

紫外线(UV-C)辐射对早熟禾生理特性的影响

王 艳¹, 王兰兰¹, 马莲菊¹, 陶思源², 代保清³, 于 龙²

(1.沈阳师范大学化学与生命学院, 辽宁 沈阳 110034; 2.沈阳师范大学实验中心, 辽宁 沈阳 110034; 3.沈阳市园林规划设计院, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要:采用室内盆栽试验方法研究了不同时间紫外线 UV-C 辐射后, CO₂ 浓度增加、光合有效辐射变化对早熟禾 (*Poa pratensis*) 生理特性的影响。结果表明, UV-C 辐射对早熟禾的净光合速率产生了明显的抑制作用, 而且随辐射时间的延长, 抑制作用增大。在 1 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光合有效辐射条件下, 早熟禾净光合速率较 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光合有效辐射的净光合速率降低。CO₂ 浓度增加可使早熟禾净光合速率增加。Logistic 模拟分析表明, 在 CO₂ 浓度不断增加条件下, 早熟禾的最大净光合速率随 UV-C 辐射时间的延长下降, 而且在强光下其最大值具有降低的趋势。相关分析表明, UV-C 辐射是导致早熟禾气孔下降的主要因素, 与 CO₂ 浓度增高相关性较低。蒸腾速率的变化规律与气孔导度相同。

关键词:早熟禾; CO₂ 浓度; UV-C 辐射; 光合有效辐射; 净光合速率

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)01-0116-05

Effects of Enhanced UV-C Radiation on Photosynthetic Characteristics of *Poa pratensis*

WANG Yan¹, WANG Lan-lan¹, MA Lian-ju¹, TAO Si-yuan², DAI Bao-qing³, YU Long²

(1. Chemical and Life Science of Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China; 2. Experimental Center of Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China; 3. Gardening Programming Design Institute of Shenyang City, Shenyang 110016, China)

Abstract: The physiological characteristics of *Poa pratensis* were studied under different CO₂ concentrations and different net photosynthetic radiation after enhanced UV-C radiation in pot experiments. The net photosynthetic rate obviously decreased under UV-C radiation and the inhibition increased as the increasing of radiation time. The net photosynthetic rate under the active photosynthetic radiation of 1 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ was lower than that of 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The increasing of CO₂ concentration could enhance the net photosynthetic rate after UV-C radiation. The simulating analysis by logistic equation showed that the maximal net photosynthetic rate decreased with the radiation time of UV-C when the CO₂ concentration increased and the maximum of net photosynthetic rate decreased under high active photosynthetic radiation. UV-C radiation led to the decreasing of stomatic conductivity and correlation value was low between CO₂ concentration and stomatic conductivity. Evaporation rate had the same tendency with stomatic conductivity.

Keywords: *Poa pratensis*; CO₂ concentration; UV-C radiation; active photosynthetic radiation; net photosynthetic rate

人类活动导致全球变化, 其中 CO₂ 浓度升高和臭氧层的破坏导致紫外线对地球的辐射增强是两个非常重要的变化。据估计, 大气中 CO₂ 浓度正以 1.5 $\mu\text{mol}\cdot(\text{mol}\cdot\text{a})^{-1}$ 的速度增加, 到 2100 年将升高到 700

$\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ^[10,17]; 今后 60 年内全球大气臭氧浓度将减少 2%~10%^[8], 从而导致紫外线辐射的增加, 这将对环境和生物产生深远影响。到目前为止, 植物分别对增强的 UV-B 辐射和高浓度 CO₂ 的响应已有不少研究^[5,9,14,15]。随着臭氧层的破坏, 在 UV-B 辐射增强的同时也将伴随一定量的 UV-C 辐射到达地表。关于 UV-C 对微生物 DNA 损伤已有大量研究。杜英君等^[2]研究认为 UV-C 辐射降低紫杉活性氧清除系统的清除能力, 导致丙二醛含量和膜相对透性增加, 光系统

收稿日期: 2007-01-09

基金项目: 辽宁省博士启动基金 (20031029); 国家自然科学基金 (30570445); 沈阳师范大学博士启动基金; 沈阳师范大学主任基金

作者简介: 王 艳(1970—), 女, 辽宁昌图人, 博士, 副教授, 主要从事环境生态研究。E-mail: wyancn2002@yahoo.com.cn

II 电子传递活性显著下降。Borochov 等^[2]发现用 $18 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 剂量的 UV-C(254 nm)照射康乃馨几小时后,即可见到花瓣皱褶,同时质膜 ATP 酶活性和膜脂流动性降低。目前有关 UV-C 对植物光合响应的研究很少,本文以北方常用的草坪植物早熟禾(*Poa pratensis*)为材料,采用紫外线(UV-C)辐射后 CO_2 浓度变化、光合有效辐射变化对植物的影响开展研究,为探讨紫外辐射的伤害机制提供依据。

