

Effects of UV-B Radiation on Photosynthetic Characteristics and Pigment in Flue-Cured Tobacco Leaves

Jiye Qiang, Yunfei Chen

College of Agriculture and Forest, Pu'er University, Pu'er Yunnan
Email: qiangjiye126.com

Received: June 19th, 2019; accepted: July 4th, 2019; published: July 11th, 2019

Abstract

A pot experiment with three different UV-B radiation intensity treatments (75%, 50% and 35% of the natural solar UV-B respectively) using Yunyan87 was conducted at Banqiao town, Xuanwei county, Yunnan province (Altitude 1997 m). The photosynthetic characteristics and pigment contents of the middle or low leaves of each treatment were tested. The results showed that increasing with light intensity A1, A2 treatment of 7 leaves, the difference compared with the CK increased, so ability to adapt to light of Yunyan87 had been enhanced; the trend of CK and A3 consistent with light intensity increased. The Pn of all treatments had no significant difference, this result indicated that the difference among the treatments in this research mainly induced by UV-B, not the light. Besides this, reduction of UV-B resulted in the change of the chlorophyll content. With the reducing of the UV-B, chlorophyll content increased first then decreased. The tobacco varieties planted in Yunnan province have some adaptation of high UV-B radiation intensity.

Keywords

Flue-Cured Tobacco, Photosynthetic Characteristic, UV-B, Pigment

UV-B辐射对烤烟光合特性和光合色素含量的影响

强继业, 陈云飞

普洱学院农林学院, 云南 普洱
Email: qiangjiye126.com

收稿日期: 2019年6月19日; 录用日期: 2019年7月4日; 发布日期: 2019年7月11日

摘要

本研究选取云南高海拔烟区的宣威县板桥镇县(海拔1997 m), 大田种植烤烟品种云烟87, 通过大棚覆盖不同厚度透明薄膜减弱UV-B辐射的方式, 研究了自然环境下75.04% (A1)、70.01% (A2)和30.02% (A3)的不同UV-B辐射强度对云烟87光合特性和光合色素的影响。从本试验结果可以看出, 第7叶A1、A2处理随着光强的增加与CK相比差异加大, 使云烟87对强光的适应能力有所增强, A3与CK随光强增加变化一致。减弱UV-B辐射后, 各处理净光合速率差异不大, 这也说明本研究采用大棚遮挡UV-B辐射的同时, 虽然部分降低了棚内光照度, 但是对烤烟叶片的光合并未产生显著的影响, 本试验各处理间的差异主要受UV-B辐射强度的影响。另外, UV-B辐射可以引起光合色素含量的变化, 各降低UV-B辐射处理间叶绿素含量呈现先下降后升高的趋势, 这说明云南地区烤烟在长期的进化和生长中已经对高UV-B辐射有一定的适应。

