

# 不同鲜烟叶田间优化数量对烤烟生理特性及经济性状的影响

江厚龙<sup>1</sup>, 许安定<sup>1</sup>, 陈代明<sup>2</sup>, 杨超<sup>1</sup>, 曾宪立<sup>2</sup>, 沈铮<sup>2</sup>

1 重庆烟草科学研究所, 北碚 400715;

2 重庆市烟草公司武隆分公司, 武隆 408500

**摘要:** 为明确重庆烟区不同鲜烟叶处理技术对烤烟光合生理特性、产量、等级结构及经济性状的影响, 选用云烟 97 品种, 研究 4 种下部不同烟叶摘除数量 (0、2、3 和 4 片) 对烤烟根系活力和下、中、上 3 部位叶片叶绿素含量及生理特性的影响。结果表明, 摘除下部烟叶能提升烟株根系活力、增加叶绿素含量、提高净光合速率 (Pn) 和蒸腾速率 (Tr)、延缓光合功能衰退, 这种作用随摘除叶片数量的增加而增强, 且下部叶受到的影响最大, 其次为中部叶, 上部叶最小。摘除不同数量烟叶后, 前期 (10 天) 叶片的 WUE 随摘除数量的增加而提高, 中后期 (24 和 38 天) 摘除数量越多 WUE 越小。摘除叶片对等级结构和经济效益都有不同程度的提高, 以打掉 3 片叶效果最为显著。因此在武隆生态条件下中等肥力土壤上处理下部鲜烟叶时, 以打掉 3 片为宜。

**关键词:** 烤烟; 鲜烟叶; 生理特性; 经济性状

**doi:** 10.3969/j.issn.1004-5708.2014.05.008

**中图分类号:** S 572.05    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1004-5708 (2014) 05-0043-08

## Effects of removed fresh leaf numbers on physiological characteristics and final economic value of flue-cured tobacco

JIANG Houlong<sup>1</sup>, XU Anding<sup>1</sup>, CHEN Daiming<sup>2</sup>, YANG Chao<sup>1</sup>, ZENG Xianli<sup>2</sup>, SHEN Zheng<sup>2</sup>

1 Chongqing Tobacco Research Institute, Chongqing 400715, China;

2 Chongqing Wulong Tobacco Company, Wulong 408500, China

**Abstract:** Leaves of Yunyan 97 plants were removed to investigate the effect on root vigor, leaf chlorophyll content and other physiological characteristics. The number of leaves removed were 0, 2, 3 and 4 and yield, grad, economic value were also determined. Results indicated that removing leaves on lower part of plant helped enhancing root vigor, chlorophyll content, net photosynthetic rate ( $P_n$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) while delaying photosynthetic function decline. The biggest influence was from removing lower part leaf, followed by middle leaf and upper leaf. At the early stage (10 d), with the increase of number of removed fresh leaf, water use efficiency (WUE) increased. Grad and economic value were greatly improved when removing three leaves. Removing three leaves is the best agronomy practice under the ecological conditions of Wulong county.

**Keywords:** flue-cured tobacco; tobacco leaf; physiological characteristics; economic value

2011 年, 国家烟草专卖局针对当前烟叶库存量偏大, 卷烟结构快速提升与原料结构性矛盾日益突出等问题, 提出了“优化烟叶等级结构, 提高优质烟叶有效供给能力”的重大决策, 以实现“卷烟上水平”与“532”、“461”大品牌、大市场等发展战略。田

间清除不适用鲜烟叶是实现这一重大战略的关键与核心<sup>[1]</sup>。目前, 已有学者对优化烟叶等级结构进行了研究。黄夸克等<sup>[2]</sup>研究显示, 在封顶后 10 天摘除 1 片脚叶、采烤倒数第 3 房时摘除顶叶 2 片和封顶时摘除 2 片脚叶、采烤倒数第 1 房时摘除顶叶 1 片, 能显著提高烟叶的等级结构和经济性状。钟鸣研究认为, 在福建省武平县的正常栽培烟叶, 顶叶和脚叶各摘除 2 片、最终留叶数 18 片左右的烟叶易烤, 均价和产值最高<sup>[3]</sup>。张振平<sup>[4]</sup>研究表明, 高打脚叶与二次打顶不仅可以提高烟叶产质量、优化等级结构, 而且可用性

