

# 山核桃集约经营过程中土壤微生物量碳氮的变化

邵香君<sup>1</sup>, 徐建春<sup>2</sup>, 吴家森<sup>3</sup>, 沈振明<sup>4</sup>

(1. 浙江省临安市林业种苗管理站, 浙江 临安 311300;

2. 浙江省开化县林业局, 浙江 开化 324300; 3. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 4. 浙江省临安市林业科技推广总站, 浙江 临安 311300)

**摘要:** [目的] 研究不同集约经营历史山核桃林的土壤微生物量碳氮的演变规律, 为山核桃林地土壤管理提供科学依据。[方法] 在浙江省临安市分别采集并分析了经营历史为 5, 10, 15, 20 a 的山核桃林土壤样品, 并与天然混交林(0 a)进行比较。[结果] 天然混交林改造为山核桃纯林并经集约经营后, 林地土壤微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)、MBC/MBN、MBC/SOC 均表现出先下降而后上升的趋势, 经过 10 a 经营后降到最低水平, 与 0 a 相比, 0—10 cm 土层 MBC、MBN 和 MBC/SOC 分别降低了 52.1%, 32.0% 和 31.0%。经营 10 a 的林地土壤 MBC/MBN 显著低于前期经营林地, 而 MBN/TN 在经营过程中的差异并不显著。[结论] 山核桃集约经营后, 林地土壤微生物量碳氮含量显著下降。

**关键词:** 微生物量碳; 微生物量氮; 微生物量碳氮比; 山核桃

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0072-04

中图分类号: S714.8

**文献参数:** 邵香君, 徐建春, 吴家森, 等. 山核桃集约经营过程中土壤微生物量碳氮的变化[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 72-75. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.014

## Changes in Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen of *Carya Cathayensis* Plantations Under Intensive Managements

SHAO Xiangjun<sup>1</sup>, XU Jianchun<sup>2</sup>, WU Jiasen<sup>3</sup>, SHEN Zhenming<sup>4</sup>

(1. Managing Forestry Seedlings of Lin'an City, Lin'an, Zhejiang 311300, China;

2. Kaihua Forestry Bureau of Zhejiang Province, Zhejiang 324300, China; 3. Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration of Zhejiang Province, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China; 4. Forest Technology Service General Station of Lin'an City, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

**Abstract:** [Objective] The differences of soil microbial biomass carbon(MBC) and microbial biomass nitrogen(MBN) in *Carya cathayensis* stands with different management intensification were explored to provide scientific basis for soil management. [Methods] Soil MBC and MBN collected from four intensive-managed forests(IMF) (5, 10, 15 and 20 years, respectively) were assayed and compared with the corresponding values of natural broadleaf forest(0 year). [Results] Soil MBC and MBN, MBC/MBN and MBC/SOC decreased significantly at the first 10 years after conversion from evergreen and deciduous broadleaf forest(EDBE) to intensive-managed forest(IMF), and then increased slowly. In comparison with the corresponding value of EDBF(0 year), MBC, MBN and MBC/SOC in 0—10 cm soil layer of chinese hickory forest with 10-year intensive management decreased by 52.1%, 32.0% and 31.0%, respectively. These indices were also lower than those corresponding values of stands with other intensive management years. Soil MBC/MBN with 10-year intensive management was lower than the values of stand before 10-years; Soil MBN/TN remained stable under different years. [Conclusion] Soil MBC and MBN of *Carya cathayensis* stands decreased remarkably after intensive-management was conducted.

**Keywords:** microbial biomass carbon(MBC); microbial biomass nitrogen(MBN); MBC/MBN; *Carya cathayensis*

收稿日期: 2015-01-07

修回日期: 2015-03-22

资助项目: 浙江省科技厅项目“浙江省果品产业创新团队项目”(2009R50033)

第一作者: 邵香君(1977—), 女(汉族), 浙江省临安市人, 本科, 工程师, 主要从事林业种苗生产技术推广工作。E-mail: 852283606@qq.com.

通信简介: 吴家森(1972—), 男(汉族), 浙江省庆元市人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事商品林土壤质量管理方面的研究。E-mail: jswu@zafu.edu.cn.

