

# 遮荫条件下雪茄外包烟叶成熟过程中的叶绿素荧光特征

时向东, 汪文杰, 顾会战, 张晓娟

(河南农业大学 国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南 郑州 450002)

**摘要:**通过测定分析雪茄外包烟叶成熟过程中的叶绿素荧光参数,探讨了其叶绿素荧光变化特征,结果表明,遮荫条件下雪茄外包烟叶成熟过程中光合系统Ⅱ的最大光化学效率、潜在活性均下降,qP呈双峰曲线变化,NPQ则随着叶片的衰老逐步下降;而叶片的光合电子传递速率和光量子产量也呈双峰曲线变化。成熟后期,qP、叶片的光合电子传递速率和光量子产量仍较大。

**关键词:**遮荫;雪茄外包烟;叶绿素荧光参数

中图分类号:S572.01 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2006)02-0062-04

## The Characteristic of Chlorophyll a Fluorescence to Cigar Wrapper Tobacco During Maturing Under the Condition of Shading

SHI Xiang-dong, WANG Wen-jie, GU Hui-zhan, ZHANG Xiao-juan

(Henan Agricultural University, National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Center, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Changes of chlorophyll a fluorescence parameters of cigar wrapper tobacco during maturing under the condition of shading were measured to analysis the characteristic of them. The results indicated that: the biggest efficiency of photochemistry and potential activity of PS II were decreased; the changes of qP presented a bimodal curve; NPQ were decreased progressively with the aging of the blade; shut electron transmit speed and light quantum yield presented bimodal curve too. At the late stage of maturity, qP, shut electron transmit speed and light quantum yield were still high.

**Key words:** Cigar wrapper tobacco; Chlorophyll a fluorescence parameters; Shading

叶绿素荧光动力学技术在测定叶片光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有特殊的作用。植物体内发出的叶绿素荧光与光合作用中各反应过程紧密相关,叶绿素a作为植物体内天然荧光探针,能够探测许多有关植物光合作用的信息<sup>[1]</sup>。近年来,国内外利用叶绿素荧光在光合作用机理、作物增产潜力预测等方面进行了大量的研究<sup>[2~5]</sup>。而名贵雪茄所使用的外包烟叶要求其叶片组织细致,色泽均匀,宽、薄,支脉细而不突,弹性好,燃烧性好,国外一般采用遮荫栽培来实现,而遮荫主要是降低了到达地表的总辐射量,改变了其光合特性,其效果在生长后期尤为明显。本研究对

遮荫条件下雪茄外包烟叶成熟过程中的叶绿素荧光参数进行了测定和分析,以期为进一步探讨遮荫条件下雪茄外包烟叶质量形成的光合生理机制提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验于2004年在河南农业大学科技园区进行,供试品种为古巴雪茄外包烟。进行盆栽试验,每盆装土20 kg,装盆前将土风干,并过0.3 cm×0.3 cm网筛。每盆施纯N10 g, N:P:K=1:2:2.5,于5月20日移栽,全生育期都使用黑色的遮荫网遮荫,遮荫率

收稿日期:2005-06-25

基金项目:国家烟草专卖局资助项目(110200201012)

作者简介:时向东(1966-),男,河南南阳人,副研究员,博士,主要从事烟草栽培生理及烟草发育生物学等方面的研究工作。

为 50%。

## 1.2 测定项目与方法

叶绿素荧光参数的测定: 分别在移栽后的 60 (07-22), 65, 70, 75, 80, 85 d 测定其上部叶(第 6 片叶)、中部叶(第 12 片叶)和下部叶(第 17 片叶)的叶绿素荧光动力学参数。测定时选取照光一致的叶片, 采用 FMS2 脉冲调制式荧光仪(英国 Hansatech 科学仪器公司)测定光适应下的最大荧光( $F_m'$ )、稳态荧光( $F_s$ )等荧光参数; 暗适应 15 min 后测定初始荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )和光系统 II 的最大光化学效率( $F_v/F_m$ ), 在自然光强下, 于 10:30 到 11:30 进行, 并参照 Genty<sup>[7]</sup> 等方法计算可变荧光  $F_v$  ( $F_v = F_m - F_o$ )、PS II 实际光化学效率  $\Phi_{PS II}$ 、荧光光化学猝灭系数  $qP$ 、非光化学猝灭系数  $NPQ$ 、叶片光合电子传递速率( $ETR$ )和 PS II 光量子产量( $Yield$ )。

