

干旱对烤烟团棵期的 光合特性影响研究

周紫燕¹, 李晓斐¹, 丁雪丹¹, 肖金香^{2*}

(1 江西农业大学 农学院 江西 南昌 330045; 2. 江西农业大学 园林与艺术学院 江西 南昌 330045)

摘要:以云烟87为试验材料,采用盆栽防雨棚控水干旱试验,利用Li-6400便携式光合测定仪测定了干旱对烤烟团棵期的光合特性日变化的影响。结果表明,各处理的净光合速率(P_n)、气孔导度($Cond$)和蒸腾速率(T_r)日变化均呈单峰曲线,与CK相比,短期干旱(7 d)各指标日均值及峰值下降不明显,分别为CK的91.55%和97.00%、91.12%和86.29%、91.10%和90.06%,而干旱16 d则分别为CK的29.78%和43.57%、18.36%和16.83%、20.22%和18.89%。烤烟叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的日变化与净光合速率日变化基本呈相反趋势,干旱16 d的烟叶胞间 CO_2 浓度日变化最明显,其胞间 CO_2 浓度日较差为226.08%,而CK仅为12.35%,各处理之间水分利用率及叶温日均值均无显著差异,其中胞间 CO_2 浓度稍有下降趋势,而水分利用效率和叶温都随干旱胁迫时间的延长而略有升高,上午水分利用率大,下午水分利用率小,干旱16 d 09:00水分利用率最高,是其他处理利用率的一倍,15:00是其他处理水分利用率的一半。干旱能适当提高烟株的水分利用效率,也会加快叶温升高的速度并使叶温更高,但对烤烟团棵期的光合作用有不利的影响。短期干旱对云烟87的生长影响不大。

关键词:干旱;烤烟;团棵期;光合特性

中图分类号:S577 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)06-1037-06

A Study on the Effects of Drought Stress on Photosynthetic Characteristics in Flue-cured Tobacco at the Resettle Stage

ZHOU Zi-yan¹, LI Xiao-fei¹, DING Xue-dan¹, XIAO Jin-xiang^{2*}

(1. College of Agronomy JAU, Nanchang 330045, China; 2. College of Landscape Architecture and Art, JAU, Nanchang 330045, China)

Abstract: An experiment was conducted with potted flue-cured tobacco variety Yunyan87 by controlling irrigation to study the effects of drought stress on diurnal changes of photosynthetic characteristics in flue-cured tobacco at the resettle stage by the Li-6400 portable photosynthesis machine. The results showed that the diurnal changes of the net photosynthetic rates (P_n), stomatal conductance ($Cond$) and transpiration rates (T_r) in every treatment all appeared as single peak curves. Compared with CK, the daily average and maximum value of the above mentioned items under short-term drought (7 d) did not decrease obviously, making 91.55% and 97.00%, 91.12% and 86.29%, 91.10% and 90.06% respectively of CK, while those under the drought stress for 16 days were respectively 29.78% and 43.57%, 18.36% and 16.83%, 20.22% and 18.89% of

收稿日期:2011-06-05 修回日期:2011-09-06

基金项目:江西省教育厅科技项目(GJJ08190)

作者简介:周紫燕(1986—),女,硕士生,主要从事农业气象灾害方面的研究;E-mail:zhouziyanjx@126.com; * 通讯

作者:肖金香,教授,E-mail:xiaojinxiangjx@126.com。

CK. The diurnal change of intercellular CO_2 concentration (C_i) which was opposite to that of net photosynthetic rate in flue-cured tobacco leaf was the most significant under drought for 16 days, with the appreciation as high as 226.08%, while that of CK was only 12.35%. The daily average of the water utilization efficiency (WUE) and leaf temperature (T_L) in every treatment did not show significant differences. The C_i declined lightly, while the WUE and T_L ascended slightly when the drought stress time was prolonged. The WUE was high in the morning but low in the afternoon, and that under drought for 16 days it was the highest at 09:00 am, double of the others treatments, but at 15:00 pm half of the others. Drought stress could not only improve WUE of flue-cured tobacco appropriately, but also accelerate the rate of increase in leaf temperature and to a higher leaf temperature, but it has an adverse effect on photosynthesis at the resettle stage in flue-cured tobacco. Short-term drought stress has little effect on the growth of Yunyan87.

