

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

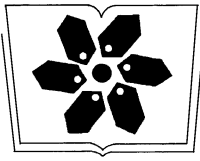
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期
Vol.30 No.21
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
专论与综述	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
研究简报	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响

陈宗瑜^{1,*}, 钟楚¹, 王毅², 简少芬¹, 颜侃¹

(1. 云南农业大学农学与生物技术学院, 云南昆明 650201; 2. 红塔集团技术中心, 云南玉溪 653100)

摘要:在地处低纬高原云南较高海拔烟区的通海县大田条件下,通过大棚覆盖不同透明膜的方式梯度减弱 UV-B 辐射,研究了外界环境 30.39% (T_1)、70.08% (T_2) 和 75.74% (T_3) 强度的 UV-B 辐射对烟草品种 K326 形态、光响应特性和部分生理生化特征的影响。结果显示:减弱 UV-B 辐射促进了 K326 节间距和茎高的伸长,使叶片增大、变薄,尤以 T_2 处理植株的叶片、茎围和节间距最大,而 K326 发育进程由 T_1 至 T_3 逐渐加快。在减弱 UV-B 辐射下,K326 净光合速率(P_n)、最大净光合速率(A_{max})和蒸腾速率(T_r)较高,但水分利用效率(WUE)、暗呼吸速率(R_d)、光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)较低。其中 T_1 的 R_d 和 LCP 最低,并极大地降低了表观量子效率(AQY), T_2 的 LSP 最低而 P_n 最高,而 T_3 的 A_{max} 、LCP 和 AQY 最高。减弱 UV-B 辐射后烟叶叶绿素含量提高,而类黄酮、比叶重、类胡萝卜素含量和面积含水量下降,鲜重含水量和自然水分饱和亏却上升; T_3 处理下丙二醛含量最大,鲜重含水量和自然水分饱和亏则 T_2 最大。结果表明,适当高强度的 UV-B 辐射对促进 K326 正常生长发育和提高其对 UV-B 辐射的适应性有重要作用。

关键词:低纬高原;UV-B 辐射;烟草;光合特征;适应性

Effects of reduced ultraviolet-B radiation on morphology, photosynthesis and some other physiological and biochemical characteristics in tobacco

CHEN Zongyu^{1,*}, ZHONG Chu¹, WANG Yi², JIAN Shaofen¹, YAN Kan¹

1 College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China

2 Technological Centers of Hongta Group, Yuxi, Yunnan 653100, China

Abstract: High quality tobacco producing area of Yunnan Province of China, in which the solar UV-B radiation is significant higher than low-altitude plains and hills, is mainly distributed between 1000 m and 2000 m above sea level (a. s. l.). UV-B radiation had significant effects on growth, self-protection and secondary metabolism of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.), and UV-B-exclusion experiment provides a good method for examining the effects of diverse UV-B radiations from zero to natural ambient level on plant. In order to understand the effects of solar UV-B radiation on morphology, photo-response characteristics and other physiological and biochemical characteristics in *Nicotiana tabacum* L. in Yunnan areas with geographical characteristics of low latitude plateau, tobacco cultivar K326 was selected and planted under 30.39% (T_1), 70.08% (T_2) and 75.74% (T_3) of current UV-B radiations by covering different UV transparent membranes above canopy in field of Tonghai, Yunnan (1806 m a. s. l.), and the resulting changes of tobacco upon different reduced UV-B treatments were further analyzed.

The results showed as follows. Reduced UV-B radiations promoted elongation of internode length and stem length, increased leaf size and thinned blades. The maximum leaf size, stem girth and internode length were observed in T_2 , and development process of K326 gradually accelerated from T_1 to T_3 . Under reduced UV-B conditions, net photosynthetic rate (P_n), maximum net photosynthetic rate (A_{max}) and transpiration rate (T_r) increased, while water utilizing efficiency

基金项目:国家烟草专卖局资助项目(110200801034)

收稿日期:2009-11-10; 修订日期:2010-09-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zchen191@vip.sohu.com

(WUE), dark respiration rate (R_d), light compensation point (LCP) and light saturation point (LSP) reduced. Comparison of the three reduced UV-B radiation treatments, the lowest R_d and LCP were observed in T_1 , in which the apparent quantum yield (AQY) was greatly reduced as well. LSP in T_2 was far below the other treatments, while A_{max} , LCP and AQY were the highest in T_3 among the three treatments. Reduced UV-B radiations increased chlorophyll concentration, leaf fresh weight water content and natural water saturation deficit, but reduced carotenoid, specific leaf mass (SLM), water content per unit of leaf area and flavonoid contents. In the three reduced UV-B treatments, the maximum point of malonaldehyde (MDA) content in tobacco K326 was found in T_3 and the maximum points of leaf fresh weight water content and natural water saturation deficit were found in T_2 .

These results suggested that a certain intensity range of UV-B radiation would be favorable for development and increasing the adaptability to UV-B radiation of tobacco cultivar K326. And cultivar K326 has a strong ability to adapt the current high intensity of solar UV-B radiation in Tonghai through morphological and physiological changes, such as photosynthetic characteristics, defense mechanism and leaf water state etc.

Key Words: low-latitude plateau; UV-B radiation; *Nicotiana tabacum* L.; photosynthetic characteristics; adaptability

云南地处低纬高原地区,是我国重要的优质烟叶产区之一,平均海拔 2000 m 左右,紫外辐射强且随海拔高度的增加呈规律性递增^[1]。云南烟草分布海拔大多在 1000—2000 m 之间,目前普遍认为,低纬高原地区海拔高度是生态环境中影响烟叶品质的综合因素^[2-3]。人工提供适宜强度的 UV-B 辐射可使烟叶叶绿素^[4]、总类胡萝卜素和总糖含量提高^[5],但高海拔烟区自然环境下较强的 UV-B 辐射对烟草生态适应性的影响,目前了解的仍较少。减弱 UV-B 辐射为评价自然环境中太阳 UV-B 辐射对植物可能产生的生物学效应提供了一种较好的方法^[6]。前期对烟草的减弱 UV-B 辐射盆栽试验结果表明,烟草对 UV-B 辐射的变化较为敏感^[7-9]。在前期工作的基础上,本研究在云南较高海拔最适烟区之一的通海县(海拔 1806 m),大田种植烟草品种 K326,通过大棚盖膜不同程度地减弱太阳 UV-B 辐射,进一步探讨了 UV-B 辐射对 K326 生长发育的影响,以及 K326 形态、光合作用的光响应特性及部分生理生化特征对 UV-B 辐射的适应性。其结果为认识低纬高原地区 UV-B 辐射在烟草生长发育中的作用,评价烟草对 UV-B 辐射的生态适应性提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况和土壤特性

