

施氮量对香料烟光合、蒸腾和水分利用效率的影响

李志伟^{1,2}, 刘朝科¹, 符云鹏^{2*}, 周琳², 周显波¹, 史双双¹, 徐文姗¹, 汤术开¹, 罗维¹

(1. 川渝中烟工业有限责任公司物资供应中心, 成都 610017; 2. 河南农业大学烟草学院, 郑州 450002)

摘要: 为确定保山干旱环境下香料烟光合生理的适宜施氮量, 试验研究了不同施氮量 (75、60、45 kg/hm²) 对香料烟叶片光合蒸腾和水分利用效率特征的影响。结果表明, 随施氮量增加, 叶片气孔导度, 胞间 CO₂ 浓度、蒸腾量降低, 水分利用效率增加; 单位叶面积所积累的干物质质量以高施氮量最高, 中等施氮量最低。试验表明, 75 kg/hm² 的施氮量有助于降低香料烟蒸腾作用, 提高水分利用效率, 并获得较高的干物质质量。

关键词: 香料烟; 干旱; 氮; 光合生理

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119 (2013) 06-0038-06

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.06.008

Effects of Nitrogen Rates on Photosynthesis, Transpiration, and Water Use Efficiency of Oriental Tobacco Leaves

LI Zhiwei^{1,2}, LIU Chaoke¹, FU Yunpeng^{2*}, ZHOU Lin², ZHOU Xianbo¹, SHI Shuangshuang¹, XU Wenshan¹, TANG Shukai¹, LUO Wei¹

(1. China Tobacco Chuanyu Industrial Co., Ltd., Chengdu 610017, China;

2. Tobacco College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Effects of nitrogen rates on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of oriental tobacco leaves in arid environment in Baoshan was studied in order to determine the optimum rate of nitrogen in arid environment. The results showed that stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration, transpiration rate decreased, and efficiency of water use increased with higher inorganic nitrogen fertilizer rates. The amount of dry matter accumulation per unit leaf area was largest with the highest nitrogen rate, and lowest with moderate nitrogen rate. Nitrogen rate of 75 kg/ha was most useful for lowering transpiration rate, improving its water use efficiency and getting a higher quality of dry matter.

Keywords: oriental tobacco leaves, arid environment, nitrogen rate, photosynthesis

蒸腾和光合作用^[1]是植物重要的生理活动, 直接反映了植物对环境的适应能力, 其强度和变化特征不仅受外界环境条件的影响, 还受到氮素水平的影响。而氮肥是影响烟叶产质量最重要的营养元素之一^[2-4], 对植物生理生化活动起重要调节作用。邓世媛等^[5]研究认为, 氮素营养的施用干旱胁迫下对烤烟的光合作用有促进作用。云菲等^[6]提出增施氮肥, 能够有效地改善烟株的光合性能, 提高其光能利用率, 促进光合产物的形成和积累。刘丹等^[7]

研究认为, 较高的氮素营养有利于烤烟通过生理过程的调节来抵御干旱的侵袭, 减小干旱损失。香料烟是在干旱地区形成的一种特殊烟型, 适宜种植在干旱少雨光照充足的地区^[8]。近年来, 我国香料烟主产地之一的云南保山地区极易出现过度干旱, 在缺水山区, 通过烟叶生产上施用适量的氮肥抵御过度干旱侵袭, 提高烟株自身光合性能以及水分利用效率就尤为重要。

基金项目: 云南省烟草公司科技项目 (08A15)

作者简介: 李志伟, 男, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理方面的研究。E-mail: ccss2913@163.com。*通信作者, E-mail: ypfu01@163.com

收稿日期: 2013-01-06

修回日期: 2013-04-12

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2007—2008 年安排在云南省保山市潞江坝芒旦村, 供试品种为云香巴斯玛 1 号, 试验地地势平坦, 灌溉便利。土壤养分状况为 pH 6.19, 有机质 9.23 g/kg, 全氮 0.63 g/kg, 碱解氮 58.11 mg/kg, 有效磷 14.34 mg/kg, 缓效钾 1034.89 mg/kg, 速效钾 74.43 mg/kg。

1.2 试验设计

设 3 个氮肥水平处理, 分别为施纯氮 45、60 和 75 kg/hm²。各处理磷、钾肥用量一致, 分别为 90、135 kg/hm²。每小区 21.6 m², 栽植密度为 40 cm × 10 cm。采用单因素随机区组设计, 3 次重复。各处理于 11 月 18 日移栽, 全部的磷肥、70% 的氮肥和 70% 的钾肥在整地起垄时条施, 剩余的肥料在移栽后 30 d 溶于水穴施。

