

盐胁迫对鲜食蚕豆幼苗光合特性及 抗氧化酶活性的影响

王 耘, 金 潇 潇, 赵 辉, 郝 振 萍

(金陵科技学院 园艺学院, 江苏 南京 210038)

摘 要:以鲜食蚕豆(*Vicia faba* L.)品种“通蚕鲜6号”为试材,采用1/2 Hoagland 营养液栽培,研究不同浓度NaCl(0、50、100、150 mmol·L⁻¹)处理对鲜食蚕豆幼苗生长、光合特性和抗氧化酶等生理代谢的影响,为盐碱地区蚕豆的种植提供参考依据。结果表明:盐处理时,蚕豆生长呈现低浓度(50 mmol·L⁻¹)促进,中高浓度(≥100 mmol·L⁻¹)抑制,尤其是高浓度处理组植株干质量比对照组下降了64.3%,并且在高浓度时蚕豆净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度也均呈降低趋势,分别下降了19.7%、56.3%、74.0%和61.2%;但是叶绿素a、叶绿素b和叶绿素(a+b)的含量在3种盐浓度处理时均出现降低趋势;在低中浓度处理时,超氧化物歧化酶(SOD)活性升高,高浓度处理时,胁迫程度加深,酶活性大幅度下降;过氧化物酶(POD)随着盐浓度升高和时间的延长均呈现升高趋势;过氧化氢酶(CAT)在低中浓度时有上升现象,低浓度上升幅度更大,在高浓度时呈先上升后下降的趋势;3个处理组的MDA含量均随盐浓度升高呈现增长趋势。

关键词:盐胁迫;鲜食蚕豆;光合特性;抗氧化酶

中图分类号:S 643.601 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)20-0025-06

盐胁迫对农业生产的威胁已成为一个世界性的热点问题,也是影响全球生态环境的重要因素之一^[1]。估计2050年前,超过50%的耕地将会受到盐渍的危害^[2],其危害包括对作物的渗透胁迫、离子毒害和营养失调等,会进一步降低作物的光合作用,抑制生长,最终导致产量下降,甚至死亡^[3]。因此,土壤盐分与植物生长之间的关系一

直是国内外的研究热点。了解盐害对植物的影响,研究植物对盐分的适应性,筛选耐盐作物,已成为未来农业及环境治理亟待解决的重要课题^[4]。

鲜食蚕豆(*Vicia faba* L.)营养丰富,有较强的抗盐碱能力,目前东部沿海已成为兴起的鲜食蚕豆种植带,蚕豆成为当地主要出口创汇蔬菜之一^[5-7]。但由于东部沿海地带具有土壤含盐量高、易脱盐碱化、养分含量低、土壤结构性差等特点,严重影响了鲜食蚕豆产业的发展,如生产上缺少高产、优质、专用、多抗的蚕豆新品种和配套栽培技术。为解决上述问题研究鲜食蚕豆的抗盐机制就尤为重要。该试验拟采用营养液栽培,以中度耐盐品种“通蚕鲜6号”为试材,研究不同浓度NaCl处理对蚕豆幼苗生长、光合特性等生理代谢的影响,以及抗氧化系统在生长过程中的动态变化,以期揭示鲜食蚕豆幼苗对盐胁迫响应的生理

第一作者简介:王耘(1985-),女,江苏南京人,博士,讲师,现主要从事园艺作物品质及生理等研究工作。E-mail: wangyun@jit.edu.cn

责任作者:郝振萍(1981-),女,硕士,讲师,现主要从事植物生理等研究工作。E-mail: yxhao@jit.edu.cn

基金项目:江苏省高校自然科学基金研究资助项目(13KJD210001);江苏省自然科学基金青年基金资助项目(BK20130093)。

收稿日期:2017-07-04

机制,为培育高抗盐品种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试鲜食蚕豆品种为“通蚕鲜6号”,购自江苏省农业科学院。

