

文章编号: 1008- 2786- (2007) 5- 541- 07

# 六盘山典型植被类型土壤中石砾对 大孔隙形成的影响

时忠杰<sup>1, 2</sup>, 王彦辉<sup>2\*</sup>, 熊伟<sup>2</sup>, 徐丽宏<sup>2</sup>, 于澎涛<sup>2</sup>, 徐大平<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520 2 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

**摘 要:** 六盘山山区土壤中存在大量的石砾, 对土壤大孔隙的形成具有重要影响。为了深刻了解和评价土壤中石砾对大孔隙形成的可能作用, 本研究分析了六盘山典型植被类型下土壤中的石砾体积含量、大孔隙度变异以及石砾体积含量对大孔隙度、大孔隙半径与密度的影响。结果表明, 石砾含量增加导致土壤大孔隙的平均半径和体积增大, 特别是导致半径大于 1.4 mm 的大孔隙密度的增大, 但对较小半径的大孔隙密度影响不大; 总体上, 石砾对土壤大孔隙度的形成影响随土深的增加而越来越明显, 说明六盘山地区土壤的大孔隙明显同时受到生物因素和石砾含量因素的影响。

**关键词:** 土壤大孔隙; 大孔隙度; 石砾; 六盘山

**中图分类号:** S714.2

**文献标识码:** A

含有石砾的土壤广泛分布, 如西欧地区面积的 30% 和地中海地区的 60%<sup>[1, 2]</sup> 是石砾土壤。我国石质山区也广泛分布着石砾性土壤, 如北京山区属于粗骨褐土的荒草地土壤表层的砾石含量高达 22% 以上<sup>[3]</sup>; 在我国西南云南、贵州、四川等省, 石砾也大量存在于土壤中。土壤中石砾的存在会影响土壤容重、孔隙度等物理特性和水力学特性<sup>[4-7]</sup>, 从而对土壤入渗<sup>[8]</sup>、径流与土壤侵蚀<sup>[9, 10]</sup>、土壤蒸发<sup>[11]</sup> 等水文过程产生影响, 国内外已经做了大量的研究。

在国内外关于石砾影响土壤性质方面研究论文相当丰富, 但对于石砾对土壤孔隙度的影响的直接解释的文献还相当少<sup>[12, 13]</sup>。Rawls 等<sup>[14]</sup> 对具有较

大砾石覆盖的样地周围和其下的生物活性观测表明, 砾石是影响土壤大孔隙度的因素之一。Eriksson 等<sup>[15]</sup> 则进一步指出, 石砾和石块能够通过影响土壤基质中的大孔隙进而影响其水文特性。杨忠等<sup>[16]</sup> 的研究指出, 石质山地的非毛管孔隙度高, 通透性较好, 是土壤饱和和渗透系数高的主要原因。此外 Valentini<sup>[5]</sup> 还研究了石砾与泡状孔隙度间的关系, 指出镶嵌在土壤中的石砾盖度与泡状孔隙度 (Vascular porosity) 存在正相关性, 而自由分布的石砾盖度与之呈负相关关系。Fies<sup>[17]</sup> 对粘土中混合的结构性孔隙度与各种粒径土粒间关系的作用机制作出了解释, 而 Ingehnö 等<sup>[6]</sup> 进一步认为这种机制可能也用于解释土壤-砾石两相界面之间大孔隙的形成。这

收稿日期 (Received date): 2007- 04- 15; 改回日期 (Accepted): 2007- 08- 20.

