

向娟,潘绍坤,鲁荣海,等.水杨酸处理对低温胁迫豇豆幼苗生理生态特性的影响[J].江苏农业科学,2019,47(21):220-223.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.053

# 水杨酸处理对低温胁迫豇豆幼苗生理生态特性的影响

向娟<sup>1</sup>,潘绍坤<sup>1</sup>,鲁荣海<sup>1</sup>,郑江蓉<sup>1</sup>,林立金<sup>2</sup>,张茜<sup>3</sup>,李欣欣<sup>3</sup>,陈玲<sup>1</sup>

(1.成都市农林科学院园艺研究所,四川成都 611130; 2.四川农业大学果蔬研究所,四川成都 611130;

3.四川农业大学园艺学院,四川成都 611130)

**摘要:**以豇豆幼苗为材料,低温胁迫处理前分别采用0.0、0.5、1.5、3.0、5.0 mmol/L水杨酸(SA)喷施豇豆幼苗叶面,研究不同SA浓度对低温胁迫豇豆幼苗生理生态特性的影响及其缓解效应。结果表明,低温胁迫下喷施外源SA,可使豇豆幼苗的生物量、叶绿素a含量、叶绿素总量、脯氨酸含量、可溶性糖含量增加,豇豆幼苗超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性提高,豇豆幼苗过氧化氢酶活性、相对电导率、丙二醛含量降低;喷施0.5 mmol/L SA处理的豇豆幼苗,其生物量、相对含水量、光合色素含量、脯氨酸含量、超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性相对最高,其中,超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性分别比对照未喷施SA的增加208.11%、59.64%,而相对电导率相对最低,比对照降低74.42%。因此,SA预处理能缓解低温对豇豆幼苗的胁迫,以0.5 mmol/L外源SA效果相对最好。

**关键词:**水杨酸;豇豆;低温胁迫;生理生态;叶绿素;相对电导率

**中图分类号:** S643.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0220-03

水杨酸(salicylic acid, SA)被认为是一种新的植物内源激素,是存在于高等植物体内的内源生长调节物质<sup>[1-2]</sup>,参与植物体开花、种子萌发、膜透性、离子吸收等许多生理生化过程<sup>[3]</sup>。SA作为一种内源信号分子<sup>[4]</sup>,在缓解植物因低温胁迫引起的伤害中起到重要的作用。有研究表明,叶面喷施SA能有效提高西瓜幼苗的抗冷性,降低西瓜幼苗的冷害指数<sup>[5]</sup>;外施SA可显著增加低温胁迫下大豆幼苗叶片的叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖、脯氨酸含量,提高超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性和根系活力,显著降低丙二醛含量,维持了细胞膜的稳定性,降低了膜脂过氧化伤害程度,从而缓解了低温胁迫对大豆幼苗生长的抑制,并以1.5 mmol/L外源SA效果相对最好<sup>[6]</sup>;甘蓝和茄子施适当浓度的SA也有利于缓解低温伤害<sup>[7-8]</sup>。

豇豆(*Vigna unguiculata* L.)是豆科豇豆属豇豆种1年生缠绕草本植物,是我国重要的蔬菜作物之一<sup>[9]</sup>,喜温,耐热,不耐低温,设施中作为早春蔬菜栽培,越冬易受冻害<sup>[10-11]</sup>。在低温胁迫下,随着温度降低和低温持续时间的延长,豇豆种子萌发率、出苗率会下降,萌发、出苗时间延长<sup>[12]</sup>,且豇豆幼苗生长受到抑制,幼苗高度、根系长度、酶活性降低<sup>[13]</sup>,当温度低于15℃时,甚至豇豆结荚会受到影响<sup>[14]</sup>,进而导致减产,使豇豆生产遭受一定的经济损失。鉴于此,本试验以“7104”豇豆幼苗为试验材料,对其叶片外施SA,以探讨不同

