

文章编号: 1008-2786-(2014)2-179-08

施肥对橡胶人工林土壤呼吸、土壤微生物生物量碳和土壤养分的影响

徐凡珍^{1,2}, 胡古³, 沙丽清^{1*}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室, 云南 昆明 650223;

2. 中国科学院大学, 北京, 100049; 3. 中国科学院昆明分院, 云南 昆明 650204)

摘 要: 为探讨施肥处理对橡胶人工林的影响, 对施用氮、磷化肥处理(对照: CK; N1: 100 kg Nha⁻¹; N2: 200 kg Nha⁻¹; P: 75 kg Pha⁻¹) 对橡胶林土壤呼吸、微生物生物量碳和养分的影响进行为期 1 a 的研究。结果表明: 土壤呼吸的季节变化基本上呈单峰曲线, 土壤呼吸速率在雨季(平均为 2.77 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) 大于旱季(平均 2.55 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹); 台地土壤呼吸受测定前降水影响明显, 呈显著负相关(按 CK、N1、N2 和 P 排列相关系数分别为 -0.757、-0.630、-0.659 和 -0.586), 而边坡土壤呼吸与土壤温度有极显著正相关(按 CK、N1、N2 和 P 排列相关系数分别为 0.638、0.635、0.712 和 0.694); 高氮处理 N2(200 kg Nha⁻¹) 在雨季时显著抑制台地异养呼吸和边坡土壤呼吸; 通过测定土壤微生物生物量碳发现, 高氮处理样地在雨季和雾凉季显著抑制台地和边坡土壤微生物生物量碳; 在土壤养分方面, 除施磷样地内台地土壤有效磷含量显著增大外(P 样地内有效磷含量为 85.43 mg/kg, CK 样地为 9.77 mg/kg), 施肥处理并未对橡胶林土壤养分造成显著影响。

关键词: 施肥; 橡胶林; 土壤呼吸; 土壤微生物生物量碳

中图分类号: S152

文献标志码: A

橡胶树(*Hevea brasiliensis*) 原产于南美洲亚马逊流域的热带雨林, 1960 年代开始引种至云南西双版纳, 现不仅是我国橡胶林的主要种植区之一, 也成为西双版纳森林主要树种, 截至 2007 年橡胶的种植面积由 1976 年占西双版纳面积的 1.1% 激增到 11.8% [1-3]。随着橡胶的大面积种植, 单一人工林群落所带来的问题也日益凸显。国内对橡胶林土壤进行了深入研究, 发现种植橡胶之后, 林内土壤有机碳、有效磷和微生物生物量碳显著降低, pH 下降了 0.5 个单位, 与此同时 Al³⁺ 的含量增加了近一倍 [4]。草甘膦类的广谱除草剂以及无机肥的大量施用, 导致了橡胶林内地表植物丰富度减少、病虫害加剧、水

土流失严重、土壤酸化与板结、外来物种急剧增加等一系列的生态退化现象 [5]。土地退化和土壤肥力降低反过来又严重制约着橡胶的生产, 进一步影响橡胶林的经济效益。

土壤呼吸是指未扰动的土壤中产生 CO₂ 的所有代谢作用, 包括土壤微生物呼吸、根系呼吸、土壤动物呼吸 3 个生物学过程和含碳矿物质的化学氧化作用 1 个非生物学过程 [6]。土壤是地球各圈层中最大的碳库, 而土壤呼吸作为全球碳循环过程中最主要的环节, 大气 CO₂ 浓度上升会影响土壤生物与非生物环境条件(如: 土壤微生物活动、土壤含水率、土温), 反过来也会影响土壤呼吸产生 CO₂。因

收稿日期(Received date): 2013-11-03; 修回日期(Accepted): 2014-01-11。

基金项目(Foundation item): 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05070304)、中国科学院“一三五”专项-突破三(Y2ZKT30B00)和国家重点基础研究发展计划项目(2010CB833501)。[Supported by the "Strategic Priority Research Program" of the Chinese Academy of Sciences (XDA05070304), the CAS 135 Program XTBG-T03 (Y2ZKT30B00) and the Development Program in Basic Science of China (2010CB833501).]

作者简介(Biography): 徐凡珍(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事橡胶林土壤呼吸的研究。[Xu Fanzhen(1989-), male, master degree candidate, major in research on soil respiration in rubber plantation.] E-mail: xufanzhen33@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 沙丽清, 男, 副研究员。[Sha Liqing, male, Associate professor.] E-mail: shalq@xtbg.ac.cn

此,评估土壤呼吸强度及其动态在全球变化的背景下显得尤为重要。土壤微生物作为陆地生态系统的重要组成部分,大部分土壤过程都和土壤微生物有直接或间接的关系^[6],而微生物作为土壤呼吸的重要来源,其变化对土壤呼吸有重大的影响。

