

# 红壤小流域不同利用方式土壤钾素流失特征研究

袁东海<sup>1</sup>, 王兆骞<sup>1</sup>, 郭新波<sup>1</sup>, 陈新<sup>1</sup>, 张如良<sup>2</sup>

(1. 浙江大学 农业生态研究所, 浙江 杭州 310029; 2. 兰溪市水土保持监督站, 浙江 兰溪 321100)

**摘要:** 从资源利用的角度研究了红壤小流域不同利用方式土壤钾素的流失特征, 结果表明, 植被覆盖度低, 无水保措施的试验区钾素流失量最大, 封山育林, 恢复保护性植被的试验区的钾素流失量最低。在农林利用的试验区中, 粗放经营的试验区的钾素流失量大于水土保持综合性农林措施的试验区。土壤钾素流失时间主要集中在 5 月份和 6 月份梅雨季节和 8 月份台风雨季节, 其流失量约占全年流失量 90% 以上, 钾素的流失形态主要为泥砂结合态, 约占全钾流失量 94% 以上, 影响钾素流失的主要因素为降雨量、降雨侵蚀力、径流量和泥砂流失量。

**关键词:** 钾素流失; 红壤; 小流域; 农林利用方式

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)03-0016-05

中图分类号: S143.3; S157.1

## A Study on Principle of Potassium Loss Under Different Land Use Patterns in Red Soil Watershed

YUAN Dong-hai<sup>1</sup>, WANG Zhao-qian<sup>1</sup>, GUO Xin-bo<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>1</sup>, ZHANG Ru-liang<sup>2</sup>

(1. Institute of Agroecology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang Province, China;

2. Lanxi Soil and Water Conservation Supervision Station, Lanxi 321100, Zhejiang Province, China)

**Abstract:** From the view of natural resource utilization and protection, a study on the principle of potassium loss under different land use patterns in a red soil watershed was conducted in Zhejiang province of southern China. The results showed that K loss in a catchment with less vegetation cover and non-soil conserving practices was highest, while lowest K loss occurred in catchment with vegetation conservation. K loss in an extensive farming catchment was higher than that of catchment in which comprehensive measurements for conservation were practiced. K loss was concentrated in the plum rainy season (May and June) and the typhoon rainy season (August), accounting for more than 90% of the total K loss. K was lost mainly in a particular form, accounting for more than 94% of the total K loss. The factors impacting on K loss were precipitation, rainfall erosion index, runoff and sediment.

**Keywords:** potassium loss; small watershed; red soil; agricultural and forest use patterns

钾素是植物生长必需的营养元素, 对于植物光合作用的产物——碳水化合物的运移和储存有着重要的作用<sup>[7]</sup>。一些学者对土壤钾素的形态、土壤供钾状况、钾素营养动力学进行了研究<sup>[2, 8]</sup>, 根据土壤钾素的化学形态, 部分学者将土壤钾素分为: 结构态钾、固定态钾、交换态钾和水溶态钾。结构态钾主要存在于长石、白云母和钾微斜长石等硅酸盐类矿物中; 固定态钾(亦称非交换性钾或缓效钾)主要是指靠库仑力固持在次生矿物层间的钾, 如膨胀型 2:1 黏土矿物, 非膨胀型黏土矿物及其它固钾矿物; 交换性钾一般是指土壤胶体表面所吸附的钾。从植物营养角度来看, 存在于长石、白云母和钾微斜长石等矿物中的

结构态钾和固定态钾素对植物来说有效性很小, 只有当这些矿物风化成次生黏土矿物时, 钾素才能被释放出来<sup>[11-13]</sup>。南方地区土壤普遍缺钾, 一方面由于高温多雨等因素, 长石、云母等硅酸盐土壤矿物极易以脱硅富铝化过程进行风化, 形成极黏细的次生黏土矿物, 并释放出大量的钾素, 这些钾素极易随水流失, 另一方面南方红壤地区土壤母质钾素含量普遍较低<sup>[1, 5]</sup>。一些学者研究了南方红壤丘陵的养分流失状况, 主要集中在对湖泊产生富营养化作用的非点源污染物氮磷流失方面, 对红壤地区钾素流失的状况及影响因素研究较少。有学者指出红壤地区土壤矿物元素流失包括钾素是造成土壤钾素含量过低, 植物缺