1.2 试验方法

试验在金陵科技学院玻璃温室内进行,选取籽粒饱满、大小均匀、无病虫害的种子,浸种催芽后播于装有蛭石的穴盘中,昼温 $25\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$,夜温 $14\sim 16\text{ }^{\circ}\text{C}$,出苗后浇灌适量的 $1/2$ Hoagland 营养液(每盆营养液用量相同)。待幼苗长至3对真叶时,选取生长一致的幼苗定植于装有营养液的水培槽中,营养液浓度设置4种处理:1)CK; $1/2$ Hoagland 营养液;2)处理1: $1/2$ Hoagland + $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NaCl溶液;3)处理2: $1/2$ Hoagland + $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NaCl溶液;4)处理3: $1/2$ Hoagland + $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NaCl溶液,营养液pH(6.5 ± 0.1),EC值 $1.1\sim 1.2\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标测定

处理后第9天,对各植株株高、主根长、地上部和地下部的干鲜质量等生长指标进行测定,每处理5株,重复3次。

幼苗用离子水冲洗干净并吸干水分,用直尺测量株高和主根长,从根茎结合处剪断,分别称量地上部和地下部鲜质量;烘箱中 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下杀青15 min后,降温至 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重,称量干质量,计算根冠比^[8-9]。

1.3.2 光合特性参数

用便携式光合仪(LI-6400XT型)在相同条件下(同一光强、温度、 CO_2 浓度)测定光合生理指标:盐胁迫第9天09:00—11:00测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO_2 浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)。测定时采用开放气路,光量子通量密度设为 $800\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。叶绿素含量测定采用乙醇提取法^[10]。每个指标重复测定3次。

1.3.3 生理指标测定

处理3、6、9、12 d时分别采集功能叶测定各

生理指标。SOD活性测定采用氮蓝四唑光还原法,POD活性测定采用愈创木酚法,CAT活性测定采用紫外分光光度法,MDA含量测定采用硫代巴比妥酸法^[10]。以上试验均重复3次。

1.4 数据分析

试验数据采用SAS软件进行统计分析。 $P<0.05$ 表示有统计学差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同浓度NaCl对鲜食蚕豆幼苗生长的影响

由表1可知,与对照组相比, $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组的鲜食蚕豆植株主根长显著增加了25.3%,地上部鲜干质量比对照分别增加了20.6%和24.6%,地下部分别增长了46.9%和43.7%; $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl处理下,鲜食蚕豆植株的主根长和地下部干质量较对照显著下降了15.4%和53.5%, $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl处理下,鲜食蚕豆植株的株高、主根长较对照显著下降了30.6%及28.2%,地上部鲜干质量比对照分别降低了54.3%及65.3%。植株根冠比随着NaCl浓度的增加呈现先升高后降低的趋势。以上结果表明低浓度($\leq 50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)会促进鲜食蚕豆幼苗的生长,而中高浓度($\geq 100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)则会抑制其生长。

2.2 不同浓度NaCl对鲜食蚕豆幼苗光合特性的影响

由表2可知,在不同浓度NaCl处理下,鲜食蚕豆幼苗胞间二氧化碳浓度(Ci)和气孔导度(Gs)均存在不同程度降低,且浓度越高,下降幅度越大, 50 、 100 、 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl处理下,气孔导度(Gs)分别下降了30.0%、66.0%和74.0%,胞间二氧化碳浓度(Ci)分别下降了18.2%、27.6%和61.2%。净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)先升高后降低,在 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl处理下,净光合速率(Pn)较对照显著升高了31.8%,差异显著($P<0.05$),而蒸腾速率(Tr)升高了8.0%,但差异不显著。在 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl处理下,净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)分别下降了12.1%、19.7%和

44.1%、56.3%。表明低浓度($\leq 50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) NaCl 处理会促进鲜食蚕豆幼苗的 P_n ,但同时也降低了 G_s ,使得 C_i 也显著降低。中高浓度($\geq 100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)下所有光合指标均下降,其原因可能是随着盐含量增加,气孔导度降低, CO_2 吸收量下降,蒸腾速率也降低,以减少水分散失。

表 1 不同浓度 NaCl 对鲜食蚕豆幼苗生长指标的影响

Table 1 Effect of different concentrations of NaCl stress on growth index of *Vicia faba* L.

