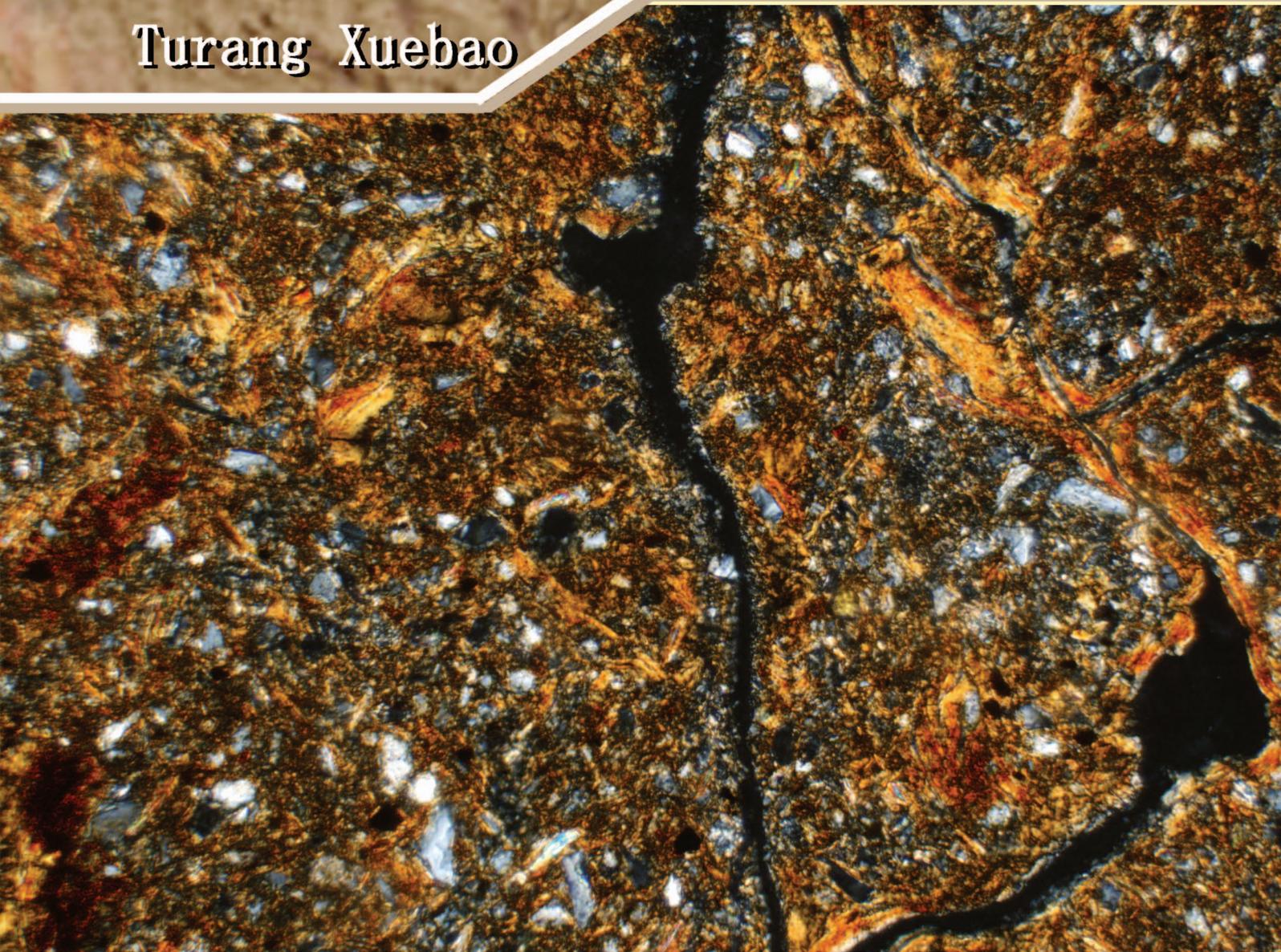


ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

**2015**

第52卷 第2期

Vol.52 No.2

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枏生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第52卷 第2期 2015年3月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 2 Mar., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路71号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史学正  
主 管 中国科学院  
主 办 中国土壤学会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总 发 行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京399信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

DOI: 10. 11766/trxb201312030577

## 三峡库区紫色土的碎石分布特征\*

王小燕<sup>1,2</sup> 王天巍<sup>2</sup> 蔡崇法<sup>2†</sup> 何丙辉<sup>1</sup>

(1 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

(2 华中农业大学资源与环境学院, 水土保持研究中心, 武汉 430070)

**摘 要** 碎石含量高是紫色土的重要特征之一, 但有关紫色土坡面碎石分布特征报道却不多见。为了弄清楚碎石在紫色土中的空间分布规律, 在选取的坡面断面上(含相对较陡坡和相对较缓坡两个坡面), 从坡顶至坡脚布置采样点, 开挖土壤剖面, 分层取样测定不同坡位不同土层的碎石含量和碎石粒径。研究结果表明: (1) 紫色土的碎石含量集中分布在 40% 以下, 且以小碎石(5~20 mm)和中碎石(20~76 mm)为主; (2) 随着土层加深, 中碎石和大碎石(76~250 mm)含量增加, 小碎石含量变化不大, 总碎石含量和碎石等效粒径随着土层的加深而提高; (3) 在较陡坡面上, 碎石含量和碎石等效粒径从坡脚至坡顶逐渐减小, 而在缓坡面上, 碎石含量从坡脚至坡顶逐渐增加。山区紫色土坡面碎石分布在土层垂直方向上主要受土壤发生过程制约, 土层深度对碎石含量和碎石粒径配比有显著影响, 在坡面方向, 碎石的分布由控制颗粒搬运的侵蚀作用力或重力作用力决定。

**关键词** 碎石含量; 碎石大小; 碎石垂直分布; 碎石坡面分布

**中图分类号** S175.1 **文献标识码** A

受成土过程和人为活动的影响, 碎石(>2 mm)在土壤中有广泛分布。碎石的分布对土壤的化学风化速率<sup>[1]</sup>、养分供给<sup>[2]</sup>、水文响应<sup>[3-4]</sup>以及表土侵蚀速率<sup>[5]</sup>等均有重要的影响。碎石含量测定是土壤性质分析的一部分, 但目前大多数土壤粒径分布分析仅集中在小于 2 mm 的颗粒<sup>[6]</sup>, 有关坡面碎石分布预测的理论或数据还比较缺乏。了解土壤中碎石空间分布特征是水文过程、土壤侵蚀及相关研究中一项重要而基础的工作。

碎石是在化学风化<sup>[7]</sup>与根系穿透<sup>[8]</sup>等使岩石变为土壤的成土过程、地表裸露岩石的物理风化过程<sup>[9]</sup>以及滑坡等过程中产生的<sup>[10]</sup>。土壤中碎石分布具有显著的空间变异性<sup>[11]</sup>, 碎石的含量和粒径等分布特征主要取决于母质的物理和化学性质, 温度和降雨量等气候因素, 土壤厚度与侵蚀速率以及坡度和影响坡面颗粒搬运主控过程等地貌因素<sup>[12]</sup>。可以推知, 在基岩坚实抗物理风化作用强的区域、化学风化受到抑制的干冷区域以及由于侵蚀速率快使坡度变陡、土层变薄、细颗粒在表土滞留时间

缩短的区域, 碎石的含量较高, 粒径也会更大。目前, 已有不少学者研究了干旱、半干旱地区, 表土覆盖碎石的盖度和粒径与坡度、坡位、坡面曲率的关系, 特别是碎石盖度与坡度的关系<sup>[13-16]</sup>。但有关热带、亚热带地区的碎石空间分布的定量数据还比较少, 而这些信息对深入理解亚热带地区的坡面水文过程和侵蚀过程有重要的作用。

