

不同经营年限对山核桃林地土壤轻重组有机碳的影响

盛卫星¹, 吴家森², 徐建春³, 张少伟⁴, 蔡建荣¹

(1. 浙江省建德市林业局, 浙江 建德 311600; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省开化县林业局, 浙江 开化 324300; 4. 浙江省建德市新安江林场, 浙江 建德 311600)

摘要: 为探讨不同集约经营历史山核桃 *Carya cathayensis* 林地土壤轻重组有机碳的演变规律, 在浙江省临安市分别采集了集约经营历史为 5, 10, 15, 20 a 的山核桃林土壤样品, 并与天然山核桃-阔叶混交林(0 a)进行比较。结果表明: 天然混交林改造为山核桃纯林并经强度经营后, 土壤有机碳的变化主要发生在表层(0~10 cm), 表层土壤总有机碳(SOC), 轻组有机碳(LFOC), 重组有机碳(HFOC)质量分数均呈下降趋势, 与 0 a 相比, 经过 5 a 经营后, 土壤 SOC, LFOC, HFOC 分别下降了 28.4%, 59.3%和 15.1%, 而 20 a 后, 则分别下降了 38.6%, 68.2%和 26.0%。经营前 5 a, LFOC/SOC 从 23.0%下降为 17.0%, 而 HFOC/SOC 则从 70.0%上升到 83.0%, 在后期的经营过程中, 轻重组有机碳占总有机碳的比例保持相对稳定。图 3 表 2 参 26

关键词: 森林土壤学; 轻组有机碳; 重组有机碳; 山核桃

中图分类号: S714.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)05-0803-06

Years of cultivation along with light and high fractions of soil organic carbon in a *Carya cathayensis* forest

SHENG Weixing¹, WU Jiasen², XU Jianchun³, ZHANG Shaowei⁴, CAI Jianrong¹

(1. Forest Enterprise of Jiande City, Jiande 311600, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Kaihua City, Kaihua 324300, Zhejiang, China; 4. Forest Farm of Xin'anjiang, Jiande 311600, Zhejiang, China)

Abstract: Forests of *Carya cathayensis* (Chinese hickory), a unique tree species with seeds that produce high-grade oil. Intensive management including heavy application of chemical fertilizer and long-term application of herbicides has resulted in serious soil organic carbon (SOC) decrea. To evaluate what kind of composition of SOC decrea, soil samples collected from intensively-managed forests (IMF) of 5, 10, 15, and 20 years were compared to samples of IMF forests newly converted (year 0) from an evergreen and deciduous broadleaf forest (EDBF). The results indicated that SOC, light fraction organic carbon (LFOC), and high fraction organic carbon (HFOC) decreased after converting an EDBE to an IMF. Compared to the EDBF, in the Chinese hickory forest with 20 years intensive management, there was a decrease in SOC (38.6%), LFOC (68.2%), and HFOC (26.0%). After 5 years of intensive management, LFOC/SOC decreased from 23.0% to 17.0%; whereas HFOC/SOC increased from 70.0% to 83.0%. The results demonstrate that LFOC is the main composition of SOC decreased after converting an EDBE to an IMF. [Ch, 3 fig. 2 tab. 26 ref.]

Key words: forest soil science; light fraction organic carbon (LFOC); heavy fraction organic carbon (HFOC); *Carya cathayensis*

收稿日期: 2014-12-01; 修回日期: 2015-03-04

基金项目: 浙江省科学技术重点科技创新团队资助项目(2009R50033)

作者简介: 盛卫星, 工程师, 从事林业科技推广研究。E-mail: 89357222@qq.com。通信作者: 吴家森, 教授级高级工程师, 博士, 从事森林土壤与环境研究。E-mail: jswu@zafu.edu.cn

