

凋落物输入改变对慈竹林土壤有机碳的影响

彭琳, 王晓君, 黄从德, 李开志

(四川农业大学 林学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 通过野外试验,研究了凋落物输入改变对慈竹林土壤有机碳的影响。设置10%,50%和70%这三种去除凋落物量和分别添加15%,25%的绵竹、杉木凋落物处理及对照。结果发现,去除凋落后慈竹林土壤有机碳含量明显减少($p < 0.05$),而且去除量越大,有机碳含量减少越大。添加外源凋落物显著提高了慈竹林土壤有机碳含量($p < 0.05$),其中,15%的添加比例比25%更有利于土壤有机碳的积累,添加绵竹凋落物对土壤有机碳增加的效应高于添加杉木凋落物。研究表明,选择适合的树种和恰当的混交比例以及加强对凋落物层的保护,对维持慈竹林土壤有机碳具有重要的意义。

关键词: 凋落物; 慈竹; 土壤; 有机碳; 分解

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0129-04

中图分类号: S718.5

Effects of Litter Input Change on Soil Organic Carbon in *Dendrocalamus affinis* Forest

PENG Lin, WANG Xiao-jun, HUANG Cong-de, LI Kai-zhi

(College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: A field experiment with three litter removed(10%, 50% and 70%) and four litter added(15% and 25% *Bambusa intermedia*, and 15% and 25% *Cunninghamia lanceolata*) treatments was conducted to study soil organic carbon in *Dendrocalamus affinis* forest as affected by changeing litter input. Results showed that soil organic carbon content in the forest significantly decreased after litter was removed($p < 0.05$). The more the litter removed, the larger the decrease in soil organic carbon content was. Litter adding can significantly increase soil organic carbon content($p < 0.05$). Higher soil organic carbon content was detected in the 15% litter added treatment as compared with the 25% litter-added. Moreover, adding *B. intermedia* litter was more beneficial to soil carbon accumulation than adding *C. lanceolata* litter. This study suggests that the appropriate mixed species and proportion, as well as the protection of litter layer, can play important roles in maintaining soil organic carbon in *D. affinis* forests.

Keywords: litter; *Dendrocalamus affinis*; soil; organic carbon; decomposition

森林凋落物不仅是地球生态系统重要的组成部分之一,而且参与森林生态系统理化循环^[1],其分解释放的有机碳是土壤有机碳的一个重要来源,森林土壤的碳输入过程与凋落物叶、根系的产量、组成和分解快慢密切相关^[2]。据估计,90%以上的地上部分净生产量以凋落物的方式返回地表^[3]。Raich等^[4]估计全球因凋落物分解(包括地下部分的枯死根等)释放的CO₂量为68 Gt/a,约占全球年碳流通总量的70%。温带森林因细根周转形成的地下凋落物进入土壤的有机碳占总输入量的14%~87%,比地上凋落物分解对土壤有机碳库的贡献大18%~58%^[5]。

因此,深入研究凋落物及其分解对土壤有机碳的贡献,对于揭示森林土壤碳循环机制具有重要的意义。

在森林生态系统中,可以通过添加和去除凋落物,以及去除根系的方法(detritus input and removal treatments,DIRT),人为地改变土壤碳的输入来研究土壤碳库和碳循环^[6]。Crow等^[7]的试验证明了改变有机质的输入可以增强或者降低土壤有机碳的转化速率,能够在短期内观察到土壤碳和碳循环的变化。目前,有关凋落物输入变化对森林生态系统土壤碳库,尤其是对土壤呼吸的影响开展了大量的研究工作,但关于凋落物输入改变对土壤总有机碳影响的研

收稿日期:2013-01-07

修回日期:2013-05-09

资助项目:国家“十二五”科技支撑项目“长江上游低山丘陵区生态综合整治技术与示范”(2011BAC09B05);四川省“十二五”农作物育种攻关项目“突破性经济林(竹)新品种选育”(2011NZ0098-10)

作者简介:彭琳(1987—),女(汉族),四川省自贡市人,硕士研究生,研究方向为森林生态系统管理。E-mail:714537527@qq.com。

通信作者:黄从德(1969—),男(汉族),四川省内江市人,博士,教授,主要从事森林经营管理与森林碳储量研究。E-mail:lyyxq100@yahoo.com.cn。