收稿日期: 2002-05-27

修回日期: 2003-01-19

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(30030030)

作者简介: 袁东海(1964—), 男(汉族), 副教授, 南京大学环境学院博士后, 主要从事水土资源利用与管理、湿地生态学的教学与研究, 发表论文 10 余篇。

钾的重要原因<sup>[3,6]</sup>,防止水土流失过程中钾的流失和施用钾肥是维持土壤钾素水平和满足农作物对钾素的需求的重要手段。基于这种目的,本研究以红壤小流域为研究对象,以不同利用方式试验区为研究单元,研究不同利用方式下土壤钾素的流失特征,为合理利用红壤坡地资源,防治水土流失以及由此引起的土壤钾素流失提供理论依据和实践措施。

## 1 研究区的资源概况

试验区设在浙江省兰溪市水土保持监督站蒋家塘小流域综合开发试验区,该试验区位于浙江省中部偏西,金衢盆地北缘,钱塘江上游,属亚热带季风气候区,年平均降雨量1400~1600 mm,降雨量分布极不均匀,主要集中在4—8月份,年平均温度为17.7℃,大于10℃的年均积温为5600℃,该小流域土壤类型为第四纪红色黏土发育的地带性红壤。地形地貌为低丘岗冲地,相对高程34 m,面积为321100 m<sup>2</sup>,其中坡岗地面积为194900 m<sup>2</sup>,部分坡岗地侵蚀严重,主要利用方式为林业和农林复合利用;河谷沟地面积126200 m<sup>2</sup>,主要利用方式为水稻、玉米、西瓜。该地区人口密度较大,部分丘陵岗地被开发利用,但是由于不合理的利用,加上该地区降雨集中,降雨量大,水土流失问题较为严重。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

根据蒋家塘小流域自然形成的沟道体系及溪流汇集特点,设5个试验区,每个试验区均有各自相对独立的溪流汇集系统,并于1992年进行综合开发利用,其开发利用方式如下。

2.1.1 试验区1 粗放经营利用区,面积为43400 m<sup>2</sup>。坡顶及坡面上部部分裸露,约占总面积的27%,平均坡度41°,层状剥蚀和沟蚀严重,母质裸露。有机质和全氮微量,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)243 mg/kg,全钾6.53(K<sub>2</sub>O)g/kg,速效钾(K)15 mg/kg;部分为稀疏的自然植被和栽种的角竹,面积占总面积的16%,平均坡度为38°,径流季节平均植被覆盖度为16%,有沟蚀现象,土壤质地为砾质黏壤土,有机质平均含量5.02 g/kg,全氮0.36 g/kg,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)305 mg/kg,全钾(K<sub>2</sub>O)9.60 g/kg,速效钾29(K)mg/kg。

坡面中部种有杉木、板栗、枇杷、胡柚,主要为顺坡种植,面积占总面积的31%,径流季节平均植被覆盖度为31%,除杉木以外(占总面积的5%),板栗、枇杷、胡柚地块因株体矮小,行间草灌植被稀少,有明显的层状侵蚀,土壤质地为黏土到黏壤土,有机质含量

平均为9.52 g/kg,全氮1.12 g/kg,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)404 mg/kg,全钾(K<sub>2</sub>O)10.24 g/kg,速效钾(K)42 mg/kg。近3 a来板栗、枇杷、胡柚处于自然生长状态,无施肥农作管理措施。

坡的下部及两侧种植板栗和油菜,为梯田,占总面积26%,土壤为黏壤土和壤黏土,径流季节平均植被覆盖度为42%。其中油菜面积占总面积的12%,梯田工程质量较差,有机质含量11.23 g/kg,全氮1.34 g/kg,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)为569 mg/kg,全钾(K<sub>2</sub>O)为11.32 g/kg,速效钾68(K)mg/kg。油菜为条播方式,播后用土杂肥和氮磷肥覆盖,土杂肥施用量为22500 kg/hm<sup>2</sup>,尿素450 kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙750 kg/hm<sup>2</sup>。板栗占总面积的14%,有机质含量14.76 g/kg,全氮1.54 g/kg,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)535 mg/kg,全钾(K<sub>2</sub>O)12.19 g/kg,速效钾(K)54 mg/kg,板栗种植密度为825株/hm<sup>2</sup>,已成林,于上一年底施土杂肥和磷肥,穴施,每株一穴,每穴土杂肥40 kg,尿素2 kg,过磷酸钙2 kg。

