

烟草生长、光合特性 及品质对水分胁迫的响应研究^①

龚 婷^{1,4}, 刘善丽¹, 尹国瞩¹, 何 丹², 张庆平³, 宗学风⁴

1. 重庆医药高等专科学校, 重庆 401331; 2. 重庆人文科技学院, 重庆 合川 401573;

3. 重庆市永川区农委, 重庆 永川 402160; 4. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400716

摘要:以云烟97为材料,采用人工控制土壤含水量的方法设置了轻度和重度水分胁迫,研究烟草生长、光响应特性、叶绿素荧光及品质对水分胁迫的响应。结果表明:1)水分胁迫抑制烟草植株的生长。2)胁迫处理下净光合速率、气孔导度和蒸腾速率下降,但差异无统计学意义。重度水分胁迫下叶片胞间CO₂浓度显著上升,这表明在干旱条件下,烟草叶片光合作用的抑制受到气孔与非气孔因素的双重影响。3)随水分胁迫程度增加,叶片光补偿点和暗呼吸速率逐渐上升而光饱和点和最大净光合速率则持续降低。4)胁迫的强度会在水分逐渐降低的时候不断增强,同时伴随的还有初始荧光的变化,呈现出先降后升的趋势,而最大荧光以及PSⅡ光化学效率(F_v/F_m)、光化学猝灭和实际光化学效率不断降低而非光化学猝灭不断增加。这表示光合器官在轻度水分胁迫时没有受到明显影响,而重度胁迫则造成PSⅡ反应中心破坏。5)水分胁迫处理后烟草化学成分发生改变,轻度水分胁迫的烟草品质协调性分值最高,达95.85,表明适当地进行烟草中的水分胁迫处理能够提高烟草品质。

关键词:烟草;品质;光合特性;水分胁迫

中图分类号: S572

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)08-0064-06

烟草是我国最重要的经济作物之一,种植面积和总产量稳居世界首位^[1]。烟草喜温暖而湿润的气候,整个生育期对水分的要求较高^[2]。重庆是我国烟草的重要产区之一,但种植过程中却经常面临着水分缺乏和灌溉不足导致因土壤干旱而不同程度地影响烟株的正常生长发育,造成烟叶的产量和部分品质降低^[3]。

水分胁迫是影响包括光合作用等植物体内代谢过程的重要因素,作物干物质的95%以上是由光合作用制造的^[4]。叶片净光合速率是光合作用的核心参数之一,它通常是植物外部环境因子和内部生理反应的多重作用综合之下所产生的结果^[5]。而植物对环境因子的适应程度很大程度上被这些综合作用之下的参数变化所反映出来^[6]。能够对植物光合作用产生影响的环境因素有很多,而水分胁迫便是其中的重要因素之一。在植物中发生水分胁迫的时候往往会使得植物的叶片在其表面的气孔被关闭,胞间CO₂浓度降低、叶肉中可利用CO₂浓度下降以及碳同化速率降低,严重时甚至损伤叶肉细胞、光合酶的活性被降低,从而使得光能的转换能力、电子的传递、光合磷酸化以及光合作用中暗反应能力受到严重影响,光合作用在很大程度上被抑制,迫使光系统Ⅱ(PSⅡ)受到破坏,使植物叶片的光合速率发生改变^[7-8]。

本文以重庆地区广泛种植的烤烟品种‘云烟97’为对象,研究烟草生长、光响应特性、叶绿素荧光及品质对水分胁迫的响应,探讨烟草在水分胁迫下的光抑制和防御保护机制,旨在为重庆地区烟草大田栽培的管理和利用提供理论依据。

① 收稿日期:2016-05-26

基金项目:中国烟草总公司重庆市公司渝烟局科项目(NY20110601070004);高等学校学科创新引智计划资助项目(B12006);国家烟草专卖局科技重大专项(Ts-02-20110015)。

