

## 土壤施硒对烤烟光合特性及其同化物积累的影响

王 瑞<sup>1</sup>, 黄树立<sup>1\*</sup>, 陈明辉<sup>2</sup>, 彭 城<sup>3</sup>, 周大寨<sup>3</sup>

(1.湖北省烟草公司恩施州公司, 湖北 恩施 445000; 2.湖北省烟草公司恩施州公司利川烟叶分公司, 湖北 利川 445400;  
3.湖北民族学院, 湖北 恩施 445000)

**摘 要:** 采用盆栽试验调查了不同硒浓度 (0、1、2.5、5、10、15 mg/kg) 施入土壤后, 烤烟光合特性及其同化物积累的变化情况。结果表明, 适量硒浓度可以降低烤烟叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 和叶绿素含量的下降率, 延缓光合功能的衰退, 同时延长光合同化产物的积累时间; 过量硒浓度会提高  $P_n$  和叶绿素含量的下降率, 加速光合功能的衰退, 缩短光合同化产物的积累时间。土壤施硒对烤烟叶片光合功能及其同化产物积累的影响主要发生在烟株成熟期 (移栽 60 d 以后), 且随着叶片生育进程的推进, 影响的程度越大。在烟株生育前期, 施硒提高叶片  $P_n$  的原因可能是减少了气孔限制, 而在生育后期, 过量硒浓度引起  $P_n$  下降的主要因素是非气孔限制, 叶绿素含量下降可能是一个重要原因。在本试验条件下, 适宜的土壤施硒浓度为 2.5 和 5 mg/kg。

**关键词:** 烤烟; 硒; 光合特性; 同化产物

中图分类号: S572.062

文章编号: 1007-5119 (2011) 01-0022-05

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2011.01.005

## Effects of Soil Se Application on Photosynthetic Characteristics and Assimilate Accumulation of Flue-cured Tobacco

WANG Rui<sup>1</sup>, HUANG Shuli<sup>1\*</sup>, CHEN Minghui<sup>2</sup>, PENG Cheng<sup>3</sup>, ZHOU Dazhai<sup>3</sup>

(1. Enshi Prefecture Company of Hubei Provincial Tobacco Corporation, Enshi, Hubei 445000, China; 2. Lichuan Branch of Enshi Tobacco Company, Lichuan, Hubei 445400, China; 3. Hubei Institute for Nationalities, Enshi, Hubei 445000, China)

**Abstract:** Pot experiment was conducted in greenhouse in Wangcheng Village, Enshi County of Hubei, China to study photosynthetic character and variation of assimilate accumulation of flue-cured tobacco Yunyan87 under different soil Se application rates (0, 1, 2.5, 5, 10 and 15 mg/kg). The results showed that suitable Se rate could reduce the decline rate of net photosynthetic rate ( $P_n$ ) and photosynthetic pigment, delay decline of photosynthetic function, and prolong accumulating time of assimilation, but it was opposite under too high concentration. The effects of soil Se-supplement on photosynthetic character and assimilate accumulation of flue-cured tobacco appeared in mature period (about 60 days after transplanting), and the effects gradually increased with the advance of leaf growth stages. Under the conditions of this study, proper soil Se-supplement concentrations were 2.5 and 5 mg/kg.

**Keywords:** flue-cured tobacco; Se; photosynthetic character; assimilation product

硒是生命必需的微量元素之一, 对人和动物的影响主要是通过土壤—植物体系而起作用。人们就硒在植物体内的吸收积累、形态分布、生理作用以及生化代谢等方面进行了广泛的研究<sup>[1-4]</sup>。对大多数用以实验的植物而言, 硒符合必需元素对生物体效应的 Bertrand 生物剂量规律, 即低浓度时, 对植物的生长有促进作用, 过量则对植物构成危害<sup>[5]</sup>。硒

元素最适作用浓度因植物种类、施用方法等不同而有很大的差异。万洪富等<sup>[6]</sup>报道土壤含硒量达 1.5 mg/kg 时就影响紫花苜蓿的干物质积累, 王桂兰<sup>[7]</sup>则认为玉米、小麦加硒的临界值为 22 mg/kg, 高家合等<sup>[8]</sup>采用水培方式研究了硒对烤烟的生态毒理效应及临界指标, 认为当硒浓度达到 8 mg/kg 时, 烤烟开始受到危害, 随着硒浓度的增高, 危害加重。

