

不同施肥处理对紫色土坡耕地地表径流磷素流失的影响*

何丙辉^{1,2},黄巍¹,郭甜^{1,2},曹茹^{1,2},谌芸¹

(1.西南大学资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400715;

2.黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘要:基于三峡库区自然降雨条件下3个连续雨季观测的径流试验数据,分析不同试验处理下坡耕地地表径流磷浓度及构成,探讨地表径流磷流失量的时间变化过程及分布差异。结果表明:颗粒态磷占磷流失总磷的70%以上,是地表径流磷流失的主要形式,5~6月磷流失量达到峰值;不施肥处理小区磷流失量最高,横坡垄作小区磷流失量最低;三峡库区增加地表植被覆盖程度能够有效减少坡耕地地表径流磷流失量,减缓种植业面源污染对地表水体产生的潜在富营养化威胁。

关键词:紫色土;坡耕地;径流;磷流失

中图分类号:S157.1

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2012)03-0042-06

紫色土是三峡库区的主要土壤类型,库区坡耕地面积广大,同时粗放的耕作管理不仅导致生产力低下,同时造成严重的水土流失。地表径流中磷含量对水体富营养化程度存在影响,农业氮磷排放产生的面源污染是地表水体富营养化的重要原因^[1-2]。国内外学者从降雨、下垫面条件等不同方面,针对地表径流磷流失过程进行研究^[3-7]。不同土壤类型、土地利用方式、地表覆盖以及施肥情况,对地表径流磷流失过程和流失程度都存在不同程度的影响^[8-10]。三峡水库是河道型水库,同样面临水体富营养化的威胁。近年来国内学者就降雨对三峡库区坡耕地磷流失影响进行了重点研究^[4,6],但就施肥方式对坡耕地地表径流中氮磷的影响涉及较少^[11]。本文基于三峡库区3年的定位观测小区径流试验数据,分

析不同试验处理下地表径流磷素浓度及构成,探讨地表径流磷流失量的时间变化规律及分布差异,为三峡库区种植业源污染物流失系数提供可靠数据,为减少三峡库区坡耕地氮磷流失提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于重庆市西南大学后山农场(106°24'20"E,29°48'42"N)。试验地为丘陵地貌,位于正西方向,山腰部位的15°坡耕地。试验点属亚热带季风气候,年平均降雨量1100mm,年平均气温18.3℃,年日照1270h。土壤为中等肥力水平的紫砂泥,质地为中壤,地方土名为沙溪庙组紫色土。供试小区土壤理化性状见表1。

表1 供试小区土壤化学性质

Tab.1 Physical and chemical properties of soils in test plots

土层/cm	硝态氮/(mg·kg ⁻¹)	铵态氮/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(mg·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	有效磷/(g·kg ⁻¹)	有效钾/(g·kg ⁻¹)	pH
0~20	19.51	24.18	5.94	0.53	0.66	3.9	71.96	8.16

1.2 田间试验设计

本实验共设置径流小区15个,小区规格为32m²(8m×4m)。为了防止各小区间发生水分和养分

的交流,小区之间用水泥墙体的田埂隔开。在径流小区与径流池相连一端,沿小区宽度方向挖一个集流槽,在集流槽中间位置设“V”型径流入水口。每

* 收稿日期:2011-12-02 修回日期:2012-04-09

资助项目:农业部行业公益性科研项目“南方山地丘陵区面源污染监测与氮磷投入阈值研究”(201003014-6-3);国家科技支撑计划(No.2011BAD31B03);国家自然科学基金(No.40671115);西南大学生态学重点学科“211工程”三期建设项目

作者简介:何丙辉,男,教授,博士生导师,研究方向为土壤侵蚀与水土保持。

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120526.1213.201203.42_009.html

一个小区的径流入水口高度保持一致。试验共分5个施肥水平处理,各处理设3个重复。主要施用肥料为尿素、农家肥,尿素总氮含量46.4%,农家肥总氮含量24.0%,施肥方式为撒施。各处理具体施肥量见表2。

表2 不同小区施肥管理措施

Tab.2 Fertilizer application in different plots (kg · hm⁻²)

试验	小麦肥料施用量			玉米肥料施用量		
	施氮	施磷	施钾	施氮	施磷	施钾
T1 对照处理	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T2 常规处理	138.00	12.56	0.00	221.00	40.20	0.00
T3 优化处理	225.00	20.94	106.36	188.00	25.13	106.36
T4 增量处理	337.50	31.41	159.55	282.00	37.69	159.55
T5 横坡垄作	225.00	20.94	106.36	188.00	25.13	106.36