NaCl 浓度 Concentration of NaCl /(mmol · L ⁻¹)	株高 Plant height /cm	主根长 Main root length /cm	鲜质量 Fresh weight/g		干质量 Dry weight/g	
			地上部 Overground	地下部 Underground	地上部 Overground	地下部 Underground
0	8.17ab	24.93b	2.67b	1.45b	0.268b	0.071b
50	8.67a	31.23a	3.22a	2.13a	0.334a	0.102a
100	7.73b	21.10c	2.27b	1.19b	0.234b	0.033c
150	5.67c	17.90c	1.22c	0.89c	0.093c	0.028c

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level, the same below.

表 2 不同浓度 NaCl 对鲜食蚕豆幼苗光合特性的影响

Table 2 Effect of different concentrations of NaCl stress on photosynthetic parameters of *Vicia faba* L.

NaCl 浓度 Concentration of NaCl /(mmol · L ⁻¹)	净光合速率 P_n /(CO ₂ μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	气孔导度 G_s /(H ₂ O mol · m ⁻² · s ⁻¹)	胞间二氧化碳浓度 C_i /(CO ₂ μmol · mol ⁻¹)	蒸腾速率 T_r /(H ₂ O mmol · m ⁻² · s ⁻¹)
0	19.13b	0.50a	318.36a	2.88a
50	25.21a	0.35b	260.46b	3.11a
100	16.81c	0.17c	230.36b	1.61b
150	15.37c	0.13c	123.54c	1.26b

2.3 不同浓度 NaCl 对鲜食蚕豆幼苗叶绿素含量的影响

由表 3 可知,第 9 天时,随着 NaCl 浓度的增加,鲜食蚕豆幼苗叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素(a+b)的含量逐渐降低,在 50、100、150 mmol · L⁻¹ NaCl 处理下,叶绿素 a 含量分别降低了 29.1%、

44.7%和 57.8%,叶绿素 b 含量分别降低了 26.9%、40.3%和 50.7%,叶绿素 a/b 值分别降低了 3.4%、8.2%和 13.2%,表明 NaCl 处理对鲜食蚕豆幼苗的叶绿素具有抑制作用,且对叶绿素 a 的抑制效应较叶绿素 b 大,因此随着盐浓度递增蚕豆叶片发生黄化越明显。

表 3 不同浓度 NaCl 对鲜食蚕豆幼苗叶绿素含量的影响

Table 3 Effect of different concentrations of NaCl stress on chlorophyll content of *Vicia faba* L.

NaCl 浓度 Concentration of NaCl /(mmol · L ⁻¹)	叶绿素 a 含量 Content of chlorophyll a /(mg · g ⁻¹ FW)	叶绿素 b 含量 Content of chlorophyll b /(mg · g ⁻¹ FW)	叶绿素(a+b) 含量 Content of chlorophyll (a+b) /(mg · g ⁻¹ FW)	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
0	2.37a	0.67a	3.04a	3.55a
50	1.68b	0.49b	2.17b	3.43b
100	1.31c	0.40c	1.71c	3.26c
150	1.00d	0.33c	1.33d	3.08d

2.4 不同浓度 NaCl 对鲜食蚕豆幼苗抗氧化酶活性的影响

2.4.1 盐胁迫对幼苗 SOD 活性的影响

与对照相比,在低中浓度下,SOD 活性随盐浓度增加而增加,并且随时间的增加酶活性的总体变化表现为先升后降,主要原因是在胁迫条件下蚕豆植株中氧自由基数量增加,为了抵御逆境伤害,SOD 活性提高,但是随着处理浓度的增加和时间的延长,150 mmol·L⁻¹ 的高浓度处理组 SOD 活性却明显下降,第 12 天时下降了 18.6%。表明在这种胁迫环境条件下,“通蚕鲜 6 号”的调节能力还不足以抵抗这种胁迫对其的影响,植物的忍耐达到极限,保护酶的系统受到破坏。