关键词

烤烟, 光合特性, UV-B, 光合色素

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

植物光合作用是对UV-B辐射最为敏感的生理过程之一, 前人研究表明, UV-B辐射增强对作物光合作用的影响是多方面的, 净光合速率和表观量子效率的减少幅度随UV-B辐射时间的延长而逐渐增大, 并且它们是同时下降的, 这也是植物发生光合作用最显著的特征, 也说明它们是UV-B辐射量的累积效应[1], 同时, UV-B辐射增强会降低作物的净同化率和气孔传导率, 从而影响到作物的蒸腾作用和呼吸作用[2]。另外, UV-B辐射增强对作物光合作用的影响还表现在它使作物的光合作用机能受损[3]。尽管UV-B辐射对植物光合作用有伤害作用, 但已有许多研究表明, 植物可通过多种途径来尽量减少UV-B辐射的不利影响, 这包括光合色素含量的变化。刘敏等[4]研究指出, 增强UV-B辐射能够使烟草叶绿素含量提高, 但黄勇等[5]研究表明UV-B处理后叶绿素含量下降, 而且下降幅度与辐射强度呈正相关; 但是适宜强度的UV-B辐射预处理后可致叶绿素、总类胡萝卜素含量提高。UV-B辐射增强能破坏叶绿体系统, 使其中的叶绿素a、叶绿素b及叶绿素总量下降, 并且叶绿素a对UV-B辐射更敏感[6]。但也存在例外, 研究发现UV-B辐射增强对黄瓜和大豆的叶绿素b的破坏较叶绿素a严重[7], 这可能是因为过多的光能对光合机构有损伤作用, 而叶绿素b在一定程度上能够减少光能吸收, 从而避免或减轻光抑制伤害[8]。UV-B辐射除了对叶绿素、类胡萝卜素的含量有影响外, 还会影响其他植物色素的代谢, 特别是抗UV-B色素的合成, 这些色素主要是酚类化合物如类黄酮、黄酮醇、花色苷, 以及萜类化合物如类胡萝卜素、树脂等, 其中类黄酮是最主要的吸收物质, 它在植物对UV-B辐射的吸收中形成了一道理想的天然屏障, 可以减少UV-B辐射对植物自身的伤害, 并对叶肉组织起保护作用[9]。大量研究表明, 在UV-B辐射下, 植物叶片中的UV-B吸收物质含量会增加, 但同时UV-B吸收化合物的积累也受植物种性和所处环境的影响, 存在着很大的差异。然而, 关于大田种植环境下自然环境中太阳UV-B辐射对烤烟光合影响的研究还很少。本研究通过梯度减弱UV-B辐射的方式, 研究了云南低纬高海拔地区自然环境不同

UV-B 辐射强度下烤烟光合特性的变化, 拟初步明确低纬高海拔地区自然环境中不同强度 UV-B 对烤烟光合特性的影响。

2. 材料与方法

2.1. 材料与方法

试验地概况

试验在云南省曲靖市宣威县板桥镇(103°42'E, 26°18'N, 海拔 1997 m)进行, 该地气候温和, 雨量充沛, 属中亚热带湿润凉冬高原季风气候。烤烟大田主要生长期(5~8 月)正值云南地区的雨季, 宣威县板桥镇历年和 2017 年 5~8 月主要气候要素平均值见(表 1)。试验地为菜地, 轻壤土, 试验前土壤 pH 值 6.52, 有机质 24.01 g·kg⁻¹, 碱解氮 76.45 mg·kg⁻¹, 速效磷 19.14 mg·kg⁻¹, 速效钾 120.04 mg·kg⁻¹。

Table 1. Main climatic factors in the months of May to August over the years and 2009 year in Xuanwei County

表 1. 宣威县烤烟大田生长期(5~8 月)历年和 2017 年主要气候因子

气候要素 Climatic conditions	年份 Year	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	平均 Average
平均气温(°C)	历年	19.9	19.9	20.0	19.3	19.8
Average temperature	2017 年	19.7	20.7	19.9	20.3	20.2
降雨量(mm)	历年	84.0	127.5	161.7	183.2	138.9
Rainfall amount	2017 年	43.0	76.45	115.0	106.0	123.3
日照时数(h)	历年	224.9	144.0	150.0	150.6	167.4
Sunshine hours	2017 年	220.0	143.0	151.0	164.0	169.5

2.2. 试验材料与试验设计

烤烟品种为云烟 87, 包衣种子, 漂浮育苗, 2017 年 4 月 30 日移栽到大田, 种植密度 16500 株·hm⁻² (株行距 50 cm × 120 cm)。底肥施烤烟专用肥(N:P₂O₅:K₂O = 2:1:4) 775.5 Kg·hm⁻², 钙镁磷肥 775.5 Kg·hm⁻², 追肥施烤烟专用肥 330 Kg·hm⁻², 硫酸钾 132 Kg·hm⁻²·hm⁻², 追肥共施 3 次, 分别于 5 月 10 日、5 月 20 日和 5 月 30 日施入。其他栽培管理, 按优质烟叶生产技术规范进行。

