

盐胁迫对樱桃萝卜生长及生理生化指标的影响

姚岭柏, 韩海霞

(集宁师范学院 生物系, 内蒙古 乌兰察布 012000)

摘要:以“红樱桃”萝卜为试材,采用无土基质栽培法,分析了 20~120 mmol·L⁻¹ 浓度的 NaCl 胁迫对樱桃萝卜最大叶长、肉质根直径、可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素 C、丙二醛、脯氨酸含量和过氧化物酶(POD)活性的影响,以研究盐渍土对樱桃萝卜生长及生理生化特性的影响。结果表明:盐处理对樱桃萝卜植株生长呈低浓度(20 mmol·L⁻¹)促进,高浓度(80 mmol·L⁻¹ 以上)抑制的趋势;60~80 mmol·L⁻¹ 的 NaCl 浓度对樱桃萝卜的胁迫作用明显,随处理浓度升高,樱桃萝卜可溶性糖、叶片可溶性蛋白质、丙二醛、脯氨酸含量和 POD 活性均显著升高,肉质根维生素 C 含量显著下降;当处理浓度高于 100 mmol·L⁻¹ 时,樱桃萝卜受胁迫程度加深,可溶性糖含量大幅下降,可溶性蛋白质含量和 POD 活性波动下降,丙二醛含量继续升高。

关键词:盐胁迫;生长;营养物质;过氧化物酶;樱桃萝卜

中图分类号:S 631.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)13-0005-04

樱桃萝卜(*Paphanus sativus* L. var. *radculus* Pers.) 属十字花科萝卜属植物,是四季萝卜中的一种^[1]。樱桃萝卜品质细嫩,外形美观,适于直接食用,富含维生素 C、矿物质元素、芥子油、木质素等多种营养成分,现已成为广受消费者欢迎的新型蔬菜^[2]。

樱桃萝卜的栽培遍布全球,我国山东、北京、河北等省市栽培居多^[2]。乌兰察布市地处内蒙古中部,气候条件适合樱桃萝卜生长的要求,但同时该地属于干旱地区,土壤存在盐渍化问题,影响了樱桃萝卜的产量和品质^[3]。

盐胁迫可引起植物一系列生理生化变化,包括有害反应和植物的适应性反应,如吸收水分能力降低、改变

蛋白质合成、阻碍植物吸收营养元素、抗氧化酶系统的启动等^[4-12]。已有研究表明,盐胁迫能显著抑制黄瓜、五角枫、萝卜、茄子等植物的生长^[4-5,8,11-14],可引起黄瓜等植物可溶性糖、可溶性蛋白质、丙二醛含量的异常^[4-9,12-14],同时可调节抗氧化酶的活性^[4-5,7-14]。

为优化樱桃萝卜种植方案,明确盐渍土对樱桃萝卜影响的机理,该试验以不同盐浓度处理樱桃萝卜,探讨盐胁迫对樱桃萝卜生长、主要营养物质和丙二醛(MDA)及过氧化物酶(POD)活性的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为华北地区主栽萝卜品种“红樱桃”。

供试仪器为 722 分光光度计、低温冷冻离心机、恒温水浴锅、磁力搅拌器、电子分析天平、秒表、移液枪、研钵、具塞试管。

第一作者简介:姚岭柏(1979-),男,内蒙古呼伦贝尔人,硕士,讲师,现主要从事植物栽培生理学等研究工作。E-mail:yaolingbai@163.com.

收稿日期:2016-02-14

two irrigation intensities(3—4 and 6—8 mm·day⁻¹), and four cow dung application levels(nitrogen 25, 50, 75, 100 kg·hm⁻²) in fields to evaluate the effects of planting density, irrigation amount and cow dung nitrogen application on pumpkin yield. The results showed that yield increased linearly as nitrogen application increased in plots of planting density 2 500 and 5 000 plants·hm⁻², where yield difference between irrigation intensities was not found and water productivity was more in irrigation intensity 4.2 mm·day⁻¹ than in 8.3 mm·day⁻¹. In the plot of planting density 1 666 plants·hm⁻², water productivity increased linearly as nitro application increased, where water productivity difference between irrigation intensities was not found. It was concluded that with the increasing of nitrogen application, pumpkin yield and water productivity increased linearly under planting density of 1 666 plants·hm⁻². Under the irrigation intensity of 4.2 and 8.3 mm·day⁻¹, pumpkin yield reached to 6.99 t·hm⁻² and 15.34 t·hm⁻², respectively.

