

# 土壤中砾石含量的测定方法研究进展<sup>①</sup>

解迎革, 李霞\*

(西北农林科技大学理学院生物物理研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 石质土壤中含有大量砾石, 大量砾石的存在会影响土壤理化特性和水力特性。土壤中砾石含量的研究会影响土石介质的生产力评估、水文及风化过程的研究水平。本文主要介绍了国内外土壤中砾石含量的现有测定方法, 对环刀取样法、挖坑法、Viro 插钎法,  $\gamma$  射线法、探地雷达及电阻率断层扫描技术的实际应用进行了讨论。在实际研究中应根据实际情况选择合适的砾石含量测定方法。土壤中砾石含量的测定应该引起国内相关研究的重视, 为土壤研究提供重要信息并为土壤学研究水平的提高提供帮助。

**关键词:** 土壤; 砾石; 含量; 测定

**中图分类号:** S152.3

土壤中砾石 (rock fragment) 根据其尺寸和外形在不同的分类系统中有不同的定义, 通常认为直径  $> 2$  mm, 相对独立、不易破碎的矿物质颗粒为砾石<sup>[1]</sup>, 含砾石的土壤称作石质土壤 (stony soils)。石质土壤的分布较为广泛, 西欧土壤表面砾石含量大约为 30%, 在地中海地区土壤表层砾石含量甚至达到 60% 以上<sup>[2]</sup>。我国不同地区的粗骨土、紫色土、寒冻土、冲击土、湖岸土及戈壁土中, 砾石的岩性不同且具有不同的分布特征<sup>[3]</sup>。北京山区粗骨褐土中, 荒草地土壤表层的砾石含量达到 22% 以上<sup>[4]</sup>。土石山区在黄土高原亦大量分布, 总面积达到 13.3 万  $\text{km}^2$ <sup>[5-6]</sup>。

土壤表面和表层中砾石的含量和种类使得石质土壤同细土 (fine earth) 的理化特性存在显著差异<sup>[2, 7]</sup>。土壤中砾石的存在会影响温度等物理特性<sup>[8]</sup>, 由于砾石存在而产生的大孔隙会对土壤水分特性产生影响, 包括入渗、蒸发、再分布等方面; 砾石的存在对土壤各种化学特性如土壤碳、氮等各种元素含量及溶质运移过程也会产生较大影响<sup>[9-10]</sup>; 此外对于土地利用和生产力等影响也比较显著<sup>[7]</sup>。然而, 在研究土壤水分运动特性的时候, 通常不考虑砾石的影响, 这就使得土壤水文相关指标的研究存在较大误差<sup>[11]</sup>。由于较小的比表面积, 砾石对土壤化学过程的影响也常忽略不计<sup>[12]</sup>。实际上砾石占据了土壤的部分体积, 对于土壤理化特性的量化如果对应于土壤中的细土成分, 忽略砾

石会使得这些指标的量化不能反映其实际情况<sup>[13]</sup>, 另外由于砾石岩性的差异, 某些种类的砾石会具有不可忽略的持水能力和含有一定含量的元素<sup>[14]</sup>。精准农业实践中农田土壤养分和水分的空间变异性也会由于砾石的存在而变得更复杂, 对于精准农业水平的提高有必要对土壤中砾石含量进行测量, 从而对灌溉和施肥决策及手段的制定提供重要的参考。

当土壤中砾石含量达到一定程度, 砾石会在很大程度上改变土壤结构, 进而对土壤中的物理、化学和生物特性都会产生影响, 砾石含量是评价这些影响最重要的参数之一。客观、精确地测定土壤中砾石含量是一直困扰从事土壤研究人员的一个难题<sup>[12]</sup>, 导致关于石质土壤中相关计算和量化过程中由于砾石含量及其误差的信息缺失而缺乏可信度。砾石含量及其空间变异性相关信息的把握将会极大改善现有土壤生产力模型、水文和风化模拟的研究水平<sup>[15]</sup>。

对土壤中砾石的含量定量化研究具有重要的理论意义和应用价值, 日益受到广泛重视。国外学者就土壤中砾石含量的测定及研究方法取得一些成果, 本文主要针对国外研究做一评述, 为国内该领域的相关研究提供借鉴。