通海县位于云南省中部,介于东经 102°30′25″—102°52′53″,北纬 23°65′11″—24°14′49″。该地气候温和,雨量充沛,属中亚热带湿润凉高原季风气候,年温差小而昼夜温差相对较大。烟草大田主要生长期(5—8 月份)正值云南地区的雨季,该时段降雨量占全年降雨量的 63.7%,通海历年和 2009 年 5—8 月主要气候要素平均值见表 1。试验在通海县城所在的平坝地形中距县城西北面 10 km 的四街镇进行,海拔 1806 m。试验地为菜地,轻壤土,试验前土壤 pH 值 6.26,有机质 21.03 g/kg,碱解氮 229.0 mg/kg,速效磷 96.5 mg/kg,速效钾 67.2 mg/kg。

1.2 材料与处理方式

以普遍种植的烟草品种 K326 为试验材料,包衣种子,漂浮育苗,2009 年 4 月 30 日大田移栽,种植密度 16500 株/hm²。试验设 3 个减弱 UV-B 辐射处理,于移栽后 45 d,待 K326 进入旺长初期时进行大棚覆膜处理。每处理搭建长 20 m,宽 5 m,顶部高 2.2 m,长边边缘高 1.5 m 的农用大棚,近南北方向排列。为保持良好的通风条件及尽量减少处理间的小气候差异,各大棚仅顶部和东西两侧 1 m 以上高度覆盖不同厚度和材料的透明薄膜。其中处理 1(T_1)覆盖麦拉膜(Mylar,SDI,USA),处理 2(T_2)和处理 3(T_3)分别覆盖不同厚度的聚乙烯透明薄膜,可以不同程度地减弱 UV-B 辐射。经测定,各棚内植株冠层顶部的 UV-B 辐射强度透过量分别为外界自然环境下的 30.39% (T_1)、70.08% (T_2)和 75.74% (T_3),光照强度透过率为 81% ± 2%,在此光照强度下,烟草的正常生长不受影响^[10]。以自然环境下正常生长的 K326 植株作为判断减弱 UV-B 辐射处理效应

的参照(CK)。所有处理 K326 按优质烟叶生产技术规范统一管理。

表 1 通海县烤烟大田生长期历年和 2009 年 5—8 月主要气候因子

Table 1 Main climatic factors from May to August of previous years and 2009 in tobacco field of Tonghai County

时间 Time	月份 Month	平均气温 Average temperature / $^{\circ}\text{C}$	降雨量 Rainfall/mm	日照时数 Sunshine hours/h
历年 Previous years	5	19.9	84.0	224.9
	6	19.9	127.5	144.0
	7	20.0	161.7	150.0
	8	19.3	183.2	150.6
	平均	19.8	138.9	167.4
2009	5	19.7	43.0	220.0
	6	20.7	229.0	143.0
	7	19.9	115.0	151.0
	8	20.3	106.0	164.0
	平均	20.2	123.3	169.5

1.3 测定项目和方法

1.3.1 太阳 UV-B 辐射和光照强度透过率

对自然环境中太阳 UV-B 辐射 (mW/cm^2) 进行逐日观测。观测于烤烟主要大田生长期的 2009 年 5 月 18 日开始,每天 11:30—12:30 在室外空地,至 8 月 26 日结束(图 1)。观测时采用法国产 Radiometer 紫外辐射仪(波谱范围 295—395 nm,中心波长 312 nm),连续记录 5 组值,然后计算平均值,同时记录当时天气和天空云层状况。参照文献^[8]的方法,各处理的 UV-B 辐射和光照强度(Ix,采用上海嘉定学联仪表厂生产的 ZDS-10 型自动量程照度计观测)透过率(%),以 9:30—16:00 每 0.5h 测定的各处理棚内烟株顶部和棚外相近高度 UV-B 辐射和光照强度计算的透过率平均值表示。由图 2 可以看出,各处理 UV-B 辐射和光照强度透过率主要在 10:00—15:30 时段存在较大差异。

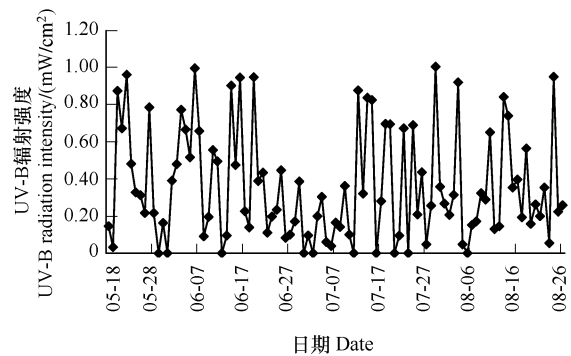


图 1 试验期间太阳 UV-B 辐射逐日变化

Fig. 1 Changes of solar UV-B radiation during experiment day by day

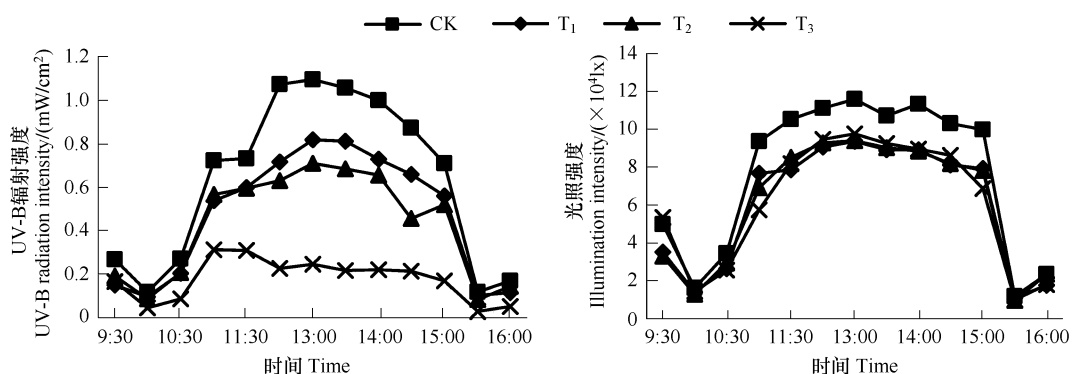


图 2 晴天太阳 UV-B 辐射和光照强度日变化

Fig. 2 Diurnal changes of solar UV-B radiation and illumination in sunny days

1.3.2 农艺性状

生育进程的调查在现蕾—开花期进行,采用普查方式,记录每处理未现蕾、已现蕾和开花(中心第 1 朵花

已开放)的植株数,计算各自占植株总数的百分比(%)。

同时,每处理随机选取有代表性的植株 10 株进行农艺性状的测定,包括茎高(茎与地表接触处至生长点之间的茎长)、茎围(第 7 片有效叶叶腋处周长)、节间距、第 7 片有效叶长、宽等。参照中国烟草行业标准《烟草农艺性状调查方法》(YC/T 142—1998)计算叶面积,即叶面积(cm^2) = 叶长 \times 叶宽 \times 0.6345。各性状取 10 株植株测量的平均值。