基金项目 (Foundation item): 国家“973”项目 (2002CB111501)、国家自然科学基金重点项目 (30230290)、国家林业局引进国际先进技术项目 (2003- 4- 43)、科技部社会公益研究专项 (2004DIB3J102) 和国家林业局森林生态环境重点实验室资助。[Supported by the National Basic Research Priorities Programme of China (2002CB111501), the key project of National Natural Science Foundation of China (30230290), the project of Introducing International Advanced Technology of the State Forestry Ministry (2003- 4- 43), and Special Project of Social Commonweal Research of the Ministry of Science and Technology (2004DIB3J102) and the Key Laboratory of Forest Ecology and Environmental of the State Forestry Ministry]

作者简介 (Biography): 时忠杰 (1975-), 男, 山东临沂人, 博士, 主要从事森林生态与水文方面的研究。Tel: 020- 87031637; E-mail: shizhijie1204@163.com. [Shi Zhongjie, male, was born in Shandong. Ph.D., Assistant Professor, research field is ecology and hydrology of forest. E-mail: shizhijie1204@163.com]

通讯作者 (Corresponding author), Tel: 010- 62889531; E-mail: wangyh@caf.ac.cn

些研究结果都表明石砾对土壤大孔隙性质的若干方面具有重要影响。

在过去的研究中,很少有对砾石与土壤孔隙之间关系作出直接的解释,而且以往的土壤大孔隙研究也多是在土壤质地相对均一的条件下进行的,对石砾含量很高的山地土壤中石砾在土壤大孔隙形成中作用的研究还相当缺乏。本文的主要研究旨在了解宁夏六盘山山地土壤中的石砾对大孔隙形成的可能作用机制,了解和评价石砾对土壤大孔隙形成的影响,以期更深刻解释石砾在土壤大孔隙形成中的作用,为建立准确地预报、模拟径流和土壤侵蚀的时空变化规律的模型提供土壤空间分布的基本参数,也为流域治理和土壤保护提供理论依据,同时研究土壤中石砾存在对大孔隙形成的影响也有着十分重要的理论和应用价值。

# 1 研究区及研究样地概况

研究地点位于六盘山自然保护区内的香水河小流域内,该区处在宁夏回族自治区南部,黄土高原的中西部,是黄河的支流泾河的源头,海拔 2 060~2 931 m,介于 106°09′~106°30′E 和 35°15′~35°41′N,处于暖温带半湿润区向半干旱区的过渡带。

研究区具有暖温带大陆性季风气候,年平均温度 5.8℃,7月平均气温 17.4℃,1月平均气温-7.0℃,年均降水量 591.6 mm,多集中于 6~9月。香水河小流域植被保存完好,垂直带谱明显,主要以天然次生林如山杨(*Populus davidiana*)、红桦(*Betula albo-sinensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、华山松(*Pinus amandii*)和人工林如华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)为主,山体阳坡还分布着大量灌丛,高海拔(2 700 m 以上)地区则分布着亚高山草甸群落。流域内土壤以灰褐土为主,土壤中砾石较多,成土母质为砂质泥岩、页岩、灰岩风化的残积物和坡积物,此外还分布着一定面积的亚高山草甸土。土壤中石砾的径级多介于 2~30 mm,主要集中分布于 2~10 mm 间;不同径级大小的石砾的形状也有较大差异,通常粒径较小的石砾,多呈圆粒或多面体状,而粒径较大的石砾,多为长条状、板状或多面体状等;石砾在土壤中的分布呈随机分布状态,但在个别地区也有集聚状态分布的,例如悬崖附近土壤中的石砾含量高,石砾在土壤中分布多呈集聚状态分布。本研究设置了 13 个研究样地,其中天然乔木林样地 6 个,人工林样地 3 个,灌丛样地 3 个,亚高山草甸样地 1 个。各样地具体特征见表 1。

