

# 三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究

孟庆华\*, 杨林章

(中国科学院南京土壤研究所生态室, 南京 210008)

**摘要:**通过两年的定位实验,研究了三峡库区 5 种代表性土地利用方式对养分流失的重要性。实验表明,不同土地利用方式的养分年输出总量有较大的变异,其变化趋势为坡地农田>梯田农田>梯田果园>坡地果园。不同土地利用方式下,降雨量和降雨强度与系统径流量和含沙量的相关性都达到 5% 显著性水平。不同土地利用方式,其径流养分输出占系统养分总输出的比例明显不同。土地利用方式对系统 N、P、K 的径流输出影响显著。三峡库区脆弱生态系统区的坡地利用、坡地果园是较理想的土地利用方式。

**关键词:**脆弱生态系统;土地利用;养分流失

## Nutrient losses in different land use types in the Three Gorge Reservoir Area (TGRA)

MENG Qing-Hua, YANG Lin-Zhang (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Nutrient losses of five kinds of land use systems in the Three Gorge Reservoir Area was studied. Measurement data revealed that the annual nutrient loss of different land use systems varied. The trend is that: sloping agriculture field > terraced fields > terraced orchard > sloping orchard. In different land use systems, the relation among rainfall amount, rainfall intensity and runoff, sediment delivery is different. But they all reached 5% significance level. In different land use systems, the percent of nutrient output in runoff is different. To deal with the fragile-ecosystem zone in TGRA, the type of land use should be selected in terms of fertilizer dressing and field management level, the most suitable land use system is sloping orchard in the study area.

**Key words:** fragile-ecosystem; land use system; nutrient loss

文章编号:1000-0933(2000)06-1028-06 中图分类号:Q142.3 文献标识码:A

生态系统中,养分运动的载体是水分。生态系统所获能量(太阳能)的 95% 用于水分的驱动以维持系统的功能<sup>[1]</sup>。土壤是温带生态系统养分的主要库。土壤养分的运动又直接与土地利用方式相关,二者呈反馈控制关系<sup>[2~5]</sup>。很明显,不同土地利用方式改变了系统水分运动途径从而影响系统养分的运移<sup>[6]</sup>。

三峡库区山高坡陡,水土流失严重,是典型的脆弱生态系统区。坡地条件下,水土流失是系统养分流失的重要影响因素<sup>[7~11]</sup>。本文主要研究不同土地利用方式对土壤养分流失的影响程度。

三峡库区坡耕地占总耕地面积的 68.8%,其中坡度大于 25° 的坡耕地已超过 25%<sup>[12]</sup>。由于库区涉及 19 个县的极限后备可垦土地资源仅为 26.8 km<sup>2</sup><sup>[13]</sup>,远不能满足需要。同时,坡地的农业利用是未来三峡工程安全的重要影响因素之一<sup>[14]</sup>。因此,结合土壤侵蚀研究三峡库区不同利用方式对养分流失的影响有现实意义。

### 1 材料与方

基金项目:中国科学院“九五”重大资助项目(KZ951-A1-202)和中国长江三峡工程开发总公司资助项目(SX(97)-11)。

文本得到中国科学院生态环境研究中心傅伯杰研究员的悉心指导,谨致谢意。

\* 现工作单位:中国科学院生态环境研究中心系统生态开放室

收稿日期:1999-10-26; 修订日期:2000-04-04

作者简介:孟庆华(1972~),男,山东省苍山县人,博士。主要从事土壤学、景观生态学等研究。

### 1.1 试验区概况

实验区位于湖北省秭归县水田坝乡王家桥水土保持实验站(东经 110°58', 北纬 31°57')。实验区的年均温 18℃, 年均降水量 1016.0mm。土壤为石灰性紫色土。土层厚度小于 50cm。实验区土壤养分背景值见表 1。

实验选取三峡库区 5 种代表性土地利用方式, 共设 5 个处理。实验区为湖北省秭归县水田坝乡王家桥水土保持实验站的标准径流场, 水平布置。每个小区的长、宽分别为 10m 和 5m, 坡度为 25°, 坡向朝南。各处理区的土地利用方式为 1 和 5 区分别为梯田脐橙果园和坡地脐橙果园, 2、3、4 区分别为梯田农田和坡地农田。1、2 区被分为 3 个小块梯田, 长、宽分别为 5m 和 2.05m (含石堰宽度 0.25m)。3 区为加水平排水沟的坡地; 4 区和 5 区为自然坡地。种植的农作物均为当地品种的小麦、玉米和大豆。

