

不同复种模式对云南植烟红壤根区有机碳和微生物量碳的影响

官会林¹, 郭云周², 张云峰^{3*}, 刘建香², 尹小怀⁴, 罗余红^{3,5}

(1.云南师范大学能源与环境学院, 昆明 650092; 2.云南师范大学生命科学学院, 昆明 650092; 3.云南农业科学研究院, 农业环境资源研究所, 昆明 650205; 4.富源县农业技术推广中心, 云南 富源 655500; 5.云南彝良县第一中学, 云南 彝良 657600)

摘 要:建立合理的轮作制是解决烟草种植土壤障碍的有效途径。云南植烟地块,在秋冬季节主要以轮作小麦、紫花苕、豆类及蔬菜等作物为主,在云南曲靖和晋宁烟草种植区,选择了小麦收获后留根茬(20 cm 左右)翻压后种植烟草(麦-烟),紫花苕子收获后留根茬(30 cm 左右)翻压后种植烟草(绿-烟)、豆类(豆-烟)和蔬菜(菜-烟)收获后根茬及秸秆全部移除地外种植烟草的 4 种轮作模式,研究了不同模式对植烟红壤微生物碳(SMBC)及土壤有机碳(SOC)的影响。结果表明:绿-烟和豆-烟复种模式下,植烟生长期根区 SMBC 及 SOC 均高于麦-烟、菜-烟复种及冬闲地,并且差异达显著或极显著水平;不同复种模式下,SMBC、SOC 及 SMBC/SOC 间呈显著相关性,绿-烟及豆-烟复种模式有利于提高 SMBC 与 SOC 含量,延长土壤活性功能,SMBC 曲线变化的高峰值均出现在成熟期,其余模式则出现在旺长期;不同模式对提高 SMBC 与 SOC 含量影响为:绿-烟>豆-烟>麦-烟>冬闲地>菜-烟。据此认为土壤 SMBC 或 SMBC/SOC 可作为轮作模式影响烟地红壤质量变化的生物学评价指标。

关键词:植烟轮作;土壤微生物量碳;土壤有机碳;生物学评价

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)01-0133-06

Effect of Different Mode of Alternating Crop-planting on Content of Organic Carbon and Microbial Biomass Carbon in the Soil Within Tobacco Root Regions in Yunnan, China

GUAN Hui-lin¹, GUO Yun-zhou², ZHANG Yun-feng^{3*}, LIU Jian-xiang², YIN Xiao-huai⁴, LUO Yu-hong^{3,5}

(1.Faculty of Energy and Environment, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China; 2.School of Biological Science, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China; 3.Institute of Agricultural Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 4.Agricultural Technology Extension Center in Fuyuan County, Fuyuan 655500, China; 5.Yiliang First Middle School, Yiliang 657600, China)

Abstract: A reasonable alternating crop-planting mode is regarded as to be an effective way to build a soil environment favorable for the tobacco growing. In the tobacco growing regions in Yunnan, cultivated lands were usually used to grow wheat, light purple sweet potato leaves, beans, vegetables and other crops in the fall and winters and grow tobacco in summers. In this work, four alternating growing modes: wheat-tobacco, green-tobacco, beans-tobacco, vegetables-tobacco, were comparatively tested in Qujing and Jinning with aiming at investigating effects of different alternating tobacco growing mode on the content of organic carbon(SOC) and micro-biomass carbon(SMBC) in the soil within tobacco root regions. Results showed that contents of SOC and SMBC in the soil for the green-tobacco and beans-tobacco modes were significantly higher than those for wheat-tobacco, vegetables-tobacco and no planting in the winter modes. It was also found that the content of SOC and SMBC was related to the ratio of SMBC to SOC for all modes, the green-tobacco and beans-tobacco modes were favorable for increasing contents of SOC and SMBC and lasting the activation of soil, contents of SMBC were peaked in the tobacco ripe period for the green-tobacco and beans-tobacco modes and peaked in the fast growing period for other modes. The effects of different mode on the SOC and SMBC ranked in the order from strong and weak as: green-tobacco, bean-tobacco, wheat-tobacco, no planting in winters, vegetable-tobacco. A conclusion can be drawn that the content of SMBC or SMBC/SOC can be regarded to be an indication to evaluate soil biological environment for the growing of tobacco.

