

红壤坡地雨水地表径流及其侵蚀

谢小立, 王凯荣

(中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要:模拟我国红壤坡地主要利用方式构建的垫面为主导因子,采用径流场实测方法,以4年(1998—2001年)实地观测试验结果为基本依据,探讨了不同雨水年份地表径流特征、径流量和系统侵蚀量;重点解析不同垫面对雨水地表径流及其过程系统侵蚀的影响。结果表明,降雨(时间分布及其强度)是影响地表径流特征的主导因素;年降雨量与地表径流量和系统侵蚀量呈正相关。不同垫面地表径流产量有显著性差异,产径流量的排列顺序为:农作区>*茶园区>湿地松>甜柿园>*柑橘园>*退化区>恢复区。雨水径流过程的系统侵蚀有相似的表现。本文在假定雨水年份的基础上,应用不同雨水年份出现的概率指标,还推算出我国南方红壤坡地目前利用状况下雨水产地表径流过程的年均水土流失量及其养分(全C、N、P、K)损失量以及最大开发利用时可能带来的水土流失与养分损失。提出了“利用坡地集雨优势,构建与单元生态系统水循环平衡相适应的坡地农林复合生态系统,通过水平衡生态建设来维系生态系统的水分平衡”观点。

关键词:红壤坡地;垫面;地表径流;侵蚀

中图分类号:S157 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 – 2043(2004)05 – 0839 – 07

Surface Runoff from Rainfall and Its Erosion on Slop Lands of a Red Soil

XIE Xiao-li, WANG Kai-rong

(Institute of Subtropical Agriculture, The Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: The present investigation studied characteristics of surface runoff from rainfall, the runoff and erosion with different rain-water on basis of a field observation trial between 1998 and 2001 by simulating main utilization pattern of landscape. The investigation paid emphasis on explaining influence of difference land utilization patterns upon precipitation surface runoff and system erosion in the process. The results showed that rainfall (time distributing and its intensity) was the main factor influencing on surface runoff characteristics. The rainwater per year was positively correlated with surface runoff and system erosion. The dynamics of precipitation determined the various characteristics of surface producing runoff, and their change tendency was consistent. The more precipitation was, the more consistency was. The runoff was linearly positively correlated with the rainwater on condition of surface runoff by rainfall. Among the different landscapes, there was a significant difference in surface runoff patterns. The order was: farming > tea plant > slash pine > persimmon plant > orange > natural degradation > natural recuperation. The cultivation intensity influenced greatly on soil and sand loss. For example, the loss was $1\,294.2\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ for farming, $132.9\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ for degradation area, and $56.2\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ on natural recuperation area, respectively. The soil loss due to tillage was more 10 times than nature reservation or natural vegetation utilization on the slope. For orchards and tea gardens both there were lower 2 ~ 3 times than the farms with tillage. However, there was more 6 ~ 12 times than that on the condition of natural utilization and conservation. In terms of organic matter loss in the process of precipitation surface runoff, there were some differences, but not significant. And crop stump loss was correlated with its existence and existent form. According to the probability index of various precipitation years, we also calculated soil and water loss at present on slop lands of red soil. In case of rainfall was (135.32 mm) $13.5 \times 10^4\text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, the loss of the soil was (about 0.02 mm) $37\text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and the loss of organic matter (plant stump) was $25\text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Among them, organic matter was $19.5\text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and nutrient was (N + P + K) $1.108\text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Making use of rainfall of slope lands, agro – forest multi – ecosystems in the hilly land adaptive for water equilibrium of unit ecosystems were constructed. It is suggested that the ecological construction can maintain ecosystem water balance.

Keywords: Slop lands of red soil; landscape; surface runoff; erosion

红壤是我国亚热带丘陵区的代表性土类,总面积 $6.181 \times 10^5 \text{ km}^2$; 本区域气候温暖,雨量充沛,是我国发展粮食和亚热带经济作物及果、林、草的重要基地^[1]。据测查我国现有红壤可耕缓坡地(坡度 $6^\circ \sim 15^\circ$)2 100 万 hm^2 ,是我国最重要的耕地和后备耕地资源^[1]。水是红壤坡地可持续利用的基本制约因子^[2],现今我国红壤坡地的水资源基本来源于自然降水。因此,雨水可利用潜力,是持续利用这一国土资源的基本依据。雨水利用除自然资源化外,地表集流是人为资源化的最基本途径和最有效的方法^[3]。于是,我们以现今我国红壤坡地主要利用方式所构建的垫面为主导因子,采用径流场实测方法,研究不同垫面的地表径流特征及其侵蚀,旨在为红壤坡地可持续利用生态系统的构建与管理提供依据。

