

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2017.04.014

## 山核桃林坡地氮磷流失年动态规律初步研究

王 莺<sup>1</sup>, 陆荣杰<sup>1</sup>, 吴家森<sup>1</sup>, 童志鹏<sup>2</sup>, 姜培坤<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院 浙江 临安 311300; 2. 临安市林业局 浙江 临安 311300)

**摘要:** 2016年6月至2017年5月,在浙江省临安市山核桃林闭合区底部沟壑出口处设置水土流失卡口,监测山核桃林坡面氮磷径流的年动态变化。结果表明,(1)山核桃林坡面径流量和降水量存在显著的线性正相关( $y = 1.3510x + 126.0405$ ,  $R^2 = 0.7979$ ),降水量越大,产生的径流量越大;(2)径流总氮(TN)浓度在 $2.50 \sim 3.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,硝态氮( $\text{NO}_3^- \text{-N}$ )浓度变化幅度为 $0 \sim 2.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,TN和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度的在6-8月呈递增趋势,而后下降,并保持相对稳定;径流氮元素浓度较高。(3)径流总磷(TP)浓度变化范围为 $0.01 \sim 0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}$ )浓度变化幅度为 $0.01 \sim 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,径流磷元素浓度较低。

**关键词:** 山核桃;径流;氮;磷;流失

中图分类号: S664.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2017)04-0077-05

## Preliminary Study on Annual Dynamics of Nitrogen and Phosphorus Losses at *Carya cathayensis* Stand on Slope

WANG Ying<sup>1</sup>, LU Rong-jie<sup>1</sup>, WU Jia-sen<sup>1</sup>, TONG Zhi-peng<sup>2</sup>, JIANG Pei-kun<sup>1</sup>

(1. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China;

2. Lin'an Forestry Bureau of Zhejiang, Lin'an 311300, China)

**Abstract:** A monitoring station was established in May 2016 at the closed zone of *Carya cathayensis* stand on slope in Lin'an, Zhejiang province, and investigation was carried out during June 2016 to May 2017 on annual changes of nitrogen and phosphorus losses. The results showed that it had significant linear positive correlation between runoff and precipitation ( $y = 1.3510x + 126.0405$ ,  $R^2 = 0.7979$ ), meaning that the greater precipitation, the greater runoff. The range of total nitrogen (TN) was  $2.54 - 3.47 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , of the nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ) concentration was  $0 - 2.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . TN and  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  concentration increased during June to August, then declined and remained relatively stable. The concentration of N in runoff was determined higher. The total phosphorus (TP) concentration ranged from 0.01 to 0.09  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , and phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) from 0.01 to 0.02  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . The concentration of P in runoff was determined lower.

**Key words:** *Carya cathayensis*; runoff; nitrogen; phosphorus; loss

山核桃 *Carya cathayensis* Sarg., 是中国特有的珍稀干果和木本油料树种,自然分布于浙、皖交界的天目山脉,现有种植面积 $9.30 \text{ 万 hm}^{2[1-2]}$ 。20世纪90年代初,随着人们生活水平的提高及对保健休闲产品需求的增加,山核桃产业的经济效益明显提高,极大地增强了农民培育山核桃的积极性,山核桃林下的灌木、草本被全面清

收稿日期: 2017-03-11 ; 修回日期: 2017-06-09

基金项目: 浙江省水土保持监测中心项目(ZSSJ/CG-201603018)

作者简介: 王莺,硕士研究生,从事水土保持研究; E-mail: 1245587787@qq.com。通信作者: 姜培坤,教授,从事土壤与环境学研究; E-mail: jiangpeikun@zafu.edu.cn。

