

CO₂浓度升高与增施钾肥对黄瓜生长的影响^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: 采用土培和开顶箱法, 研究了大气CO₂浓度升高与K肥共同作用对黄瓜生长的影响。结果表明, CO₂浓度升高和K肥浓度增大均能增加黄瓜干物质的积累, 且在高CO₂浓度下, 200 mg/kg和 300 mg/kg K肥处理时黄瓜的干物重达到最大值。大气CO₂浓度升高使得黄瓜体内的N、P、K、Na、Ca、Mg含量均降低, K肥处理对黄瓜植株内N、P、Ca、Mg含量的影响不大, 但K的含量随K肥的增加而增加。在高浓度CO₂下, 200 mg/kg和 300 mg/kg K肥处理时黄瓜对N、P、K、Ca、Mg的吸收量达到最大值。可见, 在未来CO₂浓度升高的环境中, 更多的K肥供应能促进作物对N、P、K、Ca、Mg的吸收, 使其快速高效的生长。

关键词: CO₂升高; 钾; 黄瓜; 养分

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]。另外, 作物生长最适合的CO₂浓度为 1000~2000 μmol/mol, 而大气中CO₂仅为 300~400 μmol/mol, 远不能满足作物生长的需要。尤其在封闭的温室内, 光照充足时, CO₂会降至 100 μmol/mol 以下, 作物处于严重的CO₂饥饿状态, 甚至停止进行光合作用, 这是限制温室作物生长的重要原因。研究表明, 在盐胁迫下, 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^[2-8]。另一方面, 作为养分三要素之一, K在蔬菜生长中同样起着非常重要的作用, 蔬菜生长对K的需求量比其它作物大^[9-11], 但施用K肥的增产效应在蔬菜上不如施用N肥明显, 造成K肥在设施蔬菜栽培过程中的施用量偏低, 使得设施农业土壤中普遍存在相对缺K的情况。Schleiff和Fink^[12]认为, 在盐渍化条件下, 为使土壤有适宜的K营养, K肥的用量应比非盐渍条件下高 20%~50%。因此, 研究CO₂浓度升高条件下不同含K处理对次生盐渍化土壤作物养分吸收的影响, 对于克服或减轻盐分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。有人研究了CO₂浓度升高和K肥共同作用对棉花的影响, 结果表明: CO₂浓度和K肥对棉花的叶面积、光

浓度升高和K肥共同作用对温室次生盐渍化土壤上黄瓜生长的影响的研究尚未见报道。为此, 本文研究了CO₂浓度升高条件下不同含K处理对次生盐渍化土壤的黄瓜生长和养分吸收的影响。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^[14]。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

采集宜兴大棚内次生盐渍化土壤和大棚外露地土壤 (0~20 cm), 自然风干后过 2 mm 筛备用, 其基本化学性质见表 1。用磷酸二氢钾和尿素调节土壤中有有效 P 为 150 mg/kg, 有效 N 为 300 mg/kg, 有效 K 的各水平用硝酸钾补充, 以去除其他陪伴离子的带入。

1.2 试验材料的培养及处理

本实验所用植物材料为黄瓜 (*Cucumis sativus* L.), 品种为津春 4 号。种子在 25℃ 催芽 24 h, 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 2 kg 土的塑料盆中。

实验在中国科学院南京土壤研究所温室内进行。本实验建立了两个长 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

①基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BADA7B00) 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@cau.edu.cn

合作用、干物质累积及分布均存在交互作用^[13]。而CO₂ (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。试验处理见表 2, 每处理 3 个重复。在自然条件下培养

30 天分别取样分析。试验结果均采用 SPSS 软件进行统计检验。

表 1 供试土壤的化学性质

Table 1 Soil chemical property of experimental soil

土壤	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	有效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	全盐 (g/kg)	EC (mS/cm)
露地	16.2	9.0	72.8	0.33	0.12
大棚	228.2	126.5	196.1	3.43	0.89

表 2 试验处理

Table 2 Experimental treatments

土壤	CO ₂ 浓度 (μmol/mol)	K 浓度 (mg/kg)
露地	380	0、50、100、200、300
	1000	0、50、100、200、300
大棚	380	0、50、100、200、300
	1000	0、50、100、200、300

1.3 测定项目及方法

1.3.1 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。

1.3.2 植株养分的测定 植株样经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 总 N 用流动分析仪测定 (荷兰, Skalar 公司), P 用比色法测定, K 和 Na 采用火焰光度法测定, Ca²⁺ 和

