

模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露对 C₄ 作物生物量的影响

薛璐¹, 马俊杰²

(1. 榆林学院 生命科学学院, 陕西 榆林 719000; 2. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710127)

摘 要:模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露对 C₄ 作物生物量的影响, 以期对 CCS 技术 CO₂ 泄露后可能产生的环境影响提供基础性资料。利用 CO₂ 人工气候箱, 模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露产生的高浓度 CO₂ 环境, 研究在 CO₂ 分别为正常大气 CO₂ 浓度(对照组), 10 000, 20 000, 40 000, 80 000 mg/kg 时, 对玉米、高粱、谷子、糜子 4 种 C₄ 作物植株干重、根冠比、干湿重比的影响。试验结果表明: 当 CO₂ 浓度为 10 000, 20 000 mg/kg 时, 4 种 C₄ 作物植株干重逐渐增加, 根冠比、干湿重比均减小, 但随着 CO₂ 浓度持续增加到 40 000, 80 000 mg/kg 时, 4 种 C₄ 作物植株干重逐渐减少, 根冠比、干湿重比均增大, 并且随着试验天数的增加, 4 种 C₄ 作物的根冠比和干湿重比会逐渐减小。在 CO₂ 浓度为 20 000 mg/kg 时, 4 种 C₄ 作物的干重值最大, 根冠比和干湿重达到最小值, 此时, 更利于植物地上部分的生长, 其水分利用率达到最高。

关键词:CO₂ 浓度; C₄ 作物; 干重; 根冠比; 干湿重比

中图分类号:X503.231

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0350-04

Effect of CCS Technology for CO₂ Leakage on Biomass of C₄ Crops

XUE Lu¹, MA Junjie²

(1. College of Life Science, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China;

2. College of Urban and Environmental Science, Northwestern University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Effect of CO₂ capture and storage (CCS) technology for CO₂ leakage on C₄ crops biomass is simulated to provide basic information for the potential effect of CCS technology for CO₂ leakage on environment. With the help of artificial CO₂ climate chamber, the impacts of CO₂ on the plant dry weight, root-shoot ratio and dry-wet weight ratio of four C₄ crops such as corn, sorghum, millet and broom corn millet were examined under the condition of CO₂ concentrations of normal, 10 000, 20 000, 40 000, and 80 000 mg/kg by simulating the environment of high CO₂ concentration resulted from CCS technology for CO₂ leakage. When CO₂ concentrations reach to 10 000 mg/kg and 20 000 mg/kg, plant dry weight will increase, root-shoot ratio and dry-wet weight ratio of four C₄ crops will decrease, but as the CO₂ concentrations reach to 40 000 mg/kg and 80 000 mg/kg, plant dry weight will decrease, root-shoot ratio and dry-wet weight ratio of four C₄ crops will increase compared with the control group. With the increase of experiment days, root-shoot ratio and dry-wet weight ratio of four C₄ crops will gradually decrease. When CO₂ concentration is 20 000 mg/kg, plant dry weight of four C₄ crops reaches the maximum value, while root-shoot ratio and dry-wet weight ratio of four C₄ crops reach the minimum values, at this time, it is more advantageous to the growth of the aerial parts and more conducive to use of water.

Keywords: CO₂ concentration; C₄ crops; dry weight; root-shoot ratio, dry-wet weight ratio

CO₂ 的捕获与储存(CO₂ capture and storage, CCS)被认为是最有前景和潜力的 CO₂ 减排技术^[1], 但 CCS 技术在 CO₂ 捕获、运输和封存 3 个环节中都会存在 CO₂ 泄露的风险, CCS 技术存在的潜在环境影响也备受关注^[2]。CCS 技术中 CO₂ 泄露产生的高浓度 CO₂ 环境对水环境、土壤环境、动植物生长发育以及人体安全都会带来局部和全球性的影响^[3]。本文通过模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露对 C₄ 作物植株生物量(植株干重、

根冠比、干湿重比)的影响, 以期对 CCS 技术 CO₂ 泄露可能产生的环境影响提供基础性依据。

1 材料与方法

1.1 试验作物

本试验以国家 863 计划“CO₂ 地质封存关键技术”项目为支撑, 选择 4 种典型的 C₄ 作物作为本试验的研究作物。包括: 玉米(西蒙 6 号)、高粱(晋杂

收稿日期: 2015-08-15

修回日期: 2015-11-15

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)“CO₂ 地质封存关键技术”(2012AA0501030); 榆林学院高层次人才引进项目