1 材料与处理方法

1.1 试验材料

选取沈阳师范大学草坪试验园内 ($\text{N}41^\circ 54'$, $\text{E}123^\circ 24'$, 海拔为 50 m)已经种植 3 年的生长状态良好的早熟禾,移植到花盆中,在实验室内培养 1 周使其达到旺盛生长状态,室内温度约 20°C 。

1.2 UV-C 辐射处理

将草坪草置于灭菌灯下,波长为 254 nm、辐射强度为 $12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 紫外灯下,叶片距离灯管高度为 30 cm,辐射剂量为 $0.5 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。设 5 个照射时间梯度,分别为 2、4、6、8、10 h,同时设对照 (CK),每处理 3 盆。

1.3 对经 UV-C 照射的早熟禾叶片在不同 CO_2 浓度下的光合相关指标的测定

用美国产 LI-6400 光合作用分析仪测定。测定用叶片选取倒数第三片叶,测定项目包括早熟禾净光合速率($P_n, \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率($E_{tr}, \text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度($G_s, \text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度($C_i, \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)等。

CO_2 浓度的控制:仪器配备 CO_2 注入系统,具体做法是:将释放 CO_2 的小钢瓶,安装在控制台的左侧两个化学过滤管之间,在仪器程序中设定叶室中 CO_2 浓度为 0、180、360、540、720、900、1 080 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。光合仪的流速设定为 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 。采取仪器稳态时程序自动采集数据,每 2 个数据的时间间隔不小于 120 s,叶室湿度 40%,温度为 22°C 。

测定时使用仪器配备有人工红蓝光源的密闭叶室,不受外界光线的影响。模拟晴天和阴天时的光照强度,分别设定光合有效辐射强度为 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,以分析比较不同光合有效辐射强度下 UV-C 及 CO_2 浓度对早熟禾光合的影响。测定结果用 Excel 和 DPS 数据处理系统软件进行分析。采用 P_n-C_i 的线性关系计算羧化效率和 CO_2 补偿点,直线的斜率即羧化效率。用 Logistic 拟合曲线估计净

光合速率饱和值。

2 结果与分析

2.1 早熟禾净光合速率的反应

由图 1 和图 2 可见,各处理早熟禾净光合速率在不同有效辐射强度下均随 CO_2 浓度增加而增加,在 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光合有效辐射下,净光合速率与 CO_2 浓度之间的相关系数分别为 0.725 8、0.757 4。可见在低光强下,早熟禾的净光合速率与 CO_2 浓度之间的相关性更强。在 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光合有效辐射下,各处理在 CO_2 浓度达到 720 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后增加缓慢,而在 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光合有效辐射下,各处理在 CO_2 浓度达到 900 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后才减缓。Cure 等^[3]提出,短期内 CO_2 倍增可使 C_3 作物的光合速率平均提高 52%。本研究结果表明早

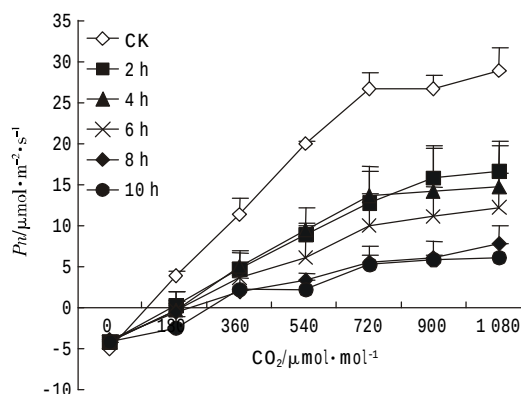


图 1 UV-C 照射及 CO_2 浓度复合变化对早熟禾净光合速率的影响(光合有效辐射强度 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Figure 1 Effect of UV-C radiation and CO_2 concentration on the net photosynthetic rate of *Poa pratensis* exposed to $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ active photosynthetic radiation

