

中亚热带四种森林土壤团聚体及其有机碳分布特征^①

周纯亮^{1,2}, 吴明^{1*}

(1 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 2 上海应用技术学院生态技术与工程学院, 上海 201418)

摘要: 选择中亚热带地区 4 种典型森林类型: 杉木林、湿地松林、毛竹林和次生林 4 种森林土壤为研究对象, 研究了森林类型对土壤不同发生层水稳性团聚体及其有机碳分布特征的影响。结果表明: 不同森林类型对 >5 mm 和 2~5 mm 土壤团聚体含量影响显著 ($p < 0.05$), 表现为次生林 > 杉木林 > 毛竹林 > 湿地松林, 而在其他粒径无显著差异。0~30 cm 土层内团聚体 $R_{0.25}$ 和 MWD 次生林显著高于其他人工林, 杉木林次之, 湿地松林和毛竹林最低, 其他土层无显著差异。各森林类型同土层不同粒径团聚体中有机碳含量随粒径大小变化, 团聚体粒径越小, 有机碳含量越高。0~10 cm 土层同粒径土壤团聚体有机碳含量从大到小依次是次生林、杉木林、湿地松林和毛竹林, 而在其他土层各森林类型之间差异不显著。

关键词: 森林类型; 土壤团聚体; 有机碳

中图分类号: S153.6

20 世纪 50 年代以来, 我国林业研究者在对人工林的调查中, 发现了有关人工林地力退化方面的问题, 并陆续进行了相应的研究。迄今林业研究者们相继报道了杉木、毛竹、木麻黄、落叶松、马尾松、桉树、杨树等人工林都不同程度地存在着林地土壤退化、生产力持续下降的问题^[1-3]。综合诸多因素, 人工林树种本身特性及栽培措施的不合理是导致人工林土壤养分、土壤结构和土壤其他性质退化的两个主要原因^[4]。而土壤有机质是土壤质量的核心, 同时又影响到全球碳循环和气候变化。土壤有机碳含量的差异正是造成土壤性质和功能差异的主要原因之一。土壤有机碳也是土壤团聚体与土壤功能体现的基础。另一方面, 土壤团聚体是土壤有机碳稳定和保护的载体, 土壤有机碳的固定效应与团聚体的保护机制密切相关, 因而有关不同土地利用方式对有机碳在土壤团聚体中的分布及其变化的影响研究备受关注。本文采用湿筛法研究中亚热带林区常见 4 种森林类型对土壤团聚体组成及团聚体有机碳分布的影响, 以期阐述林地利用变化对于土壤团聚体有机碳分布的影响程度和有机碳固定的相关机制, 为评价该区林地土壤质量和土壤抗侵蚀能力提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究样地位于浙江省杭州余杭区长乐实验林场

(30°20'N, 119°50'E), 海拔 50~350 m, 属中亚热带东部季风气候区, 年降雨量 1390 mm, 年均温 15.6℃, 无霜期 240 天。土壤类型为丘陵黄红壤, 成土母质以砂页岩、砂岩为主。土壤基本性质见表 1。

选择试验区 4 种森林类型: 杉木林 (*Cunninghamia lanceolata*), 栽植于 1973 年, 常年处于自然生长状态, 林下植被丰富; 湿地松林 (*Pinus ellioti*), 栽植于 1975 年, 立地条件较差, 林下植被较少; 毛竹林 (*Phyllostachys pubescens*), 笋和木材两用, 经常施肥除草, 地表零星草本盖度 < 5%; 常绿次生阔叶林, 前茬砍伐后人工促成自然恢复年龄 30 年以上, 主要树种有檫木 (*Sassafras tzumu*)、山苍子 (*Litsea cubeba*)、马尾松 (*Pinus massoniana*)、化香 (*Platycarya strobilacea*)、黄檀 (*Dalbergia hupeana*)、青冈 (*Cylobalanopsis glauca*)、连蕊茶 (*Camellia fraterna*)。