土壤微生物量碳氮是指土壤中除了活的植物体外体积小于  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$  的生物体所含的碳氮,是土壤活性养分的储存库,可以灵敏地反映土地利用模式、农业生产活动、环境因子的变化,对土壤养分间的循环与转化起着非常重要的调节作用<sup>[1]</sup>,是评价土壤质量优劣的重要指标。在植被—土壤系统中,土壤微生物通过改善土壤有机质等非生物因子间接影响植被生长<sup>[2]</sup>。土壤微生物量碳氮既受地上植被的影响,又通过其自身性质的改变反作用于植被,与植被形成相互作用的反馈体系<sup>[3]</sup>。土地利用变化及人为经营是影响土壤微生物量碳氮的主要因素之一。研究显示,天然灌木林改造为板栗林后,土壤微生物量碳氮显著下降<sup>[4]</sup>,而退化板栗林改造为茶园和毛竹林后,土壤微生物量碳氮含量明显提高<sup>[5]</sup>。随着集约经营历史的延长,微生物量碳氮含量在毛竹林土壤中明显下降<sup>[6]</sup>,而在雷竹林土壤中则显著升高<sup>[7]</sup>。显然,不同土地利用方式的变化及人为干扰对土壤微生物量碳氮的影响是有差异的。

山核桃(*Carya cathayensis*)是中国特有的高档干果和木本油料树种,主要分布在浙皖交界的天目山系<sup>[8]</sup>。研究人员已对山核桃肥水管理、病虫害防治和密度调控等进行了系统的研究,形成了一整套高产栽培技术,净利润可达 45 000 元/hm<sup>2</sup><sup>[9]</sup>。但在经济利益的驱动下,大量的山核桃—阔叶混交天然林被人工改造为山核桃纯林,森林生态系统发生了逆向演替。同时经营过程中去除林下灌木、杂草,大量施用化肥、农药和除草剂,造成林地土壤有机碳含量明显低于相同区域的常绿次生阔叶林<sup>[10]</sup>。山核桃集约经营过程中地上植被类型的改变及林下灌木、杂草去除的特殊经营方式,对土壤微生物量碳氮影响如何,本研究就此问题在山核桃主产区,通过空间代替时间的方法,分析不同经营年限山核桃林地土壤微生物量碳氮的

的含量,结果将有助于了解人为经营对经济林土壤微生物量碳氮的影响,可为山核桃土壤修复及林地土壤科学管理提供科学依据。

## 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),该区属亚热带季风气候,年均温 16.4 °C,极端最高气温 41.7 °C,极端最低气温 -13.3 °C,年均有效积温 5 774 °C,年降水量 1 628 mm,年日照时数 1 774 h,无霜期 235 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,山核桃经营的主要措施有:每年 5,9 月上旬共施复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:15:15)600 kg/hm<sup>2</sup>,由于长期施用除草剂,林下无灌木生长,仅有少量的草本植物。

### 1.2 试验设计与取样

2012 年 1 月,根据临安市森林资源经营档案,在昌化镇石坎村面积为 42,45,48 hm<sup>2</sup> 的 3 个小流域,不同流域相距 2 km 左右,分别选择经营 5,10,15,20 a 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),每 1 个小流域作为 1 个区组,同一区组中不同经营历史样地的坡向、坡度和土壤类型相同,面积 1 hm<sup>2</sup>。样地林分的基本特征见表 1。

在各样地中,按 S 形布点,分别采集 5 个样点的 0—10 cm,10—30 cm 土壤样品,将其分别混合,然后采用四分法分取样品 1 kg 左右。采集后带回实验室,去除石块和植物根系等杂物,过 2 mm 筛后混匀,将样品分成两部分,一部分直接用于测定土壤微生物量碳氮,另一部分置于室内自然风干后用于土壤有机碳等理化性质的测定。

表 1 研究区样地林分基本特征

年限/a	林分密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	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	0.8	乔木+灌木+草本	枫香、木荷、青冈等
5	450	6.0	5.0	0.3	乔木+草本	山核桃
10	450	8.0	6.0	0.5	乔木+草本	山核桃
15	450	10.0	7.0	0.7	乔木+草本	山核桃
20	435	12.0	8.0	0.8	乔木+草本	山核桃

### 1.3 样品测试和数据处理

土壤微生物量碳氮测定采用氯仿熏蒸浸提法;土壤总有机碳采用重铬酸钾—硫酸外加热法;全氮采用凯氏定氮法;有效磷用盐酸氟化铵浸提—分光光度

法;速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法;pH 用酸度计法(水土比为 2.5:1.0);碱解氮采用碱解扩散法<sup>[11]</sup>。