1.3.3 光响应曲线

处理 20 d 后,待 K326 进入现蕾—开花期,选取第 7 片(从下往上数)有效叶片作为测定对象,于 2009 年 7 月 4—9 日晴天 9:00—16:00(避开 12:00—14:00 烟草的“午睡”时段),采用 Li-6400 便携式光合测定仪(LI-COR, USA),在开放气路下测定光合作用光响应曲线。测定时,叶室温度设定为 25℃,气体流量 500 $\mu\text{mol/s}$ 。PAR 由 Li-6400-02B LED 红蓝光源提供,设置梯度为 1800, 1600, 1400, 1200, 1000, 800, 400, 200, 100, 50, 20, 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,测定前先在 1200—1800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内逐渐增加光强进行诱导,诱导结束后再在设定的光强范围内由高往低测,每处理重复测定 3 株,取平均值。

1.3.4 生理生化指标

取测定光合作用的叶片分别作为独立的样本,用低温保鲜盒带回实验室,用于光合色素、类黄酮、丙二醛、比叶重和叶片水分含量等的分析。

(1) 光合色素采用丙酮:无水乙醇(体积分数 1:1)浸提-比色法,通过 663 nm, 646 nm 和 470 nm 处吸光值计算叶绿素 a、b 和类胡萝卜素的单位面积含量^[11]:

$$C_a = 12.21 \times A_{663} - 2.81 \times A_{646}$$

$$C_b = 20.13 \times A_{646} - 5.03 \times A_{663}$$

$$C_c = (1000 \times A_{470} - 3.27 \times C_a - 104 \times C_b) / 229$$

光合色素含量(mg/dm^2) = (色素浓度 \times 色素提取液总量) / 叶片面积

式中, A_{663} 、 A_{646} 和 A_{470} 分别为各波长下提取液的吸光值, C_a 、 C_b 和 C_c 分别为提取液中叶绿素 a、b 和类胡萝卜素浓度(mg/L)。

(2) 类黄酮采用 Nogués 等^[12]的方法,稍作改动。用打孔器取一定面积的叶片,剪碎后放入 10 mL 刻度试管中,加入 5 mL 酸化甲醇溶液(盐酸:甲醇体积 = 1:99),在低温(4℃)黑暗中浸提 24 h,以单位面积叶片 300 nm 处吸光值表示类黄酮含量(A_{300}/cm^2);

(3) 丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸比色法^[13]:

$$\text{MDA 浓度}(\mu\text{mol}/\text{L}) = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) / (0.155 \times L) - 0.65 \times A_{450}$$

$$\text{MDA 含量}(\text{nmol}/\text{cm}^2) = (\text{提取液中 MDA 浓度} \times \text{稀释倍数} \times V) / \text{叶面积}$$

式中, A_{532} 、 A_{600} 、 A_{450} 分别为相应波长下的吸光值; 0.155 为 MDA 在 532 nm 波长下的 μmol 消光系数; V 为反应体系溶液体积(ml); L 为比色皿光径(cm); 稀释倍数 = 总提取液体积 \div 吸取液体积。

(4) 叶片水分含量的测定和计算参照 Barrs 和 Weatherley^[14]的方法:

$$\text{面积含水量}(\text{mg}/\text{cm}^2) = (W_f - W_d) / \text{叶面积}$$

$$\text{鲜重含水量}(\%) = (W_f - W_d) \times 100 / W_f$$

$$\text{自然水分饱和亏}(\%) = (W_t - W_f) \times 100 / (W_t - W_d)$$

$$\text{比叶重}(\text{mg}/\text{cm}^2) = W_d / \text{叶面积}$$

式中, W_t 、 W_f 、 W_d 分别为叶片吸水饱和重(mg)、自然鲜重(mg)和干重(mg)。

1.4 数据处理

净光合速率的光响应曲线采用 Broadley 等^[15]的方法进行模拟,模型数学表达式为:

$$P_n = A_{\max} \times (I - I_{\min}) / (K_m + (I - I_{\min})) \quad (1)$$

式中, A_{\max} 是最大净光合速率, I 为 PAR 强度, K_m 为 $1/2 A_{\max}$ 时的 PAR, I_{\min} 为光补偿点 (LCP , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。当 $I=0$ 时, P_n 等于暗呼吸速率 (R_d , $\mu\text{mlCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); 当 $I\leq 200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 去除 P_n 为负值的点, 对模拟值进行直线回归, 其斜率为表观量子效率 (AQY , mol/mol)^[16]。水分利用效率 (WUE) = 净光合速率 (P_n)/蒸腾速率 (T_r)。钱莲文等^[17]认为, 直角双曲线模型以 A_{\max} 来估测光饱和点 (LSP , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 时, 选取的比例为 $(78 \pm 1)\%$ 较为合适。为方便计算, 在此以 P_n 达到 $75\% A_{\max}$ 的 PAR 来估计光饱和点, 带入 (1) 式, 得:

$$LSP = 3 \times K_m + I_{\min} \quad (2)$$

所有数据经 Microsoft Excel 2003 处理, 曲线的模拟、单因素方差分析及处理间差异性比较 (LSD 法) 均在 SPSS Statistics 17.0 分析软件中进行, 光响应曲线以平均值作图。 $P_n - PAR$ 曲线使用最小残差平方原理拟合, 设置初始值 $A_{\max} = 25$, $I_{\min} = 40$, $K_m = 400$, 控制 $A_{\max} \leq 30$, $I_{\min} \leq 50$, $K_m \leq 800$ 。

2 结果与分析

2.1 减弱 UV-B 辐射对烟草形态特征的影响

2.1.1 现蕾—开花生育进程

图 3 表明, 减弱 UV-B 辐射明显影响了 K326 的生育进程, T_2 和 T_3 现蕾进程加快, T_1 反而减慢, T_3 开花进程加快而 T_2 有所减慢, 调查时 T_1 则未有开花的植株。减弱 UV-B 辐射处理中, 随 UV-B 辐射强度的增加, K326 现蕾和开花进程逐渐加快。

2.1.2 农艺性状

植物的外部形态特征易受强 UV-B 辐射的修饰。表 2 显示, 处理间各农艺性状均存在显著差异。与 CK 相比, T_1 茎高下降 ($P < 0.01$) 而 T_2 和 T_3 茎高增加 ($P > 0.05$), 减弱 UV-B 辐射处理中, 随 UV-B 辐射增强, 茎高逐渐增加。减弱 UV-B 辐射都增加了节间距 ($P < 0.01$), 尤以 T_2 节间距最大, 与 T_1 和 T_3 差异显著 ($P < 0.05$)。 T_2 茎围较 CK 有所增大 ($P > 0.05$), 而 T_1 和 T_3 则减小, 其中 T_1 与 CK 差异显著 ($P < 0.05$), 与 T_2 差异极显著 ($P < 0.01$)。

