

施肥措施对古香榧林地土壤活性 有机碳和养分的影响

张雨洁, 王 斌, 李正才*, 黄盛怡, 原雅楠, 秦一心

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要: [目的] 探讨不同施肥措施下香榧林土壤的培肥效果, 为古香榧林科学施肥提供参考。 [方法] 以浙江省诸暨市香榧国家森林公园古香榧林地为研究对象, 通过野外采集土壤样品, 分析不同施肥处理香榧林地 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤总有机碳 (TOC)、易氧化碳 (ROC)、轻组有机质 (LFOM) 及土壤养分含量。 [结果] 研究表明: (1) 与不施肥 (CK) 相比, 有机-无机配施 (CF + FM) 处理可显著增加各土层土壤 TOC、ROC、LFOM、全氮 (TN) 和水解性氮 (AN) 含量; 单施复合肥 (CF) 处理可增加各土层土壤速效钾 (AK) 以及表层土壤 ROC、LFOM 和 AN 含量, 对 AK 的提升作用较为显著; 两者均可显著提高土壤有效磷 (AP) 含量, 但 CF 处理效果不及 CF + FM 处理。 (2) CF + FM 处理可在一定程度提高土壤 pH 值, 但结果差异不显著; CF 处理可显著降低土壤 pH 值。 (3) 各土层土壤 ROC/TOC 均表现为: CF + FM 处理 > CF 处理 > CK 处理, 但仅在表层土壤 CF + FM 处理显著高于 CK 处理。 (4) 相关性分析表明: ROC、LFOM 与 TOC 间的相关性均达到极显著水平, 三者与 TN、AN、AP、AK 间的相关性均达到显著或极显著水平。 [结论] 农民惯用的有机-无机配施处理较单施复合肥处理更有利于土壤有机碳和土壤养分的积累。

关键词: 施肥处理; 香榧; 土壤活性有机碳; 土壤养分

中图分类号: S725.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)02-0087-07

施肥可提高土壤有机碳和养分含量, 而单施有机肥或与化肥配施的作用要大于单施复合肥。姜培坤等^[1]对雷竹 (*Phyllostachys praecox* Z. D. Chu et C. S. Chao f. *prevernalis* S. Y. Chen et C. Y. Yao) 林的施肥试验结果表明, 各有机肥、化肥混合处理的土壤总有机碳、各活性有机碳含量均显著高于单施化肥处理; 付海丽等^[2]对杨树 (*Populus* spp.) 幼苗的盆栽试验结果表明, 鸡粪与尿素混合施用处理下杨树幼苗的土壤有机碳、活性有机碳含量高于单施尿素处理; 赵永丰等^[3]对山地核桃 (云新 14 号) 施肥试验结果显示, 沼肥、厩肥和复合肥增加了土壤中氮、磷元素的含量, 钾元素含量出现不同程度的亏缺。但也有学者认为单施复合肥的土壤中某些活性有机碳组分或养分含量无明显变化甚至有所减小^[4-6]。因此, 不同施肥处理对土壤中活性有机碳和养分的影响研究还需进一步加强。

香榧 (*Torreya grandis* Fort. ex Lindl. cv. *Merrillii*) 系红豆杉科 (Taxaceae) 榧树属 (*Torreya* Arn.) 常绿乔木, 为我国特有经济树种, 浙江是原产地之一, 会稽山区山是浙江香榧的主产区, 已有 1300 多年的栽培历史。香榧种子是著名的干果, 营养价值高, 经济价值大。20 世纪 90 年代以来, 施肥作为主要的管理措施应用于香榧栽培和管理中, 种子产量逐年增长, 但林地土壤的肥力水平发生较大变化^[7]。目前关于香榧的研究主要集中于林地养分状况调查^[8]、施肥对香榧生长及果实的影响^[9]等方面, 关于长期不同施肥处理对香榧林土壤活性有机碳和土壤养分状况的对比研究尚不多见。因此, 本研究通过研究不同施肥措施下古香榧林土壤活性有机碳和土壤养分状况, 揭示不同施肥措施对香榧林土壤的培肥效果, 为古香榧林科学施肥提供参考。