作者简介:龚 婷(1987-),女,宁夏中宁人,讲师,主要从事植物生理生化、植物活性成分分析等的研究。

通信作者:宗学风,副教授。

1 材料与方法

选用品种为重庆地区普遍种植的云烟 97 烤烟型品种. 盆栽试验于 2013 年 6 月在网室进行, 盆的规格为直径约 35 cm, 高 45 cm. 盆栽所使用的土壤是黄土, 通过铁锹等工具把土壤中的大土块碾碎后剔除里面的石块等杂质, 将筛选好的土壤按照 5 : 2(V : V) 的比例与草炭土进行混匀装盆, 为保证土壤养分一致, 每盆中分别添加等量的基、追肥. 基肥是烟草生长的专用复合肥, 复合肥中 N, P₂O₅, K₂O 比例是 7 : 12 : 25, 追肥为 N, P₂O₅, K₂O 比例为 9 : 12 : 25 的专用复合肥. 按照基肥与追肥的比例为 60% 和 40% 的量, 以每 666.7 m² 1 000 株植被施肥 50 kg, 来进行盆栽植物施肥量的计算, 进而得出盆栽中的每棵植物应施基肥 30 g, 应施追肥 20 g, 最终为每棵植物所施肥中, N, P₂O₅, K₂O 的量分别为 7.77 g, 13.32 g, 27.75 g.

选取长势一致的烟草植株 30 盆, 随机分成 3 组, 用透明塑料薄膜遮盖, 随机排列, 设定对照土质、轻度和重度水分胁迫土质 3 种方式进行处理, 其中对照土质的含水量在 70%~80%, 轻度水分胁迫土壤中的含水量为 50%~60%, 重度水分胁迫土壤中的含水量是 20%~30%. 对土壤中的含水量进行测定的方式采用的是土质重量测定法, 其测量的过程首先是取出一定量的土壤作为样品, 将其放到 105 ℃ 左右的高温环境下进行烘干达恒质量, 通过烘干后的土壤质量与 3 种不同土壤的质量进行比较, 其计算公式为

$$\text{土壤中的水分质量分数} = \frac{\text{风干土的质量} - \text{烘干土的质量}}{\text{烘干土的质量}} \times 100\%$$

在盆栽当中随机选出长势比较相同或接近的 5 株植物, 且没有任何的病虫害发生, 在处理 30 d 后进行烟株中的生物学性状检测, 分别从植物的根长、植株的高度、最大叶的长度、茎的粗细、叶片的数量等方面进行观测测量.

移栽 30 d 时选择连续 2 d 晴朗少云天气用美国 LI-6400 型光合作用测定仪测定光合特性. 测定的时间选择在上午阳光比较充足的 9 点左右时段进行, 利用红蓝光源对最顶层全部展开的叶片进行测量. 在光强为 1 000 μmol/(m² · s) 的环境下测定光合速率 P_n , 气孔导度 G_s , 蒸腾速度 Tr , 胞间二氧化碳浓度 C_i , 各处理选取有代表性的植株各 5 株, 每株重复测定 3 次, 取其平均值.

光合光响应曲线采用美国 Li-6400 型便携式光合作用测定仪进行测定. 于上午 8 : 30 开始测定, 天气晴朗, 使用红、蓝光源, 从 0~2 000 μmol/(m² · s) 设置 14 个光照强度 [0, 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000 μmol/(m² · s)], CO₂ 浓度恒定为 400 μmol/mol, 测定材料的光响应曲线. 用叶子飘等^[9]的方法模拟光响应曲线计算出光补偿点、光饱和点等.

荧光动力学参数采用冯大兰等^[10]的测定方法. 随机选取长势基本相同的烟株 5 株, 测定叶片的初始荧光 F_0 , 最大荧光 F_m 以及光适应和暗适应状态下 PS II 反应中心开放的比例光化学猝灭 (q_p), 非光化学猝灭 (q_N), 实际光化学效率 (Φ_{PSII}) 和暗适应状态中 PS II 的光能最大转化效率 F_v/F_m 等参数. 进而用以下公式进行动力学参数的计算:

$$\begin{aligned} F_v/F_m &= (F_m - F_0)/F_m \\ \Phi_{PSII} &= (F'_m(F_s)/F'_m) \\ q_p &= (F' - F_s)/(F'_o - F'_m) \\ q_N &= (F_m - F'_m)/(F_m - F'_o) \end{aligned}$$

烟叶品质测定: 采收前 1 d, 定株 (3 株) 采集烟叶样品, 将烟叶样品在 40 ℃ 烘干、粉碎并混合后, 过 60 目筛后测定烟叶的主要化学成分包括还原糖、总氮、烟碱、钾、氯质量分数. 还原糖质量分数采用 3, 5-二硝基水杨酸 (DNS) 比色法测定^[11]; 烟碱质量分数采用盐酸提取脱色法测定, 钾质量分数用 NH₄OAc 浸提火焰光度法测定, 氯质量分数用热蒸馏水浸提法测定^[12]; 总氮质量分数用 FOSS 2300 自动定氮仪测定^[13].