减弱 UV-B 辐射处理后, K326 叶长明显增加 ($P < 0.01$), T_2 和 T_3 叶宽和叶面积增加明显, 与 CK 差异显著 ($P < 0.01$), 而减弱 UV-B 辐射处理之间叶长差异不显著, T_1 叶宽和叶面积显著低于 T_2 ($P < 0.01$) 和 T_3 ($P < 0.05$)。除 T_1 外, 其余处理叶片长宽比都在长椭圆形叶片的长宽比 (2.2—2.5) 范围内。 T_1 叶片长宽比显著大于其它各处理 ($P < 0.05$), 说明过低的 UV-B 辐射能促使烟叶形状发生变化, 叶片有变得细长的趋势。

表 2 UV-B 辐射对 K326 农艺性状的影响

Table 2 Effects of UV-B radiation on agronomical characteristics of K326

处理 Treatment	茎高/cm Stem length	节间距/cm Internodes space	茎围/cm Stem girth	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	叶面积/cm ² Leaf area	叶长/叶宽 Leaf length/width
CK	77.75 Aa	3.61 Bc	8.05 ABa	59.20 Bb	25.50 Cb	811.72 Cb	2.33 ABb
T_1	60.40 Bb	4.80 Ab	7.31 Bb	65.04 Aa	25.69 BCb	893.06 BCb	2.55 Aa
T_2	84.55 Aa	5.48 Aa	8.30 Aa	66.65 Aa	29.15 Aa	1059.65 Aa	2.29 Bb
T_3	86.90 Aa	4.97 Ab	7.86 ABab	66.60 Aa	28.30 ABa	1019.38 ABa	2.37 ABb

注: 同列中大、小写字母不同分别表示处理间在 $\alpha = 0.01$ 和 $\alpha = 0.05$ 上差异显著

2.1.3 比叶重

比叶重 (SLM) 反映了植物对光环境的适应能力^[18]。减弱 UV-B 辐射后, 烟叶 SLM 出现不同程度的降低 (图 4)。与 CK 相比, T_1 、 T_2 和 T_3 的 SLM 分别降低了 15.16% ($P < 0.05$)、13.90% ($P < 0.05$) 和 14.47% ($P <$

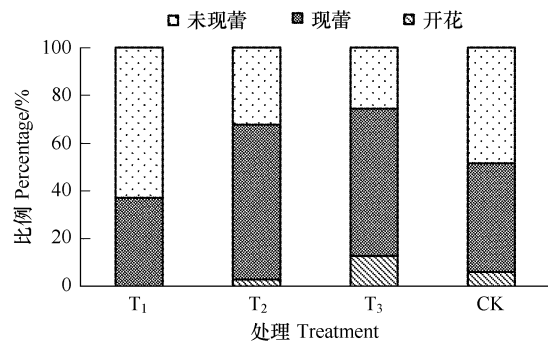


图 3 不同 UV-B 辐射处理下 K326 的生育进程比较

Fig. 3 Comparison of growing process of K326 under different UV-B radiations

0.05),但各减弱 UV-B 辐射处理之间差异不显著。

2.2 减弱 UV-B 辐射处理光合作用对光的响应

2.2.1 气体交换参数对光强的响应

图 5 为净光合速率(P_n)对 PAR 的响应以及实测平均值与模拟值的关系,模拟曲线的相关参数列于表 3。可以看出,模拟值与实测值非常接近,模拟方程的确定系数(R^2)均为 0.998 或 0.999,说明该模型能较好地反映 P_n 在不同 PAR 下的响应特征。

图 5 同时也表明,在低 PAR ($<100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 下,各处理模拟曲线差异不大,PAR 继续增强时,差异较明显。减弱 UV-B 辐射后,烟叶 P_n 提高,尤以 T_2 提高最为明显,而 T_1 和 T_3 模拟曲线均位于 CK 与 T_2 之间,说明减弱一定的 UV-B 辐射有利于提高 K326 的 P_n 。

随 PAR 增强,叶片蒸腾速率(T_r)逐渐上升,但 CK 在 $\text{PAR} \geq 1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, T_r 几乎没有变化。图 6 可以看出,减弱 UV-B 辐射后明显增加了叶片的 T_r ,但减弱 UV-B 辐射处理间差异不大, $\text{PAR} \geq 800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, T_1 处理 T_r 较低。

水分利用率(WUE)是一个较稳定的用来衡量碳固定和水分消耗之间比例的良好指标。随着 PAR 强度增加,叶片 WUE 先迅速增加,在 PAR 为 400—800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时达最大值,随后 PAR 增加, WUE 缓慢下降(图 7)。当 $\text{PAR} > 100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,减弱 UV-B 辐射处理的 WUE 均明显低于 CK,各减弱 UV-B 辐射处理 WUE 差异不大,但 T_1 的 WUE 略高。

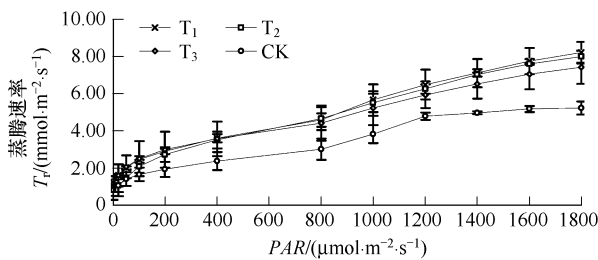


图 6 烟叶蒸腾速率对 PAR 的响应

Fig. 6 Responses of transpiration rate (T_r) of K326 leaf to PAR

2.2.2 光响应曲线特征参数

最大净光合速率(A_{\max})为 PAR 无限增大时的潜在净光合速率。表 3 可以看出,CK 的 A_{\max} 为 $27.61 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,减弱 UV-B 辐射后, T_1 — T_3 分别提高了 A_{\max} 3.95%、0.80% 和 5.12%,说明降低 UV-B 辐射使 K326 在较高光强下的光合潜能有所增大,表现为 $T_3 > T_1 > T_2$ 。