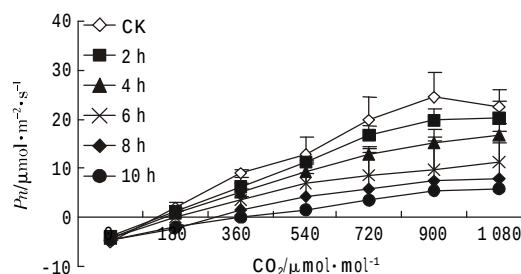


图 2 紫外线照射及 CO_2 浓度复合变化对早熟禾净光合速率的影响(光合有效辐射强度 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Figure 2 Effect of UV-C radiation and CO_2 concentration on the net photosynthetic rate of *Poa pratensis* exposed to $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ active photosynthetic radiation

早熟禾对 CO_2 浓度升高反应非常敏感。当 CO_2 浓度从 $360 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 倍增到 $720 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,各处理的净光合速率均增高 2 倍以上。

紫外线辐射对早熟禾的净光合速率产生了明显的抑制作用,与对照相比,UV-C 辐射明显降低了早熟禾的净光合速率,而且随着 UV-C 照射时间的延长降低幅度增大,这种变化规律在弱光辐射即 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 条件下的变化趋势更明显,说明弱光下 UV-C 对早熟禾净光合速率的抑制更具有规律性。

不同光合有效辐射条件下,对各 UV-C 辐射处理的 Logistic 曲线模拟表明(表 1),随 UV-C 辐射时间的延长,早熟禾的最大净光合速率下降,而且除了对照外在强光下其饱和值具有降低的趋势,这与实际的测定结果是相符的。

比较图 1 和图 2 可见,CK 在光合有效辐射为 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,各 CO_2 浓度梯度下的净光合速率均高于 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的净光合速率,但经 UV-C 照射后,早熟禾在 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光合有效辐射下的早熟禾净光合速率却较 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时降低,说明强光对经过 UV-C 辐射的早熟禾的净光合速率存在一定的抑制作用。

2.2 早熟禾气孔导度的反应

气孔是 CO_2 进出叶片的通道,气孔导度的下降会在一定程度上导致早熟禾的净光合速率下降。一般认为, CO_2 单因子浓度增加可导致气孔导度减小^[3]。研究表明,早熟禾气孔导度与 CO_2 浓度之间的相关系数较低,说明 CO_2 浓度增高不是早熟禾气孔导度下降的主导因素,UV-C 辐射才是导致早熟禾气孔导度下降的关键因子。从图 3、4 可见,不同 UV-C 照射处理的

早熟禾气孔导度发生了明显的变化,对照的气孔导度最高,其他各处理的基本变化规律是随着处理时间的延长,气孔导度呈降低趋势。从图中还可见当光合有效辐射为 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,早熟禾气孔导度随 UV-C 辐射时间不同出现不规则波动,而且气孔导度下降幅度更大。

2.3 早熟禾蒸腾速率的反应

由图 5、6 可见,在光合有效辐射强度为 800 和 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 条件下,早熟禾的蒸腾速率均随 UV-C 辐射时间的延长而降低,尤其是 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时这种规律更明显,但在 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 条件下,经相同时间 UV-C 辐射的早熟禾蒸腾速率比 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时下降更多。由表 2 可知,在 2 个光合有效辐射梯度下,蒸腾速率与净光合速率之间的相关系数均为 0.58 以上,与气孔导度的相关系数达 0.99 以上,可见蒸腾速率的变化与气孔导度密切相关,而蒸腾速率的下降必将影响早熟禾的光合作用。

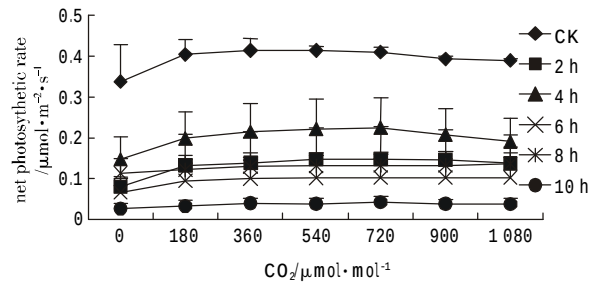


图 3 紫外线照射及 CO_2 浓度复合变化对早熟禾气孔导度的影响(光合有效辐射强度 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Figure 3 Effect of UV-C radiation and CO_2 concentration on stomatic conductivity of *Poa pratensis* at $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of active photosynthetic radiation

表 1 不同光合有效辐射强度下 UV-C 辐射和 CO_2 浓度变化对早熟禾净光合速率最大值的模拟

Table 1 The simulated maximum values of Pn of *Poa pratensis* exposed to different CO_2 concentrations and UV-C radiations