### 1.2 田间试验方法

田间试验主要结合湖北省秭归县水田坝乡王家桥水土保持实验站的标准径流场进行。各实验小区的几何边界明确, 实验小区之间有 5~20cm 高的水泥栏隔开。各实验小区分别安装土壤水观测设备(负压计)和地表径流收集槽(集水池)。各实验小区的施肥水平见表 2。

### 1.3 观测与样品采集

- 1) 地面径流 每次降雨后在集水池中采取 1000ml 混合水样, 过滤后求出泥沙含量和取得 250ml 水样。并同时取得泥沙样品。径流量的测定为每次降雨后在集水池中测定水深读数, 再换算成径流总量。
- 2) 植物 对果树, 采集叶片及果实样品; 对农作物, 采集果实和秸秆样品。
- 3) 土壤 在农作物种植前和收获后, 分别采取耕作层的土壤样品。

### 1.4 分析方法

泥沙样品、植物样品和土壤样品采用常规分析方法; 水样采用国家环保局制定的标准方法。N 为过硫酸钾氧化-紫外分光光度法。P 为过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法。K 火焰光度法。数据分析采用方差分析, 邓肯法进行多重比较

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同土地利用方式的水土保持特征

不同土地利用方式的水土保持特征可以用每次降雨产生的径流量和含沙量这两个参数来衡量<sup>[15,16]</sup>。径流量和含沙量不同反映了不同土地利用方式对水土流失的作用程度。

表 3 是 1997、1998 年各实验处理区径流量和含沙量的数据。从表中可以看出, 在不同的降雨强度和降雨量下, 径流量和含沙量在各实验区间有明显的差别。结合不同降雨条件对其进行相关分析和方差分析以判定土地利用方式对水土流失的作用。

**2.1.1 降雨量和降雨强度与径流量和含沙量的相关分析** 以表 3 数据为基础, 分别计算降雨强度与含沙量, 降雨强度与径流量, 降雨量与径流量, 降雨量与含沙量之间的相关系数, 以评价径流量和含沙量这两个参数对降雨的敏感程度。相关系数与相关系数  $t$  检验结果见表 4 和表 5。

结果表明: ①对梯田而言, 果园利用方式下, 降雨强度与系统的含沙量显著相关(5%), 降雨量与径流量显著相关(1%)。农田利用方式下, 降雨量与径流量显著相关的(1%), 降雨强度与泥沙量显著相关(1%)。 **万方数据**

②对坡地而言, 果园和农田利用方式下, 降雨量与径流量显著相关的(1%), 降雨强度与泥沙量显著相

表 1 实验区土壤养分背景值(g/kg)

Table 1 The background value of soil nutrients in each plot

实验区 Plot	N	K	P
1	2.1	57.0	0.6
2	1.0	55.3	1.6
3	0.8	54.8	0.6
4	0.8	53.4	0.7
5	1.5	54.0	0.6

表 2 实验区的施肥水平(kg)

Table 2 The amount of fertilizer in each plot

肥料 Fertilizer	1	2	3	4	5
专用肥 Special fer.	8				8
碳铵 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$		8	8	8	
尿素 Urine		4.1	4.1	4.1	
有机肥 Manure		100	100	100	
磷肥 Phosphoric		4	4	4	

