

# 丹江口库区坡耕地柑橘园套种绿肥对 氮磷径流流失的影响

李太魁<sup>1,2</sup>, 张香凝<sup>1,2</sup>, 寇长林<sup>1,2</sup>, 张玉华<sup>3</sup>, 马政华<sup>1,2</sup>, 段然<sup>1,2</sup>

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002;

2. 农业部原阳农业环境与耕地保育科学观测试验站, 郑州 450002; 3 长江流域水土保持监测中心站, 武汉 430010)

**摘要:**采用野外天然降雨条件下的径流小区试验,研究了丹江口库区坡地果园套种三叶草(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lolium perenne* L.)、苕子(*Vicia villosa* Roth)绿肥作物对氮磷径流流失的影响。结果表明:果园套种绿肥作物三叶草、黑麦草、苕子径流量流失分别减少 24.7%, 31.6% 和 13.9%, 泥沙流失分别减少 36.4%, 29.6% 和 15.7%, 土壤保水能力和固土能力加强。地表径流是果园氮磷养分流失的主要途径, 种植绿肥作物三叶草、黑麦草、苕子能使总氮流失分别减少 30.5%, 20.6% 和 23.9%, 总磷流失分别减少 52.8%, 33.3% 和 42.3%。对不同处理地表径流水体氮素形态特征分析表明, 可溶性氮素占总氮的比例较高, 可溶性氮素中以硝态氮为主, 铵态氮所占比重较低。坡地果园套种绿肥可使氮磷流失量明显降低, 有助于水体环境的保护, 同时还可改善果实品质。试验结果对库区面源污染的控制, 重点水源地的水质保护提供了借鉴。

**关键词:**丹江口库区; 坡耕地; 绿肥; 氮磷流失

**中图分类号:** S157.2; X522

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2018)02-0094-05

## Effects of Green Manure Planting on Nitrogen and Phosphorus Losses Along with Runoff from Citrus Orchards on Sloping Land in the Danjiangkou Reservoir Area

LI Taikui<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiangning<sup>1,2</sup>, KOU Changlin<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Yuhua<sup>3</sup>, MA Zhenghua<sup>1,2</sup>, DUAN Ran<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Plant Nutrition, Resources and Environmental Science, He'nan Academy of  
Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Yuanyang Scientific Observing and Experimental

Station of Agro-Environment and Arable Land Conservation, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China;

3. Monitoring Center Station of Changjiang Valley Water and Soil Conservation, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** The effect of nitrogen and phosphorus runoff loss was studied in a mountainous orchard by covering planting green manure experiment in natural rainfall condition. The result showed that mountainous orchard by covering planting green manure *Trifolium repens*, *Lolium perenne* and *Vicia villosa* could decrease the water runoff loss by 24.7%, 31.6% and 13.9%, respectively; the amount soil erosion loss decreased by 36.4%, 29.6% and 15.7%, respectively, so covering planting green manure in the mountainous orchard was a good technology to reduce water runoff loss and soil erosion. The nitrogen and phosphorus in the runoff water were the main types of soil nutrient losses in the mountainous orchard. The total nitrogen loss decreased by 30.5%, 20.6% and 23.9%, and phosphorus loss was decreased by 52.8%, 33.3% and 42.3%, respectively, with covering planting green manure. Much more nitrogen was lost than phosphorus from mountainous orchard soil, and the soluble nitrogen accounted for much of total nitrogen loss, primarily in the nitrate form rather than the ammonium form. It was conclude that covering planting green manure was a

收稿日期: 2017-05-08

修回日期: 2017-06-21

资助项目: 国家科技重大专项“河南丹库汇水流域水质安全保障关键技术研究”与示范”(2012ZX07205-001); “十二五”国家科技支撑计划“华北集约化农区农业面源污染防治技术集成与示范”(2012BAD15B02)

第一作者: 李太魁(1978—), 男, 河南鹤壁人, 助理研究员, 博士, 主要从事农业生态环境方向的研究。E-mail: taikuilee@163.com

通信作者: 寇长林(1965—), 男, 河南宝丰人, 博士, 研究员, 主要从事中低产田治理及其农业持续发展、农业面源污染控制研究。E-mail: koucl@126.com

good way to decrease the nutrient losses along with runoff and protect the water environment, and at the same time it was beneficial for improving the fruit quality. These results suggest that covering planting green manure is effective to control agricultural non-point source pollution in the Danjiangkou Reservoir area.