Keywords: pumpkin; yield; density; irrigation intensities; nitrogen application

1.2 试验方法

1.2.1 盐胁迫处理 试验于2015年5月在集宁师范学院植物园进行。花盆中装无土基质蛭石,通过预试验确定加水量。精选饱满、大小一致的樱桃萝卜种子,播种于装有消毒蛭石的盆中,播种深度约为1 cm,分别在各处理盆中加入对应盐溶液,NaCl处理浓度分别为20、40、60、80、100、120 mmol·L⁻¹,共6组处理,以清水为对照(CK),每处理重复3次,每重复20盆。

1.2.2 后期管理 每日通过称量计算空白盆中水量的减少量,补充试验盆蒸发的水分,以保持盐含量稳定。

1.3 项目测定

从出苗后开始,每5 d测定1次樱桃萝卜生长指标,最大叶长、肉质根直径。出苗30 d收获后,测定营养指标,可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素C含量,测定叶片的丙二醛、游离脯氨酸含量及过氧化物酶(POD)活性^[15]。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜生长的影响

2.1.1 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜最大叶长的影响

由图1可以看出,不同浓度NaCl胁迫处理后,樱桃萝卜的叶长存在明显差异。其中20 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下叶长始终大于对照,40、60 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫与对照接近;NaCl胁迫浓度大于80 mmol·L⁻¹时,各处理在生长期间的叶长均明显小于对照,且随着胁迫浓度升高叶长增长趋势变缓。说明NaCl胁迫浓度较低(20 mmol·L⁻¹)时促进樱桃萝卜叶片的生长,80 mmol·L⁻¹以上的盐胁迫处理明显抑制樱桃萝卜叶长。

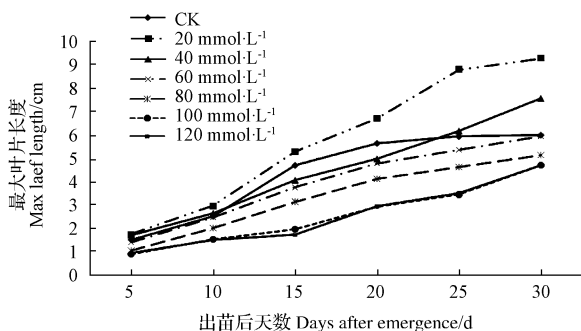


图1 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜最大叶长的影响

Fig.1 Effect of different concentrations of NaCl stress on max leaf length of *P. sativus*

2.1.2 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜肉质根直径的影响

由图2可知,生长期间樱桃萝卜的肉质根直径随盐胁迫浓度升高基本呈下降趋势。NaCl胁迫浓度为20 mmol·L⁻¹时,在对照的上下小幅波动,采收时根径达2.2 cm,略高于对照2.1 cm;其它盐胁迫浓度处理的肉质根直径均低于对照,40、60 mmol·L⁻¹盐胁迫浓

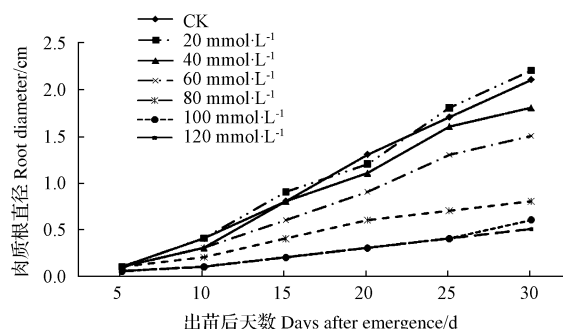


图2 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜肉质根直径的影响

Fig.2 Effect of different concentrations of NaCl stress on root diameter of *P. sativus*