Mg²⁺ 用原子吸收光谱法测定^[15]。

2 结果与分析

从图 1 可看出, 在各个 K 肥水平上, CO₂ 浓度升高显著地增加了两种土壤中黄瓜的干物重。在 0、50、100、200、300 mg/kg K 处理下, 1000 μmol/mol CO₂ 下露地土壤中的黄瓜地上部干重分别比 380 μmol/mol CO₂ 下的黄瓜地上部干重增加 17%、17%、17%、19% 和 12%; 大棚土壤中则分别增加 72%、42%、50%、161% 和 112% (图 1)。同时, 1000 μmol/mol CO₂ 下露地土壤中的黄瓜根干重分别比 380 μmol/mol CO₂ 下的黄瓜根干重增加 49%、26%、24%、5% 和 21%; 大棚土壤中则分别增加 40%、42%、33%、48% 和 41% (图 1)。

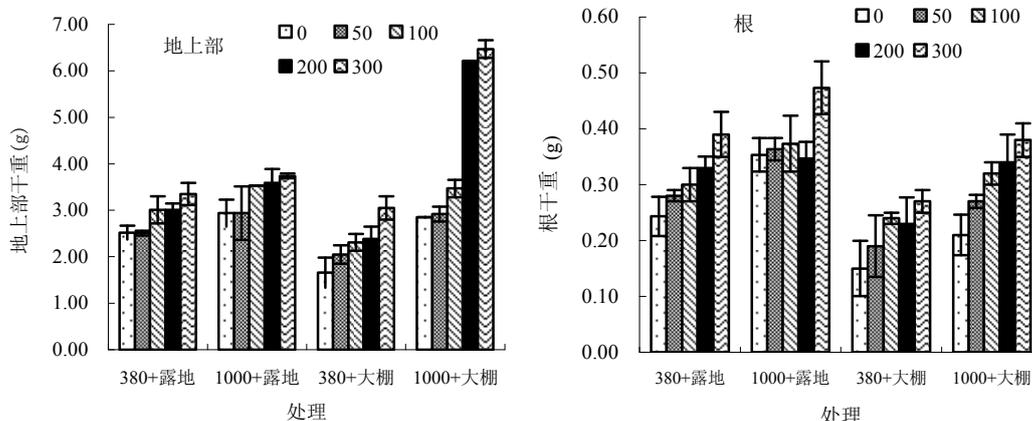


图 1 CO₂ 浓度升高和 K 肥交互作用对黄瓜干物重的影响

Fig. 1 Interactive effects of elevated CO₂ and potassium on dry matter of cucumber

图 1 同时显示, 在两个 CO₂ 浓度下, 两种土壤中黄瓜的干物重也随 K 肥浓度的升高而显著增加。当 CO₂ 浓度为 380 μmol/mol 时, 50、100、200、300 mg/kg K 处理下露地土壤中的黄瓜地上部干重分别比 0 mg/kg K 处理下的黄瓜地上部干重增加 0%、20%、20% 和 33%; 根干重分别增加 17%、25%、38% 和 63%; 大

棚土壤中地上部干重则分别增加 23%、39%、43% 和 84%; 根干重分别增加 27%、60%、53% 和 80% (图 1)。而当 CO₂ 浓度为 1000 μmol/mol 时, 50、100、200、300 mg/kg K 处理下露地土壤中的黄瓜地上部干重分别比 0 mg/kg K 处理下的黄瓜地上部干重增加 0%、20%、22% 和 27%; 根干重分别增加 4%、7%、0% 和

35%；大棚土壤中地上部干重则分别增加 2%、22%、118% 和 127%；根干重分别增加 29%、52%、62% 和 81%（图 1）。

在各自生长CO₂浓度下测定时，高浓度CO₂显著提

高了各个K肥水平下的黄瓜叶片的净光合速率，但显著降低了叶片的气孔导度（图 2）。在两个CO₂浓度下，黄瓜叶片的净光合速率和气孔导度均随K肥浓度的升高而显著增加的。

