

335-341

第19卷第3期
1999年5月生态学 报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 3
May, 1999

红壤旱坡地农田生态系统养分循环和平衡*

王兴祥 张桃林[✓] 张斌

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

S158

S155-25

摘要 通过田间定位试验从生态系统的角度比较研究了中亚热带红壤低丘岗地几种主要旱坡地农田生态系统的水土流失、养分循环和平衡特征、土壤养分消长动态及空间分异,结果表明:水土流失是红壤旱坡地生态系统养分损失的重要途径之一,固体径流具有养分富集现象,速效养分损失以地表径流为主,水土流失养分损失量大小顺序为:有机碳>全钾>速效钾>全氮>全磷>水解氮>速效磷,免耕覆盖和垄作能显著减少水土流失及养分损失量;红壤旱地淋溶也是养分,尤其是氮素损失的重要途径;在养分平衡有盈余状况下,土壤养分水平是可以逐步提高的,其中,土壤速效磷、速效钾提高的速度较快,土壤全氮、有机质和全磷也有所提高,但仍处于较低水平;复合农林系统中,土壤养分存在明显的空间分异,农作物区域由于养分投入较高,土壤养分水平明显高于林木区域。

关键词 红壤,旱坡地生态系统,水土流失,养分循环,土壤养分变化。

NUTRIENT CYCLING AND BALANCE OF SLOPING
UPLAND ECOSYSTEMS ON RED SOIL

WANG Xing-Xiang ZHANG Tao-Lin ZHANG Bin

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008, China)

Abstract Soil and water loss is an important way of nutrients loss. No-tillage with mulching and ridge tillage can strongly decrease the loss of nutrients caused by surface runoff and soil erosion. The potential of nutrient loss through erosion is as follows: organic matter>total K>available K>total N>total P>hydrolysable N>available P. Strong leaching in upland of red soil is also an important way of nutrients loss, especially for N. The system with notillage and mulching has the largest surplus in comparison with other upland ecosystems. Soil nutrient level can be increased gradually when the nutrient balance is in surplus. Available P and K in soil would increase rapidly to a high level while total K decrease slightly. Total N, P and organic matter in soil increase, but they still have low content. There is a spatial variability of soil nutrients in agroforest ecosystems, soil nutrients in districts of agricultural crops have higher level than that in district of trees.

Key words red soil, sloping upland ecosystems, soil and water loss, nutrient cycling and balance, changes of soil nutrients content.

* 国家“九五”攻关(96-004-03-12)专题部分成果。

收稿日期:1997-01-07,修改稿收到日期:1997-10-07。

我国东南红壤丘陵区,由于长期对资源的不合理开发利用,巨大的优势与潜力非但未能充分发挥,各种资源与环境的退化,严重制约本区农业持续发展和生态环境建设^[1],旱坡地水土流失及土壤养分贫瘠化等土壤退化问题已经达到十分严重的程度^[1-3]。改革耕作制度,特别是旱地生态系统结构,控制水土流失及土壤肥力下降等土壤和环境退化过程,恢复和提高退化生态系统的生产力,是当前本区粮食生产和农业及生态系统持续发展所面临的一个重大课题。

1 试验材料和方法

1.1 土壤及降雨分布 试验布置于江西省余江县中国科学院红壤生态实验站水土保持区,其降雨分布如表1。开垦前植被为稀疏马尾松,坡度5°,土壤为第四纪红粘土发育的普通红壤(普通筒育湿润富铁土),表层质地为粘土,基本农化性状如表2。

表1 1992~1996年的降雨分布(mm)

Table 1 Monthly precipitation distribution of sampling site

年份 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1992	72.5	131.6	483.1	164.1	223.6	275.8	381.4	135.1	27.4	3.2	21.3	72.0
1993	74.2	118.2	126.6	187.0	490.4	371.6	299.7	76.3	86.0	69.0	48.4	37.5
1994	59.5	141.6	161.1	259.2	168.6	584.6	95.1	110.1	135.0	44.1	10.5	227.9
1995	55.9	90.0	210.9	472.0	312.7	719.6	154.9	68.3	72.9	43.9	9.2	10.0
1996	138.4	1.6	285.1	190.6	264.1	148.1	173.3	236.3	50.0	35.7	22.5	26.7