第一作者: 薛璐(1989—), 女, 陕西绥德人, 助理实验师, 研究方向为环境影响评价及规划。E-mail: xuelusuper@163.com

通信作者: 马俊杰(1962—), 男, 陕西户县人, 教授, 主要从事环境影响评价及规划。E-mail: xdhgvip@163.com

12)、谷子(晋谷 29)、糜子(内糜 5 号)。

1.2 试验仪器

本试验采用宁波江南仪器厂生产的 CO₂ 人工气候箱(RXZ-500C-CO₂)来模拟 CCS 技术中 CO₂ 发生泄露后产生的高浓度 CO₂ 环境。CO₂ 人工气候箱通过采用先进的 PID(比例、积分、微分)智能控制算法,对人工气候室的 CO₂ 浓度进行采集,确定 CO₂ 的浓度是否符合试验要求,当室内值低于设定值时,系统自动通过 CO₂ 储气罐增加人工气候室 CO₂ 浓度,直到气体浓度达标。该 CO₂ 人工气候箱控温范围:0~50℃;控湿范围 30%~95%RH(相对湿度);光照度:0~22 000 lux,多级可调;CO₂ 浓度量程到 100 000 mg/kg,可根据试验需要设定目标值。

1.3 试验方法与步骤

本试验设置 5 个 CO₂ 浓度梯度,分别为:正常大气 CO₂ 浓度(对照组),10 000,20 000,40 000,80 000 mg/kg。在每个 CO₂ 浓度梯度下重复试验 3 次,测量各 C₄ 作物的生物量指标。其中,CO₂ 人工气候箱设置条件为:白天 12 h,温度 25℃,湿度 80%,光强 100%;夜晚 12 h,温度 20℃,湿度 80%,光强 20%。

5 个 CO₂ 浓度梯度下的生物量试验严格按照以下步骤进行:

(1) 每种作物种子准备 8~10 个花盆,加入处理后的试验土壤,种植 4 种作物(每种作物每盆种植 6~8 株),并移入未通入 CO₂ 的 CO₂ 人工气候箱;

(2) 等待长出些许幼苗(一般在种植后的 10~12 d,各种作物进入 2~3 叶期),选择每种作物长势良好且基本相同的 6~8 个花盆重点培育,并在 CO₂ 人工气

候箱内通入试验所需要的 CO₂ 浓度;

(3) 在 CO₂ 人工气候箱内培育 3 周(21 d),定期浇水、观察。每周记录各 C₄ 作物的湿重、根重,并在烘箱中烘干测其干重(每周进行数据记录时选择 10~12 株进行多次测量),最后计算其根冠比、干湿重比。

1.4 数据统计与分析

在各 CO₂ 浓度梯度下,每种作物的生物量指标记录多个数据。其中,每个指标筛选出其最大值、最小值、上四分位数、中位数、下四分位数以及平均值。最后,取多次测量的可用数据的平均值作为分析数据。其中,根冠比、干湿重比采用以下公式^[4]:

根冠比 = 植物地下部分鲜重 / 地上部分鲜重的比值

(1)

干湿重比 = 植物干重 / 植物湿重

(2)

2 结果与分析

2.1 CO₂ 泄露对 C₄ 作物干重的影响

由图 1 可知,玉米、高粱、谷子和糜子各 C₄ 作物在试验的 3 周内,随着 CO₂ 浓度增加到 10 000,20 000 mg/kg 时,其植株干重均高于对照组,但随着 CO₂ 浓度持续增加到 40 000,80 000 mg/kg 时,其植株干重均低于对照组,并且在各 C₄ 作物的植株干重均在 CO₂ 浓度为 20 000 mg/kg 时达到最大值,在 CO₂ 浓度为 80 000 mg/kg 时达到最小值。同时,根据不同 CO₂ 浓度下 4 种 C₄ 作物植株干重数据可知,高浓度 CO₂ 对植株干重影响较明显,促进范围高达 4%~13%,抑制范围高达 3%~10%。