试验设置 3 个减弱 UV-B 辐射处理, A1 覆盖 0.040 mm 厚度的聚乙烯薄膜; A2 覆盖 0.068 mm 厚度的聚乙烯薄膜; A3 覆盖麦拉膜 0.040 mm 厚度(Mylar, SDI, USA)。另设一个不作任何盖膜处理为对照(CK)。于移栽后 18 d (5 月 18 日), 烤烟进入旺长期开始处理。每处理搭建长 20 m, 宽 5 m, 顶部高 2.2 m, 边缘高 1.5 m 的大棚, 仅大棚顶部和东西两侧 1 m 以上部分盖膜, 以利于棚内通风。各处理设三个重复, 即共建九个小棚。经用 UV-B 辐射强度测定仪测定, 各处理棚内植株顶部的平均 UV-B 辐射强度分别为外界环境的 75.04% (A1)、70.01% (A2)和 30.02% (A3); 光照透过率为外界环境的 72%~80%之间, 不同处理没有明显差异。

2.3. 测定方法与计算

2.3.1. 光合作用测定

待云烟 87 进入现蕾——开花期, 选取已完全展开的第 7 片有效叶片(代表下部叶)作为测定功能叶, 于 2017 年 7 月 4 日~9 日晴天 9: 00~16: 00 (避开中午 12: 00~14: 00 烤烟的“午睡”时段), 采用 LI-6400

便携式光合测定仪(LI-COR, USA), 在开放式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 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 叶室内空气相对湿度控制在 60%~70%。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, 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。

处理 60 d (8 月 14 日), 待第 12 片有效叶片(代表中部叶)完全展开后, 在上午 9:30~12:00 测定叶片的光合气体交换参数, 包括净光合速率(P_n , $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(T_r , $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、气孔导度(G_s , $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度(C_i , $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)等。水分利用效率($\text{WUE}) = P_n/T_r$; 内在水分利用效率($\text{IWUE}) = P_n/C_i$; 气孔限制值($L_s) = 1 - C_i/C_a$; 同化能力($\text{AC}) = P_n/C_i$ [10]。

光合参数采用 LI-6400-02B 测定, 设定 PAR = 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 叶室温度 25℃, 开放式气路, 气体流量 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 叶室内空气相对湿度控制在 60%~70%。每处理测定重复 3~4 株, 取平均值。

2.3.2. 叶绿素和类胡萝卜素含量的测定

叶绿素和类胡萝卜素含量的测定采用比色法, 用混合液(纯丙酮、无水乙醇和蒸馏水按 4.5:4.5:1 的比例配成)在黑暗条件下浸提, 当组织完全变白时, 用 646 nm, 470 nm 和 663 nm 处测定光密度值。

$$\text{叶绿素 a } C_a = 12.12A_{663} - 2.81A_{646}$$

$$\text{叶绿素 b } C_b = 20.13A_{646} - 5.03A_{663}$$

$$\text{类胡萝卜素 } C_{x,c} = \frac{1000A_{470} - 3.27C_a - 104C_b}{229}$$

$$\text{色素含量} = (\text{色素浓度} \times \text{色素提取液总量}) \div \text{叶片面积。}$$

2.4. 数据的数理统计分析

数据经 Microsoft Excel 2003 整理, SPSS 16.0 进行单因素方差(One-way ANOVA)分析, F 检验(LSD 法)处理间的差异, 设置差异水平 $P < 0.05$ 。数值以平均值 \pm 标准误(S.D.)表示。

3. 结果与分析

3.1. 下部叶(第 7 叶)的光响应曲线特征

3.1.1. 净光合速率

随着 PAR 的增加, 各处理净光合速率均呈现出明显的增加趋势, 在 PAR 较低时, 随着 PAR 的增加净光合速率增加较快, 而在 PAR 较高时, 随着 PAR 的增加净光合速率相对增加较慢。

