

不同药剂处理对低夜温下番茄幼苗的影响

陈丽平¹, 赵方贵², 程斐¹, 杨廷杰¹, 陈宁¹, 李敏^{1*}

(1. 青岛农业大学园艺学院, 山东青岛 266109; 2. 青岛农业大学生命科学院, 山东青岛 266109)

摘要 [目的]研究4种不同的药剂对低夜温下番茄(*Lycopersicon esculentum*)幼苗的影响,探讨番茄幼苗耐低温的指标和易行的提高番茄幼苗耐低温的方法,以期降低番茄育苗生产中的加温成本。[方法]以番茄“LA02”为供试材料,用50、100和200 mg/L的氯化钙(CaCl₂)、水杨酸(SA)、硝普纳(SNP)和壳聚糖(CS)处理低夜温下的番茄幼苗,清水为对照(CK)。测定其鲜干重、相对生长率和生理指标。[结果]CaCl₂、SA、SNP和CS均能增加番茄幼苗的耐低温能力,SNP、CS和SA的效果好于CaCl₂;叶绿素、MDA和可溶性蛋白含量与相对生长率存在显著相关,适合作为番茄幼苗耐低温指标;200 mg/L SNP和100 mg/L CS处理后番茄幼苗抗低温表现最强;4种药剂中,SNP促进耐低温的浓度范围宽,各项指标随浓度变化缓,易于生产上应用。[结论]叶绿素和MDA含量适于作为番茄幼苗的耐低温指标,4种药剂中,SNP更适合用于提高番茄幼苗的耐冷性。

关键词 低温;番茄;幼苗;药剂;生理指标

中图分类号 S641.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)36-035-03

Effects of Different Chemicals on Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Seedlings under Low Night Temperature

CHEN Li-ping¹, ZHAO Fang-gui², CHENG Fei¹, LI Min^{1*} et al (1. College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109; 2. School of Life Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109)

Abstract [Objective] The aim was to study the effects of different concentrations of chemicals (CaCl₂, SA, SNP and chitosan) on the tomato seedlings at low night temperature, screen the indices of chilling resistance and provide the simple method to improve the chilling resistance of tomato seedlings for reducing the cost of tomato seedling production. [Method] The seedlings of tomato (LA02) as the trial material, were treated with different concentrations (50, 100 and 200 mg/L) of four chemicals [calcium chloride (CaCl₂), salicylic acid (SA), sodium nitroprusside (SNP) and chitosan (CS)] three times under low night temperature. CK was treated with water. Fresh weight, dry weight, relative growth rate (RGR) and some physiological indices of tomato seedlings were determined. [Result] The results showed that the chilling resistance of tomato seedling was improved significantly by CaCl₂, SA, SNP and CS. The effects of SA, SNP and CS were better than that of CaCl₂. The contents of chlorophyll, MDA and soluble protein significantly correlated with the relative growth rate, so they were suitable for chilling resistance indices of Tomato Seedlings. The chilling resistance of tomato seedlings with 200 mg/L SNP and 100 mg/L CS treatments were strongest, SNP promoted chilling resistance of tomato seedling within the wide range of concentration, and all kinds of indices of tomato seedlings that had determined changed slowly with concentration of SNP, so SNP would be applied easily in the production. [Conclusion] Protein content and MDA content are suitable for chilling resistance indices, and SNP is better for improving chilling resistance of tomato seedlings among the four chemicals.

Key words Low temperature; Tomato; Seedlings; Chemicals; Physiological indices

随着蔬菜工厂化育苗的普及,降低低温期的加温成本成为非常突出的问题^[1-4]。我国加温费用高,日光温室或大棚育苗在北方大部地区普遍存在昼温高、夜温低的现象^[5-6]。为提高蔬菜幼苗夜间耐冷能力,笔者以育苗生产中重点蔬菜之一的番茄为研究对象,采用方便的药剂处理,旨在对比前人研究的几种提高耐冷性的药剂之间的差异^[7-10],以及对番茄幼苗耐低温能力的影响,以期能为昼夜温差较大时生产高质量的番茄幼苗找到更简单易行的方法,从而降低蔬菜工厂化育苗的加温成本。

