

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.01.028

寇智瑞, 周鑫斌, 徐宸, 等. 有机无机肥配施对黄壤烟田有机碳组分的影响. 土壤, 2020, 52(1): 195–201

有机无机肥配施对黄壤烟田有机碳组分的影响^①

寇智瑞, 周鑫斌*, 徐宸, 谢德体

(西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要: 采用长期田间试验, 研究有机无机肥不同比例配施对土壤有机碳各组分含量的影响。结果表明, 长期有机无机肥配施相比于对照增加了土壤总碳量和活性有机碳库, 但未达到显著影响水平。有机肥提供 30% 氮结合化肥提供 70% 氮处理, 与仅施用化肥相比, 显著提高了土壤中可溶性有机碳、微生物生物量碳、轻组有机碳和颗粒有机碳含量, 提升比例分别是 61.19%、96.03%、52.17% 和 33.55%。有机肥提供 30% 氮量处理与对照相比, 显著增加了黄壤中可溶性有机碳、微生物生物量碳、轻组有机碳和颗粒有机碳含量, 再增加有机肥投入量, 这些活性有机碳没有显著增加。综上所述, 本地黄壤烟田采取有机肥提供 30% 氮结合化肥提供 70% 氮施肥措施, 长期施用可显著培育黄壤烟田基础地力, 同时提高烟叶的产质量, 这对于保证我国烟叶生产的可持续发展具有非常重要的意义。

关键词: 有机无机肥配施; 长期施肥; 植烟黄壤; 活性有机碳

中图分类号: S572 文献标志码: A

Effects of Combination Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Organic Carbon Fractions in Tobacco-planting Yellow Soil

KOU Zhirui, ZHOU Xinbin*, XU Chen, XIE Deti

(College of Resources and Environment, Southwestern University, Chongqing 400716, China)

Abstract: A long-term field experiment was conducted to study the effects of different combination proportions of organic and inorganic fertilizers on the contents of soil organic carbon fractions in tobacco-planting yellow soil. The results showed that compared with CK, long-term combined application of organic and inorganic fertilizers increased soil total carbon and active organic carbon pool, but did not reach significant level. Compared with the treatment with chemical fertilizer only, the treatment with organic fertilizer providing 30% nitrogen and chemical fertilizer providing 70% nitrogen increased significantly the contents of dissolved organic carbon, microbial biomass carbon, light fraction organic carbon and particulate organic carbon by 61.19%, 96.03%, 52.17% and 33.55%, respectively. The treatment with organic fertilizer providing 30% nitrogen and chemical fertilizer providing 70% nitrogen increased significantly the content of dissolved organic carbon, microbial biomass carbon, light fraction organic carbon and particulate organic carbon, but no significant increase was found in these active organic carbon fraction with continuous increasing organic fertilizer input. Therefore, the treatment with organic fertilizer providing 30% nitrogen and chemical fertilizer providing 70% nitrogen is the optimal to improve the fertility of tobacco-planting yellow soil and to promote the yield and quality of tobacco, which is also important to guarantee the sustainable development of tobacco production.

Key words: Combined application of organic and chemical fertilizers; Long-term fertilization; Tobacco-planting yellow soil; Active soil organic carbon

土壤有机质是土壤肥力的核心,其主要成分为土壤腐殖质,含量达到 60%~90%,在调节土壤理化性质、提供作物养分和减少环境负面影响等方面具有重要作用^[1]。土壤有机质是陆地生态系统中最大的有机

碳库^[2-3]。实际上,土壤碳库比较稳定,短时间段内对人为活动和环境因子变化响应较不灵敏,无法准确及时地把握土壤有机碳和土壤质量的变化^[4]。通过 Ding 等^[5]的研究可知,一些土壤活性指标,如土壤活

①基金项目: 中国烟草总公司科技重点项目(110201502015)资助。

* 通讯作者(zxbissas@swu.edu.cn)

