

骆园, 张欢欢, 熊德中. 培肥措施对植烟土壤主要理化性状及烟草经济效益的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 351-356.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.02.018

## 培肥措施对植烟土壤主要理化性状及烟草经济效益的影响

骆园, 张欢欢, 熊德中

(福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350000)

**摘要:** 为了改善福建省长汀县烟草种植区土壤肥力状况, 提高烟叶质量, 通过田间小区试验, 在等量氮、磷、钾的施用条件下, 研究不同培肥措施对土壤主要肥力性状及烟草经济性状的影响。结果表明, 各种培肥措施中生石灰的施用对于提高土壤 pH 效果最明显, 但对土壤培肥效果最差, 而施用硝化抑制剂及进行稻草还田的处理改土培肥的效果最好。硝化抑制剂在提高土壤碱解氮含量、脲酶活性和烟草产量、产值、均价和上等烟比例上效果最好, 与对照相比, 分别提高 17%、17%、17%、25%、7%、14%。稻草还田 ( $3\ 000.0\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ) 对提高土壤有机质、有效磷、速效钾含量, 过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶活性和各种微生物数量的效果最好。生物质炭(炭化谷壳  $6\ 000.0\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ) 处理的改土培肥效果仅次于硝化抑制剂和稻草还田处理, 但其中上等烟比例最高, 烟草产量和产值也高于稻草还田处理, 具有良好的经济效益。过磷酸钙和钙镁磷肥处理则在提高土壤交换性钙、镁上表现明显, 土壤交换性钙、镁含量比对照均高 41%。

**关键字:** 培肥措施; 土壤理化性状; 烤烟经济性状

**中图分类号:** S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)02-0351-06

## Soil physico-chemical properties and tobacco economic benefit affected by fertilization measures

LUO Yuan, ZHANG Huan-huan, XIONG De-zhong

(College of Resource and Environment, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350000, China)

**Abstract:** To improve the soil fertility of Changting county in Fujian province and raise tobacco quality, the effect of different fertilization measures on tobacco-planted soil fertility properties and flue-cured tobacco economic traits were studied under the condition of the same application rates of nitrogen, phosphorus and potassium. The application of quicklime showed the best effect on increasing soil pH, but the worst effect on improving soil fertility, while the application of nitrification inhibitors and straw returning to the field turned out to be the best measures to improve the soil fertility. Nitrification inhibitors played a significant role in increasing soil available nitrogen content, urease activities and flue-cured tobacco output, production value, average price and the first-class tobacco proportion, which were 17%, 17%, 17%, 25%, 7%, 14% higher than those of the control (conventional fertilization), respectively. Straw returning to the field ( $3\ 000.0\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ) was the most favorable treatment for enhancing the contents of soil organic matter, available phosphorus and

rapidly available potassium, the activities of soil catalase, phosphatase and sucrase, and the quantities of soil microorganism, which were much higher than those in control. The effect on improving soil fertility of biochar (carbonized chaff  $6\ 000.0\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ) ranked the second to nitrification inhibitors and straw returning to the field, however it contributed to achieving higher flue-cured tobacco output

收稿日期: 2015-10-20

基金项目: 福建省烟草公司资助项目 (2013.65)

作者简介: 骆园 (1991-), 女, 湖北黄石人, 硕士研究生, 研究方向为土壤肥力改良。 (Tel) 15280012992; (E-mail) luoyuan91@163.com,

通讯作者: 熊德中, (Tel) 13600815336

and production value. Calcium superphosphate and calcium-magnesia phosphate fertilization helped to increase soil exchangeable calcium and exchangeable magnesium.

