

文章编号: 1001-1498(2007)06-0744-06

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^{*}

李正才¹, 徐德应², 傅懋毅¹, 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:利用野外调查的方法,研究了北亚热带地区土地利用变化对土壤有机碳的垂直分布特征及储量的影响。研究表明:(1)除茶园土壤外,不同林分土壤有机碳含量均以0~10 cm土层最大,随着土层深度的增加,含量总体表现为下降的趋势;茶园土壤有机碳含量在0~30 cm土层范围内增加,30 cm以后表现下降的趋势;(2)次生林转变成农耕地以后土壤有机碳含量平均下降21.1%,而转变成集约经营早竹林后,土壤有机碳含量平均下降近48.5%;1 m深度以内,土壤有机碳平均含量由高到低的顺序为:茶园、灌木林、次生林、粗放经营毛竹林、集约经营毛竹林、马尾松林、农耕地、杉木林和早竹林;(3)土壤有机碳储量随土层深度变化的趋势和土壤有机碳含量变化趋势基本一致;次生林转变成长期经营的农耕地后,土壤有机碳储量下降22.5%,而转变成长期集约经营早竹林后土壤有机碳储量则下降51.4%;9种土地利用类型中,土壤有机碳储量由高到低的顺序为:茶园、灌木林、次生林、粗放经营毛竹林、马尾松林、农耕地、集约经营毛竹林、杉木林和早竹林。

关键词:土地利用变化;土壤有机碳;土壤有机碳储量;北亚热带地区

中图分类号: S714

文献标识码: A

Effects of Land-use Change on Vertical Distribution and Storage of Soil Organic Carbon in North Subtropical Areas

LI Zheng-cai¹, XU De-ying², FU Mao-yi¹, 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, Zhejiang Province, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: This paper deals with the effects of land-use change on the vertical distribution and storage of soil organic carbon (SOC) in north subtropical areas by means of field survey. The results showed that: (1) The contents of SOC of the top soil profile (0~10 cm) were the greatest, compared with the other soil profiles (10~100 cm) in the eight land-use types except the tea garden, which showed an increase from 0 to 30 cm and a decrease from 30 to 100 cm in depth. (2) When the natural secondary stands were changed into arable land, the average SOC content decreased by 21.1%, but when changed into the *Phyllostachys praecox* stands, the average SOC content decreased by 48.5%. In the one meter soil profile, the contents of SOC from the highest to the lowest was ranked as follows: tea garden, shrub, the natural secondary stands, extensive *Phyllostachys edulis* stands, intensive *Phyllostachys edulis* stands, masson pines, arable land, Chinese fir, *Phyllostachys praecox* stands. (3) The vertical distribution of SOC

收稿日期: 2006-08-18

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。

*外业调查得到了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,本所首席专家顾小平博士认真地仔细地审阅了全文,在此一并致谢。

storage showed the same tendency as the SOC content; after the natural secondary stands was converted into arable land, the SOC storage decreased by 22.5%, while converted into *Phyllostachys praecox* stands, the SOC storage decreased by 51.4%; In the one meter soil profile, the storage of SOC from highest to lowest was ranked as follows: tea garden, shrub, the natural secondary stands, extensive *Phyllostachys edulis* stands, masson pines, arable land, intensive *Phyllostachys edulis* stands, Chinese fir and *Phyllostachys praecox* stands

Key words: land-use change; soil organic carbon (SOC); the storage of SOC; north subtropical

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 CO₂浓度急剧增加的主要人为活动。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^[1]。据报道,世界森林地上部分生物量碳储量约为 359 × 10¹⁵ g,而森林土壤的含碳量为 787 × 10¹⁵ g,约是森林生态系统地上部分的 2.2 倍,因此土壤碳库是森林生态系统中极为重要的组成部分,在碳平衡的研究过程中,土壤碳库的研究是必不可少的。