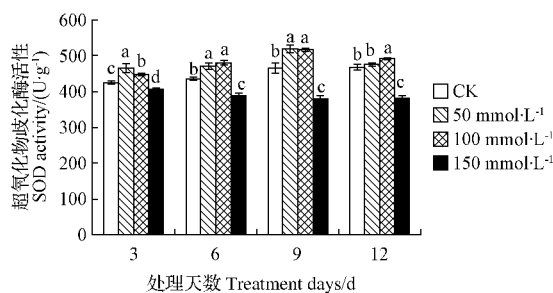


图 1 NaCl 对蚕豆幼苗 SOD 活性的影响

Fig. 1 Effects of NaCl stress on SOD activities of *Vicia faba* L. seedling

2.4.2 盐胁迫对幼苗 POD 活性的影响

与对照相比,低中高 3 个浓度处理下 POD 活性变化趋势是随浓度的增加而增加,随时间的延长,3 组处理 POD 活性先增加后降低(图 2)。这说明随盐浓度增加,蚕豆幼苗的损伤加剧,导致活

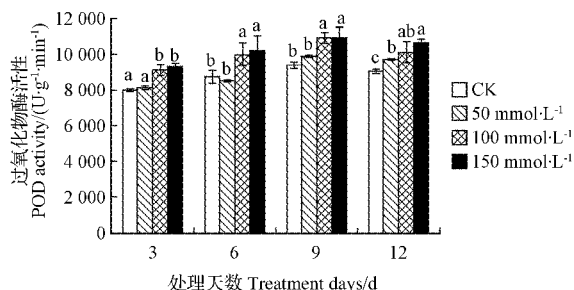


图 2 NaCl 对蚕豆幼苗 POD 活性的影响

Fig. 2 Effects of NaCl stress on POD activities of *Vicia faba* L. seedling

性氧浓度增加,进而引发各种抗氧化酶浓度也增加,以抵御氧化胁迫。POD 也可作为组织老化的一种生理指标,对于中度耐盐的该品种,150 mmol·L⁻¹ 盐浓度不利于幼苗生长。

2.4.3 盐胁迫对幼苗 CAT 活性的影响

随着 NaCl 浓度的增加,CAT 活性的变化规律相同,均呈先增加后降低的趋势(图 3)。3 个不同浓度的处理只有在浓度为 50 mmol·L⁻¹ 时 CAT 的活性高于对照,达到最高,这表明该浓度下 CAT 对脂类过氧化反应有阻碍作用,能抵制盐胁迫诱导损伤,激发更多的抗氧化剂,而中高浓度时对 CAT 活性有一定的抑制,这也是蚕豆对外界环境胁迫的一种协调适应。

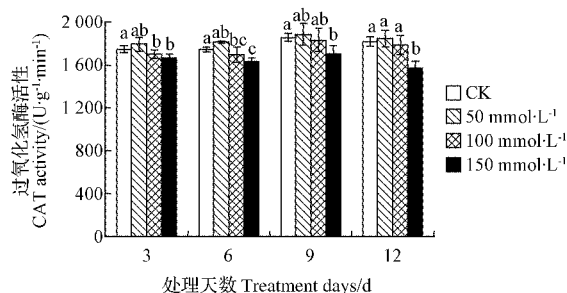


图 3 NaCl 对蚕豆幼苗 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effects of NaCl stress on CAT activities of *Vicia faba* L. seedling

2.5 不同浓度 NaCl 对鲜食蚕豆幼苗 MDA 含量的影响

在低中高 3 个盐浓度处理后,MDA 的含量均有所增加,低浓度处理组变化较为平缓,膜损伤较小,但是随着 NaCl 浓度越大,MDA 含量越高,

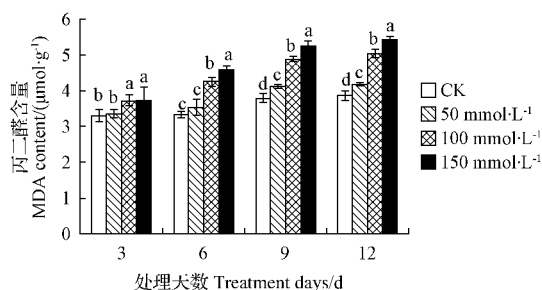


图 4 NaCl 对蚕豆幼苗 MDA 含量的影响

Fig. 4 Effects of NaCl stress on MDA content of *Vicia faba* L. seedling

第3天时低中高3个盐浓度增长分别为1.8%、13.0%和13.2%，而第12天时增长分别为8.2%、30.2%和40.3%，说明“通蚕鲜6号”随胁迫时间延长MDA含量持续上升。

