

紫色土集流桶(池)搅拌取样测量含沙量误差试验

唐菊¹ 黄钰涵^{2,1} 陈晓燕^{1*} 张满良³ 张守孝³

(1. 西南大学 资源环境学院/西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400716;

2. 中国农业大学 水利与土木工程学院,北京 100083;

3. 黄河水利委员会 天水水土保持科学试验站,甘肃 天水 741000)

摘要 为实现径流小区泥沙监测中集流桶(池)中含沙量的测量的准确计算,采用室内模拟试验,研究搅拌取样测量紫色土含沙量的误差及影响因素。含沙量水平均匀设计为:1、2、5、8、10、20、50、80、100、200、500、800和1 000 kg/m³共13个水平。泥沙水样总体积分别为50和100 L,按照设计的含沙量水平制备泥沙水样,进行搅拌取样试验,将测量含沙量与设计含沙量进行对比,分析测量误差。试验结果表明,紫色土用搅拌取样法测得含沙量均小于实际值。当设计含沙量为1~200 kg/m³时,测量含沙量的相对误差在-30%~-50%;当设计含沙量为500、800和1 000 kg/m³时,测量含沙量的相对误差下降到-20%以下,但此时绝对误差最高达-110 kg/m³。泥沙含量和水体体积对含沙量测量结果均有影响。可以通过类似试验方法,建立不同工况下传统取样方法测量的含沙量与实际含沙量的关系,用于校正传统测量方法得到的含沙量。

关键词 径流小区;含沙量;测量;搅拌取样;误差分析

中图分类号 S157.1

文章编号 1007-4333(2017)09-0116-07

文献标志码 A

Experimental study on sediment measurement errors from sampling-mixing procedures of purple soil

TANG Ju¹, HUANG Yuhan^{2,1}, CHEN Xiaoyan^{1*}, ZHANG Manliang³, ZHANG Shouxiao³

(1. College of Resources and Environment/Key laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region of Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. College of Water Resource and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. Tianshui Soil and Water Conservation Experiment Station, the Yellow River Water Conservancy Committee, Ministry of Water Resources, Tianshui 741000, China)

Abstract Runoff plot is a commonly used method for soil and water conservation monitoring. Sampling after mixing from runoff collection bucket (tank) for sediment concentration measurement is a traditional procedure. In this method, un-evenly sediment distribution in the procedure and quick deposition process of sediment particles may result in inaccurate measured sediment concentration. Laboratory experiments were conducted to investigate the error of sediment measurement and influential factors through mixing-sampling procedure. The experiments involved two sediment-laden water volumes of 50 and 100 L, using 13 sediment concentration levels of 1, 2, 5, 8, 10, 20, 50, 80, 100, 200, 500, 800 and 1 000 kg/m³. The sediment-laden water samples were prepared according to the designed sediment concentration. The measured and designed value of the sediment measurement error produced by mixing-sampling procedure was compared from. The experimental results indicated that sediment content measured was less than true value. The distributed value of relative error was mainly ranged from -30% to -50% for sediment concentration of 1-200 kg/m³. The relative error was reduced to below -20% for sediment concentration of 500, 800 and 1 000 kg/m³, but the difference of sediment concentration reached 110 kg/m³. And the research revealed that sediment concentration

收稿日期:2016-09-19

基金项目:国家自然科学基金(41571265)

第一作者:唐菊,硕士研究生,E-mail:ciny237@163.com

通讯作者:陈晓燕,副教授,主要从事土壤侵蚀及流域治理研究,E-mail:c400716@26.com

and volume impact on the results of relative sediment measurement. Through similar experimental methods, the research established the relationship between sediment concentration measurement obtained by traditional sampling methods and the actual sediment concentration under different conditions to correct the sediment concentration obtained by traditional measuring method.

