

文章编号: 1001-1498(2006)06-0773-05

农田营造早竹林后土壤有机碳的变化^{*}

李正才¹, 傅懋毅¹, 徐德应², 孙雪忠³, 奚金荣³

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 3. 浙江省富阳市林业局, 浙江 富阳 311400)

摘要:对农田营造早竹林后不同年限土壤有机碳变化规律的研究结果表明:(1)竹林 3 年生时,各层次土壤有机碳含量都呈现下降的趋势,其中表土层(0~30 cm)下降幅度最大;竹林满园后,由于采取了集约经营措施,竹林土壤有机碳含量迅速回升,至 9 年生时,各层次土壤有机碳含量都超过了农田相应层次水平,但是 12 年生时竹林各层次土壤有机碳含量又呈现下降趋势。(2)土壤有机碳密度变化和土壤有机碳含量相似,竹林 3 年生时各层土壤有机碳密度均呈现下降趋势;6 年生时,除了 0~30 cm 土层继续下降外,其余各层次有机碳密度都增加;至 9 年生时,有机碳密度都超过相应农田各层土壤有机碳的密度;12 年生时,各层土壤有机碳密度都呈现下降趋势。(3)3 年生竹林土壤有机碳储量下降了近 22%;以后土壤有机碳储量均逐渐增加,9 年生竹林,土壤有机碳储量要超过农田土壤有机碳的储量;12 年生时竹林有机碳储量下降,但是依然高于农田土壤有机碳的储量。

关键词:农田营造早竹林;土壤有机碳含量;土壤有机碳密度;土壤有机碳储量

中图分类号: S714

文献标识码: A

Changes in Soil Organic Carbon after Bamboo Afforestation in Cropland

LI Zheng-cai¹, FU Mao-yi¹, XU De-ying², SUN Xue-zhong³, XI Jin-rong³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China; 3. Forestry Bureau of Fuyang City, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: This paper deals with the changing regularity of soil organic carbon (SOC) after afforestation in cropland, which showed: (1) in three years after afforestation, the contents of SOC were decreased in different soil profiles and the top soil profile (0~30 cm) was decreased more than that of the others; Three years later, due to the intensive management, the contents of SOC were increased quickly and up to nine years, the contents of SOC being larger than those of cropland; but twelve years later, the contents of SOC were decreased again because of the less intensive management (2) The density of SOC showed almost the same tendency as the content of SOC; In three years, the density of SOC were decreased, later, the density of SOC was increased and in nine years, the density of SOC became larger than that of cropland; after nine years, the density of SOC were decreased again, but still more than those of cropland; (3) Three years after afforestation, the storage of SOC was decreased by 22%. After three years, the storage of SOC was increased gradually and in nine years, the storage of SOC became larger than that of cropland; In 12 years old stand, the storage of SOC was decreased, but larger than that of cropland. The content, density and storage of SOC all showed the tendency of decline, rising gradually, excessing and then decreasing

收稿日期: 2005-10-12

基金项目: 国际合作项目“与气候变化有关的目标研究”(CPR/00/G33/A/1G/99)部分研究内容

作者简介: 李正才(1965—),男,江苏扬州人,副研究员,主要从事森林生态研究。

* 外业调查得到浙江省富阳市林业局的大力支持,内业分析得到本所国家林业局亚热带林木培育重点实验室的协助,在此一并致谢。

Key words: bamboo afforestation in cropland; the content of soil organic carbon; the density of soil organic carbon; the storage of soil organic carbon

气候变化是当今世界关注的热点问题和面临的巨大挑战之一,世界各国正在积极致力于减缓全球温室气体排放的增长速度。土地利用变化是影响陆地生态系统碳循环的主要因素之一,也是仅次于石化燃料燃烧而使大气 CO_2 浓度急剧增加的主要人为活动。据统计,至 1998 年已有约 $750 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的森林被用作农田,占土地利用变化的 45%^[1],且已有 $(136 \pm 55) \times 10^9$ t 碳通过土地利用变化从陆地生态系统(包括土壤和植被)排放到大气中,占目前大气中已增加的 CO_2 数量的 33%^[2]。在陆地生态系统中,森林是最大的有机碳贮库,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。据报道^[3],世界森林地上部分生物量碳储量约为 $359 \times 10^{15} \text{ g}$,而森林土壤的含碳量为 $787 \times 10^{15} \text{ g}$,约是森林生态系统地上部分的 2.2 倍。