1.3 测定项目及方法

各处理于移栽后 80 d 测定相关指标。选择具有代表性的植株, 在晴天的 11:00 时、12:00 时、14:00 时、16:00 时、17:00 时在自然光源条件下用 Li-6400 光合作用仪, 从顶部开始数, 选取颜色一致、无病虫害的第 5 片烟叶测量光合作用。主要测量指标为: 叶片的光合速率, 蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度, 每重复测量 5 片叶片, 计 15 片/处理, 计算平均值。

1.4 数据处理与方法

采用 DPS7.05 进行统计分析。

2 结果

2.1 叶片光合速率

从图 1 可以看出, 自 11:00 时起, 各处理叶片光合速率开始升高, 并于 12:00 时光合速率达到最大值, 而后迅速下降, 施纯氮 45 kg、施纯氮 75 kg 下降后略有升高, 光合速率日进程为双峰型; 施纯氮 60 kg 于 12:00 时后呈持续下降趋势, 光合速率日进程为单峰型。11:00 时至 12:00 时叶片光合速率

随施氮量的增加而增加, 施纯氮 75 kg 处理叶片光合速率最低点出现在 16:00 时, 施纯氮 45 kg 光合速率最低点出现在 14:00 时。11:00 时至 14:00 时施纯氮 75 kg 叶片光合速率高于施纯氮 60 kg 和施纯氮 45 kg, 16:00 时至 17:00 时, 施纯氮 45 kg 叶片光合速率高于施纯氮 75 kg, 施纯氮 60 kg 叶片光合速率维持在最低水平。

统计分析表明, 11:00 时, 施纯氮 45 kg 与施纯氮 60 kg 达到 5% 的显著水平, 与施纯氮 75 kg 达到 1% 的极显著水平; 施纯氮 60 kg 与施纯氮 75 kg 达到 1% 的显著水平。14:00 时, 施纯氮 45 kg 与施纯氮 60 kg 间未达到显著水平, 施纯氮 45 kg、施纯氮 60 kg 均与施纯氮 75 kg 达到 5% 的极显著水平; 17:00 时, 施纯氮 45 kg 与施纯氮 60 kg 达到 1% 的显著水平, 施纯氮 45 kg 与施纯氮 60 kg 均与施纯氮 75 kg 未达到显著水平。

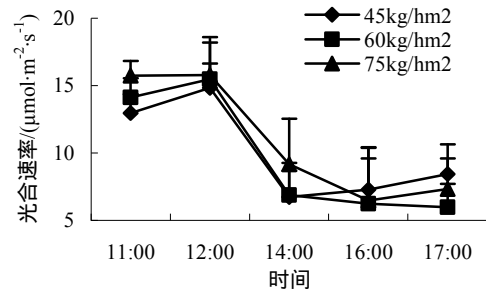


图 1 不同施氮量下叶片光合速率日变化

Fig. 1 Diurnal change of photosynthesis rate of leaves under various nitrogen rates

2.2 叶片气孔导度

从图 2 可以看出, 施纯氮 45 kg 叶片气孔导度从 11:00 时开始至 17:00 呈持续下降; 施纯氮 60 kg 叶片气孔导度呈“U”型, 其中 11:00 时气孔导度最大, 16:00 时气孔导度最小, 17:00 时气孔导度略有升高; 施纯氮 75 kg 叶片气孔导度日进程呈波动下降, 其中 11:00 时最高, 16:00 时达到最小值。

经统计分析, 11:00 时 12:00 时, 叶片气孔导度随施氮量的增加而降低, 其中施纯氮 45 kg 与施纯氮 60 kg 间, 施纯氮 60 kg 与施纯氮 75 kg 间未达到显著水平, 施纯氮 45 kg 与施纯氮 75 kg 间达到 5%

的显著水平；12:00 时，叶片气孔导度随施氮量的增加而降低，其中施纯氮 45 kg 与施纯氮 60 kg 间，施纯氮 60 kg 与施纯氮 75 kg 间未达到显著水平，施纯氮 45 kg 与施纯氮 75 kg 间达到 1% 的显著水平；14:00 时，施纯氮 45 kg 叶片气孔导度高于施纯氮 75 kg，施纯氮 75kg 叶片气孔导度高于施纯氮 60 kg，但不显著，施纯氮 45 kg 叶片气孔导度显著高于施纯氮 60 kg。而后各处理间差异不显著。