## 1 砾石含量的表示方法

表层土壤中砾石相对含量最常用的 3 种表述方法

<sup>①</sup>基金项目: 西北农林科技大学博士科研启动费项目 (Z111020905) 资助。

\* 通讯作者 (lixia1028@sohu.com)

作者简介: 解迎革 (1976—), 男, 山西平陆人, 讲师, 博士研究生, 主要从事土壤物理学方面的研究。E-mail: xiyingge1976@gmail.com

包括: ①土壤表面砾石覆盖度 ( $R_c$ ); ②砾石体积含量 ( $R_v$ ); ③砾石质量含量 ( $R_m$ )。土壤表面砾石覆盖度用砾石地上部分投影面积与地表面积的比值来表示, 它可以通过视测法测定, 也可以通过激光扫描或拍照获取地表图像信息, 然后通过图像处理软件获取砾石覆盖度<sup>[16-17]</sup>。Zhu 和 Shao<sup>[18]</sup>通过将数码相机垂直固定在土表 1.5 m 上方, 采用软件 Image J 处理照片获得土壤表面砾石覆盖度和尺寸, 此方法的最大相对误差为  $(0.7 \pm 0.8) \%$ , 可以达到所需要的精度要求。视测法在砾石粒径 ( $>76 \text{ mm}$ ) 和覆盖度大的地方比较适用, 对于小的碎石, 视测变得十分困难, 尤其是砾石含量不高时测定结果可能与实际情况有较大差异<sup>[13]</sup>。

土壤中砾石体积含量  $R_v$  为砾石体积和包括砾石与细土的土壤体积的比值, 质量含量  $R_m$  为砾石质量和石质土壤总质量的比值。二者可以通过以下公式实现相互转换<sup>[19]</sup>:

$$R_v = R_m \cdot BD_t / BD_{rf} \quad (1)$$

式中,  $BD_t$  和  $BD_{rf}$  分别对应于土壤体积质量和砾石体积质量, 相应的  $R_m$  可以由  $R_v$  求得<sup>[20]</sup>。然而在进行二者转换过程中需谨慎, 砾石体积质量  $BD_{rf}$  通常采用  $2.65 \text{ g/cm}^3$ , 此数值仅在砾石内部没有孔隙时适用, 实际上由于风化过程会产生内部孔隙, 使得土壤中的砾石体积质量数值小于此值。砾石风化程度与砾石大小关系密切, 砾石越小风化程度越重, 这实质上是由于较小砾石的表面积和体积比值较大。风化程度较重的砾石表现出: 孔隙度大, 阳离子交换量高和碳氮含量高等特点<sup>[19]</sup>。

## 2 砾石含量的测定方法

砾石的质量含量  $R_m$  可以通过筛重法测定, 首先对采样区域的土壤样品中的砾石和细土部分进行筛分, 干燥后被分别称重进行计算得到质量含量。砾石的体积通过排水法得到, 可以计算得到砾石的体积质量。所取出的土壤中细土部分体积可由其质量和其体积质量计算得到, 细土的体积质量通过环刀所取出未扰动土部分计算得到。最终可以根据 (1) 式实现  $R_m$  和  $R_v$  之间的转换。实际操作过程中, 由于砾石的尺寸较大, 取样小会使得取样代表性差, 取样大会使工作强度相应增大。另外, 砾石的存在使环刀取样来进行细土体积质量的测定变得困难。鉴于以上原因, 砾石体积含量  $R_v$  的测量成为众多学者特别关注的问题之一。下面就重点对土壤砾石体积含量  $R_v$  的测定方法进行评述。

### 2.1 环刀取样法

在石质土壤进行环刀取样是土壤学研究者经常遇

到的难题, 很难将环刀压进石质土壤中, 并且在这个过程中, 环刀很容易被小的砾石损坏。当环刀遇到砾石时可能无法采集位于环刀边缘的砾石, 这一点在砾石体积较大和含量较高时尤其明显<sup>[21]</sup>。此外, 环刀取样的土壤体积有限, 样本对于石质土壤的代表性较差。尽管如此, 此方法对于砾石含量不高, 且砾石本身体积较小的土壤仍是一种简捷快速测定  $R_v$  的好方法。