土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)是土壤的重要组成部分,影响着土壤中养分的储存与供应,其数量和分布反映了地表植物群落的空间分布、时间上的演替和人为干扰,在全球碳循环中也起着至关重要的作用^[1]。可采用物理方法,将土壤有机碳分为轻组有机碳(light fraction organic carbon, LFOC)和重组有机碳(high fraction organic carbon, HFOC)。轻组有机碳是介于动植物残体和腐殖化有机质之间的有机碳库,是土壤不稳定有机碳库的重要组成^[2]。重组有机碳主要成分是矿质颗粒,存在于有机-无机复合体中,受土壤矿物不同程度的物理和化学保护,一定程度上反映了土壤保持有机碳的能力^[3-4]。近年来,关于土地利用变化对SOC的影响主要有土壤总有机碳^[5]和活性有机碳^[6],天然林转变为次生林或人工林后,土壤有机碳显著降低,土壤LFOC降低尤为明显^[7-8]。耕作会导致LFOC迅速减少,但HFOC减少不显著,而施入苜蓿 *Medicago sativa* 后2 a后,土壤LFOC增加量是SOC和HFOC的2~3倍^[9],所以LFOC比SOC和HFOC对耕作、施肥等农业生产措施的响应更快^[10],而对HFOC的研究则较少^[11]。山核桃 *Carya cathayensis* 是中国特有的木本油料树种和高档干果,主要分布在浙皖交界的天目山系。山核桃生产具有很高的经济效益,因此,林农将大面积的山核桃-阔叶混交林改造为山核桃纯林,在生产过程中将林下灌木、杂草除尽,造成林地土壤有机碳质量分数低于相同区域的次生阔叶林^[12]。山核桃的强度经营,也造成林地土壤有机碳质量分数下降^[13],而生草栽培则提高了土壤有机碳质量分数^[14],但集约经营过程中土壤轻、重组有机碳的质量分数和比例是如何变化的?本研究通过空间代替时间的方法,研究不同经营年限对山核桃林地土壤轻重组有机碳质量分数的影响,以期对山核桃土壤的科学管理提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省临安市昌化镇(30°03'02" N, 119°08'54" E),属亚热带季风气候区,年均气温为16.4℃,极端最高气温41.7℃,极端最低气温-13.3℃,年均有效积温5 774.0℃,年降水量1 628.0 mm,年日照时数1 774.0 h,无霜期235.0 d。土壤为发育于板岩的岩性土。试验林分位于海拔200~260 m,坡度20°左右,林下无灌木生长,仅有少量草本植物。每年5月和9月上旬共施复合肥[m(氮N):m(磷P₂O₅):m(钾K₂O)=15:15:15]600 kg·hm⁻²,同时施用除草剂^[13]。

1.2 试验设计与取样

2012年1月,根据森林资源经营档案,在昌化镇石坎村的3个小流域,分别选择经营5, 10, 15, 20 a的山核桃纯林各1块,同时在样地周围选择山核桃-阔叶混交林作为对照(0 a),1个小流域作为1个区组,同一区组中样地的坡向、坡度和土壤类型相同,面积1.0 hm²^[13]。样地林分的基本特征和0~10 cm土壤理化性质如表1~2所示。

表1 样地林分基本特征

Table 1 Basic characteristics of sample plots

经营年限/a	林分密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均高/m	郁闭度/%	林层结构	乔木树种
0	1 350	10.0	8.0	80	乔木+灌木+草本	枫香, 木荷, 青冈, 苦槠, 山核桃
5	450	6.0	5.0	30	乔木+草本	山核桃
10	450	8.0	6.0	50	乔木+草本	山核桃
15	450	10.0	7.0	70	乔木+草本	山核桃
20	435	12.0	8.0	80	乔木+草本	山核桃

说明: 枫香 *Liquidambar formosana*, 木荷 *Schima superba*, 青冈 *Cyclobalanopsis glauca*, 苦槠 *Castanopsis selerophylla*。

表2 样地土壤基本理化性质(0~10 cm)

Table 2 Soil physiochemical characters of sample plots (0-10 cm)

经营年限/a	pH值(H ₂ O)	全氮/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
0	5.6	2.45	150.5	3.5	124.2
5	5.7	1.73	179.6	3.7	120.8
10	5.8	1.91	175.7	4.7	125.0
15	5.8	1.90	161.8	4.9	131.7
20	5.6	1.68	145.1	6.6	119.2

在各样地中，按“S”型布点，分别采集 5 个 0~10 cm，10~30 cm 土样，将其分别混合，然后采用四分法分取样品 1.0 kg 左右。采集后带回实验室，去除石块和植物根系等杂物，置于室内风干，过 2 mm 筛后混匀，备用。

1.3 分析方法

利用相对密度分组法分离土壤轻组、重组有机碳，得到轻组有机碳和重组有机碳；轻组、重组有机碳及总有机碳均采用重铬酸钾-硫酸外加热法测定^[15]。

1.4 成数据处

采用 SPSS 13.0 软件进行数据处理。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和新复极差法(SSR)比较不同数据组间的差异($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 林地土壤有机碳质量分数

