

# 利用方式对砂质土壤有机碳、氮和磷的形态及其在不同大小团聚体中分布的影响

章明奎, 郑顺安, 王丽平

(浙江大学环境与资源学院资源科学系, 杭州 310029)

**摘要:** 【目的】为了解林地转化为农地对砂质土壤有机碳、氮和磷的形态及其在不同大小团聚体中分布的影响。【方法】本文采用物理与化学相结合的方法比较研究了自然林地、桔园和蔬菜地等3种利用方式下砂质土壤不同粒径团聚体中有机碳(C)、氮(N)和磷(P)的分布和化学形态。【结果】林地开垦种植柑桔和蔬菜, 表土有机碳平均分别减少了79%和67%, 全氮平均分别下降了64%和31%, 而土壤磷却成倍的增加。农业土壤(桔园和蔬菜地土壤)的C/N比(11~19)低于林地土壤(25~37)。土壤颗粒态有机质对土地利用变化极为敏感, 在林地开垦为桔园和蔬菜地后, 颗粒态有机质形式的碳(POM-C)的下降幅度明显高于非颗粒态有机碳, 林地、桔园和蔬菜地土壤POM-C占土壤总有机碳的平均比例分别为69.1%、41.0%和12.5%。林地土壤有机碳和氮素主要分布在>0.5 mm和0.25~0.5 mm的团聚体中; 而桔园和蔬菜地土壤的有机碳和氮素主要分布在0.25~0.5 mm和0.053~0.125 mm团聚体中。磷素主要分布在>0.5 mm和<0.053 mm等2个粒级中。农业土壤磷素主要以HC1-P形态存在, 而林业土壤的磷主要以NaOH-OP(有机磷)和H<sub>2</sub>O-P形态存在。【结论】研究证实了由原始林地开垦转变为农业用地不利于砂质土壤有机碳和氮的积累; 利用方式改变可极大地影响砂质土壤中有机碳、氮和磷的形态及其在不同大小团聚体中的分布。

**关键词:** 利用方式; 砂质土壤; 颗粒态有机碳和养分; 团聚体

## Chemical Forms and Distributions of Organic Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Sandy Soil Aggregate Fractions as Affected by Land Uses

ZHANG Ming-kui, ZHENG Shun-an, WANG Li-ping

(*Department of Natural Resource Science, College of Natural Resource and Environmental Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029*)

**Abstract:** 【Objective】 It is recognized that cultivation strongly affects important ecosystem processes such as biomass accumulation, and thus changes cycles of C and nutrients in soils. However, changes of organic C, N and P distributions in fractions of different sizes in sandy soils after deforestation is insufficiently understood. 【Method】 In this study, chemical forms and distribution of organic C, N, and P in aggregates of different sizes in a sandy Spodosols with three land uses in Florida were assessed. The three land uses were: (1) undisturbed natural forest, (2) 15-25 year citrus groves, and (3) 15-25 year vegetable farms. 【Result】 The organic C concentration in surface soils (0-15 cm) was significantly higher under natural forest (24.8 g·kg<sup>-1</sup>) compared to the citrus groves (8.1 g·kg<sup>-1</sup>) and vegetable farms (5.1 g·kg<sup>-1</sup>). After deforestation, vegetable farms and citrus groves depleted soil organic C pool by 79% and 67%, and soil N by 64% and 31%. Soil C : N ratios were lower in agricultural soils (11-19) than that in forest soils (25-37). The decrease of the particulate organic C (POM-C) was more significant than that of other organic C (non-particulate organic C). The proportions of POM-C in the total C were 69.1%, 41.0%, and 12.5%, respectively, in forest, citrus and vegetable soils. In forest soils, organic C and total N were mainly distributed in the > 0.5 mm and 0.25-0.5 mm aggregate fractions. In

收稿日期: 2006-11-02; 接受日期: 2007-01-04

基金项目: 国家自然科学基金(40471064)

作者简介: 章明奎(1964), 男, 浙江绍兴人, 教授, 博士, 研究方向为土壤与环境。Tel: 0571-86946076; E-mail: mkzhang@zju.edu.cn

vegetable and citrus soils, organic C and total N were mainly distributed in the 0.25-0.5 mm and 0.053-0.125 mm aggregate fractions. Among the five aggregate fractions, total P was the highest in the >0.5 mm and <0.053 mm aggregate fractions. Phosphorus accumulated mainly as HCl-P in the agricultural soils, whereas NaOH-OP (organic P) and H<sub>2</sub>O-P was major P forms in the forest soils. 【Conclusion】The study indicated that the transformation of forest land to cultivated land could weaken the accumulation of C and N in sandy soils. The deforestation could affect greatly the forms of organic C, N and P, and their distribution in aggregate fractions of sandy soils.