在紫色土区域, 土壤中碎石分布广泛, 但在土壤侵蚀研究中, 碎石未能得到足够的重视。碎石在坡面的空间分布不是随机的, 它受到地貌过程、水文过程与侵蚀过程及其交互作用的影响。由于坡度对侵蚀的影响具有临界值, 综合各学者研究结果, 本研究根据平均坡度的大小, 将坡面分为陡坡(>20°)和缓坡(≤20°), 本文在秭归县紫色土区王家桥小流域选择了由一个相对较陡坡(28°)和一个相对较缓坡(20°)组成的典型坡面断面, 在每个坡面上分别均匀设置 8 个采样点, 调查碎石含量与土层深度、坡度和坡位的关系, 初步探讨了紫色土坡耕地碎石含量分级及碎石粒径配比特征。

\* 中国博士后科学基金项目(40506913)、重庆博士后科学基金项目(40507913)、国家自然科学基金项目(40120514、41001164)资助

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

作者简介: 王小燕(1983—), 女, 四川岳池人, 博士, 讲师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持方面研究。E-mail: wxy8388@gmail.com

收稿日期: 2013-12-03; 收到修改稿日期: 2014-11-26

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

本文的研究对象是三峡库区的紫色土, 试验区位于三峡库区秭归县王家桥小流域。王家桥小流域位于北纬  $31^{\circ}05' \sim 31^{\circ}15'$ , 东经  $110^{\circ}40' \sim 110^{\circ}47'$ , 属于长江二级支流, 距长江约 9 km。流域总面积  $16.7 \text{ km}^2$ , 自北偏东向南偏西呈窄条状, 南北长 7 km, 东西宽 3.5 km。三峡库区年平均气温为  $17 \sim 19^{\circ}\text{C}$ , 年降水量  $1\ 000 \sim 1\ 250 \text{ mm}$ , 降雨集中在 4—10 月, 特别是 5—9 月常有暴雨出现。流域海拔为  $184 \sim 1\ 180 \text{ m}$ 。流域坡度较陡,  $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$  的坡地占 35%, 大于  $35^{\circ}$  的坡地占 50%, 以柑橘种植为主, 属典型的山区小流域。该流域出露地层为侏罗系蓬莱镇组紫灰色石英砂岩、棕紫色灰质砂岩与棕紫色泥岩互层, 含透镜状砾岩及硅化木, 土壤为中性和石灰性紫色土<sup>[17]</sup>。紫色母岩一经出露地表, 在光、热、水等自然因素的作用下, 迅速发生物理风化。据观测, 一般可发现需经历以下几个物理风化特征阶段: 岩层—崩解—碎屑化—成壤(土)—化泥<sup>[18]</sup>。

紫色土在发生分类上称初育土, 在系统分类上分属新成土和雏形土。在土壤性质上是一种特殊的土壤类型, 快速风化是其中的一大特殊性之一。蓬莱镇组的成土速率较大, 可达  $12\ 000 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ <sup>[19]</sup>。该区紫色土表现出土层薄、碎石含量高等特点, 具有坡地紫色土的典型特点。

### 1.2 样点布 设与样品采集

根据王家桥小流域的地形与土地利用特点, 选取典型的坡面断面, 包括一个  $28^{\circ}$  的较陡坡面和一个  $20^{\circ}$  的较缓坡面, 两个坡面的土地利用方式皆以柑橘园地为主, 母质层同为侏罗系蓬莱镇组紫色土砂泥岩互层。根据从坡顶至坡脚, 样点在不同坡位处均匀分布的原则, 在较陡坡面上, 共布设 8 个样点, 其中 4 个样点挖取 80 cm 深土壤剖面, 以 20 cm 深为单元, 分 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层、40~60 cm 土层、60~80 cm 土层 4 个土层分别取样; 此外 4 个样点仅取 0~20 cm 土层土样(图 1a), 在较缓坡面上, 同样布设 8 个样点, 其中 6 个样点挖取 80 cm 深土壤剖面并分层取样, 2 个样点仅取 0~20 cm 土层土样(图 1b)。取样单元体积为  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ , 即长宽为 30 cm, 深 20 cm, 土样用于测定土壤碎石含量。

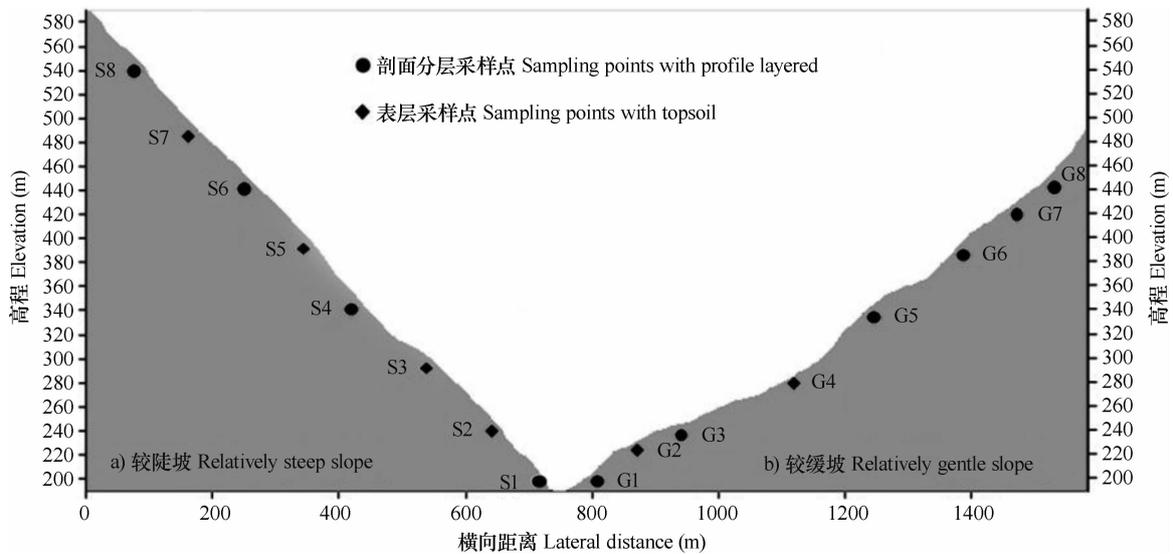


图 1 采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling points

### 1.3 碎石含量测定

Poesen 等<sup>[20]</sup> 研究指出, 2~5 mm 碎石和砂粒具有类似的物理作用, 故本研究中获取碎石的粒径下限设为 5 mm。将土样 ( $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ) 倒入筛孔为 5 mm 的金属筛, 通过水洗法获得土壤中大于 5 mm 的碎石。根据碎石的粒径, Miller 和 Guthrie<sup>[21]</sup> 将土壤中的碎石分为 6 个等级: 2~5 mm

(Fine gravel(细碎石)), 5~20 mm (Medium gravel(中碎石)), 20~76 mm (Coarse gravel(粗碎石)), 76~250 mm (Cobble(石子)), 250~600 mm (Stone(石块)), >600 mm (Boulder(石头))。本研究选用 20 和 76 mm 孔径的金属筛对碎石进行分级, 再通过排水法分别测定 5~20 mm 粒径碎石(小碎石)、20~76 mm 粒径碎石(中碎石)与 76~250 mm 粒径

