

# CO<sub>2</sub> 倍增对羊草物候和生长的影响\*

高雷明 黄银晓 林舜华

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

**摘要** 为了研究 CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草和移栽羊草的影响, 采用开顶式熏气装置进行了 CO<sub>2</sub> 倍增试验. 结果表明: 2 种羊草的 CO<sub>2</sub> 倍增与对照相比, 年生长期延长 2~7d, 其中枯黄期延迟 1~7d, 其它物候期提前 1~7d. CO<sub>2</sub> 倍增的羊草分蘖株数、成熟穗数、生物量分别为对照的 119.2%~146.3%、133.3%~157.1%、113.2%~127.3%; 羊草植株高生长明显增加. CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草物候期的反应比移栽羊草更敏感, 移栽羊草抽穗数的增加比实生苗羊草明显. CO<sub>2</sub> 倍增对羊草物候期和生长的影响均属正效应.

**关键词** 实生苗, 移栽苗, 羊草, CO<sub>2</sub> 倍增, 物候期.

## Effects of Doubled CO<sub>2</sub> Concentration on the Phenology and Growth of *Leymus chinensis*\*

Gao Leiming Huang Yinxiao Lin Shunhua

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

**Abstract** The effect of doubled CO<sub>2</sub> concentration on the seedlings and transplanted seedlings of *Leymus chinensis* were examined by Open-top Chamber in this study. Compared with ck, the experiments showed that the growth period per year prolonged 2~7d, in which the wither period prolonged 1~7d, other phenological phases were 1~7d earlier than expected, the number of tillering and matured ears, biomass are respectively as 119.2%~146.3%, 133.3%~157.1% and 113.2%~127.3% as ck, the increase of height was distinct, too. Seedlings were more sensitive in phenological response to doubled CO<sub>2</sub> concentration than the transplanted seedlings. While the number of increased tillering are less distinct. The effect of doubled CO<sub>2</sub> concentration on phenological phases and growth are both positive.

**Keywords** seedling, transplanted seedling, *Leymus chinensis*, doubled CO<sub>2</sub> concentration, phenology.

CO<sub>2</sub> 倍增对植物生长发育及生态生理指标有影响<sup>[1~4]</sup>, 对自然条件下羊草(*Leymus chinensis*)影响的报道较多<sup>[5~7]</sup>, 而高 CO<sub>2</sub> 浓度对羊草生长发育特别是对物候节律影响的研究鲜见报道. 物候节律是表明物候周期发育过程的规律, 确定对周围环境的依赖关系, 特别是确定土壤和气候对植物生命周期现象的影响<sup>[8]</sup>. 随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增高和全球气候变暖, 必然会对羊草的生长发育带来影响, 因此笔者进行了 CO<sub>2</sub> 倍增对羊草物候节律及生长影响的研究工作.

### 1 试验条件与方法

在植物所试验地(北京)的 2 个开顶式熏气

装置(直径和高为 2m × 2m)内进行实验<sup>[1,2]</sup>, CO<sub>2</sub> 浓度为对照(350 × 10<sup>-6</sup> mol · mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>)和 CO<sub>2</sub> 倍增(700 × 10<sup>-6</sup> mol · mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>). 气源来自大气和液态 CO<sub>2</sub> 钢瓶, 从熏气室底部昼夜不停地吹入, 试验期间定期用 GXH-305 红外线 CO<sub>2</sub> 分析仪定期测定熏气室内 CO<sub>2</sub> 浓度, 通过调节 CO<sub>2</sub> 钢瓶出气口的流量, 使熏气室内保持正常的大气和 CO<sub>2</sub> 倍增浓度环境. 生长季节用周记温度、湿度计测定熏气室内的温度和相对湿度.

\* 国家自然科学基金重大基金资助项目(Project Supported by the National Natural Science Foundation of China): 39393001  
羊草种子由吉林生物所王克平老师提供  
高雷明: 男, 35 岁, 实验师  
收稿日期: 1998-11-27

1996 年为播种的实生苗羊草试验, 1997 年为移栽的羊草试验.

