

CO₂ 浓度升高与增施钾肥对土壤化学性质的影响^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 浓度升高与增施 K 肥共同作用对土壤化学性质的影响。结果表明, 土壤中 N、P 的含量在高 CO₂ 浓度和高 K 肥水平下下降, K 的含量随 K 肥用量增加而增加。高 K (200、300 mg/kg) 处理和高浓度 CO₂ 下温室次生盐渍化土壤中的 NO₃⁻、PO₄³⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 含量也显著降低。因此, 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此生盐渍化土壤中养分的吸收, 降低此生盐渍化土壤中盐分的积累。

关键词: CO₂ 升高; 钾; 黄瓜; 养分

中图分类号: Q945.78; X171; S642.2

设施栽培长期处于高集约化、高复种指数、高肥料施用量的生产状态下, 其特殊的生态环境与不合理的水肥管理措施导致了土壤次生盐渍化。土壤盐渍化是影响农业生产及生态环境的一个全球性问题, 也是目前制约我国农业增产的两大土壤因素之一。全世界约有 3.8 亿 hm² 土地具有不同程度的盐渍化, 约占可耕地面积的 10%。我国约有 1 亿 hm² 各种盐渍土地^[1]。另外, 作物生长最适合的 CO₂ 浓度为 1 000 ~ 2 000 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, K 是农作物生长发育和维持农业高产必需的大量营养元素之一。近年来在中国北方保护地蔬菜生产迅速发展, 蔬菜保护地生产中 K 肥的输入小于输出、复种指数的提高和高强度的生产, 使土壤 K 库容量在不断减少, 缺 K 已经或正在成为保护地蔬菜产量和品质的主要限制因子。并且 Schleiff 和 Fink^[9]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 浓度升高和 K 肥共同作用对温室次生盐渍化土壤质量的影响, 为寻找再利用、调控温室次生盐渍化土壤的方法提供依据, 且对设施土

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、光合作用、干物质累积及分布均存在交互作用^[10]。而 CO₂ 浓度升高和 K 肥共同作用对温室次生盐渍化土壤质量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质量的影响。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^[11]。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

采用宜兴大棚内次生盐渍化土壤和大棚外露地土壤 (0 ~ 20 cm) 作为供试土壤, 其基本化学性质见袁会敏等^[12]描述。土壤自然风干后过 2 mm 筛备用。试验时用磷酸二氢钾和尿素调节土壤中 P 为 150 mg/kg, N 为 300 mg/kg。

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。试验材料及处理见袁会敏等^[12]描述。

1.3 测定项目及方法

土壤有效 N (NO₃⁻-N) 用 2 mol/L KCl 浸提^[13], 流动分析仪测定^[14]。考虑到旱地土壤中绝大多数的有

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

效 N 是 NO_3^- -N^[15-16], 将土壤 NO_3^- -N 的含量作为土壤有效 N 的含量; 有效 P 用 0.5 mol/L NaHCO_3 (pH 8.5) 浸提, 钼锑抗比色法测定^[17]; 土壤速效 K 用 1 mol/L NH_4OAc (pH 7.0) 浸提, 火焰光度计测定。土壤 pH 用酸度计测定 (土水比 1:2.5)。土壤电导率及盐分组成是用 1:5 的土水比浸提, 浸提液经 10 000 r/min 高速离心, 用电导仪测定电导率; 用流动分析仪测定浸提液中的 NO_3^- 的含量, 用 ICP-AES 测定浸提液中的 Ca、Mg、P 离子的含量, 考虑到水浸提的溶液中有有机

形态的 P 含量很低, 绝大多数为无机形态的离子, 将测得的浸提液中的 P 换算成 PO_4^{3-} 的含量, 采用火焰光度计测定浸提液中 K^+ 和 Na^+ 的含量^[13]。

2 结果与分析

高浓度 CO_2 处理下, 两种土壤的 EC 值均有所降低。K 处理对两种土壤的 EC 值均无显著影响。两种土壤的 pH 无论是在 CO_2 处理还是 K 处理下都没有改变 (图 1)。