并在移栽后的第 65 d 测定雪茄外包烟叶的叶绿素荧光参数日变化, 从 8:30 到 18:30 每隔 2 h 测定 1 次, 方法同上。叶片叶绿素( $Chl$ )和类胡萝卜素( $Car$ )含量采用 80% 丙酮提取法测定<sup>[6]</sup>。测定时间同叶绿素荧光参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 雪茄外包烟叶片成熟过程中色素的变化特征

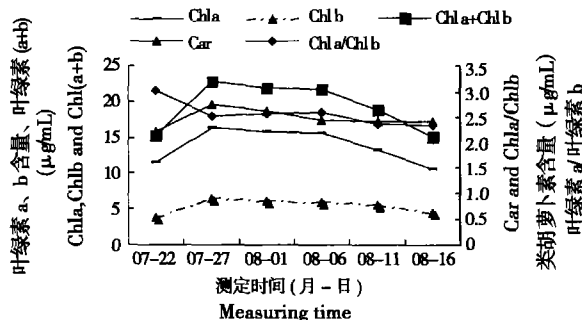


图 1 雪茄外包烟叶成熟过程中的色素变化

Fig.1 Changes of pigment during maturing of cigar wrapper tobacco leaves

$Chl a$  和  $Chl b$  都是光合膜的组成部分, 其比值 ( $Chl a/Chl b$ ) 一般为 3 左右。 $Chl a$  是反应中心复合体的主要组成部分, 其中处于特殊状态的反应中心  $Chl a$  分子是执行能量转换的光合色素, 而  $Chl b$  则是捕光色素蛋白复合体的重要组成部分, 主要作用在于捕获和传递光能<sup>[8]</sup>。由图 1 可知, 雪茄外包烟叶在成熟的过程中, 其叶绿素  $a$  和叶绿素  $b$  含量以及叶绿素总含量都是在 7 月 27 日达到最大值, 而后下降。而  $Chl a/Chl b$  在成熟过程中呈平缓下降的趋势。 $Car$  是植物光合作用色素蛋白复合体不可

缺少的组分, 它们既是捕光色素, 又在保护光合器官免受或减轻单线态氧的伤害中起重要作用<sup>[9]</sup>。由图 1 可以看出, 雪茄外包烟叶成熟过程中  $Car$  总浓度没有很大的变化, 依然保持很高的含量, 这使之更能适应生育后期的高温环境。

