

NaCl胁迫对野生大豆和栽培大豆叶绿素及光合特性的影响

郑世英, 萧蓓蕾, 金桂芳

(德州学院 农学系, 山东 德州 253023)

摘要:以山东垦利县野生大豆(*Glycine soja*) ZYD 03262及栽培大豆(*Glycine max*)鲁豆2号为材料,通过比较不同NaCl浓度(0, 50, 100, 150, 200 mmol·L⁻¹)处理下叶绿素及光合特性的差异,探讨了野生大豆对NaCl胁迫的耐受力。结果表明:不同NaCl浓度处理下,野生大豆总叶绿素含量、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)及气孔限制值(L_s)均高于栽培大豆,气孔导度(C_i)低于栽培大豆。综合分析表明:在盐胁迫浓度较低时,主要表现为气孔限制,刺激引起了气孔的张开;在盐胁迫浓度较高时,主要为非气孔限制,引起渗透胁迫,导致部分气孔关闭。NaCl胁迫对栽培大豆叶绿素及光合特性的抑制均大于野生大豆,说明野生大豆植株能有效地避免过多Na⁺进入叶片光合组织,这是野生大豆比栽培大豆更抗盐的原因之一。

关键词:野生大豆;栽培大豆;盐胁迫;光合特性;气孔限制

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)04-0486-04

Effect of NaCl Stress on Chlorophyll Content and Photosynthetic Characteristics of *Glycine soja* and *Glycine max*

ZHENG Shi-ying, XIAO Bei-lei, JIN Gui-fang

(Department of Agronomy, Dezhou University, Dezhou 253023, China)

Abstract: In order to explore the different salt resistance mechanism between a wild soybean (*Glycine soja*, ZYD 03262) and a cultivated soybean (*Glycine max*, Ludou 2), the response of chlorophyll, net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO₂ concentration (C_i) and limitation of stomatal (L_s) under different NaCl concentration treatments (0, 50, 100, 150, 200 mmol·L⁻¹) was investigated. Results showed that the content of chlorophyll, P_n , G_s and L_s in wild soybean were all higher, while C_i were lower than that in cultivated soybean under NaCl treatment. The stomatal limitation was a major cause affecting P_n and promoting stomatal opening under lower NaCl concentration. Under higher NaCl concentration, non-stomatal limitation was a major cause which induced osmotic stress and enhanced stomatal closure. The inhibition of the NaCl on chlorophyll and photosynthesis characteristics in the cultivated soybean was more serious than in the wild soybean, which was one of the mechanisms to keep higher salt resistance in the wild soybean.

Key words: *Glycine soja*; *Glycine max*; Photosynthetic characteristic; Stomatal limitation

野生大豆(*Glycine soja*)为一年生草本植物,是栽培大豆(*Glycine max*)的祖先种,具有高蛋白、抗性强、适应性广和繁殖能力强等特性^[1]。栽培大豆作为主要经济和油料作物,属于中度耐盐植物,在盐渍条件下,其产量明显降低。利用具有特殊优良性状和抗逆性的野生大豆,可以解决栽培大豆遗传基础狭窄,抗逆性弱等问题,是改良栽培大豆的重要途径。光是植物光合作用的唯一能量来源,是植物生命活动的物质基础。光合作用被认为是对逆境胁迫最为敏感的生理过程^[2]。薛忠财等^[3]研究表明在NaCl胁迫下,野生大豆植株能够有效地避免过多Na⁺进入叶片光合组织,以维持光合器官较高的光合活性。Yang等^[4]研究表明,盐胁迫下野生大豆光合速率降低是由于盐胁迫引起气孔关闭,从而导致细胞间隙CO₂浓度降低造成。NaCl胁迫通

过抑制光合作用而影响植物的生长。现探讨了野生大豆与栽培大豆在NaCl胁迫下叶绿素及光合生理指标的差异。

1 材料与方法

1.1 材料

供试野生大豆种子采自山东省垦利县黄河入海口的盐碱滩(平均含盐量均大于1%)上自然生长的野生植株。栽培大豆为鲁豆2号,由德州市农业科学院提供。

1.2 试验设计

分别选取籽粒饱满、大小一致的野生大豆和栽培大豆种子,经0.1% HgCl₂消毒10 min,自来水冲洗干净后浸种6 h(其中野生大豆需划破种皮),分别播种在装有湿沙的塑料盆中,置于温室中,自然

