

# 径流泥沙混合装置研发

李续峰<sup>1,2</sup>, 张兴义<sup>2</sup>, 刘洪家<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学, 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 黑土区农业生态院重点实验室, 哈尔滨 150081)

**摘要:**水土流失观测人工泥沙样品误差较大,因此样品均匀是提高观测准确性的关键。该文在已研制的可移动径流观测装置的基础上,通过对其泥沙混合装置中关键参数的实验测定,确定泥沙混合效果最佳条件下的混样桶高度和直径,以此实现高混合度泥沙样品的获取。结果表明:一级分流装置在高度  $H150\text{ mm} \times$  直径  $\Phi 200\text{ mm}$  时混合效果最好,样品误差小于 16%;二级分流装置在高度  $H40\text{ mm} \times$  直径  $\Phi 60\text{ mm}$  时效果最好,样品误差小于 7%。通过设定分流装置的高度和直径,可显著提高径流泥沙混合效果,此研究为提高可移动径流观测装置的观测精度提供了参考。

**关键词:**径流观测; 泥沙混合; 装置

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0023-04

## Design of Integrated Equipment on Runoff and Sediment

LI Xu-feng<sup>1,2</sup>, ZHANG Xing-yi<sup>2</sup>, LIU Hong-jia<sup>2</sup>

(1. Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

**Abstract:** The observation error of soil loss by water erosion was high under artificial method, hence well mixed sediment in runoff is the dominant process of runoff sample collection. We developed a movable runoff collector. In order to collect a well mixed sediment sample, the parameters of runoff sediment mixing component of the equipment were tested, thereby the optimal height and diameter of the mixing barrel were confirmed. Results showed that sediment in runoff was best mixed in the first split barrel with the height 150 mm ( $H150$ ) combined with the diameter 200 mm ( $\Phi 200$ ). The sample error was less than 16%; and the height 40 mm ( $H40$ ) combined with the diameter 60 mm ( $\Phi 60$ ) of the second split barrel had the optimal mixing effect of sediment in runoff, whose error was less than 7%. The mixing effect of sediment in runoff could be greatly enhanced under an appropriate height and diameter of the mixing barrel. This measurement provided good parameters for the design of equipment for mixing sediment in runoff.

**Key words:** runoff observation; sediment mixing; equipment

水土流失监测主要手段有标准小区法和小流域控制站法<sup>[1]</sup>。目前标准小区径流泥沙含量的测定主要采取手工测量的方法,在一次降雨结束且小区停止产流后,将池内的水搅匀,采样器采样,送交实验室内进行化验分析。优点是成本比较低,缺点是只能测定径流和输沙总量,不能反映水土流失过程,工作量大、日常人工费用高、周期长、泥沙测量精度比较低(误差 50%,最大误差 89%)<sup>[2]</sup>、可靠性差、不能准确反映出水土流失和雨强大小的实际关系。近年来新的技术不断涌现,诸如采用红外线、超声波、 $\gamma$  射线等方法自

动观测径流泥沙含量<sup>[3]</sup>,然而受野外条件、设备自身限制等因素的影响,尚未能实现广泛应用。针对上述设备在野外应用的限制,我们研制了一种可移动径流观测装置<sup>[4]</sup>,该装置既可用于野外田块尺度径流的测量又可用于标准径流小区尺度坡面径流的测量,具有可移动、安装方便等特点。该装置主要由径流量测定系统和样品采集系统组成,泥沙能否充分混合是均匀样品获取的关键,本文对制作的系列泥沙混合装置的泥沙混合效果进行实验测定,确定设备的关键参数,旨在为设备的研发提供依据。

收稿日期:2011-06-10

修回日期:2011-08-11

资助项目:国家科技支撑计划项目(2009BADB3B04)和水利部公益项目(201001026)

作者简介:李续峰(1986—),男,黑龙江省饶河县人,硕士研究生,主要从事黑土侵蚀过程研究。E-mail:lx19870817@163.com

通信作者:张兴义(1966—),男,黑龙江省密山县人,研究员,博士生导师,主要从事黑土生态研究。E-mail:xyzhang1966@yahoo.com.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 径流泥沙混合及样品采集装置