烟叶化学成分协调性评价参考《中国烟草种植区划》项目中烤烟化学成分指标赋值方法, 设置烟碱、总氮、还原糖、钾、糖碱比值、氮碱比值、钾氯比值的权重分别为 0.18, 0.10, 0.15, 0.09, 0.27, 0.12, 0.10, 计算各处理烟叶化学成分总分. 各指标均以公认的最适范围为 100 分, 高于或低于该最适范围依次降低分值. 根据《中国烟草种植区划》中的项目指标对烟叶中各种化学成分进行协调性的评价, 将烟草中的各化学成分按照既定的指标进行赋值, 分别设定各项化合物的权重比值为烟碱 0.18, 总氮 0.10, 还原糖 0.15, 钾 0.09, 糖碱比值 0.27, 氮碱比值 0.12, 钾氯比值 0.10, 通过加权之后对各化学成分的总分进行计算, 将指

标值以 100 分作为参考值, 超过或低于参考值的依次对各项数值进行降低分值处理.

所有数据均用 SPSS 2000 进行统计与分析.

2 结果与分析

2.1 烟草植株性状对水分胁迫的响应

表 1 可以看出, 当水分胁迫的程度不断增加时, 烟草植株株高、茎围、最大叶长及叶片数均呈下降趋势, 但下降程度却不尽相同. 3 个有统计学意义处理间, 株高和最大叶长差异有统计学意义; 对茎围而言, 只有重度水分胁迫和对照间差异有统计学意义, 而不同处理间的叶片数差异无统计学意义.

表 1 烟草植株性状对水分胁迫的响应

水分处理	株高/cm	茎围/cm	最大叶长/cm	叶片数/片
重度胁迫	53.50±1.780 ^c	6.40±0.071 ^b	44.433±0.581 ^c	20±0.250 ^a
轻度胁迫	59.60±1.924 ^b	7.35±0.071 ^{ab}	47.000±0.920 ^b	21±0.479 ^a
对照(CK)	65.83±1.710 ^a	7.50±0.216 ^a	53.967±0.822 ^a	22±1.652 ^a

注: 方差分析采用邓肯氏新复极差检测法. 小写字母不同表示 $p<0.05$, 差异有统计学意义.

2.2 烟草光合参数对水分胁迫的响应

从表 2 可以看出, 水分胁迫性状的不同会使烟草中叶片的光合作用发生变化, 其中净光合速率、蒸腾速率和气孔导度都要比对照低, 但各处理间的差异无统计学意义. 在试验当中, 对照和受到轻度水分胁迫的烟草当中, 叶片胞间的二氧化碳浓度差异无统计学意义, 而对照和受轻度水分胁迫的烟叶与受到重度水分胁迫间差异有统计学意义.

表 2 烟草光合参数对水分胁迫的响应

水分处理	净光合速率(P_n)	叶片气孔导度(G_s)	胞间 CO_2 浓度(C_i)	叶片蒸腾速率(T_r)
	$/\mu mol \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$	$/mol \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$	$/\mu mol \cdot mol^{-1}$	$/mmol \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$
重度胁迫	7.653±1.321 ^a	0.162±0.074 ^a	276.694±2.588 ^a	2.666±0.158 ^a
轻度胁迫	7.897±0.490 ^a	0.166±0.039 ^a	226.009±2.364 ^b	2.727±0.115 ^a
对照(CK)	7.949±0.115 ^a	0.174±0.001 ^a	231.081±0.577 ^b	3.475±0.719 ^a

注: 小写字母不同表示 $p<0.05$, 差异有统计学意义.

2.3 水分胁迫对烟草叶片的光响应曲线及拟合参数的影响

水分胁迫对烟草叶片的光响应曲线及拟合参数的影响如图 1 和表 3.

