

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.07.011

中国主要橡胶种植区土壤微生物生物量研究^①

闫小娟¹, 张鑫红¹, 罗微²,
林钊沐², 林清火², 蒋先军¹

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716; 2. 中国热带农业科学院橡胶研究所, 儋州 571737

摘要:天然橡胶原产于低纬度地区, 是重要的工业原料和战略物资。我国采用精细化的种植管理措施, 成功的在 18—24° N 之间的云南、海南、福建、广东和广西 5 个省份进行了橡胶树的种植。但经过多年种胶, 胶园土壤的肥力明显下降, 而大量施肥对提高土壤肥力及产量增长效果并不明显, 其原因可能与微生物数量、活性以及群落结构有关。本文采集了我国主要橡胶种植区海南、广东和云南 3 个省份 5 个橡胶种植区共 75 个土壤样品, 分析了土壤微生物生物量碳。我国主要橡胶种植区土壤微生物生物量碳的值介于 24.2~869 mg/kg 之间。微生物生物量碳分为以下 4 个水平: <100, 100~350, 350~600 和 >600 mg/kg。我国主要橡胶产区微生物生物量碳质量分数集中在 100~350 mg/kg, 样点数为 34 个, 占总样点数的 45.3%。海南省橡胶园土壤微生物生物量碳质量分数普遍偏低, 广东省建设农场微生物生物量碳质量分数主要分布在 350~600 mg/kg, 属于中等水平。云南省东风农场微生物生物量碳主要分布在 >600 mg/kg, 属于较高水平。胶园土壤微生物生物量碳与土壤有机质、全氮以及速效钾质量分数呈显著相关。对我国主要橡胶种植区土壤微生物生物量碳状况进行研究分析, 对于评价胶园土壤肥力状况及指导施肥有指导意义。

关键词:土壤肥力; 微生物生物量碳; 橡胶园

中图分类号: S158.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)07-0064-06

天然橡胶是重要的工业原料和战略物资, 同时, 天然橡胶产业也是我国热带地区农业发展和经济增长的支柱产业^[1]。橡胶树原产于巴西热带雨林区, 该地区有终年温暖、湿润和风速微弱的气候特征。《大英百科全书》将 10°S 至 17°N 以外的地区列为种植橡胶的禁区, 而我国正处在这个禁区。在 1904 年我国引进第一棵橡胶树, 经过科研工作者的长期努力, 采用高强度的施肥和管理措施成功的在我国北纬 18—24° N 之间的云南、海南、福建、广东和广西 5 个省份进行了橡胶树的种植。1951 年起, 我国开始大规模种植橡胶树。当时的胶园由原始森林和次生雨林开垦形成, 胶园的土壤肥力较高、结构良好。但经过多年种胶, 该地区土壤肥力明显下降。如海南垦区胶园土壤有机质下降幅度为 25%~44%, 全氮下降幅度为 22%~40%, 速效钾下降幅度为 10%~55%^[2]。西双版纳胶园土壤有机物浓度下降 23%~33%, 总氮量减少了 20.4%^[3]。

养分对于橡胶树的重要性得到众多学者的认同, 但这些养分元素在土壤中的形态、交互作用及其迁移

① 收稿日期: 2014-12-29

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-34)。

作者简介: 闫小娟(1990-), 女, 甘肃白银人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态学研究。

通信作者: 蒋先军, 教授, 博士研究生导师。

转化过程对橡胶树的生长是如何影响以及有多大程度影响等还不清楚^[4]. 土壤微生物参与有机质的形成和分解, 在土壤养分(N,P,S等)转化和循环中起关键作用; 另一方面土壤微生物生物量是土壤养分的储备库, 是植物生长可利用养分的一个重要来源. 土壤微生物生物量的大小表明微生物新陈代谢的强弱, 能敏感地反映土壤肥力的某些短期变化, 可以有效指示土壤质量^[5].