2.1.2 试验区2 保护性经营利用区,面积为66700 m<sup>2</sup>,坡顶及上坡部位自然生长稀疏茅草和矮灌木,面积占总面积25%,兼有部分裸露坡面,面积占总面积的12%,平均坡度36°,层状剥蚀明显,土壤质地为黏土,径流季节平均植被覆盖度为23%,有机质含量5.62 g/kg,全氮0.62 g/kg,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)475 mg/kg,全钾(K<sub>2</sub>O)8.91 g/kg,速效钾(K)35 mg/kg。

坡面中上部位顺坡种植雷竹和少量的胡柚,占总面积的28%,平均坡度为19°,径流季节平均植被覆盖度为74%,其中雷竹的种植面积为11000 m<sup>2</sup>,占总面积的16%,已成林,土壤质地为黏土,有机质含量15.60 g/kg,全氮0.93 g/kg,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)831 mg/kg,全钾(K<sub>2</sub>O)14.50 g/kg,速效钾65(K)mg/kg。雷竹用细土加菜子饼沤制的土杂肥及磷肥覆盖,土杂肥45000 kg/hm<sup>2</sup>,其中饼肥2250 kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙1500 kg/hm<sup>2</sup>。

中下部为梯田,面积占总面积47%,有机质含量为10.10 g/kg,全氮1.19 g/kg,全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)513 mg/kg,全钾(K<sub>2</sub>O)12.90 g/kg,速效钾(K)63 mg/kg,部分为胡柚梯田,面积占总面积22%,梯田宽度5 m,部分梯田经济林(胡柚、特早橘)与农作物(冬瓜、大豆)间作,面积占总面积25%,宽度4 m,土壤质地为黏土到壤黏土,径流季节平均植被覆盖度为61%。胡柚密度为750株/hm<sup>2</sup>,于上一年底施土杂肥和磷肥,穴施,每株一穴,每穴施土杂肥50 kg,尿素2 kg,过磷酸钙3 kg。经济林和农作物间作的坡面农作物为大豆和冬瓜,大豆为条播,冬瓜为穴播,均用土杂肥配合磷肥覆盖,土杂肥试用量为45000 kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙

900 kg/hm<sup>2</sup>, 冬瓜加施尿素氮肥, 试用量为 750 kg/hm<sup>2</sup>。试验区水平梯田试验期内未被径流冲毁。

2.1.3 试验区 3 恢复保护性植被区, 面积为 19 000 m<sup>2</sup>, 该区为恢复植被保护区, 坡顶及近顶部部位有部分的裸露地, 其面积占总面积的 17% 左右, 平均坡度 29°, 层状剥蚀严重, 土壤质地为黏土。1997 年曾于部分裸露地区栽有马尾松幼林, 生长状况较差, 径流季节平均植被覆盖度为 16%; 其它部分为保护性植被, 生长状况良好, 植被主要为草灌层, 间有稀疏的马尾松, 未见明显层状侵蚀和沟蚀, 平均坡度 16°, 径流季节平均植被覆盖度为 63%, 部分坡面含有从坡顶冲刷下来的石砾, 土壤质地为砾质黏壤土到黏壤土, 有机质含量 12.13 g/kg, 全氮 0.76 g/kg, 全磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 543 mg/kg, 全钾 (K<sub>2</sub>O) 为 10.68 g/kg, 速效钾 49 (K) mg/kg。

2.1.4 试验区 4 保护性经营利用区, 其面积为 57 400 m<sup>2</sup>, 原种植白桃和桃形李。1999 年大部修建为梯田, 坡顶仍有少量裸露地面, 占总面积 5%, 土壤质地为重黏土。近坡顶部部位留有稀疏的桃形李, 顺坡种植, 面积占总面积 9%, 无农作管理和施肥措施, 土壤质地亦为重黏土, 径流季节平均植被覆盖度为 28%, 有机质含量 6.08 g/kg, 全氮 0.59 g/kg, 全磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 434 mg/kg, 全钾 (K<sub>2</sub>O) 7.98 g/kg, 速效钾 (K) 29 mg/kg, 平均坡度 21°。2000 年于修建的梯田种植西瓜、冬瓜及少量花生, 土壤质地为黏壤土到黏土, 有机质含量 8.92 g/kg, 全氮 0.72 g/kg, 全磷 497 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) mg/kg, 全钾 (K<sub>2</sub>O) 9.68 g/kg, 速效钾 (K) 78 mg/kg,