除, 水土流失加剧, 地表土壤侵蚀程度在中强度以上<sup>[3-4]</sup>。

近年来, 大量学者针对山核桃林地土壤进行了较多研究, 吴家森等<sup>[5-7]</sup>系统研究了浙江省临安市山核桃产区土壤有机碳的分布特征、集约经营和生草栽培对林地土壤有机碳及微生物功能的影响。柏兆海等、赵伟明等<sup>[8-9]</sup>对山核桃林地土壤的磷素状况及其淋失风险进行了分析。蒋雯等<sup>[10]</sup>研究了山核桃林土壤养分的渗漏流失规律。小流域闭合区水土流失卡口监测站在一定尺度上完整地保持了自然降雨条件下的径流流动, 避免了径流小区观测放大林地侵蚀量的缺陷, 是研究水土流失较为理想的方法, 利用该方法研究山核桃林坡地径流氮磷流失特征还未见报道。因此, 本研究选取了典型山核桃林闭合区为研究对象, 利用卡口监测站研究整个水文年中不同月份氮磷养分流失规律, 为山核桃林地土壤水土流失监测和生态经营技术提供理论依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于浙江省临安市太阳镇武村(119°17' N, 30°18' E), 属于亚热带季风气候, 年平均气温 16℃, 年最高气温 39℃, 年最低气温 -6℃, 年降水量 1 613.9 mm, 降水主要集中在 3-9 月, 其中 3-6 月为梅雨季节, 7-9 月主要受台风影响产生暴雨, 年无霜期为 237 d。山核桃林密度 450 株·hm<sup>-2</sup>, 地坡度 25°, 树龄 32 a, 土壤主要是发育于板岩的岩性土, 土层平均厚度 30 cm, 土壤 pH 4.44~5.77, 碱解氮 71.51~96.33 mg·kg<sup>-1</sup>, 有效磷 1.02~3.77 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 56.77~95.48 mg·kg<sup>-1</sup>, 有机质 2.42%~5.70%。常规经营管理, 每年 5 月 15 日施用 150 kg·hm<sup>-2</sup> 复合肥, 为安徽省司尔特肥业股份有限公司生产的硫酸钾复合肥料, 养分含量指标(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O ≥45%, 15:15:15), 7-8 月喷施除草剂, 8 月中旬进行人工除草, 9 月上旬采收。

### 1.2 研究方法

1.2.1 卡口监测站概况 径流卡口监测站位于山核桃林“两山夹一沟”的山谷底部, 坡向西北, 于 2016 年 5 月修建, 同年 6 月正式启用。卡口站随山体高度修筑一高一低两级水泥沉沙池, 两个沉沙池之间用水泥墙隔挡, 一级沉沙池水泥墙隔挡径流, 进行初步沉降, 水泥墙底部设置排水管用于后期排水; 二级沉沙池水泥墙隔挡, 用于蓄水, 并在水泥墙体不同高度出水口处设置不同量程的水表记录产生的径流量。卡口监测站集水区面积为 6.40 hm<sup>2</sup>。

1.2.2 降水量监测 降水量数据来源于临安市气象监测中心。

1.2.3 径流样品氮磷分析 2016 年 6 月至 2017 年 5 月, 每次降水后采集径流样品, 带回实验室分析, 将样品分为 2 份, 1 份水样不抽滤, 用于测定总氮(TN)和总磷(TP)。TN 采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法, TP 采用过硫酸钾-钼锑抗比色法; 另一份过 0.45 μm 滤膜后测定硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)和磷酸盐(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 采用紫外分光光度法, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>采用钼锑抗比色法。

1.2.4 数据处理 根据每次降水后的径流量和径流氮磷浓度, 采用加权平均法计算出每月的氮磷平均浓度。采用 Microsoft Excel 2007 进行数据统计和处理, 采用 Origin 8.5 对数据进行作图分析以及采用 Pearson 法进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 山核桃林降水量与径流量

2016 年 6 月至 2017 年 5 月山核桃林地坡面径流量和降水量如图 1 所示。2016 年 6 月和 9 月的降水量分别为 327.10 mm 和 402 mm, 显著高于其他月份, 该期坡面径流量同样也达到了最高值, 分别为 541.56 t·hm<sup>-2</sup> 和 637.18 t·hm<sup>-2</sup>。可见, 降水量和径流量存在显著的相关性, 径流量的峰值均随着最大降水量出现。2016 年 10 月、11 月、12 月降水量连续减少, 同时径流量总体呈现递减的趋势, 2016 年 12 月至 2017 年 3 月降水量连续增加, 径流量总体呈现递增趋势。经 Pearson 相关分析表明, 山核桃林坡面径流量与降水量的相关性达显著正相关( $y =$

