

# 水杨酸与高温锻炼对高温胁迫下葡萄叶肉细胞质膜 ATPase 活性的影响

刘 杨, 康喜亮, 杨丽娟, 白志川

(西南大学 园艺园林学院 重庆 北碚 400715)

**摘 要** 采用水性两相分配法对经水杨酸(SA)和高温锻炼处理过的葡萄幼苗叶肉细胞中 ATPase 进行了分离和测定。结果表明:高温下,细胞质膜 ATPase 活性随着胁迫程度的加深均呈下降趋势,经 SA 和高温锻炼预处理后再经高温胁迫,发现质膜 ATPase 的活性低于正常条件下的水平(CK<sub>1</sub>),但明显高于未经处理直接进行高温胁迫后 ATPase 活性水平,即高温锻炼和 SA 预处理的质膜酶活仍保持了较高的活性,并且后一种处理效果更明显。说明质膜上 ATPase 活性的变化对高温胁迫作出了一定的响应,SA 和高温锻炼对提高葡萄幼苗叶片的抗热性与二者可以维持细胞质膜上 ATPase 活性的稳定有关。

**关键词:** 高温胁迫; 葡萄幼苗; 高温锻炼; SA; ATPase

**中图分类号:** S 663.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)03-0026-04

水杨酸(Salicylic acid, SA)是一种普遍存在于高等植物体内的内源生长调节物质。它可以长距离运输<sup>[1-3]</sup>,并作为一种胞内信号物质参与多种生理过程,被认为是提高植物抗逆性的信号分子<sup>[1,3]</sup>。最近的研究已表明高温锻炼(Heat acclimation, HA)、SA 和钙都能提高植物的抗热性<sup>[6-7]</sup>;关于高温胁迫下 Ca<sup>2+</sup> 含量变化的研究也主要集中在对 Ca<sup>2+</sup> 在细胞内的分布进行电镜水平上的观察<sup>[8-10]</sup>,但目前还极少见到在逆境下用 SA 和 HA 处理来研究其对叶片细胞质膜 ATPase 活性影响的报道。该试验通过对葡萄幼苗进行 SA 和 HA 预处理,探讨高温胁迫下 SA 和 HA 对葡萄幼苗叶片质膜 ATPase 活性的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为葡萄酿酒品种 赤霞珠(*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon)1 a 生扦插苗,于 2005 年 1 月上旬将休眠好的穴盘葡萄小苗,移栽于规格为 10 cm×16 cm×15 cm(底直径×上口直径×高)的塑料营养钵中,盆栽基质为园土:珍珠岩:草炭土=3:2:1,其它进行常规管理。

### 1.2 高温锻炼和 SA 预处理以及高温胁迫处理

试验处理前 1 d,选择生长一致的葡萄植株(具有 6~8 片功能叶),先用清水冲洗干净,再用蒸馏水冲洗 2

遍。一部分植株高温(38℃)预处理 12 h,以常温(27℃)下生长的植株为对照 1(CK<sub>1</sub>);另选一部分植株水杨酸(27℃,0.1 mmol/L)预处理 6 h,以喷施蒸馏水的植株为对照 1(CK<sub>1</sub>)。待处理完毕后,再分别从 CK<sub>1</sub> 中选取一部分植株作为对照 2(CK<sub>2</sub>),并与所有经过预处理的植株同时置于(44±0.2)℃的高温下进行胁迫处理。以上所有处理均在 RXZ 型人工气候箱(宁波江南仪器厂生产)中进行。光照强度为 300 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-2</sup>,相对湿度为 60%~70%,处理时间分别为 2、6、12 h,每处理单株幼苗,3 次重复。