1.3 试验观测与测试方法

每次采集样品时,先测量径流量,然后将径流池内的水搅拌均匀,采集径流水样,每次采集500 mL。测定样品中可溶性磷以及总磷的浓度。

水样的测定:总磷的测定用过硫酸钾氧化法,可溶性磷用靛酚蓝比色法。

1) 流失量。测得各次径流水中物质磷的浓度及径流量,将两者相乘得各处理单次径流中磷素

流失量,累计相加得各处理整个实验期间磷素流失总量。计算公式如式(1)。

$$T = \sum_{i=1}^n C_i \times V_i \quad (1)$$

式中, T 表示径流中磷素流失量, C_i 表示第 i 次径流中磷的浓度, V_i 表示第 i 次径流水的体积。

2) 流失系数。流失系数是以流失率(%)表示,计算公式如式(2)。

流失系数 =

$$\frac{\text{各处理磷素流失量} - \text{对照处理磷素流失量}}{\text{各处理施磷肥量}} \times 100\% \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 地表径流磷流失特征

2.1.1 地表径流磷浓度 表3为2008—2010年3个雨季田间试验小区内5种不同施肥处理下坡耕地地表径流磷素浓度观测值的统计分析结果,包括最大值(Max)、最小值(Min)以及中位值(Med)。2008—2010年磷素流失浓度年际差异明显,但总体上表现为:总磷浓度的最大值和可溶性磷浓度最大值均表现为T1不施肥处理最大,可以看出不施肥处理有较大的磷流失危险;总磷浓度的中位值,比较得出T5垄作处理总体上流失浓度较小。比较颗粒态磷浓度中位值,优化施肥处理T3低于其他施肥处理。

表3 各试验处理下地表径流磷素浓度观测结果

Tab.3 Concentration of various phosphorus forms in runoff for different fertilizer applications (mg · L⁻¹)

年份	试验处理	可溶性磷			颗粒态磷			总磷		
		Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min
2008	T1	0.129	0.994	0.051	1.103	12.246	0.274	1.154	12.682	0.403
	T2	0.296	0.317	0.271	1.742	1.932	1.118	2.013	2.228	1.435
	T3	0.082	0.119	0.048	0.343	1.169	0.049	0.425	1.217	0.136
	T4	0.097	0.277	0.049	2.138	9.043	0.736	2.224	9.320	0.785
	T5	0.189	0.820	0.032	1.267	2.598	0.196	1.301	3.359	0.228
2009	T1	0.069	0.724	0.007	0.374	0.537	0.166	0.466	1.261	0.256
	T2	0.103	0.169	0.004	0.415	0.870	0.221	0.551	1.039	0.258
	T3	0.079	0.339	0.005	0.295	0.693	0.086	0.369	1.008	0.155
	T4	0.040	0.739	0.004	0.343	0.896	0.265	0.396	1.535	0.276
	T5	0.170	0.760	0.015	0.433	4.164	0.262	0.632	4.779	0.277
2010	T1	0.647	0.826	0.043	0.794	1.769	0.208	1.308	2.595	0.378
	T2	0.313	0.639	0.009	0.729	2.176	0.453	1.214	2.489	0.503
	T3	0.441	0.910	0.014	0.770	1.740	0.351	1.153	1.755	0.696
	T4	0.388	0.689	0.052	0.669	1.068	0.349	1.120	1.510	0.494
	T5	0.460	0.679	0.021	0.681	1.227	0.216	1.198	1.830	0.504

2.1.2 地表径流磷浓度构成 表 4 是 2008—2010 年 3 个雨季田间试验小区内 5 种施肥处理下坡耕地地表径流磷素浓度构成比例的统计结果分析。各种施肥处理下坡耕地地表径流可溶性总磷占总磷比例的中值和最大值均低于颗粒态总磷占总磷比例的相应值,其中 T3 优化施肥处理下颗粒态磷占总磷比例的中值最小,可溶性磷占总磷比例的中值最大。

表 4 各试验处理下地表径流不同形态磷素浓度比例构成统计结果

Tab. 4 Concentration component of various phosphorus forms in runoff for different fertilizer applications

试验	可溶性磷/总磷			颗粒态磷/总磷		
	Med	Max	Min	Med	Max	Min
T1	32.0	64.4	2.0	82.2	98.0	35.6
T2	22.1	52.6	0.5	83.7	99.6	47.4
T3	36.6	64.0	0.1	73.3	99.2	36.0
T4	32.2	56.3	1.3	89.1	98.7	43.7
T5	28.7	57.1	1.7	74.9	98.3	42.9

