

高 CO₂ 浓度下羊草对土壤干旱胁迫的响应*

高素华 郭建平

周广胜

(中国气象科学研究院 北京 100081)(中国科学院植物研究所 北京 100093)

摘要 在高 CO₂ 浓度下羊草对土壤干旱胁迫响应的人工模拟试验分析表明,CO₂ 浓度升高对羊草具有“施肥”效应,羊草生物量增加 20% 以上,光合速率提高 50% 左右,气孔阻力增大,蒸腾速率下降,水分利用效率提高,土壤干旱胁迫对羊草的影响为负效应,与此相反,高 CO₂ 浓度下发生土壤干旱胁迫一定程度抑制了 CO₂ 的施肥效应。

关键词 羊草 干旱胁迫 CO₂ 浓度倍增

Response of *Aneurolepidium chinense* on soil drought stress under high CO₂. GAO Su-Hua, GUO Jian-Ping (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081), ZHOU Guang-Sheng (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093), *CJEA*, 2002, 10(4): 31~33

Abstract The “applying fertilizer” effects of CO₂ enrichment on *Aneurolepidium chinense* are analyzed by using artificial simulation experiment. The results show that when the biomass is increased by above 20%, the photosynthesis rate is increased by about 50%, at the same time, stoma resistance enhanced, transpiration rate decreased and water use efficient heightened. The impacts of soil drought stress on *Aneurolepidium chinense* are negative, it is just opposite compared with CO₂ enrichment. The soil drought stress restrains the “applying fertilizer” effect on some degree under high CO₂ concentration.

Key words *Aneurolepidium chinense*, Drought stress, CO₂ concentration

CO₂ 浓度升高以及土壤干旱胁迫对羊草影响方面的研究目前尚未见报道。为此,人工模拟试验研究了高 CO₂ 浓度条件下发生土壤干旱胁迫时羊草对 CO₂ 浓度升高和土壤干旱胁迫的响应,为监测与预测东北样带生态群落的变化和羊草草原的利用提供理论依据。

1 试验材料与方法

试验在黑龙江省农业科学院人工气候室内进行,室内温度、湿度和日照均自动控制,人工气候室结构和性能参见文献[8],CO₂ 浓度采用日本 Fushi 公司生产的 ZSD CO₂ 分析仪监测,并自动控制在一定的误差范围内(约 20 μmol/mol),光合作用速率、气孔阻力和蒸腾速率等利用美国 Licor 公司生产的 Li-6200 光合作用系统测定。试验材料分别取自位于松嫩平原的长岭草原站和内蒙古自治区半干旱草原锡林浩特草原站羊草群落(以下分别简称长岭羊草和锡林浩特羊草),2000 年 5 月 11 日将 2 个草原站带土羊草移植到黑龙江省农业科学院作物栽培研究所采用盆栽,盆直径 33cm,高 26cm,6 月初移植于人工气候室内开始试验,10 月中旬试验结束。试验设计 CO₂ 浓度为 650~700 μmol/mol,以室外大气 CO₂ 浓度约为 350 μmol/mol 为对照,土壤湿度分别为田间持水量的 30%~45%、田间持水量的 45%~60%,以田间持水量的 60%~80% 为对照(以下分别简称土壤湿度 30%~45%、45%~60%、60%~80%)。试验分别在 7 月 17 日、8 月 15 日、9 月 14 日、10 月 16 日取样观测羊草株高、绿叶数、黄叶数、茎数、叶干物质量、茎干物质量、根干物质量、根冠比、叶绿素含量等,并用 Li-6200 光合作用系统测定叶片光合作用速率、蒸腾速率、气孔阻力等,每次测定 3~6 个重复,取平均值进行分析。