Keywords: tobacco crop rotation; soil microbial biomass carbon; soil organic carbon; biological evaluation

收稿日期:2010-06-30

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(200803029-04);国家自然科学基金(40861019);国家“十一五”科技支撑(2007BAD87B12);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009zx07102-004)

作者简介:官会林(1964—),男,教授,主要从事农业生物环境与水土工程研究。E-mail:ghl0871@yahoo.com.cn

* 通讯作者:张云峰 E-mail:zhyunfeng001@yahoo.cn

土壤微生物量碳(Soil Microbial Biomass Carbon, SMBC)是土壤有机质中最为重要的活性部分,可代表土壤微生物生物量的大小^[1-2],而土壤有机碳(Soil Organic Carbon,SOC)是指土壤中的各种含碳有机化合物,可作为土壤衰退及土壤变化过程中土壤质量变化的预警指标。尽管 SMBC 在土壤全碳中所占比例很小,但其比例的大小可反映出微生物利用土壤碳源进行繁殖及其解体、碳化的过程。近年来,随着植烟年限及连作年限的延长,植烟土壤的衰退已成为制约云烟产业发展的重要障碍因素^[3]。烟地土壤的肥力及质量变化受耕作方式及施肥因素等多种因素影响,其中土壤微生物对土壤结构改良、土壤养分利用率和抗病性的提高、优质烟叶生产等方面具有重要作用^[4]。烟地复种是消除植烟土壤障碍的重要措施,目前对烟地复种的研究报道较多地集中在施肥种类、施肥方式及土壤类型方面影响的研究^[5-7],而对不同复种模式对植烟地 SMBC 及 SOC 的影响鲜见报道。因此,采用定位监测结合室内分析,对不同复种模式对云南红壤烟地 SMBC 及 SOC 的影响进行了研究,希望能从土壤生物学指标的角度,探究复种在烟地红壤营养代谢及其功能变化中的作用,为烟地土壤质量的维持及建立烟地合理复种模式提供支撑依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2008 年 4 月至 10 月在云南曲靖越州及晋宁云烟生产种植基地进行试验。试验区域内夏季常年种植烤烟 (*N.tabacum*), 秋冬季节轮作以小麦 (*T.aestivum* L.) 及饲料绿肥光叶紫花苕 (*Vicia villosa* routh var) 为主,零星分布有蚕豆 (*Vicia faba*)、蔬菜及薯类等轮作

品种。试验以冬季休闲的连作地为对照(CK),选择了小麦收获后留根茬翻压种植烟草(麦-烟),紫花苕子收获后留根茬翻压种植烟草(绿-烟),豆类(豆-烟)和蔬菜(菜-烟)收获后根茬及秸秆全部移除地外种植烟草的 4 种轮作模式,定位研究了 4 种不同复种模式对植烟红壤微生物碳(SMBC)及土壤有机碳(SOC)的影响,各种模式均设置 3 个重复区(表 1)。供试土壤曲靖、晋宁区的全 N 分别为 1.55、1.48 g·kg⁻¹,全 P 分别为 1.20、1.16 g·kg⁻¹,全 K 分别为 16.62、15.84 g·kg⁻¹,速效氮分别为 105.29、103.57 mg·kg⁻¹,速效磷分别为 5.34、5.27 mg·kg⁻¹,速效钾分别为 22.06、21.63 mg·kg⁻¹,微生物量碳分别为 208.34、212.31 mg·kg⁻¹,有机质分别为 12.31、11.95 g·kg⁻¹。

在当季植烟全生育期内,分别在烤烟起垄移栽前、团棵期、旺长期、成熟期及采收后期采用蛇形法多点采取 0~20 cm 根区土样,剔除新鲜土样中石砾及植物残茬等杂物,装入自封塑料袋,一部分土样 4℃ 冰箱保存用于测定微生物量碳,另部分土样经混匀风干处理后分别过 2 mm 筛和 1 mm 筛,备用于土壤化学指标的测定。

