

DOI:10.11766/trxb201806060133

炭基肥对植烟黄壤性状和烤烟养分积累、产量及品质的影响*

陈 懿¹ 林英超¹ 黄化刚² 林叶春¹ 高维常¹ 潘文杰^{1†}

(1 贵州省烟草科学研究院, 贵阳 550081)

(2 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州毕节 551700)

摘 要 针对贵州植烟黄壤酸化、水肥流失、瘠薄以及烤烟养分吸收和产量偏低等问题。以我国主要烤烟品种云烟87和贵州黄壤为供试材料, 通过大田试验, 设置不施肥(NF)、常规肥(CF, 条施酒糟有机肥和烤烟专用基肥, 穴施烤烟专用追肥)和炭基肥(BF, 条施炭基酒糟有机肥和炭基复混肥, 穴施烤烟专用追肥)3个处理, 研究炭基肥对植烟黄壤的化学性质、微生物数量、酶活性和烤烟养分积累、产量、挥发性香气物质、化学成分的影响, 以期为推动炭基肥在贵州植烟黄壤保育、烤烟养分和品质调控上的应用提供科学指导。结果表明: 与常规肥(CF)比较, 施用炭基肥(BF)可以显著提升土壤pH、有效磷和速效钾含量; 显著增加土壤细菌、放线菌和真菌数量; 提高土壤脲酶和过氧化氢酶活性, 其中过氧化氢酶活性增幅显著, 达10.6%; 提高肥料农学利用率; 提高烤烟氮、磷、钾积累量和产量、烟叶挥发性香气物质总含量; 显著增加烟叶类胡萝卜素含量。上述结果表明炭基肥可以保育植烟黄壤, 提升烤烟养分积累和调控烟叶香气, 可在贵州及我国西南类似烟区推广应用。

关键词 烤烟; 炭基肥; 黄壤; 养分积累; 产量; 品质

中图分类号 S15、S572 **文献标识码** A

我国是世界第一烟草生产大国, 常年烟叶种植约在100万hm², 烤烟种植面积占95%以上, 如何科学施肥、培肥烟田土壤以进一步提升烤烟品质一直是我国烟草行业研究的主题之一。

生物炭在改善土壤理化性状, 调控土壤微生物数量及群落结构组成, 削控土壤污染, 提升作物产量和质量等方面的效果已得到广泛认可^[1-3]。生物炭在我国烤烟种植上也得到了较为广泛的研究和应用, 已有研究表明, 生物炭提高土壤含水量, 增加土壤孔隙度, 提高土壤阳离子交换量(CEC)、总有机碳含量和养分有效性, 降低土壤可溶性有机碳

含量, 增加根际土细菌丰富度和多样性, 改变根际土壤细菌群落结构组成, 降低烟草青枯病发病率, 提高烤烟叶片水势、根系体积和干质量, 提升烤烟产量和品质^[4-8]。

近年来, 为可持续保育农田、平衡作物生长所需养分以及解决生物炭在运输和施用上不便的问题, 将生物炭作为肥料载体制成炭基肥加以应用备受关注, 更有利于形成产业化, 其农用效果更好, 应用前景更为广阔^[9-11], 符合国家提出化肥“零增加”的发展方向。炭基肥在烟草行业引起了高度关注并得到了一定的应用, 并也表现出了积极的改土、增产和

* 国家自然科学基金项目(31601273)、贵州省烟草公司科技项目(201614)和贵州省烟草公司毕节市公司科技项目(201652050024139)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 31601273), the Science and Technology Program of Guizhou Tobacco Company (No. 201614) and the Science and Technology Program of Bijie Tobacco Company of Guizhou Province (No. 201652050024139)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wenjiepan@163.com

作者简介: 陈 懿 (1982—), 男, 四川威远人, 硕士, 主要从事烤烟栽培与生理生态研究。Email: 59012819@qq.com

收稿日期: 2018-06-06; 收到修改稿日期: 2018-09-17; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2018-11-02

提质效果^[12-13]。但炭基肥在烤烟种植上的应用研究集中在我国的山东和河南烟区,而在我国烤烟主产区(西南烟区)的研究报道甚少。贵州是我国第二大烤烟种植区,常年烤烟种植面积约占全国15%,其主要植烟土壤为有别于其他烟区土壤的黄壤(铝质常湿淋溶土和锥形土),贵州喀斯特地区的岩溶地质构造特征和长期淋溶作用,烟农不重视肥力培育,偏重施用单一化肥,烤烟连作较普遍,植烟黄壤呈现酸化、水肥流失、瘠薄、板结等问题,导致烤烟养分吸收、产量和肥料利用率偏低,品质不稳定,制约贵州烤烟优质生产^[14-15]。为此,针对以上问题,本研究选择贵州植烟黄壤,通过大田试验,设置不同施肥处理,探究炭基肥对土壤化学性质、微生物数量、酶活性和烤烟养分积累、产量、挥发性香气物质、化学成分的影响,旨在促进炭基肥在贵州植烟黄壤乃至我国西南地区植烟土壤保育、烤烟养分和品质调控上的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大田试验安排在贵州省烟草科学研究所的龙岗基地(26° 52' N, 107° 5' E)进行,该基地海拔1 120 m,年均气温约16 °C,降雨量约1 185 mm,无霜期约277 d,土壤为黄壤(铝质常湿淋溶土),基本化学性质为pH 7.1,有机碳26.9 g·kg⁻¹,碱解氮132.0 mg·kg⁻¹,有效磷26.1 mg·kg⁻¹,速效钾288.5 mg·kg⁻¹。