究结果存在很大争议。在匈牙利森林和中国亚热带相思木(*Ormosia semicastrata*)人工林中,去除凋落物导致土壤总有机碳降低;在加拿大颤杨林(*Populus tremuloides*)中,去除枯枝落叶层引起的表层土壤总有机碳的降低作用比去除植物的影响更大,凋落物对土壤有机碳的影响与树种有关,并受立地、土壤质量的影响;在荷兰森林的研究表明,去除凋落物降低了灌丛土壤有机碳,但对灌丛没有影响;而在美国森林和澳大利亚东南部的蓝桉(*Eucalyptus globulus*)人工林中,去除和添加凋落物并没有引起土壤总有机碳的变化^[6-8]。研究结果说明在不同森林生态系统中,凋落物输入方式变化对土壤碳库的影响存在差异。

竹林是世界最重要的森林类型之一,在世界分布广泛。中国是世界上竹种资源最丰富的国家之一,竹林种类约占世界的 1/3,竹林面积、蓄积和竹材产量均居全球之冠。然而有关凋落物输入变化对竹林土壤碳库的影响还少见报道,亟待加强这方面的研究。本文以华西雨屏区大面积栽植的慈竹林为研究对象,通过改变凋落物组成和减少凋落物量,研究凋落物输入方式变化对慈竹林土壤有机碳的影响,为不同碳输入方式下森林土壤碳库和碳循环的研究提供基础数据和参考。

1 研究区概况

研究地点位于四川省雅安市青衣江流域的四川农业大学老板山林业试验站内,海拔 660 m,属于中亚热带湿润型气候,地处“华西雨屏”,是四川省多雨的中心区域之一。年均气温 16.1 °C,年最高气温 16.9 °C(1987 年),年最低气温 15.4 °C(1976 年), ≥ 10 °C 积温 5 231 °C。年均降雨量 1 772.2 mm,年均无霜期 298 d,年均日照时数 1 019.9 h,全年太阳辐射总量 3 640.13 MJ/cm²。该区云雾多,日照时间少,相对湿度较大。土壤为白垩纪灌口组紫色砂页岩风化的坡堆积物形成的紫色土,土层深度 >40 cm。

慈竹林面积 0.5 hm²,于 1989 年 11 月栽植。平均密度 750 丛/hm²,平均胸径 5.9 cm,平均高 13.2 m。竹林郁闭度 0.95,林下几乎无植被,地表凋落物层厚 1~3 cm。慈竹林土壤有机碳含量为 11.02 ± 0.40 g/kg。

2 研究方法

2.1 标准地设置及处理

2010 年 6—7 月在四川农业大学老板山慈竹林中,采用典型选样的方法,设置 5 个 1 m×1 m 的小样方,将小样方中凋落物统一收集,烘干后称重,计算

慈竹林单位面积凋落物量。

在同一慈竹林中选择立地条件基本一致的地块作为试验样地,在试验样地中设置 24 块面积为 2 m×2 m 小样方,为了避免样方间相互干扰,设置样方间距 1 m。在小样方内进行凋落物组成改变和量去除处理。在不改变慈竹林单位面积凋落物重量的前提下,在慈竹林凋落物中分别添加绵竹(*Bambusa intermedia*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)凋落物,添加比例分别为 15% 和 25% 两种,记为 M₃, M₅ 和 S₃, S₅。设置 10%, 50% 和 70% 这 3 种去除凋落物量处理,记为 L₁₀, L₅₀ 和 L₇₀,每个处理 3 个重复,同时设置对照(CK)。凋落物处理完成后用尼龙网盖在每个小样方上,避免凋落物进入和减少。每月去除尼龙网上的凋落物 1 次。

2.2 样品采集及测定

每隔 90 d 采集 1 次土样。用土钻在每组样方中随机选取 5 个点,把 5 个点的土样混合后作为实验土样。采用重铬酸钾外加热法(LY/T1237—1999)测定土壤有机碳含量。

2.3 数据处理

数据处理的主要软件为 SPSS 17.0 和 Excel 2007。采用 SPSS 17.0 软件对数据进行重复测量方差分析(ANOVA),并采用 LSD 法进行差异显著性检验。