度与对照较接近,而当胁迫浓度大于80 mmol·L⁻¹时,根直径均不足1.0 cm。说明随着盐胁迫浓度的增加,盐溶液对樱桃萝卜肉质根膨大的抑制作用逐渐加强。

2.2 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜生理指标的影响

2.2.1 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜营养物质的影响

由表1可知,不同浓度NaCl胁迫对樱桃萝卜可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素C含量均有显著的影响。随着盐浓度的升高,樱桃萝卜叶片与肉质根内的可溶性糖含量呈先升后降的趋势,当浓度达60 mmol·L⁻¹和80 mmol·L⁻¹时,可溶性糖含量均与对照达差异显著水平,叶片和肉质根的最高值分别比对照提高了64.1%和60.7%;当浓度达120 mmol·L⁻¹时,叶片与肉质根内的可溶性糖含量均达到最低值,仅为对照的22.8%和56.3%。随着NaCl胁迫浓度的升高,樱桃萝卜叶片与肉质根中可溶性蛋白质含量变化趋势不同。叶片中可溶性蛋白质呈先上升后略下降的趋势,其中NaCl胁迫达40 mmol·L⁻¹以上时,处理可溶性蛋白质含量较对照有显著提高;而肉质根内可溶性蛋白质含量呈先稳定后有升有降的波动趋势,但各处理与对照未达差异显著水平。随着NaCl胁迫浓度的升高,樱桃萝卜叶片与肉质根中维生素C含量呈先升后降的趋势,其中叶片维生素C含量变化幅度较肉质根的变化幅度大。与对照相比,叶片中维生素C含量在20~40 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫时有显著上升,在100 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫时显著下降,且维生素C含量达到对照的51.1%。肉质根内维生素C含量在处理浓度20~40 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫时与对照未达差异显著水平,当浓度大于60 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫时显著低于对照。说明随着NaCl浓度的升高,樱桃萝卜通过提高叶片与肉质根中可溶性糖的含量,有效调节细胞渗透压,同时增强胁迫蛋白的表达,升高了叶片可溶性蛋白质含量;当胁迫浓度高于80 mmol·L⁻¹时,可溶性糖含量大幅下降,叶片可溶性蛋白质含量也波动下降;而随NaCl浓度的升高,叶片与肉质根维生素C含量先小幅上升,当胁迫浓度高于60 mmol·L⁻¹

表 1 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜可溶性糖、可溶性蛋白质和维生素 C 含量的影响

Table 1 Effect of different concentrations of NaCl stress on content of soluble sugar, soluble protein and vitamin C in *P. sativus* g • (100g)⁻¹ FW

胁迫浓度 Stress concentration /(mmol • L ⁻¹)	可溶性糖含量 Soluble sugar content		可溶性蛋白质含量 Soluble protein content		维生素 C 含量 Vitamin C content	
	叶片 Leaf	肉质根 Root	叶片 Leaf	肉质根 Root	叶片 Leaf	肉质根 Root
CK	2.822bc	6.314c	5.391d	4.432ab	44.33c	49.67a
20	2.896bc	7.044c	5.340d	4.469ab	48.00d	53.33a
40	3.658ab	7.965bc	6.335a	4.349ab	53.00a	51.00a
60	4.283a	10.145a	6.247a	3.951b	42.00c	42.33b
80	4.632a	9.648ab	6.006ab	3.988ab	38.00c	35.33c
100	1.838c	6.134c	5.909abc	5.192a	22.67d	28.67d
120	0.642d	3.552d	5.618bc	3.585b	14.67e	23.00d

注:表中同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下表同。

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. The same below.

呈连续下降趋势。表明随 NaCl 浓度升高,樱桃萝卜营养物质减少,营养失衡,植株受胁迫程度逐渐加深。

2.2.2 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜叶片丙二醛、游离脯氨酸含量和 POD 活性的影响 由表 2 可见,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,樱桃萝卜叶片丙二醛含量呈上升趋势,而游离脯氨酸含量与 POD 活性呈先升高后略下降的趋势。其中,当 NaCl 胁迫浓度大于 40 mmol • L⁻¹ 时,各处理丙二醛、游离脯氨酸含量均较对照有显著升高,

丙二醛含量在 120 mmol • L⁻¹ 时达到最大,为对照的 1.94 倍,而游离脯氨酸含量在 100 mmol • L⁻¹ NaCl 胁迫时达最大值,为对照的 4.61 倍。POD 活性在 20 mmol • L⁻¹ NaCl 胁迫时有一定的下降,但与对照未达差异显著性水平,在 60~80 mmol • L⁻¹ NaCl 胁迫下达到高峰,与对照达差异显著性水平,分别为对照的 1.60 倍和 1.64 倍,在 120 mmol • L⁻¹ 时 POD 活性略有下降,为对照的 1.14 倍。

