

# 不同施肥处理对笋用红竹林土壤特性的影响

吴明<sup>1</sup>, 吴柏林<sup>2</sup>, 曹永慧<sup>1</sup>, 陈双林<sup>1</sup>

(1 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400 2 浙江省龙游县林业局, 浙江 龙游 324400)

**摘要:** 2001—2004年以笋用红竹林小区精确施肥试验为基础, 结合试验区内部长期定位观测, 比较研究了不同施肥处理对笋用红竹林生态系统土壤特性的影响。试验采用有机肥、纯化肥(N、NP、NPK)、有机+化肥、不施肥(CK)6个处理。结果表明: 在连续3a持续经营条件下, 笋用竹林未施肥区(CK)土壤相应的有效养分消耗最快, 有机质下降8.0%, 全N下降5.2%, 速效P下降15.0%, 单施有机肥或NP、NPK化肥配施或有机无机肥料混合施用均可增加土壤有机质含量, 提高次序为有机肥+化肥处理(24.08%)>有机肥处理(8.49%)>化肥NPK处理(2.28%)>化肥NP处理(1.90%), 单施N肥后土壤有机质则有所下降(-4.06%), 但下降幅度不如未施肥区(-7.98%)。与CK区和单施化肥区比较, 有机+化肥配合施用, 不但提高了土壤有效养分含量, 同时增加了土壤微生物生物量, 促进了土壤物质的循环, 提高了竹林土壤的潜在供肥能力, 有利于竹林的持续生产力的发挥。

**关键词:** 施肥; 红竹林; 养分供应; 土壤特性

中图分类号: S795 文献标识码: A

## Influence of Fertilization Treatment on Soil Characteristics in Bamboo Plantation

WU Ming<sup>1</sup>, WU Bai-lin<sup>2</sup>, CAO Yong-hui<sup>1</sup>, CHEN Shuang-lin<sup>1</sup>

(1 Research Institute of Subtropical Forestry CAF, Fuyang 311400 Zhejiang China

2 Forestry Bureau of Longyou County, Longyou 324400, Zhejiang China)

**Abstract** Investigations were conducted on dynamics of soil ecological characteristics in a bamboo plantation under the 2001—2004 fertilization experiment, which was designed to have six fertilization treatments i.e., CK (control), C (organic fertilization carbon), N, NP, NPK, CNPK. The results showed that soil available nutrient pool depleted rapidly which with the decrease of organic matter by 8.0%, of total N by 5.2% and of available P by 15.0% respectively, under 3-year consecutive cropping without fertilization in bamboo plantation. Fertilizing with C or NP, NPK, or CNPK could increase the content of organic matter with the following order: C and (N, NP, NPK) (increase by 24.08%) > C (increase by 8.49%) > NPK (increase by 2.28%) > NP (increase by 1.90%). However, if N was fertilized singly, the organic matter would decrease by about 4.06%. The results also showed that balanced C, N, P and K application improved available nutrient content and increased total biomass of the soil, promoted the matter circle in soil, enhanced the potential soil supply and do better to the persistent productivity of shoot bamboo plantation.

**Key words** fertilization; bamboo plantation; nutrient supply; soil characteristics

收稿日期: 2005-01-01; 修回日期: 2005-09-08

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA506B01)

作者简介: 吴明(1969—), 男, 浙江嵊州人, 助理研究员, 在职博士生, 主要从事土壤生态研究。

施用化学肥料对维持竹林土壤养分肥力和提高笋竹产量起了重要的作用,但不恰当的施肥处理,如长期单一肥种的施用易引起竹林土壤生态系统综合质量下降,导致肥料报酬递减。关于各种竹林的施肥研究已有大量报道<sup>[1-3]</sup>,但多集中在各类肥料施用与笋竹产量的关系方面,关于不同施肥处理对土壤养分供应水平和潜力发挥的影响研究较少。

