

模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露对 C₄ 作物种子萌发的影响

薛璐, 马俊杰

(西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

摘要: 模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露对 C₄ 作物种子萌发的影响, 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 作物发芽率、发芽势以及平均发芽天数的影响。高浓度 CO₂ 对玉米发芽率无明显影响, 而高粱、谷子和糜子分别在 10 000, 20 000, 20 000 mg/kg 时发芽率达到最高值; 高浓度 CO₂ 对玉米发芽势亦无明显影响, 而高粱、谷子和糜子均在 20 000 mg/kg 时发芽势达到最高值; 高浓度 CO₂ 对 4 种 C₄ 作物发芽天数均产生较小影响, 其中, 对糜子影响较为显著。在不同 CO₂ 浓度范围内对 C₄ 作物种子发芽率分别有促进和抑制作用, 促进和抑制作用不是很显著, 其中, 促进范围 1%~5%, 抑制范围 1%~4%; 高浓度 CO₂ 对 C₄ 作物种子发芽势有比较显著的促进作用, 较对照组, 发芽势的促进范围为 9%~16%; 高浓度 CO₂ 对 4 种 C₄ 作物发芽天数均产生较小影响。

关键词: CO₂ 浓度; C₄ 作物; 发芽率; 发芽势; 发芽天数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0307-04

中图分类号: X828

Effect of CCS Technology for CO₂ Leakage on Seed Germination of C₄ Crops

XUE Lu, MA Jun-jie

(College of Urban and Environmental Science, Northwestern University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: Effect of CCS technology for CO₂ leakage on C₄ crops seed germination is simulated so as 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 percentage, potential and the average days of germination of 4 C₄ crops like corn, sorghum, millet and broom corn millet were studied under the condition of normal, 10 000, 20 000, 40 000, and 80 000 mg/kg CO₂ concentration by simulating the environment of high CO₂ concentration resulted from CCS technology for CO₂ leakage. The high CO₂ concentration has little effect on germination percentage of corn, while the germination percentages of sorghum, millet and broom corn millet reach the maximum values at 10 000, 20 000, 20 000 mg/kg CO₂ concentration, respectively. High CO₂ concentration also has no significant impact on the germination potential of corn, while all the germination potentials of sorghum, millet and broom corn millet reach the maximum values in 20 000 mg/kg CO₂. High CO₂ concentration has little effect on the average germination days of four kinds of C₄ crop, in which the effect toward broom corn millet is more significant than others. Various CO₂ concentrations have the functions of promotion and inhibition toward the germinating percentage of C₄ crops and however, the effect is not very obvious, in which the promotion range is about 1%~5% and the inhibition range is about 1%~4%. High concentration CO₂ plays more significant role in promoting C₄ crop seed germination potential, in which the promoting range is 9%~16%. High CO₂ concentration has little effect on the average germination days of four kinds of C₄ crop.

Keywords: CO₂ concentration; C₄ crops; germination percentage; germination potential; germination days

收稿日期: 2013-07-11

修回日期: 2013-07-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“二氧化碳地质封存关键技术”(2012AA0501030)

作者简介: 薛璐(1989—), 女(汉族), 陕西省绥德县人, 硕士研究生, 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(汉族), 陕西省户县人, 教授, 主要从事环境影响评价及规划。E-mail: xdhgvip@163.com。

二氧化碳的捕获与储存(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 个环节中都会涉及到 CO₂ 泄露的风险,因此,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有重要影响,会带来局部和全球性的环境影响^[3]。通过模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露对 C₄ 作物种子萌发的影响,以期 CCS 技术 CO₂ 泄露后可能产生的环境影响提供基础性资料。

1 材料与方法

1.1 试验作物

试验地点为陕西省榆林市靖边县。选择当地 4 种典型的 C₄ 作物作为本试验的研究作物。包括:玉米(*Zea mays*, L., 西蒙 6 号)、高粱[*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench, 晋杂 12 号]、谷子[*Setaria italica* (L.) Beauv., 晋谷 29 号]、糜子(*Panicum miliaceum* L., 内糜 5 号)。

1.2 试验方法

CCS 技术中 CO₂ 若发生泄露,必然会产生高浓度的 CO₂ 环境。试验采用宁波江南仪器厂生产的二氧化碳人工气候箱(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(proportion integral derivative)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为 0~50 ℃;控湿范围 30%~95%相对湿度 RH(relative humidity);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。

