积占调查花朵花药或柱头面积的比例大小 ,分为 5 级：

- 0 级 花药或柱头没有受害；
- 1 级 花药或柱头受害面积小于 1/4；
- 2 级 受害面积 1/4 ~ 1/2；
- 3 级 受害面积 1/2 ~ 3/4；
- 4 级 受害面积大于 3/4。

1.4.2 防霜效果计算

$$\text{霜冻指数 (\%)} = \frac{\sum (\text{级数} \times \text{本级样本数})}{\text{样本总数} \times 4} \times 100\%$$
$$\text{霜冻指数 (\%)} = \frac{\text{对照霜冻指数} - \text{处理霜冻指数}}{\text{对照霜冻指数}} \times 100\%$$

1.5 数据统计分析

数据采用邓肯氏多重比较法进行差异显著分析。

2 结果与分析

2.1 防除 INA 细菌药剂的筛选

冰核菌体上的冰蛋白是诱发霜冻的关键物质 ,依据冻滴率高低 ,可判明药剂对 INA 细菌冰核活性物质 (冰蛋白) 的破坏作用。从表 1 可见 ,所选的 9 种药剂中 2 号、3 号、5 号、7 号与供试菌株混合液在 -3℃、-5℃ 下均未结冰 ,破坏率均达 100% ,表明 4 种药剂可破坏冰核活性物质 ,从而降低 INA 细菌诱发霜冻的作用。

由表 1 触杀灭菌效果可知 ,1 号、2 号、3 号、5 号、7 号对 INA 细菌具有灭杀作用 ,能迅速杀死 INA 细菌 ,5h 后均无细菌存活。

以上结果表明 2 号、3 号、5 号、7 号药剂具备两种功能 :一是触杀 INA 细菌 ,二是破坏冰核活性物质即冰蛋白 ,而 1 号药剂仅具备触杀 INA 细菌的功能。筛选出 1 号、2 号、3 号、5 号、7 号药剂用于防霜试验。

表 1 药剂对 INA 细菌冰核活性破坏、触杀效果的测定

供试药剂 Bactericides	菌药混合液冻滴率 (%) ) Freezing rate of mixture droplet		触杀灭菌效果 (%) ) Eradication efficacy		
	- 3℃	- 5℃	5h	10h	20h
1 号 No. 1	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	—	—	—
2 号 No. 2	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	—	—	—
3 号 No. 3	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	—	—	—
4 号 No. 4	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	+++	++++	++++
5 号 No. 5	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	—	—	—
6 号 No. 6	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	+++	++++	++++
7 号 No. 7	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	—	—	—
8 号 No. 8	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	+++	++++	++++
9 号 No. 9	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	+++	++++	++++
CK (INA )	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>			

表中数据为 3 次测定的平均值 ;a、b 代表 5% 显著水平下的差异 Data are the means of three replicates ;a , b indicates the significant different at 5% level

