

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2021.03.003

不同树龄坡地果园土壤养分和水质特征

孙莉英^{1,2}, 裴亮^{1,2}, 马凌³, 栗清亚^{1,2}, 吴辉⁴, 陈腊娇⁵

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 中国石油管道局工程有限公司第四分公司, 河北廊坊 065000; 4. 浙江传媒学院智能媒体技术研究院, 浙江杭州 310018; 5. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094)

摘要: 赣南红壤丘陵区坡地果园生态与环境效应随果园种植年份的变化机制尚不清晰, 针对此问题, 开展不同树龄坡地果园土壤养分和水质特征研究。以南方红壤丘陵区 5 个不同树龄坡地果园为研究对象, 实地采样和室内分析测试相结合, 利用统计软件 (SPSS 22.0) 对不同树龄果园坡地土壤总氮 (TN_s)、总磷 (TP_s)、总钾 (TK_s)、有机质 (SOM) 和果园塘坝水体总氮 (TN_w)、总磷 (TP_w)、氨氮 (NH₃-N)、化学需氧量 (COD_{cr}) 差异性进行相关性分析。结果表明土壤肥力指数分值 (SS_{fi}) 随果园种植年份呈先下降后升高的趋势, 短期 (6 年) 内果园土壤养分无显著性差异, SS_{fi} 在 3 年果园最低为 48 分至 15 年果园最高为 74 分。果园种植大于 9 年后 TN_s, TP_s 及 SOM 急剧上升, 15 年坡地果园 TN_s, TP_s, SOM 分别达到 0 年果园的 2.2 倍、3.0 倍和 3.5 倍。SOM 与 TP_s、TN_s 呈极显著正相关关系, 坡地果园土壤有机物质输入与土壤氮磷含量呈显著线性相关。不同树龄果园塘坝水体水质变化差异性低于土壤养分, 仅 NH₃-N 呈显著性差异, 随果园种植年份呈先增加后降低趋势。15 年果园水体水质指标 (TN_w 外) 与 0 年果园基本一致。果园塘坝水体水质指数分值 (SW_{qi}) 随果园种植年份呈波动趋势 (69~78 分), TN_w 与 COD_{cr} 分值较低, 分别为果园塘坝水体主、次要污染物。建议应增强幼龄果园水保措施的固氮能力并提升土壤有机质, 同时控制塘坝水体总氮和有机质的输入, 从而提高坡地果园生态效益的时效性。

关键词: 水土保持; 红壤丘陵区; 土壤采样; 树龄; 时间变化

中图分类号: S715 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2021)03-0321-08

Characteristics of soil nutrients and water quality in slope orchards with different tree ages

SUN Liying^{1,2}, PEI Liang^{1,2}, MA Ling³, LI Qingya^{1,2}, WU Hui⁴, CHEN Lajiao⁵

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. No. 4 Branch Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China; 4. Institute of Intelligent Media Technology, Zhejiang University of Media and Communications, Hangzhou 310018, China; 5. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: The changing effects of slope orchards on ecology and environment with the increase of planting years in red soil hilly region of southern Jiangxi Province are still unclear. Thus, the differences of soil nutrients and water quality among slope orchards with different tree ages are analyzed. Five slope orchards with different tree ages are selected in hilly red soil region of southern Jiangxi Province as the study area. Soil and water samples are collected in the field and taken

收稿日期: 2020-07-17; 网络出版日期: 2020-12-14

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20201214.1339.002.html>

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2017YFC050540503); 国家自然科学基金资助项目 (41977069, 41701520); 中国科学院西部行动计划资助项目 (KZCX2-XB2-13)

第一作者: 孙莉英, 女, 博士, 副研究员, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: sunliying@igsrr.ac.cn