碎石(大碎石)的体积含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 紫色土的碎石含量分布特征

土壤中的碎石是原地岩石风化崩解的产物或是从其他地方搬运而来,碎石在土壤剖面的垂直方向和坡面方向的分布受自然和人为活动影响,如岩崩、泥石流、土壤侵蚀、牲畜的践踏、耕作措施等均有可能导致碎石含量和大小的再分布<sup>[20]</sup>。碎石含量和大小的空间变化除了受到上述过程的影响外,还与碎石的岩性以及影响上述过程的地形因素如坡位、坡度等密切相关。故在不同环境条件下,碎石分布具有很强的空间变异性,同时这种变异性又具有一定的方向性。

本文对两个岩性、土地利用方式(耕地改为果园)一致,但坡度不同的坡面的碎石分布的调查结

果显示,紫色土坡面 0~20 cm 土层碎石含量最小为 0.5%,最大可达 20%,20~40 cm 土层的碎石含量为 2%~30%,40~60 cm 土层的碎石含量为 0.4%~38%,60~80 cm 土层的碎石含量为 0.1%~55%;各土层的平均碎石含量分别为 11.0%、14.5%、15.9%、21.6%,所有碎石粒径均小于 250 mm。根据碎石含量分布范围,本文将碎石含量分为 <5% (低)、5%~10% (中低)、10%~20% (中)、20%~40% (中高)、>40% (高) 五个等级。由图 2 可以看出,所有紫色土耕层即 0~20 cm 土层的碎石含量在中等碎石含量以内,其低等、中低等和中等碎石含量的土壤分别占 20%、20% 和 60%;20~40 cm 土层与 40~60 cm 土层的碎石含量在中高等以内,其中等以内的土壤分别占 70% 和 80%;60~80 cm 土层的碎石含量为高等的土壤占 20%,低等、中低等、中等和中高等碎石含量的土壤分别占 10%、20%、30% 和 20%。

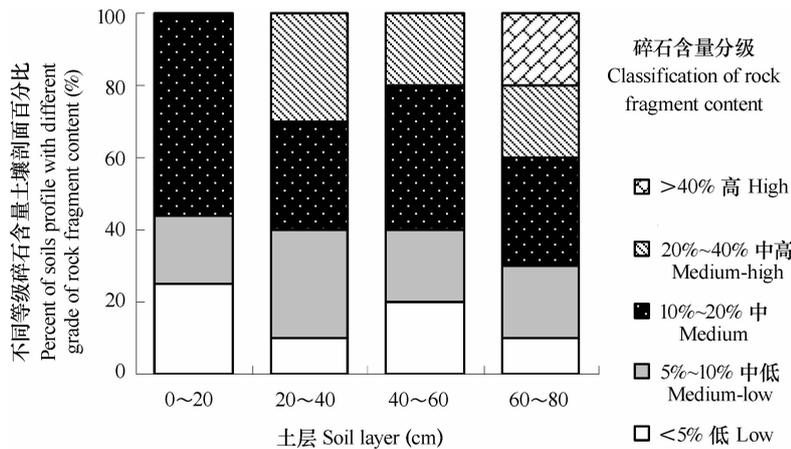


图 2 碎石含量分级

Fig. 2 Classification of rock fragment content

### 2.2 碎石在土壤剖面中的分布

图 3 是陡缓两个坡面上,各样点土壤剖面不同土层不同粒径碎石的分布,其中陡坡有 4 个土壤剖面,缓坡有 6 个土壤剖面。从图 3 可以看出,在多数土壤剖面中,碎石含量尤其是大碎石含量是随着土层深度的增加而增加的(图 3a、图 3b、图 3c、图 3f、图 3g、图 3h、图 3i),因为土层越深越靠近母质层,大碎石的分布主要受母质等地质因素的影响。样点 G1 在改为果园之前是水田,此样点也是本研究所选样点中唯一的一块之前是水田的点(其他样点之前

皆为旱地),此样地碎石含量很低,其中 20~40 cm 土层碎石含量最高,但小于 2%,此土层除外,碎石含量也是随着土层深度的增加而增加的(图 30e)。仅在样点 S8 处,碎石含量是随着土层深度增加而减少的(图 3d),这可能是因为此样点位于陡坡坡顶上的一个陡坎下,陡坎上的碎石在重力作用以及人、牲畜及野生动物等外力扰动向下运动,部分碎石便堆积在此坡度相对较缓的 S8 样点所在地。样点 G8 的碎石含量随土层深度的变化未表现出增加或减少的趋势(图 3 j)。

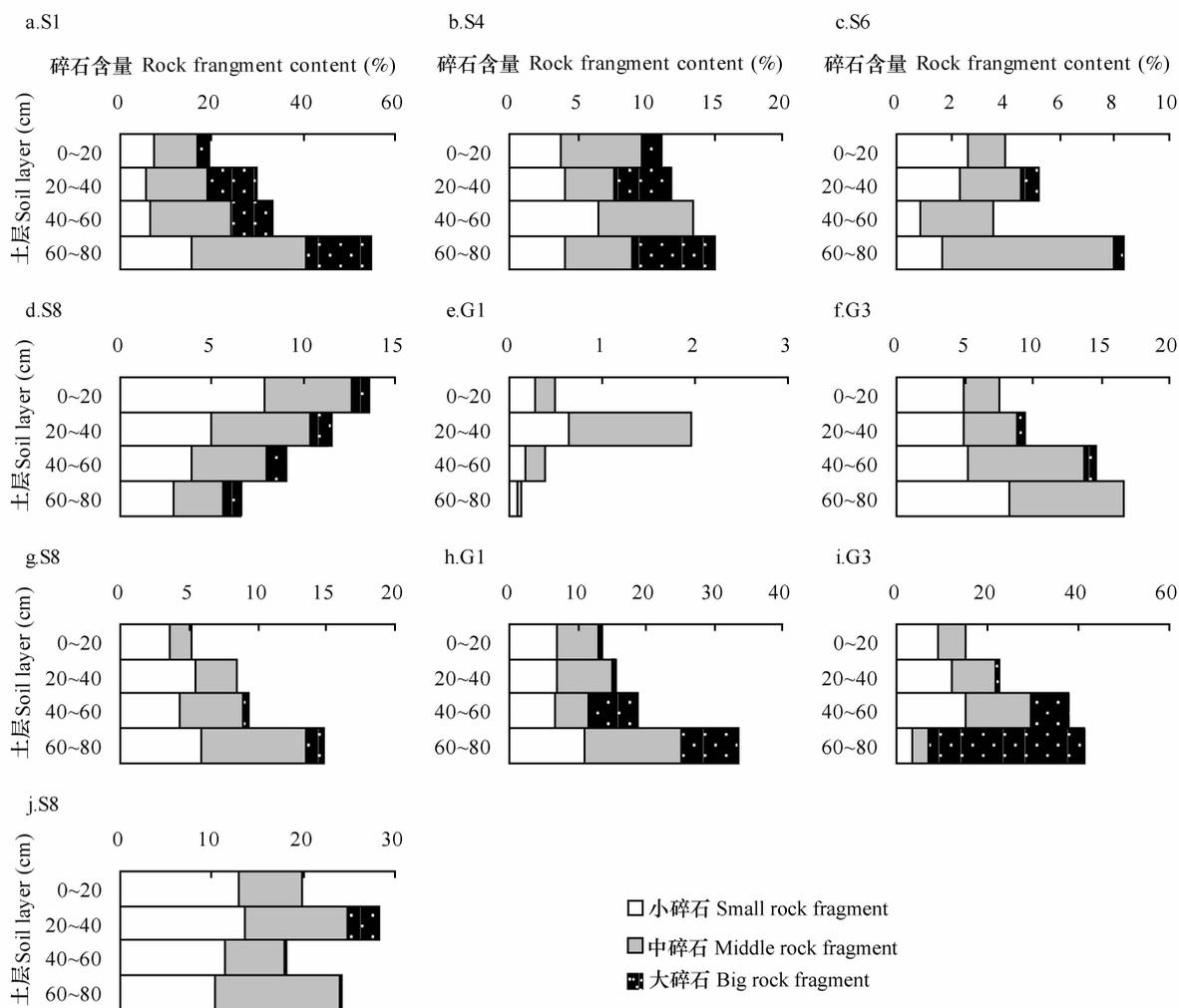


图3 不同粒径碎石在不同采样点土壤剖面中的含量分布

Fig. 3 Distribution of rock fragments with varied sizes within soil profiles at different sampling points