表 1 不同样地的土壤及植被特征

Table 1 Basic characteristics of the vegetation and soil in the different plots

样地 Plots	坡度 Slope degree (°)	坡向 Slope aspect	海拔 Altitude (m)	坡位 Slope location	植被类型 Vegetation	土层深度 Soil depth (cm)	石砾体积含量 Volumetric content of rock fragment (%)	土石混合容重 Bulk density mixed soil and rock fragment (g/cm <sup>3</sup> )
A	7	SE	215.5	下	油松	100	23.37	1.20
B	35	NW	220.0	中	红桦	120	27.89	1.11
C	35	SW	220.0	下	华山松	120	36.92	1.30
D	10	E	215.0	下	灌丛	100	25.04	1.03
E	35	E	222.0	下	白桦	100	22.22	1.06
F	31	N	206.0	下	辽东栎 & 少脉槲	100	15.33	1.15
G	45	SE	228.6	上	华北落叶松	100	3.73	1.22
H	25	N	290.0	上	亚高山草甸	120	0.64	1.06
I	34	E	208.0	下	辽东栎	120	23.76	1.07
J	32	SE	218.0	中下	华北落叶松	120	21.60	1.18
K	35	NE	212.0	下	山杨	120	11.42	1.03
L	33	S	216.0	下	灌丛	120	33.32	1.31
M	32	SE	223.0	中	灌丛	80	14.11	1.13

## 2 研究方法

### 2.1 样品收集与取样

取容积为  $200\text{ cm}^3$  ( $7\text{ cm} \times 5.2\text{ cm}$ ) 的环刀, 在其内壁上均匀涂少量凡士林, 然后在土壤剖面上按照  $0\sim 10\text{ cm}$ 、 $10\sim 20\text{ cm}$ 、 $20\sim 40\text{ cm}$ 、 $40\sim 60\text{ cm}$ 、 $60\sim 80\text{ cm}$ 、 $80\sim 100\text{ cm}$ 、 $100\sim 120\text{ cm}$  的深度层次, 分别采集不同植被类型样地的土壤样品, 各 3 个重复。在样地内其中一条对角线上随机选取 3 个剖面, 土壤剖面位置一般选择在远离样树根系, 距样树平均  $3\text{ m}$  左右的区域。

### 2.2 室内试验

将采集的环刀原状土壤样品置于平底盆内, 注水并保持水层的高度到环刀上沿为止, 静置吸水  $12\text{ h}$  使之充分饱和, 此时环刀土壤中的非毛管孔隙和毛管孔隙都充满水分, 称重即可得到饱和持水量; 之后将一端换上有网孔并垫用滤纸的底盖, 另一端为无网孔的盒盖的环刀铺在有干砂的平底盘上放置  $12\text{ h}$  此时土样非毛管孔隙中的水分已全部流出, 但毛细管仍充满水分, 称重即可计算土壤非毛管孔隙

度(非毛管孔隙的体积百分比)<sup>[18]</sup>; 然后用控水后的土壤样品继续进行土壤水分穿透曲线的测定, 计算土壤大孔隙的半径( $\text{mm}$ )与密度( $\text{个}/\text{dm}^2$ )特征; 完成土壤水分穿透曲线测定后, 将环刀内土壤样品在  $105\text{ }^\circ\text{C}$  下烘干, 称重后求算土壤容重, 然后用孔径  $> 2\text{ mm}$  的筛子筛出土壤中的石砾, 用水洗去石砾表面附着的土粒后, 通过排水法测定石砾的体积, 计算石砾的体积含量, 并根据经验公式计算土壤总孔隙度<sup>[18]</sup>(图 1)。测定样地号为 A~M, 共 13 个样地。

土壤水分穿透曲线的测定方法是将控水后的土壤样品, 在环刀上边缘与土壤样品接触的部分涂上凡士林, 以保证水分不能通过土壤与环刀壁之间的孔隙直接流出, 并在土壤柱上部放置一张滤纸, 以防止水分冲刷破坏表层土壤结构。用马氏瓶控制水头  $2\text{ cm}$ , 从加水开始计时, 当土柱下部有水流出时每间隔  $5\text{ s}$  收集出流量, 直到水流通量达到稳定为止。并按 Poiseuille 方程计算土壤大孔隙的当量半径与密度, 具体方法参见 Radubovich 等<sup>[19]</sup> 和石辉等<sup>[20]</sup>。由于时间问题, 水分穿透曲线只测定了样地 A~H, 共 8 个样地。

