

盐胁迫下大气CO₂浓度升高对黄瓜幼苗生长、 光合特性及矿质养分吸收的影响^①

袁会敏^{1,2}, 周健民¹, 段增强^{1*}, 王火焰¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 采用营养液培养和开顶箱法, 研究了盐胁迫下CO₂浓度升高对黄瓜幼苗生长、光合特性及矿质养分吸收的影响。结果表明, 黄瓜生长在 80 mmol/L NaCl下, 其生物量、光合速率、气孔导度、蒸腾速率均显著下降, 而胞间CO₂浓度明显升高; CO₂浓度升高可增加盐胁迫下黄瓜幼苗生物量, 使光合速率、气孔导度、蒸腾速率升高。表明CO₂浓度升高能减轻盐胁迫对光合功能的不利效应。80 mmol/L NaCl可使黄瓜幼苗体内总N和K⁺的浓度降低, 而使Na⁺浓度增加; CO₂浓度升高具有提高盐胁迫下总N和K⁺浓度, 降低Na⁺浓度的效应, 说明CO₂浓度升高可减轻盐胁迫的毒害作用, 提高黄瓜幼苗生物量。

关键词: CO₂升高; 盐胁迫; 黄瓜; 光合作用; 矿质元素

中图分类号: Q945.78; X171; S642.2

近年来, 我国设施园艺发展迅速, 但生产管理水平和相对滞后, 盲目施肥等因素导致设施内土壤次生盐渍化程度不断加重, 连作障碍业已成为困扰我国设施蔬菜生产的突出问题^[1]。对于盐胁迫对植物的伤害, 以及CO₂浓度增加对盐胁迫下植物生长、光合速率、呼吸作用的影响等方面已有不少报道^[2-5], 研究表明, 盐胁迫下, CO₂浓度升高可刺激植物的生长, 减轻盐分对植物的毒害效应^[6-12]。但在盐胁迫下CO₂浓度升高时, 针对黄瓜的研究尚未见报导, 而黄瓜是我国设施栽培的主要蔬菜, 且CO₂施肥在设施栽培中已得到越来越广泛的重视。因此, 深入研究盐胁迫下黄瓜对CO₂施肥的响应, 对于克服或减轻盐胁迫对黄瓜生产的危害, 实现黄瓜的高产稳产, 以及设施土壤的持续利用具有重要的现实指导意义。为此, 本文研究了CO₂升高对盐胁迫下黄瓜幼苗生长、光合特性及总N、K⁺和Na⁺的影响。本实验采用的是开顶式培养室, 其顶部开放, 与大气相通, 生长环境基本接近于自然状态, 其室内CO₂浓度可自动控制^[13]。

1 材料与方法

1.1 试验材料的培养及处理

在中国科学院南京土壤研究所温室内, 建立两个长 2.35 m、宽 0.82 m、高 1.40 m 的钢管支撑的长方体开顶式薄膜培养室。室内 CO₂ 浓度经红外分析仪

(GXH-3010 型, 北京市华云分析仪器研究所)测定。CO₂ 是采用纯度 99.9% 高压钢瓶气体(不含任何有害气体), 经减压缓冲后向室内供应。

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 品种为津春 4 号。种子在 25℃ 催芽 24 h 后, 播于装有石英砂的塑料盆中育苗, 恒温 25℃。子叶展开后浇 1/2 Hoagland 营养液。当幼苗第二片真叶展开后, 选生长整齐一致的幼苗定植于装有 1.3 L Hoagland 营养液的瓷钵中, 每盆 4 株, 营养液 pH 值调至 6.0, 通入空气维持营养液中溶解氧浓度不低于 8 μl/L。每 4 天换 1 次营养液。

对黄瓜进行以下处理: ①正常室通入正常空气 (CO₂ 浓度为 380 μmol/mol), 盐处理为 0 (对照) 和 80 mmol/L, 分别用CK和NaCl表示, 每处理设 3 个重复。②CO₂升高室 (CO₂浓度为 1000 μmol/mol), 盐处理及重复数同正常室, 分别用 CO₂和NaCl+ CO₂表示。盐分的调节是在预培养 3 天后, 在营养液中添加分析纯NaCl。在自然条件下培养 30 天后分别取样分析。试验结果均采用SPSS软件进行统计检验。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 植株生物量的测定 取植株地上部和根系, 用去离子水冲洗干净, 用吸水纸擦干, 称鲜重, 然后于 105℃ 杀青 30 min, 70℃ 烘至恒重, 测定干重。