图4为10个土壤剖面各土层中不同粒径碎石含量及总的碎石含量(5~250 mm)的均值。在0~20 cm土层,小碎石、中碎石和大碎石的含量分别为5.92%、4.57%和0.58%,在60~80 cm土层,三种粒径的碎石含量分别增加至6.31%、8.60%和6.64%。除小碎石的含量无明显变化,中碎石和大碎石及总的碎石含量显著增加,表明在紫色土剖面中碎石含量是随着土层深度的增加而增加的。

这与李燕等<sup>[22]</sup>在丘陵紫色土区的研究结论相反,他们得出碎石含量基本上是随土层的加深而减少的,其中相对小一点的碎石含量随土层的加深而增加,相对大一点的碎石含量随土层的加深而减少。这可能与两个研究区不同的人类活动强度有关,在坡耕地上,碎石很容易露出地表。这是由于耕作一方面对不同粒径的颗粒具有筛选作用,导致大的颗粒向上运动以及小的颗粒向下运动<sup>[23]</sup>,另

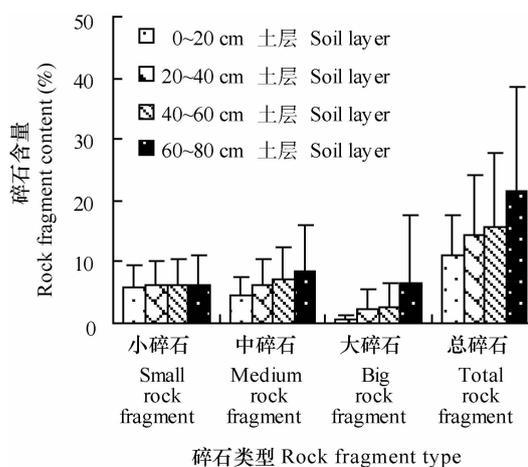


图4 不同粒径碎石在土壤剖面不同土层中的平均含量

Fig. 4 Average content of rock fragments with varied sizes within different soil layer in soil profiles

一方面耕作侵蚀使得表层土壤颗粒被径流带走。这两方面作用共同加速了碎石向表土聚集的过程。丘陵紫色土区人口密度大,耕种历史悠久,农地精耕细作,土壤人为扰动强度大、程度高,而山区紫色土区则相反,人为扰动强度和程度均相对较低。故在丘陵紫色土区和山地紫色土区,碎石在土壤剖面中呈现出不同的分布特征。

进一步分析各土层不同粒径碎石含量比(不同粒径碎石含量与总的碎石含量的比值)。结果显示,0~20 cm 土层即耕层土壤中小碎石平均含量比超过 55%,中碎石含量比为 40% 左右,而大碎石含量比不到 5%。60~80 cm 土层土壤中小碎石含量比降低至 35% 以下,而大碎石含量比增加至 20% 以上(图 5)。这表明,随着土层深度的增加,小碎石含量所占比重逐渐降低,而大碎石含量所占比重逐渐增加,中碎石含量所占比重有所增加,但并不显著。10 个土壤剖面样点的小、中、大三种粒径的平均碎石含量比分别为 44%、46% 和 10%,其变异系数分别为 0.3、0.3 和 1.6。这表明整个土壤剖面中的碎石以小碎石和中碎石为主,小碎石和中碎石的含量比为 90%,大碎石较少,且变异性最大。

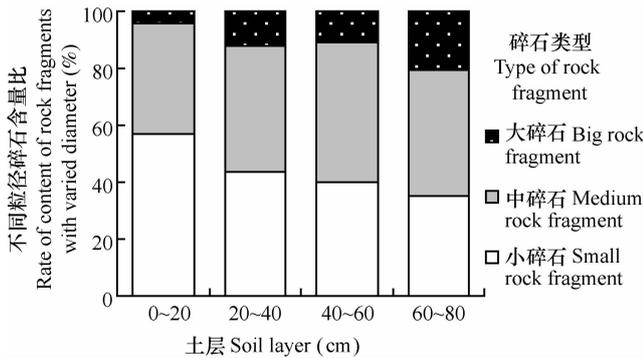


图 5 不同粒径碎石比

Fig. 5 Rate of content of rock fragments with varied sizes

为了明确碎石大小在土壤剖面中的变化趋势,本文采用碎石等效粒径来表征土壤中碎石的平均粒径。从图 6 可以看出,碎石等效粒径的变化范围较大,从 24 mm 至 141 mm。碎石等效粒径在土壤剖面中的变化较为复杂,有的样点随着土层深度加深逐渐增大(图 6d、图 6g、图 6i),而其对应的总的碎石含量在土壤剖面中有的呈减少趋势(图 6d),有的呈增加趋势(图 6g、图 6i);有的样点在土壤剖面垂直方向随着总的碎石含量的变化而变化(图 6c、图 6e、图 6j);而有的样点既不与土层深度的变化一致也不与总碎石含量的变化一致(图 6a、图 6b、图