1.2 采样及处理

在邻近区域, 选择坡度、坡向、成土母质、土壤条件基本一致的试验样地, 每个样地设置 3 个重复, 样地大小为 20 m × 20 m, 重复样地间距不少于 5 m, 每个重复样地内蛇形多点采样 (不少于 5 个样点), 采样后现场混合均匀。除去表面凋落物后, 挖取 1 m 的土壤剖面, 按照 0~10、10~30、30~60、60~100 cm 土层分层用自封袋采集土样。同时用环刀法取原状土, 带回室内测定土壤含水量和体积质量 (容重)。将大的土块按其结构轻轻剥开, 成直径 10 mm 左右的团

①基金项目: 浙江省重大科技攻关计划项目 (2004C12030) 资助。

* 通讯作者 (hangzhoubay@126.com)

作者简介: 周纯亮 (1985—), 男, 江西吉安人, 助教, 硕士研究生, 主要从事园林植物栽培与土壤生态研究。E-mail: zcl1020@126.com

表 1 4 种森林类型下土壤基本性质
Table 1 Basic properties of soils under four forest types

森林类型	土层深度 (cm)	总有机碳 (g/kg)	体积质量 (g/cm ³)	质量含水量 (g/kg)	总孔隙度 (%)
杉木林	0~10	20.50	1.12	241.8	57.7
	10~30	8.85	1.44	217.0	45.7
	30~60	4.81	1.49	224.9	43.8
	60~100	2.71	1.45	251.0	45.3
湿地松林	0~10	12.75	1.27	177.6	52.1
	10~30	4.91	1.40	174.3	47.2
	30~60	2.60	1.47	188.0	44.5
	60~100	1.77	1.55	194.4	41.5
毛竹林	0~10	16.89	1.19	239.2	55.1
	10~30	8.07	1.30	234.1	50.9
	30~60	6.01	1.53	201.7	42.3
	60~100	5.84	1.49	214.5	43.8
次生林	0~10	41.28	1.16	203.5	56.2
	10~30	12.10	1.26	214.3	52.5
	30~60	8.02	-	-	-
	60~100	3.32	-	-	-

块,挑去石砾和动植物残体如根、茎、叶、虫体等,放在纸上风干一周左右。风干后,一部分土样用于土壤团聚体分析。另一部分过 0.149 mm 土壤筛测定总有机碳。

1.3 分析方法

水稳性团聚体分级:改进的萨维诺夫湿筛法。称取 50.0 g 风干土壤,放到由 5 个不同孔径大小的铜筛组成的套筛最上面,筛子从上到下依次是,5、2、1、0.5、0.25 mm。将套筛放到团粒分析仪上震荡 15 min,取出每一个筛子上团聚体烘干,称重,计算每一粒级中团聚体的含量,并测定各粒级团聚体有机碳含量^[5]。

有机碳量测定:重铬酸钾外加热氧化法^[6]。

平均重量直径计算公式^[7]为:

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$

式中, W_i 表示各级团聚体在样品总重量中所占重量百分数, X_i 表示各级团聚体范围平均值 (mm)。

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS16.0 和 EXCEL2003 进行数据统计分析,不同森林类型及同一森林类型不同剖面之间采用 One-Way ANOVA 分析模块, LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 森林类型对土壤水稳性团聚体分布的影响

不同森林类型下各层土壤水稳性团聚体的质量分

数大致呈 V 字形分布 (图 1)。最低值位于土壤团聚体粒径 1~2 mm 处,含量为 6.1%~9.5%;最高值分布在土壤团聚体粒径 >5 mm 处,含量为 7.2%~20.7% 和土壤团聚体粒径 0.25~0.5 mm 处,含量为 11.5%~14.7%;其次为粒径 0.5~1 mm 和 2~5 mm 团聚体。这一结果和以往通过干筛法表现出相同粒径团聚体含量随土层增加而降低的结果不同^[8]。土壤中 >0.25 mm 土壤团聚体占总团聚体量的 63.8%~79.2%,说明大团聚体占林地土壤团聚体比例较高。>5 mm 团聚体含量顺序为:次生林>杉木林>湿地松林>毛竹林,而 0.25~0.5 mm 团聚体含量顺序为:毛竹林>杉木林>湿地松林>次生林,方差分析表明,森林类型对 >5 mm 和 2~5 mm 团聚体含量影响显著 ($p<0.05$),而对其他粒径团聚体含量影响不显著。