表 2 不同浓度 NaCl 胁迫对樱桃萝卜丙二醛、游离脯氨酸含量和 POD 活性的影响

Table 2 Effect of different concentrations of NaCl stress on the content of MDA, free proline and POD activity in *P. sativus*

胁迫浓度 Stress concentration/(mmol • L ⁻¹)	丙二醛含量 MDA content/(μg • g ⁻¹ FW)		游离脯氨酸含量 Free proline content/(μg • g ⁻¹ FW)		过氧化物酶活性 POD activity/(U • g ⁻¹ FW • min ⁻¹)	
CK	1.148 ± 0.224d		2.360 ± 0.193d		152.40 ± 10.37bc	
20	1.298 ± 0.069cd		2.829 ± 0.865d		124.30 ± 19.66c	
40	1.531 ± 0.101bc		5.417 ± 0.174c		155.90 ± 25.27bc	
60	1.659 ± 0.058b		7.112 ± 1.074bc		244.45 ± 81.50a	
80	2.140 ± 0.148a		10.724 ± 1.831a		249.39 ± 46.83a	
100	2.056 ± 0.156a		10.870 ± 1.443a		232.96 ± 41.51ab	
120	2.229 ± 0.112a		8.637 ± 1.351b		173.68 ± 35.01abc	

3 结论与讨论

以 20~120 mmol • L⁻¹ 浓度的 NaCl 胁迫樱桃萝卜种植基质后,樱桃萝卜的最大叶长和肉质根直径生长均呈现低浓度(20 mmol • L⁻¹)促进,高浓度(80 mmol • L⁻¹ 以上)抑制的趋势。

20 mmol • L⁻¹ 的 NaCl 胁迫对樱桃萝卜的胁迫作用不明显,在一定程度上提高了植株的生长和维生素 C 含量。60~80 mmol • L⁻¹ 的 NaCl 对樱桃萝卜的胁迫作用明显,随处理浓度升高,樱桃萝卜可溶性糖、叶片可溶性蛋白质、丙二醛、脯氨酸含量和 POD 活性均升高,根部维生素 C 含量下降;当胁迫浓度高于 100 mmol • L⁻¹ 时,樱桃萝卜受胁迫程度加深,可溶性糖含量大幅下降,可溶性蛋白质含量和 POD 活性波动下降,丙二醛含量继续升高。

土壤中的盐分是植物生长必需的营养元素,但过量盐分会给植物带来负面的影响^[9,13]。为了抵御盐分胁迫,

黄瓜、五角枫等植物表现出生长量下降的变化^[4-5,8,11-14],这与该试验研究结果一致。关于盐胁迫后樱桃萝卜可溶性糖和可溶性蛋白质含量变化的研究表明,植株通过提高可溶性糖的含量,有效调节细胞渗透压,同时增强胁迫蛋白的表达,引起叶片可溶性蛋白质含量的升高;胁迫严重时有机物质消耗,引起可溶性糖含量下降。在五角枫、茴香等植物上的研究与该试验结果一致^[5-8]。

维生素 C 既是植物的营养物质,又是抵御逆境的一种抗氧化剂。樱桃萝卜受到盐胁迫后,随盐浓度升高,叶片维生素 C 含量显著上升后又大幅度下降,肉质根内维生素 C 含量则先稳定后下降,说明在一定程度上盐胁迫能促进樱桃萝卜叶片维生素 C 的合成,参与体内氧自由基的清除,但胁迫加重后维生素 C 的分解速度加快,维生素 C 含量下降。这与庞锦伟等^[16]关于绿豆的研究结果一致。

丙二醛是膜质过氧化的产物,盐胁迫后樱桃萝卜中丙二醛含量呈慢快慢的上升趋势,细胞渗透调节物脯氨酸含量呈先上升后回落的变化,且 POD 活性也呈先上升后回落的变化,说明盐胁迫伤害了樱桃萝卜的代谢,植株通过调节脯氨酸和 POD 活性进行自身修复,但 NaCl 胁迫浓度达 $100\sim 120\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,胁迫作用加剧,植株修复调节的能力出现减弱的趋势。这与前人在五角枫、萝卜、茴香等植物的研究结果一致^[4-8,10,12-14,16-17]。有关其它抗氧化酶系统的影响及其生理机制,有待于进一步的相关研究。