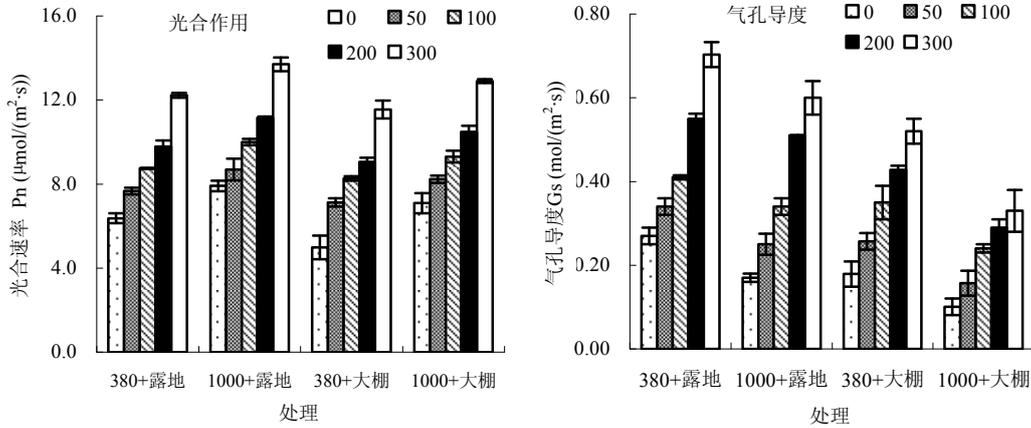


图 2 CO₂ 浓度升高和K肥交互作用对黄瓜光合参数的影响

Fig. 2 Interactive effects of elevated CO₂ and potassium on photosynthetic parameters of cucumber

高浓度CO₂条件下，黄瓜体内N、P、K、Na、Ca和Mg的含量在任何K处理下都显著低于正常CO₂浓度下的（图 3）。在 380 和 1000 μmol/mol CO₂下，露地土壤和大棚土壤上黄瓜体内的N、P、Ca和Mg的含量在不同K肥水平下没有发生显著变化（图 3）。在两个CO₂浓度下，K肥浓度的增加均使得两种土壤上黄瓜植株内K的含量显著升高（图 3）。在各个K肥处理下，露地土壤上黄瓜体内Na的含量无显著差异，而大棚土壤上黄瓜体内Na的含量是随着K肥浓度的升高而降低。

从图 4 可看出，在高浓度（200 和 300 mg/kg）K肥和 1000 μmol/mol CO₂下黄瓜植株对露地土壤和大棚土壤中N、P、K、Ca和Mg的吸收都显著地高于其他处理。高浓度的CO₂显著抑制了大棚土壤上黄瓜对Na的吸收，并且随着K肥浓度的升高大棚土壤上黄瓜对Na的吸收也逐渐降低（图 4）。

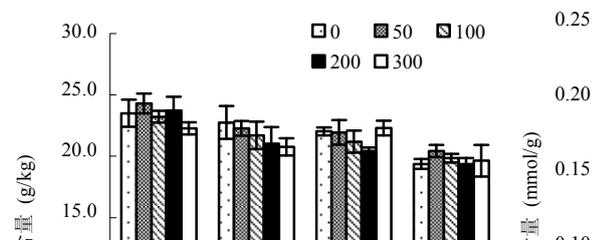
3 讨论

在本试验中，CO₂浓度升高刺激了黄瓜植株干物质的积累，这个结果与先前的报导一致^[16]。黄瓜干物质的积累也随土壤中K肥浓度的升高而增加，Reddy等^[19]对棉花的试验也有同样的结果。从图 1 可看出，在高K肥（200、300 mg/kg）处理和 1000 μmol/mol CO₂下，黄瓜的干物质达到最大值，说明CO₂和K肥对黄瓜的干物质积累存在交互作用。因此，在未来CO₂浓度

升高的环境中，作物快速高效的生长需要更多矿质营养的供应，尤其是K肥^[17]。

在各自生长 CO₂ 浓度下测定的结果表明，1000 μmol/mol CO₂下生长的黄瓜叶片的光合速率远高于正常大气CO₂下生长的。这是因为短期 CO₂ 浓度的增加提高 Rubisco 的底物 CO₂ 浓度，从而增加叶片的光合速率^[18]；同时，因为高浓度 CO₂ 有利于 CO₂ 对 Rubisco 活性中心的竞争性（与 O₂ 竞争）结合，抑制 Rubisco 加氧活性引起的叶片光呼吸^[19]。

