

# 高 CO<sub>2</sub> 条件下贝加尔针毛对土壤干旱胁迫响应的试验研究\*

高素华 郭建平

(中国气象科学研究院,北京 100081)

周广胜 杨利民

(中国科学院植物研究所,北京 100093)

## 摘 要

贝加尔针毛 (*Stipa baicalensis*) 是我国内蒙古东部和东北西部主要的地带性植被之一。通过人工模拟试验分析了 CO<sub>2</sub> 浓度升高对贝加尔针毛的“施肥”效应,结果表明:贝加尔针毛的生物量、生长量随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高而增加,根中 P 的含量、叶中 C、N、P 的含量也随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高而增加。土壤干旱胁迫对贝加尔针毛的生物量、生长量的影响均为负效应,且干旱程度的加重使影响更明显。干旱使针毛叶、根中的 C、N 含量增加。

关键词:贝加尔针毛 CO<sub>2</sub> 浓度 干旱胁迫

## 引 言

贝加尔针毛 (*Stipa baicalensis*) 是欧亚大陆东部温带半湿润、半干旱地区占优势的一种地带性草原植被类型,也是我国内蒙古东部和东北西部主要的地带性植被之一。

关于针毛的研究不是很多,以往的研究大多是关于针毛生物量形成规律以及放牧对针毛的影响等<sup>[1-6]</sup>。关于气候变化(包括温室气体)的直接影响和气候异常的间接影响还未见报导,尤其是复合环境因子的综合影响还是空白。全球气候变化虽从 20 世纪 80 年代初成为人们关注的热点,但全球气候变化对草原生态系统的影响及反应是比较薄弱的方面。在我国也和全球一样,这方面的研究甚少。为了今后研究全球气候变化对草原生态系统的影响及反应,也为了我国西部开发、生态环境建设及“退耕还林”等提供科学依据或参考,我们进行了 CO<sub>2</sub> 浓度升高和土壤干旱胁迫的综合影响研究。

## 1 研究方法

### 1.1 试验物种和材料

试验物种为松嫩平原长岭草原站的贝加尔针毛,试验进行了 2 年,2000 年贝加尔针毛取自长岭草原站,5 月 11 日将即将萌发的针毛移植到高 26 cm、直径 33 cm 的瓦盆中,在自然条件下缓苗。6 月 9 日移植到人工气候室内,并进行水分处理。2001 年试验用的贝加尔针毛用长岭草原站提供的种子于 5 月 11 日播种,出苗后在自然条件下生长,6 月 9 日移植到人工气候室,并进行水分处理。6 月 12 日开始进行不同的 CO<sub>2</sub> 浓度处理。

\* 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。  
2002-01-10 收到,2002-05-24 收到修改稿。

## 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,人工气候室为自然光玻璃室,每间面积为 18 m<sup>2</sup>,空气温度、湿度可自动调控,并可采用生理日光灯自动补光。

## 1.3 试验设计

CO<sub>2</sub> 浓度为 650 ~ 700 μmol/mol,并以室外大气 CO<sub>2</sub> 浓度(约 350 μmol/mol)为对照。采用红外 CO<sub>2</sub> 分析仪监测 CO<sub>2</sub> 浓度,钢瓶液态 CO<sub>2</sub> 为气源,通气时间 2000 年从 6 月 9 日至 10 月 18 日,2001 年从 6 月 12 日直到 9 月 11 日最后一次取样,每天 24 小时连续通气。

土壤湿度分两种处理,分别为占田间持水量 45% ~ 60%(轻度干旱,下同)和 30% ~ 45%(严重干旱,下同),并以 60% ~ 80%(适宜)为对照。用灌溉量控制土壤湿度,每次取样时,同时测 20 cm 土壤湿度。