Key words: drought stress; flue-cured tobacco; resettle stage; photosynthetic characteristics

土壤水分是烤烟生命活动中必不可少的,良好的水分条件才能使烟株正常生长发育。水分影响烟草的光合作用及光合产物的积累与分配,烟株96%左右的干物质直接或间接来源于光合作用。全世界每年由于水分亏缺导致的减产超过其它因素造成减产的总和^[1-2]。光合作用对水分胁迫高度敏感,通过研究植物光合作用的日变化,可以加深对植物光合特性和变化规律的理解^[3-6]。Shaner等^[7]研究表明水分胁迫能使植物蒸腾作用降低50%,木质部液流 NO_3^- 浓度升高, NO_3^- 流动随蒸腾作用减弱而变慢。韩锦峰等^[8]认为,在烟草生长发育过程中干旱时期和干旱程度不同,对叶片光合作用的影响有明显的差别,轻度干旱对光合作用的影响较小,旺长期干旱对光合作用的影响较大,而且干旱对烤烟光合作用的影响具有后滞性,干旱胁迫下烟草光合速率的降低受气孔因素和非气孔因素的双重影响。大量试验结果表明,土壤干旱会使烤烟光合作用速率下降,气孔阻力增大,蒸腾速率减弱,从而影响了烟株的产量,导致产量下降^[8-12]。在较长时间、中度以上的土壤干旱条件下,烟草叶片光合能力下降,叶圆片放氧速率的下降趋势比叶绿体光合活性下降出现得早,主要是由于水分胁迫下叶片内部的 CO_2 浓度升高,叶肉 CO_2 浓度下降,电子传递和羧化反应受到抑制,表明叶片光合能力的下降并非气孔部分关闭所致,叶肉细胞光合能力降低是干旱条件下烟草光合速率下降的原因^[13]。

目前,国内外关于干旱胁迫对烤烟的生理特性的影响研究,大多侧重于研究烤烟的成苗期、伸根期、旺长期和成熟期的不同土壤水分同一个干旱时间对烤烟生理特性的影响,而对于团棵期不同干旱时间对光合作用日变化的影响报道较少。本试验通过研究团棵期不同干旱时间处理对烤烟光合特性日变化的影响,旨在揭示干旱处理后的烤烟光合特性的日变化规律,以期为那些较干旱地区优质烤烟的生产提供参考依据,同时也能够对烤烟的种植和生产起到重要的理论指导作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选用云烟87,漂浮育苗,4月19日移栽。试验设在江西农业大学气象站内,采用盆栽防雨棚控水干旱试验。土壤为重壤,大田最大田间持水量为41%,pH为5.52,全氮0.13%,速效磷11.74 mg/g,速效钾148.6 mg/kg,有机质2.63%。试验用盆内径35 cm,深40 cm,每盆装土20 kg。硝态氮占氮肥用量的40%,铵态氮占60%。氮肥60%、磷肥100%、钾肥70%做基肥,硝态氮40%做基肥,剩余部分做追肥,栽后1个月分3次兑水施完。

1.2 试验设计

烟苗长到8叶1心时,选择长势一致的烟苗移入盆钵,每盆一株。烤烟进入到团棵期搬进防雨棚内进行干旱处理,设置4个干旱时间:干旱7 d(T1)、干旱10 d(T2)、干旱13 d(T3)、干旱16 d(T4)、CK(对照,放置棚外正常管理),每个处理10株,共50株。干旱试验处理完毕,搬出棚外,恢复正常生长。

1.3 测定项目与方法

光合特性日变化测定:各个处理随机选取生长一致的3株进行挂牌标记,选择晴朗无风的天气用Li-6400便携式光合测定仪进行光合作用基本指标的测定。在自然条件下避开主脉测定第3片叶(从上

至下)的光合日变化,测定指标:烟叶净光合速率 [P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、气孔导度 [$Cond$, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、细胞间隙 CO_2 浓度 [C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$]、蒸腾速率 [T_r , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、水分利用率 [WUE , $\mu\text{mol}/\text{mmol}$]及叶片温度 (T_L , $^{\circ}\text{C}$)。测定时间为干旱处理结束后第2天,07:00—17:00,每2 h测定1次,每个指标的测定重复5次。

1.4 统计方法

采用应用软件 Excel 和 DPS 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 干旱对烤烟净光合速率日变化的影响