红竹 (*Phyllostachys iridescens* C. Y. Yao et S. Y. Chen) 隶属刚竹属,是笋用、材用、观赏均佳的优良经济竹种。该竹种适应性强,自然分布于浙江、江苏、安徽等省的低丘平地,引种栽培范围北至北亚热带的河南省信阳市,南至中亚热带和南亚热带过渡区的福建省漳州市、广西的桂林市等<sup>[4]</sup>。目前红竹林集约栽培模式主要依赖大量化肥的投入。本文以笋用红竹林为研究对象,探讨不同施肥处理下,竹林土壤的化学、物理和生物指标的差异,及其对土壤有效养分供应能力的影响,以期为红竹林长期生产力的

维护提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区自然条件

试验区位于浙江省龙游县 (28°31'10"~29°20'07"N, 118°41'51"~119°06'39"E) 泽随镇叶村,浙西典型丘陵地貌,属中亚热带气候区,四季分明,年平均气温 17.3℃,7月平均气温 28.6℃,1月平均气温 4.9℃,极端高温 41℃,极端低温 -11.4℃,一年中 10~20℃的持续天数 182.8 d,年均无霜期 261.5 d,年平均降水量 1621.9 mm,降水量随季节变化,2—4月份 325~538 mm,占全年的 22%~29%;5—6月份 450~570 mm,占全年的 30%;7—9月份 350~500 mm,10—12月份 180~240 mm;年平均蒸发量 1392 mm,年平均相对湿度 80%。

试验区土壤为砂岩发育的红壤,土层厚度 > 80 cm,2001年10月取样测定,试验区土壤主要理化性状见表 1。

表 1 试验地土壤基本性状

土层 / cm	pH (H <sub>2</sub> O)	有机质	全 N (g·kg <sup>-1</sup> )	全 P	速效 P	速效 K (mg·kg <sup>-1</sup> )	代换 Ca	代换 Mg
0~15	4.78	15.78	1.509	0.486	6.00	66.9	535.2	50.3
15~30	5.76	9.28	0.657	0.212	1.22	58.2	747.1	65.2
30~45	5.70	8.22	0.408	0.205	0.93	83.2	642.7	75.2

### 1.2 试验红竹林概况

试验地土壤经全面翻垦平整,翻垦前施入厩肥 6000 kg·hm<sup>-2</sup>,并于 1999年春季人工种植红竹,初植密度 1200株·hm<sup>-2</sup>,至 2001年10月调查,该红竹林平均立竹量为 19500株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径 2.2 cm,平均枝下高 1.64 m,生长正常。

### 1.3 试验设计与方法

试验于 2001年11月进行。共设 6个肥料处理,3次重复,小区面积 6 m × 6 m,随机区组排列。有机肥、氮肥、磷肥和钾肥分别采用以干鸡粪为基质的柱状商品有机肥、尿素、过磷酸钙和氯化钾。小区施用量为有机肥 15 kg,尿素 6 kg,过磷酸钙 8 kg,氯化钾 3 kg。根据 4种试验肥料的实测含量计算得到各处理实际施肥量(以 C、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 表示),具体试验设计和施肥量见表 2。小区间用深、宽各 25~30 cm 的样地沟隔开,所有肥料统一浅沟(5~10 cm)施入,施肥沟间隔 1.0~1.2 m,施后覆土。以后每年施用 1次,施肥量同上。

红竹林按试验要求统一管理,每年的采笋量与

伐竹量基本保持一致。2004年11月采集土壤样品,取样时避开施肥沟,每小区随机设置 3个取样点,每点分 3层(0~15、15~30、30~45 cm)采集,3点同层次土样混合,测定其主要化学、物理性质和生物性状。

表 2 肥料试验设计

处理	施肥量 / (kg·hm <sup>-2</sup> )			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	有机 C
(1)有机肥	83.2	111.0	85.5	1665
(2)化肥(N)	800.0	0.0	0.0	0
(3)化肥(NP)	800.0	358.0	0.0	0
(4)化肥(NPK)	800.0	358.0	415.0	0
(5)有机肥+化肥	83.2+800.0	111.0+358.0	85.5+415.0	1665
(6)不施肥	0.0	0.0	0.0	0

