

文章编号: 1000-5692(2005)04-0469-06

经营干扰对森林土壤有机碳的影响研究概述

李正才, 傅懋毅, 杨校生

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要: 陆地碳循环与全球气候变化之间的相互关系是当前环境问题研究的核心内容之一。森林是陆地生态系统中最大的有机碳的贮库, 是陆地生态系统中重要的碳汇和碳源, 且和人类的活动息息相关。结合国内外农、林业研究成果, 就施肥、耕作、栽培方式、森林采伐和森林火灾等因素对森林土壤有机碳的影响进行了评述。初步认为: 施用有机肥和矿质肥料, 对土壤有机碳储量有很大的提高作用; 对耕作土壤应该采取保护性措施, 降低耕作强度或采取免耕覆盖、作物残留物管理、降低夏季休闲等措施使农业土壤由碳源转变为碳汇; 由于土地开垦引起土壤有机碳的损失, 因此对不适宜长期持续性耕作的土地和因植被破坏退化严重的土地, 采取改变土地利用方式, 植树种草, 恢复和保护多年生植被。通过人为管理措施, 科学地利用和保护有限的土地资源, 减缓土壤中温室气体排放, 增加土壤有机碳的截存, 提高土壤质量。参 41

关键词: 森林土壤学; 经营干扰; 土壤有机碳; 森林

中图分类号: S714 **文献标识码:** A

自从工业革命以来, 人类大量燃烧化石燃料产生的二氧化碳(CO₂)已引起了全球的温室效应, 加上森林资源, 特别是热带森林的日益减少, 对碳在地球各圈层, 特别是大气圈和土壤圈之间的平衡机制产生了显著影响, 造成大气 CO₂ 浓度的持续增高, 并可能影响全球气候的变化^[1]。在陆地生态系统中, 森林是最大的有机碳的贮库, 占整个陆地生态系统碳库的 56%, 是陆地生态系统中重要的碳汇和碳源。据 Robert^[2] 报道, 世界森林地上部分生物量碳储量约为 359×10¹⁵g, 而森林土壤的含碳量为 787×10¹⁵g, 是森林生态系统地上部分的 2.2 倍。由于森林土壤有机碳贮量的巨大库容, 因此其较小幅度的变化就可能有大量的碳向大气排放, 并通过温室效应影响全球气候变化, 同时也影响到陆地植被的营养供应, 进而对陆地生态系统的分布、组成、结构和功能产生深刻影响。另外森林土壤有机碳的含量及其动态平衡也是反映森林土壤质量的一个重要指标, 直接影响森林生态系统的生产力水平^[3]。由于森林土壤有机碳在陆地生态系统中的重要作用, 因此无论是研究地球各圈层物质循环以维持生态环境, 还是为保护土壤资源以维持经济的可持续发展, 都需要人们对碳在各库之间的储量与流动通量有清晰的认识。本文结合农业、林业研究成果, 就施肥、耕作、栽培方式、森林采伐和森林火灾等因素对森林土壤有机碳影响进行评述, 旨在全球气候变化的背景下, 探求如何科学地利用和保护有限的土壤资源, 减缓土壤中温室气体的排放, 增加土壤有机碳的截存, 提高土壤质量。

收稿日期: 2004-09-10; 修回日期: 2005-05-10

基金项目: 国际热带木材组织(ITTO)合作项目[PD10/00REV.2(I,F)]

