

油蒿在高浓度 CO₂ 条件下对干旱胁迫的反应^①

高素华¹ 郭建平¹ 王连敏² 王立志² 王春艳² 李忠杰² 刘 功²

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 黑龙江省农业科学院)

提 要

采用人工模拟试验方法研究毛乌素沙地沙生植物群落的优势种——油蒿在高浓度 CO₂ 条件下对土壤干旱胁迫的反应。结果表明, 不同程度的土壤干旱胁迫使油蒿生长与生物量下降, 随着干旱程度的加重而增加负面影响; 大气中 CO₂ 浓度升高对油蒿的生长发育起到“施肥作用”; 虽然在高浓度 CO₂ 条件下发生土壤干旱胁迫对油蒿的影响也是负效应, 但 CO₂ 的“施肥效应”依然存在, “施肥效应”的生理机理是 CO₂ 浓度升高提高了光合作用速率。

关键词: 土壤干旱胁迫 CO₂ 浓度 油蒿

引 言

本研究选择毛乌素沙地分布最广泛的沙生植物群落的优势种——油蒿为研究对象。油蒿被认为是毛乌素沙地偏途顶极植被类型。多数生长在半固定与固定沙丘沙地, 是沙地天然牧场的主要植物群落, 并具有良好的固沙作用。由于油蒿分布广, 在沙漠治理中有较大作用, 因此, 有关油蒿的研究很多, 但都是对油蒿个体、种群特征的研究^[1-4], 也有研究降水量变化对油蒿幼苗生理生态过程的影响^[5], 但关于油蒿对高浓度 CO₂ 反应方面的研究还未见报导。

从 20 世纪 80 年代初, 全球变化研究开始成为环境问题的热点, 引起了各国政府、科学家、公众的关注, 全球变化研究也成为了“核心”研究内容之一。全球变化的研究主要是研究人类活动引起的环境变化对生态系统的影响及其反应。我国从 80 年代初也开始了两方面的研究, 一是温室效应对生态系统的影响, 集中在 CO₂ 浓度升高对植物的直接

影响的试验研究^[5-7]。另一方面研究气候异常对生态系统的影响。但这些研究大多集中在农作物-环境因子的变化, 且基本多为单因子。关于复合因子的研究甚少, 对草原生态系统的研究更为少见, 但自然环境因子的影响往往都是多因子的共同作用。在干旱半干旱地区, CO₂ 浓度的升高和干旱胁迫的复合影响是目前的现实。但我国这方面的定量研究还是空白。为了填补这方面的空白, 同时为进一步研究全球变化对草原生态系统及对西部生态环境建设、“退耕还牧”的影响而开展了这项研究。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试物种为油蒿 (*Artemisia ordosica* Krasch), 菊科蒿属半灌木, 多年生枝灰黑色、缝裂; 当年生枝灰黄色, 叶黄绿色、稍有肉质、无毛、叶长 3~7mm, 宽 2~4mm, 基部有扩大的长柄, 羽状全裂, 裂片 2~3 对, 花为头状在茎及枝上排列成花序、复总状花序。油蒿是中

① 国家重点基础发展规划项目“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究”(G1999043400)资助

国鄂尔多斯—阿拉善的特有种。主要分布在阴山以南的黄土丘陵、鄂尔多斯高原、阿拉善、宁夏和陕西北部。

试验用的一年生油蒿苗于2001年5月11日在中国科学院鄂尔多斯草原站获取,选取生长状况较一致的幼苗,移栽至直径33cm、高26cm的瓦盆中。每盆定植5株,在自然状态下生长,6月9日移入人工气候室,并进行土壤水分处理。用称重法计算土壤的含水量,再通过灌溉的方法使土壤含水量达到试验设计的要求。

1.2 试验环境

人工模拟试验在黑龙江农科院寒地生态实验室的人工气候室内进行。人工气候室系自然光玻璃室,每间面积18m²,空气湿度、温度可自动调控,并可以采用生理日光灯自动补充光。

1.3 试验设计

(1)CO₂浓度为650~700μmol·mol⁻¹,以室外大气CO₂浓度(约350μmol·mol⁻¹)为对照,采用红外CO₂分析仪监测CO₂浓度,钢瓶液态CO₂为气源。通气时间从定植至最后一次取样(6月12日~9月12日),每天24h连续通气。

(2)土壤湿度分别为田间持水量30%~45%(严重干旱)和45%~60%(轻度干旱),以60%~80%(适宜)为对照(以下简称土壤湿度30%~45%、45%~60%、60%~80%)。用灌溉量控制土壤湿度。每次取样