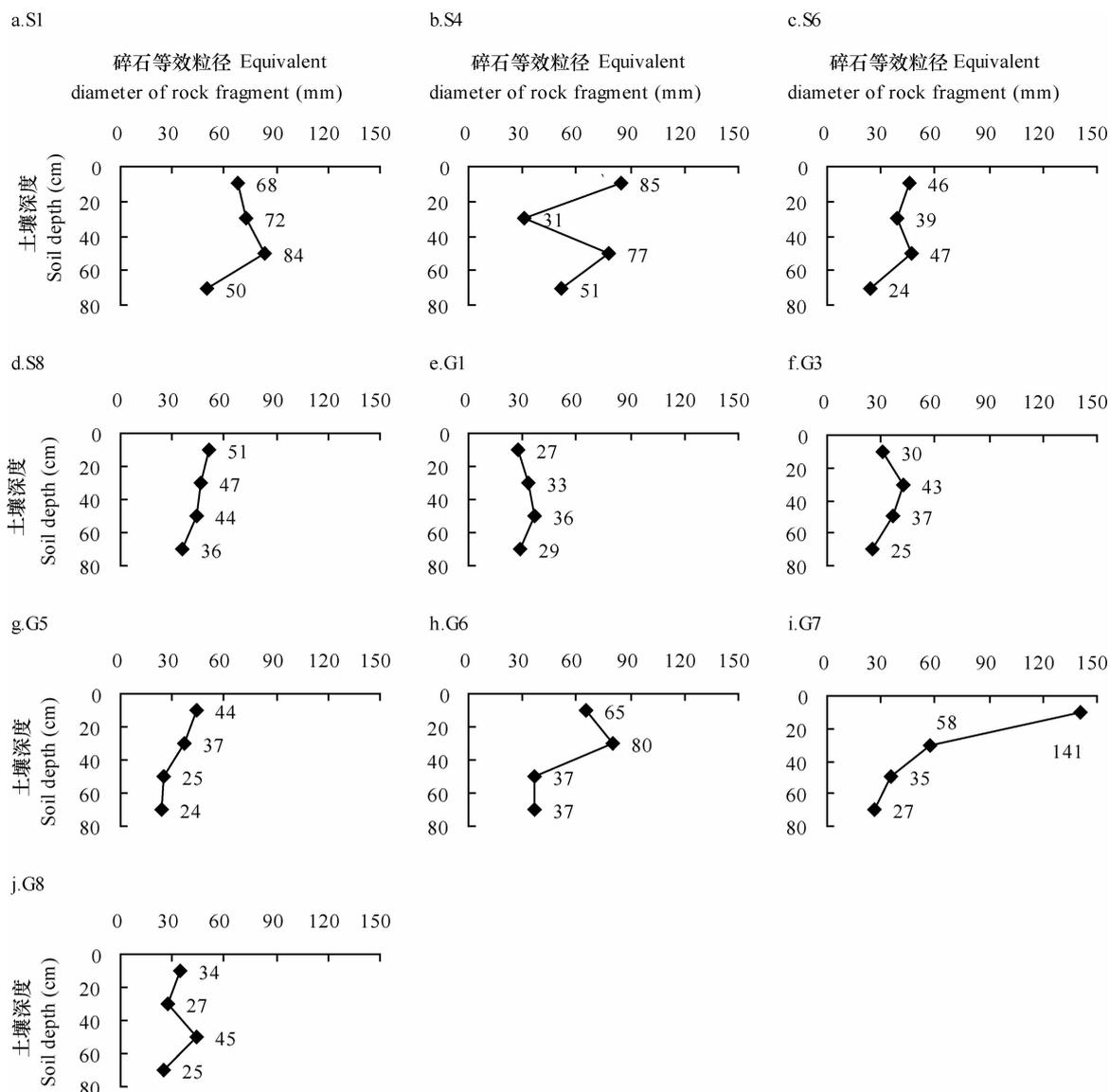
6f、图 6h)。碎石等效粒径在土壤剖面垂直方向的复杂变化是由不同粒径碎石含量比与总的碎石含量两个因子共同决定的。统计分析碎石等效粒径与碎石含量、小碎石含量比、中碎石含量比、大碎石含量比的关系发现,碎石等效粒径与总的碎石含量呈显著正相关( $r = 0.67$ ),与小碎石含量比呈显著线性负相关关系( $r = -0.80$ ),与中碎石含量比无显著相关性( $r = -0.24$ ),与大碎石含量比呈极显著正相关( $r = 0.98$ )。由此可见碎石等效粒径主要是由碎石含量、小碎石含量比、大碎石含量比共同决定的,碎石等效粒径随着碎石含量和大碎石含量比的增加而增大,随小碎石含量比的增加而减小。

随着土层深度增加,总的碎石含量逐渐增加(图 4),小碎石含量比逐渐减少,中碎石含量比变化不显著,大碎石含量比逐渐增加(图 5),故碎石等效粒径随着土层深度增加呈增加趋势(图 7)。

### 2.3 碎石在坡面上的分布特征

坡面碎石分布是土壤发生过程、地形因子、水文过程和侵蚀过程相互作用的结果,不同坡位碎石分布差异较大。图 8 描述了较陡坡和较缓坡两个坡面上各土层中不同粒径碎石含量随坡位变化的趋势。从图 8 可以看出,在较陡坡面,0~20、20~40、40~60、60~80 cm 土层中不同粒径碎石含量从坡脚至坡顶均呈减少趋势,其中 0~20 cm 土层小碎石变化趋势不显著(图 8a、图 8b、图 8c);0~20、20~40、40~60、60~80 cm 各土层总碎石含量从坡脚至坡顶分别为 19.5%~3.6%、29.9%~5.2%、33.3%~3.6%、54.9%~6.6%(图 8d)。而在较缓坡面,0~20、20~40、40~60 cm、60~80 cm 四个土层中,不同粒径碎石含量从坡脚至坡顶呈显著增加趋势(图 8e、图 8f、图 8g),各土层总碎石含量从坡下至坡上分别为 0.5%~19.9%、2.0%~22.3%、0.4%~37.6%、0.1%~41.2%(图 8h)。

初步分析,碎石在陡坡和缓坡上呈现出不同的分布规律应归因于坡度的差异引起的碎石在坡面上的分选。在较陡坡面,其坡度较陡,在重力作用下碎石向下滚落或蠕动,经长期积累逐渐形成了坡脚碎石含量高,而坡顶碎石含量相对较低的碎石分布特点。碎石等效粒径从坡上至坡下逐渐增大证实了这一推测,因为在较陡坡面上,大碎石更易向下滚落(图 9a)。0~20、20~40、40~60 和 60~80 cm 各土层碎石等效粒径从坡下至坡上分别为 50~18 mm、84~44 mm、74~47 mm、68~46 mm。而在较缓坡面,其坡度较缓,重力对碎石的向下牵引



注:碎石等效粒径表示土壤中碎石的平均粒径 Note: The equivalent diameter of rock fragment indicates the average diameter of rock fragments in soils

图6 碎石等效粒径在不同采样点土壤剖面中的变化

Fig.6 Change of equivalent diameter of rock fragment within soil

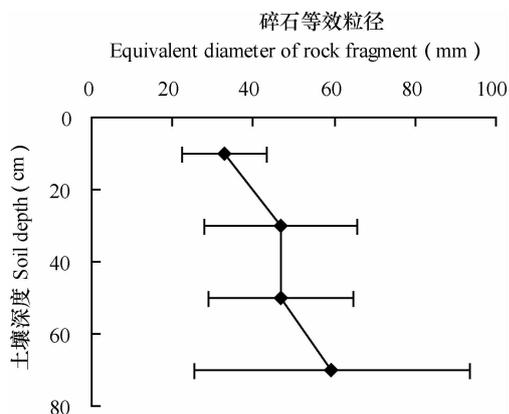


图7 碎石等效粒径沿土壤剖面的变化

Fig.7 Changes of rock fragments' equivalent diameter along soil profile

作用降低,侵蚀的分选作用占主导地位:在雨滴击溅和径流冲刷作用下,土壤细颗粒物向下坡方向移动,而粗颗粒物如碎石则留在原地<sup>[13]</sup>,在降雨侵蚀的长期作用下,较缓坡面上便逐渐形成了坡顶碎石含量高,而坡脚碎石含量低的分布规律,但除了60~80 cm土层碎石等效粒径从坡上至坡下变化不大(图9b)。Marshall和Sklar<sup>[12]</sup>也研究发现,碎石含量随高程的变化受到区域限制,在其中一个研究区碎石含量随着高程的提高而增加,但在另一个研究区碎石含量却随着高程的降低而增加。他们分析指出这种相反的分选方式,可归因于岩性的差异,但同时也与降雨量关系密切,即受到侵蚀分选作用的影响。