Keywords runoff plots, sediment concentration, measurement, mixing-sampling procedure, error analysis

水土保持监测是运用多种技术对水土流失成因、强度、影响范围、危害及其防治成效进行的动态监测与评价^[1]。其中径流小区法是水土保持监测中一种应用广泛的方法^[2]。径流小区是对坡地和小流域水土流失规律进行定量研究的一种测验设施,可用于降雨后径流量、泥沙量和产流产沙过程的监测^[3],土壤侵蚀模数的确定^[4],USLE、RUSLE、WEPP和SWAT等参数化模型的参数确定^[5-7],水土保持措施有效性的检验^[8-9],为野外试验研究提供水文数据等^[10-12]。

径流小区为在坡地上采用工程措施分割出来的矩形块地,一般由围埂、汇流槽、小区保护带、导流管、分水箱、集流桶(池)和排水系统等组成^[1]。汇流槽为集流设施,用于汇集径流和泥沙,位于小区下沿,中部做成导流管与集流桶(池)或分水箱相连。由于用途不同,径流小区大小、形状不一。如标准小区水平投影长20 m,宽5 m,坡度5°或15°,标准径流小区为模拟传统耕作农地耕作与管理,无植被覆盖,用于土壤可蚀性因子计算的基准数据^[3]。径流小区的径流泥沙监测设施应按50年一遇暴雨标准设计^[13]。对微型小区而言,用集流桶(池)即可收集全部径流。而对于面积较大的小区,需采用一级或多级分水箱对径流进行分流,测量并根据分流级数及各级分流孔数计算总径流量和土壤侵蚀量。分水箱、次级分水箱和集流桶(池)之间用导流管相连,集流桶(池)中含沙量测定始终是监测的重要内容。因此,集流桶(池)中含沙量的测量是能否准确获取土壤侵蚀量的关键。

在径流小区泥沙监测中,搅拌取样测量法是含沙量测量的传统方法,长期以来广泛用于全国的径流小区。搅拌取样测量法指将集流桶(池)内的含沙水体搅匀,边搅动边从桶内取出一定体积的浑水样品,用烘干法测量含沙量^[1]。虽然有符素华等^[14]提出分层取样和叶芝菡等^[15]提出全剖面采样器取样等改进的样品采集方法,但并未在全国范围内得到推广应用,搅拌取样仍是泥沙监测中最主要的样品采集方法。此前的研究^[14,16]已表明由于搅拌不均

匀和泥沙沉降迅速,搅拌取样测得的含沙量偏低,尤其当沉降速度快的粗颗粒含量高时将严重低估含沙量。符素华等^[14]在密云石匣示范区坡面径流小区测得搅拌取样的平均相对误差为-83.05%,北京密云区属石质山区,试验土壤砾石和砂粒含量占92.55%。许跃华等^[16]在盐边红格坡面径流场中将搅拌取样法测得的含沙量与沉淀取样法的测量结果进行对比平均相对误差为-69.05%,研究区位于四川省攀枝花市盐边县,试验土壤砾石含量较高。

紫色土作为一种重要的农业土壤,主要分布在我国的亚热带地区,以四川盆地分布最广,占四川省耕地面积的68%^[17]。紫色土风化与侵蚀交替进行,风化一层,侵蚀一层,水土流失严重^[17],紫色土坡耕地是三峡库区发生土壤侵蚀的主要地类^[18],四川盆地地区已建立多个水蚀监测点进行土壤流失量和径流量的监测^[19]。紫色土是发育在紫色砂页岩上的一种岩性土,土壤质地受母岩岩性影响严重,从砂土到粘土质地不一,但以壤质土居多^[20]。搅拌取样测量法精度受土壤性质影响较大^[5],而采用搅拌取样法测量集流桶(池)泥沙含量在紫色土上的应用效果不明确。

本研究采用室内模拟试验对搅拌取样测量法进行检验,进行如下几项研究:1)按照设计的含沙量水平,分为50和100 L的总体积,制备不同含沙量的泥沙水样;2)模拟径流小区集流桶(池)搅拌取样过程,由从事径流小区测量的专业人员进行操作;3)采用烘干称重法测量含沙量,并与设计含沙量进行对比,计算得到不同含沙量条件下的误差;4)分析误差来源及影响因素,以期明确搅拌取样测量紫色土含沙量的误差及影响因素。