通信作者: 裴亮, 男, 博士, 副研究员, 研究方向为农业水资源高效利用。E-mail: peiliang@igsrr.ac.cn

into the laboratory for analysis. The statistical software (SPSS 22.0) is used to identify the differences among different kinds of soil nutrients and water quality indexes, including soil total nitrogen (TN_s), soil total phosphorus (TP_s), soil total potassium (TK_s), soil organic matter (SOM) and total nitrogen in pond water (TN_w), total phosphorus in pond water (TP_w), ammonia in pond water (NH_3-N), and chemical oxygen demand in pond water (COD_{cr}). The correlations of these nutrients are also analyzed. The results show that the score of soil fertility index (SS_{fi}) first decreases and then increases with the increase of planting years. In the short term (less than 6 years), there is no significant difference among soil nutrients in slope orchards with different tree ages. SS_{fi} reached the lowest score of 48 points in 3-year-old orchard and showed the highest score of 74 points in 15-year-old orchard. TN_s , TP_s and SOM increased sharply after planting more than 9 years. TN_s , TP_s and SOM in 15-year-old orchard reached 2.2, 3.0 and 3.5 times of 0-year-old orchard, respectively. SOM is positively correlated with TN_s and TP_s . The input of soil organic matter is closely related to the sources of soil nitrogen and phosphorus in slope orchards. The variations of water quality in pond water were not as significant as those among soil nutrients in slope orchards with different tree years. It showed that only NH_3-N had significant differences among slope orchards with different tree ages, which first increased and then decreased with the increase of planting year. Water quality indexes (except TN_w) in pond water of 15-year-old orchard were the same as those of 0-year-old orchard. The score of water quality index (SW_{qi}) in pond water showed a fluctuation trend with the increase of planting year, ranging at scores of 69-78 points. TN_w and COD_{cr} were the main pollutants in pond water, displaying low scores. Overall, the nitrogen fixation capacity of soil and water conservation measures should be highly strengthened to improve the soil organic matter in the younger slope orchards. The input of total nitrogen and organic matter in pond water should be under control to improve the ecological benefits of the slope orchards with the increase of planting years.

Key words: soil and water conservation; hilly red soil region; soil sampling; tree age; temporal variation

随着人口增加及人地矛盾的提升,坡地果园不断被开发并逐渐成为赣南地区的支柱产业^[1-2]。然而传统的果园清耕或粗放式整地等不合理的坡地开发方式,造成了赣南红壤丘陵区坡地果园严重的水土流失和土壤养分流失,导致坡地土壤生产力下降和下游水体富营养化等生态与环境问题^[3-6]。因此,亟需分析红壤丘陵区坡地果园开发对土壤肥力及非点源污染的影响,为坡地果园精细化管理及水保措施优化配置提供科学参考,为红壤丘陵区坡地果园经济可持续发展提供科技支撑。

关于南方红壤区不同水保措施对水土流失及土壤养分的调控效果已有大量研究^[6-11],结果表明南方红壤坡地果园土壤养分受水土保持措施、施肥、除草、病虫害防治、经营模式、果树生长等诸多因素影响,植物措施可有效控制水土流失与养分流失,其调控效果与植物种类、土壤性质和水文过程密切相关。例如,陈志等^[3]研究指出植被覆盖可有效控制土壤总氮和总磷的迁移,提高红壤坡地土壤养分,减少养分随降雨径流的流失。刘银等^[4]研究表明不合理的经营模式是导致黄果柑坡地果园土壤养分下降的主

要原因,集体经营模式优于散户经营模式。张展羽等^[11]研究了红壤坡地果园土壤养分流失对植被措施响应规律,结果表明果园氮磷流失以水土流失所导致的泥沙携带为主,果树+百喜草覆盖可有效控制氮磷的流失。熊伟等^[12]研究指出合理的施肥技术既可有效提高果园营养元素的利用率,也可有效降低果园径流中氮磷元素,从而影响水体水质。目前,红壤丘陵区坡地果园的生态与环境效应随开发年份的变化特征已经引起了学者的关注。例如,Tu等^[9]利用观测小区试验研究了水保措施15年内减水减沙效果。Qiang等^[10]研究了西南地区柑橘果园开发年份对土壤微生物群落和酶活性的影响。然而,土壤养分及塘坝水体水质随果园开发及水保措施实施年份的变化规律及机制尚不清晰。因此,本研究通过实地采样、室内测试和统计分析,探讨赣南相似水保措施和果园管理措施下不同树龄坡地果园土壤养分和水质变化规律,揭示赣南坡地果园养分流失与果园塘坝水体水质间的关系,可为红壤丘陵坡地果园精细开发、水保措施优化配置及果园综合效益提升提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

在典型南方红壤丘陵区,选取五个不同树龄坡地果园为研究区域(图1和图2):①大路背果园(0年树龄),位于江西省宁都县石上镇($26^{\circ}39'46''\sim 26^{\circ}40'03''\text{N}$, $116^{\circ}07'02''\sim 116^{\circ}07'33''\text{E}$),果园面积为 0.25 km^2 ;②小洋村果园(3年树龄),位于江西省宁都县固厚乡小洋村($26^{\circ}16'41''\sim 26^{\circ}18'42''\text{N}$, $116^{\circ}04'35''\sim 116^{\circ}06'24''\text{E}$),果园面积为 0.44 km^2 ;③桐口村果园(6年树龄),位于江西省宁都县会同乡桐口村($26^{\circ}32'24''\sim 26^{\circ}32'46''\text{N}$; $116^{\circ}04'01''\sim 116^{\circ}04'34''\text{E}$),果园面积为 0.34 km^2 ;④吴家含果园(9年树龄),位于江西省宁都县梅江镇吴家村($26^{\circ}42'02''\sim 26^{\circ}42'26''\text{N}$; $116^{\circ}00'38''\sim 116^{\circ}01'03''\text{E}$),果园面积为 0.26 km^2 ;⑤莲坊塘果园(15年树龄),位于江西省宁都县会同乡上坛村附近($26^{\circ}29'38''\sim 26^{\circ}29'57''\text{N}$; $116^{\circ}04'38''\sim 116^{\circ}05'10''\text{E}$),果园面积为 0.24 km^2 。