1996-04-20 将羊草种子播种于上口、下口直径和高分别为 25cm、18cm、20cm 的泥瓦盆内, 土壤为普通花卉土. 播种后即移入 2 个不同浓度的熏气室内, 出苗后于 05-09 日定苗, 每组 2 盆每盆 6 株(每组共 12 株). 1996-04 从内蒙古锡盟(中科院草原站)带客土移来多年生的羊草根茎, 每盆 4 株栽于大小同上的泥瓦盆内, 正常生长一年后于 1997-04-21 将其放入同上的熏气室内, 每组 3 盆每盆 4 株(每组共 12 株). 周 1、周 5 定株进行观测记录, 观测内容: 每株的物候、株高、分蘖及生长情况. 试验中羊草的

浇水、除草等管理条件相同.

## 2 试验结果

### 2.1 实验的环境条件

1996 年、1997 年的对照和 CO<sub>2</sub> 倍增熏气室内 CO<sub>2</sub> 浓度分别为  $350 \pm 37 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $700 \pm 41 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  和  $350 \pm 22 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $700 \pm 29 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1996 年生长季节对照和 CO<sub>2</sub> 倍增温度和相对湿度的月平均差为 0.201 和 1.36%, 1997 年生长季节对照和 CO<sub>2</sub> 倍增温度和相对湿度的月平均差为 0.22 和 1.52% (见表 1).

在 2 年的试验中, 对照和 CO<sub>2</sub> 倍增熏气

表 1 不同处理熏气室内的温度和相对湿度(1996~1997 年, 月平均)

时间/月	实生苗羊草 (1996 年)				移栽羊草 (1997 年)			
	温度/		相对湿度/%		温度/		相对湿度/%	
	对照	CO <sub>2</sub> 倍增	对照	CO <sub>2</sub> 倍增	对照	CO <sub>2</sub> 倍增	对照	CO <sub>2</sub> 倍增
5	22.17	22.15	80.60	84.50	20.80	20.3	67.38	67.41
6	23.73	24.18	87.80	88.20	23.23	23.51	70.09	72.85
7	26.00	26.50	79.80	84.10	24.80	25.30	84.18	85.03
8	25.32	25.81	85.10	85.40	23.76	24.04	82.43	84.86
9	17.30	17.76	78.70	81.20	17.41	17.90	74.72	77.05
10	15.72	16.17	73.50	70.30	14.37	14.82	75.92	73.22

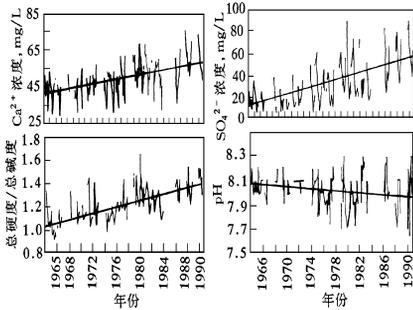
室内 CO<sub>2</sub> 浓度控制的比较好, 且 2 熏气室内的温度、相对湿度差值较小, 即对照和 CO<sub>2</sub> 倍增熏气室内的 CO<sub>2</sub> 浓度、温度、相对湿度、光照、灌水等环境条件和管理条件基本一致. 由此可以认为, 试验的实生苗羊草和移栽羊草的物候、生长等变化主要是由于 CO<sub>2</sub> 倍增引起的.

### 2.2 CO<sub>2</sub> 倍增对羊草物候期的影响

CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草各物候期的始末时间影响显著. 1996 年 CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草的试验: 从羊草种子播种到进入出苗期 CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组早 3d. 定苗后进入分蘖期和拔节期的时间 CO<sub>2</sub> 倍增组与对照组是相同的, 进入抽穗期、开花期、成熟期的时间 CO<sub>2</sub>

倍增组均比对照组提前 3d, 进入乳熟期的时间 CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组提前 4d, 即进入乳熟期的时间分别为 07-01 和 07-05, 进入黄熟期 CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组提早 6d, CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草后期生长的影响更明显; CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组早 7d 进入果后营养期, 而进入枯黄期的时间比对照组晚 7d. 从各物候期的持续时间统计结果看, CO<sub>2</sub> 倍增组的拔节期和开花期与对照组相近, 果后营养期比对照组长, 其它物候期的持续时间 CO<sub>2</sub> 倍增组均明显比对照组少(见图 1).

