

生物炭与菜籽饼不同配比对土壤养分及烤烟产质量的影响*

余其昌¹, 扈强¹, 金保锋¹, 李本晟², 吴薇², 郑璞帆²,
唐永红³, 李天卫³, 刘海轮³, 张立新^{2**}

(1. 广东中烟工业有限责任公司技术中心, 广东广州 510385;

2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西杨凌 712100;

3. 陕西省烟草公司, 陕西西安 710000)

摘要:【目的】探究生物炭与菜籽饼不同配施量在植烟土壤肥力及烤烟生长方面的作用, 以提高烤烟产质量。

【方法】以主栽烤烟品种 YN99 为供试材料, 通过田间小区试验研究了增施不同配比的生物炭与菜籽饼对植烟土壤养分、烤烟农艺和经济性状及烤后烟叶化学成分的影响。【结果】在常规施肥的基础上, 增施生物炭与菜籽饼均有利于提高土壤速效养分含量, 并以混合施用效果更为显著。生物炭与菜籽饼配施可以显著增加烤烟均价与产值, 并随着菜籽饼用量的增加逐渐增高。生物炭和菜籽饼配施对烤烟化学品质的改善效果显著, 能有效增加烤后烟叶的总氮、钾、还原糖含量, 提高糖碱比和氮碱比, 降低淀粉和烟碱含量。【结论】综合分析, 在常规施肥的基础上, 增施生物炭 750 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm² 处理效果最优, 有利于提高烤烟经济效益, 改善烟叶品质。

关键词: 烤烟; 生物炭; 菜籽饼; 土壤养分; 化学成分

中图分类号: S 572.062

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 03-0513-07

Effects of Different Biochar and Rapeseed Cake Ratios on the Soil Nutrient, Yield and Quality of Flue-cured Tobacco

YU Qichang¹, HU Qiang¹, JIN Baofeng¹, LI Bensheng², WU Wei², ZHENG Pufan²,
TANG Yonghong³, LI Tianwei³, LIU Hailun³, ZHANG Lixin²

(1. Technology Center of China Tobacco Guangdong Industry Co, Ltd., Guangzhou 510385, China;

2. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

3. Tobacco Company of Shaanxi Province, Xi'an 710000, China)

Abstract: [Purpose] This study was to clarify the function of different biochar and rapeseed cake ratios on the growth of flue-cured tobacco, soil improvement and fertility increasing, and to improve the yield and quality of flue-cured tobacco. [Method] A field experiment was conducted using YN99 as test material to research the effect of different biochar and rapeseed cake on soil nutrients, agronomic characters, economic characters and chemical compositions of flue-cured tobacco after baking. [Result] Biochar and rapeseed cake could both enhance soil available nutrients and the

收稿日期: 2017-02-18

修回日期: 2018-03-09

网络出版时间: 2018-06-22

*基金项目: 广东中烟工业有限责任公司技术中心(粤烟工 05XM-QK【2014】015)。

作者简介: 余其昌(1964—), 男, 广东梅州人, 本科, 工程师, 主要从事烟叶技术管理。E-mail: 44017058@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 张立新(1969—), 男, 陕西渭南人, 博士, 教授, 主要从事烟草生理生态应用研究。

E-mail: zhanglixin@nwsuaf.edu.cn

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201702027](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201702027)

combination treatment showed better improvement on the basis of regular fertilization. The application of biochar and rapeseed cake could also increase the average price and output value significantly, while the average price and output value increased gradually with the increase of rapeseed cake fertilizer. The application of biochar and rapeseed cake fertilizer could improve the chemical compositions of flue-cured tobacco significantly. There were increases in the contents of total nitrogen, potassium, reducing sugar and the ratio of sugar to nicotine, the ratio of nitrogen to nicotine and decreases in the contents of starch and nicotine. [**Conclusion**] The application of biochar 750 kg/hm² and rapeseed cake 1 500 kg/hm² showed the best effect on the basis of regular fertilization, which could improve the economic benefits and quality of flue-cured tobacco.