### 2.2 挖坑法

坑法法是最直接和最普遍使用于测定  $R_v$  的测定方法<sup>[12-13]</sup>。通过挖坑取出含砾石土壤, 砾石体积可采用排水法得到, 显然, 从坑中采取出来的介质体积或坑的容积对最终的  $R_v$  计算结果影响极大, 如何得到尽可能准确的介质体积从而尽可能减小误差是此方法关键。在挖坑过程中尽可能地保证所挖的圆柱形或立方体型坑比较规则, 坑壁竖直并且底部平整, 最后可以通过尺子测量各部位维度计算得到挖出介质体积<sup>[22-23]</sup>。坑壁上会有突出砾石 (图 1), 突出砾石体积估计可通过取出并用排水法得到突出部分体积, 此方法会由于较大尺寸砾石的存在使得挖掘过程中劳动强度大并且很难能保证坑壁和底部平整<sup>[24-25]</sup>。

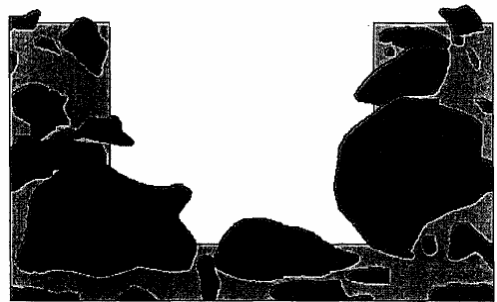


图 1 挖坑截面图 (小心取出突出坑壁的砾石并测定体积)

Fig. 1 A schematic cross-section of a pit

如果试验场地允许且运输不是很困难的话, 置换法可以用来解决上述体积的测量问题。置换材料可以是土壤团粒、水、沙子、石蜡、塑料球等。用土壤团粒取材方便, 但是容易变紧实, 测定值往往偏高<sup>[26]</sup>; 水做置换材料要求预先铺上塑料布这需要移去那些可能会扎破它的砾石尖角或粗树根, 另外水作为置换材料只适用于地表水平的情况, 这对于大多处于坡地的石质土壤是不适用的; 沙子是一种不错的选择, 但由于自身塑性, 只能在坡度不太大的情况使用, 另外在取样比较大时, 搬运比较费力<sup>[12, 27-28]</sup>; 石蜡便于携带, 但其凝固前取样需要 8~24 h, 比较费时<sup>[29]</sup>; 塑料球、乒乓球甚至狗粮作为置换材料便于携带、方便回收也

可以测定体积较大的样本并且适用于任意坡度石质土壤砾石含量的测定<sup>[12]</sup>。所挖坑的剖面会有砾石露出，可以通过剖面表达法来直观估计砾石的出现频率，此方法被证明易于低估砾石含量，它的精度仅对于大的砾石 (>76 mm) 可以接受<sup>[24]</sup>。

石质土壤大多处于山地林区，采样点远离道路，大型挖掘工具难以接近，置换材料等运输较为困难，实地测定过程中挖坑法的最大缺点是破坏土壤结构，不能重复测定和校验。除此以外，为了保证采样点的代表性需要增加采样点的数目<sup>[30]</sup>；为了保证测定精度对于较大尺寸的砾石需要增大坑的体积，这些因素决定挖坑法实际操作费时耗力，劳动强度大。

### 2.3 Viro 插钎法

挖坑法这种破坏式的采样方法会阻碍在所挖坑进行的下一步实验观察，因此许多学者采用非破坏式的砾石含量测定方法<sup>[12]</sup>，这些方法中 Viro<sup>[31]</sup>所提出的插钎法得到广泛应用，该方法可快速地对表层土壤中砾石体积含量进行较精确的测量。其原理是插入细的金属钎到含砾石土壤中，直到碰到砾石而无法插得更深停止，由于金属钎插入土壤的平均深度与砾石含量存在一定关系，称为“砾石指数 (the stoniness-index)”，利用此关系就可以知道土壤的砾石含量。Eriksson<sup>[12]</sup>对这一方法做了检验，认为这种方法所测定的砾石含量只反映土壤的上层状况，且仅在砾石含量 < 50% 才具有一定精度，当砾石含量 > 50% 时测定结果精度较差。砾石体积含量较高时，砾石含量的变化不会对钢钎插入土壤的平均深度产生较大影响，即使体积含量从 85% 变化到 70%，钢钎遇到靠近表层的砾石可能性仍然很高。此外，必须测量足够的次数才能保证测定结果不致产生太大误差<sup>[12]</sup>。