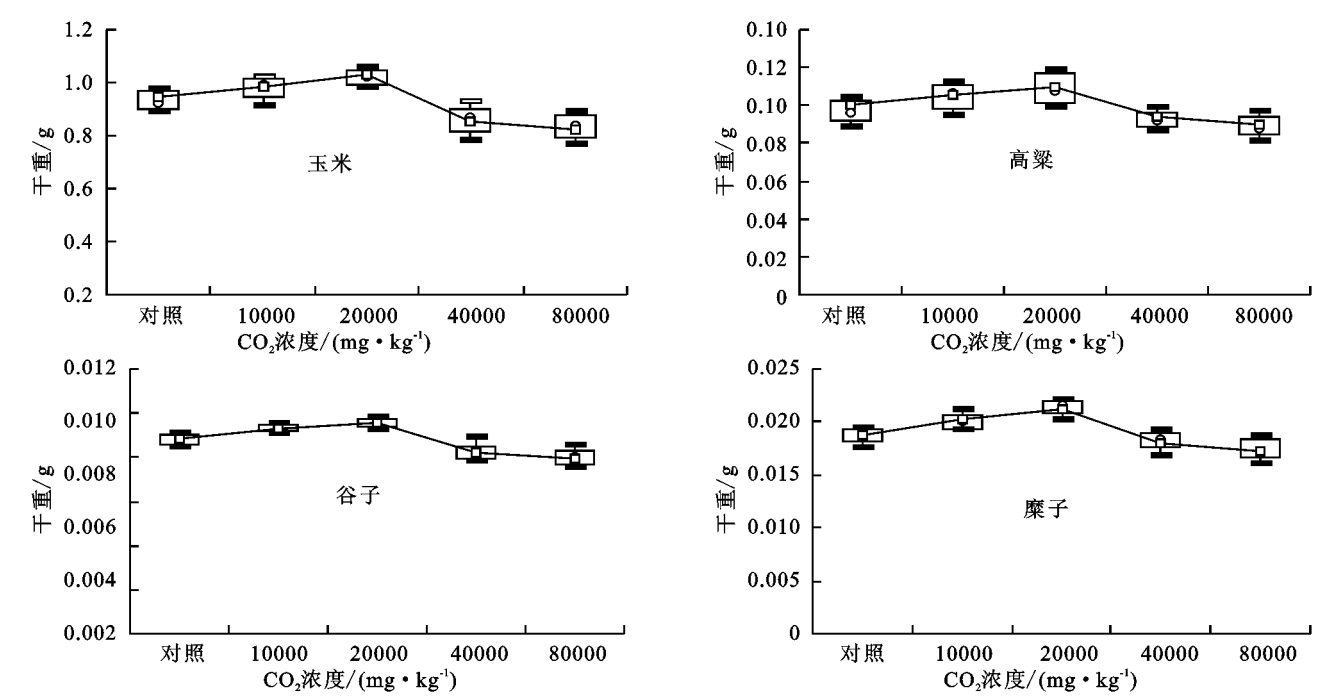


图 1 不同 CO₂ 浓度对 4 种作物植株干重的影响

2.2 CO₂ 泄露对 C₄ 作物根冠比的影响

在 CO₂ 浓度分别为正常大气 CO₂ 浓度(对照组), 10 000, 20 000, 40 000, 80 000 mg/kg 时, 逐日统计的 4

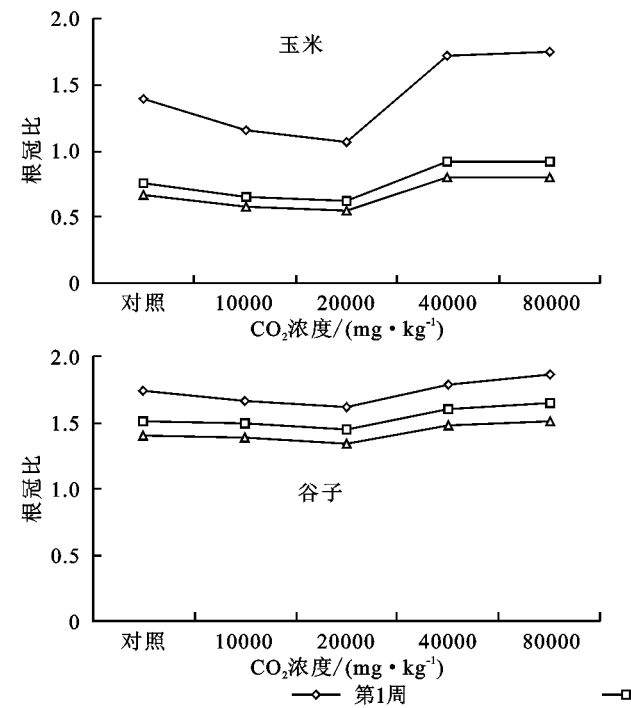


图 2 不同 CO₂ 浓度对 4 种作物根冠比的影响

由图 2 可知,玉米、高粱、谷子和糜子各 C₄ 作物在试验的 3 周内,随着 CO₂ 浓度增加到 10 000, 20 000 mg/kg 时,其根冠比减小,但随着 CO₂ 浓度持续增加到 40 000, 80 000 mg/kg 时,其根冠比增加,并高于对照组,并且每周各 C₄ 作物的根冠比均在 CO₂ 浓度为 20 000 mg/kg 时达到最小值。并且,随着试验天数的增加,根冠比均减小,即在各 CO₂ 浓度下,随着试验天数的增加,植株地上部分的生长更为明显。

2.3 CO₂ 泄露对 C₄ 作物干湿重比的影响

在 CO₂ 浓度分别为正常大气 CO₂ 浓度(对照组), 10 000, 20 000, 40 000, 80 000 mg/kg 时,逐日统计的 4 种 C₄ 作物的干重及湿重,根据每周统计的数据,计算各种作物的干湿重比并作图,可得到在不同 CO₂ 浓度下,连续 3 周各 C₄ 作物干湿重比的变化规律(表 1)。