西双版纳地区橡胶林替代自然林和次生林后,改变了生态系统的碳储量及碳循环特征。多层次、多物种的群落构建及施肥是提高橡胶林固碳增汇能力的主要措施。通过研究施肥对土壤养分、土壤呼吸及土壤微生物生物量碳的影响,将加深对土壤碳循环过程的认识,对提高橡胶林固碳增汇能力具有重要的理论和实践指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

西双版纳州位于云南省南部边缘, $N21^{\circ}09' \sim 22^{\circ}36'$, $E99^{\circ}58' \sim 101.50'$,属于西南热带季风气候。一年中干湿季分明,可分为旱季(11月至次年4月)和雨季(5—10月)。年平均气温 21.6°C ,最热月平均气温 25.3°C ,最冷月平均气温 15.5°C ,年日照时数 1 828 h,年平均降雨量 1 557 mm,终年无霜。土壤为由白垩纪砂岩发育而成的砖红壤,土层深厚。

1.2 橡胶林

本研究的实验样地位于云南省勐腊县勐仑镇中国科学院西双版纳热带植物园东区橡胶林观测铁塔附近,样地坐标 $N21^{\circ}54'38.69''$, $E101^{\circ}16'13.01''$,海拔 562 m。橡胶林龄为 22 a,为橡胶盛产期,宽窄行种植,株距 2.5 m,宽行距为 20 m,窄行距为 5 m。

1.3 试验设计

施肥试验包括 4 个处理,分别为①对照: CK; ② $N1: 100\text{kg Nha}^{-1}$; ③ $N2: 200\text{ kg Nha}^{-1}$; ④ $P: 75\text{ kg-Pha}^{-1}$ 。实验为随机区组设计(randomized blocks design),其中氮肥为尿素($N = 46.4\%$),磷肥为普钙($P_2O_5 = 11.5\%$),分别于 2012 年 2 月底和 8 月中旬挖沟均匀撒施。

样方面积: $20\text{ m} \times 20\text{ m}$, 4 个重复。

另在台地设置切根处理,用于区分自养呼吸(根系呼吸)及异养呼吸(微生物呼吸)。每个实验小区做 1 个切根处理,切根样方为 $0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$,先在小区选择 1 个小样方,然后沿样方边沿挖 0.5 m 深 0.1 m 宽的沟,将 80 目细尼龙网放置在沟中以阻止细根生长,尼龙网布置完成后将土壤回填。

样地布置完成后于 2012 年 3 月开始监测,每月测定样地内土壤呼吸、切根处理样方内的土壤呼吸、土壤含水量、土壤温度,2012 年 10 月采样测定一次土壤理化性质。

土壤呼吸所用测定仪器为 Li-6400(Li-Cor, Lincoln, NE, USA);土壤温度采用 6310 针式土壤温度计,在土壤呼吸环附近测量地下 5 cm 处的温度;土壤含水量采用手持式土壤水分测量仪(型号 MPM-160B)测量地下 0~5 cm 处土壤体积含水量;土壤 pH 采用电位法,参照《森林土壤 pH 值的测定》(LY/T 1239-1999);全碳和全氮使用碳氮分析仪测定;全磷采用高氯酸-硫酸钼锑抗比色法测定(FHZDZTR0057);全钾采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES),参照《森林土壤矿质全量元素(硅、铁、铝、钛、锰、钙、镁、磷、钾、钠等)烧失量的测定》(LY/T 1253-1999、LY/T 1254-1999);水解性氮采用碱解-扩散法,参照《森林土壤水解性氮的测定》(LY/T 1229-1999);可溶性有机碳参照 Liang 的方法^[7];土壤有效磷使用连续流动分析仪测定(G-102-93 Rev. 2),参照《森林土壤有效磷的测定》(LY/T 1233-1999);土壤铵态氮的测定用氧化镁浸提-扩散法测定(LY/T 1231-1999);土壤硝态氮用酚二磺酸比色法测定(LY/T 1230-1999);土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸提取法^[8]。

1.4 数据分析

用 Kolmogorov-Smirnov 检验所有数据的正态性。用 SPSS20.0 对数据进行分析。用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验不同季节土壤呼吸速率以及不同处理下土壤呼吸速率及土壤微生物生物量碳的差异,对统计分析存在的显著差异用最小显著差数法(LSD)进行多重比较,用 Pearson 相关分析检验土壤呼吸与环境因子的关系,显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。文中用 Sigmaplot 11.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理土壤呼吸与环境因素的季节变化

从图 1 可看出,台地上的土壤呼吸基本呈单峰曲线,雨季高而旱季低。各处理土壤呼吸从 3 月开始逐渐上升,直至雨季来临。进入雨季之后由于降雨常常使台地土壤水分达到饱和,造成 CO_2 在土壤中聚集而难排出,因而 6 月中旬土壤呼吸速率均有