不同干旱时间下烤烟净光合速率日变化规律如图1。在正常和不同干旱时间影响下,烤烟叶片净光合速率日变化均呈单峰曲线,上午净光合速率增加,不同干旱时间的峰值均出现在11:00,但峰值的差异很大,随着干旱程度的加重,峰值减小,其中CK的峰值最大,为 $10.88 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,T1 仅比其小 $0.32 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,T4的峰值最小,仅为 $4.74 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且出现在09:00。达到峰值之后各处理的净光合速率开始不断下降,直至17:00下降到一日的最低值,CK的净光合速率最低值最大,为 $3.24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比T1大了 $0.09 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,T4的净光合速率最低值达到最小,仅为 $0.73 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比CK降低了77.43%。由此可见,短期的干旱对烤烟净光合速率影响不大,随干旱胁迫越来越严重,净光合速率不断减小,以T4(16 d)的影响最大,光合速率最弱。

2.2 干旱对烤烟气孔导度日变化的影响

不同干旱时间对烤烟气孔导度日变化规律如图2。除T4(16 d)外,其他处理的气孔导度日变化均呈单峰曲线,与净光合速率的日变化基本一致,这说明气孔导度对干旱胁迫反应的敏感性与净光合速率反应一致。而且随着干旱时间的延长,气孔导度呈下降趋势。从07:00开始,温度逐渐升高,气孔张开较快,气孔导度不断增大,09:00时T2、T3和T4达到峰值,CK和T1在11:00达到峰值,气孔导度峰值随干旱胁迫的加重而下降,CK峰值最大,T4最小,分别为 $0.210 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $0.035 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。峰值之后气孔导度持续下降。其中,在重度干旱胁迫下(16 d),气孔导度值全天都很低,几乎不对外界环境作出响应。说明干旱胁迫严重会引起叶片的气孔导度降低,气孔限制是干旱胁迫下净光合速率下降的重要原因之一^[14]。

2.3 干旱对烤烟胞间 CO_2 浓度日变化的影响

不同干旱时间对烤烟胞间 CO_2 浓度日变化规律如图3。从中可以看出,不同干旱时间烤烟叶片胞间 CO_2 浓度的日变化与净光合速率日变化基本呈相反趋势,其中严重干旱T4(16 d)的胞间 CO_2 浓度

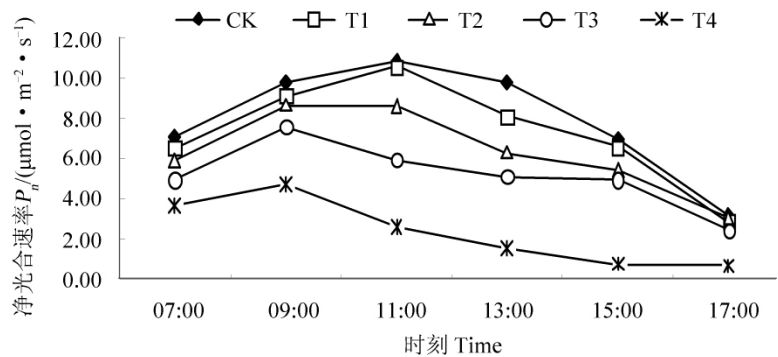


图1 不同干旱时间对烤烟净光合速率日变化的影响

Fig. 1 Effects of different-day drought stress on diurnal changes of the net photosynthetic rate in flue-cured tobacco

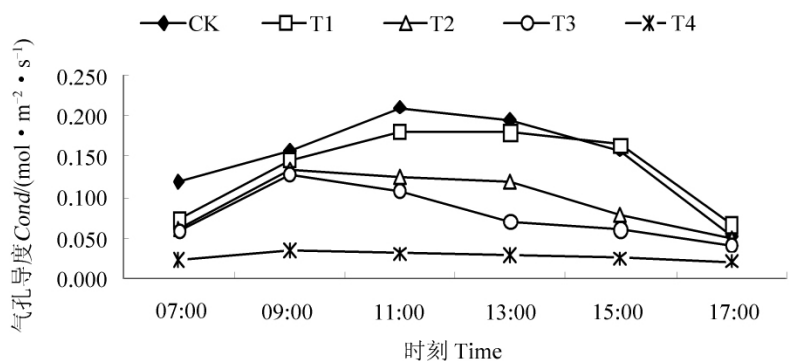


图2 不同干旱时间对烤烟气孔导度日变化影响

Fig. 2 Effects of different-day drought stress on diurnal changes of stomatal conductance in flue-cured tobacco