由表 1 可知,玉米、高粱、谷子和糜子各 C₄ 作物在试验的 3 周内,随着 CO₂ 浓度增加到 10 000, 20 000 mg/kg 时,其干湿重比减小,但随着 CO₂ 浓度持续增加到 40 000, 80 000 mg/kg 时,其干湿重比增加,并高于对照组,并且在每周各 C₄ 作物的干湿重比均在 CO₂ 浓度为 20 000 mg/kg 时达到最小值。并且,随着试验天数的增加,干湿重比均逐渐减小

种 C₄ 作物的生物量数据,根据每周统计的数据,计算各种作物的根冠比并作图,可得到在不同 CO₂ 浓度下,连续 3 周各 C₄ 作物根冠比的变化规律(图 2)。

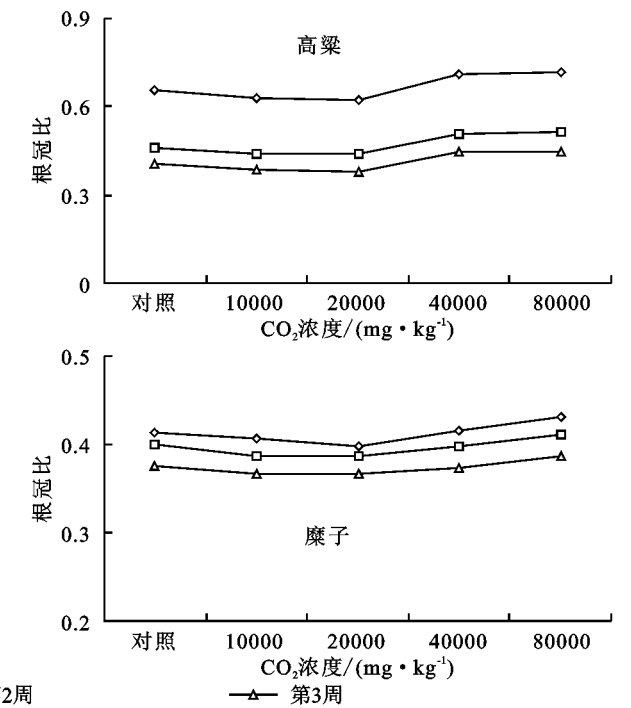


表 1 不同 CO₂ 浓度对 4 种作物干湿重比的影响

作物	时间	对照	CO ₂ 浓度/(mg · kg ⁻¹)			
			10000	20000	40000	80000
玉米	第 1 周	0.271	0.254	0.252	0.284	0.285
	第 2 周	0.244	0.231	0.229	0.255	0.256
	第 3 周	0.242	0.229	0.228	0.254	0.255
高粱	第 1 周	0.203	0.201	0.200	0.210	0.215
	第 2 周	0.193	0.191	0.190	0.204	0.205
	第 3 周	0.189	0.188	0.186	0.201	0.203
谷子	第 1 周	0.218	0.213	0.209	0.225	0.229
	第 2 周	0.216	0.209	0.206	0.222	0.226
	第 3 周	0.212	0.206	0.202	0.219	0.225
糜子	第 1 周	0.177	0.174	0.173	0.179	0.181
	第 2 周	0.174	0.173	0.172	0.175	0.178
	第 3 周	0.171	0.171	0.170	0.173	0.176