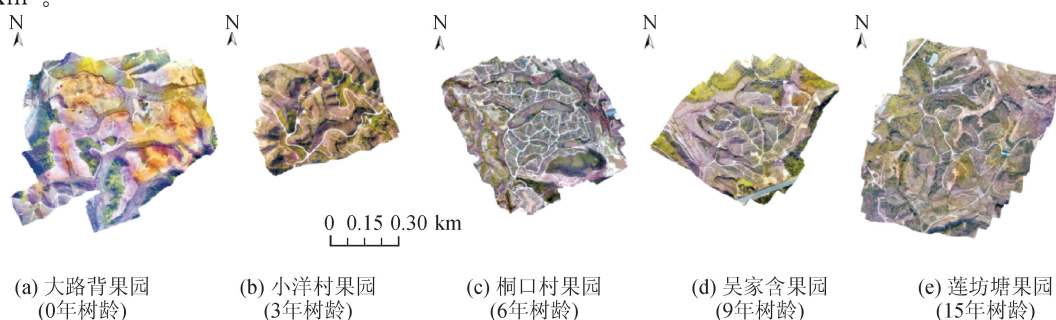


图2 不同树龄坡地果园全景图

Fig. 2 Panoramic view of slope orchards with different tree ages

五个不同树龄坡地果园同属于赣南梅川江流域,具有相似的自然条件,地处亚热带湿润季风气候区,多年平均气温为 $18.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量为 1550.6 mm 。降水年内分配不均,主要集中在4~6月,约占全年降水量的49.8%,且多以暴雨形式出现,年降水量最大为 2438.9 mm ,主汛期降水量 772 mm ,地貌类型以低山、丘陵为主。五个不同树龄坡地果园均按照“顶林、腰果、谷农、底渔”农林复合开发技术形成水土流失综合防治体系,在坡面修建梯田,前埂后沟,梯壁植草,结合坡面地形特征修建蓄水池、沉沙池、路网排水沟、水平竹节沟等水系调控设施,可有效控制水土流失。

1.2 土壤样品采集与分析方法

采用五点采样法进行土壤采样,兼顾均匀、等量 and 多点混合的原则^[13-14],充分考虑地形因子影响,均匀布设采样点:0年果园布设8个采样点,3年果

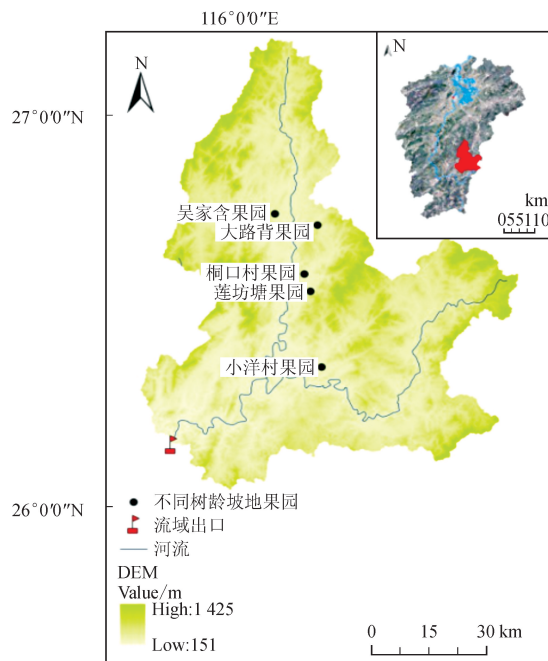


图1 不同树龄坡地果园位置示意图

Fig. 1 Location of slope orchards with different tree ages

园布设6个采样点,6年果园布设11个采样点,9年果园布设8个采样点,15年果园布设10个采样点。以布设的采样点为中心,制定 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 样方,分别在样方的中心点和四个顶点依次用梅花形采样法^[14]采集土样,并记录五点的经纬度。取样时去掉表面凋落物和土壤中的植物根系、砾石等杂物,取 $0\sim 10\text{ cm}$ 左右的土壤,采集土壤重量约为 0.5 kg 。