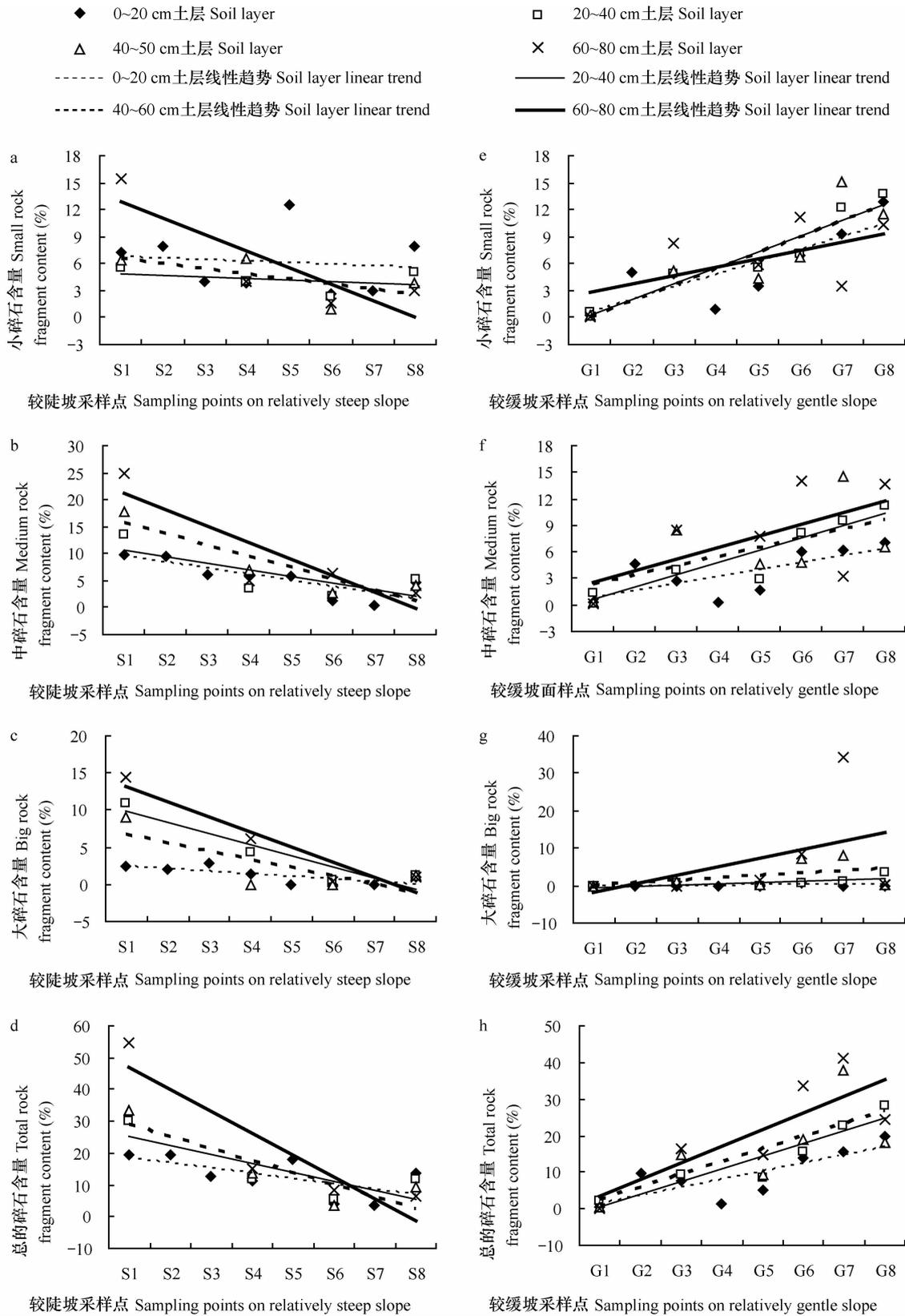


图 8 不同土层中不同粒径碎石含量在坡面上的分布

Fig. 8 Distribution of rock fragments with varied sizes within different soil layers along slopes

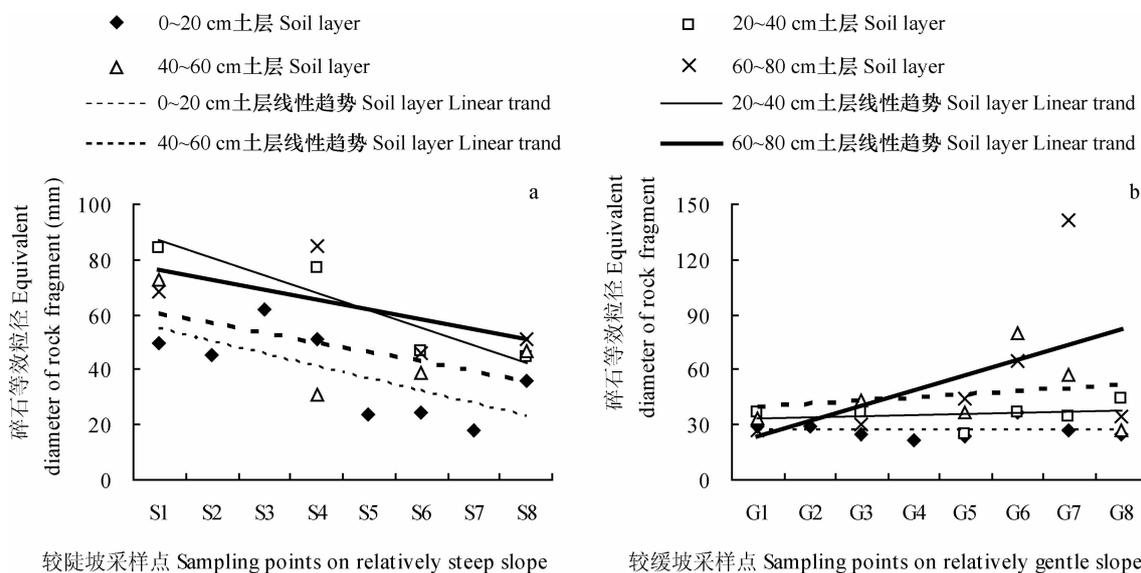


图9 不同土层碎石等效粒径沿坡面的变化

Fig. 9 Changes of rock fragments' equivalent diameter along slopes

### 3 结论

在紫色土坡耕地区,多数土壤含有碎石( $> 2\text{ mm}$ )。获取碎石空间分布信息对更好地了解紫色土区的地貌过程、水文过程和侵蚀过程具有重要的意义。通过对三峡库区典型山地紫色土碎石分布进行调查研究,得出以下结论:(1)紫色土不同土层均含有碎石,碎石含量集中分布在40%以下,土壤中的碎石以小碎石和中碎石为主,各土层 $< 76\text{ mm}$ 的碎石平均含量占总碎石含量的80%以上。(2)受土壤发生过程制约,土层深度对碎石含量和碎石粒径配有显著影响。中碎石和大碎石及总碎石含量随着土层加深而增加,小碎石含量没有显著变化;同时,随着土层加深,小碎石含量比减少,中碎石含量比和大碎石含量比增加,碎石等效粒径增大。(3)坡度对坡面上影响碎石分布的主控因素具有决定作用,不同坡度坡面上,影响碎石分布的主控因素不同,故碎石含量随坡位变化的趋势不同。在 $28^\circ$ 较陡坡面上,重力牵引碎石向坡下滚动或蠕动的作用占主导地位,碎石含量和碎石等效粒径从坡下至坡上逐渐减小。在 $20^\circ$ 较缓坡面上,侵蚀对土壤颗粒的分选作用占主导地位,细土被冲走,碎石被留下,碎石含量从坡下至坡上逐渐增加。

### 参考文献

[ 1 ] Yoo K, Mudd S. Discrepancy between mineral residence time

and soil age: Implications for the interpretation of chemical weathering rates. *Geology*, 2008, 36: 35—39

[ 2 ] Vitousek P, Chadwick O, Matson P, et al. Erosion and the rejuvenation of weathering-derived nutrient supply in an old tropical landscape. *Ecosystems*, 2003, 6: 762—772

[ 3 ] 王小燕, 李朝霞, 蔡崇法. 砾石覆盖紫色土坡耕地水文过程. *水科学进展*, 2012, 23(1): 38—45. Wang X Y, Li Z X, Cai C F. Hydrological processes on sloped farmland in purple soil regions with rock fragment cover (In Chinese). *Advances in Water Science*, 2012, 23(1): 38—45

[ 4 ] Wang X Y, Li Z X, Cai C F, et al. Hydrological response of sloping farmlands with different rock fragment covers in the purple soil area of China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2013, 18(4): 446—456

[ 5 ] Wang X Y, Li Z X, Cai C F, et al. Effects of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semi-humid environment in South-West China. *Geomorphology*, 2012, 151/152: 234—242