土地利用变化发生后,由于影响土壤有机碳的动态过程和相关性质发生了变化,使土壤有机碳的储量、分布等也发生了变化,这些变化又将进一步影响土壤向大气释放 CO₂的强度与过程,因此土地利用变化对土壤有机碳储量、分布的影响,是对土壤有机碳影响的本质,也是土地利用变化影响土壤有机碳的关键内容^[2]。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^[3-13],关于北亚热带地区土地利用覆盖变化对土壤有机碳的影响也有报道^[14],但是土地利用变化对土壤有机碳的垂直分布特征的研究却不多见。因此,面对全球气候变化及其影响的严重挑战,以及国际上提出的以土地利用方式作为吸收大气碳库的对策的争议与不确定性,系统地研究北亚热带地区土地利用变化对土壤有机碳的影响,一方面可以科学地认识该地区历史上土地利用变化对大气碳循环产生的影响,另外一方面,也为评价我国土地利用变化对气候的影响提供理论参考。

1 试验地概况和样地选择

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°25' ~ 120°09' E, 29°44' ~ 30°12' N,属北亚热带

季风气候,雨量充沛,气候温和,年均气温 16.2℃,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,人工林主要栽培杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、早竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)和茶树(*Camellia sinensis* O. Ktze.),农耕地作物主要以豆科(Leguminosae)类植物和甘薯(*Ipomoea batatas* (L.) Lamb.)等为主。

1.2 样地选择和样地基本情况

本研究采用相邻样地比较方法,即通过土地利用变化巨大的地区,选择邻近相同海拔、坡向,成土母质、土壤条件和环境因子基本一致的不同土地利用覆盖变化类型作为研究对象(样地调查范围严格控制在半径为 1000 m 的范围内,且其它 8 种土地利用类型均由天然次生林转变而来,以保证不同土地利用类型的可比性;茶园每年施厩肥 7.50 t · hm⁻²,复合肥 0.30 t · hm⁻²;早竹林每年施复合肥 0.45 t · hm⁻²,覆盖稻草和竹叶 12.00 t · hm⁻²);所选择的林分均为近熟林或成熟林,以保证样地选择的典型性。试验样地的基本情况参见表 1。

2 研究方法

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、60 ~ 70、70 ~ 80、80

表 1 试验样地基本情况

土地利用 / 覆盖类型	主要植物	平均树高 / m	平均胸径 / cm	立木密度 / (株 · hm ⁻²)	郁闭度	管理方式	林龄或生长期
天然次生林	壳斗科、樟科、山茶科和木兰科	10~15	11~25	825~975	0.7~0.9	封山育林	50 a
毛竹集约林	毛竹	9~12	8~14	1 800~2 250	0.7~0.8	林地每年劈山 1 次, 2 a 垦复 1 次, 不施肥	至少 18 a
毛竹粗放林	毛竹	8~11	7~11	2 100~2 700	0.7~0.8	不劈山、不垦复、不施肥	至少 50 a
杉木林	杉木	8~11	15~20	1 800~2 250	0.7~0.8	间伐、抚育	20 a
马尾松林	马尾松	7~9	11~17	1 250	0.8	间伐、抚育	16 a
茶园	茶树	0.8~1.2		45 000		采茶、修剪	22 a
早竹林	早竹	3~6	3~5	12 150~12 750	0.8~0.9	劈山、垦复	15 a
灌木林	壳斗科、樟科、山茶科为主	2~3			0.7	柴山	50 a 以上
农耕地	甘薯、豆科类植物					耕作、施肥	1 年生

~90、90~100 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,以重铬酸钾法测定有机碳含量^[15];再根据土壤有机碳含量、土壤密度和土层深度计算土壤有机碳储量。

$$\text{土壤有机碳储量} = \sum_{i=1}^n (C_i \times d_i \times D_i)$$

式中: 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 不同土地利用方式土壤有机碳含量的垂直分布特征及比较