作者简介: 李正才, 副研究员, 从事森林生态学研究。E-mail: lizccaf@fj.lz.zj.cn

1 施肥与土壤有机碳库

施肥是农业、林业管理中的一项基本措施, 这些措施对有机碳的影响受到许多研究者的关注, 在施肥对土壤总有机碳、活性有机碳、微生物量碳和土壤易矿物质化碳的含量影响方面已有大量的研究。定位试验表明, 长期施用有机肥能显著提高土壤活性有机碳的含量。有机肥配施无机肥, 可提高作物产量, 使土壤活性有机碳含量上升快; 长期施用化学肥料, 能提高难氧化有机碳含量, 增加土壤有机碳的氧化稳定性。Gijsman^[4] 研究认为, 在对施用鸡积肥后的土壤分析表明, 在所有团聚体中, 1.2%有机碳是易于分解的, 小于0.8%有机碳是被团聚体结构物理保护, 97.0%以上的有机碳是稳定部分。Shen等^[5] 研究施肥对土壤可氧化碳、微生物量碳和可矿物质化碳的影响, 发现施厩肥、厩肥+氮磷钾肥可以增加土壤可氧化碳、微生物碳和可矿物质化碳的含量; 单施氮磷钾肥, 只增加微生物量碳和可矿物质化碳含量, 而减少可氧化碳含量; 长链的脂肪碳占土壤有机碳的主要组成部分(34%~51%); 土壤易氧化碳、生物量碳和易矿物质化碳的含量同碳水化合物含量成显著正相关, 同长链的脂肪碳含量成负相关。Kapkiya等^[6] 研究在施肥条件下, 颗粒有机碳的变化比总有机碳的变化幅度大, 但总的有机碳含量下降; 土壤颗粒有机碳在施肥条件下比在玉米 *Zea mays* 秆残留条件下更易恢复, 因此, 颗粒有机碳是了解土壤肥力变化的关键因子, 可以作为土壤质量变化的指示剂。

目前的研究成果认为, 施用有机肥和矿质肥料, 由于促进了植物的生长和生物量的积累, 因此通过凋落物和根系活动归还到土壤的有机碳数量增加, 有利于土壤有机碳含量的增加; 不施肥会导致土壤有机碳分解转化速率快, 碳素损失大; 而长期施用化学肥料, 特别是氮肥的大量使用, 导致土壤活性碳消耗加快。其他一些研究也表明: 施用无机和有机肥料可使土壤微生物量碳开始大量增加, 但随着时间的推移, 土壤微生物量碳又有所降低。尽管一些定位试验研究说明了使用无机肥、有机肥和绿肥在一定程度上能促进土壤有机碳储量的增加, 然而另外一些试验并不能得到相同的结论。所以应深入研究土壤施肥对土壤有机碳蓄积量的影响, 开展多种生态系统的长期定位试验, 分析大量施用化肥产生的土壤板结和环境污染等问题, 并考虑如何将有机肥和绿肥综合施用, 促进土壤有机碳的积累。

2 耕作与土壤有机碳库

土地耕作也是农田管理中的一项基本措施。对耕作影响土壤有机碳也有许多研究报道。耕作不仅影响土壤有机碳的含量, 而且对土壤有机碳的组分也有一定程度的影响。用 CENTURY 模型模拟的巴西亚热带森林变为甘蔗 *Saccharum officinarum* 地, 在最初的 12 a 中, 土壤有机碳储量下降了 28%, 耕作 50 a 后土壤有机碳下降 42%^[7]。草地开垦同样会导致土壤有机碳的大量释放, 会损失掉原来土壤中碳素总量的 30%~50%^[8]。Bouwman^[9] 指出, 开垦几乎在所有的情况下都会造成自然生态系统土壤有机碳含量的降低, 温带地区草地改为农田后土壤有机碳损失 20%~40%, 加拿大黑钙土开垦后土壤有机碳减少了 50%以上。Studdert等^[10] 认为, 草地耕作后 6~7 a 有机碳含量下降, 而停止耕作后 3~4 a 有机碳恢复到原来的水平; 轻组有机碳含量下降, 停止耕作, 几年后, 恢复到原来水平。Matejechera等^[11] 经过研究认为耕作下, 土壤微团聚体的含量比休耕下高, 土壤微团聚体在耕作下最不稳定, 稳定性下降跟有机碳含量下降有关。Etana等^[12] 认为浅耕有利于增加表土层有机碳含量, 但使深层有机碳含量下降。总的有机碳和碳氮比没有变化, 表明减少耕作深度对全球碳循环没有影响。Bowman^[13] 研究连续集约经营条件下土壤有机碳的变化, 连续种农作物比夏季休闲 0~5 cm 土壤有机碳 4 a 后增加 20%, 颗粒有机碳加倍, 可溶性有机碳增加 1/3; 夏季休闲对土壤有机碳的增加不利, 连续种农作物有利于有机碳的增加。