2.2 药剂防霜效果

2.2.1 日光温室防霜效果

3 月 2 日凌晨控制日光温室内温度 -4℃ ,维持 0.5h ,3 月 3 日调查防霜效果。试验结果如表 2 所示 ,供试

表 2 温室药剂防霜效果

Table 2 Frost-controlling efficacy of bactericides in solar greenhouse				
供试药剂 Bactericides	调查花朵数 No. of flower	平均霜冻指数 Average frost injury index (%) )		
		凯特 Katy	金寿星 Jinshouxing	美特 Meite
1 号 No. 1	100	43.70 ± 1.03 c	43.53 ± 1.80 bc	50.12 ± 1.10 c
2 号 No. 2	90	40.69 ± 1.58 c	38.97 ± 0.49 c	52.91 ± 1.08 c
3 号 No. 3	90	33.78 ± 0.48 d	25.93 ± 1.71 e	37.12 ± 0.56 d
5 号 No. 5	100	55.19 ± 1.12 b	48.29 ± 1.23 b	63.92 ± 1.70 b
7 号 No. 7	100	19.57 ± 0.49 e	30.65 ± 2.10 d	40.15 ± 0.61 d
CK (INA )	100	63.80 ± 2.86 a	73.53 ± 0.67 a	79.41 ± 1.44 a
供试药剂 Bactericides	调查花朵数 No. of flower	防霜效果 Frost-controlling efficacy (%) )		
		凯特 Katy	金寿星 Jinshouxing	美特 Meite
1 号 No. 1	100	31.51 ± 2.10 c	40.80 ± 1.31 cd	36.89 ± 1.11 b
2 号 No. 2	90	36.23 ± 1.40 c	47.00 ± 1.70 bc	33.37 ± 1.23 b
3 号 No. 3	90	47.05 ± 1.02 b	64.74 ± 0.77 a	53.26 ± 0.53 a
5 号 No. 5	100	13.50 ± 0.71 d	34.33 ± 1.58 d	19.51 ± 1.18 c
7 号 No. 7	100	69.33 ± 1.23 a	58.32 ± 2.04 a	49.44 ± 1.21 a
CK (INA )	100	—	—	—
供试药剂 Bactericides	调查花朵数 No. of flower	座果率 percentage of fruit set (%) )		
		凯特 Katy	金寿星 Jinshouxing	美特 Meite
1 号 No. 1	100	7.52 ± 2.30 bc	7.53 ± 2.70 c	3.56 ± 3.36 b
2 号 No. 2	90	6.50 ± 2.52 bc	6.44 ± 1.50 c	2.22 ± 1.06 b
3 号 No. 3	90	19.39 ± 1.56 a	18.32 ± 7.70 a	14.12 ± 7.04 a
5 号 No. 5	100	6.33 ± 3.30 c	9.39 ± 3.56 bc	3.38 ± 2.16 b
7 号 No. 7	100	11.54 ± 6.09 b	15.76 ± 4.02 ab	6.56 ± 1.50 b
CK (INA )	100	4.56 ± 0.93 c	4.40 ± 0.95 c	1.87 ± 0.13 b

表中数据为 3 次测定的平均值 ± 标准差 ;a , b , c 表示 5% 显著水平下的差异 Data are the means of three replicates ± SE ;a , b , c indicates the significant different at 5% level

药剂对 3 个杏品种均取得一定防霜效果 ,其中 3 号、7 号防霜效果较高 ,对凯特、金寿星、美特防霜效果分别达 47.05%、64.74%、53.26% 和 69.33%、58.32%、49.44% ,与 1 号、2 号、4 号、5 号相比 ,差异达显著水平。5 种药剂对不同品种的防霜效果略有不同 ,除 2 号、7 号药剂外 ,防霜效果均表现为金寿星 > 美特 > 凯特 ,这可能与品种抗寒性有关。由座果率可看出 ,各处理座果率均高于对照 ,而不同药剂对座果率的影响因品种而异 ,其中对于凯特和金寿星 ,3 号和 7 号处理座果率显著高于对照 ,而对于美特 ,仅 3 号处理的座果率与对照差异显著。

2.2.2 田间防霜效果

试验于张家口蔚县进行。2006 年 4 月 4 日蕾期喷药 ,4 月 11 日发生霜冻 ,温度为 -6.5℃ ,持续 3h 左右 ,4 月 12 日调查防霜效果。从表 3 可知 ,此次霜冻危害严重 ,对照平均霜冻指数达 93.7% ,但药剂仍具有一定防霜效果 ,防霜效果表现为 3 号 > 7 号 > 5 号 > 1 号 > 2 号 ,其中 3 号药剂防霜效果为 21.8% ,达显著水平 ,表明 3 号能防除杏树上 INA 细菌 ,减轻或控制霜冻危害。由座果率可知 , -6.5℃ 低温造成对照杏树绝收 ,而 5 种药剂均显著提高其座果率 ,其中 3 号处理座果率显著高于另 4 种药剂处理 ,提高座果率 9.17%。

表 3 田间药剂防霜效果  
Table 3 Frost-controlling efficacy of bactericides in field

供试药剂 Bactericides	调查花朵数 No. of flower	霜冻指数 (%) Average frost injury index	防霜效果 (%) Frost - controlling efficacy	座果率 (%) percentage of fruit set
1 号 No. 1	600	80.60 ± 1.23 b	14.00 ± 0.59 b	1.57 ± 0.25 b
2 号 No. 2	600	81.20 ± 1.64 b	13.30 ± 1.23 b	1.30 ± 0.20 b
3 号 No. 3	600	73.30 ± 1.72 c	21.80 ± 1.08 a	9.17 ± 1.04 a
5 号 No. 5	600	79.40 ± 1.65 b	15.30 ± 0.77 b	1.50 ± 0.40 b
7 号 No. 7	600	78.50 ± 1.58 b	16.30 ± 1.02 b	1.90 ± 0.10 b
CK	600	93.70 ± 2.31 a	-	0.00 ± 0.00 c