### 1.4 分析方法

(1)有机质、全 N、碱解 N、速效 P、速效 K、颗粒组成、土壤容重、孔隙度、含水量等指标按《土壤农业化学分析方法》<sup>[5]</sup>、《森林土壤分析方法》<sup>[6]</sup>(GB7833-7847-87),采用常规方法测定。

(2)微生物生物量碳用熏蒸提取——重铬酸钾法<sup>[7]</sup>,微生物生物量 N 采用 Brook<sup>[8]</sup>提出的方法,4 次重复,测定后取其平均值。

试验数据应用 SAS(Statistical Analysis Systems)进行差异性和相关性统计分析<sup>[9]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对红竹林土壤养分库的影响

肥料试验 3 a 后红竹林 0~15 cm 土层的有机质、全 N、碱解 N、速效 P、速效 K、pH 值等见表 3。土壤有机质既是植物矿质营养和有机营养的源泉,又是土壤中异养型微生物的能源物质,同时也是形成土壤结构的重要因素。因此,土壤有机质影响着土壤的保肥性、保水性、缓冲性、耕性和通气状况等。结果表明:2004 年与 2001 年本底相比,单施有机肥(处理 1)或 NR、NPK 化肥配施(处理 3、4)或有机无

机肥料混合施用(处理 5)均可增加土壤有机质含量,提高次序为处理 5(+24.08%)>处理 1(+8.49%)>处理 4(+2.28%)>处理 3(+1.90%)。单施氮肥(处理 2)土壤有机质则有所下降(-4.06%),但下降幅度比 CK 区(-7.98%)小。本试验红竹林属集约经营,每年收获大量的笋竹生物量,并移出林地生态系统,土壤有机物的消耗大于回归和转化,导致不施肥处理的表层土壤有机质 3 a 内下降 8%。胡田田等<sup>[10]</sup>针对农作系统的研究认为长期不施肥料,土壤有机质迅速下降,经过一段时间后下降速度减慢,并趋于平衡。集约经营红竹林缺乏草本层和小灌层的,地上枯落物也稀少,加之竹林地下部分的分解回归极为缓慢,长期不施肥料可能导致红竹林土壤有机质的持续下降。无机化肥提高土壤有机质的原因,主要是化肥使植物繁茂,根茬、枝叶等残留量增多<sup>[11]</sup>。

表 3 不同肥料处理红竹林表层土壤(0~15 cm)化学指标的差异

处理	有机质	全 N		速效 P		速效 K	pH 值
		碱解 N	速效 P	速效 K			
		(g·kg <sup>-1</sup> )		(mg·kg <sup>-1</sup> )			
(1)有机肥	17.12 ab	1.433 c	112.7 c	6.9 c	77.1 b	5.46 a	
(2)化肥(N)	15.14 c	1.663 b	143.8 b	4.9 c	79.6 b	4.97 ab	
(3)化肥(NP)	16.08 b	1.643 b	140.5 b	16.4 b	84.8 b	4.68 ab	
(4)化肥(NPK)	16.14 b	1.872 a	146.7 b	15.9 b	124.5 a	4.77 ab	
(5)有机肥+化肥	19.58 a	1.874 a	174.8 a	19.2 a	123.8 a	5.47 a	
(6)不施肥(CK)	14.52 c	1.430 c	104.2 c	5.1 c	87.4 b	5.28 a	