土壤性质测定包括总氮(TN_s)、总磷(TP_s)、总钾(TK_s)和有机质(SOM)。测定 TN_s 、 TP_s 、 TK_s 、SOM前,将土样自然风干,研磨过筛(标准检验筛,GB/T6003.1-2012,目数:100;孔径: 0.15 mm),备用。根据参考文献^[15],采用TOC分析仪测定SOM,采用凯氏定氮法测定 TN_s ,采用钼酸铵分光光度法测定 TP_s ,采用火焰光度法测定 TK_s 。

1.3 水样采集与分析方法

根据各果园塘坝水体特征,沿塘坝水体横断面

平均布设采样点:0 年果园布设 4 个采样点,3 年果园布设 10 个采样点,6 年果园布设 5 个采样点,9 年果园布设 6 个采样点,15 年果园布设 5 个采样点。按照《水质·采样技术指导》(GB 12998-91)^[16] 规定进行地表水采样,采集样品按照《水质采样·样品的保存和管理技术规定》(GB 12999-91)^[17] 规定进行现场记录、样品的保存和运输。根据《水和废水监测分析方法》^[18] 规定,采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法测定水体总氮(TN_w),采用纳氏试剂分光光度法测定水体氨氮(NH₃-N),采用钼酸铵分光光度法测定水体总磷(TP_w),采用重铬酸钾法测定化学需氧量(COD_{cr})。

1.4 数据分析方法

据已有研究^[19],采用土壤肥力指数(S_{fi})来表征土壤肥力,由式(1)计算 S_{fi}的分值(SS_{fi}),其中各指标的计算标准见表 1。采用水质指数(W_{qi})来表征

果园塘坝水体地表水水质,由式(2)计算水质指数的分值(SW_{qi}),各指标评分标准参考地表水水质标准(GB 3838-02)^[20],见表 2。利用 SPSS 22.0 采用变异系数分析法(ANOVA)进行不同树龄果园各土壤肥力指标和水质指标的差异性分析,显著性水平 α 取 0.05。

$$SS_{fi} = 0.25 STN_s + 0.22 STP_s + 0.18 STK_s + 0.35 SSOM \tag{1}$$

$$SW_{qi} = 0.12 STN_w + 0.28 STP_w + 0.25 SNH_3-N + 0.35 SCOD_{cr} \tag{2}$$

式中:SS_{fi}为土壤肥力分值;STN_s为土壤总氮分值;STP_s为土壤总磷分值;STK_s为土壤总钾分值;SSOM为土壤有机质分值;SW_{qi}为水质分值;STN_w为水体总氮分值;STP_w为水体总磷分值;SNH₃-N为水体氨氮分值;SCOD_{cr}为水体 COD_{cr}分值。

表 1 土壤肥力指数各指标评分标准

Tab.1 Criteria for soil fertility index

土壤肥力指标	判断标准/(g · kg ⁻¹)	评分
TN _s	TN _s < 2	$STN_s = \frac{TN_s}{2} \times 100$
	TN _s ≥ 2	STN _s = 100
TP _s	TP _s < 0.1	$STP_s = \frac{TP_s}{0.1} \times 100$
	TP _s ≥ 0.1	STP _s = 100
TK _s	TK _s < 0.2	$STK_s = \frac{TK_s}{0.2} \times 100$
	TK _s ≥ 0.2	STK _s = 100
SOM	SOM < 40	$SSOM = \frac{SOM}{40} \times 100$
	SOM ≥ 40	SSOM = 100

表 2 水质指数各指标评分标准

Tab.2 Criteria for water quality index

分类		TN _w /(mg · L ⁻¹)	TP _w /(mg · L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	COD _{cr} /(mg · L ⁻¹)
I 类	标准	TN _w < 0.2	TP _w < 0.01	NH ₃ -N < 0.15	COD _{cr} < 15.0
	评分	STN _w = 100	STP _w = 100	SNH ₃ -N = 100	SCOD _{cr} = 100
II 类	标准	0.2 ≤ TN _w < 0.5	0.01 ≤ TP _w < 0.025	0.15 ≤ NH ₃ -N < 0.5	COD _{cr} = 15.0
	评分	STN _w = 80	STP _w = 80	SNH ₃ -N = 80	SCOD _{cr} = 80
III 类	标准	0.5 ≤ TN _w < 1.0	0.025 ≤ TP _w < 0.05	0.5 ≤ NH ₃ -N < 1.0	15.0 < COD _{cr} < 20.0
	评分	STN _w = 70	STP _w = 70	SNH ₃ -N = 70	SCOD _{cr} = 70
IV 类	标准	1.0 ≤ TN _w < 1.5	0.05 ≤ TP _w < 0.1	1.0 ≤ NH ₃ -N < 1.5	20.0 ≤ COD _{cr} < 30.0
	评分	STN _w = 50	STP _w = 50	SNH ₃ -N = 50	SCOD _{cr} = 50
劣 V 类	标准	TN _w ≥ 1.5	TP _w ≥ 0.1	NH ₃ -N ≥ 1.5	COD _{cr} ≥ 30.0
	评分	STN _w = 0	STP _w = 0	SNH ₃ -N = 0	SCOD _{cr} = 0