1.2 试验材料

大田试验于2016年进行,供试烤烟品种为我国目前主要品种云烟87。供试肥料包括:烤烟专用基肥(N:P₂O₅:K₂O=9:13:22),烤烟专用追肥(N:P₂O₅:K₂O=12:0:24),炭基复混肥(N:P₂O₅:K₂O=9:11:18,采用玉米秸秆炭和烤烟专用基础肥复混圆盘造粒制成),以上肥料由毕节灵丰复肥有限公司加工制成;酒糟有机肥(N 2%、P₂O₅ 0.6%、K₂O 0.5%)、炭基酒糟有机肥(N 2%、P₂O₅ 0.4%、K₂O 0.9%,采用玉米秸秆炭和酒糟有机肥复混制成),以上肥料由金沙增孟专业合作社加工制成。

1.3 试验设计

采用小区试验,每个小区面积为36.3 m²,随机区组排列,烤烟移栽的株行距为1.1 m × 0.55 m,

每个小区植烟60株。

设置3个施肥处理:(1)不施肥(NF);(2)常规肥(CF)(条施酒糟有机肥、烤烟专用基肥,穴施烤烟专用追肥);(3)炭基肥(BF)(条施炭基酒糟有机肥、炭基复混肥,穴施烤烟专用追肥)。每个处理设置3个重复。

施肥方法为:基肥在起垄前条施,其中烤烟专用基肥、炭基复混肥用量为600 kg·hm⁻²,酒糟有机肥、炭基酒糟有机肥用量为750 kg·hm⁻²,炭基肥处理分别用过磷酸钙和硫酸钾补足P₂O₅和K₂O。填窖时穴施烤烟专用追肥,用量为150 kg·hm⁻²。烤烟生产其他措施均按当地优质烟叶生产规范进行操作。

1.4 土壤性状与烤烟品质分析

烤烟栽后50 d(旺长期),利用抖土法采集根际土样,放入无菌自封袋,一部分放入冰箱4 °C冷藏,稀释平板涂抹培养计数法测定土壤细菌、放线菌和真菌数量,采用的培养基分别是牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、高氏1号培养基和马丁氏培养基。另外一部分自然风干保存,采用靛酚比色法测定土壤脲酶活性,采用紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性。烤烟采收结束后,用对角线5点取样法采集0~20 cm耕层土样,去杂、充分混匀,自然风干、研磨过筛,采用常规方法测定土壤pH、有机碳、碱解氮、有效磷和速效钾含量^[16]。

烤烟栽后50 d,采集第10叶位鲜烟叶样品,用于质体色素含量测定(95%乙醇提取,采用分光光度法)。采集C3F等级初烤烟叶样品,采用顶空固相微萃取结合全二维气相飞行时间质谱测定挥发性香气物质含量^[17]。采集C3F和B2F等级初烤烟叶样品,采用连续流动法进行化学成分含量测定^[18]。

1.5 统计与分析

烤烟养分积累量统计:烟叶于成熟采收前一天取样,105 °C杀青,60 °C烘干后称重保存。烟叶采收结束后,采集茎和根,杀青烘干称重保存。分器官粉碎过筛,检测全氮、全磷、全钾含量,采用凯氏定氮法测定全氮,采用钼钒黄比色法测定全磷,采用火焰光度法测定全钾,方法参见文献^[19]。统计烤烟养分积累量。

各小区烟叶成熟采收,按照国家标准《GB2635-1992烤烟》^[20]分级测产,计算不同肥料养分农学利用率,肥料养分农学利用率=(施肥区烟叶产量-无肥区烟叶产量)/肥料养分用量。

采用Systat Sigmaplot 10.0进行制图,利用

IBM SPSS Statistics 20.0进行单因素方差分析, 多重比较采用Duncan法。

2 结 果

2.1 不同施肥处理对土壤化学性质的影响

由表1可看出, 各处理之间土壤碱解氮和有

机碳含量依次为炭基肥>常规肥>不施肥, 差异不显著。各处理之间土壤pH、有效磷和速效钾含量依次为炭基肥>不施肥>常规肥, 炭基肥处理显著高于常规肥处理, 土壤pH提高0.22个单位, 有效磷和速效钾含量增幅分别为30.2%和6.4%。说明炭基肥可明显提升土壤pH、有效磷含量和速效钾含量。

表1 不同施肥处理下土壤化学性质

Table 1 Chemical properties of the tested soil relative to different fertilization treatment

处理 Treatment	pH	有机碳 Organic C / (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline N / (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P / (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K / (mg·kg ⁻¹)
NF	7.63 ± 0.03ab	26.42 ± 0.79a	110.74 ± 2.97a	17.13 ± 0.84b	342.83 ± 2.28b
CF	7.53 ± 0.15b	26.68 ± 0.01a	111.19 ± 1.27a	15.86 ± 0.72b	330.40 ± 1.45c
BF	7.75 ± 0.02a	27.58 ± 0.37a	116.08 ± 1.45a	20.65 ± 0.48a	351.39 ± 3.55a

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同 Note: Different lowercase letters in the same column mean significant difference between treatments at 0.05 level. The same below

2.2 不同施肥处理对土壤微生物数量与酶活性的影响

由表2可见, 不同施肥处理土壤细菌数量、放线菌数量和真菌数量均呈现为炭基肥>常规肥>不施肥。炭基肥处理土壤细菌数量为常规肥处

理的1.56倍, 不同处理之间差异显著。炭基肥处理土壤放线菌数量和真菌数量分别为常规肥处理的1.57倍和1.45倍, 差异显著。上述数据表明, 施用炭基肥显著增加土壤细菌、放线菌、真菌数量。

