

外源 NO 对低温胁迫下番茄种子萌发和幼苗生长的影响

于秀针^{1,2}, 张彩虹^{1,2}, 姜鲁艳^{1,2}, 吐尔逊娜依·热依木江^{1,2}, 马艳³, 马彩雯^{1,2,3}

(1. 新疆农业科学院 农业机械化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆设施农业工程与装备技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830091; 3. 新疆农业科学院 农业工程公司, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘 要:以鲜食番茄品种‘欧亚多’种子和幼苗为试材, 对种子进行不同浓度(0.05、0.10、0.50、1.00、1.50 mmol/L) SNP(NO 供体硝普钠)浸泡后进行低温(18±1)℃处理; 对幼苗施用不同浓度(0.1、0.5、1.0、1.5 mmol/L)的 SNP 并进行低温(12±1)℃/(8±1)℃处理, 以研究外源 NO 对低温胁迫下番茄种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明:0.05、0.10 mmol/L 的 SNP 处理提高了低温胁迫下番茄种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数, 其中 0.05 mmol/L 的 SNP 处理效果最好; 施用不同浓度 SNP(0.10~1.00 mmol/L)可不同程度地缓解低温对番茄幼苗的株高、茎粗、叶片数、鲜重、干重及根系活力的抑制, 其中 0.50 mmol/L 的 SNP 处理对根系活力影响效果最好, 其余指标为 1.00 mmol/L 的 SNP 处理效果最好。

关键词:番茄; NO; 低温胁迫; 种子萌发; 幼苗生长

中图分类号:S 641.204⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)22-0005-04

番茄是新疆设施生产的主栽作物之一。在设施番茄的生长发育过程中, 温度对其生长发育起着至关重要

的作用, 番茄是一种喜温蔬菜, 对温度反应敏感, 在番茄早春育苗、定植期间的低温往往造成其生长发育受阻, 严重影响成株期的生长发育、早期产量和果实的商品性^[1]。低温已成为新疆设施番茄取得稳产与高产的主要障碍因子之一。

NO 作为一种新的植物生长调节物质, 在植物的生理活动中起到了重要作用, 这些生理活动涉及到植物生长发育以及死亡的各个方面, 近年来, NO 在植物抗逆性上的应用越来越受到研究者的关注。已有大量的试验证明, NO 参与了植物生长发育的各个方面以及植物的

第一作者简介:于秀针(1985-), 女, 硕士, 园艺师, 现主要从事设施栽培与生理等研究工作。E-mail: yxzshz@126.com.

责任作者:马彩雯(1965-), 女, 硕士, 研究员, 现主要从事设施农业综合技术等研究工作。E-mail: xjmcw2010@sina.com.

基金项目:新疆自治区科技支撑计划资助项目(201130104); 国家自然科学基金资助项目(51368060); 新疆自治区高新技术研究发展计划资助项目(201211114)。

收稿日期:2014-07-10

Abstract: Using pak-choi (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis* L.) as material, a pot experiment was conducted to study the effect of different biogas residue organic-inorganic fertilizations on the growth and quality of pak-choi. The results showed that fertilization promoted the growth of pak-choi and the yields of pak-choi increased by 20.9%—69.0% compared with control. The yields of pak-choi were the highest in the treatment of organic-inorganic fertilizations blended by pig manure biogas residue and were 352.28 g/pot and 349.33 g/pot respectively, followed by the treatments of organic-inorganic fertilizations blended by straw biogas residue. The treatments of biogas residues and commercial organic fertilizations were better than the treatments of inorganic fertilization and organic-inorganic fertilizations blended by biogas residues in reducing the nitrate content and increasing the contents of reduced VC and water-soluble sugar in pak-choi, and the treatments of organic-inorganic fertilizations blended by biogas residues were better than inorganic fertilization treatment. Compared with inorganic fertilization treatment, the treatments of organic-inorganic fertilizations blended by biogas residues reduced the nitrate contents of pak-choi by 7.8%—56.7%, increased the water soluble sugar contents by 13.1%—23.6%, and increased the reduced VC contents by 18.0%—38.2%.