### 1.3 ATPase 活性的测定方法

1.3.1 质膜的提取 溶液的配制:研磨液:含有 80 mmol/L Tris-HCl(pH 8.0),250 mmol/L 蔗糖,2 mmol/L EGTA,10%甘油(V/V),0.6%PVP,0.4%BSA,用前依次加入 10 mmol/L 抗坏血酸,1 mmol/L PMSF,5 mmol/L DTT;微粒体悬浮液:含有 200 mmol/L 磷酸钾缓冲液(pH 7.8),250 mmol/L 蔗糖,1 mmol/L DTT(用前加入);两相系统:含有 1 M 蔗糖(1.5 mL),22.7 mmol/L NaCl(0.2 mL),20%Dextran T 500(2.52 g),40%PEG 3350(1.26 g),微粒体悬浮液(1.5 mL),加重蒸水定重至 8 g;稀释液:含有 250 mmol/L 蔗糖,5 mmol/L Tris-HCl(pH 7.0);质膜制剂悬浮液:含有 250 mmol/L 蔗糖,10%甘油(V/V),5 mmol/L Tris-HCl(pH 7.0)。微粒体的制备和两相分配法分离质膜:称 20 g 葡萄叶片置于研钵中,加入少量液氮使之变脆,按 3 mol/g 组织加入研磨液,加少许石英砂快速研磨(冰浴中进行),4 层纱布过滤,滤液在 4℃下 10 000×g 离心 30 min,取上清液,

第一作者简介:刘杨(1982-),男,在读硕士,现从事植物学方向的研究。E-mail: lovefreeyy@126.com.

收稿日期:2008-10-20

80 000×g 4℃下离心 1 h, 取沉淀(微粒体制剂), 用 1~2 mL(微粒体悬浮液)悬浮。将悬浮液加入两相系统, 充分混匀(将离心管倒置颠翻 30~40 次), 2 000×g 离心 5 min(4℃下)分相(两相系统放入离心管中)。取上相液, 加等体积下相液混合再离心, 重复 2 次, 合并上相, 用 5 倍体积的稀释液稀释, 80 000×g 4℃下离心 1 h, 取沉淀, 用少量的(1~2 mL)质膜制剂悬浮液悬浮(后分装), 液氮速冻后, -80℃冰箱保存备用。以上所有操作均在 4℃下进行。

**1.3.2 ATPase 活性的测定** 参照胡章立等<sup>[11]</sup>和曾绍南等<sup>[12]</sup>的方法(有改动)。0.5 mL 反应液中含有 50 mmol/L Tris-Mes (pH 6.5), 25 mmol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3 mmol/L MgSO<sub>4</sub>(测 Ca<sup>2+</sup>-ATPase 时将 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>和 MgSO<sub>4</sub>改为加 3 mmol/L CaCl<sub>2</sub>), 0.02% (V/V) Triton x-100, 50 mmol/L NaNO<sub>3</sub>, 1 mmol/L NaN<sub>3</sub>, 1 mmol/L Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, 3 mmol/L ATP。以加入约 20 μg 膜蛋白启动反应, 37℃下保温 30 min, 用 0.5 mL 10% 的三氯乙酸(TCA)终止反应, 然后加入 0.2 mL 显色液[0.72% (w/V) NH<sub>4</sub>MoO<sub>4</sub>, 0.3% (w/V) VC, 0.6 mmol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], 冰浴中放入 15 min, 再加入 500 μL 10% (w/V) 柠檬酸钠-

10% (w/V) 冰醋酸, 于 37℃振荡水浴中保温 30 min, 用 UV-1601 分光光度计测定溶液在 660 nm 处的吸光值, 酶活性用 ATP 酶解产生的无机磷计算(酶活单位: μmolPi·min<sup>-1</sup>·mg<sup>-1</sup> Protein)。对照和标准管在加入膜样品之前先加入三氯乙酸(TCA), 其它步骤同样品管(即以反应前加终止液者做空白对照)。

**1.3.3 无机磷标准曲线制作和测定** 配制 0.2、4、6、8、10 μmol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 标准溶液, 分别取 50 μL 代替膜微囊制剂, 加入反应体系中, 再加入 1 mL 终止液, 0.2 mL 显色液, 室温放置 40 min 后于 660 nm 处比色, 制作标准曲线。取 50 μL 膜微囊制剂, 加入 1 mL 终止液, 0.2 mL 显色液, 室温放置 40 min 后于 660 nm 处比色, 据标准曲线算出样品的无机磷含量。