### 2.4 $\gamma$ 射线法

$\gamma$  射线法包括单探头散射法和双探头传导法。前者需要挖坑测定砾石含量进行校正，后者则可独立同时测定土壤砾石含量、体积质量和含水量，砾石含量显著影响石质土壤的含水量，而  $\gamma$  射线在石质土壤中穿透不受土壤含水量的影响而保持恒定，因此比较适用于石质土壤中一些物理特性的测定<sup>[32]</sup>。双探头  $\gamma$  射线探测仪用于土壤中砾石含量测量时，一定体积的土壤介质体积质量  $\rho_b$  被测定，通过挖坑测定该体积部分的细土质量  $m_f$  和砾石质量  $m_r$ ，通过计算砾石密度  $\rho_r$ ，这样土壤砾石体积含量  $R_v$  可由 (2) 式得到<sup>[33]</sup>：

$$R_v = \frac{\rho_b m_r}{\rho_s (m_r + m_f)} \quad (2)$$

该方法田间测定时可通过逐层测量得到整个采样点的  $R_v$ ，每次深度增加最小为 2.5 cm。 $\gamma$  射线法在使用前要进行校正，但是在砾石尺寸和含量空间变异大的地方校正比较困难，而且放射性元素对人体有一定危害，设备比较重，在远离公路的地方不便应用。

### 2.5 探地雷达法 (ground penetrating radar, GPR)

上述 4 种砾石含量测定技术基于采样点的选取而且研究的是有限体积范围内的土石介质，目前广泛使用的一些地球物理探测技术基于无损探测、可以对较大尺寸范围的土壤物化特性进行研究。这些方法中，数字雷达系统由于分辨率较高和操作方便等优点，在诸如地下水资源评价、矿产探测、考古研究和环境研究等方面得到了广泛应用<sup>[34]</sup>。该技术在过去 10~15 年的发展使其可应用于地表下几十米范围内的地球介质研究。雷达波具有波的传播特点和规律，其中一个突出的特点是雷达波遇到不同介电常数的两种物质界面会发生反射。GPR 就是通过发射和接受高频率、短脉冲电磁波 (10 MHz~2.5 GHz)，接收到的反射电磁波经过处理后，以伪彩色电平图或波形堆积图的方式显示出来。经事后处理，可用来分析和推断地下介质结构和地层岩石特性。

土壤内部各组成之间介电特性的差异是 GPR 探测的先决条件。由于植物根系含水量一般高于土壤基质，致使两者介电常数产生较大差异，GPR 已经被证明是可以用于对植物根系进行探测和研究的潜在工具，研究表明此方法可以绘制出根径大于 3 cm 的粗根的分布形态图，准确率可达到 80%，越粗的根越容易探测，而且只有当雷达扫描方向与根的伸展方向垂直时，才能准确测量出根径的大小，对于竖根和根径小于 20 mm 的细根及根与根之间的交叉或重叠部分无法识别<sup>[35]</sup>。

石质土壤内部细土和砾石介电特性的差异明显，Jol<sup>[36]</sup>提出用雷达波代替探头测定砾石含量，雷达波发射和接受探头可以安置在地下不同深度，既可以测定水平方向，也可以测定垂直方向的砾石含量。GPR 在被应用于石质土壤的砾石含量研究时，较深层次岩石对电磁波的反射会被上层岩石的反射所掩盖，使得所得到图像不能反映石质土壤内部的真实情况，这一点和 Viro 插钎法相似。当砾石含量较高时，由于反射界面较多使得反射波形混乱，使得石质土壤并非 GPR 的理想探测环境。另外各种商业软件的使用可以获得高精度的 GPR 扫描图像，但其精度是否足够有效以区分砾石和细土值得怀疑<sup>[12]</sup>。