**Keywords:** Danjiangkou Reservoir; slop land; green manure; nitrogen and phosphorus runoff loss

坡耕地水土流失是我国乃至全世界重要的生态环境问题之一,它一方面导致表土流失,土壤生产力下降和质量退化,另一方面径流所携带的养分加速了湖泊与河流的富营养化<sup>[1-2]</sup>。农业降雨径流造成的水土流失目前已成为一种重要的面源污染形式,是一些地区地表水体氮磷的主要来源和土壤退化的直接原因<sup>[3-5]</sup>。坡耕地是我国山区重要的耕地资源,目前随着坡耕地的开发利用,导致坡耕地土壤养分流失问题日益加剧,造成严重的水土流失及土壤退化,迫切需要有利的防治技术措施。

丹江口水库作为南水北调中线工程的水源地,重点解决北京、天津、石家庄等沿线 20 多个城市缺水问题,对水质有很高的要求。但近年来,随着库区周围社会经济的发展,库区局部库湾和部分支流水质指标超过国家地表水环境质量Ⅳ类标准,其中总氮总磷明显超标,有明显的富营养化趋势<sup>[6]</sup>。库区生态环境和水库水质的恶化必将影响到南水北调工程的调水质量。据研究果园套种绿肥,能改善果园土壤理化性质,增加土壤微生物数量及多样性,促进作物生长,改善土壤生态环境<sup>[7-8]</sup>。利用绿肥作物覆盖新生果园土壤,有效增强表面土壤的抗侵蚀能力,从而大幅度减少果园土壤养分流失,但其在丹江口库区应用效果还不太清楚。本研究以丹江口库区坡耕地柑橘园为研究对象,通过种植不同绿肥品种,研究不同绿肥植被措施对丹江口坡地柑橘园氮磷养分流失的影响,以期作为库区农业面源污染防控提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及材料

试验地点位于河南省南阳市淅川县上集镇贾沟村,属北亚热带向暖温带过渡的季风性气候区,常年平均气温 15.8℃,降雨集中、旱涝不均,初夏多干旱,中、后夏降雨较多,雨量充沛,年降雨量在 391.3~1 423.7 mm,多年平均降雨量为 804.3 mm,无霜期 228 d。主产柑橘、小麦、玉米、红薯、谷子和大豆等。土壤为典型的黄棕壤,土壤 pH 值为 7.84,全氮含量 1.03 g/kg,全磷含量为 0.45 g/kg,全钾含量 18.9 g/kg。

### 1.2 试验设计

试验设计 4 个处理:对照(不种植绿肥);种植三叶草(*Trifolium repens*);种植黑麦草(*Lolium*

*perenne* L.)、种植苕子(*Vicia villosa* Roth)。试验小区面积 45 m<sup>2</sup>,3 次重复,随机区组排列。每小区种植柑橘 9 棵,坡度平均 20°,小区四周围埂并用塑料薄膜防止水土串流。三叶草、黑麦草和苕子绿肥于 2013 年 10 月 20 日播种,柑橘品种为尾张,施肥根据每个小区不同株数和面积确定施肥量,每株每年施饼肥 3 kg,尿素 0.8 kg,硫酸钾复合肥 1.2 kg,每年分两次施肥(春季和夏季)。防病治虫与除草等管理措施与当地农民习惯保持一致。

### 1.3 地表径流样品采集

地表径流采用径流池收集监测。每个小区在坡底中央建一个径流池,在小区的底部中间用 PVC 塑料管连接收集桶,用于收集地表径流和泥沙。每次产流后,先用尺子测量池中的径流量,将径流池中的水搅拌均匀,取水样 500 ml,冷冻保存,取样后及时排干并清洗径流池备用。