作者简介: 寇智瑞(1995—),男,河南新乡人,硕士研究生,主要从事烟田土壤改良方面的研究。E-mail: 1784759381@qq.com

性有机碳,对外界环境变化十分敏感,可以用来评价土壤有机碳的动态变化规律。

活性有机碳可分为可溶性有机碳、微生物生物量碳、轻组有机碳、颗粒有机碳及易氧化有机碳,施肥方式及施肥量的变化对其影响深刻^[6-8]。这些指标虽然在概念上有重叠,但是单一的指标很难表征土壤活性有机碳库,以往的研究集中在不同施肥措施对土壤活性有机碳库单一或几个指标的影响,不能很好地反映施肥措施对土壤质量的影响。根据 Lundquist 等^[9]的研究,发现施用有机肥的耕作土壤中可溶性有机碳含量为只施用无机肥的 2.5 倍, McGill 等^[10-11]的研究也表明,土壤中可溶性有机碳含量与施肥有关,一般表现为:有机无机配施>单施有机肥>单施化肥。Steven 等^[12]的长期定位施肥试验表明,有机肥配施氮磷钾肥能增加土壤中颗粒有机碳含量,增加作物产量。Oue draogo 等^[13]的长期施肥定位试验也表明,在耕作土地上单施腐熟的有机肥或尿素会导致土壤中颗粒有机碳含量的下降,而有机无机配施则会增加颗粒有机碳等的含量,这与杨长明等^[14]的研究结果一致。

西南地区是我国的主要烟区之一,但由于长期以来重施化肥而轻施有机肥,导致烟田土壤有机质数量和质量逐年下降^[15],土壤有机碳的数量和质量在很大程度上与土壤肥力的维持和提高密切相关^[16],而施肥措施提升重庆黄壤烟田土壤有机质质量的研究较少,因此,本研究利用田间长期定位试验,探究不同施肥处理对土壤有机质状态协同提升的长期效应,可为重庆烤烟优质适产栽培的土壤有机质调控提供

理论依据和技术支撑,促进烟叶的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于重庆市彭水县润溪乡白果坪,地理坐标 107°54'44"E, 29°06'56"N,海拔高度为 1 213 m,为亚热带湿润季风气候,气候温和、雨量充沛、光照偏少。多年平均气温 17.50 °C,常年平均降雨量 1 104.20 mm,无霜期 312 d。试验前耕层土壤(0~20 cm) pH 为 6.5,有机碳 22.15 g/kg,全氮 0.78 g/kg,碱解氮 112.3 mg/kg,有效磷 74.56 mg/kg,速效钾 185.6 mg/kg。

1.2 试验设计及田间管理

烟草定位施肥试验于 2013 年开始,2017 年测定,共设 6 个处理(表 1),每个处理设 3 次重复,共 18 个小区,每个小区面积为 40 m²,完全随机排列。烤烟常年单作,只种一季,连续种植 5 a,种植密度为 11 000 株/hm²。本试验中的各处理复合肥施用量及方式均根据重庆市烤烟生产管理规程进行,基肥以有机肥和复合肥配合施用,有机肥和化肥混合后表土底施,旋耕机旋耕均匀后起垄的方法,追肥结合烤烟培土进行,具体为肥料兑水后,用烤烟种植专用的施肥枪施入两株烟苗中间土壤穴中,具体用量按照表 1 进行。发酵有机肥采用烟杆和药渣混合发酵而成,烟杆经高温高压灭菌,粉碎后添加一定量菌种发酵而成,烟杆和药渣的比例为 1:1。烟杆有机肥 pH 6.65,有机质含量 581.2 g/kg,鲜基含纯氮(N)0.5%,纯磷(P)0.4%,纯钾(K)0.3%。

表 1 试验处理

处理	施肥方法
不施肥(CK)	不施任何肥料
仅施化肥(M1)	100% 施用化肥, N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=1:1:2.3, 施 N 8 kg/hm ² ; 磷肥作为基肥一次性施入, 氮肥和钾肥的基追比为 7:3, 氮肥在烟草移栽后的 7~10 d 兑施, 钾肥在移栽后 30 d 左右结合培土追施
有机肥提供 10% 的氮(M2)	施烟杆有机肥 148 kg/hm ² , 化肥用量为 M1 的 90%, 施肥方式同 M1 处理
有机肥提供 20% 的氮(M3)	施烟杆有机肥 296 kg/hm ² , 化肥用量为 M1 的 80%, 施肥方式同 M1 处理
有机肥提供 30% 的氮(M4)	施烟杆有机肥 444 kg/hm ² , 化肥用量为 M1 的 70%, 施肥方式同 M1 处理
有机肥提供 40% 的氮(M5)	施烟杆有机肥 592 kg/hm ² , 化肥用量为 M1 的 60%, 施肥方式同 M1 处理

1.3 样品采集与测定

1.3.1 样品采集 2017 年 8 月,当烟草适时采收完全后,进行土壤样品采集,每个小区以“S”型取耕层土壤样(0~20 cm),每个小区取 20 个点。新鲜土壤样品除去动、植物残体,放在室温环境下风干,风干后的样品充分研磨,分别过 20 目、60 目和 100 目筛,标记好后待测。