国内外,土地利用变化对土壤有机碳影响的研究已经广泛展开,包括天然林变成草地、人工林、农田,草地变成次生林、人工林和农田,农田变成人工林、次生林、草地等对土壤碳的影响^[4-16]。农田中造林是研究土地利用变化对土壤碳影响的重要研究内容,研究也相对较多,但是,目前国内外关于亚热带地区农田造林对土壤有机碳的影响研究尚不多见,特别是对农田种竹以后土壤有机碳变化的研究尚未见报道。本文通过对农田营造早竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et Z. H. Yu)林以后土壤有机碳变化的研究,探讨土地利用变化中竹林对 CO_2 截留的响应,为缓解土地利用变化对大气 CO_2 浓度的影响提供基础研究数据。

1 试验地概况

1.1 试验地区概况

试验区位于浙江省富阳市春建乡,地理位置 $119^\circ 25' \sim 120^\circ 09' \text{ E}$, $29^\circ 44' \sim 30^\circ 12' \text{ N}$,属亚热带季风气候,雨量充沛,气候温和,年均气温 16.2°C ,年均降水量 1464 mm ,无霜期 237 d 。

该地区历史上为森林地带,顶极群落是北亚热带常绿阔叶林,由于过去对木材、薪炭需求量的增加以及农业活动的发展,本地区天然原始林大多已遭到破坏,森林被砍伐转化为次生林、农业用地和人工林等,现存主要是次生林(以壳斗科(Fagaceae)、樟

科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)和木兰科(Magnoliaceae)植物为主)和人工林,人工主要栽培杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、竹林和茶叶(*Camellia sinensis* O. Ktze.)等^[13]。

1.2 样地选择和样地经营概况

试验地历史上以栽培双季水稻为主,20世纪90年代以后,由于水稻产量大幅度提高,部分农田改种单季水稻,同时由于农业产业结构调整,相当一部分农田改造成为早竹林。农田种早竹之前,稻田全垦(深度为30 cm左右),并开沟以利排水,冬季挖穴造林,采用移母竹造林的方法,造林密度为 $1050 \sim 1200 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。竹林满园之前,除草、松土,但不覆盖和施肥,不挖笋和砍竹;竹林4年生至9年生时,采取集约经营措施(竹林覆盖、施肥和灌溉),强度挖笋,并每年采伐3年生以上的老竹;9年生以后,由于之前竹林强度经营,竹林衰败严重,竹笋产量下降,因此,竹林投入(施肥、覆盖和灌溉)相对减少,但每年依然挖笋和砍除老竹。

本研究采用相邻样地比较方法,即选择农田栽培历史相似,满足农田造林之前土壤本底条件基本相同,经营水平大体一致的4种不同经营年限的竹林,试验样地基本情况参见表1。

表 1 试验样地基本情况

土地利用类型	平均树高/m	平均胸径/cm	立木密度 / (株 · hm ⁻²)	郁闭度	管理方式
农田	-	-	-	-	单季水稻,秸秆未还田
3年生早竹林	3~5	4~5	14 553	0.8	垦复、施肥、覆盖和灌溉
6年生早竹林	3~5	4~5	14 285	0.9	垦复、施肥、覆盖和灌溉
9年生早竹林	3~5	4~5	15 000	0.9	垦复、施肥、覆盖和灌溉
12年生早竹林	3~5	4~5	14 107	0.9	挖笋,砍除老竹

2 研究方法

在选择的不同年龄的竹林内设立调查样方(样方面积 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$),对样方内的早竹进行每木检测,调查样方内立竹的株数、胸径、竹竿高度(重复6次)。

在每一调查样地内,先挖取典型土壤剖面,观察剖面特征,用 50 cm³环刀测定土壤密度;采用 S形的布设方法,在各个样地内布设 5 个点,除去枯枝落叶层后,用 5 cm 内径的土钻分 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm 采集土壤样品;将各个样地的土样按照层次进行分层混合,然后用四分法取出足够样品,自然风干后过 2 mm 孔径的土壤筛,以 K₂C₂O₇ (稀释热法)测定有机碳含量^[17];有机碳密度根据土壤密度计算得到,再根据土壤有机碳密度和土壤深度计算土壤有机碳储量。

土壤有机碳储量 = $\sum_{i=1}^n (C_i d_i D_i)$, i 表示土壤层次, C_i 表示土壤有机碳含量, d_i 表示土壤密度, D_i 表示土壤深度。