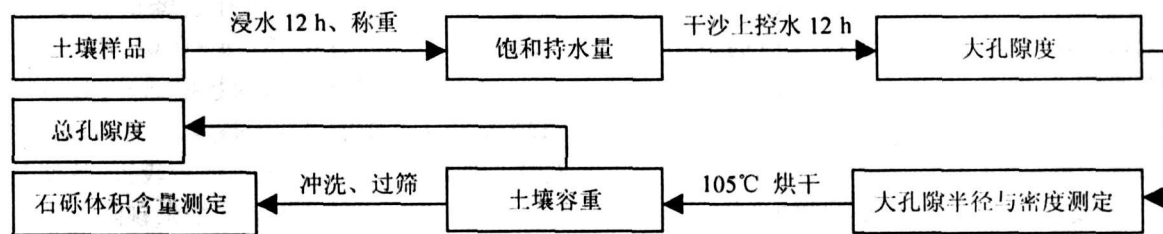


图 1 实验流程图

Fig 1 Flow chart of experimental measurement

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤中石砾与大孔隙度的变异

在本文中, 石砾是指直径  $\geq 2\text{ mm}$  的岩石<sup>[21]</sup>。六盘山的土壤中石砾含量较多, 且存在着很大空间变异。首先, 石砾含量随着土壤深度而增加, 其标准差也呈增加趋势(表 2)。其次, 不同样地之间存在很大差别, C 样地(华山松林)土壤( $0\sim 120\text{ cm}$  土层)的石砾含量最高, 其体积含量达  $36.92\%$ ; H 样地(亚高山草甸)的土壤( $0\sim 120\text{ cm}$  土层)石砾含量最低, 只有  $0.64\%$ ; 其次 G 样地(华北落叶松)的体积含量仅为  $3.73\%$ (表 3)。所有测定样地的  $0\sim$

$120\text{ cm}$  土层石砾平均含量为  $20.00\%$ , 标准差为  $10.53\%$ 。

森林土壤研究中常根据吸水性质将土壤孔隙分为毛管和非毛管孔隙度, 这里的非毛管孔隙度一般对应着土壤物理学的大孔隙<sup>[20]</sup>。本研究表明, 六盘山地区的土壤大孔隙半径多在  $0.4\sim 2.3\text{ mm}$  间, 基本在非毛管孔隙的尺度范围内, 因此本文将非毛管孔隙视为大孔隙, 使用非毛管孔隙度指标研究土壤的大孔隙特征, 并将非毛管孔隙的体积百分比称为大孔隙度。表 2 表明, 土壤大孔隙度随土深增加逐渐降低。表层土壤( $0\sim 10\text{ cm}$ )的平均大孔隙度较高, 平均达  $21.15\%$ , 在  $100\sim 120\text{ cm}$  土深时降至  $15.18\%$ 。对不同植被类型样地按各个取样土层深

表 2 不同土壤深度上的石砾含量与大孔隙度的空间变异

Table 2 Variance of the volumetric content of rock fragment and macroporosity in different soil depths

土壤深度 Soil depth ( cm )	石砾含量 Volumetric content of rock fragment			大孔隙度 Macroporosity		
	平均	标准差	变异系数	平均	标准差	变异系数
	Mean ( % )	Std. Dev. ( % )	C. V. ( % )	Mean ( % )	Std. Dev. ( % )	C. V. ( % )
0~ 10	13. 97	8. 66	61. 98	21. 15	7. 36	34. 78
10~ 20	14. 50	9. 03	62. 26	19. 78	8. 77	44. 34
20~ 40	15. 94	10. 17	63. 80	19. 70	7. 58	38. 45
40~ 60	19. 74	11. 35	57. 49	17. 55	8. 32	47. 38
60~ 80	22. 43	10. 34	46. 09	15. 85	8. 87	55. 99
80~ 100	25. 51	14. 27	55. 93	14. 72	9. 36	63. 57
100~ 120	27. 88	15. 16	54. 37	15. 18	7. 40	48. 76

表 3 不同样地土壤中的石砾含量与大孔隙度变异

Table 3 Variance of volumetric content of rock fragment and macroporosity in different vegetations