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 不同经营年限山核桃林地土壤化学性质变化

如表 2 所示,林地土壤有机碳、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量均随土层深度增加而减小,而土壤 pH 在不同土层中相对稳定。0—10 cm 土层土壤有机碳和全氮含量随着经营年限的延长而下降,特别是天然混交林(0 a)改造为山核桃纯林初期(前 5 a),其

含量迅速下降,幅度达 28.4%,29.4%,差异达显著水平,后期经营过程中(5~20 a)的含量总体也呈下降趋势,但差异性并不显著;与 0 a 相比,山核桃经营 20 a 后,林地土壤有效磷含量增加了 88.6%,达显著性差异。

土壤 pH 值、碱解氮、速效钾等含量在不同经营年限间的差异并不显著。林地 10—30 cm 土层土壤有机碳、全氮、有效磷等 6 个肥力指标在不同经营年限之间没有显著性差异。

表 2 不同经营年限山核桃林地土壤化学性质的变化

土层/cm	经营年限/a	pH 值	有机碳/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	碱解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
0—10	0	5.6±0.1 <sup>a</sup>	28.16±2.95 <sup>a</sup>	2.45±0.25 <sup>a</sup>	151±15 <sup>a</sup>	3.5±0.3 <sup>b</sup>	124±13 <sup>a</sup>
	5	5.7±0.2 <sup>a</sup>	20.17±2.12 <sup>b</sup>	1.73±0.18 <sup>b</sup>	180±18 <sup>a</sup>	3.7±0.4 <sup>b</sup>	121±13 <sup>a</sup>
	10	5.8±0.2 <sup>a</sup>	19.39±1.78 <sup>b</sup>	1.91±0.17 <sup>b</sup>	178±19 <sup>a</sup>	4.7±0.4 <sup>b</sup>	125±13 <sup>a</sup>
	15	5.8±0.1 <sup>a</sup>	18.15±1.82 <sup>b</sup>	1.90±0.19 <sup>b</sup>	169±17 <sup>a</sup>	4.9±0.5 <sup>b</sup>	132±14 <sup>a</sup>
	20	5.6±0.2 <sup>a</sup>	17.28±1.76 <sup>b</sup>	1.68±0.16 <sup>b</sup>	145±15 <sup>a</sup>	6.6±0.6 <sup>a</sup>	119±12 <sup>a</sup>
10—30	0	5.5±0.1 <sup>a</sup>	13.56±1.25 <sup>a</sup>	1.23±0.12 <sup>a</sup>	124±13 <sup>a</sup>	2.5±0.3 <sup>a</sup>	74±5 <sup>a</sup>
	5	5.9±0.2 <sup>a</sup>	11.08±1.05 <sup>a</sup>	1.12±0.11 <sup>a</sup>	113±12 <sup>a</sup>	1.7±0.2 <sup>a</sup>	81±8 <sup>a</sup>
	10	5.7±0.2 <sup>a</sup>	11.74±1.21 <sup>a</sup>	1.15±0.12 <sup>a</sup>	109±10 <sup>1a</sup>	3.6±0.4 <sup>a</sup>	81±8 <sup>a</sup>
	15	5.9±0.2 <sup>a</sup>	12.97±1.32 <sup>a</sup>	1.17±0.13 <sup>a</sup>	84±10 <sup>ba</sup>	2.5±0.3 <sup>a</sup>	83±9 <sup>a</sup>
	20	5.7±0.1 <sup>a</sup>	13.31±1.41 <sup>a</sup>	1.18±0.14 <sup>a</sup>	109±11 <sup>a</sup>	2.4±0.4 <sup>a</sup>	83±10 <sup>a</sup>

注:同一土层,同列不同小写字母表示处理间差异显著( $p<0.05$ )。

### 2.2 不同经营年限山核桃林地土壤微生物量碳氮含量变化

如图 1 所示,随着经营年限的延长,山核桃林地土壤微生物量碳、氮含量呈现先下降而后上升的趋势。经营年限为 10 a 的林地土壤微生物量碳、氮含量最低,后期的经营使微生物量碳氮含量又有所升高。0—10 cm 土层土壤微生物量碳以天然混交林(0 a)最