1 试验区背景与研究方法

1.1 试验区背景

试验在中国科学院桃源农业生态试验站定位观测试验场实施,该试验场地处湖南省桃源县漳江镇宝

洞峪村($111^\circ30'E$, $28^\circ55'N$),位于武陵山区向洞庭湖平原过渡的丘岗地带,年平均气温 16.5°C ,年降雨量 1 440 mm,日照 1 520 h,土壤类型为第四纪红土发育的红壤,植被为武陵山植被区系。试验场为一典型的自然集雨区,面积 11.8 hm^2 ,海拔 $92.2 \sim 125.3 \text{ m}$,其中有坡地 6.06 hm^2 。1995 年秋在场内选一坡面(南偏东 15° ,坡长 62 m,坡度 $8^\circ \sim 11^\circ$,图影面积 1 hm^2),作为坡地不同经营生态系统长期定位观测试验区(简称径流场)。建有 7 个经营模式,每个模式小区图影面积 $20 \text{ m} \times 50 \text{ m}$,上方及两侧用地上 30 cm、地下 50 cm 的钢筋混凝土板(顶部为 5 cm 高的三角形)围隔。底线是地下 50 cm 的钢筋混凝土板,外方建导流沟,沟深 $10 \sim 20 \text{ cm}$,两头向中部倾斜。中部下方建沉沙池 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 、标准池 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (钢筋混凝土现浇)等集水测流设施。地表径流测量自 1996 年1月1日开始,考虑到建设工程、垫面变化的影响,研究采用测量数据自 1998 年(处理垫面基本形成)开始。

1.2 研究方法

处理垫面设计包括 7 种模式,见表 1。

表 1 红壤坡地不同利用模式长期定位试验设计
Table 1 Long term test design of different utilization patterns on slop lands of the red soil

处理区*	代表垫面	处理内容
1 恢复区	自然植被演替	建场时清除地表植被,停止干预,植被自然恢复
2 退化区	原始利用的自然植被演替	于每年 5 月和 11 月将地表植被砍光并移出试验区
3 农作区	耕地利用,季节作物植被	梯土不撩壕,每年栽种 2 茬旱作物,常规管理
4 茶园区	常绿灌木植被	梯土撩壕,条植茶树,常规管理灌溉施肥
5 柑橘园	常绿灌木植被	梯土撩壕, $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 栽种柑橘,常规管理
6 甜柿园	落叶乔木植被	梯土撩壕, $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 栽种甜柿,常规管理
7 湿地松	针叶林植被	梯土撩壕, $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 栽种湿地松,常规管理

注:红壤坡地利用方式多样,处理间互为参照,处理 2 为主参照区。处理 1 代表自然保护,处理 2 为自然植被利用,处理 3 为完全作物耕种、代表强度开发利用,其他处理代表常规利用。1996—1997 年利用处理 2 移出的植被物平均分配覆盖处理 4、5、6、7 的裸露地表。

地表径流:周年连续监测,记载降雨起止时间,对每一降雨过程(间歇超过 12 h)产径流量。

侵蚀:对随地表径流过程联动所输出径流场的泥沙、植物凋落残体收集,按田间持水量计泥沙体积,按干重计凋枯物量,作为地表径流对系统的物质侵蚀。并按“中国生态系统研究网络观测与分析标准方法”^[4]取样分析雨水、地表径流水、泥沙、植物凋落枯体的全 C、N、P、K、Ca、Mg 的含量,以径流水含量(雨水含量) $\times$ 径流量 + 泥沙、植物凋落枯体含量,作为地表径流对系统的养分侵蚀。

降雨量:取用试验场气象园(AMRS-I 气象辐射自动观测系统、人工观测)观测数据。

产流降雨率:年产地表径流的降雨量/年降雨量

$\times 100\%$ 。

侵蚀降雨率:以在导流沟和测流池中能收集到泥沙和有机残体的降雨为(相对于不同垫面)侵蚀性降雨,年产生系统侵蚀的降雨量/年降雨量 $\times 100\%$ 。

使用时域反射仪(TDR)每月定期测量 1 次土壤($0 \sim 20$ 、 $21 \sim 40$ 、 $41 \sim 60 \text{ cm}$)水分含量。每次降雨前 24 h 内测量土壤水分含量。不定期测量各处理植物的生物量(样方鲜重 $\times$ 干重率)和植被盖度(样方、激光叶面积仪 CI-203)。以上各测量结果作为参考资料。