表2 试验土壤主要农化性状

Table 2 Agrochemistry properties of soil samples

有机质 (g/kg) Organic matter	全氮 (g/kg) Total N	全磷 (P ₂ O ₅ g/kg) Total P	全钾 (K ₂ Og/kg) Total K	水解氮 (mg/kg) Hydrolysable N	速效磷 (P ₂ O ₅ mg/kg) Available P	速效钾 (K ₂ Omg/kg) Available K	pH 值 pH(H ₂ O)	阳离子 代换量 (cmol/kg) CEC
7.2	0.58	0.18	11.6	18.0	1.9	35.7	4.7	8.84

1.2 处理 农作系统试验区域于1992-04开垦,就地翻耕30cm,施用猪粪67500kg/hm²(折N 317.3、P₂O₅ 202.5、K₂O 337.5kg/hm²),石灰2250kg/hm²,试验设5种农作处理,即5种农田生态系统,其中免耕覆盖处理在移栽油菜、玉米时,需适当挖穴以便移栽;1994-03开垦开始复合农林种植试验,在种植树木处开沟施肥,分别施用猪粪1275kg/hm²,尿素120kg/hm²,磷肥375kg/hm²,以后只在农作区域施肥。各处理不设重复,每年利用方式相同,小区均为标准径流小区,面积20×5m²,周围用30cm高水泥板封闭,建有径流池,收集地表径流水及固体径流。1996年开始在田间埋直径40cm,深度40cmPVC桶以测定土壤养分渗漏状况,其具体试验处理见表3、表4。

田间管理按常规栽培技术要求进行,除播种、移栽时,一般不灌溉。处理A的萝卜菜一半压青还田,处理D的覆盖物分别是本田玉米秸秆的上部和养麦及油菜秸秆全部,处理I和II中的萝卜菜全部压青还田。

1.3 观测项目及分析方法 作物产量及养分含量,土壤农化性状(每年4月、11月采0~20cm土壤样品),测定径流量、流失泥沙量、渗滤液体积、降雨量及其养分含量,肥料养分含量。

除水样全氮测定用氧化比色法^[4]外,其它项目分析方法均参照土壤理化分析进行^[5]。

2 结果与讨论

红壤旱坡地因水土流失及淋溶所造成的养分损失是人们十分关注的问题,本试验通过田间试验对其进行了重点观测分析。

2.1 不同农田生态系统水土流失养分损失

2.1.1 田间试验结果(表5)表明,农田生态系统水土流失量在不同年份有所不同,不同农田生态系统间有较大差异,红壤开垦利用后,由于破坏了表层保护土壤的草皮,土壤侵蚀增加,总的看来,免耕覆盖和整作明

显减少水土流失,尤以垄作为佳。免耕覆盖处理的水土流失高于垄作处理,可能与玉米移栽时少量挖穴搅动土壤有关。

2.1.2 固体径流具有养分富集现象 不同处理的固体径流的养分富集率有所差别,但总的来看,养分富集率顺序为:速效钾>有机质>全氮>全磷>水解氮>速效磷>全钾(表6)。杨艳生等^[6]研究表明,速效钾富集率最大,但其有机质富集率最小,这可能与研究的土壤本身有机质含量极低(约5g/kg)、且少施有机肥有关。

2.1.3 速效养分的流失以地表径流为主。随地表径流损失的水解氮、速效磷、速效钾分别是泥沙的7.5、10.8和10.6倍(表7),这可能是地表径流量远远大于土壤侵蚀量的结果;地表径流流失的氮素以硝态氮为主,5种农作制度和对照处理的地表径流流失的NO₃⁻-N 分别为 NH₄⁺-N 的3.2、7.8、4.4、3.3、5.9和1.9倍,平均为4.4倍(表8),这是由于NH₄⁺-N 易被土壤吸附,而径流中的浓度较低所致。

2.1.4 不同养分及不同处理中养分的损失量有明显差异 表9结果表明,随水土流失损失最多的为有机质,最少的为速效磷,其损失量大小顺序为有机质>全钾>速效钾>全氮>全磷>水解氮>速效磷,这主要由于流失的泥沙中有机质和全钾含量远大于其它养分;从不同处理养分损失量来看,处理A、B之间没有明显差异,而垄作和免耕覆盖能明显减少水土流失及其养分损失,尤其以垄作为佳。但从随地表径流损失的速效钾的数量看,以免耕覆盖处理为最大,这可能与秸秆覆盖物释放的钾有关(表7)。