1 材料与方

以草炭与珍珠岩(2:1)为育苗基质,基质pH=6.5,常规温浸种催芽后播于72孔穴盘中。番茄在25~30℃条件下出苗,出苗7天后转入6~12℃的低夜温,两片真叶展开后对幼苗喷施浓度为50、100、200 mg/L的氯化钙(CaCl₂)、水杨酸(SA)、硝普纳(SNP)和壳聚糖(CS),3 d 1次,共处理3次,清水为对照(CK),共13个处理,分别记为CaCl₂50、

CaCl₂100、CaCl₂200; SA50、SA100、SA200; SNP50、SNP100、SNP200; CS50、CS100、CS200及CK。处理7 d和15 d后测定幼苗的生长指标[干重、鲜重、相对生长率(RGR)],生理指标[叶绿素、丙二醛(MDA)、根系活力、细胞膜透性、超氧化物歧化酶(SOD)、可溶性蛋白和可溶性糖含量]。其中,相对生长率(RGR) = $(\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$ 。叶绿素采用SPAD-502 PLUS叶绿素测定仪,MDA含量采用TBA比色法测定,根系活力测定采用TTC法,细胞膜透性测定用电导仪法,SOD活性测定采用NBT法,可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝G-250法,可溶性糖含量测定采用蒽酮法^[11]。数据采用DPS7.05数据处理软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同药剂处理对低夜温下番茄幼苗生长量的影响 由表1可知,不同药剂处理都能在一定浓度范围内提高低夜温下番茄幼苗鲜干重的RGR,除SA、SNP外,促进作用都随药剂浓度升高而呈现先升后降趋势;其中,SNP200处理的鲜、干重的RGR最大,分别为105.18 mg/(g·d)和11.29 mg/(g·d),较CK增加31.98%和32.48%;CS100处理的鲜干重的RGR与之差异不显著;达到一定浓度(CaCl₂200和SA100)后药剂处理有降低RGR的作用。SNP处理的RGR一直随浓度升高而增加;SA处理,随着浓度增加,鲜重相对变化量是下降的,干重稍

基金项目 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD12B03);山东省科技发展计划(2013GNC11014)。

作者简介 陈丽平(1974-),女,内蒙古呼盟人,讲师,硕士,从事蔬菜栽培生理及设施农业研究。*通讯作者,教授,博士,硕士生导师,从事蔬菜生理及蔬菜育种研究。

收稿日期 2015-12-07

表1 低夜温下不同药剂处理的番茄幼苗鲜干重

处理	鲜重I//g	鲜重II//g	RGR _(鲜) //mg/(g·d)	干重I//g	干重II//g	RGR _(干) //mg/(g·d)
CK	3.20	5.59	79.69 d	0.488	0.518	8.52 d
CaCl ₂ 50	4.36	8.36	93.00 c	0.739	0.792	9.89 c
CaCl ₂ 100	2.62	5.11	95.43 c	0.428	0.460	10.30 bc
CaCl ₂ 200	4.65	7.55	69.24 de	0.547	0.580	8.37 d
SA50	2.86	5.77	100.26 bc	0.492	0.531	10.90 b
SA100	3.71	6.27	74.96 d	0.746	0.786	7.46 e
SA200	5.27	8.28	64.54 e	0.677	0.715	7.80 de
SNP50	3.07	5.55	84.59 cd	0.483	0.518	9.99 bc
SNP100	2.85	5.73	99.77 bc	0.493	0.531	10.61 b
SNP200	3.52	7.35	105.18 a	0.523	0.566	11.29 a
CS50	3.11	5.92	91.96 c	0.511	0.548	9.99 bc
CS100	2.93	7.35	104.05 ab	0.645	0.697	11.08 a
CS200	4.26	5.92	81.38 d	0.664	0.708	9.17 c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著($P < 0.05$)。

有区别但大致也是下降的。

2.2 不同药剂处理对低夜温下番茄幼苗叶绿素含量和根系活力的影响 由表2可知,不同药剂处理都能在一定浓度范围内增加低夜温下的番茄幼苗叶绿素含量,但是,各药剂作用效果随着浓度增加表现出不同的趋势。CaCl₂逐渐下降,SNP逐渐增加,CS先升后降,SA低浓度效果较佳。其中,CS100和SNP200处理的叶绿素含量最高,分别为57.35和57.34,较CK增加8.33%和8.31%;SA50和SNP100处理的叶绿素含量差异不显著;达到一定浓度(CaCl₂200和SA100)叶绿素含量下降。SNP处理的叶绿素含量一直随浓度升高而增加。