**Key words:** fertilization measure; soil physico-chemical property; economic trait of flue-cured tobacco

土壤是农业可持续发展的根本及重要资源, 培肥是维持土壤肥力的主要措施之一, 藉以补偿作物从土壤中带走的养分<sup>[1]</sup>。烟草是中国的重要经济作物, 是国民经济的重要组成部分, 福建省作为全国三大优质烤烟产区之一, 一直实行烟稻轮作, 但随着复种指数和生产年限的增加, 烤烟从土壤中带走的养分也逐年增加, 目前福建省烟草种植区普遍存在土壤偏酸, 有效磷及速效钾含量不足, 中、微量元素空间差异大等问题<sup>[2-3]</sup>, 这些都成为限制烤烟发展的重要因素, 因此对烟草种植区进行土壤培肥刻不容缓。

长汀县是福建省烟草生产重点县, 烟草种植面积和烟叶收购量均居福建省烟草种植区的第二位。由于常年实行烟稻轮作, 加之烟农的施肥措施较单一, 重化肥, 轻有机肥, 土壤酸化、土壤养分失调问题日益严重(表现为土壤氮素和磷素适宜, 但速效钾、交换性钙、交换性镁不足), 同时长汀县作为福建省水土流失最为严重的地方, 土壤养分淋失现象严重<sup>[4-5]</sup>。因此, 在治理水土流失的同时, 如何恢复保持土壤肥力成为重点。探究长汀县烟草种植区土壤培肥措施及施用效果对改良当地土壤及提升烟叶品质具有生态及经济意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点在福建省长汀县濯田镇东山村, 该地交通方便, 前作为水稻, 试验地土壤质地为砂壤土, 光照充足, 地势平坦, 排灌方便, 肥力中等, 耕作层 15.1 cm。试验地土壤理化性状为: pH 5.12, 有机质 28.80 g/kg, 碱解氮 126.78 mg/kg, 有效磷 41.82 mg/kg, 速效钾 67.76 mg/kg, 交换性镁 63.93 mg/kg, 交换性钙 310.24 mg/kg。

### 1.2 供试材料

供试烟草品种为闽烟 38, 双氰胺、生石灰、炭化谷壳、稻草均由福建省龙岩市烟草公司烟科所提供。

### 1.3 试验设计

试验共设置 8 个处理, 对照(CK): 常规施肥; T1: 常规施肥+硝化抑制剂(双氰胺施用量占施氮量

的 7%); T2: 常规施肥+生石灰(450.0 kg/hm<sup>2</sup>); T3: 改良施肥(其中磷肥施用为过磷酸钙和钙镁磷肥各占 50%); T4: 常规施肥+生物质炭(炭化谷壳 6 000.0 kg/hm<sup>2</sup>); T5: 常规施肥+稻草还田(6 000.0 kg/hm<sup>2</sup>); T6: 常规施肥+稻草还田(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>); T7: 常规施肥+生石灰(450.0 kg/hm<sup>2</sup>)+稻草还田(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)。每个处理设 3 次重复, 栽烟 48 株, 随机区组排列, 每个处理行距 120 cm, 株距 50 cm。常规施肥为施纯氮 127.5 kg/hm<sup>2</sup>, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1.0:0.9:2.8, 氮肥主要施用尿素, 以磷肥(磷铵)和钾肥(硝酸钾)中的氮素为补充, 钾肥同时配施硫酸钾, 分基肥和追肥两次施用(施用比例为 7:3), 追肥在团棵前结束。施用炭化谷壳及稻草的处理, 肥料用量应扣除炭化谷壳及稻草的氮磷钾含量; 处理 T1 中硝化抑制剂双氰胺与专用肥充分混匀后作为基肥施用。施肥方法及其他栽培管理措施按照当地技术要求规范操作, 试验田内相同田间操作在同一天内完成。

### 1.4 分析项目及测定方法

土壤 pH 值采用电位法测定; 有机质含量采用重铬酸钾-亚硫酸铁滴定法测定; 碱解氮采用碱式扩散法测定; 有效磷采用钼锑抗显色法测定; 速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定; 土壤交换性钙、镁采用乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法<sup>[6]</sup>测定; 细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基平板计数法测定; 真菌采用马丁氏琼脂培养基平板计数法测定; 放线菌采用高氏 1 号培养基平板计数法<sup>[7]</sup>测定; 土壤脲酶采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定; 土壤过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法测定; 土壤磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定; 土壤蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法<sup>[8]</sup>测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 培肥措施对土壤基本理化性质的影响