**1.3.4 蛋白质含量测定** 参照汤章城等<sup>[13]</sup>的方法配制蛋白质标准溶液和考马斯亮蓝 G-250 蛋白染色试剂并制作蛋白标准曲线。取 0.5 mL 质膜微囊制剂放入 10 mL 具塞试管中, 加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 蛋白染色试剂, 混匀后将试管静置 2 min, 用 10 mm 厚的比色杯在 595 nm 下 2~60 min 内比色读取 OD 值。据标准曲线算出样品中蛋白质含量。

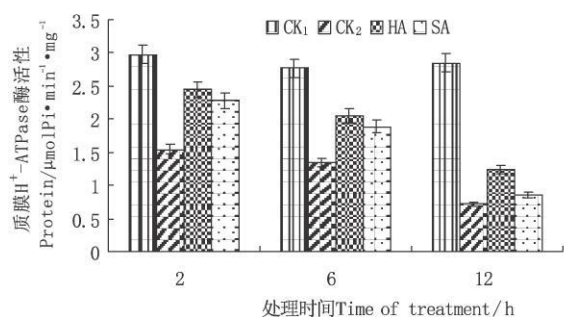


图1 SA 与高温锻炼对高温胁迫下葡萄叶片质膜 H<sup>+</sup>-ATPase 活性的影响

Fig.1 Effect of heat acclimation and SA pretreatment on the plasmalemma H<sup>+</sup>-ATPase Activity in mesophyll cell of grape plants under high temperature stress

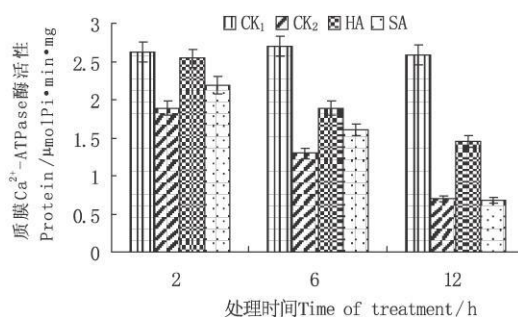


图2 SA 与高温锻炼对高温胁迫下葡萄叶片质膜 Ca<sup>2+</sup>-ATPase 活性的影响

Fig.2 Effect of heat acclimation and SA pretreatment on the plasmalemma Ca<sup>2+</sup>-ATPase activity in mesophyll cell of grape plants under high temperature stress

## 2 结果与分析

### 2.1 质膜 H<sup>+</sup>-ATPase 酶活性的变化

由图 1 可知, 葡萄幼苗经过 38℃高温锻炼 12 h 再经 2、6、12 h 的胁迫后, 叶片质膜的 H<sup>+</sup>-ATPase 活性均明显变化。分别比对照 1 下降了 0.531、0.717 和 1.610 μmolPi·min<sup>-1</sup>·mg<sup>-1</sup> (Protein), 较对照 1 分别下降了 17.9%、25.9% 和 56.6%。而与对照 2 相比却有显著提高( $P<0.01$ ), 分别比对照 2 提高 0.905、0.712、0.516 μmolPi·min<sup>-1</sup>·mg<sup>-1</sup> (Protein), 分别是 CK<sub>2</sub> 的 1.59、1.53 和 1.72 倍, 但均低于正常条件下的 H<sup>+</sup>-ATPase 活性水平(CK<sub>1</sub>)。经 SA 喷施处理 6 h 再经 2、6、12 h 的胁迫

后, 其叶片质膜的 H<sup>+</sup>-ATPase 活性变化与高温锻炼处理过的结果类似。质膜 H<sup>+</sup>-ATPase 活性低于 CK<sub>1</sub> 但高于 CK<sub>2</sub>。总的来说, 在胁迫过程中, 2 种预处理叶片质膜酶活显著高于对照 2, 即高温锻炼和 SA 预处理的质膜酶活仍保持了较高的活性。可见, 高温锻炼和 SA 预处理的质膜酶可保持葡萄叶片质膜 H<sup>+</sup>-ATPase 酶在高温下的稳定性。但高温锻炼对质膜 H<sup>+</sup>-ATPase 酶的激活程度高于 SA 预处理。

### 2.2 质膜 Ca<sup>2+</sup>-ATP 酶活性的变化

在葡萄叶片质膜上测出了 Ca<sup>2+</sup>-ATP 酶活性, 但其活性比质膜上的 H<sup>+</sup>-ATPase 酶活性低(图 1、2)。经预