2.2 磷素流失系数

表 5 是 2008—2010 年 3 个雨季田间试验小区内 5 种施肥处理下坡耕地地表径流磷流失系数统计结

表 5 磷流失系数

Tab. 5 Phosphorus loss coefficient

年度	处理	施肥含磷量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	磷素流失总量/ $(10^{-3} \cdot \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$			流失系数/%
			总磷	可溶性磷	颗粒态磷	
2008	T1	0	15.18	1.54	13.64	-
	T2	26.38	31.92	4.63	27.29	0.0635
	T3	46.07	47.39	4.19	43.2	0.0699
	T4	69.1	137.00	4.99	132.01	0.1763
	T5	46.07	18.59	3.22	15.37	0.0074
2009	T1	0	19.48	3.92	15.56	-
	T2	26.38	8.47	1.33	7.14	-0.0417
	T3	46.07	9.49	3.17	6.32	-0.0217
	T4	69.1	25.58	5.81	19.77	0.0088
	T5	46.07	15.15	4.05	11.1	-0.0094
2010	T1	0	65.41	12.43	52.98	-
	T2	26.38	62.54	11.14	51.4	-0.0109
	T3	46.07	40.10	10.17	29.93	-0.0549
	T4	69.1	38.89	11.07	27.82	-0.0384
	T5	46.07	28.74	6.83	21.91	-0.0796

图 2 分别是 2008—2010 年 3 个雨季田间试验小区内 5 种不同施肥处理方式下坡耕地地表径流磷

果分析。2008 年度的磷流失总量 $T4 > T3 > T2 > T5 > T1$, 2009 年度的磷流失总量 $T4 > T1 > T5 > T3 > T2$, 2010 年度的磷流失总量 $T1 > T2 > T3 > T4 > T5$, 总体而言 $T4$ 处理的磷流失总量在 5 种施肥处理中最高。就颗粒态总磷流失量占总磷流失量的百分含量而言, 2008 年度 $T4 > T3 > T1 > T2 > T5$, 2009 年度 $T2 > T1 > T4 > T5 > T3$, 2010 年度 $T2 > T1 > T5 > T3 > T4$, 不施肥 $T1$ 处理下颗粒态磷的流失比例较高, 横坡垄作 $T5$ 处理下颗粒态磷的流失比例较低。颗粒态磷流失量占总磷流失量的 70% 以上, 颗粒态磷流失是磷流失的主要形式。

2.3 地表径流氮磷流失的时间变化

图 1 分别是 2008—2010 年 3 个雨季田间试验小区内 5 种不同施肥处理方式下坡耕地地表径流可溶性磷流失量不同年份年内变化过程及分布差异。如图 1 所示, 不同施肥处理下坡耕地地表径流可溶性磷流失量, 年内变化规律性并不明显, 2008 年呈双峰曲线, 2009 年呈双 U 型曲线, 2010 年呈抛物线, 最高值均出现在 6 月份; 其中 2010 年的可溶性磷流失状况反映出, $T1$ 处理的可溶性磷流失量相对稳定在 $1.5 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{hm}^2$, 可溶性磷流失较大的是 $T2$ 处理和 $T4$ 处理, 可溶性磷流失最小的 $T5$ 处理。

流失量相同时期年内变化过程及分布差异。如图 2 所示, 不同施肥处理下坡耕地地表径流总磷流失量,

4月份处于相对较低的流失状况下,总体上处于 $4 \times 10^{-3} \text{ kg/hm}^2$ 以下,5~6月份磷素流失量维持在较高的流失状况下,总体上处于 $5 \times 10^{-3} \text{ kg/hm}^2$ 附近,7月份磷素流失量基本上处于最低流失状况下,总体上处于 $2 \times 10^{-3} \text{ kg/hm}^2$ 以下。磷流失量在每个雨季的时间变化上,总体上呈现出抛物线型的趋势,也就是在4月份雨季开始时,地表径流的磷流失量相对较低;在5~6月玉米生长阶段,磷流失量处于峰值时期;7月份玉米成熟收获阶段,磷流失量降低。