2 结果与讨论

2.1 不同树龄果园土壤养分差异性分析

不同树龄果园土壤养分差异性分析见图3。除TK_s外,土壤养分随果园种植年份呈增加趋势。0、3、6年果园TN_s、TP_s、SOM无显著性差异,而9年后TN_s、TP_s、SOM急剧上升并随果园树龄增加呈显著性差异,15年坡地果园TN_s、TP_s、SOM分别达到0年果园的2.2倍、3.0倍和3.5倍。见表3,各树龄果园STP_s、STK_s均高于90分,但STN_s变化范围为17~52分,SSOM变化范围为16~61分,两者均随果园种植年份增加而呈现先下降后上升的趋势,变化顺序为3年果园<6年果园<0年果园<9年果园<15年果园,从而导致SS_{fi}的变化顺序亦为3年果园<6年果园<0年果园<9年果园<15年

果园,3年果园分值最低为48分,15年果园分值最高为74分。

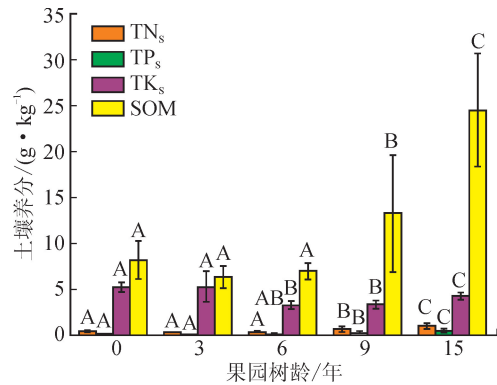


图3 不同树龄坡地果园土壤养分差异性分析(不同大写字母表征土壤养分呈显著性差异)

Fig. 3 Difference analysis of soil nutrient in slope orchards with different tree ages (different capital letters represent significant difference in soil nutrient)

表3 不同树龄果园土壤肥力指数、水质指数及各指标分值

Tab. 3 Scores of soil fertility index, water quality index and their indexes in slope orchards with different tree ages

树龄/年	STN _s	STP _s	STK _s	SSOM	SS _{fi}	STN _w	STP _w	SNH ₃ -N	SCOD _{cr}	SW _{qi}
0	23	100	100	21	53	0	100	100	50	71
3	17	90	100	16	48	0	80	100	70	72
6	19	100	100	17	51	0	100	100	70	78
9	34	100	100	33	60	0	70	100	70	69
15	52	100	100	61	74	0	100	100	50	71

本研究坡地果园在9年后土壤养分呈稳定上升趋势,土壤肥力指数逐渐提升,但短期(6年)内幼龄果园土壤养分与新开发的果园(0年)相比虽无显著性差异,仍呈下降趋势,3年坡地果园TN_s、SOM、TP_s最低,分别为0年果园的74%、77%和64%。陈春平^[21]分析了江西省不同种植年份(1年、2年、4年、6年)桔园土壤养分,指出4年桔园土壤有机质、全氮、碱解氮含量最低,与本文研究结果基本一致。

果园不同树龄坡地土壤养分变化特征受水土保持措施、施肥措施、果树养分消耗等多因素影响。杨洁等^[22]研究指出南方红壤坡地果园目前大部分采用机修梯田,易造成原有土壤结构破坏,在短期内难以恢复,而导致幼龄果园水土保持措施调控效果较差。丁光敏等^[23]研究表明南方红壤区坡地果园水土流失主要出现在幼龄期,在坡度10°的条件下,平台式梯田措施前3年内水土流失强度可达中度。Tu等^[9]同样指出红壤坡地果园前4年是水土流失防治的关键期。此外,果园施肥措施亦可增加土壤养分,提升土壤肥力,水土保持措施和施肥措施的综合作用导致不同树龄坡地果园土壤养分在9年后急剧增

加,而短期(6年)内难以平衡果园养分消耗与流失,果园土壤养分下降。从土壤肥力指数及各指标分值来看(表3),15年果园STK_s和STP_s分值达到100分,而15年坡地果园STN_s和SSOM仅为52分和61分,SS_{fi}仅为74分。因此,红壤坡地果园水土保持措施应增加植被覆盖和改善植草种类,以降低幼龄果园(6年内)土壤养分流失,在植物种类上应考虑可提高固氮能力和土壤有机质的植物,以提升土壤肥力指数分值。