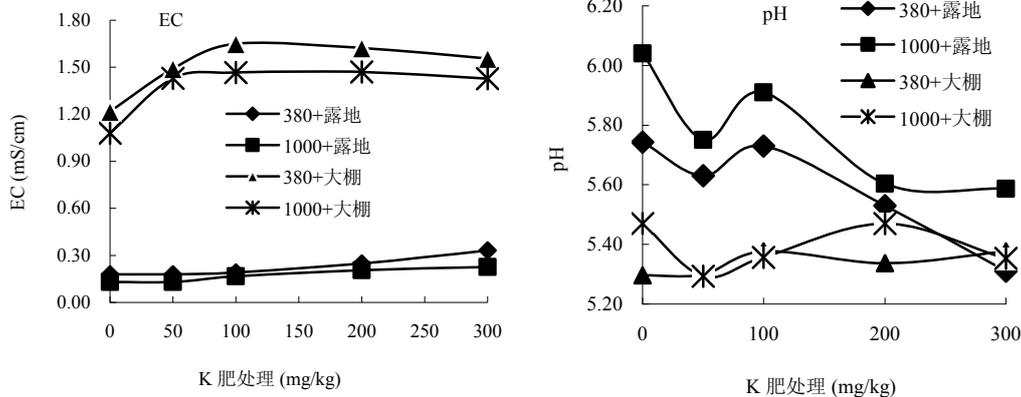


图 1 CO_2 浓度升高和 K 肥交互作用对土壤 pH 和 EC 的影响

Fig. 1 Interactive effects of elevated CO_2 and potassium on pH and EC of soil

图 2 显示, 在低 K (0、50 mg/kg) 处理下, 高浓度 CO_2 使得温室次生盐渍化土壤中的 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量显著增加, 而在高 K (200、300 mg/kg) 处理下, 高浓度 CO_2 则使得温室次生盐渍化土壤中的 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量显著降低。在各个 K 肥处理下, 1 000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ CO_2 下温室次生盐渍化土壤中的 K^+ 和 Na^+ 离子含量均下降。

在图 3 中, CO_2 浓度为 1 000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 时, 两种土壤中的 NO_3^- 含量在各个 K 肥处理下都显著低于 CO_2 浓度 380 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 时。高浓度 CO_2 同时也使得两种土壤中有有效 P 的含量在各 K 肥水平下都显著下降。在不同的 K 肥处理下, 两种土壤中的速效 K 含量在高 CO_2 浓度下也是减少。土壤中 NO_3^- 含量无论在正常大气 CO_2 浓度还是在升高的 CO_2 浓度下, 随 K 肥含量升高是先增加后降低。在露地土壤和大棚土壤中两个 CO_2 浓度下的有效 P 含量在高 K 浓度下也显著降低。露地土壤和大棚土壤中的速效 K 含量在两个 CO_2 浓度下时都随 K 肥浓度的增加而

增加。

3 讨论

高 K 处理的土壤有效 N 和 P 的含量低于低 K 处理, 结合作物产量的结果^[12]说明合理施用 K 肥能够明显提高作物产量, 从而促进了作物对土壤养分的吸收, 降低了土壤养分的含量, 因此, 能有效缓解温室次生盐渍化土壤中大量养分严重累积的情况。

土壤盐分状况是次生盐渍化温室土壤影响作物产量和反映土壤质量的另一个重要方面。一季试验后, 高 K (200、300 mg/kg) 处理下, 高浓度 CO_2 使得温室次生盐渍化土壤中的 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量显著降低。因此, 在次生盐渍化温室土壤上合理施 K 不仅可降低土壤养分含量, 也可降低土壤盐分。高 K 处理促进了作物吸收利用土壤养分, 从而土壤盐分离子含量下降, 使土壤环境更适合作物的生长。有研究表明^[18-21], 在盐渍化土壤上增施 K 肥有利于提高作物的抗盐能力, Schleiff 和 Fink^[9]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