Keywords: biogas residue; organic-inorganic fertilization; pak-choi; nitrate; reduced VC; chlorophyll; water soluble sugar

抗逆反应^[2-4]。NO可缓解低温对植物的伤害已经在黑麦草、琵琶、棉花等植物上得到证实^[5-7]。

该试验旨在通过研究不同浓度NO对低温下番茄种子发芽特性和幼苗生长的影响,找出NO缓解低温胁迫的最佳浓度,探讨NO对低温胁迫下番茄种子萌发和幼苗生长的影响机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以鲜食番茄品种‘欧亚多’为供试材料,NO供体为硝普钠($[\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5] \cdot \text{NO}$, Sodium nitroprusside, SNP),购于Sigma公司。

1.2 试验方法

1.2.1 外源NO对番茄种子萌发的影响 选取粒大饱满的番茄种子经温汤浸种消毒后浸泡在不同浓度供体硝普钠中。试验设5个SNP浓度梯度(试验处理浓度见表1),分别记作T0.05、T0.10、T0.50、T1.00和T1.50,处理所用的SNP均现用现配,CK处理为蒸馏水,浸泡10h后将种子用蒸馏水洗净捞出,放到铺有2层滤纸的培养皿中,每处理50粒种子,3次重复,置于发芽箱中进行低温处理,温度为 $(18 \pm 1)^\circ\text{C}$,以适宜温度 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ 为对照CK2。每日进行观察、测定、记录。

1.2.2 外源NO对番茄幼苗生长试验 试验于2013年9—12月在新疆农业科学院农业机械化所试验基地西山农场日光温室及新疆农业科学院农业机械化所实验室进行。种子浸种催芽后播于装好基质的营养钵中,当幼苗长至3~4片真叶后选择生长一致的幼苗进行SNP浇根处理,共设置5个SNP浓度处理(表2),分别记作S0.1、S0.5、S1.0、S1.5。以不添加SNP的处理作为对照(CK),隔1d再处理1次,共2次,处理2d后将各处理选择30株移入MGC-450HP-2智能人工气候箱(上海一恒科学仪器有限公司)中进行低温胁迫处理,温度为昼 $(12 \pm 1)^\circ\text{C}$ /夜 $(8 \pm 1)^\circ\text{C}$,光照强度约为25 000 lx,光周期为昼夜各12 h。同时以常温处理对照CK2(于人工气候箱中自然生长,昼夜温度为 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ /夜 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$,光照强度约为25 000 lx),每处理3次重复。

表1 外源NO对低温胁迫下番茄种子发芽特性的影响

Table 1 Effect of exogenous nitric oxide on germination characteristic of tomato seed under low temperature stress

处理编号 Treatment No.	处理温度 Treatment temperature/ $^\circ\text{C}$	SNP浓度 SNP concentration/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
CK2	28 ± 1	0
CK	18 ± 1	0
T0.05	18 ± 1	0.05
T0.10	18 ± 1	0.10
T0.50	18 ± 1	0.50
T1.00	18 ± 1	1.00
T1.50	18 ± 1	1.50

表2 外源NO对低温胁迫下番茄幼苗生长的影响试验方案

Table 2 Effect of exogenous nitric oxide on growth of tomato seedling under low temperature stress

处理编号 Treatment No.	处理温度 Treatment temperature/ $^\circ\text{C}$		SNP浓度 SNP concentration ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	光照及光周期 Light and light cycle
	白天 Day	夜晚 Night		
CK2	26 ± 1	15 ± 1	0	光照强度约为25 000 lx, 光周期为12 h
CK	12 ± 1	8 ± 1	0	
S0.1	12 ± 1	8 ± 1	0.1	
S0.5	12 ± 1	8 ± 1	0.5	
S1.0	12 ± 1	8 ± 1	1.0	
S1.5	12 ± 1	8 ± 1	1.5	

1.3 项目测定

1.3.1 种子发芽特性测定 于处理后每天观察发芽情况并记录各处理的发芽数,统计发芽率,并计算发芽指数和活力指数,参照朱庆松等^[8]与虞华丽等^[9]计算方法。发芽势(GE,%)=前5d发芽种子总数/试验种子总数 $\times 100\%$;发芽率(GP,%)=8d内发芽种子总数/试验种子总数 $\times 100\%$;发芽指数(GI)= $\sum G_t/D_t$, G_t 指在t时间内的发芽数, D_t 指发芽天数。萌发活力指数(GVI)= $\sum G_t/D_t \times$ 幼苗平均鲜重(g)。