**基金项目:** 重庆市烟草专卖局项目“重庆烟区不适用鲜烟叶优化技术研究”(NY20130501070003)

**作者简介:** 江厚龙 (1980—), 博士, 农艺师, 主要从事烟草栽培与生理生态研究, Email: jhl513@163.com

**收稿日期:** 2013-11-25

也得到了大大改善。而关于摘除不适用鲜烟叶对烟株光合生理特性影响的研究未见报道。因此,笔者在重庆市武隆县试验点进行田间不适鲜烟叶处理片数对烟株根系活力、叶绿素含量、光合特性及等级结构和经济效益等影响的研究,以期明确重庆气候条件下不适鲜烟叶田间处理数量,为优化烟叶结构、提高优质烟叶有效供给能力提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

研究于2013年在重庆市武隆县兴顺乡进行大田试验,供试品种为云烟97。试验田海拔1300 m,地势平坦,肥力均匀,土壤类型为中壤土,pH值为6.25,含有机质25.24 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮89.01 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷19.95 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾202.31 mg·kg<sup>-1</sup>。氮肥用量为113.45 kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾比例为1:1.5:2.5,基肥、提苗肥、追肥比例为7:2:1。采用漂浮育苗,于5月4日移栽,6月20日摘除底脚叶,7月1日打顶,打顶后各处理均留18片叶。打顶后摘除下部烟叶,分别摘除2片下部叶(T1)、3片下部叶(T2)、4片下部叶(T3),以不摘除下部叶为对照(CK)。每个处理100株。行、株距110 cm×55 cm,排成6垄,3次重复,完全随机排列。

### 1.2 测定项目和方法

在各处理和重复中选择并标记有代表性的烟株12株。其中3株用于测定光合指标,摘除下部叶前选择标记第5、10、16片(由下而上)分别表示下部叶、中部叶和上部叶;另外9株用于测定根系活力(每次3株)。每次测定光合指标时同时采集根系样品,用冰盒带回实验室测定根系活力。

### 1.2.1 光合气体交换参数

从处理后10天(7月11日)开始,每14天测定一次,共测定3次。每次于9:00~11:00时进行测定,采用美国Licor公司生产的Li-6400便携式光合测定系统测定净光合速率( $P_n$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ ),叶片水分利用率( $WUE$ )= $P_n/T_r$ 。系统控制条件设置如下:CO<sub>2</sub>浓度为360 μmol/mol,光照强度1200 μmol/m<sup>2</sup>·s,温度25℃。

### 1.2.2 叶绿素含量

采用日本柯尼卡公司生产的SPAD-502Plus叶绿素计,在测定光合指标的同时测定叶绿素SPAD值,每个测定点测30片叶片后取均值。

### 1.2.3 根系活力

根系活力测定采用TTC还原法,具体步骤参照文献<sup>[5]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对根系活力的影响

不同鲜烟叶处理方式对烟株根系活力影响的测定结果见表1,分别对3个测定时期的4个处理的根系活力测定结果进行方差分析。

由表1可知,3个测定时期的根系活力均随处理叶片数的增加而提高,且除T1外,均与CK差异达极显著水平,3个时期中,T2与T3间差异均未达极显著水平。由根系活力衰减规律可以看出,各处理根系活力均在7月11日至25日期间衰减最快,且随着摘除叶片数的增加,衰减速率增快,但不同时期中,T3处理的根系活力最高。因此,如若土壤肥力条件较好时,摘除下部烟叶过多可能导致后期根系吸收能力较强,烟株从土壤中吸收较多营养而影响烟叶成熟落黄。

表1 不同鲜烟叶处理方式下烟草根系活力的变化

Tab. 1 Changes in tobacco root vigor under different treatments of fresh leaf

μg·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>

处理 Treatment	7月11日 11-Jul.	7月25日 25-Jul.	8月9日 9-Aug.
CK	160.64 ± 4.81 A	102.88 ± 1.50 A	103.66 ± 0.65 A
T1	203.42 ± 3.62 A	132.02 ± 4.19 AB	116.21 ± 2.15 AB
T2	271.51 ± 4.70 B	152.87 ± 2.12 B	134.74 ± 5.83 BC
T3	311.94 ± 3.30 B	156.16 ± 1.07 B	144.89 ± 1.21 C

注:同列不同大写字母表示在0.01水平上差异显著,下同。

Note: Different capital letters stand for significant differences at 0.01 levels. The same hereafter.