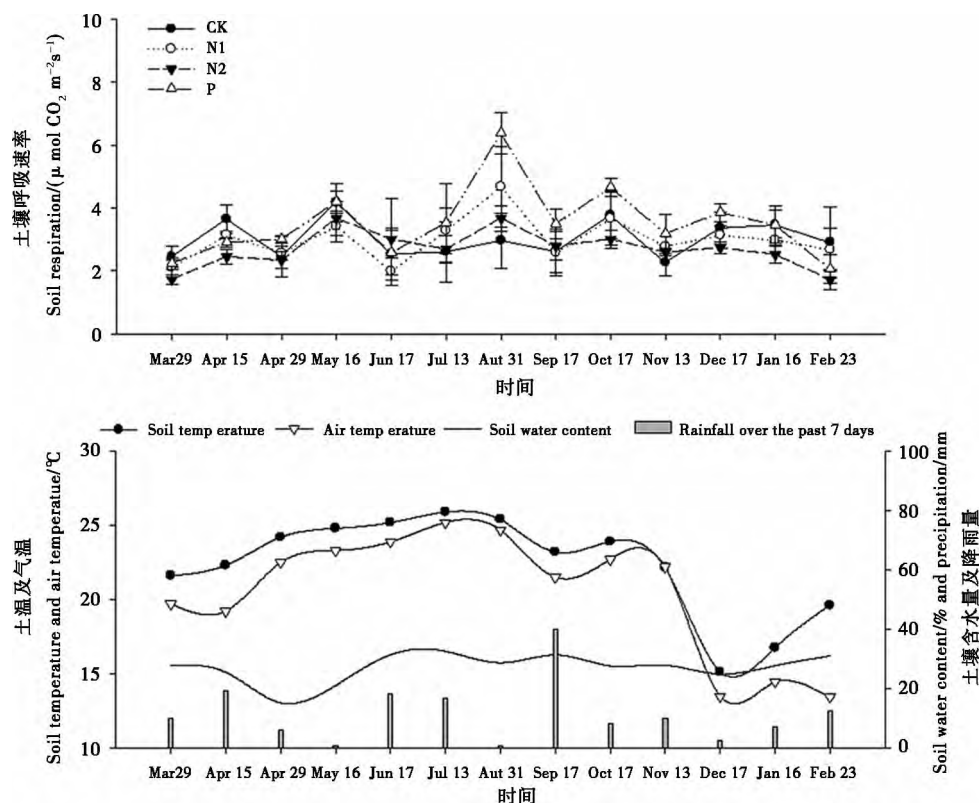


图1 台地土壤呼吸与环境因素季节变化

Fig. 1 Seasonal variation of soil respiration and environment conditions in the terrace bench

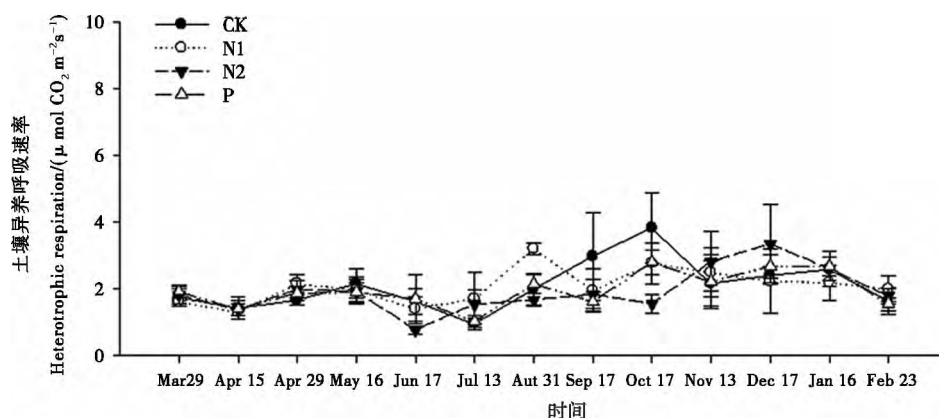


图2 台地异养呼吸季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of heterotrophic respiration in the terrace bench

所降低,最大值出现在8月31日,最低值出现在2月23日。

通过切根处理发现,土壤呼吸速率从3月开始处于相对稳定的状态,8月之后上升,直至第二年1月下降低(图2)。台地切根样方内的土温和气温与台地未切根样方保持一致,由于切根样方内无根系吸收水分,因而土壤含水率高于未切根的样方。