表中数据为 3 次测定的平均值 ± 标准差 ;a , b , c 表示 5% 显著水平下的差异 Data are the means of three replicates ± SE ; a , b , c indicates the significant different at 5% level

3 结论与讨论

从 9 种药剂中筛选出的 2 号、3 号、5 号、7 号既可触杀 INA 细菌又可破坏冰核活性物质 ,1 号药剂仅具备触杀 INA 细菌的功能。将筛选出的 5 种药剂应用于杏花期防除 INA 细菌的防霜试验 ,均取得一定防霜效果。日光温室中 ,1 号、2 号、3 号、5 号、7 号药剂对凯特、金寿星、美特 3 个品种的平均防霜效果分别为 36.33%、38.87%、55.02%、22.45%、59.03% ,其中 3 号、7 号防霜效果显著 ,与对照相比明显提高了座果率。田间自然霜冻温度为 -6.5℃ 时 ,3 号防霜效果达显著水平 ,与对照相比 ,提高座果率 9.17%。3 号是一种安全、低残留、无公害、与环境相容、杀菌谱广 (真菌、细菌)的新型化学杀菌剂 ,7 号为铜制剂 ,触杀 INA 细菌和破坏冰核活性物质效果明显 ,但 3 号、7 号处理的防霜效果和座果率因杏树品种不同而异 ,可能与品种抗寒性不同有关。

霜冻因形成的天气条件不同而分为不同类型<sup>[2]</sup> ,本研究依据当地天气预报 ,在晴朗无风的夜晚 ,模拟或利用自然霜冻低温进行药剂防霜试验 ,所发生的霜冻为辐射霜冻。试验中记录的霜冻发生温度为最低空气温度 ,晴夜杏花辐射降温 ,花温总是低于最低气温<sup>[3]</sup> ,而课题组研究表明杏花发生霜冻的临界温度可达 -4 ~ -5℃<sup>[5]</sup> ,依据此结果设定日光温室温度在 -4℃ ,而最低气温与最低花温之间对应的关系尚待进一步的研究。

霜冻的发生及危害程度受天气、地形、杏树品种、植株长势、INA 细菌数量及活性等因素影响<sup>[4~17]</sup> ,而本文仅是在 2 个试验地、4 个杏树品种上进行的防霜试验初步研究 ,今后尚需进一步在多点 (地区) 、多品种、多种生态环境条件下深入、系统地进行田间杏花霜冻效果试验 ,以科学、准确的评估防霜药剂应用前景。

References :

[1] Yang J M , Zhou H J , Wang W F. The advance in frost injury research of fruit trees. Journal of Agricultural University of Hebei 2000 23 (3) 54

—58.

[2 ] Yang J M ,Li Y H ,Yang M S *et al.* Comparative study on cold resistance of apricot varieties. *Scientia Agricultura Sinica* ,1999 ,32 ( 1 ) :46 —50.

[3 ] PARK S K , Song D , Kim K C. Ice nucleation activity of *Pseudomonas fluorescens* isolates from rye , pear and Japanese apricot plants. *Korean Journal of Plant Pathology* , 1990 ,6 :91 —98.

[4 ] Cochet N ,Widehem P. Ice crystallization by *Pseudomonas syringae*. *Applied Microbiology and Biotechnology* ,2000 ,54 :153 —161.

[5 ] Yang J M , Meng Q R ,Peng W X *et al.* The effect of ice nucleation active bacteria on cold resistance of apricot flower organs. *Acta Horticulturae Sinica* 2002 29 ( 1 ) 20 —24.

[6 ] Zhao R Y , Fu Z F , Li S H , *et al.* Advances in research on ice nucleation active bacteria and frost injury of apricot in blooming period. *Journal of Fruit Science* ,2005 ,22 ( 3 ) :265 —270.

[7 ] Sun F Z , Zhao T C , Yang J M , *et al.* Species of ice nucleation active bacteria on the apricot and the relationship between their activity and flower frost. *Scientia Agricultura Sinica* 2000 33 ( 6 ) 50 —58.

[8 ] Peng W X ,Yang J M , Zhang Q , *et al.* Effect of ice nucleation active bacteria on the ultrastructure of apricot variety pollen. *Acta Horticulturae Sinica* 2001 28 :453 —456.

[9 ] Sun F Z , Zhao T C. Methods of research on ice nucleation active bacteria. In :Sun Z F ed. *Frost disaster and defense techniques*. Beijing :Chinese Agricultural Scientific & Technological Press 2001. 59 —81.