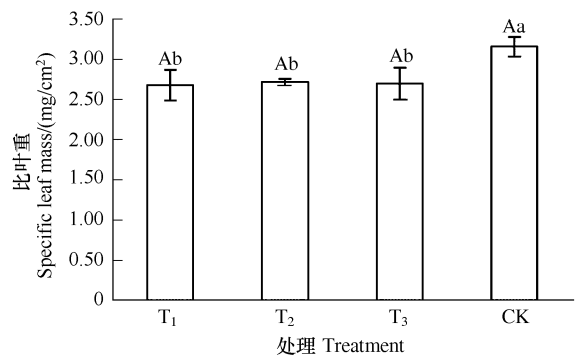


图 4 UV-B 辐射对 K326 比叶重的影响

Fig. 4 Effects of UV-B radiation on specific leaf mass (SLM) of K326

注:图中大、小写字母不同分别表示处理间在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 上差异显著

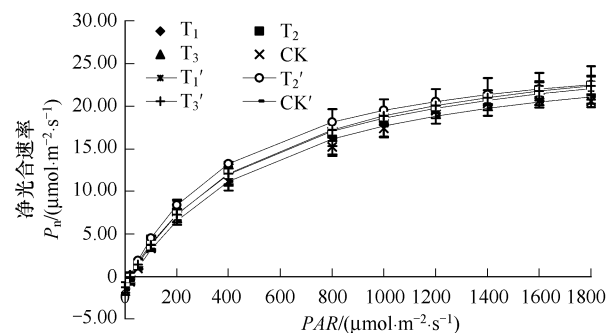


图 5 烟叶净光合速率对 PAR 的响应

Fig. 5 Response of net photosynthetic rate (P_n) of K326 leaf to PAR

注: T_1 、 T_2 、 T_3 和 CK 是实测平均值, T_1' 、 T_2' 、 T_3' 和 CK' 是模拟值

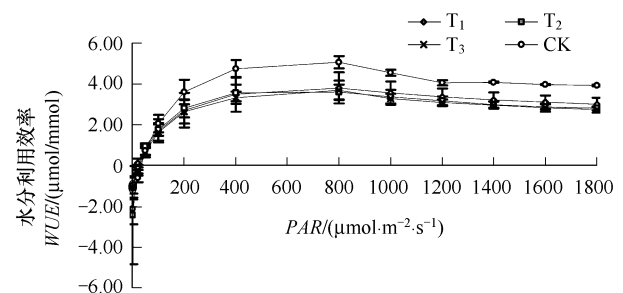


图 7 烟叶水分利用效率对 PAR 的响应

Fig. 7 Responses of water use efficiency (WUE) of K326 leaf to PAR

减弱 UV-B 辐射处理也明显降低了 K326 的光补偿点 (LCP), 各处理 LCP 大小顺序为 $CK > T_3 > T_2 > T_1$, 即随 UV-B 辐射强度减弱而下降, 说明随 UV-B 强度的减弱, 烟草对弱光的适应能力增加。处理后光饱和点 (LSP) 也降低, T_1 和 T_3 的 LSP 均在 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, 与 CK 处理的 $1669.73 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 差异不大, 而 T_2 只有 $1274.73 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 下降明显。减弱 UV-B 辐射使烟叶暗呼吸速率 (R_d) 都有不同程度的降低, T_2 和 T_3 的 R_d 均高于 T_1 。各处理表观量子效率 (AQY) 均在 C_3 植物的正常范围 ($0.03-0.07 \mu\text{molCO}_2/\mu\text{mol}$ 光子) 内。 T_3 的 AQY 最高, 为 $0.0585 \mu\text{molCO}_2/\mu\text{mol}$ 光子, 比 CK 高 5.22% 。 T_2 处理 $0.0553 \mu\text{molCO}_2/\mu\text{mol}$ 光子, 仅比 CK 低 0.54% 。而 T_1 的 AQY 降低明显, 比 CK 低 15.29% , 偏向正常范围的下限。

2.3 减弱 UV-B 辐射对类黄酮和丙二醛的影响

类黄酮是植物响应 UV-B 辐射最敏感的物质之一, 能有效地保护植物免受 UV-B 辐射的伤害。丙二醛 (MDA) 反映了植物在逆境下的膜伤害程度, 是重要的逆境伤害评价指标之一。图 8 表明, 随着 UV-B 辐射强度的增加, 类黄酮含量先下降后上升, T_2 叶片类黄酮含量最低。 T_2 和 T_3 与 CK 差异显著 ($P < 0.05$), 而 T_1 与 CK 差异不显著, 减弱 UV-B 辐射处理间差异不显著。丙二醛含量则随 UV-B 辐射先上升后下降, 表现为 T_3 最高而 CK 最低。 T_3 与 T_1 、 T_2 和 CK 差异显著 ($P < 0.01$)。

表 3 不同 UV-B 辐射处理烟叶光响应曲线主要特征参数

Table 3 Main parameters of light response curve in tobacco leaf treated with different UV-B radiations

处理 Treatments	$A_{\max}/$ ($\mu\text{molCO}_2 \cdot$ $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$LCP/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$LSP/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$R_d/$ ($\mu\text{molCO}_2 \cdot$ $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$AQY/$ ($\mu\text{molCO}_2/\text{mol}$ 光子)	R^2
CK	27.61	29.51	1 669.73	1.58	0.0556	0.998
T_1	28.70	16.77	1 622.61	0.93	0.0473	0.999
T_2	27.83	19.44	1 274.73	1.36	0.0553	0.999
T_3	29.10	22.42	1 617.49	1.28	0.0585	0.999

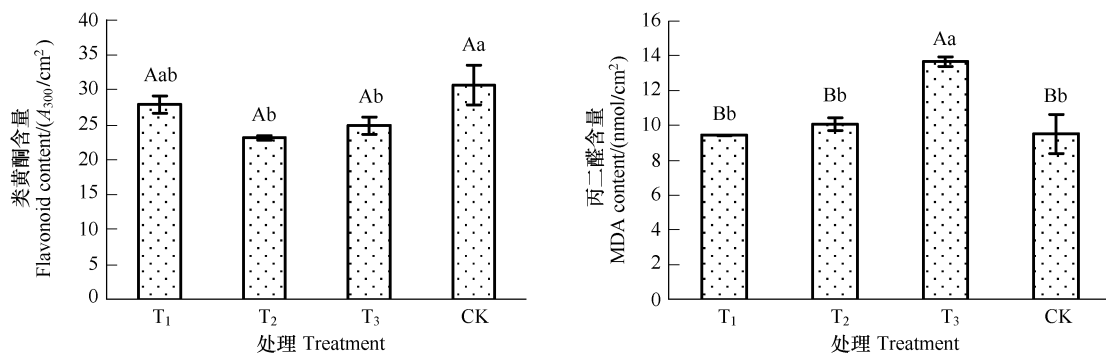


图 8 UV-B 辐射对 K326 类黄酮和丙二醛含量的影响

Fig. 8 Effects of UV-B radiation on flavonoid and MDA contents of K326

注: 图中大、小写字母不同分别表示处理间在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 上差异显著

2.4 减弱 UV-B 辐射对光合色素含量的影响

光合色素是植物进行光合作用的重要物质基础。减弱 UV-B 辐射后, 烟叶的叶绿素含量与 CK 没有显著差异, 但处理后提高了叶绿素 a、b 和总叶绿素含量, 且随 UV-B 辐射强度的增加, 叶绿素 a 有逐渐减少的趋势, 而叶绿素 b 则先上升后降低, 在 T_2 处理下达最大值 (表 4)。总叶绿素变化趋势与叶绿素 b 相似。相反, 处理后降低了类胡萝卜素含量, 各处理类胡萝卜素含量 $CK > T_1 \approx T_2 > T_3$, CK 与 T_3 差异显著 ($P < 0.05$), T_1-T_3 处理之间差异不显著。