2.2 水质指标随树龄变化特征

不同树龄果园塘坝水体水质变化见图4,果园塘坝水体水质指标随树龄增加而改变的差异性低于土壤养分且变化规律不一致。15年果园塘坝水体TN_w急剧上升,水质恶化,达到0年果园的1.9倍,而其他各树龄果园TN_w无显著性差异。0年果园、6年果园和15年果园塘坝水体TP_w低于检测值,而3年和6年果园塘坝水体TP_w无显著性差异。各树龄果园塘坝水体NH₃-N均呈显著性差异,随果园种植年份呈先增加后降低的趋势,6年果园塘坝水体NH₃-N达到最高值,约为0年果园塘坝水体NH₃-N

的 5.5 倍,而 15 年果园塘坝水体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 下降至略高于 0 年果园。五个果园塘坝水体 COD_{cr} ($18.7 \sim 20.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 变化差异性较小,9 年果园塘坝水体 COD_{cr} 最低为 $18.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,与其他树龄果园呈显著性差异。

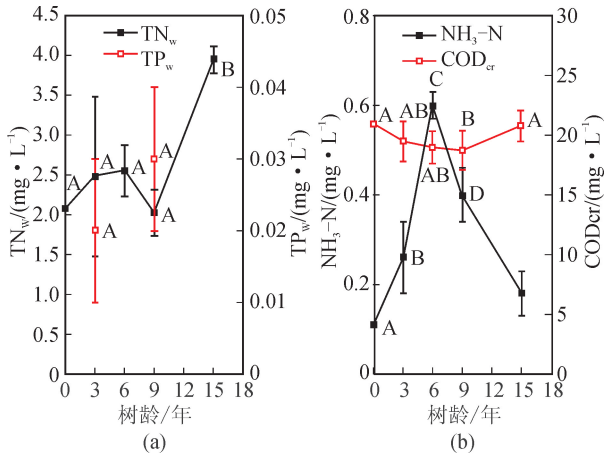


图 4 不同树龄坡地果园塘坝水体水质指标变化 (不同大写字母表征水体水质呈显著性差异)

Fig. 4 Changes of water quality indexes in ponds of slope orchards with different tree ages (different capital letters representing significant differences in water quality)

SW_{qi} 水质分值随树龄增加呈波动趋势,6 年果园塘坝水体水质指数分值最高达到 78 分,9 年果园塘坝水体水质指数分值最低达到 69 分,15 年果园塘坝水体水质指数分值回归与 0 年果园一致,为 71

分(表 3)。果园塘坝水体水质指数分值与果园坡地果园施肥措施、水保措施及土壤养分流失密切相关。短期(6 年内)虽然坡地果园水保措施对养分调控效果尚未显现,但施肥措施作用亦尚未显现,同时由于果树对养分的消耗,土壤养分流失对塘坝水体水质的影响低于水质自净作用,水质指标分值略有升高趋势。9 年果园水质指数下降可归因于施肥所引起的面源污染加剧^[24],而 15 年果园水质指数分值的再次回升则可归因于水保措施(特别是植被措施)对于土壤养分流失调控作用的增强。

各果园 STN_w 均为 0 分,表明 TN_w 是研究区果园塘坝水体主要污染物,属劣 IV 类。不同树龄果园 STP_w 和 $\text{SNH}_3\text{-N}$ 均高于 70 分,优于 III 类。 SCOD_{cr} 在 50~70 分,处于 III 类到 IV 类之间, COD_{cr} 为研究区果园塘坝水体次要污染物。因此,果园管理措施应控制水体总氮和有机质的输入,以提升果园 STN_w 、 SCOD_{cr} 及 SW_{qi} 。

2.3 土壤肥力指标与水质指标相关性分析

研究区坡地果园土壤肥力指标与水质指标相关性分析结果见表 4。可见, SOM 与 TP_s 、 TN_s 具有极显著性正相关关系,表明土壤有机物质输入与土壤氮磷来源密切相关。林圣玉^[25] 同样指出南方红壤区坡地果园有机质与全氮、全磷呈显著正相关关系,建议果园管理应提高养分利用率,减少过量施肥引起的非点源污染。各水质指标之间无显著线性相关关系。

表 4 土壤肥力指标与水质指标相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis between soil fertility index and water quality index

分析指标	TN_s	TP_s	TK_s	SOM	TN_w	TP_w	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD_{cr}
TN_s	1							
TP_s	0.979**	1						
TK_s	-0.208	-0.320	1					
SOM	0.994**	0.987**	-0.191	1				
TN_w	0.738	0.813	-0.023	0.806	1			
TP_w	-0.107	-0.208	-0.142	-0.153	-0.460	1		
$\text{NH}_3\text{-N}$	-0.338	-0.191	-0.812	-0.324	-0.212	0.157	1	
COD_{cr}	0.402	0.344	0.640	0.413	0.456	-0.651	-0.846	1