1997 年的试验结果表明, CO<sub>2</sub> 倍增对移栽羊草的物候期也有影响, 规律与 1996 年的实生苗羊草试验相似. 2 种浓度处理的羊草进



时间/期

1. CO<sub>2</sub> 倍增浓度下的移栽羊草物候谱
2. 对照的移栽羊草物候谱
3. CO<sub>2</sub> 倍增浓度下的实生苗羊草物候谱
4. 对照的实生苗羊草物候谱

图1 CO<sub>2</sub> 倍增条件下实生苗羊草和移栽羊草的物候谱

入分蘖期的时间相同, 而进入拔节期的时间 CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组早 1d, 进入抽穗期、开花期、乳熟期、成熟期的时间均比对照组提早 2d, 黄熟期相同, 果后营养期 CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组早 4d, 而进入枯黄期的时间却比对照组迟 2d(见图 1)。从各物候期的持续时间看, 只有抽穗期和黄熟期 CO<sub>2</sub> 倍增组与对照组相近, 果后营养期的持续时间 CO<sub>2</sub> 倍增组明显比对照组长, 其它物候期的持续时间均为对照组较 CO<sub>2</sub> 倍增组多。

CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草和移栽羊草的物候期均有影响, 但对移栽羊草的影响小一些, 如实生苗羊草进入果后营养期和枯黄期的时间 CO<sub>2</sub> 倍增组分别比对照组提早 7d 和延迟 7d, 而移栽羊草进入果后营养期和枯黄期的时间 CO<sub>2</sub> 倍增组只分别比对照组提早 4d 和延

迟 2d。CO<sub>2</sub> 倍增组羊草进入枯黄期的时间比对照组晚, 枯黄期的延迟也就是其生长期结束的时间延迟, 可见 CO<sub>2</sub> 倍增具有延长羊草生长期的作用, 而延长实生苗羊草生长期的时间比移栽羊草更明显。

### 2.3 CO<sub>2</sub> 倍增对羊草分蘖株生长的影响

研究 CO<sub>2</sub> 倍增对羊草分蘖株数量的影响, 以阐明羊草地上部和地下部的生长情况为目的。CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草分蘖株生长有显著影响。实生苗羊草总分蘖数 CO<sub>2</sub> 倍增组为对照组的 146.3%。从各个物候期的分蘖情况看; 拔节期 05-24 对照组分蘖数略高于 CO<sub>2</sub> 倍增组, 05-31 两组的分蘖数基本一致, 但到了拔节后期 CO<sub>2</sub> 倍增组的分蘖数却超过对照组, 如 06-07 对照组的羊草有 58% 的植株出现分蘖, 每株 1~2 株, 而 CO<sub>2</sub> 倍增组的羊草有 83% 的植株出现分蘖, 每株 1~3 株分蘖, 从开花期至黄熟期萌发的分蘖数 CO<sub>2</sub> 倍增组明显多于对照组, 如乳熟期 07-26 日对照组和 CO<sub>2</sub> 倍增组的羊草 100% 都长出分蘖, 但其分蘖数不同, 分别为 4~11 株和 5~18 株, 且 CO<sub>2</sub> 倍增组的分蘖株有部分开花抽穗, 即变化是一个渐进的过程。果后营养期分蘖逐渐减少, 但仍以 CO<sub>2</sub> 倍增组的分蘖数多于对照组(见表 2)。

CO<sub>2</sub> 倍增对移栽羊草分蘖的影响也是很明显的。CO<sub>2</sub> 倍增组总分蘖数为对照组的 119.2%, 且各个物候期的分蘖数均以 CO<sub>2</sub> 倍增组的高, 其中拔节期、抽穗期的分蘖数略高, 其它各物候期都比对照有明显的增多, 以成熟期和果后营养期最明显, 比相应的对照多 1 倍(见表 2)。

表 2 CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗和移栽羊草分蘖株数的影响/株

处理浓度	拔节期	抽穗期	开花期	乳熟期	黄熟期	成熟期	果后营养期	总分蘖株数
对照(实生苗)	16	19	33	12	10	3	2	95
倍增(实生苗)	15	36	38	17	22	7	4	139
对照(移栽)	18	52	21	39	35	14	3	182
倍增(移栽)	20	51	26	41	44	28	7	217

CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草和移栽羊草分蘖

的影响程度不同: 总分蘖数与相应的对照组相

比,实生苗羊草比移栽羊草多,分别为对照的146.3%和119.2%,对各物候期分蘖的影响,除开花期分蘖数 $\text{CO}_2$ 倍增处理的实生苗羊草大于移栽羊草外,其余各物候期的分蘖数均以移栽羊草的多。

#### 2.4 $\text{CO}_2$ 倍增对羊草生长高度的影响

从图2可以看出: $\text{CO}_2$ 倍增对羊草植株生长高度的影响十分明显,羊草的抽穗期至拔节期和果后营养期为2个生长的高峰期。实生苗羊草和移栽羊草整个生长期的平均株高 $\text{CO}_2$ 倍增组始终比对照组高(见图2)。

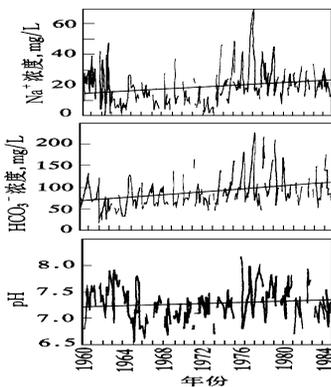


图2 实生苗羊草和移栽羊草在 $\text{CO}_2$ 倍增条件下的高生长曲线

实生苗羊草在出苗期 $\text{CO}_2$ 倍增组的长势就比对照组好,平均株高相差4cm。05-09定苗后进入第一个高生长的拔节期至抽穗期,这段时期日平均温度22.6,日平均相对湿

度69.9%,非常适宜羊草的生长,此时株高的生长量约占总株高的40%左右,同时出现生长高度差,如拔节期06-09平均株高 $\text{CO}_2$ 倍增组为30.1cm,比对照组高5.4cm。从开花期到成熟期是株高变化缓慢的时期(羊草生殖生长期),但2组的平均株高差仍在增大。8月底进入果后营养期,此时温度和相对湿度也适宜羊草的生长,出现第2个生长的高峰期, $\text{CO}_2$ 倍增组与对照组的植株高差增大至5.3cm~8.1cm,平均最大株高差为6.4cm。

$\text{CO}_2$ 倍增对移栽羊草生长高度的影响与对实生苗羊草的大致相同。只是移栽羊草 $\text{CO}_2$ 倍增组与对照组的平均株高差要小一些。

总之, $\text{CO}_2$ 倍增有促进羊草植株高生长的作用,但对羊草不同物候期高生长的影响并不相同,以拔节期、抽穗期和果后营养期的影响最明显。这除了受 $\text{CO}_2$ 浓度这个主要因子影响外,温度和相对湿度的变化因素也有一定影响。

#### 2.5 $\text{CO}_2$ 倍增对羊草生物量和抽穗的影响

(1) $\text{CO}_2$ 倍增对羊草生物量的影响  $\text{CO}_2$ 倍增的实生苗羊草和移栽羊草地上部、地下部和总生物量都比对照组增加,与相应的对照组相比移栽羊草地上部生物量的增长率比实生苗羊草略多,其分别为对照的115.7%和110.4%,地下部分生物量的增长率以实生苗羊草最大,为对照的148.9%(见表3)。

$\text{CO}_2$ 倍增对实生苗羊草和移栽羊草地上

表3  $\text{CO}_2$ 倍增对实生苗和移栽羊草生物量的影响/g

实验羊草	地上部分生物量	地上生物量与对照之比	地下部分生物量	地下生物量与对照之比	总生物量	总生物量与对照之比
实生苗羊草对照	9.13	100	7.13	100	16.26	100
实生苗羊草倍增	10.08	110.4	10.62	148.9	20.70	127.3
移栽羊草对照	8.28	100	8.30	100	16.58	100
移栽羊草倍增	9.58	115.7	9.19	110.7	18.77	113.2