1 试验与方法

1.1 材料

试验在中国科学院水土保持研究所进行,试验土壤为沙溪庙组紫色土,采自西南大学水土保持实验基地。试验前将供试土壤中大块草根、石块筛除,进行破碎处理,风干后过2 mm筛,并从中随机取出

约 2 kg,进行机械组成分析,详见表 1。结果表明该土壤为粉砂壤土,并测得风干土含水率为 1.88%。

表 1 试验土壤的机械组成

Table 1 Composition of tested soil %

砂粒 Sand (2~0.05 mm)	粉粒 Silt (0.05~0.002 mm)	粘粒 Clay (<0.002 mm)
21.68	51.42	26.90

1.2 设计

根据土壤侵蚀径流含沙量的所有可能范围,将含沙量水平均匀设计为:1、2、5、8、10、20、50、80、

100、200、500、800 和 1 000 kg/m³ 等 13 个浓度。每个浓度均对应 2 个泥沙水样总体积:50 和 100 L,共 26 个组合。用圆形塑料桶模拟集流桶,上口直径 59 cm,下口直径 45 cm,高 73 cm,容积为 150 L。

将 13 个含沙量按含沙量高低分为 2 组进行试验。低含沙量组包含:1、2、5、8、10 和 20 kg/m³;高含沙量组包含:50、80、100、200、500、800 和 1 000 kg/m³。按照设计的含沙量和总体积,计算每份泥沙水样需加入的泥沙和清水质量,如表 2 所示。计算时紫色土的颗粒密度取 2.65 g/cm³,水的密度取 1 g/cm³,测得风干土含水率为 1.88%。

表 2 试验设计水、沙的体积与质量

Table 2 Designed volume and mass of the mixture of soil and water

V_t/L	$C_0/(kg/m^3)$	V_s/L	V_w/L	S/kg	W/kg	V_t/L	$C_0/(kg/m^3)$	V_s/L	V_w/L	S/kg	W/kg
50	1	0.02	49.98	0.05	49.98	100	1	0.04	99.96	0.1	99.96
50	2	0.04	49.96	0.1	49.96	100	2	0.08	99.92	0.2	99.92
50	5	0.09	49.91	0.25	49.91	100	5	0.19	99.81	0.51	99.81
50	8	0.15	49.85	0.41	49.85	100	8	0.3	99.7	0.82	99.7
50	10	0.19	49.81	0.51	49.81	100	10	0.38	99.62	1.02	99.62
50	20	0.38	49.62	1.02	49.62	100	20	0.75	99.25	2.04	99.25
50	50	0.94	49.06	2.55	49.06	100	50	1.89	98.11	5.1	98.11
50	80	1.51	48.49	4.08	48.49	100	80	3.02	96.98	8.15	96.98
50	100	1.89	48.11	5.1	48.11	100	100	3.77	96.23	10.19	96.23
50	200	3.77	46.23	10.19	46.23	100	200	7.55	92.45	20.38	92.45
50	500	9.43	40.57	25.48	40.57	100	500	18.87	81.13	50.96	81.13
50	800	15.09	34.91	40.77	34.91	100	800	30.19	69.81	81.53	69.81
50	1 000	18.87	31.13	50.96	31.13	100	1 000	37.74	62.26	101.92	62.26

注:表中 V_t 为总体积,L; C_0 为设计含沙量,kg/m³; V_s 为泥沙体积,L; V_w 为水的体积,L;S 为设计加入泥沙量,kg;W 为加入清水质量,kg。

Note:In the table V_t is the total volume,L; C_0 is the designed sediment concentration,kg/m³; V_s is the volume of sediment,L; V_w is the volume of water,L;S is the designed mass of added sediment,kg;W is the mass of added water,kg.