日变化曲线最明显,07:00—09:00下降,09:00—17:00持续上升。除T4较低外,其他各处理胞间CO₂浓度较高,随温度升高,光合速率加强,CO₂不断消耗,胞间CO₂浓度不断降低,除T4外,各处理几乎都是在光合速率峰值时胞间CO₂浓度达到最低值,而后缓慢增加,但增幅不大。T4日变化较大,其胞间CO₂浓度日较差为226.08%,而CK仅为12.35%,T4上午胞间CO₂浓度远远低于其他处理,其净光合速率较低可能与胞间CO₂浓度较低有关,而后净光合速率进一步降低,胞间CO₂浓度却急剧升高,说明短期干旱胁迫净光合速率下降主要受气孔限制影响,随干旱胁迫的进一步加重,烤烟的光合作用经历了从以气孔限制为主转变为以非气孔限制为主。

2.4 干旱对烤烟蒸腾速率日变化的影响

不同干旱时间蒸腾速率日变化规律如图4,由图4看出,T4

(16 d)蒸腾速率日变化趋势与气孔导度日变化趋势完全一致,在一天中变化很平缓,即使13:00出现最高值,与其他处理对比也很小。其他4个处理日变化有明显的单峰型,上午迅速升高,11:00后迅速降低。T4(干旱16 d)在11:00与CK相比,蒸腾速率下降了86.01%,T1(干旱7 d)与CK相差不大,干旱10 d和13 d影响较大,与CK相比,蒸腾速率下降了约40%。说明短时间的干旱对蒸腾速率影响较小,干旱10 d和13 d已引起了胁迫,给烟株水分能力和多少有一定的关系。土壤水分较多,供给烟株水分的能力则强,供给的水分就比较多,烟株蒸腾速率则高,而中度及严重的干旱胁迫使土壤供给烟株水分的能力降低,且能供给的水分也较少,导致蒸腾速率降低。

2.5 干旱对烤烟水分利用效率日变化的影响

水分利用效率表征植物对其本身蒸腾耗水量的利用能力^[15]。不同干旱时间烤烟水分利用效率日变化规律如图5。各处理水分利用效率日变化趋势有差异。上午水分利用率大,下午水分利用率小。07:00—09:00均在增加,09:00—13:00均在下降,13:00均达最低值,13:00后又开始增加,且增加越来越大。干旱16 d(T4)09:00水分利用率最高,是其他处理利用率的1.5倍,15:00是T3水分利用率的0.7倍,是其他处理水分利用率的一半。这同上午烟叶蒸腾小,下午烟叶蒸腾大有关。

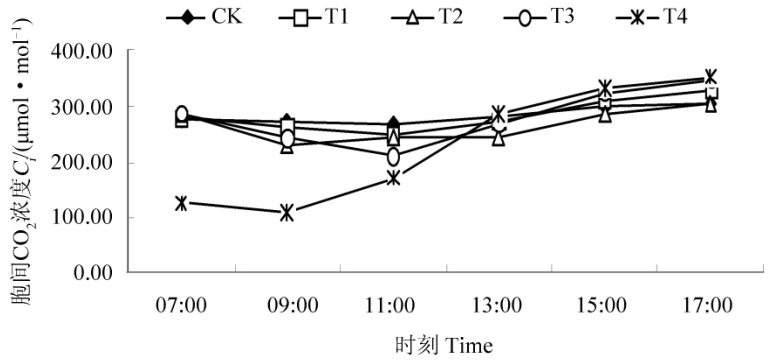


图3 不同干旱时间对烤烟胞间CO₂浓度的日变化影响

Fig. 3 Effects of different-day drought stress on diurnal changes of intercellular CO₂ concentration in flue-cured tobacco

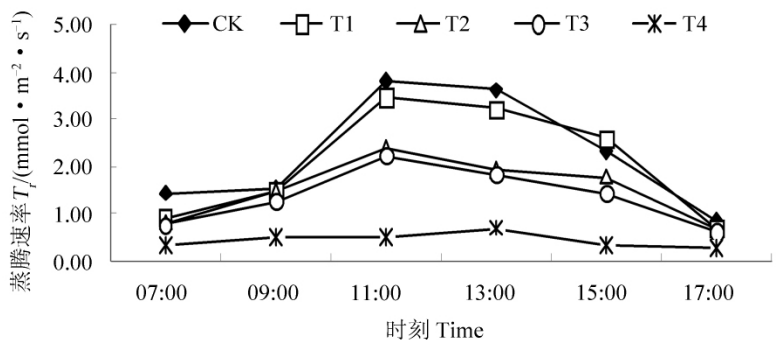


图4 不同干旱时间对烤烟蒸腾速率的日变化影响

Fig. 4 Effects of different-day drought stress on diurnal changes of transpiration rate in flue-cured tobacco