$1.35x + 126.04$ ,  $R^2 = 0.81$ ), 降水量越大, 产生的径流越大。

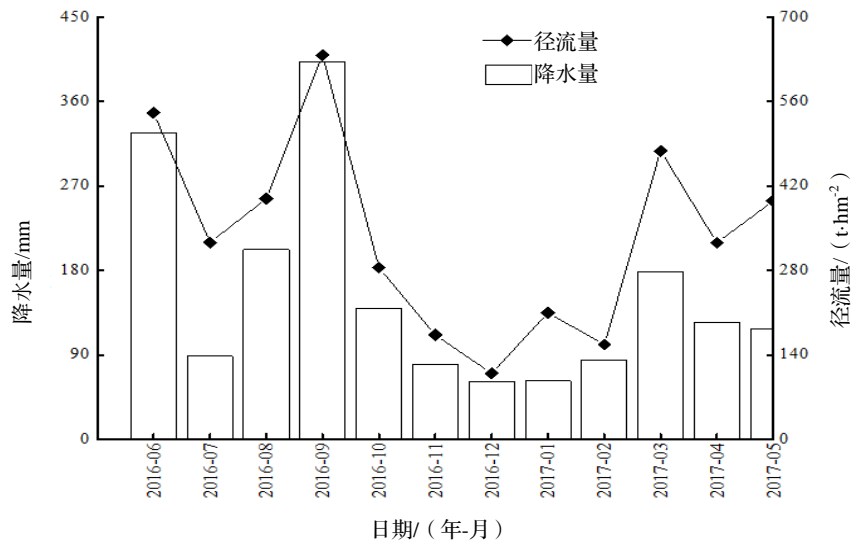


图 1 山核桃林降水量和径流量

Figure 1 Precipitation and runoff of the tested stand

2.2 山核桃林坡面径流氮素流失动态分析

2016 年 6 月至 2017 年 5 月, 山核桃林坡面径流氮素浓度的月变化见图 2。从图中可知, 径流 TN 浓度的变化范围为  $2.50 \sim 3.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 2016 年 6–8 月, TN 浓度连续增加到达峰值  $3.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 9 月后迅速减少; 2016 年 10–12 月浓度变化平稳, 2017 年 2 月 TN 浓度出现低谷  $2.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 而后保持相对稳定。径流  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  浓度变化波动较大, 总体在  $0 \sim 2.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内, 2016 年 6 月  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  浓度最低, 而后急剧上升, 8 月达到峰值  $2.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 2016 年 8 月至 2017 年 5 月,  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  浓度呈现波动趋势。