表2 不同药剂处理的番茄幼苗叶绿素含量和根系活力

处理	叶绿素含量 (SPAD值)	根系活力 mg/(g·h)	处理	叶绿素含量 (SPAD值)	根系活力 mg/(g·h)
CK	52.94 de	40.12 f	CK	52.94 de	40.12 f
CaCl ₂ 50	55.71 bc	61.10 cde	SNP50	54.52 c	73.50 bc
CaCl ₂ 100	55.36 bc	77.32 b	SNP100	56.31 ab	53.47 de
CaCl ₂ 200	51.24 f	45.84 ef	SNP200	57.34 a	53.47 de
SA50	56.74 ab	72.55 bc	CS50	54.31 cd	56.53 de
SA100	51.31 f	89.25 a	CS100	57.35 a	57.29 de
SA200	52.26 ef	53.47 de	CS200	55.68 bc	63.96 cd

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著($P < 0.05$)。

不同药剂处理都能不同程度地增加低夜温下番茄幼苗的根系活力,增强了番茄幼苗根系活力;CaCl₂和SA处理后番茄幼苗根系活力的增加都随药剂浓度升高呈先升后降趋势;其中SA100处理的根系活力最高,为89.25 mg/(g·h),较其他处理有显著差异,其次是CaCl₂100、SNP50和SA50,这3个处理的根系活力无显著差异。而CS处理的根系活力一直随浓度升高而增加;SNP表现出低浓度效果较优。

2.3 不同药剂处理对低夜温下番茄幼苗SOD活性、可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响 由表3可知,不同药剂处理对低夜温下番茄幼苗的SOD活性有显著的影响,均能在一定浓度范围内不同程度增加低夜温下番茄幼苗的SOD活性、可溶性蛋白和可溶性糖含量,SNP处理后SOD活性都随药剂

浓度升高而呈先升后降趋势;其他药剂处理则逐渐下降,表现出低浓度促进效果明显。其中,CaCl₂50处理的SOD活性最高,为98.00 U/g,较CK增加68.38%,其次是CaCl₂100,但与之差异显著。浓度达到200 mg/L时,除SNP处理外,番茄幼苗的SOD活性都较CK显著下降。

表3 不同药剂处理的番茄幼苗SOD活性、可溶性蛋白和可溶性糖含量

处理	SOD U/g	可溶性蛋白 mg/g	可溶性糖 mg/g
CK	58.20 de	8.39 d	9.27 f
CaCl ₂ 50	98.00 a	13.33 bc	10.81 ef
CaCl ₂ 100	84.01 b	13.56 bc	12.06 e
CaCl ₂ 200	29.26 g	8.09 d	14.86 d
SA50	78.92 bc	14.27 ab	14.71 d
SA100	69.56 cd	12.82 bc	27.73 a
SA200	47.11 f	11.82 c	18.10 c
SNP50	75.29 bc	13.23 bc	23.48 b
SNP100	82.83 bc	13.72 bc	9.92 ef
SNP200	81.33 bc	14.68 ab	10.05 ef
CS50	79.65 bc	13.08 bc	12.11 e
CS100	79.33 bc	15.43 a	27.25 a
CS200	44.30 f	13.38 bc	15.54 d

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著($P < 0.05$)。

药剂处理的可溶性蛋白含量都随药剂浓度的增加而呈先升后降趋势,SA逐渐降低,SNP逐渐升高。其中,CS100处理的可溶性蛋白含量最高,为15.43 mg/g,较CK增加83.90%;其次是SNP200和SA50,且3者之间无显著差异。

SA和CS处理后番茄幼苗可溶性糖含量都随浓度升高而呈先升后降趋势,而CaCl₂处理的可溶性糖含量随浓度升高而升高;SNP低浓度效果较佳。其中,SA100处理的可溶性糖含量最高,为27.73 mg/g,其次是CS100,二者之间差异不显著。

2.4 不同药剂处理对低夜温下番茄幼苗MDA含量和细胞膜透性的影响 由表4可知,不同药剂处理对低夜温下番茄幼苗MDA含量影响显著,其MDA含量都较CK有不同程度地下降。其中,CS100处理的MDA含量最低,为24.00 μmol/g,较CK下降了28.72%,其次是SA50、SNP100和