Key words: Land use; Sandy soil; Particulate organic matter; Nutrients; Aggregate fraction

## 0 引言

【研究意义】土壤中的碳、氮和磷既是土壤质量的核心,也是营养元素生物地球化学循环的重要组成部分,其数量和形态对土壤的物理、化学和生物学特征有很大的影响,并直接影响和控制着植物的生物产量,它也是土壤质量评价和土地可持续利用管理必须考虑的重要指标。因此,了解不同环境下土壤碳、氮和磷的动态变化及其控制过程是科学管理土壤的前提。【前人研究进展】近年来的研究表明,土地利用方式的改变可影响土壤的功能和性质,林地开垦为农地可使土壤有机碳贮量和土壤养分发生显著的变化<sup>[1~14]</sup>。Angers等<sup>[1]</sup>和 Celik<sup>[4]</sup>都认为,不同土地利用方式因耕作方式和强度的不同,影响了有机碳和氮素的矿化速率和碳、氮在土壤中的积累。Del Galdo等<sup>[5]</sup>的研究发现,利用方式对不同有机碳组分的影响是不同的。Franzluebbers和 Arshad<sup>[8]</sup>研究也发现,土壤中颗粒状有机质对利用方式的影响较为敏感,易随土地利用方式的改变而发生变化。Dieckow等<sup>[6]</sup>的研究认为,利用方式影响了土壤养分的投入与输出,从而改变了土壤的养分平衡。中国学者的研究也表明,土壤质量受土地利用方式和耕作措施的强烈影响<sup>[15]</sup>,将自然土壤转变为耕作土壤会导致土壤碳库的迅速下降<sup>[16,17]</sup>,肥料的施用将改变土壤系统中物质的循环<sup>[18]</sup>。耕作导致土壤有机碳损失与多方面因素有关,其中农业活动改变了土壤团聚体的稳定性而加速土壤有机质的分解、有机物质输入减少改变了土壤有机质的平衡、林地开垦为农地增加了溶解态与颗粒态有机碳淋失或转移,这些可能是土壤有机碳减少的主要原因<sup>[19~27]</sup>。

【本研究的切入点】目前有关土地利用对土壤有机碳、氮和磷的影响主要涉及这些元素总量的变化方面<sup>[20,28~32]</sup>,对土壤有机碳、氮和磷的化学形态变化的影响和对它们在不同团聚体中分布影响的研究较少,因而限制了有关土地利用方式的改变对土壤碳、氮和磷的动态变化过程、影响因素和机理的深入了解。【拟

解决的关键问题】佛罗里达州是美国农业开发较迟的一个地区,其土地开发为农业利用只有100年的历史,较大规模的土壤开发主要出现在20世纪60年代以后。该区自然植被主要为湿地松,现有农地是由林地开垦后形成的,主要用于种植果树和蔬菜。由于该州的生态环境较为脆弱,主要土壤为砂质土壤,因此林地开垦转化为农用地后是否会对生态环境产生不良影响和农业是否可持续发展一直是人们所关心的一个问题。砂土因缺乏胶结物质,利用方式的改变对其理化性质的影响可能更为明显。为了了解林地转化为农地后对这一地区土壤的有机碳、氮和磷的影响,笔者比较了林地、桔园和蔬菜地等3种主要土地利用方式下砂质土壤不同粒级团聚体有机碳、氮和磷的化学形态和分布规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品和团聚体分组

研究土样共12个,包括原始林地、桔园和蔬菜地等3种土地各4个表层土样,分别采自佛罗里达州 St. Lucie 县的自然林地、商业桔园和蔬菜生产基地。研究区地势低平,坡度小于3°,地下水位埋深在1m左右。自然林地的植被为湿地松,受人为活动影响较小,不施用任何肥料。桔园种植的植物为葡萄柚,不耕作,氮肥和磷肥的年用量分别在142~180和18~37 kg·ha<sup>-1</sup>。蔬菜地在每年9月至第二年5月种植青椒,6~8月休闲,每年在种植蔬菜前和收获后各耕作一次,氮肥和磷肥的年用量分别在274~393和67~103 kg·ha<sup>-1</sup>之间。研究土壤类型均属灰壤,土样采集深度为0~15 cm。每个土样由采样地(农场)的5~10个分样混合而成。供试桔园和蔬菜地利用时间为15~25年,林地土样采自以上有关农场附近(离农场距离50~100 m)。土样经室内风干后,部分土样用筛分法对团聚体进行分组。供试土壤粘粒和粉砂含量很低,土壤颗粒之间的胶结较弱,而土壤养分的水溶性较大,任何涉及化学物质的预处理都可能对养分状况产生很

大的影响。为了避免颗粒分组对土壤氮和磷组分的影响, 本文采用干筛法对团聚体进行分组, 方法如下: 把孔径分别为 1 mm、0.5 mm、0.25 mm 和 0.125 mm 的 4 个系列土筛由上至下套合, 放置在一无孔的底盆上, 称一定量的风干土于最上面的土筛中, 加盖后用人工手筛方法把风干土筛分为 5 个粒组, 即 >1.00、1~0.5、0.5~0.25、0.25~0.125 和 <0.125 mm。经筛分的各类团聚体分别计重, 用于土壤有机 C、氮和磷的分析。