3 结果与分析

3.1 慈竹林凋落物组成改变对土壤有机碳的影响

由表 1 可知,在整个试验期间,在慈竹林凋落物中添加不同比例的绵竹凋落物后,土壤有机碳含量显著高于 CK($p < 0.05$)。M₃ 在处理 90, 180, 270 和 360 d 时分别比 CK 增加了 43.29%, 57.86%, 32.33% 和 28.02%, M₅ 分别增加了 46.67%, 64.43%, 62.59% 和 77.12%。M₃ 和 M₅ 处理在 90 和 180 d 时差异不显著,在 270 和 360 d 时差异显著($p < 0.05$),在试验过程中 M₅ 的土壤有机碳含量始终高于 M₃。

在慈竹林凋落物中添加不同比例的杉木凋落物后, S₃ 在处理 90, 180 和 360 d 时分别比 CK 增加了 17.46%, 44.40% 和 12.40% ($p < 0.05$), 在 270 d 时小于 CK 2.26%; S₅ 在处理 90, 180, 270 和 360 d 时分别增加了 38.78%, 50.57%, 19.94% 和 14.52% ($p < 0.05$)。S₃ 和 S₅ 处理在 180 和 360 d 时差异不显著,在 90 和 270 d 时差异显著($p < 0.05$)。与 M 处理情况相同,在试验过程中 S₅ 的土壤有机碳含量始终高于 S₃。

由表 1 还可知,不同凋落物的处理之间的土壤有机碳含量大小总体表现为 M>S>CK。

表 1 凋落物组成变化对慈竹林土壤有机碳含量的动态影响

g/kg

处理	有机碳含量			
	90 d	180 d	270 d	360 d
M ₃	15.26±0.84Ab	15.36±0.11Ab	14.08±0.12Ac	12.70±0.18Ad
M ₅	15.62±0.04Ab	16.00±0.30Ab	17.30±0.07Bc	17.57±0.42Bc
S ₃	12.51±0.38Bb	14.05±0.03Bc	10.40±0.11Cd	11.15±0.23Cd
S ₅	14.78±0.07Ab	14.65±0.12Bb	12.76±0.43Dc	11.36±0.10Cd
CK	10.65±0.15Ca	9.73±0.33Cb	10.64±0.13Ca	9.92±0.08Db

注: M₃, M₅, S₃ 和 S₅ 表示在慈竹林凋落物中分别添加比例为 15% 和 25% 的绵竹(M)和杉木(S)凋落物; 同一列不同大写字母表示同一时间不同处理间有机碳含量存在显著差异, 同一行不同小写字母表示同一处理下不同时间土壤有机碳含量存在显著差异 ($p < 0.05$)。下同。

3.2 慈竹林凋落物量减少对土壤有机碳的影响

去除慈竹凋落物后总体上降低了慈竹林土壤的有机碳含量, 且总体趋势为去除量越大, 有机碳含量减少越大(表 2)。L₁₀ 处理在 90, 180 和 360 d 时分别比 CK 减少 9.11%, 19.94% 和 22.88%, 270 d 时高于 CK 3.29%; L₅₀ 处理在 90, 180, 270 和 360 d 时分别比 CK 减少 8.64%, 24.77%, 26.79% 和 23.49%;

L₇₀ 处理在 90, 180, 270 和 360 d 时分别比 CK 显著减少 25.35%, 26.00%, 50.19% 和 47.78% ($p < 0.05$)。L₁₀ 和 L₅₀ 处理在 90 和 360 d 时与 L₇₀ 处理差异显著 ($p < 0.05$), 180 d 时处理之间差异不显著, 在 270 d 时处理之间差异显著 ($p < 0.05$)。

由表 2 可知, 不同处理间的土壤有机碳含量总体表现为: CK > L₁₀ > L₅₀ > L₇₀。

表 2 慈竹林凋落物量减少对土壤有机碳含量的动态影响

g/kg

处理	有机碳含量			
	90 d	180 d	270 d	360 d
L ₁₀	9.68±0.21Ab	7.79±0.18Ac	10.99±0.25Ad	7.65±0.06Ac
L ₅₀	9.73±0.30Ab	7.32±0.18Ac	7.79±0.15Bc	7.59±0.01Ac
L ₇₀	7.95±0.02Bb	7.20±0.16Ab	5.30±0.15Cc	5.18±0.07Bc
CK	10.65±0.15Aa	9.73±0.33Bb	10.64±0.13Aa	9.92±0.08Cb