方差分析采用 SPSS10.0 统计软件包中的相应程序进行分析,多重比较采用 LSD 方法。

3 结果与分析

3.1 农田营造早竹林后土壤有机碳含量的变化

由于砍除了早竹林 3 年生以上不再发笋的老竹,林地立竹数量保持相对稳定,因此早竹林活体生物量碳储量基本一致,本文主要从土壤方面分析农田营造早竹林后土壤有机碳的变化。

由表 2 可以看出:(1)农田营造早竹林后,一方面新造林地由于土壤通气条件的改善,土壤微生物的活性增强,土壤呼吸作用增强,另外一方面,新造竹林处于林分形成阶段(每公顷立竹株数从造林时

期的 900 株,到 3 年生时,立竹株数达到 14 550 株左右),消耗了大量的土壤养分和有机质,因此土壤有机碳含量下降很快,尤其以表土层(0~40 cm,是早竹林根系分布的主要区域)下降幅度最大,达到 27%~34%,其它 2 个层次也有下降,但是下降幅度低于表土层。(2)竹林满园以后,由于采取了集约经营措施,施用大量的覆盖物、有机肥料和化肥,一方面满足丰产竹林生物产量和经济产量对养分的需求,另一方面,土壤性质也得到了改良,6 年生竹林土壤有机碳含量得到了一定程度的提高,其中 0~10 cm 土层提高了 4.14%。(3)土壤有机碳含量继续上升,9 年生竹林除了 30~40 cm 土层尚未恢复到相应层次农田水平外,其它各层次的土壤有机碳含量都超过了农田的水平,40~60 cm 土层土壤有机碳含量提高幅度又大于 0~30 cm 土层,这主要是表层土壤由于竹林经营的影响,疏松透气,同时也是竹林根系分布的主要区域,对土壤有机碳的消耗比下层土壤强,因此上层土壤有机碳上升的幅度比下层小。(4)由于竹林强度经营,竹林衰败较严重,竹笋产量下降,9~10 年以后,竹林几乎只是索取竹笋产量,而没有更大的投入(肥料),因此,土壤有机碳含量又开始下降,0~30 cm 土层是竹林养分的主要提供层次,故下降的幅度大于下层土壤;30~60 cm 土层由于受竹林生长的影响不大,所以土壤有机碳含量依然比农田相同层次的土壤有机碳含量高。

表 2 农田营造早竹林后不同经营年限土壤有机碳含量的差异

土层深度/cm	项目	农田	3年生早竹林	6年生早竹林	9年生早竹林	12年生早竹林	统计检验
0~10	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	20.07ahi	14.00bd	14.83cdg	22.16eh	17.71fgi	$F=9.695$
	比例/%	100.00	69.75	73.89	110.44	88.23	$P=0.000$
10~20	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	15.26ai	10.16beg	10.47ceh	17.26fi	12.13dgh	$F=8.871$
	比例/%	100.00	66.58	68.64	113.14	79.50	$P=0.000$
20~30	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	11.54aij	8.48beg	8.63ceh	13.09fi	9.82ghj	$F=9.766$
	比例/%	100.00	73.53	74.77	113.45	85.16	$P=0.000$
30~40	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	9.97a	7.49bd	7.58cd	9.44ad	8.98ad	$F=2.592$
	比例/%	100.00	75.09	75.98	94.60	89.98	$P=0.061$
40~50	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	8.00ab	6.53a	6.96ac	9.24b	8.81cb	$F=2.806$
	比例/%	100.00	81.58	86.91	115.48	110.11	$P=0.047$
50~60	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	6.68ab	5.72a	5.88a	9.16b	8.85b	$F=2.698$
	比例/%	100.00	85.66	88.01	137.07	132.53	$P=0.054$

注:a~j表示同一土层,t检验0.05水平差异,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著,下同。

3.2 农田营造早竹林后土壤有机碳密度的变化

土壤有机碳密度和土壤有机碳含量有相似的变

化趋势:(1)农田种竹后至满园(3年生竹林)时,土壤有机碳密度均呈现下降趋势,从总体趋势来看,40

~60 cm 土层下降的幅度小于 0~40 cm 土层下降的幅度。(2)至竹林 6 年生时,由于竹林集约经营的影响,虽然土壤有机碳含量呈现增加的趋势,但是 0~10 cm 土层土壤密度反而下降,因此土壤有机碳密度反而下降,但是其它层次的土壤有机碳密度都呈现增加的趋势,且增加的幅度 40~60 cm 土层比 10~40 cm 土层大。(3)9 年生竹林,各层土壤有机碳密度都超过相应农田土层土壤有机碳的密度,且 10

