

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

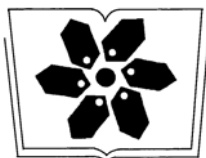
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 6 期

2014 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)

长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)

不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201210231469

梁太波, 尹启生, 张艳玲, 谢剑平, 王宝林, 蔡宪杰, 过伟民, 王建伟. 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响. 生态学报, 2014, 34(6): 1429-1435.
Liang T B, Yin Q S, Zhang Y L, Xie J P, Wang B L, Cai X J, Guo W M, Wang J W. Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1429-1435.

施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响

梁太波, 尹启生, 张艳玲, 谢剑平*, 王宝林, 蔡宪杰, 过伟民, 王建伟

(中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001)

摘要:为明确纳米碳在提高烤烟氮素吸收利用方面的效果,在盆栽条件下,研究了纳米碳不同用量对烤烟根系生长发育、干物质积累和氮素吸收利用的影响。结果表明,在常规肥料中添加纳米碳能够促进烤烟根系生长发育,明显提高烟株根系活力和单株根系生物量,增加植株干物质积累量。施用纳米碳增加了烤烟植株成熟期各器官氮素含量和积累量,而未明显影响氮素在植株不同器官的分配。施用纳米碳不仅增加了植株对肥料氮的吸收量,还增加了对土壤氮的吸收量,这与其促进烤烟根系生长发育、提高根系吸收能力有密切关系。纳米碳无论做基肥还是做追肥,均显著提高了氮肥利用率,提高幅度分别达到 14.44% 和 9.62%,有效降低了氮素土壤残留和损失。

关键词:烤烟;纳米碳;氮素吸收;氮素利用

Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco

LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, XIE Jianping*, WANG Baolin, CAI Xianjie, GUO Weimin, WANG Jianwei

Zhengzhou Tobacco Research Institute of China National Tobacco Corporation, Zhengzhou 450001, China

Abstract: With the improvement of the agricultural technology, especially the application of chemical fertilizers, the crop yields have greatly increased in the past few decades. Nitrogen application is one of the most important measures to increase yield and improve quality in tobacco production. Although nitrogen supply drives productivity, excessive nitrogen fertilizers and irrational application have become the serious problems in many fields. The residual nitrogen in the soil caused not only the decrease of nitrogen use efficiency, but also the increasing risk of environmental pollution. Thus, improving fertilizer nitrogen use efficiency and reducing fertilizer losses are significant to the agricultural development and environmental protection.

Nanomaterials have some particular properties such as surface effect, volume effect, quantum size effect, and so on, which macro materials do not have. Nanotechnology has become one of the hot topics in the scientific research field because of its wide applications. Many studies found that nanomaterial can enhance crop seed germination and promote plant growth. And chemical fertilizer utilization rate can be increased by nanomaterial application in soil. Tobacco is an important economic crop in our country, and excessive fertilization occurs occasionally in tobacco production. A recent study has shown that carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. However, to date, only few reports exist on the effects of nanomaterial on tobacco growth and nutrient absorption. So this study was conducted to determine the effects of nanocarbon on nitrogen absorption, assimilation and use efficiency of tobacco plant using ^{15}N tracer technique, to provide

基金项目:国家自然科学基金项目(31101120);国家科技支撑计划项目(2012BAC08B08);河南省重大科技攻关计划项目(102101110600)

收稿日期:2012-10-23; **修订日期:**2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiejp@ztri.com.cn

theory basis for nanocarbon research and application. A pot culture experiment was carried out with tobacco cultivar Zhongyan100 in the greenhouse of Zhengzhou Tobacco Research Institute. Four treatments (T1, T2, T3, T4) were set up and each treatment had 15 pots. Eight pots of T1 and T3 treatment were used for ^{15}N tracer experiment. Plant organ and soil samples were taken for analysis at the resettling growth stage, vigorous growth stage and maturity stage.