另外, 从图 1 可以看出, 在 0~2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 范围内, 同一 PAR 水平下各处理净光合速率值均无显著差异, 但 A1 和 A2 处理略高于 A3 和 CK 处理, 这表明, 适当的降低 UV-B 辐射后, 可能由于减轻了 UV-B 辐射对烟叶光合作用的抑制, 烟叶净光合速率升高, 但是, 过度的减弱 UV-B 辐射反而又抑制了烟草净光合速率的提高, 其不利于烤烟光合作用。

3.1.2. 蒸腾速率

随着 PAR 的增加, 各处理蒸腾速率总体上呈上升趋势。在 0~1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 范围内, CK 处理蒸腾速率随着 PAR 的提高呈不断升高, PAR 大于 1000 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 后, 蒸腾速率基本保持不变。但是 A1、A2 和 A3 处理在 0~2000 范围内, 蒸腾速率随 PAR 的增加一直呈增加趋势。从 PAR = 2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 开始, A1、A2 和 A3 处理蒸腾速率均显著高于 CK 处理, 但是 3 个降低 UV-B 辐射处理间蒸腾速率在各 PAR 下均无显著差异, A1 和 A2 处理略高于 A3 处理(图 2)。

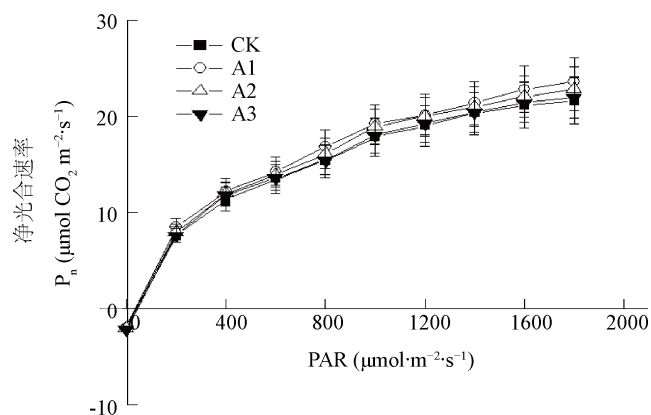


Figure 1. Response of P_n to PAR (Photosynthetic Active Radiation) in Yunyan87 leaves

图 1. 烟叶净光合速率对 PAR(光合有效辐射)的响应

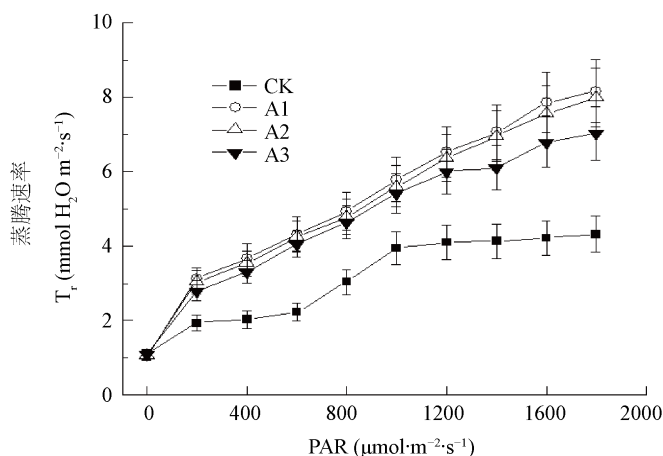


Figure 2. Response of T_r to PAR (Photosynthetic Active Radiation) in Yunyan87 leaves

图 2. 烟叶蒸腾速率对 PAR(光合有效辐射)的响应

3.1.3. 水分利用效率

随着 PAR 强度增加,各处理叶片水分利用率均先迅速增加,在 PAR 为 $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时达最大值,其后随着 PAR 增加,水分利用率缓慢下降(图 3)。当 $\text{PAR} > 200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,各减弱 UV-B 处理的水分利用率均明显低于同一 PAR 条件下的 CK 处理,但 A1、A2 和 A3 3 个处理之间水分利用率差异不大。