样地号 Plots	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
石砾含量 Volumetric content of rock fragment ( % )	23. 37	27. 89	36. 92	25. 04	22. 22	15. 33	3. 73	10. 64	23. 76	21. 60	11. 42	33. 32	14. 11
大孔隙度 Macroporosity ( % )	10. 93	15. 45	28. 72	25. 39	15. 96	12. 72	6. 10	7. 56	19. 50	20. 31	15. 63	25. 56	21. 08

注: 表中的石砾含量与大孔隙度均为按土壤深度加权平均计算的结果。

度加权平均计算的大孔隙度 (见表 3)与其石砾含量变化基本一致,以 C 样地 (华山松)土壤大孔隙度最大,达 28. 72 %, G 样地 (华北落叶松)的最小,仅 6. 10 %。所有样地土壤的平均大孔隙度为 17. 30 %,标准差为 6. 97 %。

3. 2 石砾含量对大孔隙的半径与密度的影响

本研究发现,石砾对土壤大孔隙的半径、密度以及大孔隙度都有着重要影响,不同样地的土壤大孔隙加权平均半径与石砾含量呈显著正相关 ( $R = 0. 789$   $n = 8$   $R_{0. 05} = 0. 707$   $p = 0. 05$   $R > R_{0. 05}$ ) (图

2)。分析石砾体积含量对半径  $> 1. 4$  mm 的大孔隙密度的影响表明,二者具有显著正相关性 ( $R = 0. 546$   $n = 27$   $R_{0. 01} = 0. 487$   $p = 0. 01$   $R > R_{0. 01}$ ) (图 3),但对图中椭圆形框内的数据部分,其石砾含量虽较高,但大孔隙数量并不是很大,这可能是由于石砾作用形成的单个大孔隙的体积较大,致使其密度降低,但其总体积可能很大。如果剔除这几个数据点,石砾含量与半径  $> 1. 4$  mm 的大孔隙的密度间将表现出更强的相关性 ( $R = 0. 90$   $n = 17$   $R_{0. 01} = 0. 606$   $p = 0. 01$   $R > R_{0. 01}$ )。此外发现,石砾含量

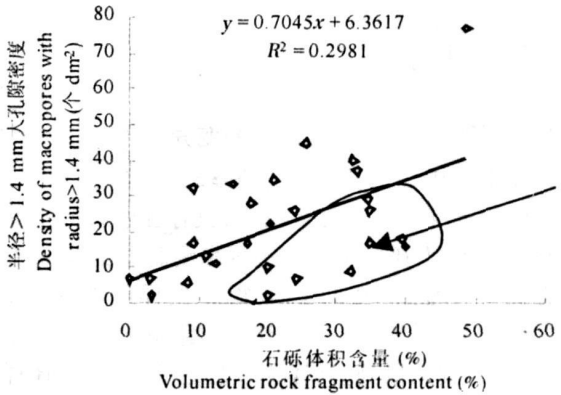
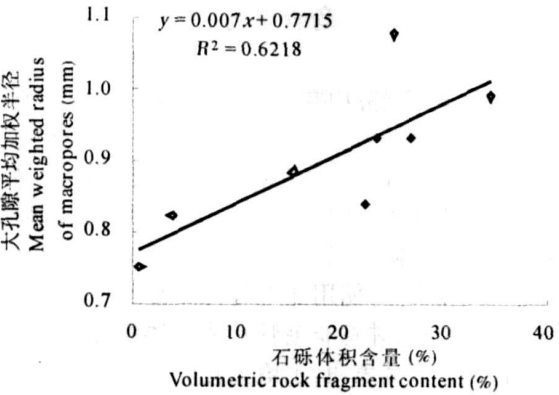


图 2 不同样地石砾体积含量对大孔隙半径的影响

图 3 石砾含量对半径  $> 1. 4$  mm 的大孔隙密度的影响

Fig 2 Influence of volumetric rock fragment content upon mean weighted radii of macropores between different plots