1.2.2 光合参数的测定 采用便携式光合测定系统

①基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (30230250) 和中国科学院创新项目 (KZCX3-SW-439) 资助。

* 通讯作者 (zqduan@issas.ac.cn)

作者简介: 袁会敏 (1978—), 女, 安徽合肥人, 博士研究生, 主要从事设施栽培中连作障碍的研究。E-mail: hmyuan@issas.ac.cn

(Li-6400, Li-Cor Inc, USA) 于上午 9:00 ~ 11:30 进行光合参数的测定。测量时采用开放气路, 在自然光照下进行, 叶温为 25℃, 光量子通量密度 (PFD) 为 1200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, CO_2 浓度为 380 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, 相对湿度为 50%。净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO_2 浓度(Ci)和蒸腾速率由光合测定系统直接读出。测量重复 8 次, 取平均数。

1.2.3 总N、 K^+ 和 Na^+ 的测定 植株样经 H_2SO_4 - H_2O_2 消煮后, 总N用流动分析仪测定 (荷兰, Skalar 公司), K^+ 和 Na^+ 采用火焰光度法测定。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫下 CO_2 升高对黄瓜植株生物量的影响

从表 1 可以看出, 在没有盐胁迫情况下, CO_2 浓度升高 (CO_2 处理) 使黄瓜幼苗地上部、根系和整株干重分别提高了 20%、20% 和 21%; 正常大气条件下, 盐胁迫 (NaCl 处理) 使黄瓜幼苗地上部、根系和整株干重分别下降了 73%、90% 和 75%; 而在盐胁迫条件下升高 CO_2 浓度 ($\text{NaCl} + \text{CO}_2$ 处理) 使黄瓜幼苗地上部、根系和整株干重分别下降了 67%、89% 和 70%, 说明高浓度 CO_2 对盐胁迫下的黄瓜幼苗生物量降低有所减缓。无论是否在盐胁迫条件下, 升高 CO_2 浓度均不能显著改变黄瓜的根冠比, 但在盐胁迫条件下黄瓜的根冠比均为没有盐胁迫的 33%。

表 1 盐胁迫下 CO_2 升高对黄瓜幼苗干重和根冠比的影响

Table 1 Effects of elevated CO_2 concentration on dry weights and root-shoot ratios of cucumber seedling under salt stress

处理	干重 (g/株)			根冠比
	地上部	根系	整株	
CK	4.93 b	0.87 b	5.79 a	0.18 a
CO_2	5.94 a	1.04 a	6.98 b	0.18 a
NaCl	1.34 d	0.08 d	1.42 d	0.06 b
$\text{NaCl} + \text{CO}_2$	1.63 c	0.10 c	1.73 c	0.06 b

注: 同列中含不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$), 下同。

2.2 盐胁迫下 CO_2 升高对黄瓜幼苗叶片光合特性的影响

图 1 表明, 无盐胁迫时, 升高 CO_2 浓度黄瓜幼苗的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别降低到对照处理的 63%、69% 和 67%, 说明升高 CO_2 浓度对光合速率的影响最大, 而胞间 CO_2 浓度则明显高于对照处理; 在正常大气条件下, 盐胁迫使黄瓜幼苗的光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别下降为对照处理的 8%、27% 和 5%, 可见盐胁迫最初影响到的是黄瓜幼苗的蒸腾速率, 但是盐胁迫下的胞间 CO_2 浓度显著高于对照处理; 在升高 CO_2 浓度和盐胁迫共同作用下的光合速率、气孔导度和蒸腾速率也显著低于对照处理, 但却高于正常大气条件下受盐胁迫的处理。