可移动径流观测装置是监测土壤径流输沙过程及总量的设备,该装置由两部分组成,泥沙混合分流装置和样品采集装置。泥沙混合分流装置的作用是为了获取均匀的泥沙混合样品,而样品采集装置的作用是为了获取径流泥沙和流量的时空过程。而本文只针对于泥沙混合分流装置的最佳泥沙混合分流效果进行试验,从而确定泥沙混合分流装置的参数。泥沙混合分流装置是可移动径流观测装置的核心部件之一,泥沙是否混合均匀并被分流是获取准确样品的关键。为了获取每次产流样品不超过 5 kg,泥沙混合分流装置分为一级径流泥沙混合分流装置和二级径流泥沙混合分流装置。一级径流泥沙混合分流装置由一个缓冲不锈钢混合桶和具有向上流线型底部突起组成,此缓冲不锈钢混合桶开有 16 个以上高度一定的等距齿牙顶端出口,其中一个齿牙与不锈钢管连接,从该齿牙流出流经不锈钢管进入二级径流泥沙混合分流装置,该装置形状与一级径流泥沙混合分流装置相同,尺寸较一级径流泥沙混合分流装置小,分流齿牙数为 10 个以上。由二级径流泥沙混合分流装置再次混合分流后经不锈钢管流入样品采集瓶,详见图 1。

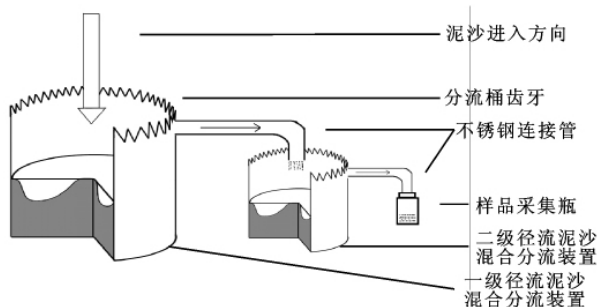


图 1 径流泥沙混合及样品采集装置

### 1.2 装置设计原理

经过收集管的径流,由于泥沙粒径不同,径流中的泥沙含量下层高于上层,因此流入混合桶时存在不均一性。径流首先达到突起处,向四周分散,然后沿弧形底部改向上,在此过程中完成泥沙的混合。当向上流速  $V_u$  大于泥沙沉降速度  $\omega$  时,见公式(1),混和后的泥沙随径流沿混合桶上边缘缺口处流出(见图 2)。 $V_u$  的大小取决于抵达底部弧线形突起的径流流速  $V_o$  ( $V_o$  决定于主体段轴线流速  $V_m$ )、混合桶高度  $S$  和射流出口混合桶断面的半径  $R_o$ 。见公式(2)。因此,泥沙是否发生沉积以及样品混合效果取决于主体段轴线流速  $V_m$ 、射流出口断面到底部距离  $S$  和射流出

口断面的半径  $R_o$ ,即取决于混合桶的半径和高度。由于一级径流泥沙混合装置只进行了 1/16 分流,样品量还较大。再利用以上原理,进行二级分流,由于流速和流量远较一级小,二级径流泥沙混合装置要缩小。

泥沙沉降速度公式<sup>[5-6]</sup>:

$$\omega = 26.5 \times 0.93d / 0.29v \quad (1)$$

式中: $\omega$ ——泥沙沉降速度(cm/s); $d$ ——泥沙平均粒径(cm); $V$ ——水的运动粘滞系数( $\text{cm}^2/\text{s}$ )。

圆断面射流运动公式<sup>[7]</sup>:

$$V_o = 0.081 \times V_m \times X \quad X = S/R_o + 3.769 \quad (2)$$

式中: $V_m$ ——主体段轴线流速(cm/s); $V_o$ ——断面平均流速(cm/s); $S$ ——射流口断面到底部距离(mm); $R_o$ ——射流出口断面的半径(mm)。