处理后,质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性的变化趋势与  $\text{H}^{+}$ -ATPase 酶的变化相似。经  $(44 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$  高温热激后,与对照 1 相比,对照 2 的质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性均明显下降 ( $P < 0.01$ ),分别下降了 28.1%、52.1% 和 72.8%,表明随着胁迫程度的加深,质膜上  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性呈现大幅度下降趋势。但经高温锻炼和 SA 预处理的幼苗叶片质膜的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性要显著高于对照 2,说明在胁迫过程中,幼苗经过  $38^{\circ}\text{C}$  的高温锻炼 12 h 后以及喷施处理 6 h 后,激活了叶片质膜的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活。其中在胁迫 12 h 时高温锻炼处理后的效果最为明显,而 SA 预处理后的效果此时最不明显(图 2)。表明高温锻炼和预处理使质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活下降速度明显减缓。

### 3 讨论

#### 3.1 高温锻炼和 SA 与质膜 $\text{H}^{+}$ -ATPase 酶

质膜  $\text{H}^{+}$ -ATPase 对低温逆境的反应较早就有报告,焦新之<sup>[14]</sup>提出,高温、病害等也能影响质膜  $\text{H}^{+}$ -ATP 酶活性。目前质膜  $\text{H}^{+}$ -ATP 酶对高温逆境的反应研究很少,Marimma 等<sup>[15]</sup>以玉米苗为材料,采用  $42.5^{\circ}\text{C}$  热激处理幼苗 4 h,质膜上的  $\text{H}^{+}$ -ATP 酶活性要显著高于直接用  $50^{\circ}\text{C}$  的热激处理。该试验已经表明:当用  $38^{\circ}\text{C}$  的高温对葡萄幼苗热锻炼 12 h,质膜上  $\text{H}^{+}$ -ATP 酶显著升高,并且在随后  $44^{\circ}\text{C}$  的高温热激下仍保持较高的水平(图 1)。高温锻炼预处理可维持质膜上酶活性的稳定,其原因可能是高温锻炼促进了  $\text{H}^{+}$ -ATP 酶基因的表达或酶蛋白的修饰。但刘箭等<sup>[6]</sup>报告,用  $50^{\circ}\text{C}$  热激处理菜豆叶片后,从组织水平观察,受热害的细胞已完全破碎后,质膜 ATP 酶还具有相当的活性。可见,有关  $\text{H}^{+}$ -ATP 酶对高温胁迫的反应目前尚无一致结论,需以后进一步研究。

#### 3.2 高温锻炼和 SA 与质膜 $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶

王红等<sup>[17]</sup>用细胞化学方法对冬小麦幼苗质膜的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶进行定位研究,结果发现抗寒锻炼提高了质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶在低温下的稳定性。曾韶西等<sup>[12]</sup>在以水稻为材料的试验中得到相同的结果。而高温胁迫与质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶的关系尚未见研究报告,但已有许多直接的试验表明,高温热激可诱导胞质中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的增加,而如果胞质内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度长期处于高水平,将会干扰有磷酸参与的能量代谢,引起中毒。植物在维持胞内低  $\text{Ca}^{2+}$  浓度水平上,质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶具有重要的作用<sup>[18]</sup>。该试验研究发现,高温锻炼预处理提高了葡萄幼苗质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶的活性,并保持了酶活在高温下的稳定性,在热激 6 h 时,高温锻炼预处理的酶活仍为对照 2 的 1.5 倍(图 2)。从这些结果可以得出,高温锻炼激活了质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性,使幼苗能更有效的将高温热激所升高的过量  $\text{Ca}^{2+}$  运往胞外或其他钙库,维持胞质内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的低稳态水平,从而保证了细胞生理代谢和信

息传递功能的正常运行。而目前较多的研究已肯定, CaM 在抗热性形成方面也具有重要的作用<sup>[19]</sup>,那么高温锻炼对质膜  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶的诱导作用是否由  $\text{Ca}^{2+}$ -CaM 系统来介导完成,尚需以后的研究。