1.2 测试分析方法

土壤微生物生物量碳(SMBC)的测定参照章家恩及 Vance 等的方法^[8-10],采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 提取方法。称取 30 g 新鲜土样(测定时混均,过 2 mm 筛,调节至土壤湿度为 40%的持水量),在真空干燥器中用氯仿蒸汽熏蒸 24 h,用反复抽真空方法除去残存氯仿后,再用 60 mL 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 溶液,在 25℃下振荡 30 min,然后离心过滤,用自动分析仪测定有机碳(TOC)含量。熏蒸土壤和未熏蒸土壤提取的有机碳测定值之差(*F_c*),除以转换系数 *K*(0.45),即得土壤微生

表 1 定位监测区试验设置情况

Table 1 The design of experiment in location monitoring area

试验区 Site	轮作模式 Rotation pattern	植烟方式 Type of tobacco cultivation	地理位置 Longitude	海拔/m Altitude	面积/hm ² Area	施肥量/kg·hm ⁻² 与植烟规格 Fertilizer amount and tobacco planting manner
曲靖	前作:光叶紫花苕(绿-烟)	前作根茬翻压垄作,双行条栽	N25°16'8.2"E103°52'13.2"	1 841.0	0.18	种植绿肥的地块,N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O 施用量分别为 75、75、150 kg· hm ⁻² ,种植麦类的地块,N、 P ₂ O ₅ 、K ₂ O 分别为 90、90、180 kg·hm ⁻² ,烟草株行距 60 cm× 120 cm
	前作:蚕豆(豆-烟)	前作根茬移除垄作,双行条栽	N25°16'8.9"E103°52'13.5"	1 840.5	0.25	
	前作:小麦(麦-烟)	前作根茬翻压垄作,双行条栽	N25°16'10.2"E103°52'12.7"	1 841.2	0.20	
	前作:萝卜白菜(菜-烟)	前作根茬移除垄作,双行条栽	N25°16'12.9"E103°52'16.2"	1 842.0	0.12	
	冬闲后连作(CK)	双行条栽	N25°16'12.9"E103°52'16.2"	1 841.6	0.12	
晋宁	前作:光叶紫花苕(绿-烟)	前作根茬翻压垄作,双行条栽	N24°36.651'E102°40.915'	1 908.0	0.21	施肥量同上
	前作:小麦(麦-烟)	前作根茬翻压垄作,双行条栽	N24°36.002'E102°40.915'	1 922.2	0.19	
	前作:豌豆(豆-烟)	前作根茬翻压垄作,双行条栽	N24°36.103'E102°40.982'	1 924.6	0.17	
	冬闲后连作(CK)	双行条栽	N24°36.103'E102°40.982'	1 924.3	0.17	

物碳含量(C_{mic} , $mg \cdot kg^{-1}$)。即 $C_{mic} = Fc/Kc = Fc/0.45$ 。土壤有机碳采用重铬酸钾-浓硫酸外加热氧化法。

1.3 数据处理分析

采用 Excel 及 SPSS Statistics 17.0 进行数据分析。

2 结果与讨论

2.1 不同复种模式对植烟红壤 SMBC 的影响

分别对两个定位监测区不同复种模式的植烟根区土壤微生物量碳(SMBC)进行 S-N-K 检验分析,从表 2 可以看出:无论是曲靖还是晋宁试验区,不同复种模式下当季植烟期内根区 SMBC 均表现出明显差异性,在曲靖区 SMBC 的变化范围为(487.69 ± 116.13)~(226.25 ± 44.08) $mg \cdot kg^{-1}$, 晋宁区的变化范围为(468.08 ± 101.45)~(284.16 ± 62.69) $mg \cdot kg^{-1}$; 在植烟当季,从烟叶生长团棵期至采收末期的各生育阶段,两个试验区的绿-烟复种模式的土壤 SMBC 值,均高于豆-烟、麦-烟、菜-烟复种模式及冬闲后连作地(CK),并且不同复种模式间 SMBC 差异均达到显著水平($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$)。其中曲靖区的绿-烟复种模式 SMBC 的总平均值,分别比豆-烟、麦-烟、菜-烟复种模式及冬闲地(CK)提高 200.08、258.13、261.44、268.21 $mg \cdot kg^{-1}$,且增加值差异均达到极显著水平($P < 0.01$),豆-烟复种模式分别比麦-烟、菜-烟复种模式及冬闲后连作地提高 58.05、61.36、68.13 $mg \cdot kg^{-1}$,增加值差异均达到显著水平($P < 0.05$);在晋宁区,绿-烟复种模式的 SMBC 总平均值分别比豆-烟、麦-烟模式及冬闲地提高 80.17、183.92、220.25 $mg \cdot kg^{-1}$,并且绿-烟与麦-烟及冬闲地的均值差异也达到极显著水平($P < 0.01$),绿-烟与豆-烟的均值差异达到显著水平($P < 0.05$)。因此,红壤烟地在秋冬季节轮作紫花苕留根茬翻压或轮作豆科类作物