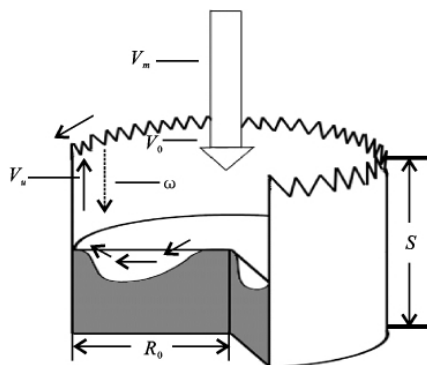


图 2 泥沙混合分流桶结构及径流混合过程示意图

### 1.3 装置核心参数确定方法

本实验的核心目的是确定在保证泥沙充分混合且径流中泥沙不在混合装置中沉积的分流装置的高度和直径参数,以实现进入测定装置中的径流被混合均匀后采集定量样品,且设备中不留存泥沙,每次测定后不用清理。

依据装置设计原理,采用混合桶高度和直径耦合的方法来确定“一级径流泥沙混合装置”参数,并根据设备的实际情况设计了 19 个耦合径流桶,规格如下( $H$  为径流桶高、 $\Phi$  为径流桶直径,单位为 mm):

$$H100 \times \Phi100, H100 \times \Phi150, H100 \times \Phi200;$$

$$H150 \times \Phi100, H150 \times \Phi150, H150 \times \Phi200,$$

$$H150 \times \Phi250, H150 \times \Phi300;$$

$$H200 \times \Phi100, H200 \times \Phi150, H200 \times \Phi200,$$

$$H200 \times \Phi250, H200 \times \Phi300;$$

$$H250 \times \Phi150, H250 \times \Phi200, H250 \times \Phi250;$$

$$H300 \times \Phi150, H300 \times \Phi200, H300 \times \Phi250;$$

依据野外径流速度和泥沙含量,单位时间内的输沙量与径流量同步,即产流初期径流较小时,输沙量也较少;当雨强加大,径流与输沙量也随之增大,后期

径流逐渐变小,泥沙含量明显降低,甚至为清水。故实验设定的流量为  $100\sim5\,000\text{ cm}^3/\text{s}$ ,流速控制为  $70\sim100\text{ cm/s}$ 。泥沙含量为  $0.1\%$ ,  $0.5\%$ ,  $1.0\%$ ,  $3.0\%$ ,  $5.0\%$ ,  $10.0\%$ , 5 次重复测定。

由于进入“二级径流泥沙混合装置”的径流已进行了 1/16 分流,径流流速和流量均显著降低,因此“二级径流泥沙混合装置”的直径  $\phi$  固定为 60 mm。因二级分流装置与一级分流装置是连接在一起工作,故进入二级分流装置的流速和流量为一级分流装置的实际量。设置混合桶高度和泥沙含量耦合试验,高度  $H$  为 40, 60, 70, 80, 100 mm, 泥沙含量为  $0.1\%$ ,  $0.5\%$ ,  $1.0\%$ ,  $3.0\%$ ,  $5.0\%$ ,  $10.0\%$ , 5 次重复测定。

2 结果与分析

2.1 “一级径流泥沙混合装置”桶高  $H$  与混合效果的关系

当直径为  $100\sim150\text{ mm}$  时,随着桶高  $H$  的增加,测定误差无明显规律性变化,这可能是由于桶的直径较小,水流进入混合桶后形成乱流,使实验误差无规律性变化。当直径为  $200\text{ mm}$  时,随着桶高  $H$  的增加,测定误差呈现先减小后增加的趋势,这是由于刚开始时高度较低,水流进入混合桶后形成飞溅水滴造成误差大,但当高度增加时可形成了稳定的水流致使误差变小,混合效果好,但是当桶高  $H$  继续增大时,桶内的泥沙沉降速度大于断面射流速度致使泥沙

沉降,误差增加,混合效果变差。当直径为  $250\text{ mm}$  时,随着桶高  $H$  的增加,测定误差逐渐增大,当直径为  $300\text{ mm}$  时,设定了两个高度,误差均较大,是由于直径过大,造成断面射流速度太低,小于沉降速度,致使泥沙下沉淤积(图 3)。