1.3.2 株高、茎粗、叶片数、鲜重、干重的测定 于处理第0天和第9天每处理随机抽取3株苗,测取平均值,直接数出叶片数,用游标卡尺测定茎粗,用直尺测定幼苗高度,取幼苗3株,用 $d=0.001\text{ g}$ 的电子天平测定鲜重, 80°C 恒温24 h后测定干重。

1.3.3 根系活力的测定 采用TTC法^[10]测定:氯化三苯基四氮唑(TTC)还原后生成红色的稳定物质,可作为根系活力的指标。于处理的第0、3、6、9天分别截取根尖吸收活跃部位0.5 g,在TTC溶液和磷酸缓冲液的混合液中, 37°C 保温2.5 h,硫酸终止反应,乙酸乙酯提取,比色,根据标准曲线求还原量,再计算根系活力。

1.4 数据分析

采用Excel和SPSS 16.0软件进行数据处理和分析,并对平均数用Duncan's新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 外源NO对低温下番茄种子发芽特性的影响

种子发芽率指在规定的日期内全部正常发芽种子数占供试种子数的百分率;发芽势是规定的日期内正常发芽种子数占供试种子数的百分率,是表示种子发芽速率和整齐度的指标;发芽指数是表示种子活力的常用指标,它与种子的活力成正相关;活力指数既包括了发芽总数和发芽速率的信息,又反映了幼苗的生长势。

由表3可以看出,与适温对照CK2相比较,经低温处理过的番茄种子萌发能力有所下降,其中各低温处理的发芽势、发芽指数及活力指数都显著低于CK2。在几个低温处理中,T0.05的各项指标都是最高的,其发芽率

显著高于 CK,并且高于 CK2,其发芽势、发芽指数、活力指数分别高出 CK 13.48%、15.59%、36.48%,其次为 T0.10,说明是 0.05~0.10 mmol/L 的 SNP 显著促进了番茄种子萌发,以 0.05 mmol/L 的 SNP 效果最好。T1.00 和 T1.50 的发芽率、发芽势、发芽指数以及活力指数都低于 CK,说明高浓度的 SNP 抑制了番茄种子的萌发。

表 3 外源 NO 对低温下番茄种子发芽特性的影响

Table 3 Effect of exogenous nitric oxide on germination characteristic of tomato seed under low temperature stress

处理 Treatment	发芽率 Germination percentage/%	发芽势 Germination energy/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vitality index /g
CK	86.00b	59.33bc	28.09bcd	24.04cd
T0.05	97.33a	67.33b	32.47b	32.81b
T0.10	92.67a	64.67b	30.29bc	28.15bc
T0.50	92.67a	44.67d	25.19cde	21.33d
T1.00	85.33b	49.33cd	23.74de	18.67de
T1.50	78.00c	37.33d	20.23e	12.67e
CK2	95.33a	92.67a	53.78a	58.30a

注:同列不同小写字母表示差异达 5%显著水平,下同。

Note: Different lowercase letters in the same column show significant difference at 5%, the same below.

2.2 外源 NO 对低温胁迫下番茄幼苗株高、茎粗及叶片数的影响

由表 4 可以看出,与常温 CK2 相比,低温胁迫处理下 CK 处理的番茄幼苗叶片的生长速度明显减慢。在低温处理的第 9 天,CK 处理的株高、茎粗都显著低于 CK2,但 CK 处理的叶片数与 CK2 无显著差异;说明低温条件对番茄幼苗生长产生了胁迫作用,抑制了番茄幼苗的伸长和增粗。

表 4 外源 NO 对低温胁迫下番茄幼苗株高、茎粗及叶片数的影响

Table 4 Effect of exogenous nitric oxide on plant height, stem diameter and number of leaves in tomato seedling under low temperature stress

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	叶片数 Number of leaves
CK	15.47c	0.33c	4.78b
S0.1	16.06abc	0.35abc	5.00ab
S0.5	16.67abc	0.36abc	5.17ab
S1.0	17.20ab	0.37ab	5.67a
S1.5	15.90bc	0.32bc	4.89ab
CK2	17.47a	0.38a	5.56ab

在低温胁迫条件下,通过外施不同浓度的 SNP 后,与 CK 相比,S0.1、S0.5 和 S1.0 3 个处理下的番茄幼苗的株高、茎粗以及叶片数均有所增加,不同浓度的 SNP 处理对番茄幼苗生长量的影响存在差异,方差分析表明,以 S1.0 处理效果最好,株高、茎粗和叶片数均显著高于 CK,其它外施 NO 的 3 个处理与 CK 无显著差异。此外,表 4 还表明,S0.1、S0.5 和 S1.0 3 个处理下的番茄幼