## 2.6 电阻率断层扫描法 (electrical resistivity tomography)

各种地球物理探测方法的基本原理是通过无损探测来收集探测体积内介质的特性信息, 其中, 基于电学特性的手段由于土壤的理化特性(质地、盐性、含水量、结构等)可以与其电学特性紧密联系因此具有广泛应用前景<sup>[37]</sup>。电阻率影像法以其观测密度大、分辨率高等优点得到了广泛的应用。电阻率(其倒数为电导率, 土壤物理学研究者多采用电阻率而土壤化学研究多采用电导率)是一个田间易于测量的地球物理学参数, 自然界中各种介质的电阻率值具有较大的变化范围, 黏土电阻率值在  $1 \Omega \cdot m$  左右, 而对于一些岩石如石灰岩和花岗岩, 其电阻率值高达  $10^4 \Omega \cdot m$ <sup>[38]</sup>。

电阻率断层扫描的目的是通过在地表的电学测量, 测量数据通过商用软件的计算机反演最终得到地表下各点的电阻率实际数值及其分布情况。电阻率断层扫描技术已从最初的一维发展到二维直至目前广泛使用的三维扫描, 所获得的电阻率数值可以和土壤的理化特性如水分状况、肥力、结构、质地等通过经验公式联系起来<sup>[39-40]</sup>。Dahlin<sup>[41]</sup>对这一方法有较详细的介绍。

土壤电阻率数值与其内部电阻率较大的岩石、孔隙等及其内部电阻率较小的水源、受污染区域等比较敏感, 利用这点可以对土壤内部存在的侵入物的含量进行评估。对于土壤中砾石含量的相关研究大多基于假设侵入物的电阻率数值无穷大<sup>[42-43]</sup>, 实际上土壤中砾石总会由于孔隙的存在而含有一定含量的水分使得其电阻率并非趋于无穷大。Bussian<sup>[40]</sup>假设土壤为二相介质, 提出对土壤内部砾石含量进行估计的模型。电阻率为  $\rho_{RF}$  的砾石镶嵌于电阻率为  $\rho_{FE}$  的连续性分布细土中,  $\rho$  为土石介质的等效电阻率, 那么土石介质中的细土体积含量  $\varphi_{FE}$  可通过下式确定:

$$\varphi_{FE} = \frac{\left(\frac{\rho}{\rho_{FE}}\right)^{\frac{1}{m}} - \left(\frac{\rho_{FE}}{\rho_{RF}}\right)\left(\frac{\rho}{\rho_{FE}}\right)^{\frac{(m-1)}{m}}}{1 - \frac{\rho_{FE}}{\rho_{RF}}} \quad (3)$$

土壤中离散分布的砾石体积含量可由:  $\varphi_{FE} = 1 - \varphi_{RF}$  确定。式中  $m$  称为胶结因子 (cementation factor), 它的数值由侵入物的形状所决定, 在球形砾石其数值为 1.2 而对于片状外形其数值为 1.9 的范围内变化, 一个可能的解释是它的数值随着介质内传导路径的曲折程度而增加<sup>[44]</sup>。

Rey等<sup>[45]</sup>通过研究证明电阻率断层扫描方法实际操作过程中, 当电极间距达到砾石尺寸半径 8 倍以上

时得到的电阻率值为土石介质的等效电阻  $\rho$ , 他们测定了采自实验点的细土样品电阻率  $\rho_{FE}$  和砾石样品电阻率数值  $\rho_{RF}$ , 通过数值模拟和野外实验, 根据 Bussian 模型证明了电阻率断层扫描方法获得的砾石体积含量与实际情况相符。解迎春等<sup>[46]</sup>利用数值模拟方法, 对电阻率断层扫描法应用于土壤中砾石体积含量估计进行了研究, 结果验证了其可适用性并指出该方法田间使用的适宜条件。由于细土和砾石电阻率数值会由于实地含水量的变异性使得他们各自数值在一定范围内波动, 从而影响对最终砾石含量估计的精度, 因此这种方法可以在多大的误差范围内对土壤中砾石含量进行估计仍需进一步研究。

## 3 结论与建议

对于土壤中砾石含量的评估在国内相关问题的研究中目前没有得到足够的重视。土壤中砾石含量的量化研究水平对于土壤中所进行的水文过程、溶质运移过程及土壤元素库的研究具有重要的意义, 砾石含量的量化对于精准农业管理系统中水、肥的管理水平, 石质土地和林地生产力水平评估具有指导意义。

SPAC 系统中土壤是重要的基石, 对于这种复杂的介质内部砾石含量的估计需要根据具体目标和当地实际而选用合适的测量手段, 而且可以通过多种手段平行使用相互验证, 可以为土壤学研究水平的提高提供帮助。