注:同一列中数据后的字母相同表示未达 5% 差异显著水平。

在林业生产上,不断补施 N 肥,是提高土壤肥力,保证林分高产的经常而重要的基本措施之一。本试验结果显示,施用肥料的处理都比 CK 处理增加了表层土壤全 N 和碱解 N 含量,全 N 增加顺序分别为处理 5(31.0%)>处理 4(30.9%)>处理 2(16.3%)>处理 3(14.9%)>处理 1(0.2%),碱解 N 含量变化与全 N 一致,施用有机肥对红竹林表层土壤 N 素影响不大。长期施用化肥,尤其是 N 肥可以提高土壤中全 N 及有效 N 含量,可能因为施 N 肥可增加根茬、根系和根分泌物的产量,亦即增加了归还的有机 N 量,这部分 N 比土壤中有有机 N 易矿化;但化肥单施效果不如与有机肥配合施用明显,后者可显著提高表层土壤的全 N 和碱解 N 含量,因施入的无机 N 肥很少能在土壤有机质中积累,只有同时增加有机质 C 时,才能增加有机 N 含量,并提高其矿化作用,有利于生物吸收 N 素。

P 在植物大量营养元素中占有重要地位,与其它大量元素相比,土壤 P 的含量相对较低,本研究表明, NP、NPK 配施和有机肥、化肥配施(处理 3、处理 4、处理 5)分别提高红竹林表层土壤的速效 P 含量 1.73、1.65 和 2.20 倍;施用有机肥也能小幅提高土壤有效 P 含量,仅为 5%~10%,其短期效果不如化肥和有机无机配施,需要继续延长试验时间进一步验证。施有机肥增加土壤有效 P 的原因在于,有机肥本身含有一定数量的 P 素,且以有机磷为主,这部分 P 易于分解释放;另一方面有机肥施入土壤后可增加土壤的有机质含量,而有机质可减少无机 P 的固定,并促进无机 P 的溶解。

土壤 K 库极大,即使长期施用 K 肥,对土壤全 K 的影响也无法测出,但 K 肥显著提高了土壤代换 K 的含量。本试验中,处理 1、2、3 和处理 6 相比无显著差异,反而有所下降,分别下降 11.5%、8.9%、

3.0%,说明单施无机肥(尤其是 N、P)和有机肥对土壤速效 K 含量影响不明显。有机肥和无机肥配施可提高土壤速效 K 的含量,这也许是有机肥本身所含的 K 不断施入,以及有机胶体在其交换表面具有保持养分的巨大能力的缘故。试验 3 a 后,各试验处理的表层土壤速效 K 都有不同程度的增加,增幅 10.2~57.6 mg·kg<sup>-1</sup>,比 2001 年试验前本底数值提高 15.2%~86.1%。土壤速效 K 与缓效 K 之间存在动态的平衡,红竹林的生长与人为干扰活动改变了土壤的物理和生物环境,尤其是表层土壤的水热条件改善,加速了土壤中缓效 K 的释放,增加了土壤中速效 K 的含量。竹子属于喜 K 植物,对 K 素的需求较高,但本试验中不施肥处理并没有产生速效 K 的亏缺,表明该试验区的土壤 K 素供应充足,施 K 肥效果不明显。

表 4 不同施肥对土壤容重和表层土壤水稳性团聚体的影响(2004 年)

处理	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )			0~15 cm 土层团聚体含量/%			
	0~15 cm	15~30 cm	30~45 cm	D>5 mm	D=1~5 mm	D=0.25~1 mm	总团聚体
处理 1	1.19 a	1.27 a	1.60 a	5.56 a	14.38 b	28.63 b	48.57 ab
处理 4	1.29 a	1.44 ab	1.69 a	8.46 b	13.29 b	26.58 b	48.33 ab
处理 5	1.19 a	1.34 a	1.62 a	19.75 a	17.74 a	32.47 a	69.96 a
处理 6(CK)	1.25 ab	1.32 a	1.63 a	5.23 b	7.87 c	24.45 b	37.55 b