收稿日期: 2018-07-31 修回日期: 2018-10-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2017YFC0505403)

* 通讯作者: 李正才, E-mail: lizccaf@126.com。

1 研究区概况

研究地位于浙江省诸暨市赵家镇香榧国家森林公园(119°53'~120°32'E, 29°21'~29°59'N), 该地区属于亚热带季风气候, 四季分明, 雨水丰沛, 日照充足, 年平均气温 16.3 °C, 年平均降水量约 1 373.6 mm, 年平均日照时数约 1 887.6 h。研究区属于低山丘陵地貌, 土壤类型为红壤。研究地现有结实香榧树主要分为两类, 一类是历史上种植保留至今的古香榧树, 树龄大都在百年以上; 另一类是 20 世纪 80 年代新种植的古香榧树, 树龄约 40 a 左右。研究区内香榧栽培面积约 452 hm², 其中, 新建香榧基地约 104 hm²。

2 材料和方法

2.1 样地调查及土样采集

通过农户访问和实地调查, 选择 3 种不同施肥措施、同一树龄段(500 a 左右)古香榧林地作为研究对象:(1)不施肥(CK); (2)有机-无机配施(CF+FM), 有机肥为农民惯用的禽畜粪便与稻草的混合物, 无机肥为湖北乐开怀有限公司生产的复合肥(N:P₂O₅:K₂O 比例 15%:15%:15%), 每株香榧树平均每年施入复合肥 30 kg, 有机肥 250 kg; (3)单施复合肥(CF), 复合肥与 CF+FM 处理中的无机肥相同, 每株香榧树平均每年施入复合肥 30 kg。施肥时间始于 2000 年, 每年 3 月地表撒施化肥, 9 月地表撒施化肥和有机肥, 7—8 月垦覆一次, 垦覆深度为 30 cm。每种施肥措施的样本树重复 5 株, 所有调查样株分布在半径为 500 m 的范围内, 以保证样株立地条件大体一致。样地基本情况见表 1。

表 1 研究样地基本情况

Table 1 Site conditions of research plots

处理	平均基径	平均树高	坡向	坡度	海拔高度
Treatment	Base diameter/cm	Height /m	Aspect	Slop/°	Altitude/ m
CK	63.2	23	东南 SE	39	531
CF+FM	79.6	15	东北 NE	12	525
CF	61.7	10	东北 NE	32	480

2017 年 9 月对所选样株进行土样采集, 在离开样本树 100 cm 处随机选取 5 个点挖取土壤剖面, 按 0~20、20~40、40~60 cm 3 个层次采集土壤样品。将土壤放入袋中, 去掉可见植物根系、残体和碎石, 带回实验室自然风干, 之后过 2、0.25 和 0.15 mm 筛用于土壤总有机碳(TOC)、易氧化碳(ROC)、

轻组有机质(LFOM)和土壤养分的测定。

2.2 土壤样品分析

土壤总有机碳测定采用重铬酸钾外加热法^[10]; 易氧化碳测定采用 333 mmol·L⁻¹高锰酸钾氧化法^[11]; 轻组有机质测定采用 1.7 g·mL⁻¹碘化钠重液分离法^[12]; 土壤 pH 用 pH 计测定, 水土比为 2.5:1。土壤养分测定采用常规方法^[13]: 全氮(TN), 凯氏定氮法; 水解氮(AN), 碱解扩散法; 速效钾(AK), 乙酸浸提法; 有效磷(AP), 碳酸氢钠法。

2.3 数据统计分析

采用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 统计分析软件进行数据处理并绘制图表。对不同施肥处理香榧间的土壤总有机碳、易氧化碳、轻组有机质、土壤养分含量和 pH 值进行单因素方差分析(ANOVA)和显著性分析(LSD 检验), 对土壤总有机碳、易氧化碳、轻组有机质和土壤养分进行相关性分析(Pearson 检验)。