1.3 高含沙量组样品制备

高含沙量组按 50 和 100 L 总体积,分别用 7 个塑料桶,制备 7 个高含沙量水样。根据表 2,按照每份泥沙水样的加入清水质量,先在桶内加入清水,再称量相应质量的泥沙,用 2 mm 筛孔的筛子在水中将泥沙筛入桶中,模拟径流产生泥沙的过程。按照设计含沙量制备的高含沙量组泥沙水样制好后,静置 24 h,再进行搅拌取样,这一过程是为了模拟径流小区收集到径流泥沙后次日取样测量泥沙的过程。

1.4 低含沙量组样品制备

低含沙量组各浓度的泥沙水样制备和搅拌取样

在一个桶内渐次进行。即每次搅拌取样后不倒掉上一次的泥沙水样,配制下一浓度的泥沙水样时,直接加入两相邻浓度的泥沙量增量,再加水至设计泥沙水样的固定体积。这样可以简化低含沙量组的试验过程,并且因含沙量低时泥沙沉积少,不影响模拟径流泥沙的沉积过程。具体方法如下。用 2 个塑料桶分别进行 50 和 100 L 的搅拌取样过程,在 2 个桶中分别称量 50 和 100 kg 水作为基准温度下 50 和 100 L 的总体积,在水位到达位置用记号笔做好标记。进行设计含沙量为 1、2、5、8、10 和 20 kg/m³ 的试验时,由含沙量 1 kg/m³ 开始,按照浓度梯度依次进行,试验过程中渐次增加泥沙以达到设计的含沙

量,并且每个含沙量水平完成搅拌取样后加水至标记位置,即保持总体积不变,渐次增加泥沙制备的泥

沙水样的含沙量即为设计含沙量。每次试验加入的泥沙量增量如表 3 所示。

表 3 低含沙量组的加沙量表

Table 3 Mass of the added sediment in low sediment concentration group

V_t/L	$C_0/(kg/m^3)$	S_0/g	$\Delta S/g$	S'/g	V_t/L	$C_0/(kg/m^3)$	S_0/g	$\Delta S/g$	S'/g
50	1	50.96	50.96	50.96	100	1	101.92	101.92	101.92
50	2	101.92	50.96	101.92	100	2	203.83	101.91	203.83
50	5	254.79	152.87	254.79	100	5	509.58	305.75	509.58
50	8	407.66	152.87	407.66	100	8	815.33	305.75	815.33
50	10	509.58	101.92	509.58	100	10	1 019.16	203.83	1 019.16
50	20	1 019.16	509.58	1 019.16	100	20	2 038.32	1 019.16	2 038.32

注:表中 V_t 为总体积,L; C_0 为设计含沙量, kg/m^3 ;S 为设计加入泥沙量,g; ΔS 为泥沙量增量,g; S' 为累计加入泥沙量,g,累计加入含沙量与设计加入泥沙量一致。

Note:in the table V_t is the total volume,L; C_0 is the designed sediment concentration, kg/m^3 ;S is the designed mass of added sediment,g; ΔS is the increased mass of added sediment,g; S' is the accumulated mass of added sediment,g,and the accumulated mass of added sediment is consistent with the designed sediment concentration.

1.5 取样及测量计算

搅拌取样由黄委会天水水土保持科学试验站从事径流小区测量的专业人员进行,按照职业程序进行搅拌后,用 500 mL 小钢杯连续取样 2 次,称量样品的初始质量。再重复以上操作,一个含沙量水平重复搅拌取样 3 次,共 6 个样品。

进行搅拌取样后,泥沙样品静置 24 h 后,待样杯内泥沙沉淀后倒掉上层清水。再把样杯放入烘箱,在 105 °C 下烘干,取出样品,冷却后称重。

最后按照记录的水沙质量和烘干得到的泥沙质量计算测量含沙量。计算方法如下:

$$C = \frac{M_s}{V}$$

$$M_s = M_{sc} - M_c$$

$$V = [(M_{sc} - M_{sc})/1 + (M_{sc} - M_c)/2.65] \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: C 测量含沙量, kg/m^3 ; M_s 泥沙质量,g; V 样品体积,L; M_{sc} 第一次称量的水沙和空杯质量,g; M_{sc} 第二次称量的泥沙和空杯质量,g; M_c 空杯质量,g;紫色土的颗粒密度 2.65 g/cm^3 ,水的密度 1 g/cm^3 。