不同培肥措施影响下, 土壤理化性质有所改变(表 1)。表 1 显示, 土壤 pH 值稍有上升, 维持在 4.47~4.89, 其中处理 T2、T5、T7 土壤 pH 值显著高于常规施肥对照, 处理 T2 和处理 T7 的 pH 值最高。

说明生石灰和稻草的施用可以一定程度上提高土壤 pH 值,其中施生石灰的效果最为显著。

土壤有机质除处理 T2 低于常规施肥对照之外,其余处理均高于常规施肥对照,处理 T1、T3、T4、T5、T6、T7 与常规施肥对照相比分别提高了 7%、3%、6%、7%、9%、7%,其中处理 T1、T4、T5、T6、T7 与常规施肥对照均达到显著差异。说明硝化抑制剂、生物质炭、稻草还田均有利于提高土壤有机质,其中硝化抑制剂和稻草还田的效果更好,而单施生石灰则不利于土壤有机质的积累。

经过培肥处理的土壤碱解氮含量与对照相比均显著提高,其中以处理 T1、T5、T6 的土壤碱解氮含量增加较多,分别比对照提高了 17%、15%、16%,处理 T4、T7 次之,处理 T2 和 T3 增加较少。说明不同的培肥措施均能提高土壤碱解氮的含量,为烟草的生长提供更充足的氮素营养,而硝化抑制剂和稻草还田的效果最好。

土壤有效磷含量经过不同的培肥处理也得到了显著提高,处理 T1~T7 的有效磷含量与对照相比分别提高了 17%、10%、17%、19%、20%、23%、23%,推测经过不同的培肥处理,土壤 pH 得到提高,减少了土壤对磷的吸附作用,提高了磷素的有效性。

表 1 显示,处理 T1~T7 的土壤速效钾含量分别

比对照显著提高了 17%、7%、8%、14%、16%、17%、16%,可见不同的培肥措施均可显著提高土壤速效钾含量,其中以常规施肥+硝化抑制剂及常规施肥+稻草直接还田(3 000 kg/hm<sup>2</sup>)的效果最好,其次是常规施肥+生物质炭和常规施肥+生石灰+稻草直接还田(3 000 kg/hm<sup>2</sup>)。烟草是喜钾作物,土壤速效钾含量的提高对于烟草的生长发育具有积极的影响。

Ca 和 Mg 是植物生长必需的中量营养元素。表 1 显示,不同的培肥处理均能不同程度提高土壤的交换性 Ca 和交换性 Mg 含量,土壤交换性 Ca、Mg 含量大小均为 T3>T4>T7>T6>T5>T1>T2>CK。处理 T3(磷肥施用为过磷酸钙和钙镁磷肥各占 50%)土壤中,其交换性钙和交换性镁含量比对照均高出 41%,但除了处理 T3 和处理 T4 的土壤交换性 Ca、Mg 含量与对照呈显著差异外,其余处理均与对照无显著差异。这是因为施用钙镁磷肥和过磷酸钙直接为土壤补充了钙素和镁素,使得土壤交换性钙和交换性镁含量显著提高;而生物质炭具有改善土壤结构、提高土壤阳离子交换量的功能,也使得土壤的交换性钙和交换性镁得到一定程度的提高。