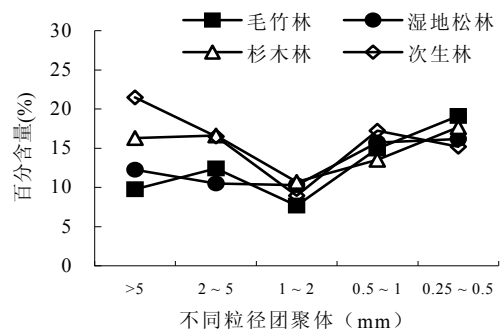


图 1 不同森林类型下土壤水稳性团聚体分布特征

Fig. 1 Distribution features of soil water-stable aggregates under different

2.2 森林类型对土壤团聚体稳定性的影响

由于土壤不同粒径水稳性团聚体分布较为复杂, 出现很多的方法简单化它的数值。土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量 ($R_{0.25}$)、团聚体平均重量直径 (MWD) 是土壤抗侵蚀能力的主要指标, 一般通过这两种方法评价土壤团聚体水稳性^[9-10]。由表 2 可见, 在各森林类型 0~100 cm 土壤剖面, $R_{0.25}$ 值大小依次为次生林, 杉木林, 毛竹林和湿地松林。0~10 cm 土层内团聚体 $R_{0.25}$ 在各森林类型之间次生林显著高于其他人工林, 杉木林次之, 湿地松林和毛竹林之间无显著差异, 而在 10~30 cm 土层, 除杉木林和次生林与湿地松林有显著差异外, 各森林类型之间无显著差异。在 60~100 cm 底层土壤, 各森林类型之间基本无差异。各森林类型不同土层之间, 团聚体 $R_{0.25}$ 值都随着土层深度的加深而逐渐降低。湿筛处理下, 各森林类型土壤中 >0.25 mm 水稳性团聚体总量占 79.3%~36.3%, 平均为 55.6%, 说明该区土壤团聚体大部分为水稳性团聚体, 林地土壤结构比较稳定。

表 2 不同森林类型下土壤水稳性团聚体分布特征
Table 2 Distribution features of soil water-stable aggregates under different forest types

森林类型	土层深度 (cm)	$R_{0.25}$ (%)	MWD (mm)
杉木林	0~10	74.78 ± 1.50 a	2.13
	10~30	72.05 ± 20.16 a	1.99
	30~60	63.53 ± 12.95 a	1.95
	60~100	51.93 ± 8.32 ab	1.92
湿地松林	0~10	64.89 ± 2.27 b	1.61
	10~30	42.29 ± 10.11 b	1.01
	30~60	35.88 ± 2.76 b	1.04
	60~100	36.31 ± 2.50 b	0.90
毛竹林	0~10	63.84 ± 2.12 bc	1.46
	10~30	50.09 ± 15.65 ab	1.30
	30~60	40.23 ± 12.05 ab	0.77
	60~100	53.78 ± 23.40 ab	1.08
次生林	0~10	79.25 ± 3.10 d	2.51
	10~30	74.87 ± 8.28 a	2.24
	30~60	65.37 ± 17.32 ac	2.18
	60~100	63.48 ± 6.53 a	2.10

表 2 结果显示, 各层土壤水稳性团聚体 MWD 值次生林 $>$ 杉木林、湿地松林, 毛竹林最小。土壤团聚体 MWD 值 0~10 cm 土层高于其他土层, 并随着土层的加深依次降低。 MWD 数值越大, 土壤团聚体

稳定性越大, 土壤抗侵蚀能力越强。因此, 4 种个森林类型土壤的抗侵蚀能力依次为次生林 $>$ 杉木林 $>$ 湿地松林 $>$ 毛竹林。

2.3 土壤总有机碳与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量的关系

从图 2 中可以看出, 土壤总有机碳与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量呈幂指正相关关系, 达到 $p < 0.01$ 显著水平。土壤有机碳含量越高, >0.25 mm 水稳性团聚体含量越多, 土壤结构越稳定。