3.2. UV-B 辐射对烤烟中部叶片光合参数的影响

不同 UV-B 辐射条件下烟株中部叶片的 P_n 、 T_r 、 C_i 和 IWUE 均以 A1 最高(表 2),不同 UV-B 处理条件下,A1 处理除了胞间 CO_2 浓度 C_i 和水分利用效率表现出下降趋势外,其余指标均较对照有所上升,其中净光合速率较对照上升最为明显,与对照相比上升了 6.20%,A2 和 A3 处理较对照相比除了净光合速率均表现为下降趋势,其中 A3 处理下内在水分利用效率较对照下降了 7.91%。A1 > A3 > A2; 处理间蒸腾速率 T_r 为 A1 > A2 > A3, A3 与 CK 接近;胞间 CO_2 浓度 C_i 则 A1 较大,而其余三者相差不大;对 A1~A3 的 WUE 均明显低于 CK,但各减弱 UV-B 辐射处理水分利用率差异不大。A1~A3 气孔导度 C_s 较 CK 低。随 UV-B 辐射的降低,气孔限制值相差不大。减弱 UV-B 辐射各处理水分利用率有不同程度的降

低, 其中以 A3 最低。A1 和 A2 比 A3 略高。减弱 UV-B 辐射下不同处理的内在水分利用率 A1 较高, A2 较低, A3 则低的较多, 与 A1 和 A2 有显著差异。

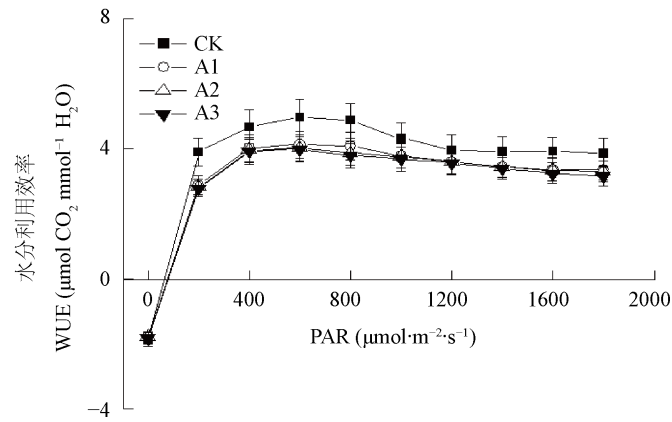


Figure 3. Response of WUE to PAR (Photosynthetic Active Radiation) in Yunyan87 leaves

图 3. 烟叶水分利用效率对 PAR(光合有效辐射)的响应

Table 2. Main photosynthetic gas parameters of flue-cured tobacco leaf in treatments (12 leaf)
表 2. 不同处理烟叶主要光合参数(第 12 叶)

处理	P_n ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T_r ($\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	C_s ($\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	C_i ($\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	L_s	WUE ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)	IWUE ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)
CK	20.33 b	4.66 a	0.43 a	243.56 a	0.34 a	4.48 a	47.56 a
A1	21.59 a	4.68 a	0.42 a	246.52 a	0.35 a	4.46 a	48.57 a
A2	20.53 ab	4.67 a	0.42 a	243.53 a	0.34 a	4.45 a	47.12 a
A3	21.19 a	4.66 a	0.40 a	243.63 a	0.34 a	4.44 a	43.80 b

叶片光合参数相关分析结果表 3 表明, P_n 与 T_r 、 L_s 成正相关, P_n 与 C_s 、 C_i 、WUE 和 IWUE 成负相关; T_r 与 C_s 、 L_s 成正相关, T_r 与 C_i 、WUE 成负相关; C_s 与 L_s 、WUE 和 IWUE 成正相关; 但各参数之间相关性上都不显著。

Table 3. Relationship analyzes of leaf photosynthetic gas parameters
表 3. 叶片光合参数之间的相关性分析

	P_n	T_r	C_s	C_i	L_s	WUE	IWUE
P_n	1						
T_r	0.585	1					
C_s	-0.518	0.208	1				
C_i	-0.098	-0.308	-0.692	1			
L_s	0.777	0.870	0.132	-0.580	1		
WUE	-0.448	-0.051	0.892	-0.845	0.098	1	
IWUE	-0.055	0.669	0.862	-0.734	0.583	0.677	1

*Relationship was significant at level of $p < 0.05$ (two tailed); **Relationship was significant at level of $p < 0.01$ (two tailed); It was the same as following.