再计算相对误差和绝对误差,并根据一次搅拌取样试验取得的 6 个样品的相对误差,计算相对标准偏差。

$$\delta = \frac{C - C_0}{C_0} \times 100\%$$

$$\mu = C - C_0$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

式中: δ 相对误差,%; μ 绝对误差, kg/m^3 ;S 相对标准偏差,%; n 样本数量, $n=6$ 。

2 结果与分析

2.1 测量结果分析

用试验得到的数据,采用 1.4 中给出的计算方法,计算得到了不同设计含沙量水平和总体积下,测量含沙量与设计含沙量间的相对误差、绝对误差和相对标准偏差,结果列入表 4。

表 4 结果表明,搅拌取样测量法得到的含沙量与设计含沙量对比相对误差为负,搅拌取样测得的含沙量全部小于实际含沙量。采用 50 L 体积的泥沙水样测得紫色土含沙量的平均相对误差为 -28.11%,平均相对标准偏差为 9.61%;采用 100 L 体积的泥沙水样测得紫色土含沙量的平均相对误差为 -34.37%,平均相对标准偏差为 8.12%。

搅拌取样测量紫色土含沙量的测量结果偏低,均小于实际含沙量。这是由于搅拌取样为表层取样,

表4 搅拌取样含沙量测量结果

Table 4 Measurement result of sediment concentration

设计 含沙量/ (kg/m ³)	50 L				100 L			
	测量值/ (kg/m ³)	相对误差/ %	绝对误差/ (kg/m ³)	相对标准 偏差/%	测量值/ (kg/m ³)	相对误差/ %	绝对误差/ (kg/m ³)	相对标准 偏差/%
1	0.73	-26.67	-0.27	12.52	0.79	-21.50	-0.22	23.05
2	1.30	-35.25	-0.71	7.99	1.18	-40.92	-0.82	11.42
5	2.96	-40.90	-2.05	16.98	2.41	-51.80	-2.59	16.11
8	5.31	-33.67	-2.69	24.99	3.79	-52.65	-4.21	9.83
10	6.26	-37.45	-3.75	19.67	4.14	-58.63	-5.86	8.71
20	12.66	-36.72	-7.34	11.82	8.25	-58.73	-11.75	7.34
50	31.35	-37.30	-18.65	6.85	31.09	-37.83	-18.91	4.77
80	52.95	-33.81	-27.05	7.76	55.27	-30.91	-24.73	3.84
100	68.74	-31.26	-31.26	7.88	73.69	-26.31	-26.31	2.84
200	145.47	-27.27	-54.53	3.27	131.66	-34.17	-68.34	11.40
500	428.11	-14.38	-71.89	2.74	391.45	-21.71	-108.55	3.31
800	736.59	-7.93	-63.41	1.30	753.87	-5.77	-46.13	2.24
1 000	971.34	-2.87	-28.66	1.10	941.02	-5.90	-58.98	0.65

注:测量值、相对误差和绝对误差为一个含沙量水平2次搅拌取样3次重复取得的6个样品的平均值。

Note: The measured value, the relative error and the absolute error is the average of 6 samples of one sediment concentration level through 2 times of sampling after mixing and 3 repeats.

集流桶内泥沙搅拌不均匀,样品中粗颗粒较少。桶底粗颗粒泥沙由于被搅起来所需动能大而不宜到集流桶上层,即使被搅起来,由于粗颗粒有着较大的沉降速度,也会在极短时间内回落到桶底,致使取得样品中粗颗粒较少,下层泥沙含量高于上层。根据司笃克斯定律计算可得,水温20℃时,0.2 mm的细砂在水中沉降20 cm需要5.6 s,0.5 mm的粗砂在水中沉降20 cm仅需0.9 s。在搅拌取样试验中,取样深度15~20 cm,搅拌后粗颗粒会快速沉到下层,因此搅拌取样取得的样品中粗颗粒较少,使测得的含沙量偏低。但此次用搅拌取样法测得的含沙量与符素华等^[4]和许跃华等^[6]测得的含沙量结果相比,偏低的程度没有其测量结果严重,原因是因为其试验土壤中>2 mm的砾石含量较高,而此次试验土壤为粉砂壤土的紫色土,粒径集中于0.002~0.05 mm。

