

## 不同降雨侵蚀力条件下紫色土坡耕地的养分流失

徐泰平<sup>1,2</sup>,朱 波<sup>1</sup>,汪 涛<sup>1,2</sup>,况福虹<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所,成都 610041;2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

**摘 要:**通过对川中丘陵区几次暴雨过程氮、磷流失的观测与分析,研究了不同降雨侵蚀力条件下的紫色土坡耕地的养分流失特征。结果表明在产流初始阶段,氮、磷流失严重,径流中养分输出浓度比较高,总氮最大可达 8.0 mg/L 左右,总磷在 1.9 mg/L 左右;坡耕地养分流失与土壤侵蚀的关系密切,氮、磷迁移以泥沙吸附态迁移为主,径流中的颗粒态氮、磷含量随降雨侵蚀力增大而增大,而溶解态氮、磷含量与降雨侵蚀力无明显相关。

**关键词:**紫色土;坡耕地;暴雨;养分流失;降雨侵蚀力

**中图分类号:**S157

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2006)06-0139-03

### Nutrient Loss from Slope Cropland of Purple Soil Under Different Rainfall Erosivities

XU Tai-ping<sup>1,2</sup>,ZHU Bo<sup>1</sup>,WANG Tao<sup>1,2</sup>,KUANG Fu-hong<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazard and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10039;

3. College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716)

**Abstract:**The characteristics of nutrient loss from slope cropland of purple soil under different rainfall erosivities were studied from several rain-storm processes in the central Sichuan Basin. The results showed that the main lost nutrient happened at the beginning of the runoff. The highest concentration of total N and total P exported in runoff was as high as 8.0 mg/L and 1.9 mg/L respectively. There was significantly positive correlation between the rainfall erosivity and the amounts of particulate form which was dominative in the lost nutrient of surface runoff; while dissolved nutrient in runoff was not interrelated with the rainfall erosivity.

**Key words:**purple soil; slope cropland; rain-storm; nutrient loss; rainfall erosivity

降雨和径流是土壤侵蚀的主要动力,雨滴的溅蚀和地表径流的冲刷是造成土壤养分流失的直接原因。紫色土结构松散,在雨水打击和径流冲刷下表土极易携带养分流失<sup>[1]</sup>,从而造成土壤的退化和水环境的恶化。坡耕地占四川盆地丘陵区总耕地面积的 70%,传统顺坡种植方式更加剧了土壤侵蚀。近年来,国内学者已经对黄土、红壤及紫色土的养分流失做了大量研究<sup>[2~7]</sup>,主要采用人工模拟降雨,设定雨强一般是固定的,成果集中在养分负荷研究上。但坡耕地养分随季节性暴雨的流失特征和机制,特别是养分流失过程的研究还比较少。自然降雨不同于人工降雨的突出特点就是次降雨下雨强变化的连续性和不稳定性,以及异次降雨间降雨特性的相异性。Wischmeier<sup>[8]</sup>提出的降雨侵蚀力指标( $R$ )表达出次降雨的总量和强度特点,比单一抽提出雨强因子,更能刻画出自然暴雨的降雨特性。因此,本试验着重研究不同降雨侵蚀力条件下紫色土坡耕地暴雨过程中的径流养分流失形态、含量和过程,为有效防止地表水体富营养化提供依据,对解决紫色土区域农业的环境保护具有现实意义。

#### 1 材料与方法

##### 1.1 试验场基本情况

试验地点位于川中丘陵北部的中国科学院盐亭紫色土

农业生态试验站,具有四川盆地亚热带湿润季风气候特征,地形为中深丘,海拔 400~600 m,由于水平砂泥岩互层形成低坡度(5~8°)的多级梯地,多年平均降雨量 825 mm 左右<sup>[9]</sup>。观测试验在盐亭站坡地径流场(20 m×5 m)进行,坡度为 5°,采用传统的顺坡种植方式种植玉米,季前施肥量折合为 N 150.0 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90.0 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 54.1 kg K<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>,该区旱地是大面积的油菜(或冬小麦)-夏玉米种植区,采样时夏玉米抽雄开花期已过,植株均高在 2 m 左右,植被覆盖度 85%。供试土壤为石灰性紫色土,有机质含量 8.75 g/kg,全氮 0.62 g/kg,全磷 0.64 g/kg,全钾 18.42 g/kg,碱解氮 42.29 mg/kg,有效磷 4.16 mg/kg,速效钾 71.39 mg/kg,pH 8.83。