### 1.4 测定项目与分析方法

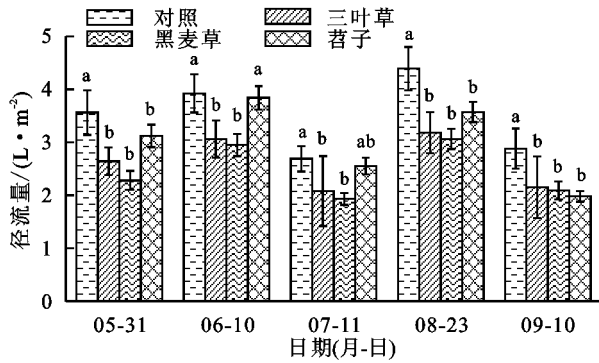
径流水样总氮是指水中可溶性及悬浮颗粒中的含氮量,可溶性氮是指水中可溶性及含可滤性固体(小于 0.45 μm 颗粒物)的含氮量。总氮测定时先摇匀,取水、沙混合样 10 ml,碱性过硫酸钾高温(120℃)消解,定容,离心,然后用紫外分光光度法测定总氮含量;水样经 0.45 μm 滤膜过滤后,采用上述方法测定即为可溶性氮含量,它包含溶解性无机氮(硝态氮、铵态氮、亚硝态氮)和溶解性有机氮;可溶性磷采用过硫酸钾消解—钼酸铵分光光度法,铵态氮采用靛酚蓝—紫外分光光度法,硝态氮采用紫外分光光度法<sup>[9]</sup>。2,6—二氯酚靛酚钠滴定法测定 Vc 含量<sup>[10]</sup>,NaOH 中和滴定法测定总酸含量<sup>[11]</sup>,糖量计法测定可溶性固形物含量<sup>[11]</sup>。单位面积养分流失量=径流水样中养分浓度×径流量/小区面积。

## 2 结果与分析

### 2.1 种植绿肥对果园地表径流量的影响

2014 年 5 月—9 月共产生径流 5 次,径流观测结果表明(图 1),种植黑麦草处理地表径流量最少,其次是三叶草处理,对照处理地表径流量最大,种植黑麦草与三叶草 5 次降雨径流量均与对照处理差异显著,种植绿肥处理之间径流量相当,未达到显著差异。与对照相比,三叶草、黑麦草和苕子处理每平方米径

流量分别减少了24.7%,31.6%和13.9%。



注:同系列中不同小写英文字母表示不同处理间差异显著( $p<0.05$ ),下同。

图1 不同绿肥处理地表径流量

## 2.2 种植绿肥对果园地表径流养分流失的影响

通过坡地径流小区原位监测方法,研究了种植绿肥处理对径流水中养分流失量的影响。图2结果表明,氮磷等养分均有不同程度的流失,以氮素流失量较高( $12.2\sim27.1\text{ mg/m}^2$ ),磷素流失量相对较低(总磷流失量 $0.5\sim2.1\text{ mg/m}^2$ ;可溶性磷流失量 $0.2\sim1.1\text{ mg/m}^2$ )。从流失总量上分析,对照处理氮磷流

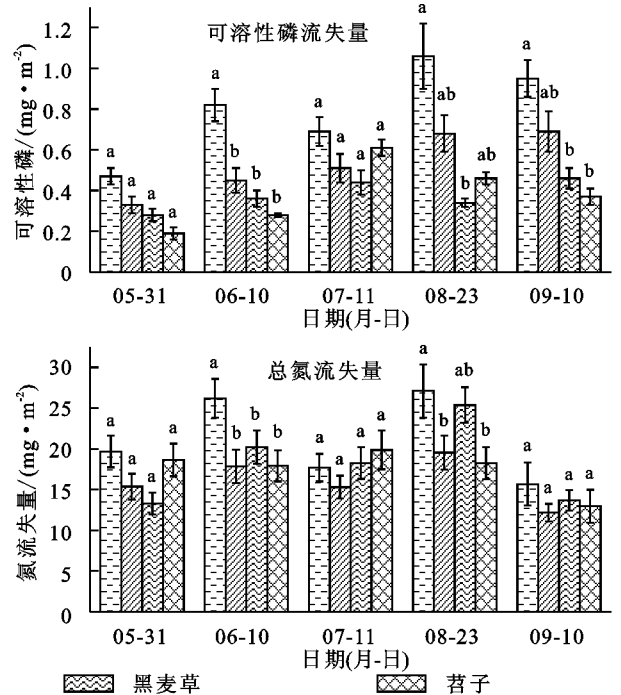
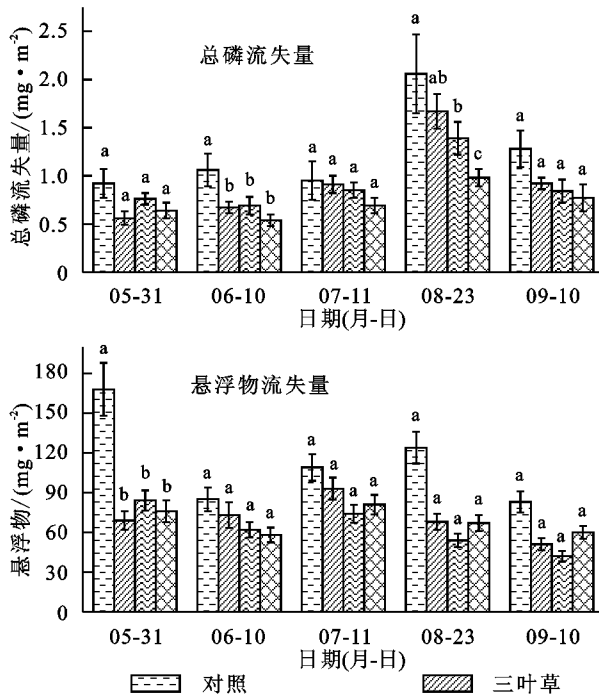