2.2 浓度对含沙量测量结果的影响

测量含沙量的相对误差随浓度变化如图1所示。图中数据点为一个含沙量水平3次重复2次取样的相对误差的平均值。

采用50 L体积的泥沙水样测量紫色土含沙量,当设计含沙量为1~200 kg/m³时,测量含沙量的相对误差为-26.67%~-40.90%,当设计含沙量为

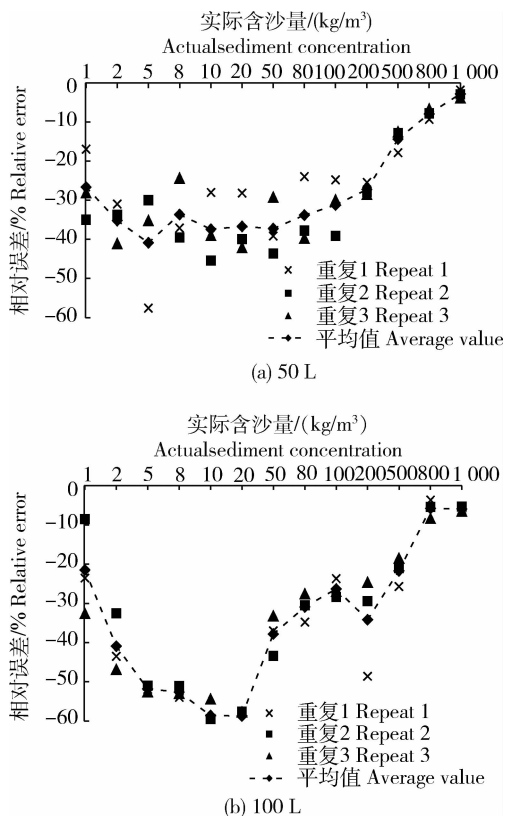


图1 含沙量测量相对误差随浓度变化图

Fig. 1 Relative error of sediment concentration varying with concentration

500、800 和 1 000 kg/m^3 时,测量含沙量的相对误差为 $-2.87\% \sim -14.38\%$,但绝对误差为 $-28.66 \sim -71.89 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。采用 100 L 体积的泥沙水样测量紫色土含沙量,当设计含沙量为 $1 \sim 200 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时,测量含沙量的相对误差为 $-21.5\% \sim -58.63\%$,当设计含沙量为 500、800 和 1 000 kg/m^3 时,测量含沙量的相对误差为 $-5.77\% \sim -21.71\%$,但测量含沙量的绝对误差为 $-46.13 \sim -108.55 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。由测量结果得出,在设计含沙量不超过 $200 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时,搅拌取样测量紫色土含沙量的相对误差在 $-30\% \sim -50\%$,但当含沙量增加到 500、800 和 1 000 kg/m^3 时,搅拌取样测量紫色土含沙量的相对误差减小到 -20% 以下,但此时绝对误差较大。这是因为在泥沙水样总体积一定时,随着集流桶内含沙量升高,桶底泥沙沉积增多,水体积减小,沉积泥沙距上层水面

的距离变浅,泥沙更容易被搅起来。所以在含沙量极高的情况下,测量的相对误差减小,但绝对误差仍然较大。如 50 L 泥沙水样当含沙量为 800 和 1 000 kg/m^3 时,泥沙距离水面仅 $3 \sim 5 \text{ cm}$,取样时可直接取到沉积的泥沙,这时虽然测量含沙量的相对误差 $< -10\%$,但绝对误差达到 $-60 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。另外,从同一含沙量水平 3 次重复的离散程度和相对标准偏差可看出,随着含沙量增高,含沙量的测量值更稳定,这是由于低含沙量时泥沙少而水多,使得泥沙更难在水中分布均匀,取样的随机误差更大。