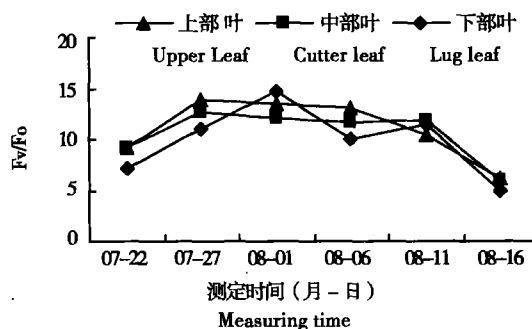


图 2 雪茄外包烟叶成熟过程中  $F_v/F_o$  的变化

Fig.2 Changes of  $F_v/F_o$  during maturing of cigar wrapper tobacco leaves

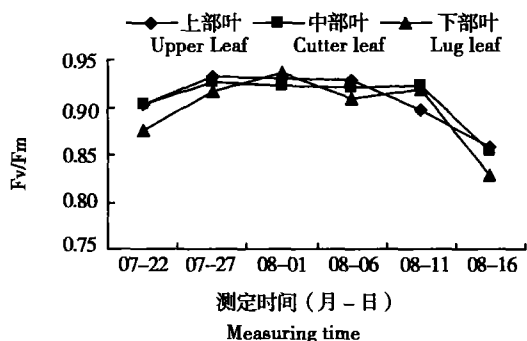


图 3 雪茄外包烟叶成熟过程中  $F_v/F_m$  的变化

Fig.3 Changes of  $F_v/F_m$  during maturing of cigar wrapper tobacco leaves

### 2.2 雪茄外包烟叶片成熟过程中叶绿素荧光特征

2.2.1 雪茄外包烟叶成熟过程中  $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  的变化 在荧光诱导动力学参数的测定中, 经过暗适应的叶片, 可变荧光 ( $F_v$ ) 与固定荧光 ( $F_o$ ) 的比值 ( $F_v/F_o$ ) 可以代表光系统 II (PS II) 的潜在活性<sup>[10]</sup>, 而  $F_v$  与最大荧光  $F_m$  的比值 ( $F_v/F_m$ ) 可代表 PS II 的最大光化学效率或 PS II 原初光能转化效率<sup>[11]</sup>, 从图 2 和图 3 可以看出, 成熟过程中下部叶的  $F_v/F_o$ ,  $F_v/F_m$  在 8 月 1 日达到最大, 而后下降, 而中部叶和上部叶在 7 月 27 日达到最大值, 而后下降。这说明遮荫条件下随着烟叶成熟度的增加, PS II 潜在活性和 PS II 光化学最大效率有降低的趋势。

2.2.2 雪茄外包烟叶成熟过程中  $qP$  和  $NPQ$  的变化 荧光光化学猝灭系数 ( $qP$ ) 是对  $Q_A$  氧化态的一种度量, 表示 PS II 反应中心开放部分的比例<sup>[7,9]</sup>。光化学猝灭系数  $qP$  愈大, PS II 的电子传递活性愈

大;而荧光非光化学猝灭系数(NPQ)则反映了 PS II 反应中心吸收的光能不能用于光合电子传递,而以热的形式耗散掉的光能部分<sup>[12]</sup>。从图 4 可以看出,qP 呈双峰曲线变化,在 7 月 27 日和 8 月 11 日其值分别有一个高峰,这说明遮荫条件下,在生长后期由于遮荫的原因,有利于光合中心的开放,从一定程度上延缓了光合机构的衰老和破坏。

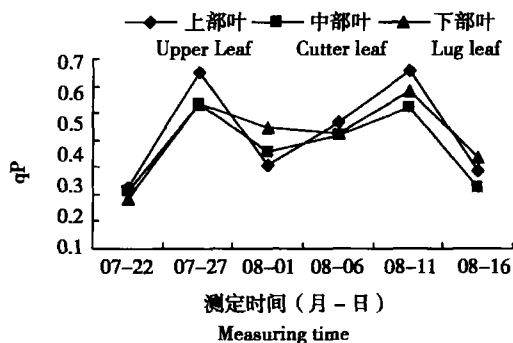


图 4 雪茄外包烟烟叶成熟过程中 qP 的变化

Fig.4 Changes of qP during maturing of cigar wrapper tobacco leaves

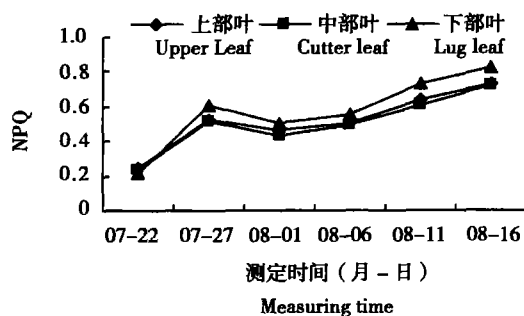


图 5 雪茄外包烟烟叶成熟过程中 NPQ 的变化

Fig.5 Changes of NPQ during maturing of cigar wrapper tobacco leaves

从图 5 可以看出,NPQ 的变化在 7 月 27 日有一个峰值,8 月 1 日后则逐渐上升,这说明随着叶片的衰老其 NPQ 值在不断上升,这显然与衰老叶片不能把所捕获的光能用于进行光合作用,逐渐增强非辐射能量的耗散有关,使光合器官不致于因激发能的过量积累而受到进一步破坏。

2.2.3 雪茄外包烟烟叶成熟过程中电子传递速率(ETR)和 PS II 光量子产量(Yield)的变化 光合电子传递速率(ETR)和 PS II 的光量子产量(Yield)的测定结果表明(图 6 和图 7),光合电子传递速率呈现双峰曲线的变化趋势,在 7 月 27 日出现一个峰值,而后降低,在 8 月 11 日又出现一个高峰,而后又降低。这是由于遮荫条件下雪茄外包烟烟叶生育后期叶绿素 b 和类胡萝卜素仍有较高的含量从而延缓了叶片