为了使观测结果能进行合理地外延推论,将雨水年份给予假定,大于当地历年平均降雨量 2 成(20%)以上定为多雨年,低于历年平均降雨量 2 成以上定为

少雨年,降雨量在两者之间的为平雨年;并计算出不同雨水年份出现的概率。1960—2001 年桃源县年均降雨量为 1 442 mm,2 成为 288 mm,不同雨水年份出现的概率为多雨年占 26.2%、平雨年占 57.1%、少雨年占 16.7%。

在试验观测的 4 年中,有 2 个多雨年,即 1998 年(年降雨量 1 943.5 mm)和 1999 年(年降雨量 1 831.5 mm);1 个平雨年为 2000 年,年降雨量 1 487.5 mm;1 个少雨年为 2001 年,年降雨量 1 198.2 mm。为了减少多雨年份对试验结果的影响,在年度统计数据上 1998 年和 1999 年取平均值;雨水动态与地表径流特征和不同雨水年份的地表径流及其系统侵蚀用 1998 年数据。观测区的数据取用 7 个处理垫面的平均值。数据统计应用 SAS 软件。

2 结果及其分析

2.1 雨水动态与地表径流特征

从图 1 可以看出降雨年际变化很大,年内的时间

变化有一定的规律,降雨量的变化极不规则。各处理产径流的时间变化(年周期)与降雨基本一致。降雨是产生地表径流的根源,因此不论年降雨量多寡和时间分布如何,雨水动态决定了地表产径流的变化特征。不同雨水年份坡地产径流年变化特征与降雨量的时间变化趋势是基本一致的。就试验年份观测结果来看,年降雨量越多,两者的一致性越强。降雨量对地表产径流量的影响,基本可确认是正效应,年降雨量多则地表产径流量多。1998 年年降雨量为 1 945.3 mm,观测区平均地表径流量为 231.7 mm;2000 年年降雨 1 487.5 mm,观测区平均地表径流量为 173.6 mm;2001 年年降雨量为 1 189.2 mm,观测区平均地表径流量仅为 25.6 mm。因受降雨时间和降雨强度的影响,本结果还不能描绘出两者之间的量化关系;受雨垫面本身对雨水的容纳量是有限度的,这一限度还存在着时间上的变化。由此可以推论,在能产地表径流降雨量的基础上,产径流量与降雨量应该是线性正相关关系^[5]。

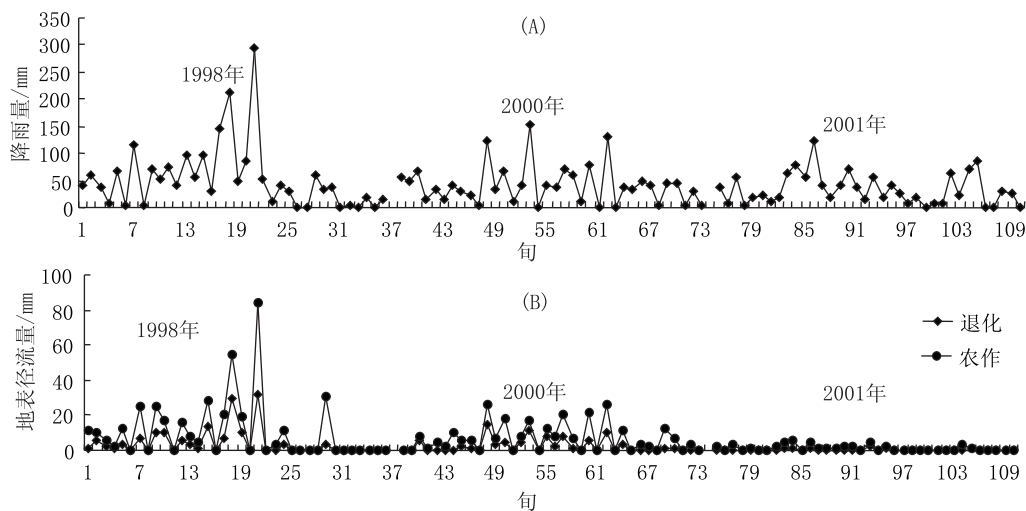


图 1 不同雨水年份雨水动态(A)和坡地雨水地表径流特征(B)(多雨年:1998 年,平雨年:2000 年,少雨年:2001 年)

Figure 1 The dynamics of rainfall (A) and surface runoff characteristics (B) in different years