如图 1 所示：表层(0~10 cm)土壤有机碳(SOC)质量分数随着经营年限的延长而下降，特别是改造初期(前 5 a)，其质量分数下降了 28.4%，差异达显著水平，后期经营过程中(5~20 a)土壤总有机碳质量分数总体呈下降趋势，但不同经营年限之间的差异性并不显著，经过 20 a 的经营，SOC 质量分数下降了 38.6%；林地表下层(10~30 cm)土壤总有机碳质量分数在改造初期有所下降，经营前 5 a，有机碳质量分数下降了 18.3%，但随着经营年限的延长而缓慢上升，在整个经营过程中保持相对稳定，差异性不显著性，经过 20 a 的经营，SOC 质量分数仅降低了 1.8%。不同经营年限山核桃林地土壤有机碳质量分数在剖面上的分布均随着土壤深度增加而减小。

2.2 林地土壤轻组、重组有机碳质量分数

从图 2 中可知：不同经营年限山核桃林地土壤轻组、重组有机碳质量分数均随着土层深度的增加而降低，表层(0~10 cm)土壤轻组、重组有机碳质量分数均高于表下层(10~30 cm)。

山核桃林地表层土壤轻组、重组有机碳质量分数随着经营年限的延长而下降，与天然混交林(0 a)相比，经过 5 a 强度经营，轻组有机碳质量分数降低了 59.3%，差异性达到显著水平，而重组有机碳质量分数只下降了 15.1%，差异性并不显著；集约经营 20 a 后，土壤轻组、重组有机碳质量分数分别下降了 68.2%和 26.0%，不同经营年限之间的差异并不显著。

山核桃林地表下层土壤轻组、重组有机碳量质量分数在不同经营年限之间的差异不明显，分别介于

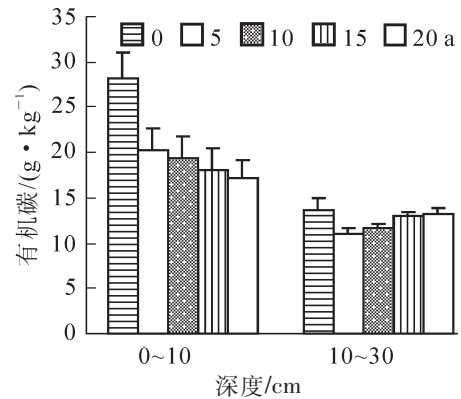


图 1 不同经营年限山核桃林地土壤有机碳质量分数

Figure 1 Soil organic carbon content under various intensive management period of *Carya cathayensis*

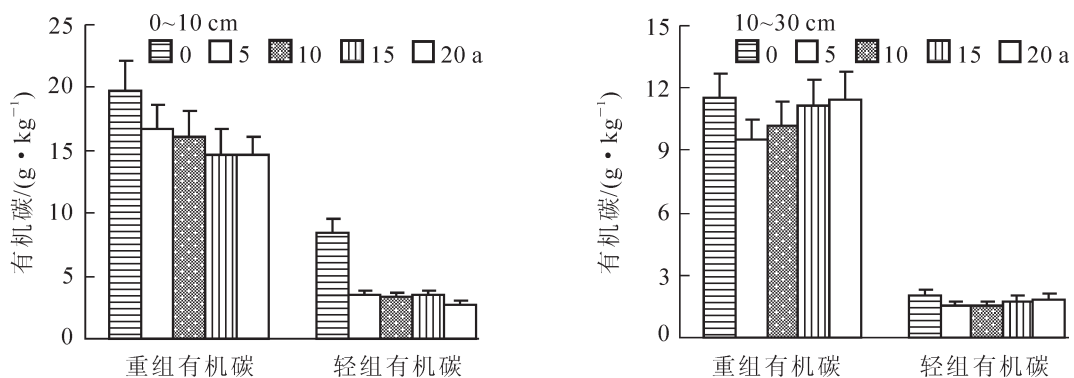


图 2 不同经营年限山核桃林地土壤轻组、重组有机碳质量分数

Figure 2 Composition of LFOC and HFOC under various intensive management period of *Carya cathayensis*