边坡上的土壤呼吸与台地相似基本呈单峰曲线

(图1及图3),雨季高而旱季低。最大值出现在8月31日,最小值同样出现在2月23日。土温和气温与台地基本一致,而由于边坡样方不易积水因此土壤含水率小于台地样方。

2.2 土壤呼吸与环境因子的关系

土壤呼吸主要受土壤温度、含水率、pH、根系等因子的影响。本研究结果表明,台地土壤呼吸与测定前7 d的降水总量成极显著的负相关(表1);台

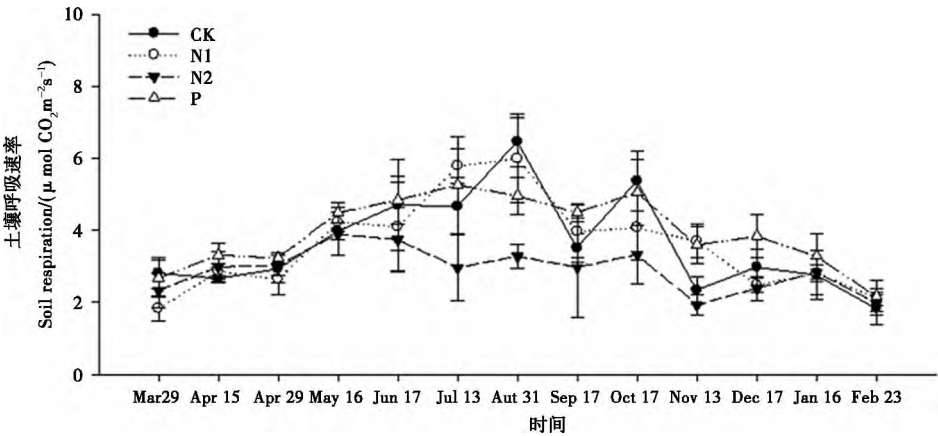


图 3 边坡土壤呼吸季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of soil respiration in the riser bank

表 1 台地上各施肥处理土壤呼吸与环境因子相关性分析

Table 1 Correlation analysis between soil respiration and its affecting factors in the terrace bench

处理	土壤温度	气温	土壤含水率	测量前 7 d 降水量
Pearson 相关性	-0.227	-0.181	-0.474	-.757**
CK 显著性(双侧)	0.501	0.595	0.141	0.007
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	0.188	0.158	-0.244	-.630*
N1 显著性(双侧)	0.581	0.642	0.470	0.038
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	0.424	0.387	-0.321	-.659*
N2 显著性(双侧)	0.194	0.240	0.336	0.027
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	0.365	0.376	-0.246	-0.586
P 显著性(双侧)	0.269	0.255	0.467	0.058
N	13	13	13	13

* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;
** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

表 2 台地异养呼吸与环境因子相关性分析

Table 2 Correlation between heterotrophic respiration and its affecting factors in the terrace bench

处理	土壤温度	空气温度	土壤含水率	测量前 7 d 降水量
Pearson 相关性	-0.229	-0.037	-0.325	-0.334
CK 显著性(双侧)	0.499	0.915	0.329	0.315
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	0.122	0.085	-0.351	-.618*
N1 显著性(双侧)	0.721	0.805	0.290	0.043
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	-0.365	-0.298	-0.701*	-0.466
N2 显著性(双侧)	0.270	0.373	0.016	0.149
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	-0.124	0.046	-0.469	-0.489
P 显著性(双侧)	0.717	0.894	0.146	0.127
N	13	13	13	13

* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;
** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

地异养呼吸与土壤含水率成极显著的正相关(表 2);边坡土壤呼吸与土壤温度、气温都有显著的正相关(表 3)。

2.3 施肥对土壤呼吸的影响

从图 4 看,在干热季和雨季,不同施肥处理的台地土壤呼吸速率均未出现明显差异,而在雾凉季,高氮处理 N2 的土壤呼吸平均速率显著低于其他处理($P < 0.05$)。

在异养呼吸方面,只有雨季时高氮处理 N2 显著低于其他处理,在旱季和雾凉季不同处理均未出现显著差异(图 5)。

边坡上的结果与台地异养呼吸的结果类似,只有雨季时高氮处理显著显著低于其他处理,旱季和雾凉季均无明显差异(图 6)。

2.4 不同施肥处理对土壤微生物生物量碳(MBC)的影响

在干热季台地上不同施肥处理土壤微生物生物量碳无显著差异,而在雨季和雾凉季,高氮处理的土壤微生物生物量碳均显著小于其他处理($P < 0.05$)(图 7)。

干热季不同施肥处理在边坡上土壤微生物生物量碳无明显差异,而在雨季和雾凉季高氮处理 N2 显

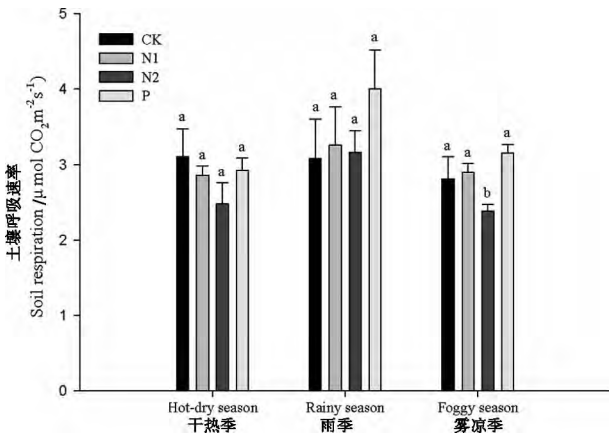
表 3 边坡土壤呼吸与环境因子相关性分析

Table 3 Correlation between soil respiration and its affecting factors in the riser bank