Keywords: flue-cured tobacco; biochar; rapeseed cake; soil nutrient; chemical composition

烤烟生产的经济效益主要取决于烟叶的品质、产量和生产成本, 其中品质尤为重要^[1]。陕西是中国的主要烟草产区之一^[2], 大气环境和生态条件的变化、长期连作、过量施用化肥农药等因素导致地力下降、病害加重、烟叶变薄及质量下降^[3], 这些成为制约烤烟生产的可持续发展的关键问题。而施用有机肥能够有效改善烟田土壤理化性状, 提高植烟土壤肥力, 改善烤烟品质, 对烤烟的外观质量、感官质量和化学成分协调性均能产生有益影响^[4-6]。近年来, 国内外在生物炭对土壤肥力和作物生长的影响方面开展了广泛研究, 并取得了许多进展^[7-9]。生物炭能有效调节种植水稻的铁铝土中的碳氮比, 可以吸附土壤溶液中的铵态氮和硝态氮, 减少淋溶损失, 同时新鲜生物炭中的活性炭源能够促进土壤中有机态氮的矿化, 释放出铵态氮和硝态氮, 提高土壤氮含量^[10]。而菜籽饼是重要的有机肥源, 其本身含氮量不高, 便于烤烟氮素营养的调控, 如果使用得当, 是一种适宜的烟用肥料^[11-13]。考虑到菜籽饼的化学成分和营养成分独特, 蛋白质含量高, 肥效持

久, 适于各类土壤和多种作物, 尤其对瓜果、烟草、棉花等作物能显著提高产量并改善品质^[14]。而目前对于生物炭与菜籽饼配施的研究尚无报道。因此, 本研究立足于陕南烟区, 在常规施肥的基础上探寻增施生物炭与菜籽饼的最佳配比, 旨在提高陕西省烟叶产区的土壤肥力, 进一步提升烤烟品质, 为烤烟的持续、健康、稳步生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地选在商洛市洛南县烤烟主产区之一的柏峪寺镇茶房村, 海拔 882 m, 东经 110°15'43", 北纬 34°05'46"。年平均气温 12.8 ℃, 年降水量 790 mm, 无霜期 212 d, ≥10 ℃ 积温 3 330 ℃, ≥20 ℃ 持续天数 90 d, 光热水气协调。试验地为坡塬地块, 黄棕壤, 地力中等, 排灌方便, 无病害史, 交通方便, 前茬作物烤烟。试验田耕层土壤 (0~20 cm) 基本情况如表 1 所示。

表 1 供试地耕层土壤 (0~20 cm) 基本养分状况
Tab. 1 Physic-chemical properties of the experimental soil (0-20 cm)

pH	电导率/(μs·cm ⁻¹) conductivity	速效钾含量/(mg·kg ⁻¹) available K content	速效氮含量/(mg·kg ⁻¹) available N content	速效磷含量/(mg·kg ⁻¹) available P content	有机质含量/(g·kg ⁻¹) organic content
7.26	195.00	112.30	28.90	16.95	16.54

1.2 参试品种及试验设计

参试品种为当地主栽品种 YN99。
试验共设 9 个处理, 重复 3 次, 小区随机排列, 烤烟行株距为 1.15 m×0.53 m, 小区面积 6.9 m×10.07 m=69.48 m², 每小区 6 行烤烟, 共 120 株。选用的生物炭由河南三利新能源公司生产, 含有

机碳 463 g/kg, 全氮 5.7 g/kg, 全磷 0.61 g/kg, 全钾 25.8 g/kg; 菜籽饼由宝鸡市秦川复合肥料厂生产, 含有机碳 377 g/kg, 全氮 55.0 g/kg, 全磷 1.04 g/kg, 全钾 1.2 g/kg。施肥方式为与基肥混合施用, 各处理基肥均为烟草专用肥 (含 CK), m (N):m (P₂O₅):m (K₂O)=10:12:18, 总养分含量