\* 实验区面积为 50m<sup>2</sup>。

关(1%)。

因此,降雨量与径流量,降雨强度与含沙量的显著相关说明用这两个参数来衡量不同土地利用方式对水土流失的影响是适当的。

表 3 不同土地利用方式的水土保持特征

Table 3 Characteristic of soil erosion in different land use

年度 Year	降雨量 Rainfall (mm)	降雨强度 Intensity (mm/h)	1 小区 Plot 1		2 小区 Plot 2		3 小区 Plot 3		4 小区 Plot 4		5 小区 Plot 5	
			径流量 Runoff (m <sup>3</sup> )	含沙量 Sediment (g/m <sup>3</sup> )	径流量 Runoff (m <sup>3</sup> )	含沙量 Sediment (g/m <sup>3</sup> )	径流量 Runoff (m <sup>3</sup> )	含沙量 Sediment (g/m <sup>3</sup> )	径流量 Runoff (m <sup>3</sup> )	含沙量 Sediment (g/m <sup>3</sup> )	径流量 Runoff (m <sup>3</sup> )	含沙量 Sediment (g/m <sup>3</sup> )
1997	63.1	36.75	0.34	1020	0.96	2720	0.81	16800	0.99	20210	0.24	3020
	65.3	0.96	0.13	220	0.66	350	0.52	1270	0.88	2150	0.14	120
	36.8	1.14	0.35	780	1.31	820	0.66	1830	1.65	1610	0.20	640
	30.1	4.30	0.25	1650	0.89	1790	0.85	2180	1.02	2650	0.23	1720
	51.6	17.20	0.37	1390	0.45	2990	0.93	17880	0.72	18310	0.28	4760
	59.3	8.47	0.28	50	0.30	230	0.11	460	0.04	440	0.06	510
1998	20	1.82	0.09	690	0.06	570	0.06	2380	0.12	3420	0.03	510
	70.9	0.77	0.58	600	1.44	240	1.62	350	1.68	310	0.96	750
	79.4	0.83	0.89	190	1.19	100	1.29	710	1.25	460	1.02	70
	133.1	4.44	1.07	80	2.30	80	2.45	180	2.54	630	1.88	90
	62.7	1.43	0.44	140	2.09	70	1.96	100	1.89	330	0.65	460
	118.6	1.81	0.96	460	2.34	160	2.01	170	2.16	180	1.08	160
	66.8	0.69	0.32	250	1.56	240	1.46	330	1.43	140	0.64	380
	93.4	1.96	0.80	170	1.65	350	1.77	190	2.55	180	1.43	190

表 4 降雨量和降雨强度与径流量和含沙量的相关系数

Table 4 Coefficient of correlation between rainfall and intensity, runoff and sediment

实验区 Plot	雨强与 含沙量 Intensity and sediment	雨强与 径流量 Intensity and runoff	雨量与 径流量 Rainfall and runoff	雨量与 含沙量 rainfall and sediment
	1	0.434	-0.180	0.877
2	0.795	-0.278	0.754	-0.402
3	0.876	-0.230	0.798	-0.245
4	0.907	-0.283	0.726	-0.243
5	0.742	-0.279	0.870	-0.340

2.1.2 5 种土地利用方式下径流量和含沙量的方差分析 根据 1997、1998 年各实验小区测得的径流量和含沙量数据,进行方差分析,以确定各土地利用方式对径流量和含沙量变化的影响。方差分析结果表明,不同土地利用方式对径流量和含沙量变化影响显著。多重比较的结果见表 6。

结果表明:①4 区和 5 区,5 区和 3 区之间的含沙量和径流量变化在同一降雨量的条件下分别达到 5% 的显著性水平。4 区和 3 区的含沙量和径流量变化则没有达到显著性水平。这说明了在坡地条件下,农田利用方式比果园利用方式造成的泥沙流失量要大。果园和农田的利用方式对系统的径流量变化影响显著。农田利用方式下,施加了水平排水沟的坡地

与自然坡地相比,含沙量和径流量变化效果不显著。②4 区和 2 区、2 区和 3 区之间的含沙量变化在同一降雨量的条件下达到了 5% 的显著性水平。而径流量的变化没有达到显著性水平。这说明了在农田利用方式下,坡地和梯田的含沙量变化显著。径流量的变化有相同的趋势。③1 区和 2 区的含沙量变化在同一降雨量的条件下没有达到 5% 的显著性水平。径流量变化则达到了 5% 的显著性水平。说明在梯田的条件下,果园和农田的利用方式对含沙量的变化影响不大,对径流量的变化影响显著。④5 区和 1 区之间的含沙量和径流量变化在同一降雨量的条件下都没有达到 5% 的显著性水平。这说明对果园而言,坡地和梯田条件下对保持土壤没有显著差异。

万方数据

表 5 降雨量和降雨强度与径流量和含沙量的相关系数  $t$  检验Table 5  $T$  test of coefficient of correlation between rainfall and intensity, runoff and sediment

实验区	雨强与径流	雨量与径流	雨量与泥沙	雨强与泥沙	临界值
Intensity and Plot	runoff	Rainfall and runoff	Rainfall and sediment	Intensity and sediment	$t$ Threshold
1	0.63	6.34**	2.27**	1.67	$t_{0.05}=2.18$
2	1.00	3.98**	1.52	4.54**	$t_{0.01}=3.06$
3	0.82	4.59**	0.87	6.28**	$t_{0.5}=0.695$
4	1.02	3.65**	0.87	7.47**	$t_{0.1}=1.78$
5	1.01	6.10**	1.25	3.84**	

表 6 径流量和含沙量变化多重比较

Table 6 Multiple comparison between runoff and sediment

径流量变化		含沙量变化	
Change of runoff		Change of sediment	
实验区	5%显著性水平	实验区	5%显著性水平
Plot	Significance level(0.05)	Plot	Significance level(0.05)
4	a	4	a
3	a	3	a
2	a	2	b
5	b	5	b
1	b	1	b