收稿日期:2013-01-20

基金项目:国家自然科学基金(31271667)。

第一作者简介:郑世英(1962-),女,硕士,教授,主要从事野生大豆的研究与保护。E-mail: zsy0015@163.com。

光照,昼夜温度 28/22℃,相对湿度 85%。待出苗后浇以 1/2 浓度 Hoagland 培养液,生长 30 d 后选取生长一致的幼苗进行盐处理,NaCl 浓度分别为 0, 50, 100, 150, 200 mmol·L⁻¹ (NaCl 溶液用完全 Hoagland 营养液配制),为避免盐冲击效应,采用每天递增 25 mmol·L⁻¹ NaCl 的方式加盐,每天浇灌 1 次。处理 14 d 后,对最新完全展开叶片进行各项指标的测定。每个处理 3 次重复。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素含量的测定 取新鲜叶片 3 份,每份 0.2 g 分别加入 96% 乙醇及少量石英砂和碳酸钙粉将其研磨成匀浆,至组织发白,过滤,然后用 UV-1601(岛津,日本)分光光度计分别测定 649 nm, 665 nm 处的吸光度并计算叶绿素浓度,然后换算成鲜重的叶绿素含量(mg·g⁻¹ FW)^[5]。计算公式为:

$$C_a = 13.95 D_{665} - 6.88 D_{649}; C_b = 24.96 D_{649} - 7.32 D_{665}; C_T = C_a + C_b$$

其中, C_a 、 C_b 和 C_T 分别表示叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量。

1.3.2 光合作用指标的测定 采用 Li-6400 便携式光合仪,测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和气孔限制值(L_s)。每处理选取生长一

致的植株 5 株,每叶片以 3 次读数的平均值作为测定值^[6]。选择晴朗天气上午 9:00 ~ 11:00 测定。测定时温度(23 ± 2)℃,光照强度 1 200 μmol·m⁻²·s⁻¹,相对湿度 26% ~ 30%, CO₂ 浓度(390 ± 10) μmol·mol⁻¹。

1.3.3 数据分析 用 SPSS 11.5 for Windows 进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对野生大豆叶绿素含量的影响

随着 NaCl 胁迫浓度的提高,野生大豆总叶绿素及叶绿素 a 含量呈先升高后降低的变化趋势,且在 100 mmol·L⁻¹ NaCl 处理达到峰值;栽培大豆总叶绿素及叶绿素 a 含量则呈逐渐下降趋势,且 NaCl 胁迫条件下野生大豆总叶绿素及叶绿素 a 含量都高于栽培大豆(图 1A, B)。

50 mmol·L⁻¹ NaCl 处理时,野生大豆叶绿素 b 含量达到最大值。100 mmol·L⁻¹ NaCl 处理时,栽培大豆叶绿素 b 含量达到最大值(图 1C)。

低浓度 NaCl(50 mmol·L⁻¹)处理时,野生大豆和栽培大豆叶绿素 a/b 差异不显著($P > 0.05$),高浓度 NaCl(100 ~ 150 mmol·L⁻¹)处理时,野生大豆叶绿素 a/b 高于栽培大豆(图 1D)。