苗的株高、茎粗与 CK2 无显著差异,说明经外施 0.1~1.0 mmol/L 的 SNP 处理有效缓解了低温对番茄幼苗生长的抑制作用,可有效促进低温下番茄幼苗的生长,以 1.0 mmol/L 的 SNP 处理效果最好。

2.3 外源 NO 对低温胁迫下番茄幼苗鲜重及干重的影响

从表 5 可以看出,低温处理 9 d 后,各处理的干鲜重均有所增加,且干重的增加幅度要高于鲜重,但经低温处理后 CK 的干鲜重显著低于常温处理 CK2,说明低温胁迫下的番茄幼苗生物量也在不断累积,但累积速度及能力远远低于常温下的番茄幼苗,即低温胁迫条件抑制了番茄幼苗生物量的积累。

在低温胁迫条件下,施加 SNP 的 4 个处理的干重、鲜重均高于 CK,表现为 S1.0>S0.5>S0.1>S1.5,但经方差分析,只有 S1.0 和 CK 有显著差异,说明 1.0 mmol/L 的 SNP 处理显著提高了低温胁迫下番茄幼苗的生物累积量。

表 5 不同浓度 NO 对低温胁迫下番茄幼苗鲜重及干重的影响

Table 5 Effect of exogenous nitric oxide on fresh weight and dry weight in tomato seedling under low temperature stress

处理 Treatment	3 株鲜重 3 plant fresh weight/g	3 株干重 3 plant dry weight/g
CK	10.33b	0.93c
S0.1	10.90ab	1.01abc
S0.5	11.80ab	1.06abc
S1.0	12.32a	1.14a
S1.5	10.58ab	0.97bc
CK2	12.25a	1.10ab

2.4 外源 NO 对低温胁迫下番茄幼苗根系活力的影响

由图 1 可以看出,常温处理下番茄幼苗的根系活力较高且变化很小;经低温胁迫后,各处理的番茄幼苗的根系活力均有所下降,均显著低于 CK2,并且表现出随着胁迫时间的延长,各处理的根系活力呈持续下降趋势,但各处理下降幅度有所不同。在处理第 9 天,CK、S0.1、S0.5、S1.0、S1.5 分别下降 42.1%、34.5%、26.8%、29.3%、35.2%,在低温胁迫下的各处理中,S0.5 处理在

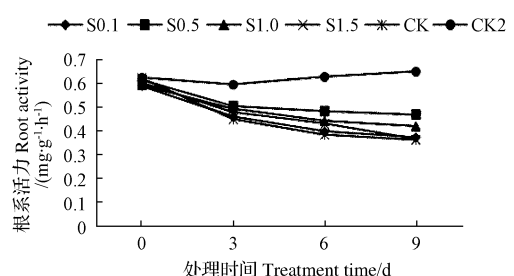


图 1 不同浓度 NO 对低温胁迫下番茄幼苗根系活力的影响

Fig. 1 Effect of exogenous nitric oxide on root activity in tomato seedling under low temperature stress

整个处理过程中都是最高的,其次为 S1.0,但经方差分析,各低温处理之间无显著差异($P < 0.05$,下同),说明外施 SNP 对番茄幼苗的根系活力影响较小。

3 结论与讨论

种子萌发是作物生长发育的最初阶段,种子的发芽情况直接影响着幼苗的生长发育,番茄种子发芽的最适温度为 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$,虽然番茄种子发芽对温度要求不严格,但如果低于其最适温度,其发芽率就会降低,发芽的平均日数也会延长。

近年来,由于 NO 在很多方面影响着植物的生长发育而备受人们关注^[11]。很多研究表明,一定浓度的外源 NO 不仅能提高逆境胁迫种子的萌发力,还使其体内的保护酶(APX、CAT、SOD、POD 等)活性提高^[12-13]。

