

# 不同湿润速率对三种红壤坡面侵蚀过程的影响\*

郭 伟<sup>1</sup> 史志华<sup>1,2†</sup> 陈利顶<sup>2</sup> 闫峰陵<sup>1</sup> 李朝霞<sup>1</sup> 蔡崇法<sup>1</sup>

(1 华中农业大学农业部亚热带农业资源与环境重点实验室,武汉 430070)

(2 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085)

**摘 要** 以三种典型红壤为研究对象,采用室内人工模拟降雨方法,研究了湿润速率对坡面径流和侵蚀的影响以及泥沙特性。实验结果表明:在坡度为 15°、降雨强度为 60 mm h<sup>-1</sup> 条件下,湿润速率越大,产流时间越慢,稳定径流强度越大。供试三种红壤 QP1、QP2 和 QP3 快速湿润时稳定径流强度较慢速湿润分别增加 60%、37% 和 21%。同样,坡面侵蚀量也随着湿润速率的增大而增加,供试三种典型红壤在快速湿润条件下侵蚀量较中速湿润分别增加 23%、28% 和 61%,较慢速湿润分别增加 112%、85% 和 159%。侵蚀泥沙的平均质量直径随着湿润速率的增大而减小。研究结果有助于深入理解团聚体破碎机制以及坡面侵蚀机理,为侵蚀模型提供必要的参数。

**关键词** 红壤;湿润速率;人工模拟降雨;坡面侵蚀;径流

**中图分类号** S157 **文献标识码** A

坡面水蚀包括降雨击溅和径流冲刷引起土壤颗粒分离、泥沙输移和沉积三大过程<sup>[1]</sup>。降雨过程中,由于表土团聚体的崩解、分散等水土间的相互作用,改变了土壤表面结构,使土壤颗粒更紧密地堆积,使入渗率降低、径流量增加<sup>[2,3]</sup>。降雨条件下团聚体破碎方式包括消散作用(快速湿润条件下土壤团聚体中空气压缩产生的应力而引起破碎)、机械外力作用(雨滴打击、水流冲刷等)、土壤矿物湿润后非均匀膨胀引起的破裂<sup>[4,5]</sup>,其中消散作用与土壤湿润速率密切相关<sup>[6]</sup>。据此 Le Bissonnais 提出用 3~5 mm 团聚体在快速湿润、湿润后机械震荡和缓慢湿润 3 种处理来评价其稳定性<sup>[5]</sup>。我国红壤丘陵区地处热带、亚热带,面积 113 万 km<sup>2</sup>,水热资源丰富,是我国重要的农业生产区域<sup>[7]</sup>。由于土地资源的不合理开发与利用,土壤退化已成为本区农业生产严重障碍因素,其中最主要且分布最广的是土壤侵蚀退化<sup>[8]</sup>。该地区由于受季风气候影响,降雨时空分布不均,春秋季节雨强小,持续时间长,夏季雨强大,持续时间短<sup>[9~11]</sup>,因此研究不同湿润速率对坡面侵蚀过程的影响对于深入了解坡面侵蚀机理具有重要意义,但目前这方面的研究较少。鉴于

此,本文选取第四纪黏土发育的 3 种典型红壤作为研究对象,通过人工模拟降雨,定量研究不同湿润速率对红壤坡面侵蚀过程的影响,探讨红壤侵蚀内在规律,以期土壤侵蚀过程模拟提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品

供试土样取自湖北省咸宁市境内,该市位于北纬 29°39'~30°02',东经 114°06'~114°43',为亚热带季风湿润气候区,年均温 16.8℃,降水量 1 572 mm,4~8 月降水占年降雨量的 70%。咸宁地处江汉平原和鄂东南丘陵山地的过渡带,成土母质以第四纪黏土和泥质类页岩为主,土壤类型主要有红壤和水稻土。植被有常绿阔叶林、落叶阔叶林及针叶林。