### 1.2 颗粒态有机质的分离

颗粒态有机质 (POM) 是指粒径在 0.053 mm 以上的有机质<sup>[8]</sup>, 采用悬浮法分离<sup>[8]</sup>, 方法如下: 称土样 100 g 于 1 000 ml 塑料瓶中, 加蒸馏水 500 ml, 并加入 20 颗玻璃珠, 加盖在 25°C 下振荡 16 h 进行机械分散后 (振荡速度为 r/min), 用 0.053 mm 土筛把土粒分为 >0.053 mm 和 <0.053 mm 两部分。根据 POM 与土壤矿物质密度的差异, 用蒸馏水反复悬浮 POM, 把 POM 从 > 0.053 mm 粒级中与矿质部分分离。分离得到的 POM 样品经 45°C 以下烘干后分别计重。

### 1.3 理化分析

土壤颗粒组成用微吸管法测定。土壤 pH 用 Accumet Model 50 型 pH 计测定 (土水比为 1:1)。土壤和 POM 组分中有机碳与总氮含量用德国产的 Vario MAX CN Macro Elemental Analyzer 型元素分析仪测定。对土壤和团聚体中有机碳和氮的分析结果表明, 根据各团聚体百分组成和其中的碳、氮含量计算的土壤碳和氮含量 (计算值) 分别约为土壤碳和氮实测值的 97.3%~98.6% 和 96.4%~99.1%, 平均值分别为 97.9% 和 97.6%, 因此二者较为接近。为了便于比

较, 文中在计算碳和氮素在各团聚体中分配时, 以各粒径团聚体中碳和氮加权和 (即土壤有机碳和氮素的计算值) 为基础。

土壤磷的形态用 Hedley 等<sup>[33]</sup>方法分级。提取步骤: 称 0.5 g 风干土样置于 100 ml 离心管中, 顺次用 30 ml 去离子水、0.5 mol·L<sup>-1</sup>NaHCO<sub>3</sub> (pH 8.2)、0.1 mol·L<sup>-1</sup>NaOH 和 1 mol·L<sup>-1</sup>HCl 分别提取。每次提取振荡时间为 16 h, 每次提取后用离心和过滤分离悬液。去离子水、HCl 提取物中的磷用比色法直接测定; NaHCO<sub>3</sub> 和 NaOH 的提取物中的磷包括有机磷和无机磷 2 种形态, 用钼兰直接比色法测定溶液中无机磷含量, 经过硫酸铵-硫酸消化后用比色法测定溶液中的总磷, 二者的差值为有机磷含量。残余态磷用土壤总磷与以上各种可提取磷的总和差值计算。该方法共把土壤中磷分为水溶性磷 (H<sub>2</sub>O-P)、NaHCO<sub>3</sub> 可提取的无机磷 (NaHCO<sub>3</sub>-Pi)、NaHCO<sub>3</sub> 可提取的有机磷 (NaHCO<sub>3</sub>-Po)、NaOH 可提取的无机磷 (NaOH-Pi)、NaOH 可提取的有机磷 (NaOH-Po)、HCl-P 和残余态磷等 7 种磷形态。其中水溶性磷和 NaHCO<sub>3</sub> 可提取的磷有较高的生物有效性, NaOH 可提取的磷和 HCl-P 在一定条件下也可逐渐释放, 残余态磷较为稳定。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤 pH 和颗粒组成

农业土壤的 pH 高于林业土壤 (表 1), 这与土壤农后施用石灰性物质有关。3 种利用方式土壤的颗粒组成接近, 粗砂 (0.25~2 mm)、细砂 (0.02~0.25 mm)、粉砂 (0.002~0.02 mm) 和粘粒 (<0.002 mm) 含量分别为 689~700、250~261、15~21 和 30~34 g·kg<sup>-1</sup>。

表 1 供试土壤的 pH 和颗粒组成 (n=4)

Table 1 pH and particle size distribution of the tested soils

利用方式 Land use	pH (H <sub>2</sub> O)	颗粒组成 Distribution of particle size (g·kg <sup>-1</sup> )			
		2~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm
蔬菜地 Vegetable farms	7.72 (0.11) <sup>1)</sup> a <sup>2)</sup>	689 (50) a	261 (46) a	15 (8) a	34 (9) a
桔园 Citrus groves	6.61 (0.42) ab	700 (12) a	250 (6) a	21 (8) a	30 (6) a
林地 Natural forest	6.21 (0.32)b	692 (36) a	254 (24) a	21 (6) a	33 (7) a

<sup>1)</sup>平均 (标准差); <sup>2)</sup>同一列中平均值后有相同字母表示二者差异不显著 ( $P<0.05$ )。下同

<sup>1)</sup> Mean (Standard deviation); <sup>2)</sup> Mean values within a column with the same letter(s) are not significantly different at  $P=0.05$  probability level, statistical comparisons were made between different land use with same soil property. The same as below

### 2.2 团聚体的分布

所有土壤干筛团聚体主要由以 0.25~0.5 mm 粒组组成, 占土壤总重的 50% 以上 (表 2)。虽然供试

土壤的颗粒组成无显著的差异, 但利用方式对土壤干团聚体的组成仍有一定的影响。>0.5 mm 团聚体林地土壤 > 桔园土壤 > 蔬菜地土壤, 林地土壤 > 0.5 mm