有研究表明，升高的CO₂浓度降低植株体内矿质养分的浓度^[20]。这其中的解释有：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矿质养分的吸收的增加；②矿质养分分配的转变，即在高CO₂浓度下植株根中矿质养分的比例高于地上部的；③在高CO₂浓度下矿质元素的利用率增强，导致植株对其需求减少；④由于在高CO₂浓度下气孔导度和蒸腾速率降低，导致矿质养分从土壤向根表的流动量降低^[21]。在本试验中，1000 μmol/mol CO₂下黄瓜体内矿质养分的浓度都显著下降，而高浓度的CO₂却提高了黄瓜植株对矿质养分的吸收量，因此，可能是高浓度CO₂下黄瓜生物量的增加大于其对N、P、K的吸收的增加，以及在高CO₂浓度下N、P、K的利用率增强，导致黄瓜对其需求减少。



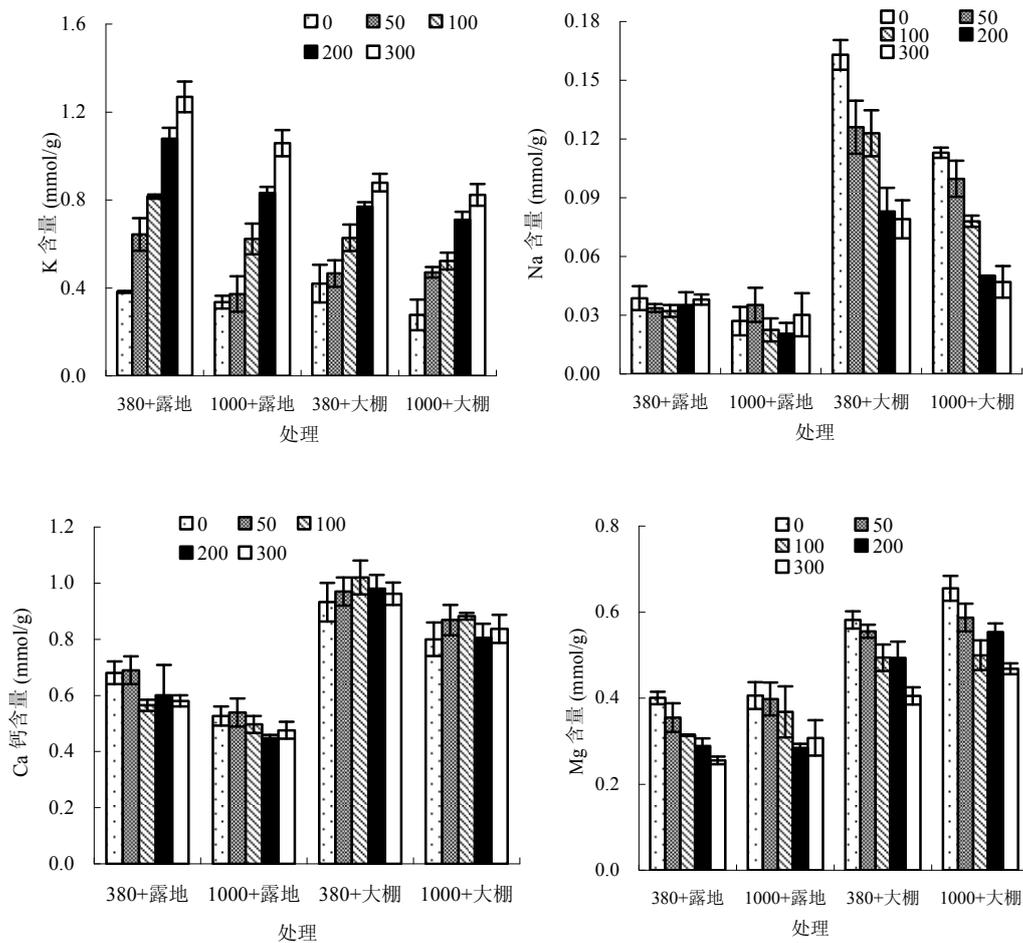


图 3 CO₂浓度升高和K肥交互作用对黄瓜养分含量的影响

Fig. 3 Interactive effects of elevated CO₂ and potassium on nutrient concentrations of cucumber shoots and roots

试验阶段, 黄瓜对N的吸收量由其吸收能力决定而非N的供应能力决定, 所以, 在高浓度CO₂下土壤中N的含量降低的情况下, 黄瓜对N的吸收量却增大。CO₂处理对土壤中K的含量的影响与N相似。土壤的供K能力与K的吸收的关系也与N相似。高浓度CO₂下黄瓜对K的吸收高于正常CO₂浓度下, 因为此时黄瓜对K的吸收不受土壤供K能力的限制。并且, K的吸收决定了作物的生长, 因为, 在高CO₂浓度下, 较高施K时增加