径流季节平均植被覆盖度为 61%。冬瓜和西瓜的施肥量为土杂粪 45 000 kg/hm<sup>2</sup>, 尿素 750 kg/hm<sup>2</sup>, 过磷酸钙 900 kg/hm<sup>2</sup>, 穴施。

2.1.5 试验区 5 面积为 8 400 m<sup>2</sup>, 开发前该试验区所在区域均为裸露地面, 大部坡面为切沟侵蚀地貌。原设为对照区, 用于测定这种情况下的土壤侵蚀量, 定量评价完全裸露条件下红壤坡地的侵蚀程度和保护性开发利用红壤小流域坡地的水土保持效果, 后因该试验区侵蚀极为严重, 沟渠泥沙淤积较多, 影响整个小流域的水渠沟道功能, 故于次年 (1993 年) 在坡麓种有杉木防护带, 宽度为 15 m, 面积约占总面积的 20% 左右, 留有集水沟道, 目前已经成林, 径流季节平均植被覆盖度为 81%, 有机质含量 18.85 g/kg, 全氮 1.19 g/kg, 全磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 583 mg/kg, 全钾 (K<sub>2</sub>O) 14.20 g/kg, 速效钾 (K) 52 mg/kg。野外观测除泥沙沿沟道迁移到沉沙池以外, 在林带上部有大量的泥沙沉积物; 其余坡面大部分为裸露土层, 多见浅沟侵蚀和切沟侵蚀。整个土壤坡面质地为重黏土。

## 2.2 测定方法

用 ST 型自记虹吸式雨量计自行测定并辅以 SMI 型人工雨量计进行人工测定。根据自记雨量计记录的结果求出 30 min 最大雨强 ( $I_{30}$ ), 由 Wischmeier 降雨侵蚀力的求算公式计算出降雨侵蚀力<sup>[14]</sup>。试验区所在地 2000 年降雨量 ( $P$ ) 和降雨侵蚀力 ( $R$ ) 状况详见表 1。上述试验区出水口处建有沉沙池和观测室, 沉沙池出口安装薄壁三角堰, 观测室内装有 SW40 型日自记水位计。

表 1 试验区所在地 2000 年降雨量和降雨侵蚀力季节分配

测定时间	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨量/mm	112.4	128.3	133.9	127.3	151.4	349.9	58.6	201.4	7.8	168.0	122.1	31.6
降雨侵蚀力 $R$ / ( $m^3 \cdot cm \cdot hm^{-2} \cdot h^{-1}$ )	259.0	684.8	670.9	1 824.0	6 917.0	19 799.0	1 714.0	14 704.0	0.0	2 988.0	568.0	0.0

(1) 径流量测定。用 SW40 型日自记水位计观测, 根据日自记水位计记录, 水池面积, 三角堰出口高度, 以一次降雨过程为单位, 测定逐次降雨的径流量和径流历时。

(2) 悬移质测定。在沉沙池出口处 (或沉沙池中) 取 1 000 ml 径流液, 置于试剂瓶中, 加盖, 静置一周, 倒去上部清液, 洗出悬移质, 烘干称重, 计算悬移质浓度, 然后据径流量测定结果计算悬移质流失量。与此同时取出 500 ml 径流液置于塑料瓶中, 加 2 ml 浓硫酸带回实验室用于分析。

(3) 推移质测定。于径流结束后, 放完径流液, 取出推移质, 风干, 称重, 测其含水量, 计算推移质流失量 (详见表 2)。

表 2 不同利用方式试验区径流量和泥沙流失量

试验区	试区 1	试区 2	试区 3	试区 4	试区 5
径流量/mm	139.1	109.5	83.8	98.1	193.5
泥沙流失量/( $t \cdot km^{-2}$ )	412.3	271.1	94.0	154.0	607.0
推移质/( $t \cdot km^{-2}$ )	296.5	190.9	65.7	105.0	433.0
悬移质/( $t \cdot km^{-2}$ )	115.8	80.2	28.3	49.0	174.0