取样时间:每月 1 次,每个处理 3 次重复。

观测项目:地上和地下部分的生物量和总生物量、株高及根长等。

C、N、P、K 含量的测量:C——重铬酸钾法测定,N——开式定氮法,P——钼钼抗比色方法,K——火焰光度法。

## 2 结果分析

### 2.1 针毛对高 CO<sub>2</sub> 浓度的响应

CO<sub>2</sub> 浓度升高使植物光合作用速率增强,生物量增加,尤其是 C<sub>3</sub> 类植物。通过 2 年的试验结果表明,贝加尔针毛的生物量也是随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高而明显的增加(表 1)。由表 1 可见,两年的试验结果完全一致,地上、地下及总生物量均随 CO<sub>2</sub> 浓度的升高而增加,但变化幅度相差很大。主要是因为 2000 年为多年生移栽苗,而 2001 年为种子培育的一年生苗,两者生长状况相差很大。一年生苗生长旺盛,且长势非常好,对 CO<sub>2</sub> 浓度更为敏感,多年生苗本身长势就不如一年生苗,尤其根表现更为明显。2000 年结果为地上、地下、总生物量分别比对照增加 54.6%、17.3%、44.5%;2001 年结果为分别增加 110.1%、46.9%、94.7%。2001 年的增长率比 2000 年高 1.0 ~ 1.7 倍。CO<sub>2</sub> 浓度的升高对针毛根冠比的影响不同于其它植物(多数是呈增加趋势)呈减少趋势。

表 1 CO<sub>2</sub> 浓度对贝加尔针毛的影响

CO <sub>2</sub> 浓度 (μmol/mol)	2000 年				2001 年			
	地上生物量 (g)	地下生物量 (g)	总生物量 (g)	根冠比	地上生物量 (g)	地下生物量 (g)	总生物量 (g)	根冠比
700	0.2370	0.0657	0.3027	0.2772	0.3069	0.0692	0.3761	0.2255
350	0.1533	0.0560	0.2093	0.3653	0.1461	0.0471	0.1932	0.3224

CO<sub>2</sub> 浓度升高对针毛的生长也起促进作用。CO<sub>2</sub> 浓度升高(700 μmol/mol)使株高比对照增加 84.4%,根长增加 49.2%。

### 2.2 在正常 CO<sub>2</sub> 浓度下贝加尔针毛对土壤干旱胁迫的响应

土壤干旱胁迫抑制了针毛的生长发育,对生物量和生长量均为负效应,而且随干旱程

度的加重负作用增大(表 2)。当土壤发生轻度干旱时,地上、地下、总生物量分别比对照下降 30.0%、32.3%、30.6%。发生严重干旱时分别下降 34.8%、44.6%、37.2%。株高和根长轻度干旱和严重干旱分别下降 5.5%、8.0%和 7.3%、13.2%。干旱胁迫对植物根冠比的影响多数植物是随干旱程度的加重,根冠比增加来适应干旱的影响,但针毛根冠比的变化呈相反的趋势。

表 2 土壤干旱胁迫对针毛的影响(2001 年 9 月 11 日)

土壤湿度 (%)	地上生物量 (g)	地下生物量 (g)	根冠比	总生物量 (g)	株高 (cm)	根长 (cm)
60~80	0.1461	0.0471	0.3224	0.1932	25.68	21.2
45~60	0.1022	0.0319	0.3121	0.1341	24.26	19.5
30~45	0.0953	0.0261	0.2739	0.1214	23.80	18.4

### 2.3 在高 CO<sub>2</sub> 浓度下针毛对干旱胁迫的响应

在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下土壤干旱胁迫对针毛的影响仍为负效应(表 3)。由表可见,发生轻度土壤干旱时地上、地下和总生物量分别比对照下降 26.7%、5.3%和 22.8%,发生重度干旱时,分别下降 28.0%、13.0%和 25.5%,下降程度均高于轻度干旱。株高和根长在轻度干旱和重度干旱时分别下降 12.9%、4.4%和 14.8%、8.7%。

表 3 在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下干旱胁迫对针毛的影响(2001 年 9 月 11 日)

土壤湿度 (%)	地上生物量 (g)	地下生物量 (g)	总生物量 (g)	株高 (cm)	根长 (cm)
60~80	0.3069	0.0692	0.3761	47.4	27.5
45~60	0.2249	0.0655	0.2904	41.3	26.3
30~45	0.2199	0.0602	0.2801	40.4	25.1