表 1 不同培肥措施对土壤基本理化性质的影响

Table 1 Soil physico-chemical properties affected by fertilization measures

处理	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	交换性钙 (mg/kg)	交换性镁 (mg/kg)
CK	4.56±0.01cd	29.49±0.20c	111.07±0.95e	38.45±1.13c	78.87±1.10c	293.06±9.79c	57.83±2.28c
T1	4.47±0.02d	31.55±0.03a	130.24±1.73a	45.06±1.02a	91.95±0.24a	310.50±12.94bc	61.29±1.25bc
T2	4.89±0.02a	28.39±0.05d	116.21±1.22d	42.31±0.21b	84.37±0.50b	305.80±15.00bc	60.35±0.85bc
T3	4.63±0.02c	30.2±0.50bc	116.85±1.23d	45.05±1.02a	84.93±0.26b	412.91±8.89a	81.48±1.13a
T4	4.56±0.03cd	31.2±0.55ab	120.8±3.03cd	46.03±0.98a	90.07±0.75a	323.92±11.06b	63.92±0.97b
T5	4.75±0.02b	31.65±0.11a	128.54±0.89a	46.14±1.05a	91.58±0.82a	311.00±8.84bc	61.37±1.39bc
T6	4.60±0.02c	32.01±0.36a	129.26±1.10a	47.32±0.47a	92.16±0.37a	315.41±6.07bc	62.24±1.89bc
T7	4.88±0.02a	31.60±0.12a	123.6±2.12bc	47.32±1.51a	91.23±0.66a	317.60±10.99bc	62.68±2.47bc

CK:常规施肥;T1:常规施肥+硝化抑制剂(双氰胺施用量占施氮量的 7%);T2:常规施肥+生石灰(450.0 kg/hm<sup>2</sup>);T3:改良施肥(其中磷肥施用为过磷酸钙和钙镁磷肥各占 50%);T4:常规施肥+生物质炭(炭化谷壳 6 000.0 kg/hm<sup>2</sup>);T5:常规施肥+稻草还田(6 000.0 kg/hm<sup>2</sup>);T6:常规施肥+稻草还田(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>);T7:常规施肥+生石灰(450.0 kg/hm<sup>2</sup>)+稻草还田(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)。同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

## 2.2 不同培肥措施对土壤酶活性的影响

经过不同的培肥措施处理后,土壤的脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性均得到不同程度的

提高(表 2),其中脲酶活性以 T1(常规施肥+硝化抑制剂)的最大,与对照呈显著差异,但与添加稻草的处理 T5、T6、T7 之间的差异不显著。过氧化氢酶、

磷酸酶和蔗糖酶的活性均以添加稻草的处理 T6、T5 的较大,但与处理 T7、T1 的差异不明显,而与对照呈显著差异。综合分析可以得出,不同的培肥措施均能提高土壤的酶活性,其中以添加稻草的处理效果最好,其主要原因可能是:(1)稻草的添加改善了

土壤有机质的含量,土壤酶与土壤有机质有明显的正相关性<sup>[7]</sup>,从而提高了土壤酶活性;(2)稻草的添加改善了土壤的理化性质,改善了土壤结构,增加了土壤的通气透水性,为土壤微生物的活动提供了良好的环境,从而土壤酶活性得到提高。

表 2 不同培肥措施对土壤酶活性的影响

Table 2 Soil enzymes activities affected by fertilization measures

处理	脲酶活性 [ (mg/(g·d)) ]	过氧化氢酶活性 [ mg/(g·h) ]	磷酸酶活性 [ mg/(g·d) ]	蔗糖酶活性 [ mg/(g·d) ]
CK	0.290±0.011c	0.400±0.010b	1.970±0.020d	0.480±0.006d
T1	0.340±0.014a	0.510±0.050ab	2.410±0.050ab	0.525±0.008abc
T2	0.302±0.007bc	0.450±0.080ab	2.130±0.100cd	0.506±0.003c
T3	0.305±0.005bc	0.460±0.080ab	2.190±0.030c	0.508±0.004c
T4	0.314±0.007b	0.490±0.040ab	2.260±0.100bc	0.515±0.010bc
T5	0.320±0.002ab	0.560±0.060a	2.490±0.070a	0.531±0.007ab
T6	0.322±0.010ab	0.570±0.400a	2.520±0.080a	0.536±0.007a
T7	0.318±0.003ab	0.540±0.060ab	2.480±0.080a	0.528±0.010ab