注:同一列中数据后的字母相同表示未达 5% 差异显著水平。

土壤水稳性团聚体含量高标志着土壤保持和供应养分能力的强弱,施用肥料处理 0~15 cm 土层各级水稳性团粒结构含量都比无肥对照高,表 4 表明:处理 1、4 和 5 的总团聚体比 CK 提高 29.3%、28.7%、86.3%,其中 D(直径)>5 mm 团聚体提高 6.3%、61.8%、277.6%;D=1~5 mm 团聚体处理 1、4、5 比 CK 提高 82.7%、68.9%、125.4%;D=0.25~1 mm 团聚体处理 1、4、5 比 CK 提高 17.1%、8.7%、32.8%。有机-无机肥配合施用更有利表层土壤团聚体的形成,尤以 D>5 mm 的大团聚体增加较多,达 277.6%,对微团聚体的贡献相对较小,因为稳定的微团聚体形成需要更长的时间。土壤中大团聚体的增加,可降低土壤容重,提高孔隙度,协调土壤水气,增强土壤对环境变化的适应能力,为植物生长创造一个良好的土壤环境。不同的施肥处理的效果为有机肥+化肥(处理 5)>有机肥(处理 1)>化肥(处理 4),有机肥明显比化肥好。

2.3 施肥对红竹林土壤微生物生物量 C、N 的影响  
土壤微生物一方面是进入土壤的天然有机物质

## 2.2 施肥对红竹林土壤物理性状的影响

土壤的物理性状,如粒级、容重、孔隙度、水稳性团聚体、含水量、土壤微团聚体等在不同程度上影响肥料和土壤自身养分库的有效性、运移及转化。本研究测定了纯有机肥、纯无机肥(NPK)、有机-无机肥和无肥对照(CK)4种施肥处理红竹林试验样地 3 层土壤(0~15 15~30 30~45 cm)的容重和表层土壤(0~15 cm)的水稳性团聚体变化,结果如表 4 所示。试验 3 a 后,土壤容重在各施肥处理间无显著差异,这主要有两方面的原因:首先,经营对笋用竹林土壤扰动较大,掩盖了施肥的影响效应;其次,施肥对土壤物理性质的影响本身是一个长期的过程,同时也是一个间接作用的过程,施肥具有明显的时间滞后性。

的“转化者”,另一方面又是土壤养分特别是 N、P、S 等的“源”和“库”。土壤微生物生物量是表明不同生态系统土壤肥力和生物区系的生物学指标,也是综合反映土壤微生物活性强度及有机质分解过程的重要指标。表 5 表明:不施肥处理的土壤微生物生物量 C 和 N 都最低。不同肥料处理微生物生物量 C 大小顺序为处理 5>处理 1>处理 4>处理 3>处理 2,分别比对照增加 217.6%、97.9%、61.3%、56.8%和 50.7%;微生物生物量 N 大小顺序为处理 5>处理 4>处理 2>处理 1>处理 3,分别比对照增加 117.0%、52.1%、49.7%、47.3%和 35.8%,其中以有机肥配施 NPK 化肥的微生物生物量 C、N 最大,增幅最高。有机肥与 N、P、K 化肥合理配施后,有机肥不仅带入了大量活的微生物,而且提供了大量可供微生物增殖的 C 源和 N 源,N、P、K 化肥促进了植物生长,提高了土壤有机质含量,从而促进了微生物旺盛繁殖,生物量增大,其中又以 N 肥对土壤微生物生物量的刺激作用更为显著。微生物 N 在一定程度上可用来表征土壤有效 N 的供应能力和生物利用效率。

表 5 不同施肥处理土壤微生物生物量

C、N 含量 (2004 年)

处理	微生物	微生物	平均微	微生物
	生物量 C /(mg·kg <sup>-1</sup> )	生物量 N /(mg·kg <sup>-1</sup> )	生物生物 量 C/N	生物量 C /有机 C
(1) 有机肥	168.6	24.3	6.94	2.68
(2) 化肥 N	128.4	24.7	5.20	2.19
(3) 化肥 NP	133.6	22.4	5.96	2.56
(4) 化肥 NPK	137.4	25.1	5.47	2.32
(5) 有机肥 + 化肥	270.6	35.8	7.56	2.86
(6) 不施肥	85.2	16.5	5.16	1.50