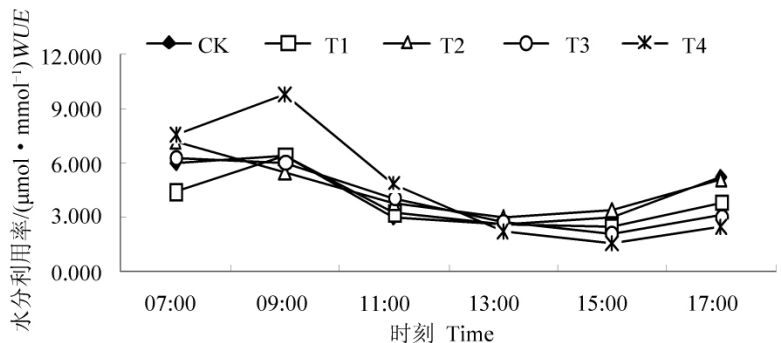


图5 不同干旱时间对烤烟水分利用率日变化影响

Fig. 5 Effects of different-day drought stress on diurnal changes of the water utilization efficiency in flue-cured tobacco

2.6 干旱对烤烟叶温日变化的影响

由图 6 可以看出,烤烟不同干旱时间的叶温日变化均呈单波型分布,上午气温升高,叶温也升高,干旱 10,13,16 d (T2、T3 和 T4) 最高值出现在 11:00,CK 和干旱 7 d (T1) 叶温最高值出现在 13:00 时,13:00 后各处理温度下降的幅度很接近,最高叶温出现的时刻随干旱时间的延长而提前,T2、T3 和 T4 都在 11:00 叶温达

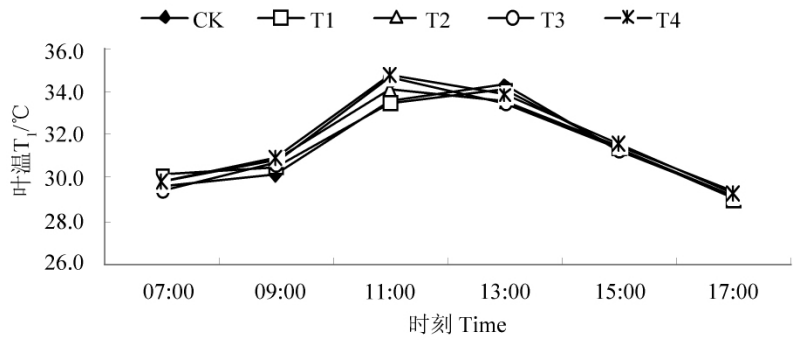


图 6 团棵期不同干旱时间对烤烟叶温的日变化影响

Fig. 6 Effects of different-day drought stress on diurnal changes of leaf temperature in flue-cured tobacco

到最高,分别为 34.1 34.7 34.7 °C,而 CK 和 T1 最高叶温则在 13:00 出现,分别为 34.3 °C 和 34.1 °C。且干旱严重的最高叶温较 CK 高,这是因为土壤水分较多时,叶片蒸腾作用强,带走的热量多从而降低了叶温,延迟了最高温的出现。烟株叶温的日变化跟大气温度日变化有关。

2.7 干旱处理下烤烟光合特性指标日均值差异性分析

用 Duncan 新复极差法对不同干旱时间下烤烟光合特性指标日均值进行统计分析(表 1)。可以看出,短期干旱时间 T1 (7d) 下烤烟的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率的日均值分别是 CK 的 91.57%、91.28% 和 91.19%,T1 与 CK 间差异不显著,T2 (10 d)、T3 (13 d) 和 T4 (16 d) 的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率的日均值与 CK 对比均有显著差异,且随干旱胁迫的加重差异越显著,各指标日均值都呈下降趋势,其中 T4 (16 d) 的差异极显著,净光合速率、气孔导度和蒸腾速率的日均值与 CK 对比分别下降了 29.81%、18.12% 和 20.26%。各处理之间对烤烟的胞间 CO₂ 浓度、水分利用率及叶温日均值均无显著差异,其中胞间 CO₂ 浓度稍有下降趋势,而水分利用效率和叶温都随干旱胁迫时间的延长而略有升高。由于土壤水分较多时,蒸腾速率增加能带走一部分叶温,致使土壤水分较多的叶温较水分较少的叶温稍低。