2.3 含沙水体的体积对含沙量测量结果的影响

搅拌取样试验中泥沙水样总体积分为 50 和 100 L,经测量对应水深分别为 32 和 55 cm,体积对含沙量测量误差也有一定影响,详见表 5。

表 5 体积对含沙量测量影响随浓度变化分段表

Table 5 Segment table of the measurement result varying with volume

设计含沙量/ (kg/m^3)	50 L			100 L		
	平均相对 误差/%	平均绝对 误差/(kg/m^3)	平均相对 标准偏差/%	平均相对 误差/%	平均绝对 误差/(kg/m^3)	平均相对 标准偏差/%
1~200	-34.03	-14.83	11.97	-41.34	-16.37	9.93
500~1 000	-8.39	-54.65	1.71	-11.12	-71.22	2.07

由表 5 可知,采用 50 L 体积的泥沙水样测得含沙量的相对误差较采用 100 L 体积的泥沙水样低。这说明集流桶内含沙水体的体积越小,越容易搅拌均匀,取样的相对误差越小。另外这可能与取样深度有关,2 桶内取样深度均距上层水面 $15 \sim 20 \text{ cm}$,但水深不一致导致相对取样深度不一致。由于 50 L 桶的水深更低,所以在取样深度与 100 L 桶一致时,它的相对取样深度较 100 L 更低。当搅拌取样时,50 L 桶内泥沙被搅起来的相对高度更低,所需动能更小,更容易被搅起来,所以这可能导致测量含沙量的相对误差 50 L 时较 100 L 时小。由于泥沙在集流桶(池)内垂直方向上分布不均,下层大于上层,取样深度对搅拌取样测量结果可能有一定影响,这可在进一步的试验中进行探究。

3 结 论

搅拌取样测量含沙量因搅拌不均匀和粗颗粒沉降迅速,测量结果偏低。当设计含沙量为 $1 \sim 200$

kg/m^3 时,搅拌取样测量紫色土含沙量的相对误差为 $-30\% \sim -50\%$,但当设计含沙量增加到 500、800 和 1 000 kg/m^3 时,搅拌取样测量紫色土含沙量的相对误差下降到 -20% 以下,但此时绝对误差最高达 $-110 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。浓度对含沙量测量的影响表现为,含沙量较低时搅拌取样测量含沙量的相对误差较大,含沙量较高时相对误差减小,但绝对误差较大。体积对含沙量测量的影响表现为,含沙水体的体积越小,搅拌越均匀,搅拌取样的相对误差越小。本研究结果可为紫色土的集流桶(池)含沙量测量误差评估提供参考。另外,可以通过类似试验方法,用传统方法测量得到径流小区径流含沙量的测量误差,建立不同工况下传统取样方法测量的含沙量与实际含沙量的关系,即可校正传统测量方法得到的含沙量。