处理后对叶绿素组成影响较小, 叶绿素 a/b 比值略有下降, 但都在 $2.76-2.80$, 处理间差异不显著, 而减弱 UV-B 辐射处理提高了叶绿素/类胡萝卜素比值 ($P < 0.01$)。

表 4 UV-B 辐射对 K326 叶绿素、类胡萝卜素含量及比值的影响

Table 4 Effects of UV-B radiation on chlorophyll and carotenoid contents and their ratios of K326

处理 Treatments	叶绿素 a Chlorophyll a /(mg/dm ²)	叶绿素 b Chlorophyll b /(mg/dm ²)	总叶绿素 Total Chlorophyll /(mg/dm ²)	类胡萝卜素 Carotenoid /(mg/dm ²)	Chl a/b Ratio of Chl a and Chl b	Chl/Car Ratio of Chl and Car
CK	2.25 Aa	0.80 Aa	3.06 Aa	0.57 Aa	2.80 Aa	5.36 Bb
T ₁	2.49 Aa	0.84 Aa	3.19 Aa	0.53 Aab	2.78 Aa	6.02 Aa
T ₂	2.46 Aa	0.87 Aa	3.25 Aa	0.53 Aab	2.76 Aa	6.16 Aa
T ₃	2.35 Aa	0.83 Aa	3.15 Aa	0.51 Ab	2.78 Aa	6.21 Aa

注:Chl,总叶绿素;Chl a,叶绿素 a;Chl b,叶绿素 b;Car,类胡萝卜素;同列中大、小写字母不同分别表示处理间在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 上差异显著

2.5 减弱 UV-B 辐射对叶片水分的影响

如图 9 所示,不同处理对叶片面积含水量影响较大,而对鲜重含水量和自然水分饱和亏影响较小。减弱 UV-B 辐射后,叶片面积含水量均下降,以 T₁ 降幅最大,与 CK 差异显著 ($P < 0.05$)。T₂ 和 T₃ 与 CK 差异不显著,减弱 UV-B 辐射处理之间差异也不显著。所有处理之间叶片鲜重含水量和自然水分饱和亏没有显著差异,鲜重含水量在 84.87%—85.91%,自然水分饱和亏在 23.44%—26.62%。鲜重含水量和自然水分饱和亏变化一致,以 CK 最低,T₂ 最高。

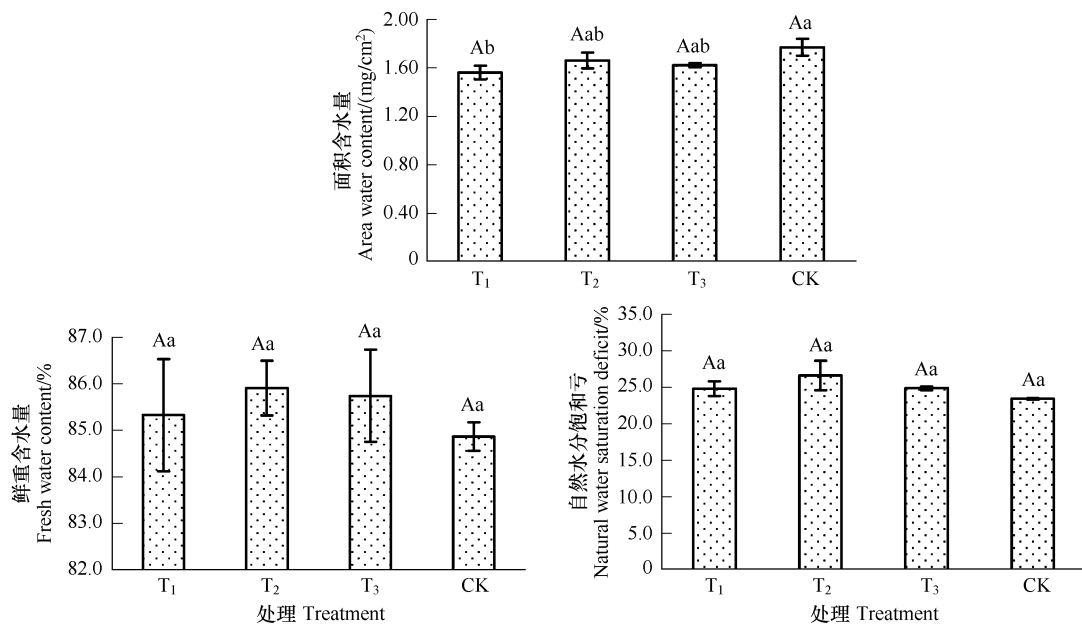


图 9 UV-B 辐射对 K326 叶片水分状况的影响

Fig. 9 Effects of UV-B radiation on leaf water state of K326

注:图中大、小写字母不同分别表示处理间在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 上差异显著

3 讨论

UV-B 辐射影响植物的发育进程^[19]。对 K326 生育进程的调查结果表明,T₁ 处理大部分植株还未现蕾,而其它处理植株均已进入现蕾—开花期,随 UV-B 辐射的增强,发育进程逐渐加快。T₁ 处理烟草的茎高和茎围也都最小。结果说明,UV-B 辐射在烟草生长发育中具有重要的调控作用,较低强度的 UV-B 辐射延缓了烟草的正常发育,而适当高强度的 UV-B 辐射可促进烟草的正常生长发育,与 Yao 等^[20] 对鞑靼荞麦 (*Fagopyrum tataricum*) 的研究结果相似。

外界环境中烟草植株较矮,节间距短,叶面积小而叶片较厚,具有较大的比叶重,但生长发育却未受到影

响,表现出对强 UV-B 辐射的有效适应^[21-22]。试验中 T_2 和 T_3 使 K326 的茎高、节间距明显伸长,叶片长、宽和叶面积也明显增大,说明减弱 25%—30% 左右的 UV-B 辐射对烟草生长的胁迫效应减弱。同时还可以看出(表 2),在 T_2 下烟叶大小及植株的茎围、节间距等达最大值,表明在减弱一定程度 UV-B 辐射范围内,存在一个对烟草生长最适的辐射强度(范围)。

强 UV-B 辐射水平下,植物叶片类黄酮和类胡萝卜素含量增高,可以过滤 UV-B 辐射或耗散过多的能量,或清除体内诱导产生的过量活性氧,对保护植物叶片内部组织和结构有很大作用^[23-24]。CK 烟叶类黄酮和类胡萝卜素含量均显著高于减弱 UV-B 辐射处理,而 MDA 含量却较低,表明自然环境下烟叶具有完善的保护机制,细胞膜系统伤害较小。对比 3 个减弱 UV-B 辐射处理可以发现(图 8 和表 4),在 T_1 和 T_2 条件下,尽管叶片类黄酮和类胡萝卜素含量都较低,但 MDA 含量也不高。相反,在 T_3 条件下,叶片类黄酮和类胡萝卜素含量较低,而 MDA 含量却显著高于其它处理。推测其原因,可能是在 T_1 和 T_2 条件下,烟叶受到的 UV-B 辐射胁迫较小,伤害较轻,不需增加类黄酮和类胡萝卜素含量来进行防护。 T_3 则不同,可能在此 UV-B 辐射条件下,烟叶细胞膜系统受到的过氧化伤害较严重,但其类黄酮和类胡萝卜素的保护作用有限,或其它的抗过氧化伤害机制尚不完善。结果说明了,在低 UV-B 辐射和较高 UV-B 辐射下 K326 的伤害—保护平衡之间存在差异。