注: * 在 $p < 0.05$ 水平(双侧)上显著相关; **在 $p < 0.01$ 水平(双侧)上显著相关; 下同。

3.3. UV-B 辐射处理对叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

从图 4 可以看出, 随 UV-B 辐射强度的减弱, 叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量呈先降低后增高的趋势, 方差分析可以看出, A1 处理叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量显著低于 CK、A2 和 A3, 但是 CK、A2 和 A3 三者之间无显著差异。减弱 UV-B 辐射对类胡萝卜素含量的影响与叶绿素不同, 在 A1 处理下具有最大值, 但是各处理间无显著差异。

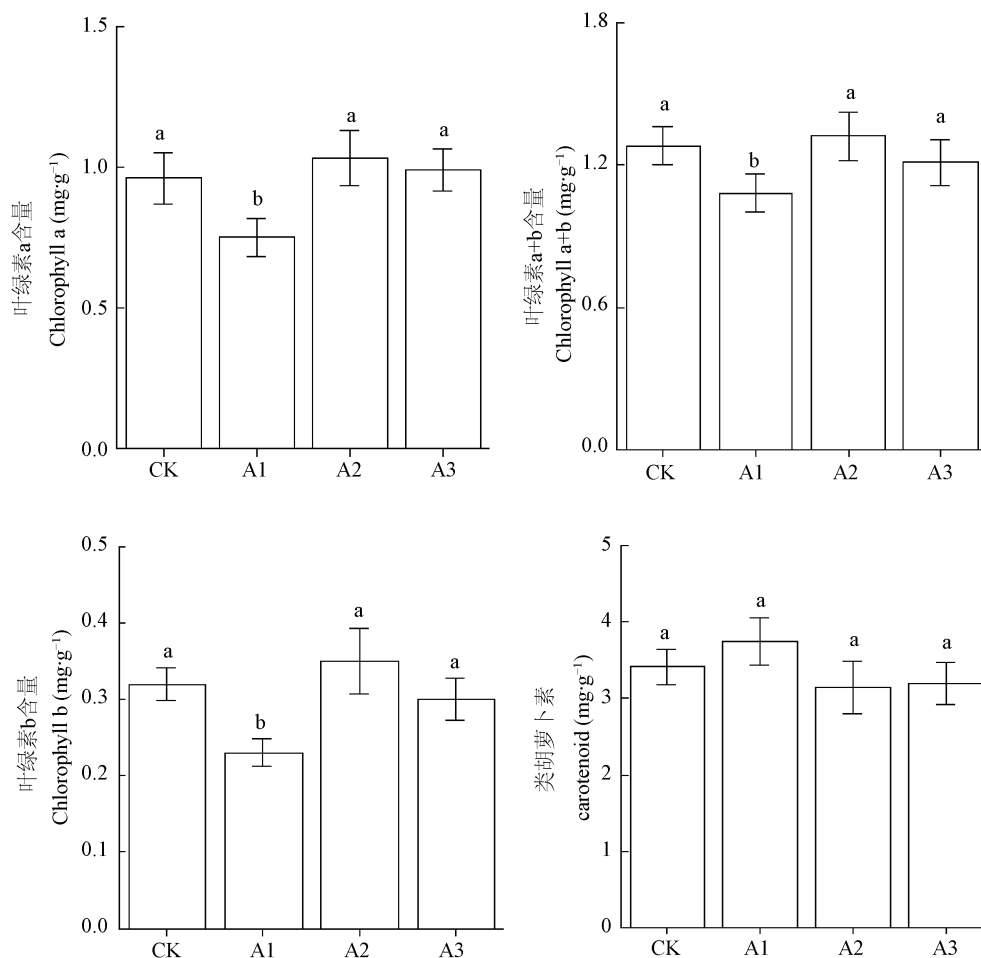


Figure 4. Changes in chlorophyll and carotenoids after different UV-B radiation treatments

