

文章编号: 1000-5692(2006)01-0075-05

# 林地与农地转换过程中红壤有机碳、 氮和磷库的演变

张履勤<sup>1</sup>, 章明奎<sup>2</sup>

(1. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310029)

**摘要:** 通过比较自然林地、农地和造林地红壤表土不同粒径团聚体中有机碳、氮和磷的组成及分布特点, 探讨林地开垦为农地和农地退耕还林过程中土壤养分的变化机理。结果表明: 林地开垦为农地后, 有机碳(特别是颗粒状有机碳)和全氮明显下降, 有机碳的下降程度高于全氮, 有机磷向无机磷转化。自然林地土壤有机碳平均比农地土壤高出 219%, 土壤总氮平均比农地高出 15%。而当农地退耕还林后, 有机碳、氮和磷呈相反的变化。自然林地、农地和造林地土壤的平均颗粒状有机碳分别占土壤总有机碳的 65%, 11%和 47%, 差异很大, 大团聚体中颗粒状有机碳和有机磷的稳定性较低, 最易受土地利用方式的改变而改变。表 5 参 14

**关键词:** 土壤学; 土地利用方式; 红壤; 颗粒状有机碳; 养分库; 团聚体

**中图分类号:** S714; S153.6      **文献标识码:** A

土地利用是人类为经济和社会目的通过各种使用活动对土地长期或周期性的经营。某一地区的土地利用方式因社会和经济发展的需要可发生变换, 其中林地和农地之间的转换最广泛。随着人口和对粮食需求的增加, 部分林地被开垦转化为农地; 当土地生产水平提高, 粮食能满足人们需要时, 或因生态环境保护需要, 部分农地将退耕转化为林地。大量的研究表明, 林地开垦为农地后, 土壤养分总量和性质可发生很大的变化<sup>[1-7]</sup>。土壤中有有机碳、氮和磷可以以不同的形态存在于不同的土壤组分中, 而存在于不同组分中的有机碳、氮和磷具有不同的稳定性<sup>[8]</sup>, 它们在土壤肥力演变中应有不同的变化趋势, 因此, 了解这些变化有利于对土壤养分演变机理的认识。但目前对土地利用方式改变过程中有机碳、氮和磷的转化机理的了解还不足。本研究对林地和农地转换过程中红壤不同粒径团聚体中有机碳、氮和磷库的变化特点进行了分析。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试土壤

供试土壤采自浙江省金衢盆地, 按土地利用类型和历史把供试土壤分为 3 组: ①自然林地。植被保护良好, 受人为影响较小的林地。②农地。用于种植旱地作物时间在 20 a 以上。③造林地。由农地退耕还林的林地, 植树时间在 15 a 以上。采集土样分别为 8, 13 和 6 个。采集土壤均为表土, 采样深度为 0~10 cm。土壤类型包括红松泥、红泥土、黄红泥土和砂黏质红泥, 都属于红壤土类; 成土母

收稿日期: 2005-04-29; 修回日期: 2005-07-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49601013)

作者简介: 张履勤, 高级工程师, 从事林业资源调查与规划研究。E-mail: zlq@zjfr.com

岩包括片麻岩、石英砂岩、泥页岩和花岗岩等。黏粒质量分数为  $213 \sim 376 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间, 粉砂质量分数为  $132 \sim 268 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。采集区为低丘岗地, 海拔为  $230 \sim 265 \text{ m}$ , 坡度为  $10^\circ \sim 25^\circ$ 。

### 1.2 水稳定性团聚体分离

水稳定性团聚体用不同粒径的系列铜筛湿筛分离, 把团聚体按粒径分为  $> 5.0$ ,  $2.0 \sim 5.0$ ,  $1.0 \sim 2.0$ ,  $0.5 \sim 1.0$ ,  $0.25 \sim 0.50$ ,  $< 0.25 \text{ mm}$  等6个粒组。分离获得的  $> 5.0$ ,  $2.0 \sim 5.0$ ,  $1.0 \sim 2.0$ ,  $0.5 \sim 1.0$ ,  $0.25 \sim 0.50 \text{ mm}$  水稳定性团聚体直接在  $40^\circ \text{C}$  下烘干,  $< 0.25 \text{ mm}$  的团聚体经沉降浓集后在  $40^\circ \text{C}$  下烘干。团聚体样品混匀后分为两部分, 一部分磨细过  $0.125 \text{ mm}$  土筛, 供化学分析, 另一部分用于颗粒状有机碳的分离。