1.3.2 样品测定 1)土壤有机碳含量的测定。土壤有机碳的测定采用重铬酸钾氧化外加热法^[17]。

2)有机碳密度的测定。土壤有机碳密度的计算公式为: S

$$OCD_i = \sum_{i=1}^n SOC_i \times \gamma_i \times H_i \times 10^{-1}$$

式中: SOCD_i 表示土壤有机碳密度(t/hm²), n 为土壤

剖面层数(本次研究取 $n = 1$)， SOC_i 为土壤有机碳含量(g/kg)， γ_i 为土层容重(g/cm³)， H_i 为土层厚度(本次试验取 $H_i = 20$ cm)。土壤容重的测定采用烘干法^[18]。

3)可溶性有机碳含量测定。称取过 60 目筛的风干土样 10.00 g 于烧杯中，加入 50 ml 的 0.5 mol/L K₂SO₄ 溶液(水土比为 5:1)，并在 25 °C 的恒温下以 300 r/min 的速度振荡 10 h，震荡后的样品用定量滤纸过滤到塑料瓶中，用碳氮自动分析仪(Phoenix 8000，美国)测定提取液中可溶性有机碳含量。

4)微生物生物量碳含量测定。微生物生物量碳的测定可采用氯仿熏蒸 0.5 mol/L K₂SO₄ 浸提法^[19]。公式为：微生物生物量碳(BC) = EC/KC，EC 表示未熏蒸与熏蒸对照土壤的浸取有机碳的差值，KC 为转换系数，取值 0.38。

5)轻组有机碳含量测定。轻组有机碳的测定参照 Six 等^[20]提出的方案。将 100 ml 离心管在 50 °C 下烘 30 min，称取过 20 目筛的风干土壤样品 20 g 放入离心管内，称取重量并记录。之后加入 70 ml 的 NaI 溶液(密度为 1.8 g/cm³)。将装有待测样品的离心管置于超声波振荡仪中振荡 10 min，在 250 J/ml 能量水平下将土壤完全离散，再将样品置于离心机内，在转速为 2 000 r/min 的条件下离心 30 min，然后用 0.45 μm 玻璃纤维过滤器真空吸滤含有轻组有机碳的上层清液，重复两次。将吸滤好的样品转移到已称重的 25 ml 烧杯中，在 50 °C 下烘干并称重，随后在玛瑙研钵中磨细，然后用碳氮元素分析仪(Phoenix 8000，美国)测定轻组有机碳含量。

6)颗粒有机碳含量的测定。颗粒有机碳的测定参照 Cambardella 等^[21]的方法。称取 10.00 g 过 2 mm 筛的风干土样至分散瓶中，然后加入 30 ml 浓度为 5 g/L 的六偏磷酸钠，之后在往复振荡器上以 180 r/min 的频率振荡 15 h。经振荡分散的土壤样品在水中过 53 μm 筛，并用水反复冲洗，留在筛上的有机物质在 50 °C 下烘干 24 h 后称重，然后用碳氮分析仪测定颗粒有机碳的含量。

1.4 数据分析

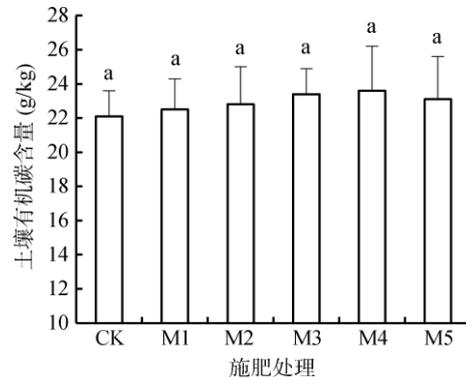
测定结果用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤有机碳含量的影响

不同施肥处理对土壤有机碳含量的影响如图 1 所示，CK 处理土壤有机碳含量为 22.1 g/kg，M1 处理为 22.5 g/kg，有机无机肥配施增加土壤有机碳的含

量，但未达到显著水平。其中 M2 处理为 22.8 g/kg；M3 处理为 23.4 g/kg；M4 处理有机碳含量最高，为 23.6 g/kg，与对照相比增加了 6.79%。



(图中小写字母相同表示处理间差异未达到 $P < 0.05$ 显著水平，下同)

图 1 不同施肥处理对土壤有机碳含量的影响

2.2 不同施肥处理对土壤有机碳密度的影响

不同施肥处理对土壤有机碳密度的影响如图 2 所示。由图 2 可知，对照处理的有机碳密度为 26.5 t/hm²；仅施化肥时有机碳密度为 27.2 t/hm²。相对于 CK 和 M1，有机无机肥配施可增加有机碳密度，M2、M3、M4、M5 处理有机碳密度分别为 27.4、28.1、29.5、27.4 t/hm²，相互间差异均未达到显著水平。