处理		Logistic 拟合曲线	相关系数 R
800 μmol • m ⁻² • s ⁻¹	CK	$Pn=23.841\ 6/[1+\text{EXP}(3.721\ 3-0.007\ 627\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.939 3
	2 h	$Pn=20.213\ 0/[1+\text{EXP}(3.961\ 8-0.007\ 922\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.961 8
	4 h	$Pn=15.921\ 0/[1+\text{EXP}(3.921\ 7-0.007\ 962\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.947 4
	6 h	$Pn=10.151\ 9/[1+\text{EXP}(4.589\ 1-0.010\ 141\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.763 1
	8 h	$Pn=7.376\ 7/[1+\text{EXP}(5.958\ 2-0.011\ 543\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.639 0
	10 h	$Pn=5.963\ 9/[1+\text{EXP}(6.599\ 6-0.009\ 762\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.793 0
1 600 μmol • m ⁻² • s ⁻¹	CK	$Pn=27.895\ 6/[1+\text{EXP}(3.758\ 7-0.009\ 057\text{CO}_2\text{S})]$	0.976 0
	2 h	$Pn=16.384\ 1/[1+\text{EXP}(4.166\ 4-0.0079\ 89\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.917 2
	4 h	$Pn=14.423\ 6/[1+\text{EXP}(4.705\ 6-0.010\ 278\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.960 0
	6 h	$Pn=11.761\ 9/[1+\text{EXP}(4.468\ 9-0.008\ 710\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.749 6
	8 h	$Pn=7.164\ 3/[1+\text{EXP}(4.717\ 8-0.008\ 378\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.869 5
	10 h	$Pn=6.159\ 1/[1+\text{EXP}(5.696\ 5-0.0100\ 56\ \text{CO}_2\text{S})]$	0.820 2

注: CO_2S 代表 CO_2 浓度。

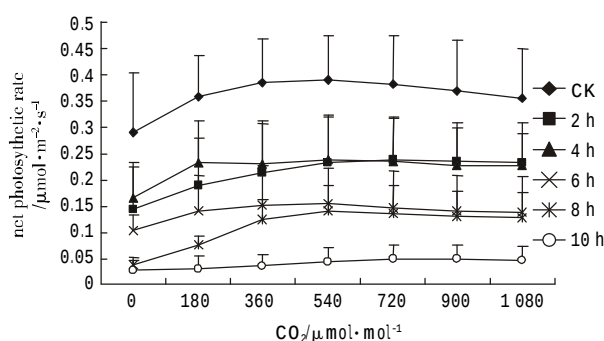


图 4 紫外线照射及 CO_2 浓度变化对早熟禾气孔导度的影响
(光合有效辐射强度 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Figure 4 Effect of UV-C radiation and CO_2 concentration on stomatic conductivity of *Poa pratensis* at $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of active photosynthetic radiation

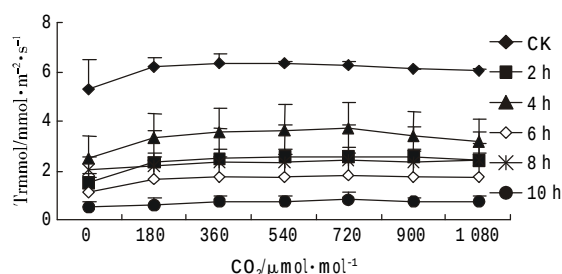


图 5 紫外线照射及 CO_2 浓度复合变化对早熟禾蒸腾速率的影响
(光合有效辐射强度 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Figure 5 Effect of UV-C radiation and CO_2 concentration on the evaporation rate of *Poa pratensis* at $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of active photosynthetic radiation

2.4 不同光合有效辐射强度下早熟禾各处理 CO_2 补偿点比较

羧化效率表示植物对进入叶片细胞间隙 CO_2 的同化状况。叶片的羧化效率越高,说明光合作用对 CO_2 的利用就越充分^[1]。由表 3 可见,早熟禾的羧化效率较低,各处理均未达到 0.04,表现出典型的 C_3 植物的特征,远远低于 C_4 植物的羧化效率(如地毯草 $\text{CE}=0.2539$;狼尾草 $\text{CE}=0.12349$)^[4,6]。

C_3 植物的 CO_2 补偿点一般在 $30\sim70 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$