部、地下部生物量都有明显增加,与相应的对照相比增长最多的是实生苗羊草地下部分的生物量。

(2) $\text{CO}_2$ 倍增对羊草抽穗的影响 从表4看出 $\text{CO}_2$ 倍增对实生苗羊草和移栽羊草的抽穗情况均有影响。实生苗羊草 $\text{CO}_2$ 倍增组和

对照组的主茎抽穗数相同,而分蘖株的抽穗数 CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组多 3 穗,其中分蘖株的成熟穗数 CO<sub>2</sub> 倍增组比对照组多 2 穗,总成熟穗数 CO<sub>2</sub> 倍增组为对照组的 133.3%。

移栽羊草 CO<sub>2</sub> 倍增组主茎抽穗数、分蘖株的抽穗数和分蘖株的成熟穗数都比对照组多,分别比对照组多 1 穗、8 穗、7 穗,总成熟穗数 CO<sub>2</sub> 倍增组为对照组的 157.1% (见表 4)。

表 4 CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗和移栽羊草抽穗的影响/枝

羊 草	浓 度	主茎成熟穗	分蘖株抽穗数	分蘖株成熟穗	总成熟穗比率%
实生苗羊草	对照组	5	2	1	100
	CO <sub>2</sub> 倍增组	5	5	3	133.3
移栽羊草	对照组	11	4	3	100
	CO <sub>2</sub> 倍增组	12	12	10	157.1

由此可见 CO<sub>2</sub> 倍增对实生苗羊草和移栽羊草的抽穗数(主茎抽穗数和分蘖株的抽穗数)均有增加作用,其中对移栽羊草的抽穗数影响比对实生苗羊草大。

上述说明在湿度、光照、水分等环境条件一致,可满足植物生长的基本要求时,CO<sub>2</sub> 倍增提高了羊草的光合作用,为其生长提供了物质基础,此外 CO<sub>2</sub> 倍增对植物具有施肥作用<sup>[4]</sup>,这些都可促进羊草的生长发育,使抽穗数和总成熟穗数增加,提高羊草的生物生产力。与前人的研究工作是相吻合的。

### 3 小结

(1) 无论是实生苗羊草还是移栽羊草对 CO<sub>2</sub> 倍增的反应均有提早进入各物候期和延长羊草生长期的作用,但对实生苗羊草物候期的反应比移栽羊草更敏感。

(2) CO<sub>2</sub> 倍增增加实生苗羊草和移栽羊草的植株高、分蘖株数、抽穗数、成熟穗数和生物量,CO<sub>2</sub> 倍增对移栽羊草抽穗数的增加比实生

苗羊草更明显。

(3) CO<sub>2</sub> 倍增对温带草原主要建群种羊草的物候期和生长的影响均属正效应。研究结果对该区其它草本植物也有参考价值。

### 参 考 文 献

- 1 林舜华, 项斌, 高雷明. CO<sub>2</sub> 倍增对几种植物的生态生理影响. 环境科学, 1995, 16(1): 1~4
- 2 项斌, 林舜华, 高雷明. 紫花苜蓿对 CO<sub>2</sub> 倍增的反应, 生态生理研究和模型拟合. 植物学报, 1996, 38(1) 63~71
- 3 高素华等. 温室效应对气候变化和农业的影响. 环境科学, 1991, 12(2): 73~76
- 4 林舜华, 项斌, 高雷明, 黄银晓. 辽东栎对大气 CO<sub>2</sub> 倍增的响应. 植物生态学报, 1997, 21(4): 297~303
- 5 杨持, 叶波, 张慧荣. 不同生境条件下羊草构件及羊草种群无性系分化. 内蒙古大学学报, 1996, 37(2): 422~426
- 6 杨允菲, 刘庚长, 张宝田. 羊草种群年龄结构及无性繁殖对策的研究. 植物学报, 1995, 37(2): 145~153
- 7 陈敏, 王艳华. 栽培条件下羊草生物学特性的观察. 草原生态系统研究(第一集). 北京: 科学出版社. 212~224
- 8 ИИ. 倍架芒著, 郑钧, 全康译, 李继侗校. 地植物研究中的物候学观察方法. 北京: 科学出版社, 1958. 17~60