我国主要胶园是由原始森林和次生雨林开垦形成, 经过多年种胶, 土壤肥力明显下降. 而大量施肥对提高土壤肥力及橡胶产量并不明显. 我们的科学假设认为该现象可能与土壤微生物数量及活性有关, 猜测微生物是橡胶土壤养分转化中的限制因子. 通过查阅文献, 本文是首次同时对我国主要橡胶产区土壤微生物生物量进行大面积采样分析, 为橡胶产区土壤肥力评价提供重要的基础数据, 且结果具有可比性; 并可作为胶园土壤资源可持续利用管理策略提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域包括海南、云南和广东 3 个省份的 5 个国营农场, 分别为海南省阳江农场、乌石农场、红田农场, 云南省东风农场以及广东省建设农场.

阳江农场地处海南省中部的黎母山北麓, 处于 $109^{\circ}38' - 109^{\circ}49' E$, $19^{\circ}16' - 19^{\circ}25' N$. 乌石农场位于琼中黎族苗族自治县, 红田农场位于海南岛西北偏西部的昌江县境内, 处于 $18^{\circ}53' - 19^{\circ}30' N$, $108^{\circ}38' - 109^{\circ}17' E$. 东风农场位于西双版纳州景洪市西南端. 建设农场位于广东省化州市境内.

1.2 土样采集

土壤样品于 2009 年 7 月至 9 月采集, 用 GPS 与各行政矢量电子图结合指导定位. 根据农场面积大小均匀布点采样. 其中, 海南省乌石农场、阳江农场、红田农场采样点数分别为 10, 35 和 11 个, 广东省建设农场采样点数 7 个, 云南省东风农场采样点数 12 个. 每个采样点处采集 0~20 cm 土层土壤. 土样风干, 过 0.25 mm 筛后密封保存. 土样于培养皿中调节含水量为 30% 后, 在 $28^{\circ}C$ 下培养 28 d, 进行微生物生物量碳的测定.

1.3 测定方法

土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸浸提法^[6-7]. 称取 25 g 新鲜湿润土壤置于培养皿中, 放入真空干燥器, 并在真空干燥器底部放置盛有氯仿(去乙醇)的烧杯, 抽真空至氯仿沸腾后保持 10~15 min, 关闭干燥器阀门, 将干燥器放于 $25^{\circ}C$ 的暗处 24 h. 之后取出土样, 放在通风处 2~3 h 使氯仿散尽. 熏蒸的同时, 另取等量的土壤, 放置于另一干燥器中但不熏蒸, 作为对照土壤同样放置 24 h. 将土壤完全转移到 250 mL 三角瓶中, 加入 0.5 mol/L K_2SO_4 溶液 50 mL, 充分振荡 30 min 后过滤. 在总有机碳分析仪上测定其碳的质量分数. 微生物生物量碳质量分数计算: 土壤微生物生物量碳 $BC = 2.64 \times E_c$ (E_c 是熏蒸与不熏蒸土壤中有有机碳的差值, 2.64 为校正系数). 土壤微生物生物量氮采用氯仿熏蒸浸提-纳式比色法测定, 氯仿熏蒸浸提同微生物生物量碳浸提过程. 土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化-容量法; 全氮采用浓硫酸-凯氏定氮法; 速效磷采用盐酸氟化铵-钼锑抗比色法; 速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法^[8-9].

2 结果

1) 我国主要橡胶园海南省阳江农场、乌石农场和红田农场以及云南省东风农场和广东省建设农场土壤微生物生物量碳分析结果如图 1 所示. 橡胶种植区微生物生物量碳分为以下 4 个水平: <100 , $100 \sim 350$, $350 \sim 600$ 和 >600 mg/kg.

3 个省份 5 个国营农场共有 75 个样品, 所有样品土壤微生物生物量碳的值介于 $24.2 \sim 869.0$ mg/kg 之间. 微生物生物量碳 <100 mg/kg 的样点数有 17 个, 占总样点数的 22.7%, 其中 94.1% 分布在海南省橡

胶园. 微生物生物量碳质量分数 $100\sim 350\text{ mg/kg}$ 的样点数有 35 个, 占总样点数的 46.7%, 其中 97.1% 分布在海南省橡胶园. 微生物生物量碳质量分数 $350\sim 600\text{ mg/kg}$ 的样点数有 17 个, 占总样点数的 22.7%, 其中分别有 35.3%, 29.4% 和 35.3% 分布在云南省、广东省和海南省橡胶园. 微生物生物量碳质量分数 $> 600\text{ mg/kg}$ 的样点数有 6 个, 占总样点数的 8.0%. 全部分布在云南省橡胶园.