团聚体的含量约为其它两类土壤的 3~7 倍。但 0.053~0.125 mm 和 <0.053 mm 团聚体含量则以蔬菜

地土壤最高，林地土壤最低。这一结果表明，林地开垦为农地后土壤中大粒径团聚体向较小粒径转化。

表 2 利用方式对干团聚体的影响 ( $n=4$ )

Table 2 Effects of land use on the distribution of dry aggregates

利用方式 Land use	团聚体分布 Distribution of aggregates ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )				
	>0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.125 mm	0.125~0.053 mm	<0.053 mm
蔬菜地 Vegetable farms	18.6 (6.3) <sup>1)</sup> c <sup>2)</sup>	543.8 (94.0) b	231.3 (26.0) a	194.7 (74.7) a	11.5 (2.3) a
桔园 Citrus groves	44.5 (10.1) b	720.4 (3.4) a	130.8 (5.8) b	111.9 (21.3) b	8.0 (1.1) b
林地 Natural forest	133.7 (43.4)a	630.0 (63.3)b	179.9 (89.3) ab	52.7 (4.7) c	3.7 (2.3) c

### 2.3 土壤有机碳和氮

林地、桔园和蔬菜地土壤的有机碳平均含量分别为 24.8、8.1 和 5.1  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，林地、桔园和蔬菜地土壤的全氮含量平均分别为 1.06、0.73 和 0.38  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。结果表明，林地开垦为蔬菜地后，有机碳和全氮含量平均分别下降了 79% 和 64%，开垦为桔园后，土壤有机碳和总氮含量平均分别下降了 67% 和 31%。有机碳含量的下降比总氮更为显著，其原因可能与农业土壤中经常施用氮肥有关。Post 和 Mann<sup>[34]</sup>的研究也发现，耕作引起土壤碳的损失比例(23%)一般高于氮(8%)。图 1 表明，有机碳和氮的含量一般以 >0.5 mm 和 <0.053 mm 粒组最高，但含量随土地利用方式改变有很大的变化。除 0.053~0.125 mm 粒组外，各团聚体中有机碳平均含量一般是林地土壤>桔园土壤>蔬菜地土壤，这与土壤全碳变化一致。全氮的变化与有机

碳的变化不同，尽管土壤全氮是林地土壤>桔园土壤>蔬菜地土壤，但 <0.053 mm 和 0.053~0.125 mm 两组团聚体中最高氮含量出现在桔园土壤中。各类团聚体中 C/N 比均是林地土壤>桔园土壤>蔬菜地土壤(图 1)。3 种土地利用方式之间土壤有机碳和氮素含量的差异与耕作和有机质的输入有关。蔬菜地在 3 类土地利用方式中耕作最为频繁，有机碳矿化损失量最大，影响了土壤有机碳和氮素的积累。而桔园土壤受耕作影响相对较小，因此它比蔬菜地土壤含有较高的有机碳和氮含量。林地土壤不受耕作的影响，并有较高的有机质输入，因此它的有机碳和氮素的积累较为明显。另外，<0.053 mm 团聚体中含较高的有机碳和氮，显然与该组分有较高的粘粒，易与有机碳形成复合体有关；而 >0.5 mm 团聚体中含有较多的碳和氮可能与该组团聚体包含较多的半分解有机残体有关。

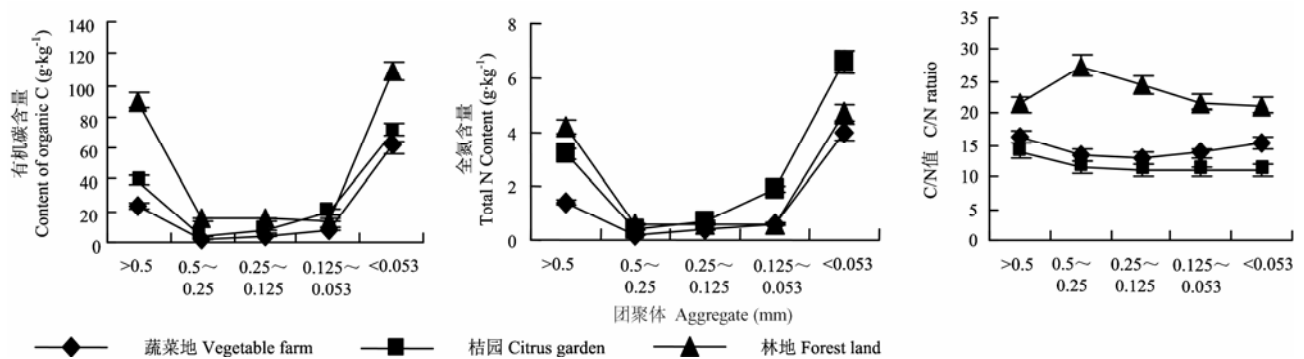


图 1 不同粒径团聚体中有机碳和氮含量及 C/N 比 ( $n=4$ )

Fig. 1 Contents of organic C and total N, and C/N ratio in aggregates with different size