注: L₁₀, L₅₀ 和 L₇₀ 表示去除 10%, 50% 和 70% 的慈竹林凋落物量。

4 讨论

不同种类的凋落物基质质量会有一定的差别, 主要表现为凋落物碳/氮、木质素/氮和酚类物质等含量的不同, 而这些差异会对凋落物层的土壤生物群落活性产生不同的影响, 进而影响土壤有机碳的固定和释放^[9]。研究表明, 在慈竹林凋落物中加入绵竹或杉木凋落物后都增加了土壤有机碳含量, 这与王清奎等^[10]的研究结果一致。这一方面是由于凋落物混合后对土壤呼吸起到促进作用, 土壤呼吸速率的改变使土壤中 CO₂ 的周转速率升高, 对土壤碳的贡献随之升高; 另一方面是由于杉木或绵竹凋落物的加入改变了土壤有机碳的矿化速率, 产生了“激发效应”, 使得土壤有机碳含量在短时间内升高, 这与 Chapman 等^[11-12]的研究结果是一致的。但美国一些森林和澳大利亚蓝桉人工林中添加凋落物并没有引起土壤总有机碳的变化^[6-8]。这是因为原有凋落物和添加凋落物的组成成分没有发生相互作用, 从而对土壤有机碳含量没有明显的影响, 即未发生“激发效应”。Chapman^[13]研究证明欧洲栎木 (*Alnus glutinosa*) 和无梗花栎 (*Quercus. petraea*) 混交时抑制了土壤有机碳含量的

提高, 这是因为欧洲栎木和无梗花栎凋落物混合分解时产生的化学物质影响了共同的分解速率, 造成难分解物质的积累, 从而降低了土壤有机碳含量。

本研究中随着外源凋落物加入比例的不同, 各处理对慈竹林土壤有机碳含量的影响也不同, 总体上表现为加入较少比例的凋落物能够显著增加土壤有机碳含量 ($p < 0.05$), 可能是由于加入较少量的外源凋落物后土壤有机碳的异质性比例低, 能够促进凋落物的有机碳缓慢释放, 由于释放时间较长, 所以释放的有机碳比异质性比例高的处理更彻底。这一结果与 Briones 等^[14]的研究是类似的, 但与 Asmar 等^[15]的研究结果相反, 他们认为激发效应产生的大小与加入有机物的量成正比关系。

本研究中加入绵竹凋落物后土壤有机碳含量高于加入杉木凋落物的处理, 这可能与绵竹凋落物为薄纸质较之杉木凋落物的革质性状更容易被分解有关^[16]。绵竹凋落物能较快地分解, 故对试验初期土壤有机碳的贡献高于杉木凋落物, 并且随着试验的进行, 凋落物分解过程中累积的难分解物质所占的比例会逐渐增加, 而杉木的难分解物质所占比例高于绵竹凋落物。类似的研究在廖利平等^[17]的试验中也得到体

现。王志明等^[18]的研究也得出激发效应与加入的有机物的组分有关,随着加入有机物的不同,会分别产生正激发效应和负激发效应,也有可能不产生激发效应。

与此同时,凋落物大面积地覆盖于林地表层,不仅能够连接土壤—植被系统的碳循环,有效地防止或减少土壤的碳流失,对土壤理化性质也具有重要的调节作用^[9],而且有利于土壤有机碳的积累^[19]。多项研究表明森林土壤有机碳含量与凋落物量呈正相关关系^[20-21]。与凋落物组成改变类似,凋落物量减少对土壤有机碳含量的影响也与去除的凋落物种类有关^[22]。本研究中,去除凋落物后慈竹林土壤有机碳含量显著下降($p < 0.05$),而且表现出去除凋落物量与土壤有机碳含量减少成正比关系,这与以上学者研究得出的结论一致。