还可看出,处理垫面(非耕区和耕作区)地表径流的变化特征表现一致,进一步说明地表径流变化特征主要受降雨的影响。就图 1(B)处理比较而言,从各年度雨水产径流率、产径流时段、产径流次数和坡地产地表径流的量来看,降雨量不是产地表径流量的唯一主导因子。毫无疑问,地表产生径流是雨水落到地表所产生的现象,但地表产生径流的多寡受多因素影响。就同一区域(地质地貌一致)而言,地表受雨垫面的构成即成为影响地表产径流及其产量的主导因子^[6]。

2.2 不同雨水年份的地表径流及其系统侵蚀^[7]

不同雨水年份红壤坡地雨水地表径流量和产地表径流过程的系统侵蚀量有显著差异(见表 2),呈正相关趋势。但降雨量与地表径流量并非线性相关,多雨的 1998 年比平雨的 2000 年多降水 457.8 mm,多产地表径流为 58.1 mm;而 2000 年比少雨的 2001 年多降水 289.3 mm,多产地表径流为 148.0 mm。这一结果也证明了雨水产地表径流受多因素影响,和降雨量与其地表径流量之间关系复杂,要解析清楚难度很大。再看雨水径流过程对系统的侵蚀,降雨量与系统

表 2 不同雨水年份地表径流及其系统侵蚀监测结果

Table 2 Relationship between surface runoff and soil erosion in different years

项目	雨水年份		
	多雨年(1998)	平雨年(2000)	少雨年(2001)
降雨量/mm	1 945.3	1 487.5	1 198.2
雨水产流率/%	77.8	84.7	71.9
地表径流量/mm	231.7	173.6	25.6
径流系数/%	11.9	11.7	2.1
侵蚀降雨率/%	59.2	45.5	12.6
泥沙侵蚀量/kg·hm ⁻²	1 230	432.2	78
植物残体侵蚀量/kg·hm ⁻²	388	308.1	109.9

注:径流及其系统侵蚀观测数据为 7 个处理的平均值。

侵蚀量之间、地表径流量与系统侵蚀量之间,反映出降雨量与其地表径流量之间相似的结果,这不难理解,因为降雨是通过产地表径流过程带来系统侵蚀。值得一提的是,侵蚀量中的土壤流失和植物有机残体流失,有不同的表现。降雨量及其地表径流量与系统的土壤流失量之间,有比较明显的线性正相关,而与系统植物有机残体流失量的相关性相对弱一些,这可能与系统本身的植物有机残体存在量和存在形式有关。

2.3 雨水地表径流的垫面反应

红壤坡地雨水地表径流,降雨是基本要素,影响雨水地表径流的主导因子无疑是受雨垫面的构成。本文就模拟红壤可耕用缓坡地主要利用方式的 7 个处理垫面的定位观测和实地测量结果,来分析垫面对雨水地表径流的影响。由表 3 可见,在观测期间(1998—2001 年),年均降雨量为 1 524.7 mm,雨水地表径流量最高的是农作区年产径流量 202.4 mm(径流系数 13.3%,年均产径流 24 次);接后依次是茶园区、湿地松、甜柿园、柑橘园、退化区;恢复区雨水地表径流量最低,雨水年产地表径流量 59.6 mm(径流系数 3.9%,年均产径流 17~18 次)。从这一结果可以看出:一是雨水产地表径流量与受雨垫面人为干预的耕

作强度有关,耕作强度大雨水产地表径流量高,如农作区和茶园区。二是受雨垫面的植被类型,如雨水产地表径流量,针叶林高于落叶乔木果林高于常绿灌木果林。以不同雨水年份为区组,对各处理垫面雨水地表径流量和径流系数作方差分析和 *F* 测验及多重比较,结果表明,不同雨水年份间、处理间存在统计学的显著差异。雨水地表径流量有:农作区>*茶园区>湿地松>甜柿园>*柑橘园>*退化区>恢复区 (*F* = 6.693, *F*_{0.05(6,12)} = 3.0, *F*_{0.01(6,12)} = 4.82)。雨水产地表径流系数处理间的差异表现与雨水地表径流量的差异表现完全一致。这可能有三方面原因,一是地表复被^[8](植被盖度和地表根系密度),地表复被率与产径流量呈反相关;二是构建垫面之始的垦整工程措施^[9](垦复整治的方式和强度),垦复会加大水土流失,合理的梯土撩壕,加速植被恢复有助于减少水土流失;三是农事耕作^[8、9](方式、频率、强度),就供试处理而言,农事耕作提高了地表产径流量。坡地不同垫面间雨水地表径流的差异存在,为坡地雨水利用和利用坡地集雨支持农田灌溉提供了依据和可调控性。