图2 不同绿肥处理地表径流养分流失

## 2.3 种植绿肥对果园地表径流养分流失浓度的影响

表层土壤养分随地表径流进入水体是农田养分流失的主要途径之一,表1为种植绿肥处理对径流水中氮素流失形态的影响。本研究结果表明,氮素是农业面源污染的主要因子,柑橘园地表径流中可溶性氮素占总氮的比例较高( $41.5\%\sim71.4\%$ ),平均为55.9%,而可溶性氮素又以硝态氮为主。从不同种植

失量最大,而种植绿肥均不同程度减少了氮磷流失总量,以种植黑麦草和三叶草处理减少氮素流失最明显,苕子处理次之。除6月10日与8月23日降雨种植绿肥处理氮磷流失量显著低于对照外( $p<0.05$ ),其余各次降雨地表径流氮磷流失量在各处理间差异不显著。与对照相比,种植黑麦草、三叶草和苕子处理总氮流失量分别减少20.6%,30.5%和23.9%,总磷流失量分别减少27.8%,42.5%和24.5%,可溶性总磷分别减少33.3%,52.8%和42.3%。通过以上分析,氮素污染风险要高于磷,防控的主要矛盾是氮素。

悬浮物主要包括泥沙、动植物残体、藻类和部分微生物,水体悬浮物是多种生物参与地球化学循环和迁移转化过程的重要载体,是水环境研究中的重要参数之一。本研究结果表明,种植三叶草、黑麦草和苕子处理泥沙流失量在不同时期均低于对照处理,除5月31日降雨种植绿肥处理悬浮物显著低于对照外( $p<0.05$ ),其余各次降雨悬浮物流失量在各处理间差异不显著。同一处理在不同时期以7月和8月的悬浮物流失量较多,这与地表径流量的多少明显相关。

绿肥处理来看,地表径流中总氮浓度依次为对照>黑麦草>苕子>三叶草,与对照相比,种植绿肥可使氮素流失浓度降低16.1%~18.9%。

## 2.4 种植绿肥对柑橘品质和产量的影响

种植绿肥对柑橘品质和产量也有一定的影响。从表2可以看出,种植不同绿肥的产量和品质均优于对照。产量方面,三叶草、苕子处理较高,其次是黑麦草处

理,对照最低。柑橘品质方面,与对照相比,种植绿肥处理能提高维生素 C 和可溶性固形物含量,降低柑橘总酸含量,其中,柑橘总酸的三叶草和对照处理差异达到显著水平( $p<0.05$ ),其他处理差异均不显著。

表 1 不同处理地表径流氮素流失形态特征

日期 (月-日)	处理	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/ 总 N/%	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/ 总 N/%	可溶态 N / (mg·L <sup>-1</sup> )	可溶态 N/ 总 N/%	总 N/ (mg·L <sup>-1</sup> )
05-31	对照	4.7	28.1	2.0	12.2	7.9	47.2	16.7
	三叶草	3.8	28.7	1.9	14.6	6.2	46.2	13.4
	黑麦草	4.2	37.3	2.1	18.9	8.1	71.4	11.3
	苕子	4.2	26.5	1.7	10.7	7.2	45.9	15.6
06-10	对照	4.9	24.6	1.7	13.2	8.4	41.5	20.2
	三叶草	4.8	31.5	3.2	21.1	9.7	65.1	14.8
	黑麦草	4.7	29.3	2.7	16.6	9.2	57.1	16.2
	苕子	5.2	33.7	3.7	24.6	8.7	58.1	14.9
07-11	对照	4.2	30.4	0.9	6.9	7.2	53.3	13.7
	三叶草	5.2	36.2	3.7	25.8	9.2	63.9	14.3
	黑麦草	4.9	37.1	2.7	20.1	8.6	60.1	13.3
	苕子	4.6	31.5	3.9	26.5	9.6	62.5	14.8
08-23	对照	6.2	34.8	3.5	14.1	11.4	45.3	25.1
	三叶草	4.9	25.5	3.6	18.5	8.9	45.8	19.5
	黑麦草	5.3	23.5	4.7	20.8	10.3	46.5	22.4
	苕子	4.7	29.1	3.9	27.1	9.4	57.9	16.2
09-10	对照	3.4	23.5	1.9	13.4	6.6	45.2	14.7
	三叶草	4.0	36.1	3.3	29.4	8.6	62.7	13.2
	黑麦草	2.9	23.4	2.1	16.8	6.2	48.7	12.7
	苕子	2.3	19.5	1.9	16.2	7.1	58.9	11.9
平均	对照	3.9	21.7	2.2	12.3	8.3	45.9	18.1
	三叶草	4.5	31.0	3.1	21.4	8.4	57.6	14.6
	黑麦草	4.4	29.2	2.9	18.8	8.5	55.7	15.2
	苕子	4.2	28.3	3.2	21.9	8.3	56.5	14.7