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 5 次,观察各 C₄ 作物种子的萌发。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 0%;夜晚 12 h,温度 20 ℃,湿度 80%,光强 0%。

1.3 试验步骤

本种子萌发试验按照国家标准《农作物种子检验规程发芽试验(GB/T 33543.4—1995)》的方法进行。

(1) 精选颗粒饱满且大小基本相同的各作物种子各 100 粒,首先将种子在 20 ml 3% 的双氧水稀释 10 倍的溶液里消毒浸泡 5 min,再用温水浸泡 1 h,使

种子充满水分,最后,分别用自来水、蒸馏水冲洗多次。

(2) 将每种作物种子放入以一层纱布为发芽床的培养皿,并用一层纱布盖住培养皿(培养皿直径大约为 9 cm)。定时补充水分,保持纱布湿润。

(3) 以种子胚根突破种皮 2 mm 以上作为发芽标准,逐日统计各作物发芽种子粒数。

1.4 数据统计

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 4 种 C₄ 作物的发芽数,并计算其发芽率、发芽势以及平均发芽天数。试验数据取 5 次重复试验平均值。

发芽率 = 第 7 d 萌发种子粒数 / 供试种子总粒数 100%

发芽势 = 第 3 d 萌发种子粒数 / 供试种子总粒数 100%

平均发芽天数 = $\sum(G_i \times D_i) / \sum G_i$

式中:G_i——在不同天数的发芽率(%);D_i——发芽天数(d)。

2 结果与分析

2.1 CO₂ 泄露对 C₄ 作物发芽率的影响

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,对 4 种 C₄ 作物的发芽率影响见图 1。

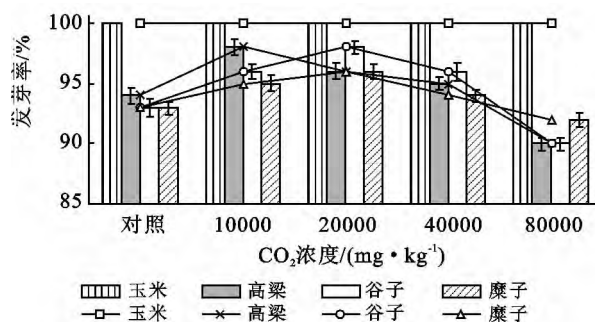


图 1 不同 CO₂ 浓度对 4 种 C₄ 作物发芽率的影响

由图 1 可知,模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露在 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,对玉米的发芽率基本没有影响,发芽率均为 100%;高粱、谷子和糜子随着 CO₂ 浓度增加到 10 000,20 000,40 000 mg/kg 时,其发芽率均高于对照组,但对其促进作用不是很显著,较对照组促进范围在 1%~5%,其中高粱、谷子和糜子分别在 CO₂ 浓度为 10 000,20 000,20 000 mg/kg,