的复种模式,对提高烟地土壤 SMBC 含量具有显著的促进作用,不同复种模式对提高烟地 SMBC 的影响效果为:绿-烟>豆-烟>麦-烟>菜-烟>冬闲地。

从不同复种模式 SMBC 数值分布的峰度来看,峰度值表示数值分布曲线的陡缓程度。峰值为正数表示数据分布更为陡峭,为尖峰分布,说明 SMBC 在根区土壤中分布不均匀,并集中于某点区域。峰值为负数,表示数据分布趋于正态平缓分布,说明 SMBC 在根区土壤中分布较均匀,并且峰值负数的绝对值越大,其 SMBC 在根区土壤中的分布越均匀。因此,在曲靖区绿-烟及豆-烟复种模式的 SMBC 的峰值为负数,分别为-1.219 及-1.331,且峰值负数的绝对值最大,说明绿-烟及豆-烟复种模式更能促进烟地土壤中 SMBC 的均匀分布,其土壤中 SMBC 的均匀分布对根区土壤生物活力的全面提高具有重要作用。在晋宁区,除冬闲地(CK)的峰值为正数外,其余 3 种复种模式的峰值均为负数,说明 3 种复种模式均能促进土壤中 SMBC 趋于正态的均匀分布发展,但绿-烟模式土壤中 SMBC 的峰值负数绝对值小于豆-烟和麦茬翻压的麦-烟模式,或许因绿肥品种影响,导致绿肥长势及根茬翻压分布不均匀。

2.2 不同复种模式对植烟红壤 SOC 的影响

土壤有机碳(SOC)对土壤的各种物理、化学、生态性状和土壤肥力具有决定性作用和深刻的影响,是“土壤肥再生能力”的重要物质基础,其含量及变化是评价土壤质量的重要指标^[11-12]。分别对两个定位监测区不同复种模式的植烟 SOC 进行 S-N-K 检验分析,从表 3 可以看出:无论是曲靖还是晋宁试验区,不同复种模式间的 SOC 变化虽然不存在显著性差异($P < 0.05$),但两个试验区的绿-烟复种模式的 SOC 含量均高于豆-烟、麦-烟、菜-烟及冬闲地模式。其中曲靖试

表 2 不同复种模式对土壤微生物碳含量的影响($mg \cdot kg^{-1}$)

Table 2 The effect of different rotation on SMBC contents at different monitoring sites ($mg \cdot kg^{-1}$)

轮作模式 Rotation model	均值 Means	样本数 Sample numbers	标准差 S.D.	最小值 Minimum	最大值 Maximum	峰度 Kurtosis	
曲靖	绿-烟	487.69a	15	116.13	316.32	652.18	-1.219
	豆-烟	287.61A	15	46.12	235.38	367.98	-1.331
	麦-烟	229.56Bb	15	29.57	185.34	281.75	-0.358
	菜-烟	226.25Cc	15	44.08	176.32	303.56	-0.808
	冬闲地	219.48Dd	15	32.15	148.56	247.85	-0.227
晋宁	绿-烟	468.08a	15	101.45	289.53	585.21	-0.594
	豆-烟	387.91b	15	47.99	330.25	461.37	-1.538
	麦-烟	284.16B	15	62.69	215.36	386.67	-1.190
	冬闲地	247.83C	15	43.65	156.21	375.43	0.573

注:表中同列小写字母表示不同轮作模式间在 5% 水平下差异显著;同列大写字母表示不同轮作模式间在 1% 水平下差异显著。下同。

Note: Values in same column followed by a different letter are significant difference at 5% level (small letter) or 1% level (capital letter). The same below.