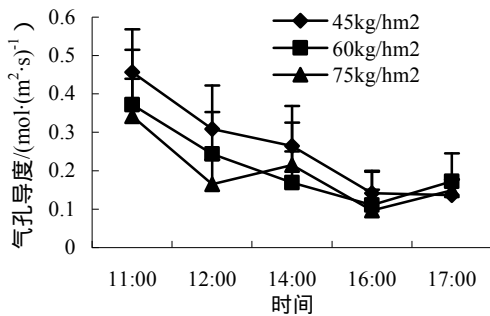


图 2 不同施氮量下叶片气孔导度日变化

Fig. 2 Diurnal change of stomatal conductance rate of leaves under various nitrogen rates

2.3 叶片胞间 CO₂ 浓度

从图 3 可以看出，叶片胞间 CO₂ 浓度随施氮量的增加而降低，日进程呈波动状，施纯氮 75 kg 及施纯氮 45 kg 波峰出现在 11 时、14:00 时、17:00 时，波谷出现在 12:00 时、16:00 时；施纯氮 60 kg 波峰出现在 11 时、14:00 时，波谷出现在 12:00 时，14:00 时后叶片胞间 CO₂ 浓度持续降低。

经统计分析，11:00 时，施纯氮 45 kg 叶片 CO₂ 浓度显著高于施纯氮 60 kg、施纯氮 75 kg，达到 5% 的显著水平；施纯氮 60 kg、施纯氮 75 kg 间差异不显著。12:00 时，施纯氮 45kg 叶片 CO₂ 浓度显著高于施纯氮 60 kg，施纯氮 60 kg 叶片 CO₂ 浓度显著高于施纯氮 75 kg，达到 5% 的显著水平；施纯氮 45 kg 叶片 CO₂ 浓度显著高于施纯氮 75 kg，达到 1% 的极显著水平。14:00 时，施纯氮 45 kg 叶片 CO₂ 浓度显著高于施纯氮 60 kg，达到 5% 的显著水平；施纯氮 45 kg 叶片 CO₂ 浓度显著高于施纯氮 75 kg，达到 1% 的极显著水平。

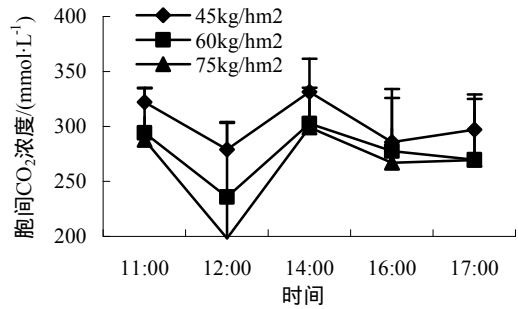


图 3 不同施氮量下叶片胞间 CO₂ 浓度日变化

Fig. 3 Diurnal change of intercellular CO₂ concentration of leaves under different nitrogen rates

2.4 叶片蒸腾速率

从图 4 可以看出，施纯氮 45 kg 及施纯氮 60 kg 叶片蒸腾速率从 11:00 时持续降低至 16:00 时，达到最低点，而后升高；施纯氮 75 kg 叶片蒸腾速率日进程呈波动下降，波峰出现在 11:00 时、14:00 时、17:00 时，波谷出现在 12:00 时、16:00 时。

经统计分析表明，11:00 时，施纯氮 45 kg 叶片蒸腾速率显著高于施纯氮 60 kg、施纯氮 75 kg，达到 5% 的显著水平；施纯氮 60 kg 叶片蒸腾速率高于施纯氮 75 kg，二者间差异不显著。12:00 时，施纯氮 45 kg 叶片蒸腾速率显著高于施纯氮 60 kg，达到 5% 的显著水平，施纯氮 45 kg 高于施纯氮 75 kg，达到 1% 的极显著水平；施纯氮 60 kg 叶片蒸腾速率高于施纯氮 75 kg，为达到显著水平。14:00 时，施纯氮 45 kg 叶片蒸腾速率显著高于施纯氮 60 kg，达到 5% 的显著水平；施纯氮 60 kg 叶片蒸腾速率低于施纯氮 75 kg，未达到显著水平。16:00 时，施纯氮