##### 1.2 采样方法

2004 年 8 月 1 日、4 日和 13 日三次暴雨过程中,从产流开始,用 500 ml 塑料瓶分别在第 0、1、2、3、4、5、7、10、12、15、20、25、30、45 min 等时刻于小区径流出口采取径流液,每次取雨水为空白对照。

##### 1.3 测试项目与分析方法

坡地土壤养分径流损失表现为两种形式,其一,溶解于

\* 收稿日期:2005-11-17

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-413 和 KZCX3-SW-330)资助

作者简介:徐泰平(1980-),男,硕士生,主要从事农业生态研究;通讯作者:朱波。

水并随径流流失的可溶性养分;其二,吸附和结合于泥沙颗粒表面以无机态和有机质形式存在的养分<sup>[2]</sup>,所以相应地把随地表径流流失的养分分为溶解态和颗粒态两部分。收集的径流液经 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤,分离测定溶解态与颗粒态养分。

总氮(TN)、溶解态总氮(DN)用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度计法测定;铵态氮( $\text{NH}_4\text{-N}$ )用纳氏试剂分光光度法测定;硝态氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ )用紫外分光光度计法测定;总磷(TP)、溶解态总磷(DP)与磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}$ )都使用钼酸盐比色法,其中总磷和溶解态总磷先要用过硫酸钾消解<sup>[10]</sup>。颗粒态氮(PN)由总氮减去溶解态总氮计算得出,颗粒态磷(PP)由总磷减去溶解态总磷得出。

#### 1.4 降雨侵蚀力的计算

降雨侵蚀力由公式  $R = EI_{30}$  计算得出,其中  $E$  是降雨动能, $I_{30}$  是最大 30 min 雨强。由于  $EI_{30}$  和  $PI_{30}$  的高度相关<sup>[11]</sup>,降雨动能用产流基本结束前的累计降雨量( $P$ )代替。

## 2 结果与讨论

### 2.1 相同降雨侵蚀力下径流养分含量变化

#### 2.1.1 相同降雨侵蚀力下径流养分含量随时间的变化

选取 2004 年 8 月一次典型的降雨过程作分析。本次降雨过程的降雨量为 23.15 mm,最大 30 min 雨强为 0.71 mm/min,相应的降雨侵蚀力为 16.44  $\text{mm}^2/\text{min}$ 。

图 1 和图 2 分别反映了径流液中不同形态的磷、氮输出浓度随时间变化的情况。可以看出,总磷与颗粒态磷、总氮与颗粒态氮的时间-浓度曲线比较接近,表现出暴雨过程中紫色土坡耕地的磷、氮的迁移都是以泥沙吸附态迁移为主。