根据研究区土壤特性,选择有代表性的 3 种土壤,每种土壤取表层(0~15 cm)原状土,风干后筛选粒径小于 5 mm 土壤供试。试验点基本情况及土壤性质见表 1,土壤性质分析采用常规方法,即有机质采用重铬酸钾外加热法,容重采用环刀法,机械组成采用吸管法<sup>[12]</sup>。

\* 国家自然科学基金项目(40401034 和 40501040)资助

† 通讯作者, E-mail: pengshi@mail.hzau.edu.cn

作者简介:郭伟(1980~),男,硕士研究生,研究方向为土壤侵蚀机理。E-mail: gw@webmail.hzau.edu.cn

收稿日期:2006-12-20;收到修改稿日期:2007-06-20

表 1 试验地点基本情况及土壤性质

Table 1 Basic soil properties of studied field

土壤代号 Soil code	母质 Parent material	容重 Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	有机质 Organic mater (g kg <sup>-1</sup> )	机械组成 Soil texture (%)		
				砂粒 Sand	粉粒 Silt	黏粒 Clay
QP1	第四纪黏土 Quaternary clay	1.21	15.4	15.2	49.7	35.1
QP2	第四纪黏土 Quaternary clay	1.13	22.7	10.7	30.7	58.6
QP3	第四纪黏土 Quaternary clay	1.19	17.4	9.6	46.3	44.1

## 1.2 人工模拟降雨

人工模拟降雨器采用美国 SPRACO 锥形喷头,喷头距地面垂直高度 4.75 m,供水压力 0.08 MPa,降雨强度由喷头数来控制,降雨动能约为等雨强天然降雨的 90%,均匀度约 0.9<sup>[13]</sup>。按当地一年一遇暴雨频率,雨强控制在 60 mm h<sup>-1</sup>左右。试验采用冲蚀槽,规格为 60 cm × 30 cm × 15 cm,坡度控制在 15°,在冲蚀槽的下端径流出口处安装“V”型钢槽收集径流,并在土槽两侧设置 5 cm 的缓冲带。冲蚀槽底板均匀打孔,便于土壤水分自由渗透。

冲蚀槽填土根据采样点耕作层和犁底层的容重分别填 10 cm 和 5 cm 两层,降雨前用蠕动泵控制湿润速率(2、10、60 mm h<sup>-1</sup>),并从供试土壤上部湿润,降雨持续时间为坡面产流后 1 h,其间每 6 min 采集一次径流样,用烘干法测定泥沙量,同时记录径流体积。各个粒径降雨重复 3 次,因此,实际有效降雨 27 场。

## 1.3 土壤团聚体稳定性分析——Le Bissonnais 法<sup>[5]</sup>

首先,干筛分选得到 2~5 mm 团聚体,置于 40 的烘箱内烘 24 h,使团聚体土壤含水量一致后进行以下 3 种处理:(1)快速湿润(Fast Wetting, FW),取 5 g 团聚体浸没在盛有 50 ml 去离子水的 250 ml 烧杯中,10 min 后用移液管将水吸去;(2)预湿润后震荡(Wet Stirring, WS),取 5 g 团聚体浸没在盛有 50 ml 酒精的 250 ml 锥形瓶中,10 min 后用移液管将酒精吸去,然后加水至 200 ml,用橡皮塞将锥形瓶塞紧,上下颠倒 20 次,静置 30 min 使粗分散体沉淀,用吸管吸去多余的水;(3)慢速湿润(Slow Wetting, SW),取 5 g 团聚体置于张力为 -0.3 kPa 滤纸上,静置 30~40 min 使团聚体完全湿润;其次,将已湿润处理的土壤移到浸没在酒精中的 50 μm 孔径筛子中,上下震荡 20 次(幅度 2 cm);再将筛子放入 40 烘箱至酒精蒸发完,最后将土壤移至已编号称重的铝盒中,在 40 下烘干,称重。将烘干土壤通过一组孔径依次为 3、2、1、0.5、0.25、0.1 和 0.05 mm