表 3 不同复种模式对植烟土壤有机碳的影响(g·kg⁻¹)
Table 3 The effect of different rotation on the SOC contents at different monitoring sits(g·kg⁻¹)

轮作模式 Rotation model		均值 Means	样本数 Sample numbers	标准差 S.D.	最小值 Minimum	最大值 Maximum
曲靖	绿-烟	14.50a	15	2.84	10.87	19.04
	豆-烟	13.50a	15	2.50	10.12	17.24
	麦-烟	13.72a	15	2.30	10.53	17.03
	菜-烟	13.92a	15	2.71	10.37	17.36
	冬闲地	13.67a	15	2.45	10.21	17.56
晋宁	绿-烟	15.43a	15	3.11	11.17	20.12
	麦-烟	13.83a	15	2.67	10.58	17.89
	豆-烟	14.14a	15	2.36	10.58	17.89
	冬闲地	13.77a	15	2.68	10.74	18.53

验区的绿-烟复种模式的 SOC 含量分别比豆-烟、麦-烟、菜-烟及冬闲地模式提高 1.0、0.78、0.58、0.83 g·kg⁻¹, 变幅差异不大, 变幅为 (13.50±2.5)~(14.50±2.84)g·kg⁻¹; 晋宁试验区的绿-烟复种模式的 SOC 含量分别比麦-烟、豆-烟及冬闲地模式提高 1.60、1.29、1.66 g·kg⁻¹,变幅为(13.77±2.68)~(15.43±3.11)g·kg⁻¹, 并且 3 种复种模式的 SOC 含量均高于冬闲地。因此, 秋冬季节轮作绿肥品种或作物根茬翻压, 对提高夏季烟草种植期的 SOC 含量具有明显促进作用, 并有利于 SOC 的积累。或许是绿肥作物大量的枯枝落叶及根茬翻压后增加了土壤有机质的原故。

2.3 不同复种模式植烟土壤微生物商的变化

土壤微生物商是指土壤微生物量碳与土壤有机碳总量的百分比(SMBC/SOC),其比值大小是反映土壤生态系统中碳(C)平衡的指标^[13]。以往研究表明, 土壤 SMBC/SOC 在 0.5~4.0 之间^[14-15], 而本研究中 SMBC/SOC 曲靖区在 1.34~3.18 之间, 晋宁试验区在 1.73~3.06 之间。从表 4 看出, 无论是曲靖还是晋宁试验区, 不同复种模式间的土壤微生物商(SMBC/SOC)均表现出明显差异性, 并以绿-烟和豆-烟复种模式的微生物商最高。利用 SPSS 对土壤微生物碳

(SMBC)、土壤有机碳(SOC)及微生物商(SMBC/SOC)进行相关性分析,表明 3 者间均有较高的相关性(表 5),并且 SMBC/SOC 与 SMBC 及 SOC 的相关系数分别为 0.845、0.541。因此土壤微生物商增加,说明土壤中微生物碳库增加, 土壤生态系统中碳素平衡比麦-烟、菜-烟及冬闲后连作地(CK)更稳定。另外对 SOC 和 SMBC 含量的回归分析也表明,二者间呈显著相关(图 1),所以 SOC 的积累对 SMBC 具有重要的影响,利用微生物商衡量土壤的总体变化特征更为稳定。

在曲靖区, 绿-烟复种模式 SMBC/SOC 分别比豆-烟、麦-烟、菜-烟及冬闲后连作地提高 1.04、1.49、1.84、1.73;在晋宁区, 分别比麦-烟、豆-烟及冬闲后连作地提高 1.23、1.06、1.33;在曲靖区, 绿-烟与豆-烟和麦-烟复种模式间差异均达到显著水平($P<0.05$), 绿-

表 5 SMBC、SOC 及 SMBC/SOC 相关系数
Table 5 The correlation coefficient among SMBC, SOC and SMBC/SOC