高,显著高于 5,15,20 a,同时也显著高于 10 a;天然混交林(0 a)土壤微生物量氮含量显著高于其他经营年限山核桃林地。10—30 cm 土层土壤微生物量碳大小顺序表现为:0 a>5 a>20 a>15 a>10 a,而微生物量氮在不同经营年限之间的差异并不显著。从图 1 还可以看出,林地土壤微生物量碳、氮在剖面上的分布是一致的,即 0—10 cm 土层高于 10—30 cm 土层。

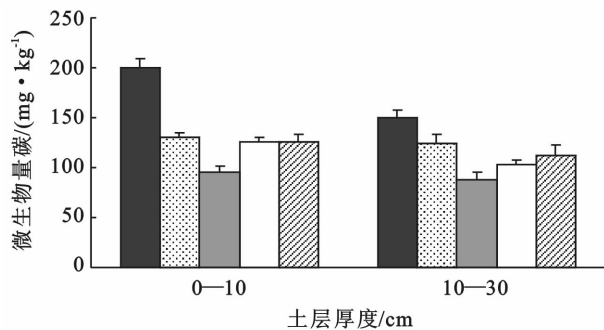


图 1 研究区不同经营年限山核桃林地土壤微生物量碳氮含量变化

### 2.3 不同经营年限山核桃林地土壤微生物量碳氮比值变化

由表 3 可以看出,林地土壤 MBC/MBN 介于 1.52~2.44,天然混交林转变为山核桃纯林 10 a 后

达最低值,显著低于 0 和 5 a,后期的经营使微生物量碳氮比又有所升高,但差异并不显著。林地土壤 MBC/SOC 在 0—10 cm 土层中介于 0.49%~0.73%,而 10—30 cm 土层则介于 0.75%~1.11%。随着经

营年限的延长,林地土壤 MBC/SOC 先下降而后升高,经营年限为 10 a 的林地土壤 MBC/SOC 为最低,在 0—10 和 10—30 cm 土层仅为 0.49% 和 0.75%,显著低于其他经营年限林地土壤。林地土壤 MBN/TN 在 0—10 cm 土层介于 3.29%~4.26%,而 10—30 cm 土层则介于 4.82%~5.24%。不同经营年限土壤 MBN/TN 存在着一定的差异,以经营 10 a 林地土壤为最低,但它们之间的差异性并不显著。林地土壤 MBC/MBN, MBC/SOC 和 MBN/TN 在剖面上的分布特征是相同的,均随着土层深度的加深而增大。

表 3 不同经营年限山核桃土壤微生物量比值

土层/ cm	经营 年限/a	微生物量 碳氮比	微生物量碳/ 有机碳(%)	微生物量氮/ 全氮(%)
0—10	0	2.16±0.23 <sup>a</sup>	0.71±0.08 <sup>a</sup>	3.78±0.42 <sup>a</sup>
	5	1.83±0.19 <sup>a</sup>	0.64±0.07 <sup>a</sup>	4.12±0.40 <sup>a</sup>
	10	1.52±0.11 <sup>b</sup>	0.49±0.05 <sup>b</sup>	3.29±0.35 <sup>a</sup>
	15	1.80±0.19 <sup>ab</sup>	0.70±0.08 <sup>a</sup>	3.69±0.37 <sup>a</sup>
	20	1.76±0.18 <sup>ab</sup>	0.73±0.09 <sup>a</sup>	4.26±0.43 <sup>a</sup>
10—30	0	2.44±0.25 <sup>a</sup>	1.11±0.13 <sup>a</sup>	4.98±0.51 <sup>a</sup>
	5	2.12±0.23 <sup>a</sup>	1.05±0.11 <sup>a</sup>	5.24±0.49 <sup>a</sup>
	10	1.59±0.19 <sup>b</sup>	0.75±0.08 <sup>b</sup>	4.82±0.47 <sup>a</sup>
	15	1.68±0.17 <sup>ab</sup>	0.89±0.10 <sup>a</sup>	5.22±0.55 <sup>a</sup>
	20	1.85±0.20 <sup>ab</sup>	1.00±0.09 <sup>a</sup>	5.19±0.54 <sup>a</sup>