图 1 中, 我们可以发现烟草叶片的净光合速率会因为光强的变化而发生变化, 光强越大, 其速率也就越大, 而 3 种种植环境下的烟草, 对照的上升速度要远远快过经过水分胁迫处理后的速度. 而在光强达到 $1\,200\,\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 的时候, 受到水分胁迫的净光合速率上升幅度明显减缓, 随着光强的进一步增加, 各处理分别出现光饱和现象.

拟合参数(表 3)结果表明, 水分胁迫两种处理的光饱和点(LSP)和最大 P_n 值(P_{max})均低于对照, 而光补偿点(LCP)和暗呼吸速率(R_d)则都要比对照的高. 相对于轻度水分胁迫而言, 受重度水分胁迫的烟草与对照植物在各项指标上的差距都较大. 其中, 重度水分胁迫的 LSP 低于对照 $64.228\,\mu mol/(m^2 \cdot s)$, P_{max} 值与对照相比低 $6.542\,\mu mol/(m^2 \cdot s)$, LCP 高于对照 $222.299\,\mu mol/(m^2 \cdot s)$, R_d 高于对照 $0.995\,\mu mol/(m^2 \cdot s)$.

表 3 水分胁迫下烟草光响应曲线的拟合参数

水分处理	光饱和点(LSP)	光补偿点(LCP)	最大净光合速率(P_{max})	暗呼吸速率(R_d)
	$/\mu mol \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$	$/\mu mol \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$	$/\mu mol \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$	$/\mu mol \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$
重度胁迫	1 688.968	493.059	3.089	2.420
轻度胁迫	1 730.447	329.487	6.308	1.980
对照(CK)	1 753.196	270.760	9.631	1.425

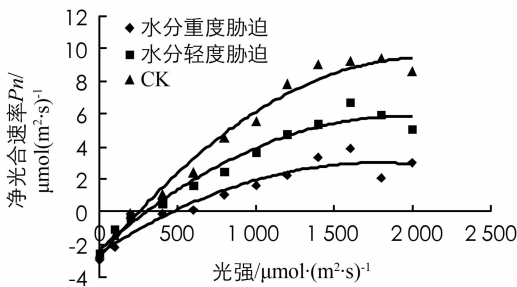


图 1 水分胁迫下光强对烟草净光合速率的响应

2.4 烟草叶片叶绿素荧光动力学参数对水分胁迫的响应

在表 4 中,伴随着水分胁迫程度的增加,初始荧光(F_0)逐渐增大,且各处理间差异有统计学意义;最大荧光(F_m)随水分胁迫的增加而下降,与对照比较,轻度水分胁迫处理的 F_m 值差异无统计学意义,而重度水分胁迫差异有统计学意义;随着水分胁迫程度的增加,PS II 光化学效率(F_v/F_m)逐渐降低,且各处理间差异有统计学意义;对光化学猝灭(q_P)而言,其值随水分胁迫加重而降低,两个水分处理与对照间的差异有统计学意义,而轻度和重度水分胁迫处理间的 q_P 值差异无统计学意义;与 q_P 不同的是,非光化学猝灭(q_N)值随胁迫程度的增加而增加,且重度水分处理与对照间差异有统计学意义;与 PS II 光化学效率(F_v/F_m)类似,实际光化学效率(Φ_{PSII})随水分胁迫程度的增加而不断降低,且三者间差异有统计学意义。

表 4 烟草叶片叶绿素荧光动力学参数对水分胁迫的响应

水分处理	初始荧光 (F_0)	最大荧光 (F_m)	PS II 光化学 效率(F_v/F_m)	光化学猝灭 (q_P)	非光化学 猝灭(q_N)	实际光化学 效率(Φ_{PSII})
重度胁迫	154.026±0.078 ^a	392.525±14.239 ^c	0.606±0.014 ^c	0.554±0.007 ^b	1.947±0.063 ^a	0.233±0.018 ^c
轻度胁迫	146.594±0.682 ^b	593.384±2.373 ^{ab}	0.792±0.001 ^b	0.571±0.024 ^b	1.850±0.042 ^{ab}	0.242±0.005 ^b
对照(CK)	140.073±0.972 ^c	616.457±0.874 ^a	0.864±0.001 ^a	0.629±0.006 ^a	1.776±0.010 ^b	0.304±0.007 ^a