森林土壤有机碳来源于枯枝落叶及动物和植物的遗体,以原状动植物遗体、碎屑或有机质形式存在于土壤中,土壤碳库大小决定于生物物质输入量、分解释放碳量和进入水系统的损失碳量间的关系,与气候、干扰因子特征(时间、强度、方式等)及地上部分生物量变化密切相关。

表 2 不同土地利用方式土壤有机碳含量的垂直分布

土层深度 / cm	有机碳含量 / (g · kg ⁻¹)								
	次生林	集约经营毛竹林	粗放经营毛竹林	杉木林	马尾松林	早竹林	灌木林	茶园	农耕地
0~10	26.15	21.02	21.54	12.01	19.36	10.24	28.94	12.92	14.26
10~20	17.81	15.85	20.30	10.06	14.23	7.98	21.38	14.05	11.17
20~30	12.85	12.39	14.80	8.39	10.75	6.17	14.20	16.03	10.18
30~40	12.43	11.70	10.68	7.16	9.84	5.66	10.90	14.90	9.42
40~50	8.73	10.01	7.95	7.21	7.57	5.36	8.35	12.66	7.73
50~60	8.51	7.55	7.83	5.25	5.58	5.20	7.03	11.35	7.66
60~70	7.34	6.26	6.41	4.37	6.64	3.79	6.89	10.31	6.95
70~80	6.45	5.43	5.45	4.08	6.47	4.63	5.44	7.64	7.18
80~90	5.93	4.81	5.28	4.12	7.45	4.07	5.75	7.02	6.90
90~100	5.43	3.48	4.87	4.01	6.39	4.45	4.27	6.31	6.63
平均值	11.16	9.85	10.51	6.67	9.43	5.75	11.31	11.31	8.81

土地利用变化影响土壤有机碳的输入和输出,而输入和输出又决定了土壤有机碳含量变化。由于不同土地利用方式,植物根系分布、凋落物和人为扰动土壤的方式等不同,土壤有机碳在土壤剖面的分布特征也不同。

由表 2 可以看出,9 种土地利用类型中,土壤有机碳含量随着土层深度的增加呈现一定的变化趋势:(1)次生林、集约经营毛竹林、粗放经营毛竹林、杉木林、马尾松林、早竹林、灌木林和农耕地 0~

10 cm 土层有机碳含量最大,且随着土层深度的增加,土壤有机碳含量总体表现为下降的趋势;(2)茶园土壤有机碳含量表土层(0~10 cm)并不是最大,土壤有机碳含量在 0~30 cm 范围内增加,30 cm 以后表现下降的趋势;(3)茶园和灌木林土壤有机碳平均含量最高,达到了 11.31 g · kg⁻¹。这是由于茶叶采摘的需要,茶园采用了集约经营的措施,每年除施用复合肥料之外,还要施入一定数量的有机肥料,因此土壤有机碳平均含量较高,施肥能够增加茶园

土壤有机碳的含量,这一点与前人的研究结果相吻合^[16,17]。灌木林由于灌木生长稠密,地下部分细根的比例高且周转速度快,还有大量根系的脱落物、分泌物,因此土壤有机碳含量要比次生林高;(4)次生林、粗放经营毛竹林、集约经营毛竹林和马尾松林土壤有机碳含量稍低于灌木林和茶园;集约经营毛竹林(劈山、垦复,但不施肥),由于土壤扰动和人为干扰频繁,土壤呼吸作用增加,加速了土壤有机碳的消耗,因此土壤有机碳平均含量要比粗放经营毛竹林低;(5)农耕地因凋落物容易分解,同时由于经营过程中采取了施肥(有机肥料为主)措施补充土壤养分的消耗,因此土壤有机碳含量反而比杉木林和早竹林高;早竹林虽然也采取了集约经营措施(劈山、