处理	土壤温度	气温	土壤含水率	测量前 7 d 降水量
Pearson 相关性	0.638*	0.627*	0.119	-0.431
CK 显著性(双侧)	0.035	0.039	0.728	0.185
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	0.635*	0.527	0.117	-0.477
N1 显著性(双侧)	0.036	0.096	0.732	0.138
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	0.712*	.787**	0.084	0.302
N2 显著性(双侧)	0.014	0.004	0.806	0.366
N	13	13	13	13
Pearson 相关性	0.694*	0.707*	0.191	-0.281
P 显著性(双侧)	0.018	0.015	0.573	0.403
N	13	13	13	13

* 表示在 0.05 水平(双侧) 上显著相关;

** 表示在 0.01 水平(双侧) 上显著相关



(不同字母表示差异显著, $P < 0.05$)

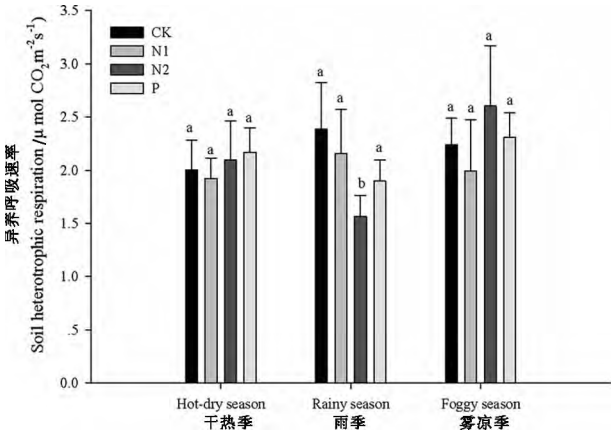
图 4 不同季节台地土壤呼吸处理间差异

Fig. 4 Soil respiration in the terrace bench among different seasons in response to fertilization

著小于其他处理($P < 0.05$) (图 8) 。

2.5 不同施肥处理对土壤养分的影响

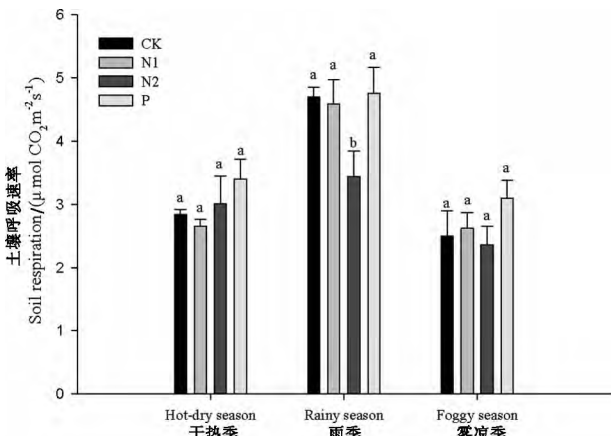
采集各处理样地的土壤样品检测其 pH 及养分含量,包括全碳、全氮、全磷、全钾、水解氮、有效磷、铵态氮、硝态氮,分析结果见表 4。结果表明,台地除施磷处理有效磷显著大于其他处理之外($P < 0.01$),其他均未有显著差异;而边坡上处理间均未表现出显著差异(表 5) 。



(不同字母表示差异显著, $P < 0.05$)

图 5 不同季节台地异养呼吸处理间差异

Fig. 5 Soil heterotrophic respiration in the terrace bench among different seasons in response to fertilization



(不同字母表示差异显著, $P < 0.05$)

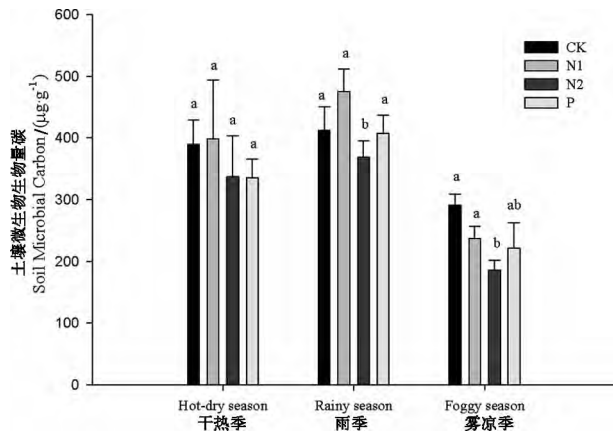
图 6 不同季节边坡土壤呼吸处理间差异

Fig. 6 Soil respiration in the riser bank among different season in response to fertilization