~20 cm 土层总体增加的幅度大于 20~60 cm 土层增加的幅度。(4)竹林 12 年生时,由于竹林集约经营水平下降,各层土壤有机碳密度都呈现下降的趋势,0~30 cm 土层下降幅度要比 30~60 cm 土层下降的幅度大,除了 20~40 cm 土层土壤有机碳密度低于农田外,其它各层次的土壤有机碳密度均比农田高(表 3)。

表 3 农田营造早竹林后不同经营年限土壤有机碳密度的差异

土层深度/cm	项目	农田	3年生早竹林	6年生早竹林	9年生早竹林	12年生早竹林	统计检验
0~10	有机碳密度/(kg·m ⁻³)	18.60a	14.84b	13.61cb	25.24d	19.77a	F=14.652
	比例/%	100.00	79.77	73.17	135.73	106.28	P=0.000
10~20	有机碳密度/(kg·m ⁻³)	13.74a	11.37a	11.69a	20.65b	14.47a	F=10.277
	比例/%	100.00	82.78	85.11	150.27	105.35	P=0.000
20~30	有机碳密度/(kg·m ⁻³)	15.00a	10.49b	10.87cb	16.45a	12.15db	F=11.068
	比例/%	100.00	69.93	72.43	109.64	80.97	P=0.000
30~40	有机碳密度/(kg·m ⁻³)	13.50a	9.89b	10.09cb	13.57a	12.55ab	F=3.674
	比例/%	100.00	73.25	74.73	100.54	93.01	P=0.017
40~50	有机碳密度/(kg·m ⁻³)	11.97abd	9.67a	10.23da	13.83b	13.01cdb	F=2.975
	比例/%	100.00	80.75	85.48	115.51	108.66	P=0.039
50~60	有机碳密度/(kg·m ⁻³)	10.15abcd	8.67a	9.03da	13.88b	13.38cdb	F=2.614
	比例/%	100	85.49	89.05	136.78	131.90	P=0.059

注: a~d 表示同一土层 t 检验 0.05 水平差异。

3.3 农田营造早竹林后土壤有机碳储量的变化

综合考虑土壤有机碳含量、土壤密度和土壤有机碳密度的变化,由表 4 可知:(1)由于土壤有机碳含量、土壤密度的变化,农田种竹后,3 年生竹林,土壤有机碳储量下降了近 22%。(2)由于上述竹林集约经营的影响,土壤有机碳含量至竹林 6 年生时总体呈现上升趋势,但是土壤有机碳储量的增加幅度

并不是很大,只有 0.7% 左右。(3)9 年生竹林的土壤有机碳储量要超过农田土壤有机碳的储量,表现为土壤有机碳的积累。(4)同样也由于上述分析的原因,竹林 12 年生时,由于竹林集约经营水平的下降,同时由于挖笋和伐竹的影响,土壤有机碳密度下降,因此土壤有机碳储量下降,但是稍高于农田土壤有机碳的储量。

表 4 农田造林后不同经营年限土壤有机碳储量的差异

土层深度/cm	项目	农田	3年生早竹林	6年生早竹林	9年生早竹林	12年生早竹林	统计检验
0~60	有机碳储量/(t·hm ⁻²)	82.95a	64.93b	65.52cb	103.61d	85.33a	F=13.207
	比例/%	100	78.27	78.99	124.90	102.86	P=0.000

注: a~d 表示 t 检验 0.05 水平差异。

4 结论与讨论

(1)农田营造早竹林后,至满园时(3 年生)土壤有机碳含量都呈现下降趋势,其中表土层(0~30 cm)下降幅度最大;满园后,由于竹林采取了集约经营措施,土壤有机碳含量迅速回升,至竹林 9 年生时,除了 30~40 cm 土层尚未恢复到农田水平外,其它层次的土壤有机碳含量都超过了农田的水平;由

于竹林经营水平的影响,12 年生竹林各层土壤有机碳含量又呈现下降趋势。

(2)早竹林土壤有机碳密度和土壤有机碳含量变化趋势相似,满园时土壤有机碳密度均呈现下降趋势;竹林 6 年生时,除了 0~30 cm 土层继续下降外,其它各土层有机碳密度都增加;至竹林 9 年生时,各土层有机碳密度都超过相应农田土层土壤有机碳的密度;竹林 12 年生时,由于竹林集约经营水