## 2.2 不同处理对叶片 SPAD 值的影响

摘除下部烟叶后各处理叶片 SPAD 值测定结果见表 2。由表 2 看出, 摘除烟叶对叶片 SPAD 值有较大的影响。3 个测定时期的 3 个部位叶片的 SPAD 值均随摘除叶片数量的增加而升高, 且这种趋势随生育期的推进而逐渐明显。就不同部位而言, 下部叶受到的

影响最大, 其次为中部叶, 上部叶受到的影响较小。这可能是因为下部叶片摘除后明显改善了田间通风透光条件, 促进了中上部叶片在较好环境条件下生长发育<sup>[4]</sup>, 而且这种改善作用由下至上逐渐减弱。因此, 若摘除下部叶不当, 可能致使叶片叶绿素含量较高, 导致后期贪青晚熟而造成烟农经济损失。

表 2 不同鲜烟叶处理方式下叶片 SPAD 值的变化  
Tab. 2 Changes in SPAD value under different treatments of fresh leaf

部位 Position	处理 Treatment	7 月 11 日 11 Jul.	7 月 25 日 25 Jul.	8 月 9 日 9 Aug.
下部叶 Lower leaf	CK	36.25 ± 0.65 A	30.55 ± 1.05 A	26.90 ± 0.60 A
	T1	37.40 ± 1.10 A	33.85 ± 0.35 B	30.50 ± 0.70 B
	T2	39.25 ± 0.45 B	36.05 ± 0.75 C	33.90 ± 0.30 C
	T3	41.90 ± 0.80 C	38.00 ± 0.80 D	36.20 ± 0.60 D
中部叶 Middle leaf	CK	39.90 ± 0.50 A	38.80 ± 0.90 A	30.65 ± 0.95 A
	T1	41.15 ± 0.75 AB	40.00 ± 0.70 A	33.70 ± 0.50 B
	T2	41.90 ± 0.70 B	42.00 ± 0.90 B	35.70 ± 0.70 C
	T3	44.85 ± 0.65 C	44.35 ± 0.35 C	41.05 ± 0.45 D
上部叶 Upper leaf	CK	46.15 ± 0.55 A	45.90 ± 0.70 A	43.70 ± 0.40 A
	T1	46.75 ± 0.25 A	47.35 ± 0.50 A	45.23 ± 1.35 B
	T2	48.10 ± 0.30 B	50.00 ± 0.60 B	46.55 ± 0.85 B
	T3	49.60 ± 0.70 B	52.50 ± 0.60 C	46.91 ± 0.55 C

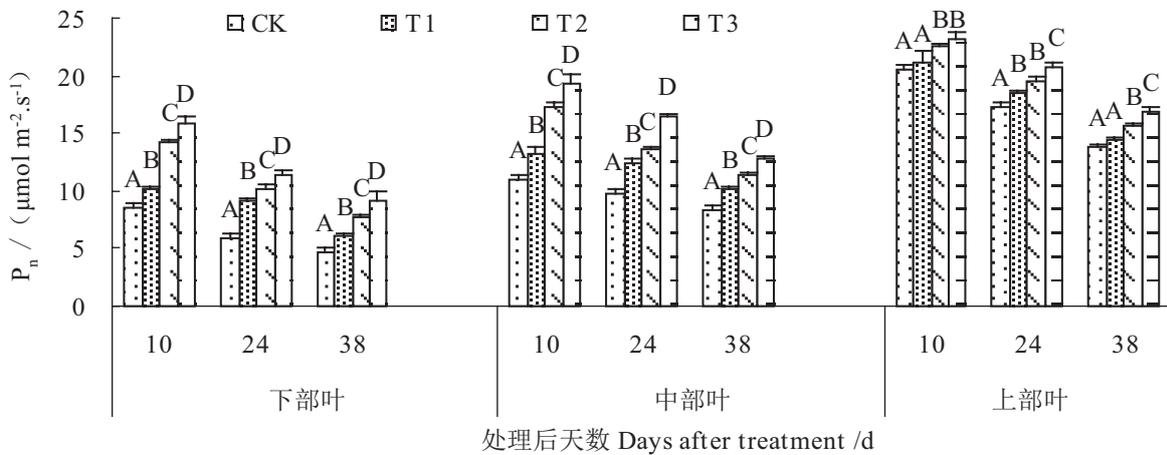
## 2.3 不同处理对光合气体交换参数的影响

### 2.3.1 不同处理对净光合速率 ( $P_n$ ) 的影响

从图 1 可见, 各测定时期各部位叶片  $P_n$  均随摘除叶片数的增加而显著增加, 表明摘除下部烟叶有提高叶片光合能力、增加光合产物积累的作用。不同测定时期、不同部位烟叶的  $P_n$  表现为: CK < T1 < T2 < T3。这说明摘除下部烟叶越多, 对  $P_n$  影响越大。就

不同部位而言, 下部叶受到的影响最大, 其次为中部叶, 上部叶受影响最小。

由图 2 可知, 随测定时期的推延, 各处理叶片的光合功能不断衰退, 中下部叶的光合功能有随摘除叶片数量的增加而加剧衰退的趋势, 而上部叶光合功能的衰退速率则随摘除叶片数的增加逐渐降低。



注：不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著，下同。  
 Note: Different capital letters stand for significant differences at 0.01 levels. The same hereafter.