### 1.3 颗粒状有机碳的分离

颗粒状有机碳指粒径大于  $53 \mu\text{m}$  的土壤有机碳, 用质量浓度为  $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  焦磷酸钠溶液振荡分散土样, 过  $53 \mu\text{m}$  土筛分离获得<sup>[9]</sup>。

### 1.4 化学分析

土壤 pH 用酸度计测定<sup>[10]</sup>; 颗粒组成用比重计法测定<sup>[10]</sup>; 有机碳用重铬酸钾氧化法测定<sup>[10]</sup>; 全氮用重铬酸钾与硫酸消化、扩散法测定<sup>[10]</sup>; 全磷用硫酸与高氯酸消化, 比色法测定<sup>[10]</sup>; 有机磷用硫酸可提取的灼烧与未灼烧土壤的磷差异计算求得<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机磷、氮和磷的总量

土地利用方式对红壤性质有一定的影响。自然林地、农地和造林地土壤 pH 分别为  $4.7 \sim 6.8$ ,  $5.1 \sim 7.2$  和  $5.0 \sim 6.9$ , 它们之间的差异不显著。自然林地、农地和造林地土壤有机碳平均质量分数分别为  $43.34$ ,  $13.58$  和  $31.89 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 差异达到显著水平, 自然林地和造林地土壤有机碳平均分别比农地土壤高出  $219\%$  和  $134\%$ ; 自然林地、农地和造林地土壤总氮平均质量分数分别为  $1.47$ ,  $1.28$  和  $1.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 自然林地和造林地土壤分别比农地土壤高出  $15\%$  和  $21\%$ 。土壤总磷平均质量分数为农地土壤 ( $1.081 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  $>>$  造林地土壤 ( $0.862 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  $>>$  自然林地土壤 ( $0.734 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 农业土壤具有较高的总磷可能与磷肥的施用有关。从分析结果可知, 在林地转化为农地或农地退耕还林过程中, 土壤有机碳的变化程度明显高于氮。农地有机碳的下降可能与有机物输入减少和频繁耕作导致团聚体物理分散破坏, 有机物暴露, 促进微生物分解等有关。表1的数据表明: 农地的大粒径团聚体明显低于林地, 而小粒径团聚体前者明显高于后者, 因而促进了土壤有机物的分解和碳、氮的损失。

表1 土地利用方式对土壤水稳定性团聚体分布的影响

Table 1 Effects of land use on distribution of water stable aggregates of the soil

土地利用方式	不同粒级团聚体分布/%					
	$> 5$	$2 \sim 5$	$1 \sim 3$	$0.5 \sim 1$	$0.25 \sim 0.5$	$< 0.25 \text{ mm}$
自然林地	36.2 a	24.6 a	5.3 b	7.3 b	5.9 b	20.7 b
农地	8.6 c	12.2 b	11.4 a	10.2 a	9.4 a	48.2 a
造林地	24.8 b	20.3 a	10.5 a	7.2 b	7.6 b	29.6 ab

说明:  $P < 0.05$ 。

### 2.2 碳和氮在不同粒级团聚体中的分布

由表2可知, 不同粒级团聚体中有机碳和氮质量分数有较大的差异。有机碳和氮质量分数呈现两头 ( $> 5.0$ ,  $2.0 \sim 5.0$  和  $< 0.25 \text{ mm}$  等粒组) 高, 中间 ( $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$  和  $0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$  粒组) 低的特点。由林地转化为农地或农地退耕还林过程中, 不同粒级团聚体中有机碳和总氮均发生了明显的变化。从各粒级团聚体 C/N 比自然林地和造林地明显高于农地可知(表3), 在用地转换过程中各粒级团聚体有机碳的变化均比氮显著, 这与土壤总有机碳和总氮的变化一致。Post 等<sup>[12]</sup> 也发现, 在耕作过程中土壤有机碳的损失比氮高得多。氮比有机碳的损失少说明林地开垦农用后, 土壤氮比有机碳相对稳定。由表4可知, 林地与农地之间各粒级团聚体颗粒状有机碳与总有机碳的比值差异很大。颗粒状有机碳主要为动植物残体的弱分解产物, 具有较高的活性, 易受微生物的作用而分解<sup>[13]</sup>。经计算, 自然林地、农地和造林地土壤的平均颗粒状有机碳分别占土壤总有机碳的  $65\%$ ,  $11\%$  和  $47\%$ , 林地与农地之间