2.2 红壤旱坡地的养分淋失

1996年开始补充测定养分淋溶的结果(表10)初步表明:红壤旱地渗漏量较大,约占总降雨量的26.4%~33.0%,N素较高的养分淋失,P素几乎不发生淋失,而K素处于其中间;氮素的淋失量占施入化肥量的比例高于钾素,这可能与施入红壤中的尿素很快转化为NO₃⁻-N的缘故^[7];与C、E处理相比,处理B、D有较高的养分淋失量,可能与其施肥量高于其它处理有关,处理A的

表3 试验设计

Table 3 Field treatments designed

代号 Code	利用方式 Landuse	耕作方式 Soil management
CK	荒草地 Sparse grass land	未垦 Untapped
A	花生-绿肥(萝卜菜)* Peanut-Green manure (<i>Raphanus Sativus</i>)	传统耕作 Farmer's prastice
B	玉米+大豆-荞麦-油菜 Corn+ Soybean-Buck wheat -Rape	常规耕作 Conventional tillage
C	大豆+红薯-油菜 Sweet potato+Soybean- Rape	低垄 Low ridge tillage
D	玉米+大豆-荞麦-油菜 Corn+ Soybean-Buckwheat -Rape	免耕覆盖 Notillage with mulching
E	大豆+红薯-油菜 Sweet potato+Soybean-Rape	高垄 High ridge tillage
I	杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	行植 Grow planting
II	杜仲+花生-绿肥(萝卜菜) <i>Eucommia ulmoides</i> + Peanut-Green manure	农林间作 Alley planting
III	南酸枣+花生-绿肥(萝卜菜) <i>Choerospondias axillaris</i> + Peanut-Green manure	农林间作 Alley planting
N	南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	行植 Grow planting

* "-"接茬 means followed by, "+"间作 means intercropped with.

表4 化肥施用量(kg/hm²)

Table 4 Amount of fertilizers applied for different treatments

作物 Crops	氮(尿素) N(Urea)	磷(钙镁磷肥) P ₂ O ₅ (Calcium managesium phosphate)	氯化钾 K ₂ O (KCl)
花生 (A、I、II相同) ^①	69.0	90.0	90.0
大豆+玉米 ^②	255.3	90.0	405.0
大豆+红薯 ^③	92.0	90.0	150.0
油菜 ^④	103.5	45.0	225.0
荞麦 ^⑤	57.5	0	0

* 氮肥、钾肥70%为基肥,30%为追肥,磷肥全部作基肥,基肥条施;荞麦,只在1992年施肥一次。①Peanut(A、I and II);②(Corn+ Soybean);③(Sweet potato+Soybean);④(Rape);⑤(Buckwheat)

表5 不同农田生态系统水土流失状况(1992-04~1996-04)

Table 5 Soil and water loss in various crop systems

年份 Year	地表径流 Runoff(mm)						土壤侵蚀量 Sediments(kg/hm ²)					
	CK	A	B	C	D	E	CK	A	B	C	D	E
1992*	150.0	114.6	67.2	19.7	29.3	30.3	300.4	10647.0	9116.9	606.5	1624.7	676.7
1993	113.3	205.7	222.1	60.7	110.9	71.8	225.7	7146.6	6983.9	656.4	2452.5	969.7
1994	78.4	65.4	54.1	24.9	32.0	30.8	147.3	1945.9	889.7	258.3	397.4	356.4
1995	225.9	409.2	468.5	46.2	229.1	78.9	528.1	21046.5	23393.4	584.1	2604.9	1088.0
1996	8.5	10.3	10.8	10.6	8.9	10.1	8.5	114.0	116.1	94.7	60.5	99.2
Total	576.1	805.2	822.7	162.1	410.2	221.9	1210.0	40900.0	40500.0	2200.0	7140.0	3190.0

* 1992-04-12与1996-01~04数据 Data in 1992 is data from Apr. to Dec. And data in 1996 is data from Jan. to Apr.