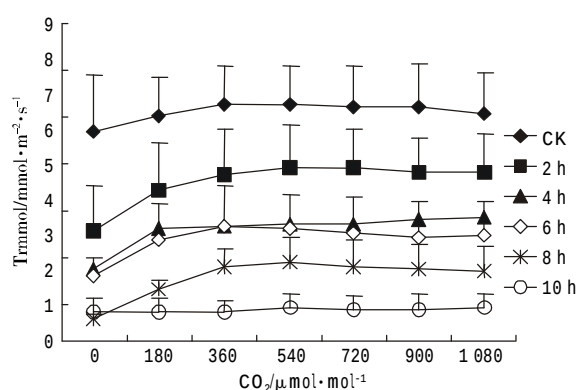


图 6 紫外线照射及 CO_2 浓度变化对早熟禾蒸腾速率的影响
(光合有效辐射强度 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Figure 6 Effect of UV-C radiation and CO_2 concentration on the evaporation rate of *Poa pratensis* at $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of active photosynthetic radiation

之间,由表 3 可见,对照组早熟禾在 $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光合有效辐射强度下的 CO_2 补偿点为 $35.9817 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,而在 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光合有效辐射条件下则升高到 $96.5352 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,说明光合有效辐射强对于提供早熟禾的 CO_2 利用效率有利。在 2 个光合有效辐射条件下,早熟禾的表现基本上是随 UV-C 辐射时间的延长,羧化效率下降, CO_2 补偿点上升。

3 讨论

本研究发现,UV-C 对早熟禾光合系统的伤害随时间延长而加重,具体体现在净光合速率下降,蒸腾速率和气孔导度、光饱和点和 CO_2 补偿点均降低。其机理有些文献也有一定的分析,如李雪梅等^[7]认为随着 UV-C 辐射时间的延长,豌豆幼苗光合速率逐渐降低,可能由于植物抗氧化酶系统遭到破坏,引起膜脂过氧化而损伤光合器官,导致光合作用过程中关键步骤羧化效率的降低,导致叶肉细胞不能迅速同化胞间 CO_2 浓度、反馈调节气孔,使气孔导度快速降低。许多研究也表明,UV-B 辐射能使许多植物的净光合速率降低,Brandle^[12] 认为 UV-B 辐射能降低某些作物的

表 2 不同光合有效辐射强度下受 UV-C 胁迫的早熟禾蒸腾速率与气孔导度和净光合速率之间的相关系数

Table 2 Correlations of evaporation rate with stomatic conductivity (Gs) and net photosynthetic rate(Pn) of *Poa pratensis* exposed to UV-C radiation and different active photosynthetic radiations

光合有效辐	相关系数	CK	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	平均
$800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	Gs-Tr	0.997 4	0.998 5	0.999 5	0.999 7	0.999 8	0.999 8	0.999 1
	Pn-Tr	0.606 9	0.863 7	0.582 3	0.679 2	0.858 7	0.864 3	0.739 2
$1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	Gs-Tr	0.985	0.999 5	0.999 3	0.999 5	0.998 7	0.998	0.996 7
	Pn-Tr	0.731	0.820 2	0.626 7	0.668 7	0.891 4	0.831 5	0.761 6

表 3 UV-C 辐射及不同强度光合有效辐射下早熟禾羧化效率及 CO₂ 补偿点的变化Table 3 CE and compensation point of CO₂ of Poa pratensis exposed to UV-C radiation and different active photosynthetic radiations

处理	回归方程	相关系数 <i>R</i>	羧化效率	CO ₂ 补偿点/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$
800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光合有效辐射条件下				
CK	$Pn=-3.156\ 7+0.032\ 7Ci$	0.930 7	0.032 7	96.535 2
2 h	$Pn=-3.439\ 4+0.030\ 1Ci$	0.956 2	0.030 1	114.265 8
4 h	$Pn=-3.019\ 4+0.023\ 5Ci$	0.949 9	0.023 5	128.485 1
6 h	$Pn=-2.770\ 1+0.016\ 6Ci$	0.739 8	0.016 6	166.873 5
8 h	$Pn=-3.245\ 9+0.011\ 9Ci$	0.515 8	0.011 9	272.764 7
10 h	$Pn=-4.359\ 6+0.011\ 1Ci$	0.621 8	0.011 1	392.756 8
1 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 条件下				
CK	$Pn=-1.374\ 5+0.038\ 2Ci$	0.940 5	0.038 2	35.981 7
2 h	$Pn=-4.639\ 7+0.028\ 7Ci$	0.936 9	0.028 7	161.662 0
4 h	$Pn=-3.162\ 0+0.022\ 9Ci$	0.942 9	0.022 9	138.078 6
6 h	$Pn=-3.753\ 4+0.020\ 9Ci$	0.724 3	0.020 9	179.588 5
8 h	$Pn=-3.059\ 7+0.012\ 1Ci$	0.925 5	0.012 1	252.867 8
10 h	$Pn=-3.946\ 8+0.013\ 4Ci$	0.643 9	0.013 4	249.537 3