The results showed that nanocarbon application promoted root growth, increased root biomass and root vigor, and increased dry matter accumulation of tobacco plant. At maturity stage, compared with T1, the dry matter accumulation of root, stem and leaf increased 6.73%, 19.17%, 7.92% (T3) and 9.12%, 12.44%, 3.89% (T4), respectively. Nanocarbon application increased nitrogen content and nitrogen accumulation amount, without effect on nitrogen distribution of different organs of flue-cured tobacco. At vigorous growth stage and maturity stage, the plant nitrogen uptake, 25.29%—34.62% of which derived from fertilizer and 65.38%—74.01% from soil. Nanocarbon application increased nitrogen absorption amount both from soil and fertilizer, which attributed to strong root absorption ability. The total nitrogen uptake increased by 14.11% and 15.63% at vigorous growth stage and maturity stage by the nanocarbon application. Nanocarbon application increased nitrogen utilization rate by 14.44% (base fertilizer) and 9.62% (top dressing), respectively. Meanwhile, the residual ratio and loss ratio decreased significantly by the nanocarbon application, which had great benefit of decreasing nitrogen loss. Therefore, nanocarbon is suitable for making new fertilizer and using in tobacco production.

Key Words: flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.); nanocarbon; nitrogen absorption; nitrogen utilization

在我国农业生产中,肥料的大量投入在提高农产品产量和品质方面发挥了重要作用。然而,随着肥料使用量的不断增加,其负面效应不断显现,肥料利用率低、经济效益下降等问题日益突出。据估计,我国氮肥利用率仅为 30% 左右,远低于世界发达国家^[1]。提高肥料利用效率,减少肥料损失,对我国农业的健康发展和人类生存环境的保护都有着重要意义^[2]。纳米技术是 20 世纪 80 年代兴起的一项新技术,基本涵义是在纳米(10^{-9} — 10^{-7} m)尺度范围内对物质进行认识和改造。纳米材料具有小尺寸效应、表面界面效应和量子尺寸效应等许多传统材料不具备的特性^[3-4]。近年来,纳米材料被逐步应用到农业生产领域,其在促进植物生长发育、提高肥料利用率方面的作用受到人们极大关注^[5-7]。研究表明,纳米材料能够调节植物基因表达,刺激种子萌发和根系生长^[8-9]。同时,纳米材料能够调节植物体内多种酶的活性,改善植物光合性能,提高作物产量^[10-12]。此外,由纳米材料研制的纳米增效肥料在减少肥料的流失、提高肥料利用率方面展现出良好效果^[13-16]。

烤烟是我国重要的经济作物,在烤烟生产中过量施肥现象时有发生。提高烤烟植株对营养元素的吸收,减少肥料投入,对增加农民收入和生态环境保护都有重要意义。室内培养研究发现,适宜浓度的碳纳米管能够促进烟草细胞生长^[8],然而关于纳米

材料对烤烟养分吸收利用的研究尚鲜见报道。为此,进行了不同纳米碳施用量对烤烟生长发育和氮素吸收积累的影响试验,以期对纳米碳在烤烟生产中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2011 年 4 月至 8 月在郑州烟草研究院温室内进行,供试土壤质地为壤土,有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 15.10 g/kg, 87.16 mg/kg, 44.27 mg/kg, 96.37 mg/kg。土壤过筛后装盆,每盆装土 15 kg(盆钵直径 30 cm,高 25 cm),供试烤烟品种为中烟 100。供试肥料:硝酸铵(含 N35%)、硝酸钾(含 N13%, K_2O 45%)、硫酸钾(含 K_2O 50%)、磷酸二氢钾(含 P_2O_5 52%, K_2O 34%)等,纳米碳由北京华龙肥料技术有限公司提供。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理,分别为:T1,对照(不施用纳米碳);T2,纳米碳用量为肥料总重量的 0.1%;T3,纳米碳用量为肥料总重量的 0.3%;T4,纳米碳用量为肥料总重量的 0.5%。根据烤烟需肥规律,每处理均按照氮磷钾 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=1:0.8:3$ (纯氮 2.1 g/盆)的比例施用肥料。施肥方法:各处理所需氮素的 70%以硝酸铵形式连同磷、钾肥一起作为基肥在移栽前施

入,剩余 30%的氮素以硝酸钾形式在移栽后 30d 作为追肥施入,纳米碳与肥料混合均匀后随肥料同时施入。每处理 15 次重复,4 月 28 日移栽,其他管理措施同大田栽培。