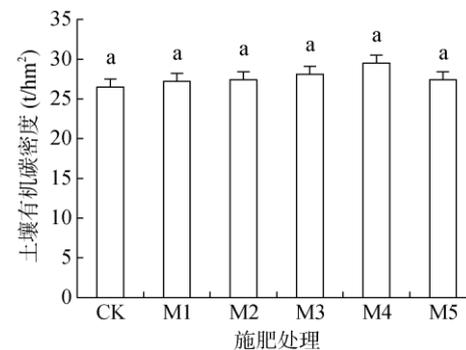
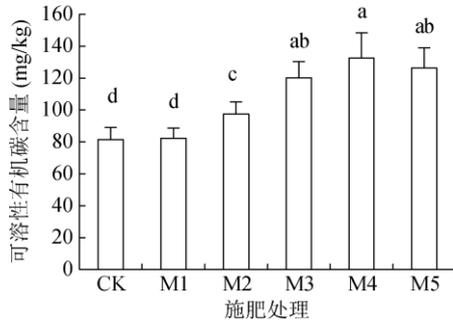


图 2 不同施肥处理对土壤有机碳密度的影响

2.3 不同施肥处理对土壤可溶性有机碳含量的影响

不同施肥处理对土壤可溶性有机碳含量的影响如图 3 所示。CK 处理可溶性有机碳含量为 81.5 mg/kg，仅施化肥(M1)处理为 82.2 mg/kg，对可溶性有机碳的含量无显著影响，而随着有机肥的逐渐施入(M2 ~ M4 处理)，可溶性有机碳含量逐渐升高，达到极显著水平。但 M5 处理的可溶性有机碳含量为 126.2 mg/kg，相对于 M4 处理时的 132.5 mg/kg 又略有下降，说明有机物料施入量达到一定时，继续施用对可溶性有机碳含量变化并无显著影响。相对于 M1 处理，M4 处理使可溶性有机碳含量提高了 61.2%。结果说明，无

机化肥的施用对土壤中可溶性有机碳含量无太大提升效果, 而有机无机肥配施, 可显著提升其含量。



(图中小写字母不同表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平, 下同)

图 3 不同施肥处理对土壤可溶性有机碳含量的影响

2.4 不同施肥处理对土壤微生物生物量碳含量的影响

不同施肥处理对土壤微生物生物量碳含量的影响如图 4 所示。相比于 CK 处理的 61.5 mg/kg, 施肥处理均显著提升了土壤中微生物生物量碳的含量, M1、M2、M3 处理分别为 98.2、118.8、120.6 mg/kg, 彼此间差异未达到显著水平。相比较不施或者少施有机肥处理(M1 ~ M3), 高量有机肥的施入(M4 ~ M5 处理), 显著提高了微生物生物量碳的含量。相对于 M1, M5 处理时土壤中微生物生物量碳含量达到 196.2 mg/kg, 提升了 99.8%, 相较于 CK 更是提升了 219.0%。说明在一定范围内, 土壤中微生物生物量碳含量与有机物料的施用量呈正比关系, 有机肥施用量越高, 土壤中微生物生物量碳的含量越高。但由图 4 可知, M4、M5 处理间差异不显著, 说明当有机物料施入达到一定水平时, 对土壤中微生物生物量碳含量的提升无显著效果。

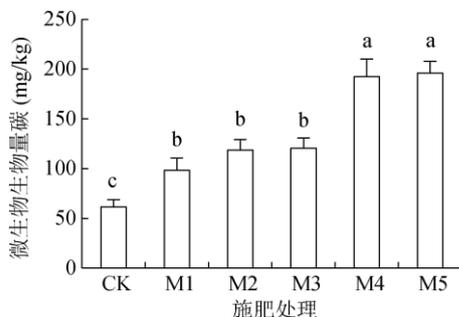


图 4 不同施肥处理对微生物生物量碳含量的影响

2.5 不同施肥处理对土壤轻组有机碳含量的影响

不同施肥处理对土壤轻组有机碳含量的影响如图 5 所示。可以看出, 仅施化肥(M1 处理)对轻组有机碳的含量无显著影响。相比于 CK 的 0.82 g/kg 和

M1 的 0.92 g/kg, 施用有机肥能显著提升土壤轻组有机碳含量, 其中 M2、M3 处理时土壤轻组有机碳含量均为 1.1 g/kg, M4 处理为 1.4 g/kg, M5 处理为 1.6 g/kg, 可以看出随着施入有机肥比例的提升, 施入土壤的动植物残体及微生物数量增加, 土壤轻组有机碳含量随之显著增加。