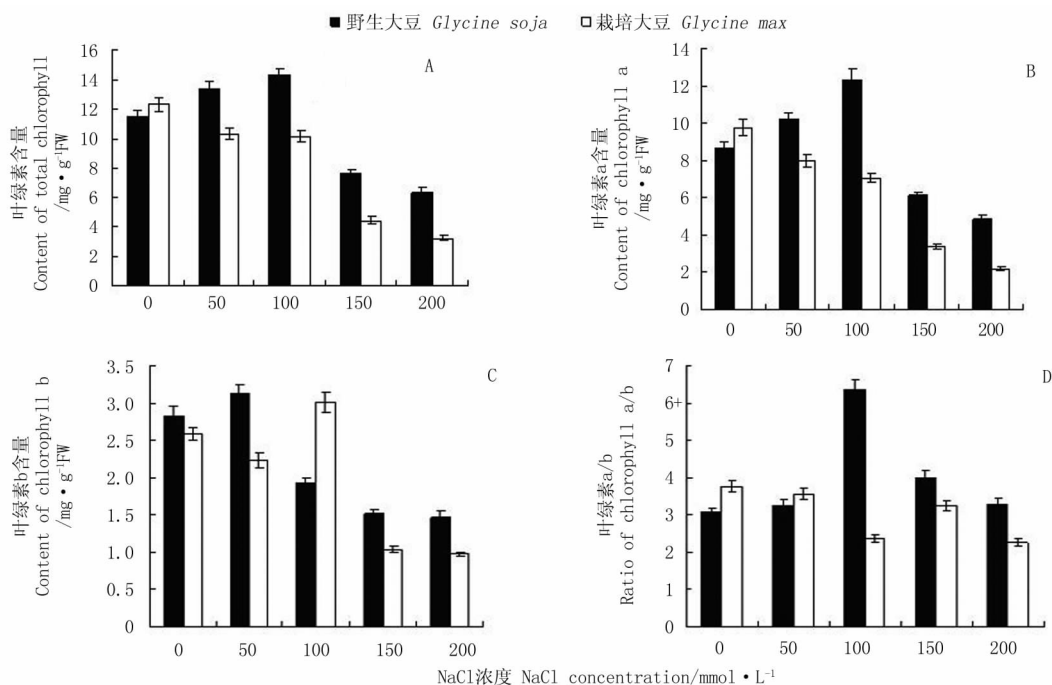


图 1 NaCl 胁迫对野生大豆及栽培大豆总叶绿素(A)、叶绿素 a(B)、叶绿素 b(C)和叶绿素 a/b(D)的影响

Fig. 1 Effect of NaCl stress on the content of total chlorophyll(A), chlorophyll a (B), chlorophyll b(C) and chlorophyll a/b (D) in *Glycine soja* and *Glycine max*

2.2 NaCl 胁迫对野生大豆幼苗光合特性的影响

由图 2 可知,随着 NaCl 浓度的增加,野生大豆和栽培大豆的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和气孔限制值(L_s)均呈先上升后下降的趋势,且野生大

豆上述指标均高于栽培大豆;而胞间 CO₂ 浓度(C_i)呈先下降后上升的趋势,且野生大豆低于栽培大豆。各光合指标出现极值的 NaCl 浓度不同,在 100 mmol·L⁻¹ NaCl 浓度处理下,野生大豆和栽培大豆

的 P_n 均出现最高值, C_i 均出现最低值; 在 NaCl 浓度为 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 野生大豆的 G_s 出现峰值, 而栽培大豆的 G_s 在 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 浓度下出现峰

值; 野生大豆和栽培大豆的 L_s 均在 $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 浓度时出现峰值。

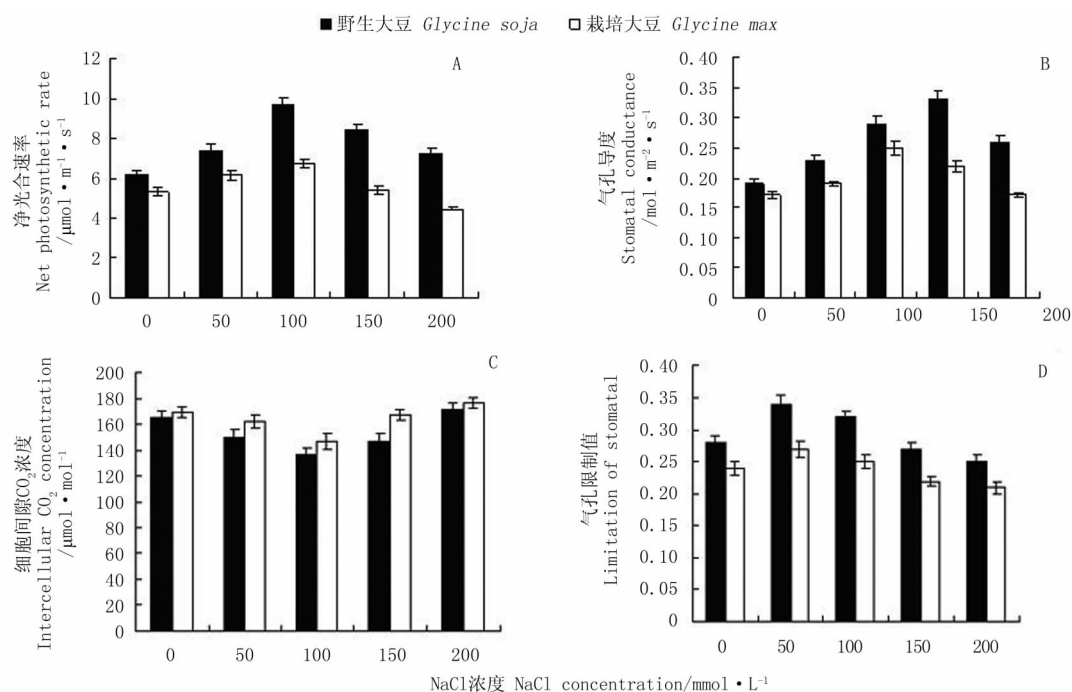


图2 NaCl胁迫对野生大豆及栽培大豆光合速率(A)、气孔导度(B)、细胞间隙CO₂浓度(C)和气孔限制值(D)的影响

Fig. 2 Effect of NaCl stress on the net photosynthetic rate (A), stomatal conductance (B), intercellular CO₂ concentration (C) and limitation of stomatal (D) in *Glycine soja* and *Glycine max*