[ 6 ] Hwang S I, Lee K P, Lee D S, et al. Models for estimating soil particle-size distributions. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66: 1143—1150

[ 7 ] Yoo K, Amundson R, Heimsath A M, et al. Integration of geochemical mass balance with sediment transport to calculate rates of soil chemical weathering and transport on hillslopes. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112, F02013, doi: 10.1029/2005JF000402

[ 8 ] Phillips J D, Marion D A. Pedological memory in forest soil development. *Forest Ecology and Management*, 2004, 188: 363—380

[ 9 ] Hales T C, Roering J J. Climate-controlled variations in scree production, Southern Alps, New Zealand. *Geology*, 2005, 33: 701—704

[ 10 ] Casaglin N, Ermini L, Rosati G. Determining grain size distribu-

- tion of the material composing landslide dams in the Northern Apennines; Sampling and processing methods. *Engineering Geology*, 2003, 69(1/2): 83—97
- [11] Childs S W, Flint A L. Physical properties of forest soils containing rock fragments//Gessel S P. Sustained productivity of forests soils. Vancouver B C, Canada; Forestry Publications, 1990
- [12] Marshall J A, Sklar L S. Mining soil databases for landscape-scale patterns in the abundance and size distribution of hillslope rock fragments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2012, 37: 287—300
- [13] Poesen J W, Wesemael B, Bunte K, et al. Variation of rock fragment cover and size along semiarid hillslopes: A case-study from southeast Spain. *Geomorphology*, 1998, 23(2/4): 323—335
- [14] Nyssen J, Poesen J, Moeyersons J, et al. Spatial distribution of rock fragments in cultivated soils in northern Ethiopia as affected by lateral and vertical displacement processes. *Geomorphology*, 2002, 43(1/2): 1—16
- [15] Govers G, Oost K, Poesen J. Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: A simulation study of the interaction between rock fragment cover, soil erosion and land use change. *Geoderma*, 2006, 133(1/2): 19—31
- [16] Li X Y, Contreras S, Sole-benet A. Spatial distribution of rock fragments in dolines: A case study in a semiarid Mediterranean mountain-range (Sierra de Gador, SE Spain). *Catena*, 2007, 70(3): 366—374
- [17] 丁树文, 蔡崇法, 黄丽, 等. 三峡库区秭归盆地岩性构造对坡地紫色土某些特性影响. *华中农业大学学报*, 2000, 19(2): 129—133. Ding S W, Cai C F, Huang L, et al. Influence of rock feather and structure on some properties of purple soil of slope land in Zigui Basin (In Chinese). *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2000, 19(2): 129—133
- [18] 何毓蓉, 等. 中国紫色土: 下篇. 北京: 科学出版社, 2003. He Y R, et al. Purple soils in China: Part II (In Chinese). Beijing: Science Press, 2003
- [19] 李兰, 周忠浩, 杜树汉, 等. 紫色土成土速率的估算与田间测定. *土壤学报*, 2010, 47(3): 393—400. Li L, Zhou Z H, Du S H, et al. Model-based estimation and field measurement of purple soil formation rate (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(3): 393—400
- [20] Poesen J, Wesemael B, Govers G, et al. Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion. *Geomorphology*, 1997, 18(3/4): 183—197
- [21] Miller F, Guthrie R L. Classification and distribution of soils containing rock fragments in the United State//Nichols J D. Erosion and productivity of soils containing rock fragments. Madison, WI: American society of Agronomy, 1984
- [22] 李燕, 魏朝富, 刘吉振, 等. 丘陵紫色土砾石的性质及其空间分布. *西南农业学报*, 2008, 21(5): 1320—1325. Li Y, Wei C F, Liu J Z, et al. Characteristics and spatial distribution of rock fragments in hilly purple soils of Sichuan Basin (In Chinese). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 21(5): 1320—1325
- [23] Oostwoud W D, Poesen J, Vandekerckhove L, et al. Chiseling effects on the vertical distribution of rock fragments in the tilled layer of a Mediterranean soil. *Soil and Tillage Research*, 1997, 44(1/2): 55—66

## SPATIAL DISTRIBUTION OF ROCK FRAGMENTS IN PURPLE SOIL IN THREE GORGES RESERVOIR AREA

Wang Xiaoyan<sup>1,2</sup> Wang Tianwei<sup>2</sup> Cai Chongfa<sup>2†</sup> He Binghui<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(2 Soil and Water Conservation Center, College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

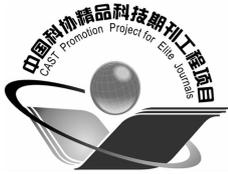
**Abstract** The existence of rock fragments is one important features of purple soil. However, the variation in rock fragments on purple soil-mantled hillslope is poorly understood. In order to understand the spatial distribution pattern of rock fragments in purple soil, a typical catena which contained both a relatively steep slope and a relatively gentle one was selected. Ten pedons from pits dug on hillslope from crest to foot were selected and the content and size of rock fragments of soil layers varied in depth at different position of hillslope were investigated. Results show that: (1) the rock fragment content of purple soil varied in 0.4%~50%. The content of rock fragments were divided into five grades of <5% (low), 5%~10% (medium-low), 10%~20% (medium), 20%~40% (medium-high) and >40% (high). The content of rock fragments concentrated in low, medium-low, medium and medium-high grade. The small rock fragments with diameter of 5~20 mm and medium rock fragments with diameter of 20~76 mm were the main components. (2) With increasing depth of soil layer, the distance between soil layer and parent material horizon become shortening and the influence of parent material horizon on soil's properties would increase. The contents of medium rock fragments and big rock fragments

(76 ~ 250 mm) increased and the content of small rock fragments didn't change significantly. Thus the total content of rock fragments increased as soil layer deepened. The equivalent diameter of rock fragments depended on rock fragment content ratio (content of rock fragments with different diameter divided by total rock fragment content). The relationship between equivalent diameter of rock fragments and content ratio of big rock fragments was positive very significantly, while the relationship between equivalent diameter of rock fragments and content ratio of small rock fragments was negative significantly, and there was no significant relationship between equivalent diameter of rock fragments and content ratio of medium rock fragments. With increasing depth of soil layer, the content ratio of big rock fragments increased and the content ratio of small rock fragment decreased, thus the equivalent diameter of rock fragment enlarged as soil layer deepened.

(3) On the relatively steep slope, the rock fragments, especially the bigger rock fragments, rolled or crept down under the action of gravity because of the steeper slope, thus the content and equivalent diameter of rock fragments increased from crest to foot. On the relatively gentle slope, the efficiency of gravity pulling down rock fragments was induced while sorting impact of erosion was strengthened because of the gentler slope: fine earth was moved down and coarse materials was stayed in situ under the action of runoff scouring and raindrop splash. The content and equivalent diameter decreased from crest to foot. We can concluded that vertical distribution of rock fragments within soil column was determined by pedogenic process and the depth of soil layer significantly influence rock fragment content, rock fragment size and content ratio of rock fragments with different diameter, while slope-scale variation of rock fragments depended on dominant hillslope transport process, i. e. water erosion processes or gravity erosion process.