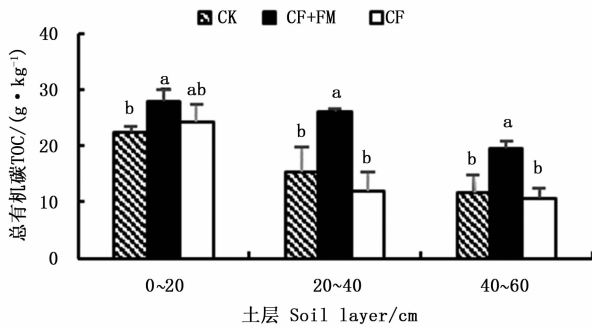
3 结果与分析

3.1 不同施肥处理对香榧土壤有机碳库的影响

3.1.1 土壤总有机碳含量 试验结果表明, 有机-无机配施(CF+FM)与单施复合肥(CF)均能提高香榧林地 0~20 cm 土层土壤中的总有机碳含量(图 1), 与不施肥(CK)相比, CF+FM 处理的土壤总有机碳含量提高 24.6%。在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层, 土壤总有机碳变化趋势均表现为: CF+FM 处理 > CK 处理 > CF 处理, CF+FM 处理的土壤总有机碳含量较 CK 提高了 68.5% 和 66.2%。方差分析结果表明, CF+FM 处理的土壤总有机碳含量在各土层均显著高于 CK 处理; CF 处理的土壤总有机碳含量在各土层与 CK 处理差异均不显著。

3.1.2 土壤易氧化碳含量 由图 2 可以看出, CF+FM 与 CF 处理均可显著提高香榧林地 0~20 cm 土层土壤易氧化碳含量, 且 CF+FM 处理又显著高于 CF 处理, CF+FM 处理为 CK 处理的 2.1 倍, 较 CF 处理提高 53.2%, CF 处理的易氧化碳含量较 CK 提高 36.8%。在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层, CF+FM 处理下的土壤易氧化碳含量高于 CK 和 CF 处理, 其中 20~40 cm 土层差异显著而 CF 处理与 CK 处理差异不显著。

3.1.3 土壤轻组有机质含量 由图 3 可以看出, CF+FM 与 CF 处理均可提高香榧林地各土层轻组有机质含量, 具体表现为: CF+FM 处理 > CF 处理 > CK 处理。与 CK 处理相比, CF+FM 处理下的 3 个



注:不同小写字母表示相同土层不同处理间在0.05水平上差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level among different fertilization treatments, the same as below.

图1 不同施肥措施对土壤总有机碳含量的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on soil TOC contents

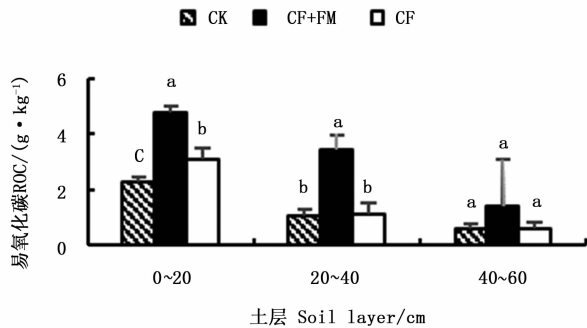


图2 不同施肥处理对土壤易氧化碳含量的影响

Fig.2 Effects of different fertilization treatments on soil ROC contents

土层轻组有机质含量分别提高80.4%、61.7%和48.5%,且在0~20 cm与20~40 cm土层达到显著性差异;CF处理下的3个土层轻组有机质含量与CK处理差异均不显著。