为 40%, 施氮量为 97.5 kg/hm²。根据生物炭与菜籽饼不同配比, 试验处理如表 2 所示。

表 2 试验处理
Tab. 2 Experimental treatment

处理 treatment	施用量/(kg·hm ⁻²) application amount	
	生物炭 biochar	菜籽饼 rapeseed cake
CK	0	0
T1	0	750
T2	0	1 500
T3	750	0
T4	750	750
T5	750	1 500
T6	1 500	0
T7	1 500	750
T8	1 500	1 500

1.3 田间管理

试验采用漂浮育苗, 于 2 月 25 日播种, 3 月 18 日陆续出苗, 4 月 20 日陆续成苗, 试验田于 5 月 10 日开沟条施基肥, 5 月 11 日起垄、覆膜。5 月 13 日进行大田移栽。6 月 12 日陆续进入团棵期。6 月 20 日揭膜培土。7 月 4 日陆续开始进入现蕾期, 7 月 9 日开始陆续进行打顶抹杈、化学抑芽。7 月 16 日脚叶开始陆续进入成熟期。试验田共进行 3 次中耕, 时间分别为 5 月 25 日、6 月 20 日、7 月 10 日。大田连续喷药 9 次以防治病虫害, 其他未提及的田间管理措施按照当地标准化栽培模式进行。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤速效养分含量测定

速效氮含量采用碱解扩散法; 速效磷含量采用碳酸氢钠浸提, 钼锑抗比色法测定; 速效钾含量采用醋酸铵浸提, 火焰光度法测定^[15]。

1.4.2 农艺性状调查

在每个小区选择长势长相均匀一致、能够代表小区生长状况的烟株 10 株, 按照烟草农艺性状调查方法^[16], 调查每株圆顶期农艺性状, 包括株高、有效叶数、茎围、节距及单叶面积。

1.4.3 经济性状计算

分区计产, 统计烟叶产量、产值和中上等烟比例, 每公顷烟叶产量、产值由小区产量、产值折算^[17]。

1.4.4 烤后化学成分测定

取烤后中部烟叶进行烟碱、还原糖、可溶性

总糖、总氮、钾含量的测定。烟碱含量采用活性炭提取脱色法测定, 还原糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定, 可溶性总糖含量采用硫酸—蒽酮比色法测定, 总氮含量采用连续流动分析法测定, 钾含量采用火焰光度法测定^[18-19]。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2010 软件进行整理, SPSS 20.0 软件进行方差分析, Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 生物炭与菜籽饼不同配比对植烟土壤速效养分含量的影响

2.1.1 生物炭与菜籽饼不同配比对植烟土壤速效氮含量的影响

由表 3 可见: 从旺长期到采收后各处理的土壤速效氮含量逐渐降低。单独增施生物炭 (T3、T6) 在旺长期较对照可有效提高土壤速效氮含量, 在圆顶期和采收后则无显著效果, 而单施菜籽饼 (T1、T2) 在各个时期均可以有效提高土壤速效氮含量, 并随施用量的增多而显著提升。就两者配施而言, 效果要显著优于单独增施, 各处理在菜籽饼施用量为 1 500 kg/hm² 时效果最佳, 并随生物炭施用量的增加土壤速效氮含量呈现增高的趋势, 在 T8 处理 (生物炭 1 500 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²) 效果达到最佳, 其次为 T5 处理 (生物炭 750 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²)。说明生物炭和菜籽饼配施有利于烤烟的氮代谢活动, 进一步促进碳的转化和积累。

表 3 生物炭与菜籽饼不同配比对植烟土壤速效氮的影响
Tab. 3 Effects of different biochar and rapeseed cake ratios on the soil available nitrogen content

处理 treatment	土壤速效氮含量/(mg·kg ⁻¹) soil available nitrogen content		
	旺长期 vigorous growing stage	圆顶期 dome stage	采收后 post-harvest
CK	49.92 d	30.90 f	20.12 fg
T1	60.83 bc	37.66 e	22.52 e
T2	59.68 c	41.10 d	27.54 c
T3	49.97 d	32.47 f	19.41 g
T4	64.34 b	36.15 e	25.03 d
T5	73.81 a	47.28 b	31.76 b
T6	60.34 bc	35.44 e	21.40 ef
T7	61.09 bc	43.29 c	27.27 c
T8	73.36 a	53.37 a	35.97 a

注: 同一测定项目中不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$); 下同。
Note: Different letters in the same items represent significant differences among treatments at $P<0.05$; the same as below.