在强 UV-B 辐射下降低净光合速率也是植物对 UV-B 辐射的一种适应^[25]。试验中 T_2 条件下 K326 净光合速率最大,CK 最小, T_1 和 T_3 介于中间水平,与叶绿素含量的差异一致(图 5 和表 4)。强 UV-B 辐射下植物可通过降低叶绿素含量,减少对光的吸收,以降低净光合速率为代价来减少过高能量的光对植物光合机构的损伤。进一步对光响应曲线特征参数的分析则发现(表 3),虽然 CK 的 A_{\max} 较减弱 UV-B 辐射处理略低,但其 LCP 、 LSP 、 R_d 和 AQY 均较高,具有较强的强光适应能力和光能利用率,且较高的 R_d 可增加对植物有保护作用的次生物质的合成,或为损伤的修复提供更多的底物和能量。相比之下, T_1 和 T_2 的 LCP 都处于典型阳生植物 $LCP(20-40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ 以下, T_1 的 R_d 和 AQY 均处于最低值, T_2 虽然 R_d 和 AQY 较高,但 LSP 最低,二者对强光辐射环境的适应能力都较弱。 T_3 则所有的光响应曲线参数都较高,表现出对环境较强的适应能力。

WUE 的大小反映了植物对生存环境的适应能力^[26]。试验中 CK 的 WUE 最高,明显高于各减弱 UV-B 辐射处理。前期研究也表明^[7],外界较强的 UV-B 辐射对 WUE 的抑制强度较弱,二者结果一致,反映了 K326 对外界强辐射环境较强的适应能力。 WUE 的大小决定于碳固定与水分消耗的相对比例,即 P_n 与 T_r 的大小。试验中各处理净光合速率相差不大,而 CK 的蒸腾速率却明显低于各减弱 UV-B 处理, WUE 也明显高于其它处理,表明在外界高强度 UV-B 辐射下,K326 主要靠降低蒸腾速率来提高 WUE ,但其余处理间 WUE 差异不大,说明在较大 UV-B 辐射强度范围内,减弱 UV-B 辐射对 K326 的水分利用和管理没有太大影响。

叶片水分状态与植物的各种生理代谢过程及抗逆性密切相关。尹聪和周青^[27]研究表明,增强 UV-B 辐射降低大豆叶片鲜重含水量。而本试验中,K326 叶片鲜重含水量与减弱 UV-B 辐射强度呈非线性变化,在 T_2 条件下 K326 叶片鲜重含水量相对较高(图 9)。自然水分饱和和亏是植物组织的实际含水量距离其饱和含水量差值的百分数,自然水分饱和和亏愈大说明水分亏缺愈严重,该指标能较好地比较植物保水能力的强弱^[28]。CK 烟叶较高的面积含水量和较低的自然水分饱和和亏表明,该条件下烟叶对水分的需求较大,同时保水能力也较强,可以使烟叶能够很好地适应外界强辐射环境。因为水的比热容较大,单位面积叶片较高含量的水分可以减少高能量的 UV-B 辐射对植物组织和细胞的伤害,并加快生理代谢过程。 T_1 本身对水分的需求较少,保水能力也较强, T_2 则水分含量高,但其保水能力最差, T_3 与 T_2 相比,保水能力则有所增强。

通过以上讨论看出,适当较高强度的 UV-B 辐射对促进烟草的生长和发育有重要作用,同时可提高烟草对 UV-B 辐射的适应性。烟草可通过改变形态特征、光合特性、防御机制和叶片水分状况等多种途径适应 UV-B 辐射强度的变化。试验条件下, T_3 处理 K326 较 T_1 和 T_2 处理下的植株对 UV-B 辐射的适应能力强,但对烟草有利的 UV-B 辐射强度范围的确定尚需进一步研究。

References:

- [1] Zhou P, Chen Z Y. Analysis of the spatial-temporal characteristics of UV-B strength change over the Yunnan Plateau. Journal of Natural