外源 SA 同高温锻炼具有相同的效果,提高了质膜上的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性,保持了  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶在热激下的稳定性(图 1、2),减轻了高温对细胞的伤害。其原因可能是:预处理首先促使细胞内  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的升高,进而激活  $\text{Ca}^{2+}$ -CaM 系统,而  $\text{Ca}^{2+}$ -CaM 系统又激活了  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶,最终  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶反馈控制胞质内的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度,使其保持在正常水平,从而保证了细胞生理代谢和信息传递功能的正常运行,前面的试验结论<sup>[20]</sup>也充分证实了这一点。但保护细胞免受高温热激的伤害,这一系列过程需要更为直接的证据来证明。

质膜 ATPase 活性的变化一定程度上反映了植物叶片对高温胁迫的响应程度,SA 和高温锻炼预处理都可以不同程度地维持高温胁迫对葡萄幼苗叶片质膜上 ATP 酶活性的稳定性,缓减高温胁迫对细胞质膜的破坏,从而维持细胞组织的正常生理功能。从这个层面上可以说 SA 与 HA 对于提高葡萄抗热性的效果是一致的。对于提高葡萄幼苗叶片的抗热性来说,与 SA 相比,初步认为高温锻炼的效果要好些。

#### 参考文献

- [1] 王利军,黄卫东,于凤义. 高温胁迫对<sup>14</sup>C-SA 在葡萄植株中的运转和分配的影响[J]. 植物生理学报, 2001, 27(2): 129-134.
- [2] 刘悦萍,黄卫东,王利军. 葡萄叶片饲喂的<sup>14</sup>C-水杨酸对高温胁迫的应激反应[J]. 中国农业科学, 2003, 36(6): 685-690.
- [3] 余迪求,岑川,李宝健,等. 植物系统获得的抗病性和信号转导[J]. 植物学报, 1999, 41(2): 115-124.
- [4] Dat J F, Lopez-Delgado H, Foyer C H, et al. Parallel change in  $\text{H}_2\text{O}_2$  catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedling[J]. Plant Physiol, 1998, 116: 1351-1357.
- [5] Dat J F, Lopez-Delgado H, Foyer C H, et al. Effect of salicylic acid oxidative stress and thermo- tolerance in tobacco[J]. Plant Physiol, 2000, 156: 659-665.
- [6] 王利军,黄卫东,战吉成. 水杨酸和高温锻炼诱导葡萄抗热性及其与抗氧化的关系[J]. 园艺学报, 2003, 30(4): 452-454.
- [7] 王利军,李家承,刘允芬,等. 高温干旱胁迫下水杨酸和钙对柑橘光合作和叶绿素荧光的影响[J]. 中国农学通报, 2003, 19(6): 185-189.
- [8] 张宗申,利容千,王建波. 外源  $\text{Ca}^{2+}$  预处理对高温胁迫下辣椒细胞膜透性和 GSH、AsA 含量及  $\text{Ca}^{2+}$  分布的影响[J]. 植物生态学报, 2001, 25(2): 230-234.
- [9] 阎春兰,王建波. 热胁迫对辣椒花柱细胞中  $\text{Ca}^{2+}$  分布的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(1): 95-97.
- [10] 王利军,李邵华,李家永,等. 温度逆境交叉适应对葡萄叶片膜脂过氧化和细胞内钙分布的影响[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 326-332.
- [11] 胡章立,李琳,荆家海,等. 水分胁迫对玉米幼叶生长区细胞质膜  $\text{H}^{+}$ -ATPase 活性的影响[J]. 植物生理学报, 1993, 19(2): 124-130.
- [12] 曾韶西,李美茹. 冷和盐处理提高水稻抗寒性期间细胞  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 活性的变化[J]. 植物学报, 1999, 4(2): 156-160.

- [13] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 1版. 北京: 科学出版社 1999: 66-67.
- [14] 焦新之. 高等植物细胞膜的传递蛋白和与其相关的渗透调节作用[J]. 植物生理学通讯, 1993, 29(1): 3-9.
- [15] Mariamma M, Muthukumar B, Gnanam A. Thermotolerance and effect of heat shock on the stability of the ATPase enzyme in rice[J]. Plant Physiol, 1997, 150: 739-742.
- [16] 刘箭, 杨晓贺. 菜豆细胞膜系统上  $Mg^{2+}$ -ATP 酶热稳定性的研究[J]. 北京农业大学学报, 21(3): 236-239.
- [17] 王红, 孙德兰, 卢有福, 等. 抗热锻炼对冬小麦幼苗  $Ca^{2+}$ -ATPase 的

稳定作用[J]. 植物学报, 1999, 100(1): 1-15.