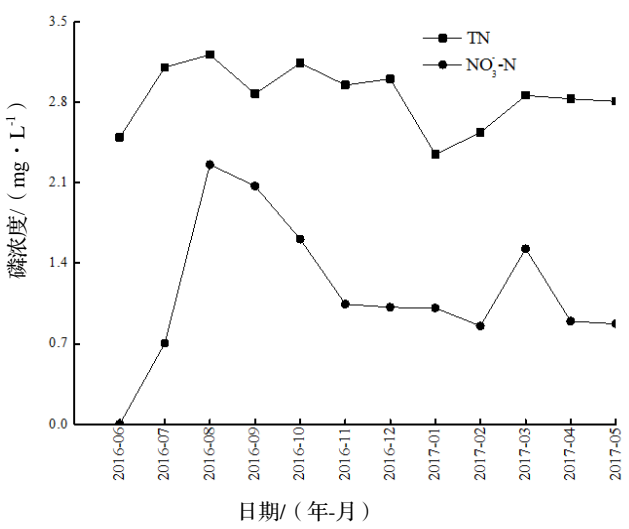


图 2 山核桃林坡面径流氮素浓度的变化

Figure 2 Monthly changes of N concentration in tested stands

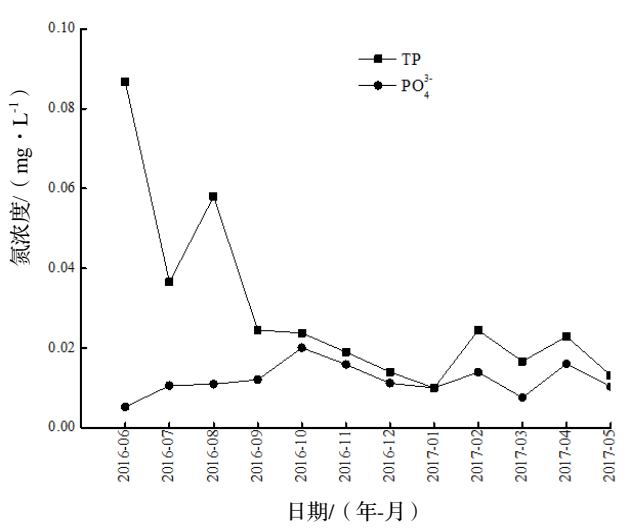


图 3 山核桃林坡面径流磷素浓度的变化

Figure 3 Monthly change of P concentration in the tested stand

2.3 山核桃林坡面径流磷素流失动态分析

2016 年 6 月至 2017 年 5 月, 山核桃坡面径流磷素浓度的变化如图 3 所示。在整个观测期间, TP 浓度变化范围为  $0.01 \sim 0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。2016 年 6–9 月, 径流 TP 浓度变化较大, 6 月 TP 浓度达到最大值  $0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 之后波动下降, 2016 年 9–12 月, TP 浓度连续下降, 2016 年 12 月和 2017 年 5 月, TP 浓度较低, 其含量在  $0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

左右。 $\text{PO}_4^{3-}$ 浓度变化较平稳,总体在  $0.01 \sim 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内。

### 3 结论与讨论

(1) 研究结果显示,山核桃林地降水量和径流量同时出现明显的峰值,径流量和降水量存在显著的线性正相关,这与方楠等<sup>[11]</sup>的研究结果相同。以往对降水径流关系的研究存在较大的差异,有报道显示降水和径流之间存在显著指数相关性 ( $R^2 = 0.84 \sim 0.88$ )<sup>[12]</sup>,潘杰<sup>[13]</sup>研究表明,月降水量和径流量关系为非线性关系,但降水径流相关关系良好 ( $y = 0.0009x^2 + 0.3739x - 22.7$ ,  $R^2 = 0.90$ ),晏清洪等<sup>[14]</sup>则认为降水和径流量之间存在正相关关系,并不能证明是指数关系,而本研究则表明降水量和径流量存在显著线性相关。可见,降水条件下径流的产生受地域条件、土壤、植被等多种因素的影响,存在较大差异,无法用统一的模型进行模拟预测,对降水量和径流量模型需要进一步的研究。

(2) 径流 TN 浓度在  $2.50 \sim 3.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 6–9 月为高温多雨月份,径流 TN 浓度呈现先增后减趋势,其主要原因可能是 7 月降水量减少,8 月在长期干旱的降雨初期氮浓度较高<sup>[15]</sup>,9 月降水增加,径流稀释作用较强, TN 浓度下降。以往对于径流氮流失的研究中,稻田径流 TN 浓度范围在  $1.82 \sim 3.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[16]</sup>,而雷竹 (*Phyllostachys praecox* 'Prevernalis') 林可达到  $3.82 \sim 6.82 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[17]</sup>,存在很大差异,本研究结果位于两者之间。 $\text{NO}_3^-$ -N 浓度相对于 TN 变化趋势更为剧烈,2016 年 6 月径流浓度极低,接近于 0,之后急剧增加,8 月达到  $2.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,占 TN 浓度的 70.30%,氮元素流失以  $\text{NO}_3^-$ -N 为主,这与方楠等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。2016 年 8–11 月,  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度出现大幅度下降趋势,并一直持续到 2017 年 2 月,2017 年 3 月出现一个小峰值  $1.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,随后小幅度下降,而后保持相对稳定。可见, TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度的变化趋势大致相似,但  $\text{NO}_3^-$ -N 的浓度更易受环境影响,变动较大。2016 年 6 月 TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 浓度均较低,可能原因是 5 月施肥后,山核桃正处于生长期,对氮元素需求较大,化肥分解转化过程复杂,周期较长,随径流流失较少,7 月下旬之后,林农喷施农药,进行大面积人工除草,破坏了林地土壤表面覆盖,打破了土壤稳态,导致微生物活动增强,氮元素形态由吸附态向游离态转变,降雨条件下氮素随径流流失增强。