的筛子,称重得到每个粒级的破碎团聚体。

团聚体稳定性用平均质量直径(MMD)<sup>[14]</sup>表示:

$$MMD = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{r_{i-1} + r_i}{2} \times m_i \quad (1)$$

式中, $r_i$ 为第  $i$  个筛子孔径(mm), $r_0 = r_1$ , $r_n = r_{n+1}$ , $m_i$ 为第  $i$  个筛子的破碎团聚体重量百分比。分别用 MMD<sub>FW</sub>、MMD<sub>WS</sub>和 MMD<sub>SW</sub>表示快速湿润(FW)、预湿润后震荡(WS)和慢速湿润(SW)的测定结果。

## 2 结果分析

### 2.1 团聚体稳定性

表 2 是供试土壤 2~5 mm 团聚体在快速湿润(FW)、湿润震荡(WS)和慢速湿润(SW)不同破碎方式下的 MMD 值。不同土壤 MMD 差异显著,其中 MMD<sub>FW</sub>分布在 0.85~1.06 之间,其大小依次为:QP3 > QP1 > QP2;MMD<sub>WS</sub>分布在 2.84~2.37 之间,其大小依次为 QP2 > QP1 > QP3;MMD<sub>SW</sub>分布在 3.46~2.97 之间,其大小依次为 QP2 > QP1 > QP3。供试土壤除快速湿润处理,其他处理均是 QP2 的 MMD 值最大,这与其黏粒含量高有关,并且其有机质也高于其他供试土壤。

表 2 供试土壤团聚体不同破碎方式下的 MMD

Table 2 Mean mass diameter of soils in different treatments

土壤 Soil	QP1	QP2	QP3
MMD <sub>FW</sub>	0.93Ab	0.85Ab	1.06Aa
MMD <sub>WS</sub>	2.55Bb	2.84Ba	2.37Bb
MMD <sub>SW</sub>	3.25Bb	3.46Ba	2.97Bc

注:不同大写字母表示不同破碎方式下的显著水平,不同小写字母表示不同土壤间显著水平, $p < 0.05$  Notes: Different capital letters indicate the significant difference at  $p < 0.05$  between treatments and different small letters indicate the significant difference at  $p < 0.05$  between soils

所有的供试土壤稳定性均表现出慢速湿润 > 湿润震荡 > 快速湿润,这主要是因为快速湿润造成团聚体内闭蓄空气被快速压缩,空气压缩爆破使团聚

体破碎程度大;在湿润震荡测定中,机械外力并没有完全破坏团聚体之间的胶结物质,而在实际降雨过程中机械外力破坏具有累积性,施加于团聚体上的能量是持续增加的;慢速湿润依赖于土壤中黏粒的膨胀性造成的不均匀涨缩来破碎团聚体,这种破坏机制在土壤中含有大量膨胀性黏土矿物的时候表现比较明显,但在本研究土壤中黏土矿物以膨胀性很小的高岭石和水云母为主,基本上不含膨胀性矿物,

土壤的不均匀胀缩不足以克服土壤中毛管张力,对团聚体破坏较小。

## 2.2 湿润速率对坡面产流过程的影响

坡面径流在降雨、地形、土壤前期含水量、地表覆盖等基本相同条件下,主要受土壤特性的控制。在持续降雨过程中,由于湿润速率不同,导致土壤结构发生不同程度的破坏,土壤坡面径流过程差异明显(图 1)。