磷流失量在4月份的差异较为显著,在5~7月总体上表现不明显,T1不施肥处理的磷流失量在总体上明显高于其他施肥处理方式下的相应值,T5横坡垄作的磷流失量在总体上低于其他施肥处理方式下的相应值。在4个施肥处理中T4增量施肥的磷流失量总体上高于其他施肥处理方式下的相应值,T5横坡垄作的施肥处理与T2常规施肥处理的磷流失量较为接近。

3 讨论

表3和表4的结果表明:2008—2010年度3个雨季内,坡耕地试验小区的地表径流中磷素的流失以颗粒态磷流失为主要形式,可溶性磷占总磷的比例较小。试验结果与前人对磷素流失的研究一致,磷素流失主要与土壤中粘粒和微团聚体有关^[12-14]。

表5的结果表明:2008—2010年度,5种不同施肥处理的试验小区中,不施肥的T1小区颗粒态磷的流失比例在所有试验小区中较高,横坡垄作的T5小区的颗粒态磷的流失比例在所有试验小区中较低;T1小区的磷素流失总量较高,T5小区的磷素流失总量较低。根据美国通用土壤流失方程,认为土壤流失量受降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡长、坡度、植被覆盖和经营管理以及水土保持措施6方面影响^[15]。在本试验小区中,由于施肥处理的差异造成了植被覆盖程度的不同,同时横坡垄作的T5处理与其他施肥处理相比应用了水土保持措施。没有施用任何肥料的对照处理T1,小麦和玉米的长势较弱,小区土表大面积裸露,降雨过后容易形成径流,因而径流中的磷素含量最高。运用横坡垄作的T5处理与常规施肥的

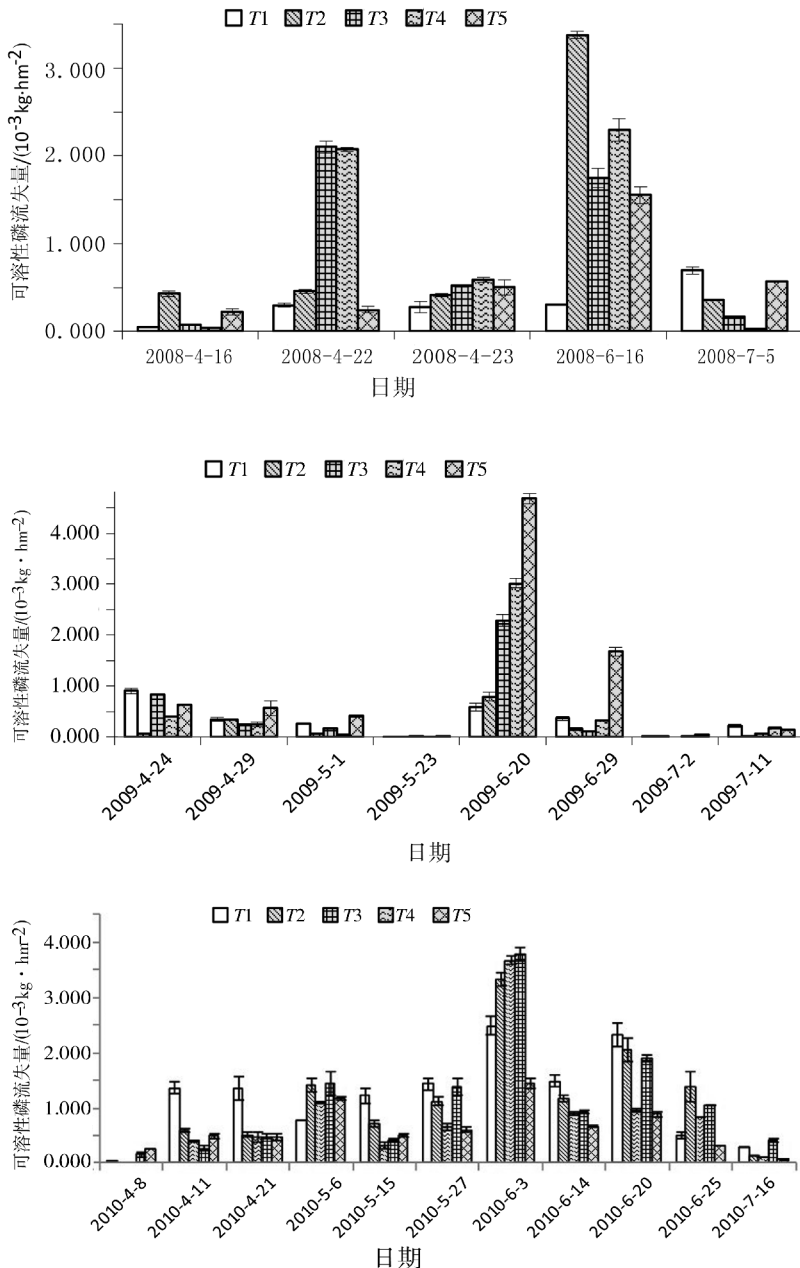


图1 各试验处理下地表径流可溶性磷流失量年内差异

Fig.1 Loads of soluble phosphorus in runoff during a year for 5 fertilizer applications