浓度外源SA对低温胁迫下豇豆幼苗生理生态特性的影响,为豇豆低温冷害的有效防御提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试豇豆“7104”,为成都市农林科学院园艺研究所试验筛选出的新材料。

### 1.2 试验方法

试验于2018年3—6月在成都市农林科学院内进行,选取粒大、饱满、大小一致的豇豆种子,用2% (5.25 g/L)次氯酸钠消毒15 min;用蒸馏水洗3~4次,每次1 min;将豇豆种子播种到含营养土、蛭石配比1:1为基质的营养钵中,置于人工气候箱中培养,白天温度设定为(25±0.5)℃,夜晚温度为(15±0.5)℃,光照度为600 μmol/(m<sup>2</sup>·s);待豇豆幼苗长到2叶1心时,选择长势一致、无病虫害、健壮的植株,分别用0.0、0.5、1.5、3.0、5.0 mmol/L SA均匀喷施叶面1次/d,以叶面凝成水滴又不滴下为准,每浓度处理30株,其中,以喷施0.0 mmol/L SA为空白对照(CK);将经处理的豇豆植株放在气候箱中进行低温胁迫,白天温度设定为(10±0.5)℃,夜晚温度为(5±0.5)℃,光照度为200 μmol/(m<sup>2</sup>·s),光照时间为12 h/d<sup>[5]</sup>;连续低温胁迫9 d,采用测定相应指标,每处理重复3次。

### 1.3 测定内容与方法

将豇豆幼苗的根、茎、叶分别用自来水洗净,去离子水反复冲洗;吸干水分,用电子天平称量鲜质量;根、茎、叶105℃杀青15 min,70℃烘至恒质量,分别采用电子天平称量其不同部位的干质量即为各部位生物量;统计地上部生物量及根(茎、叶)含水量,其中,根(茎、叶)含水量计算公式为:

根(茎、叶)含水量=[根(茎、叶)鲜质量-根(茎、叶)干质量]/根(茎、叶)鲜质量×100%。

选取完全展开的第3片真叶,分别采用氮蓝四唑(NBT)

收稿日期:2018-08-06

基金项目:现代农业产业技术体系四川蔬菜创新团队(编号:nyeytx-31);四川省科技支撑计划(编号:2016NZ0032);四川省“十三五”蔬菜育种攻关(编号:2016NYYZ0033);成都市农林科学院科研专项(编号:510100-201700290-2017-00363)。

作者简介:向娟(1991—),女,四川德阳人,硕士,助理农艺师,从事蔬菜育种与栽培研究。E-mail:351212980@qq.com。

通信作者:陈玲,研究员,从事蔬菜育种与栽培研究。E-mail:nkschenling@126.com。

光还原法、愈创木酚比色法、高锰酸钾滴定 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 法测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性,采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛(MDA)含量,分别采用水合茚三酮显色法、考马斯亮蓝法、蒽酮比色法测定脯氨酸(Pro)、可溶性蛋白、可溶性糖含量,采用丙酮-乙醇(1:1)混合浸提法测定叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素等光合色素含量,采用电导仪测定相对电导率<sup>[15]</sup>。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 软件对数据进行统计,采用 SPSS 20.0 软件对试验处理进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗生物量的影响

由表 1 可知,喷施 SA 的豇豆幼苗根系、茎秆、叶片、地上部分生物量均显著高于对照( $P<0.05$ ),说明喷施 SA 可促进低温胁迫下豇豆幼苗的生长;喷施 SA 0.5 mmol/L 处理的豇豆幼苗,其根系、茎秆、叶片、地上部分生物量相对最高,分别比对照增加 147.77%、57.56%、58.89%、58.33%,显著高于其他处理,说明喷施 0.5 mmol/L SA 对低温胁迫下豇豆幼苗生长的影响效果相对最好。