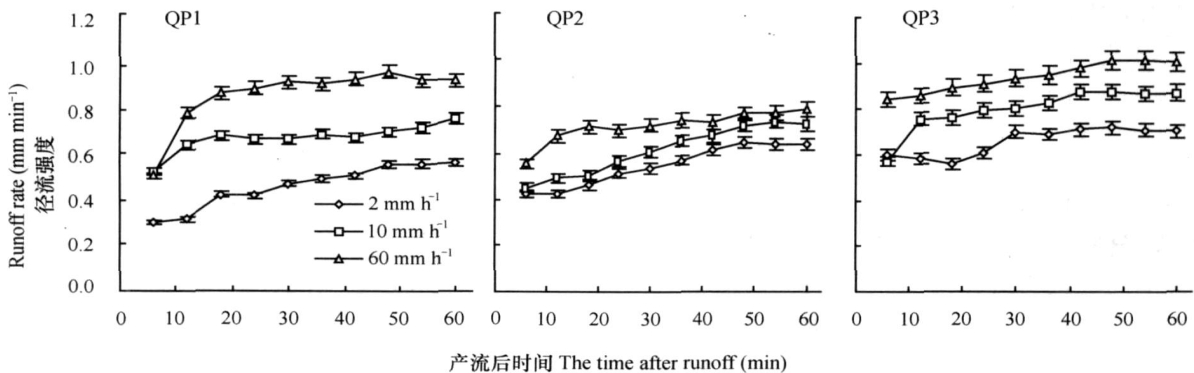


图 1 不同湿润速率的径流过程

Fig. 1 Runoff for processes different in wetting rate

在裸土条件下,供试 3 种土壤均表现出快速湿润 ( $60 \text{ mm h}^{-1}$ ) 时径流强度最大,大小顺序依次为  $60 \text{ mm h}^{-1} > 10 \text{ mm h}^{-1} > 2 \text{ mm h}^{-1}$ 。对于 QP1,三种湿润速率稳定径流强度差异显著,快速湿润 ( $60 \text{ mm h}^{-1}$ ) 稳定径流强度达到  $0.93 \text{ mm min}^{-1}$ ;慢速湿润 ( $2 \text{ mm h}^{-1}$ ) 稳定径流强度为  $0.58 \text{ mm min}^{-1}$ ,较快速湿润减小 39.6%。供试土壤 QP2 湿润速率为  $60 \text{ mm h}^{-1}$  时稳定径流强度达到  $0.96 \text{ mm min}^{-1}$ ,较慢速湿润 ( $2 \text{ mm h}^{-1}$ ) 增加了 42.8%。同样在供试土壤 QP3 中也表现出相同的趋势,只是 3 种湿润速率的稳定径流强度之间差异没有其他两种土壤显著。控制其他条件相同,3 种湿润速率对径流强度的影响均达到显著。这可能主要是因为土壤湿润过程中团聚体内空气受到压缩而造成土壤团聚体破碎,快速湿润 ( $60 \text{ mm min}^{-1}$ ) 时团聚体内的闭塞空气受到快速压缩,团聚体破碎较中速湿润和慢速湿润程度大,破碎团聚体颗粒堵塞土壤孔隙促进结皮的形成,进而使径流强度增大。

在快速湿润条件下 3 种供试土壤稳定径流强度顺序为  $QP1 > QP3 > QP2$ ,这与供试土壤黏粒含量有关,QP1 黏粒含量最小,土壤团聚体稳定性最低,在持续降雨过程中团聚体易破碎,促进结皮形成,径流

量因而增大;QP2 黏粒含量最高,径流量较 QP1 减小。

## 2.3 湿润速率对坡面产沙过程的影响

坡面侵蚀过程是侵蚀营力和土壤之间相互作用的一系列过程集合,它是随着土壤团聚体的破碎发生的一系列的<sup>[6,7]</sup>。在持续降雨过程中,不同湿润速率条件下坡面侵蚀过程差异显著(图 2)。