1.63~2.04, 9.55~11.52 g·kg⁻¹。

2.3 林地土壤轻组、重组有机碳占总有机碳的比例

土壤轻组、重组有机碳占总有机碳的比例如图3所示, 林地表层土壤轻组有机碳占总有机碳的比例随着经营年限的延长而下降, 经营5 a后, LFOC/SOC从23.0%下降到17.0%, 差异达显著水平, 但在后期的经营过程中, LFOC/SOC保持相对稳定, 其值保持在15.5%~19.1%。而重组有机碳的表现规律则与轻组相反, 经营5 a后, HFOC/SOC从70.0%上升到83.0%, 差异达显著水平, 在后期的经营中, HFOC/SOC保持相对稳定, 其值在81.0%~85.5%。

不同经营年限林地表层土壤轻组、重组有机碳占总有机碳的比例则保持相对稳定, 变化不明显, LFOC/TOC保持在13.2%~15.1%, HFOC/TOC在84.9%~86.9%。

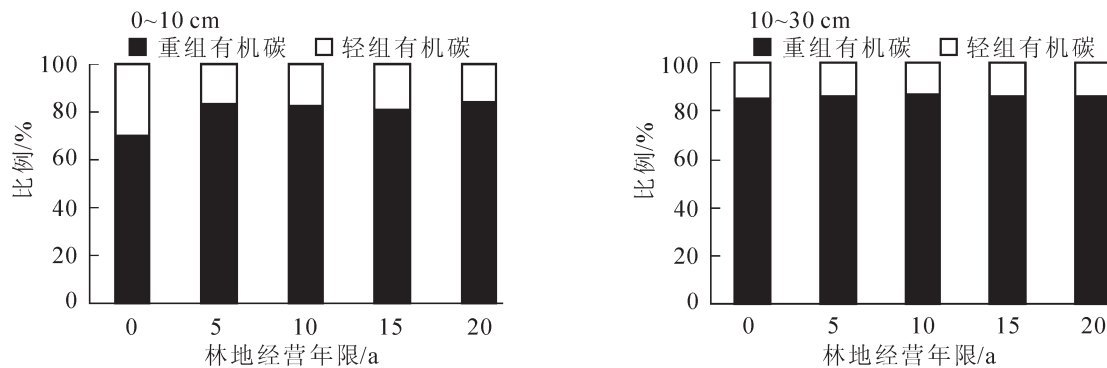


图3 山核桃林地土壤轻组、重组有机碳占总有机碳的比例

Figure 3 Composition of LFOC/SOC and HFOC/SOC under various intensive management period of *Carya cathayensis* forest

3 讨论与结论

土地利用变化及人为经营措施影响着土壤的碳过程, 对土壤有机碳的质量分数、组成会产生显著影响^[16-17]。常阔叶林改造成板栗 *Castanea mollissima* 林 10 a 后, 土壤有机碳质量分数下降了 45.5%^[18], 毛竹 *Phyllostachys edulis* 从粗放经营转为集约经营 20 a 后, 土壤有机碳质量分数也下降了 34.7%^[19]。随着栽植年限的增加, 脐橙 *Citrus sinensis* 和柑橘 *Citrus reticulata* 园土壤有机碳质量分数呈增加的趋势^[20-21]。本研究结果表明: 与天然混交林(0 a)相比, 经过 5 a 的强度经营, 山核桃林地表层(0~10 cm)土壤总有机碳质量分数降低了 28.4%, 而经过 20 a 经营后, 土壤 SOC 质量分数下降了 38.6%。这主要是由于天然混交林改造为山核桃纯林后, 受到人为强度干扰, 灌木层和草本层缺失, 有机质输入明显减少, 凋落物现存量为混交林的一半^[22]。同时山核桃林相结构的改变, 土壤温差大, 有机质分解速度快; 并且山核桃纯林水土流失严重, 造成林地土壤有机碳大量流失, 从而导致土壤有机碳质量分数明显下降。相关研究也表明, 造成森林土壤有机碳降低的主要原因是森林凋落物归还数量及其质量改变, 以及水土流失和经营措施对土壤的扰动引起土壤有机质加速分解或流失等^[7-8]。