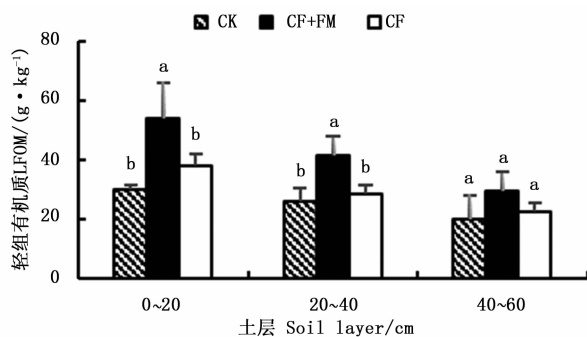


图3 不同施肥处理对土壤轻组有机质含量的影响

Fig.3 Effects of different fertilization treatments on soil LFOM contents

3.1.4 易氧化碳占总有机碳比例 3个处理下,香榿林地土壤易氧化碳占总有机碳比例均随土层的加深而逐渐减小(表2)。3个土层土壤易氧化碳占总有机碳比例均表现为:CF+FM处理>CF处理>CK处理,CF+FM处理较CK处理提高25.3%~78.7%,CF处理较CK处理提高19.2%~73.5%,而显著差异仅存在于表层土壤。

表2 不同施肥处理对易氧化碳占总有机碳比例的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on the ratios of ROC/TOC in the soil %

土层 Soil layer/cm	处理 Treatment		
	CK	CF+FM	CF
0~20	10.14 ± 0.92b	17.27 ± 2.23a	13.10 ± 3.47ab
20~40	7.37 ± 3.60a	13.17 ± 2.00a	12.79 ± 3.21a
40~60	5.57 ± 2.91a	6.98 ± 8.08a	6.64 ± 2.48a

注:数据为平均值±标准差。

Note: mean ± SD.

3.2 不同施肥措施对香榿土壤 pH 和土壤养分的影响

3.2.1 土壤 pH 值 由表3可以看出,与CK处理相比,CF处理的香榿林地3个土层土壤pH值分别降低0.61、0.59和0.67个单位,在20~40 cm和40~60 cm两个土层达到差异显著。CF+FM处理对土壤pH值有提升作用,但结果不显著。

3.2.2 全氮含量 从图4可以看出,香榿林地土壤全氮的变化规律与土壤总有机碳变化相似。CF+FM处理可显著增加土壤全氮含量,3个土层的增幅分别为:28.0%、79.3%和67.6%。CF处理的土壤全氮含量在0~20 cm土层有所增加,在20~40 cm和40~60 cm两个土层略微减少,与CK差异均不显著。

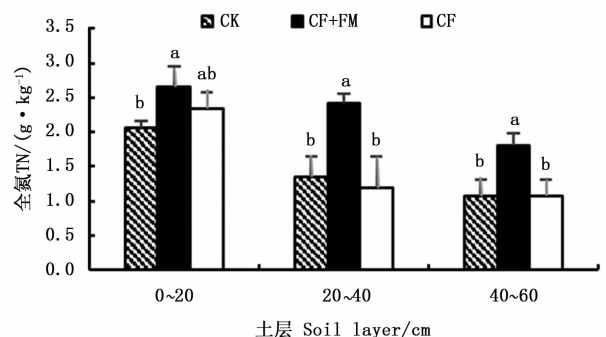


图4 不同施肥措施对土壤全氮含量的影响

Fig.4 Effects of different fertilization treatments on soil TN contents

3.2.3 速效养分含量 CF+FM处理和CF处理可在一定程度上增加香榿林地土壤中的水解性氮和速

表3 不同施肥措施对土壤 pH 和速效养分的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on pH and available nutrient contents in the soils

项目 Item	处理 Treatment	土层 Soil layer/cm		
		0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60
pH	CK	5.29 ± 0.13ab	4.98 ± 0.27a	4.81 ± 0.12a
	CF + FM	5.82 ± 0.27a	5.25 ± 0.20a	4.93 ± 0.23a
	CF	4.68 ± 0.49b	4.39 ± 0.35b	4.14 ± 0.09b
水解性氮 AN/(mg · kg ⁻¹)	CK	138.33 ± 6.11b	89.67 ± 20.21b	78.23 ± 5.78b
	CF + FM	162.33 ± 17.56a	156.67 ± 10.26a	123.10 ± 23.10a
	CF	169.67 ± 8.74a	73.13 ± 15.47b	70.27 ± 22.34b
速效钾 AK/(mg · kg ⁻¹)	CK	140.33 ± 49.33b	73.93 ± 31.95b	61.77 ± 19.18b
	CF + FM	198.33 ± 24.03b	78.50 ± 17.33b	59.50 ± 4.50b
	CF	271.33 ± 31.09a	127.53 ± 10.71a	126.33 ± 17.50a
有效磷 AP/(mg · kg ⁻¹)	CK	29.03 ± 12.59b	16.30 ± 2.77c	9.98 ± 0.01c
	CF + FM	359.33 ± 43.04a	282.67 ± 24.17a	165.33 ± 18.01a
	CF	290.33 ± 46.46a	199.00 ± 39.05b	103.67 ± 14.22b