2.1.2 生物炭与菜籽饼不同对比对植烟土壤速效磷含量的影响

由表 4 可见：从旺长期到采收后各处理的土壤速效磷含量逐渐降低。单独增施生物炭 (T3、T6) 在旺长期无显著效果，在圆顶期和采收后当施用量达到 1 500 kg/hm² 时较对照对土壤速效磷含量有显著提高，而单施菜籽饼 (T1、T2) 在各个时期均可以有效提高土壤速效磷含量。生物炭与菜籽饼配施时，效果显著优于单独施用，并在同一生物炭水平下，随着菜籽饼用量的增加土壤速效磷含量呈现增高的趋势。旺长期和圆顶期以 T8 处理 (生物炭 1 500 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²) 效果最优，T5 处理 (生物炭 750 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²) 次之，采收后则以 T5 处理效果最优，T8 处理次之。这可能是生物炭和菜籽饼的施用促进了烤烟的光合及呼吸作用，对磷肥的需求增大。

表 4 生物炭与菜籽饼不同对比对植烟土壤速效磷的影响
Tab. 4 Effects of different biochar and rapeseed cake ratios on the soil available phosphorus content

处理 treatment	土壤速效磷含量/(mg·kg ⁻¹) soil available phosphorus content		
	旺长期	圆顶期	采收后
	vigorous growing stage	dome stage	post-harvest
CK	25.63 e	15.80 f	10.09 e
T1	31.68 d	25.48 d	15.50 c
T2	37.46 c	31.73 b	14.22 d
T3	24.62 e	19.33 e	10.55 e
T4	37.54 c	27.68 c	15.41 c
T5	40.10 b	32.49 b	19.82 a
T6	25.37 e	19.88 e	14.17 d
T7	30.57 d	25.57 d	13.95 d
T8	42.65 a	35.20 a	18.75 b

2.1.3 生物炭与菜籽饼不同对比对植烟土壤速效钾含量的影响

由表 5 可见：从旺长期到采收后各处理的土壤速效钾含量逐渐降低。单独增施生物炭 (T3、T6) 和菜籽饼 (T1、T2) 在各个时期均对土壤速效钾含量有着显著提高。生物炭与菜籽饼配施时，各处理随着二者施用量的增加对土壤速效钾含量产生的效果均有显著提升，且各时期均以 T8 处理 (生物炭 1 500 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²) 的施用效果最为显著。生物炭和菜籽饼的施用促进了土壤供钾能力的提高，这对烤烟钾元素的积累与品质的提升至关重要。

2.2 生物炭与菜籽饼不同对比对烤烟农艺性状的影响

由表 6 可知：T1 处理的株高较对照显著提高了 7.77%；有效叶数则是 T1 和 T8 处理有明显提

表 5 生物炭与菜籽饼不同对比对植烟土壤速效钾的影响
Tab. 5 Effects of different biochar and rapeseed cake ratios on the soil available potassium content

处理 treatment	土壤速效钾含量/(mg·kg ⁻¹) soil available potassium content		
	旺长期	圆顶期	采收后
	vigorous growing stage	dome stage	post-harvest
CK	133.33 f	125.20 h	115.83 g
T1	176.63 e	159.60 f	147.43 e
T2	251.83 b	243.00 b	224.83 b
T3	164.33 e	146.27 g	131.30 f
T4	203.73 d	187.40 e	171.20 d
T5	259.10 b	230.77 c	223.57 b
T6	177.93 e	158.20 f	140.03 e
T7	222.57 c	216.60 d	205.90 c
T8	280.90 a	273.40 a	247.70 a

表 6 生物炭与菜籽饼不同对比对烤烟农艺性状的影响

Tab. 6 Effects of different biochar and rapeseed cake ratios on the agronomic characters of flue-cured tobacco