对于不同湿润速率,3 种供试土壤均是快速湿润 ( $60 \text{ mm h}^{-1}$ ) 处理产沙量最大,慢速湿润最小,并且差异达到显著。3 种土壤 QP1、QP2 和 QP3 产沙量具体变化为:快速湿润较中速湿润分别增加 23%、28% 和 61%,较慢速湿润分别增加 112%、85% 和 159%。这主要是由于在快速湿润条件下,土壤孔隙间闭蓄空气被快速压缩,空气爆破程度强。而 Le Bissonais<sup>[5]</sup>研究发现空气爆破是侵蚀过程中土壤团聚体破碎的主要作用力,因此快速湿润导致土壤消散,从而为坡面侵蚀提供了介质,而且由前面径流强度分析得知快速湿润径流强度最大,携带搬运能力强。因此湿润速率越高,产沙量就越大。QP1 较 QP2、QP3 的产沙量均多,这可能是由于 3 种供试土壤黏粒含量不同导致其团聚体稳定性差异。Ben-Hur 等<sup>[15]</sup>在研究中也发现当黏粒含量大于

400 g kg<sup>-1</sup>时,土壤团聚体稳定性提高,入渗量增大,径流量减小,径流携带搬运能力降低。供试土壤中

只有 QP1 黏粒含量低于 400 g kg<sup>-1</sup>,因此径流量和产沙量大。

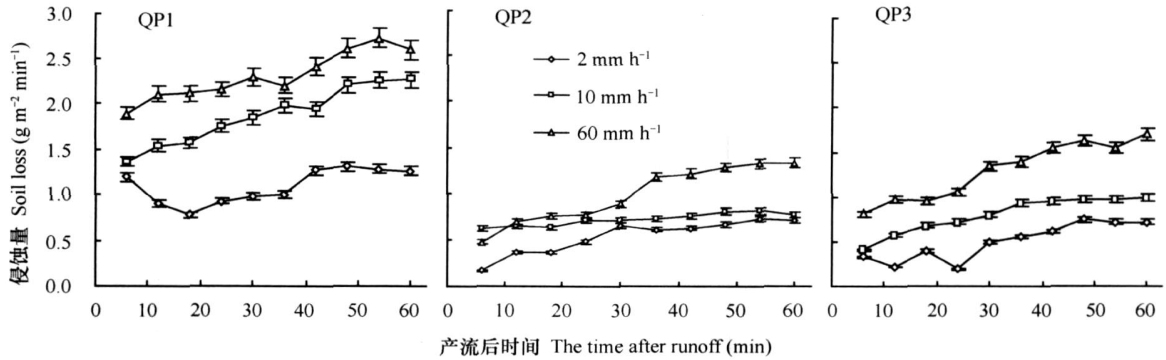


图 2 不同湿润速率的坡面侵蚀过程

Fig. 2 Soil erosion for processes different in wetting rate

#### 2.4 湿润速率对侵蚀泥沙颗粒特性的影响

侵蚀过程中泥沙颗粒特性与土壤团聚体破碎情况和侵蚀能量密切相关,可以反映土壤表面结构变

化和径流携带搬运能力以及径流选择性搬运特性。土壤的破碎机制不同,侵蚀泥沙颗粒分布存在显著差异(图 3)。

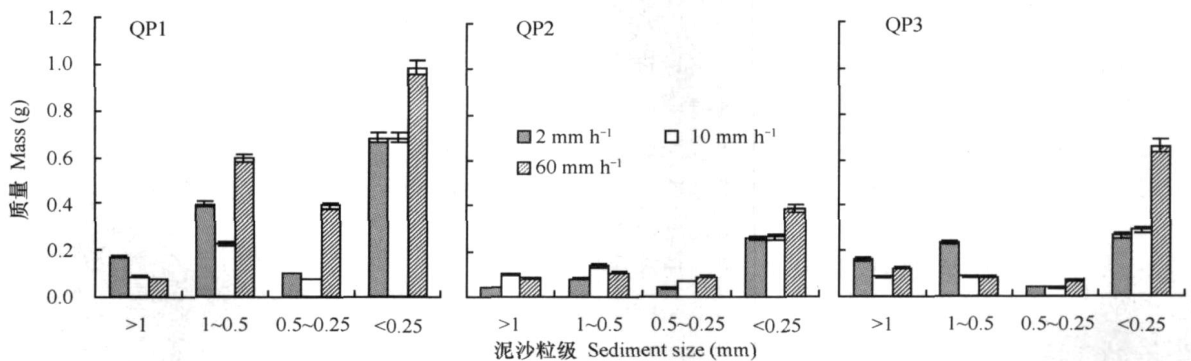


图 3 侵蚀泥沙粒径分布

Fig. 3 Distribution of sediment size

在坡面侵蚀过程中,雨滴打击引起团聚体的破碎一般发生在最初几分钟,因此细颗粒泥沙在产流最初几分钟内形成较多。本实验在产流初期同样是细颗粒的泥沙含量多,>1 mm 的泥沙含量很少,随着径流量的增大,粗颗粒的泥沙也被搬运,>1 mm 的泥沙增多,但微团粒始终占据优势,含量达到了 45% 以上。分析不同湿润速率对侵蚀泥沙的影响发现,湿润速率越大,粒径<0.25 mm 泥沙越多,而>1 mm 泥沙含量较少,这可能是由于湿润速率越大,闭蓄空气体积大,爆破强度强于较小的湿润速率,这虽然增大了侵蚀量,但是空气压缩爆破产生的高能量使得土壤团聚体破碎为更小的颗粒,故湿润速率大