1~5 实验小区分别代表了 5 种不同土地利用方式,它们之间径流量和含沙量的差异显著性说明了不同土地利用方式可以调节系统的水分分配和土壤侵蚀且效果显著。三峡库区生态系统脆弱区,通过调节土地利用方式可以达到保护生态环境,保证坡耕地农业利用和保证三峡工程安全的目的。

## 2.2 不同土地利用方式的养分流失

不同土地利用方式可以调节系统的水分分配和土壤侵蚀且效果显著。故生态系统养分的流失必然就不同。不同土地利用方式下,生态系统的养分流失包括径流(包括泥沙)和农作物收获及气体挥发。本实验只考虑前两项。选择对生物和环境有重要影响的 N、P、K 作为研究对象。

2.2.1 养分总输出 系统养分的总输出包括了地面径流、泥沙和农作物、果实带走的养分。表 7 和表 8 列出了 1997 年和 1998 年各实验小区的养分输出总量和径流养分输出占总输出的百分比。

表 7 1997、1998 年不同土地利用方式的养分总输出(g)  
Table 7 Total output of nutrients of different land use in 1997 and 1998

年度	养分	1	2	3	4	5
Year	Nutrients					
1997	N	9575	2676	7999	7603	8331
	P	4437	750	3741	3391	3574
	K	68957	41123	192626	219502	61569
1998	N	11404	1529	1694	1810	7366
	P	5264	341	449	540	3109
	K	79131	12408	19339	26726	52031
总计(kg)		179	59	226	260	136

表 8 径流(含泥沙)养分输出占系统养分总输出的百分数  
Table 8 Percent of runoff (including sediment) nutrients output in total nutrients output(%)

年度	养分	1	2	3	4	5
Year	Nutrients					
1997	N	3.3	50.4	84.4	84.3	4.7
	P	2.8	58.5	92.1	91.7	4.8
	K	13.3	97.7	99.5	99.6	22.9
1998	N	3.0	51.3	54.2	59.8	7.3
	P	2.1	50.6	61.1	70.8	5.1
	K	9.8	96.8	97.9	98.7	20.9

从表中数据可以看出,各试验小区的养分年输出总量有较大的变异,其变化趋势为坡地农田>梯田农田>梯田果园>坡地果园。

从径流养分输出占系统养分总输出的比例来看,不同土地利用方式、不同养分类型有明显的差异。对果园利用方式而言,径流养分输出已不是系统养分输出的决定因素,且梯田和坡地这两种地形因素对其影响不大。对农田利用方式而言,径流养分输出是系统养分输出的主要因素,且梯田和坡地这两种地形因素对其影响不大。其原因是,对果园利用方式而言,其植被覆盖度较大且变化较小,果实收获所带走的养分输出较径流养分输出数据;对农田利用方式而言,其植被覆盖度较小且变化较大,使得在坡度为 25°坡耕地上,径流养分输出成了系统养分输出的主要因素。梯田和坡地两种地形产生的环境条件不同,因此对系统径流

养分输出有明显的影晌。

**2.2.2 径流输出养分在泥沙和水中的分布** 径流养分输出是系统养分的主要输出。其主要是由泥沙和径流所带走的养分。且在泥沙和径流水中的分布比例是不同的(表 9)。

实验数据表明,P、K 的径流养分输出中,由泥沙带走的养分占 98%以上。白红英等<sup>[9]</sup>进行的坡地土壤侵蚀与养分流失过程研究也证明泥沙养分输出占径流养分输出的 98%以上。N 的比例变异较大,说明三峡库区 N 的动态较复杂。

**2.2.3 径流养分的输出** 由上述分析可知,土地利用方式对系统的径流量和含沙量变化有显著影响。且径流量和泥沙量对径流养分输出的贡献不同。方差分析表明,不同土地利用方式对系统养分输出有明显的影晌。故进行不同土地利用方式下径流养分输出的多重比较(表 10),以确定最佳土地利用方式。

从表中可以看出:①4 区和 5 区,3 区和 5 区之间 N、P、K 的变化都达到了 5%显著性水平。说明坡地条件下,农田和果园利用方式对系统养分的输出有重要影响。②1 区和 2 区之间 N、P、K 的变化都没有达到 5%显著性水平。说明梯田条件下,农田和果园利用方式对系统养分输出没有明显的影晌。③1 区和 5 区 N、P、K 的变化都没有达到 5%显著性水平。说明果园利用方式下,梯田和农田对系统养分输出没有明显的影晌。④4 区和 2 区,3 区和 2 区之间 N 和 K 的变化达到了 5%显著性水平。而 P 的变化则没有达到显著性水平。