了黄瓜的干物重。尽管在高浓度CO₂下土壤中P的含量降低, 但是黄瓜对P的吸收量却在增加。由于P元素在土壤中可利用形式的多变, 所以土壤中P的组成不能反映P元素的应用。

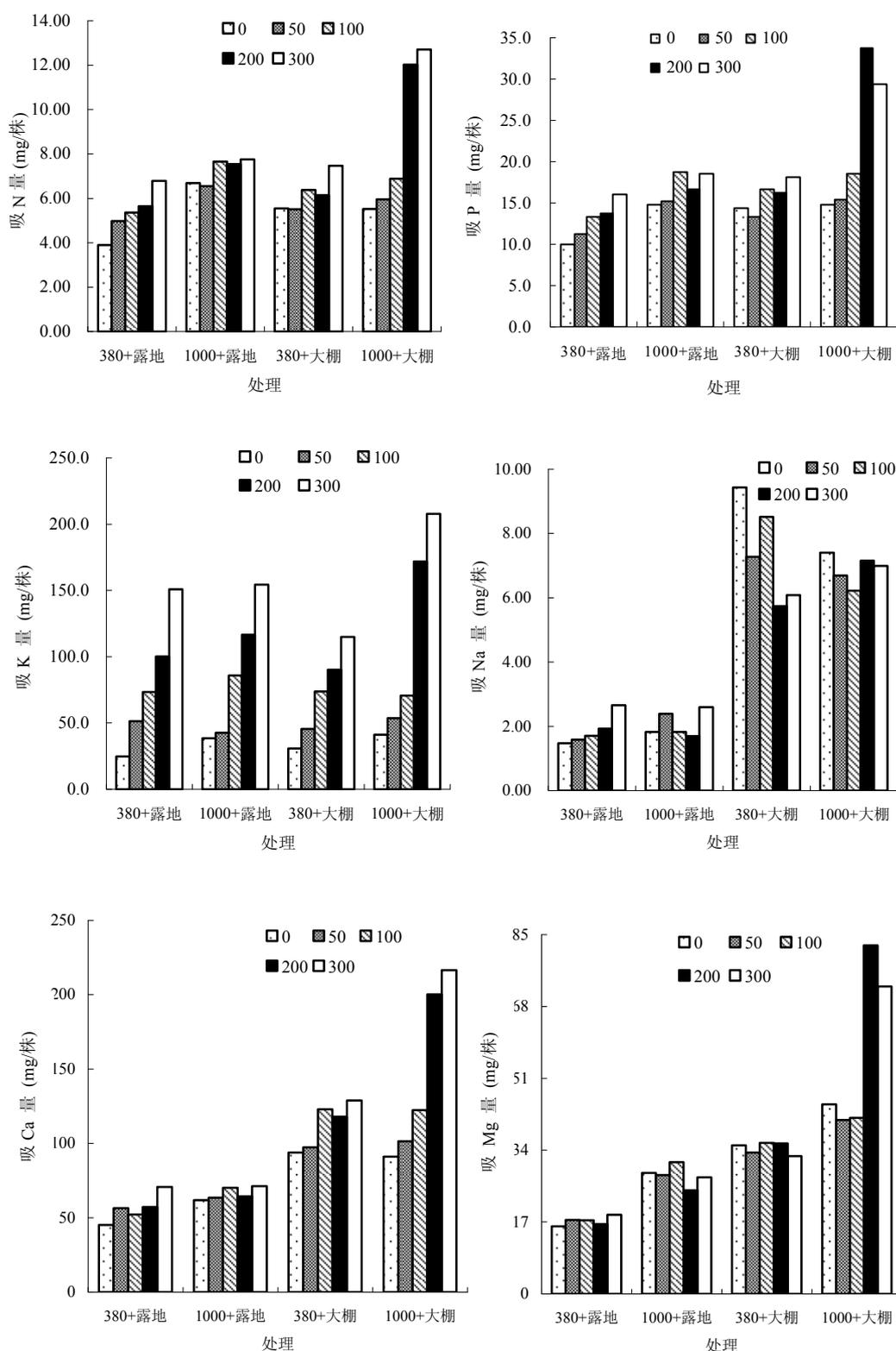


图 4 CO₂浓度升高和K肥交互作用对黄瓜养分吸收的影响

Fig. 4 Interactive effects of elevated CO₂ and potassium on nutrient uptakes of cucumber shoots and roots