CK 及 T1~T7 处理见表 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

### 2.3 不同培肥措施对土壤微生物的影响

由表 3 可知,经过不同的培肥措施,土壤的真菌、细菌、放线菌数量均有所提高,3 种微生物总数量是细菌>放线菌>真菌。处理 T1~T7 处理土壤中细菌数量比对照分别高 13%、7%、8%、12%、17%、17%、15%,处理 T1、T5、T6、T7 土壤中的细菌数量与对照呈显著差异。处理 T1~T7 的放线菌数量分别比对照高 13%、2%、7%、11%、18%、18%、14%,其中处理 T1、T5、T6、T7 与对照呈显著差异。不同处理间的真菌数量为 T6>T5>T7>T1>T4>T3>T2>CK,除 T2 外,其余处理均与对照呈显著差异。表明,不同的培肥处理均有利于土壤微生物的繁殖,提高土壤微生物的活性,从而利于土壤酶的积累、有机质的分解转化及矿质养分的有效化。

### 2.4 不同的培肥措施对烟草经济性状的影响

表 4 显示,不同培肥处理的烟草经济性状存在明显的差异。从产量来看,处理 T1 (常规施肥+施用硝化抑制剂)的产量最高,与其他处理均呈显著差异;其次为处理 T4 (常规施肥+炭化谷壳 6 000 kg/hm<sup>2</sup>),除处理 T2 外,其他处理的产量均显著高于对照。烟草产值也以处理 T1 最高,显著高于其他处理,处理 T4 次之,产值大小顺序依次为 T1>

T4>T6>T5>T3>T7>T2>CK。从均价来看,处理 T1、T3、T5、T6 的均价与对照呈显著差异,其他处理之间均无显著差异。各处理的上等烟比例均高于对照,其中以处理 T1 (常规施肥+施用硝化抑制剂)和处理 T6 (常规施肥+稻草还田 3 000 kg/hm<sup>2</sup>) 上等烟比例较高,各处理的中上等烟比例均高于对照,其中以处理 T4 和处理 T6 中上等烟比例较高,分别为 87.42%、85.71%。

表 3 不同培肥措施对土壤微生物的影响

Table 3 Soil microorganism counting affected by fertilization measures

处理	数量		
	真菌 ( $\times 10^3$ CFU/ml)	细菌 ( $\times 10^5$ CFU/ml)	放线菌 ( $\times 10^5$ CFU/ml)
CK	2.83±0.11c	3.74±0.14b	1.54±0.02b
T1	3.46±0.13a	4.21±0.08a	1.74±0.03a
T2	3.02±0.08bc	3.99±0.21ab	1.57±0.01b
T3	3.28±0.15ab	4.03±0.15ab	1.65±0.06ab
T4	3.41±0.04a	4.17±0.23ab	1.71±0.06ab
T5	3.55±0.11a	4.36±0.13a	1.82±0.09a
T6	3.57±0.15a	4.38±0.14a	1.83±0.12a
T7	3.50±0.09a	4.29±0.06a	1.76±0.03a

CK 及 T1~T7 处理见表 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。



表 4 不同培肥措施对烟草经济性状的影响

Table 4 Economic traits of flue-cured tobacco affected by fertilization measures

处理	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	产值 (元, 1 hm <sup>2</sup> )	均价 (元, 1 kg)	上等烟比例 (%)	中上等烟比例 (%)
CK	2 303.40c	40 056.15e	17.39b	30.05	77.68
T1	2 702.40a	50 345.10a	18.63a	34.34	82.19
T2	2 325.75c	42 142.35de	18.12ab	32.43	78.44
T3	2 440.50b	44 952.9cd	18.42a	32.48	80.94
T4	2 530.50b	48 534.75ab	18.18ab	32.76	87.42
T5	2 497.65b	46 305.75bc	18.54a	32.82	82.26
T6	2 497.65b	46 405.65bc	18.58a	34.00	85.71
T7	2 481.31b	43 845.60cd	17.67ab	33.51	80.62