时侵蚀泥沙粒径较小。

试验中侵蚀泥沙分布采用平均质量直径描述,在雨强为 60 mm min<sup>-1</sup>、坡度为 15° 的条件下 3 种红壤侵蚀泥沙平均质量直径(MMD)随时间变化很小,未显示出差异。这可能是由于取样的时间段较长,掩盖了其变化过程,但是不同湿润速率的侵蚀泥沙平均质量直径(MMD)变化显著(表 3)。其中湿润速率 2 mm h<sup>-1</sup> 的侵蚀泥沙平均质量直径最大,10 mm h<sup>-1</sup> 的次之,60 mm h<sup>-1</sup> 的最小。3 种供试土壤慢速湿润的泥沙平均质量直径均与其他两种湿润速率差异显著,并且 QP2 湿润速率为 10 mm h<sup>-1</sup> 和 60 mm h<sup>-1</sup> 时泥沙平均质量直径也达到显著差异。原

因是由于快速湿润使得空气爆破强度大,土壤团聚体破碎多为细小颗粒。

表 3 不同湿润速率侵蚀泥沙平均质量直径

Table 3 Mean mass diameter of sediment for each wetting rate

湿润速率 Wetting rate (mm h <sup>-1</sup> )	泥沙平均质量直径 Mean mass diameter of sediment (mm)		
	QP1	QP2	QP3
2	0.196 5a	0.243 6a	0.209 0a
10	0.165 5b	0.197 0b	0.178 0b
60	0.163 4b	0.168 6c	0.170 1b

注:同一列不同字母表示不同湿润速率间差异显著,  $p < 0.05$   
Notes: Different letters in the same columns mean significant at  $p < 0.05$   
level among wetting rate

由于湿润速率不同导致团聚体破碎程度差异显著,进而影响坡面径流强度、侵蚀量以及侵蚀泥沙颗粒特性。在快速湿润条件下,土壤团聚体中闭蓄空气被快速压缩,压缩空气爆破能量大,团聚体破碎程度强,破碎细颗粒填充在土壤孔隙中促进结皮形成,同时细小颗粒有利于径流搬运。实验中,观察冲蚀槽坡面,快速湿润时,在坡面上部形成明显的结皮,而在坡面中部和下部结皮几乎没有,慢速湿润坡面上、中、下几乎没有结皮产生,所以快速湿润径流强度大于慢速湿润。在降雨过程中快速湿润形成结皮减小了雨滴对坡面的打击,对土壤团聚体破碎能力减小,所以虽然快速湿润径流量较大,但其搬运细小颗粒较多,侵蚀泥沙中  $< 0.25$  mm 颗粒多,平均质量直径小于慢速湿润的侵蚀泥沙。