2 结果与分析

2.1 羊草对 CO₂ 浓度升高的响应

羊草生物量随 CO₂ 浓度的升高而增加(见表 1),当 CO₂ 浓度升高 1 倍时长岭羊草总生物量比对照增加

* 国家重点基础研究发展(973)规划项目(G1999043407)资助

收稿日期:2002-03-06 改回日期:2002-04-08

40.9%,根增加35.1%,茎和叶分别增加27.5%和57.7%,根冠比增加13.8%,叶生物量增加最为明显,对

表 1 CO₂ 浓度升高对羊草生物量的影响(09-14,土壤湿度 60%~80%)

Tab.1 Impacts of CO₂ enrichment on biomass of *Aneurolepidium chinensis* under 60%~80% soil water capacity(Sept.14)

CO ₂ 浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	品 种	总生物量/g	根生物量/g	茎生物量/g	叶生物量/g	根冠比
CO ₂ concentration	Varieties	Total biomass	Root biomass	Stalk biomass	Leaf biomass	Root/Canopy
700	长 岭	26.42	9.12	6.81	10.49	0.486
	锡林浩特	42.00	12.53	13.57	15.90	0.408
350	长 岭	18.74	6.75	5.34	6.65	0.427
	锡林浩特	26.91	6.32	9.58	11.01	0.322

牧业生产十分有利。锡林浩特羊草比长岭羊草对 CO₂ 浓度的升高更为敏感,锡林浩特羊草生物量除叶外,其他增加幅度均大于长岭羊草,且根的增加最为明显,增

加了近 1 倍,根冠比的增加比长岭羊草大 1 倍,说明 CO₂ 浓度的升高对同一植物不同品种的影响程度存在较大差异。CO₂ 浓度升高减少了黄叶率,延长了功能叶进行光合作用的时间,为生物量的增加创造了条件。据 7 月 17 日对长岭羊草的测定表明,CO₂ 浓度为 700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 时黄叶率为 5.6%,对照为 9.1%;9 月 14 日 CO₂ 浓度为 700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 时黄叶率为 10.1%,对照为 25.2%。CO₂ 浓度对羊草株高的影响十分明显(见表 2),高 CO₂ 浓度下株高增加十分明显,7 月 17 日高达 76.4%,8 月 31 日为 43.5%。2000 年 9 月 13 日测定的光合作用速率结果见图 1,图 1 表明 5 个时次均以高 CO₂ 浓度处理的羊草光合作用速率明显高于对照,CO₂ 浓度的升高使光合作用速率提高,有利于干物质的积累。CO₂ 浓度升高使气孔阻力增加,蒸腾速率下降,水分利用效率提高,长岭羊草在不同 CO₂ 浓度下气孔阻力变化见表 3,从 10 月 17 日 6 个时次平均值来看,700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ CO₂ 浓度时的气孔阻力比对照增加 98.2%,而蒸腾速率减少了 30.2%(见表 3)。

表 2 CO₂ 浓度对长岭羊草株高的影响(土壤湿度 60%~80%)

Tab.2 Impacts of CO₂ concentration on plant height of *Aneurolepidium chinensis* under 60%~80% soil water capacity

CO ₂ 浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	株高/cm Height						
	日期(月-日) Date(month-day)						
CO ₂ concentration	07-17	07-27	08-03	08-10	08-17	08-24	08-31
700	86.88	88.01	89.20	90.13	91.14	94.93	96.57
350	49.25	53.21	60.00	61.29	62.00	65.00	67.28

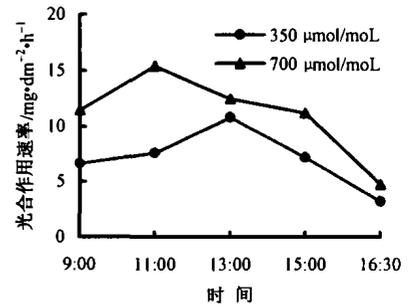


图 1 CO₂ 浓度与锡林浩特羊草光合作用速率的关系(土壤湿度 60%~80%)

Fig.1 Effects of CO₂ concentration on photosynthesis rate of *Aneurolepidium chinensis* in Xilinhaote under 60%~80% soil water capacity

表 3 CO₂ 浓度升高对长岭羊草气孔阻力与蒸腾速率的影响(10-17,土壤湿度 60%~80%)