表2 不同施肥处理下土壤微生物数量

Table 2 Microbe populations in the soil relative to different fertilization treatment

处理 Treatment	细菌 Bacteria/ (× 10 ⁵ cfu·g ⁻¹)	放线菌 Actinomycetes/ (× 10 ⁴ cfu·g ⁻¹)	真菌 Fungi/ (× 10 ⁴ cfu·g ⁻¹)
NF	87.67 ± 3.51c	4.67 ± 1.53b	5.33 ± 1.53b
CF	99.33 ± 4.62b	7.00 ± 2.00b	6.67 ± 1.53b
BF	154.67 ± 6.51a	11.00 ± 2.00a	9.67 ± 1.16a

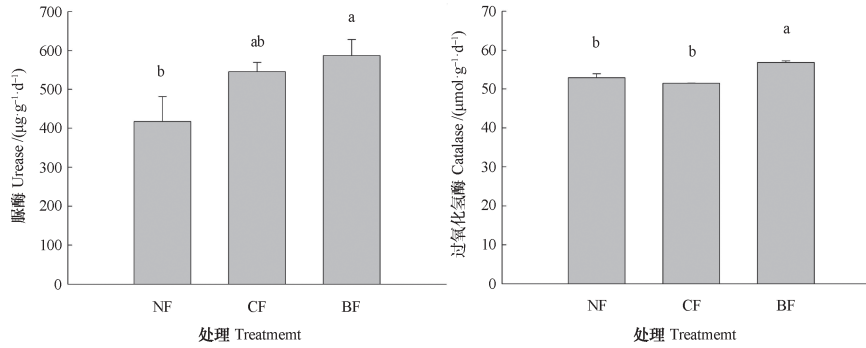
土壤酶活性在一定程度上反映了微生物活性及其在土壤养分循环过程中的作用^[21]。如图1所示, 土壤脲酶活性趋势是炭基肥处理最高, 常规肥处理居中, 不施肥处理最低, 炭基肥处理显著高于不施肥处理。与常规肥处理相比, 炭基肥处理土壤脲酶活性提高7.8%。炭基肥处理土壤过氧化氢酶活性最高, 较不施肥处理和常规肥处理分别提高7.6%和10.6%, 均达0.05显著水平。

2.3 不同施肥处理对烤烟养分积累、产量与肥料农学利用率的影响

各处理烤烟氮、磷、钾养分积累量趋势相同

(见表3), 大小依次为炭基肥>常规肥>不施肥。炭基肥处理和常规肥处理烤烟氮积累量显著高于不施肥处理, 炭基肥处理为常规肥处理的1.11倍。炭基肥处理烤烟磷积累量显著高于不施肥处理, 为常规肥处理的1.30倍。炭基肥处理和常规肥处理的烤烟钾积累量显著高于不施肥处理, 炭基肥处理为常规肥处理的1.13倍。表明施用炭基肥促进烤烟养分吸收积累。

不同施肥处理对烤烟产量和产值具有显著影响(表4)。炭基肥处理和常规肥处理烤烟产量显著高于不施肥处理, 炭基肥处理较常规肥处理提高



注：图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)，下同 Note: Different lowercase letters in the figure mean significant difference between treatments at 0.05 level. The same below

图1 不同施肥处理下土壤脲酶和过氧化氢酶活性

Fig. 1 Activities of soil urease and catalase in the soil relative to different fertilization treatment

表3 不同施肥处理下烤烟养分积累量

Table 3 Nutrient accumulation of the flue-cured tobacco relative to different fertilization treatment

处理 Treatment	养分积累量 Nutrient accumulation / (g·plant ⁻¹)		
	N	P	K
NF	2.95 ± 0.51b	0.29 ± 0.09b	2.91 ± 0.38b
CF	4.70 ± 0.64a	0.43 ± 0.05ab	5.20 ± 1.04a
BF	5.22 ± 0.36a	0.56 ± 0.01a	5.87 ± 0.38a

1.6%。炭基肥处理烤烟产值最大，较不施肥处理和常规肥处理分别提高59.5和5.3%，处理间差异均达0.05显著水平。与常规肥处理相比，炭基肥处理肥料

农学利用率提高。两种肥料磷农学利用率最高，氮农学利用率居中，钾农学利用率最低。表明炭基肥对烤烟的增产效果和肥料农学利用率优于常规肥。

表4 不同施肥处理下烤烟产量、产值和肥料农学利用率

Table 4 Yield,output value of the flue-cured tobacco and the fertilizer agronomic efficiencies relative to different fertilization treatment

处理 Treatment	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	产值 Output value/ (yuan·hm ⁻²)	肥料农学利用率 Fertilizer agronomic efficiency / (kg·kg ⁻¹)		
			N	P	K
			NF	1568.78 ± 60.81b	26420.02 ± 725.88c
CF	2108.52 ± 37.08a	40030.49 ± 445.32b	6.20 ± 0.30	14.99 ± 0.73	3.79 ± 0.18
BF	2141.52 ± 68.01a	42134.37 ± 1046.01a	6.58 ± 0.84	15.91 ± 2.03	4.02 ± 0.51