(3) 径流 TP 浓度变化范围为  $0.01 \sim 0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 低于稻田径流 TP 的平均最低浓度  $0.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[16]</sup>和经济林土壤径流中 TP 浓度  $0.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[18]</sup>。 $\text{PO}_4^{3-}$ 浓度变化幅度为  $0.01 \sim 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 6–9 月磷元素浓度变化较大,9 月之后径流流失的 TP 中以  $\text{PO}_4^{3-}$ 为主,可见,径流磷元素浓度较低,其原因可能是林地土壤本身磷含量较低,加之 2016 年 10 月至 2017 年 5 月降水量偏少,同时土壤粘粒或者土壤碳酸钙的吸附作用使磷酸根在径流中流失较少。于 5 月施入林地的磷素随着 6 月份的强降雨而流失,从而造成 6 月份径流水中总磷含量达最高值 ( $0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

#### 参考文献:

- [1] 沈一凡,钱进芳,郑小平,等. 山核桃中心产区林地土壤肥力的时空变化特征[J]. 林业科学, 2016, 52(7): 1–12.
- [2] 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.
- [3] 吴水丰,陈芬芳. 水土保持工程保障山核桃产业可持续发展[J]. 浙江林业, 2008(5): 20–21.
- [4] 杨勤科,李锐. 区域水土流失研究的科学体系[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 11–13.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 吴家森,张金池,钱进芳,等. 生草提高山核桃林土壤有机碳含量及微生物功能多样性[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 111–117.
- [8] 柏兆海,万其宇,李海港,等. 县域农田土壤磷素积累及淋失风险分析—以北京市平谷区为例[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1853–1860.
- [9] 赵伟明,王艳艳,马嘉伟,等. 临安山核桃林地土壤磷素状况及其淋失风险分析[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(1): 154–158.
- [10] 蒋雯,黄程鹏,姚宇清,等. 山核桃林土壤养分渗漏动态变化规律研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(2): 18–22.

- [11] 方楠, 吴春山, 张江山, 等. 天然降雨条件下典型小流域氮流失特征[J]. 环境污染与防治, 2008, 30 ( 9 ) : 51 – 54.
- [12] Liu Y, Tao Y, Wan K Y, *et al.* Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China[J]. *Agr Water Manag*, 2012, 110 ( 3 ) : 34 – 40.
- [13] 潘杰. 中田河小流域降雨径流关系初探[J]. 江苏水利, 2013 ( 9 ) : 34 – 35.
- [14] 晏清洪, 原翠萍, 雷廷武, 等. 黄土丘陵沟壑区吕二沟流域水沙关系变化分析[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11 ( 5 ) : 1 – 8.
- [15] 许其功, 刘鸿亮, 沈珍瑶, 等. 三峡库区典型小流域氮磷流失特征[J]. 环境科学学报, 2007, 27 ( 2 ) : 326 – 331.
- [16] 朱利群, 夏小江, 胡清宇, 等. 不同耕作方式与秸秆还田对稻田氮磷养分径流流失的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26 ( 6 ) : 6 – 10.
- [17] 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等. 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响[J]. 生态学报, 2013, 33 ( 18 ) : 5599 – 5607.
- [18] 刘俏, 张丽萍, 胡响明, 等. 红壤丘陵区经济林坡地氮磷流失特征[J]. 水土保持学报, 2014, 28 ( 3 ) : 185 – 190.