土地开垦引起土壤有机碳的损失主要体现在以下几个方面: 耕作的物理效应, 即耕作破坏了土壤的团聚体结构, 使土壤中的有机物质充分暴露在空气中, 失去保护作用而分解; 耕作使土壤孔隙性、温度和水分条件得到改善, 微生物呼吸作用增强, 促进了有机质的矿化, 因此植物残体混合在土壤中也比表层更易于分解; 林木和多年生牧草被作物取代后使初级生产固定的碳素向土壤中的分配比例降低(生物量的地下与地上比例降低), 收割又减少了地上部分生物量碳素向土壤的输入量; 耕作使得土壤

结构疏松, 更易受到风蚀和水蚀。许多研究结果表明, 荒漠化土地产生和扩张的重要原因是过度开垦^[14~16]。

3 栽培方式与土壤有机碳库

轮作是保持和提高农业生态系统持续性的重要管理措施。粮草轮作以及在轮作中增加有较高生物量产出和较高秸秆碳氮比的作物的种植, 结合秸秆还田可以有效地降低传统种植制度对土壤有机碳的衰减效应; 栽培作物的顺序也可以影响作物根系和作物残体的数量和质量, 依次影响矿化—固定以及对土壤有机碳的贡献^[17]。Bowman 等^[18]在美国科罗拉多州的试验, 不同轮作方式连续种植并采取保护性耕作比传统的冬小麦 *Triticum aestivum*-夏季休闲耕作制, 0~5 cm 土层土壤有机碳在 5 a 中增加 20%, 颗粒有机碳增加 1 倍; Knops 和 Tilman^[19]对美国明尼苏达州沙地平原弃耕农田的研究, 耕作后撩荒 45 a 的时间, 土壤氮损失了 75%, 碳损失了 89%, 而要恢复到先前农作时的 95% 的水平, 氮需要 180 a, 碳需要 230 a。

土壤压实和残留物影响有机碳也有报道。如 Kranabetter 等^[20]研究土壤压实对分解的影响, 发现土壤压实对森林的林褥分解没有一致影响效果。Kuo 等^[21]研究冬天覆盖作物对土壤有机碳和碳水化合物化合物的影响, 发现冬天覆盖能增加土壤有机碳的含量, 由于覆盖作物总的有机碳与碳水化合物化合物的差异, 引起冬天覆盖对土壤有机碳与碳水化合物化合物的差异。高效栽培雷竹 *Phyllostachys praecox* 林, 由于冬季覆盖物和有机肥的施用, 虽经过长期耕作, 但土壤有机碳总量仍保持较高水平^[22]。Dong^[23]研究叶子和腐殖质层对土壤中的 CO₂ 和甲烷(CH₄)的影响, 发现叶子与腐殖质对土壤和大气交换温室气体具有重要的影响。所有这些研究表明, 增加土地覆盖和作物残茬还田, 可以降低土壤侵蚀, 增加土壤有机碳的输入, 改善有机质和养分循环, 维持系统的平衡状况, 最终为植物创造更有利的生长环境。

4 森林采伐、收获与土壤有机碳库

森林采伐和收获是森林利用中的基本活动, 这种活动对有机碳的影响早有报道。Johnson 和 Curtis^[24~26]总结了 73 个研究森林收获的研究结果, 认为一般情况下, 森林收获对森林土壤有机碳的影响不大, 大部分的研究结果是对土壤有机碳没有影响。一部分研究结果认为是减少的趋势, 但是却发现不同的收获方法对土壤有机碳有不同的影响。通常只收获地上部分, 由于大量残留物留在林地, 经分解和淋溶作用而导致土壤有机碳含量增加, 而全树利用采伐, 由于归还土壤的森林采伐剩余物要明显小于前者, 因此导致了土壤有机碳的轻微下降。收获类型和收获后的时间对土壤 B 层有机碳没有影响。