不同粒级团聚体中有机碳和氮的分布因利用方式不同而有所变化(表 3)。林地土壤的有机碳和氮主要分布在 >0.5 mm 和 0.25~0.5 mm 两个粒级团聚体中，该两个粒级团聚体中的有机碳和氮的含量总和占土壤

总有机碳和氮的比例分别为 86.2% 和 85.8%。蔬菜地和桔园土壤的有机碳和氮主要分布在 0.25~0.5 mm 和 0.053~0.125 mm 两个粒级团聚体中，其中 0.25~0.5 mm 粒级团聚体中有机碳和氮约占土壤总有机碳和氮的 1/3。

表 3 不同粒级团聚体中碳和氮占土壤总碳和氮的分布 ( $n=4$ )

Table 3 Contribution of C and N in different size aggregates to total C and N in the soils

利用方式 Land use	团聚体 Aggregate (mm)				
	>0.5	0.5~0.25	0.25~0.125	0.125~0.053	<0.053
占土壤有机碳总量的比例 Proportions in the total soil C(%)					
蔬菜地 Vegetable farms	7.01 (1.27) c	30.99 (8.09) b	20.45 (1.97) a	27.99 (6.19) a	13.56 (2.93) a
桔园 Citrus groves	18.05 (4.42) b	38.30 (2.98) a	11.23 (2.60) b	23.43 (2.56) a	8.98 (4.80) b
林地 Natural forest	46.36 (8.95)a	39.81 (6.37) a	9.36 (3.00) b	2.78 (0.93) b	1.70 (1.19) c
占土壤总氮量的比例 Proportions in the total soil N (%)					
蔬菜地 Vegetable farms	5.84 (0.92) c	31.81 (9.77) b	21.72 (1.29) a	28.54 (7.20) a	12.09 (2.40) a
桔园 Citrus groves	15.82 (5.41) b	38.70 (0.93) a	11.54 (2.29)b	24.77 (2.29) a	9.17 (4.37) a
林地 Natural forest	51.03 (10.09) a	34.76 (6.50) ab	9.45 (4.15)c	2.97 (0.87) b	1.80 (1.15) b

## 2.4 颗粒态有机质

颗粒态有机碳是一类腐殖化程度较低、活性较高和更新速率较快的有机碳库，在土壤碳、氮和硫循环中有着重要的作用，其数量可较好地反映人类活动对土壤有机质的影响<sup>[8]</sup>。与土壤总有机碳相似，颗粒态有机质含量也是林地土壤>桔园土壤>蔬菜地土壤。但利用方式之间颗粒态有机碳含量的差异比总有机碳更为明显，用物理方法分离获得的林地土壤、桔园土壤和蔬菜地土壤颗粒态有机质的平均含量分别为 77.7、15.0 和 3.0  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (表 4)，对应的土壤颗粒态有机质形式的碳平均含量分别为 17.1、3.32 和 0.64  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。颗粒态有机质形式碳 (POM-C) 和颗粒态有机质形式氮 (POM-N) 占土壤总有机碳和氮的比例：林

地土壤>桔园土壤>蔬菜地土壤 (表 4)，林地、桔园和蔬菜地土壤 POM-C 占土壤总有机碳的比例分别为 69.1%、41.0% 和 12.5%。林地、桔园和蔬菜地土壤非颗粒态有机碳 (土壤总有机质碳与 POM-C 的差值) 含量差异较小，平均分别为 7.66、4.78 和 4.46  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这一结果说明，耕作优先对颗粒态有机碳产生影响。

从土壤中分离获得的颗粒态有机质中有机碳和氮的含量也随土地利用方式而异 (表 5)，并以桔园土壤的颗粒态有机质中有机碳和氮的含量为最高。林地土壤颗粒态有机质的 C/N 显著高于蔬菜地和桔园土壤。蔬菜地和桔园土壤的颗粒态有机质包含较高的氮素，与这些土壤长期施用氮肥有关。

表 4 土壤中颗粒态有机质 (POM) 含量、颗粒态有机质形态碳 (POM-C) 和氮 (POM-N) 占土壤总有机碳和总氮的比例 ( $n=4$ )

Table 4 Content of particulate organic matter(POM), ratios of POM-C to total C and POM-N to total N in the soils as affected by land use

利用方式 Land use	POM ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	POM-C/总碳 (%)	POM-C/Total C	POM-N/总氮 (%)	POM-N/Total N
蔬菜地 Vegetable farms	3.0 0(0.47)	12.5 (2.7) c		10.5 (2.2) b	
桔园 Citrus groves	15.0 (8.3) b	41.0 (12.0) b		37.1 (15.2) a	
林地 Natural forest	77.7 (19.8)a	69.1 (11.9) a		49.8 (10.2) a	

表 5 不同利用方式土壤颗粒态有机质中碳和氮的含量 ( $n=4$ )

Table 5 Contents of C and N in particulate organic matter separated from soils with different land uses

利用方式 Land use	C ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	N ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	C/N
蔬菜地 Vegetable farms	210.1 (12.8) b	13.13 (2.14) b	16.35 (1.93) b
桔园 Citrus groves	251.8 (31.8) a	19.06 (4.78) a	14.02 (3.49) c
林地 Natural forest	231.5 (19.0)ab	6.95 (0.89) c	33.88 (5.40) a