(4) 土壤含水量用烘干法<sup>[10]</sup>; 植被覆盖度用垂直投影法<sup>[9]</sup>; 推移质全钾用 NaOH 熔融火焰分光比色法<sup>[10]</sup>; 推移质缓效钾用 1 mol/L HNO<sub>3</sub> 浸提火焰分光比色法<sup>[10]</sup>; 速效钾用 1 mol/L NH<sub>4</sub>Ac 浸提火焰分光比色法<sup>[10]</sup>; 径流全钾的测定用浓硝酸消解后, 火焰分光比色法<sup>[4]</sup>; 径流中水溶性钾的测定用径流液用 0.45 μm 滤膜过滤后, 水溶性钾用火焰分光比色法<sup>[4]</sup>。

上述研究内容研究时间为 2000 年 1—12 月。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同利用方式红壤小流域土壤钾素流失量差异

从表 3 可以看出, 不同利用方式试验区土壤钾素的坡面流失途径为推移质流失和径流流失, 推移质流失的钾素占土壤全钾流失的比例如下。试验区 1 为 64.37%, 试验区 2 为 61.73%, 试验区 3 为 60.77%, 试验区 4 为 57.07%, 试验区 5 为 62.26%。由此可见红壤小流域土壤钾素的坡面流失主要为推移质流失。在径流流失的钾素中, 水溶性钾素占全钾流失量的比例如下。试验区 1 为 2.12%, 试验区 2 为 4.23%, 试验区 3 为 3.64%, 试验区 4 为 5.06%, 试验区 5 为 1.12%。

表 3 不同利用方式红壤小流域土壤钾素年流失量

流失量	试区 1	试区 2	试区 3	试区 4	试区 5
水溶性钾	101.9	143.9	48.3	118.8	70.2
全钾	4 803.9	3 403.6	1 326.2	2 346.9	6 242.0
径流全钾	1 711.6	1 302.6	520.2	1 007.2	2 355.7
推移质全钾	3 092.3	2 101.0	806.0	1 339.2	3 886.3

注: 土壤钾素年流失量单位为 kg/km<sup>2</sup>。

由此可见红壤小流域不同利用方式土壤钾素流失的形态基本上为泥砂结合态钾。不同利用方式的试验区钾素流失量有明显的差异, 全钾流失量大小顺序为试验区 5 > 试验区 1 > 试验区 2 > 试验区 4 > 试验区 3, 全钾流失量中的推移质钾素流失和径流钾素流失也有同样的趋势, 但水溶性钾素流失的顺序为试验区 2 > 试验区 4 > 试验区 1 > 试验区 5 > 试验区 3, 这是因为红壤小流域中土壤全钾的含量主要取决于母质矿物中钾素的含量, 而水溶性钾素的含量则和表土层土壤速效钾的含量有关, 试验区 5 由于泥沙流失量较大, 因而其全钾流失量最大, 但试验区 5 由于植被覆盖度较小, 坡面裸露较多, 侵蚀严重, 土层中速效钾的含量较低, 因而出现其径流中水溶性钾数量小于试验区 2、试验区 4 和试验区 1 径流中水溶性钾的现象; 试验区 3 由于采取封山育林, 恢复植被的保护性

措施, 径流量和泥砂流失量最小, 因而其全钾和水溶性钾流失量最小。试验区 2 和试验区 4 由于采取了水土保持的综合性农林措施, 水土流失量减小, 因而其全钾流失量包括推移质全钾流失量和径流全钾流失量小于粗放经营的试验区 1 的全钾流失量, 但试验区 2 和试验区 4 的水溶性钾的流失量大于试验区 1, 其原因是由于受侵蚀程度的影响, 试验区 2 和试验区 4 表土层速效钾高于试验区 1 表土层速效钾以及试验区 2 和试验区 4 施肥较多的缘故。

#### 3.2 不同利用方式试验区土壤钾素流失量时间差异

从图 1 和图 2 可以看出 2000 年不同利用方式试验区以推移质形式流失土壤钾素和以径流形式流失的土壤钾素流失时间为 4 月份至 10 月份, 主要集中在 5 月份、6 月份及 8 月份, 这两段时期的推移质钾素流失量、径流钾素流失量占全年流失量的比例均达到 90% 以上, 这与当地的降雨特征有关, 5 月份和 6 月份为当地的梅雨季节, 8 月份为台风雨季节, 降雨量多, 降雨强度大, 水土流失主要发生在这 2 个降雨季节, 因而随径流和泥沙流失的土壤钾素的流失也主要发生在这 2 个季节。