图 1 不同鲜烟叶处理方式对叶片净光合速率的影响

Fig. 1 Effects of different treatments of fresh leaf on net photosynthetic rate

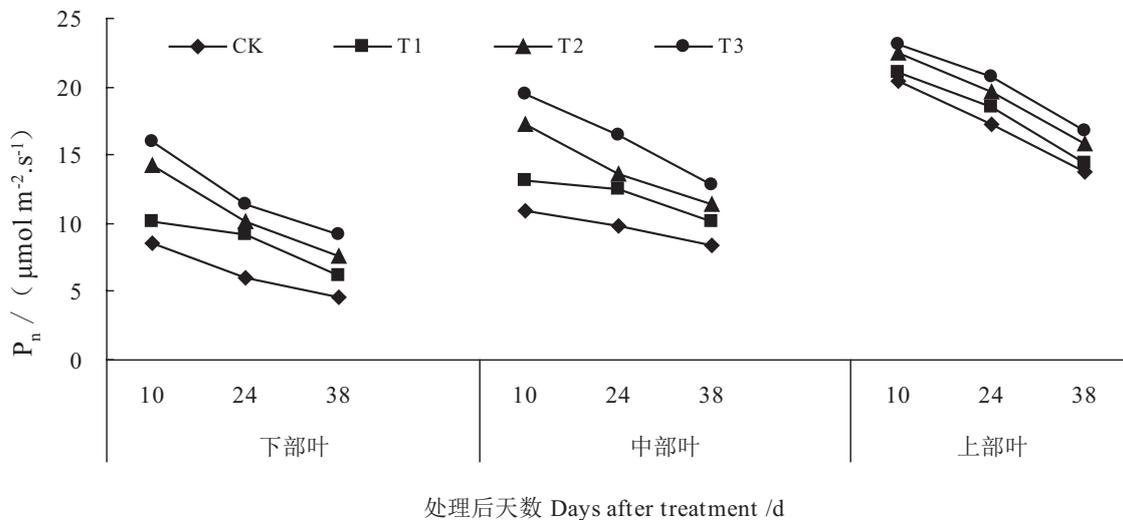


图 2 不同鲜烟叶处理方式叶片净光合速率的衰退规律

Fig. 2 Decay trend of net photosynthetic rate under different treatments of fresh leaf

2.3.2 不同处理对蒸腾速率 (T<sub>r</sub>) 的影响

由图 3 可知，摘除下部烟叶对叶片的蒸腾速率有一定的刺激作用。随着摘除数量的增加，叶片的蒸腾作用呈现逐渐增强的趋势，各处理间差异显著。不同部位烟叶的蒸腾速率均以 T3 最高（处理后 10 天的上部叶例外）。

由图 4 可见，从处理后 10 d 至 38 d，就下部叶而言，CK 的 T<sub>r</sub> 降低了 18.47%，T1、T2 和 T3

则分别增加了 41.74%、23.16% 和 30.71%；就中部叶而言，各处理的 T<sub>r</sub> 均有一定程度的增加，增幅分别为 14.20%、24.42%、47.21% 和 43.39%；就上部叶而言，CK 的 T<sub>r</sub> 降低了 12.64%，T1、T2 和 T3 则分别增加了 21.67%、32.74% 和 54.24%。说明在烟叶生长发育过程中，摘除下部烟叶对叶片的蒸腾速率有积极的影响，且这种影响在一定生育期内有增加的趋势。