### 3 讨论与结论

(1) 土壤微生物量碳氮是植物养分循环和转化的驱动力,在评价土壤肥力和生态系统中具有重要作用<sup>[1]</sup>。土地利用变化特别是人类的干扰是影响土壤碳过程的重要因素,对土壤微生物量碳氮会产生显著影响<sup>[12-13]</sup>,尤其是土地利用变化初期(<10 a)的土壤有机碳含量的显著变化。阔叶林改造为板栗林 10 a 后,土壤有机碳下降了 45.5%,微生物量碳氮也表现出相同的变化规律<sup>[14]</sup>。本研究表明,天然阔叶林更新为山核桃纯林并经过 10 a 经营后,0—10 cm 土层的土壤微生物量碳和氮含量分别降低了 52.1% 和 32.0% ( $p < 0.05$ ),而 10—30 cm 土层则分别降低了 41.4% 和 9.5%。天然阔叶林由于没有受到人为干扰,植被覆盖度高,郁闭度达 80%,每年植被枯落物全部回归土壤,土壤表层枯落物、腐殖质含量高,因而微生物量碳氮含量也高。而山核桃纯林则受到人为强度干扰,大量除草剂的施用,使灌木层和草本层缺失,有机质输入明显减少,枯落物现存量仅为混交林的 50% 左右<sup>[15]</sup>,从而导致土壤微生物量碳氮含量明显下降。随着经营时间的继续延长,微生物量碳氮又有所增加。这种变化规律主要是由于土壤中的微生

物引起的。经营初期,林下草本、灌木被除尽,微生物种类减少,从而引起微生物量 C, N 的降低,随着经营年限的延长,微生物种类虽然较少,但形成了优势种群,微生物量 C, N 含量也随之增加。

(2) 土壤微生物量碳氮与土壤有机碳、全氮的比值可以用来反映土壤养分向微生物量碳氮的转化效率,在表征土壤质量时要比单独使用微生物量碳氮或土壤养分的值更有效<sup>[13,16]</sup>。本研究中,土壤微生物量碳、氮占土壤有机碳、全氮百分比的范围分别为 0.49%~1.11%, 3.29%~5.22%,与前人的研究结果相似<sup>[1]</sup>。经营历史为 10 a 的土壤 MBC/SOC 为最低,显著低于其他林地,同时 MBN/TN 也为最低值,0—10 cm 土层也显著低于其他林地,而不同林地表层土壤 MBN/TN 之间的差异并不显著。

(3) 在本研究中不同经营年限山核桃林地土壤微生物量碳、氮含量均表现为表层大于底层土壤。这是因为表层土壤通气状况和水热较好,同时细根和凋落物的快速周转,均有利于微生物的快速生长和繁殖,进而对土壤中养分的生物有效性产生积极的影响,土壤微生物量碳、氮的值比较大。而随着土壤深度的加深,微生物生境条件变差,影响微生物的分布,其土壤微生物量碳氮就明显的低于表层土壤<sup>[17]</sup>。

#### [参 考 文 献]

- [1] 赵彤,闫浩,蒋跃利,等. 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5615-5622.
- [2] Ladd J N, Amato M, Veen H A. Soil microbial biomass: Its assay and role in turnover of organic matter C and N[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36(9): 1369-1372.
- [3] Blouin M, Zuilvy F Y, Phamthi A T, et al. Belowground organism activities affect plant above ground phenotype, inducing plant tolerance to parasites[J]. Ecology Letters, 2005, 8(2): 202-208.
- [4] 商素云,李永夫,姜培坤,等. 天然灌木林改造成板栗林对土壤碳库和氮库的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 659-665.
- [5] 徐秋芳,田甜,吴家森,等. 退化板栗林(套)改种茶树和毛竹后土壤生物学性质变化[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 180-184.
- [6] 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): 24-128.
- [7] 张涛,李永夫,姜培坤,等. 长期集约经营对雷竹林土壤碳氮磷库特征的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(6): 1170-1177.