我国主要橡胶种植区土壤微生物生物量碳分级频率分布如图 2 所示. 云南省东风农场土壤微生物生物量碳质量分数处于 $350\sim 600$ 和 $> 600\text{ mg/kg}$ 样

点数均为 6 个, 分别占胶园总样本的一半. 微生物生物量碳在 3 个省份中属于偏高水平分布. 广东省建设农场微生物生物量碳质量分数处于 $< 100, 100\sim 350, 350\sim 600\text{ mg/kg}$ 样点数分别为 1, 1 和 5 个, 占该胶园总采样点数百分比分别为 14.3%, 14.3% 和 71.4%; 微生物生物量碳质量分数主要分布在 $350\sim 600\text{ mg/kg}$. 海南省阳江农场微生物生物量碳质量分数在 $29.6\sim 516\text{ mg/kg}$; 微生物生物量碳质量分数处于 $< 100, 100\sim 350, 350\sim 600\text{ mg/kg}$ 的样点数分别为 8, 22 和 5 个, 占该胶园总采样点数百分比分别为 22.8%, 62.8% 和 14.3%. 微生物生物量碳质量分数主要分布在 $100\sim 350\text{ mg/kg}$. 海南省乌石农场微生物生物量碳质量分数在 $24.2\sim 173\text{ mg/kg}$, 最小值是全部橡胶园土壤微生物生物量碳质量分数中最低值, 微生物生物量碳质量分数主要分布在 $< 100\text{ mg/kg}$, 样点数 8 个, 占该胶园总采样点数百分比为 80%. 海南省红田农场的微生物生物量碳质量分数在 $135\sim 386\text{ mg/kg}$; 微生物生物量碳质量分数处于 $100\sim 350\text{ mg/kg}$ 的样点数为 10 个, 占该胶园总采样点数百分比为 91%.