表 2 土地利用方式对土壤不同粒级团聚体中有机碳总量、总氮和总磷分布的影响

Table 2 Effect of land use on organic C, total N and total P in different size of water stable aggregates of the soil

土壤养分	不同粒级团聚体/mm	不同土地利用方式下土壤养分质量分数/(g·kg <sup>-1</sup> )		
		自然林地	农地	造林地
有机碳总量	> 5.00	48.70 a	15.30 c	33.80 b
	2.00~5.00	43.20 a	11.90 c	30.10 b
	1.00~2.00	40.20 a	10.00 c	27.10 b
	0.50~1.00	31.60 a	7.00 b	25.20 a
	0.25~0.50	29.40 a	7.70 b	25.80 a
	< 0.25	45.40 a	17.00 c	36.80 b
总氮	> 5.00	1.40 a	0.93 b	1.28 a
	2.00~5.00	1.27 a	0.79 b	1.24 a
	1.00~2.00	1.35 a	0.82 b	1.14 a
	0.50~1.00	1.10 b	0.57 c	1.31 a
	0.25~0.50	1.10 a	0.66 b	1.32 a
	< 0.25	1.95 a	1.81 a	2.13 a
总磷	> 5.00	0.73 b	0.84 b	0.92 a
	2.00~5.00	0.71 b	0.82 a	0.87 a
	1.00~2.00	0.58 b	0.85 a	0.68 b
	0.50~1.00	0.38 c	0.80 a	0.61 b
	0.25~0.50	0.40 c	0.87 a	0.59 b
	< 0.25	0.87 b	1.12 a	0.94 b

说明  $P < 0.05$ 。

表 3 土地利用方式对不同粒级团聚体中碳氮比的影响

Table 3 Effects of land use on C/N in different sizes of water stable aggregates of the soil

土地利用方式	不同粒级团聚体中碳氮比值					
	> 5.00	2.00~5.00	1.00~2.00	0.50~1.00	0.25~0.50	< 0.25 mm
自然林地	35.0±7.3	34.5±7.6	30.1±7.2	28.4±6.8	26.1±6.7	23.1±5.6
农地	16.2±3.4	14.1±3.1	12.3±2.8	12.5±2.4	12.1±2.1	10.1±1.9
造林地	26.3±5.9	23.8±5.1	23.5±5.3	18.1±3.8	19.2±3.6	17.4±3.4

颗粒状有机碳的差异很大, 这在大颗粒团聚体中更为明显, 说明大粒径团聚体中颗粒状有机碳的稳定性最低。在林地转换为农地或农地转换为林地过程中, 颗粒状有机碳是变化敏感的土壤有机碳组分。

### 2.3 磷在不同粒级团聚体中的分布

林地与农地之间总磷在不同粒级团聚体中的分布也存在一定的差异(表 2)。林地(包括自然林地和造林地)土壤总磷分布呈两头高中间低的特征; 而农业土壤中, 总磷除在 < 0.25 mm 粒级较高外, 其他粒级团聚体之间的差异不大。磷在细颗粒中的富集可能与细颗粒中含较高的氧化铁有关<sup>[4]</sup>。而林地土壤大团聚体中含较高的磷可能与有机碳较高有关。表 5 表明, 林地土壤有机磷比例较高, 且随团聚体粒径增加而降低, 这使林地土壤的 > 5.0 mm 和 2.0~5.0 mm 粒级团聚体含较高的磷。农地土壤有机磷的比例随团聚体粒级的下降而增加, 这表明由林地开垦为农地过程中, 存在着有机磷向无机磷转化的特点。这在大粒径团聚体中尤为明显(表 5)。林地开垦农用后, 土壤各粒级团聚体中有机磷质量分数和有机磷在总磷中的比例明显下降, 这与土壤有机碳的下降有关。