的衰老,使之在生育后期仍能够在一定程度上提高其光合电子传递速率。而 PS II 的光量子产量则随着成熟度的增加,有下降的趋势,但各部位间表现不尽相同,中部叶和下部叶随着叶片的成熟显著下降,而上部叶则随着成熟的推进波动下降,这说明上部叶较中、下部叶在生育后期仍能产生较高的光量子产量,这是由于上部叶中 Car 仍有较高的含量所致,尽管如此,随着成熟的继续推进,叶片的衰老使其光量子产量在后期迅速减少。

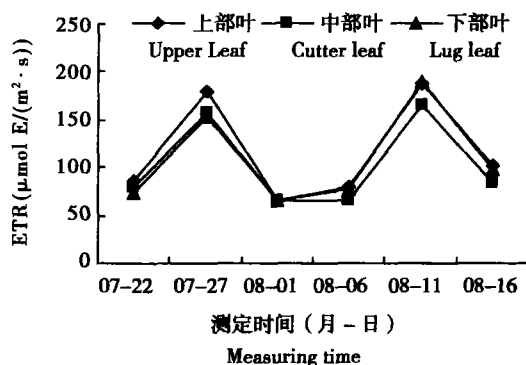


图 6 雪茄外包烟烟叶成熟过程中 ETR 的变化

Fig.6 Changes of ETR during maturing of cigar wrapper tobacco leaves

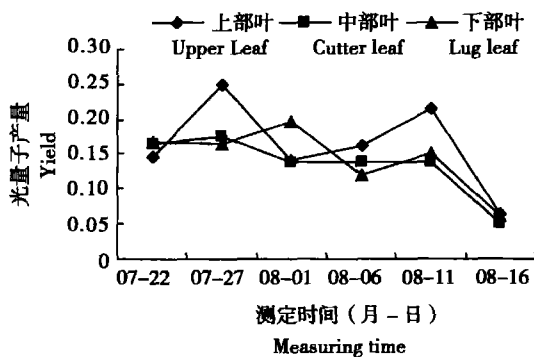


图 7 雪茄外包烟烟叶成熟过程中 Yield 的变化

Fig.7 Changes of Yield during maturing of cigar wrapper tobacco leaves

2.2.4 雪茄外包烟烟叶成熟期间叶绿素荧光日变化特征 由图 8,9,10 可知,在遮荫条件下,Fv/Fm 和 Fv/Fo 的日变化趋势基本相同,都是在 14:30 达到最小值,而后随着光合有效辐射的降低又上升;Fo 的日变化不显著,而 Fm 的日变化则是先稍微升高再下降,达到最低值后又上升,这说明光抑制条件下 Fv 的降低主要是由于 Fm 的降低,而不是 Fo 增加的结果;qP、ETR 的叶绿素荧光日变化趋势基本上一致,都是随着光合有效辐射的增加有上升的趋势,在 14:30 达到最大值,而后随着光合有效辐射的减弱

又下降,这说明随着光合有效辐射的增强,光合机构的开放度增大,叶片的光合电子传递速率变快,而后随着光合有效辐射的减弱,它们也相应的降低;而 NPQ 的日变化则不显著,这说明遮荫条件下,雪茄外包烟在生育前期其叶片的光合机构受光合有效辐射的影响较小,以热的形式耗散掉的光能部分较少,叶片吸收的光能绝大部分用于光合作用。

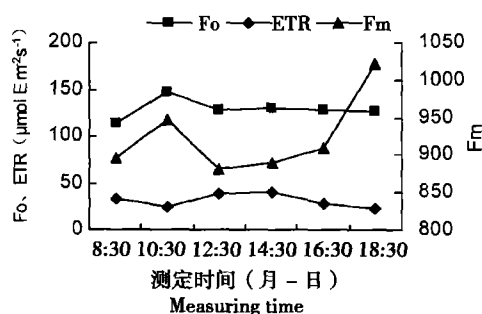


图 8 雪茄外包烟烟叶成熟期间  $F_o$ ,  $F_m$  和 TER 的日变化  
Fig. 8 The daily changes of  $F_o$ ,  $F_m$  and TER of cigar wrapper tobacco leaves during maturing

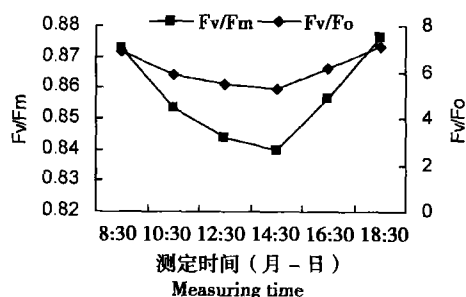


图 9 雪茄外包烟烟叶成熟期间  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  的日变化  
Fig. 9 The daily changes of  $F_v/F_m$  and  $F_v/F_o$  of cigar wrapper tobacco leaves during maturing