的同时测20cm土壤湿度。

(3)取样时间:7月10日、8月10日、9月11日共3次取样。

(4)测试项目:生物量测定根、茎、叶干、鲜重,生长量测定叶面积、主茎高、地径、分枝数、分枝长、根/冠比等,以上项目每次测8~10株。

(5)采用日产富士红外CO₂分析仪测光合速率。

2 结果与分析

2.1 油蒿对高浓度CO₂的反应

油蒿的生物量和其他C₃植物一样,随CO₂浓度的升高而增加(表1)。由表1可见,CO₂浓度升高对油蒿的生长和生物量的积累是正效应。随着CO₂浓度的升高,根、茎、分枝的生长量明显增加,根、茎、叶生物量也明显增加。在CO₂浓度为700μmol·mol⁻¹时(土壤水分适宜),根长和根干重分别比对照增加7.0%和82.8%;主茎高、地径和干重分别增加60.0%、10.4%和68.2%;叶干重增加29.7%;分枝数和分枝长分别增加22.9%和4.0%。CO₂浓度升高对油蒿生物量的影响排序为:根>茎>叶。对生长量的影响是茎高>分枝数>地径>根长>分枝长。增加CO₂浓度使净光合产物的分配发生了一定的变化,对根部影响最大,根干物重、根长、根/冠比都明显的增加。根长度的增加有利于利用干旱地区深层水分。

表1 CO₂浓度对油蒿生长量及生物量的影响(土壤水分适宜,9月12日测定,单株平均)

CO ₂ /μmol·mol ⁻¹	根长 /cm	根干重 /g	主茎高 /cm	地径 /mm	茎干重 /g	叶干重 /g	根冠比	分枝数	分枝总长 /cm
700	22.8	0.9817	61.00	5.30	5.0077	1.5968	0.1486	15.80	28.3
350	21.3	0.5368	45.88	4.80	2.9767	1.2309	0.1275	12.86	27.2

2.2 在高浓度CO₂条件下油蒿对土壤干旱胁迫的反应

2.2.1 土壤干旱胁迫对油蒿的影响

油蒿虽然是干旱半干旱地区的优势植物,但土壤发生干旱对油蒿的胁迫仍然十分明显(表2)。由表2可见,油蒿生物量及生长量都随土壤干旱程度的加重而有更大的下

降。土壤发生轻度干旱时,根、茎、叶干重分别比对照下降12.5%、15.6%和9.1%;发生严重干旱时分别下降30.5%、63.3%和37.7%。无论轻度干旱还是严重干旱均对茎的影响最大。在严重干旱时,茎干物重下降是轻度干旱的4倍,根下降2.4倍,叶下降4.1倍。

表2 土壤干旱胁迫对油蒿生物量和生长量的影响(当前 CO₂ 浓度)

土壤湿度 /%	根干重 /g	茎干重 /g	叶干重 /g	根长 /cm	主茎高 /cm	地径 /mm	分枝数	分枝总长 /cm
60~80	0.5368	2.9769	1.2309	21.3	45.9	4.80	12.9	27.2
45~60	0.4699	2.5123	1.1193	20.0	34.8	4.33	11.0	25.6
30~45	0.3731	1.0912	0.7664	17.3	22.0	3.56	8.7	14.2

土壤干旱对油蒿生长量和对生物量的影响趋势一致。当发生土壤轻度干旱时,根长、主茎长、地径、分枝数、分枝总长分别比对照下降 6.1%、24.2%、9.8%、14.5%、5.9%,各部位影响程度排序为主茎长>分枝数>地径>根长>分枝长。严重干旱时分别下降 18.8%、52.1%、25.8%、32.3%、47.8%,下降幅度明显高于轻度干旱,而且排序也发生了一些改变,分别是主茎长>分枝长>分枝数>地径>根长。分枝长变化最大两者相差 8 倍多。发生严重干旱时对茎的形态影响最为明显。

2.2.2 在高浓度 CO₂ 条件下,油蒿对土壤干旱胁迫的反应

表3 为在高浓度 CO₂ 条件下不同土壤干旱胁迫对油蒿的生物量和生长量的影响。

表3 高浓度 CO₂ 和土壤干旱对油蒿的影响

土壤湿度 /%	根干重 /g	茎干重 /g	叶干重 /g	根长 /cm	主茎高 /cm	地径 /mm	分枝数	分枝总长 /cm
60~80	0.9817	5.01	1.5968	22.8	61.0	5.30	15.8	28.3
45~60	0.5191	2.64	1.1610	21.2	52.0	4.69	13.5	27.4
30~45	0.4408	1.97	0.8407	18.3	36.7	4.15	12.8	16.7

2.2.3 在土壤干旱胁迫条件下,油蒿对 CO₂ 浓度升高的反应

在土壤湿度适宜时,升高 CO₂ 浓度可以增加油蒿的生长量和生物量(表1),在土壤发生干旱胁迫时,CO₂ 的“施肥”效应是否存在?比较表1和表3可以看出,即使在土壤发生干旱胁迫时,升高 CO₂ 浓度对油蒿的生物量和生长量仍具有明显的“施肥”效应。如在土壤发生轻度干旱时,CO₂ 浓度为 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时根、茎、叶的生物量分别比 CO₂ 浓度为 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时增加 10.5%、5.2%和 3.7%;在严重干旱时,CO₂ 的“施肥”效应更加明显,尤其对茎的干物重影响增