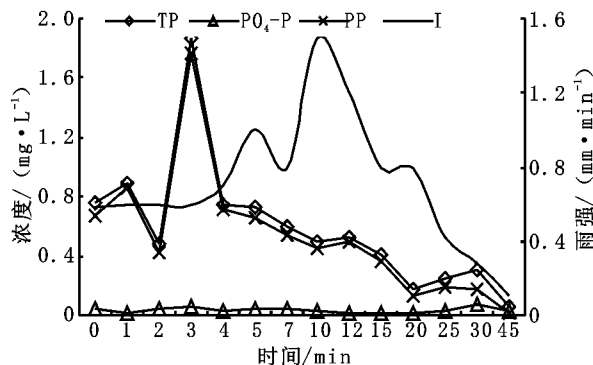


图 1 径流磷含量与雨强和降雨历时的关系

#### 2.1.2 相同降雨侵蚀力下径流养分含量随瞬时雨强的变化

由图 1、图 2 可以看出,产流初始阶段瞬时雨强( $I$ )的大小为 0.6 mm/min,在第 12 min 上升到峰值 1.5 mm/min 后又快速下降。径流液中各形态养分输出浓度并没有随着瞬时雨强的增大、减小而发生同步或者滞后的相应变化。事实上,在最大瞬时雨强出现之前,径流液中的氮磷养分浓度已经明显下降,原因可能是坡耕地紫色土结构松散,可蚀性大,0.6 mm/min 大小的雨强就足以使大量的氮磷养分随径流和泥沙迁移。另外,该区降雨历时长,土层浅薄,以蓄满产流为主,降雨量对土壤侵蚀的影响可能比雨强还大,所以径流养分浓度与雨强没有明显相关。总之,土壤侵蚀是一个非线性的过程,除了雨强,雨量、降雨动能、植被覆盖、坡度、坡长、作物管理等也是影响侵蚀的重要因子,所以从微观上抽象瞬时雨强和瞬时养分输出的关系就不会有很明显的直接的规律,这并不表示他们之间没有联系,因为雨强是描述降雨特性的主要因子,也是产生土壤侵蚀的主要动因之一,只是在自然界各种因子交互作用的非线性系统中,难于单独抽提瞬

产流的初始阶段,径流液中总磷输出浓度为 0.8 mg/L,3 min 左右到达峰值 1.9 mg/L 后逐渐下降,说明磷素的流失主要在产流的初始阶段。径流磷酸盐含量比较低,输出浓度一直在 0.6 mg/L 以下且变化平缓。径流液铵态氮的输出浓度由 1.0 mg/L 左右逐渐下降,相反硝态氮的输出浓度变化却是缓慢升高,从 0.2 mg/L 上升到 0.7 mg/L 左右。径流液中总氮和颗粒态氮的浓度在第 5 min 分别达到 8.0 mg/L 和 6.0 mg/L 的峰值后缓慢下降,两者显示出同高同低的波动趋势,另一方面也说明溶解态氮的输出是比较稳定的。我国规定富营养化型湖泊、水库等水体的总氮、总磷的上限指标分别是 1.3 mg/L 和 0.09 mg/L<sup>[12]</sup>,而紫色土坡耕地的氮、磷输出浓度峰值分别超过以上限值 5 倍和 20 倍。紫色土主要分布在长江流域沿岸的丘陵区,季节性暴雨条件下土壤中大量营养物质会随地表径流冲刷进入河流和湖泊,必将严重影响长江上游流域的水生生态环境。

颗粒态氮、磷呈现的变化趋势主要是因为由于产流初期,坡面表土比较松散,抗蚀能力低,易受雨滴击溅和径流冲刷。持续降雨时,地表松散土粒减少,土壤入渗率变得稳定造成坡面土壤侵蚀强度明显减小,因而伴随径流泥沙的颗粒态养分浓度降低<sup>[2]</sup>。紫色土区基本为蓄满产流,所以产流初期,表层土壤的硝态氮随饱和水流向下淋溶。而当降雨消失或者径流减少后,硝态氮随水分扩散,同时因为单位时间内径流减少后造成径流液对迁移养分的稀释效应也在减小,所以径流中硝态氮的输出浓度有缓慢上升的趋势。产流初期大量土壤颗粒表面吸附的铵态氮因径流的冲洗而解吸,产流后期表层土壤也已经被大量剥蚀,径流量也大大减少,所以铵态氮输出浓度总的趋势是缓慢下降。