土壤轻组有机碳对耕作比较敏感, 是反映不同措施下土壤质量变化的较好指标, 对于评价耕作影响土壤碳过程具有重要意义^[23]。与传统小麦 *Triticum aestivum*-玉米 *Zea mays* 农田土壤相比较, 果园土壤轻组有机碳质量分数提高了 136.4%^[24]。随着栽培年限的延长, 日光温室土壤 LFOC 质量分数显著增加, 而土壤 HFOC 增长缓慢^[25]。与上述研究结果相反, 经过 5 a 强度经营, 山核桃林地轻组有机碳质量分数降低了 59.3%, LFOC/TOC 从 23.0% 下降到 17.0%, 差异达显著水平, 集约经营 20 a 后, 轻组有机碳质量分数则下降了 68.2%, 这主要是经营措施不同, 有机物归还的大小差异所造成的。

经营干扰对土壤有机碳的影响主要体现在表层^[26]。20 世纪 50 年代栽植的果园 0~20 cm 和 20~40 cm 土层轻组有机碳质量分数比 20 世纪 80 年代栽植的果园提高了 23.6% 和 3.6%^[21]。本研究也表明: 不同经营年限山核桃林地土壤有机碳的变化主要发生在表层(0~10 cm), 而表下层(10~30 cm)土壤不同组分有机碳在整个经营过程保持相对稳定。

4 参考文献

- [1] 李鉴霖, 江长胜, 郝庆菊. 缙云山不同土地利用方式下土壤有机碳组分特征[J]. 生态学报, 2015, **35**(11): 1 - 13.
LI Jianlin, JIANG Changsheng, HAO Qingju. Distribution characteristics of soil organic carbon and its physical fractions under the different land uses in Jinyun Mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(11): 1 - 13.
- [2] CHRISTENSEN B T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates [J]. *Adv Soil Sci*, 1992, **20**(1): 1 - 90.
- [3] SIX J, ELLIOTT E T, PAUSTIAN K, *et al.* Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1998, **62**(5): 1367 - 1377.
- [4] BARRIOS E, BURESH, R J, KWESIGA F, *et al.* Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1997, **61**(3): 826 - 831.
- [5] 唐国勇, 李昆, 孙永玉, 等. 土地利用方式对土壤有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 林业科学研究, 2011, **24**(6): 754 - 759.
TANG Guoyong, LI Kun, SUN Yongyu, *et al.* Effects of land uses on soil organic carbon and carbon pool management index [J]. *For Res*, 2011, **24**(6): 754 - 759.
- [6] 蓝家程, 傅瓦利, 袁波, 等. 岩溶山区土地利用方式对土壤活性有机碳及其分布的影响[J]. 中国岩溶, 2011, **30**(2): 175 - 180.
LAN Jiacheng, FU Wali, YUAN Bo, *et al.* Impact of land use type on soil active organic carbon and its distribution in karst mountain [J]. *Carsol Sin*, 2011, **30**(2): 175 - 180.
- [7] 杨玉盛, 谢锦升, 盛浩, 等. 中亚热带山区土地利用变化对土壤有机碳储量和质量的影响[J]. 地理学报, 2007, **62**(11): 1123 - 1131.
YANG Yusheng, XIE Jinsheng, SHENG Hao, *et al.* The impact of land use/cover change on soil organic carbon stocks and quality in mid-subtropical mountainous area of southern China [J]. *Acta Geogr Sin*, 2007, **62**(11): 1123 - 1131.
- [8] LUAN Junwei, LIU Shirong, ZHU Xueling, *et al.* Soil carbon stock and flux in a warm-temperate oak chronosequence in China [J]. *Plant Soil*, 2011, **347**(1/2): 243 - 253.
- [9] BLAIR G J, LEFROY R D B, LISLE L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. *Aust J Agric Res*, 1995, **46**(7): 1459 - 1466.
- [10] BrEMER E, ELLERT B H, JANZEN H H. Total and light-fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1995, **59**(5): 1398 - 1403.
- [11] 王发刚, 王启基, 王文颖. 土壤有机碳研究进展[J]. 草业科学, 2008, **25**(2): 48 - 54.
WANG Fagang, WANG Qiji, WANG Wenying. Research progress on soil organic matter [J]. *Pratac Sci*, 2008, **25**(2): 48 - 54.
- [12] 吴家森, 张金池, 黄坚钦, 等. 浙江省临安市山核桃产区林地土壤有机碳分布特征[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2013, **39**(4): 413 - 420.
WU Jiasen, ZHANG Jinchi, HUANG Jianqin, *et al.* Distribution characteristics of soil organic carbon in *Carya cathayensis* producing regions of Lin'an City, Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang Univ Agric & Life Sci*, 2013, **39**(4): 413 - 420.
- [13] 吴家森. 山核桃人工林土壤有机碳变化特征[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.
WU Jiasen. *Study on the Characteristics of Soil Organic Carbon under Carya cathayensis Stands* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014.
- [14] 钱进芳, 吴家森, 黄坚钦. 生草栽培对山核桃林地土壤肥力和微生物功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2014, **34**(15): 4324 - 4332.
QIAN Jinfang, WU Jiasen, HUANG Jianqin. Effects of sod-cultural practices on soil nutrients and microbial diversity in the *Carya cathayensis* forest [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(15): 4324 - 4332.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 108, 116 - 118.
- [16] BATLLE-BAYER L, BATJES N H, BINDRABAN P S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review [J]. *Agric Ecosyst & Environ*, 2010, **137**(1/2): 47 - 58.