Fig 3 Influence of the volumetric rock fragments content upon the density of macropores with radius  $> 1. 4$  mm

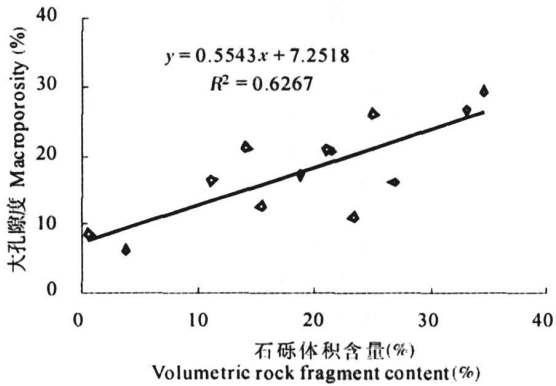


图 4 不同样地间石砾含量对大孔隙度的影响

Fig 4 Influence of the volumetric rock fragments content upon weighted mean macroporosity between different sample locations

对大孔隙总密度的影响不大, 这说明石砾的存在可能主要影响较大半径的大孔隙密度, 而对较小半径的大孔隙密度影响较小。图 4 表明, 石砾对土壤大孔隙的密度有重要的影响, 但可能对大孔隙的体积

影响更大。为了综合反映样地水平上的大孔隙度间的差异, 根据深度计算了样地水平上的加权深度平均大孔隙度, 结果表明在一定范围内, 石砾含量对各样地的各土层加权平均大孔隙度呈显著正相关 ( $R = 0.808$ ,  $n = 13$ ,  $R_{0.01} = 0.684$ ,  $p = 0.01$ ,  $R > R_{0.01}$ )。

3.3 不同土壤深度石砾对土壤大孔隙度的影响

将 13 个样地按土层分析石砾含量对土壤大孔隙度的影响 (表 4), 结果表明二者呈正相关关系, 但其相关性变化较大, 总体上随土壤深增加而增强。在 0~10 cm 土层, 石砾作用不显著 ( $R = 0.369$ ,  $n = 13$ ,  $R_{0.05} = 0.553$ ,  $p = 0.05$ ,  $R < R_{0.05}$ ), 说明石砾不是大孔隙形成的主要影响因素, 土壤动物、微生物、植物根系和枯落物层分解等生物因素可能是土壤大孔隙形成的主要影响因素; 随着土壤深度的增加至 100~120 cm 时石砾的影响已相当显著 ( $R = 0.848$ ,  $n = 7$ ,  $R_{0.05} = 0.754$ ,  $p = 0.05$ ,  $R > R_{0.05}$ ), 说明深层土壤中的石砾对土壤大孔隙的形成非常重要。

表 4 不同土壤深度上的石砾含量对土壤大孔隙度的影响

Table 4 Influence of volumetric contents of rock fragment upon macroporosity in different soil depth

土壤深度 Soil depth (cm)	大孔隙度 (MP) ~ 石砾体积含量 (VR) Macroporosity (MP) ~ Volumetric rock fragments contents (VR)	决定系数 Coefficient of determination ( $R^2$ )	样品数 Number of samples (n)
0~10	$MP_{0-10} = 0.2240 VR + 0.1980$	0.1360	13
10~20	$MP_{10-20} = 0.6672 VR + 0.1011$	0.4716	13
20~40	$MP_{20-40} = 0.5703 VR + 0.0305$	0.4353	13
40~60	$MP_{40-60} = 0.3509 VR + 0.1063$	0.2292	13
60~80	$MP_{60-80} = 0.5703 VR + 0.0305$	0.4414	13
80~100	$MP_{80-100} = 0.4939 VR + 0.0212$	0.5669	12
100~120	$MP_{100-120} = 0.4141 VR + 0.0363$	0.7194	7

4 结论与讨论

大量石砾的存在对土壤大孔隙形成具有重要作用。石砾体积含量增加导致土壤大孔隙的平均半径增大, 特别是导致半径 > 1.4 mm 的大孔隙密度的增加, 同时使大孔隙的体积呈增大趋势, 说明石砾含量主要影响较粗的大孔隙, 而对较小的大孔隙影响较小。此外, 总体上随土层的加深, 石砾对大孔隙度的影响增强。