2.4 不同施肥处理对烤烟品质的影响

质体色素是烟叶重要的香气前体物，在烟叶成熟、调制、醇化和燃烧过程中可逐渐降解代谢形成多种香气化合物，影响烟叶香气特征^[22]。如图2所示，烟叶叶绿素含量高低依次为炭基肥处理>常规肥处理>不施肥处理，炭基肥处理和常规肥处理显著高于不施肥处理，炭基肥处理较常规肥处理提高12.0%。炭基肥处理烟叶类胡萝卜素含量较不施

肥处理和常规肥处理分别提高53.2%和20.5%，各处理间差异显著。

初烤烟叶挥发性香气物质含量及其构成对烤烟香气风格特征具有重要影响^[23]。从表5可以看出，各处理烟叶叶绿素、类胡萝卜素、美拉德反应降解产物含量及挥发性香气物质总含量依次为炭基肥>常规肥>不施肥，其中炭基肥处理和常规肥处理烟叶叶绿素、类胡萝卜素降解产物含量及挥发性

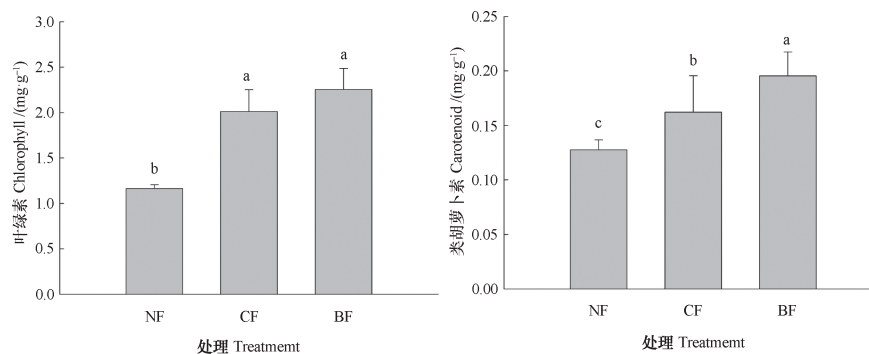


图2 不同施肥处理下烟叶质体色素含量

Fig. 2 Plastid pigment contents in the tobacco leaves relative to fertilization treatment

香气物质总含量显著高于不施肥处理，炭基肥处理烟叶美拉德反应降解产物含量显著高于不施肥处理。炭基肥处理烟叶挥发性香气物质总含量较不施肥处理和常规肥处理分别提升31.1%和1.2%。苯丙氨酸降解产物含量依次为不施肥>炭基肥>常规肥。类西柏烷类降解产物含量依次为不施肥>常

规肥>炭基肥，炭基肥处理较不施肥处理显著下降18.9%。生物碱类香气物质含量依次为常规肥>炭基肥>不施肥，处理间差异显著，与常规肥处理比较，炭基肥处理和不施肥处理分别下降8.3%和45.4%。

表5 不同施肥处理下初烤烟叶挥发性香气物质含量

Table 5 Contents of volatile aroma components in the flue-cured tobacco leaves relative to different fertilization treatments / (ng·g⁻¹)

初烤烟叶挥发性香气物质含量 Contents of volatile aroma components in flue-cured tobacco leaves	NF	CF	BF
叶绿素降解产物含量 Chlorophyll degradation products content	1487.38 ± 23.66b	1853.71 ± 121.24a	2103.33 ± 101.83a
类胡萝卜素降解产物含量 Carotenoid degradation products content	761.79 ± 25.01b	912.77 ± 17.35a	916.94 ± 33.03a
美拉德反应降解产物含量 Maillard reaction degradation products content	782.85 ± 57.70b	806.40 ± 16.26ab	941.90 ± 44.42a
苯丙氨酸降解产物含量 Phenylalanine degradation products content	2031.74 ± 62.16a	1875.80 ± 67.95a	2011.75 ± 72.00a
类西柏烷类降解产物含量 Cembranoids degradation products content	756.39 ± 6.59a	680.85 ± 3.72ab	613.08 ± 67.25b
生物碱类香气物质含量 Alkaloids aroma components content	3754.50 ± 158.65c	6871.79 ± 158.52a	6298.68 ± 22.27b
其他类香气物质含量 Other types aroma components content	1520.49 ± 167.67a	1369.49 ± 168.90a	1660.91 ± 88.80a
挥发性香气物质总含量 Total content of volatile aroma components	11095.12 ± 73.61b	14370.81 ± 553.94a	14546.60 ± 296.22a

注：同行不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Note: Different lowercase letters in the same line mean significant difference between treatments at 0.05 level

我国优质烟叶总氮、烟碱、还原糖、氯、糖 碱比适宜范围大致分别为15 g·kg⁻¹ ~ 40 g·kg⁻¹、

13 g·kg⁻¹ ~ 35 g·kg⁻¹、180 g·kg⁻¹ ~ 220 g·kg⁻¹、2 g·kg⁻¹ ~ 6 g·kg⁻¹、和8 ~ 12^[24]。烟叶化学成分结果见表6。与不施肥处理比较, 施肥处理烟叶总氮和烟碱含量升高、糖碱比减小。较之常

规肥处理, 炭基肥处理烟叶总糖和还原糖含量降低、总氮和烟碱含量升高、糖碱比减小。炭基肥处理烟叶化学成分含量相对适宜, 协调性较好。

表6 不同施肥处理下初烤烟叶化学成分

Table 6 Chemical components of the flue-cured tobacco leaves relative to different fertilization treatment