注:小写字母不同表示 $p<0.05$, 差异有统计学意义。

2.5 烤烟化学成分对水分胁迫的响应

从表 5 可以看出,随着水分胁迫程度的增加,烤烟中总氮质量分数逐渐上升,且各处理间差异有统计学意义;烟碱质量分数比较中,重度胁迫显著高于轻度胁迫和对照;烤烟中氯的质量分数以轻度胁迫为最高,达 0.35%,但 3 个处理间的差异无统计学意义;各处理间钾和还原糖的质量分数比较中,均是轻度胁迫最高,对照次之,重度胁迫质量分数最低,且各处理间差异有统计学意义;烤烟中氮碱比质量分数以轻度胁迫为最高,达 1.23,但 3 个处理间的差异无统计学意义;各处理间烤烟的糖碱比和钾氯比中,均是对照最高,轻度胁迫次之,重度胁迫最低。综合各指标,轻度胁迫的协调性评价分值最高,为 95.85 分,对照次之,重度胁迫最低,仅为 77.11 分。

表 5 烤烟化学成分对水分胁迫的响应

水分处理	总氮 /%	烟碱 /%	氯 /%	钾 /%	还原糖 /%	氮碱比	糖碱比	钾氯比	协调性 评价分值
重度胁迫	3.44±0.075 ^a	4.14±0.051 ^a	0.33±0.029 ^a	2.29±0.121 ^c	14.91±0.531 ^c	0.83±0.092 ^a	3.60±0.120 ^c	6.94±0.063 ^c	77.11
轻度胁迫	2.36±0.127 ^b	1.92±0.109 ^b	0.35±0.112 ^a	4.10±0.058 ^a	20.22±0.127 ^a	1.23±0.115 ^a	10.53±0.577 ^b	11.71±0.061 ^b	95.85
CK	1.60±0.012 ^c	1.53±0.015 ^b	0.25±0.028 ^a	3.50±0.040 ^b	18.13±0.451 ^b	1.04±0.017 ^b	11.85±0.121 ^a	14.03±0.479 ^a	87.43

注:小写字母不同表示 $p<0.05$, 差异有统计学意义。

3 讨论与结论

光合作用对来自于水分、气温和光的强度等方面的影响所产生的反应都比较敏感。光合作用受到水分胁迫的影响,减缓了植物的正常生长,已在杨树和紫藤等植物上得到证实^[14-15]。本研究表明,水分胁迫下,烟草的株高、茎围、最大叶长和叶片数都降低,干物质积累量减少,且随着胁迫程度增加,抑制生长程度更显著。

受到水分胁迫后烟草净光合作用的速率降低,其主要受到的影响来自于两个方面:其一是气孔因素,即气孔的关闭导致了二氧化碳不能顺利地进入到叶片;其二是受到了非气孔因素影响,在外界的二氧化碳不能供给叶片时,光照条件下会使得叶片光合作用的器官被破坏^[16]。本试验中轻度胁迫时净光合速率和胞间 CO₂ 浓度下降幅度较小,推断此时净光合速率主要受气孔限制。此时,CO₂ 进入叶片受限制,电子传递和光合磷酸化受阻,暗反应酶的活性下降^[17]。烟草叶片的净光合作用速率、蒸腾速率和气孔的导度会随着水分胁迫程度的增加而下降,此时非气孔因素则成为光合速率降低的主要原因,光合器官的破坏导致了 CO₂ 固定能力降低,表现为烟草胞间 CO₂ 浓度显著高于对照,这与邓春暖等^[18]研究干旱对湿地芦苇叶片光合研究结果相似。

水分对烟草叶片光响应曲线的影响比较明显(图 1),水分轻度胁迫降低了叶片光能利用率,且随着胁迫程度的增加,利用率逐渐下降,这与敖红等^[19]对云杉水分胁迫的研究结果相似。烟草叶片随水分缺失胁

迫程度的增加,光补偿点(LCP)逐渐上升,光饱和点(LSP)持续下降,表明了其自身的抗逆适应能力.暗呼吸速率(R_d)的逐渐升高和最大净光合速率 $P_{\max}$ 的持续下降则说明烟草因所受的胁迫持续增加打破了体内的碳平衡,这与郭春芳^[20]的研究结果一致.