3 讨论

3.1 土壤呼吸的季节变化和地形影响

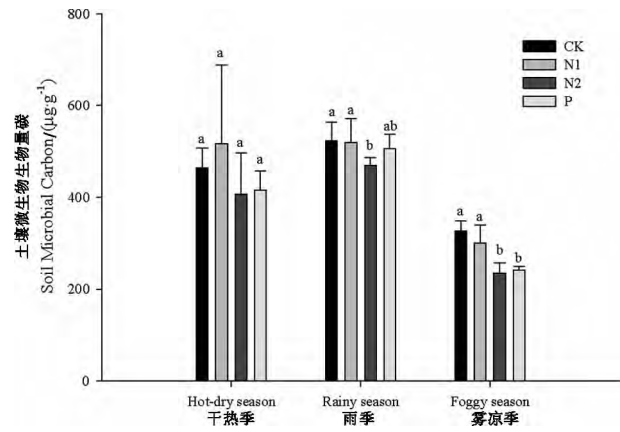
在本研究中,根据西双版纳橡胶林的垦殖方式把实验小区分为台地和边坡,其中由于实验样地内的橡胶林处于丰产期,台地受除草、践踏、割胶等人 为干扰较大,而边坡处于台地行间带所受干扰较小。经过为期 1 a 的实验结果表明,无论是台地还是边坡,土壤呼吸季节变化整体呈单峰曲线,且呼吸速率雨季大于旱季,这一结果与前人研究类似^[8-10]。研究表明土壤呼吸和土壤温度、土壤含水量显著相关,大部分结果显示土壤呼吸和土壤温度之间呈显著的指数相关^[11-12],与土壤含水量的关系通常用线性方



(不同字母表示差异显著, $P < 0.05$)

图7 施肥对台地土壤微生物生物量碳的影响

Fig. 7 Fertilization effect on SMBC in the terrace bench



(不同字母表示差异显著, $P < 0.05$)

图8 施肥对边坡土壤微生物生物量碳的影响

Fig. 8 Fertilization effect on SMBC in the riser bank

表4 台地土壤理化性质

Table 4 Chemical properties of soil in the terrace bench in rubber plantation

处理(台地)	CK	N1	N2	P
pH	5.18 ± 0.13a	5.24 ± 0.15a	5.31 ± 0.06a	5.33 ± 0.09a
全碳/(g/kg)	17.65 ± 0.67a	17.43 ± 0.43a	16.85 ± 0.29a	16.93 ± 0.30a
全氮/(g/kg)	1.74 ± 0.07a	1.71 ± 0.02a	1.66 ± 0.02a	1.71 ± 0.02a
全磷/(g/kg)	0.58 ± 0.04a	1.02 ± 0.52a	0.57 ± 0.06a	0.65 ± 0.11a
全钾/(g/kg)	17.44 ± 2.36a	17.33 ± 1.90a	15.53 ± 1.53a	16.9 ± 0.91a
有效磷/(mg/kg)	9.77 ± 11.22a	8.5 ± 2.84a	3.15 ± 1.13a	85.43 ± 2.26b
水解氮/(mg/kg)	117.51 ± 6.69a	114.25 ± 2.53a	118.75 ± 1.49a	123.04 ± 5.48a
铵态氮/(mg/kg)	6.68 ± 0.37a	6.79 ± 0.62a	6.43 ± 0.34a	7.07 ± 0.29a
硝态氮/(mg/kg)	0.96 ± 0.12a	0.75 ± 0.19a	1.01 ± 0.04a	1.27 ± 0.24a

注: 同行不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

表5 边坡土壤理化性质

Table 5 Chemical properties of soil in the riser bank in rubber plantation

处理(边坡)	CK	N1	N2	P
pH	5.16 ± 0.11a	5.16 ± 0.14a	5.23 ± 0.09a	5.33 ± 0.04a
全碳/(g/kg)	19.09 ± 2.06a	20.18 ± 0.99a	17.81 ± 1.90a	19.57 ± 0.69a
全氮/(g/kg)	1.94 ± 0.17a	1.97 ± 0.12a	1.82 ± 0.10a	2.00 ± 0.04a
全磷/(g/kg)	0.42 ± 0.02a	0.42 ± 0.03a	0.40 ± 0.01a	0.42 ± 0.01a
全钾/(g/kg)	17.83 ± 2.44a	17.17 ± 1.88a	16.40 ± 1.72a	17.96 ± 0.72a
有效磷/(mg/kg)	2.04 ± 0.41a	1.89 ± 0.53a	1.31 ± 0.24a	2.23 ± 0.74a
水解氮/(mg/kg)	130.50 ± 12.59a	135.75 ± 8.11a	128.25 ± 9.80a	138.25 ± 5.31a
铵态氮/(mg/kg)	6.47 ± 0.65a	7.23 ± 0.29a	7.44 ± 0.52a	7.07 ± 0.30a
硝态氮/(mg/kg)	1.09 ± 0.32a	1.20 ± 0.22a	1.09 ± 0.44a	1.34 ± 0.19a

注: 同行不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

程、二次方程和双曲线方程等不同的函数方程表示^[13]。在本研究中,通过与环境因子的相关性分析发现,台地土壤呼吸与测定前7 d 降水总量呈显著负相关。有研究表明在旱季降雨对土壤呼吸有激发效应^[14],但在本研究中,台地由于土壤紧实,降水不