效钾含量(表3)。其中,CF + FM 处理下的水解性氮含量较 CK 处理增加 17.3% ~ 74.7%,3 个土层土壤结果差异均较显著;与 CK 处理相比,CF 处理下的水解性氮含量在表层土壤提高 22.7%,结果差异显著。CF + FM 处理下的速效钾含量虽然得到一定程度的增加,但 3 个土层土壤与 CK 处理相比,差异均不显著;CF 处理下的速效钾含量较 CK 处理增加 72.5% ~ 104.5%,结果差异较显著。CF + FM 处理与 CF 处理对土壤有效磷含量的提升作用较为明显,与 CK 处理相比,CF + FM 处理下的有效磷含量增加 12.4 ~ 17.3 倍,CF 处理下的有效磷含量增加 10.0 ~ 12.2 倍。

3.3 香榧土壤有机碳与土壤养分的相关性

相关性分析结果表明(表4),香榧林地土壤总有机碳、易氧化碳和轻组有机质间的相关性均达到极显著水平;三者与全氮和水解性氮的相关系数均大于 0.7,达到极显著相关关系,与速效钾和有效磷间的相关性也达到显著或极显著水平;pH 与全氮和水解性氮达极显著相关,与速效钾和有效磷间无显著相关性。

表4 土壤有机碳与土壤养分的相关性

Table 4 Correlation between soil organic carbons and soil nutrients

相关系数 Correlation coefficient	TOC	ROC	LFOM	TN	AN	AK	AP
TOC	1	0.839**	0.764**	0.977**	0.931**	0.471*	0.647**
ROC		1	0.752**	0.836**	0.791**	0.509**	0.744**
LFOM			1	0.772**	0.735**	0.482*	0.748**
pH				0.665**	0.584**	0.062	0.267

注: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。

Note: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。

4 讨论

4.1 施肥对土壤有机碳库的影响

土壤有机质在微生物的分解矿化作用下形成有机碳,因而土壤有机质的输入和微生物分解之间的平衡决定了土壤有机碳的含量^[14]。本研究中,CF + FM 和 CF 处理均可提高香榧林地土壤表层有机碳含量,且表现为:CF + FM 处理 > CF 处理 > CK 处理,因施有机肥直接向土壤中输送大量外源有机质,为微生物活动提供充足的能源,从而加速其对新鲜有机质的转化与固定^[15-16],单施化肥处理土壤有机碳变化整体平稳,但略有上升,与张珺瑾等^[17]的研究结果一致,说明单施化肥条件下土壤有机碳的形成和分解基本平衡,略有积累。此外,土壤有机质主要来源于植物残体和土壤中根系的归还量,而施肥促进了植物的生长,间接地增加植株的枯落物残留和根系分泌物^[18-19]。在 20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm 土层,单施复合肥处理与对照相比虽无明显差异,但数值上有减小的趋势,说明长期单施复合肥主要作用于土壤表层,对深层土壤影响较小,也可能因为长期单施复合肥在一定程度上对土壤结构造成一定的破坏作用,从而减小了土壤深层的总有机碳含量^[20-21]。

土壤活性有机碳在土壤中有效性较高,容易被微生物分解利用,是植物养分的直接供应者,能够更准确地反映土壤质量和土壤肥力的变化^[2]。易氧化碳可指示土壤有机质的早期变化^[22],轻组有机质含有丰富的碳、氮,在碳氮循环中起着重要作用^[23]。两者均可用于表征土壤活性有机碳,容易受到生物及环境条件影响,对农业管理措施(施肥、耕作措施