表 1 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗生物量的影响

SA 浓度 (mmol/L)	根系生物量 (g/株)	茎秆生物量 (g/株)	叶片生物量 (g/株)	地上部生物量 (g/株)
0.0	0.157±0.001e	0.688±0.007e	0.939±0.004e	1.627±0.003e
0.5	0.389±0.006a	1.084±0.006a	1.492±0.001a	2.576±0.007a
1.5	0.307±0.004b	1.046±0.004b	1.338±0.006b	2.384±0.001b
3.0	0.243±0.003c	1.030±0.003c	1.294±0.007c	2.324±0.004c
5.0	0.203±0.003d	0.966±0.001d	1.272±0.003d	2.238±0.001d

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

2.2 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗含水量的影响

由表 2 可知,随 SA 处理浓度的增大,豇豆幼苗根系、茎秆、叶片、地上部分含水量呈先增后降趋势;5.0 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗其根系、茎秆、叶片、地上部分含水量较对照有显著降低( $P<0.05$ ),分别比 CK 降低 0.41%、0.99%、0.52%、0.76%;0.5、1.5 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗其根

系、茎秆、叶片、地上部分含水量均显著高于对照,其中以 0.5 mmol/L SA 处理时的含水量相对最高,分别比对照增加 1.20%、1.25%、0.36%、0.81%;3.0 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗根系含水量显著高于对照,叶片、地上部分含水量显著低于对照,茎秆含水量低于对照,但与对照相比差异不显著( $P>0.05$ )。

表 2 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗含水量的影响

SA 浓度 (mmol/L)	根系含水量 (%)	茎秆含水量 (%)	叶片含水量 (%)	地上部分含水量 (%)
0.0	94.00±0.028d	91.55±0.071c	91.15±0.071b	91.35±0.071c
0.5	95.13±0.071a	92.69±0.028a	91.48±0.057a	92.09±0.042a
1.5	94.68±0.042b	92.18±0.057b	91.41±0.014a	91.80±0.021b
3.0	94.49±0.028c	91.42±0.099c	90.86±0.057c	91.14±0.021d
5.0	93.61±0.057e	90.64±0.042d	90.68±0.028d	90.66±0.007e

2.3 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗叶片光合色素含量的影响

由表 3 可知,随 SA 处理浓度的增大,豇豆幼苗叶片叶绿素、类胡萝卜素含量呈先增后降趋势;低温胁迫下,0.5、1.5 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量较对照有显著增加( $P<0.05$ ),其中,0.5 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗光合色素含量相对最大,叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素含量分别比对照增加 14.18%、

27.24%、16.59%、3.19%,说明 0.5 mmol/L SA 处理对低温胁迫下豇豆幼苗光合色素的合成有较好的促进作用。

2.4 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗叶片电导率及生理活性物质的影响

由表 4 可知,经 SA 处理的豇豆幼苗其相对电导率均显著低于对照( $P<0.05$ ),说明 SA 处理可减轻低温对豇豆幼苗叶片细胞膜的伤害,其中,0.5 mmol/L SA 处理对叶片质膜的

表 3 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗叶片光合色素的影响

SA 浓度 (mmol/L)	叶绿素含量(mg/g)			类胡萝卜素含量 (mg/g)
	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总量	
0.0	1.086±0.056b	0.246±0.004d	1.332±0.052b	0.533±0.013a
0.5	1.240±0.042a	0.313±0.005a	1.553±0.037a	0.550±0.015a
1.5	1.236±0.053a	0.283±0.006b	1.519±0.047a	0.506±0.018ab
3.0	1.179±0.050ab	0.267±0.007c	1.446±0.043ab	0.484±0.025b
5.0	1.145±0.051ab	0.205±0.002e	1.350±0.054b	0.481±0.014b