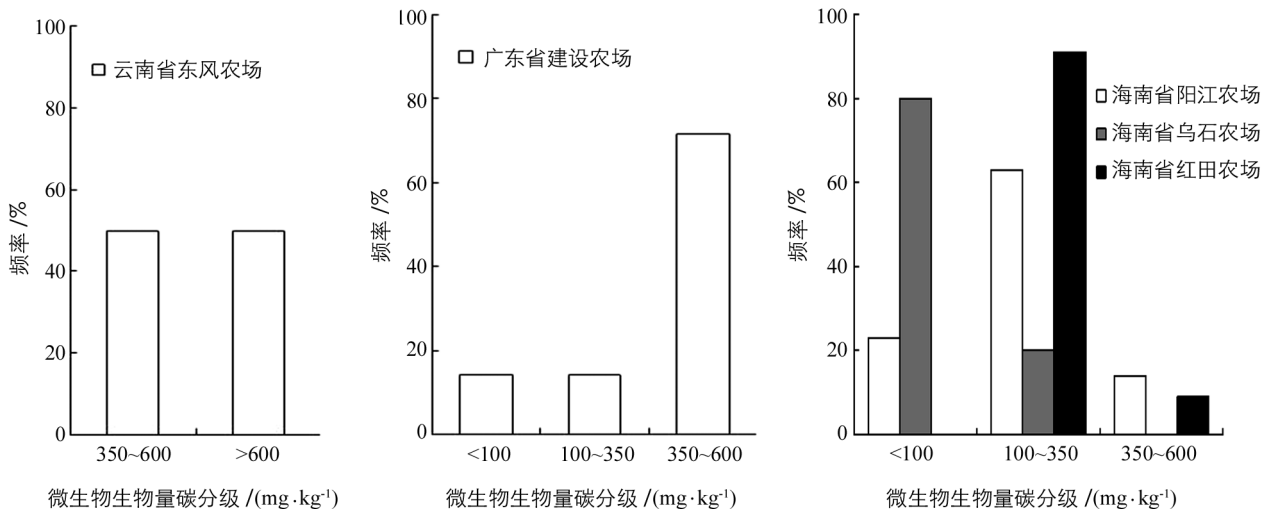


图 2 橡胶园土壤微生物生物量分级频率分布图

根据胶园微生物生物量碳的统计分析(表 1), 云南省东风农场土壤微生物生物量碳质量分数在 $361\sim 869\text{ mg/kg}$. 广东省建设农场微生物生物量碳质量分数在 $45.1\sim 582\text{ mg/kg}$. 海南省胶园土壤微生物生物量碳质量分数在 $24.2\sim 516\text{ mg/kg}$. 云南省东风农场土壤微生物生物量碳平均质量分数 603 mg/kg , 远大于其他农场, 且依次为广东省建设农场、海南省阳江农场、海南省红田农场、海南省乌石农场. 5 个农场的微生物生物量碳质量分数的变异系数均在 $10\%\sim 100\%$, 属于中度变异. 云南省东风农场土壤微生物生物量

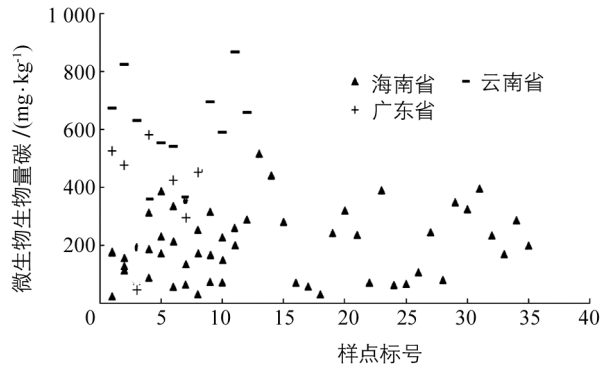


图 1 海南省、云南省和广东省 3 个省份 5 个农场土壤微生物生物量碳质量分数分布图. 其中海南省 3 个农场、广东省建设农场和云南省东风农场采样点数分别为 56, 7 和 12 个.

图 1 橡胶园土壤微生物生物量碳质量分数图

碳质量分数的变异系数最大为 59.4%。依次为：海南省乌石农场、海南省阳江农场、广东省建设农场和海南省红田农场。

表 1 橡胶园土壤微生物生物量碳统计分析

农场	最小值/(mg·kg ⁻¹)	最大值/(mg·kg ⁻¹)	平均值/(mg·kg ⁻¹)	变异系数/%
云南省东风	361	869	603	59.4
广东省建设	45.1	582	401	45.1
海南省阳江	29.6	516	232	53.0
海南省乌石	24.2	173	77.7	54.7
海南省红田	135	386	194	34.9

综上所述可知：我国主要橡胶产区微生物生物量碳质量分数主要分布在 100~350 mg/kg，属于低水平。海南省橡胶园土壤微生物生物量碳质量分数普遍偏低，广东省建设农场微生物生物量碳质量分数主要分布在 350~600 mg/kg，属于中等水平。云南省东风农场微生物生物量碳主要分布在 >600 mg/kg，属于较高水平。

2) 对我国胶园土壤微生物生物量碳、氮、有机质、全氮以及速效磷、钾指标进行相关性分析。相关分析检验应用 Origin 统计软件，具体采用 Pearson 法进行两变量相关分析。

由表 2 可知，橡胶园土壤微生物量碳与有机质、全氮以及速效钾相关性分析结果有统计学意义。研究者一般都认为，土壤有机质与微生物量碳有密切的正相关关系。本研究中微生物生物量碳与有机质、全氮等分析结果有统计学意义，随着施肥量的肥力水平的提高，微生物碳质量分数也会相应提高。在橡胶种植过程中，可以采用化肥与有机肥配合施用，提高土壤有机质质量分数，促进微生物的代谢和繁育，增加土壤微生物的量，从而提高肥料的利用率，使得土壤肥力得以缓慢恢复。

表 2 橡胶园土壤微生物生物量碳与其他指标相关性

微生物生物量碳	微生物生物量氮	有机质	全氮	速效磷	速效钾
Pearson Correlation	0.056	0.243*	0.345**	-0.104	-0.265*
Sig. (2-tailed)	0.635	0.035	0.002	0.374	0.022

注：* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$ 。

3 讨 论

现有对于胶园土壤微生物生物量的研究都是针对单一地区胶园土壤理化性质或微生物生物量。本文第一次集中对我国主要橡胶种植区土壤微生物生物量进行研究，并对不同区域橡胶种植区的土壤微生物生物量进行分析比较。