图 4. UV-B(紫外线)辐射处理对叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

4. 讨论

4.1. 净光合速率和光合色素

从第 7 叶的结果来看, A1、A2 处理随着光强的增加与 CK 相比差异加大, 使云烟 87 对强光的适应能力有所增强, A3 与 CK 随光强增加变化一致。在增强 UV-B 辐射下, 植物以降低净光合速率来应对 UV-B 辐射加强的变化, 作为一种适应方式[11]。试验中对第 7 叶的研究表明, A1 和 A2 处理净光合速率大于 CK, 对第 12 叶的研究表明, A1 处理下云烟 87 净光合速率最大, CK 最小, A2 和 A3 介于中间水平, 这些结果表明烟草中下部第 7 叶和中部第 12 叶都以增加净光合速率来应对 UV-B 辐射能量减少对植物光合系统的影响, 表现出烤烟对 UV-B 辐射变化的适应情况。植物叶片光合作用与叶位有很大的相关

关系[12], 对比在本研究中不同 UV-B 辐射下两个叶位 P_n 可以发现, 减弱 UV-B 辐射对烤烟叶片光能吸收、传递和转换的影响, 叶位不同也是引起处理间 P_n 差异的一个重要因素。以减少对光的吸收为代价达到减轻高能量光对光合系统的伤害。另外, 从本试验结果可以看出, 减弱 UV-B 辐射后, 各处理净光合速率差异不大, 这也说明本研究采用大棚遮挡 UV-B 辐射的同时, 虽然部分降低了棚内光照强度, 但是对烟叶的光合并未产生显著的影响, 本试验各处理间的差异主要受 UV-B 辐射强度的影响, 而不是主要受光照强度变化的影响。

UV-B 辐射变化可以引起光合色素含量的变化。减弱 UV-B 辐射对类胡萝卜素含量的影响与叶绿素不同, 在 A1 处理下具有最大值, 各处理间差异不大。对比不同 UV-B 辐射条件下叶片叶绿素含量可以发现, 各降低 UV-B 辐射处理间叶绿素含量呈现先下降后升高的趋势。这表明, 云南地区烤烟在长期的进化和生长中已经对高 UV-B 辐射产生的一定的适应, 部分降低 UV-B 辐射对叶绿素含量产生了较大的影响, 但是, 随着 UV-B 辐射程度的下降, 烤烟逐步产生了适应性, 所以, 更低的 UV-B 辐射反而又提高了叶绿素含量, 这些结果也表明, 烤烟对 UV-B 辐射的反应适应机理比较复杂, 关于其具体机理需要进一步深入研究。

4.2. 水分利用效率

提高 WUE 是植物适应不利环境的一个重要策略[13]。试验中对两个叶位 WUE 的分析都表明, CK 的 WUE 最高, 高于各减弱 UV-B 辐射处理。这说明在一定范围内减弱 UV-B 辐射后烤烟对水分的管理、利用能力下降, 而当 UV-B 辐射增加时, 提高 WUE 是烟叶适应环境的一种重要对策。前期研究也表明[14], 外界较强的 UV-B 辐射对 WUE 的抑制强度较弱, 这与本研究结果类似。