2.2 “一级径流泥沙混合装置”直径  $\phi$  与混合效果的关系

在高度  $H$  为  $100\sim200\text{ mm}$  时,随着直径的增加误差为呈先大后小再增大的趋势,这是由于开始时直径太小,致使入射水流飞溅不能形成稳流,而后随着直径的增加可形成稳流使误差减小,但当直径继续增大,高度在  $250\sim300\text{ mm}$  时,随着直径的增加误差增加,这是由于直径增加造成断面射流速度太低小于沉降速度,致使泥沙下沉淤积,误差增大,使其总体误差高(图 4)。

2.3 “一级径流泥沙混合装置”最佳混合效果的桶高  $H$  和直径  $\phi$  的确定

由图 5 可以看出,当混合装置直径和高度确定时,浓度逐渐增大,误差总体呈增大趋势,这是由于泥沙含量增大,颗粒间碰撞几率增大,彼此之间有影响,从而降低了其向上的断面射流速度,致使误差增大,混合效果下降。测试结果表明,综合误差最小的是高度  $150\text{ mm}\times$  直径  $200\text{ mm}$  的组合,其混合效果在所有的 19 个处理中最好。所以高度与直径配比  $150\text{ mm}\times200\text{ mm}$  的为最佳组合。

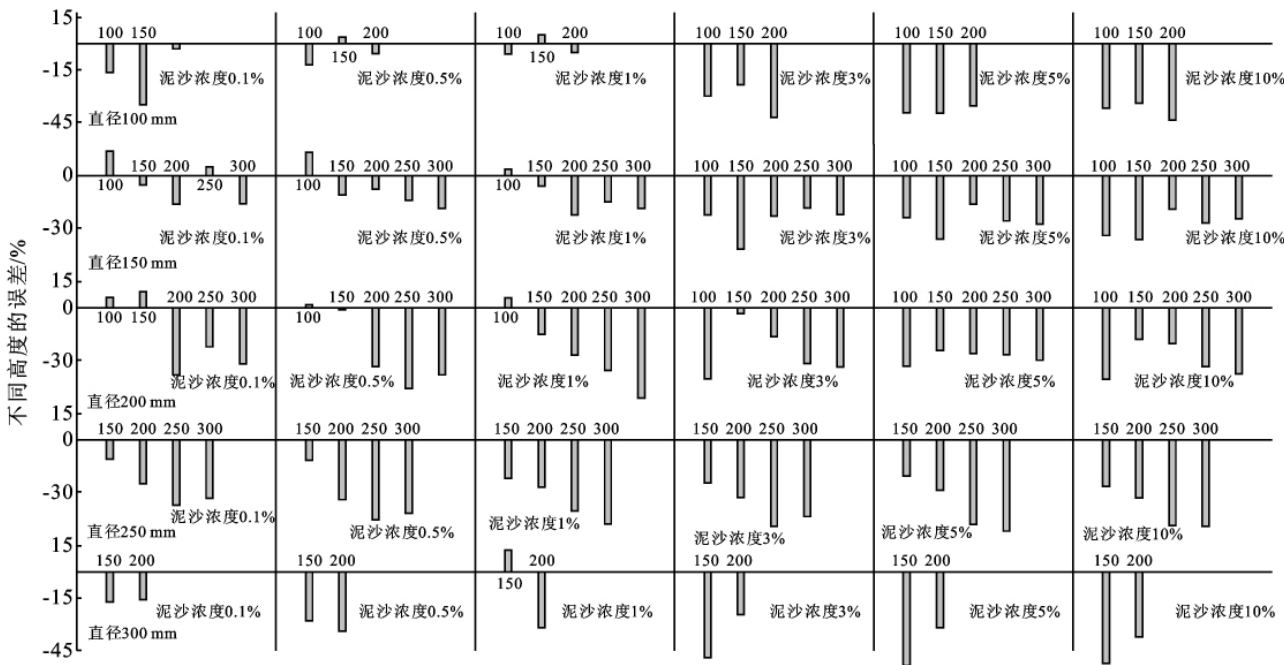
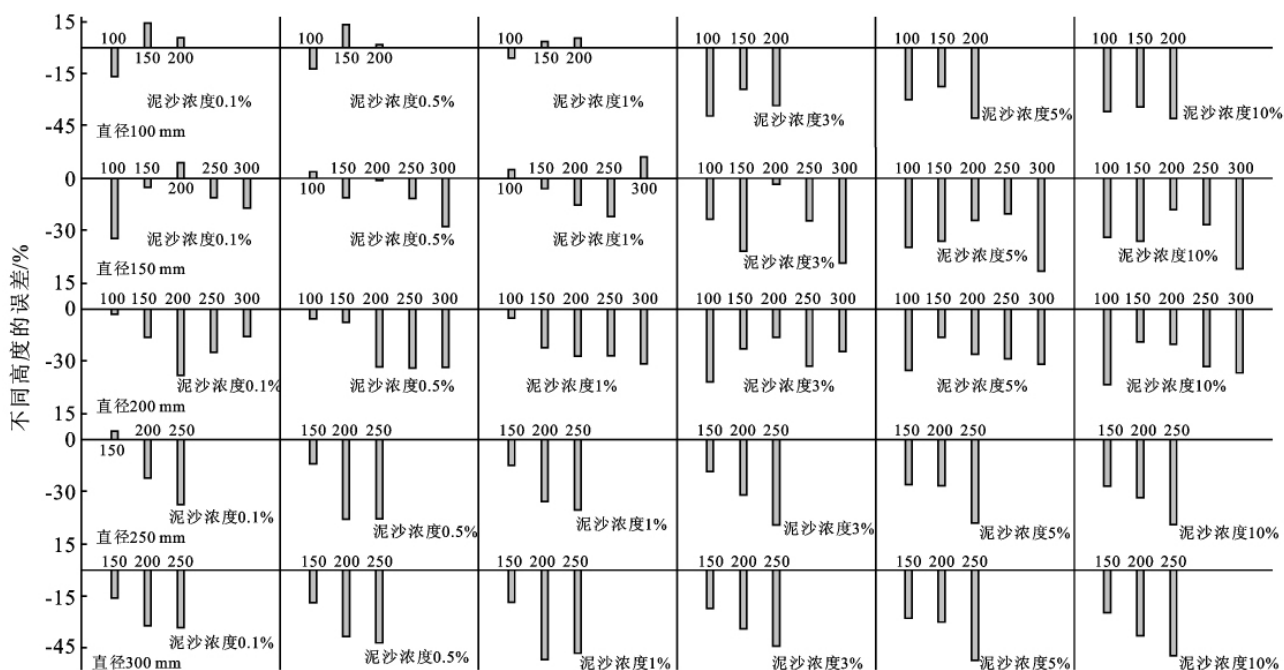