3 讨论

光合作用是植物对外界环境条件反应最敏感的生理过程,植物的光合生理特性会随着生长环境因子的变化而改变。盐胁迫对植物光合作用的抑制主要表现在植物叶片失水,引起气孔关闭,CO₂供应不足,光合反应下降,CO₂同化受阻^[6]。

NaCl胁迫处理条件下,随着NaCl浓度的提高野生大豆叶绿素及叶绿素a含量逐渐升高,而栽培大豆逐渐下降,且NaCl胁迫条件下野生大豆叶绿素及叶绿素a含量均高于栽培大豆。叶绿素a主要存在于PS I、PS II核心复合物及天线色素中,叶绿素b是两个光系统的天线组成成分,随着NaCl胁迫浓度的升高,野生大豆总叶绿素含量表现出先升高后下降的趋势,而栽培大豆表现出降低趋势,活性氧的积累所导致的氧化破坏,可以加速叶绿体色素的降解^[7]。

在NaCl胁迫下,野生大豆和栽培大豆净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)及气孔限制值(L_s)均呈现先升后降的趋势,可能是因为较低浓度的NaCl刺激了气孔的张开,当NaCl胁迫浓度较高时,刺激引起渗透胁迫,导致部分气孔关闭,限制了CO₂向叶绿体的运输,导致光合能力降低,这时非气孔限制成为主

要限制因素^[8]。

植物的光合生理特性随着盐胁迫浓度的变化而改变。净光合速率能直接反映出植物单位叶面积的物质生产能力^[9]。盐胁迫下植物叶片失水,引起气孔关闭,CO₂供应不足,导致植物光合速率下降^[10]。盐胁迫条件下,野生大豆植株能够有效地避免过多Na⁺进入叶片光合组织,以维持光合机构较高的光合特性,这也是野生大豆更抗盐的原因之一^[11]。盐胁迫浓度较低时,主要表现为气孔限制,从而影响植物的光合作用。但在盐胁迫浓度较高时,由于Na⁺、Cl⁻的大量积累引起渗透胁迫,同时对光合酶活性产生直接的毒害作用,从而使非气孔限制因素成为主要限制因子^[12]。在本实验中,野生大豆的叶绿素含量、净光合速率、气孔导度及气孔限制值均高于栽培大豆,说明野生大豆在NaCl胁迫下的光合能力强于栽培大豆。

参考文献

- [1] 孙备,李建东,王国骄,等. 一年生野生大豆(*Glycine soja*)生理生态学和种群生态学研究进展[J]. 大豆科学, 2008, 27(4): 687-692. (Sun B, Li J D, Wang G J, et al. Research progress on physiological ecology and population ecology of annual wild soybean (*Glycine soja*) [J]. Soybean Science, 2008, 27(4): 687-692.)