Laio 等^[27]研究了粗放经营的针硬阔林采伐后营造集约经营针叶林对土壤有机碳的影响, 全树收获的情况下, 土壤有机碳稍有下降; 如果森林收获前, 每年对林下植被喷洒除草剂, 森林采伐更新后, 土壤有机碳连续下降; 对林下植被喷洒除草剂显著降低硬阔叶林的土壤有机碳储量, 下降的幅度几乎是人工针叶林的 2 倍; 有机碳的积累在 3 种采伐方式下(仅收获树干、全树收获和全树收获+地表植被)基本相似; 造林后, 林下植被在不喷洒除草剂的情况下, 有机碳的积累最高。Fine^[28]研究了芬兰云杉 *Picea glauca* 混交林皆伐后土壤有机碳的变化情况, 即使皆伐地表面仍然残留有活体植被覆盖, 皆伐显著地影响土壤碳库及其流动。

不少研究表明, 森林采伐后不同的土地利用方式对土壤有机碳具有重要的影响。当森林生态系统收获变为农业生态系统后, 其土壤有机质和营养物质迅速流失, 这方面已做了大量研究。Mann^[29]根据统计得出, 森林砍伐后的农业垦殖使得在头 20 a 内土壤有机碳平均减少 20%。Detwiler^[30]指出, 如果森林转化为农地则有大量的土壤有机碳损失, 如果森林转化为牧场, 那么 5 a 内土壤碳含量将减少 20%, 如果种农作物可在 5 a 内使土壤有机碳减少 40%。砍伐森林或改变林地利用现状都会造成 20~30 a 内多至 20%~50% 的有机碳损失, 大部分损失来自于地表有机质的侵蚀。Cunning^[31]对加纳一片热带雨林的观察表明, 采伐后的林地由于遮荫程度和温度条件不同, 影响到生物的分解速率, 从而影响土壤有机碳的含量; 他发现热带雨林收获后在 0~5 cm 土壤中完全暴露、半暴露和完全遮荫情况

下, 有机质分别下降了 57%, 49% 和 25%, 在 5~15 cm 也表现同样的趋势。

骆士寿等^[33]研究了海南岛霸王岭热带山地雨林不同择伐强度经营试验初期土壤碳、氮含量及其储量, 认为采伐会减少土壤储蓄的有机碳, 尤其是强度采伐迹地裸露大, 雨水严重冲刷, 土温高, 加速土壤有机碳、氮的释放和流失。但适当强度采伐的林分, 其结构及功能的变化可在稳定平衡的生态系统阈值内, 既能保持系统的平衡, 又能调节林内环境因子, 有利于系统内的元素转化利用; 择伐后初期林地土壤有机碳含量都有所降低, 择伐强度 50% 的降低 5.3%, 择伐强度 30% 的降低 4.5%。总之, 森林采伐对土壤有机碳的影响主要取决于森林采伐后土地利用方式的变化, 如转变成农田, 则土壤有机碳损失较大, 而再造林则对土壤有机碳的影响不明显。

5 火烧与土壤有机碳库

森林火灾作为一种外部干扰因子, 改变植物及其群落的发育和生长, 控制和调节植物间的相互作用, 影响森林演替、森林生物量和生产力以及生物地球化学循环。到了 20 世纪 70 年代后期, 人们普遍开始关注温室效应, 在估算非工业源温室气体的排放量时, 注意到了木材的燃烧对全球碳循环的影响。Cruzten 等^[33], Seiler 等^[34] 和 Olson^[35] 提出了森林火灾是非常复杂的, 因生态系统类型、可燃物类型和性质、气象条件以及火灾规模而变化, 并且森林火灾不但释放 CO₂, 而且释放更多的其他温室气体 (如 CH₄, N₂O 等) 和具有化学活性的其他一些痕量气体以及颗粒物。