注:* 代表显著相关;** 代表极显著相关。

本研究表明不同树龄坡地果园塘坝水体水质指标变化幅度较土壤养分的变化程度低,而塘坝水体水质与土壤养分无显著线性相关关系。但两者并非没有联系,果园 STN_s 和 SSOM 分值较低同时塘坝水体 STN_w 和 SCOD_{cr} 分值较低,表明塘坝主要污染物 TN_w 与 COD_{cr} 主要来源于 TN_s 与 SOM 的流失。

15 年树龄果园 TN_s 、 SOM 与 TN_w 、 COD_{cr} 同时显著上升,表明 TN_s 、 SOM 显著提升的同时 TN_s 和 SOM 的流失量也在增加,9 年后水保措施对 TN_s 、 SOM 流失的调控作用低于施肥措施对于 TN_s 和 SOM 增加的作用,养分回升的主导因素为施肥措施。15 年树龄果园与 9 年树龄果园 TN_s 与 SOM 的比值分别

为 1.54 和 1.84,而 15 年树龄果园与 9 年树龄果园 TN_w 与 COD_{cr} 的比值分别为 1.94 和 1.11,表明水保措施对 TN_s 的调控作用低于 SOM 的调控作用,因此果园水保措施优化应着重在于提高固氮能力。

3 结 论

1) 研究区不同树龄坡地果园土壤养分的变化差异性较塘坝水体水质指标变化差异性高。坡地果园水土保持措施与果园施肥措施的综合作用短期(6 年)内难以平衡果园养分消耗与流失,果园土壤养分下降;果园种植 9 年后土壤养分稳步增加,地力提升,主导作用为施肥措施,15 年坡地果园土壤肥力指数最高(74)分。建议果园水保措施优化配置以降低土壤养分流失为主,考虑增加植物措施以提升土壤有机质和固氮能力,以固氮能力提升为重点。

2) 研究区不同树龄坡地果园塘坝水体水质指标与土壤养分无显著线性相关关系,主要污染物和次要污染物分别为总氮(TN_w)和化学需氧量(COD_{cr}),主要来源于坡地果园土壤总氮(TN_s)和土壤有机质(SOM)的流失。15 年果园塘坝水体水质与 0 年果园基本一致,水质指数分值为 71 分,果园管理措施应着重于控制水体总氮和有机质的输入。

参考文献:

- [1] 魏亚飞,王辉,谭帅,等. 套种对南方红壤坡耕地经济果园土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(5):1617-1624.
WEI Yafei, WANG Hui, TAN Shuai, et al. Effects of interplanting on soil aggregate distribution and stability in economic orchard at hilly slope red soil of southern China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(5): 1617-1624.
- [2] 张媛,章家恩,向慧敏. 赤红壤坡地幼龄果园间作对土壤氮组分的影响[J]. 华南农业大学学报,2017,38(5):43-49.
ZHANG Yuan, ZHANG Jiaen, XIANG Huimin. Effects of intercropping on nitrogen component in latosolic red soil of slope land in young orchard[J]. Journal of South China Agricultural University, 2017, 38(5): 43-49.
- [3] 陈志,王伟峰,孙丽. 不同降雨条件下红壤坡地养分垂直向流失规律[J]. 江苏农业科学,2017,45(8):241-244.
- [4] 刘银,何露露,强薇,等. 不同坡位和经营模式对黄果柑坡地果园土壤养分的影响[J/OL]. 应用与环境生物学报, 2020, doi: 10. 19675/j. cnki. 1006-687x. 2020.03051.
LIU Yin, HE Lulu, QIANG Wei, et al. The effect of different slope positions and management modes on soil nutrients in slope huangguogan orchard [J/OL]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2020, doi: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2020.03051.
- [5] 张杰,陈晓安,汤崇军,等. 典型水土保持措施对红壤坡地柑橘园水土保持效益的影响[J]. 农业工程学报, 2017,33(24):165-173.
ZHANG Jie, CHEN Xiaoan, TANG Chongjun, et al. Benefit evaluation on typical soil and water conservation measures incitrus orchard on red soilslope[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(24): 165-173.
- [6] 马正锐,孟祥江,何邦亮,等. 三峡库区坡地果园生态治理措施研究进展[J]. 四川林业科技, 2020, 41(5):127-132.
MA Zhengrui, MENG Xiangjiang, HE Bangliang, et al. Research progress on ecological control measures of sloping orchards in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2020, 41(5): 127-132.
- [7] 李婷婷,何铁光,俞月凤,等. 桂东北坡地果园生草栽培减流减沙效应[J]. 水土保持通报,2020,40(2):31-36.
LI Tingting, HE Tieguang, YU Yuefeng, et al. Effects of runoff and sediment reduction by sod culture in sloping orchards in Northeastern Guangxi Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(2): 31-36.
- [8] TIAN Guangming, WANG Feier, CHEN Yingxu. Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China [J]. Pedosphere, 2003, 13(2): 121-128.
- [9] TU Anguo, Xie Songhua, Yu Zhongbo, et al. Long-term effect of soil and water conservation measures on runoff, sediment and their relationship in an orchard on sloping red soil of southern China[J]. Plos One, 2018, 13(9): e0203669.
- [10] QIANG Wei, YANG Bing, LIU Yin, et al. Effects of reclamation age on soil microbial communities and enzymatic activities in the sloping citrus orchards of southwestern China[J]. Applied Soil Ecology, 2020, 152: 103566.
- [11] 张展羽,王超,杨洁,等. 不同植被条件下红壤坡地果园氮磷流失特征分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2010,38(5):479-482.
ZHANG Zhanyu, WANG Chao, YANG Jie, et al. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses in garden of red soil slope land under different vegetation measures[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2010 38(5): 479-482.