等)十分敏感^[24]。本文中,长期有机-无机配施处理显著提高香榉林地3个土层土壤易氧化碳和轻组有机质含量,而长期单施复合肥虽然也可在一定程度上增加各层土壤易氧化碳和轻组有机质含量,但与对照相比差异不显著,此研究结果与许多学者的研究结论一致^[25-27]。但也有学者认为单施复合肥会加速土壤原有机碳的消耗,不利于土壤易氧化碳和轻组有机碳等活性有机碳的积累^[4, 6, 28]。

活性有机碳比例可以在一定程度上反映有机碳的质量^[29]。本研究中单施复合肥对香榉林地土壤易氧化碳比例也有一定的提升作用,效果虽不及有机-无机配施,但两者之间无显著差异,均在表层表现最为显著。这与张瑞等^[30]、于维水等^[16]的研究结果一致。但也有研究认为单施复合肥可明显降低易氧化碳的分配比例,而有机-无机配施对易氧化碳的分配比例无明显影响^[31]。活性有机碳含量及其比例在不同研究中存在差异,这一现象说明活性有机碳的变化可能与土壤类型、取样时间以及施肥的种类和配比有一定关系^[26]。

香榉林地土壤总有机碳、易氧化碳和轻组有机质三者间的相关性均达到极显著,说明三者之间关系密切,其原因是易氧化碳和轻组有机质含量在很大程度上依赖于土壤总有机碳含量^[31],且土壤中活性有机碳与总有机碳处于动态平衡中,在一定条件下可以相互转化^[32]。

4.2 施肥对土壤养分的影响

pH值是土壤肥力的影响因素之一,其变化可直接影响到土壤微生物的活动和土壤酶活性,进而对土壤有机质和土壤养分产生影响^[3]。本研究中,长期施用化肥使香榉林地土壤pH明显下降,而有机-无机配施使土壤pH保持稳定或有所升高,原因可能是当化肥施入量超过植物生长所需时,会致使土壤 NH_4^+ 硝化作用增强,pH值下降;也可能是由于施入化肥促进植物生长的同时,提高了植物对氮的吸收和水分利用,相对降低了土壤 NO_3^- N的累积和淋洗^[33-34]。

全氮是土壤有机质的重要组成部分,而速效养分可直接被植物吸收利用,两者均能有效地表征土壤养分状况,是研究土壤肥力的基础。本文中香榉林地土壤全氮和水解性氮变化情况与总有机碳相似,有机-无机配施处理可显著提高土壤各层全氮和水解性氮含量,单施复合肥处理可显著提升表层土壤水解性氮含量,而对表层全氮含量的提升效果不

及有机-无机配施处理。这与吴崇书等^[35]的研究结果相似,其原因是有机肥中含有的大量惰性有机物质可有效增加土壤全氮含量。彭畅等^[36]认为单施复合肥处理而不加入有机质,有效氮含量得不到补充,就处于亏损状态,这可用于解释本文单施复合肥处理下20~40 cm和40~60 cm土层土壤全氮和水解性氮含量的降低趋势。许多学者认为有机-无机配施较单施复合肥能显著提高土壤中速效养分含量^[37-38],而本研究中的有机-无机配施对土壤速效钾的提升作用较小,甚至深层土壤速效钾含量还有降低的趋势,说明恰当的配施比例才能够在植物生长的任一过程中保持充足的有效养分^[39],造成这种现象的具体原因还需进一步研究。

香榉林地土壤全氮、水解氮、有效磷和速效钾与总有机碳、易氧化碳和轻组有机质间均存在显著或极显著相关,说明它们能较好地反映长期施肥下土壤活性有机碳和土壤肥力的变化。

5 结论

研究表明,无论是单施复合肥,还是有机-无机配施处理,均可增加香榉林地土壤有机碳和土壤养分含量,但总体而言,农民惯用的有机-无机配施效果要明显优于单施复合肥,单施复合肥主要引起土壤表层物质含量的变化,而对深层土壤作用较小。