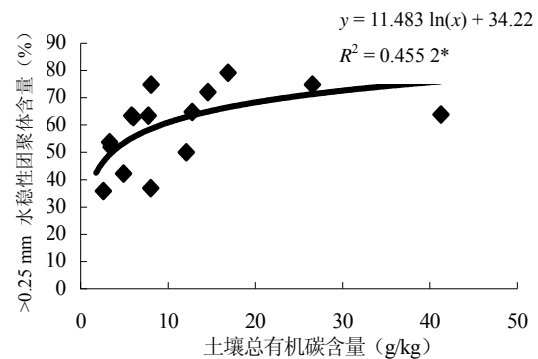


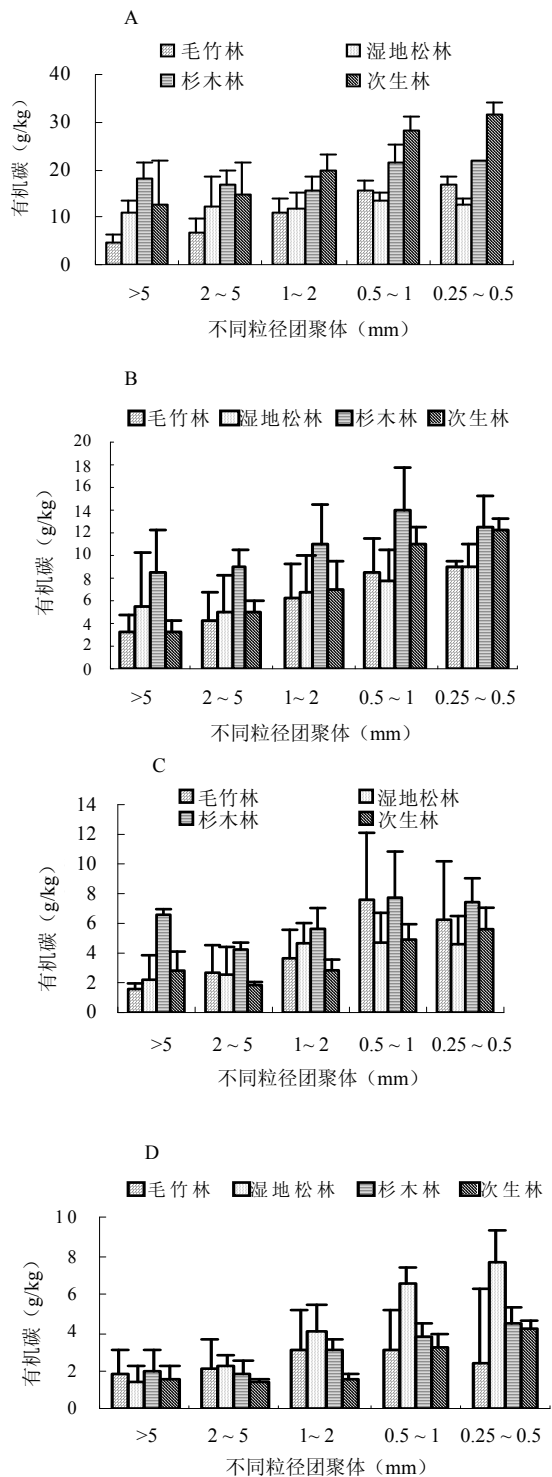
图 2 土壤总有机碳与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量的关系
Fig. 2 Relationships between SOC and the content of >0.25 mm water-stable aggregates

2.4 森林类型对土壤水稳性团聚体有机碳含量的影响

各森林类型同土层不同粒径团聚体中有机碳含量随粒径大小而变化, 从 >5 mm 至 0.25~0.5 mm, 团聚体粒径越小, 有机碳含量越高。这与毛艳玲等^[11]和李辉信等^[8]发现有机碳随着团聚体粒径的增大而下降的结果一致。在各森林类型中, 团聚体有机碳含量随土层的加深而呈明显的下降趋势。各种森林类型同一粒径团聚体有机碳含量在 0~10 cm 处显著高于 30~60 和 60~100 cm 土层 ($p < 0.01$), 与 10~30 cm 土层也有显著差异 ($p < 0.05$)。10~30 cm 土层与 30~60 和 60~100 cm 土层基本呈现显著差异 ($p < 0.05$), 而 30~60 cm 和 60~100 cm 土层之间团聚体有机碳含量无显著差异。