基金项目: 国家烟草专卖局项目“卷烟品牌导向的烟叶生产体系研究—清江源特色优质烟叶生产体系研究”(110200801039)

作者简介: 王 瑞, 男, 博士, 主要研究方向为烟草栽培与生理生态。E-mail: wangrui2999@126.com。\* 通信作者, E-mail: huangshuli@tobaccohb.com

收稿日期: 2010-09-11

前人关于硒对烤烟影响的研究主要集中在生长发育和烤后烟叶产、质量方面<sup>[9-11]</sup>,对生长过程中叶片光合特性及同化物积累涉及的较少。光合作用是作物产量和质量形成的基础,作物中 90% 以上的干物质直接或间接来自光合作用,提高烟草产量和品质的根本途径是改善烟草的光合性能,其同化物在植物生长发育和代谢活动中起重要作用<sup>[12]</sup>。本研究旨在探讨在不同土壤供硒水平下烤烟光合特性及其同化产物的变化规律,从光合生理角度解释硒对烤烟产量和质量的调控效应,为合理使用硒肥、生产富硒烟叶提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设计

2009 年在湖北省恩施州香城现代烟草农业日光温室中进行盆栽试验。土壤采自湖北省咸丰县梨树坝村,土壤全硒含量较低(0.13 mg/kg),棕壤土,质地偏粘,pH 为 6.73,有机质 36.6 g/kg、碱解氮 184.62 mg/kg、速效磷 35.53 mg/kg、速效钾 221.0 mg/kg。每盆装干土 15 kg(盆高 40 cm,直径 35 cm),所有肥料均作基肥一次施入。每株施纯氮量 5 g, $m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=1:1.5:2.5$ 。以亚硒酸钠( $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )为硒肥,以不施硒肥为对照,设置 1、2.5、5、10 和 15 mg/kg 的供硒水平。每处理栽烟 10 盆,共 60 盆,按行株距 120 cm × 55 cm 排成 4 排,完全随机排列。供试品种为云烟 87,漂浮育苗,5 月 22 日移栽,打顶后统一留 18 片叶。

### 1.2 测定项目

1.2.1 光合参数的测定 选择生长一致的 3 株烤烟,每株标记中部叶(自下而上第 10 叶位叶)。分别在叶片全展时(移栽后 50 d)、全展后 15、30 d 进行测定。采用美国 Li-cor 公司生产的 Li-6400 便携式光合测定系统测定净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )、人工控制  $\text{CO}_2$  浓度 400  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ , 28℃,光照强度 1 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ 。

1.2.2 比叶重、碳水化合物总量的测定 试验方法同上。参照肖强等<sup>[13]</sup>方法计算每片叶的叶面积,于

105℃ 杀青 30 min,60℃ 烘干后称重,得出每片叶的干重,比叶重=干重/叶面积。将同类叶片混合磨碎后用于碳水化合物含量的测定。采用美国 API 公司生产的 305D 型连续流动分析仪测定淀粉和可溶性总糖含量。由于本研究对碳水化合物的分析从叶片全展后开始的,构成叶片的网络和骨架(主要是纤维素、半纤维素、果胶)已经形成,其后主要以水溶性糖和淀粉的形式积累<sup>[14]</sup>,因此碳水化合物总量用可溶性总糖与淀粉含量之和代替。

1.2.3 叶绿素含量的测定 同步用直径 1 cm 打孔器取鲜叶,采用乙醇、丙酮混合液法测定<sup>[15]</sup>,然后计算单位面积叶绿素含量。

### 1.3 统计分析

采用 Excel 2007 和 DPS6.55 统计分析软件。

## 2 结果

### 2.1 土壤施硒对烤烟叶片光合参数的影响

2.1.1 对净光合速率( $P_n$ )的影响 从图 1 可见,各处理叶片  $P_n$  均随着测定时间的推迟而下降,表明叶片全展后,光合功能不断衰退。在叶片全展时,仅 1 mg/kg 处理与对照没有显著差异;在 2.5~15 mg/kg 范围内,各处理之间没有显著差异,均显著高于对照和 1 mg/kg 处理;表明只有在一定土壤施硒水平(2.5 mg/kg)下才可以明显提高烟株生育前期光合能力。在叶片全展后 15 d,随着施硒水平的提高, $P_n$  呈先上升后下降的趋势;当施硒水平在 5 mg/kg 时达到最高,显著高于其他处理;当施硒水平达到 10 mg/kg 时,与对照相比显著下降。 $P_n$