荧光测量不仅能测定植物的潜在光合能力,它更能反映植物对环境胁迫的忍耐能力以及胁迫对光合器官的伤害程度^[21].为进一步揭示烟草光合作用“内在性”的特点,我们对其叶绿素荧光动力学进行了研究.水分轻度胁迫时, F_v/F_m 下降同时伴随 F_0 的下降,说明此时 PS II 反应的耗热增加,而光合器官没有受到影响.当水分重度胁迫时, F_v/F_m 下降同时伴随 F_0 的增加,表示 PS II 反应中心受到破坏^[22].随着水分胁迫程度的增加,最大荧光不断降低,说明水分胁迫使得烟草叶片已经开始产生光抑制.从表 3 可知, q_P 随着胁迫程度的增加而降低, q_N 随着水分胁迫程度的增加而增加,实际光化学效率(Φ_{PSII})也逐渐下降,表明了减弱的光合作用能力降低了烟草对光能的利用力,这与赵会杰等,龚婷婷^[23-24]的研究结论类似.

烟叶中的各种化学成分决定了烟叶的内在品质^[3].含氮化合物对烟草的气味与刺激性起到决定性的影响,氮化合物质量分数过高会让烟草的气味变得味苦而辛辣,而当其质量分数过低时又会使得烟草变得平淡而无味,因此,在烟草当中的氮化合物质量分数通常要保持在 1.5%~3.5% 的范围内为最佳^[25].烟碱决定了烟气的生理强度即劲头,质量分数 1.5%~3.5% 为宜^[12].钾能够促进卷烟完全燃烧,质量分数大于 2% 为好^[26],氯的质量分数关系到烟草的燃烧度和吸湿性,通常氯的质量分数保持在 0.3%~0.8% 是比较理想的范围.而决定烟草质量的重要指标是还原糖在烟草当中的质量分数,一般在 18%~25% 为宜^[27].综合烟草的颜色、香味、劲头及燃烧值等因素,烤烟的氮碱比以 1 左右较合适,糖碱比则是 10 左右适中,而钾氯比以 4~10 为好^[12,26].本试验对照及处理对烟草的品质影响较大,综合来看,轻度水分胁迫的烟草品质协调性分值最高,重度水分胁迫品质最低.

本研究表明,水分胁迫促使烟草植株生长减缓,通过改变烟草一系列光合参数影响了其光合特性,进而改变烟草内在品质.其中,轻度水分胁迫对烟叶品质提升有一定的促进作用,这一结论可广泛应用于农业实际生产中,从而提高大田烟叶的综合品质.

参考文献:

- [1] 刘国顺.烟草栽培学 [M].北京:中国农业出版社,2003:1-2.
- [2] 余 砾,高 明,王子芳,等.土壤水分对烤烟生长、物质分配和养分吸收的影响 [J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):989-995.
- [3] 陈 伟,王三根,唐远驹,等.不同烟区烤烟化学成分的主导气候影响因子分析 [J].植物营养与肥料学报,2008,14(1):144-150.
- [4] 张亚娟,谢忠奎,赵学勇,等.水分胁迫对东方百合光合特性、叶绿素荧光参数及干物质积累的影响 [J].中国沙漠,2011,31(4):884-888.
- [5] 尹颢鹏,刘雪梅,商志伟,等.不同干旱胁迫下欧李光合及叶绿素荧光参数的响应 [J].植物生理学报,2011,47(5):452-458.
- [6] 李淑英,王北洪,马智宏,等.土壤水分含量对欧李叶绿素荧光及光合特性的影响 [J].安徽农学通报,2007,13(14):25-27.
- [7] 童 平,杨世民,马 均,等.不同水稻品种在不同光照条件下的光合特性及干物质积累 [J].应用生态学报,2008,19(3):505-511.
- [8] 赵丽英,邓西平,山 仑.不同水分处理下冬小麦旗叶叶绿素荧光参数的变化研究 [J].中国生态农业学报,2007,15(1):63-66.
- [9] 叶子飘,于 强.一个光合作用光响应新模型与传统模型的比较 [J].沈阳农业大学学报,2007,38(6):771-775.
- [10] 冯大兰,刘 芸,钟章成,等.三峡库区消落带芦苇 [*Phragmites communis* (Reed)] 的光合生理响应和叶绿素荧光特性 [J].生态学报,2008,28(5):2013-2021.
- [11] 尹建雄,卢 红,谢 强,等.3,5-二硝基水杨酸比色法快速测定烟草水溶性总糖、还原糖及淀粉的探讨 [J].云南农业大学学报(自然科学版),2007,22(6):829-833.
- [12] 王瑞新.烟草化学 [M].北京:中国农业出版社,2003.
- [13] 史宏志,李 超,谢子发,等.白肋烟不同品种和叶位叶片生物碱和总氮含量的差异 [J].西南农业学报,2008,21(4):979-984.
- [14] 付士磊,周永斌,何兴元,等.干旱胁迫对杨树光合生理指标的影响 [J].应用生态学报,2006,17(11):2016-2019.
- [15] 夏江宝,张光灿,刘 刚,等.不同土壤水分条件下紫藤叶片生理参数的光响应 [J].应用生态学报,2007,18(1):