SNP200,三者无显著差异。SNP 处理的 MDA 含量随浓度升高而下降。

表 4 不同药剂处理的番茄幼苗 MDA 的含量和细胞膜透性

处理	MDA μmol/g	细胞膜透 性//%	处理	MDA μmol/g	细胞膜透 性//%
CK	33.67 a	0.463 a	CK	33.67 a	0.463 a
CaCl ₂ 50	28.34 cde	0.427 b	SNP50	33.64 a	0.458 a
CaCl ₂ 100	27.17 de	0.423 b	SNP100	26.17 ef	0.381 e
CaCl ₂ 200	30.00 bcd	0.393 de	SNP200	25.50 ef	0.407 c
SA50	26.17 ef	0.350 f	CS50	30.17 bcd	0.454 a
SA100	31.67 abc	0.429 b	CS100	24.00 f	0.450 a
SA200	32.17 ab	0.450 a	CS200	29.00 cde	0.395 de

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著($P < 0.05$)。

表 5 低夜温下的番茄幼苗 RGR 与各项生理指标的相关性

	叶绿素	根系活力	SOD	可溶性蛋白	可溶性糖	MDA	细胞膜透性
RGR _(鲜)	0.91**	0.08	0.55	0.68*	-0.22	-0.80**	-0.27
RGR _(干)	0.93**	0.02	0.67*	0.73**	-0.24	-0.78**	-0.29

注: $\alpha = 0.05$ 时, $r = 0.553$; $\alpha = 0.01$ 时, $r = 0.684$; * 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

2.6 增强番茄幼苗耐冷性药剂种类和药剂浓度的筛选 由表 6 可知, 番茄幼苗的 RGR_(鲜) 和 RGR_(干) 都是 SNP200 和 CS100 处理最好。生理指标中, CS100、SNP200 和 SA50 处理的叶绿素、MDA 和可溶性蛋白含量表现最佳, 且 3 者间无显著差异。SNP100 的叶绿素和 MDA 含量较前 3 个处理无显

SA50 处理的细胞膜透性最低, 为 0.350, 较 CK 下降 24.41%; 其次是 SNP100、CaCl₂200 和 CS200, 且 3 个处理间无显著差异。

2.5 低夜温下番茄幼苗的相对生长率与各项生理指标的相关性分析 由表 5 可知, 低夜温下, 番茄幼苗鲜重的 RGR 与叶绿素、MDA 含量呈极显著相关, 与可溶性蛋白呈显著相关; 干重的 RGR 与叶绿素、可溶性蛋白和 MDA 含量呈极显著相关, 与 SOD 活性显著相关; 干重的 RGR 与叶绿素含量、SOD 活性和可溶性蛋白含量呈正相关, 而与 MDA 含量呈负相关。综合考虑, 可以确定叶绿素含量和 MDA 作为番茄幼苗在低温下的首要抗冷指标, 其次为可溶性蛋白含量, 最后是 SOD 活性。

著差异, 但可溶性蛋白含量与 CS100 差异显著; SOD 活性最高的是 CaCl₂50, 其他各处理差异不显著, 综合考虑生长指标和生理指标及其相关性高低, SNP200 和 CS100 两个处理对增强番茄幼苗耐冷性效果最好, 其次是 SA50 和 SNP100。

表 6 药剂和浓度筛选

处理	RGR _(鲜) //mg/(g·d)	RGR _(干) //mg/(g·d)	叶绿素(SPAD)	MDA //μmol/g	可溶性蛋白 //mg/g	SOD //U/g
SNP200	105.18 a	11.29 a	57.34 a	25.50 ef	14.68 ab	81.33 bc
CS100	104.05 ab	11.08 a	57.35 a	24.00 f	15.43 a	79.33 bc
SA50	100.26 bc	10.90 b	56.74 ab	26.17 ef	14.27 ab	78.92 bc
SNP100	99.77 bc	10.61 b	56.31 ab	26.17 ef	13.72 bc	82.83 bc
CS50	-	-	-	-	-	79.65 bc
CaCl ₂ 100	-	-	-	-	-	84.01 b
SNP50	-	-	-	-	-	75.29 bc
CaCl ₂ 50	-	-	-	-	-	98.00 a