由表可见,在高浓度 CO₂ 条件下,土壤干旱胁迫对油蒿的反应也是负效应,也是随土壤干旱程度的加重而增大。在发生轻度干旱时,单株根、主茎、叶生物量分别比对照下降 4.17%、47.3%和 27.3%;严重干旱时分别下降 55.1%、60.7%和 47.4%。下降幅度明显的增大。生长量的变化也是一样。轻度干旱时单株根长、主茎长、地径、分枝数、分枝长分别比对照下降 7.0%、14.8%、11.5%、14.6%和 3.2%;影响排序为主茎长>分枝数>地径>根长>分枝长。严重干旱时分别下降 19.8%、39.8%、21.7%、19.0%和 41.0%,排序为分枝长>主茎长>地径>根长>分枝数,排序不同于对照和轻度干旱,但下降程度除根长外均明显小于对照 CO₂ 浓度条件下严重干旱时的变化。

加幅度高达 80.7%,均高于轻度干旱和水分适宜(60%~80%)时的增加量。

油蒿生长量在土壤发生干旱胁迫时对 CO₂ 浓度升高的反应和生物量的趋势一致,如轻度干旱,CO₂ 浓度为 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时根长、主茎长、地径、分枝数、分枝生长量分别比 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时增加 6.0%、49.4%、8.3%、22.7%和 7.0%;增加幅度排序为主茎长>分枝数>地径>分枝长>根长;严重干旱时分别增加 5.8%、66.8%、16.6%、47.1%和 17.6%,排序为主茎长>分枝数>分枝长>茎粗>根长。在干旱胁迫条件下,CO₂“施肥”效应对茎的影响大于根。

2.2.4 CO₂ 浓度升高对油蒿光合速率的影

响

提高 CO_2 浓度使油蒿增加光合速率, CO_2 浓度为 $700\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时的光合速率比 $350\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时增加 56.9%, 这是 CO_2 的“施肥”效应机理。因增加光合速率使生物量和生长量都随之增加。在发生土壤干旱胁迫时, 高浓度 CO_2 也使光合速率明显地高于同样土壤湿度条件下的光合速率, 例如在轻度干旱时, $700\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 比 $350\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时光合速率增加 12.4%, 严重干旱时增加 141%。远大于轻度干旱的增加幅度, 这也是在发生严重干旱时油蒿无论生物量和生长量仍有明显的 CO_2 “施肥”效应的原因所在。

3 结 论

土壤干旱胁迫对油蒿的生物量和生长量的影响均为负效应, 而且随干旱程度的加重影响更大; 即使在高浓度 CO_2 条件下, 土壤干旱胁迫的负作用依然存在; 但 CO_2 浓度升高的“施肥效应”无论在土壤水分适宜还是土

壤干旱胁迫下都十分明显。从这个角度来说 CO_2 浓度升高还是可以减轻干旱对油蒿的不利影响。

参考文献

- 1 陈仲新, 谢海生. 内蒙古毛乌素沙地主要景观生态类型灌丛多样性初步研究. 生态学报, 1994, 14: 345~354.
- 2 董学军, 张新时, 杨宝珍. 依据野外的蒸腾速率对几种沙地灌木水分平衡的初步依据. 植物生态学报, 1997, 21: 208~225.
- 3 姚洪林, 魏成泰, 廖茂彩. 内蒙古毛乌素沙地开发整治研究中心概况. 王家祥主编: 毛乌素沙地开发整治研究文集(第1集). 呼和浩特: 内蒙古出版社, 1992: 1~7.
- 4 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式. 植物生态学报, 1994, 18: 1~16.
- 5 肖春旺, 张新时. 模拟降水量变化对毛乌素油蒿幼苗生理生态过程的影响研究. 林业科学, 2001, 37(1): 15~22.
- 6 王修兰主编. 二氧化碳、气候变化与农业. 北京: 气象出版社, 1996: 166~172.
- 7 刘江主编. 21 世纪初中国农业发展战略. 北京: 中国农业出版社, 2000: 401~418.

Response of Soil Drought Stress to *A. ordosica* under High CO_2 Concentration

Gao Suhua¹ Guo Jianping¹ Wang Lianmin² Wang Lizhi²
Wang Chunyan² Li Zhongjie² Liu Gong²

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;

2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences)

Abstract

Using the modelling experiment, the responses of soil drought stress on *A. ordosica*, a dominant species of Maowusu sandland plant community, under high concentration of CO_2 carried in green house, is studied. Maowusu sandland is a typical one of arid and semi-arid sandland in China. Water is the most limited factor to *A. ordosica* growth and development. The results show that the different scales of soil drought stress made the growth and biomass of *A. ordosica* to be decreased, and the negative impact increased with the drought degree aggravated. The increase of atmospheric CO_2 concentration can be treated as a function of “fertilization” for growth of *A. ordosica*. Although, the impact of high concentration of CO_2 and soil drought stress on *A. ordosica* was negative, there existed still the “fertilization function”. Its physiological mechanism is that the CO_2 concentration increasing promoted the photosynthesis rate.

Key Words: soil drought stress CO_2 concentration *A. ordosica*