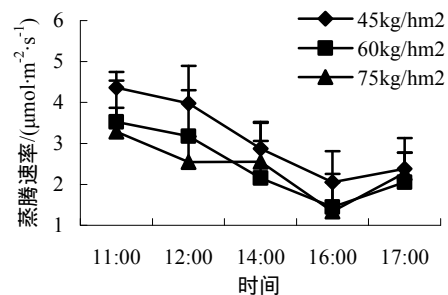


图 4 不同施氮量下叶片蒸腾速率日变化

Fig. 4 Diurnal change of transpiration rate of leaves under different nitrogen rates

45 kg 叶片蒸腾速率显著高于施纯氮 60 kg、施纯氮 75 kg，达到 5% 的显著水平；施纯氮 60 kg 叶片蒸腾速率高于施纯氮 75 kg，未达到显著水平。17:00 时，施纯氮 75 kg 叶片蒸腾速率高于施纯氮 75 kg，施纯氮 60 kg 叶片蒸腾速率最小。

2.5 叶片水分利用效率

从图 5 可以看出，施纯氮 75 kg 及施纯氮 60 kg 叶片水分利用效率日进程为双峰型，波峰出现在 12:00 时、16 时，波谷出现在 11:00 时、14:00 时、17:00 时，施纯氮 45 kg 叶片水分利用效率自 11:00 时升高，到 12:00 时达到利用效率高峰，而后于 14:00 时降低至最低值，而后至 17:00 时持续升高。除 17:00 时，施纯氮 45 kg 叶片水分利用效率高于施纯氮 60 kg 及施纯氮 75 kg 外，各时点叶片水分利用效率随施氮量的增加而增强。

经统计分析表明，11:00 时及 14:00 时，施纯氮 75 kg、施纯氮 60 kg 叶片水分利用效率显著高于施纯氮 45 kg，达到 1% 的显著水平；施纯氮 60 kg 叶片水分利用效率与施纯氮 75 kg 间差异不显著。12:00 时，施纯氮 75 kg 叶片水分利用效率显著高于施纯氮 60 kg、施纯氮 45 kg，与施纯氮 60 kg 达到 5% 的显著水平，与施纯氮 45 kg 达到 1% 的极显著水平；施纯氮 60 kg 显著高于施纯氮 45 kg，达到 1% 的极显著水平。16:00 时，施纯氮 75 kg 叶片水分利用效率高于施纯氮 60 kg、施纯氮 45 kg，与施

纯氮 60kg 间差异不显著，与施纯氮 45 kg 达到 5% 的显著水平；施纯氮 60 kg 与施纯氮 75 kg、施纯氮 60 kg 与施纯氮 45 kg 间差异不显著。17:00 时，施纯氮 45 kg 叶片水分利用效率高于施纯氮 75 kg，施纯氮 60 kg 叶片水分利用效率最小，处理间差异不显著。

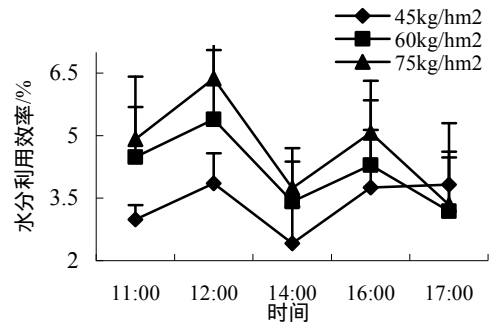


图 5 不同施氮量下叶片水分利用效率日变化
Fig. 5 Diurnal change of water use efficiency of leaves under different amount of nitrogen

2.6 施氮量与叶片光合、蒸腾、水分利用效率的简单相关分析

由表 2 可以看出，施氮量与叶片光合、蒸腾、水分利用效率等的相关关系以 11:00 时、12:00 时、16:00 时较强，其他时间相关性较弱。11:00 时，施氮量与气孔导度、蒸腾速率、水分利用效率达到 5% 的显著相关水平，并与光合速率达到 1% 的极显著相关水平；12:00 时，施氮量除与光合速率达到 5%