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

番茄育苗生产中最普遍的问题就是低夜温造成的损害, 增强番茄幼苗在低夜温下的耐冷性对节约番茄的育苗成本非常重要^[1-4]。已有研究侧重药剂对蔬菜抗冷性的影响, 但是对药剂之间的差异进行比较的不多^[7-10]。笔者研究发现 CaCl₂、SA、SNP 和 CS 都有促进番茄幼苗耐低温的作用, 但促进效果有一定差异。

植物生长初期体量较小, 取样造成的误差较大^[12], 鲜干重等指标不易体现其生长状况, 而相对生长率则能较好地体现一段时间内植物生物量的增长快慢^[13]。该研究的结果表明所采用的 4 种药剂都能不同程度地促进低夜温下番茄幼苗的相对生长率, 与已有研究结果相似^[7-10, 14-15]。

药剂处理在一定程度上影响低温下番茄幼苗的一些生理指标^[16-17]。该研究发现 CaCl₂、SA、SNP 和 CS 4 种药剂在一定浓度范围内均能增加低夜温下番茄幼苗的叶绿素、可溶性蛋白和可溶性糖含量, 提高番茄幼苗的根系活力和 SOD

活性, 降低 MDA 含量和细胞膜透性, 与已有的研究结果相似^[9, 16-18]。但不同的药剂种类及不同的浓度对众多的生理指标的影响表现各不相同, 究竟如何选择生理指标做为耐低温的指标, 在已有研究中所见较少^[7, 19]。该研究以能体现番茄幼苗生物量变化快慢的鲜干重的相对生长率为因变量, 分析 7 个生理指标与相对生长率之间的相关性。结果表明, 番茄幼苗的叶绿素含量、MDA 含量与其鲜干重的相对生长率都呈极显著相关; 可溶性蛋白含量则与干重的相对生长率呈极显著相关而与鲜重的相对生长率呈显著相关; SOD 含量与干重的相对生长率呈显著相关而与鲜重的相对生长率无显著相关性; 其他生理指标如根系活力、可溶性糖、细胞膜透性则与相对生长率无显著相关。这一结果与王之焕等^[17]、刘晓宇等^[17]、李俊等^[20]的研究结果不同, 可能与这几个生理指标的测定方法有关, 在操作过程中易出现误差干扰。SOD 也存在同样的问题, 作为耐低温指标来说欠缺稳定性^[19-20]。

(下转第 57 页)

表5 不同工艺肥料处理对玉米经济效益的影响

处理	施肥成本	施肥用工量	总经济效益	产值	产投比
	元/hm ²	元/hm ²	元/hm ²	元/hm ²	
T ₁	2 769.60	180.00	18 661.83	15 712.23	5.3:1
T ₂	2 491.50	540.00	18 516.63	15 485.13	5.1:1
T ₃	2 162.48	900.00	18 145.71	15 083.23	4.9:1
CK	2 054.40	900.00	17 148.45	14 194.05	4.8:1

注:玉米2.2元/kg,长效控释肥2400元/t,玉米专用配方肥2400元/t,普通复合肥2600元/t,尿素1850元/t,过磷酸钙1100元/t,氯化钾2900元/t。

件下,不同工艺的肥料对夏玉米植物学和经济性状的影响也不尽相同。对于植株性状的影响,以长效控释肥表现良好;在穗部性状和产量性状上,长效控释肥和玉米专用控释肥均表现良好,之间差异不显著;在经济效益上表现突出的为长效控释肥。综合玉米产量、生物量以及相关经济指标,长效控释肥表现最好,玉米专用配方肥次之。

由于长效控释肥价格偏高,工艺成本高,生产设备规模

(上接第37页)

因此认为,叶绿素含量和MDA含量更适合于作耐冷指标,其次是可溶性蛋白。

该研究表明,SNP200和CS100处理的番茄幼苗在相对生长率、叶绿素含量及MDA含量等指标中都较CK有显著变化,明显表现出耐低温能力提高,其次是SA50和SNP100处理的结果。整体结果表明SNP200和CS100处理的番茄幼苗耐冷能力提高最大。但从各个指标随浓度变化的反应来看,SNP在50~200mg/L范围内变化时,各个生长、生理指标(RGR、叶绿素、可溶性蛋白和MDA)出现先升后降的情况较少,并且先升后降的幅度也较其他药剂要小(根系活力、可溶性糖),说明SNP对促进番茄幼苗耐冷性的作用范围较宽泛,在很大浓度范围内都能促进番茄幼苗耐冷性的提高。由此可见,SNP不容易因浓度问题而产生药害,更适合在生产上应用、更易于操作。