平下降,各层土壤有机碳密度都呈现下降的趋势。

(3)农田营造早竹林后,3年生竹林土壤有机碳储量下降了近 22%;以后土壤有机碳储量均逐渐增加,9年生竹林土壤有机碳储量要超过农田土壤有机碳的储量;12年生竹林有机碳储量下降,但是仍高于农田土壤有机碳的储量。

(4)农田造林后土壤有机碳含量的变化比较复杂,一般认为土壤有机碳含量增加^[18,19],但也有些结果表明,农田造林后土壤有机碳增加和减少的情况都有^[8,9]。竹林不同于其它类型的森林,每年异龄择伐的收获方式不仅可获得竹笋、竹材,获得一定的经济收益,而且更是一种必需的抚育经营措施,因而受到的人为干扰比其它森林类型更为严重。因此和其它土地利用方式相比,农田种竹后对土壤有机碳的影响更复杂,存在着更大的不确定性。本文初步揭示了农田营造早竹林后,土壤有机碳含量、密度和储量的变化趋势,即短期内土壤有机碳含量、密度和储量开始迅速下降,再逐渐上升,然后超过农田水平,12年生时又表现下降的趋势,因此兼有下降和上升两种变化趋势,应该说是竹林经营干扰对土壤有机碳影响的一种体现。同时也说明,竹林集约经营一段时间以后,竹林竹笋产量的下降,并不是由于土壤有机质(有机碳)含量下降引起的,而是其它因素影响着竹林竹笋产量。

参考文献:

- [1] Lal R J, Kimble J M, Follett R F. Land use and soil C pool in terrestrial ecosystems[A]. In: Lal R J, Kimble J M, Follett R F, *et al* Management of carbon sequestration in soil[M]. Boca Raton: CRC Press, 1998: 1~10
- [2] Watson R T, Bolin B. Land Use, Land Use Change, and Forestry: A Special Report of the IPCC[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 189~217
- [3] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, *et al* Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science, 1994, 263 (5144): 185~190
- [4] Dewiler R P. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils[J]. Biogeochemistry, 1986, 2 (1): 67~93
- [5] Houghton R A, Hackler J L, Lawrence K T. The US carbon budget: contributions from land-use change [J]. Science, 1999, 285 (5427): 574~578
- [6] Lai R. Soil organic dynamics in cropland and rangeland[J]. Environmental Pollution, 2002, 116 (3): 353~362
- [7] Lugo A E, Sanchez A J, Brown S. Land use and organic carbon content of some subtropical soils[J]. Plant and Soil, 1986, 96 (2): 185~196
- [8] Post W M, Known K C. Soil carbon sequestration and land use change: process and potential[J]. Global Change Biology, 2000, 6 (3): 317~327
- [9] Polglase P J, Paul K I, Khanna P K, *et al* Change in soil carbon following afforestation or reforestation: review of experimental evidence and development of a conceptual framework National carbon accounting system technical report no. 20[R]. Canberra: The Australian Greenhouse Office, 2000: 1~119
- [10] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis[J]. Global Change Biology, 2002, 8 (4): 345~360
- [11] 吴建国,徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳的影响[M]. 北京:中国林业出版社,2004
- [12] 徐德应. 人类经营活动对森林土壤碳的影响[J]. 世界林业研究,1994,7(5):26~31
- [13] 李正才,傅懋毅,周本智,等. 浙西北地区几种不同土地利用/覆盖类型碳储量研究[J]. 林业科学研究,2004,17(专刊):57~63
- [14] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响[J]. 植物生态学报,1998,22(4):300~302
- [15] 李正才,傅懋毅,谢锦忠,等. 沐川县退耕还林生态恢复地碳截留效应的研究[J]. 浙江林学院学报,2004,21(4):382~387
- [16] 李跃林,彭少麟,赵平,等. 鹤山几种不同土地利用方式的土壤碳储量研究[J]. 山地学报,2002,20(5):548~552
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978
- [18] Wilde S A. Changes in soil productivity induced by pine plantations [J]. Soil Science, 1964, 97(4): 276~278
- [19] Schiffman P M, Johnson W C. Phytomass and detritus storage during re-growth in the southeastern United States piedmont[J]. Canadian Journal of Forestry Research, 1990, 20 (1): 69~78