- [4] 苏培玺,赵爱芬,张立新,等. 荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 西北植物学报,2003,23(1):11-17.
- [5] 王静,程积民,万惠娥,等. 黄土高原芨芨草光合与蒸腾作用的初步研究[J]. 草业学报,2003,12(6):47-52.
- [6] 龚吉蕊,张立新,赵爱芬,等. 油蒿(*Artemisia ordosica*)抗旱生理生化特性研究初报[J]. 中国沙漠,2002,22(4):387-392.
- [7] 张军,黄永梅,焦会景,等. 毛乌素沙地油蒿群落演替的生理生态学机制[J]. 中国沙漠,2007,27(6):977-983.
- [8] 杨宝珍,刘志茂. 油蒿(*Artemisia ordosica*)的蒸腾作用及其群落的水分状况[J]. 植物生态学报,1994,18(2):161-170.
- [9] 丁越岩,杨劼,张仲平,等. 毛乌素沙地主要建群植物蒸腾耗水特性的研究[J]. 中国草地学报,2011,33(4):37-43.
- [10] 黄磊,张志山. 荒漠人工植被区柠条和油蒿茎干液流动态研究[J]. 中国沙漠,2011,31(3):683-688.
- [11] 李思静,查天山,秦树高,等. 油蒿(*Artemisia ordosica*)茎流动态及其环境控制因子[J]. 生态学杂志,2014,33(1):112-118.
- [12] 刘昌明,张喜英,由懋正. 大型蒸渗仪与小型棵间蒸发器结合测定冬小麦蒸散的研究[J]. 水利学报,1998,29(10):36-39.
- [13] 冯金朝,陈荷生,康跃虎,等. 腾格里沙漠沙坡头地区人工植被蒸散耗水与水量平衡的研究[J]. 植物学报,1995,37(10):815-821.
- [14] 王新平,李新荣,康尔泗,等. 沙坡头地区固沙植物油蒿、柠条蒸散状况的研究[J]. 中国沙漠,2002,22(4):363-367.
- [15] 张志山,李新荣,王新平,等. 沙漠人工植被区的蒸发蒸腾[J]. 生态学报,2005,25(10):2484-2490.
- [16] 张志山,李新荣,何明珠,等. 沙漠人工植被蒸渗池测定及蒸腾量推算[J]. 草业学报,2006,15(6):32-37.
- [17] 苏培玺,赵爱芬,张立新,等. 荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 西北植物学报,2003,23(1):11-17.
- [18] 王静,程积民,万惠娥,等. 黄土高原芨芨草光合作用与蒸腾作用的初步研究[J]. 草业学报,2003,12(6):47-52.
- [19] 赵萍,孙向阳,黄利江,等. 生长季毛乌素沙地沙生植物蒸腾规律及其与环境因子间关系[J]. 林业科学研究,2004,17(12):67-71.
- [20] 马阔东,高丽,闫志坚,等. 库布齐沙地三种植物光合、蒸腾特性和水分利用效率研究[J]. 中国草地学报,2010,32(2):116-120.
- [21] 格日乐,特木其勒,高润宏. 库布齐沙漠几种固沙树种环境适应性的初步研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2011,32(1):80-83.
- [22] 李红丽,董智,丁国栋,等. 浑善达克沙地植物蒸腾特征的研究[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(5):135-140.
- [23] 杨劼,高清竹,乌力吉,等. 库布齐沙地油蒿(*Artemisia ordosica*)蒸腾作用特征及其与环境因子的关系[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,1999,30(3):372-376.
- [24] 赵灿,张宇清,秦树高,等. 3种典型沙生灌木 NPP 及其分配格局[J]. 北京林业大学学报,2014,36(5):62-67.

(上接第 75 页)

- [8] 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.
- [9] 王正加,黄兴召,唐小华,等. 山核桃免耕经营的经济效益和生态效益[J]. 生态学报,2011,31(8):2281-2289.
- [10] 吴家森. 山核桃人工林土壤有机碳变化特征[D]. 江苏南京:南京林业大学,2014.
- [11] 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.
- [12] 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[J]. Forest Ecology and Management, 2009,257(8):1776-1785.
- [13] Batlle B L, Batjes N H, Bindraban P S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010,137(1):47-58.
- [14] 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]. Canadian Journal of Soil Science, 2010,90(1):27-36.
- [15] 叶晶,吴家森,张金池,等. 不同经营年限山核桃林地枯落物和土壤的水文效应[J]. 水土保持通报,2014,34(3):87-91.
- [16] 安韶山,李国辉,陈利顶. 宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性[J]. 生态学报,2011,31(18):5225-5234.
- [17] 张成娥,杜社妮,白岗栓,等. 黄土塬区果园套种对土壤微生物及酶活性的影响[J]. 土壤与环境,2001,10(2):121-123.