2.4 雨水地表径流过程系统侵蚀的垫面影响

红壤坡地雨水地表径流过程可造成坡地生态系

表 3 各处理垫面年度雨水产径流实测结果

Table 3 Data of rainfall runoff for 7 treatments during the period

处理	1998—1999 年 <i>P</i> (1 888.4 mm)			2000 年 <i>P</i> (1 487.5 mm)			2001 年 <i>P</i> (1 198.2 mm)		
	<i>R</i> /mm	<i>C</i> /%	<i>T</i>	<i>R</i> /mm	<i>C</i> /%	<i>T</i>	<i>R</i> /mm	<i>C</i> /%	<i>T</i>
恢复区	107.6	5.7	18	63.0	4.2	19	8.1	0.7	16
退化区	158.6	8.4	19	89.3	6.0	25	8.7	0.7	19
农作区	315.4	16.7	20	247.7	16.7	30	44.1	3.7	22
茶园区	253.0	13.4	20	242.2	16.3	30	48.5	4.1	23
柑橘园	203.9	10.8	20	161.9	10.9	30	19.0	1.6	21
甜柿园	234.2	12.4	20	199.8	13.5	30	23.9	2.0	22
湿地松	247.4	13.1	20	211.6	14.2	30	26.7	2.2	23

注:*R* 为径流量, *C* 为径流系数, *T* 为径流次数, *P* 为年降雨量。

统土壤和有机物质的流失。坡地不同利用方式所构建的垫面,对雨水地表径流过程系统侵蚀有程度不同的影响。观测试验各处理垫面年度雨水径流过程的系统侵蚀径流场实测结果,从物理量上看,垫面对雨水地表径流过程系统侵蚀的影响和垫面对雨水地表径流的影响,表现完全一致,但垫面间的差异显著程度有差别。在土壤侵蚀的泥沙流失量方面,耕作强度的影响很大,农作区的泥沙年平均流失量达 1 294. 2 kg · hm⁻² · a⁻¹,极显著地高于其他处理,人为干预较轻的

退化区泥沙流失量为 132. 9 kg · hm⁻² · a⁻¹,无人为干预的自然恢复区仅为 56. 2 kg · hm⁻² · a⁻¹。坡地从自然植被利用到完全作物耕种,系统的土壤流失量提高 10 倍,从自然保护到强度开发利用,系统的土壤流失量提高 20 倍。茶果林利用的系统土壤流失量低于作物耕种的 2~3 倍,而高于自然利用和自然保护的 6~12 倍。从整个观测试验结果来看,垫面对雨水地表产径流过程系统土壤流失的影响是对雨水径流量影响的结果之一,见表 4。

表 4 各处理垫面年度雨水径流过程的系统侵蚀径流场实测结果

处理	1998—1999 年 <i>E</i> (1 106. 6 mm)		2000 年 <i>E</i> (676. 2mm)		2001 年 <i>E</i> (150. 6 mm)	
	<i>S</i> /kg · hm ⁻²	<i>P</i> /kg · hm ⁻²	<i>S</i> /kg · hm ⁻²	<i>P</i> /kg · hm ⁻²	<i>S</i> /kg · hm ⁻²	<i>P</i> /kg · hm ⁻²
恢复区	80. 5	166. 5	66. 0	270. 6	22. 2	215. 9
退化区	228. 1	255. 8	128. 9	134. 1	41. 6	63. 7
农作区	2 770. 1	452. 9	898. 7	322. 3	213. 8	136. 7
茶园区	1 349. 9	389. 1	852. 9	362. 1	165. 4	114. 1
柑橘园	1 217. 8	318. 7	299. 2	341. 8	18. 7	67. 1
甜柿园	866. 3	346. 4	386. 8	324. 2	45. 9	75. 8
湿地松	874. 0	361. 1	393. 1	389. 9	34. 2	96. 0

注: *S* 为泥沙量, *P* 为植物残体量, *E* 为侵蚀降雨量。

再看各处理垫面雨水地表径流过程的系统有机物流失量,处理间有差异,但不象径流量和泥沙流失量那么大。雨水地表径流过程的系统植物残体流失量,仍是农作区最高,为 304. 0 kg · hm⁻² · a⁻¹,最低却是退化区为 151. 2 kg · hm⁻² · a⁻¹,其他大小排序是茶园区、湿地松区、甜柿区、柑橘区、恢复区,雨水地表径流过程系统流失植物残体量为 218. 0 ~ 289. 0 kg · hm⁻² · a⁻¹。就本研究的观测而言,雨水地表径流过程系统植物残体流失量与各处理垫面雨水径流量有关,与植物残体存在量和存在形式有关。