该试验表明, 18°C 的低温明显降低了番茄种子的萌发能力,外施低浓度(0.05、0.10 mmol/L)的 SNP 使低温胁迫的番茄种子的发芽率、发芽势、发芽指数及种子活力均明显提高,其中以 0.05 mmol/L 的 SNP 处理效果最好。而高浓度(1.0、1.5 mmol/L)的 SNP 对番茄种子萌发起到了抑制作用。低温还抑制了番茄幼苗的生长,降低了其根系活力,施加 SNP(0.1、0.5、1.0 mmol/L)可不同程度地增加低温下番茄幼苗的株高、茎粗,叶片数、鲜重、干重;提高其根系活力,其中 0.5 mmol/L 的 SNP 处理对根系活力影响效果最好,1.0 mmol/L 的 SNP 处理对其余生长指标影响效果最好。

参考文献

[1] 林多,杨延杰,范文丽,等. 低温对蕃茄幼苗叶片活性氧代谢的影响

[J]. 辽宁农业科学,2001(5):1-4.

[2] Tian X, Lei Y. Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings[J]. *Biologia Plantarum*, 2006, 50(4): 775-778.

[3] Garcia M C, Lamattina L. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress[J]. *Plant Physiology*, 2001, 126: 1196-1204.

[4] Hu K D, Hu L Y, Li Y H, et al. Protective roles of nitric oxide on germination and antioxidant metabolism in wheat seeds under copper stress[J]. *Plant Growth Regul*, 2007, 53: 173-183.

[5] 马向丽,魏小红,龙瑞军,等. 外源一氧化氮提高一年生黑麦草抗冷性机制[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1269-1274.

[6] 吴锦程,陈建琴,梁杰,等. 外源一氧化氮对低温胁迫下枇杷叶片 AsA-GSH 循环的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1395-1400.

[7] 杨美森,王雅芳,干秀霞,等. 外源一氧化氮对冷害胁迫下棉花幼苗生长、抗氧化系统和光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(15): 3058-3067.

[8] 朱庆松,赵海英,石玉保. NaCl 胁迫对不同西瓜种子发芽特性的影响[J]. 河南职业技术学院学报, 2004, 32(3): 29-31.

[9] 虞华丽,张晶. 测定加工番茄种子活力方法探讨[J]. 石河子科技, 2007(4): 3-5.

[10] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京:北京气象出版社, 2006.

[11] Leshem Y Y, Haramaty E. The characterization and contrasting effects of the nitric oxide free radical in vegetative stress and senescence of *Pisum sativum* Linn foliage[J]. *Plant Physiol*, 1996, 148: 258-263.

[12] Zhang H, Shen W B, Xu L L. Effects of nitric oxide on germination of wheat seeds and its reactive oxygen species metabolisms under osmotic stress[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(8): 901-905.

[13] 陈世军,张明生. 植物一氧化氮及其对活性氧代谢的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(17): 7116-7118, 7179.

Effect of Exogenous Nitric Oxide on Tomato Seed Germination and Growth of Tomato Seedling

YU Xiu-zhen^{1,2}, ZHANG Cai-hong^{1,2}, JIANG Lu-yan^{1,2}, Tuerxun-nayi • REYIMUJIANG^{1,2}, MA Yan³, MA Cai-wen^{1,2,3}

(1. Research Institute of Agricultural Mechanization, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091; 2. Research Center for Facility Agricultural Engineering and Equipment Engineering Technology, Urumqi, Xinjiang 830091; 3. Agricultural Engineering Company, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091)

Abstract: Taking the processing tomato cultivar ‘Ouyaduo’ as material, different exogenous sodium nitroprussid(0.05, 0.10, 0.50, 1.00, 1.50 mmol/L) on tomato seed under low temperature ($18 \pm 1^{\circ}\text{C}$) and different exogenous sodium nitroprussid(0.1, 0.5, 1.0, 1.5 mmol/L) on growth of tomato seedling under low temperature ($12 \pm 1^{\circ}\text{C}$)/($8 \pm 1^{\circ}\text{C}$) were used in this experiment, to study the effects of exogenous NO on tomato seed germination and growth of tomato seedling. The results showed that SNP of 0.05 and 0.10 mmol/L could increase tomato seed’s germination rate, germination energy, germination index and activity index, the optimum concentration was 0.05 mmol/L SNP of 0.10—1.00 mmol/L differently alleviated the restrain of height, thickness, number of leaves, fresh and dry weight and root activity on growth of tomato seedling, the optimum concentration of SNP for root activity was 0.50 mmol/L, other indexes were 1.00 mmol/L.

Keywords: tomato; nitric oxide; low temperature stress; seed germination; growth of seedling