## 参考文献:

- [1] Miller FT, Guthrie RL. Classification and distribution of soils containing rock fragments in the United States. Soil Science Society of America Journal, 1984, 13: 1-6
- [2] Poesen J, Lavee H. Rock fragments in top soils: Significance and processes. Catena, 1994, 23: 1-28
- [3] 李燕, 魏朝富, 刘吉振, 柴勇, 陈兰. 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
- [4] 符素华, 段淑怀, 刘宝元. 密云石匣小流域土地利用对土壤粗化的影响. 地理研究, 2001, 20(6): 697-702
- [5] 刘东生. 黄河中游黄土结构. 北京: 科学出版社, 1996
- [6] 侯庆春. 神木试区自然条件及环境整治综合分析. 水土保持研究, 1993(2): 136-144
- [7] Sauer TJ, Logsdon SD. Hydraulic and physical properties of stony soils in a small watershed. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(6): 1947-1956
- [8] Mehuis GR, Stolzey LH, Letey J, Weeks LV. Effects of stones on hydraulic conductivity of relatively dry desert soils. Soil Science

- Society of America Journal, 1975, 39(1): 37-42
- [9] Zhou BB. Effects of rock fragments on water movement and solute transport in a Loess Plateau soil. *Surface Geosciences*, 2009, 341: 462-472
- [10] Giacomo C, Colin DC, Anthony C. Rock fragments in soil support a different microbial community from the fine earth. *Soil Biology & Biochemistry*. 2004, 36: 1119-1128
- [11] Cousin I, Nicoullaud B, Coutadeur C. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. *Catena*, 2003, 53(2): 97-114
- [12] Eriksson CP, Holmgren P. Estimating stone and boulder content in forest soils-evaluating the potential of surface penetration methods. *Catena*, 1996, 28: 121-134
- [13] Stendahl J, Lundin L, Nilsson T. The stone and boulder content of Swedish forest soils. *Catena*, 2009, 77(3): 285-291
- [14] Corti G, Ugolini FC, Agnelli A, Certini R, Cunliglio R. The soil skeleton, a forgotten pool of carbon and nitrogen. *European Journal of Soil Science*, 2002, 53: 283-298
- [15] Grayson RB, Moore ID, McMahon TA. Physically based hydrologic modeling. 1. A terrain-based model for investigative purposes. *Water Resour. Res.*, 1992, 28: 2639-2658
- [16] Grahah DJ, Reid I, Rice SP. Automated sizing of coarse grained sediments: Image-processing procedures. *Mathematical Geology*, 2005, 37(1): 1-28
- [17] Chen HS, Liu JW, Wang KL, Wei Z. Spatial distribution of rock fragments on steep hillslopes in karst region of northwest Guangxi, China. *Catena*, 2011, 84: 21-28
- [18] Zhu YJ, Shao MA. Spatial distribution of surface rock fragment on hill-slopes in a small catchment in wind-water erosion crisscross region of the Loess Plateau. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 2008, 51(6): 862-870
- [19] Childs SW, Flint AL. Physical properties of forest soils containing rock fragments // Gessel SP, Lacate GFW, Power RF. *Sustained Productivity of Forest Soils*. Vancouver, B.C.: University of British Columbia, Faculty of Forestry Publ., 1990: 95-121
- [20] Torri D, Poesen J, Monaci F, Busoni E. Rock fragment content and fine soil bulk-density. *Catena*, 1994, 23(1/2): 65-71
- [21] Flint AL, Childs S. Development and calibration of an irregular hole bulk density sampler. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48: 374-378
- [22] Canary JD, Harrison RB, Edmonds RE, Chappell HN. Carbon sequestration following repeated urea fertilization of second-growth Douglas-fir stands in western Washington. *Forest Ecological Management*, 2000, 138: 225-232
- [23] Huntington TG, Ryan DF, Hamberg SP. Estimating soil nitrogen and carbon pools in a northern hardwood forest ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52: 1162-1167
- [24] Alexander EB. Volume estimates of coarse fragments in soils: A combination of visual and weighing procedures. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1981, 36: 360-361
- [25] Buchter B, Hinz C, Flühler H. Sample size for determination of coarse fragment content in a stony soil. *Geoderma*, 1994, 63: 265-275
- [26] Shipp RF, Matelski RP. Bulk-density and coarse-fragment determination on some Pennsylvanian soils. *Soil Science*, 1965, 99: 392-397
- [27] Holscher D, Hertel D, Koenies H. Soil nutrient supply and biomass production in a mixed forest on a skeleton-rich soil and an adjacent beech forest. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2002, 165: 668-674
- [28] Harrison RB, Adams AB. Quantifying deep-soil and coarse-soil fractions: Avoiding sampling bias. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67(5): 1602-1606
- [29] Page-Dumroese DS, Jurgensen MF. Comparison of methods for determining bulk densities of rocky forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63: 379-383
- [30] Buchter B, Hinz C. Sample-size for determination of coarse fragment content in a stony soil. *Geoderma*, 1994, 63(3/4): 265-275
- [31] Viro PJ. On the determination of stoniness. *Summary. Commun. Inst. For. Fenn.*, 1952, 40(3): 1-19
- [32] Baker JM, Lascano RJ. The spatial sensitivity of time-domain reflectometry. *Soil Science*, 1989, 147: 378-384
- [33] Fleming RL, Black TA, Eldridge NR. Water content, bulk density, and coarse fragment content measurement in forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57: 261-270
- [34] Knight R. Ground penetrating radar for environmental applications. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2001, 29: 229-255
- [35] 崔喜红, 陈晋, 关琳琳. 探地雷达技术在植物根系探测研究中的应用. *地球科学进展*, 2009, 24(6): 606-611
- [36] Jol HM. Ground-penetrating radar antennae frequencies and transmitter powers compared for penetration depth, resolution and reflection continuity. *Geophysical Prospecting*, 1995, 43(5): 693-709
- [37] Samouëlian A, Tabbagh A, Bruand A, Richard G. Electrical resistivity survey in soil science: A review. *Soil & Tillage Research*, 2005, 83: 173-193
- [38] Revil A, Glover PJ. Nature of surface electrical conductivity in