2. 5 不同垫面系统雨水径流过程的养分(全 C、N、P、K)损失

表 5、表 6 为 1998—2001 年每年 2 次(雨季 5 月和旱季 8 月)取雨水、径流水及其径流过程联动的泥

沙和植物残体等样品,进行养分分析的平均结果。就

表 5 雨水和各处理垫面地表径流水养分(N、P、K)含量
(mg · L⁻¹)

Table 5 The contents of nutrients (N, P, K) in rainfall and runoff from 7 treatments(mg · L⁻¹)

项 目	T - N		T - P		T - K	
雨 水	1. 64		< 0. 01		0. 13	
恢复区	1. 74	0. 10	< 0. 01	—	4. 90	4. 77
退化区	1. 21	- 0. 43	< 0. 01	—	3. 02	2. 89
农作区	7. 39	5. 75	< 0. 14	0. 14	6. 17	6. 04
茶园区	7. 39	5. 75	< 0. 01	—	4. 85	4. 72
柑橘园	1. 95	0. 31	< 0. 01	—	7. 11	6. 98
甜柿园	2. 08	0. 44	< 0. 01	—	4. 26	4. 13
湿地松	1. 43	- 0. 21	< 0. 01	—	2. 96	2. 83

注: 各处理养分含量的第 2 栏为径流水含量 - 雨水含量,以计算水流失的养分损失。

表 6 各处理垫面地表径流过程泥沙、植物残体养分(全 C、N、P、K)含量(%)

Table 6 The contents of nutrients(Total C, N, P, K)for soil and sand, plant stump in the runoff(%)

处理	泥沙				植物残体			
	T - C	T - N	T - P	T - K	T - C	T - N	T - P	T - K
恢复区	6. 89	0. 588	0. 068	1. 39	42. 20	0. 823	0. 110	0. 81
退化区	5. 08	0. 612	0. 066	1. 75	42. 01	0. 492	0. 037	1. 12
农作区	3. 04	0. 263	0. 048	1. 40	42. 20	0. 875	0. 045	2. 55
茶园区	1. 50	0. 145	0. 034	1. 64	42. 39	0. 402	0. 025	1. 17
柑橘园	2. 32	0. 188	0. 035	1. 54	40. 83	0. 471	0. 032	1. 00
甜柿园	2. 12	0. 379	0. 039	1. 64	40. 03	0. 423	0. 031	0. 81
湿地松	2. 51	0. 232	0. 037	1. 57	39. 58	0. 254	0. 022	0. 45

径流水来说,只有退化区和湿地松区的 N 含量低于雨水的 N 含量。因此可以认为,除去雨水淋溶空气给垫面系统带来的养分,雨水以地表径流形式输出系统的同时给系统带来养分损失。不同垫面系统产出的地表径流水及其过程流失的泥沙和植物残体,不但在数量上有不同,质量上也有差异。这是因为不同垫面系统其构成成分不同,系统内含蓄的养分在数量上和存在的形式上有所差别所导致的结果。本观测试验的结果虽不能给这种质量差异作出精确的解释,但可作为红壤坡地不同利用方式下水系统侵蚀、雨水分配过程的物质运移的基础技术参数。

2.6 红壤坡地雨水地表径流及其系统侵蚀的测算

红壤坡地由于其优越的光、热、水的地理环境和生物的多样性,是我国发展粮食和亚热带经济作物及茶、果、林、草的重要基地,成为构建大农业复合生态系统的典型板快。为其雨水资源的合理利用和复合生态系统中的优化配置提供依据,本研究以对红壤坡地不同利用系统雨水地表径流及系统侵蚀的实地观测

为基本材料,在试验解析其发生的生态学原理、不同利用方式间表现差异的基础上,假定雨水年份,引用试验站区(县域)有较系统气象观测记载以来(1960 年—2001 年)的降雨数据,计算不同雨水年份出现的概率,测算出红壤坡地雨水地表径流量和地表径流过程的系统侵蚀量和雨水地表径流过程的系统养分(全 C、N、P、K)损失,见表 7。本测算结果与同类型地区有关报道相比^[10],水土流失量偏低,可能与定位区的控制和观测方法有关;养分损失量偏高,这是因为其他报道数据未计算径流水中的养分损失。过去由于雨水对空气的淋溶作用给垫面系统补充的养分量难于估测,而忽略地表径流过程由水裹走的养分。其实雨水浸溶垫面系统,以地表径流输出系统时,裹走的系统养分是系统养分平衡过程的一项支出;其水裹走的养分(N、P、K)量占整个雨水地表径流过程系统养分损失的 5%~10%。