Tab.3 Impacts of CO₂ concentration on stomatal resistance and transpiration rate of *Aneurolepidium chinensis* in Changling under 60%~80% soil water capacity

CO ₂ 浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	气孔阻力/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ Stomatal resistance							蒸腾速率/ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ Transpiration rate							
	时间 Times							平均	时间 Times						
CO ₂ concentration	6:00	7:30	10:30	12:00	13:30	15:30	Average	6:00	7:30	10:30	12:00	13:30	15:30	Average	
700	7.42	17.20	6.89	9.48	11.80	8.35	10.19	0.579	0.228	1.855	1.347	0.778	1.423	1.04	
350	4.55	5.10	3.83	5.98	4.60	6.80	5.14	0.762	0.736	2.342	1.674	1.605	1.811	1.49	

2.2 羊草对土壤干旱胁迫的响应

随土壤干旱胁迫程度的加大羊草生物量减少也随之加大(见表 4),土壤湿度分别为 30%~45%、45%~60%时锡林浩特羊草总生物量比对照分别减少 43.6%、15.6%,根分别减少 40.5%、28.3%,茎分别减少 38.5%、6.8%,叶分别减少 50.0%和 11.3%;而长岭羊草总生物量分别减少 37.1%和 15.2%,根冠比分别增加 34.6%和 15.3%,表现了植物为适应生境的自我调节功能。土壤干旱胁迫使羊草光合作用速率降低,土壤湿度 60%~80%时锡林浩特羊草平均光合速率为 12.67 $\text{mg}/\text{dm}^2\cdot\text{h}$,土壤湿度为 45%~60%时为 8.06 $\text{mg}/\text{dm}^2\cdot\text{h}$ 。发生土壤干旱胁迫时羊草叶片气孔阻力增大,气孔开张度变小,蒸腾速率下降(见图 2),土壤湿度由 60%~80%降至 45%~60%时,气孔阻力增加 86.5%,蒸腾速率下降 88.7%;土壤湿度降至 30%~45%

时,气孔阻力增大 8 倍,蒸腾速率下降 77.7%。

高 CO₂ 浓度下羊草对土壤干旱胁迫的响应,相同土壤湿度下高 CO₂ 浓度均比低 CO₂ 浓度的羊草生物量大(见表 5),3 种土壤湿度总生物量分别增加 23.20%、15.40% 和 37.77%;根、茎、叶呈相同趋势,根冠比明

显提高,且高 CO₂ 浓度下各土壤湿度间根冠比的变化大于低 CO₂ 浓度下的变化,故高 CO₂ 浓度下发生土壤干旱胁迫后通过提高羊草根冠比来减少干旱的危害,增强自身抗逆性,高 CO₂ 浓度下羊草对土壤干旱胁迫更敏感,土壤湿度 30%~46% 比土壤湿度 60%~80% 时总生物量下降 52.7%,而低 CO₂ 浓度时仅下降 47.1%,发生土壤干旱胁迫时抑制了 CO₂ 的施肥效应。锡林浩特羊草在 CO₂ 浓度 700 μmol/mol 和

表 4 不同土壤湿度下羊草生物量的变化(10-16, CO₂ 浓度为 350 μmol/mol)

Tab.4 Biomass changes of *Aneurolepidium chinensis* in different soil moisture under 350 μmol/mol CO₂

土壤湿度/%	品种	总生物量/g	根生物量/g	茎生物量/g	叶生物量/g	根冠比
Soil moisture	Varieties	Total biomass	Root biomass	Stem biomass	Leaf biomass	Root/Canopy
30~45	锡林浩特	18.52	7.30	5.01	6.21	0.650
	长岭	24.86	7.60	7.82	9.88	0.405
45~60	锡林浩特	27.72	8.80	7.60	11.02	0.465
	长岭	33.52	8.64	9.93	14.95	0.347
60~80	锡林浩特	32.84	12.27	8.15	12.42	0.596
	长岭	39.53	9.15	12.94	17.44	0.301