表 2 施用经济绿肥对柑橘产量和品质的影响

绿肥作物	品质			产量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
	维生素 C/ (mg/100 g)	可溶性 固形物/%	总酸/ (g·kg <sup>-1</sup> )	
苕子	46.4±5.1a	11.8±1.3a	6.0±0.9ab	34.2±3.2a
三叶草	45.4±4.6a	11.5±0.9a	5.9±0.7b	35.6±3.6a
黑麦草	44.1±3.9a	11.7±1.2a	8.6±1.1a	32.7±2.7a
对照	43.2±4.6a	11.0±0.8a	9.2±0.9a	31.1±4.1a

注:同一列不同小写字母表示不同处理差异显著( $p<0.05$ )。

3 结论与讨论

地表径流引起的农田土壤氮磷养分损失是造成农业面源污染的主要原因之一。在降雨过程中,雨水对土壤的冲击作用可使养分随径流而发生迁移,其迁移量与降雨强度、植被覆盖、施肥方式、土壤质地和地形地貌等因素有关。大量研究结果表明地表覆盖程度与农田氮磷径流流失的效果关系最为密切<sup>[12-13]</sup>。坡耕地果园的土壤侵蚀主要由地表径流引起,果园套

种绿肥增加了土壤覆盖度,不仅降低了雨滴直接溅蚀地表的动能,而且增加了土壤水分渗透量,使产生的地表水快速下渗到土壤深层,消减了地表径流的流失。对照处理植被稀疏,降雨击溅地表产生的泥沙迅速堵塞土层的自然孔隙,导致降水难以入渗到土层,增大了地表径流流失量。而种植三叶草和黑麦草绿肥作物后,果园裸露的地表被三叶草和黑麦草严密覆盖,有效降低了降雨对土壤的冲刷,增强了土壤的保水能力。与三叶草和黑麦草相比,苕子的地表覆盖度相对较低,以致地表径流量相对较多。

众多研究表明,果园套种绿肥对径流中氮磷表现出较高的去除率<sup>[14-15]</sup>。俞巧刚等<sup>[16]</sup>对山地果园套种绿肥的氮磷流失分析表明,可溶性氮磷是地表径流水体中的主要形式,套种绿肥可使氮磷流失量明显降低。路青等<sup>[17]</sup>对大豆种植区降雨径流的分析结果表明,颗粒态氮和可溶性磷是农田养分流失的主要形式。本研究对种植不同绿肥柑橘园地表径流水体氮

磷流失分析表明,各处理中地表径流中可溶性磷占总磷的 58.6%,可溶性氮素占总氮的 55.3%,可溶性氮素中又以硝态氮流失为主。其原因一方面硝态氮是旱地土壤氮素的主要形态,硝态氮又极易溶于水,另一方面铵离子带正电荷,旱地土壤对铵态氮的吸附能力大于硝态氮的吸附能力,铵离子甚至可以进入黏土矿物的晶体中,成为固定态铵离子,从而使土壤中硝态氮比铵态氮更易于流失<sup>[18]</sup>。刘毅等<sup>[19]</sup>对坡耕地柑橘园氮磷流失的研究结果表明,土壤氮磷流失的载体不同,氮素流失的载体是径流水,而泥沙悬浮物是磷素流失的主要载体。本研究结果发现降雨径流中氮素含量较高,而磷素含量相对较低,其主要原因可能是氮素流失主要通过径流液流失,且土壤中可溶性氮素含量较高,而磷的流失载体是泥沙,以颗粒态为主,因而磷在径流水体中的浓度相对较低。因此,坡耕地种植业氮的流失对水体的影响应受到重视。要控制氮流失,关键是控制降雨径流,果园套种绿肥可很好地控制地表径流,最终在一定程度上也控制了氮磷养分流失。