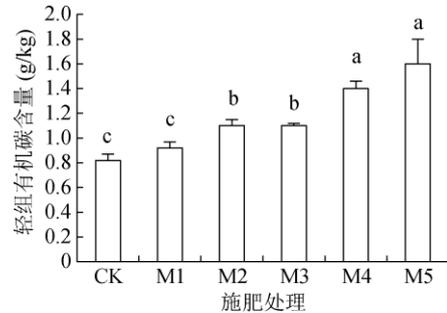


图 5 不同施肥处理对土壤轻组有机碳含量的影响

2.6 不同施肥处理对土壤颗粒有机碳含量的影响

不同施肥处理对土壤颗粒有机碳含量的影响如图 6 所示, 相对于 CK 处理时土壤颗粒有机碳的含量 5.2 g/kg, M3 处理时含量达到 8.3 g/kg, 增加了 60.29%; M4 处理时达到 8.6 g/kg, 增加了 65.74%; M5 处理时颗粒有机碳含量达到 8.9 g/kg, 增加了 71.30%。由此可知, 增施有机肥可显著增加土壤颗粒有机碳含量。

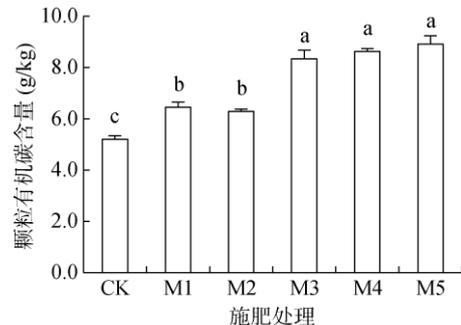


图 6 不同施肥处理对土壤颗粒有机碳含量的影响

2.7 不同施肥处理对土壤活性有机碳各组分的比重分析

土壤有机碳与活性有机碳各组分间的相关性如表 2 所示, 土壤颗粒有机碳、微生物生物量碳的含量与土壤总有机碳含量极显著相关, 轻组有机碳、可溶性有机碳含量与土壤有机碳含量显著相关。活性有机碳各组分间存在交互作用, 其中, 土壤颗粒有机碳与微生物生物量碳的含量极显著相关, 与轻组有机碳和可溶性有机碳显著相关; 轻组有机碳含量与微生物生物量碳含量和可溶性有机碳含量极显著相关, 与颗粒

有机碳含量显著相关；土壤微生物生物量碳含量与颗粒有机碳和轻组有机碳含量极显著相关，与可溶性有机碳显著相关；可溶性有机碳含量与轻组有机碳含量极显著相关，与颗粒有机碳和微生物生物量碳含量显著相关。

不同施肥处理条件下土壤中活性碳库占总有机碳的百分比如表 3 所示，不施肥处理时，颗粒有机碳、轻组有机碳、可溶性有机碳和微生物生物量碳占土壤有机碳的百分比分别为 23.51%、3.71%、0.37% 和 0.28%，仅施无机肥时对其所占比重影响不大，颗粒有机碳、轻组有机碳、可溶性有机碳和

微生物生物量碳占土壤有机碳的百分比分别为 28.62%、4.09%、0.37% 和 0.44%。相比 CK 和 M1，有机无机配施可提升土壤中活性有机碳各组分占土壤总有机碳的百分比。当 M4 处理时，颗粒有机碳所占百分比达到 36.52%，相比 CK 提升了 55.3%，相比 M1 提升了 27.6%；轻组有机碳所占百分比为 5.93%，相比 CK 提升了 59.8%，相比 M1 提升了 45.0%；可溶性有机碳所占百分比为 0.56%，相比 CK 和 M1 均提升了 51.4%；微生物生物量碳所占百分比为 0.82%，相比 CK 提升了 192.9%，相比 M1 提升了 86.4%。

表 2 土壤有机碳与活性有机碳各组分间的相关性

	TOC	POC	LFOC	MBC	DOC
总有机碳 TOC	1	0.982**	0.885*	0.987**	0.889*
颗粒有机碳 POC	0.982**	1	0.824*	0.978**	0.865*
轻组有机碳 LFOC	0.885*	0.824*	1	0.886**	0.978**
微生物量碳 MBC	0.987**	0.978**	0.886**	1	0.854*
可溶性有机碳 DOC	0.889*	0.865*	0.978**	0.854*	1