发芽率达到最高,但 CO₂ 浓度为 80 000 mg/kg 时,对高粱、谷子和糜子的发芽率产生抑制作用,其发芽率均小于对照组。

2.2 CO₂ 泄露对 C₄ 作物发芽势的影响

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,对玉米、高粱、谷子以及糜子发芽势的影响见图 2。

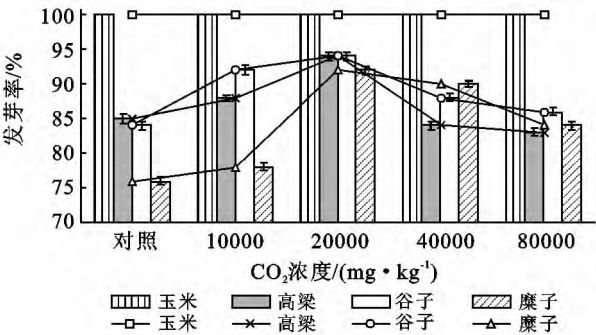


图 2 不同 CO₂ 浓度对 4 种 C₄ 作物发芽势的影响

由图 2 可知,模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露在 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,对玉米的发芽势基本无影响,发芽势均为 100%;不同浓度 CO₂ 对高粱、谷子和糜子发芽势的影响较为显著,3 种作物均在 CO₂ 浓度为 20 000 mg/kg 时,其发芽势达到最高。其中,高粱随着 CO₂ 浓度增加到 10 000,20 000 mg/kg 时,对其发芽势有促进作用,其发芽势较对照组都有所增加,但在 CO₂ 浓度为 40 000 和 80 000 mg/kg 时,对高粱的发芽势有抑制作用,其发芽势均小于对照组;谷子和糜子随着 CO₂ 浓度增加到 10 000,20 000,40 000,80 000 mg/kg 时,对其发芽势都有促进作用,其发芽势均高于对照组,但对糜子发芽势的变化趋势最为显著,在 CO₂ 浓度为 20 000 mg/kg 时,发芽势达到 92%,比对照组增加了 16%。

2.3 CO₂ 泄露对 C₄ 作物平均发芽天数的影响

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,4 种 C₄ 作物的平均发芽天数见表 1。

表 1 4 种 C₄ 作物在不同 CO₂ 浓度下的平均发芽天数统计 d

作物	CO ₂ 浓度/(mg · kg ⁻¹)				
	对照	10 000	20 000	40 000	80 000
玉米	4.58	4.57	4.55	4.72	4.63
高粱	4.49	4.45	4.38	4.52	4.50
谷子	4.65	4.58	4.59	4.71	4.67
糜子	5.06	4.97	4.98	5.00	5.02

由表 1 可知,模拟 CCS 技术 CO₂ 泄露在 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,对 4 种 C₄ 作物平均发芽天数均有一定影响。其中,玉米、高粱和谷子在 CO₂ 浓度从正常大气 CO₂ 浓度增加到 20 000 mg/kg 时,随着 CO₂ 浓度的增加,其发芽天数均缩短,随着 CO₂ 浓度的继续增加,这种趋势受到抑制,在 CO₂ 浓度为 40 000,80 000 mg/kg 时,其发芽天数较对照组均延长;但对糜子发芽天数的影响较玉米、高粱和谷子有所不同,糜子在 CO₂ 浓度为 10 000,20 000,40 000,80 000 mg/kg 时,其发芽天数较对照组均缩短,并在 CO₂ 浓度为 10 000 mg/kg 时其发芽天数最短,较对照组缩短了 0.09 d。

3 结论

(1) 从发芽率来说,在一定 CO₂ 浓度范围内(10 000~40 000 mg/kg),对 C₄ 作物种子发芽率有促进作用,促进范围约 1%~5%,当 CO₂ 浓度高达 80 000 mg/kg 时,对 C₄ 作物种子发芽率有抑制作用,抑制范围在 1%~4%。但促进和抑制作用都不是很显著。

(2) 从发芽势来说,高浓度 CO₂ 对 C₄ 作物种子发芽势有比较显著的促进作用,较对照组,发芽势的促进范围在 9%~16%。

(3) 从平均发芽天数来说,高浓度 CO₂ 对 4 种 C₄ 作物发芽天数均产生较小影响,其中,对糜子发芽天数的影响最为显著,较对照组,发芽天数最大能缩短 0.09 d。

国内外对高浓度对植物发芽的影响研究较少,只有少数学者做了在高浓度 CO₂ 条件下对植物发芽影响的试验,并且观点不一致。

国外学者主要有两种观点:CO₂ 浓度的升高并不会影响种子的萌发;CO₂ 浓度升高对种子萌发出土有促进作用。我国刘建利^[4]利用人工气候箱在不同 CO₂ 浓度下对苜蓿种子进行发芽试验,结果显示发芽率、发芽势和发芽指数显著提高,发芽天数显著减少;陈章和等^[5]在高 CO₂ 浓度条件下对 4 种豆科乔木的种子萌发试验,结果表明 CO₂ 浓度只能使光叶红豆种子萌发率提高 12%,但对其他 3 类豆科种子的萌发没有明显影响;高素华等^[6]利用 OTC-1 型开顶式气室在高 CO₂ 浓度下研究大豆、玉米、白菜、黄瓜、棍豆等 11 中常见植物种子的萌发,结果表明,CO₂ 浓度对这 11 种植物大部分种子的发芽势有促进作用,但对种子的发芽率影响不大,这一结果与本文研究结果相似。