## 3 结论

以上结果可知, 林地与农地转换过程中红壤碳和氮库的变化主要与土壤中活性较高的颗粒状有机碳变化有关。颗粒状有机碳是土壤有机物残体向土壤腐殖质转化的中间产物, 其数量主要与有机物残

表4 土地利用方式对不同粒级团聚体中颗粒状有机碳占有有机碳总量百分比的影响

Table 4 Effects of land use proportion of particulate organic C to total organic C in different sizes of water stable aggregates of the soil

土地利用方式	不同粒级团聚体中颗粒状有机碳占有有机碳总量的百分比/%					
	> 5.00	2.00~5.00	1.00~2.00	0.50~1.00	0.25~0.50	< 0.25 mm
自然林地	88.0±17.0	86.0±19.0	54.0±15.0	45.0±11.0	31.0±6.0	13.0±3.0
农地	34.0±7.0	20.0±5.0	10.0±2.0	9.0±1.0	9.5±2.0	3.0±1.0
造林地	76.0±16.0	69.0±15.0	60.0±14.0	34.0±7.0	21.0±5.0	10.0±2.0

表5 土地利用方式对不同粒级团聚体中颗粒状有机碳占总磷百分比

Table 5 Effects of land use on proportion of organic P to total P in different sizes of water stable aggregates of the soil

土地利用方式	不同粒级团聚体中颗粒状有机碳占总磷的百分比/%					
	> 5.00	2.00~5.00	1.00~2.00	0.50~1.00	0.25~0.50	< 0.25 mm
自然林地	67.0±14.0	53.0±12.0	46.0±11.0	49.0±12.0	46.0±11.0	45.0±10.0
农地	22.0±5.0	27.0±7.0	30.0±6.0	29.5±6.0	33.0±7.0	40.0±8.0
造林地	58.0±14.0	61.5±13.0	51.0±10.0	50.0±12.0	42.0±10.0	42.5±9.0

体进入土壤的数量及环境条件有关, 每年进入土壤的有机物质越多, 形成的土壤颗粒状有机碳也越多。而从不同粒级的团聚体中碳和氮的分布可知, 林地开垦为农地后, 由于频繁的耕作破坏了土壤中稳定性团聚体的形成, 加速了颗粒状有机碳的分解。可以推论, 我国红壤农地有机碳和氮普遍偏低主要与每年向土壤中有机的投入较少和频繁耕作有关。因此, 可通过增加红壤农地有机物的投入和推行免耕技术来提高红壤农地土壤有机碳和氮水平。

#### 参考文献:

- [1] COMPTON J E, BOONE R D. Long-term impacts of agriculture on soil carbon and nitrogen in New England forests [J]. *Ecology*, 2000, **81**: 2 314—2 330.
- [2] SOLOMON D, FRITZSCHE F, TEKALIGN M, *et al.* Soil organic matter composition in the subhumid Ethiopian highlands as influenced by deforestation and agricultural management [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2002, **66**: 68—82.
- [3] ZHANG M K. Effects of land use on the chemical and physical properties of red soils [M] // WILSON M J. *The Red Soils of China: Their Nature, Management and Utilization*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004: 275—282.
- [4] GLASER B, TURRION M B, SOLOMON D, *et al.* Soil organic matter quantity and quality in mountain soils of the Alay Range, Khyrgyzia, affected by land use change [J]. *Biol Fertil Soils*, 2000, **31**: 407—413.
- [5] AMELUNG W, ZECH W, ZHANG X, *et al.* Carbon, nitrogen and sulfur pools in particle-size fractions as influenced by climate [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1998, **62**: 172—181.
- [6] JOHNSON D W. Effects of forest management on soil carbon storage [J]. *Water Air Soil Pollut*, 1992, **64**: 83—120.
- [7] WOLF J, JANSSEN L H. Effects of changing land-use in the Netherlands on net carbon fixation [J]. *Netherlands J Agric Sci*, 1991, **39**: 273—276.
- [8] GUGGENBERGER G, ZECH W, THOMAS R. Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an oxisol under tropical pastures following native savanna [J]. *Soil Biol Biochem*, 1995, **27**: 1 629—1 638.
- [9] ZHANG M K, HE Z L. Long-term changes in organic carbon and nutrients of an ultisol under rice cropping in southeast China [J]. *Geoderma*, 2004, **118**: 167—179.
- [10] 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: 132—502.
- [11] KUO K. Phosphorus [M] // SPARKS D L. *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc. 1996: 869—919.
- [12] POST W M, MANN L K. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation [M] // BOUWMAN A F. *Soils and the Greenhouse Effect*. New York: Wiley, 1990: 401—407.
- [13] KOUTIKA L S, DIDDEN W A M, MARINISSEN J C Y. Soil organic matter distribution as influenced by enchytraeid and earthworm activity [J]. *Biol Fertil Soils*, 2000, **32**: 294—300.