果园套种绿肥还可以稳定土壤温度及改善土壤水热条件,避免温度变化幅度过大对果树根系产生伤害,同时促进果树地上及地下部分的生长发育<sup>[20]</sup>。绿肥作物收获后进行翻压,可以有效培肥土壤,促进微生物的生长与活性,改善果实品质和提高果实产量<sup>[21]</sup>。本研究可以看出,果园套种绿肥后,柑橘的维生素 C、可溶性固形物和产量都明显提高,酸度则反之。种植绿肥后,由于改善了果树的生长环境,并且降低了果园土壤的养分流失,使得土壤蓄水量和叶片的叶绿素含量增加,果实品质得到改善。总的来说,在丹江口库区果园套种绿肥,可以增加果园的地表覆盖,增强果园土壤水分渗透性,降低降雨产生的地表径流,增强土壤的水土保持能力,极大提高当地农业的经济效益和生态效益,可作为丹江口库区果园大力推广的重要种植模式。

#### 参考文献:

- [1] 王全九,王力,李世清.坡地土壤养分迁移与流失影响因素研究进展[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(12):109-119.
- [2] 田卫堂,胡维银,李军,等.我国水土流失现状与防治对策分析[J].水土保持研究,2008,15(4):204-209.
- [3] Li S Y, Gu S, Liu W Z, et al. Water quality in relation to land use and land cover in the upper Han River Basin, China [J]. Catena, 2008, 75(2): 216-222.
- [4] 王永生,杨世琦.宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量[J].生态学报,2011,31(16):4653-4660.
- [5] 张彪,董敦义,张灿强,等.太湖流域安吉县森林控制土壤侵蚀及养分流失的效益评估[J].水土保持研究,2011,18(6):111-118.
- [6] 王立辉,黄进良,杜耘.南水北调中线丹江口库区生态环境质量评价[J].长江流域资源与环境,2011(2):161-166.
- [7] 张桂玲.秸秆和生草覆盖对桃园土壤养分含量、微生物数量及土壤酶活性的影响[J].植物生态学报,2011,35(2):1236-1244.
- [8] 赵秋,高贤彪,宁晓光,等.冬绿肥二月兰间作及翻压对北方桃园生长环境及果实品质的影响[J].中国土壤与肥料,2013(1):93-96.
- [9] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [10] 李合生.植物的试验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [11] 李锡香,宴儒来,向长萍,等.新鲜果蔬的品质及其分析方法[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [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]. Agricultural Water Management, 2012, 110(7): 34-40.
- [13] 黄河仙,谢小立,王凯荣,等.不同覆被下红壤坡地地表径流及其养分流失特征[J].生态环境,2008,17(4):1645-1649.
- [14] 黄沈发,唐浩,鄢忠纯,等.3种草皮缓冲带对农田径流污染物的净化效果及其最佳宽度研究[J].环境污染与防治,2009,31(6):53-57.
- [15] 王华玲,赵建伟,程东升,等.不同植被缓冲带对坡耕地地表径流中氮磷的拦截效果[J].农业环境科学学报,2010,29(9):1730-1736.
- [16] 俞巧钢,叶静,马军伟,等.山地果园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):6-9.
- [17] 路青,马友华,胡善宝,等.安徽省沿淮大豆种植区氮磷流失特征研究[J].中国农学通报,2015,31(12):230-235.
- [18] 刘宗岸,杨京平,杨正超,等.茗溪流域茶园不同种植模式下地表径流氮磷流失特征[J].水土保持学报,2012,26(2):29-32.
- [19] 刘毅,陶勇,万开元,等.丹江口库区坡耕地柑桔园不同覆盖方式下地表径流氮磷流失特征[J].长江流域资源与环境,2010,19(11):1340-1344.
- [20] 寇建村,杨文权,程国亭,等.行间种植不同草种对幼龄苹果园土壤特性的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):145-152.
- [21] 盛良学,黄道友,夏海鳌,等.红壤橘园间作经济绿肥的生态效应及对柑橘产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):677-679.