图 3 桶高  $H$  与泥沙混合效果

(直径  $\phi$  分别为 100, 150, 200, 250, 300 mm, 泥沙含量分别为  $0.1\%$ ,  $0.5\%$ ,  $1\%$ ,  $3\%$ ,  $5\%$ ,  $10\%$ )

图 4 直径  $\Phi$  与泥沙混合效果

#### 2.4 “二级径流泥沙混合装置”高度与混合效果关系

二级分流桶的直径设定为 60 mm, 所以高度设为从 40 mm 到 100 mm 分段增加。测定结果显示随着高度的增加混合桶的误差增大, 混合效果逐渐减弱, 而且不稳定, 这是由于直径较小, 在较小的水流速度

下, 桶高较低时混合效果好。但随着高度增加, 射流速度降低, 当泥沙的沉降速度大于其射流速度时, 泥沙开始沉积, 并产生乱流使混合效果不稳定。高度 40 mm  $\times$  直径 60 mm 的组合为最佳, 其误差小且稳定, 为最好的混合组合(图 6)。

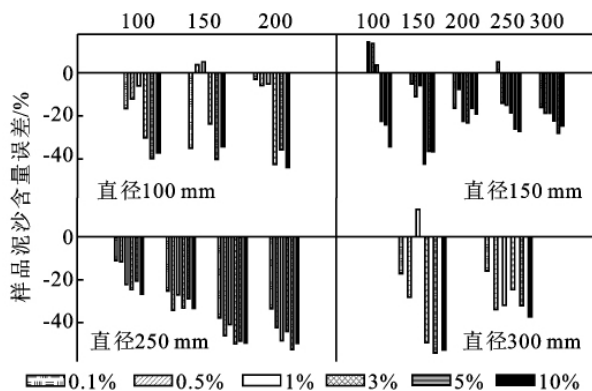


图 5 一级混合分流装置泥沙混合效果

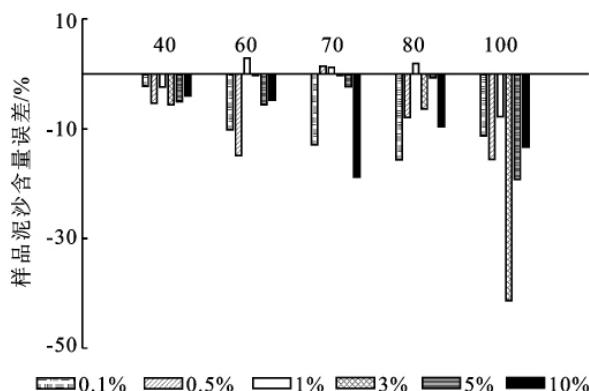


图 6 二级混合分流装置泥沙混合效果

### 3 结论

(1) 当泥沙混合桶的高度一定且较低时( $H$ : 100 ~ 200 mm), “一级径流泥沙混合装置”随着直径的增加, 测定误差变化为先较高再变低最后再升高的变化趋势。当混合桶的高度一定且较高时( $H$ : 250 ~ 300 mm), 随着直径的增加, 测定误差也随着逐渐升高。

(2) 当泥沙混合桶的直径一定且较低时( $\Phi$ : 100 ~ 200 mm), “一级径流泥沙混合装置”随着高度的增加, 测定误差变化为先增加后变低, 再升高的变化趋势。当混合桶的直径一定且较高时( $H$ : 250 ~ 300 mm), 随着高度的增加, 测定误差也随着逐渐升高。

(3) 当泥沙混合桶的直径和高度确定时, 随着泥沙含量的增加, 实验误差大体呈增大趋势, 混合桶的混合效果下降。

(4) 当直径和高度在 150 ~ 250 mm 范围内的一级径流泥沙混合装置的组合效果较其他高度的组合效果好, 而且在其范围内最好的效果为桶高  $H$  150 mm  $\times$  直径  $\Phi$  200 mm 组合。

(5) 二级径流泥沙混合装置直径一定, 随着高度的增加, 误差增大, 混合能力减弱, 所以确定其混合效果最好的二级泥沙混合装置的组合为桶高  $H$  40 mm  $\times$  直径  $\Phi$  60 mm。

(下转第 32 页)