表 1 干旱处理下烤烟光合特性指标日均值表

Tab. 1 The table of the daily average about drought stress on photosynthetic characteristics in flue-cured tobacco

干旱处理 Drought treatment	净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_n	气孔导度/ ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $Cond$	胞间 CO ₂ 浓度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) C_i	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) T_r	水分利用率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$) WUE	叶温/°C T_l
CK	7.95 ± 2.80a	0.149 ± 0.057a	283 ± 15a	2.27 ± 1.22a	4.37 ± 1.70a	31.3 ± 2.8a
T ₁	7.28 ± 2.65ab	0.136 ± 0.053a	284 ± 30a	2.07 ± 1.18ab	3.84 ± 1.43a	31.4 ± 2.0a
T ₂	6.36 ± 2.08bc	0.095 ± 0.036b	265 ± 31a	1.52 ± 0.67bc	4.66 ± 1.54a	31.5 ± 1.9a
T ₃	5.19 ± 1.67c	0.078 ± 0.034b	280 ± 51a	1.36 ± 0.61c	4.08 ± 1.74a	31.5 ± 2.2a
T ₄	2.37 ± 1.62d	0.027 ± 0.005c	229 ± 108a	0.46 ± 0.16d	4.76 ± 3.31a	31.7 ± 2.2a

同一列内不同小写字母表示差异达到 5% 显著水平。

The different normal letter indicated significance at $P = 0.05$.

3 结论与讨论

叶片光合作用日变化能够反映出一天中植物进行物质积累与生理代谢的持续能力,同时也是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段^[16-18]。本试验研究结果表明,团棵期各处理的烤烟净光合速率、气孔导度和蒸腾速率日变化都呈单峰型曲线,且均无“光合午休”现象。除 T4 (16 d) 的蒸腾速率峰值出现在 13:00 外,其他处理的这 3 个指标峰值均出现在 09:00—11:00,之后不断下降,直至 17:00 达到 1 d 的最低值。随干旱时间的延长各指标日均值及峰值均呈下降趋势,CK 的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率的日均值和峰值最大,分别为 7.95 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 10.88 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、0.149 $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 0.210 $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、2.27 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 3.82 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,短期干旱(7 d) 胁迫下烤烟的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率日均值及峰值与 CK 差异不显著,分别为 CK 的 91.55% 和 97.00%、91.12% 和

86.29%、91.10%和90.06%，这与任三学等^[19]的研究中表明轻度水分胁迫对冬小麦旗叶蒸腾速率与CK基本相近的结果是基本相一致。干旱时间越长，与CK差异越显著，干旱16 d(T4)烤烟的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率日均值及峰值最小，分别为CK的29.78%和43.57%、18.36%和16.83%、20.22%和18.89%。其中重度干旱胁迫T4的气孔导度和蒸腾速率日变化基本一致，都几乎不对外界环境作出太大响应。

不同干旱时间烤烟叶片胞间CO₂浓度的日变化与净光合速率日变化基本呈相反趋势：07:00—09:00下降，09:00—17:00持续上升，其中T4(16 d)的胞间CO₂浓度日变化曲线最明显，其胞间CO₂浓度日较差为226.08%，而CK仅为12.35%。不同干旱时间烤烟水分利用效率日变化趋势有差异，上午水分利用率大，下午水分利用率小，T4(16 d)09:00水分利用率最高，是其他处理利用率的1.5倍，15:00是T3水分利用率的0.7倍，是其他处理水分利用率的一半，说明干旱胁迫能适当提高烟株的水分利用率，这与Heitholt^[20]认为适度水分胁迫能使植物水分利用效率显著提高的结果大致相同。不同干旱胁迫的烤烟叶温日变化均呈单波型分布，最高温均出现在11:00—13:00。各处理之间对烤烟的胞间CO₂浓度、水分利用率及叶温日均值均无显著差异，其中胞间CO₂浓度稍有下降趋势，而水分利用效率和叶温都随干旱胁迫时间的延长而略有升高，干旱胁迫能适当提高烟株的水分利用率，也会加快叶温升高的速度并使叶温更高。