表6 流失泥沙的养分富集率*

Table 6 Enrichments rate of nutrients in sediments

	A	B	C	D	E	年均 Average
有机质 Organic matter	2.04 (25.5/12.5)**	2.16 (27.9/12.9)	2.51 (36.7/14.6)	2.33 (35.3/15.2)	2.56 (33.3/13.0)	2.32 (31.7/13.6)
全氮 Total N	1.75 (1.42/0.81)	1.67 (1.40/0.84)	1.81 (1.54/0.85)	1.80 (1.60/0.89)	1.82 (1.49/0.82)	1.77 (1.49/0.84)
全磷 Total P	1.48 (1.23/0.83)	1.56 (1.33/0.85)	1.85 (1.65/0.89)	1.42 (1.32/0.93)	1.48 (1.38/0.93)	1.56 (1.38/0.89)
全钾 Total K	1.32 (13.40/10.20)	1.07 (14.79/11.90)	1.32 (12.60/12.00)	1.37 (14.74/12.9)	1.17 (14.00/11.30)	1.23 (13.90/11.68)
水解氮 Hydrolysable N	1.22 (213.5/174.8)	1.07 (176.8/165.7)	1.32 (134.8/102.0)	1.37 (164.8/120.0)	1.17 (157.3/134.5)	1.23 (169.4/139.4)
速效磷 Available P	1.21 (11.63/9.60)	1.31 (11.10/8.45)	1.39 (12.92/9.30)	1.10 (11.47/10.40)	1.06 (12.40/11.75)	1.21 (11.90/9.90)
速效钾 Available K	3.95 (639.1/161.9)	2.62 (664.0/253.2)	6.72 (1023.4/152.3)	3.43 (927.1/270.1)	5.53 (875.1/157.7)	4.45 (825.0/199.0)

* 富集率 Enrichments rate=侵蚀泥沙养分含量/土壤养分含量 nutrients content in sediments /nutrients content in soil. ** 表中括号内数据分别表示泥沙及土壤养分含量的平均结果 Data in brackets is average nutrients content in sediments and in soil respectively

高氮素淋失可能与其施肥后经历较长的雨季有关。关于红壤旱地养分淋失的一些研究结果相差甚大^[8,9],可能是土壤养分状况、投入水平、利用方式及施肥措施的不同缘故。

由于本试验中对红壤旱地养分淋溶研究时间较短,可能会对研究结果有一定影响,但可以根据1996年全年补充测定的结果,初步估算1992年4月至1996年4月间的各处理的养分淋失量,处理A、B、C、D、E的N淋失量分别约为176.8、153.2、84.8、188.0、76.0kg/hm²,K₂O淋失量分别约为17.6、154.0、44.0、310.0、73.6kg/hm²。

2.3 土壤养分收支平衡特征

通过测定土壤水土流失量及其养分含量计算出水土流失养分损失量,根据1996年的观测结果估算总的养分淋失量,根据降雨量及测定的养分含量计算出其养分输入量,根据肥料施入量及测定的养分含量计算输入量,以豆科植物总氮的60%作为生物固氮量^[10],根据 Cai 等^[11]在红壤旱地试验,以8%作为尿素气态损失,有机肥的氮素气态损失以15%计算,秸秆的氮素损失则忽略不计^[10],测定作物产量及其养分含量计算植物养分输入及输出,计算出其养分平衡状况(表11)。

不同农田生态系统由于其养分输入、输出参数的不同,养分平衡有所差异,但总的看来,除处理A的钾素外(如果以水土流失损失的速效养分进行养分平衡计算,处理A的钾素也有盈余),几种旱地生态系统的

表7 水土流失损失的速效养分
(kg/hm², 1992-04~1996-04)

Table 7 Losses of available nutrients caused by runoff and soil erosion

处理 Treatment	水解氮 Hydrolysable N	速效磷 (P ₂ O ₅) Available P	速效钾 (K ₂ O) Available K
A	泥沙 ¹	8.7	26.1
	径流 ²	14.4	35.9
	径流/泥沙 ³	1.66	2.14
B	泥沙	7.2	26.9
	径流	21.0	68.2
	径流/泥沙	2.92	2.54
C	泥沙	0.3	2.3
	径流	3.8	46.7
	径流/泥沙	12.7	20.3
D	泥沙	1.2	6.6
	径流	9.1	69.6
	径流/泥沙	7.58	10.5
E	泥沙	0.5	2.8
	径流	6.2	50.1
	径流/泥沙	12.4	17.9
Average	径流/泥沙	7.5	10.6