- [2] 张丽华,赵洪祥,谭国波,等.灌溉方式对大豆光合性状及土壤水分利用率的影响[J].大豆科学,2012,31(4):613-616. (Zhang L H,Zhao H X,Tan G B,et al. Effects of irrigation modes on photosynthetic characters and water use efficiency of soybean [J]. Soybean Science,2012,31(4):613-616.)
- [3] 薛忠财,高辉远,柳洁.野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应[J].生态学报,2011,31(11):3101-3109. (Xue Z C,Gao H Y,Liu J. Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (*Glycine soja*) and cultivated soybean (*Glycine max*) to NaCl stress [J]. Acta Ecologica Sinica,2011,31(11):3101-3109.)
- [4] Yang Y,Jiang D A,Xu H X,et al. Cyclic electron flow around photosystem I is required for adaptation to salt stress in wild soybean species *Glycine cyrtolaba* ACC547 [J]. Biologia Plantarum,2006,50:586-590.
- [5] 宋开山,张柏,王宗明,等.大豆叶绿素含量高光谱反演模型研究[J].农业工程学报,2006,22(8):16-21. (Song K S,Zhang B,Wang Z M,et al. Inverse model for estimating soybean chlorophyll concentration using in-situ collected canopy hyperspectral data [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,22(8):16-21.)
- [6] 由继红,陆静梅,杨文杰.钙对低温胁迫下小麦幼苗光合作用及相关生理指标的影响[J].作物学报,2002,28(5):693-696. (You J H,Lu J M,Yang W J. Effects of Ca²⁺ on photosynthesis and related physiological indexes of wheat seedlings under low temperature stress [J]. Acta Agronomica Sinica,2002,28(5):693-696.)
- [7] 张朋,张文会,苗秀莲,等. CO₂ 浓度倍增对大豆生长及光合作用的影响[J].大豆科学,2010,29(1):64-67. (Zhang P,Zhang W H,Miao X L,et al. Effects of doubled CO₂ concentration on growth and photosynthesis of soybean [J]. Soybean Science,2010,29(1):64-67.)
- [8] 贺军民,余小平,刘成,等.增强 UV-B 辐射和 NaCl 复合胁迫下绿豆光合作用的气孔和非气孔限制[J].植物生理与分子生物学学报,2004,30(1):53-58. (He J M,She X P,Liu C,et al. Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis in mung bean leaves under the combination of enhanced UV-B radiation and NaCl stress [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology,2004,30(1):53-58.)
- [9] 郁继华,舒英杰,吕军芬,等.低温弱光对茄子幼苗光合特性的影响[J].西北植物学报,2004,2(5):831-836. (Yu J H,Shu Y J,Lyu J F,et al. Influences of low temperature and poor light on photosynthetic characteristics in eggplant seedlings [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2004,2(5):831-836.)
- [10] 刘冲,王茂文,丁海荣,等. NaCl 胁迫对续随子光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J].西南农业学报,2012,25(5):1642-1647. (Liu C,Wang M W,Ding H R,et al. Characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Euphorbia lathyris* L. with NaCl stress [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2012,25(5):1642-1647.)
- [11] 葛瑛,朱延明,吕德康,等.野生大豆碱胁迫反应的研究[J].草业科学,2009,26(2):47-52. (Ge Y,Zhu Y M,Lyu D K,et al. Research on responses of wild soybean to alkaline stress [J]. Pratacultural Science,2009,26(2):47-52.)
- [12] 郑国琦,许兴,徐兆桢,等.盐胁迫对枸杞光合作用的气孔与非气孔限制[J].西北植物学报,2002,22(6):1355-1359. (Zheng G Q,Xu X,Xu Z Z,et al. The effect of salt stress on the stomatal and non-stomatal limitation of photosynthesis of *Lycium barbarum* [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2002,22(6):1355-1359.)
- (上接第 485 页)
- [19] Kahlon C S,Board J E,Kang M S. An analysis of yield component changes for new vs. old soybean cultivars [J]. Agronomy Journal,2011,103(1):13-22.
- [20] 何钟佩.农作物化学控制实验指导[M].北京:北京农业大学出版社,1993:60-68. (He Z P. Manual of chemical manipulation in crops [M]. Beijing:Beijing Agricultural University Press,1993:60-68.)
- [21] 张明才,段留生,何钟佩,等. SHK-6 对大豆根系生理活性和激素的调控效应[J].中国油料作物学报,2005,27(3):32-36. (Zhang M C,Duan L S,He Z P,et al. Chemical regulation of endogenous hormones and mineral nutrition in bleeding sap of soybean by SHK-6 [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2005,27(3):32-36.)
- [22] Madhu M,Hatfield J L. Dynamics of plant root growth under increased atmospheric carbon dioxide [J]. Agronomy Journal,2013,105(3):657-669.
- [23] Liu X,Jin J,Herbert S J,et al. Yield components, dry matter, LAI, and LAD of soybeans in Northeast China [J]. Field Crops Research,2005,93(1):85-93.
- [24] de Bruin J L, Pedersen P. Growth, yield, and yield component changes among old and new soybean cultivars [J]. Agronomy Journal,2009,101(1):123-130.
- [25] Gay S,Egli D B,Reicosky D A. Physiological basis of yield improvement in soybeans [J]. Agronomy Journal,1980,72(2):387-391.
- [26] Cui Y S,Yu D Y. Estimates of relative contribution of biomass, harvest index, and yield components to soybean yield improvements in China [J]. Plant Breeding,2005,124(5):473-476.
- [27] Rigsby B, Board J E. Identification of soybean cultivars that yield well at low plant populations [J]. Crop Science,2003,43(1):234-239.
- [28] Fanan S, Medina P F, Camargo M B P. Description of agronomic characteristics and harvest time evaluation in the yield of castor bean cultivar IAC 2028 [J]. Bragantia,2009,68(2):415-422.
- [29] Zuchi J,Zanuncio J C,Bevilaqua G A P,et al. Castor yield components according to floral order and sowing season in the Rio Grande do Sul State [J]. Revista Ciência Agronômica,2010,41(3):380-386.