从研究结果中可以看出，团棵期间短期干旱(7 d)对烤烟的光合作用影响不大，光合作用下降主要受气孔限制影响；随干旱时间的延长，对烤烟的光合作用的抑制作用慢慢加大，且光合作用经历了从以气孔限制为主转变为以非气孔限制为主。因此，在烤烟栽培管理过程中，团棵期要注意防止过长时间干旱的发生，以免前期的基础没打好而影响后期的产量和品质。本试验只进行了团棵期不同干旱时间对烤烟光合特性日变化的影响研究，团棵期只是烤烟整个生育过程的一段时期，烤烟生长速度最快的旺长期以及现蕾期、成熟期干旱对烤烟光合特性日变化的影响还有待进一步研究。

参考文献：

- [1] 轻工业部烟草工业科学研究所. 烤烟栽培[M]. 北京: 轻工业出版社, 1981: 56-57.
- [2] 李正风, 李文正, 夏玉珍, 等. 干旱胁迫对不同基因型烤烟品种生物学性状的影响[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(11): 107-109.
- [3] 陈模舜, 柯世省. 紫荆光合日进程及光响应[J]. 福建林业科技, 2005, 32(3): 47-51.
- [4] Yu Q, Goudriaan J, Wang T D, et al. Modelling diurnal courses of photosynthesis and transpiration of leaves on the basis of stomatal and non-stomatal responses, including photoinhibition[J]. Photosynthetica 2001, 39(1): 43-51.
- [5] Griffiths H, Parry M A J. Plant responses to water stress[J]. Ann Bot 2002, 89(7): 801-802.
- [6] Guo W H, Li B, Huang Y M, et al. Effect of different water stresses on eco-physiological characteristics of *Hippophae rhamnoides* seedlings[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10): 1238-1244.
- [7] Shaner D L, Boyer J S. Nitrate reductase activity in maize leaves II. Regulation by nitrate flux at low leaf water potential[J]. Plant Physiol, 1976, 58(4): 505-509.
- [8] 韩锦峰, 汪耀富, 岳翠凌, 等. 干旱胁迫下烤烟光合特性和氮代谢研究[J]. 华北农学报, 1994, 9(2): 39-45.
- [9] 冯敏玉, 肖金香, 舒文英, 等. 烤烟团棵期灌水处理的生理特性响应[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(6): 831-835.
- [10] 汪耀富, 阎栓年, 王廷晓, 等. 干旱胁迫下烤烟叶片水分代谢研究[J]. 河南农业大学学报, 1994, 28(1): 50-54.
- [11] 邹建民, 史建军, 冯敏玉, 等. 水氮耦合对烤烟团棵期光合特性的影响研究[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(2): 220-225.
- [12] 魏永胜. 干旱胁迫和不同土壤钾水平下烟草植株钾的分布及其抗旱性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2001: 21-23.
- [13] 农梦玲, 刘永贤, 李伏生, 等. 干旱胁迫对烟草生理生化特征影响的研究进展[J]. 广西农业科学, 2008, 39(2): 155-159.
- [14] 刘遵春, 苗卫东, 包东娥, 等. 水分胁迫对金光杏梅叶片光合特性的影响[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 685-688.
- [15] 柯世省, 杨敏文. 水分胁迫对云锦杜鹃光合特性日变化的影响[J]. 福建林业科技, 2007, 34(3): 10-13.
- [16] Mandal K J, Sinha A C. Nutrient management effects on light interception, photosynthesis, growth, dry matter production and yield of Indian mustard (*Brassica juncea*) [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2004, 190(2): 119-129.
- [17] Palmqvist K, Sundberg B. Light use efficiency of dry matter gain in five macro-lichens: Relative impact of microclimate conditions and species-specific traits[J]. Plant Cell and Environment, 2000, 23(1): 1-14.
- [18] 张淑勇, 周泽福, 张光灿, 等. 半干旱黄土丘陵区天然次生灌木山桃与山杏叶片气体交换参数日动态差异[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 499-507.
- [19] 任三学, 赵花荣, 姜朝阳, 等. 土壤水分胁迫对冬小麦旗叶光合特性的影响[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 114-119.
- [20] Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen- and water-stressed winter wheat[J]. Agron J, 1989, 81(3): 464-469.