3 讨论与结论

随着土壤盐渍化现象越来越严重，研究盐胁迫对植物体的危害迫在眉睫，研究表明，在盐胁迫下，土壤溶液浓度增大，使植株根际渗透压加大、水分外流，影响作物对水分、养分的吸收，并产生相应的生理反应，进一步影响地上部生长和作物的产量和品质^[11-13]。为了进一步阐明植物的耐盐机制，必须进行生理生化的各项指标的测定及了解各项指标调控的机制原理。

该研究在前期基础上，选取中度耐盐品种“通蚕鲜6号”为试材，结果发现低浓度盐处理时可以促进鲜食蚕豆幼苗的生长量，这很可能是生长早期植株生物量的快速积累在一定程度上稀释了吸收到体内的盐分，但中高浓度则显著抑制其生长，抑制效果随浓度增高而增长，其原因是盐浓度的增加使植物体内的水分和营养物质下降，从而根系生长受到抑制，同时也破坏了根系的吸收能力，阻止向上运输，造成蚕豆的生长发育受阻，株高下降。盐胁迫会使植物的生长发育缓慢，该试验中高浓度处理组植株干质量比对照组下降了64.3%，进一步还可能抑制器官的生长和分化，引发早衰。因此盐渍危害严重的土壤不适合敏感品系的种植。

盐渍逆境还会多方面对光合作用造成影响^[14]，表现在盐胁迫会显著改变叶面积和光合速率，从而抑制植物的光合作用^[15]。该研究结果表明，中高浓度的盐胁迫条件下蚕豆植株的光合性能受到影响，可能是为了减少水分散失，气孔导度和蒸腾速率降低，CO₂吸收量降低，进一步光合作用速率下降，使得同化物与能量的供应减少，因此该结论进一步说明盐胁迫会限制敏感品系蚕豆的生长发育。

NaCl能促进Chl酶活性，使Chl分解^[9]。该研究的结果也表明，NaCl处理对蚕豆幼苗的叶绿素具有抑制作用，并且对Chl a的抑制效应较Chl b大，因此随着盐浓度递增蚕豆叶片发生黄化

越明显。但是在某些耐盐品种中却有不同的表现，例如PUSHPAM等^[16]报道，10~20 g·L⁻¹ NaCl胁迫时水稻叶片Chl含量反而上升，盐胁迫下植物叶片Chl含量的变化是个复杂的体系。该部分的结论也指出对于选育耐盐品种时，植株叶片维持较高的Chl含量和Chl a/b的品种更有利于在盐渍条件下生存。

盐胁迫对植物的伤害途径也包括氧化胁迫^[17]，活性氧清除系统及活性氧信号作用在植物对盐胁迫响应中的反应极为复杂，植物品种的差异和胁迫程度强弱都能破坏活性氧代谢平衡，而且不同的酶对胁迫的响应方式也不相同。该研究表明，在胁迫初期，蚕豆体内的活性氧清除系统被激活，表现为初期SOD、POD和CAT的活性在中低浓度盐胁迫下均升高，减少胁迫对膜结构和功能的破坏，随着NaCl浓度的增加，SOD、CAT活性逐渐降低，导致膜脂过氧化作用加强，细胞膜受到损害，MDA含量开始呈现上升趋势。MDA含量体现植物对逆境反应强度的大小，当胁迫条件达到或超过阈值，细胞内代谢失调，该试验结果发现中浓度盐胁迫时MDA增加加剧，进一步证明该品种属于中度耐盐品种。

综上所述，在盐胁迫条件下，生长指标、光合特性指标及抗氧化酶体系以及MDA含量都可以作为植株耐盐性评价时的辅助参考值，但是仅从生理指标判定耐盐性是不充分的，研究植物耐盐机制才是改善种质品质的根源。