30—34.

- [16] LAWLOR D W, COMIC G. Photosynthetic Carbon Assimilation and Associated Metabolism in Relation to Water Deficits in Higher Plants [J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25(2): 275—294.
- [17] 覃 鹏, 曾淑华, 刘飞虎. 烟草抗旱性生理生化研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2002, 30(2): 55—58.
- [18] 邓春暖, 章光新, 潘响亮. 干旱胁迫对莫莫格湿地芦苇叶片光合生理生态的影响机理研究 [J]. 湿地科学, 2012, 10(2): 136—141.
- [19] 敖 红, 张 羽. 水分胁迫对云杉光合特性的影响 [J]. 植物研究, 2007, 27(4): 445—448.
- [20] 郭春芳. 水分胁迫下茶树的生理响应及其分子基础[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [21] 蒋达波, 宗秀虹, 李帮秀, 等. 氮素胁迫对玉米光合及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(1): 135—139.
- [22] 郑国生, 何秀丽. 夏季遮荫改善大田牡丹叶片光合功能的研究 [J]. 林业科学, 2006, 42(4): 27—32.
- [23] 赵会杰, 邹 琦, 于振文. 叶绿素荧光分析技术及其在植物光合机理研究中的应用 [J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(3): 248—251.
- [24] 龚 婷, 查宏波, 黄 韡, 等. 不同光质处理对云烟 87 生长及品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(1): 29—34.
- [25] 罗鹏涛, 李佛琳. 烤烟栽培与烘烤 [M]. 成都: 西南财经大学出版社, 2007.
- [26] 肖协忠. 烟草化学 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
- [27] 闫克玉, 赵铭钦. 烟草原料学 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.

Effects of Water Stress on Growth, Photosynthetic Characteristics and Quality of Tobacco

GONG Ting^{1,4}, LIU Shan-li¹, YIN Guo-zhu¹,
HE Dan², ZHANG Qing-ping³, ZONG Xue-feng⁴

1. Chongqing Medical and Pharmaceutical College, Chongqing 401331, China;

2. Chongqing College of Humanities Science & Technology, Hechuan Chongqing 401573, China;

3. Yongchuan District Agricultural Commission, Yongchuan Chongqing 402160, China;

4. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: In order to study the change of growth, light response, chlorophyll fluorescence and quality of tobacco ‘Yunyan 97’ under different level water stress, mild and severe level of water stress has been set up, and has been carried out by manual control of the water content in soil. The results show that 1) water stress inhibited the growth of tobacco plant; 2) the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr) decreased under water stress but not significantly, and intercellular CO_2 concentration (C_i) increased significantly under severe water stress, these results indicate that the inhibition of leaf photosynthesis were influenced by stoma and non-stoma factors under dry conditions; 3) with the increase of water stress, the light compensation point (LCP) and dark respiration rate (R_d) risen gradually, but the light saturation point (LSP) and net photosynthesis rate (P_n) decreased by degrees; 4) with the increase of water stress, the F_0 firstly decreased and then increased and the F_m , F_v/F_m , q_P and Φ_{PSII} decreased by degrees but q_N increased gradually. These results indicated that photosynthetic organs was not affected during mild water stress but $PSII$ reaction center was destroyed by severe water stress treatment; 5) The tobacco chemical composition were changed by water stress treatment and the highest score of tobacco quality reached 95.85 after mild water stress treatment, the result indicated that appropriate water stress treatment was benefit to improve the quality of tobacco.

Key words: water stress; tobacco; photosynthetic characteristics; quality