同一土层相同粒径不同森林类型团聚体有机碳含量之间也有很大差别, 0~10 cm 土层同粒径土壤团聚体有机碳含量从大到小依次是次生林、杉木林、湿地松林和毛竹林, 在 0.25~0.5 mm 团聚体中次生林与其他 3 种森林类型有显著差异 ($p < 0.05$), 杉木林与湿地松林、毛竹林之间均有显著差异 ($p < 0.05$), 而湿地松林与毛竹林之间基本无显著性差异; 在 10~30 cm 土层, >1 mm 土壤团聚体有机碳含量杉木林和湿

地松林较高，次生林和毛竹林较低。0.25~1 mm 土壤团聚体有机碳含量为杉木林>次生林>湿地松林>毛竹林，各森林类型之间无显著差异；而在 60 cm 以下土层，次生林和人工林之间无显著差异。



(A: 0~10 cm; B: 10~30 cm; C: 30~60 cm; D: 60~100 cm)

图3 不同森林类型对土壤团聚体有机碳含量的影响

Fig.3 Effects of different forest types on SOC content of water-stable aggregates in different profiles

3 结论与讨论

3.1 森林类型对土壤团聚体组成及稳定性的影响

本研究发现，各森林类型土壤水稳性团聚体含量在>5 mm 和 2~5 mm 粒径处呈显著差异，由高到低依次为次生林、杉木林、湿地松林和毛竹林，说明森林类型的变更对土壤中团聚体含量的影响主要集中在>5 mm 和 2~5 mm 两个粒级。

0~30 cm 土层>0.25 mm 水稳性团聚体的数量和 MWD 值，次生林和杉木林都显著高于湿地松林和毛竹林。闫俊华等^[12]研究结果表明，土壤吸持水分能力、土壤的抗侵蚀能力等水文效应与土壤中粒级>0.25 mm 土壤团聚体的量呈正相关。因此，0~30 cm 土层次生林土壤水稳性团聚体较其他 3 种人工林稳定，土壤抗侵蚀能力也较强。

在土壤团聚体形成过程中，有机胶结物质起着十分重要的作用，其形成主要依赖于土壤中各种胶结物质的数量和性质^[13]。凋落物是森林土壤有机碳的主要来源之一，次生林与其他人工林相比，郁闭度较高，受人为砍伐、整地等干扰活动较少。湿地松林立地条件较差，而毛竹林每年挖笋、除草、施肥等人为干扰较为频繁，导致地表植被、凋落物数量少。不但减少了土壤有机碳的归还量，而且还有可能加速土壤有机碳的分解，最终使湿地松林和毛竹林土壤有机碳含量降低^[14]。这可能就是导致毛竹虽有发达的地下茎但表层土壤有机质含量反而比其他树种低的原因，进而影响土壤中团聚体的分布。

3.2 森林类型对土壤团聚体有机碳的影响

不同森林类型土壤水稳性团聚体有机碳含量随粒径减小而增加，1~2 mm 和 0.25~0.5 mm 粒级团聚体有机碳与总有机碳呈极显著相关；因此，森林类型和抚育方式的不同导致森林土壤有机碳的异同主要集中在 1~2 mm 和 0.25~0.5 mm 团聚体内。

不同森林类型土壤团聚体有机碳含量在 0~30 cm 土层从大到小依次是次生林、杉木林、湿地松林和毛竹林，在其他土层次生林各粒径团聚体有机碳含量趋势不明显，而在底层土壤低于人工林。这与不同森林类型下土壤总有机碳分布规律是一致的。主要是因为本试验地次生林主要为阔叶林，阔叶林凋落叶较针叶凋落物更易分解，因而表层有机质含量较高^[15]；而次生林中檫木、山苍子等为浅根性树种，有机质向土壤下层迁移能力较弱，导致底层土壤有机碳含量较低；而毛竹林有发达的根系以及地下茎，根系生物量较大，有机碳在土壤下层含量相对较高，另外人为垦翻、施肥也会造成大团聚体破坏，促使有机碳储存在小团聚