### 3 结论

本文以 3 种典型红壤为研究对象,利用 Le Bissonnais 法分析了团聚体稳定性,并在  $60 \text{ mm h}^{-1}$  雨强下研究了 3 种不同湿润速率对坡面侵蚀过程的影响,结论如下:

1) 在 Le Bissonnais 法中,供试土壤均表现出快速湿润团聚体稳定性最差,慢速湿润的 MMD 值最大,稳定性最好,并且快速湿润 MMD 值与湿润震荡和慢速湿润之间差异达到显著。而且随着黏粒含量的增加,团聚体稳定性增强,在 3 种处理中,QP2 的 MMD 值与 QP1、QP3 之间差异均达到显著。

2) 不同湿润速率下,3 种土壤的稳定径流强度依次为  $60 \text{ mm h}^{-1} > 10 \text{ mm h}^{-1} > 2 \text{ mm h}^{-1}$ 。对于 QP1,快速湿润( $60 \text{ mm h}^{-1}$ )稳定径流强度达到  $0.93$

$\text{mm min}^{-1}$ ;慢速湿润( $2 \text{ mm h}^{-1}$ )稳定径流强度为  $0.58 \text{ mm min}^{-1}$ ,较快速湿润减小  $39.6\%$ ;QP2 在湿润速率为  $60 \text{ mm h}^{-1}$  时稳定径流强度达到  $0.96 \text{ mm min}^{-1}$ ,较慢速湿润( $2 \text{ mm h}^{-1}$ )增加了  $42.8\%$ 。QP3 也表现出相同的趋势,只是 3 种湿润速率的稳定径流强度间差异没有其他两种土壤显著。3 种土壤不同湿润速率产沙量大小顺序为  $60 \text{ mm h}^{-1} > 10 \text{ mm h}^{-1} > 2 \text{ mm h}^{-1}$ ,QP1、QP2 和 QP3 快速湿润产沙量较中速湿润增加  $23\%$ 、 $28\%$  和  $61\%$ ,较慢速湿润分别增加  $112\%$ 、 $85\%$  和  $159\%$ ,差异非常显著。

3) 不同湿润速率与侵蚀泥沙分布存在相关性,湿润速率  $2 \text{ mm h}^{-1}$  的侵蚀泥沙平均质量直径最大, $60 \text{ mm h}^{-1}$  时侵蚀泥沙中小粒径比例大,MMD 值小。

### 参考文献

- [1] Fox D M, Le Bissonnais Y. Process-based analysis of aggregate stability effects on sealing, infiltration and interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62: 717 ~ 724
- [2] Bryan R B. Soil erodibility and process of water erosion on hillslopes. *Geomorphology*, 2000, 3: 385 ~ 415
- [3] Li Z X, Cai C F, Shi Z H, et al. Aggregate stability and its relationship with some chemical properties of red soils in subtropical China. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 129 ~ 136
- [4] Ramos M C, Nacci S, Pla I. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces. *Catena*, 2003, 53: 365 ~ 376
- [5] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47: 425 ~ 428
- [6] Mamedov A I, Shainberg I, Levy G J. Wetting rate and sodicity effects on interrill erosion from semi-arid Israeli soils. *Soil & Tillage Research*, 2002, 68: 121 ~ 132
- [7] 赵其国,徐梦洁,吴志东.东南红壤丘陵地区农业可持续发展研究. *土壤学报*, 2000, 37(4): 433 ~ 442. Zhao Q G, Xu M J, Wu Z D. Agricultural sustainability of red soil upland region in southeast China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(4): 433 ~ 442
- [8] 于东升,史学正.低丘红壤区旱地土壤渗透性与可蚀性定量关系的研究. *土壤学报*, 2000, 37(3): 316 ~ 322. Yu D S, Shi X Z. Quantificational relationship between soil permeability of upland and soil erodibility in hilly red soil region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(3): 316 ~ 322
- [9] 张斌,张桃林.南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策研究. *生态学报*, 1995, 15(4): 413 ~ 419. Zhang B, Zhang T L. Cause of seasonal draught formation and strategy of the eastern hills in southern China (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(4): 413 ~ 419
- [10] 王明珠,姚贤良,张佳宝,等.低丘红壤区伏秋旱的成因、特