结合盆栽试验,在 T1 和 T3 处理中分别取 8 盆进行¹⁵N 示踪试验。同位素肥料分别为¹⁵N 双标记的硝酸铵(丰度 10%)和¹⁵N 标记的硝酸钾(丰度 10%),由上海化工研究院提供。其中,第 1、2、3、4 盆,基肥施用标记¹⁵N 的硝酸铵肥料,追肥施用普通硝酸钾肥料;第 5、6、7、8 盆,基肥施用普通硝酸铵肥料,追肥施用标记¹⁵N 的硝酸钾肥料。其他管理措施与盆栽试验保持一致。

1.3 样品采集与测定

在烟叶生长团棵期(移栽后 35d)、旺长期(移栽后 60d)、成熟期(移栽后 85d)分别取样,每处理取代表性植株 2—3 株。操作时先用水小心冲出根系,然后将烟株按根、茎、叶各器官分开并称其鲜重,于 70℃烘箱中烘至恒重后,测定干物质质量。

样品粉碎后用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消化,半微量凯氏定氮法测定土壤、植株含氮量。根系活力用 TTC 还原法测定^[17]。¹⁵N 样品采用 ZHT202 型质谱仪分析¹⁵N 丰度,由河北省农林科学院理化所分析。

计算公式:

$$\text{NDFS} = \frac{\text{植株从肥料中吸收的氮素百分数 (NDFP)}}{\text{肥料中 } ^{15}\text{N 原子百分超} \times 100} \times 100$$

植株从土壤中吸收的氮素百分数(NDFS)

$\text{NDFS} = 100 - \text{植株从肥料中吸收的氮素百分数 NDFP}$

$\text{肥料氮素利用率} \% = \text{植株吸氮量} \times \text{NDFP} / \text{施氮量}$

$\text{植株各器官氮素积累量} = \text{各器官干物质重} \times \text{各器官氮素含量}$

1.4 数据处理

数据分析采用 Excel 2010 程序和 DPS v7.05 统计分析软件进行。

2 结果与分析

2.1 根系生物量和根系活力

从图 1 可以看出,在烤烟生长发育的 3 个关键时期(团棵期、旺长期和成熟期),与对照(T1)比较,施用纳米碳均不同程度地增加了植株根系生物量,成熟期增加幅度分别达到 9.78%, 18.53% 和 21.04%。3 个纳米碳处理比较,在烟株团棵期,以 T3 处理根系生物量最高;在烟株生育后期以 T4 处理根系生物量相对较高。说明施用纳米碳有利于促进烤烟根系生长发育,增加根系生物量,但不同纳米碳用量的效果存在差异。由图 1 还可以看出,施用纳米碳能够不同程度提高烤烟根系活力。与对照(T1)比较,在团棵期和旺长期,3 个纳米碳处理根系活力均显著增加,且以 T3 处理增加幅度最大。在成熟期,T3 和 T4 处理根系活力显著高于 T1 和 T2 处理。