等级 Grade	处理 Treatment	总糖 Total sugar (g·kg ⁻¹)	还原糖 Reducing sugar (g·kg ⁻¹)	总氮 Total N (g·kg ⁻¹)	烟碱 Nicotine (g·kg ⁻¹)	钾 K (g·kg ⁻¹)	氯 Cl (g·kg ⁻¹)	糖碱比 Sugar/nicotine
C3F	NF	339.80	288.60	12.10	18.97	13.28	0.66	15.21
	CF	334.76	277.42	14.20	22.48	13.32	0.80	12.34
	BF	315.07	253.84	16.70	26.34	13.82	0.93	9.64
B2F	NF	231.83	214.46	19.80	31.08	12.43	3.32	6.90
	CF	235.25	219.08	20.80	32.20	10.43	2.71	6.80
	BF	238.80	215.30	21.30	34.20	11.00	2.70	6.30

3 讨论

3.1 炭基肥对植烟黄壤化学性质、微生物数量与酶活性的影响

据刘小虎等^[25]研究报道, 炭基缓释花生专用肥施入后土壤中速效氮磷钾含量明显高于施用普通的氮磷钾肥。李江舟等^[26]认为施用生物炭能有效减少植烟土壤硝态氮和磷素的淋溶损失。潘复燕等^[27]研究发现, 化肥配施生物炭和硝化抑制剂, 整个麦季通过径流和渗漏损失的氮磷分别减少68.8%和26.1%。本研究结果表明, 施用炭基肥明显提升土壤pH、有效磷含量和速效钾含量。生物炭含有K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等盐基离子, 进入土壤以后会一定程度的释放, 交换土壤中的H⁺和Al³⁺, 从而降低其浓度, 调节土壤pH。生物炭对肥料养分具有吸持效应, 增强了土壤对外源养分更多的截获, 减少养分淋洗。因此, 炭基复混肥配合炭基有机肥(炭基肥)施用可治理植烟黄壤酸化, 提升植烟黄壤保肥能力。

陈伟等^[28]研究认为, 生物炭与生物有机肥联合处理增加了土壤可培养微生物数量, 增加了微生物对碳源的利用能力。Doan等^[29]在施用化学肥料和生物有机肥的土壤中添加生物炭, 发现土壤细菌数量、群落结构多样性(Shannon)指数和丰富度指数均显著增加。本研究结论类似, 炭基肥

显著增加土壤细菌、放线菌及真菌数量。炭基肥以生物炭为肥料载体, 通过生物炭、肥料实现与土壤微生物的交互作用, 生物炭多微孔结构为微生物提供了繁殖环境, 比表面积较大, 表面具有丰富的官能团, 可将肥料中养分吸附在其表面, 为微生物提供易矿化的有机碳氮及速效氮, 进而促进微生物繁殖。赵军等^[10]研究报道, FY(化学反应型生物炭基氮肥)、XF(固-液吸附型生物炭基氮肥)、CH(掺混型生物炭基氮肥)处理土壤脲酶活性显著高于AN(硝酸铵氮肥)和CK(不施氮肥)处理; 土壤过氧化氢酶活性的影响效应为FY>AN>XF>CH>CK。本研究表明, 炭基肥处理土壤脲酶活性最高, 常规肥处理居中, 不施肥处理最低, 炭基肥处理与不施肥处理差异显著; 炭基肥处理土壤过氧化氢酶活性显著高于不施肥处理和常规肥处理。施用炭基肥提高土壤脲酶和氧化氢酶活性, 原因可能是炭基肥为土壤微生物提供了充足的碳氮源, 同时改善了土壤微生态环境(水分和通气状况), 有利于土壤动物和微生物生长, 肥料或土壤有机物分解加快, 提供了更多土壤酶促反应底物。与赵军研究结果略有差异, 可能因为肥料综合性质(pH、有机质含量、生物炭种类等)略有不同, 对酶促反应底物含量的影响不同。可见, 炭基复混肥配合炭基有机肥(炭基肥)施用可提升植烟黄壤生物活性。

3.2 炭基肥对烤烟养分积累、产量、品质及肥料农学利用率的影响

生物炭吸附的氮素在作物生长过程中可缓慢释放^[30]。代银分等^[31]通过添加生物炭对土壤磷吸附解析的影响研究中发现,随着秸秆生物炭与土壤配比的增加,其对磷的吸附性逐渐增强;秸秆生物炭添加对土壤磷的解吸能力没有明显影响。生物炭与化学肥料互作明显提高大豆单株氮、磷积累量^[32]。高海英等^[9]认为,施用竹炭基氮肥和木炭基氮肥显著促进小麦、糜子生长和增产,并提高氮肥利用率。本研究发现,施用炭基肥提高烤烟氮、磷、钾养分积累量,提高烤烟产量和肥料农学利用率。原因可能是炭基肥中生物炭对养分离子的物理吸附,减少了肥料养分淋洗损失,不影响养分适时释放,良好的微生物响应催化了土壤的生化反应,增加烤烟养分吸收积累。炭基复混肥配合炭基有机肥(炭基肥)施用可提高烤烟养分积累、产量和肥料农学利用率。