应用上述测算结果,可推算出红壤坡地现今利用状况下和最大开发利用时的水土流失数据。据典型地

表 7 红壤坡地不同垫面年均雨水产径流及其系统侵蚀测算结果
Table 7 Runoff and erosion for 7 treatments on the slop lands of the red soil

	<i>R</i> /mm	<i>C</i> /%	<i>S</i> /kg·hm ⁻²	<i>P</i> /kg·hm ⁻²	<i>T</i> - <i>C</i> /kg·hm ⁻²	<i>N</i> + <i>P</i> + <i>K</i> /kg·hm ⁻²
恢复区	62.2	4.3	58.8	218.3	96.52	5.71*(0.31)
退化区	89.2	6.2	133.1	146.6	68.16	5.78(0.18)
农作区	217.8	15.1	1 224.8	435.9	227.73	39.31(2.61)
茶园区	199.3	13.8	821.2	307.5	144.49	22.29(2.09)
柑橘园	140	9.7	476.8	271	121.11	13.68(0.98)
甜柿园	168.5	11.7	434.4	270.6	118.39	13.37(0.77)
湿地松	178.7	12.4	473.7	311.7	133.12	10.74(0.54)
平均	150.8	10.5	512.4	282.8	141.53	15.84(1.07)

注:以雨水年份出现概率(多雨年分占 26.2%,平雨年分占 51.7%,少雨年分占 16.1%)作为统计不同雨水年份实地观测值所占比重的依据,推算出红壤坡地不同垫面年均雨水地表径流及其系统侵蚀结果。本表的年降雨量以 1 442 mm 计算。*括号中数据为径流水裹走系统 N+P+K 的量[水量×(径流水 N+P+K 含量-雨水 N+P+K 含量)]。*R* 代表径流量,*C* 代表径流系数,*S* 代表泥沙量,*P* 代表植物残体量。

区(环洞庭湖丘岗地区 9 761 km²)测查和湖南、湖北、江西三省国土厅编制的本省待开发土地资源调查数据集的统计,可耕缓坡地现今利用为人工林占 34%,自然植被利用(包括种草养畜)的占 30%,自然植被恢复占 15%,果药茶占 15%,作物耕种用地占 6%。以湿地松区代表人工林地、退化区代表自然植被利用用地、恢复区代表自然植被恢复占地、茶园区柑橘区甜柿区(取平均值)代表果药茶用地、农作区代表在耕地,推算出红壤坡地现今利用状况下雨水地表径流过程的水土流失量为:

水(135.32 mm)13.5×10⁴ m³·km⁻²·a⁻¹;土(约 0.02 mm)37 t·km⁻²·a⁻¹;有机物(植物残体)25 t·

km⁻²·a⁻¹,其中裹走有机质 19.5 t·km⁻²·a⁻¹(全 C, 11.31 t·km⁻²·a⁻¹);养分(N+P+K) 1.108 t km⁻²·a⁻¹。

红壤坡地最大开发利用时——人工林占 30%,人工草地占 15%,果药茶园占 30%,耕地占 20%,自然保护区占 5%。雨水地表径流过程的水土流失量为:

水(165.5 mm)16.6×10⁴ m³·km⁻²·a⁻¹;土(约 0.03 mm)58.3 t·km⁻²·a⁻¹;有机物(植物残体)29.9 t·km⁻²·a⁻¹,其中裹走有机质 24.0 t·km⁻²·a⁻¹(全 C, 13.92 t·km⁻²·a⁻¹);养分(N+P+K) 1.72 t km⁻²·a⁻¹。

3 小结与讨论

3.1 雨水地表径流

我国南方丘陵区降雨丰沛, 依赖雨水自然资源化和集雨利用来维系生态系统的水循环平衡。在以红壤为代表土类的丘岗地区, 坡地占总面积的 65%, 一般是利用对坡地雨水地表径流的集蓄来支撑农田的生产灌溉, 因此, 利用坡地集雨是红壤丘岗生态系统水平衡过程不可缺少的部分。红壤坡地的雨水地表径流, 其时间变化特征取决于降雨量的时间变化; 径流量与年降雨量呈正相关。受雨垫面是影响雨水地表径流的主导因子, 不同受雨垫面的雨水地表径流量存在着显著差异, 产生这种差异的主要因素有人为干预(耕作)的强度和垫面植被的构成。本研究仍处于定性水平上, 由于雨水产地表径流受多因素影响, 要准确地量化描述出雨水产地表径流过程, 还需要大量的多类型区的长期定位实验研究的成果集成和成果时空转换模型研究; 在我国南方丘陵区, 因地貌类型和植被的多样性, 叠加降雨的时空变化的不规则, 研究成果的尺度转化也是一道科学问题^[11]。