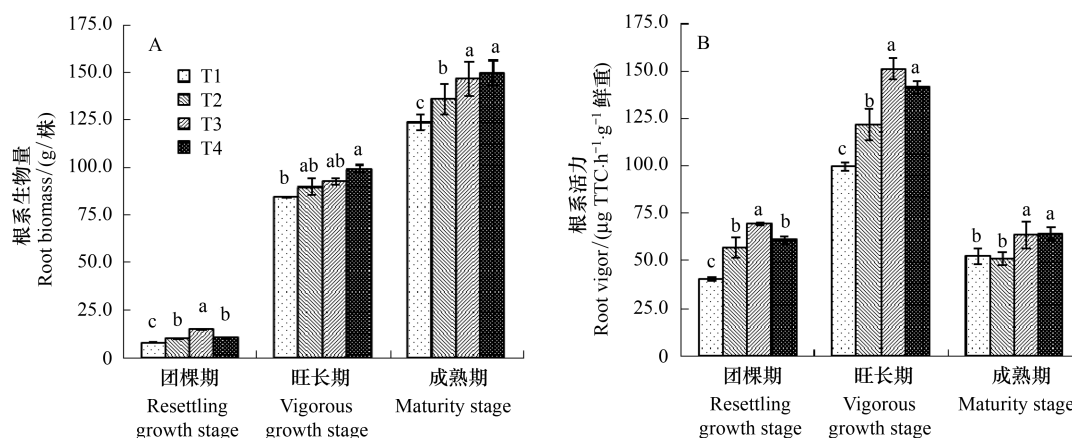


图 1 施用纳米碳对烤烟根系生物量和根系活力的影响

Fig.1 Effects of nanocarbon application on the biomass and vigor of tobacco root

2.2 干物质积累量

由表 1 看出,在烤烟生长发育进程中,施用纳米

碳均不同程度促进了烤烟植株各器官生长发育,增加干物质积累量,尤以 T3 和 T4 处理相对较好。在

成熟期,与对照(T1)相比,T3处理根茎叶干物质积累量分别增加6.73%、19.17%和7.92%;T4处理分别增加9.12%、12.44%和3.89%。可见,适宜的纳米碳

用量有利于促进烤烟植株生长发育,增加干物质积累量。

表1 不同处理对烤烟干物质积累量的影响

Table 1 Effect of different treatments on dry matter accumulation of flue-cured tobacco

| 处理 Treatment | 团棵期 Resettling growth stage | | | 旺长期 Vigorous growth stage | | | 成熟期 Maturity stage | | |
|-----------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| | 根 Root/ (g/株) | 茎 Stem/ (g/株) | 叶 Leaf/ (g/株) | 根 Root/ (g/株) | 茎 Stem/ (g/株) | 叶 Leaf/ (g/株) | 根 Root/ (g/株) | 茎 Stem/ (g/株) | 叶 Leaf/ (g/株) |
| T1 | 1.80c | 2.00c | 7.00c | 7.50a | 14.65b | 30.85b | 15.90b | 55.93b | 70.56b |
| T2 | 1.95bc | 2.40b | 7.20c | 7.65a | 15.70ab | 32.20ab | 16.02b | 59.93ab | 72.60ab |
| T3 | 2.20b | 2.70a | 8.80b | 7.75a | 16.60a | 33.85ab | 16.97a | 66.65a | 76.15a |
| T4 | 2.50a | 2.60a | 10.00a | 7.50a | 15.00b | 32.75a | 17.35a | 62.89ab | 73.29ab |

同列数据中不同小写字母表示差异达5%显著水平

2.3 成熟期不同器官氮素积累和分配

从表2可以看出,与对照T1相比,施用纳米碳处理不同程度增加了烤烟根系和叶片氮素含量,而对茎器官氮素含量无显著影响。由于干物质积累量增加,纳米碳处理T2、T3和T4成熟期各器官氮素积

累量均有所增加,尤以T3和T4处理效果显著。氮素积累在各器官中的分配比例处理间无显著差异。可见,施用纳米碳能够不同程度促进烤烟植株氮素吸收,提高根系和叶片氮素含量和积累量,但并未影响植株氮素在不同器官中的分配。

表2 成熟期烤烟植株不同器官氮素积累与分配

Table 2 Effect of different treatments on nitrogen accumulation and distribution among different organs of tobacco plant at maturity stage

| 处理 Treatment | 含量 Content /% | | | 积累量 Accumulation amount /(mg/株) | | | 比例 Ratio /% | | |
|-----------------|------------------|--------|--------|------------------------------------|---------|----------|----------------|--------|--------|
| | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf |
| T1 | 2.02b | 1.16a | 2.91b | 321.18b | 648.81c | 2053.30b | 10.62c | 21.46a | 67.92a |
| T2 | 2.02b | 1.15a | 3.01ab | 323.60b | 689.20b | 2185.26b | 10.12bc | 21.55a | 68.33a |
| T3 | 2.26a | 1.13a | 3.10ab | 383.45a | 753.12a | 2360.63a | 10.96ab | 21.53a | 67.50a |
| T4 | 2.30a | 1.17a | 3.20a | 399.05a | 735.84a | 2345.17a | 11.47a | 21.14a | 67.39a |

2.4 烤烟植株对不同来源氮素的吸收

¹⁵N示踪试验结果(表3)表明,在旺长期和成熟期,植株积累的氮素25.29%—34.62%来自于肥料,65.38%—74.01%来自于土壤。与旺长期相比,成熟期T1和T3处理烤烟植株对土壤氮的吸收比例增