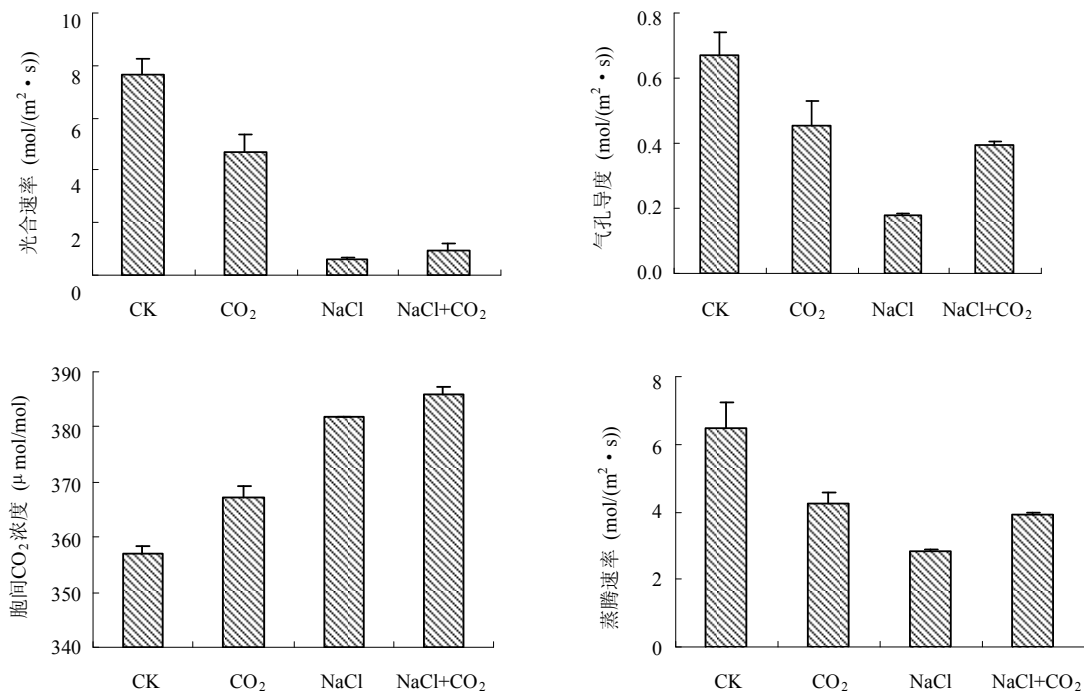


图 1 盐胁迫下大气 CO_2 浓度升高对黄瓜幼苗光合参数的影响。

Fig. 1 Effects of elevated CO_2 concentration on photosynthesis of cucumber seedlings under salt stress

2.3 盐胁迫下CO₂升高对黄瓜幼苗总N、K⁺和Na⁺的影响

表2显示, 无盐胁迫时, 升高CO₂浓度黄瓜植株体内的总N浓度明显低于对照处理; 盐胁迫也显著降低了正常大气条件下黄瓜植株中的总N浓度, 而升高CO₂浓度使盐胁迫下黄瓜植株体内的总N浓度有所增加。升高CO₂浓度没有明显改变无盐胁迫下的黄瓜植株体内

K⁺浓度; 而盐胁迫则显著降低了正常大气条件下黄瓜植株体内的K⁺浓度, 但升高CO₂浓度又使盐胁迫下黄瓜植株体内的K⁺浓度显著回升。无盐胁迫时升高CO₂浓度黄瓜植株体内Na⁺浓度与对照处理没有显著差异; 当盐胁迫存在时, 在正常大气条件下生长的黄瓜植株体内的Na⁺浓度明显升高, 但升高CO₂浓度则使这种趋势有所缓解。

表2 盐胁迫下CO₂升高对黄瓜幼苗矿质元素的影响

Table 2 Effects of elevated CO₂ concentration on mineral constituents of cucumber seedling under salt stress

处理	地上部			根系		
	总N (g/kg)	K ⁺ (mmol/g)	Na ⁺ (mmol/g)	总N (g/kg)	K ⁺ (mmol/g)	Na ⁺ (mmol/g)
CK	1.60 a	2.50 a	0.07 c	1.78 a	3.82 a	0.07 c
CO ₂	1.08 b	2.53 a	0.06 c	1.43 b	3.52 a	0.05 c
NaCl	0.35 d	0.25 c	5.96 a	0.24 d	0.16 c	1.98 a
NaCl + CO ₂	0.43 c	1.11 b	4.59 b	0.41 c	0.98 b	0.98 b

3 讨论

生物量是植物对盐胁迫响应的综合体现。本实验结果表明, 盐胁迫使黄瓜幼苗生物量急剧下降, 徐呈祥等^[14]用 100 mmol/L NaCl处理库拉索芦荟也有同样的结果, 说明植株受到了盐胁迫的极大伤害; 而升高CO₂浓度增加了盐胁迫下黄瓜的生物量, 表明升高CO₂浓度减轻了盐胁迫对黄瓜幼苗的伤害。从实验结果可以看出, 盐胁迫使根冠比下降, 说明盐处理对根系生长的抑制作用强于对地上部生长的抑制, 而升高CO₂浓度没有使之改变。