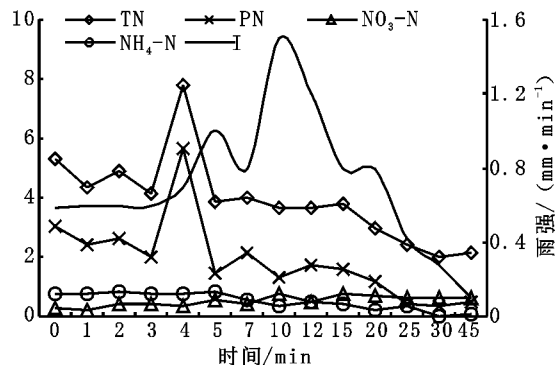


图 2 径流氮含量与雨强和降雨历时的关系  
雨强和养分流失的关系。

#### 2.2 不同降雨侵蚀力下径流养分含量变化

在 2004 年 8 月共观测到三次暴雨产流过程,各次暴雨的降雨侵蚀力值见表 1,其中  $R_1 > R_2 > R_3$ 。

表 1 各次降雨的降雨侵蚀力

降雨 编号	降雨量 $P/\text{mm}$	30 min 最大雨强 $I_{30}/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	降雨侵蚀力 $R/(\text{mm}^2 \cdot \text{min}^{-1})$
$R_1$	36.00	0.90	32.40
$R_2$	23.15	0.71	16.44
$R_3$	20.45	0.61	12.47

由图 3 和图 4 可知,由于径流磷素流失以颗粒态为主,所以三种不同降雨侵蚀力水平下的总磷和颗粒态磷的输出浓度变化过程具有比较一致的规律,都是先升后降。径流总磷输出浓度呈现出  $R_3 > R_1 > R_2$  的现象, $R_3$  的降雨侵蚀力值(12.47  $\text{mm}^2/\text{min}$ )最低,但输出浓度却最大,全过程平均为 0.96 mg/L。径流颗粒态磷的输出浓度大致为  $R_1 > R_2 > R_3$ ,显示出颗粒态磷的迁移与降雨侵蚀力有较好的相关。

图 5 到图 8 分别显示了不同降雨侵蚀力水平下径流液中硝态氮、铵态氮、总氮和颗粒态氮输出浓度的变化情况。可以看出,降雨径流过程中  $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_3$  硝态氮的输出浓度都是逐渐上升的,分别从初始阶段的 0.6 mg/L、0.3 mg/L 和 0.7 mg/L 上升到产流末期的 0.8 mg/L、1.6 mg/L 和 1.1 mg/L,总体趋势以  $R_1$  为最大,全过程平均为 0.59 mg/L,而  $R_2$  和  $R_3$  的输出浓度的高低则与降雨侵蚀力大小没有对应