Wells^[36] 研究认为, 森林大火主要使森林土壤有机碳在土壤剖面分布发生变化, 总的土壤有机碳含量没有减少。Kraemer 和 Hemann^[37] 经过观测表明, 在燃烧过的林地上土壤有机质 25 a 后没有较大的变化。从较长的时间来看, 燃烧只是改变了土壤有机质的分布, 而总量没有明显的改变。McKee^[38] 研究了低强度的有控燃烧, 认为燃烧只是使地表 A₀ 层变薄了, 在 10 a 中土壤上层 (5~10 cm) 中的碳反而增加了, 部分原因是燃烧后的碳和未燃烧尽的有机质被淋溶到土壤中去。一些研究表明, 如果燃烧非常彻底, 土壤有机碳明显减少。Sands^[39] 观察了澳大利亚辐射松 *Pinus radiata* 林地, 在大火 24 a 后, 发现强度燃烧导致有机碳下降 40%~50%, Dymess 等^[40] 发现燃烧后, 土壤有机质减少了 5%~80%。Johnson 等^[41] 总结了 48 个火烧后有机碳的变化, 认为总体上, 在 10 a 后土壤有机碳增加, 在短期内没有影响, 在 0~5 a 和 6~10 a, 野生火导致有机碳增加, 而控制火却使土壤有机碳含量下降。

森林火灾的发生, 能够在短期内烧毁大面积森林, 破坏原有森林生态系统的结构和功能, 从而改变了森林生态系统与大气间的气体交换通量。主要表现在如下几个方面: 未燃烧的林木有机物的分解, 土壤呼吸的增加, 林木生产力的下降和林木再生。森林火灾增加和减少对全球碳氮循环的影响, 人类活动既可能增加一些地区的森林火灾发生几率, 同时人类有目的防火措施又有可能减少一些地区的森林火灾发生或控制火灾的蔓延 (如控制火烧可以减少地被物厚度, 消除病虫害, 利于森林更新等等)。火灾可以影响到森林生态系统的结构和功能, 改变森林生态系统的碳循环状况, 这就会影响森林与大气间的碳氮交换状况, 对全球气候产生影响。

6 结论和讨论

长期定位试验研究具有研究时间的长期性和定位性, 能长期系统地研究土壤有机碳的演变规律及与土壤肥力因子间的相互作用, 是全面了解影响土壤有机碳和持续生产力的各种因子及其相互作用的重要场所。施用有机肥和矿质氮肥, 不但对土壤有机碳的含量产生影响, 而且对土壤有机碳的组分产生影响, 进而影响到土壤有机碳的稳定性; 由于土地开垦会引起土壤有机碳的损失, 因此对耕作土壤应采取保护性措施, 降低耕作强度或采取免耕覆盖、作物残留物管理等; 降低夏季休闲, 增加肥料施用量和覆盖管理等措施使农业土壤由 CO₂ 的源转变为汇; 森林采伐对土壤有机碳的影响主要取决于采伐后土地利用方式的变化, 如果森林转变成农田, 那么土壤有机碳损失较大, 而如果再造林则对土壤有机碳的影响不明显, 因此对不适宜长期持续性耕作的边缘土地和因植被破坏退化严重的土地, 采取转变土地利用方式, 植树种草, 恢复和保护多年生植被; 火烧则使生态系统多年积累的有机碳化为灰烬, 同时对土壤特别是表层土壤有机碳具有一定的破坏作用, 影响的程度主要决定于火烧的频率和强

度, 而且森林火灾释放的痕量气体中(含氮、含硫和含卤素气体)对全球气候变化的影响也非常大, 需要进一步深入研究。

目前对全球植被、大气和海洋碳库和碳通量的估计已经相对比较准确, 而对全球土壤碳库和碳通量的估计还存在着很大的不确定性, 主要是由于对于生态系统的某些部分的了解还不充分, 特别是对某些土壤过程(如土壤有机碳稳定性)以及土地利用方式转化对土壤有机碳的影响机制尚不清楚, 所以模拟和预测结果有很大差距。人类经营活动和土地利用转化对土壤碳输入和输出都会产生很大的影响, 但是其数量还很难确定, 所以深入研究土壤碳以及人类活动对土壤碳的影响, 降低其不确定性, 有着十分重要的意义。

参考文献:

- [1] Mohan K W, Fatih E, Tristram O, *et al.* Assessing terrestrial ecosystem sustainability: usefulness of regional carbon and nitrogen models [J]. *Nat Resour*, 1999, **35** (4): 21—33.
- [2] Robert K D. *Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems* [R]. Tsukuba: Proceedings of the Tsukuba global carbon cycle workshop, global environment, 1995.
- [3] Doran J W, Jones A J, Arshad M A, *et al.* *Determinants of Soil Quality and Health*, *Soil Quality and Soil Erosion* [M]. Boca Raton: CRC Press, 1999. 17—36.
- [4] Gijman A J. Soil organic matter pools in a volcanic ash soil under fallow or cultivation with applied chicken manure [J]. *Eur Soil Sci*, 1998, **49**: 427—436.
- [5] Shen H, Xu Z H, Yan X L. Effect of fertilization on oxidizable carbon, microbial biomass carbon, and mineralizable carbon under different agroecosystems [J]. *Commun*, 2001, **32** (9—10): 1 575—1 588.
- [6] Kapakiyai J J, Karanja N K, Javadi N, *et al.* Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nitisol under long-term fertilizer and organic input management [J]. *Soil Bio Biochem*, 1999, **31** (13): 1 773—1 782.
- [7] Silveira A M, Victoria R L, Ballester M V, *et al.* Simulation of the effects of land use changes in soil carbon dynamics in the Piracicaba river basin, Sao Paulo State, Brazil [J]. *Brasileira*, 2000, **35** (2): 389—399.
- [8] Davidson E A, Ackermann I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils [J]. *Biogeochemistry*, 1993, **20**: 161—193.
- [9] Bouwman A F, Leemans F. The role of forest soils in the global carbon cycle [J]. *Soil Sci Am J*, 1995, **59**: 503—526.
- [10] Studdert, Guillermo A, Echeverria. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typical Argiudoll [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1997, **61** (5): 1 466—1 472.
- [11] Materechera S A, Mkhabela T S. Influence of land-use on properties of a ferralitic soil under low external input farming in southeastern Swaziland [J]. *Soil Till Res*, 2001, **62** (1—2): 15—25.
- [12] Eiana A, Hakansson I, Zagal E. Effects of tillage depth on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils [J]. *Soil Till Res*, 1999, **52** (3—4): 129—139.
- [13] Bowman R A. Effects of sunflower on soil quality indicators and subsequent wheat yield [J]. *Soil Sa*, 2000, **165** (6): 516—522.
- [14] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会. 我国北方农牧交错带沙漠化的成因、过程及防治对策 [J]. 中国沙漠, 2000, **20** (增刊): 22—28.
- [15] 王涛, 赵哈林, 肖洪浪. 中国沙漠化研究的进展 [J]. 中国沙漠, 1999, **19** (4): 300—311.
- [16] 邹受益, 张景龙, 冯政夫, 等. 科尔沁沙地荒漠化土地初析 [J]. 中国沙漠, 2001, **21** (1): 76—78.
- [17] Studdert G A, Echeverria H E. Crop rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics [J]. *Soil Sci Soc*, 2000, **64**: 1 495—1 503.
- [18] Bowman R A, Vigil M F, Nielsen D C, *et al.* Soil organic matter changes in intensively cropped dry land systems [J]. *Soil Sa Soc*, 1999, **63**: 186—191.
- [19] Knops J M H, Tilman D. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment [J]. *Ecology*, 2000, **81** (1): 88—89.
- [20] Kranabetter J M. Effects of forest soil compaction and organic matter removal on leaf litter decomposition in central British Columbia [J]. *Can J Soil Sci*, 1999, **79**: 543—550.
- [21] Kuo S, Sainju U M, Jellum E J. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1997, **61**: 145—152.
- [22] 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.
- [23] Dong Y. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from a temperate forest soil: the effects of leaves and humus layers [J]. *Tellus*, 1998, **50b**: 243—252.
- [24] Johnson D W, Henderson P. Effects of forest management and elevated carbon dioxide on soil carbon storage [A]. *Lal R. Soil Management and*