处理 treatment	株高/cm plant height	有效叶数 effective leaves	茎围/cm stem girth	节距/cm pitch	上部叶 upper leaves		最大叶 the biggest leaves	
					长/cm length	宽/cm width	长/cm length	宽/cm width
CK	123.6 b	16.0 b	10.0 a	6.8 cd	47.1 cd	19.9 b	62.9 a	31.0 b
T1	133.2 a	17.7 a	9.9 a	7.2 ab	50.8 a	22.3 a	63.6 a	33.3 a
T2	116.4 cde	15.3 bc	8.3 cd	6.7 d	47.2 cd	19.8 b	57.7 b	26.0 fg
T3	122.8 bc	15.7 b	8.0 d	7.1 abc	47.8 bc	20.3 b	52.7 c	26.0 fg
T4	121.8 bcd	16.0 b	9.2 b	7.3 a	45.2 cde	18.4 c	62.7 a	27.8 d
T5	113.2 e	15.3 bc	8.2 cd	6.8 cd	44.3 e	17.8 c	50.9 c	25.5 g
T6	116.6 cde	14.7 c	8.7 bc	6.3 e	41.0 f	15.7 d	56.1 b	26.7 ef
T7	119.3 bcde	15.7 b	8.9 b	6.9 bcd	44.6 de	19.9 b	56.6 b	27.6 de
T8	115.5 de	17.0 a	10.4 a	6.0 e	50.3 ab	19.4 b	61.8 a	29.6 c

升;就叶面积而言,也是 T1 和 T8 处理较对照显著增大,其他处理对于烤烟农艺性状则无显著改善。

2.3 生物炭与菜籽饼不同配比对烤烟经济性状的影响

从表 7 可知:生物炭与菜籽饼配施对烤烟经济性状有一定的促进作用。其中,各处理在产量和中上等烟比方面无显著差异。而在均价和产值方面,生物炭与菜籽饼单独增施效果一般,配施则能够产生显著效果。同一生物炭水平下,随着

菜籽饼用量的增加,烤烟均价和产值分别呈现增高趋势。当生物炭施用量为 750 kg/hm²,菜籽饼施用量达到 1 500 kg/hm² 时 T5 处理较对照均价和产值分别增加了 7.61% 和 13.54%;当生物炭施用量为 1 500 kg/hm²,菜籽饼施用量达到 1 500 kg/hm² 时 T8 处理较对照均价和产值分别增加了 4.75% 和 11.04%。说明生物炭与菜籽饼配施可以提高烤烟经济效益,并以 T5 处理 (生物炭 750 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²) 效果最佳。

表 7 生物炭与菜籽饼不同配比对烤烟经济性状的影响

Tab. 7 Effects of different biochar and rapeseed cake ratios on the economic characters of flue-cured tobacco				
处理 treatment	均价/(RMB·kg ⁻¹) average price	产量/(kg·hm ⁻²) yield	产值/(RMB·hm ⁻²) output value	中上等烟比/% proportion of middle-upper tobacco
CK	18.52 b	2 212.45 a	40 972.66 b	86.30 a
T1	18.44 b	2 255.13 a	41 462.77 b	87.40 a
T2	18.72 b	2 223.30 a	41 604.13 b	87.10 a
T3	19.36 ab	2 270.95 a	43 965.13 ab	87.30 a
T4	19.19 ab	2 286.20 a	43 847.07 ab	87.20 a
T5	19.93 a	2 334.11 a	46 518.50 a	91.70 a
T6	18.64 b	2 208.75 a	41 194.11 b	87.40 a
T7	19.34 ab	2 271.77 a	43 924.01 ab	89.30 a
T8	19.40 ab	2 344.35 a	45 494.11 a	90.40 a

2.4 生物炭与菜籽饼不同配比对烤烟烤后化学成分的影响

由表 8、9 可知:生物炭和菜籽饼配施对烤烟烤后化学成分均有显著影响。其中,烟碱含量 T2、T5 和 T8 处理在最适范围内,评 100 分;总氮含量 T5、T6、T7 和 T8 处理在最适范围内;还原糖含量各处理较对照均有显著增加,评分在