参考文献

- [1] 韩世栋. 蔬菜栽培[M]. 北京:中国农业出版社,2007:168.
- [2] 韩海霞,任琴,姚岭柏,等. 不同播期对乌兰察布樱桃萝卜生长及品质的影响[J]. 北方园艺,2014(5):36-38.
- [3] 何永梅. 樱桃萝卜新优品种及栽培技术要点[J]. 南方农业,2008(7):50-51.
- [4] 韩海霞,姚岭柏,曹兴明. 盐胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长及生理指标的影响[J]. 安徽农业科学,2014,42(15):4573-4575.
- [5] 周健,尤扬,于丽娜. 盐胁迫对五角枫幼苗生长及生理特性的影响[J]. 广东农业科学,2012(8):23-27.
- [6] 高方胜,王明友. 盐胁迫对茴香生理特性的影响[J]. 河南农业科学,2011(12):126-128,132.
- [7] 尤佳. 盐胁迫对盐生植物黄花补血草幼苗生理生化特性的影响[D]. 兰州:西北师范大学,2012:14-19.
- [8] 梅燧,祖艳侠,吴永成,等. 萝卜幼苗在盐胁迫下的生理响应研究[J]. 中国农学通报,2015,31(10):49-53.
- [9] 王东明,贾媛,崔继哲. 盐胁迫对植物的影响及植物盐适应性研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(4):124-128.
- [10] 宋旸,裴冬丽. 盐胁迫对小麦幼苗 POD 活性和同工酶的影响[J]. 湖北农业科学,2011,50(9):1759-1761.
- [11] 张海军,张娜,杨荣超,等. NaCl 胁迫对茄子幼苗生长和 K^+ 、 Na^+ 和 Ca^{2+} 分布的影响及耐盐机理[J]. 中国农业大学学报,2013,18(4):77-83.
- [12] 魏国强,朱祝军,方学智,等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1754-1759.
- [13] 吴丽君,魏艳秀. NaCl 胁迫对番茄种子发芽和幼苗生理特性的影响[J]. 种子,2013,32(11):3-7.
- [14] 鲁艳,雷加强,曾凡江,等. NaCl 胁迫对大果白刺幼苗生长和抗逆生理特性的影响[J]. 应用生态学报,2014,25(3):711-717.
- [15] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2009.
- [16] 庞锦伟,胡广林,徐航丹,等. 碘离子胁迫对绿豆萌发和生长过程中生长指标和 Vc 的影响[J]. 种子,2014,33(2):19-22.
- [17] 王茜,徐郑,胡庭兴,等. 核桃凋落叶分解对萝卜生长和生理的影响[J]. 西北植物学报,2014,34(12):2475-2482.

Effect of Salt Stress on Growth and Index of Physiology and Biochemical of *Paphanus sativus* L. var. *radculus* Pers.

YAO Lingbai, HAN Haixia

(Department of Biology, Jining Normal University, Wulanchabu, Inner Mongolia 012000)

Abstract: Taking *Paphanus sativus* L. var. *radculus* Pers. as material, the experiment was applied a soilless substrate's pot experiment. The effect of salt stress on growth and physiology characteristics were studied. The effects of NaCl between $20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ and $120\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ by measuring the indexes, such as the max length of leaves, root diameter, the content soluble sugar, soluble protein, vitamin C, malondialdehyde(MDA), free proline and peroxidase(POD) activity. The results showed that the growth indexes were significantly promoted in the low NaCl concentration ($\leq 20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), and then inhibited in the high NaCl concentration ($\geq 80\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$). The physiology indexes were significantly inhibited in the NaCl concentration ($60\sim 80\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) that with the increasing of the NaCl concentration the content of soluble sugar, soluble protein of leaves, MDA and free proline and POD activity were all significantly increased. However, the content of vitamin C in root was significantly decreased in the concentration. And the degree of salt damage to *Paphanus sativus* L. var. *radculus* Pers. became higher with the big decrease of soluble sugar, the fluctuating decrease of soluble protein and POD activity and the increase of MDA.

Keywords: salt stress; growth; nutrients; peroxidase(POD); *Paphanus sativus* L. var. *radculus* Pers.