### 2.4 在土壤干旱胁迫时 CO<sub>2</sub> 的“施肥”效应

比较表 2 和表 3 可以看出,发生土壤干旱胁迫在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下虽然对针毛生长发育产生负作用,但在同等程度干旱胁迫条件下 CO<sub>2</sub> 的“施肥”效应仍能体现出来,在轻度干旱时,CO<sub>2</sub> 浓度为 700 μmol/mol 的地上、地下及总生物量分别比对照高 120.1%、105.3%和 116.6%,3 项均高出 1 倍以上,株高和根长分别高出 83.0%和 34.9%。严重干旱时,地上、地下和总生物量分别增加 131.5%、130.7%和 130.7%,增加幅度超过 1.3 倍,“施肥”效应比轻度干旱更为明显,株高和根长分别增加 69.7%和 36.4%。虽然干旱胁迫的负作用在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下依然存在,但在同等干旱胁迫条件下 CO<sub>2</sub> 浓度升高的正效应可以减轻干旱胁迫的负效应的影响,使生物量的下降得到一定程度的缓解。CO<sub>2</sub> 浓度为 350 μmol/mol 土壤湿度适宜时总生物量为 0.1932 g,CO<sub>2</sub> 浓度为 700 μmol/mol 严重干旱时的总生物量为 0.2891 g,比对照水分适宜时高 45%,轻微干旱更高为 50.3%。这些数据说明了 CO<sub>2</sub> 浓度升高对针毛生物量影响的正效应大于土壤干旱胁迫对针毛生物量的负效应。对生长的影响趋势是一致的。

### 2.5 高 CO<sub>2</sub> 浓度对针毛叶、根 C、N、P、K 含量的影响

采用重铬酸钾法测定了贝加尔针毛叶、根的 C 含量,测定结果表明,CO<sub>2</sub> 浓度升高使叶 C 含量增加,700 μmol/mol 叶 C 含量比对照增加了 9.4%,但根的 C 含量呈减少趋势(-6.7%)。采用开式定氮法测定了叶、根 N 的含量,CO<sub>2</sub> 浓度升高使叶、根含 N 量都有

显著的增加,叶增加 30.4%,根增加 24.3%。P 的测定采用锲钼抗比色法,CO<sub>2</sub> 浓度升高使叶的含 P 量增加 1.3%,根却下降 12.9%。采用火焰光度法测定 K 的含量,CO<sub>2</sub> 浓度升高使叶的含 K 量有较大幅度的下降(-30.0%),而根的 K 含量却增加了 50.0%。综上所述,CO<sub>2</sub> 浓度升高有利于叶 C、N、P 和根 C、K 的积累。

## 2.6 土壤干旱胁迫对针毛叶、根 C、N、P、K 含量的影响

土壤干旱胁迫有利于叶、根 C、N、P、K 含量的积累(表 4)。由表可见,土壤发生干旱胁迫时,针毛的叶、根 C、N、P、K 的含量与对照相比都呈增加的趋势,且叶的增加幅度大于根。C 含量叶和根分别增加了 0.65%和 0.47%;N 含量叶和根分别增加了 86.9%和 9.8%;P 含量叶增加 0.59%;根无变化;K 含量叶和根分别增加 10.0%和 50.0%。干旱胁迫对叶和根 N 的含量、K 的含量影响较大,对 C 和 P 的影响较小。

表 4 干旱胁迫对针毛叶和根 C、N、P、K 含量(%)的影响\*

土壤湿度 (%)	C		N		P		K	
	叶	根	叶	根	叶	根	叶	根
30~45	17.04	19.16	1.29	0.45	3.40	3.38	0.11	0.03
60~80	16.93	19.07	0.69	0.41	3.38	3.38	0.10	0.02

\* C、N、P、K 均为试验的最终结果

## 2.7 在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下土壤干旱胁迫对针毛叶和根 C、N、P、K 含量的影响

表 5 给出了在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下土壤干旱胁迫对针毛叶和根 C、N、P、K 含量的影响结果。由表可见,在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下土壤干旱胁迫对针毛叶和根 C、N 含量的影响为正效应,叶和根 C 含量分别比对照增加了 8.5%和 9.2%;叶和根 N 含量分别比对照增加了 27.8%和 70.0%。在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下土壤干旱胁迫对叶和根 P 含量的影响不明显,根 P 的含量均比对照下降 0.3%。而叶没有变化。