表 2 施氮量与各影响因子的相关系数

Table 2 The correlation coefficient between nitrogen rate and influence factors

| 时间 | 指标 | 施氮量 | 时间 | 指标 | 施氮量 |
|-------|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|
| 11:00 | 光合速率 | 1.00** | 16:00 | 光合速率 | -0.75 |
| | 气孔导度 | -0.96* | | 气孔导度 | -0.98* |
| | 胞间 CO ₂ | -0.94 | | 胞间 CO ₂ | -1.00** |
| | 蒸腾速率 | -0.95* | | 蒸腾速率 | -0.93 |
| | 水分利用效率 | 0.95* | | 水分利用效率 | 0.99** |
| 12:00 | 光合速率 | 0.98* | 17:00 | 光合速率 | -0.45 |
| | 气孔导度 | -1.00** | | 气孔导度 | 0.34 |
| | 胞间 CO ₂ | -1.00** | | 胞间 CO ₂ | -0.87 |
| | 蒸腾速率 | -1.00** | | 蒸腾速率 | -0.29 |
| | 水分利用效率 | 0.99** | | 水分利用效率 | -0.72 |
| 14:00 | 光合速率 | 0.89 | | | |
| | 气孔导度 | -0.52 | | | |
| | 胞间 CO ₂ | -0.91 | | | |
| | 蒸腾速率 | -0.44 | | | |
| | 水分利用效率 | 0.96* | | | |

的显著相关水平外,与其余指标均达到 1%的极显著相关水平;14:00 时,施氮量仅与水分利用效率达到 5%的显著相关水平,与其他指标不显著;16:00 时,施氮量与气孔导度达到 5%的显著相关水平,与水分利用效率达到 1%的极显著相关水平。

3 讨论

植物光合速率的日进程曲线有 2 种类型,一种是单峰型,中午光合速率最高,另一种是双峰型,上下午各有一个高峰^[9]。本研究结果表明,各施氮量下叶片光合速率于 12:00 时光合速率达到最大值,而后迅速下降,45 kg 氮处理及 75 kg 氮处理下降后略有升高,光合速率日进程为双峰型;60 kg 氮处理于 12:00 时后持续下降,光合速率日进程为单峰型。张燕等^[10]采用 45 kg 氮处理研究香料烟光合速率日进程时发现,云香巴斯玛 1 号叶片净光合速率日进程为双峰曲线。这与本文结果不一致,说明施氮量会影响香料烟的光合速率日进程曲线类型。在测定时间内,75 kg 氮处理光合速率、单位叶面积所积累的干物质量最高。75 kg 氮处理单位叶面积所积累的干物质量高于 45 kg 氮处理,45 kg 氮处理高于 60 kg 氮处理,这是因为 14:00 时前 60 kg 氮处理光合速率稍高于 45 kg 氮处理,14:00 时两处理光合速率接近,而后 45 kg 氮处理光合速率较 60 kg 氮处理增加迅速。宗会等^[11]研究表明,施氮量对香料烟光合速率的贡献值与种植密度关系密切,高密度下,施氮量与光合速率呈正相关,中、低等密度下,光合速率以中施氮量最高,低施氮量最低。本研究中,在本研究种植密度 75 kg 施氮量下叶片光合速率日进程受其他因素的影响较小,而施 60 kg 氮和 45 kg 氮时受其他因素影响较大,规律不明显。

气孔是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道。通过气孔扩散的气体有 O₂、CO₂ 和水蒸汽。气孔导度表示的是气孔张开的程度,影响光合作用,呼吸作用及蒸腾作用。本研究中,14:00 时施纯氮 75 kg 叶片气孔导度高于施纯氮 60 kg,16:00 时前除 14:00 时外气孔导度随施氮量的增加而降低,16:00 时后施纯氮 60 kg 气孔导度大于施纯氮

75 kg,施纯氮 75 kg 气孔导度高于施纯氮 45 kg。就其总进程来看,75 kg 施氮量下叶片维持了较低的气孔导度,45 kg 施氮量下烟叶气孔导度较高。Farquhar 和 Sharkey^[12]认为,午间光合速率的下降受到非气孔因素和气孔因素两种影响。同时指出当午间光合速率开始下降,午休现象产生时,如果胞间 CO₂ 浓度降低,气孔限制值 Ls (Ls=1-胞间 CO₂ 浓度/大气 CO₂ 浓度)升高,光合速率的下降主要是由气孔限制因素引起;而当午休出现时,胞间 CO₂ 浓度上升,Ls 下降,此时光合速率的下降以非气孔限制因素影响为主。本研究中,75 kg 氮处理叶片午时光合速率降低时,气孔导度降低,叶片胞间 CO₂ 浓度较其他处理更低,说明此时净光合速率的下降,75 kg 氮处理叶片“午休”主要受气孔限制因素的影响。反之,其余处理主要受光抑制等非气孔因素印象。