参考文献

- [1] 吴建军. 设施蔬菜育苗存在的问题及其技术[J]. 现代农业科技, 2011(1):145,147.
- [2] 郭孟报, 杨明金, 刘斌, 等. 我国蔬菜育苗产业现状及发展动态[J]. 农机化研究, 2015(1):250-253.
- [3] 张昆. 蔬菜工厂化育苗产业发展研究[J]. 农业科技与装备, 2015(1):74-75.
- [4] 宗晓琴. 山西省蔬菜集约化育苗生产现状及对策[J]. 农业技术与装备, 2007(7):26-28.
- [5] 曹新荣, 陈红. 蔬菜育苗生产中常见的问题及预防对策[J]. 新疆农业

小等,导致推广缓慢,但其肥效缓慢释放的特性能够与作物需肥规律保持一致,且具有增加产量、减少因养分损失而引起对环境的不良影响等优点,已经逐渐被人们接受^[7]。长效控释肥适合劳动力短缺,且种植面积大,机械化程度高的种粮大户施用,具有较好的推广前景。

参考文献

- [1] 张民, 史衍玺, 杨守祥, 等. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业, 2001, 28(5):27-30.
- [2] 卫丽, 马超, 黄晓书, 等. 控释肥对土壤全氮含量及夏玉米产量品质的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4):176-179.
- [3] 李子双, 谭德水, 王薇, 等. 不同控释肥对夏玉米农艺性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(9):85-88.
- [4] 王从赵, 刁成兰, 周国华, 等. 金正大缓释肥在玉米上应用试验示范报告[J]. 上海农业科技, 2014(2):97-98.
- [5] 孙克刚, 和爱玲, 胡颖, 等. 小麦-玉米轮作制下的控释肥肥效试验研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(5):1125-1129.
- [6] 田志刚, 田俊芹. 播种期对夏玉米产量及主要性状的影响[J]. 河北农业科学, 2006(4):14-15.
- [7] 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5):627-633.
- [8] 尚庆茂. 创新与发展——中国蔬菜集约化育苗[J]. 蔬菜, 2011(9):1-3.
- [9] 李延军, 王丽丽, 蒋欣梅, 等. 外源水杨酸诱导对番茄幼苗抗冷性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(4):463-467.
- [10] 薛国希, 高辉远, 李鹏民, 等. 低温下壳聚糖处理对黄瓜幼苗生理生化特性的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(4):441-448.
- [11] 唐宽强, 刘守伟, 吴凤芝, 等. 外源喷施CaCl₂对低温逆境下番茄抗冷性及开花结果的影响[J]. 北方园艺, 2013(11):10-14.
- [12] 肖春燕, 邢清晨, 刘会芳, 等. 低温下NO对黄瓜光合荧光及抗氧化特性的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(6):1083-1091.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [14] 宗学风, 王三根. 植物生理研究技术[M]. 重庆:西南师范大学出版社, 2011.
- [15] 张振贤, 程智慧. 高级蔬菜生理学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2008.
- [16] ZHU G W, ZHOU T, YAO S. Effects of chitosan and Salicylic acid on cold resistance of litchi under low temperature[J]. Agricultural science & technology, 2011, 12(1):26-29.
- [17] 谢冬娣, 石贵玉, 岳君. 壳聚糖对苦瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 广东农业科学, 2006(6):33-35.
- [18] 于秀针, 张彩虹, 姜鲁艳, 等. 外源NO对低温胁迫下番茄种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2014(22):5-8.
- [19] 王之焕, 于英梅, 张晓明. 低温弱光下壳聚糖对番茄幼苗生理指标的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(1):42-46.
- [20] 刘晓宇, 明霞, 杨威. 壳聚糖混剂对番茄幼苗生理特性的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2008, 36(6):117-119.
- [21] 廉洁, 谷建田, 张喜春. 氯化钙对低温胁迫下番茄幼苗的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(16):47-51.
- [22] 李俊, 李建明, 胡晓辉, 等. 亚精胺浸种对番茄幼苗抗盐碱的生理特性研究[J]. 西北植物学报, 2012, 32(9):1788-1791.