3 结论与讨论

植物生物量是研究植物的重点,常用干重、根冠比、干湿重比等指标来衡量。Kimball 等^[5]对 37 种植物研究表明:若大气 CO₂ 浓度倍增,全球农作物产量会增加 24%~43%,并且,CO₂ 浓度升高对同一株植物各部分生物量的分配也有所不同,有的促进根部生物量积累,有的促进地上部分生物量的积累^[6]。Rogers

等^[7]综述了高 CO₂ 浓度对不同植物根冠比的影响,发现随着 CO₂ 浓度的升高多数植物的根冠比增加;我国在 20 世纪 80 年代,有郭建平^[8]、温民^[9]、白月明^[10]等研究表明在 CO₂ 浓度倍增时会增加大豆、冬小麦、棉花的生物量,更有利于植株积累更多的营养物质。

本试验基于近几年关注热点 CCS 技术,首次以 C₄ 作物为主,将 CO₂ 浓度控制在 10 000~80 000 mg/kg,模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露后可能产生的高浓度 CO₂ 环境并与正常大气 CO₂ 浓度作对比,研究高浓度 CO₂ 对植物生物量的影响。主要有以下结论:在 CO₂ 浓度为 10 000,20 000 mg/kg 时,玉米、高粱、谷子和糜子 4 种 C₄ 作物的干重较正常大气 CO₂ 浓度会逐渐增加,其根冠比和干湿重比均减小,在 CO₂ 浓度为 40 000,80 000 mg/kg 时,4 种 C₄ 作物的干重较正常大气 CO₂ 浓度会逐渐减少,其根冠比和干湿重比均增加;另外,随着试验天数的增加,根冠比和干湿重比均在逐渐减小。

有研究表明,植株的根冠比在一定程度上可以表示对植株地上部分与地下部分不同的促进作用,一般,根冠比越小,越有利于植株地上部分的生长,根冠比越大,越有利于植株地下部分的生长;植株的干湿重比与植株的水分利用率有一定关系,即干湿重的比值在一定程度上可以解释植株对水分的利用能力,一般,干湿重比越小,植株的水分利用率越高,干湿重比越大,植株的水分利用率越低。玉米、高粱、谷子和糜子 4 种 C₄ 作物在 CO₂ 浓度为 20 000 mg/kg 时,干重值最大,其根冠比、干湿重比最小,说明此时更促进植株地上部分的生长,其水分利用率最高,在 CO₂ 浓度为 80 000 mg/kg 时,干重值最小,其根冠比、干湿重比最大,说明此时更促进植株地下部分的生长,其

水分利用率最低。并且,随着试验天数的增加,其根冠比和干湿重比均减小,即在不同 CO₂ 浓度下随着试验天数的增加,对植株地上部分的生长促进更明显,植株的水分利用率也会越来越高。

参考文献:

- [1] Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [2] IPCC. IPCC special report on carbon dioxide capture and storage[R]. Geneva: IPCC,2005.
- [3] 刘兰翠,曹东,王金南. 碳捕获与封存技术潜在的环境影响及对策建议[J]. 气候变化研究进展,2010,6(4):290-295.
- [4] 王宝山. 植物生理学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [5] Kimball B A, Mauney J R, Nakayama F S, et al. Effects of increasing atmospheric CO₂ on vegetation [J]. Vegetatio, 1993,104(1):65-75.
- [6] 林伟宏,王大力. 大气二氧化碳升高对水稻生长及同化物分配的影响[J]. 科学通报,1998,43(21):2299-2302.
- [7] Rogers H H, Runion G B, Prior S A, et al. Response of Plants to Elevated Atmospheric CO₂: Root Growth, Mineral Nutrition, and Soil Carbon [M] // Luo Y, Mooney H A. Carbon Dioxide and Environmental Stress. New York, USA: Academic Press, 1999.
- [8] 郭建平,高素华,白月明,等. CO₂ 浓度倍增对大豆叶片和总生物量的影响研究[J]. 应用气象学报,1995,6(S):62-68.
- [9] 温民,王春乙,高素华,等. CO₂ 浓度倍增对冬小麦生长发育产量形成及发芽率的影响[J]. 生态农业研究,1994,2(6):37-42.
- [10] 白月明,王春乙,温民. 不同 CO₂ 浓度处理对棉花生长发育和产量形成的影响[J]. 生态农业研究,1995,3(2):20-25.