易排出容易造成呼吸环内积水,CO₂ 不易排出,因而导致呼吸与降水呈负相关。边坡土壤呼吸主要受土壤温度影响,边坡不易积水较少受降水的影响。

可见地形对土壤呼吸的结果有影响,笔者建议在研究西双版纳橡胶林土壤碳排放时应区分地形因

素,既能反映西双版纳橡胶林的垦殖特点,也能够更全面地了解本地区橡胶林碳排放的特征和规律。

3.2 施肥对土壤呼吸的影响

前人的研究表明无机肥的施用对土壤呼吸的影响结果不一,有研究表明氮肥能显著降低土壤呼吸和根呼吸强度^[15-16],也有结果表明氮肥能促进植物根系的生长,进而增加根呼吸速率和土壤呼吸速率,显著提高土壤呼吸强度^[17]。出现不同结果可能与土壤类型、养分状态、pH 等有关。在本研究中,不同施肥处理对台地土壤呼吸均无显著影响,而对于异养呼吸和边坡土壤呼吸,高氮处理 N₂ 在雨季均显著低于其他处理,过量施用氮肥抑制了台地异养呼吸和边坡土壤呼吸。产生这一结果的原因可能是过量的氮肥抑制了橡胶根系生长,降低了根呼吸的同时减少了根际分泌物,对根呼吸和微生物呼吸均产生影响,因而高氮处理 N₂ 台地异养呼吸和边坡土壤呼吸在雨季时显著降低;台地土壤呼吸未出现相同的结果,原因可能是施肥未对边坡土壤养分造成影响,土壤紧实且细根较边坡更少,短期内的影响尚未达到显著水平。

3.3 施肥对土壤微生物生物量碳的影响

土壤微生物对土壤环境的变化极为敏感,是土壤环境的重要指示因子。土壤微生物与植物根系有着密切的联系,根系分泌物是土壤微生物的重要碳来源。有研究表明,施用氮肥将增强土壤微生物活性,同时促进根系生长进而增加根系分泌物,最终体现在微生物生物量碳增加^[18],也有研究表明,化肥对土壤微生物产生毒害作用,并造成土壤板结和 pH 下降,降低土壤微生物生物量^[19]。在本研究中,高氮处理 N₂ 在雨季显著降低土壤微生物生物量碳,可能是过量的氮对土壤微生物产生毒害,且大量的氮肥可能抑制了根系生长,造成微生物生物量碳降低。

3.4 施肥对土壤养分的影响

在橡胶林管理中施肥是增产增收的重要手段,目前施肥对土壤养分的影响研究结果不一,可能与肥料种类、土壤母质条件等不同有关^[20-21]。在本研究中,施用氮肥和磷肥并未对土壤养分造成显著影响,仅在施用磷肥的样地中造成土壤速效磷显著上升。原因可能是氮肥具有挥发性且易溶于水而随雨水淋溶造成养分损失,也可能由于所研究的橡胶处于丰产期,对土壤养分吸收强烈,施肥之后养分被橡胶根系迅速吸收。

4 结论

橡胶林内土壤呼吸的季节变化基本上呈单峰曲线,土壤呼吸速率在雨季时大于旱季,台地土壤呼吸受测定前降水影响明显,呈显著负相关,而边坡土壤呼吸与土壤温度呈极显著正相关;高氮处理在雨季时显著抑制台地异养呼吸和边坡土壤呼吸;高氮处理样地在雨季和雾凉季显著抑制台地和边坡土壤微生物生物量碳;除施磷样地内台地土壤有效磷含量显著增加外,施肥处理并未对橡胶林土壤养分造成显著影响。

参考文献(Reference)

- [1] Li Hongmei, Ma Youxin, Aide T M, et al. Past, present and future land-use in Xishuangbanna, China and the implications for carbon dynamics [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 16-24
- [2] Li Hongmei, Aide T M, Ma Youxin, et al. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China [J]. Biodiversity and Conservation, 2007, 16: 1731-1745
- [3] Zhang Hua, Zhang Ganlin, Zhao Yuguo, et al. Chemical degradation of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China [J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93: 109-116
- [4] Sha Liqing. Carbon storage and soil CO₂ efflux of Tropical Seasonal rain forest, rubber tree plantation and paddy soil in Xishuangbanna, Southwest China [D]. Menglun: Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2008 [沙丽清. 西双版纳热带季节雨林、橡胶林及水稻田生态系统碳储量和土壤碳排放研究 [D]. 勐仑: 中国科学院西双版纳热带植物园, 2008.]
- [5] Singh J, Gupta S. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems [J]. The Botanical Review, 1977, 43: 449-528
- [6] Zhou Lixia, Ding Mingmao. Soil microbial characteristics as bioindicators of soil health [J]. Biodiversity Science, 2007, 15(2): 162-171 [周丽霞, 丁明懋. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用 [J]. 生物多样性, 2007, 15(2): 162-171]
- [7] Liang B C, Mackenzie A, Schnitzer M, et al. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 1997, 26: 88-94
- [8] Wu Jinshui, Joergensen R, Pommerening B, et al. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-an automated procedure [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22: 1167-1169
- [9] Zhou wenjun, Sha Liqing, Shen shougen, et al. Seasonal change of soil respiration and its influence factor in rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation in Xishuangbanna, SW China [J]. Mountain Research, 2008, 26(3): 317-325 [周文君, 沙丽清, 沈守良, 等. 西双版纳橡胶林土壤呼吸季节变化及其影响因子. 山地学报, 2008, 26(3): 317-325]
- [10] Lu Huazhen, Sha Liqing, Wang Jun, et al. Seasonal variation of soil respiration and its components in tropical rain forest and rubber plantation in Xishuangbanna, Yunnan [J]. Chinese Journal of Ap-