- [17] AREVALO C B M, BHATTI J S, CHANG S X, *et al.* Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-use in north central Alberta, Canada [J]. *For Ecol Manage*, 2009, **257**(8): 1776 – 1785.
- [18] WU Jiasen, JIANG Peikun, CHANG S X, *et al.* Dissolved soil organic carbon and nitrogen were affected by conversion of native forests to plantations in subtropical China [J]. *Can J Soil Sci*, 2010, **90**(1): 27 – 36.
- [19] 周国模, 徐建明, 吴家森, 等. 毛竹林集约经营过程中土壤活性有机碳库的演变[J]. 林业科学, 2006, **42**(6): 124 – 128.
ZHOU Guomo, XU Jianming, WU Jiasen, *et al.* Changes in soil active organic carbon with history of intensive management of *Phyllostachy pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42**(6): 124 – 128.
- [20] 郭恢财, 廖鹏飞, 陈伏生. 脐橙果园土壤养分动态与酶活性的季节变化[J]. 生态学杂志, 2010, **29**(4): 754 – 759.
GUO Huicai, LIAO Pengfei, CHEN Fusheng. Seasonal changes of soil nutrient supply and enzyme activities in navel orange orchards of south Jiangxi [J]. *Chin J Ecol*, 2010, **29**(4): 754 – 759.
- [21] 王义祥, 叶菁, 王成己, 等. 不同经营年限对柑橘果园土壤有机碳及其组分的影响[J]. 生态环境学报, 2014, **23**(10): 1574 – 1580.
WANG Yixiang, YE Jing, WANG Chengji, *et al.* Effect of different cultivation years on soil organic carbon pools in citrus orchards [J]. *Ecol Environ Sci*, 2014, **23**(10): 1574 – 1580.
- [22] 吴家森, 钱进芳, 童志鹏, 等. 山核桃林集约经营过程中土壤有机碳和微生物功能多样性的变化[J]. 应用生态学报, 2014, **25**(9): 2486 – 2492.
WU Jiasen, QIAN Jinfang, TONG Zhipeng, *et al.* Changes in soil organic carbon and soil microbial functional diversity of *Carya cathayensis* plantations under intensive managements [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2014, **25**(9): 2486 – 2492.
- [23] CHAN K Y, HEENAN D P, OATES A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management [J]. *Soil Tillage Res*, 2002, **63**(3/4): 133 – 139.
- [24] 杨长明, 欧阳竹, 杨林章, 等. 农业土地利用方式对华北平原土壤有机碳组分和团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报, 2006, **26**(12): 4148 – 4155.
YANG Changming, OUYANG Zhu, YANG Linzhang, *et al.* Organic carbon fractions and aggregate stability in an aquatic soil as influenced by agricultural land uses in the Northern China Plain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(12): 4148 – 4155.
- [25] 郭冉, 梁成华, 杜立宇, 等. 栽培年限对日光温室土壤团聚体有机碳含量与组分的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(5): 24 – 28.
GUO Ran, LIANG Chenghua, DU Liyu, *et al.* The content and components of different fractions in aggregates soil organic carbon of solar greenhouse at different planted years [J]. *Soil Fert Sci China*, 2013(5): 24 – 28.
- [26] 蔡立群, 齐鹏, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对麦—豆轮作土壤有机碳库的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, **17**(1): 1 – 6.
CAI Liqun, QI Peng, ZHANG Renzhi, *et al.* Effects of different conservation tillage measures on soil organic carbon pool in two sequence rotation systems of spring wheat and pease [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2009, **17**(1): 1 – 6.