注：TOC：总有机碳，POC：颗粒有机碳，LFOC：轻组有机碳，MBC：微生物量碳，DOC：可溶性有机碳；*表示相关性达 $P < 0.05$ 显著水平；**表示相关性达 $P < 0.01$ 显著水平。

表 3 不同施肥处理土壤活性有机碳各组分所占百分比(%)

处理	POC/TOC	LFOC/TOC	DOC/TOC	MBC/TOC
CK	23.51	3.71	0.37	0.28
M1	28.62	4.09	0.37	0.44
M2	27.56	4.82	0.43	0.52
M3	35.62	4.70	0.51	0.52
M4	36.52	5.93	0.56	0.82
M5	38.56	6.93	0.55	0.85

如图 7 所示，土壤碳投入和总活性有机碳呈极显著的相关关系，随着土壤碳投入量的增加，土壤总活性有机碳显著升高，两者之间的数学关系式为： $y = -0.0015x^2 + 1.1845x + 167.05$ ，经过土壤碳投入 x 对总活性有机碳 y 的一阶导数，求得最大碳投入量为 5922 kg/hm^2 ，这个量超过了本试验的范围。但从图上可以看出，M4 与 M5 处理的总活性炭最高，且增幅放缓。

2.8 不同施肥处理对烤烟经济性状的影响

表 4 中可以看出，对照由于多年不施肥，烤烟生长非常弱小，最终没有形成产量。从产量结果看，配施适量有机肥处理烟叶产量高于纯化肥处理，从上中等烟比例来看，M4 和 M5 处理上中等烟比例显著高于其他处理，从产值来看，M4 和 M5 处理的产值也显著高于其他处理。综上说明，有机无机肥长期配施对烤烟生长促进作用较为显著，同时能够显著提高烤

烟的产质量。

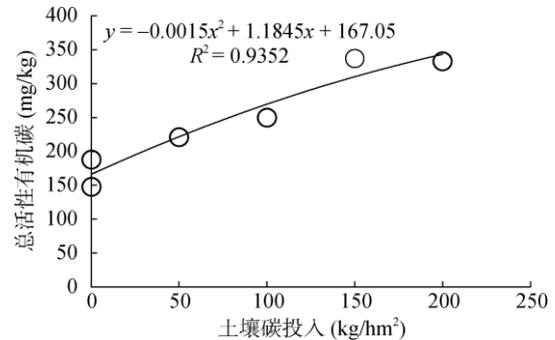


图 7 土壤碳投入和总活性有机碳的关系

表 4 不同施肥处理烤烟经济性状比较

处理	产量(kg/hm ²)	上中等烟比例(%)	产值(元/hm ²)
CK	-	-	-
M1	1 836.2 a	69.23 b	20 146.2 b
M2	1 836.6 a	71.34 b	20 553.0 b
M3	1 839.5 a	74.42 b	21 158.0 b
M4	1 889.0 a	81.85 a	22 894.5 a
M5	1 895.0 a	78.56 a	22 187.9 a

注：表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平。

3 讨论

本研究利用长期定位试验研究了不同施肥措施

对土壤总碳和活性有机碳库的影响,结果表明,在试验年限内,有机无机肥配施增加土壤有机碳的含量,增加有机碳密度,但与对照相比差异不显著。黄壤有机碳的平衡包括有机物质的腐殖化和有机碳的矿化过程,此过程是一个动态平衡的过程,其平衡结果直接决定着土壤有机碳的储量。有机无机肥配施可使得土壤有机碳总量和有机碳密度不断增加,可以看出是一个富集过程,然而,在烟田长期连作耕作等人为干扰条件下,破坏了土壤中大团聚体,使土壤结构稳定性变差,土壤固碳能力下降,导致土壤易遭受水、风等的侵蚀而引起土壤有机碳的损失;另一方面,黄壤原有有机碳被分解,向大气排放 CO_2 ^[22],何川等^[23]研究证实,长期连作(3 a)可造成植烟土壤有机碳的损失。黄壤烟田独特的水热条件影响下的这种动态平衡过程,导致 5 a 长期试验并未显著增加土壤总碳和活性有机碳库。