参考文献

- [1] 束胜,郭世荣,孙锦,等.盐胁迫下植物光合作用进展[J].中国蔬菜,2012(18):53-61.
- [2] WANG W,ALTMAN A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance[J]. Planta,2003,218(1):1-14.
- [3] PARIDA A K,DAS A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review[J]. Ecotoxicology & Environmental Safety, 2005,60(3):324-349.
- [4] 孟繁昊,王聪,徐寿军.盐胁迫对植物的影响及植物耐盐机理研究进展[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2014,29(3):315-318.
- [5] 陈新,袁星星,顾和平,等.江苏省食用豆生产现状及发展前景[J].江苏农业科学,2009(5):4-8.
- [6] 袁星星,陈新,陈华涛,等.适合中国南方栽培的蚕豆新品种

及其高产栽培技术[J]. 江苏农业科学, 2010(5): 206-208.

[7] 陈满峰, 赵娜, 王凯华, 等. 鲜食蚕豆通蚕鲜 7 号大棚栽培技术研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(3): 83-84.

[8] 周晨楠, 施晓梦, 袁颖辉, 等. 外源亚精胺对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下番茄幼苗光合特性和抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(3): 498-504.

[9] 刘国红, 姜超强, 刘兆普, 等. 盐胁迫对油菜幼苗生长和光合特征的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(2): 157-164.

[10] 李合生, 孙群. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[11] 姚岭柏, 韩海霞. 盐胁迫对樱桃萝卜生长及生理生化指标的影响[J]. 北方园艺, 2016(13): 5-8.

[12] 乔海龙, 陈和, 陈健, 等. 盐胁迫对不同大麦品种产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 83-86.

[13] 罗成科, 肖国举, 张峰举, 等. 不同浓度复合盐胁迫对水稻产

量和品质的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 137-141.

[14] CHAVES M M, FLEXAS J, PINHEIRO C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell[J]. Annals of Botany, 2009, 103(4): 551-60.

[15] PRAXEDES S C, de LACERDA C F, DAMATTA F M, et al. Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomass allocation and photosynthesis in cowpea cultivars[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, 196(3): 193-204.

[16] PUSHAM R, RANGASAMY S R S. Variations in chlorophyll contents of rice in relation to salinity[J]. Crop Research, 2000, 20(2): 197-200.

[17] 韩宇, 生艳菲, 罗茜, 等. 药用红花幼苗对盐胁迫的生理响应机制[J]. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1833-1838.

Effect of Salt Stress on Photosynthesis and Antioxidant Enzyme Activities of *Vicia faba* L. Seedling

WANG Yun, JIN Xiaoxiao, ZHAO Hui, HAO Zhenping

(College of Horticulture, Jinling Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu 210038)

Abstract: *Vicia faba* L. was used as material, the treatment was applied via soilless substrate's pot experiment. The effect of salt stress on growth and physiology characteristics were studied. The experiment was carried out using 'No. 6 Tongcanxian' to explore effects during 12 days of NaCl stress (0, 50, 100, 150 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) on biomass, net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductivity (Gs), intercellular CO_2 concentration (Ci), transpiration rate (Tr), chlorophyll (Chl), the activity of antioxidase (SOD, POD, CAT) and the MDA content. The results showed that NaCl stress increased plant dry weight at low salt concentration, while at high concentration the dry weight decreased 64.3% and Pn, Tr, Gs and Ci in seedling were decreased 19.7%, 56.3%, 74.0% and 61.2%, respectively. Comparing with the control group, the chlorophyll (Chl a and Chl b) content and Chl(a+b) content both displayed descending. Under the lower NaCl concentration, the activity of SOD increased, on the other hand, under the high concentration the activity decreased. The activity of POD content increased with the increasing of NaCl concentration and time. The CAT activity was the highest when salt concentration was 150 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ on the 9th day, then decreased. With increasing stress degree the MDA content increased. Growth and index of physiology could all be regarded as indexes for evaluation of *Vicia faba* L. in salt adaptability.

Keywords: salt stress; *Vicia faba* L.; photosynthesis; antioxidant enzyme