蒸腾速率作为衡量植物蒸腾强度的指标,在一定程度上反映了植物调节水分的能力及对逆境的适应能力^[13]。邹建民等^[14]研究指出,在生产中土壤相对含水率较低的情况下可以增施氮肥减小蒸腾速率。本研究中,施纯氮 45 kg 叶片蒸腾速率最大,与施纯氮 60 kg、施纯氮 75 kg 叶片蒸腾速率有 3 个等值点,蒸腾量方面,施纯氮 45 kg 蒸腾量最大,施纯氮 60 kg 居中,施纯氮 75 kg 最低。同时,水分利用效率方面,除 16:00—17:00 时 45 kg 氮处理与 75、60 kg 氮处理存在交叉,此后高于 75、60 kg 氮处理外,其余时间,水分利用效率与施氮量呈正相关。说明干旱环境下,施纯氮 75 kg/hm² 有助于香料烟的降低蒸腾速率,并提高水分利用效率。

参考文献

- [1] 丁贵瑞,王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [2] Collins W K, Hawks S N Ir. Principles of flue-cured tobacco production[M]. Raleigh N C: North Carolina State University, 1994: 82-89.
- [3] 陈建军,吕永华,王维. 烟草品质生理及其调控研究[M]. 广州:华南理工大学出版社,2009.

- [13] 刘合明,刘树庆. 不同施氮水平对华北平原冬小麦土壤 CO₂ 通量的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1125-1129.
- [14] 梁涛,李荣平,吴航,等. 玉米农田生态系统 CO₂ 通量的动态变化[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3):49-53.
- [15] 郭家选,李玉中,梅旭荣. 冬小麦农田尺度瞬态 CO₂ 通量与水分利用效率日变化及影响因素分析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 78-81.
- [16] 李虎. 黄淮海平原农田土壤 CO₂ 和 N₂O 释放及区域模拟评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- [17] 汤洁,韩源,刘森. 吉林西部不同土地利用方式下的生长季土壤 CO₂ 排放通量日变化及影响因素[J]. 生态环境学报, 2012, 21(1): 33-37.
- [18] 陈义,吴春艳,水建国,等. 长期施用有机肥对水稻土 CO₂ 释放与固定的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(12): 2468-2473.
- [19] Ginting D, Kessavalou A, Eghball B, et al. Greenhouse gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications[J]. Environ Qual, 2003, 32: 23-32.
- [20] 石屹,姜鹏超,赵兵,等. 有机肥料定位还田对烟叶品质及土壤性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(1): 5-9.
- [21] QI Y, XU M, WU J G. Temperature sensitivity of soil respiration and its effects on ecosystem carbon budget: nonlinearity begets surprises[J]. Ecological Modelling, 2002, 153(1-2): 131-142.
- [22] 李琳,张海林,陈阜. 不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2765-2770.
- [23] 李新玉,耿绍波,赵淑琴,等. 淮北平原农林复合生态系统非生长季 CO₂ 通量变化特征[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 132-138.
- [24] 尹春梅,谢小立,王凯荣. 稻田冬闲期 CO₂ 气体排放的观测研究[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 71-76.
- [25] RAICH J W, TUFEEKILGH A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls[J]. Biogeochemistry, 2000, 48: 71-90.

(上接第42页)

- [4] 徐光辉,熊淑萍,王璐,等. 氮素形态对烤烟成熟叶片组织结构及叶绿素含量的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 233-236.
- [5] 邓世媛,陈建军. 干旱胁迫下氮素营养对烤烟光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 209-212.
- [6] 云菲,刘国顺,史宏志,等. 光氮互作对烤烟光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 932-941.
- [7] 刘丹,朴世领,郑仙霞,等. 干旱胁迫下氮对烤烟生长及生理特性的影响[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(2): 29-31, 52.
- [8] 王明,杨春明. 昆明冬春香料烟气候生态分区[J]. 中国烟草科学, 2001, 22(2): 36-38.
- [9] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 5-10.
- [10] 张燕,李天飞,宗会,等. 云南保山香料烟光合特性的研究[J]. 中国烟草学报, 2005, 11(6): 44-47.
- [11] 宗会,温华东,张燕,等. 氮肥形态、用量和种植密度对香料烟光合作用的影响[J]. 烟草科技, 2004(1): 33-35.
- [12] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photo-synthesis[J]. Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [13] 吕爱霞,杨吉华,夏江宝,等. 3种阔叶树气体交换特性及水分利用效率影响因子的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 188-191.
- [14] 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.