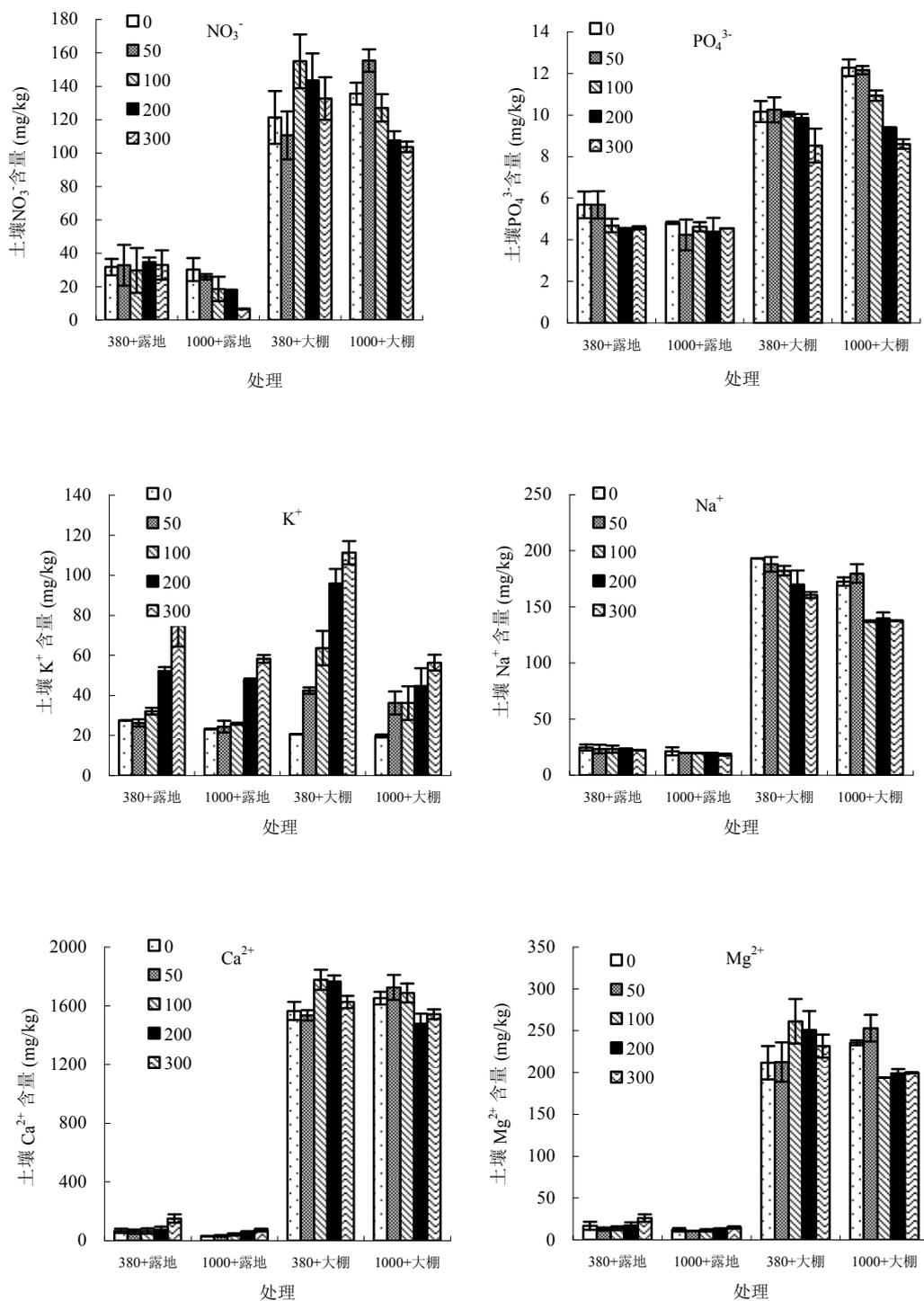


图 2 CO₂ 浓度升高和 K 肥交互作用对土壤主要水溶性盐分离子的影响

Fig. 2 Interactive effects of elevated CO₂ and potassium on main soil water soluble salt ions