90~100 分不等;钾含量除对照外各处理评分均在 80~90 分,并以 T5 处理表现最优;淀粉含量各处理评分均为 100 分;糖碱比各处理较对照均有明显提升,尤以 T4 和 T6 处理在最适范围内,评 100 分;氮碱比以 T8 处理表现最好,T5 处理次之,评分在 90~100 分。综合各项化学指标,各处理中以 T5 处理的烤后化学成分更为协调。

表 8 烤烟化学成分指标赋值方法^[20]

Tab. 8 The methods of evaluation of the chemical compositions of flue-cured tobacco						
指标 index	100	<100~90	<90~80	<80~70	<70~60	<60
烟碱含量/% nicotine content	2.20~2.80	<2.20~2.00	<2.00~1.80	<1.80~1.70	<1.70~1.60	<1.60
		>2.80~2.90	>2.90~3.00	>3.00~3.10	>3.10~3.20	>3.20
总氮含量/% total nitrogen content	2.00~2.50	>2.50~2.60	>2.60~2.70	>2.70~2.80	>2.80~2.90	>2.90
		<2.00~1.90	<1.90~1.80	<1.80~1.70	<1.70~1.60	<1.60
还原糖含量/% reducing sugar content	18.00~22.00	<18.00~16.00	<16.00~14.00	<14.00~13.00	<13.00~12.00	<12.00
		>22.00~24.00	>24.00~26.00	>26.00~27.00	>27.00~28.00	>28.00
钾含量/% potassium content	≥2.50	<2.50~2.00	<2.00~1.50	<1.50~1.20	<1.20~1.00	<1.00
淀粉含量/% starch content	≤3.5	>3.50~4.50	>4.50~5.00	>5.00~5.50	>5.50~6.00	>6.00
糖碱比 ratio of sugar to nicotine	8.50~9.50	<8.50~7.00	<7.00~6.00	<13.00~14.00	<5.50~5.00	<5.00
		>9.50~12.00	>12.00~13.00	>0.70~0.65	>14.00~15.00	>15.00
氮碱比 ratio of nitrogen to nicotine	0.95~1.05	<0.95~0.80	<0.80~0.70	<1.30~1.35	<0.65~0.60	<0.60
		>1.05~1.20	>1.20~1.30	>5.00~4.50	>1.35~1.40	>1.40

表 9 生物炭与菜籽饼不同配比对烤烟烤后化学成分的影响

Tab. 9 Effects of different biochar and rapeseed cake ratios on the chemical compositionsof flue-cured tobacco after curing

处理 treatment	含量/%					糖碱比 ratio of sugar to nicotine	氮碱比 ratio of nitrogen to nicotine
	烟碱 nicotine	总氮 total nitrogen	还原糖 reducing sugar	钾 potassium	淀粉 starch		
CK	3.36 ab	1.77 d	15.87 f	1.48 g	3.41 a	6.71 e	0.53 f
T1	3.50 a	1.79 d	17.20 de	1.54 fg	3.23 ab	7.39 de	0.51 f
T2	2.62 d	1.83 cd	18.31 cd	1.61 de	3.21 b	10.56 ab	0.70 cd
T3	3.39 ab	1.82 d	16.30 ef	1.56 ef	3.26 ab	8.32 c	0.54 f
T4	3.34 ab	1.92 c	22.59 a	1.79 c	2.87 d	8.58 c	0.57 ef
T5	2.53 d	2.13 b	23.01 a	1.96 a	2.46 e	11.36 a	0.84 b
T6	3.24 bc	2.07 b	21.27 b	1.87 b	3.01 cd	8.63 c	0.64 de
T7	3.05 c	2.35 a	17.12 de	1.74 c	3.31 ab	8.23 cd	0.77 bc
T8	2.49 d	2.43 a	18.48 c	1.65 d	3.13 bc	9.96 b	0.98 a