T2 处理相比,运用了水土保持措施,减缓了地表径流对土壤的直接冲刷,从而降低了径流中磷素含量。说明 T1 小区在所有试验小区中有较强的水力侵蚀, T5 小区的水力侵蚀较弱。同样说明,在植被覆盖较少的坡耕地上水力侵蚀发展的程度较深,径流中携带的泥沙增多,径流中磷含量增多;在应用水保措施的坡耕地上,水力侵蚀的发展程度较浅,径流中携带的泥沙相对较少。

图 1 和图 2 表明:可溶性磷流失量与总磷流失量在总体上趋势一致,不施肥处理的可溶性磷流失量维持在 $1.5 \times 10^{-3} \text{ kg/hm}^2$ 左右,其他施肥处理的地表径流可溶性磷流失量与总磷流失量成正比例关系。不施肥处理的可溶性磷流失量相对稳定,与地表相对裸露,径流直接冲刷地表有关;其他施肥处理的可溶性磷流失量与植物覆盖度以及施肥量都有一定的关系。磷流失主要集中在 5~6 月作物生长期,

也是降雨相对集中的时期,磷流失在这一时期达到峰值,各年度峰值出现时间不同,这与降水分布以及追肥时间有关。

可溶性磷年内变化的不规律与不同年份降雨雨强有关,而不施肥处理下 2010 年度可溶性磷流失量相对稳定说明,可溶性磷流失量与地表的裸露程度存在一定的相关性,其他处理的可溶性磷流失量变化,说明施肥量、植被覆盖度以及土地利用方式对可溶性磷流失有不同程度影响;总磷流失量呈抛物线型变化,主要是总磷流失量很大程度上是由径流中颗粒态磷流失量所决定的,而年内降雨以及作物生长对颗粒态磷流失影响较小,颗粒态磷流失量相对稳定。

综合图表结果,可以得出增加坡耕地的植被覆盖是减少水土流失的有效措施,与同时期种植农作的坡耕地相比,裸地造成水土流失产生的径流和泥沙中携带的养分含量更高。在坡耕地上使用保护性耕作措施有利于控制水土流失和面源污染。流失系数测定公式没有考虑到坡耕地水土流失的特点,忽视了植被覆盖和经营管理因子的作用,导致试验中对照处理与其他处理的试验状况不同,没有真实考察出施肥量对种植业源面源污染的贡献程度。