土壤轻组有机碳包含不同分解阶段的动植物残体和微生物残骸,以及一些吸附在碎屑上的矿质颗粒^[24]。土壤颗粒有机碳是由相对粗大的非腐殖化的不同分解阶段的植物残体和碎屑组成,植物残体是其主要来源^[25]。本次试验结果表明,90% 化肥配施 10% 发酵有机肥时,土壤中各活性有机碳组分并没有呈现出显著增加的趋势,未达到改良土壤的程度,这可能是因为施入的有机肥数量不足,转化利用程度不足。当 80% 化肥配施 20% 发酵有机肥时,土壤中颗粒有机碳和可溶性有机碳含量显著增加,但微生物生物量碳和轻组有机碳含量并没有多大变化,造成这一现象的原因可能是烟杆有机肥中植物残体含量和木质纤维素含量较高^[26],较易促进颗粒有机碳和可溶性有机碳的形成。同时,研究表明^[27-28],微生物生物量碳与土壤中孢子及微生物含量相关,当土壤中施用烟杆有机肥为 296 kg/hm^2 时,生物量未达到能显著影响微生物群落结构的水平,因此 80% 化肥配施 20% 发酵烟杆有机肥时对其影响不显著。当试验处理为 70% 化肥配施 30% 发酵有机肥时,烟杆有机肥的用量为 444 kg/hm^2 ,土壤中微生物生物量碳、轻组有机碳、可溶性有机碳、颗粒有机碳含量均显著增加,说明有机肥的施用量达到一定水平时能增加根系生物量及根系分泌物,促进了微生物生长,提高了土壤微生物生物量。土壤微生物残体是土壤活性有机碳的重要来源^[29],因此有机无机肥配施能够促进土壤中总有机碳向活性有机碳转化,特别是向微生物生物量碳转化。虽然 60% 化肥配施 40% 有机肥的处理同样显著增加了土壤中可溶性有机碳、微生物生物量碳、轻

组有机碳、颗粒有机碳含量,但相对于 70% 化肥配施 30% 发酵有机肥的处理,差异并不显著,说明当有机物料施用量达到一定比例时,继续增加有机物料量不会对土壤活性有机碳的组分产生显著影响。

土壤中活性碳库占总有机碳的百分比可以反映土壤有机碳质量,其中轻组有机碳/全碳可以表示土壤有机碳在非保护性库中的分配比例;土壤微生物生物量碳/全碳可作为土壤碳库质量的敏感指示因子,进而推断碳素的有效性。本次试验结果表明,随着有机肥投入比例的提升,轻组有机碳/全碳、微生物生物量碳/全碳和颗粒有机碳/全碳均随之提升,相较于 CK, M5 处理使轻组有机碳/全碳的比值增加了 64.02%,说明土壤有机碳在非保护性库中的分配比例显著提升,增加了有机碳的反应活性;此外,相较于 CK, M5 处理使微生物生物量碳/全碳的比值提升了 203.57%,极显著地增加了土壤有机碳的有效性。相较于 M3 处理, M4 处理显著提升了活性有机碳各组分占总碳的百分比;相较于 M4 处理, M5 处理对活性有机碳各组分占总碳的百分比并未产生显著差异,因此可以推断,当有机物料施入达到一定水平时,继续施用不会对土壤活性有机碳的组分产生显著影响。同时土壤碳投入量增加,土壤总活性有机碳也增加(图 7),在本试验范围内, M4 处理的土壤总活性有机碳较高, M5 处理略低于 M4 处理,结合表 4 烤烟经济性性状比较, M4 的上中等烟和产质量最高。说明对于烟草而言,有机无机肥配施在改善有机碳质量的同时,也能提高其产质。这是因为化肥配施有机肥能提升土壤有机氮和有机碳含量,促进了微生物生长和活性,提高土壤碳、氮、磷和钾的转化和供应,进而提升烟株生长后期土壤的供氮能力和碳源利用率,提高上部叶片的烟碱含量和还原糖含量,在一定程度上提高了产量,也促使化学成分更加协调^[30]。王树会等^[31]的研究结果表明,与单施化肥相比,化肥和秸秆堆肥配施提升了土壤有机质含量,为烟株生长创造了良好的土壤环境,有利于提高烟叶的产量、产值和上等烟比例。但是,有关土壤活性有机碳组分是如何影响烟叶化学品质协调性还有待于进一步深入研究。

4 结论

1)长期有机无机肥配施相比于对照增加了土壤总碳量和活性有机碳库,但未有显著的影响,与黄壤烟田碳腐殖化和矿质化平衡有关。

2)有机肥提供 30% 氮量处理与对照相比,显著增加了黄壤中可溶性有机碳、微生物生物量碳、轻组

有机碳和颗粒有机碳含量, 再增加有机肥投入量, 这些活性有机碳没有显著增加。

3) 本地黄壤烟田采取有机肥提供 30% 氮结合化肥提供 70% 氮施肥措施, 长期施用可显著培育黄壤烟田基础地力, 同时提高烟叶的产质量。

参考文献:

- [1] 窦森, 李凯, 崔俊涛, 等. 土壤腐殖物质形成转化与结构特征研究进展[J]. 土壤学报, 2008, 45(6): 1148-1158.
- [2] Lal R, Griffin M, Apt J, et al. Managing soil carbon[J]. *Science*, 2004, 304: 393.
- [3] 周广胜, 王玉辉. 全球生态学[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 200-204.
- [4] 余健, 房莉, 卞正富, 等. 土壤碳库构成研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(17): 4829-4838.
- [5] Ding G, Liu X, Herbert S, et al. Effects of cover crop management on soil organic matter[J]. *Geoderma*, 2006, 130: 229-239.
- [6] Yan D, Wang D, Yang L. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44: 93-101.
- [7] Blair G, Lefroy R D B, Lise L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 7(7): 1459-1466.
- [8] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J]. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32-38.
- [9] Lundquist E J, Jackson L E, Scow K M. Wet-dry cycles affect dissolved organic carbon in two California agricultural soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1031-1038.
- [10] McGill W B, Hunt H W, Woodmansee R G, et al. PHOENIX, A model of the dynamics of carbon and nitrogen in grassland soils. //Clark F E, Rosswall T. *Terrestrial nitrogen cycles: processes, ecosystem strategies and mangement impacts*[M]. Stockholm: Swedish Natural Science Research Council, 1981, 33: 49-115.
- [11] McGill W B, Cannon K B, Robertson J A, et al. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in bertonL after 50 years of cropping to two rotations[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1986, 66: 1-19.
- [12] Steven S, Stefaan D N, Tamás N, et al. Effect of manure and fertilizer application on the distribution of organic carbon in different soil fractions in long-term field experiments[J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 25: 280-288.
- [13] Ou draogo E, Mando A, Stroosnijder L. Effects of tillage, organic resources and nitrogen fertilizer on soil carbon dynamics and crop nitrogen uptake in semi-arid West African[J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91: 57-67.
- [14] 杨长明, 欧阳竹, 董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(8): 887-892.
- [15] 张东. 重庆烟区植烟土壤酸化现状及改良措施研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [16] 成臣, 汪建军, 程慧煌, 等. 秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响[J]. *土壤学报*, 2018, 55(1): 247-257.
- [17] Yeomansa J C, Bremnera J M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil[J]. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 1988, 19(13): 467-476.
- [18] 陈红霞, 杜章留, 郭伟, 等. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2930-2934.
- [19] Jenkinson D S, Brookes P C, Powlson D S. Measuring soil microbial biomass[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 5-7.
- [20] Six J, Elliot E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62: 1367-1377.
- [21] Cambardella C A, Elliott ET. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 777-783.
- [22] 代晓燕, 张芊, 刘国顺, 等. 植烟土壤有机碳库修复的研究进展[J]. *中国烟草科学*, 2014, 35(3): 109-116.
- [23] 何川, 刘国顺, 李祖良, 等. 连作对植烟土壤有机碳和酶活性的影响及其与土传病害的关系[J]. *河南农业大学学报*, 2011, 45(6): 701-705.
- [24] Dalai R C, Mayer R J. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. III. distribution and kinetics of soil organic carbon in particle-size fractions[J]. *Australia Journal Soil Research*, 1986, 24: 293-300.
- [25] 陈茜, 梁成华, 杜立宇, 等. 不同施肥处理对设施土壤团聚体内颗粒有机碳含量的影响[J]. *土壤*, 2009, 41(2): 258-263.
- [26] 黄小容. 烟秆木质素高效降解菌的筛选、鉴定及降解效果研究[D]. 武汉: 湖北大学, 2016.
- [27] 张瑞, 张贵龙, 姬艳艳, 等. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J]. *环境科学*, 2013, 34(1): 277-282.
- [28] 徐江兵, 何园球, 李成亮, 等. 不同施肥处理红壤生物活性有机碳变化及与有机碳组分的关系[J]. *土壤*, 2007, 39(4): 627-632.
- [29] 李艳. 微生物利用糖类和蓝藻等有机物料参与形成腐殖质的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.
- [30] 李晓婷, 常寿荣, 孔宁川, 等. 不同有机肥与无机肥配施对烤烟生长及铅、镉含量的影响[J]. *中国烟草科学*, 2013, 34(5): 37-41.
- [31] 王树会, 纳红艳, 陈发荣, 等. 有机肥与化肥配施对烤烟品质及土壤的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2011, 13(4): 110-114.