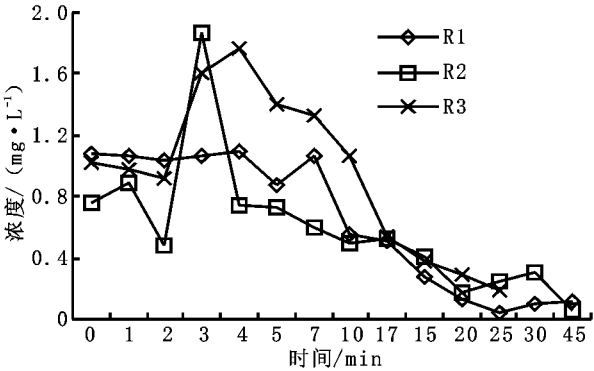


图 3 不同降雨侵蚀力下径流总磷与降雨历时的关系

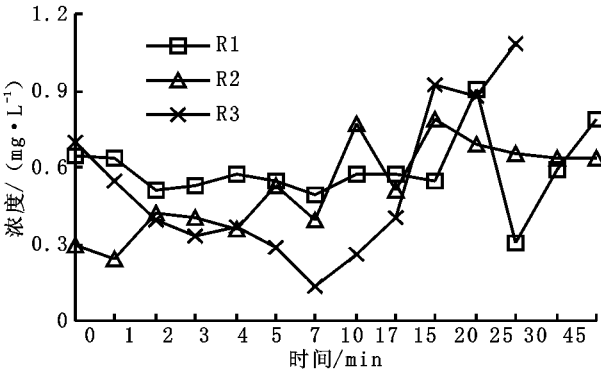


图 5 不同降雨侵蚀力下径流硝态氮与降雨历时的关系

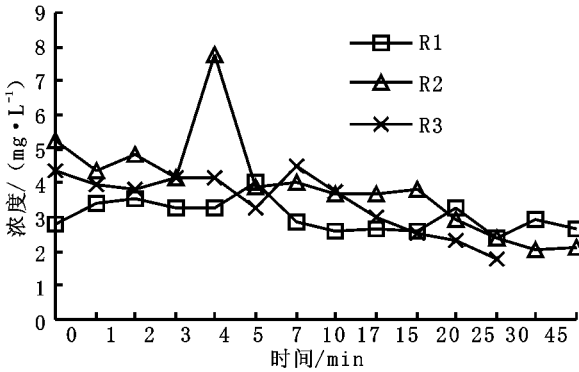


图 7 不同降雨侵蚀力下径流总氮与降雨历时的关系

降雨侵蚀力可以表征土壤侵蚀的潜能,由于大量以无机态和以有机质形式存在的氮、磷养分吸附于土壤颗粒表面<sup>[13]</sup>,土壤颗粒又随降雨径流迁移,所以径流中颗粒态氮、磷的输出浓度变化与降雨侵蚀力有一定的正相关。溶解态氮、磷的输出,在不同降雨侵蚀力下均未表现出降雨侵蚀力越大浓度越高的趋势,主要原因是溶解态氮、磷的迁移与土壤物理性质和作物的生物学性质有密切的关系,迁移机理相对独立而不同步于土壤侵蚀过程。硝态氮在雨水的作用下发生浸提、下渗以及扩散,它的迁移虽然会受到土壤侵蚀的影响,但基本的迁移机理却与泥沙迁移有很大不同,所以硝态氮的输出浓度变化与降雨侵蚀力的相关性就不好。土壤中铵态氮因雨水的浸提而向径流扩散,同时土壤颗粒表面吸附的铵态氮

关系。径流液铵态氮输出浓度的总体趋势是下降,但一直处于波动当中,不同降雨侵蚀力下的铵态氮迁移量之间没有明显差异。不同降雨侵蚀力下径流总氮输出浓度高低并没有与降雨侵蚀力值大小相对应,而颗粒态氮的输出浓度则显现出随降雨侵蚀力值增大而增大的规律,说明颗粒态氮的迁移与降雨侵蚀力有较好的正相关。