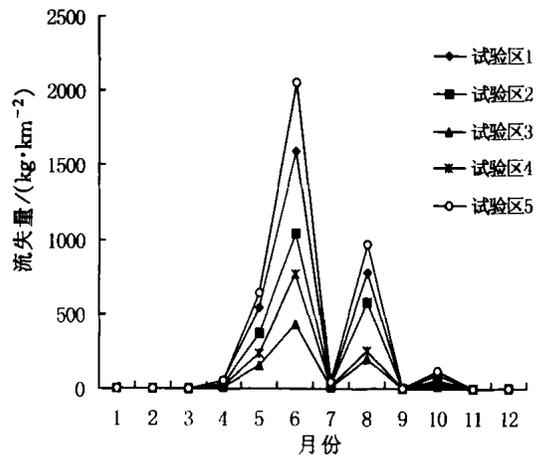


图 1 不同试验区推移质全钾流失量时间变异

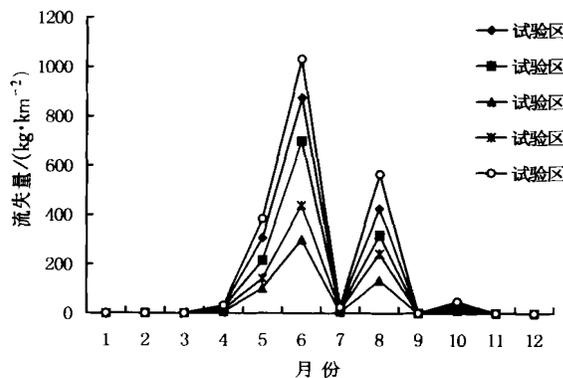


图 2 不同试验区径流全钾流失量时间变异

### 3.3 不同试验区钾素流失量影响因素的分析

不同试验区土壤钾素流失量及其影响因素的简单相关分析表明(表 4), 影响土壤钾素流失的主要因素是降雨量、降雨侵蚀力、径流量和泥沙流失量, 从相关系数大小来看径流量、泥沙流失量与钾素流失量的关系比降雨量、降雨侵蚀力与钾素流失量的关系更为密切, 这是因为尽管降雨量和降雨侵蚀力是土壤钾素流失的最初动力, 但是土壤钾素最终是通过径流和泥沙流失的, 特别是泥沙流失量, 因为流失的土壤钾素 94% 以上为泥沙结合态, 土壤钾素的流失基本上取决于泥沙流失量; 至于 30 min 最大降雨强度, 只有和降雨量结合起来形成降雨侵蚀力的指标, 才能体现出它的作用, 因为对土壤钾素流失起最终决定作用的因素是径流和泥沙流失量, 而径流和泥沙流失量又取决于降雨量的大小, 只有降雨量达到一定程度, 且超过土壤入渗量, 才能产生径流和泥沙流失。不同试验区之间土壤钾素流失总量与其年平均植被覆盖度的简单回归分析表明, 两者呈显著的负相关关系 ( $r = -0.96^{**}$ ,  $n = 5$ ), 表明植被覆盖度越大, 钾素流失量越小, 从测定的结果来看, 试验区 5 植被覆盖度最小, 钾素流失量最大, 试验区 3 植被覆盖度最大, 钾素流失量最小。

表 4 不同试验区钾素流失量与其影响因素相关分析 ( $n = 12$ )

相关系数	试区 1	试区 2	试验 3	试区 4	试区 5
降雨量/mm	0.892 <sup>**</sup>	0.887 <sup>**</sup>	0.896 <sup>**</sup>	0.910 <sup>**</sup>	0.869 <sup>**</sup>
最大 30 min 雨强	0.249	0.258	0.244	0.183	0.313
降雨侵蚀力	0.814 <sup>**</sup>	0.815 <sup>**</sup>	0.801 <sup>**</sup>	0.765 <sup>**</sup>	0.834 <sup>**</sup>
径流量/mm	0.988 <sup>**</sup>	0.979 <sup>**</sup>	0.971 <sup>**</sup>	0.989 <sup>**</sup>	0.988 <sup>**</sup>
泥沙流失量	0.997 <sup>**</sup>	0.998 <sup>**</sup>	0.997 <sup>**</sup>	0.994 <sup>**</sup>	0.994 <sup>**</sup>