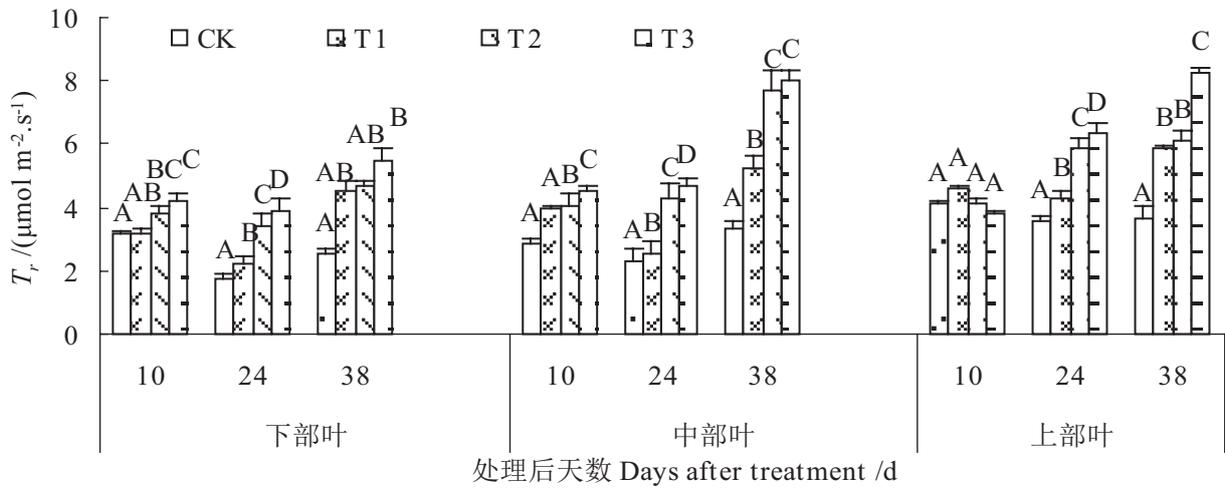


图 3 不同鲜烟叶处理方式对叶片蒸腾速率的影响

Fig. 3 Effects of different treatments of fresh leaf on transpiration rate

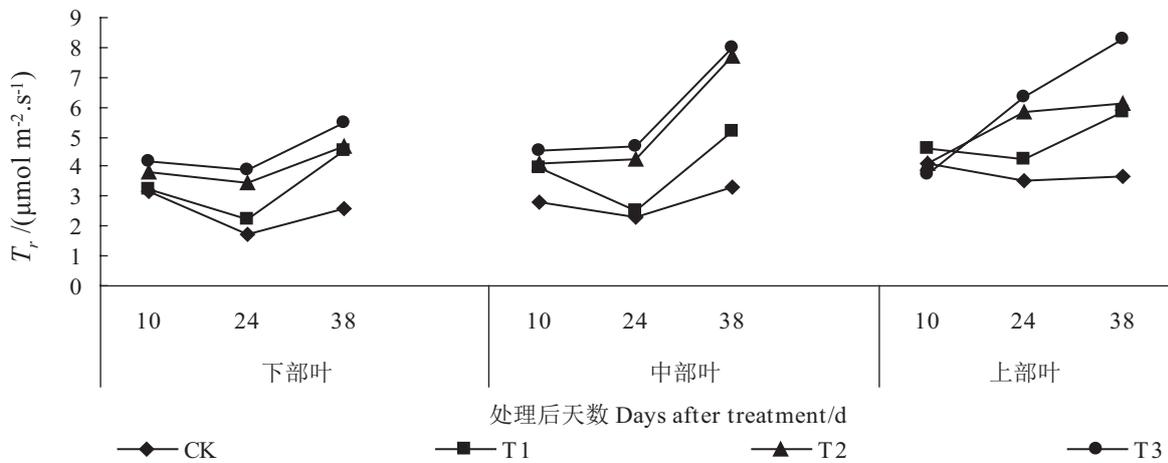


图 4 不同鲜烟叶处理方式叶片蒸腾速率的衰退规律

Fig. 4 Decay trend of transpiration rate under different treatments of fresh leaf

### 2.3.3 不同处理对水分利用率 (WUE) 的影响

从图 5 可见, 不同处理对叶片 WUE 有着显著的影响。处理后 10 天, WUE 有随摘除叶片数的增加而提高的趋势; 处理后 24 和 38 天时则呈现出相反的规律, 即以 CK 或 T1 的 WUE 最高, 摘除叶片数越多其 WUE 越低。

由图 6 可知, 随着生育期的推进各处理叶片

的 WUE 均呈逐渐降低, 且摘除下部叶片数越多, WUE 下降幅度越大。CK、T1、T2 和 T3 处理下部叶的 WUE 分别降低了 14.67%、36.40%、42.00% 和 58.31%, 中部叶分别降低了 34.38%、41.60%、65.31% 和 62.50%, 上部叶分别降低了 29.81%、46.57%、53.00% 和 66.75%。