[10 ] Li Y Z ,Wang X L ,Feng Y X , *et al.* Simulation study on the last frost in Pingguoli pear blooming period. *Jilin Meteorology* ,1997 4 ( 1 ) :16 —18.

[11 ] Sun F Z , Zhao T C , Mou F S , *et al.* Alleviation of frost damage to corn by controlling competitive INA bacteria with competitive bacteria and chemicals. *Journal of Natural Disasters* 2003 ,12 ( 4 ) :115 —119.

[12 ] Tang G , Cai D H , Zheng R W. *Defense techniques for frost and freeze injury to vegetable and fruit*. Beijing :Chinese Agricultural Press ,1993. 30 —57.

[13 ] He W X , Feng Y X , Zhu J L. Changes of crop leaf temperature at night and its application for frost control. *Advances in Research on Agricultural Microclimate in China* ,1993 4 :321 —325.

[14 ] Lindow S E , Amy D C , Upper C D. Bacterial ice nucleation : a factor in frost injuring to plants. *Plant Physiology* ,1982 ,70 :1084 —1089.

[15 ] Lindow S E. Competitive exclusion of epiphytic bacteria by ice *Pseudo monas syringae* mutants. *Applied and Environmental Micerobiology* ,1987 , 53 ( 10 ) 2520 —2527.

[16 ] Sun Z F. Frost disaster and the development of defense techniques. In :Sun Z F ed. *Frost disaster and defense techniques*. Beijing :Chinese Agricultural Scientific & Technological Press 2001. 3 —15.

[17 ] Sun F Z ,Zhao T C. Biological characteristics and frost-inciting mechanisms of ice nucleation active (INA ) bacteria and the research in frost control. *Acta Ecologica Sinica* 2003 23 ( 2 ) 336 —341.

参考文献：

[1 ] 杨建民 ,周怀军 ,王文凤. 果树霜冻害研究进展. *河北农业大学学报* 2000 23 ( 3 ) 54 ~58.

[2 ] 杨建民 ,李艳华 ,杨敏生 ,等. 几个仁用杏品种抗寒性比较研究. *中国农业科学* ,1999 ,32 ( 1 ) :46 ~50.

[5 ] 杨建民 ,孟庆瑞 ,彭伟秀 ,等. 冰核细菌对杏花器官抗寒性的影响. *园艺学报* ,2002 29 ( 1 ) 20 ~24.

[6 ] 赵荣艳 ,付占芳 ,李绍华 ,等. INA 细菌与杏花期霜冻害研究进展. *果树学报* 2005 22 ( 3 ) 265 ~270.

[7 ] 孙福在 ,赵廷昌 ,杨建民 ,等. 杏树上冰核细菌种类及其冰核活性与杏花霜冻关系的研究. *中国农业科学* 2000 33 ( 6 ) 50 ~58.

[8 ] 彭伟秀 ,杨建民 ,张芹 ,等. 冰核细菌对仁用杏花粉超微结构的影响. *园艺学报* 2001 28 :453 ~456.

[9 ] 孙福在 ,赵廷昌. 冰核细菌的研究方法. 见 孙忠富编著. *霜冻灾害与防御技术*. 北京 :中国农业科技出版社 2001. 59 ~81.

[10 ] 李永振 ,汪学林 ,冯玉香 ,等. 苹果梨花期终霜冻模拟试验研究. *吉林气象* ,1997 4 ( 1 ) :16 ~18.

[11 ] 孙福在 ,赵廷昌 ,牟丰盛 ,等. 生防菌和药剂除冰核细菌防御玉米霜冻研究 ,*自然灾害学报* 2003 ,12 ( 4 ) :115 ~119.

[12 ] 唐广 ,蔡涤华 ,郑人玮. *果树蔬菜霜冻与冻害的防御技术*. 北京 :农业出版社 ,1993. 30 ~57

[13 ] 何维勋 ,冯玉香 ,朱巨龙. 晴夜作物叶片温度的变化特点及其在霜冻防御上的应用. *中国农业小气候研究进展* ,1993 4 :321 ~325.

[16 ] 孙忠富. 霜冻灾害与调控技术的发展. 见 孙忠富编著. *霜冻灾害与防御技术*. 北京 :中国农业科技出版社 2001. 3 ~15.

[17 ] 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. *生态学报* 2003 23 ( 2 ) 336 ~341.