## 2.5 磷素

与有机碳和氮不同, 所有团聚体中磷含量均是: 蔬菜地土壤>桔园土壤>林地土壤(表 6), 桔园土壤和蔬菜地土壤磷含量约为林地土壤的数倍至数十倍, 这显然与蔬菜地和桔园长期施用磷肥有关。在研究的 5 个粒径的团聚体中, >0.5 mm 和<0.053 mm 等 2 类团聚体中磷含量最高。<0.053 mm 团聚体中含较高的磷量与该组分包含较高的粘粒和有机碳有关, 而>0.5 mm 粒组中较高的磷含量可能与林地土壤中该组分含较高的有机碳、桔园和蔬菜地土壤该组分

含因施肥引入的残留石膏有关。石膏是该地区农业土壤常用的改良剂, 有机碳和石膏是砂质土壤磷固定的重要土壤组分。

尽管林地土壤含磷含量最低, 但其水可溶态磷( $H_2O-P$ )占总磷的比例较高, 表明林地土壤有较高比例的有效磷。农业土壤中磷主要以  $HCl-P$  形态积累(表 7), 但林地土壤磷的形态主要为  $NaOH-OP$ (有机磷)。除>0.5 mm 粒级外, 各粒级中  $NaOH-IP$  和  $NaHCO_3-IP$ (无机磷)均是农业土壤高于林业土壤。

表 6 不同团聚体组分中磷的全量 ( $n=4$ )

Table 6 Content of P in aggregates with different size

利用方式 Land use	磷含量 Content of P ( $mg \cdot kg^{-1}$ )				
	>0.5mm	0.5~0.25mm	0.25~0.125mm	0.125~0.053mm	<0.053mm
蔬菜地 Vegetable farms	1498 (203) a	170 (28) a	258 (34) a	519 (46) a	4016 (452) a
桔园 Citrus groves	1341 (125) a	24.3 (8.4) b	54.1 (17.0) b	355 (38) b	1741 (174)b
林地 Natural forest	154 (32) b	13.2 (3.6) c	19.6 (5.6) c	19.9 (4.5) c	249 (54) c

表 7 利用方式对不同粒级团聚体磷形态的影响

Table 7 Effects of land use on P forms in aggregates with different size

团聚体 Aggregate (mm)	利用方式 Land use	各形态磷所占比例 Percentage (%)						残余态磷 Residual P
		$H_2O-P$	$NaHCO_3-IP$	$NaHCO_3-OP$	$NaOH-IP$	$NaOH-OP$	$HCl-P$	
>0.5	蔬菜地 Vegetable farms	4.9b <sup>1)</sup>	15.8a	0.2c	7.5b	1.5c	36.2a	33.9a
	桔园 Citrus groves	3.5c	7.8b	2.7b	12.0a	3.6b	35.4a	35.0a
	林地 Natural forest	16.4a	4.8c	7.3a	2.7c	30.4a	2.0b	36.4a
0.5~0.25	蔬菜地 Vegetable farms	9.8b	25.2a	1.9b	23.3a	3.2c	23.4a	13.2c
	桔园 Citrus groves	8.5b	11.9b	8.6a	18.2b	6.8b	21.0a	25.0a
	林地 Natural forest	26.1a	14.3b	5.4a	14.4c	18.5a	2.1b	19.2b
0.25~0.125	蔬菜地 Vegetable farms	8.0b	20.3a	0.9b	28.9a	2.9c	26.1a	12.8c
	桔园 Citrus groves	6.4c	10.9c	4.8a	18.1b	9.2b	19.9b	30.6a
	林地 Natural forest	23.6a	16.9b	4.5a	15.2b	15.8a	3.4c	20.6b
0.125~0.053	蔬菜地 Vegetable farms	6.4b	22.3a	1.5b	24.3a	4.2c	27.4a	15.8c
	桔园 Citrus groves	5.0b	11.7b	5.4a	17.6b	7.9b	18.9b	34.5a
	林地 Natural forest	27.4a	11.0b	0.3c	16.1b	18.2a	4.1c	22.9b
<0.053	蔬菜地 Vegetable farms	2.2b	14.4a	1.5c	29.4a	5.1b	33.9a	13.5c
	桔园 Citrus groves	1.5b	9.5b	2.0b	17.8b	6.7b	19.5b	43.0a
	林地 Natural forest	17.2a	8.1b	5.1a	2.1c	27.8a	2.4c	37.4b

## 3 讨论

近几年来, 不合理的土地利用所引起的生态环境问题日益突出, 土地利用变化的生态效应研究开始受到人们的关注。土地利用是人类为了社会经济目的而进行的生物和技术活动, 是对土地的经营。该经营包

括了对土地生物物理属性的控制利用措施。因此, 土地利用可以改变土地覆被状况并影响许多生态过程。本研究的结果表明, 林地开垦转化为农业用地后, 土壤有机碳和氮素分别比林地降低了 67%~79% 和 31%~64%, 这与 Bowman 等<sup>[35]</sup>的研究结果基本一致, 他们对干旱土地系统研究也表明, 由自然植被转变为