3 讨论

生物炭具有良好的物理性质和养分调控功能，施入土壤可显著促进种子萌发和植物根系生长，从而提高作物生产力及作物产量^[21]。有研究结果表明^[10, 22-23]：如果生物炭与其他有机或无机肥料配合施用，作物增产效果更佳。本试验结果表明：生物炭与菜籽饼配施对土壤速效养分的提升效果优于单施菜籽饼或生物炭，而单独增施菜籽饼的作用效果则优于单施生物炭。其可能的原因是生物炭本身矿质养分含量较低，能够直接提供的养分有限^[23]，而菜籽饼富含有机成分且易于腐解，能释放大量的养分，适宜的生物炭与菜籽饼比例能够有效吸附释放的养分使其不至于淋失，从而提高土壤矿质营养含量培肥土壤^[11-13]。以上结论均与本研究结果相符。生物炭与菜籽饼配施可以改善土壤矿质营养的供应能力，增加土壤矿质元素的有效性。

生物炭和菜籽饼配施对烤烟农艺性状的改善效果并不明显，但可以提高烤烟产质量，使经济效益显著提升。彭艳等^[24]研究表明：腐熟菜籽饼肥与烟草专用肥配施有利于烤烟干物质积累，使烤烟增产 19.37%。刘雪琴等^[25]研究表明：配施有机肥能够提高上中等烟叶比例，提高烤烟的产量和产值。徐健钦等^[6]研究表明：有机类肥料与化肥配施后使植烟土壤的养分趋于协调，促进了烤烟的生长发育，降低了病害的发生，从而增加了烤烟的产量、产值。以上结论与本试验结果一致，生物炭和菜籽饼配施对提高烤烟经济效益有显著促进作用，同一生物炭水平下，随着菜籽饼用量在一定范围内的增加，烤烟产值呈现增高趋

势，这与刘泳乐等^[11]和谭本奎等^[26]的结论相符。本试验结果中以 T5 处理 (生物炭 750 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²) 对烤烟经济效益的提升最为显著。

烤烟中总氮和烟碱含量主要影响烤烟抽吸时的刺激性和劲头，钾是烤烟的重要品质指标，影响烤烟的燃烧性、吃味和品质。可溶性总糖和还原糖含量是影响烟气醇和度和吃味的重要因素，也是形成香气物质的重要前体物^[27]。介晓磊等^[28]研究表明：有机肥与化肥配施能够极显著提高烤烟烟叶中的钾含量，还可以有效降低烤烟烟叶中烟碱含量。刘新源等^[29]研究表明：适宜用量的生物炭能有效提高烟叶总糖及还原糖含量。赵殿峰等^[30]研究表明：施用适宜量的生物炭不但能够促进烤烟生长，而且能提高烟叶内在化学成分的协调性，改善烟叶品质。烟叶的化学成分比较复杂，任何一种化学指标都不会全面的表达或反映烟叶的质量，只有当化学成分协调的时候，烟叶的吃味才会达到较优的水平。本研究中以 T5 处理 (生物炭 750 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm²) 的烤后化学成分最为协调。

4 结论

本研究在当地常规施肥的基础上，增施不同配比的生物炭和菜籽饼，以主栽品种 YN 99 烤烟进行了小区试验，结果表明：生物炭和菜籽饼配施可以有效提高土壤速效养分含量，增加烤烟经济效益，提高烟叶内在化学成分的协调性，改善烟叶品质。综合分析，在陕南洛南烟区，生物炭 750 kg/hm²+菜籽饼 1 500 kg/hm² 组合的处理表现最佳，具有良好的推广潜力，可为陕南烟区有机肥施用提供参考。

[参考文献]