导致光合速率降低的因素包括气孔限制和非气孔限制^[15]。气孔限制因素是由于气孔开度的下降导致胞间CO₂浓度下降, 使叶绿体内CO₂供应受阻; 反之, 如果叶肉细胞本身光合能力显著降低, 即使在气孔导度较低的情况下, 胞间CO₂浓度也有可能升高或不变^[16]。在本实验中, 各处理的气孔导度都显著低于对照处理, 而胞间CO₂浓度却升高, 这就说明非气孔限制是造成本实验光合速率降低的主要因素。因为在本实验中测定光合参数时的CO₂浓度均是 380 μmol/mol, 所以高CO₂浓度下的净光合速率才会下降。廖轶等^[17]在CO₂浓度 380 μmol/mol时测定FACE条件下生长的水稻叶片的净光合速率也有相同的结果。

高浓度CO₂对植物光合作用的影响表现为短期和长期效应。短时间地供应高浓度CO₂促进植物等光合作用, 而长时间生长在高浓度CO₂下却使某些植物光

合能力下降, 出现了光合适应现象^[18]。很多实验显示高浓度CO₂对植物光合速率的最初促进会随时间延长而渐渐消失。这些实验包括对西红柿、棉花及黄瓜的研究^[19-21]。这些数据表明长期生活在高浓度CO₂下致使植物在生化、生理或形态上发生变化, 从而抵消了对光合的最初的促进作用。本实验中净光合速率的下降主要还是由于测定时设定的CO₂浓度为 380 μmol/mol的缘故。但高浓度的CO₂还是减缓了盐胁迫下光合速率下降的趋势, 减轻了盐胁迫对光合功能的不利效应, 从而促进植物的生长。

对于高CO₂浓度下总N浓度的降低, 迄今为止共有4种解释: ①碳水化合物的稀释作用, 即在高CO₂浓度下作物生物量的增加大于作物对于N的吸收的增加; ②N分配的转变, 即在高CO₂浓度下植株根中N的比例高于地上部的; ③在高CO₂浓度下N的吸收率增强, 导致植株对N的需求减少; ④由于在高CO₂浓度下气孔导度和蒸腾速率降低, 导致N从土壤向根表的流动量降低^[22]。而高浓度CO₂提高了盐胁迫下总N的浓度, 这可能是因为盐胁迫下, 高浓度CO₂下的气孔导度和蒸腾速率都较大气CO₂浓度下有显著的提高, 这就使得营养液中的N向黄瓜的流动增强, 从而导致盐胁迫下高浓度CO₂下生长的黄瓜植株内的总N浓度高于大气CO₂浓度下的。也可能是总根系活力增加引起的, 可进行进一步的研究。K⁺是植物体内具有活化作用的阳离子, 具有调节渗透和保持细胞膨压等生理功能, 是保持植物正常代谢的关键离子^[23], 而高浓度CO₂通过提高盐

胁迫下 K^+ 浓度则可增强黄瓜的耐盐性。 Na^+ 是植物体内没有活化作用的阳离子,过多的 Na^+ 会使相关代谢酶失活而产生毒害。升高 CO_2 浓度降低了盐胁迫黄瓜体内的 Na^+ 浓度,同样也使黄瓜的耐盐性增强,从而减轻盐胁迫对黄瓜幼苗的伤害,有利于生物量的积累。

参考文献:

- [1] 魏国强. 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. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1754-1759
- [2] Greenway H, Munns R. Mechanism s of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology, 1980, 31: 149-190
- [3] Ryle GJA, Powell CE, Tewson V. Effect of elevated CO_2 on the photosynthesis, respiration and growth of Perennial regrass. J. Exp. Bot., 1992, 43: 811-818
- [4] Seeman JR, Critchley C. Effects of salt stress on growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species. Phaselous vulgaris. Plant, 1985, 164: 151-162
- [5] Wulff RD, Strain BR. Effects of CO_2 enrichment on growth and photosynthesis in Desmodium paniculatum. Can J. Bot., 1982, 60: 1084
- [6] Maggio A, Dalton FN, Piccinni G. The effects of elevated carbon dioxide on static and dynamic indices for tomato salt tolerance. Agron. J., 2002, 16: 197-206
- [7] 张其德, 温晓刚, 卢从明, 冯丽洁, 匡廷云. 盐胁迫下 CO_2 加倍对春小麦一些光合功能的影响. 植物生态学报, 2000, 24(3): 308-311
- [8] 刘家尧, 衣艳君, 白克智, 梁峥. CO_2 倍增环境生长的小麦幼苗对盐胁迫的生理反应. 生态学报, 1998, 18(4): 408-412
- [9] 刘家尧, 衣艳君, 白克智, 梁峥. CO_2 /盐冲击对小麦呼吸酶活性的影响. 植物学报, 1996, 38(8): 641-646
- [10] Ball MC, Munns R. Plant responses to salinity under elevated atmospheric concentrations of CO_2 . Aust. J. Bot., 1992, 40: 515-525
- [11] Schwarz M, Gale J. Growth response to salinity at high levels of carbon dioxide. Journal of Experimental Botany, 1984, 35: 193-196
- [12] Bowman WD, Strain BR. Interaction between CO_2 enrichment and salinity stress in the C4 non-halophyte and ro-pogong lomeratus (walter) BSP. Plant Cell Environ., 1987, 10: 267-270
- [13] 林光辉. 大气 CO_2 浓度升高对植物的直接影响. 植物生态学报, 1997, 21(6): 489-502
- [14] 徐呈祥, 郑青松, 刘友良, 刘兆普. 长期盐胁迫对库拉索芦荟 (*Aloe vera*) 生长和汁液理化性质的影响. 土壤学报, 2006, 43(3): 478-485
- [15] Farquhar GD, Sharkey TD. Stomatal conductance and photosynthesis. Annu. Rev. Plant Physiol., 1982, 33: 317-345
- [16] 许大全. 叶片表观光合量子速率的测定 // 中国科学院上海植物生理研究所、上海市植物生理学会编. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999: 89-90
- [17] 廖轶, 陈根云, 张海波, 蔡时青, 朱建国, 韩勇, 刘钢, 许大全. 水稻叶片光和作用对开方式空气 CO_2 浓度增高(FACE)的响应与适应. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1205-1209
- [18] Gunderson CA, Wullschlegel SD. Photosynthetic acclimation in trees to rising atmospheric CO_2 : A broader perspective. Photosynthesis Res., 1994, 39: 369-388
- [19] Delucia E, Sasek TW, Strain BR. Photosynthetic inhibition after long-term exposure to elevated levels of atmospheric carbon dioxide. Photosynthesis Res., 1985, 7: 175-184
- [20] Yelle S, Beeson Jr RC, Trudel MJ. Acclimation of two tomato species to high atmospheric CO_2 . Plant Physiol., 1989, 90: 1465-1472
- [21] Peet MM, Huber SCI, Patterson DT. Acclimation to high CO_2 in monoecious cucumber. II. Carbon exchange Rates, enzyme activities and starch and nutrient concentration. Plant Physiol., 1986, 80: 63-67
- [22] Jing P, Jian GZh, Zu BX, Gang L, Ya LZ, Gai PCh, Qing Z, Lei Ch. A new explanation of the N concentration decrease in tissues of rice (*Oryza sativa* L.) exposed to elevated atmospheric pCO_2 . Environ. Exp. Bot., 2006, 57: 98-105
- [23] Renault S, Croser C, Franklin JA, Zwiazek JJ. Effect of NaCl and Na_2SO_4 on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx). Plant Soil, 2001, 233: 261-268

Effects of Elevated CO₂ Concentration on Growth, Photosynthetic Characteristics and Mineral Elements of Cucumber Seedlings under Salt Stress

YUAN Hui-min^{1,2}, ZHOU Jian-min¹, DUAN Zeng-qiang¹, WANG Huo-yan¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cucumber was hydroponically cultured to study the effects of elevated CO₂ concentration on the growth, photosynthetic characteristics and mineral elements of cucumber seedlings under salt stress. The results indicated that the biomass, net photosynthetic rates, stomatal conductance and transpiration of cucumber seedling grown in 80 mmol/L NaCl decreased compared to the control, while intercellular CO₂ concentration increased. However, under NaCl stress, elevated CO₂ concentration enhanced the biomass, net photosynthetic rates, stomatal conductance and transpiration of cucumber seedling compared to that at ambient CO₂ concentration. The results indicated that the unfavorable effects of salt stress on photosynthetic functions could be alleviated by high CO₂ concentration. 80 mmol/L NaCl reduced total N and K⁺ content, and enhanced Na⁺ content of cucumber seedling. However, under salt stress, elevated CO₂ concentration increased total N and K⁺ content, and decreased Na⁺ content of cucumber seedling, indicating that elevated CO₂ concentration alleviated salt stress on cucumber seedling and enhanced biomass of cucumber seedling.

Key words: Elevated CO₂, NaCl stress, Cucumber (*Cucumis sativus* L.), Photosynthesis, Mineral elements