- Resources, 2008, 23(3):487-493.
- [2] Wang S Y, Lu H, Yang J. Effects of different plant altitude on chemical composition of flue-cured tobacco in Qijing districts. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2007, 20(1): 45-48.
- [3] Li H X. Effects of altitude on chemical composition of Guizhou flue-cured tobacco. Ecology and Environment, 2008, 17(3): 1170-1172.
- [4] Liu M, Li R G, Fan H, Du G C. Effects of enhanced UV-B radiation on photosynthetic pigments and some enzymes in tobacco. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(2): 291-296.
- [5] Huang Y, Zhou J H, Zheng M, Yang H Q, Zhang N Y. Effect of UV-B on growth and development and secondary metabolism of flue-cured tobacco. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1): 140-144.
- [6] Kadur G, Swapan B, Sunita K, Sanjeev Y, Arjun T, Sanjay B, Abhinav R, Mohanty P. Growth enhancement of soybean (*Glycine max*) upon exclusion of UV-B and UV-B/A components of solar radiation: characterization of photosynthetic parameters in leaves. Photosynthesis Research, 2007, 94: 299-306.
- [7] Ji P, Zhang D G, Chen Z Y, Dong C W H, Zhong C. Response of photosynthetic gas exchange parameters of the leaves of flue-cured tobacco on the attenuated UV-B radiation intensity. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(7): 1437-1444.
- [8] Zhong C, Chen Z Y, Wang Y, Liu Y Z. Effects of attenuated UV-B radiation on morphological characteristics of tobacco vegetative stage in low latitude and high elevation region. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(1): 83-87.
- [9] Dong C W H, Chen Z Y, Ji P, Zhong C. Effects of attenuated UV-B radiation on dynamic changes of photosynthetic pigment contents in flue-cured tobacco under natural conditions. Journal of Wuhan Botanical Research, 2009, 27(6): 637-642.
- [10] Liu G S, Qiao X R, Wang F, Yang C, Guo Q Y, Yun F. Effects of light intensity on photosynthetic capabilities, growth and quality of flue-cured tobacco. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(9): 1833-1837.
- [11] Zou Q. Laboratory Manual of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: China Agriculture Press, 1995:36-39.
- [12] Nogués S, Allen D J, Morison J I L, Baker N R. Ultraviolet-B radiation effects on water relations, leaf development, and photosynthesis in droughted pea plants. Plant Physiology, 1998, 117: 173-181.
- [13] Hilal M, Rodríguez-Montelongo L, Rosa M, Gallardo M, González J A, Interdonato R, Rapisarda V A, Prado F E. Solar and supplemental UV-B radiation effects in lemon peel UV-B-absorbing compound content-seasonal variation. Photochemistry and Photobiology, 2008, 84: 1480-1486.
- [14] Barra H D, Weatherly P E. A re-examination of the relation turgidity technique for estimation water deficit in leaves. Australian Journal of Botany Science, 1962, 15: 413-428.
- [15] Broadley M R, Escobar-Gutiérrez A J, Burns A, Burns I G. Nitrogen-limited growth of lettuce is associated with lower stomatal conductance. New Phytologist, 2001, 152: 97-106.
- [16] Huo C F, Sun H L, Wang Z Q, Fan Z Q, Zhao X M. Effects of light intensity and nitrogen supply on photosynthetic characters of *Fraxinus mandshurica* seedlings. Chinese Journal Ecology, 2008, 27(8): 1255-1261.
- [17] Qian L W, Zhang S X, Yang Z J, Han Z G. Comparison of different light response models for photosynthesis. Journal of Wuhan Botanical Research, 2009, 27(2): 197-203.
- [18] Rosati A, Esparza G, Dejong T M, Percy R. Influence of canopy light environment and nitrogen availability on leaf photosynthetics and photosynthetic nitrogen-use efficiency of field-grown nectarine trees. Tree Physiology, 1999, 19: 173-180.
- [19] Reddy K R, Kakani V G, Zhao D, Koti S, Gao W. Interactive effects of ultraviolet-B radiation and temperature on cotton physiology, growth, development and hyperspectral reflectance. Photochemistry and Photobiology, 2004, 79(5): 416-427.
- [20] Yao Y, Xuan Z, Li Y, He Y, Korpelainen H, Li C. Effects of ultraviolet-B radiation on crop growth, development, yield and leaf pigment concentration of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) under field conditions. European Journal of Agronomy, 2006, 25: 215-222.
- [21] Zuk-Golaszewska K, Upadhyaya M K, Golaszewski J. The effect of UV-B radiation on plant growth and development. Plant Soil Environment, 2003, 49(3): 135-140.
- [22] Kakani V G, Reddy K R, Zhao D, Mohammed A R. Effects of ultraviolet-B radiation on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) morphology and anatomy. Annals of Botany, 2003, 91(7): 817-826.
- [23] Awad M A, Wagenmakers P S, Jager A. Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples. Scientia Horticulturae, 2001, 88: 289-298.
- [24] Carletti P, Masi A, Wonisch A, Grill D, Tausz M, Ferretti M. Changes in antioxidant and pigment pool dimensions in UV-B irradiated maize seedlings. Environmental and Experimental Botany, 2003, 50: 149-157.
- [25] Hou F J, Ben G Y, Yan J Y, Han F, Shi S B, Wei J. Effects of supplemental ultraviolet (UV) radiation on the growth and photosynthesis of soybean growing in the field. Acta Phytoecologica Sinica, 1998, 22(3): 256-261.
- [26] Shangguan Z P, Zheng S X. Plant Water Physioecology and Climatic Environment Change in Loess Plateau. Beijing: Science and Technology

Press, 2008: 24.

- [27] Yin C, Zhou Q. Effects of supplementary UV-B stress on the water content in soybean seedling leaves. *Journal of Safety and Environment*, 2009, 9(1): 1-3.
- [28] Ding Y, Li D L, Wei Q S, Zhao M. Water physio-ecological characteristics of *Chilopsis linearis* under different soil water conditions. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(3): 5-11.

参考文献:

- [1] 周平, 陈宗瑜. 云南高原紫外辐射强度变化时空特征分析. *自然资源学报*, 2008, 23(3): 487-493.
- [2] 王世英, 卢红, 杨骥. 不同种植海拔高度对曲靖地区烤烟主要化学成分的影响. *西南农业学报*, 2007, 20(1): 45-48.
- [3] 李洪勋. 海拔高度对贵州烤烟化学成分的影响. *生态环境*, 2008, 17(3): 1170-1172.
- [4] 刘敏, 李荣贵, 范海, 杜桂彩. UV-B 辐射对烟草光合色素和几种酶的影响. *西北植物学报*, 2007, 27(2): 291-296.
- [5] 黄勇, 周冀衡, 郑明, 杨虹琦, 张莹元. UV-B 对烟草生长发育及次生代谢的影响. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 140-144.
- [7] 纪鹏, 张德国, 陈宗瑜, 董陈文华, 钟楚. 烤烟叶片光合气体交换参数对滤减 UV-B 辐射强度的响应. *西北植物学报*, 2009, 29(7): 1437-1444.
- [8] 钟楚, 陈宗瑜, 王毅, 刘彦中. 低纬高原滤减 UV-B 辐射对烤烟营养生长期形态性状的影响. *中国农业气象*, 2010, 31(1): 83-87.
- [9] 董陈文华, 陈宗瑜, 纪鹏, 钟楚. 自然条件下滤减 UV-B 辐射对烤烟光合色素含量的影响. *武汉植物学研究*, 2009, 27(6): 637-642.
- [10] 刘国顺, 乔欣荣, 王芳, 杨超, 郭桥燕, 云菲. 光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响. *西北植物学报*, 2007, 27(9): 1833-1837.
- [11] 邹琦. *植物生理生化实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 1995: 36-39.
- [16] 霍常富, 孙海龙, 王政权, 范志强, 赵晓敏. 光照和氮营养对水曲柳苗木光合特性的影响. *生态学杂志*, 2008, 27(8): 1255-1261.
- [17] 钱莲文, 张新时, 杨智杰, 韩志刚. 几种光合作用光响应典型模型比较研究. *武汉植物学研究*, 2009, 27(2): 197-203.
- [25] 侯扶江, 贲桂英, 颜景义, 韩发, 师生波, 魏捷. 田间增加紫外线(UV)辐射对大豆幼苗生长和光合作用的影响. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 256-261.
- [26] 上官周平, 郑淑霞. *黄土高原植物水分生理生态与气候环境变化*. 北京: 科学技术出版社, 2008: 24.
- [27] 尹聪, 周青. UV-B 辐射对大豆幼苗叶片含水量的影响. *安全与环境学报*, 2009, 9(1): 1-3.
- [28] 丁钰, 李得禄, 尉秋实, 赵明. 不同土壤水分胁迫下沙漠薹的水分生理生态特征. *西北林学院学报*, 2008, 23(3): 5-11.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 21 2010

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

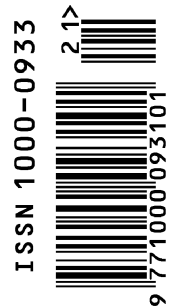
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元