CK 及 T1~T7 处理见表 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

### 3 讨 论

本研究结果表明,不同的培肥处理对土壤的理化性质和烟草质量有较为明显的改良效果。施用生石灰可以有效提高土壤 pH,但土壤的有机质明显下降,低于常规施肥对照,土壤的其他理化性质和烟草的经济性状在各处理(除常规施肥对照)中也处于最低水平。而生石灰与稻草配合施用不仅能有效提高土壤 pH,也能显著改善土壤的其他理化性质,最终有效提高烟草的经济效益。

硝化抑制剂能够延缓硝化过程的进行,表现为  $\text{NH}_4^{4+}$ -N 含量的缓慢下降或  $\text{NO}_3^{-}$ -N 含量的缓慢增加<sup>[9]</sup>。双氰胺作为一种广泛应用于农业生产中的硝化抑制剂已被证明具有很好的硝化抑制效果<sup>[10]</sup>。在本研究中双氰胺的施用整体上对土壤的理化性质、生物活性均有明显的改善,其中对土壤的碱解氮和脲酶的影响最为显著。这是因为硝化抑制剂抑制了土壤硝化、反硝化的程度,从而延缓了  $\text{NH}_4^{4+}$  向  $\text{NO}_2^{-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$  转化的过程,使土壤中的氮素营养能较长时间以铵态氮的形式存在,防止了土壤中氮素的流失<sup>[10]</sup>,这与宁建凤<sup>[11]</sup>等人的研究结果一致。但是由于施用硝化抑制剂的土壤中氮多以铵态氮存在,植物根系吸收土壤中铵态氮较多,根系必然要向根区分泌质子以保持电荷平衡,因此硝化抑制剂的施用必然会导致根际土壤 pH 值降低<sup>[11-13]</sup>,但也有研究结果表明硝化抑制剂的施用可减缓土壤酸化的速率<sup>[10]</sup>,与本研究结果相悖,这是否与取样的时间、方式有关,有待进一步研究。

稻草还田一直被认为是一种有效的农田培肥措

施,不仅可以增加土壤养分,培肥土壤,而且可以改善土壤理化性质,在提高作物产量和品质的同时优化农业生态环境<sup>[14]</sup>。有研究结果表明,每 100.0 kg 稻草还田所带入土壤的钾相当于 3.8 kg KCl 的肥效<sup>[15]</sup>。在本研究中,稻草还田虽然对提高土壤 pH 作用不明显,但对土壤微生物、有效养分含量都有良好效果,土壤有机质、有效磷、速效钾含量和过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶活性以及各种微生物数量均以施用稻草的处理最好。稻草还田之所以能够较全面地改善土壤的理化性质,稳定提高土壤肥力,是因为稻草的添加直接增加了土壤的有机碳,提高了土壤的有机质含量,所以土壤微生物数量和酶活性得到提高,同时加速了有机养分的矿化速率,提高了土壤中养分的有效性,地力得到培肥<sup>[16]</sup>。稻草的施用量以 3 000.0 kg/hm<sup>2</sup> 最好。

生物质炭作为一种土壤改良剂,可以有效降低土壤酸度,增加土壤有机碳含量,调控土壤营养元素的循环,提高土壤保水保肥性能,为微生物提供良好的栖息环境<sup>[17-19]</sup>。在 Huang 等人<sup>[20]</sup>的研究中,生物质炭的施用有效提高了土壤的有机碳和 pH。在本研究中,与其他培肥措施相比,尽管炭化谷壳处理在改善植烟土壤生物化学性质上的效果处于中等水平,但从最终的烟草经济性状来看,烟草产量、产值、及中上等烟比例均在各处理中位于前列,由此看出,生物质炭对土壤肥力的作用虽然在短期内不显著,但可以稳定提高烟草产量和质量,说明生物质炭的培肥潜力值得期待,可以进一步开展长期定位试验研究。