表 4 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗叶片电导率及生理活性物质的影响

SA 浓度 (mmol/L)	相对电导率 (%)	SOD 活性 (U/g)	POD 活性 [U/(g·min)]	CAT 活性 [mg/(g·min)]
0.0	38.94 ± 0.147a	4.93 ± 0.018e	1 680 ± 28.12e	0.782 ± 0.004a
0.5	9.96 ± 0.143e	15.19 ± 0.030a	2 682 ± 31.01b	0.719 ± 0.007b
1.5	24.28 ± 0.201d	11.34 ± 0.072b	2 190 ± 30.37d	0.602 ± 0.003d
3.0	26.50 ± 0.177c	9.70 ± 0.069d	2 364 ± 29.82c	0.620 ± 0.005c
5.0	37.57 ± 0.291b	10.72 ± 0.035c	4 851 ± 31.61a	0.510 ± 0.001e

损伤程度相对最低,其相对电导率较对照降低 74.42%,1.5 mmol/L SA 处理的次之,较对照降低 37.65%;SA 处理的豇豆幼苗其叶片 SOD、POD 活性均显著高于对照,其中,0.5 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗叶片 SOD、POD 活性相对最高,分别比对照提高 208.11%、59.64%;SA 处理的豇豆幼苗其叶片 CAT 活性显著低于对照,0.5、1.5、3.0、5.0 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗叶片 CAT 活性分别比对照下降 8.06%、23.02%、20.72%、34.78%。

2.5 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗叶片渗透调节物质含量的影响

由表 5 可知,与对照相比,SA 处理可显著增加低温胁迫下豇豆幼苗叶片的脯氨酸含量( $P < 0.05$ ),一定程度上保护

叶片细胞膜结构,其中,以 0.5 mmol/L SA 处理的相对最佳,其叶片脯氨酸含量比对照提高 20.16%,其次是 5.0 mmol/L SA 处理的,叶片脯氨酸含量比对照增加 18.63%;喷施 SA 可缓解豇豆幼苗叶片内 MDA 的积累,SA 处理的豇豆幼苗叶片 MDA 含量显著低于对照,其中,3.0 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗叶片 MDA 含量相对最低,缓解低温胁迫的效果相对最好,比对照降低 36.26%,0.5 mmol/L SA 处理的次之,比对照降低 32.03%;0.5 mmol/L SA 处理可使豇豆幼苗叶片中可溶性蛋白含量较对照有显著增加,比对照提高 12.50%;0.5、1.5、3.0、5.0 mmol/L SA 处理可显著增加低温胁迫下豇豆幼苗叶片的可溶性糖含量,分别比对照提高 58.88%、50.47%、45.33%、14.72%。

表 5 SA 对低温胁迫下豇豆幼苗叶片渗透条件物质含量的影响

SA 浓度 (mmol/L)	Pro 含量 (μg/g)	MDA 含量 (μmol/kg)	可溶性蛋白含量 (mg/g)	可溶性糖含量 (mg/g)
0.0	339.8 ± 13.79b	6.370 ± 0.037a	2.160 ± 0.038b	4.280 ± 0.004e
0.5	408.3 ± 14.70a	4.330 ± 0.038d	2.430 ± 0.052a	6.800 ± 0.006a
1.5	392.7 ± 17.90a	4.840 ± 0.032c	2.170 ± 0.031b	6.440 ± 0.003b
3.0	381.1 ± 11.49a	4.060 ± 0.020e	1.990 ± 0.022c	6.220 ± 0.003c
5.0	403.1 ± 16.22a	5.130 ± 0.047b	1.910 ± 0.092c	4.910 ± 0.001d

3 结论

在低温胁迫下,喷施 0.5 mmol/L 水杨酸(SA)处理豇豆幼苗,其根系、茎秆、叶片、地上部分生物量相对最高,分别比未喷施 SA 的处理(对照)显著增加 147.77%、57.56%、58.89%、58.33% ( $P < 0.05$ )。外施 SA 提高了豇豆幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性,降低了过氧化氢酶(CAT)活性,其中,0.5 mmol/L SA 处理的豇豆幼苗叶片 SOD、POD 活性相对最高,分别比对照提高 208.11%、59.64%,CAT 活性比对照下降幅度相对最小,仅为 8.06%。外施 0.5 mmol/L SA 的豇豆幼苗,其地上部分含水量、叶绿素总量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量相对最高,分别比对照增加 0.81%、16.59%、20.16%、12.50%、58.88%,相对电导率、丙二醛含量分别比对照降低 74.42%、32.03%。因此,SA 预处理能缓解低温胁迫对豇豆幼苗生长的抑制作用,其中,以施用 0.5 mmol/L 外源 SA 效果相对最佳。

参考文献:

[1] Salicylate R I. A new plant hormone[J]. Plant Physiology,1992,99 (3):799-803.