* ①Sediment(S)②Runoff(R)③R/S

表8 地表径流中不同形态的氮素损失
(kg/hm², 1992-04~1996-04)

Table 8 Losses of different forms of nitrogen caused by surface runoff

处理	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N/NH ₄ ⁺ -N
A	11.0	3.4	3.2
B	18.6	2.4	7.8
C	3.1	0.7	4.4
D	7.0	2.1	3.3
E	5.3	0.9	5.9
CK	6.4	3.4	1.9

土壤各种养分均有一定盈余,尤其以免耕覆盖养分盈余最大,几种旱地农田生态系统中养分的相对盈余比例均以磷为最大,这可能是磷素输出量少的结果。

2.4 不同农田生态系统土壤养分消长规律

2.4.1 不同农作系统土壤养分消长规律 试验结果(表12)表明,红壤开垦利用后,在所有农作系统的土壤养分含量变化方面,除全钾稍有下降外,其它养分

表9 不同农田生态系统水土流失养分损失总量(kg/hm², 1992-04~1996-04)

Table 9 Loss of nutrients caused by soil and water loss in five crop ecosystems

处理 Treatments	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P (P ₂ O ₅)	全钾 Total K (K ₂ O)	水解氮 Hydrolysable N	速效磷 Availabe P (P ₂ O ₅)	速效钾 Available K (K ₂ O)
A	1043.0	72.5	52.9	604.0	23.1	2.95	82.0
B	1130.0	77.7	56.8	667.2	28.2	3.36	95.1
C	80.7	7.2	4.0	74.4	4.1	0.39	49.0
D	252.0	20.5	10.7	174.8	10.3	1.36	76.2
E	106.6	11.0	5.0	94.9	6.7	0.60	52.9
平均 Average	522.5	37.8	25.9	323.1	14.5	1.70	71.0

表10 不同农田生态系统养分淋失状况(1996年)

Table 10 Leaching loss in various crop systems in 1996

处理 Treatment	渗漏量(mm) Amount of leaching water	养分淋失量(kg/hm ²) Amount of leaching loss		养分淋失量占化肥用量的比例(%) Amount of leaching loss /amount of fertilizer applied	
		N	K ₂ O	N	K ₂ O
A	421.3	44.2	4.4	64.0	4.8
B	518.8	38.3	38.5	10.7	9.0
C	456.9	21.2	11.0	10.8	2.9
D	474.0	47.0	77.5	13.1	12.3
E	416.0	19.0	18.4	9.7	4.9

表11 不同农田生态系统土壤养分平衡状况(kg/hm²,1992-04~1996-04)

Table 11 Nutrients balance in five crop ecosystems

项目 Item	A			B			C			D			E			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
养分输入 Input	1	317.0	202.5	337.5	317.3	202.5	337.5	317.0	202.5	337.5	317.3	202.5	337.5	317.0	202.5	337.5
	2	276.0	360.0	360.0	1492.7	540	2520.0	782.0	540.0	1500.0	1492.7	540.0	2520.0	782.0	540.0	1500.0
	3	94.1	0	23.5	94.1	0	23.5	94.1	0	23.5	94.1	0	23.5	94.1	0	23.5
	4	35.1	8.7	4.6	18.2	3.9	10.9	16.8	3.9	12.6	19.3	4.0	11.1	19.3	5.1	18.0
	5	332.6	0	0	95.2	0	0	171.4	0	0	109.9	0	0	154.9	0	0
养分输出 Output	6	166.6	81.5	271.5	16.5	9.3	115.7	4.2	2.7	10.6	101.8	74.3	653.5	3.7	2.5	36.5
	7	72.5	52.9	604.0	77.7	56.8	667.2	7.2	4.0	74.4	20.5	10.7	174.8	11.0	5.0	94.9
	(23.1)	(3.0)	(82.0)	(28.2)	(3.4)	(95.1)	(4.1)	(0.4)	(19.0)	(10.3)	(1.4)	(76.2)	(6.7)	(0.6)	(59.2)	
	8	176.8	0	17.6	153.2	0	154.1	81.8	0	44.0	188.0	0	310.0	76.0	0	73.6
	9	69.7	0	0	167.0	0	0	110.2	0	0	167.0	0	0	110.2	0	0
盈亏 Profitand loss	10	887.6	287.6	781.8	574.4	290.4	1018.2	691.5	483.9	1521.6	624.1	308.0	1107.3	644.2	456.3	1479.5
平衡(%)	15.1	312.2	-406.7	1061.7	406.5	1168.2	492.1	255.8	274.2	1135.5	501.2	1953.5	529.9	288.8	267.5	
平衡(%)	(64.5)	(362.2)	(115.7)	(1111.2)	(461.9)	(1740.3)	(495.2)	(259.4)	(299.6)	(1145.7)	(510.5)	(2052.1)	(534.2)	(293.2)	(309.5)	
Balance	(5.6)	(124.6)	(13.1)	(120.4)	(157.3)	(137.3)	(55.6)	(53.0)	(18.5)	(115.8)	(164.6)	(137.4)	(63.8)	(64.2)	(19.3)	