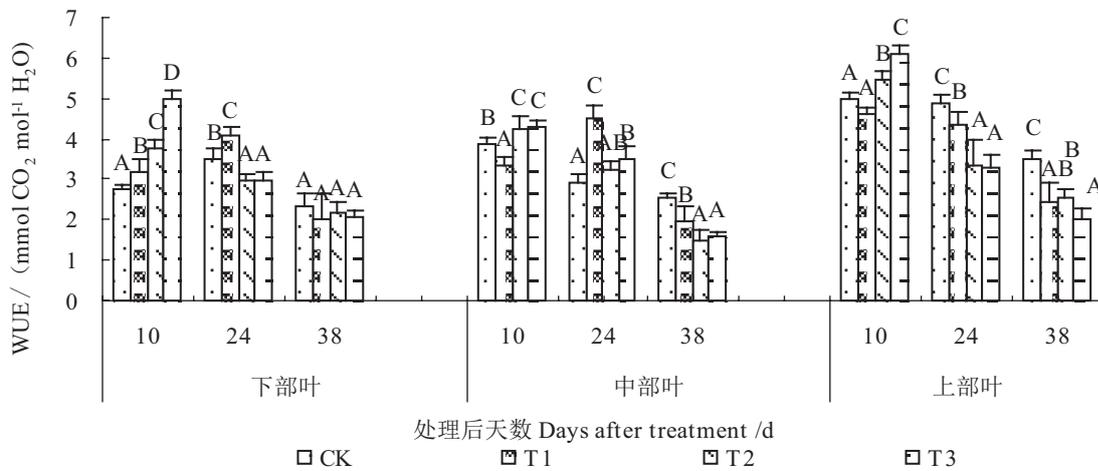


图5 不同鲜烟叶处理方式对叶片水分利用率的影响

Fig. 5 Effects on WUE under different treatments of fresh leaf

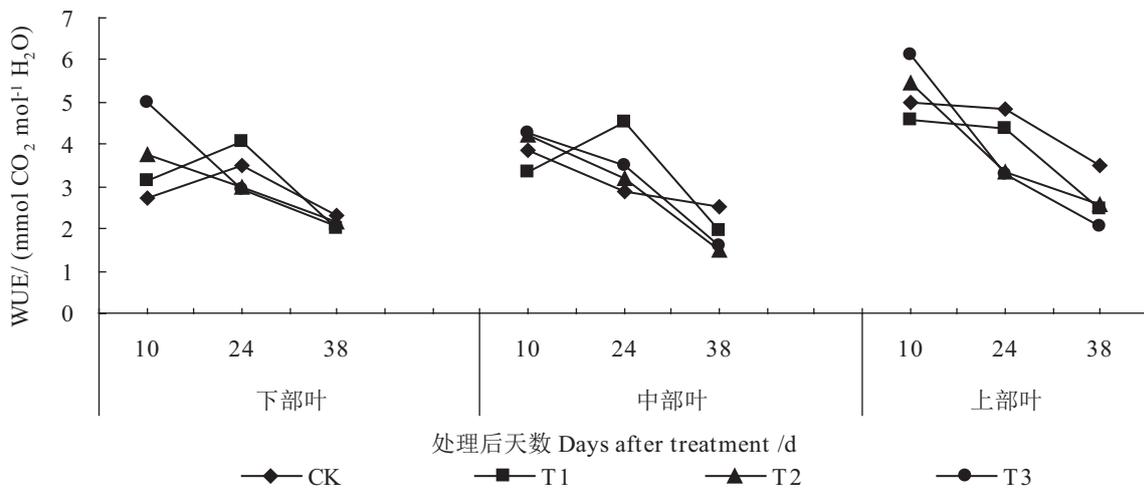


图6 不同鲜烟叶处理方式叶片水分利用率的变化

Fig. 6 Changes of leaf WUE under different treatments of fresh leaf

2.4 不同处理对烟叶等级结构及经济性状的影响

由表3可以看出,不同处理对烟叶产量、等级结构和产值有着较大的影响。不同处理对烟叶产量有一定的影响,随着摘除下部叶数量的增加,产量呈逐渐降低的趋势,T1、T2和T3处理分别比CK降低了5.35%、8.68%、9.70%;其中CK和T1,T1、T2和T3间不具显著差异。就烟叶等级结构来看,摘除下部烟叶能显著提高上等烟比例,T1、T2和T3处理分

别较对照提高了6.06%、10.12%、5.01%。另外,摘除下部烟叶后也降低了下等烟的比例,T1、T2和T3分别较对照降低了59.27%、63.74%、47.85%。由亩产值分析可知,摘除下部烟叶有显著提高亩产值的作用。其中以T2处理最为显著,较对照增加了7.28%;其次为T1处理,较对照增加了3.50%;T3处理的亩产值仅增加1.49%。

表3 不同鲜烟叶处理方式下对等级结构和经济效益的影响  
Tab. 3 Effects of different treatments of fresh leaf on grading and economic value