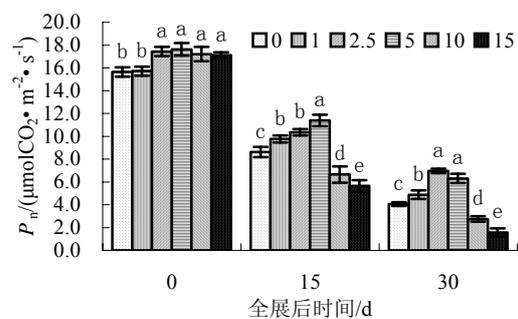


图 1 土壤施硒对烤烟叶片  $P_n$  的影响

Fig. 1 Effect of soil Se application on  $P_n$  of flue-cured tobaccos

在叶片全展后 30 d 时的变化规律与 15 d 时基本相似,表明适量土壤施硒可以提高烟株生育后期的光合能力,而过量施硒会降低烟株生育后期光合能力。随着施硒水平的提高,  $P_n$  在叶片全展后 30 d 内下降率依次为 74.1%、68.9%、60.1%、64.2%、84.4%、90.8%,呈先下降后上升的趋势,表明适量土壤施硒水平可以延缓烤烟叶片光合功能的衰退,而过量施硒水平会加速光合功能的衰退。从表 1 可知,烤烟叶片  $P_n$  不同时期处理间的变异系数(CV)和最大差异率(PR)均随着测定时间的推迟而增大;表明随着叶片生育进程的推进,土壤施硒对叶片光合能力的影响程度越来越大。

表 1 烤烟叶片主要生理指标处理间变异系数和最大差异率  
Table1 CV and PR of main physiological indices of flue-cured tobaccos' leaves under different treatments

指标	净光合速率			叶绿素含量			碳水化合物总量			比叶重		
	0	15d	30d	0	15d	30d	0	15d	30d	0	15d	30d
CV/%	4.80	23.14	42.61	1.10	8.74	20.19	3.61	9.66	21.74	1.57	8.28	16.89
PR/%	11.27	50.35	77.46	3.24	24.42	44.60	8.91	21.96	44.35	4.17	18.37	35.99

2.1.2 对气孔导度 ( $G_s$ ) 和胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 的影响 从图 2、3 可见,在叶片全展时,随着土壤施硒水平的提高,  $G_s$  和  $C_i$  逐渐增加,当达到 5 mg/kg 时趋于稳定,与  $P_n$  的变化趋势基本一致,烟株生育前期  $P_n$  提高的原因可能是因为硒增加了叶片气孔导度,减少了气孔限制<sup>[16]</sup>。在叶片全展后 15 和 30 d 时,随着施硒水平的提高,  $G_s$  呈先上升后下降的趋势,与  $P_n$  的变化规律基本一致;  $C_i$  呈现先下降后上升的趋势,当土壤供硒水平超过 2.5 mg/kg 后,  $C_i$  与  $P_n$ 、 $G_s$  的变化方向相反。根据 Farqhar 和 Sharkey 的观点<sup>[17]</sup>,可以分析在一定土壤施硒范围内,烟株