垦复和施肥),但是强度集约经营,土壤呼吸作用增加,加速了土壤有机碳的消耗,因此在 9 种土地利用类型中土壤有机碳含量最低;杉木林由于凋落物分解慢,养分循环受到影响,土壤有机碳含量介于农耕地和早竹林之间;(6)次生林转变成农耕地,长期经营以后土壤有机碳含量平均下降了 21.1% (但差异不显著,见表 3,下同),而转变成集约经营早竹林后,土壤有机碳含量平均下降近 48.5% (差异显著);(7)9 种土地利用类型中,土壤有机碳平均含量由高到低的顺序为:茶园、灌木林、次生林、粗放经营毛竹林、集约经营毛竹林、马尾松林、农耕地、杉木林和早竹林。

表 3 不同土地利用类型土壤有机碳含量、土壤有机碳储量的方差分析和多重比较

土地利用类型	次生林	集约经营毛竹林	粗放经营毛竹林	杉木林	马尾松林	早竹林	灌木林	茶园	农耕地	统计检验
土壤有机碳含量	a	af	ag	bcdfg	ad	bde	a	a	ace	$F = 5.718$ $P = 0.000$
土壤有机碳储量	a	ac	ad	bcdef	ae	bcg	a	a	afg	$F = 6.284$ $P = 0.000$
样本数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

注: a~g 表示不同土地利用类型, 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。

3.2 不同土地利用方式土壤有机碳储量的垂直分布特征

和土壤有机碳含量相似, 由于不同土地利用方

式植物根系分布、凋落物和人为扰动土壤的方式不同, 土壤密度发生变化, 因此土壤有机碳储量在土壤剖面分布也不同。

表 4 不同土地利用类型土壤有机碳储量随土层深度变化的趋势

土层深度 / cm	有机碳储量 / (t · hm ⁻²)								
	次生林	集约经营毛竹林	粗放经营毛竹林	杉木林	马尾松林	早竹林	灌木林	茶园	农耕地
0~10	29.68	19.57	24.06	13.48	23.96	9.94	32.25	14.74	13.19
10~20	20.92	15.56	23.34	11.77	18.68	7.63	27.20	17.94	11.99
20~30	15.64	12.16	17.07	10.45	14.35	6.99	18.72	20.72	11.16
30~40	16.32	12.97	13.21	9.43	13.56	6.86	14.74	20.19	11.65
40~50	11.65	11.42	11.04	10.22	10.73	6.94	11.43	17.44	10.33
50~60	11.91	9.09	11.00	7.52	8.09	6.91	9.78	17.00	10.96
60~70	10.56	7.99	9.06	6.32	9.91	5.29	9.69	15.56	10.17
70~80	9.53	6.98	7.75	6.05	9.91	6.55	7.80	11.85	10.88
80~90	8.90	6.24	7.52	6.16	11.72	5.92	8.62	11.04	10.58
90~100	8.22	4.59	6.98	6.07	10.07	6.56	6.52	9.91	10.18

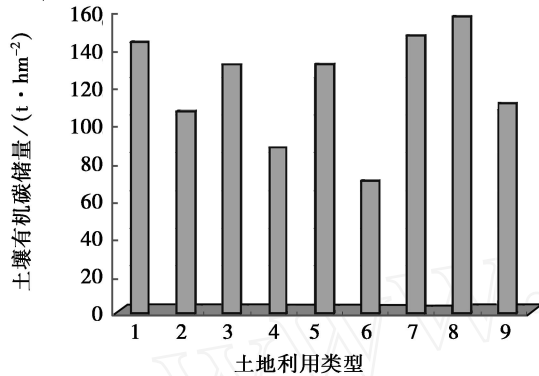
与土壤有机碳含量随着土层深度的变化相似, 土壤有机碳储量随土层深度的增加也呈现一定的变化趋势, 由表 4 可以发现: (1) 次生林、集约经营毛竹林、粗放经营毛竹林、杉木林、马尾松林、早竹林、灌木林和农耕地 0~10 cm 土层土壤有机碳储量最大, 随着深度的增加, 土壤有机碳储量总体表现为下降的趋势, 但是下降的幅度不同。90~100 cm 土层和