- natural sands, sandstones, and clays. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25(5): 691–694
- [39] Archie GE. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transactions of AIME Journal*, 1942, 146: 56–62
- [40] Bussian AE. Electrical conductance in a porous medium. *Geophysics*, 1983, 48(9): 1 258–1 268
- [41] Dahlin T. On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications (PhD thesis). Lund, Sweden: Lund Univeristy, 1993
- [42] Sen PN, Scala C, Cohen MH. A self-similar model for sedimentary rocks with application to the dielectric constant of fused glass beads. *Geophysics*, 1981, 46: 781–795
- [43] Mendelson KS, Cohen MH. The effect of grain anisotropy on the electrical properties of sedimentary rocks to the dielectric constant of fused glass beads. *Geophysics*, 1982, 47: 257–263
- [44] Jackson PD, Taylor SD, Stanford PN. Resitivity–porosity–particle shape relationships for marine sands. *Geophysics*, 1978, 43: 1 250–1 268
- [45] Rey E, Jongmans D, Gotteland P, Garambois S. Characterisation of soils with stony inclusions using geoelectrical measurements. *Journal of Applied Geophysics*, 2006, 58(3): 188–201
- [46] 解迎革, 李霞, 王国栋, 薛绪掌. 基于电阻率断层扫描技术的土壤砾石体积含量评估. *农业工程学报*, 2011, 27(7): 326–331

## Methodology on Rock Fragments Content Evaluation: A Review

XIE Ying-ge, LI Xia

(*Institute of Biophysics, College of Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

**Abstract:** Soils may contain large numbers of rock fragments in the soil matrix. Rock fragments affect physiochemical soil properties and hydraulic soil properties by their presence in soil matrix. Thus, quantifying the rock fragments can influence the assessment of productivity and research on hydraulic properties of stony soils. There are different methods now available for measuring the rock fragments content. The methodology and application of ring sampler, digging pits, Viro rod,  $\gamma$  attenuation and electrical resistivity tomography were discussed in this paper. Method should be favored according to the case of the studying field. More attentions should be paid to the measurement of rock fragments content, aiming at providing important information for soil study and improving the research level of soil science.

**Key words:** Soil, Rock fragments, Content, Measurement