研究结果说明,在营建慈竹混交林时,选择适合的树种和恰当的混交比例以及加强对林下凋落物层的保护,对维持和增加慈竹林土壤碳固定能力具有重要的意义。此外,由于本试验中凋落物的量是一定的,与野外实际状况不完全相同(野外林地随时有新鲜凋落物补充),这与实际情况有一定差距,所以今后的研究应该采用更贴近野外的试验方法,获取更实际的数据,以指导生产实践活动。

[参 考 文 献]

- [1] 王希华,黄建军,闫恩荣. 天童国家森林公园常见植物凋落叶分解的研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 457-467.
- [2] McFee W W, Stone W L. The persistence of decaying wood in humus layers of northern forests[J]. Soil Science Society of America Journal, 1966, 30(6): 513-516.
- [3] Loranger G, Ponge J F, Imvert D, et al. Leaf decomposition in two semi-evergreen tropical forests: influence of litter quality[J]. Biology and Fertility Soils, 2002, 35(4): 247-252.
- [4] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. Tellus, 1992, 44(2): 81-99.
- [5] Usman S, Singh S P, Rawat Y S, et al. Fine root decomposition and nitrogen mineralization patterns in *Quercus leucotrichophora* and *Pinus roxburghii* forest in central Himalaya Forest[J]. Ecology and Management, 2000, 131(1): 191-199.
- [6] Foster D, Aber J. Forests in time: The Environmental Consequences of 1000 Years of Change in New England [M]. New Haven, CT: Yale University Press, 2004: 300-315.
- [7] Crow S E, Lajtha K, Filley T R, et al. Sources of plant-derived carbon and stability of soil organic matter: Implications for global change[J]. Global Change Biology, 2009, 15(8): 2003-2019.
- [8] Yano Y, Lajtha K, Sollins P, et al. Chemistry and dynamics of dissolved organic matter in a temperate coniferous forest on Andic soils: Effects of litter quality[J]. Ecosystems, 2005, 8(3): 286-300.
- [9] 杨万勤. 森林土壤生态学[M]. 成都: 四川科技出版社, 2006.
- [10] 王清奎,汪思龙,于小军,等. 杉木与阔叶树叶凋落物混合分解对土壤活性有机质的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1203-1207.
- [11] Chapman S J. Carbon substrate mineralization and sulphur limitation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1997, 29(2): 115-122.
- [12] Fokn A D, Radzhabova P A. Availability of phosphates in soils as a function of the state and transformation of organic matter[J]. Eurasian Soil Science, 1996, 29(10): 1216-1221.
- [13] Chapman K. Metabolic and faunal activity in litters of three mixtures compared with pure stands[J]. Ecosys. Env., 1988, 24(1): 33-40.
- [14] Briones M J I, Ineson P. Decomposition of *Eucalyptus* leaves in litter mixtures[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28(10/11): 1381-1388.
- [15] Asmar F, Eiland F, Nielsen N E. Effect of extra cellular enzyme activities on solubilization rate of soil organic nitrogen[J]. Biology and Fertility of Soils, 1994, 17(1): 32-38.
- [16] 中国科学院“中国植物志”编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [17] 廖利平, Lindley D K, 杨永辉. 森林叶凋落物混合分解的研究(I): 缩微(Microcosm)实验[J]. 应用生态学报, 1997, 8(5): 459-464.
- [18] 王志明,朱培立,黄东迈. C^{14} 标记秸秆碳素在淹水土壤中的转化与平衡[J]. 江苏农业学报, 1998, 14(2): 112-117.
- [19] 方晰,田大伦,项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、储量和分布[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 14-19.
- [20] Sauer T J, Cambardella C A, Brandle J R. Soil carbon and tree litter dynamics in a red cedar-scotch pine shelterbelt[J]. Agroforestry System, 2007, 71(3): 163-174.
- [21] 黄从德,张健,邓玉林,等. 退耕还林地在植被恢复初期碳储量及分配格局研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 130-133.
- [22] Van Vuuren M I, Berendse F. Changes in soil organic matter and net nitrogen mineralization in heath land soils, after removal, addition or replacement of litter from *Erica tetralix* or *Molinia caerulea*[J]. Biology and Fertility of Soils, 1993, 15(4): 268-274.