本研究表明,施用炭基肥提高烟叶质体色素含量,其中类胡萝卜素影响显著。可能与生物炭改善土壤水、气环境,促进根系生理代谢^[33],延缓烟叶衰老,质体色素代谢相关基因表达相对较强^[34]有关。本研究结果表明,施用炭基肥提升烟叶叶绿素、类胡萝卜素、美拉德反应降解产物含量及挥发性香气物质总含量,炭基肥处理烟叶挥发性香气物质总含量较不施肥处理和常规肥处理分别提升31.1%、1.2%。各处理烟叶生物碱类香气物质含量依次为常规肥>炭基肥>不施肥,处理间差异显著。炭基肥对烟叶挥发性香气物质含量及其构成的影响,可以通过调控土壤养分吸附和转化、烤烟根系吸收、烟叶香气前体物积累实现。邓小华等^[35]研究认为,对于烟叶二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮、 β -紫罗兰酮、糠醛等中性挥发性香气物含量影响的前3个主要土壤因子为速效钾、有效磷和pH。其中二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮、 β -紫罗兰酮为烟叶类胡萝卜素降解产物,糠醛为烟叶美拉德反应降解产物。薛超群等^[36]研究报道,随着生物炭用量的增加,烟叶美拉德反应产物含量升高,类胡萝卜素降解产物含量、总香味物质含量先升后降。本研究发现,较之常规肥处理,炭基肥处理烟叶总糖和还原糖含量降低、总氮和烟碱含量升高、糖碱比减小。炭基复混肥配合炭基有机肥(炭

基肥)施用可提升烟叶品质。

需要指出的是,本研究仅是大田试验第一年结果的总结,也初步表明了炭基肥应用的积极效果和前景,下一步将继续进行大田试验,进一步丰富和验证炭基肥的施用效果。

4 结 论

本研究初步揭示了炭基肥在贵州植烟黄壤上应用的良好效果,与常规肥比较,可显著提升土壤pH、有效磷和速效钾含量,显著增加土壤细菌、放线菌和真菌数量,提高土壤脲酶和过氧化氢酶活性,提高烤烟养分积累、烤烟产量和肥料农学利用率,显著提升烤烟产值,提高烟叶叶绿素、总氮、烟碱含量及挥发性香气物质总含量,显著增加烟叶类胡萝卜素含量,降低烟叶总糖和还原糖含量,显著降低烟叶挥发性生物碱类香气含量,可以推广应用于贵州乃至我国西南地区烤烟种植。

参 考 文 献

- [1] 陈温福,张伟明,孟军. 农用生物炭研究进展与前景. 中国农业科学, 2013, 46(16): 3324—3333
Chen W F, Zhang W M, Meng J. Advances and prospects in research of biochar utilization in agriculture (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(16): 3324—3333
- [2] Ahmed A, Kurian J, Raghavan V. Biochar influences on agricultural soils, crop production and the environment: A review. *Environmental Reviews*, 2016, 24(4): 495—502
- [3] 雷海迪,尹云峰,刘岩,等. 杉木凋落物及其生物炭对土壤微生物群落结构的影响. 土壤学报, 2016, 53(3): 790—799
Lei H D, Yin Y F, Liu Y, et al. Effects of fir (*Cunninghamia lanceolata*) litter and its biochar on soil microbial community structure (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53(3): 790—799
- [4] 陈懿,陈伟,林叶春,等. 生物炭对植烟土壤微生物和烤烟生理的影响. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3781—3787
Chen Y, Chen W, Lin Y C, et al. Effects of biochar on the micro-ecology of tobacco-planting soil and physiology of flue-cured tobacco (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3781—3787
- [5] Zhang C S, Lin Y, Tian X Y, et al. Tobacco