项目	SMBC	SOC	SMBC/SOC
SMBC	1.000	0.523	0.845
SOC	0.523	1.000	0.541
SMBC/SOC	0.845	0.541	1.000

表 4 不同复种模式土壤微生物碳与有机碳的比率
Table 4 The ratio of SMBC and SOC under different rotation

轮作模式 Rotation model		SMBC/SOC Means	样本数 Sample numbers	标准差 S.D.	最小值 Minimum	最大值 Maximum
曲靖	绿-烟	3.18a	15	0.59	2.76	4.36
	豆-烟	2.14b	15	0.22	1.78	2.46
	麦-烟	1.69c	15	0.18	1.43	2.04
	菜-烟	1.34A	15	0.20	1.35	1.92
	冬闲地	1.45B	15	0.23	1.32	2.10
晋宁	绿-烟	3.06a	15	0.56	2.46	4.14
	麦-烟	1.83c	15	0.43	1.92	3.39
	豆-烟	2.00b	15	0.16	1.77	2.35
	冬闲地	1.73c	15	0.18	1.69	2.21

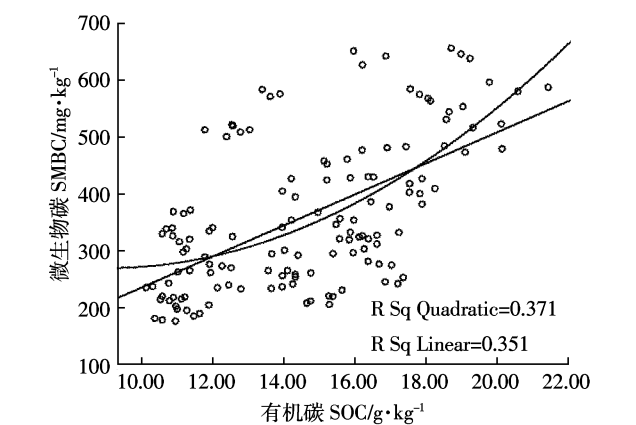


图 1 土壤有机碳与微生物碳的关系

Figure 1 Relation between SOC and SMBC

烟与菜-烟及冬闲后连作地模式间差异达到极显著水平($P<0.01$);在晋宁区,绿-烟与豆-烟、麦-烟及冬闲后连作地模式间差异均达到显著水平($P<0.05$)。因此,绿-烟或豆-烟复种模式对提高土壤微生物商,促进土壤中微生物碳库增加方面具有明显的作用,不同复种模式对烟地 SMBC/SOC 大小的影响效果为:绿-烟>豆-烟>麦-烟>冬闲地>菜-烟。

2.4 不同复种模式下植烟红壤 SMBC 的动态变化

从图 2 可以看出,无论是曲靖还是晋宁区,在植烟当季,从移栽至采收期的各个生育阶段,各复种模式的土壤微生物量碳(SMBC)变化曲线基本相似,变化曲线均由低至高,然后逐渐回落,表明土壤 SMBC 的消减变化基本与烟叶的生长特性吻合。其中,在绿-烟及豆-烟轮作模式,土壤 SMBC 曲线变化的高峰值均出现在成熟期,其余轮作模式土壤 SMBC 曲线变化的高峰值则出现在旺长期,并且全生育期曲线变化相对平缓,说明绿-烟及豆-烟的轮作模式对提高土壤生物活性,延长土壤活力功能具有明显的促进作用,或许是豆科绿肥轮作及根茬翻压后增加了土壤 N 和有机质含量所致。有研究表明,土壤微生物量碳(SMBC)既是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动

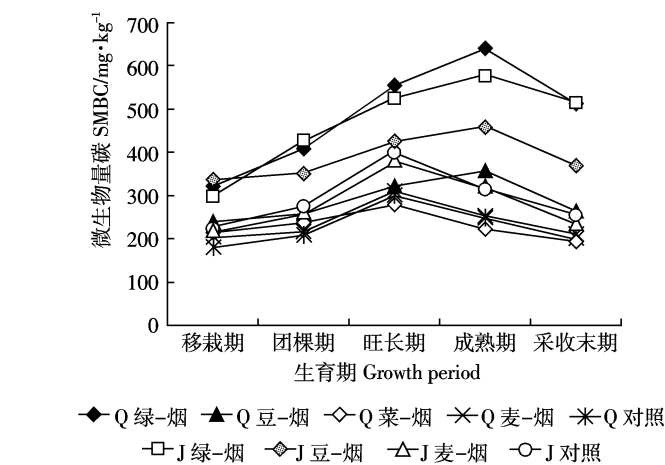


图 2 不同轮作方式下土壤微生物量碳的动态变化

Figure 2 The dynamic change of SMBC during growth period under difference rotation