种子萌发需要充足的氧气,以保证其强呼吸作用。在高 CO_2 浓度下,会使种子萌发环境 O_2 浓度降低,但在一定范围内仍能满足一般种子萌发的正常需要,另外,在自然情况下,土壤空气中本身 CO_2 浓度是很高的^[7],种子在土壤中萌发时,其 CO_2 浓度可能也较高,这些似乎可以解释在高 CO_2 浓度下,对种子的发芽率不会产生显著影响。

刘大永等^[8]研究表明,高浓度 CO_2 下,会使种子中过氧化氢酶(CAT)活性、酸性磷酸酯酶活性增强,这两种酶在种子萌发期间会释放 O_2 ,增加种子活力,同时与种子代谢直接相关的 ATP 含量也相应增加,这似乎可以解释高浓度 CO_2 对种子的发芽势有明显的促进作用。

另外,据刘存德等^[9]研究,不同作物种子萌发对 O_2 的需求不同,例如 5% 的 O_2 即可满足水稻种子的萌发,但小麦可能需要更多的 O_2 才能保证种子的正常萌发。虽然不同 C_4 作物在高浓度 CO_2 条件下发芽率和发芽势的变化具有一定的规律性,但这似乎可以解释各 C_4 作物分别在不同的 CO_2 浓度下其发芽率、发芽势达到最大值。但是,高浓度 CO_2 下对种子萌发影响的机理还有待于进一步研究。

[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): 290-296.
 - [4] 刘建利. CO_2 对蒺藜状苜蓿种子萌发的影响[J]. 种子, 2009, 28(12): 10-13.
 - [5] 陈章和,林丰平,张德明. 高 CO_2 浓度下 4 种豆科乔木种子萌发和幼苗生长[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 161-170.
 - [6] 高素华,郭建平,毛飞,等. CO_2 浓度升高对植物种子萌发及叶片的影响[J]. 资源科学, 2000, 22(6): 18-21.
 - [7] 曲仲湘,吴玉树,王焕校,等. 植物生态学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1983.
 - [8] 刘大永,刘庆全,梁颖. 大气中 CO_2 含量对水稻种子萌发和幼苗生长的生理效应[J]. 西南农业大学学报, 1996, 18(4): 343-345.
 - [9] 刘存德,沈全光,梁峥,等. O_2 和 CO_2 浓度对水稻和小麦种子萌发过程中同工酶的影响[J]. 植物学报, 1981, 23(5): 364-369.
-
- (上接第 306 页)
- [7] 曾丽红,宋开山,张柏,等. 东北地区参考作物蒸散量对主要气象要素的敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(1): 11-18.
 - [8] 刘小莽,郑红星,刘昌明,等. 海河流域潜在蒸散发的气候敏感性分析[J]. 资源科学, 2009, 31(9): 1470-1476.
 - [9] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements[M]. Rome: United Nations Food and Agriculture Organization, 1998.
 - [10] Yin Yunhe, Wu Shaohong, Zheng Du, et al. Radiation calibration of FAO 56 Penman—Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(1): 77-84.
 - [11] Penman H L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass[J]. Proceedings of the Royal Society of London (Series A): Mathematical and Physical Sciences, 1948, 193(1032): 120-146.
 - [12] 蔡毅,邢岩,胡丹. 敏感性分析综述[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2008, 44(1): 9-16.
 - [13] McCuen R H. A sensitivity and error analysis of procedures used for estimating evaporation. Water Resource Bulletin[J]. 1974, 10(3): 486-498.
 - [14] Beven K. A sensitivity analysis of the Penman—Monteith actual evapotranspiration estimates. Journal of Hydrology[J]. 1979, 44(3/4): 169-190.
 - [15] 曹雯,申双和,段春锋. 西北地区近 49 年生长季参考作物蒸散量的敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 375-381.
 - [16] Coleman G, DeCoursey D G. Sensitivity and model variance analysis applied to some evaporation and evapotranspiration models[J]. Water Resource Research, 1976, 12(5): 873-879.
 - [17] 刘明春. 石羊河流域气候干湿状况分析及评价[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 880-884.
 - [18] Hupet F, Vanclooster M. Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration [J]. Journal of Hydrology, 2001, 24(3): 192-204.