- [1] 黄新杰. 植物生长调节物质对烤烟烟碱及主要品质性状的调控研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- [2] 王健强. 陕西主要烤烟产区烟叶质量特征研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [3] 彭智良, 黄元炯, 刘国顺, 等. 不同有机肥对烟田土壤微生物以及烟叶品质和产量的影响[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(2): 41.
- [4] 叶协锋, 杨超, 李正, 等. 绿肥对植烟土壤酶活性及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 445. DOI: 10.11674/zwyf.2013.0222.
- [5] 化党领, 杨秋云, 王镇, 等. 施用生物有机肥对烤烟生长及香气物质含量的影响[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(1): 62. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5708.2011.01.012.
- [6] 徐健钦, 徐智, 宋建群, 等. 不同有机肥对烤烟生长发育、产质量及青枯病的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2013, 28(1): 118. DOI: 10.3969/j.issn.1004-390X(n).2013.01.021.
- [7] 邱敬, 高人, 杨玉盛, 等. 土壤黑碳的研究进展[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(1): 88. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7105.2009.01.012.
- [8] STEINER C, TEIXEIRA W G, LEHMANN J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil[J]. Plant and Soil, 2007, 291(1/2): 275. DOI: 10.1007/s11104-007-9193-9.
- [9] OGAWA M, OKIMORI Y. Pioneering works in biochar research, Japan[J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48: 489. DOI: 10.1071/SR10006.
- [10] LEHMANN J, PEREIRA DA SILVA J J, STEINER C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments[J]. Plant and Soil, 2003, 249(2): 343. DOI: 10.1023/A:1022833116184.
- [11] 刘泳乐, 刘建丰. 菜籽饼肥对邵阳烟叶品质及经济效益分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(4): 215. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6850.2012.04.039.
- [12] 王毅, 瞿兴, 杨跃, 等. 菜籽饼肥与化肥配合施用对烤烟生长及土壤养分的影响[J]. 华中农业大学学报, 2006, 25(1): 50. DOI: 10.3321/j.issn:1000-2421.2006.01.013.
- [13] 朱经伟, 彭友, 李志宏, 等. 配施菜籽饼对贵州省烟叶氮素和烟碱累积的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(02): 120.
- [14] 徐洪志, 曾川, 张大琼, 等. 菜籽饼的利用与研究进展[J]. 耕作与栽培, 2007(1): 37. DOI: 10.3969/j.issn.1008-2239.2007.01.021.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 国家烟草专卖局. YC/T 142—2010: 烟草农艺性状调查方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [17] 张喜峰, 张立新, 高梅, 等. 不同移栽期对陕南烤烟氮钾含量、光合特性及经济性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(4): 20. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.04.005.
- [18] 张喜峰, 张立新, 高梅, 等. 不同氮肥形态和腐殖酸对陕西典型生态区烤烟化学成分和产质量的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(6): 60.
- [19] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 250.
- [20] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 3.
- [21] BRODOWSKI S, AMELUNG W, HAUMAIER L, et al. Morphological and chemical properties of black carbon in physical soil fractions as revealed by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy[J]. Geoderma, 2005, 128(1/2): 116. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.12.019.
- [22] GLASER B, LEHMANN J, ZECH W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with char-coals: a review[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 219. DOI: 10.1007/s00374-002-0466-4.
- [23] 陈温福, 张伟明, 孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学, 2013, 46(16): 3324. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2013.16.003.
- [24] 彭艳, 周冀衡, 杨虹琦, 等. 烟草专用肥与不同有机肥配施对烤烟生长及主要化学成分的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34(2): 159.
- [25] 刘雪琴, 全瑞建, 石孝均. 不同有机氮用量对烤烟生长、产量和品质的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(8): 69. DOI: 10.3969/j.issn.1004-874X.2013.08.021.
- [26] 谭本奎, 董贤春, 秦铁伟, 等. 饼肥不同施用量对烤烟生长及主要化学成分的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 30: 16891. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2010.30.070.
- [27] 李海江, 郭桥燕, 邢雁, 等. 配施不同种类有机肥对平顶山烤烟化学成分及中性致香成分的影响[J]. 安徽农业科学, 2014(32): 11311. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2014.32.030.
- [28] 介晓磊, 王镇, 化党领, 等. 生物有机肥对土壤氮磷钾及烟叶品质成分的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 109.
- [29] 刘新源, 刘国顺, 刘宏恩, 等. 生物炭施用量对烟叶生长、产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2014, 43(2): 58. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3268.2014.02.014.
- [30] 赵殿峰, 徐静, 罗璇, 等. 生物炭对土壤养分、烤烟生长以及烟叶化学成分的影响[J]. 西北农业学报, 2014(3): 85. DOI: 10.7606/j.issn.1004-1389.2014.11.015.

责任编辑: 何承刚