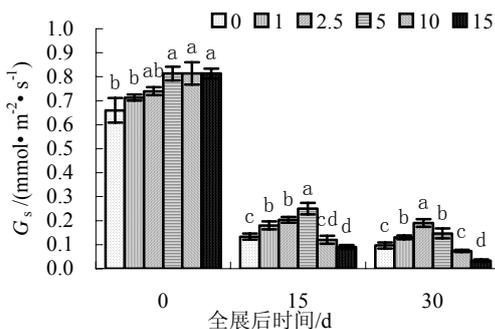


图 2 土壤施硒对烤烟叶片  $G_s$  的影响

Fig.2 Effect of soil Se application on  $G_s$  of flue-cured tobaccos

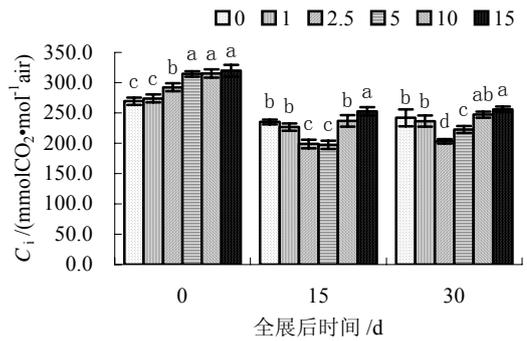


图 3 不同土壤含硒量对烤烟叶片  $C_i$  的影响

Fig.3 Effect of soil Se application on  $C_i$  of flue-cured tobaccos

生育后期叶片  $P_n$  的增加可能是气孔和非气孔共同作用引起的,而在高土壤施硒水平下引起叶片  $P_n$  下降的主要因素是非气孔限制,即叶肉细胞的光合活性下降。

2.2 土壤施硒对烤烟叶片叶绿素含量的影响

从图 4 可见,各处理叶片叶绿素含量随着测定时间的推迟而下降,表明叶片全展后,叶绿素逐渐降解。在叶片全展时,各处理之间没有显著差异,表明不同土壤施硒水平对烟株生育前期叶片叶绿素含量没有明显影响。在叶片全展后 15 和 30 d 时,叶绿素含量呈先升高后降低的趋势。当施硒水平在 2.5 和 5 mg/kg 时达到最高,显著高于其他各处理,当施硒水平达到 15 mg/kg 时,与对照相比显著下降。随着施硒水平的提高,叶绿素含量在叶片全展后 30 d 内下降率依次为 69.7%、65.5%、58.7%、59.3%、70.8%、76.9%,呈先下降后上升的趋势,表明适量土壤施硒水平可以延缓叶绿素的降解,而过量施硒水平会加速叶绿素的降解。从表 1 可知,烤烟叶片叶绿素含量不同时期处理间的变异系数

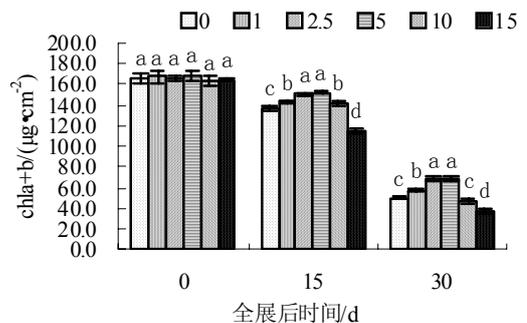


图 4 土壤施硒对烤烟叶片 Chla+b 含量的影响

Fig.4 Effect of soil Se application on Chla+b of flue-cured tobaccos

(CV) 和最大差异率 (PR) 均随着测定时间的推迟而增大, 表明随着叶片生育进程的推进, 土壤施硒对叶片叶绿素含量影响程度越来越大。

2.3 土壤施硒对烤烟叶片光合同化物积累的影响

2.3.1 对碳水化合物总量的影响 碳水化合物总量的变化是烟叶光合作用与呼吸作用、合成与分解代谢相对平衡的结果<sup>[12]</sup>。从图 5 可见, 叶片全展时, 各处理之间没有显著差异, 表明不同土壤施硒水平不会影响烟株生育前期的碳水化合物含量。

在叶片全展后 15 和 30 d 时, 随着施硒水平的提高, 呈先上升后下降的趋势。当施硒水平达到 2.5 和 5 mg/kg 时达到最高, 显著高于其他各处理; 当施硒水平达到 10 mg/kg 时, 与对照相比显著下降; 表明过量土壤供硒水平会减少烟株生育后期碳水化合物含量。

2.5 和 5 mg/kg 两种供硒水平处理随着测定时间的推迟一直呈上升的趋势, 而其他各处理均呈先上升后下降的趋势, 表明在适量土壤施硒水平下, 叶片在全展后 30 d 时仍然进行碳水化物的积累, 积累时期延长, 而在过低或过高供硒水平下, 碳水化合物已经开始分解, 积累时期缩短。从表 1 可知, 烤烟叶片碳水化合物总量不同时期处理间的变异系数 (CV) 和最大差异率 (PR) 均随着测定时间的推迟而增大, 表明随着叶片生育进程的推进, 土壤施硒对叶片碳水化合物总量影响程度越来越大。