表 5 在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下土壤干旱胁迫对针毛叶和根 C、N、P、K 含量(%)的影响

土壤湿度 (%)	C		N		P		K	
	叶	根	叶	根	叶	根	叶	根
30~45	20.1	19.44	1.15	0.51	3.38	3.32	0.02	0.10
60~80	18.52	17.80	0.90	0.30	3.38	3.33	0.02	0.10

比较表 4 和表 5 可知,干旱胁迫对 C、N 的影响在 CO<sub>2</sub> 浓度为 700 μmol/mol 和 350 μmol/mol 的趋势是一致的,均呈增加的趋势。但在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下的影响除叶的 N 含量外更明显,增加幅度远大于对照浓度下的增加幅度。但在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下干旱胁迫对针毛叶和根 P 的含量为负效应,而在 350 μmol/mol 浓度时干旱胁迫对叶和根的含量呈微弱的增加趋势,对 K 的含量在高 CO<sub>2</sub> 浓度条件下干旱胁迫没有影响,而在 350 μmol/mol 条件下呈增加趋势,尤其是根增加高达 50%。

## 3 结 论

CO<sub>2</sub> 浓度升高对贝加尔针毛生长发育为正效应,生物量和生长量随 CO<sub>2</sub> 浓度升高而增加。土壤干旱胁迫对贝加尔针毛生长发育为负效应,且随干旱程度的加重,影响增大。

在土壤发生干旱胁迫时,  $\text{CO}_2$  的“施肥”效应依然存在。在相同程度的干旱胁迫条件下,  $\text{CO}_2$  浓度升高可以缓解干旱胁迫的不利影响, 也就是说, 在干旱胁迫条件下,  $\text{CO}_2$  浓度升高的正效应大于干旱胁迫的负效应。干旱胁迫和  $\text{CO}_2$  浓度升高对叶、根 C、N、P、K 含量的响应较为复杂, 但对叶的 C、N 含量是一致的, 都呈增加的趋势。

本研究是人工气候室条件下的试验, 其结果与自然草原上的条件是有差异的, 本文所得结果能看出变化趋势, 但不能完全反应草原的情况。

### 参考文献

- 1 崔鲜一, 彭玉梅, 程渡. 科尔沁羊草——贝加尔针毛草原物候期和产草量与气象条件关系的研究. 草地学报, 1996, 4(4): 302~307.
- 2 杨利民, 韩梅, 李建东. 松嫩平原主要草地群落放牧退化演替阶段的划分. 草地学报, 1996, 4(4): 282~287.
- 3 陈有君, 李绍良, 李立民, 等. 大针毛草原地上最高生物量与土壤贮水量的相关分析. 中国草地, 1994, (1): 29~34.
- 4 王义风. 大针毛草原地上生物量形成的规律与特点. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(4): 287~308.
- 5 昭克斯图, 祁永. 内蒙古短花针毛草原放牧退化系列研究. 中国草地, 1987, (1): 29~35.
- 6 李永宏. 内蒙古锡林河流域羊草草原和大针毛草原在放牧影响下的分异和趋同. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(3): 189~196.

## RESPONSE OF STIPA BAICALENSIS TO SOIL DROUGHT STRESS AT HIGH $\text{CO}_2$ CONCENTRATION

Gao Suhua Guo Jianping

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Zhou Guangsheng Yang Limin

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

### Abstract

*Stipa Baicalensis* is one of regional herbs in the eastern Inner Mongol and the western Northeast China. Through an artificial simulation experiment, the “fertilization” effect of  $\text{CO}_2$  concentration enrichment on *Stipa baicalensis* is analyzed. The results show that the biomass and growth value of the herbage, the P content in the root, and C, N, P contents in the leaves increase with  $\text{CO}_2$  concentration enrichment. The impacts of soil drought stress on the biomass and growth value are all negative. Moreover, the impact is more remarkable with the aggravating drought degree. Soil drought increases C, N contents in the herbage leaves and roots.

**Key words:** *Stipa baicalensis*  $\text{CO}_2$  concentration Drought stress