本研究结果表明,种植烟草后常规施肥对照的土壤交换性钙含量低于 300 mg/kg,即使经过培肥,

多数处理的土壤交换性钙仍低于适宜范围(400 mg/kg以上),与常规施肥对照无显著差异,说明长汀县的土壤交换性钙已处于缺乏的临界范围<sup>[21]</sup>。过磷酸钙和钙镁磷肥的施用使土壤交换性钙达到400 mg/kg以上,有效补充了土壤缺乏的钙素。长汀县的土壤交换性镁则处于适宜范围(50 mg/kg以上),经过施用过磷酸钙和钙镁磷肥之后,土壤交换性镁则提高到80 mg/kg以上。与其他的培肥处理相比,将磷肥替换为过磷酸钙和钙镁磷肥,虽改善了土壤的钙镁营养,但土壤基本的理化性状、生物活性及烟草的经济效益都得不到显著提高,所以,可以考虑在其他培肥处理的磷肥中补充过磷酸钙或钙镁磷肥,以达到综合效果。

#### 参考文献:

- [1] 齐志勇. 不同培肥模式对土壤呼吸和土壤养分变化影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003.
- [2] 唐莉娜, 陈顺辉, 林祖斌, 等. 福建烟区土壤主要养分特征及施肥措施[J]. 烟草科技, 2008(1): 56-60.
- [3] 唐莉娜, 陈顺辉, 林祖斌, 等. 福建烟区土壤中、微量元素丰缺状况及施肥对策[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 334-337.
- [4] 范启福, 曹睿玄, 黎炳水, 等. 福建省长汀县植烟耕地土壤肥力状况[J]. 亚热带农业研究, 2011, 7(3): 160-165.
- [5] 谢喜珍, 熊德中, 曾文龙. 福建龙岩烟区土壤主要物理化学性状的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(27): 1492-1494.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [7] 陈华癸, 樊庆笙. 微生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1996: 23-67.
- [8] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 124-156.
- [9] 张妹婷, 石 美, 梁东丽, 等. 不同硝化抑制剂对尿素转化的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2011, 39(2): 178-184.
- [10] XU X, BOECKX P, VAN CLEEMPOT O, et al. Mineral nitrogen in a rhizosphere soil and in standing water during rice (*Oryza sativa* L.) growth: effect of hydroquinone and dicyandiamide[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 109(1/2): 107-117.
- [11] 宁建凤, 崔理华, 艾绍英, 等. 两种硝化抑制剂对土壤氮转化的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 144-151.
- [12] 黄益宗, 冯宗炜, 王效科, 等. 硝化抑制剂在农业上应用的研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(4): 310-315.
- [13] 孙志梅, 武志杰, 陈利军, 等. 硝化抑制剂的施用效果、影响因素及其评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1611-1618.
- [14] 崔新卫, 张杨珠, 吴金水, 等. 秸秆还田对土壤质量与作物生长的影响研究进展[J]. 土壤通报, 2014, 45(6): 1527-1532.
- [15] 陈兰详, 夏淑芬, 许松林. 小麦-玉米轮作覆盖稻草对土壤肥力及产量的影响[J]. 土壤, 1996, 28(3): 156-159.
- [16] 肖巧琳. 稻草还田对植烟土壤有机质及其矿化特性的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- [17] 张 祥, 王 典, 姜存仓, 等. 生物炭及其对酸性土壤改良的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(5): 997-1000.
- [18] 何绪生, 耿增超, 余 雕, 等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 1-7.
- [19] CHEN Y, SHINOBI Y, TAIRA M. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality[J]. Aust J Soil Res, 2010, 48(7): 526-530.
- [20] HUANG M, YANG L, QIN H D. Quantifying the effect of biochar amendment on soil quality and crop productivity in Chinese rice paddies[J]. Field Crops Research, 2013(154): 172-177.
- [21] 鲁如申. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 250-350, 121-123.

(责任编辑: 孙 宁)