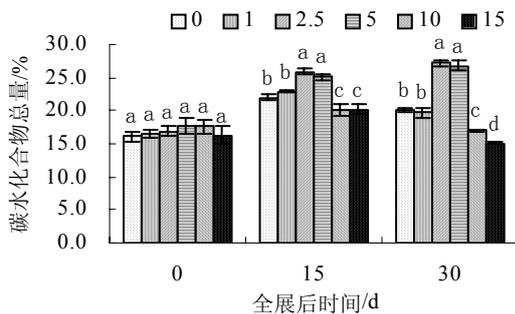


图 5 土壤施硒对烤烟叶片碳水化合物总量的影响

Fig. 5 Effect of soil Se application on carbohydrate content of flue-cured tobaccos

2.3.2 对比叶重的影响 从图 6 可见, 在叶片全展时, 各处理之间没有显著差异, 表明不同土壤施硒水平不会影响烟株生育前期的叶片比叶重。在叶片全展后 15 和 30 d 时, 随着施硒水平的提高, 呈先

上升后下降的趋势。当施硒水平为 2.5 和 5 mg/kg 时达到最高, 显著高于其他各处理; 当施硒水平达到 15 mg/kg 时, 与对照相比显著下降, 表明过量土壤施硒水平会减少烟株生育后期叶片比叶重。2.5 和 5 mg/kg 两种施硒水平随测定时间的推迟一直呈上升的趋势, 而其他各处理均呈先上升后下降的趋势; 表明在适量土壤施硒水平下, 叶片在全展后 30 d 时仍然进行干物质积累, 积累时期延长, 而在过低或过高土壤供硒水平下, 干物质已经开始分解, 积累时期缩短。从表 1 可知, 烤烟叶片比叶重不同时期处理间的变异系数 (CV) 和最大差异率 (PR) 均随着测定时间的推迟而增大, 表明随着叶片生育进程的推进, 土壤施硒对叶片比叶重影响程度越来越大。

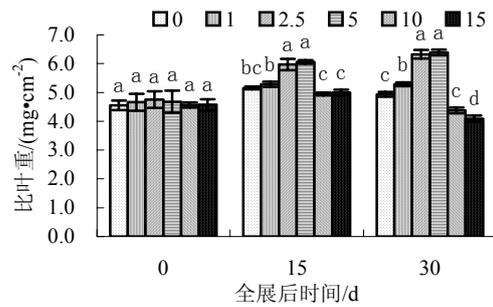


图 6 土壤施硒对烤烟叶片比叶重的影响

Fig.6 Effect of soil Se application on SLW of flue-cured tobaccos

3 讨论

杜慧玲等<sup>[18]</sup>对生菜的研究结果表明, 随着硒处理浓度的增加, 生菜叶片净光合速率、气孔导度以及蒸腾速率均表现出先升后降的趋势。尚庆茂等<sup>[19]</sup>对辣椒在高温逆境下的研究结果认为, 在相对较低的硒含量范围内, 增加硒含量可以提高高温逆境下辣椒叶片的净光合速率, 但硒含量超出这一范围或越过某一阈值, 反而使同等条件下叶片净光合速率下降。从本研究结果来看, 适量土壤施硒水平可以降低烤烟叶片  $P_n$  的下降率, 延缓光合功能的衰退, 同时也延长了光合同化产物的积累时间。而过量施硒会提高  $P_n$  的下降率, 加速光合功能的衰退, 缩短光合同化产物的积累时间。在烤烟叶片光合功能旺盛期 (叶片全展时), 即使在土壤

供硒水平很高 ( 10 mg/kg ) 的条件下,  $P_n$  仍然保持一个较高的值, 显著高于对照和低土壤含硒量处理。土壤施硒对烤烟叶片光合功能及其同化产物积累的影响作用主要发生在烟株成熟期( 移栽 60 d 以后), 且随着叶片生育进程的推进, 影响的程度越大。其原因可能是因为在烟株生育前期, 通过土壤吸收硒的量较少<sup>[20]</sup>, 同时处于生理功能的旺盛期, 对环境硒的耐受能力较强, 土壤施硒水平高反而促进了  $P_n$  升高。而在后期烟株体内硒的积累量增加, 同时随着烟株自然的衰老, 对过量硒的耐受能力下降, 从而加速了光合功能的衰退。