- 征及抗旱体系的研究. 自然资源学报, 1997, 12(3): 250 ~ 256. Wang M Z, Yao X L, Zhang J B *et al.* A study of the causes and properties of the midsummer and autumn droughts and the combating drought system in the lowhill red soil region (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(3): 250 ~ 256
- [11] 李成亮, 何园球, 熊又升, 等. 四种不同母质发育的红壤水分状况研究. 土壤, 2004, 36(3): 310 ~ 317. Li C L, He Y Q, Xiong Y S, *et al.* Moisture regimes of four red soils developed from different parent materials (In Chinese). *Soils*, 2004, 36(3): 310 ~ 317
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Soil Physical and Chemical Analysis* (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978
- [13] Luk S H, Abrahams A D, Parsons A J. A simple rainfall simulator and trickle system for hydro-geomorphic experiments. *Physical Geography*, 1986, 7: 344 ~ 356
- [14] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响. 生态学报, 2003, 23(10): 2176 ~ 2183. Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2176 ~ 2183
- [15] Ben-Hur M, Wakindiki I I C. Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration, and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66: 897 ~ 905

## EFFECTS OF WETTING RATE ON EROSION PROCESSES ON HILLSLOPES OF RED SOIL

Guo Wei<sup>1</sup> Shi Zhihua<sup>1,2†</sup> Chen Lidong<sup>2</sup> Yan Fengling<sup>1</sup> Li Zhaoxia<sup>1</sup> Cai Chongfa<sup>1</sup>

(1 Key Lab of Subtropical Agriculture & Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract** The red soil hilly region, located in the tropical and subtropical zones of Southeast China, spreads over 9 provinces and 1 autonomous region. With plentiful light, heat and water resources, it enjoys high potential for agricultural and economic development. However, soil erosion and seasonal drought are major restraints for sustainable agriculture as a result of improper land use and uneven distribution of rainfall. Soil aggregate stability has substantial effects on soil porosity and, therefore, may influence infiltration rate and runoff processes of rainfall. The objects of this study are to determine relationship between wetting rate and runoff and soil loss. Red soils derived from Quaternary red clay were collected and packed in 0.6 m × 0.3 m trays, separately, wetted at 3 wetting rates (2, 10 and 60 mm h<sup>-1</sup>), and then exposed to simulated rainfall with an intensity of 60 mm h<sup>-1</sup> in laboratory. The Le Bissonnais' method was applied to simulating the breakdown mechanisms of slaking in fast wetting, stirred wetting, and slow wetting. The aggregate stability index, i. e. mean mass diameter (MMD), indicated that fast wetting caused the most severe disruption of aggregates. The MMD in each soil ranked in the order of slow wetting, stirred wetting, fast wetting. Significant correlation was observed between soil loss, runoff rate and wetting rate. The results show that the runoff rate increased with wetting rate, ranging from 0.58 to 0.96 mm min<sup>-1</sup>. In each soil exposed to slow wetting rate, less soil loss was noted. Wetting rate also played a great role in determining sediment materials. The largest MMD of sediment materials was found in soils exposed to fast wetting.

**Key words** Red soils; Wetting rate; Simulated rainfall; Soil erosion; Runoff