体里^[16]。

3.3 土壤有机碳和团聚体相互作用

很多研究表明,红壤>0.25 mm 水稳性团聚体含量主要与有机物的数量相关,而受黏粒游离氧化物的影响较小,团聚体的破坏率与有机质含量显著负相关^[10,17]。本研究结果也表明,土壤总有机碳与>0.25 mm 水稳性团聚体含量呈幂指正相关关系,表明土壤有机碳含量越高,>0.25 mm 水稳性团聚体含量越多,土壤团聚度越高,土壤结构越稳定。因此,有机质分解加快或补充减少是导致团聚体稳定性下降和水稳定团聚体减少的主要原因。同理,恢复和改良森林土壤结构性及结构稳定性的关键是保持森林植被群落的多样性以及适当的人为干扰。

参考文献:

- [1] 中国林学会森林生态学会. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992
- [2] 楼一平, 吴良如, 邵大方, 鄢振武. 竹林混交林改为毛竹林纯林经营后的森林类型生长动态. 林业科学研究, 1997, 10(1): 35-41
- [3] 吴蔚东, 张桃林, 孙波, 赵其国. 人工杉木林地有机物和养分库的退化与调控. 土壤学报, 2000, 37(1): 41-49
- [4] 马祥庆, 黄宝龙. 人工林地力衰退研究综述. 南京林业大学学报, 1997, 21(2): 77-82
- [5] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [7] Kemper WD, Rosemau RC. Aggregate stability and size distribution//Klute A. Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Madison WI: Soil Science Society of America, 1986, 9: 425-442
- [8] 李辉信, 袁颖红, 黄欠如, 胡锋, 潘根兴. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响. 生态学报, 2006, 43(3): 421-429
- [9] Van Bavel CHM. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Science Society of America Journal, 1949, 14: 20-23
- [10] 章明奎, 何振立, 陈国潮, 黄昌勇. 利用方式对红壤水稳性团聚体形成的影响. 土壤学报, 1997, 34(4): 359-366
- [11] 毛艳玲, 杨玉盛, 邹双全, 陈光水, 王国强. 土地利用变化对亚热带山地红壤团聚体有机碳的影响. 山地学报, 2007, 25(6): 706-713
- [12] 闫俊华, 周国逸. 鼎湖山三种演替群落与其土壤结构及某些水文效应耦合研究. 资源生态环境网络研究动态, 2000, 11(1): 6-11
- [13] 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素. 土壤通报, 2005, 36(3): 415-421
- [14] 李正才, 徐德应, 傅懋毅, 孙雪忠, 奚金荣. 北亚热带土地利用变化对土壤有机碳垂直分布特征及储量的影响. 林业科学研究, 2007, 20(6): 744-749
- [15] 郭培培, 江洪, 余树全, 马元丹, 窦荣鹏, 宋新章. 亚热带 6 种针叶和阔叶树种凋落叶分解比较. 应用与环境生物学报, 2009, 15(5): 655-659
- [16] 魏亚伟, 苏以龙, 陈香碧. 桂西北喀斯特土壤对生态系统退化的影响. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1308-1314
- [17] 郭菊花, 陈小云, 刘满强, 胡锋, 李辉信. 不同施肥处理对红壤性水稻土团聚体的分布及有机碳、氮含量的影响. 土壤, 2007, 39(5): 787-793

Distribution of Soil Aggregates and SOC of Aggregates Under Four Forest Types in Mid-subtropics

ZHOU Chun-liang^{1,2}, WU Ming¹

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

2 School of Ecological Technology and Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: This study was carried out on four typical forest types in middle subtropical zone: Chinese fir, slash pine, bamboo and secondary forest, to study the effects of forest type on soil water-stable aggregates and soil organic carbon (SOC) distribution characteristics. The results showed that the forest type had significant effects on soil aggregate contents of >5mm and 2-5mm size groups, which followed the sequence of secondary forest> Chinese fir> bamboo> slash pine ($p<0.05$). At 0-30cm soil layers, $R_{0.25}$ and MWD in secondary forest were significantly higher than that in other forest types. SOC content in the same layer of the same forest type increased with the decrease of aggregate size. SOC contents of the same size aggregate group at 0-10cm layer decreased following the sequence of secondary forest> Chinese fir> slash pine> bamboo. There was no significant difference between secondary forest and plantations in other soil layers.

Key words: Forest types, Soil aggregate, Soil organic carbon