农业用地后土地有机碳在 40~50 a 内减少到原土壤的 30%~50%。有机碳和氮素的下降显然与利用方式改变影响了土地覆被状况有关。由耕作引起的土壤有机碳和氮的损失可能涉及以下两个过程: (1) 由于土壤团聚结构被破坏及土壤温度和湿度状况发生变化所引起的氧化和矿化过程。表 2 结果表明, 林地开垦为农业用地后, >0.5 mm 的团聚体迅速下降; 而美国佛罗里达州土壤砂性强, 保肥性差, 土壤缺乏无机胶体保护有机物质, 使有机物质的氧化和矿化作用大大加剧。而积累在研究土壤中的有机碳主要以 POM 形态存在, 这也在一定程度上促进了土壤有机物质的分解。

(2) 可溶性有机碳或颗粒态有机碳的淋溶和迁移过程。佛罗里达州雨量大, 暴雨多, 林地砍伐后, 地表裸露, 促进了水土流失, 使有机碳和氮素随之流失。本研究的结果也表明, 由林地开垦转化为农业用地后, 土壤颗粒态有机质迅速下降, 这可能与 POM 较矿物质轻, 易随地表径流流失有一定的关系。

研究林地土壤中有机碳和氮素主要分布在 >0.5 mm 和 0.25~0.5 mm 两个粒级的团聚体中, 与林地土壤有机质组成特点及土壤性质有关。研究林地土壤的有机质主要由 POM 组成, 它是枯枝落叶的半分解产物。由于这些半分解产物颗粒的粒径相对较大, 主要分布在 >0.5 mm 和 0.25~0.5 mm 两个粒级的团聚体中, 因此林地土壤的有机碳和氮素主要分布在 >0.5 mm 和 0.25~0.5 mm 两类团聚体中。而林地开垦转变为农业用地后, 大团聚体(特别是 >0.5 mm 的团聚体)中有机碳和氮素比例明显下降, 而小粒径团聚体(<0.25 mm)的有机碳和氮呈增加趋势, 显然与耕作破坏了大团聚体、降低了大团聚体中的 POM 等有关。

与碳、氮不同, 磷在正常情况下不会以气体方式损失, 且磷在土壤中的迁移性相对较弱, 因此磷在研究土壤中和团聚体中的分布特点与有机碳和氮有较大的差异。土壤中的磷除来源于成土母质外, 主要是通过人为活动引入土壤中的。研究区土壤砂性较强, 原始土壤中磷的含量很低, 但由于土壤缺乏铁、铝氧化物和碳酸钙等物质, 使原始土壤中的磷生物有效性较高, 大部分参与了生物循环, 因此林地土壤中的有机态磷和水溶性磷均较高。而当林地开垦为农业用地后, 土壤中的磷远远不能满足农作物生长的需要, 需要施用大量的磷肥才能保证农作物正常生长。而频繁施用磷肥大大促进了土壤中磷素的积累。由于研究土壤缺乏无机胶体, 农用后土壤有机质积累较少, 因此进入土壤中的磷主要以有效性较高的  $H_2O-P$ 、

$NaHCO_3-IP$  或其它无机磷 ( $HCl-P$ 、 $NaOH-OP$ ) 形式存在。

## 4 结论

由原始林地转变为农业用地可显著地影响砂质土壤有机碳、氮和磷库。林地转变为蔬菜地和桔园, 土壤有机碳分别下降 79% 和 67%, 土壤氮分别下降 64% 和 31%。农业土壤 C/N 比(11~19)低于林业土壤(25~37)。颗粒态有机质形式的碳的下降幅度明显高于非颗粒态有机碳。林业土壤中有有机碳和氮主要分布在 >0.5 mm 和 0.25~0.5 mm 两个粒组中, 而蔬菜地和桔园土壤中有有机碳和氮主要分布在 0.25~0.5 mm 和 0.053~0.125 mm 等两个粒组中。在分离的 5 个粒组中, >0.5 mm 和 <0.053 mm 两个粒组磷含量最高。农业土壤中磷主要以  $HCl-P$  形态积累, 而林业土壤中主要的磷形态为  $NaOH-OP$  (有机磷) 和  $H_2O-P$ 。本研究结果证实了由原始林地转变为农业用地不利于砂质土壤有机碳和氮的积累。

## References

- [1] Angers D A, N'dayegamiye A, Cote D. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Science Society of American Journal*, 1993, 57: 512-516.
- [2] Billings S A. Soil organic matter dynamics and land use change at a grassland/forest ecotone. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 2934-2943.
- [3] Chan K Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 1376-1382.
- [4] Celik I. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil & Tillage Research*, 2005, 83: 270-277.
- [5] Del Galdo I, Six J, Peressotti A, Cotrufo M F. Assessing the impact of land-use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. *Global Change Biology*, 2003, 9: 1204-1213.
- [6] Dieckow J, Mielniczuk J, Knicker H, Bayer C, Dick D P, Kogel-Knabner I. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS C-13 NMR spectroscopy. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56: 705-715.
- [7] Enters D, Lucke A, Zolitschka B. Effects of land-use change on deposition and composition of organic matter in Frickenhauser See,