**Key words** Rock fragment content; Rock fragment size; Vertical variation of rock fragment; Slope-scale variation of rock fragment

(责任编辑:檀满枝)



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 2 期 2015 年 3 月

## 目次

### 综述与评论

- 理论施氮量的改进及验证——兼论确定作物氮肥推荐量的方法 ..... 巨晓棠(249)
- 森林土壤氧化亚氮排放对大气氮沉降增加的响应研究进展 ..... 方华军 程淑兰 于贵瑞等(262)

### 研究论文

- 商丹盆地黄土母质发育土壤的微形态特征及其诊断意义 ..... 庞奖励 黄春长 查小春等(272)
- 基于土壤氮素平衡的氮肥推荐方法——以水稻为例 ..... 宁运旺 张永春(281)
- 三峡库区紫色土的碎石分布特征 ..... 王小燕 王天魏 蔡崇法等(293)
- 黄土区坡耕地土壤结皮对入渗的影响 ..... 吴秋菊 吴佳 王林华等(303)
- 基于局部加权回归的土壤全氮含量可见-近红外光谱反演 ..... 陈颂超 冯来磊 李硕等(312)
- 五价砷在中国南方两类典型土壤中的迁移特征 ..... 李璐璐 张华 周世伟等(321)
- 柠檬酸盐对黑云母表面溶解及微结构变化的影响 ..... 李继福 张文君 鲁剑巍等(329)
- 活化过硫酸钠氧化土壤对挥发性有机污染物吸附特性的影响 ..... 丁浩然 王磊 龙涛等(336)
- 退化喀斯特森林植被自然恢复中土壤有机碳  $\delta^{13}\text{C}$  值特征 ..... 黄宗胜 喻理飞 符裕红等(345)
- 缓释复合肥对茄子产量和不同采果期品质的影响 ..... 王菲 李银科 王正银等(355)
- 氮肥和秸秆施用对稻麦轮作体系下土壤剖面  $\text{N}_2\text{O}$  时空分布的影响 ..... 潘晓健 刘平丽 李露等(364)
- 应用  $^{15}\text{N}$  示踪法研究咸水滴灌棉田氮肥去向 ..... 张文 周广威 闵伟等(372)
- 中国南方基础工程建设中土壤生态修复技术体系与实践 ..... 徐国钢 程睿 赖庆旺等(381)
- 黑土农田施加 AM 菌剂对大豆根际菌群结构的影响 ..... 宋福强 程蛟 常伟等(390)
- 自生固氮菌对土壤钾的活化作用 ..... 张亮 袁玲 黄建国(399)
- 长期保护性耕作对纤维素降解基因 *cbh 1* 多样性的影响 ..... 陈坤 李传海 朱安宁等(406)
- 模拟条件下土壤硝化作用及硝化微生物对不同水分梯度的响应 ..... 刘若萱 张丽梅 白刃等(415)
- 水力侵蚀影响下土壤有机碳和微生物数量动态变化特征 ..... 喻为 李忠武 黄金权等(423)

### 研究简报

- 土壤制图中土壤类型配色模型构建与应用 ..... 徐爱国 张维理 张怀志等(431)
- 土壤专题图中采样点点位标识模型的构建 ..... 张怀志 张维理 徐爱国等(440)
- 非对称混合电解质体系中恒电荷颗粒表面与 Stern 电位的测定 ..... 樊会敏 赵艳 刘新敏等(446)
- 植被重建下露天煤矿排土场边坡土壤碳储量变化 ..... 李俊超 党廷辉 薛江等(453)
- 滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系 ..... 谢文军 张衍鹏 张森等(461)

### 信息

- 第 20 届国际土壤与耕作研究组织大会 ..... (414)
- 《土壤学报》2014 年度审稿专家名录 ..... (467)

封面图片: 陕西丹凤盆地土壤黏化层典型微形态(由庞奖励提供)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Improvement and validation of theoretical N rate (TNR)—Discussing the methods for N fertilizer recommendation ..... Ju Xiaotang(261)
- Study on the responses of nitrous oxide emission to increased nitrogen deposition in forest soils; A review ..... Fang Huajun, Cheng Shulan, Yu Guirui, et al. (270)

Research Articles

- Micromorphological features of soils derived from loess in Shangdan Basin and their significance in soil diagnosis ..... Pang Jiangli, Huang Chunchang, Zha Xiaochun, et al. (279)
- Soil nitrogen balance based recommendation of nitrogen fertilization; A case study of rice ... Ning Yunwang, Zhang Yongchun(292)
- Spatial distribution of rock fragments in purple soil in Three Gorges Reservoir Area ..... Wang Xiaoyan, Wang Tianwei, Cai Chongfa, et al. (301)
- Effects of soil crusts on infiltration in slope land in the Loess Area ..... Wu Qiuju, Wu Jia, Wang Linhua, et al. (311)
- Vis-NIR spectral inversion for prediction of soil total nitrogen content in laboratory based on locally weighted regression ..... Chen Songchao, Feng Lailei, Li Shuo, et al. (319)
- Migration of pentavalent antimony in two types of soils typical to South China ..... Li Lulu, Zhang Hua, Zhou Shiwei, et al. (327)
- Effects of citrate dissolving surface and altering microstructure of biotite ..... Li Jifu, Zhang Wenjun, Lu Jianwei, et al. (335)
- Effect of soil oxidation with reactivated sodium persulfate on sorption of volatile organic contaminants ..... Ding Haoran, Wang Lei, Long Tao, et al. (343)
- Characteristics of  $\delta^{13}\text{C}$  value of soil organic carbon under naturally restoring degenerative karst forest ..... Huang Zongsheng, Yu Lifei, Fu Yuhong, et al. (353)
- Effects of slow-release compound fertilizer on yield and quality of eggplant relative to timing of harvest ..... Wang Fei, Li Yinke, Wang Zhengyin, et al. (362)
- Spatial and temporal distributions of soil profile  $\text{N}_2\text{O}$  as affected by N fertilization and straw incorporation in the rice-wheat rotation system ..... Pan Xiaojian, Liu Pingli, Li Lu, et al. (371)
- Fate of fertilizer N in saline water drip-irrigated cotton field using  $^{15}\text{N}$  tracing method ..... Zhang Wen, Zhou Guangwei, Min Wei, et al. (379)
- Soil ecology remediation technical system and its practice in infrastructure construction in South China ..... Xu Guogang, Cheng Rui, Lai Qingwang, et al. (389)
- Impact of inoculation with AM fungi on microbial community structure in soybean rhizosphere in farmland of black soil ..... Song Fuqiang, Cheng Jiao, Chang Wei, et al. (397)
- Mobilization of potassium in soils by *Azotobacter* ..... Zhang Liang, Yuan Ling, Huang Jianguo(404)
- Effects of long-term conservation tillage on diversity of cellulose degradating gene *cbh I* in Fluvo-aquic soil ..... Chen Kun, Li Chuanhai, Zhu Anning, et al. (413)
- Response of nitrification and nitrifier to change in soil moisture content under simulated conditions ..... Liu Ruoxuan, Zhang Limei, Bai Ren, et al. (421)
- Dynamics of soil microbial population and organic carbon under water erosion ..... Yu Wei, Li Zhongwu, Huang Jinquan, et al. (430)

Research Notes

- Construction of a color matching model for soil types and its application to soil mapping ..... Xu Aiguo, Zhang Weili, Zhang Huaizhi, et al. (439)
- Development of soil sampling point labeing model for the matic soil maps ..... Zhang Huaizhi, Zhang Weili, Xu Aiguo, et al. (445)
- Principle for determination of surface potential and Stern plane potential of constant charged particles in asymmetric mixed electrolyte solutions ..... Fan Huimin, Zhao Yan, Liu Xinmin, et al. (452)
- Variability of soil organic carbon storage in dump slope of opencast coal mine under revegetation ..... Li Junchao, Dang Tinghui, Xue Jiang, et al. (460)
- Relationships between soil physicochemical properties and wheat production in coastal saline soil ..... Xie Wenjun, Zhang Yanpeng, Zhang Miao, et al. (466)

Cover Picture: Typical micromorphological photos in Horizon Bt of the soil profile in Danfeng Basin, Shaanxi Province, China (by Pang Jiangli)