0~10 cm 土层相比, 次生林、集约经营毛竹林、粗放经营毛竹林、灌木林土壤有机碳储量下降幅度介于 70.9%~79.7% 之间, 杉木林和马尾松林下降 54.9% 和 57.9%, 早竹林、农耕地分别下降了 34.0%、22.8% 和 34.0%; (2) 茶园土壤有机碳储量在 0~10 cm 土层并不是最大, 土壤有机碳储量在 0~30 cm 范围内增加, 30 cm 以后随土层深度的增加也表现

下降的趋势。

3.3 不同土地利用类型土壤有机碳储量比较

土壤有机碳储量比较全面地反映了土地利用变化对土壤有机碳的影响。由于不同土地利用类型土壤有机碳密度存在着差异,因此土壤有机碳储量也存在差异。



1. 次生林 2. 集约经营毛竹林 3. 粗放经营毛竹林 4. 杉木林
5. 马尾松林 6. 早竹林 7. 灌木林 8. 茶园 9. 农耕地

图 1 不同土地利用类型的土壤有机碳储量

图 1 表明: (1) 9 种土地利用类型中,以茶园的土壤有机碳储量最高,达到 $156 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 约是早竹林的 2.3 倍,灌木林、次生林、粗放经营毛竹林、马尾松林的土壤有机碳储量也在 $130 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上;农耕地由于凋落物容易腐烂,且由于植物生长过程中增施有机肥,因此土壤有机碳储量稍高于集约经营毛竹林(差异不显著,见表 3,下同);粗放经营毛竹林土壤有机碳储量高于集约经营毛竹林(差异不显著);杉木林由于凋落物分解缓慢,土壤有机碳储量仅 $87 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,且显著低于次生林、灌木林和农耕地的土壤有机碳储量;早竹林由于集约经营强度高,因此在 9 种土地利用类型中土壤有机碳储量最低,仅 $70 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,且与次生林、粗放经营毛竹林、马尾松林、灌木林和茶园的土壤有机碳储量的差异达显著水平;(2)次生林转变成长期经营的农耕地后,土壤有机碳储量下降了 22.5% (差异不显著),而转变成长期集约经营早竹林土壤有机碳储量下降 51.4% (差异达到显著水平);次生林转变成杉木林后,土壤有机碳储量的变化差异也达到了显著水平;次生林转变成其它土地利用类型,土壤有机碳储量发生变化,但是差异不显著;(3)9 种土地利用类型中,土壤有机碳储量由高到低的顺序为:茶园、灌木林、次生林、粗放经营毛竹林、马尾松林、农耕地、集约经营毛竹林、杉木林和早竹林。

4 结论与讨论

(1)次生林、集约经营毛竹林、粗放经营毛竹林、杉木林、马尾松林、早竹林、灌木林和农耕地 0~10 cm 土层土壤有机碳含量最大,且随着土层深度的增加,土壤有机碳含量总体表现为下降的趋势;茶园土壤有机碳含量在 0~30 cm 土层范围内增加,30 cm 以后土壤有机碳含量表现下降的趋势;次生林转变成农耕地,长期经营以后土壤有机碳含量平均下降 21.1%,而转变成集约经营早竹林后,土壤有机碳含量平均下降 48.5%;土壤有机碳平均含量由高到低的顺序为:茶园、灌木林、次生林、粗放经营毛竹林、集约经营毛竹林、马尾松林、农耕地、杉木林和早竹林。

(2)土壤有机碳储量随土层深度变化的趋势和土壤有机碳含量变化趋势基本一致。9 种土地利用类型中,土壤有机碳储量由高到低的顺序为:茶园、灌木林、次生林、粗放经营毛竹林、马尾松林、农耕地、集约经营毛竹林、杉木林和早竹林;次生林转变成长期经营的农耕地后,土壤有机碳储量下降 22.5%,而转变成长期集约经营早竹林后土壤有机碳储量则下降 51.4%。