土壤大孔隙的形成原因是多样的, 包括土壤动物挖掘、植物根系穿插、土壤冻融和干湿交替过程、

化学风化等<sup>[23]</sup>。而就六盘山香水河小流域而言, 石砾可能通过多种途径参与土壤大孔隙形成, 如在坡积物积累过程中的架空作用、石砾的风化、松散页岩石砾的冻融等。而由于土壤不同深度上石砾含量的空间变异, 在上层土壤石砾含量相对较低, 同时受动植物、枯落物等生物因素的影响, 石砾所起作用相对弱化, 而生物作用相对较强; 而下层土壤由于植物根系、土壤动物活动相对较少, 石砾含量又较大, 所以石砾对大孔隙的作用更强, 甚至主要受石砾因素的影响。因此可以肯定地说, 六盘山地区土壤的大孔隙明显同时受到生物因素和石砾含量因素的影响。

## 参考文献 (References)

- [1] Poesen J., Lavee H. Rock fragments in top soils: significance and processes [J]. *Catena*, 1994, 23: 1~28
- [2] Cousin I., Niquilaud B., Coutadeur C. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil [J]. *Catena*, 2003, 53: 97~114
- [3] Fu S. H. Effect of soil containing rock fragment on infiltration [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19 (1): 171~175 [符素华. 土壤中砾石存在对入渗影响研究进展 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (1): 171~175]
- [4] Torri D., Poesen J., Monaci F., *et al* Rock fragment content and fine soil bulk density [J]. *Catena*, 1994, 23: 65~71
- [5] Valentín C. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa [J]. *Catena*, 1994, 23: 87~97
- [6] Ingeño F., Cuadrado S., Ibañez A., Hernández J. Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content: implications for runoff and vegetation [J]. *Catena*, 1994, 23: 73~85
- [7] Pérez F. L. Conservation of soil moisture by different stone covers on alpine talus slopes (Lassen, California) [J]. *Catena*, 1998, 33: 155~177
- [8] Brakensiek D. L., Rawls W. J. Soil containing rock fragments effects on infiltration [J]. *Catena*, 1994, 23: 99~110
- [9] Descroix L., Viamontes D., Vauclin M. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico) [J]. *Catena*, 2001, 43: 115~135
- [10] Cerdà A. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion [J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52: 59~68
- [11] Li Y., Gao M., Wei C. F., *et al* Spatial distribution of Rock fragment and its influences on soil hydrological processes [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22 (5): 271~276 [李燕, 高明, 魏朝富, 等. 土壤砾石的分布及其对水文过程的影响 [J]. 中国农学通报, 2006, 22 (5): 271~276].
- [12] Flint A. and Childs S. Physical properties of rock fragments and their effect on available water in skeletal soils [A]. In: D. Kral (Editor). *Erosion and Productivity of soils containing rock fragments* 13 [C]. Soil science society of America, Madison, WI, 1984, pp 91~103
- [13] Espeby, B. Water flow in a forested till slope: Field studies and physically based modeling. Report 1052. Triakut series. Department of Land and water resources [R]. Royal institute of Technology, Stockholm, 1989, pp. 1~33
- [14] Rawls W. J., Stone J. J., Brakensiek D. L. Infiltration. In: USDA - Water Erosion prediction project hillslope profile version NSER1 Report Number 2, National soil erosion research laboratory, USDA - ARS West Lafayette [R], IN, Ch. 4, 1989, pp 47
- [15] Eriksson C. P., Hohngren P. Estimating stone and boulder content in forest soils-evaluating the potential of surface penetration methods [J]. *Catena*, 1996, 28: 121~134
- [16] Yang Z., Xiong D. H., Zhou H. Y., *et al* Forest growth and rainfall infiltration on the slopes of the arid and hot valleys with different composing of soil and rock fragments [J]. *Science in China. Ser. E Technological Sciences*, 2003, 33 (suppl): 85~93 [杨忠, 熊东红, 周红艺, 等. 干热河谷不同岩土组成坡地的降水入渗与林木生长 [J]. 中国科学 (E辑), 2003, 33 (增刊): 85~93]
- [17] Fies J. Recherche d'une interpretation texturale de la porosité des sols [J]. *Ann. Agron.*, 1971, 23 (3): 655~685
- [18] Department of Sci & Tech., Ministry of Forestry. The Fix Position Research Methods of Forestry Ecology [M]. Beijing: Chinese Sci & Tech. Press, 1994: 98~100 [林业部科技司编. 森林生态系统定位研究方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 98~100]
- [19] Radubovich R., Sobrozan E., Sollins P. Soil macropore size distribution from water breakthrough curves [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1989, 53: 556~559
- [20] Shi H., Chen F. Q., Liu S. R. Macropores properties of forest soil and its influence on water effluent in the upper reaches of Minjiang River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (3): 507~512 [石辉, 陈凤琴, 刘世荣. 岷江上游森林土壤大孔隙特征及其对水分流出速率的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25 (3): 507~512]
- [21] Miller E. T., Guthrie R. L. Classification and distribution of soils containing rock fragments in the United States [J]. *Soil Sci. Soc. Am. Spec.*, 1984, 13: 1~6
- [22] Shi Z. J. The Eco-hydrological Effects of Hillslope Forest/Vegetation in the Small Watershed of Xingshuihe Liupan Mountains. Doctoral Dissertation of the Chinese Academy of Forestry [D]. 2006: 60~71 [时忠杰. 六盘山香水河小流域森林植被的坡面生态水文影响 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2006: 60~71]
- [23] Beven, K., Germann P., Macropores and water flow in soils [J]. *Water Resource Research*, 1982, 18 (5): 1311~1325