加,而肥料氮比例减少。说明随生育期推后,肥料氮在植株氮素积累中的贡献降低。处理间比较,在成熟期,来自肥料氮所占的比例,T1和T3无显著差异;来自土壤氮所占比例,处理间亦无明显差异。

表3 施用纳米碳对烤烟吸收不同来源氮素的影响

Table 3 Effects of nanocarbon application on tobacco nitrogen uptake from different sources

| 生育期 Growth stage | 处理 Treatment | 总吸氮量 TNUA /(mg/株) | 来自肥料的氮 NDFF | | | | | | 来自土 壤的氮 NDFS | | |
|---------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|--------|
| | | | 来自基肥的氮 NDFBF | | 来自追肥的氮 NDFTF | | 合计 Total | | 吸收量 NUA /(mg/株) | 吸收比例 NUR /% | |
| | | | 吸收量 NUA /(mg/株) | 吸收比例 NUR /% | 吸收量 NUA /(mg/株) | 吸收比例 NUR /% | 吸收量 NUA /(mg/株) | 吸收比例 NUR /% | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 旺长期 growth stage | Vigorous | T1 | 1404.23b | 291.23a | 20.74a | 194.90a | 13.88a | 486.13a | 34.62a | 918.10b | 65.38b |
| | | T3 | 1602.42a | 297.07a | 18.54a | 173.63b | 10.84b | 470.70a | 29.37b | 1131.72a | 70.63a |
| 成熟期 | | T1 | 3022.55b | 499.36b | 16.52a | 285.01b | 9.43a | 784.37b | 25.95a | 2238.18b | 74.05a |
| Maturity stage | | T3 | 3494.92a | 571.54a | 16.35a | 312.44a | 8.94a | 883.98a | 25.29a | 2610.94a | 74.71a |

TNUA: total nitrogen uptake amount; NUA: nitrogen uptake amount; NUR: nitrogen uptake ratio; NDFF: nitrogen derived from fertilizer; NDFBF: nitrogen derived from basal fertilizer; NDFTF: nitrogen derived from topdressing fertilizer; NDFS: nitrogen derived from soil

就烤烟对氮素的吸收量而言,在旺长期,施用纳米碳后植株积累氮素来自土壤的氮和植株总吸氮量均显著增加。在成熟期,来自肥料的氮、来自土壤的氮和植株总吸氮量均表现为 T3>T1。施用纳米碳处理不仅增加了植株对肥料氮的吸收量,还增加了对土壤氮的吸收量,这与其促进了烤烟根系生长发育、提高了根系的吸收能力有密切关系。

2.5 氮肥利用率

利用¹⁵N 示踪技术可计算出不同处理的氮肥利

用率(表4)。可以看出,T1 和 T3 处理烤烟对氮肥的利用率,基肥为 35.67%和 40.82%,追肥为 47.50%和 52.07%,两个处理追肥利用率均明显高于基肥。与 T1 相比,T3 处理基施氮肥利用率提高 14.44%;追施氮肥利用率提高 9.62%。从器官来看,与 T1 相比,T3 处理茎和叶片肥料利用率基肥和追肥均显著提高,而根系肥料利用率无显著差异。初步分析认为,施用纳米碳处理的氮肥利用率提高,可能与纳米碳颗粒的高表面能提高了肥料中氮素的有效性有关。

表 4 施用纳米碳对氮肥利用率的影响

Table 4 Effects of nanocarbon application on nitrogen utilization rate

| 施肥期 Fertilization time | 处理 Treatment | 吸收 Uptake/% | | | | 土壤残留率 Residual ratio/% | 损失率 Loss ratio/% |
|---------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|----------|---------------------------|---------------------|
| | | 根 Root | 茎 Stem | 叶 Leaf | 合计 Total | | |
| 基肥 BF | T1 | 4.12a | 7.11b | 24.44b | 35.67b | 21.78a | 42.55a |
| | T3 | 3.80a | 8.96a | 28.06a | 40.82a | 20.05a | 39.13b |
| 追肥 TF | T1 | 4.84a | 9.89b | 32.77b | 47.50b | 10.00a | 42.50a |
| | T3 | 4.84a | 11.53a | 35.70a | 52.07a | 9.03b | 38.89b |