* 括号内的数据是以水土流失速效养分损失计算的结果;养分输入项包括:1 有机肥、2 化肥、3 雨水、4 种子、5 生物固氮、6 作物归还;养分输出项包括:7 水土流失、8 淋失、9 化肥氮、气态损失及有机肥氮素损失、10—作物收获移出。Data in brackets is results of losses of available nutrients caused by soil and water loss. ;Input include:1 Organic manure, 2 fertilizers, 3 rain, 4 seeds, 5 biological fixed nitrogen, 6 return amount of crop residues; Output include: 7 runoff and soil erosion, 8 leaching, 9 other forms loss of N, 10 crop removal.

表12 红壤开垦后土壤主要农化性状的变化(1992-04~1996-04)

Table 12 Agrochemistry properties changes after reclamation of red soil

项目 Item	试验前土壤 Original soil	A	B	C	D	E
有机质 Organic matter(g/kg)	7.2	13.4	14.5	15.0	15.2	15.0
全氮 Total N(g/kg)	0.58	0.77	0.88	0.82	0.98	0.84
全磷 Total P(P ₂ O ₅ g/kg)	0.65	0.96	1.00	0.96	1.04	0.98
全钾 Total K(K ₂ O g/kg)	11.6	11.1	10.8	10.8	10.9	10.8
水解氮 Hydrolysable N(mg/kg)	18.0	157.3	258.4	198.5	149.8	187.3
速效磷 Available P(P ₂ O ₅ mg/kg)	1.90	13.8	16.2	15.9	17.4	15.8
速效钾 Available K(K ₂ O mg/kg)	35.7	62.0	346.1	148.1	398.0	193.6
阳离子代换量 CEC(cmol/kg)	8.84	9.36	9.12	9.60	9.50	9.40
交换性酸 Exchange acidity(cmol/kg)	5.47	1.13	0.68	1.07	0.62	1.80
pH值 pH(H ₂ O)	4.7	5.4	5.7	5.5	5.7	5.6

含量水平及土壤养分保蓄能力(CEC)均有明显的提高,尤以土壤速效养分提高速度和幅度最大(虽然土壤速效养分水平波动较大),土壤全磷也有明显提高,而土壤有机质和全氮虽有所提高,但仍处于较低水平,土壤交换性酸则明显下降。以上结果进一步说明,尽管红壤养分自然供给水平低,但一旦辟为农地并合理利用,在养分平衡有盈余的情况下,土壤养分水平是可以逐步提高的。

2.4.2 复合农林系统土壤养分空间分异 在农林间作的处理Ⅰ和处理Ⅲ中,农作区土壤由于施肥,其速效磷和速效钾含量比开垦前有较大的提高,而树木区由于相对投入较少,其土壤养分水平仍然很低,且与单一种植树木的处理Ⅱ及Ⅳ养分含量间没有明显变化。与开垦前相比,所有处理(包括纯林木的处理Ⅰ和Ⅳ,农林间作的处理Ⅱ和Ⅲ)的土壤水解氮含量均有显著提高,但其在农作区域和树木区域间并没有明显