处理	产量 / (kg/hm <sup>2</sup> )	上等烟比例 / %	中等烟比例 / %	下等烟比例 / %	产值 / (万元 / hm <sup>2</sup> )
CK	2318.78 b	63.35 a	30.61 c	6.04 a	6.80 a
T1	2194.73 ab	67.44 b	30.09 ab	2.46 b	7.05 bc
T2	2117.48 a	70.48 c	27.33 a	2.19 b	7.34 c
T3	2093.59 a	66.69 b	30.15 b	3.15 b	6.90 ab

### 3 讨论

根系是植物吸收水分和矿质营养的主要器官，根系活力是反映根系吸收能力的综合指标。研究表明，通过剪叶能提高烟苗的根系活力<sup>[6]</sup>。张丹等<sup>[7]</sup>认为打顶可提高烟株的根系活力。从本研究来看，摘除下部烟叶对根系活力也有较大影响，摘除叶片越多根系活力越高，且不同处理间具有极显著差异。摘除叶片数对根系活力变化动态也有一定的影响，摘除叶片数越多，根系活力衰退越快，但同一测定期间仍以摘除叶片数多的T3处理最高。这可能是因为摘除下部烟叶能起到剪叶和打顶等相同作用，改善农田小气候、改变烟株营养分配，进而刺激了根系生长发育。因此，生产上如处理下部烟叶不当，可能会导致根系吸收能力增强，破坏了烟株营养平衡，导致后期贪青晚熟而影响烘烤。

作为光合作用的场所，叶绿素在光合作用中起着至关重要的作用<sup>[8]</sup>，叶绿素含量的变化可以间接反映出产量和品质特征。叶绿素含量除了受植株营养状况的影响外，农田小气候对其含量也有较大影响。崔海岩等<sup>[9]</sup>报道，遮阴能显著降低夏玉米叶片的叶绿素含量；毕文荣等<sup>[10]</sup>认为烤烟的叶绿素含量有随着种植密度增加而降低的趋势。本研究显示，通过摘除下部烟叶来改善群体的通风透光条件，能显著提高叶片叶绿素含量，这种影响由下至上逐渐减弱。因此，生产上应根据土壤及烟株的营养状况，适时适量摘除下部烟叶，以免造成叶片贪青晚熟。

叶片光合作用既能反映植物物质积累与生理代谢的持续能力<sup>[11]</sup>，又是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段<sup>[12]</sup>。光合产物是作物产质量形成的基础，90%以上的干物质直接或间接来自光合作用，改善烟草的光合性能是提高烟草产量和品质的基本手段<sup>[13]</sup>。光照强度和CO<sub>2</sub>浓度是影响烟草光合作用强弱的两个主要因素<sup>[14,15]</sup>。本研究表明，摘除下部烟叶

对烟草光合性能提升和光合产物积累有较大的促进作用；下部叶受到的影响最大，其次为中部叶，上部叶最小，这种影响随摘除叶片数的增加而增强。另外，摘除下部烟叶还有延缓叶片光合功能衰退的作用。出现这种结果的可能是因为摘除下部叶片刺激了根系的二次生长，增强了吸收能力，烟株体内矿质营养丰富；改善了烟株的微生态环境和营养状况，增加了叶绿素含量，最终导致了叶片光合功能的增强。王瑞等<sup>[16]</sup>研究也印证了通过降低种植密度来改善通风透光条件既可提高烤烟叶片的P<sub>n</sub>，又可减小叶片P<sub>n</sub>下降幅度、延缓光合功能的衰退。

叶片光合作用与蒸腾作用是两个同时进行的气体交换过程，气孔作为门户调节和控制着光合与蒸腾的变化，两者的比值(P<sub>n</sub>/T<sub>r</sub>)决定着叶片的水分利用率(WUE)<sup>[17]</sup>。水分利用率是指植物消耗单位重量水分所固定的CO<sub>2</sub>的量<sup>[18]</sup>，是衡量植物水分消耗与物质生产间关系的重要综合性指标<sup>[19]</sup>，WUE的大小反映了植物对逆境适应能力的强弱<sup>[20]</sup>。从本研究来看，摘除下部烟叶对叶片的T<sub>r</sub>和WUE有着较大的影响。摘除的叶片数越多T<sub>r</sub>值越大，这可能是因为摘除下部烟叶后烟株的群体小气候得到了改善，通风透光增强而提高了蒸腾速率。张晓艳等<sup>[21]</sup>报道了大豆也具有相似的规律。WUE与摘除叶片数的关系比较复杂，前期表现为随摘除叶片数量增加而提高，中后期却随之降低，其原因有待于进一步研究。因此，生产上如果处理下部烟叶不当，可能导致烟株蒸腾量增加，水分利用率降低，进而影响烟株对干旱胁迫的抵抗能力。