参考文献:

- [1] 姜培坤,徐秋芳. 施肥对雷竹林土壤活性有机碳的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 253-256.
- [2] 付海丽,邢尚军,井大炜,等. 鸡粪与化肥不同配施方式对土壤有机碳及杨树幼苗生长的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4): 81-86.
- [3] 赵永丰,刘金凤,苏智良,等. 不同施肥处理对山地桃园土壤肥力的影响[J]. 广西林业科学, 2018, 47(1): 110-113.
- [4] 王玲莉,姜翼来,石元亮,等. 长期施肥对土壤活性有机碳指标的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 752-755.
- [5] 梁尧,韩晓增,宋春,等. 不同有机物料还田对东北黑土活性有机碳的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3565-3574.
- [6] Hai L, Li X G, Li F M, et al. Long-term fertilization and manuring effects on physically-separated soil organic matter pools under a wheat-wheat-maize cropping system in an arid region of China[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42(2): 253-259.
- [7] 李麟杰. 不同立地与经营措施对香榉林地土壤肥力的影响[D]. 浙江临安: 浙江农林大学, 2016.
- [8] 黄媛媛. 黎川县香榉栽培区土壤养分现状调查及限制因子研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2016.
- [9] 赵燕,刘千玲,陈田甜,等. 施肥对香榉枝梢生长和结实量的

- 影响[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(3): 26-29, 61.
- [10] LY/T 1237-1999. 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算[S]. 北京: 国家林业局, 1999.
- [11] 沈 宏, 曹志洪, 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 166-173.
- [12] Janzen, H. H., Campbell, C. A., Brandt, S. A., *et al.* Light-Fraction Organic Matter in Soils from Long-Term Crop Rotations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(6): 1799-1806.
- [13] 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.
- [14] Jiang P K, Qiu-Fang X U. Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation[J]. Pedosphere, 2006, 16(4): 505-511.
- [15] Bolan N S, Baskaran S, Thiagarajan S. An evaluation of the methods of measurement of dissolved organic carbon in soils, manures, sludges, and stream water[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1996, 27(13-14): 2723-2737.
- [16] 于维水, 王碧胜, 王士超, 等. 长期不同施肥下我国 4 种典型土壤活性有机碳及碳库管理指数的变化特征[J]. 中国土壤与肥料, 2018(2): 29-34.
- [17] 张珺瞳, 曹卫东, 徐昌旭, 等. 种植利用紫云英对稻田土壤微生物及酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(1): 19-25.
- [18] Kanchikerimath M, Singh D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2001, 86(2): 155-162.
- [19] 胡 诚, 乔 艳, 李双来, 等. 长期不同施肥方式下土壤有机碳的垂直分布及碳储量[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 689-692.
- [20] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 724-730.
- [21] 李江涛, 张 斌, 彭新华, 等. 施肥对红壤性水稻土颗粒有机物形成及团聚体稳定性的影响[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 912-917.
- [22] Biederbeck V O, Janzen H H, Campbell C A, *et al.* Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1994, 26(12): 1647-1656.
- [23] 张亚丽, 吕家珑, 金继运, 等. 施肥和秸秆还田对土壤肥力质量及春小麦品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 307-314.
- [24] Lundquist E J, Jackson L E, Scow K M, *et al.* Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of rye into three California agricultural soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(2): 221-236.
- [25] Malhi S S, Harapiak J T, Nyborg M, *et al.* Total and light fraction organic C in a thin Black Chernozemic grassland soil as affected by 27 annual applications of six rates of fertilizer N[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 66(1): 33-41.
- [26] 李艳鹏, 贺同鑫, 王清奎. 施肥对杉木林土壤酶和活性有机碳的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(10): 2722-2731.
- [27] 赵玉皓, 张艳杰, 李贵春, 等. 长期不同施肥下褐土有机碳储量及活性碳组分[J]. 生态学杂志, 2016, 35(7): 1826-1833.
- [28] Dijkstra F A, Hobbie S E, Reich P B, *et al.* Divergent effects of elevated CO₂, N fertilization, and plant diversity on soil C and N dynamics in a grassland field experiment[J]. Plant & Soil, 2005, 272(1-2): 41-52.
- [29] 张 璐, 张文菊, 徐明岗, 等. 长期施肥对中国 3 种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1646-1655.
- [30] 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.
- [31] 王朔林, 杨艳菊, 王改兰, 等. 长期施肥对粟褐土活性有机碳的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(5): 1223-1228.
- [32] Hagedorn F, Kaiser K, Feyen H, *et al.* Effects of redox conditions and flow processes on the mobility of dissolved organic carbon and nitrogen in a forest soil[J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29(1): 288-297.
- [33] Fujii K, Hartono A, Funakawa S, *et al.* Acidification of tropical forest soils derived from serpentine and sedimentary rocks in East Kalimantan, Indonesia[J]. Geoderma, 2011, 160(3): 311-323.
- [34] Tong D, Xu R. Effects of urea and (NH₄)₂SO₄ on nitrification and acidification of Ultisols from Southern China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(4): 682-689.
- [35] 吴崇书, 章明奎. 长期不同施肥对茶园土壤碳氮磷构成的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 578-583.
- [36] 彭 畅, 朱 平, 高洪军, 等. 长期定位监测黑土土壤肥力的研究-黑土耕层有机质与氮素转化[J]. 吉林农业科学, 2004, 29(5): 29-33.
- [37] 李 静, 李志阳, 陈秀龙, 等. 不同施肥处理对木薯园土壤养分、酶活性及木薯生长的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(36): 216-221.
- [38] 胡 诚, 刘东海, 乔 艳, 等. 不同施肥措施对黄泥田土壤养分及水稻产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(4): 12-15.
- [39] 许小伟, 樊剑波, 陈 晏, 等. 不同有机无机肥配比比例对红壤旱地花生产量、土壤速效养分和生物学性质的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5182-5190.