由表 4 还可以看出,两个处理氮肥土壤残留率追肥均显著低于基肥;而氮肥的损失率基肥和追肥之间无明显差异。处理之间比较,施用纳米碳处理 T3 无论是基肥还是追肥,土壤残留率和损失率均有不同程度降低,这可能与该处理根系发育好、氮肥利用率较高有关。

3 结论与讨论

3.1 纳米碳对烤烟生长发育的影响

纳米碳作为一种具有高表面能的小尺度纳米材料,在影响生物代谢、促进作物生长发育方面的良好效果已在多种作物上显现^[18-19]。本试验结果表明,在普通肥料中加入纳米碳能不同程度地促进烤烟植株生长发育,增加烟株干物质积累量,这与刘键^[16]、武美燕^[20]等人在水稻、小麦上的研究结果相似。同时研究发现,纳米碳促进烤烟植株生长发育的效果在烤烟生育前期更为显著,说明纳米碳能够促进烤烟植株早发、快长,从而有利于提高烟叶产量。施用纳米碳明显增加烤烟根系生物量、提高根系活力,是其促进植株生长发育的重要原因。

3.2 纳米碳对烤烟氮素吸收和氮肥利用率的影响

研究表明,纳米材料能够促进植物对氮磷钾等养分的吸收^[21-23]。本试验条件下,施用纳米碳处理不仅增加了植株对肥料氮的吸收量,还增加了对土

壤氮的吸收量,这与其促进了烤烟根系生长发育、提高了根系的吸收能力有密切关系。施用纳米碳能够不同程度促进烤烟植株氮素吸收,提高根系叶片氮素含量和积累量,但并未影响植株氮素在各器官的分配。

施入土壤中的肥料氮一般有 3 个去向:作物吸收、土壤残留和损失。有报道指出,肥料施入土壤后,约有 39%—53%被烟株吸收利用^[24]。本试验条件下,施入土壤的氮素 35.67%—52.07%被植株吸收利用。纳米碳无论做基肥还是做追肥,均显著提高了氮肥利用率,使氮素土壤残留率和损失率均有不同程度降低。这可能是因为纳米碳作为一种小尺度、高表面能活性的纳米颗粒,能够与土壤中的养分离子形成聚合物,提高了营养元素的有效性,促进了植株对养分的吸收和利用。然而,仅从纳米碳的吸附性能角度无法完全解释其促进作物生长和养分吸收的机理。张夫道等^[22]利用纳米胶结包膜材料制作缓释肥料,通过溶解或溶胀作用使胶粘剂分子与肥料分子相互扩散形成胶结接头,在提高肥料利用率方面取得良好效果。然而,本研究中纳米碳提高烤烟肥料利用率的作用机理可能与之有所不同。研究表明,纳米碳具有较高的比表面能和电催化性能,遇水后能够变成导体,可以提高土壤电动电位。植物根系对养分的吸收,涉及了复杂的电化学过程,纳

米碳可能参与并影响了这一过程。同时,在烤烟生长发育过程中,纳米碳作为肥料的载体可充分吸附结合在根系表面,促进了根系对养分的吸收和根系生物量的增加。也有研究认为,纳米材料可以改变水的结构,提高其活性,在水不断被植物吸收的过程中可以携带大量营养元素进入植物体内,达到营养植物的目的^[25]。研究已证实,某些形态的纳米材料如碳纳米管能够被植物吸收,然而由于缺乏有效的检测手段,纳米材料在土壤中的行为和迁移规律尚不清楚^[26]。因此,关于纳米材料促进作物养分吸收的机理和在土壤环境中的行为规律,有待于进一步研究。

References:

- [1] Yan X, Jin J Y, He P, Liang M Z. Recent advances in technology of increasing fertilizer use efficiency. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(2): 450-459.
- [2] Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, Cui Z L, Ma W Q, Chen X. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in china and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915-924.
- [3] Borm P J, Robbins D, Haubold S, Kuhlbusch T, Fissan H, Donaldson K, Stone V, Kreyling W, Lademann J, Krutmann J, Warheit D, Oberdorster E. The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. *Particle and Fibre Toxicology*, 2006, 14(3): 11-35.
- [4] Zhang Z T, Lin Y H, Tang Z L, Zhang J Y. Nanometer materials & nanotechnology and their application prospect. *Material Engineering*, 2000, (3): 42-48.
- [5] Fang G D, Si Y B. Effects of nanoscale Fe₃O₄ on microbial communities, enzyme activities and 2, 4-D degradation in red soil. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(6): 1165-1172.
- [6] Lin S, Reppert J, Hu Q, Hudson J A S, Reid M L, Ratnikova T A, Rao A M, Luo H, Ke P C. Uptake, translocation, and transmission of carbon nanomaterials in rice plants. *Small*, 2009, 5(10): 1128-1132.
- [7] Liu Q L, Chen B, Wang Q L, Shi X L, Xiao Z Y, Lin J X, Fang X H. Carbon nanotubes as molecular transporters for walled plant cells. *Nano Letters*, 2009, 9(3): 1007-1010.
- [8] Khodakovskaya M V, Silva K, Biris A S, Dervishi E, Villagarcia H. Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. *ACS Nano*, 2012, 6(3): 2128-2135.
- [9] Alia D S, Castillo-Michel H, Hernandez-Viezas J A, Diaz B C, Jose R, Peralta-Videa J R, Gardea-Torresdey J L. Synchrotron micro-XRF and micro-XANES confirmation of the uptake and translocation of TiO₂ nanoparticles in cucumber(*cucumis sativus*) plants. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(14): 7637-7643.
- [10] Hong F S, Yang P, Gao F Q, Liu C, Zheng L, Yang F, Zhou J. Effect of nano-anatase TiO₂ on spectral characterization of photosystem II particles from spinach. *Chemical Research in Chinese Universities*, 2005, 21(2): 196-200.
- [11] Hong F S, Zhou J, Liu C, Yang F, Wu C, Zheng L, Yang Ping. Effect of nano-TiO₂ on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. *Biological Trace Element Research*, 2005, 105(1/3): 269-279.
- [12] Lu C M, Zhang C Y, Wen J Q, Wu G R, Tao M X. Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. *Soybean Science*, 2002, 21(3): 168-171.
- [13] Liu A X, Lu Q M, Cao Y J, Liao Z W, Xu Q H. Effects of composite nanomaterials on rice growth. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(2): 344-347.
- [14] Cao Y J, Liu A X, Liao Z W, Li Y H. Preliminary study on effects of nanomaterials on phosphor nutrition of maize. *Ecology and Environment*, 2006, 15(5): 1072-1074.
- [15] Xiao Q, Zhang F D, Wang Y J, Zhang J F, Zhang S Q. Effects of slow/controlled release fertilizers felted and coated by nanomaterials on crop yield and quality. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(5): 951-955.
- [16] Liu J, M J, Zhang Z M, Liu W Z, Guo Z D. Application effect of fertilizer added with nano carbon on rice. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2011, 26(6): 76-77.
- [17] Zhao S J, Liu H S, Dong X C. Techniques of plant physiological experiment. Beijing: Chinese Agricultural Sciencetech Press, 2002: 47-48.
- [18] Khodakovskaya M, Dervishi E, Mahmood M, Yang X, Li Z, Fumiya W, Biris A. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano*, 2009, 3(10): 3221-3227.
- [19] Xie Y F, Yao X H. Effects of nano-meter TiO₂ on germination and growth physiology of pinus tabulaeformis. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29(10): 2013-2018.
- [20] Wu M Y, Hao R C, Tian X H, Wang X L, Ma G H, Tang H T. Effects of adding nono-carbon in slow-released fertilizer on grain yield and nitrogen use efficiency of super hybrid rice. *Hybrid Rice*, 2010, 25(4): 86-90.
- [21] Fan L L, Wang Y H, Shao X W, Geng Y Q, Wang Z C, Ma Y, Liu J. Effects of combined nitrogen fertilizer and nano-carbon application on yield and nitrogen use of rice grown on saline-alkali soil. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2012, 10(1): 558-562.
- [22] Zhang F D, Zhao B Q, Zhang J, He X S, Zhang J Q, Shi C Y. The progress and prospect on Nano-fertilizers research. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(2): 254-255.