- [ 14 ] FONTES M P F, WEED S B. Phosphorus adsorption by clays from Brazilian oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy [ J ]. *Geoderma*, 1996, 72: 37–51.

## Changes of organic C, N and P pools in red soil in transformation between agricultural land and forestry land

ZHANG Lü-qin<sup>1</sup>, ZHANG Ming-kui<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Monitoring Center of Forest Resources Hangzhou 310020, Zhejiang, China; 2. College of Environmental and Resources Sciences Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang, China)

**Abstract:** Physical fractionation and chemical-analysis were used to assess the composition and distribution of organic C, N and P in different sizes of water-stable aggregates of red soil under different land uses. The change mechanism of soil nutrients in transformation between forestry land and agricultural land was analyzed. The 27 soil samples were collected for testing and were divided into three groups: natural forest land, agricultural land and afforested land. The results showed: that forest clearing and continuous cultivation for upland led to significant depletion of total soil organic C and N, and led to transform of organic P into inorganic P in surface soil. The decline of organic C was more than that of N in the soil. Organic C and total N content in natural forest land were 3.19 and 1.15 times more than those in agricultural land respectively. The proportions of particulate organic C to total C in natural forest land, agricultural land and afforested land were 65%, 11% and 47%, respectively. The change of land use has great influence on the contents of particulate organic C and organic P in the > 1 mm aggregates. [ Ch, 5 tab, 14 ref. ]

**Key words:** soil science; land use; red soil; particulate organic carbon; nutrient pool; water-stable aggregate

## 浙江林学院数字林业研究中心成立

2005年12月15日,浙江林学院数字林业研究中心成立。成立大会由浙江林学院副院长方伟教授主持,中国科学院唐守正院士和浙江省科技厅邱飞章副厅长为中心揭牌。

浙江林学院常务副院长、数字林业研究中心主任周国模教授致辞并介绍了中心概况。该中心主要围绕森林资源信息化、数字化和网络化以及计算机应用技术展开研究,以推动林业现代化、信息化为己任。研究方向有森林资源监测方法与技术、林业资源信息系统、林产品生产过程控制与产品质量检测技术、环境监测与生态规划、智能信息处理与信息安全等。

邱飞章代表领导来宾致辞。他充分肯定了浙江林学院近年来取得的成绩,特别强调了浙江林学院科研工作对推动浙江产业发展所作出的极大贡献,建议将浙江林学院数字林业研究中心并入浙江省数字农业中心平台共同建设,希望中心继续引进人才,壮大队伍,实现“科研出成果,教学出人才,合作出效益”的目标,为全省林业发展作出更大的贡献。

出席成立大会的还有来自北京林业大学、浙江省农林科学院(所)、杭州市林水局、临安市林业局等单位的领导和嘉宾。浙江林学院有关部门和学院的负责人及师生代表参加了成立大会。

成立大会后,唐守正院士主持召开“临安市数字林业平台研究与应用”成果评审会,并作学术报告,浙江林学院数字林业研究中心常务副主任方陆明教授就有关研究工作做了汇报。