- 被演替和气候变化初探[J]. 植物生态学报, 1988, 12(2): 143-151.
- [26] 文启忠, 郑洪汉, 韩家楸, 等. 甘肃陇西盆地的黄土[J]. 地理科学, 1982, 2(3): 202-207.
- [27] 郑洪汉. 黄河中游全新世黄土[J]. 地球化学, 1984(3): 238-245.
- [28] 徐馨. 中国全新世研究[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990.
- [29] 刘东生, 安芷生. 黄土·第四纪地质·全球变化 3[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [30] 施雅风. 中国北方第四纪冰川与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 243-248.
- [31] 刘东生, 安芷生. 黄土·第四纪地质·全球变化 2[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 10-16.
- [32] An Zhisheng, Kukla G, Porter S C, et al. Late Quaternary dust flow on the Chinese Loess Plateau [J]. Catena, 1991, 8: 125-132.
- [33] Jing Tao, Chen Minte, Xu Shiyuan. A Holocene environmental record from the southern Yangtze River delta, eastern China [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2006, 230: 204-229.
- [34] Liu Kam-biu, Sun Shunca, Jiang Xinhe. Environmental change in the Yangtze River Delta since 12,000 years B.P. [J]. Quaternary Research, 1992, 38: 32-45.
- [35] Tang Lingyu, Shen Caiming, Zhao Xitao, et al. The vegetation and the climate during the last 10,000 yr. BP in Qingfeng profile of Jianghu, Jiangsu [J]. Science in China, 1993, 23: 637-643.
- [36] 孙顺才, 伍贻范. 太湖形成演变与现代沉积作用[J]. 中国科学: B 辑, 1987, 30: 1329-1339.
- [37] 鄱阳湖研究委员会. 鄱阳湖研究[M]. 上海: 上海科技出版社, 1987: 63-69.
- [38] Xu Xin, Zhu Minglun. Changes in the vegetation and environment in the Zhenjiang region since 15,000 years ago[J]. Acta Geographica Sinica, 1984, 39: 277-284.
- [39] Shinya Yamamoto, Kimitaka Kawamura, Osamu Seki, et al. Paleoenvironmental significance of compound-specific  $\delta^{13}\text{C}$  variations in n-alkanes in the Hongyuan peat sequence from southwest China over the last 13 ka [J]. Organic Geochemistry, 2010, 41: 491-497.
- [40] 沈吉, 杨丽原, 羊向东, 等. 全新世以来云南洱河流域气候变化与人类活动的湖泊沉积纪录[J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(2): 130-138.
- [41] Song Xieliang. Palaeolimnological Studies on the Limestone District in Central Yunnan[M]. Beijing: Science and Technology Press, 1994.
- [42] 杨建强, 崔之久, 易朝露, 等. 云南点苍山全新世以来的冰川湖泊沉积[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 525-533.
- [43] 中澳合作集团. 第四纪研讨会[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 56-67.
- [44] 孙湘君, 吴玉书. 云南省滇池地区全新世植被历史与环境变化[M]. 中国和澳大利亚第四纪地质学术座谈会, 北京: 科学出版社, 1987.
- [45] Jarvis D I. Pollen evidence of changing Holocene monsoon climate in Sichuan Province, China[J]. Quaternary Research, 1993, 39: 325-337.
- [46] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 云南断陷湖泊环境与沉积[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [47] Song Xieliang. Palaeolimnological Studies on the Limestone District in Central Yunnan[M]. Beijing: Science and Technology Press, 1994.
- [48] 琳树基. 草海的演化[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987: 7-38.
- [49] 杨保. 小冰期以来中国十年尺度气候变化时空分布特征的初步研究[J]. 干旱区地理, 2001, 24(1): 67-73.
- [50] 夏正楷. 第四纪环境学[M]. 北京: 中国大学出版社, 1997.

(上接第 26 页)

(6) 当一级和二级径流泥沙混合装置的最优参数(一级径流泥沙混合装置: 桶高  $H150\text{ mm} \times$  直径  $\Phi 200\text{ mm}$ ; 二级泥沙混合装置: 桶高  $H40\text{ mm} \times$  直径  $\Phi 60\text{ mm}$ ) 确定后, 泥沙混合装置内几乎无淤积, 在次降雨前后装置无需清理。

(7) 依据野外径流速度和泥沙含量, 实验是在设定的流量为  $100 \sim 5\,000\text{ cm}^3/\text{s}$  所确定的参数, 适用于标准径流小区  $100\text{ m}^2$  和野外  $1\text{ hm}^2$  田块尺度的水土流失观测。

参考文献:

[1] 刘宝元. 水土流失监测的概念、种类与方法[J]. 水土保持

通报, 2007, 27(4): 封 2.

[2] 叶芝菡. 北京山区养分流失机理与模拟[D]. 北京: 北京师范大学, 2005.

[3] 史明昌, 李智广. 新技术在我国水土保持中应用[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 1-3.

[4] 张兴义. 一种可移动式地表径流观测装置[P]. 中国, ZL200610163240. 9, 2009.

[5] 庞玲, 张科利, 朱明, 等. 泥沙沉降速度实验研究方法回顾与评述[J]. 人民黄河, 2006, 28(5): 50-52.

[6] 詹咏, 曾小为. 泥沙沉降速度研究进展及其影响因素分析[J]. 人民长江, 2001, 32(2): 23-24.

[7] 余常昭. 紊动射流[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.