参考文献 References

[1] 刘宝元. 径流小区和小流域水土保持监测手册[M]. 北京:中国

- 水利水电出版社,2015
- Liu B Y. *The Manual for Soil and Water Conservation Monitoring in Runoff Plots and Small Watersheds* [M]. Beijing:China Water Power Press,2015 (in Chinese)
- [2] Kirby M J, Morgan R P C. *Soil Erosion* [M]. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1980
- [3] SL277—2002. 水土保持监测技术规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,2002
- SL277—2002. Technical code of practice on water and soil conservation monitoring [S]. Beijing: China Water Power Press,2002 (in Chinese)
- [4] SL190—2007. 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008
- SL190—2007. Standards for classification and gradation of soil erosion [S]. Beijing: China Water Power Press, 2008 (in Chinese)
- [5] Kinnell P I A. A review of the design and operation of runoff and soil loss plots[J]. *Catena*,2016,11(45):257-265
- [6] Zuo D P, Xu Z X, Yao W Y, Jin S Y, Xiao P Q, Ran D C. Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 15(544):238-250
- [7] 谢云,林燕,张岩. 通用土壤流失方程的发展与应用[J]. 地理科学进展,2003,22(3):279-287
- Xie Y, Lin Y, Zhang Y. The development and application of the universal soil loss equation[J]. *Progress in Geography*, 2003, 22(3):279-287 (in Chinese)
- [8] 王海斌. 不同水土保持措施下径流小区降雨与产流产沙关系研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):63-66
- Wang H B. Study on the relations between characters and sediment yield and runoff from plots with different soil and water conservation measures[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011,18(5):63-66 (in Chinese)
- [9] 申震洲,刘普灵,谢永生,郑世清,据彤军. 不同下垫面径流小区土壤水蚀特征试验研究[J]. 水土保持通报,2006,26(3):6-9,22
- Shen Z Z, Liu P L, Xie Y S, Zhen S Q, Ju T J. Study of plot soil erosion characteristic under different underlying horizon[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006,26(3):6-9,22 (in Chinese)
- [10] Sadeghi S H R, Bashari Seghaleh M, Rangavar A S. Plot sizes dependency of runoff and sediment yield estimates from a small watershed[J]. *Catena*, 2013,4(102):55-61
- [11] Mario V S, Yves L B, Roger M, Bruno R. Temporal dynamics of runoff and soil loss on a plot scale under a coffee plantation on steep soil (Ultisol), *Costaica* [J]. *Journal of Hydrology*, 2015,8(523):409-426
- [12] 宋孝玉,康绍忠,沈冰,史文娟,胡笑涛. 陕西长武王东沟径流小区土壤水分运动参数的测定[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(4):179-181
- Song X Y, Kang S Z, Shen B, Shi W J, Hu X T. Measurement of soil hydraulic properties in runoff-plots of loess hilly areas [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2003,31(4):179-181 (in Chinese)
- [13] SL342—2006. 水土保持监测设施通用技术条件[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006
- SL342—2006. General technical specifications for facilities on water and soil conservation monitoring [S]. Beijing: China Water Power Press,2006 (in Chinese)
- [14] 符素华,付金生,王晓岚,刘宝元,袁爱萍. 径流小区集流桶含沙量测量方法研究[J]. 水土保持通报,2003,23(6):39-41
- Fu S H, Fu J H, Wang X L, Liu B Y, Yuan A P. Sediment content measurement in collecting tanks of runoff plots[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003,23(6):39-41 (in Chinese)
- [15] 叶芝茜,刘宝元,路炳军,曾宪勤,符素华. 径流小区集流桶含沙量全深剖面采样器的研制与试验[J]. 泥沙研究,2005,(3):24-29
- Ye Z H, Liu B Y, Lu B J, Zeng X Q, Fu S H. Design and testing of the depth profile sediment sampler for runoff plots [J]. *Journal of Sediment Research*, 2005,(3):24-29 (in Chinese)
- [16] 许跃华,王洪,唐萍,张运祥,廖先春. 对径流小区泥沙量测定中采样方法的探讨[J]. 亚热带水土保持,2014,26(3):5-7
- Xu Y H, Wang H, Tang P, Zhang Y X, Liao X C. Study of the sampling method for sediment content measurement in the runoff plots [J]. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2014,26(3):5-7 (in Chinese)
- [17] 李仲明. 中国紫色土(上篇)[M]. 北京:科学出版社,1991
- Li Z M. *Purple Soils in China (Part One)* [M]. Beijing: Science Press,1991 (in Chinese)
- [18] 王玉宽,王安邦,张信宝. 长江上游重点水土流失区坡耕地土壤侵蚀的¹³⁷Cs法研究[J]. 水土保持学报,2003,17(2):77-80
- Wang Y K, Wen A B, Zhang X B. Study of soil erosion on cultivated slope land in severe soil loss regions of upper reaches of Yangtze River basin using ¹³⁷Cs technique [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003,17(2):77-80 (in Chinese)
- [19] 赵芹,胡恒,曹叔允. 关于四川省水土保持监测点建设的思考[J]. 水土保持通报,2009,29(2):21-23
- Zhao Q, Hu H, Cao S Y. Reflection on construction of soil and water conservation monitoring stations in Sichuan Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009,29(2):21-23 (in Chinese)
- [20] 杜静. 四川盆地紫色丘陵区成土特征[D]. 重庆:西南大学,2014
- Du J. Pedogenetic features of soils in the purple hilly area of the Sichuan Basin [D]. Chongqing: Southwest University, 2014 (in Chinese)