烟叶生产过程中，等级结构和经济效益是烟草企业及烟农最为关心的指标，摘除下部鲜烟叶对烟叶等级结构和烟农经济效益有着显著的影响。研究显示，摘除2、3、4片下部鲜烟叶均对以上两个指标有显著影响，其中以摘除3片效果最好，其次为摘除2片，摘除4片的效果最差。这可能与摘除过多烟叶刺激了根系的吸收能力和烟株光合能力，进而破坏了烟株营

养平衡有关。

#### 4 结论

在田间摘除下部鲜烟叶,可增强烟株吸收矿质营养的能力;改善烟田的群体小气候,增加叶片叶绿素含量、提高了净光合速率、延长了叶片光合功能期,进而使叶片积累更多的光合产物;提高了蒸腾速率,在一定时期降低了叶片水分利用率,增加了烟株的需水量。因此,在大田生产过程中,应具体考虑土壤肥力状况、烟株营养状况及气候条件来确定摘除下部鲜烟叶的数量,以免烟株营养失衡、贪青晚熟等造成烟农经济损失。

综合分析显示,在重庆武隆生态条件下的中等肥力水平土壤上,处理下部鲜烟叶时,以摘除3片为宜。

#### 参考文献

- [1] 张小艳. 田间消化处理不适用鲜烟叶探讨 [J]. 现代农业科技, 2011, 17:108-110.
- [2] 黄夸克, 马彦清, 李祖红, 等. 田间不适用鲜烟叶的消化时期与消除叶片数对烟叶经济性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(4):163-167.
- [3] 钟鸣, 曾文龙, 张红斌, 等. 不同留叶数对优化烤烟等级结构的影响 [J]. 现代农业科技, 2012, (11):9-10.
- [4] 张振平, 刘孟军. 烤烟高打脚叶与二次打顶技术研究 [J]. 西北农业学报, 2002, 11(2):118-120.
- [5] 张志良, 瞿伟箐. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [6] 陈丽莉, 孟琳, 方角, 等. 剪叶程度对烤烟漂浮苗根系生长及生理特征的影响 [J]. 贵州农业科学, 2012, 40(5):36-38.
- [7] 张丹, 刘国顺, 章建新, 等. 打顶时期对烤烟根系活力及烟碱积累规律的影响 [J]. 中国烟草科学, 2006, (1):38-41.
- [8] 白宝璋, 史芝文. 植物生理学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 43-44, 66.
- [9] 崔海岩, 靳立斌, 李波, 等. 大田遮阴对夏玉米光合特性和叶黄素循环的影响 [J]. 作物学报, 2013, 39(3): 478-485.
- [10] 毕文荣, 吴永明, 刘彦中, 等. 不同种植密度对烤烟产质量及叶绿素含量的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2009, 35(S1):1-4.
- [11] 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]. *J Agron Crop Sci*, 2004, 190: 119-129.
- [12] Munné-Bosch S, Nogués S, Alegre L. Diurnal variations of photosynthesis and dew absorption by leaves in two evergreen shrubs growing in Mediterranean field conditions [J]. *New Phytol*, 1999, 144: 109-119.
- [13] 韩锦峰. 烟草栽培生理 [M]. 北京: 农业出版社, 2003: 56-58.
- [14] 钟楚, 王毅, 简少芬, 等. 云南玉溪烟区两烟草品种叶片光合作用对光和 CO<sub>2</sub> 的响应 [J]. 中国农业气象, 2010, 3(3):436-441.
- [15] 江力, 曹树青, 戴新宾. 光强对烟草光合作用的影响 [J]. 中国烟草学报, 2000, 6(4):17-20.
- [16] 王瑞, 刘国顺, 倪国仕, 等. 种植密度对烤烟不同部位叶片光合特性及其同化物积累的影响 [J]. 作物学报, 2009, 35(12): 2288-2295.
- [17] Fischer R A, Turner N C. Plant productivity in the arid and semiarid zones [J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1978, 29: 227-317.
- [18] 陈彤, 柯世省, 张阿英. 木荷夏季气体交换、光能和水利用效率的日变化 [J]. 天津师范大学学报 (自然科学版), 2005, 25(4):28-31.
- [19] 刘瑞显, 郭文琦, 陈兵林. 干旱条件下花铃期棉花对氮素的生理响应 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1475-1482.
- [20] 刘金祥, 麦嘉玲. CO<sub>2</sub> 浓度增强对沿阶草光合特性的影响 [J]. 中国草地, 2004, 26(3):13-18.
- [21] 张晓艳, 李建英, 郑殿峰, 等. 不同密度下大豆单株和群体的光合特性 [J]. 大豆科学, 2010, 29(4):638-640, 644.