3.2 雨水地表径流过程的系统侵蚀

本文对红壤坡地 7 种不同利用方式所构建的垫面雨水地表径流过程系统侵蚀的观测研究结果分析表明, 不同利用方式导致了地表径流过程系统侵蚀的显著性差异。地表径流过程对系统土壤的侵蚀, 可由自然保护下的 $56.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 提高到强化耕作的 $1\,294.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 相差 20 倍之多。地表径流过程冲走系统的有机植物残体, 除利用方式的影响之外, 与系统有机植物残体的存在量和存在形式有关, 诚然这些也是由垫面构成所决定的。雨水地表径流过程, 通过淋溶垫面和带动泥沙及植物有机残体, 裹走系统养分, 也属于系统养分平衡过程的一部分。以定位观测和分析测量为基本依据, 在区域调查统计的基础上, 假定雨水年份, 推算出红壤丘岗坡地现今利用状况下雨水径流过程的水土流失量: 水 (135.32 mm) $13.5 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 土 (约 0.02 mm) $37 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 有机物 (植物残体) $25 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中裹走有机质 $19.5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (全 C, $11.31 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 养分 (N + P + K) $1.108 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。并测算出红壤可最大开发利用时, 由雨水径流过程可能带来的水土流失: 水 (165.5 mm) $16.6 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 土 (约 0.03 mm) $58.3 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 有机物 (植物残体) $29.9 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中裹走有机质 $24.0 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

(全 C, $13.92 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); 养分 (N + P + K) $1.72 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这一研究结果, 参比同类相关研究报道^[10], 有较高的置信度和较广的应用区间。

3.3 关于生态系统水平衡的坡地农林复合系统构建

雨水地表径流及其系统侵蚀研究是生态系统构建的基本内容。由于我国南方丘岗农业复合生态系统, 是由多个独立集雨区 (单元生态系统) 构成的, 在各个单元生态系统中, 坡地比重大, 是集雨利用的最佳区块。因此, 坡地的雨水分配直接关系到整个生态系统的水循环平衡, 尤其是农田系统的生产灌溉。不同垫面间雨水产径流及其系统侵蚀的差异存在, 为生态系统水循环平衡的坡地生态系统构建提供依据和可操作性。红壤坡地宜采用农林复合经营的土地利用方式, 这一古老的土地利用方式由于在协调资源利用、保护生态环境、促进粮食增产及经济发展等方面具有巨大潜能, 在国际上倍受关注。在构建坡地农林复合生态系统时, 既要考虑生态环境建设, 也要保证生态系统物质生产的最大可持续性, 合理设计系统结构^[12]。

参考文献:

- [1] 何电源. 南方土壤类型及分布[A]. 见: 何电源. 中国南方土壤肥力及栽培作物施肥[C]. 北京: 科技出版社, 1994. 3-18, 19-27.
- [2] 张 斌, 张桃林. 南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策[J]. 生态学报, 1995, 15(4): 413-419.
- [3] 刘昌明, 牟海省. 论雨水资源及雨水利用的内涵[A]. 见: 刘昌明, 何希吾, 任鸿遵. 中国水问题研究[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 160-164.
- [4] 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.
- [5] 刘贤赵, 康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57-62.
- [6] R Lal. Soil Quality and Sustainability[A]. In: R Lal, et al. Advances in Soil Science, Methods for assessment of soil degradation[C]. CRC Press Boca Raton New York. 1997. 17-30.
- [7] 张光辉. 坡面水蚀过程水动力学研究进展[J]. 水科学进展, 2001, 12(3): 395-401.
- [8] Guy B T, Dickinson W T, Rudra R P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow[J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(5): 1378-1387.
- [9] Hirschi M C, Barfield B J. KYERMO - A physically based research erosion model. Part I: Model development[J]. Transactions of the ASAE, 1988, 31(3): 804-813.
- [10] 史德明, 韦启潘, 梁 音, 等. 中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 1-9.
- [11] 王效科, 欧阳志云, 肖 寒, 等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 14-19.
- [12] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 1-6.