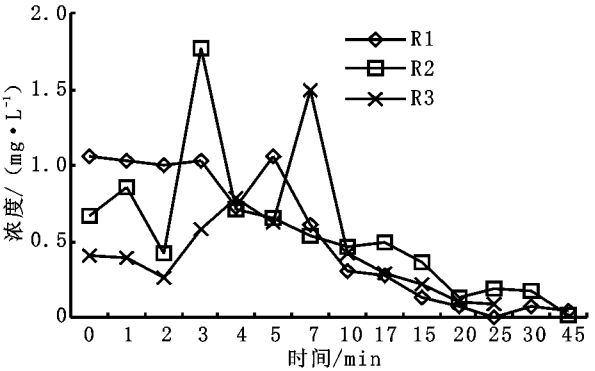


图 4 不同降雨侵蚀力下径流颗粒态磷与降雨历时的关系

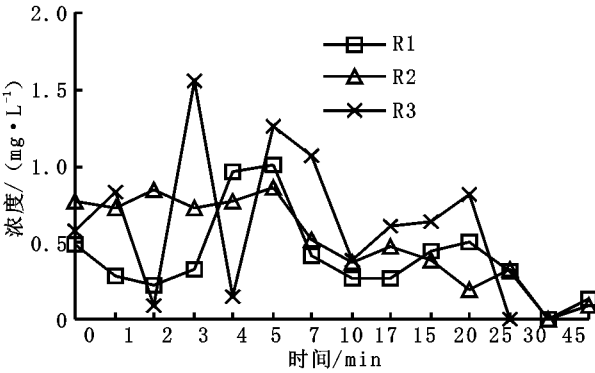


图 6 不同降雨侵蚀力下径流铵态氮与降雨历时的关系

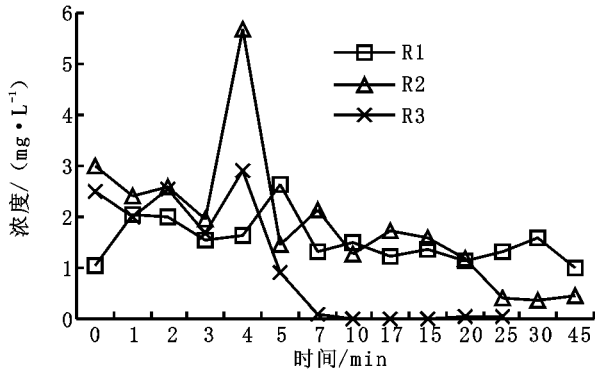


图 8 不同降雨侵蚀力下径流颗粒态氮与降雨历时的关系也因径流冲洗而解吸,因此铵态氮的迁移过程也较颗粒态养分复杂。颗粒态的氮、磷分别是径流总氮、总磷的主要组成部分,输出过程与土壤侵蚀过程联系紧密。同时溶解态氮、磷的迁移过程却有所不同。径流总氮、总磷的迁移是颗粒态与溶解态两种不同形态养分迁移的叠加,所以总氮、总磷的输出浓度变化与降雨侵蚀力表现出有相关,也有不相符的情况。

3 结 语

(1)暴雨径流过程中,传统顺坡种植方式下的紫色土坡耕地土壤侵蚀剧烈,氮、磷流失严重,必会对地表水体生态环境造成很大影响。

(下转第 144 页)

地形、地貌的控制由高处顺沟谷分别流向沭河、潍河和傅疃河。全市河流分属淮河流域和黄河流域片。境内主要有沭河水系、潍河水系和东南沿海水系,除潍河水系流入渤海外,其余大部分河流流入黄海,较大河流有 21 条,总长度 650.9 km,流域面积 5 843.2 km<sup>2</sup>。

可以看出,日照市水系治理河流中要加强与潍坊市、临沂市的协调,在沿海水系中,应该协调与青岛、连云港的协调,从区域的角度保护日照市水系生态环境、加强水环境治理和水利建设协作,尤其要加强水环境污染治理的上下游协调。

### 3.3.2 区域规划思想应用于日照市水系治理

日照市境内河流水系主要有沭河水系、潍河水系、东南沿海水系,水系治理中要分别从战略先行、加强区域协调、人地关系协调和针对目标和长远目标结合的角度进行水环境治理。

沭河水系要加强与临沂市沂水县和莒南县协调,共同加强水利建设、水污染治理以及滨水空间开发。近期要针对水污染状况加强水污染治理,沂水、莒县、莒南三县互通协作,共同制止污染源扩散,长远目标要使沭河成为三县的景观生态河,成为市民的休闲去处,成为县城的优势品牌。

潍河水系具有协调与潍坊的诸城协作,处理好上下游关

系。从维护整个五莲县生态环境的角度,杜绝污染源进入河流中,针对五莲地形、水文状况,其长远目标要加强水土保持工作。

东南沿海水系包括河流水系统和海域生态环境,战略上侧重于日照市供水和海域生态环境的保护;其中河流水系要加强与青岛、连云港协调,杜绝青岛的污染源流入市域,同时自觉加强南部工业污染治理,避免污染连云港市内的水环境;海域生态环境的保护更要加强与上游青岛与下游连云港的协作,坚决杜绝青岛工业污染源从上游顺流进入到市域北部的海滨生态旅游区,夏季防台风等要加强与青岛、连云港的联系,共同建设沿海防汛基础设施。最终目标要实现安全、优美、生态的沿海水系统。