### 2.3 合理土地利用方式的选择

通过上述分析表明,土地利用方式可以调节系统的水分分配和土壤侵蚀且效果显著;对系统养分的径流输出也有显著影响。果园利用方式明显地好于农田利用方式。果园利用方式下,梯田和坡地对系统径流量和含沙量的影晌没有达到显著性水平,对系统养分径流输出的影晌也没有达到显著性水平。而且,梯田地形条件在三峡库区也容易导致泥石流和滑坡<sup>[14]</sup>,梯田的建造和维护成本也明显的高于坡地。因此,三峡库区脆弱生态系统区较合理的土地利用方式为坡地果园。

### 3 结论

(1)从不同土地利用方式的径流量和含沙量变化可以看出,土地利用方式可以调节系统的水分分配和土壤侵蚀且效果显著。

(2)不同土地利用方式的养分年输出总量变异较大,其变化趋势为坡地农田>梯田农田>梯田果园>坡地果园。

(3)不同土地利用方式,径流养分输出占系统养分总输出的比例明显不同。土地利用方式对系统 N、P、K 的径流输出影晌显著。

(4)三峡库区脆弱生态系统区较合理的土地利用方式为坡地果园。它既减少投资,又可减少土壤侵蚀。

万方数据

表 9 泥沙养分输出占径流养分输出的比例(%)

Table 9 Percent of sediment nutrients output in runoff nutrients output

年度 Year	实验区 Plot	N	P	K
1997	1	85.5	98.5	99.9
	2	87.4	98.5	99.9
	3	98.6	99.9	99.9
	4	97.1	99.7	99.9
	5	93.7	99.2	99.9
1998	1	61.0	99.9	98.7
	2	41.2	99.9	98.7
	3	56.0	99.9	99.5
	4	66.2	99.9	99.6
	5	54.6	99.9	99.2

表 10 径流养分输出的多重比较

Table 10 Multiple comparison of runoff nutrients output

N 的变化 Change of N		P 的变化 Change of P		K 的变化 Change of K	
实验区 Plot	5%显著水平 Significance level (0.05)	实验区 Plot	5%显著水平 Significance level (0.05)	实验区 Plot	5%显著水平 Significance level (0.05)
3	A	3	a	4	a
4	A	4	a	3	a
2	B	2	a	2	b
5	B	5	b	5	b
1	B	1	b	1	b

## 参考文献

- [1] Colinvaux P. *Ecology*. John Wiley & Sons, Inc. 1986.
- [2] Moore I D, Gessler P E, Nielsen G A, *et al.* Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 1993, **57**: 443~452.
- [3] 傅伯杰, 等. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响. *科学通报*, 1998, **43**(22): 2444~2447.
- [4] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. *生态学报*, 1995, **15**(2): 113~120.
- [5] 唐克丽, 陈永宗主编. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 6, 71~72.
- [6] Ripl W. Management of water cycle and energy flow forecosystem control: the energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecological Modelling*, 1995, **78**: 61~76.
- [7] 刘佳桂, 等. 长江三峡区紫色土坡耕地的土壤流失量研究. *水土保持学报*, 1991, **5**(3): 36~43.
- [8] 黄 丽, 等. 三峡库区紫色土养分流失的试验研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, **4**(1): 8~13.
- [9] 白红英, 等. 坡地土壤侵蚀与养分流失过程的研究. *水土保持通报*, 1991, **11**(3): 14~19.
- [10] 郑粉莉. 坡面降雨侵蚀和径流侵蚀研究. *水土保持通报*, 1998, **18**(6): 17~21.
- [11] 蔡崇法, 等. 三峡库区紫色土坡地养分状况及养分流失. *地理研究*, 1996, **15**(3): 77~83.
- [12] 陈鸿昭, 等. 三峡工程土壤环境影响评价的实践与认识, 土壤环境变化. 见: 龚子同主编. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 227~231.
- [13] 长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集, 中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组编. 北京: 科学出版社, 1987.
- [14] 杜榕桓, 史德明, 袁建模, 等编著. 长江三峡库区水土流失对生态与环境的影响. 北京: 科学出版社, 1994.
- [15] Kinnell P I A and Risse L M. USLE-M: empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, **62**: 1667~1672.
- [16] Osenberg C W, Sarnelle O, Cooper S D, *et al.* Resolving ecological questions through meta-analysis: goals, metrics, and models. *Ecology*, 1999, **80**(4): 1105~1117.