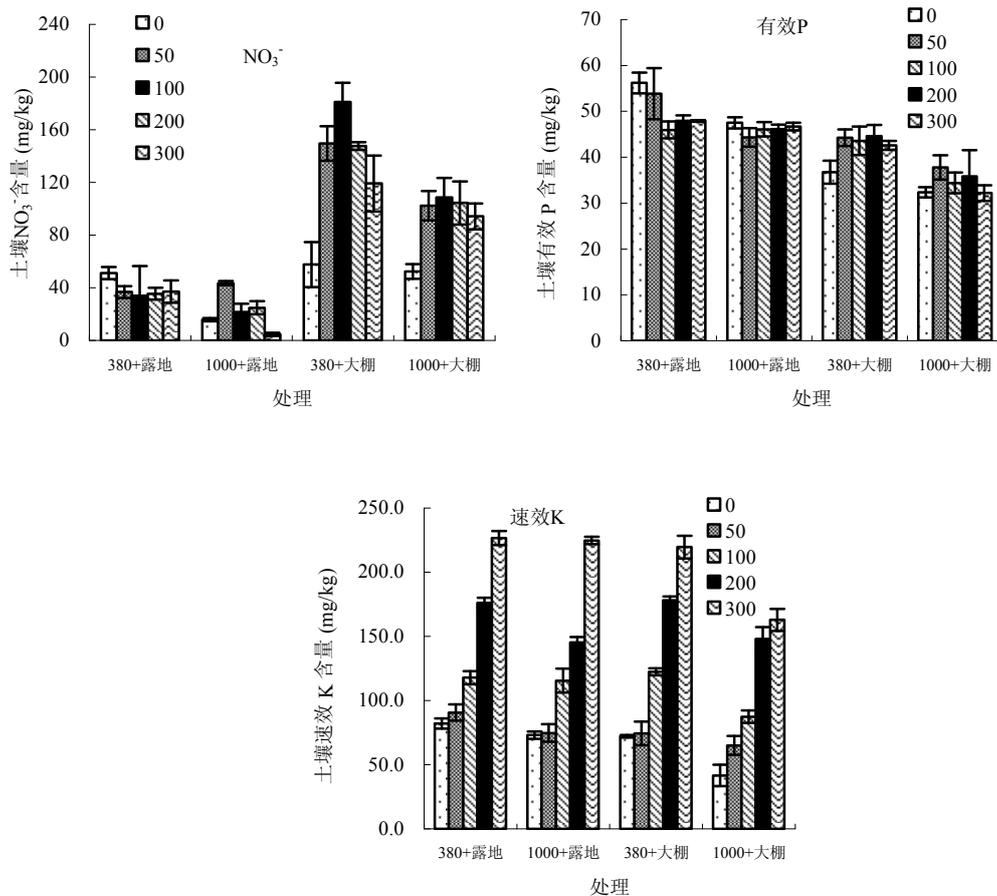


图 3 CO₂ 浓度升高和 K 肥交互作用对土壤养分含量的影响

Fig. 3 Interactive effects of elevated CO₂ and potassium on soil nutrient contents

盐渍条件下高 20%~50%，这可能是虽然本试验的低 K 处理土壤中的含 K 量已经很高，但继续施用 K 仍能有效提高作物产量的原因。同时，本试验中高 K 处理的含 K 量虽然高于露地推荐施肥(240 mg/kg)标准，但高 K 处理的产量仍然高于低 K 处理，这也充分表明，在次生盐渍化温室土壤上，要获得高产，需要比露地土壤有更高的含 K 水平。

参考文献:

- [1] 赵可夫, 范海. 世界上可以用海水灌溉的盐生植物. 植物学通报, 2000, 17(3): 282-288
- [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] 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
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 袁会敏, 周健民, 段增强, 王火焰. CO₂ 浓度升高与增施钾肥对黄瓜生长的影响. *土壤*, 2009, 41(6): 869–874
- [13] 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
- [14] Bremner JM. Total nitrogen, inorganic forms of nitrogen, organic forms of nitrogen, nitrogen availability indexes. In *Methods of Soil Analysis. Part 2, Agronomy*. C.A. Blacketal, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wis, 1965
- [15] Wienhold BL, Trooien TP, Riechman GA. Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the northern Great Plains. *Agron. J.*, 1995, 87: 842–846
- [16] Fageria NK, Baligar VC. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 2005, 88: 97–185
- [17] Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Dept Agric. Circ.*, 1954
- [18] Beringer H. Nutritional and environmental effects on yield formation. *Physiological Aspects of Crop Productivity. Proceeding of Colloq International Potash Institute*, 1980, 15: 155–173
- [19] 陆景陵. 植物营养学(上册). 北京: 中国农业大学出版社, 2001
- [20] Zhu JK. Plant tolerance. *Trends in Plant Science*, 2001, 6: 66–71
- [21] Xiong LM, Zhu JK. Salt tolerance. *Arabidopsis Book. American Society of Plant Biologists*, 2002

Effects of Elevated CO₂ and Potassium on Soil Chemical Properties

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 soil quality chemical properties. The results indicated that N and P nutrient contents in soil decreased at elevated CO₂ and higher K supply, and K nutrient content increased with the increase of K supply. Higher K supply (200 and 300 mg/kg) and elevated CO₂ reduced NO₃⁻, PO₄³⁻, Ca²⁺ and Mg²⁺ contents in soil. Therefore, in the future elevated environment higher K supply can improve the nutrient uptakes of crop from secondary salinity soil and reduce salt ions accumulation.

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