注: 最大 30 min 雨强、降雨侵蚀力及泥沙流失量单位分别为 mm/h,  $m^3 t^{-1} cm / (hm^2 \cdot h)$ ,  $kg / km^2$ 。

## 4 结 语

本研究表明, 红壤地区钾素流失是导致土壤钾素缺乏的另一重要原因, 尽管土壤钾素主要以泥沙结合态形式流失, 但是在侵蚀初期这些泥沙结合态钾素往往来自土壤表土层细小土壤颗粒, 而这些细小的土壤颗粒往往因施肥和植物富积等因素含有较多钾素, 随着侵蚀程度的加剧, 表土层土壤流失殆尽, 心土层和母质层因红壤母质原因, 土壤钾素含量特别是速效钾含量较低, 土壤肥力低下。水溶性钾素尽管其流失量较小, 但是这些钾素是植物可以直接利用的营养元素, 来自于表土层土壤和施肥, 水溶性钾素的流失往往会导致表土层土壤钾素, 特别是缓效钾和速效钾素含量下降, 影响植物的生长。植被能减少水土流失

量, 也能显著减少土壤钾素的流失量。土壤钾素的流失量还受施肥因素和施肥方式的影响, 表面撒施钾素含量较高的农家土杂肥和灰肥以及焚烧植物秸秆, 其钾素容易流失, 穴施可减少钾素的流失。因此控制钾素流失是防止土壤肥力下降的重要措施, 而控制土壤钾素流失的关键措施就是控制水土流失。从保护资源角度看, 封山育林、恢复植被是防治钾素流失的有效措施, 从合理利用资源角度看, 具有水保作用的农林综合措施防治土壤钾素流失效果较好。土壤钾素流失的时间主要集中在当地的梅雨季节和台风季节, 钾素的流失形态主要为泥沙结合态, 防止水土流失是防止土壤钾素流失的关键。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 黄昌勇, 蒋积怡. 浙江省丘陵旱地土壤供钾能力的研究 [ J ]. 土壤学报, 1987, 26(1): 57—63.
- [ 2 ] 金继运. 土壤钾素研究进展 [ J ]. 土壤学报, 1993, 30(1): 94—101.
- [ 3 ] 李飞, 王美芳, 等. 红壤丘陵生态系统矿质元素的运动与转移 [ J ]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 66—71.
- [ 4 ] 鲁光四, 周怀东, 李怡庭. 水质分析方法 [ M ]. 北京: 学术期刊出版社, 1989. 224—225.
- [ 5 ] 鲁如坤. 我国土壤氮磷钾的基本状况 [ J ]. 土壤学报, 1989, 26(3): 280—286.
- [ 6 ] 吕喜奎, 史德明. 第四纪红黏土侵蚀劣地土壤养分随径流和泥沙的迁移规律 [ J ]. 中国水土保持, 1994(5): 12—15.
- [ 7 ] 潘瑞焯, 童愚得. 植物生理学 [ M ]. 北京: 高等教育出版社, 1984. 33—35.
- [ 8 ] 杨振明, 阎飞, 韩丽梅. 土壤钾素研究新进展 [ J ]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(3): 99—106.
- [ 9 ] 云南大学生物系主编. 植物生态学 [ M ]. 北京: 人民教育出版社, 1980. 189—191.
- [ 10 ] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析 [ M ]. 上海: 上海科技出版社, 1980.
- [ 11 ] Martin H W, Sparks D L. On the behavior of non-exchangeable potassium in soils [ J ]. Communications in soil science and plant analysis, 1985, 16(2): 133—162.
- [ 12 ] Schroeder D. Relationship between soil potassium and the K nutrition of the plant [ J ]. Proceedings of the Congress of the international potassium institute, 1974, 10: 53—63.
- [ 13 ] Sparks D L. Potassium dynamics in soil [ J ]. Advances in soil science, 1987(6): 1—63.
- [ 14 ] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning [ Z ]. Agricultural handbook, No. 537, United States, Dept. of Agriculture, 1978. 12—72.