(3)由于耕作的物理效应,即耕作破坏了土壤的团聚体结构,使土壤透气性、温度、水分条件得到改善,微生物呼吸作用增强,加速了土壤有机碳的分解^[18-20],因此应该降低竹林林地土壤耕作强度,减少土壤呼吸强度,从而达到减少土壤有机碳消耗的目的。

(4)许多研究表明,森林变成农田或草地后土壤有机碳含量将发生一定程度的变化(下降 40%左右)^[3,6,21]。本研究表明,次生林转变成农耕地以后土壤有机碳含量平均下降幅度比上述研究结果低 20%左右,这主要是由于亚热带地区,集约经营的农业耕作方式,除了耕作和施肥以外,农作物秸秆还田也是一个重要的经营措施,这些措施都有利于农耕地土壤有机碳的恢复,因此在 9 种土地利用类型中,农耕地土壤有机碳平均含量并不是表现最低。由于研究地点不同,土壤采样深度存在一定的差异,同时人工经营林分(马尾松、杉木林、竹林、茶园、农耕地)经营方式和程度不同(特别是竹林、茶园、农耕地差异更大),导致本文的部分研究结果与文献资料^[22-26]存在一定的差异,进一步说明土地利用变化对土壤有机碳影响的复杂性,人类的经营活动加剧

了土地利用变化对土壤有机碳影响的不确定性。

(5)不同的土地利用方式会导致土壤有机碳储量的差异,其中以灌木林、茶园、次生林土壤有机碳储量最大,所以应该加强亚热带森林的保护工作,同时不断扩大亚热带地区人工林的种植面积,增加森林生态系统的有机碳的截留。保护森林,恢复自然植被,对于缓解全球变暖的趋势具有极其重要的意义。

参考文献:

- [1] 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
- [2] Jackson R B, Schenk H J, Jobbagy E G, *et al* Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10 (2): 470 ~ 483
- [3] Dewiler R P. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils [J]. *Biogeochemistry*, 1986, 2 (1): 67 ~ 93
- [4] 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
- [5] Lai R. Soil organic dynamics in cropland and rangeland [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116 (3): 353 ~ 362
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [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] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 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
- [16] Gijsman, A J, Sanz J I. Soil organic matter pools in a volcanic-ash soil under fallow or cultivation with applied chicken manure [J]. *European Journal of Soil Science*, 1998, 49 (3): 427 ~ 436
- [17] Shen H, Xu Z H, Yan X L. Effect of fertilization on oxidizable carbon, microbial biomass carbon, and mineralizable carbon under different agro-ecosystems [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32 (9 - 10): 1575 ~ 1588
- [18] Davidson E A, Ackemann I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils [J]. *Biogeochemistry*, 1993, 20 (3): 161 ~ 193
- [19] Bouwman A F, Leemans R. The role of forest soils in the global carbon cycle [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59 (3): 503 ~ 525
- [20] Studdert G A, Echeverria H E, Casanovas E M. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typical argiudoll [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61 (5): 1466 ~ 1472
- [21] 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
- [22] 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布 [J]. *林业科学*, 2004, 40 (6): 20 ~ 24
- [23] 方昕, 田大伦, 项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布 [J]. *林业科学*, 2002, 38 (3): 14 ~ 19
- [24] 黄承才. 浙江省毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 林和茶 (*Camellia sinensis*) 园土壤碳库的研究 [J]. *绍兴文理学院学报 (自然科学版)*, 2001, 21 (1): 55 ~ 57
- [25] 李家承, 袁小华. 红壤丘陵区不同土地资源利用方式下有机碳储量的比较研究 [J]. *资源科学*, 2001, 23 (5): 73 ~ 76
- [26] 黄承才, 张信娣, 沈军全, 等. 浙江省马尾松 (*Pinus massiana*) 林凋落物量及土壤碳库的初步研究 [J]. *绍兴文理学院学报 (自然科学版)*, 2000, 20 (6): 61 ~ 64