[2] Pal M,Kovacs V,Vida G,et al. Changes induced by powdery mildew in the salicylic acid and polyamine contents and the antioxidant enzyme activities of wheat lines [J]. European Journal of Plant Pathology,2013,135(1):35-47.

[3] 赵敏,杜彩云,王俊英,等. 水杨酸对番茄幼苗抗冷性的影响[J]. 河南农业科学,2013,42(8):89-91.

[4] Malamy J, Carr J P, Klessig D F, et al. Salicylic acid: a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection[J]. Science,1990,250(4983):1002-1004.

[5] 张永吉,李爱民,徐中友,等. 不同浓度水杨酸对西瓜幼苗抗冷性的诱导效应[J]. 江苏农业科学,2016,44(3):183-185.

[6] 常云霞,徐克东,陈臻,等. 水杨酸对低温胁迫下大豆幼苗生长抑制的缓解效应[J]. 大豆科学,2012,31(6):927-931.

[7] 周忆堂,梁丽娇,马红群,等. 水杨酸预处理对甘蓝幼苗冷害的缓解效应[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2007,32(5):99-103.

[8] 耿广东,程智慧,李建设,等. 水杨酸对茄子幼苗抗寒性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2002,30(6):101-103.

[9] 吕家龙. 蔬菜栽培学各论[M]. 北京:中国农业出版社,1980.

[10] 王明友,张红,李士平. 低温胁迫对不同豇豆品种抗寒性生理特性的影响[J]. 安徽农学通报,2016,22(24):60-62.

李晓曼, 王建军. 丛枝菌根真菌对镍胁迫桂花幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 223–227.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.054

# 丛枝菌根真菌对镍胁迫桂花幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响

李晓曼<sup>1</sup>, 王建军<sup>2</sup>

(1. 重庆三峡职业学院农林科技系, 重庆万州 400155; 2. 长安大学, 陕西西安 710061)

**摘要:**以桂花幼苗为材料, 研究接种丛枝菌根真菌(AMF)对0、100、200、300、400 mg/L这5种镍(Ni)质量浓度胁迫下桂花光合作用及抗氧化酶活性等的影响。结果表明, 5种Ni胁迫质量浓度下, 未接种AMF的桂花幼苗根系菌根侵染率均为0, 而接种AMF的根系菌根侵染率则随Ni胁迫质量浓度的增大而逐渐降低; 随Ni胁迫质量浓度的增大, 接种、未接种AMF的桂花幼苗叶片叶绿素含量、类胡萝卜素含量、净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、植株株高、茎粗、总干物质含量呈逐渐降低趋势, 且接种AMF的桂花幼苗相应指标下降幅度多显著低于未接种处理( $P < 0.05$ ), 而胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )呈先降后增, 接种AMF的桂花幼苗叶片 $C_i$ 显著低于未接种处理, 相对电导率、丙二醛(MDA)含量呈逐渐上升趋势, 且接种AMF的桂花幼苗的相应指标多显著低于未接种处理, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)则呈先升后降趋势, 接种AMF的桂花幼苗抗氧化酶活性显著高于未接种处理; Ni胁迫质量浓度为400 mg/L时, 接种AMF的桂花幼苗叶绿素含量、 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 、株高、总干物质质量、SOD活性、POD活性、CAT活性分别较未接种的分别显著增加69.72%、80.22%、61.90%、42.48%、22.12%、15.76%、60.85%、21.83%、22.03%,  $C_i$ 、相对电导率、MDA含量分别较未接种的显著降低6.98%、10.04%、19.21%。