对土壤微生物生物量与土壤化学养分指标的相关分析(表 6)表明,土壤微生物生物量 C 与土壤微生物生物量 N(相关系数  $r=0.9589$ )、土壤微生物生物

表 6 土壤微生物生物量 C、N 与土壤有机 C、全 N、碱解 N 的相关

项目	相关方程	相关系数	自由度
土壤微生物生物量 C(y), 微生物生物量 N(x)	$y=0.095x+10.140$	$r=0.9589$	5
土壤微生物生物量 C(y), 土壤有机 C(x)	$y=0.028x+12.140$	$r=0.9842$	5
土壤微生物生物量 C(y), 土壤全 N(x)	$y=0.002x+1.387$	$r=0.5492$	5
土壤微生物生物量 C(y), 土壤碱解 N(x)	$y=0.201x+105.900$	$r=0.2857$	5
土壤微生物生物量 N(y), 土壤有机 C(x)	$y=0.260x+9.972$	$r=0.9138$	5
土壤微生物生物量 N(y), 土壤全 N(x)	$y=0.023x+1.086$	$r=0.7245$	5
土壤微生物生物量 N(y), 土壤碱解 N(x)	$y=3.541x+49.302$	$r=0.8699$	5

注:土壤微生物生物量 C、N 与有机 C、全 N、碱解 N 的数值单位均为 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 3 结论

红竹林连续 3 a 施用有机肥,与 CK 相比表层土壤容重降低了 4.8%,有机肥和化肥混施法有机质含量增加了 34.8%,提供了土壤生态系统健康发展的物理和化学基础,有机无机肥配合施用更能保持林地土壤长期的立地生产力。

土壤微生物生物量可作为红竹林土壤养分有效性的重要指标,有机肥与 N、P 化肥合理配施,促进了微生物生物量增加,微生物生物量 C 增加 217.6%,微生物生物量 N 增加 117.0%,其中又以 N 肥对土壤微生物生物量的刺激作用最为显著。

本研究的主体部分至今仅持续了 3 a 而施肥对土壤性质的影响是一个相对缓慢的过程,有必要继续深入研究不同施肥处理对土壤生态系统健康的影响,以祈为人工竹林的持续经营提供更可靠的理论支撑和指导。

### 参考文献:

[1] 傅懋毅,谢锦忠.不同用途毛竹林的施肥研究:毛竹材用林的施

量 C 与土壤有机 C ( $r=0.9842$ )、土壤微生物生物量 N 与土壤有机 C ( $r=0.9138$ )、土壤微生物生物量 N 与碱解 N ( $r=0.8699$ ) 均呈正相关,置信度达到统计学上的极显著水平;土壤微生物生物量 N 与土壤全 N ( $r=0.7245$ ) 存在正相关,达显著水平;土壤微生物生物量 C 与土壤全 N ( $r=0.5492$ )、碱解 N ( $r=0.2857$ ) 无显著相关。说明土壤微生物生物量与土壤养分密切相关,土壤微生物生物量增大则土壤养分有效性增加,保蓄作用增强,因此是土壤养分供应能力的重要生物指示指标,不同的施肥处理明显影响竹林土壤的综合养分供应特征,有机肥和化肥配合施用的效果普遍好于单施化肥或有机肥。

肥[J].林业科学研究,1988,1(5):541~547

- [2] 顾小平.竹林肥培理论与技术研究[D].北京:中国林业科学研究院,2000
- [3] 姜培坤,周国模,徐秋芳.雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J].林业科学,2002,38(6):6~11
- [4] 朱石麟,马乃训,傅懋毅.中国竹类植物图志[M].北京:中国林业出版社,1994
- [5] 中国土壤学会.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999
- [6] 庞鸿宾.森林土壤分析方法[M].北京:中国标准出版社,1988
- [7] 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
- [8] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil [J]. Soil Biol Biochem, 1985, 17: 837~842
- [9] 洪楠,侯军. SAS for Windows 统计分析系统教程[M].北京:电子工业出版社,2001
- [10] 胡田田,刘翠英,李岗,等.施肥对土壤供肥和冬小麦养分吸收及其产量的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):36~41
- [11] 徐阳春,沈其荣,冉伟.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):89~96