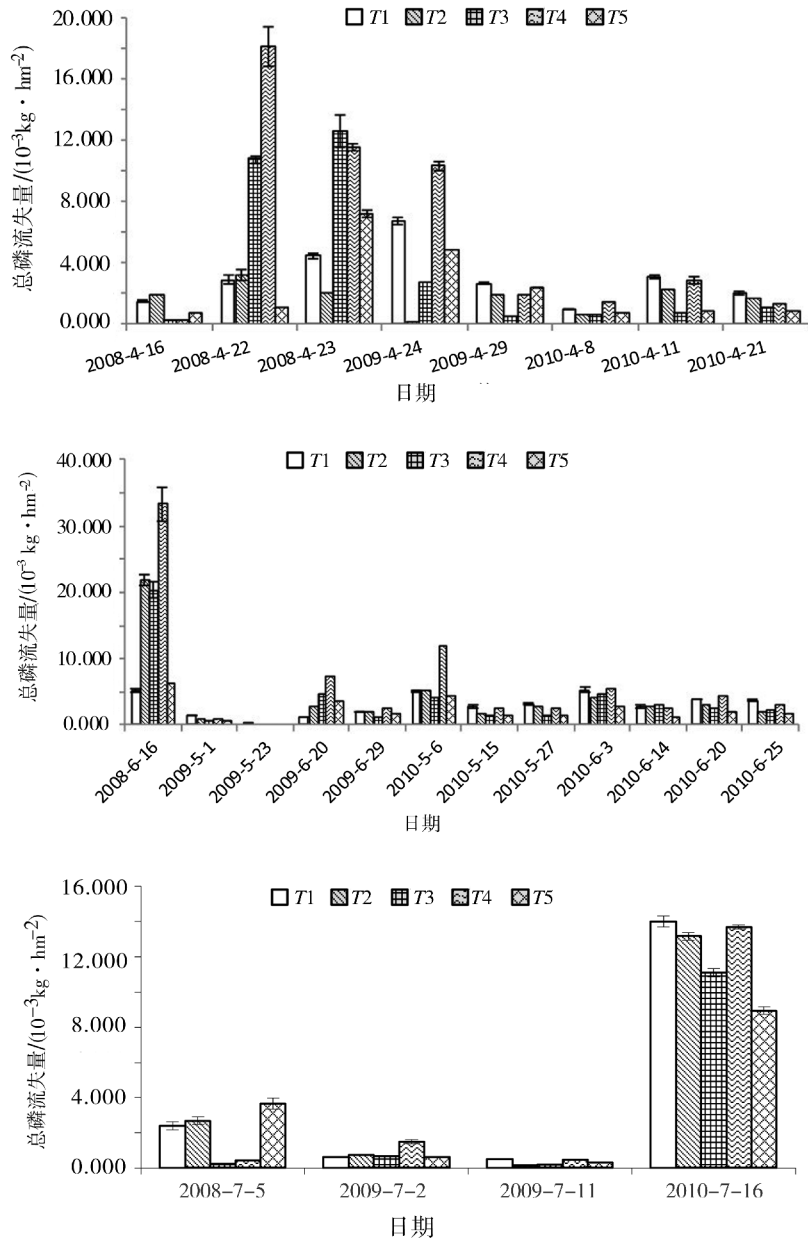


图 2 各试验处理下地表径流磷素流失量相同月份年际差异

Fig. 2 Loads of phosphorus in runoff with different years at the same period for 5 fertilizer applications

4 结论

对2008—2010年雨季的田间

小区试验数据进行分析表明,坡耕地地表径流磷浓度构成以颗粒态磷为主。坡耕地地表径流可溶性磷流失量与总磷流失量趋势一致,磷流失量时间变化过程表现为,5~6月作物生长期达到峰值。不施肥处理试验小区的可溶性磷流失量相对稳定,但总磷流失量最高;采用保护性耕作措施的小区可溶性磷流失量和总磷流失量最小。增加地表植被覆盖程度能够有效减少坡耕地地表径流磷流失量,减缓种植业源面源污染对地表水体富营养化产生的潜在威胁。

参考文献:

- [1] 陈利顶,傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. 环境科学, 2000, 21(2): 98-100.
- [2] 唐莲,白丹. 农业活动非点源污染与水环境恶化[J]. 环境保护, 2003, 3: 18-20.
- [3] 马琨,王兆骞,陈欣,等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 16-19.
- [4] 傅涛,倪九派,魏朝富,等. 雨强对三峡库区黄色石灰土养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 16-19.
- [5] 林超文,陈一兵,黄晶晶,等. 不同耕作方式和雨强对紫色土养分流失的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2241-2249.
- [6] 蒋锐,朱波,唐家良,等. 紫色丘陵区小流域典型降雨

径流氮磷流失特征[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1353-1358.

- [7] 焦平金,许迪,王少丽,等. 自然降雨条件下农田地表产流及氮磷流失规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 534-540.
- [8] 吴希媛,张丽萍,倪含斌,等. 青山湖流域不同地表覆盖降雨径流中氮磷流失过程研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 56-59.
- [9] 袁程程,钱新,庞宗强,等. 不同土地利用方式土壤表层氮、磷流失特征研究[J]. 环境化学, 2011, 30(9): 1657-1662.
- [10] 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): 479-483.
- [11] 林超文,罗春燕,庞良玉,等. 不同雨强和施肥方式对紫色土养分损失的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(9): 2241-2249.
- [12] Sharpley A N, Smith S J. Prediction of soluble phosphorus transport in agricultural runoff [J]. Environ Qual, 1989, 18: 313-316.
- [13] 蔡崇法,丁树文,张光远,等. 三峡库区紫色土坡地养分状况及养分流失[J]. 地理研究, 1996, 15(3): 77-83.
- [14] 黄丽,丁树文,董舟,等. 三峡库区紫色土养分流失的试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 8-13, 21.
- [15] Wischmeier W H, Smith D D. A universal soil loss equation to guide conservation farm planning [C]//Int Congr Soil Sc Trans, 1960: 418-425.

(责任编辑 游中胜)