- [18] Biyaseheva A E, Molotkovski Y G, Manonov L K. Increase of free  $Ca^{2+}$  in the cytosol of plant protoplasts in response to heat stress as related to Ca homeostasis[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 1993, 40: 540-544.
- [19] Gong M, Li Y J, Dai X, et al. Involvement of calcium and calmodulin in the acquisition of heat shock-induced thermotolerance in maize seedlings[J]. Plant Physiol, 1997, 150: 615-621.
- [20] 康喜亮, 郁松林, 胡伟, 等. SA 与高温锻炼对高温逆境下葡萄幼叶钙离子水平的影响[J]. 石河子大学学报, 2005, 35(4): 325-330.

## Effect of Heat Acclimation and SA Pretreatment on the Plasmolemma ATPase Activity in Mesophyll Cell of Grape Plants under High Temperature Stress

LIU Yang, KANG Xi-liang, YANG Li-juan, BAI Zhi-chuan

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Beibei, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The ATPase of mesophyll cell in young grape plants after heat acclimation and SA pretreatment were separated and measured by the method of two-phase partition. It showed that the activity of plasmolemma ATPase was decreased with heat stress. After heat acclimation and SA pretreatment under heat stress, the activity of plasmolemma ATPase was lower than which under normal condition (CK<sub>1</sub>) but remarkably higher than which had not been treated and been put directly under heat stress (CK<sub>2</sub>). That was, the plasmolemma ATPase still kept high activity. What's more the latter effect was more obvious and it's indicated that the change of ATPase activity responds to heat stress. Meanwhile the heat-resistant was close associated with the stability of ATPase activity through SA and heat acclimation pretreatment.

**Key words:** High-temperature stress; Young grape plant; Heat acclimation; Salicylic acid; ATPase

## 早春蔬菜要防倒春寒

春寒分低温冷害和晚春霜冻2种:低温冷害主要发生在3~4月份,对春季蔬菜造成烂根、死苗、落花落果以及先期抽薹等危害;晚春霜冻一般发生在4月中、下旬,使田间正在生长的蔬菜植株表面结霜,受到损害。根据实践经验,现将预防措施介绍如下。

**1 低温练苗。**幼苗出齐以后,苗床要通风,并随天气转暖逐步加大通风量,对幼苗进行低温锻炼,以提高秧苗抗寒能力,适应室外低温环境。

**2 增加设施。**增加保护设施可采取两种方式:一是架设风障。风障对冷空气有阻挡作用,阻止地表进一步降

温。二是开沟栽植,覆盖地膜。早春蔬菜定植时,可采用开沟栽植方式,沟深要求超过菜苗高度,再在沟上覆盖地膜即可。

**3 临时加温。**在寒流来临时,可在育苗棚或生产棚借助于搭建简易煤炉或安装电灯来进行临时加温,以提高棚内温度,防止冻害。

**4 浇灌井水。**当较强冷空气过后,天气晴朗,夜间无风或微风,而且气温迅速下降,特别是当地表温度降至0℃以下出现霜冻时,可在地面浇灌井水,以大幅度提高地温。

**5 点燃熏烟。**在霜冻之夜,在田间熏烟可有效地减轻或避免霜冻灾害。但

要注意两点:一是烟火点应当密些,使烟幕能基本覆盖全园;二是点燃时间要适当,应在上风方向,午夜至凌晨2~3时点燃,直至日出前,有烟幕笼罩在地面,这样效果最好。

**6 适量喷水。**霜冻发生前,用喷雾器对植株表面喷水,可使其下降缓慢,而且还可以增加大气中水蒸气含量,水气凝结放热,以缓和霜害。

**7 适时中耕。**在霜前进行中耕,可以减轻霜害。因春季气温逐渐升高,畦土锄松后,可以较好地吸收和存贮太阳热能,一旦霜害降临,因土壤中已积存一部分热量,即可缓和霜冻。