- plied Ecology, 2009, 20(10): 2315 – 2322 [卢华正, 沙丽清, 王君, 等. 西双版纳热带季节雨林与橡胶林土壤呼吸的季节变化 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2315 – 2322]
- [1] Moore T, Knowles R. The influence of water table levels on methane and carbon dioxide emissions from peatland soils [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1989, 69: 33 – 38
- [2] Fang Qiulan, Sha Liqing. Soil respiration in a tropical seasonal rain forest and rubber plantation in Xishuangbanna, SW China [J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(1): 97 – 103 [房秋兰, 沙丽清. 西双版纳热带季节雨林与橡胶林土壤呼吸 [J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 97 – 103]
- [3] Zhang Dongqiu, Shi Peili, Zhang Xianzhou. Some advances in the main factors controlling soil respiration [J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(7): 778 – 785 [张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(7): 778 – 785]
- [4] Tang Jianwu, Baldocchi D Dennis. Spatial-temporal variation in soil respiration in an oak-grass savanna ecosystem in California and its partitioning into autotrophic and heterotrophic components [J]. Biogeochemistry, 2005, 73: 183 – 207
- [5] Bowden R D, Davidson E, Savage K, et al. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 196: 43 – 56
- [6] Mo Jiangming, Zhang Wei, Zhu Wenxing, et al. Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China [J]. Global Change Biology, 2008, 14: 403 – 412
- [7] Lv Peiyu, Chai Qiang, Li Guang. Effects of fertilizing nitrogen levels on soil respiration during growing season in maize field [J]. Praracultural Science, 2011, 28(11): 1919 – 1923 [吕佩毓, 柴强, 李广. 不同施氮水平对玉米生长季土壤呼吸的影响 [J]. 草业科学, 2011, 28(11): 1919 – 1923]
- [8] Sun Fengxia, Zhang Weihua, Xu Minggang. Effects of long-term fertilization on microbial biomass carbon and nitrogen and on carbon source utilization of microbes in a red soil [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(11): 2792 – 2798 [孙凤霞, 张伟华, 徐明岗. 长期施肥对红壤微生物生物量碳氮和微生物碳源利用的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2792 – 2798]
- [9] Masto R E, Chhonkar P K, Singh D, et al. Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment [J]. Environmental Geology, 2009, 56: 1237 – 1243
- [10] Divito G A, Rozas H R S, Echeverría H E, et al. Long term nitrogen fertilization: soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage [J]. Soil and Tillage Research, 2011, 114: 117 – 126
- [11] Jung J Y, Lal R, Jastrow J D, et al. Nitrogenous fertilizer effects on soil structural properties under switchgrass [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, 141: 215 – 220

The Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on Soil Respiration, Soil Microbial Biomass Carbon and Soil Nutrients of Rubber Plantation in Xishuangbanna, SW China

XU Fanzhen^{1,2}, HU Gu³, SHA Liqing¹

(1. Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Kunming Branch Chinese Academy Of Sciences, Kunming 650204, China)

Abstract: A one-year study on the effects of nitrogen and phosphorus fertilizer treatments (CK: no fertilizer; N1: 100 kg Nha⁻¹; N2: 200 kg Nha⁻¹; P: 75 kg Pha⁻¹) on soil respiration, soil microbial biomass carbon and soil nutrients of rubber plantation was conducted. The result shows that: seasonal variation of soil respiration followed single peak curve substantially. During rainy season, soil respiration rate (with an average of 2.77 μmol CO₂m⁻²s⁻¹) was higher than that (with an average of 2.55 μmol CO₂m⁻²s⁻¹) in dry season. There was a strong negative correlation between soil respiration in the terrace bench and the precipitation of prior 7 days (from CK, N1 to N2 and P, correlation rates are -0.757, -0.630, -0.659 and -0.586, respectively), while soil respiration in the riser bank was positively correlated with the 5cm soil temperature (correlation rates are 0.638, 0.635, 0.712 and 0.694, respectively). Higher nitrogen (N2) addition significantly reduced soil microbial biomass carbon in the terrace bench and riser bank during rainy season and foggy season. However, fertilization treatment did not affect soil nutrition, except phosphorus addition, which increased soil available phosphorus distinctly in the terrace bench (the average content of soil available phosphorus in P plots is 85.43 mg/kg, while that in CK plots is only 9.77 mg/kg).

Key word: fertilization; rubber plantation; soil respiration; soil microbial biomass carbon