我国主要胶园是由原始森林和次生雨林开垦形成，经过多年种胶，土壤肥力明显下降，而大量施肥对提高土壤肥力及橡胶产量并不明显，可能与土壤微生物数量及活性有关。由于土壤微生物生物量受土壤温度、湿度等环境因素影响大^[10]，例如含水量不同导致微生物生物量及其活性不同^[11]。所以本文采集我国主要橡胶产区，海南、云南和广东 3 个省份 5 个国营农场胶园土壤，风干后经过 28 d 相同条件预培养，测定微生物生物量碳，可以反映胶园土壤潜在的微生物生物量碳，排除了其他环境因素的影响。研究结果表明：所有样品土壤微生物生物量碳的值介于 24.2~869 mg/kg 之间。橡胶种植区微生物生物量碳分为以下 4 个水平：<100, 100~350, 350~600 和 >600 mg/kg。我国主要橡胶产区微生物生物量碳质量分数集中在 100~350 mg/kg 分布。其中，云南省、广东省和海南省橡胶园土壤微生物生物量碳质量分数分别集中在 361~869, 350~600 和 100~350 mg/kg。广西省、云南省西双版纳次生林以及未扰动的热带常绿林微生物生物量碳质量分数分别为 780, 1 000~1 600 和 600~1 135 mg/kg^[12-14]。种植橡胶，胶园土壤微生物生物量碳质量分数明显下降。与张华等和张敏等以及方丽娜等研究结果一致^[15-16, 13]。与其他生态系统相比

较,胶园土壤微生物生物量明显偏低.例如,云南西双版纳橡胶园土壤微生物生物量碳只有热带雨林土壤的60%~70%,而亚马逊中部橡胶林土壤中的微生物生物量为热带雨林土壤的75%^[16-17].Zhang等研究发现植胶后微生物生物量碳下降55.5%,同时土壤碳、氮质量分数及其有效性降低,并且土壤呈现酸化倾向^[18].植胶土壤与原始森林或次雨林土壤相比,物质循环过程有明显差异,种植橡胶后,改变了输入土壤的有机物质的数量和质量.对于原始森林和次雨林,一方面,每年有大量的凋落物归还土壤,为微生物的生长提供丰富的碳源.同时,大量的凋落物有利于表层土壤的湿度和温度的保持,为土壤微生物生长提供有利的条件^[19].另一方面,原始森林和次雨林地表土层扰动较少,土壤结构适宜,为土壤微生物提供较好的生境.促进土壤微生物的生长,加快了土壤碳的循环和有机质的矿化作用.种植橡胶后,凋落物数量减少,再经过土壤翻耕等农业措施,改变土壤理化状况,导致土壤微生物区系改变和微生物量降低^[20].

4 结论和建议

我国主要橡胶产区微生物生物量碳质量分数主要分布在100~350 mg/kg,属于低水平.海南省橡胶园土壤微生物生物量碳质量分数普遍偏低,广东省建设农场微生物生物量碳质量分数主要分布在350~600 mg/kg范围,属于中等水平.云南省东风农场微生物生物量碳主要分布在大于600 mg/kg范围,属于较高水平.橡胶园土壤微生物量碳与有机质、全氮以及速效钾相关性分析结果有统计学意义($p < 0.05$).土壤有机质、全氮、有效钾质量分数等都是重要的肥力指标,我国主要橡胶产区不同农场具有不同的气候及地形因素,应根据自身养分丰缺情况制定合理的管理措施,进行合理的施肥,保证胶园养分正常供应.

参考文献:

- [1] 蒋菊生,王如松.海南橡胶产业生态[M].北京:中国科学技术出版社,2004:1-35.
- [2] 何向东,吴小平.海南垦区胶园肥力演变探研[J].热带农业科学,2002,22(1):16-22.
- [3] 张墨谦,周可新,薛达元.种植橡胶林对西双版纳热带雨林的影响及影响的消除[J].生态经济,2007(2):377-378.
- [4] 麦全法,蒋菊生.中国主要植胶区胶园生态系统养分变化趋势的分析研究[D].儋州:华南热带农业大学,2006:1-51.
- [5] 马波,张绍东.土壤质量微生物学指标研究概述[J].四川环境,2010,29(5):114-118.
- [6] 文倩.半干旱荒漠化地区不同土地利用方式下土壤团聚体微生物量与群落功能特性分析[D].北京:中国农业大学,2004:1-109.
- [7] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006:135-139.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:16-18,39-56,265-267.
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000,107-109,147-149,168-169.
- [10] 汪小兰,蒋先军,曹良元,等.季节变化对不同形态氮素在土壤团聚体中分布的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(3):133-139.
- [11] ZHANG J S, GUO J F, CHEN G S. Soil Microbial Biomass and Its Controls [J]. Journal of Forestry Research, 2005, 16(4): 327 - 330.
- [12] 吴敏,吴炳孙,韦家少,等.儋州市橡胶园土壤磷素空间变异及分区管理研究[J].广东农业科学,2013,40(10):65-68.
- [13] 方丽娜,杨效东,杜杰.土地利用方式对西双版纳热带森林土壤微生物生物量碳的影响[J].应用生态学报,2011,22(4):837-844.
- [14] BARBHUIYA A R, ARUNACHALAM A, PANDEY H N, et al. Dynamics of Soil Microbial Biomass C, N and P in Disturbed and Undisturbed Stands of a Tropical Wet-Evergreen Forest [J]. European Journal of Soil Biology, 2004, 40(3-4): 113-121.
- [15] ZHANG H, ZHANG G L, ZHAO Y G, et al. Chemical Degradation of a Ferralsol (Oxisol) Under Intensive Rubber (*Hevea brasiliensis*) Farming in Tropical China [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93(1): 109-116.
- [16] 张敏,邹晓明.热带季节雨林与人工橡胶林土壤碳氮比较[J].应用生态学报,2009,20(5):1013-1019.

- [17] MARTIUM C, HOFER H, GARCIA M V B, et al. Microclimate in Agroforestry Systems in Central Amazonia: Does Canopy Closure Matter to Soil Organisms? [J]. *Agroforestry Systems*, 2004, 60(3): 291–304.
- [18] ZHANG H, ZHANG G L. Microbial Biomass Carbon and Total Organic Carbon of Soils as Affected by Rubber Cultivation [J]. *Pedosphere*, 2003, 13(4): 355–357.
- [19] 刘 爽. 五种温带森林土壤微生物生物量碳和氮的时空变化 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010: 1–34.
- [20] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响 [J]. *生态学报*, 2002, 22(4): 508–512.

Investigation of Soil Microbial Biomass in the Main Rubber Plantation Areas in China

YAN Xiao-juan¹, ZHANG Xin-hong¹, LUO Wei²,
LIN Zhao-mu², LIN Qing-huo², JIANG Xian-jun¹

1. College of Resources and Environmental, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Rubber Research Institute, South China Academy of Tropical Agriculture Sciences, Danzhou Hainan 571700, China

Abstract: Natural rubber production is important for industry and national defense, is usually planted in tropical areas. By intensive plantation and management strategies, rubber is successfully planted in Yunnan, Hainan, Fujian, Guangdong and Guangxi provinces in the area between north latitude 18° and 24°. However, soil fertility decreased significantly after long-term plantation of rubber tree, and fertilization did not work in improving soil fertility and yields. Possible mechanisms may be related to microbial biomass, activities and community structures. In this paper, 75 samples were collected in the rubber plantation in Hainan, Guangdong and Yunnan provinces, and soil microbial biomass carbon was investigated. We classified the microbial biomass carbon of the rubber plantation into four levels according to present data: less than 100 mg/kg; between 100 and 350 mg/kg; between 350 and 600 mg/kg and more than 600 mg/kg soil. The microbial biomass carbon in main rubber production areas concentrated in the low level, which including 35 samples. In Hainan province, the microbial biomass carbon is generally low. In Guangdong province, microbial biomass carbon content are mainly distributed in between 350 and 600 mg/kg, which belong to medium level. In Yunnan province, microbial biomass carbon are mainly distributed in more than 600 mg/kg, which belong to a higher level. Microbial biomass carbon and soil organic matter, total nitrogen and available potassium content were significantly correlated.

Key words: soil fertility; microbial biomass carbon; rubber plantations

责任编辑 陈绍兰

实习编辑 包 颖