- Green House Effect* [C]. Boca Raton: CRC Press, 1995. 137—145.
- [25] Johnson D W. Effects of forest management on soil carbon storage [J]. *Water Air Soil Pollut*, 1992, **64**: 83—120.
- [26] Johnson C E, Johnson A H, Huntington T G. Whole-tree clear-cutting effects on soil horizons and organic matter pools [J]. *Am Soc Soil Sci*, 1991, **55**: 497—502.
- [27] Laiho R, Sanchez F, Tiarks A. Impacts of intensive forestry on early rotation trends in site carbon pools in the southeastern US [J]. *For Eco Manage*, 2002, **5881**: 1—13.
- [28] Finér L, Mannerkoski H, Piirainen S, *et al.* Carbon and nitrogen pools in an old-growth Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting [J]. *For Eco Manage*, 2002, **5880**: 1—14.
- [29] Mann L K. Changes in soil carbon storage after cultivation [J]. *Soil Sci*, 1986, **142**: 279—288.
- [30] Detwiler P R. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils [J]. *Biogeochemistry*, 1986, **2**: 67—93.
- [31] Cuning W. The effects of clearing on a tropical forest soil [J]. *Soil Sci*, 1963, **14**: 344—345.
- [32] 骆士寿, 陈步峰, 陈永富, 等. 海南岛霸王岭热带山地雨林采伐经营初期土壤碳氮储量 [J]. *林业科学研究*, 2000, **13** (2): 123—128.
- [33] Crutzen P J, Heidt L E, Pkrasnc J, *et al.* Biomass burning as a source of the atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl and CO₂ [J]. *Nature*, 1979, **282**: 253—256.
- [34] Seiler W, Crutzen P J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning [J]. *Clim Change*, 1980, **2**: 207—208.
- [35] Olson J S. Carbon balance in relation to fire regimes [A]. Moohey H A. *Fire Regimes and Ecosystem Properties* [C]. Washington: USDA Forest Service, 1981. 327—378.
- [36] Wells C G. *Effects of Prescribed Burning on Soil Chemical Properties Nutrient Availability* [R]. Asheville: USDA Forest Service Southeast Forest Experiments Station, 1971. 86—99.
- [37] Kraemer J F, Hemann R K. Broadcast burning: 25-year effects on forest soil in the western flanks of the Cascade mountains [J]. *For Sci*, 1979, **25**: 427—439.
- [38] McKee W H. *Changes in Soil Fertility Following Prescribed Burning on Coastal Plain Pine Sites*. Southeastern Forest Experiment Station [R]. Washington: USDA Forest Service, 1982.
- [39] Sands R. *Physical Changes of Sandy Soils Planted to Radiate Pine* [R]. Oregon: IUFRO Symposium on Forest Site and Continuous Productivity, 1983. 146—152.
- [40] Dymess C T. Effect of wildfire on soil chemistry in four forest types in interior Alaska [J]. *For Res Can*, 1989, **19**: 1389—1396.
- [41] Johnson D W, Curtis P S. Effect of forest management on soil C and N storage [J]. *For Eco Manage*, 2001, **140**: 227—238.

Review on effects of management disturbance on forest soil organic carbon

LI Zheng-cai, FU Mao-yi, YANG Xiao-sheng

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

Abstract: The relationship between carbon cycle in terrestrial ecosystem and globe change is the key of environment issues. Forest is the largest reservoir of organic carbon in the terrestrial ecosystem, an important carbon sink and source which has close relation with people's activity. Forest soil is the largest reservoir of the forest organic carbon. The advances of domestic and overseas study of the effects of forest management on the soil organic carbon was reviewed. Fertilization of organic and mineral matter would improve the SOC content, and decreasing of cultivation intension, or no-tillage and cover of crop leftover, reduction of summer fallow, would be beneficial for SOC enhancement. It would be suggest that if the soil was not suitable for long cultivation or soil degeneration, the best way was to be the change of the land-use of the soil, re-afforestation and resume and protection of the vegetation. Its aims are to utilize and preserve limited land resource scientifically, to alleviate carbon containing gases emission from soil, to enhance soil carbon sequestration and to improve soil quality. [Ch, 41 ref.]

Key words: forest soil science; management disturbance; soil organic carbon (SOC); forest