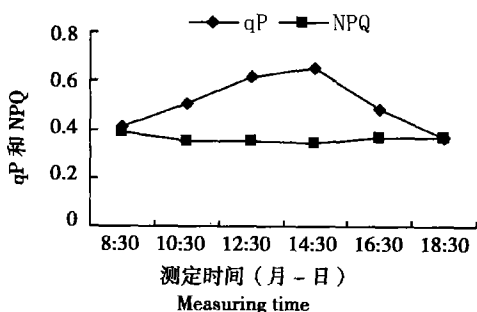


图 10 雪茄外包烟烟叶成熟期间  $qP$  和  $NPQ$  的日变化  
Fig. 10 The daily changes of  $qP$  and  $NPQ$  of cigar wrapper tobacco leaves during maturing

### 3 结论和讨论

在遮荫条件下,雪茄外包烟烟叶成熟的过程是一个衰老的过程,其叶绿素是逐步降解的,光系统 II 的最大光化学效率和光系统 II 的潜在活性也都是降低的,  $qP$  在烟叶成熟的过程中的变化呈双峰曲

线,但随着成熟度的进一步提高,  $qP$  是逐步减小的,而 NPQ 则随着叶片的衰老逐渐升高,这是由于叶片不能把所捕获的光能用于进行光合作用,逐渐增强非辐射能量的耗散的原因。叶片光量子产量也随着烟叶的成熟逐渐减小。

从雪茄外包烟烟叶成熟期间的日变化来看,  $F_o$  的日变化不显著,而  $F_m$  的日变化则是先下降而后上升,  $F_v/F_o$ ,  $F_v/F_m$  都是随着光合有效辐射的增强而下降,在 14:30 达到最低,而后又上升。而  $qP$  的日变化则是随着光强的增加有上升的趋势,在下午 14:30 达到最大值,而后随着光合有效辐射的减弱又下降,但 NPQ 的日变化不显著,因此试验结果表明:在遮荫条件下,中午的强光以及黑色的遮阳网遮荫导致温度升高仍能使烟叶叶片产生光合午休,其机理可能以气孔限制为主,而且其光合机构的破坏是轻微的,因为在 18:30  $F_v/F_m$  已经完全恢复。

有关遮荫对雪茄外包烟烟叶叶绿素荧光特征影响的研究尚未见报道,本试验结果表明遮荫能够延缓雪茄外包烟烟叶的衰老,使其在生育后期仍有较高的  $qP$  和光合电子传递速率,从而提高其光合速率,提高烟叶的品质。但关于光合作用对雪茄外包烟烟叶品质的作用机理尚需进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] 孟庆伟,赵世杰. 田间小麦叶片光合作用的光抑制和光呼吸的防御作用[J]. 作物学报, 1996, 22(7): 470 - 475.
- [2] 张贤泽,马占峰. 大豆不同品种光合速率与产量关系的研究[J]. 作物学报, 1986, 12(1): 43 - 47.
- [3] 曹树青,瞿虎渠. 不同产量潜力水稻品种的剑叶光合特性的研究[J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(3): 1 - 4.
- [4] 宋建民,田纪春,赵世杰. 中午强光胁迫下高蛋白小麦旗叶的光合特性[J]. 植物生理学报, 1999, 25(3): 209 - 213.
- [5] 张其德,朱新广. 冬小麦杂种  $F_1$  及其亲本光合特性的研究初报[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 653 - 657.
- [6] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [7] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and photochemical quenching of chlorophyll fluorescence [J]. Biochim Biophys Acta, 1989, 900: 87 - 92.
- [8] 匡廷云,卢从明,李良璧. 作物光能利用效率与调控[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2004.
- [9] Van Kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology [J]. Photosyn Res, 1990, 25: 147 - 150.
- [10] 张其德,卢从明,刘丽娜,等.  $CO_2$  倍增对不同基因型大豆光合色素含量和荧光诱导动力学参数的影响[J]. 植物学报, 1997, 39(10): 946 - 950.
- [11] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444 - 448.
- [12] Alexander V R, Peter H. Regulation of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in plants [J]. Aust J Plant Physiol, 1995, 22: 221 - 230.