- [12] 熊伟,孔文斌,冯洋,等. 三峡库区循环农业生态系统构建及控氮减磷效果验证试验[J]. 西南大学学报(自然科学版),2017,39(6):10-20.
XIONG Wei, KONG Wenbin, FENG Yang, et al. The construction of a circular agriculture ecosystem in Three Gorges Reservoir Area and a verifying experiment about the nitrogen and phosphorus reduction effect[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2017, 39(6): 10-20.
- [13] 杨琳,朱阿兴,秦承志,等. 基于典型点的目的性采样设计方法及其在土壤制图中的应用[J]. 地理科学进展,2010,29(3):279-286.
YANG Lin, ZHU Axing, QIN Chengzhi, et al. A purposive sampling design method based on typical points and its application in soil mapping[J]. Progress in Geography, 2010, 29(3): 279-286.
- [14] 张磊,朱阿兴,杨琳,等. 基于分融策略的土壤采样设计方法[J]. 土壤学报,2017,54(5):1079-1090.
ZHANG Lei, ZHU Axing, YANG Lin, et al. A sample differentiation and fusion strategy for designing of soil sampling[J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(5): 1079-1090.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 第 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 国家技术监督局,国家环境保护局. 水质水质·采样技术指导:GB 12998-91[S]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [17] 国家技术监督局,国家环境保护局. 水质采样·样品的保存和管理技术规定:GB 12999-91[S]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [18] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [19] 汪晓燕,郭熙,赵小敏. 近 30 年江西省耕地肥力质量时空演变规律[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):284-288.
- [20] 国家环保局. 地表水环境质量标准:GB 3838-02[S]. 北京:中国环境科学出版社出版,2002.
- [21] 陈春平. 赣南丘陵红壤区发展柑桔对土地资源可持续利用的研究——以江西省南丰县建立生态桔园为例 [D]. 北京:北京林业大学,2006.
CHEN Chunping. Studies on planting citrus for sustainable utilization of soil resource in the southern hilly red soil region of Jiangxi Province: a case of the establishment of ecological citrus gardens in Nanfeng County[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006.
- [22] 杨洁,喻荣岗,谢颂华. 水土保持措施对红壤坡地果园土壤结构和肥力的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(33):18784-18786, 18802.
YANG Jie, YU Ronggang, XIE Songhua. Effects of soil and water conservation measures on soil structure and fertility in orchard of red soil region[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(33): 18784-18786, 18802.
- [23] 丁光敏,林桂志,刘廉海,等. 坡地幼龄果园不同水土保持措施水沙调控研究[J]. 亚热带水土保持,2006,18(3):1-3,68.
DING Guangmin, LIN Guizhi, LIU Lianhai, et al. Research on the soil & water regulation & control by different soil conservation measures in the young orchard on the slope land[J]. Subtropical Soil and Water Conservation, 2006, 18(3): 1-3, 68.
- [24] 严坤. 三峡库区农业生产方式改变及其对水土流失与面源污染影响——以万州区五桥河流域为例[D]. 成都:中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究,2020.
YAN Kun. Changes in agricultural production activity and its impacts on the soil erosion and non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir area;a case study of the Wuqiaohe Watershed in Wanzhou District[D]. Chengdu: Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, 2020.
- [25] 林圣玉. 水土保持型果园建设模式对非点源污染的防控研究[D]. 南昌:江西农业大学,2011.
LIN Shengyu. Research on prevention and control to non-point source pollution by orchard construction model of soil and water conservation type[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2011.

(责任编辑 王绪迪)