## 4 小 结

水的自然规律,决定了城市水系的治理应该超出行政区划范围。本文针对这一规律,从科学发展观入手,探讨了引入区域规划的思想进行城市水系治理的思路,主要探讨了区域规划思想对城市水环境治理的实用性和具体应用思路,并以日照市的水系治理为例做了初探。

### 参考文献:

- [1] 宋庆辉,杨志峰.对我国城市河流综合管理的思考[J].水科学进展,2002,(5):377-382.
- [2] 方创琳.区域发展规划论[M].北京:科学出版社,2000.1-3.
- [3] 刘昌明,钱易,邵益生.中国工程院重大咨询项目:中国可持续发展水资源战略研究报告集第5卷——中国城市水资源可持续开发利用[R].北京:中国水利水电出版社,2002.
- [4] 邵益生.城市水系统控制与规划原理[J].城市规划,2004,(10):62-67.
- [5] 高云福.城市化发展与水系统的演变[J].城市勘测,1998,(5):555-8.
- [6] Shao Yisheng. Review and Prospects for Urban Water Strategies of China[A]. Chinese Academy of Engineering. Precedings of International Conference on Engineering and Technological Science 2000[C]. Beijing: Science Press,2000.
- [7] 日照市统计局.日照市情介绍[EB/OL].http://www.rzhh.gov.cn/rzsq/rzsq.htm.
- [8] 中国城市规划设计研究院.日照市规划建设委员会.日照市海岸带分区管制规划[Z].

(上接第 141 页)

(2) 径流中的全氮、全磷、颗粒态氮、磷含量随历时变化有一定的规律。降雨产流初期,径流中养分浓度比较高,继续上升到峰值后又逐渐降低,最后趋于稳定。

(3) 泥沙吸附态迁移是紫色土坡耕地氮、磷迁移的主要形式。影响土壤侵蚀的因素都会在一定程度上影响土壤养分流失,因此,减少降雨产流,减少泥沙流失是四川盆地丘陵

区保持土壤养分、防止水环境质量恶化的重要环节。

(4) 径流中颗粒态的氮、磷的含量高低与降雨侵蚀力的大小呈明显正相关,说明了对于水土流失严重的紫色土坡耕地,以降雨侵蚀力而不是单一的雨强或降雨量作为自然条件下次暴雨的描述指标和土壤侵蚀的动因指标具有一定意义。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院成都分院土壤研究室.中国紫色土(上篇)[M].北京:科学出版社,1991.40-55.
- [2] 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(1):16-19.
- [3] 陈皓,章申.黄土地区氮磷流失的模拟研究[J].地理科学,1991,11(2):142-148.
- [4] 康玲玲,朱小勇,王云璋,等.不同雨强下黄土地壤养分流失规律研究[J].土壤学报,1999,16(4):536-543.
- [5] 黄满湘,章申,唐以剑,等.模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程[J].土壤与环境,2001,10(1):6-10.
- [6] 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,1996,5(3):77-84.
- [7] 傅涛,倪九派,魏朝富,等.不同雨强和坡度条件下紫色土养分流失规律研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):71-74.
- [8] Wischmeier W H, Smith D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[M]. USDA, Agric Handb, No. 537, 1978.
- [9] 朱波,彭奎,高美荣,等.川中丘陵区土地利用变化的生态环境效应[J].山地学报,2001,19(增):14-19.
- [10] 谢贤群,王立军.中国生态系统研究网络观测与分析标准方法:水环境要素观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1998.219-282.
- [11] 王万中,焦菊英.中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J].水土保持通报,1996,16(5):1-20.
- [12] 李青山,李怡庭.水环境监测实用手册[M].北京:中国水利水电出版社,2003.482-483.
- [13] 张兴昌,邵明安.坡地土壤氮素与降雨、径流的相互作用机理及模型[J].地理科学进展,2000,19(2):128-132.