- bacterial wilt suppression with biochar soil addition associates to improved soil physiochemical properties and increased rhizosphere bacteria abundance. *Applied Soil Ecology*, 2016, 112: 90—96
- [6] Gao L, Wang R, Shen G M, et al. Effects of biochar on nutrients and the microbial community structure of tobacco-planting soils. *Journal of Soil Science & Plant Nutrition*, 2017, 17 (4) : 884—896
- [7] 陈懿, 陈伟, 高维常, 等. 烟秆生物炭对烤烟根系生长的影响及其作用机理. *烟草科技*, 2017, 50 (6) : 26—32
- Chen Y, Chen W, Gao W C, et al. Effects of tobacco stalk biochar on root growth of flue-cured tobacco and its action mechanism (In Chinese). *Tobacco Science & Technology*, 2017, 50 (6) : 26—32
- [8] 邹健, 彭云, 王娜, 等. 生物炭用量对烤烟生长及产量、质量的影响. *云南农业大学学报*, 2017, 32 (4) : 652—658
- Zou J, Peng Y, Wang N, et al. Effect of biochar application amount on growth, yield and quality of flue-cured tobacco plants (In Chinese). *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2017, 32 (4) : 652—658
- [9] 高海英, 陈心想, 张雯, 等. 生物炭和生物炭基氮肥的理化特征及其作物肥效评价. *西北农林科技大学学报*, 2013, 41 (4) : 69—78, 85
- Gao H Y, Chen X X, Zhang W, et al. Physicochemical properties and efficiencies of biochar and biochar-based nitrogenous fertilizer (In Chinese). *Journal of Northwest A&F University*, 2013, 41 (4) : 69—78, 85
- [10] 赵军, 耿增超, 尚杰, 等. 生物炭及炭基硝酸铵对土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响. *生态学报*, 2016, 36 (8) : 2355—2362
- Zhao J, Geng Z C, Shang J, et al. Effects of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36 (8) : 2355—2362
- [11] 李大伟, 周加顺, 潘根兴, 等. 生物质炭基肥施用对蔬菜产量和品质以及氮素农学利用率的影响. *南京农业大学学报*, 2016, 39 (3) : 433—440
- Li D W, Zhou J S, Pan G X, et al. Effect of biochar-based compound fertilizer on the yield, fruit quality and N use efficiency of vegetables (In Chinese). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39 (3) : 433—440
- [12] 张子颖, 许家来, 李现道, 等. 绿色木霉配施高碳基肥料对烤烟生长及经济效益的影响. *中国烟草学报*, 2016, 22 (5) : 79—86
- Zhang Z Y, Xu J L, Li X D, et al. Effects of applying *Trichoderma viride* along with high-carbon-based fertilizer on growth and economic benefit of flue-cured tobacco (In Chinese). *Acta Tabacaria Sinica*, 2016, 22 (5) : 79—86
- [13] 张珂, 刘国顺, 王国峰, 等. 高碳基肥对舞阳烟区土壤特性和烟叶品质形成的影响. *江西农业学报*, 2016, 28 (12) : 52—56
- Zhang K, Liu G S, Wang G F, et al. Effects of high-carbon biochar-based fertilizer on soil properties and tobacco quality formation in Wuyang tobacco-growing area (In Chinese). *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2016, 28 (12) : 52—56
- [14] 李阳, 李心清, 王兵, 等. 四种改良剂对酸性黄壤土壤酸度和肥力的影响. *地球与环境*, 2016, 44 (6) : 683—690
- Li Y, Li X Q, Wang B, et al. Effects of four soil amendments on improving soil quality and acidity of yellow soils (In Chinese). *Earth and Environment*, 2016, 44 (6) : 683—690
- [15] 邓阳春, 黄建国. 长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (4) : 840—845
- Deng Y C, Huang J G. Effect of long continuous cropping on the yields of flue-cured tobacco and nutrients in soils (In Chinese). *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2010, 16 (4) : 840—845
- [16] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000
- Lu R K. *Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese)*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [17] Xiang Z M, Cai K, Liang G L, et al. Analysis of volatile flavour components in flue-cured tobacco by headspace solid-phase microextraction combined with GC × GC-TOFMS. *Analytical Methods*, 2014, 6: 3300—3308
- [18] 耿召良, 张婕, 葛永辉, 等. 烤烟主流烟气内源有害成分与烟叶化学成分相关性. *应用生态学报*, 2015, 26 (5) : 1447—1453
- Geng Z L, Zhang J, Ge Y H, et al. Correlation between endogenous harmful components in mainstream cigarette smoke and chemical constituents in tobacco leaves (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26 (5) : 1447—1453
- [19] 王世济, 刘炎红, 崔权仁, 等. 皖南烟区烤烟干物质和养分的积累研究. *烟草科技*, 2004, 37 (7) : 40—43

- Wang S J, Liu Y H, Cui Q R, et al. Research on dry matter and nutrient accumulation in flue-cured tobacco in growing area of South Anhui (In Chinese). *Tobacco Science & Technology*, 2004, 37 (7): 40—43
- [20] 国家烟草专卖局. GB2635-1992烤烟. 北京: 中国标准出版社, 1992
State Tobacco Monopoly Administration. GB2635-1992 Flue-cured tobacco (In Chinese). Beijing: Standards Press of China, 1992
- [21] Yao X H, Min H, Lü Z H, et al. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42 (2): 120—126
- [22] 史志宏, 顾少龙, 段卫东, 等. 不同基因型烤烟质体色素降解及与烤后烟叶挥发性降解物含量关系. *中国农业科学*, 2012, 45 (16): 3346—3356
Shi Z H, Gu S L, Duan W D, et al. Degradation of plastid pigment and its relationship with volatile catabolite content in cured leaves of different genotypes of flue-cured tobacco (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45 (16): 3346—3356
- [23] 邓小华, 谢鹏飞, 彭新辉, 等. 土壤和气候及其互作对湖南烤烟部分中性挥发性香气物质含量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21 (8): 2063—2071
Deng X H, Xie P F, Peng X H, et al. Effects of soil, climate and their interaction on some neutral volatile aroma components in flue-cured tobacco leaves from high quality tobacco planting regions of Hunan Province (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 (8): 2063—2071
- [24] 黄化刚, 班国军, 陈垚, 等. 多孔改良剂对毕节烟区土壤性状及烤烟产质量的影响. *土壤学报*, 2017, 54 (6): 1427—1437
Huang H G, Ban G J, Chen Y, et al. Effects of porous soil amendment on soil properties, yield and quality of flue-cured tobacco in Bijie (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 (6): 1427—1437
- [25] 刘小虎, 赖鸿雁, 韩晓日, 等. 炭基缓释花生专用肥对花生产量和土壤养分的影响. *土壤通报*, 2013, 44 (3): 698—702
Liu X H, Lai H Y, Han X R, et al. Effects of charcoal-based slow release peanut specific fertilizer application on peanut yield and soil nutrients (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44 (3): 698—702
- [26] 李江舟, 娄翼来, 张立猛, 等. 不同生物炭添加量下植烟土壤养分的淋失. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (4): 1075—1080
Li J Z, Lou Y L, Zhang L M, et al. Leaching loss of nutrients in tobacco-planting soil under different biochar adding levels (In Chinese). *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21 (4): 1075—1080
- [27] 潘复燕, 薛利红, 卢萍, 等. 不同土壤添加剂对太湖流域小麦产量及氮磷养分流失的影响. *农业环境科学学报*, 2015, 34 (5): 928—936
Pan F Y, Xue L H, Lu P, et al. Effects of different soil additives on wheat yield and nitrogen and phosphorus loss in Tai Lake Region (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34 (5): 928—936
- [28] 陈伟, 周波, 束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响. *中国农业科学*, 2013, 46 (18): 3850—3856
Chen W, Zhou B, Shu H R. Effect of organic fertilizer and biochar on root system and microbial functional diversity of *malus hupehensis* rehder (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46 (18): 3850—3856
- [29] Doan T T, Bouvier C, Bettarl Y, et al. Influence of buffalo manure, compost, vermicompost and biochar amendments on bacterial and viral communities in soil and adjacent aquatic systems. *Applied Soil Ecology*, 2014, 73 (2): 78—86
- [30] Spokas K A, Novak J M, Venterea R T. Biochar's role as an alternative N-fertilizer: Ammonia capture. *Plant and Soil*, 2012, 350: 35—42
- [31] 代银分, 李永梅, 范茂攀, 等. 不同原料生物炭对磷的吸附-解吸能力及其对土壤磷吸附解析的影响. *山西农业大学学报 (自然科学版)*, 2016, 36 (5): 345—351
Dai Y F, Li Y M, Fan M P, et al. The study on phosphorus sorption-desorption capacity of different biochar and the effects of its amendment to soil (In Chinese). *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2016, 36 (5): 345—351
- [32] 张伟明, 管学超, 黄玉威, 等. 生物炭与化学肥料互作的大豆生物学效应. *作物学报*, 2015, 41 (1): 109—122
Zhang W M, Guan X C, Huang Y W, et al. Biological effects of biochar and fertilizer interaction in soybean (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41 (1): 109—122
- [33] 张伟明, 孟军, 王嘉宇, 等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响. *作物学报*, 2013, 39 (8): 1445—1451
Zhang W M, Meng J, Wang J Y, et al. Effect of