# Effect of Rock Fragments on the Formation of Soil Macroporosity of Typical Vegetation in Liupan Mountains of Northwest China

SHI Zhongjie<sup>1, 2</sup>, WANG Yanhu<sup>1</sup>, XU Lihong<sup>2</sup>, XING Wei<sup>2</sup>, YU Pengtao<sup>2</sup>, XU Daping<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China;

2. Research Institute of Forestry Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract** The occurrence of plentiful rock fragments embedded in the soil has a very important role in the formation of macropore in the Liupan Mountains of Northwest China. In order to understand and appraise the potential effect of rock fragment on the macropore formation deeply, the variety of the contents of rock fragments and macroporosity and their effects of rock fragments on the macroporosity and the radius and density of macropore are studied in the Liupan Mountains and the results indicate that the increase of the volumetric content of rock fragment in the soil induces the size of macropores mean radius and the spread of volumes of single macropores, especially the increase of density of macropore with radius  $> 1.4$  mm, but its content has very little effect on the density of macropores with radius  $< 1.4$  mm. Generally, the effect of rock fragments on the macroporosity becomes higher and higher with increasing soil depth and we can conclude that the formation of macropore in the Liupan Mountains is affected evidently by the biological factors and rock fragments.

**Key words** soil macropore; macroporosity; rock fragment; Liupan Mountains

## 封面照片: 长白山天池

长白山, 位于吉林省东南部, 为中、朝两国界山, 是一座休眠火山, 山顶部几乎全由火山灰和淡黄色浮岩组成, 形成奇异的火山地貌, 其主峰白头山, 海拔 2 691 m。长白山天池为火山口湖, 是长白山最著名的景观, 为火山作用停止后, 火山口内接受大气降水和地下水的不断补给, 蓄水而成湖。天池周围群峰屹立, 其中超过 2 500 m 的山峰就有 16 座, 山峰陡峭嵯峨, 挺拔峻秀, 与碧绿的湖水交相辉映, 美不胜收。天池还是松花江、鸭绿江和图们江等河流的源头, 其水面海拔高达 2 150 m。

(山水)