力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库^[16],土壤养分与SMBC具有相关性,土壤全 N、有机质与 SM-BC 呈极显著正相关,土壤速效 P 与 SMBC 呈弱负相关,土壤速效 K、pH 值与 SMBC 无相关性^[17]。因此,绿-烟及豆-烟轮作模式在一定程度上促进了土壤养分的释放,有助于调控烟草生长的营养平衡。

对不同生长阶段与 SMBC 间进行双因素方差分析(表 6),发现各生长阶段间的 SMBC 存在显著差异($P=0.000\leq 0.01$),表明 SMBC 在一定程度下可作为根际生态状况的动态功能指标。但调整后的 R 值仅为 0.175,表明影响阶段间 SMBC 的差异还有其他因素。如烟草生长过程中,由于烟草根系分泌物的作用,致使土壤的微生物菌群发生很大的改变,这种菌群变化也会导致 SMBC 的变化。

3 结论

(1)本试验研究看出,烟地不同轮作模式影响着土壤微生物量碳(SMBC)与有机碳(SOC)的积累和分布,绿-烟或豆-烟复种对提高烟地土壤 SMBC 与

表 6 各生长阶段 SMBC 的方差分析							
Table 6 Tests the subjects effects between growth period and SMBC							
变异来源 Source	组间变异离均差平方和 Type III sum of squares	自由度 df	均方差 Mean square	F	Sig.		
校正模型 Corrected model	322 267.530	4	80 566.882	6.501	0.000		
截距 Intercept	12 051 048.282	1	12 051 048.28	972.367	0.000		
微生物碳的离均差平方和	322 267.530	4	80 566.882	6.501	0.000		
抽样误差 Error	1 239 351.408	100	12 393.514				
误差总计 Total	13 612 667.220	105					
校正后误差总计 Corrected total	1 561 618.938	104					

a. R Squared =0.206(Adjusted R Squared =0.175)

SOC 含量具有显著的促进作用,并且在植烟生长期根区 SMBC 及 SOC 均高于麦-烟、菜-烟复种及冬闲地,差异达显著或极显著水平。

(2)不同复种模式下,土壤微生物量碳(SMBC)、有机碳(SOC)及微生物商(SMBC/SOC)间呈显著相关性,绿-烟及豆-烟复种模式,有利于提高 SMBC 与 SOC 含量,延长土壤活性功能。不同模式对提高 SMBC 与 SOC 含量的影响为:绿-烟>豆-烟>麦-烟>冬闲地>菜-烟。

(3)土壤微生物量碳(SMBC)可以作为衡量不同时期根区土壤生态状况的功能指标,土壤微生物商(SMBC/SOC)可作为轮作模式影响烟地红壤质量变化的生物学评价指标。

(4)烟地连作后冬季休闲(冬闲地),对恢复地力具有一定效果,但短期内对地力的恢复和土壤的培肥效果不明显。若轮作冬小麦作物,收获时留根茬(20 cm 左右)翻压,同样能提高土壤 SMBC 与 SOC 含量,对旱地红壤改良培肥也有明显的功效。

参考文献:

- [1] 宇万太,姜子绍,柳敏,等.不同土地利用方式对土壤微生物生物量碳的影响[J].土壤通报,2008,39(2):282-286.
Yu W T, Jiang Z S, Liu M, et al. Effect of different land use patterns on soil microbial biomass carbon [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(2):282-286.
- [2] Araujo A S, Monteiro R T. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil amended with untreated and composted textile sludge [J]. *Chemosphere*, 2006, 64(6):1043-1046.
- [3] 李天福,王彪,王树会.云南烤烟轮作的现状分析与保障措施[J].中国烟草科学,2006,27(2):48-51.
Li T F, Wang B, Wang S H. The current situations, problems and measures of tobacco rotation in Yunnan[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2006, 27(2):48-51.
- [4] 殷全玉,王岩,赵铭钦,等.我国植烟土壤微生物研究进展[J].中国烟草科学,2009,30(1):73-77.
Ying Q Y, Wang Y, Zhao M Q, et al. Research progress on microorganism in tobacco planting soil[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2009, 30(1):73-77.
- [5] 杨超,刘国顺,邱立友,等.不同植烟土壤微生物数量调查研究[J].中国烟草科学,2007,28(5):31-36.
Yang C, Liu G S, Qiu L Y, et al. The investigation of microbe mounts in different category tobacco planting field [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2007, 28(5):31-36.
- [6] 刘国顺,杨超,朝祖龙,等.不同类型植烟土壤微生物动态变化分析[J].中国烟草学报,2007,13(5):38-43.
Liu G S, Yang C, Zu C L, et al. Study on edaphon dynamics in four types of soil[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2007, 13(5):38-43.
- [7] 杨宇虹,杨丽萍,赵正雄,等.有机肥料种类及其施用时间对烟田土壤微生物群落的影响[J].中国农学通报,2007,23(1):292-295.
Yang Y H, Yang L P, Zhao Z X, et al. Effect of different kinds of organic manure and application time on micro-organism in flued-cured tobacco planting soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1):292-295.
- [8] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biol Biochem*, 1987, 19:703-707.
- [9] 章家恩,蔡燕飞,高爱霞,等.土壤微生物多样性实验研究方法概述[J].土壤通报,2004,36(3):346-350.
Zhang J E, Cai Y F, Gao A X, et al. Progress of the methods for studying soil microbial diversity[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 36(3):346-350.
- [10] 吴金水.土壤有机质及其周转动力学[M]//何电源.中国南方土壤肥力及栽培作物施肥.北京:科学出版社,1994:28-62.
Wu J S. The soil organic matter and its turnover dynamics[M]//He D Y. The soil fertility of Southern China area and fertilization of crops. Beijing: Science Press, 1994:28-62.
- [11] Clark Ehlers G A, Forrester S T, Scherr K E, et al. Influence of the nature of soil organic matter on the sorption behaviour of pentadecane as determined by PLS analysis of mid-infrared DRIFT and solid-state ¹³C NMR spectra[J]. *Environ Pollut*, 2010, 158(1):285-91.
- [12] Gryndler M, Hrselová H, Casthaml T, et al. Influence of soil organic matter decomposition on arbuscular mycorrhizal fungi in terms of asymbiotic hyphal growth and root colonization[J]. *Mycorrhiza*, 2009, 19(4):255-66.
- [13] 陈岗.楚雄州土壤养分状况与烟叶品质及致香物质相关性研究[J].云南烟草,2003,4:19-30.
Chen G. The study on soil nutrition state in Chuxiong area and its relationship with the aroma-material[J]. *Yunnan Tobacco*, 2003, 4:19-30.
- [14] 何振立.土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J].土壤通报,1997,29(2):61-69.
He Z L. The microbial biomass and its significance of soil nutrient cycle and environmental quality evaluation[J]. *Soil*, 1997, 29(2):61-69.
- [15] 袁家富,邹焱,彭成林.鄂西南烟区土壤的主要肥力特征分析[J].湖北农业科学,2002,1:38-40.
Yuan J F, Zou Y, Peng C L. Analysis on main fertility characters of soil in southwest Hubei tobacco region [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2002, 1:38-40.
- [16] Bhattacharyya P, Chakrabarti K, Chakraborty A. Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure [J]. *Chemosphere*, 2005, 60(3):310-8.
- [17] 蔡晓红,杨京平,马维娜,等.稻田根际微生物生物量碳与水分、氮素影响效应分析[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(6):662-668.
Cai X H, Yang J P, Ma W N, et al. Effects of nitrogen supply levels and water schemes on rice rhizosphere microbial biomass carbon in rice development stage at paddy field[J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences*, 2008, 34(6):662-668.