Hill反应活力,增加暗呼吸,使净光合速率下降。

有研究表明,植物生长对 UV-B 辐射和 CO₂ 浓度变化的响应通常是反向的,Teramura^[6]发现 CO₂ 浓度提高对水稻生长的促进和产量的提高被 UV-B 辐射的增加抵消了。本研究表明,CO₂ 浓度升高不能抵消 UV-C 辐射对早熟禾光合及相关作用所产生的负面效应,即受到辐射后,早熟禾在高浓度的 CO₂ 条件下,其净光合速率也不能达到与对照相同的水平。但 CO₂ 浓度升高可能在一定程度上对净光合速率有补偿作用,表现在随 CO₂ 浓度升高,早熟禾净光合速率也有升高趋势,这与 Bjorn^[11]等的研究结果类似。受到辐射后,早熟禾的净光合速率依然呈现随 CO₂ 浓度的增加而升高的趋势,但在相对较强的光合有效辐射下,早熟禾的光合特性变化不规律,净光合速率下降更多,其机理仍有待深入研究。

参考文献:

- [1] 董晓颖,李培环,王永章.水分胁迫对不同生长类型桃叶片水分蒸发效率和羧化效率的影响[J].灌溉排水学报, 2005,24(5): 67-69.
- [2] 杜英君,姜 萍,王 兵. UV-C 对紫杉针叶叶绿体膜脂过氧化及 PS II 电子传递活性的影响[J].应用生态学报, 2003, 14(8): 1218-1222.
- [3] 冯虎元,徐世健,王勋陵.增强的 UV-B 辐射和其它因子的相互作用对植物的影响[J].植物生理学通讯, 2000,36(6):557-562.
- [4] 郭志华,张宏达,李志安.鹅掌楸(Liriodendron chinense)苗期光合特性的研究[J].生态学报,1999,19(2):164-169.
- [5] 蒋高明,韩兴国.大气 CO₂ 浓度升高对植物的直接影响——国外十余年来模拟实验研究之主要手段及基本结论 [J]. 植物生态学报, 1997,21(4):489-502.
- [6] 巨关升,武菊英,赵军锋.观赏狼尾草光合特性的研究[J].核农学报, 2005,19(6):451-455.
- [7] 李雪梅,张利红,马莲菊,等.不同 UV-C 辐射时间对豌豆幼苗光合特性及抗氧化酶活性的影响[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):34-37.
- [8] 梁婵娟,陶文沂,周 青. UV-B 辐射增强的环境植物学效应研究[J].中国生态农业学报,2004,12(4):40-42.
- [9] 王勋陵.增强紫外 B 辐射对植物及生态系统影响研究的发展趋势 [J].西北植物学报,2002,22(3):670-681.
- [10] Amther J S. Respiration in a future, higher-CO₂ world[J]. Plant Cell Environ,1991, 14:13-20.
- [11] Bjorn L O. Effects of ozone depletion and increased UV-B on terrestrial ecosystem[J]. Intern J Environ Studies,1996,51:217-243.
- [12] Brandle T R, et al. Net photosynthesis electron transport capacity and ultrastructure of Pisum sativum L. exposed to ultraviolet radiation [J]. Plant Physiol,1977,60:165.
- [13] Cure J D, Acocck B. Crop responses to carbon dioxide doubling: A literature survey[J]. Agric For Meteorol,1986, 38:127-145.
- [14] Drennan P M, Nobels. Responses of CAM species to increasing atmospheric CO₂ concentrations[J]. Plant, Cell and Environment, 2000, 23: 767-781.
- [15] Jansen M A K, Gaba V, Greenber G B M. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation[J]. Trends Plant Science, 1998, 3: 131-135.
- [16] Teramura A H, Ziskal. CO₂ enhancement of growth and photosynthesis in rice modification by increased ultraviolet -B radiation [J]. Plant Physiology, 1990, 99:473-481.
- [17] Watson R T, Rhode H, Oescheger H, et al. Green house gases and aerosols [A]//Houghton J T, Jenkins G I, Ephraums J J, et al. Climate change: IPCC Scientific Assessment[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 1-40.