- [23] Wang X Y, Wang Y, Tian X H, Ma G H. Effects of NMUrea on nitrogen runoff losses of surface water and nitrogen fertilizer efficiency in paddy field. Transactions of the CSAE, 2011, 27 (1): 106-111
- [24] Shan D X, Yang S H, Li S Q, Xu J G. Absorption and distribution of nitrogen of flue-cured tobacco with ^{15}N tracer. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2007, (2): 43-45.
- [25] Liu A X, Liao Z W. Effect of nanomaterial on water clusters. Journal of Anhui Agriculture Science, 2008, 36 (36): 15780-15781.
- [26] Pan B, Xing B. Applications and implications of manufactured nanoparticles in soils: a review. European Journal of Soil Science, 2012, (63): 437-456.
- [13] 刘安勋, 卢其明, 曹玉江, 廖宗文, 徐清辉. 纳米复合材料对水稻生长发育的影响. 植物营养与肥科学报, 2007, 13(2): 344-347.
- [14] 曹玉江, 刘安勋, 廖宗文, 黎永洪. 纳米材料对玉米磷营养的影响初探. 生态环境, 2006, 15(5): 1072-1074.
- [15] 肖强, 张夫道, 王玉军, 张建锋, 张树清. 纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料对作物产量和品质的影响. 植物营养与肥科学报, 2008, 14(5): 951-955.
- [16] 刘键, 马筠, 张志明, 刘维震, 郭自得. 肥料添加纳米碳在水稻上的施用效果. 磷肥与复肥, 2011, 26(6): 76-77.
- [17] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 47-48
- [19] 谢寅峰, 姚晓华. 纳米 TiO_2 对油松种子萌发及幼苗生长生理的影响. 西北植物学报, 2009, 29(10): 2013-2018.
- [20] 武美燕, 蒿若超, 田小海, 王晓玲, 马国辉, 汤海涛. 添加纳米碳缓释肥料对超级杂交稻产量和氮肥利用率的影响. 杂交水稻, 2010, 25(4): 86-90.
- [22] 张夫道, 赵秉强, 张骏, 何绪生, 张俊清, 史春余. 纳米肥料研究进展与前景. 植物营养与肥科学报, 2002, 8(2): 254-255.
- [23] 王小燕, 王隼, 田小海, 马国辉. 纳米碳增效尿素对水稻田面水氮素流失及氮肥利用率的影响. 农业工程学报, 2011, 27(1): 106-111.
- [24] 单德鑫, 杨书海, 李淑芹, 许景钢. ^{15}N 示踪研究烤烟对氮的吸收及分配. 中国土壤与肥料, 2007, (2): 43-45.
- [25] 刘安勋, 廖宗文. 纳米材料对水团簇的影响. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 15780-15781.

参考文献:

- [1] 闫湘, 金继运, 何萍, 梁鸣早. 提高肥料利用率技术研究进展. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459.
- [2] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- [4] 张中太, 林元华, 唐子龙, 张俊英. 纳米材料及其技术的应用前景. 材料工程, 2000, (3): 42-48.
- [5] 方国东, 司友斌. 纳米 Fe_3O_4 对红壤微生物数量、酶活性及 2, 4-D 降解的影响. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1165-1172.
- [12] 陆长梅, 张超英, 温俊强, 吴国荣, 陶明焯. 纳米材料促进大豆萌芽、生长的影响及其机理研究. 大豆科学, 2002, 21(3): 168-171.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifeng, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Appling SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 薛建辉

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

| | | | |
|---------------|--|-----------------|---|
| 编 辑 | 《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by | Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编 | 王如松 | Editor-in-chief | WANG Rusong |
| 主 管 | 中国科学技术协会 | Supervised by | China Association for Science and Technology |
| 主 办 | 中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 | Sponsored by | Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China |
| 出 版 | 科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 | Published by | Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China |
| 印 刷 | 北京北林印刷厂 | Printed by | Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China |
| 发 行 | 科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net | Distributed by | Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net |
| 订 购 | 全国各地邮局 | Domestic | All Local Post Offices in China |
| 国外发行 | 中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044 | Foreign | China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China |
| 广告经营 许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号 | | |



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元