- northern Bavaria, Germany. *Science of the Total Environment*, 2006, 369: 178-187.
- [8] Franzluebbers A J, Arshad M A. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 1382-1386.
- [9] Lal R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics vs. temperate environments. *Advance in Agronomy*, 1989, 42: 1073-1082.
- [10] Maloney K O, Mulholland P J, Feminella J W. Influence of catchment-scale military land use on stream physical and organic matter variables in small southeastern plains catchments (USA). *Environmental Management*, 2005, 35: 677-691.
- [11] Mendham D S, Mathers N J, O'Connell A M, Grove T S, Saffigna P G. Impact of land-use on soil organic matter quality in south-western Australia-characterization with C-13 CP/MAS NMR spectroscopy. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34: 1669-1673.
- [12] Mills A J, Fey M V. Declining soil quality in South Africa: effects of land use on soil organic matter and surface crusting. *South African Journal of Science*, 2003, 99: 429-436.
- [13] Motavalli P P, Discekici H, Kuhn J. The impact of land clearing and agricultural practices on soil organic C fractions and CO<sub>2</sub> efflux in the Northern Guam aquifer. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2000, 79: 17-27.
- [14] Sano S, Yanai J, Kosaki T. Relationships between labile organic matter and nitrogen mineralization in Japanese agricultural soils with reference to land use and soil type. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2006, 52: 49-60.
- [15] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 潘庆民. 土地利用变化对陆地生态系统碳贮量的影响. *应用生态学报*, 2003, 14: 1385-1390.  
Yang J C, Han X G, Huang J H, Pan Q M. Effects of land use change on carbon storage in terrestrial ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14: 1385-1390. (in Chinese)
- [16] 朱咏莉, 韩建刚, 吴金水. 农业管理措施对土壤有机碳动态变化的影响. *土壤通报*, 2004, 35: 648-651.  
Zhu Y L, Han J G, Wu J S. Effect of agricultural practices on soil organic carbon dynamics. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35: 648-651. (in Chinese)
- [17] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响—以河北省遵化市为例. *地理学报*, 2001, 56: 447-455.  
Guo X D, Fu B J, Chen L D, Ma K M, Li J R. Effects of land use on soil quality in a hilly area—a case study in Zunhua country of Hebei province. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56: 447-455. (in Chinese)
- [18] 周卫军, 王凯荣, 张光远, 谢小立. 有机与无机肥配合对红壤稻田系统生产力及其土壤肥力的影响. *中国农业科学*, 2002, 35: 1109-1113.  
Zhou W J, Wang K R, Zhang G Y, Xie X L. Effects of inorganic-organic fertilizer incorporation on productivity and soil fertility of rice cropping system in red soil area of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35: 1109-1113. (in Chinese)
- [19] Haynes R J, Dominy C S, Graham M H. Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2003, 95: 453-464.
- [20] Lal R. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Boca Raton: CRC Press, 1998.
- [21] Lu G, Sakagami K, Tanaka H, Hamada R. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1998, 44: 147-155.
- [22] Merino A, Perez-Batallon P, Macias F. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use changes in a humid temperate region of southern Europe. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36: 917-925.
- [23] Riezebos H T, Loerts A C. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay. *Soil & Tillage research*, 1998, 49: 271-275.
- [24] Sevink J, Obale-Ebanga F, Meijer H A J. Land-use related organic matter dynamics in North Cameroon soils assessed by C-13 analysis of soil organic matter fractions. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56: 103-111.
- [25] Solomon D, Lehmann J, Zech W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2000, 78: 203-213.
- [26] Young R G, Hurn A D. Effects of land use on stream metabolism and organic matter turnover. *Ecological Applications*, 1999, 9: 1359-1376.
- [27] Vreeken-Buijs M J, Hassink J, Brussaard L. Relationships of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30: 97-106.
- [28] Chantigny M H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma*, 2003, 113: 357-380.
- [29] Glaser B, Turrion M B, Solomon D, Ni A, Zech W. Soil organic matter quantity and quality in mountain soils of the Alay Range,



- Kyrgyzia, affected by land use change. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 31: 407-413.
- [30] Kalbitz K. Properties of organic matter in soil solution in a German fen area as dependent on land use and depth. *Geoderma*, 2001, 104 (3-4): 203-214.
- [31] Neufeldt H, Resck D V S, Ayarza M A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma*, 2002, 107 (3-4): 151-164.
- [32] Pulleman M M, Bouma J, van Essen E A, Meijles E W. Soil organic matter content as a function of different land use history. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 689-693.
- [33] Hedley M J, Steward J W B, Chauhan B S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, 1982, 46: 970-976.
- [34] Post W M, Mann L K. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation. In: Bouwman A F. *Soils and the Greenhouse Effect*. New York: John Wiley, 1990: 401-407.
- [35] Bowman R A, Vigil M F, Nielsen D C, Anderson R L. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63: 186-191.

(责任编辑 吴晓丽)