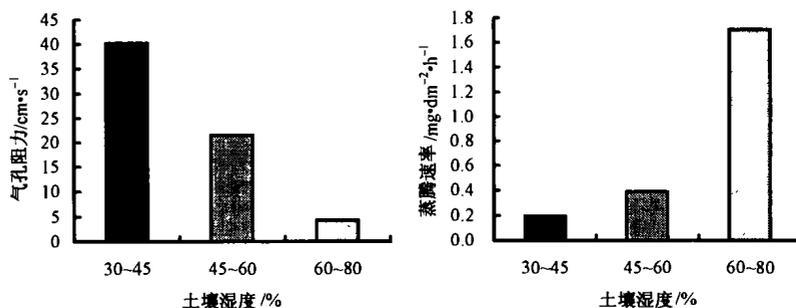


图 2 不同土壤湿度对长岭羊草气孔阻力(a)和蒸腾速率(b)的影响

Fig.2 Impacts of soil moisture on stomatal resistance and transpiration of *Aneurolepidium chinensis* in Changling

表 5 高 CO₂ 浓度下土壤干旱胁迫对长岭羊草生物量的影响(09-14)

Tab.5 Impacts of soil drought stress on biomass of *Aneurolepidium chinensis* under doubled CO₂ content

土壤湿度/%	总生物量/g		叶生物量/g		茎生物量/g		根生物量/g		根冠比	
	Total biomass	Leaf biomass	Stem biomass	Root biomass	Root/Canopy					
Soil moisture	CO ₂ 浓度/μmol·mol ⁻¹ CO ₂ concentration									
	700	350	700	350	700	350	700	350	700	350
30~45	20.2	16.4	5.08	4.63	6.11	5.71	9.01	4.06	0.703	0.329
45~60	29.9	25.9	11.94	10.71	9.91	8.05	9.26	5.87	0.449	0.294
60~80	42.7	31.0	17.58	14.71	13.44	9.96	11.68	6.37	0.337	0.258

45%~60%、60%~80%)下 CO₂ 浓度为 700 μmol/mol 时,羊草蒸腾速率分别为 0.302 mg/dm²·h、0.432 mg/dm²·h 和 0.602 mg/dm²·h; CO₂ 浓度为 350 μmol/mol 时,羊草蒸腾速率分别为 0.62 mg/dm²·h、1.20 mg/dm²·h 和 1.54 mg/dm²·h。

3 小结

本试验初步得出羊草对 CO₂ 浓度升高的响应表现积极,其生物量均增加 20% 以上,光合作用速率平均提高 50% 以上,高 CO₂ 浓度下气孔阻力增大,蒸腾速率减少,水分利用效率提高;土壤干旱胁迫降低了羊草生物量,且随干旱胁迫的加重其降低幅度增加,干旱胁迫使光合作用速率下降,叶片气孔阻力增加,蒸腾速率下降,羊草生物量减少;羊草对高 CO₂ 浓度下发生土壤干旱胁迫的响应表现较复杂,干旱胁迫造成羊草生物量的减少,即使高 CO₂ 浓度下也表现生物量减少,其减少幅度小于低 CO₂ 浓度时,而光合速率、蒸腾速率的变化趋势与生物量的变化趋势相一致,干旱胁迫限制了 CO₂ 的施肥效应,干旱胁迫程度越重,其抑制作用越明显。

参 考 文 献

1 高素华,郭建平,张国民等. 低温对玉米幼苗生理反应的影响. 应用气象学报,1999,10(2):238~242

土壤湿度 60%~80% 时其光合速率为 12.67 mg/dm²·h,而 CO₂ 浓度为 350 μmol/mol 时为 8.07 mg/dm²·h;土壤湿度降至 45%~60%、CO₂ 浓度为 700 μmol/mol 时其光合速率为 10.04 mg/dm²·h,而 CO₂ 浓度为 350 μmol/mol 时为 6.54 mg/dm²·h。在 3 种土壤湿度(30%~45%、