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 的相对大小。气孔调控着植物 CO_2 的摄取和水分散失之间的平衡, P_n 不仅与碳同化有关, 还和气孔导度有关, 而 T_r 主要与气孔导度有关[15], 因此 UV-B 辐射对碳同化过程和气孔导度的影响程度是解释 WUE 差异的关键。分析各处理影响 WUE 的主要因素可以发现, CK 较高的 WUE 主要与其较高的 P_n 或较低的 T_r 有关, A3 则主要与其较高的 P_n 有关。A1 和 A2 相比, A1 较高的 WUE 可能主要是因为其气孔导度小, 降低了蒸腾速率。一般气孔密度大时, 植物的蒸腾速率较高, 但还取决于气孔对水、气平衡的调节能力[16]。IWUE 可用来评价植物气孔的水、气平衡调节能力。IWUE 的分析结果表明, A1 处理的 IWUE 较高, 表现出比其它处理较强的气孔水、气调节能力, 其次为 CK, 而 A2 和 A3 处理下气孔的水、气调节能力较差。

基金项目

普洱学院烤烟、茶叶科技创新研究团队项目。

参考文献

- [1] 侯扶江, 郑文菊. 紫外线 2B 辐射与 3 种植物幼苗的光合作用——光合作用对紫外线-B 敏感性的比较[J]. 西北植物学报, 2000, 20(2): 218-223.
- [2] Mészáros, I., Láposi, R., Veres, S., et al. (2001) Effects of Supplemental UV-B and Drought Stress on Photosynthetic Activity of Sessil Oak (*Quercus petraea* L.). *Proceedings of 12th International Congress on Photosynthesis*, Brisbane, 18-23 August 2001, S3-S36.
- [3] Kostina, E., Wulff, A. and Julkunen-Tiitto, R. (2001) Growth, Structure, Stomatal Responses and Secondary Metabolites of Birch Seedlings (*Betula pendula*) under Elevated UV-B Radiation in the Field. *Trees*, **15**, 483-491. <https://doi.org/10.1007/s00468-001-0129-3>
- [4] 刘敏, 李荣贵, 范海, 等. UV-B 辐射对烤烟光合色素和几种酶的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 291-296.
- [5] 黄勇, 周冀衡, 郑明, 等. UV-B 对烤烟生长发育及次生代谢的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 140-144.

- [6] 侯扶江, 李广, 贲桂英. 增强的 UV-B 辐射对黄瓜(*Cucumis sativus*)不同叶位叶片生长、光合作用和呼吸作用的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(4): 321-326.
- [7] 王忠. 植物生理学报[J]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 128-131.
- [8] 侯扶江, 贲桂英. UV2B 辐射对大豆和黄瓜幼苗某些生理特性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(5): 455-458.
- [9] 王小菁, 潘瑞炽. UV-B 对高等植物生长和产量及某些生理代谢过程的影响[J]. 植物生理学通讯, 1995(5): 385-389.
- [10] 潘瑞炽, 王小菁, 李娘辉. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 110-117.
- [11] Yao, Y., Xuan, Z., Li, Y., *et al.* (2006) 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*, **25**, 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.004>
- [12] Kadur, G., Swapan, B., Sunita, K., *et al.* (2007) 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*, **94**, 299-306. <https://doi.org/10.1007/s11120-007-9190-0>
- [13] Smith, J.L., Burritt, D. and Bannister, P. (2000) Shoot Dry, Chlorophyll and UV-B-Absorbing Compounds as Indicators of a Plant's Sensitivity to UV-B Radiation. *Annual of Botany*, **86**, 1057-1063. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1270>
- [14] Sharkey, T.D. (1985) Photosynthesis in Intact Leaves of C₃ Plant: Physiology and Rate Limitations. *Botany Review*, **51**, 51-105. <https://doi.org/10.1007/BF02861058>
- [15] 纪鹏, 张德国, 陈宗瑜, 等. 烤烟叶片光合气体交换参数对滤减 UV-B 辐射强度的响应[J]. 西北植物学报, 2009, 29(7): 1437-1444.
- [16] 赵平, 孙谷畴, 曾小平, 等. 两种生态型榕树的叶绿素含量、荧光特性和叶片气体交换日变化的比较研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 327-332.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjas@hanspub.org