参考文献:

[1] 魏国强, 朱祝军, 方学智, 李娟, 程俊. 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] 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
- [3] 张其德, 温晓刚, 卢从明, 冯丽洁, 匡廷云, 张建华. 盐胁迫下 CO₂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
- [4] 刘家尧, 衣艳君, 白克智, 梁峥. CO₂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
- [5] 刘家尧, 衣艳君, 白克智, 梁峥. CO₂/盐冲击对小麦呼吸酶活性的影响. *植物学报*, 1996, 38(8): 641-646
- [6] Ball MC, Munns R. Plant responses to salinity under elevated atmospheric concentrations of CO₂. *Aust J. Bot.*, 1992, 40: 515-525
- [7] Schwarz M, Gale J. Growth response to salinity at high levels of carbon dioxide. *Journal of Experimental Botany*, 1984, 35: 193-196
- [8] Bowman WD, Strain BR. Interaction between CO₂ enrichment and salinity stress in the C₄ non-halophyte and ro-pogong lomeratus (walter) BSP. *Plant Cell Environ.*, 1987, 10: 267-270
- [9] Kilmer VJ, Younts SE. *The Role of Potassium in Agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1968
- [10] Scaife A, Yosef B. *Fertilization for high yield and quality vegetables*. Basel: International Potash Institute, 1995
- [11] 何启伟, 陈运起, 焦自高, 卢育华, 于淑芳, 李林. 山东新型日光温室蔬菜系统技术研究(II). *山东农业学报*, 2000(6): 13-15
- [12] Schleiff VU, Fink A. Investigation on the significance of the nutritional status of plants for their salt tolerance. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 1976, 3: 281-292
- [13] Reddy KR, Zhao DL. Interactive effects of elevated CO₂ and potassium deficiency on photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton. *Field Crops Research*, 2005, 94: 201-213
- [14] 蒋高明, 韩兴国, 林光辉. 大气CO₂浓度升高对植物的直接影响——国外十余年来模拟实验研究之主要手段及基本结论. *植物生态学报*, 1997, 21(6): 489-502
- [15] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 252-254
- [16] Eloisa A, David R, Purificacion C, Purificacion DH. Impact of atmospheric CO₂ on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *J. Plant Physiol.*, 2006, 163: 809-817
- [17] Reddy KR, Zhao DL. Interactive effects of elevated CO₂ and potassium deficiency on photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton. *Field Crops Research*, 2005, 94: 201-213
- [18] Wong SC. Elevated atmospheric partial pressure of CO₂, and plant growth. I. Interactions of nitrogen nutrition and photosynthetic capacity in C₃ and C₄ plants. *Oecologia*, 1979, 44: 68-74
- [19] 许大全. 光合和相关过程对长期高CO₂的反映. *植物生理学通讯*, 1994, 30: 81-87
- [20] Yasuhiro Y, Masahiko S, Masumi O, Kazuhiko K. Nutrient uptake by rice and soil solution composition under atmospheric CO₂ enrichment. *Plant and Soil*, 2004, 259: 367-372
- [21] Jing P, Jian GZh, Zu BX, Gang L, Ya LZh, 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 pCO₂. *Environ. Exp. Bot.*, 2006, 57: 98-105

Effects of Elevated CO₂ and Potassium on Cucumber Growth

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 cultured in open-top CO₂ controlled chambers to study the interactive effects of elevated CO₂ and potassium (K) on the growth of cucumber. The results indicated that either elevated CO₂ or K supply enhanced the dry matter accumulation of cucumber, and the maximum was obtained at elevated CO₂ and 200 or 300 mg/kg K supply. Across all K treatments, elevated CO₂ reduced N, P, K, Na, Ca and Mg concentrations in cucumber. And all K treatments did not significantly affect N, P, Ca and Mg concentrations in cucumber, while K concentration in cucumber significantly increased with K supply increased. Cucumber had the highest mineral nutrient uptake at elevated CO₂ and 200 and 300 mg/kg K supply. Therefore, in the future elevated CO₂ environment, more K supply will stimulate the uptakes of N, P, K, Ca and Mg and the growth and high productivity of plant.

Key words: Elevated CO₂, Potassium, Cucumber(*Cucumis sativus* L.), Nutrient