叶绿素是植物进行光合作用的物质基础, 在吸收和转换光能方面发挥了巨大作用。许多研究指出, 植物叶片叶绿素含量与净光合速率之间呈密切的正相关, 但有人认为它们之间没有相关性。本研究通过对各测定时期  $P_n$  和叶绿素含量进行相关性分析表明, 除在叶片全展时两者之间没有相关性外, 在叶片全展后 15 和 30 d, 两者之间分别达到显著和极显著正相关(  $r$  分别为 0.86 和 0.99 ); 比较两者在测定时间内下降率来看, 也达到很高的一致性。由此可以推断, 在烟株生育后期, 不同土壤施硒水平烤烟叶片叶绿素含量的变化是引起  $P_n$  变化的一个重要原因。至于硒是如何引起叶绿素含量变化的机制有待进一步研究。

## 4 结论

在本试验提供的施硒水平下, 土壤施硒对烤烟光合功能及其同化产物的影响主要发生在烟株的成熟期( 移栽后 60 d 以后), 适量土壤施硒水平( 2.5 和 5 mg/kg ) 可以延缓光合功能的衰退, 延长光合同化产物的积累时间, 有利于叶片干物质积累和增加总糖含量, 提高烟叶产、质量。当供硒水平达到 10 mg/kg 以上时, 会加快干物质和碳水化合物的田间消耗, 降低烟叶产、质量。在本试验条件下, 最佳的土壤施硒水平为 2.5 和 5 mg/kg。

### 参考文献

[1] Munshi C B, Combs G F, Mondy N I. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato[J]. Agric

- Food Chem, 1990, 38: 284-287.
- [2] 吴永尧, 卢向阳, 彭振坤, 等. 硒在水稻中的生理生化作用探讨[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 100-103.
- [3] 王宁宁, 杜晓光, 朱亮基. 亚硒酸钠对转绿小麦叶片内叶绿素生物合成和某些抗氧化作用的影响[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 1994(2): 21-24.
- [4] 薛泰麟, 侯少藩, 谭见安, 等. 硒在高等植物中的抗氧化作用[J]. 科学通报, 1993, 28(12): 3321-3324.
- [5] 尚庆茂, 李平兰. 硒在高等植物中的生理作用[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(4): 284-287.
- [6] 万洪富. 大麦等四种作物对土壤硒的吸收和积累[J]. 土壤, 1989, 24(5): 268-271.
- [7] 王桂兰. 娄土中硒含量和玉米、小麦、谷子生长的关系[J]. 农业环境保护, 1990, 9(5): 15-18.
- [8] 高家合, 张晓海. 硒对烤烟的生态毒理效应及临界指标研究[J]. 云南环境科学, 2006, 25(4): 12-14.
- [9] 杨兰芳, 丁瑞兴. 叶面施硒对烤烟生化品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2000(1): 51-53.
- [10] 罗定棋, 张永辉, 夏建华, 等. 硒在烤烟栽培上的应用研究[J]. 西南农业学报, 2009, 22(2): 372-376.
- [11] 吴芳. 硒对烤烟生长发育及含硒量的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [12] 韩锦峰. 烟栽培生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 56-58.
- [13] 肖强, 叶文景, 朱珠, 等. 用数码相机和 photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 711-714.
- [14] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 53-56.
- [15] 张宪政. 植物叶绿素含量测定—丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986(3): 26-28.
- [16] 许大全. 光合作用气孔限制中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.
- [17] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. And Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317-345.
- [18] 杜慧玲, 冯两蕊, 牛志峰, 等. 硒对生菜抗氧化酶活性及光合作用的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(5): 226-229.
- [19] 尚庆茂, 陈淑芳, 张志刚. 硒对高温逆境下辣椒光合特性的影响[C]//中国园艺学会第六届青年学术讨论会论文集, 2004: 608-612.
- [20] 潘文杰, 黄建国, 姜超英, 等. 烤烟硒积累及其与土壤和气候的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 260-265.