- biochar on root morphological and physiological characteristics and yield in rice (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39 (8): 1445—1451
- [34] 杨永霞, 张嘉炜, 王晶, 等. 生物炭对烤烟质体色素代谢的影响. *烟草科技*, 2015, 48 (10): 26—30
Yang Y X, Zhang J W, Wang J, et al. Effect of biochar on plastid pigment metabolism in flue-cured tobacco (In Chinese). *Tobacco Science & Technology*, 2015, 48 (10): 26—30
- [35] 邓小华, 谢鹏飞, 彭新辉, 等. 土壤和气候及其互作对湖南烤烟部分中性挥发性香气物质含量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21 (8): 2063—2071
Deng X H, Xie P F, Peng X H, et al. Effects of soil, climate and their interaction on some neutral volatile aroma components in flue-cured tobacco leaves from high quality tobacco planting regions of Hunan province (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 (8): 2063—2071
- [36] 薛超群, 杨立均, 王建伟. 生物质炭用量对烤烟烟叶净光合速率和香味物质含量的影响. *烟草科技*, 2015, 48 (5): 19—22
Xue C Q, Yang L J, Wang J W. Effects of biochar application rate on net photosynthetic rate and aroma component content of flue-cured tobacco leaves (In Chinese). *Tobacco Science & Technology*, 2015, 48 (5): 19—22

Effect of Biochar-Based Fertilizer on Properties of Tobacco-planting Yellow Soil, and Nutrient Accumulation, Yield and Quality of Flue-Cured Tobacco

CHEN Yi¹ LIN Yingchao¹ HUANG Huagang² LIN Yechun¹ GAO Weichang¹ PAN Wenjie^{1†}

(¹ *Guizhou Academy of Tobacco Science, Guiyang 550081, China*)

(² *Bijie Tobacco Company of Guizhou Province, Bijie, Guizhou 551700, China*)

Abstract In order to solve the problems with tobacco-planting yellow soil (acidification, loss of water and nutrient, low productivity) and flue-cured tobacco (low nutrient uptake and yield) in Guizhou, a field fertilization experiment on flue-cured tobacco, Yun 87 in variety was conducted in 2016 in a tract of tobacco-planting yellow soil typical of Guizhou, to explore effect of different fertilization on chemical and biological properties of the soil, and nutrient accumulation, yield, volatile aroma components and chemical components of the flue-cured tobacco. The experiment was designed to have three fertilization treatments, (1) NF, (no fertilization) as CK, (2) CF (conventional fertilization, band placement of organic manure of vinasse + base fertilizer specialized for flue-cured tobacco + pit placement of side-dressing specialized for flue-cured tobacco), and (3) BF (band placement of biochar-based organic manure of vinasse + biochar-based compound fertilizer + pit placement of side-dressing specialized for flue-cured tobacco). Compared to CF, BF significantly increased soil pH, the contents of soil available phosphorus and available potassium, the amounts of soil bacteria, actinomyces and fungi, and also the activities of soil urease and catalase (CAT), among of which, CAT activity was increased significantly by 10.6%. In addition, BF improved the fertilizer agronomic efficiencies, the yield and the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium of the flue-cured tobacco, and the total contents of volatile aroma components and carotenoid in the flue-cured tobacco leaves. All the findings demonstrate that the application of biochar-based fertilizer can help build up quality of the tobacco-planting yellow soil, promote nutrient accumulation of the flue-cured tobacco, regulate aroma components in the flue-cured tobacco. Therefore, the biochar-based fertilizer can be extrapolated in similar flue-cured tobacco planting areas in Guizhou and Southwest China.

Key words Flue-cured tobacco; Biochar-based fertilizer; Yellow soil; Nutrient accumulation; Yield; Quality

(责任编辑: 檀满枝)