**关键词:**丛枝菌根真菌; 桂花; 光合作用; 抗氧化酶; 镍

**中图分类号:** S685.130.1; S182

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2019)21-0223-05

近年来, 随着我国工业化的飞速发展, 土壤环境污染问题日趋严重, 其中, 土壤重金属污染因其毒性强、易富集、难降解等特点而愈发被人们关注<sup>[1-2]</sup>。据《全国土壤污染状况调查公报》显示, 我国土壤重金属总超标率为16.1%, 其中, 镍(Ni)超标量达到4.8%, 仅次于镉(Cd), 已成为我国土壤重金属污染的主要元素之一<sup>[3]</sup>。镍是植物生长发育所必需的微量元素之一, 但当土壤中Ni含量过高时, 往往会对植物水分、养分的吸收及光合作用产生干扰, 进而影响农作物产量、品质及园林绿化植物的景观效果, 而如何提高植物对Ni胁迫的耐受性已成为亟待解决的关键问题之一<sup>[4-5]</sup>。

丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhiza fungi, AMF)是一类在土壤中广泛存在的有益真菌, 可与绝大多数植物形成互利的共生体系, 在提高植物对生物及非生物胁迫抗性方面发挥

着非常重要的作用<sup>[6-7]</sup>。有研究表明, 外源接种AMF可提高植物对重金属的耐受性, 其作用机制主要体现在: 一是AMF可通过菌丝体组分纤维素、几丁质等来吸附重金属, 减少重金属在植物体内的转移量<sup>[8-9]</sup>; 二是AMF可对植物的根系分泌物、根际土壤微生物群落结构及土壤pH值产生影响, 从而降低土壤重金属的有效性, 减少植物吸收<sup>[10-11]</sup>; 三是AMF可以改善植物矿质营养和根系形态, 从而影响植物对重金属的吸收和转移<sup>[12-13]</sup>; 四是AMF可以提高植物的抗氧化酶活性, 从而提高植物对重金属的耐受性<sup>[14-15]</sup>。目前, 有关提高植物对镍耐受性的方法主要为化学方法, 如外源施用甜菜碱、褪黑素、水杨酸等<sup>[3, 16-17]</sup>, 但存在成本高、周期长且易造成二次污染等缺点。

桂花(*Osmanthus* sp.)别称岩桂, 为木犀科木犀属植物, 是我国十大名花之一, 因其集绿化、香化、美化于一体, 在我国园林绿化中被广泛应用, 而当前利用AMF提高其对镍耐受性的研究鲜见报道。本研究以桂花幼苗为试验材料, 采用不同质量浓度Ni进行胁迫处理, 并分别接种AMF, 以分析接种AMF对镍胁迫下桂花幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响, 以期为提高植物对镍胁迫的耐受性提供一定的理论依据。

收稿日期: 2018-08-07

基金项目: 全国农业职业教育“十三五”科研项目(编号: 2016-135-Y-005)。

作者简介: 李晓曼(1980—), 女, 辽宁营口人, 硕士, 讲师, 从事园林植物栽培及园林规划设计研究。E-mail: 582659554@qq.com。

[11] 郭经纬, 商 桑, 穆大伟, 等. 外源NO对低温胁迫下豇豆幼苗生长和生理特性的影响[J]. 热带作物学报, 2015, 36(12): 2179–2183.

[12] 张献英, 唐力生, 犹昌艳, 等. 低温对豇豆种子萌发和出苗的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(11): 1785–1790.

[13] 彭永康, 郝泗城, 王振英. 低温处理对豇豆幼苗生长和POD、COD、ATPase同工酶的影响[J]. 华北农学报, 1994, 9(2): 76–80.

[14] 张 蕾, 霍治国, 黄大鹏, 等. 海南冬季主要瓜菜寒害风险区划[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1240–1251.

[15] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.