Effects of Fertilization Measures on Soil Labile Organic Carbon and Nutrient of Old *Torreya grandis*

ZHANG Yu-jie, WANG Bin, LI Zheng-cai, HUANG Sheng-yi, YUAN Ya-nan, QIN Yi-xin

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: [**Objective**] To reveal the effects of different fertilization measures on soil fertility, and provide a reference for fertilization of old *Torreya grandis*. [**Method**] Three different fertilization treatments (non-fertilizer (CK), chemical fertilizer plus farmyard manure (CF + FM), and chemical fertilizer treatment (CF) were carried out in the Chinese Torreya National Forest Park in Zhuji, Zhejiang Province. Soil samples were collected from the field to analyze the total soil organic carbon (TOC), readily oxidizable carbon (ROC), light fraction organic matter (LFOM), and soil nutrient contents in 0–20, 20–40, and 40–60 cm soil layers. [**Result**] (1) Compared with the CK, the contents of TOC, ROC, LFOM, total nitrogen (TN), and available nitrogen (AN) in soil layers increased significantly under CF + FM treatment. The contents of ROC, LFOM and AN in the topsoil and the soil available potassium (AK) in each soil layer increased under CF treatment, especially AK. The effect of CF treatment on the increase of soil available phosphorus (AP) content was far less than that of CF + FM treatment. (2) Soil pH increased insignificantly under CF + FM treatment, while decreased significantly under CF treatment. (3) The ratios of ROC to TOC in three soil layer for different fertilization treatments showed: CF + FM > CF > CK, but only CF + FM treatment in surface soil was significantly higher than that of CK. (4) Correlation analysis showed that ROC, LFOM and TOC were extremely significantly correlated. The TOC, ROC and LFOM were significantly or extremely significantly correlated with TN, AN, AP, AK. [**Conclusion**] The organic-inorganic combination treatment is more conducive to the accumulation of soil organic carbon and soil nutrients than the single application of chemical fertilizer treatment.

Keywords: fertilization; *Torreya grandis*; soil labile organic carbon; soil nutrient

(责任编辑:金立新)