的规律性差异(表13)。复合农林业虽然能够明显减少水土流失,但由于其养分投入水平较低,特别是在其植树区域养分投入更少,因而上壤养分提高速度明显低于农作系统。

表13 复合农林业土壤养分空间变异

Table 13 Spatial variability of soil nutrients in agroforest

项目 Item	水解氮 (mg/kg) Hydrolysable N	速效率 (P ₂ O ₅ mg/kg) Available P	速效钾 (K ₂ O mg/kg) Available K	全氮(g/kg) Total N	全磷 (P ₂ O ₅ g/kg) Total P	全钾 (K ₂ O g/kg) Total K
试验前 ^①	18.0	1.9	35.7	0.58	0.18	11.6
I	58.0	1.04	28.4	0.52	0.45	10.3
I (树木区域) ^②	53.1	1.02	32.0	0.44	0.49	10.3
I (农作区域) ^③	61.0	12.2	57.6	0.69	0.83	0.96
II (树木区域) ^④	74.3	1.04	33.1	0.44	0.55	10.9
II (农作区域) ^⑤	54.2	12.7	71.0	0.64	0.91	0.93
N	44.5	1.87	25.2	0.57	0.49	0.99

①Original soil; ②District of trees; ③District of crops; ④District of trees; ⑤District of crops

农田生态系统养分平衡状况基本上可反映其土壤养分水平变化状况,当系统养分平衡出现盈余时,土壤养分水平一般会不断提高。由于所研究农作系统土壤中氮磷钾均出现盈余,且以磷钾养分盈余更多,因而土壤速效养分,特别是速效钾提高较快。值得注意的是,处理A虽然钾素循环处于赤字状态,土壤速效钾含量仍然有所提高,主要是由于土壤侵蚀严重,土壤全钾损失较多,造成了钾素的赤字循环,如果考虑其速效钾的平衡,则其钾素仍有少量的盈余,但如果长期这样下去,也可能引起土壤速效钾含量的降低。

3 结论

水土流失是红壤旱坡地生态系统养分损失的重要途径之一,固体径流具有养分富集现象,养分富集率顺序为:速效钾>有机质>全氮>全磷>水解氮>速效磷>全钾,速效养分损失以地表径流为主,水土流失养分损失量大小顺序为:有机碳>全钾>速效钾>全氮>全磷>水解氮>速效磷,免耕覆盖和垄作能显著减少水土流失及养分损失量;红壤旱坡地淋溶也是养分损失,尤其是氮素损失的重要途径;在养分平衡有盈余状况下,土壤养分水平是可以逐步提高的,其中,土壤速效磷、速效钾提高的速度较快,土壤全氮、有机质和全磷也有所提高,但仍处于较低水平;复合农林系统中,土壤养分存在明显的空间分异,农作物区域由于养分投入较高,土壤养分水平明显高于林木区域。

参 考 文 献

- 1 赵其国. 加速我国南方农业持续发展与生态环境建设. 土壤, 1993, 25(1): 1~6, 20
- 2 孙波, 张桃林, 赵其国. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价. 土壤, 1995, 27(3): 119~128
- 3 罗家贤, 蒋梅茵, 杨德涌, 等. 红壤的肥力退化表现及研究方向. 见: 赵其国主编. 土壤圈物质循环与农业和环境. 南京: 江苏科技出版社, 1995. 345~352
- 4 金湘灿, 屠清瑛主编. 湖泊富营养化调查规范, 第二版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- 5 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1978
- 6 杨艳生, 史德明, 吕喜莹, 等. 水土流失中的固体径流分析. 见: 王明珠等主编. 红壤生态系统研究(第二集). 江西科学技术出版社, 1993
- 7 鲁如坤, 时正元, 赖庆旺. 红壤养分退化研究 I - 尿素和碳铵在红壤中的转化. 土壤通报, 1995, 26(6): 241~243
- 8 沈仁芳, 赵其国. 排水采集器原状土柱中红壤元素淋溶的研究. 土壤学报, 1995年, 32增刊(2): 70~77
- 9 赖庆旺, 赖涛, 李茶苟, 等. 红壤旱地长期施肥效应及养分流向. 红壤研究, 1995, 6: 24~41
- 10 朱兆良. 我国农业生态系统中氮素的循环和平衡. 见: 朱兆良主编. 中国氮素. 南京: 江苏科技出版社, 1990
- 11 Cai G X, Pen G H, Wu Y W, et al. Fert of urea nitrogen applied to rape grown on a red soil and efficiency of urea in raising rape field. *Pedosphere*, 1995, 5: 107~114