

# 土壤压实指标在城市土壤评价中的应用与比较

杨金玲, 张甘霖, 赵玉国, 阮心玲, 何 跃

(中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

**摘 要:** 通过测定南京市不同土地利用下的 52 个样点的紧实度、容重和孔隙度 3 个压实指标来反映城市土壤的压实程度。结果表明, 南京市大多数土壤存在不同程度的压实, 部分压实严重, 可能限制植物的生长。不同压实指标在反映土壤压实程度上基本一致, 它们之间具有极显著的相关性, 可以相互转换。但紧实度指标受到土壤含水量的显著影响。在同一质地或质地相近的土壤, 容重和孔隙度可以很好地反映土壤的压实程度。与总孔隙度和毛管孔隙度相比, 通气孔隙度在反映土壤压实时更为敏感。所以在进行城市土壤压实状况评价时, 可以选择不同的土壤压实程度指标, 但就方法的实用性和可靠性来说, 容重比紧实度和孔隙度指标一般更方便可靠。

**关键词:** 城市土壤; 压实指标; 紧实度; 容重; 孔隙度

**中图分类号:** S152

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)05-0051-05

杨金玲, 张甘霖, 赵玉国, 等. 土壤压实指标在城市土壤评价中的应用与比较[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 51- 55

Yang Jinling, Zhang Ganlin, Zhao Yuguo, et al. Application and comparison of soil compaction indexes in the evaluation of urban soils[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 51- 55 (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

由于践踏和机械等原因, 城市土壤非常容易被压实。压实是城市土壤物理退化的一种非常重要的形式, 在城市里普遍存在<sup>[1,2]</sup>。土壤压实的直接后果是紧实度增加, 孔隙度降低, 容重增大<sup>[3]</sup>。由此可以带来土壤透气性、水分渗透性及饱和导水率减小, 土壤强度相应增加, 植物根系的穿透性阻力增大; 压实也导致了土壤中矿物质与水的接触面积减小, O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的扩散变慢<sup>[4]</sup>。由于这些因素的结合, 土壤压实将对城市生态系统产生不良的影响, 如减少地下水的自然回灌; 增加地表径流量<sup>[5]</sup>; 增加地表河流的污染物负荷<sup>[6]</sup>; 对城市气候参数的负面影响<sup>[7]</sup>; 使土壤中的温度、微生物活动、养分转化都变得异常<sup>[3,8]</sup>; 植物的生长受到严重的影响, 根系活力变弱, 根系量少, 苗木的成活率降低, 寿命缩短<sup>[9,10]</sup>。这些环境因素对城市生态系统都将产生极坏的影响, 降低人们的生活质量, 也不利于城市的持续发展。

土壤一旦压实, 若不实施根本的物理干扰, 就很难恢复到初始状态<sup>[2]</sup>。而且往往是植被生长以后就很难进行彻底的物理修复, 仅靠植物和土壤动物对压实进行修复是一个非常漫长的过程。

目前人们对城市土壤压实的研究刚刚开始, 在理论和方法上还处于探讨阶段。在表达城市土壤压实时采用的指标和方法还存在很多争议。本文以南京为例, 就不

同的压实指标在城市土壤的应用进行研究和比较, 供国内外进行相关研究的同行参考。

由于土壤压实的直接后果是紧实度增加, 孔隙度降低, 容重增大<sup>[3]</sup>。所以土壤紧实度、容重、孔隙度成为反映土壤压实的指标。实际上, 每个指标都有其自身的优点和局限性。

## 1 材料与方法

城市土壤主要零星地分布于城市不同的功能区绿地中, 本研究选择南京市主要的土地利用类型进行研究。选择的主要功能区类型有道路绿化带、行道树、城市公园、居民住宅区、学校、郊区; 主要的植被类型有草坪、树下草坪、树下灌木、菜地和裸地; 利用历史分为两个时段: 利用时间少于 5 年的新土壤和利用时间大于 20 年的老土壤。由于土壤的局部变异性较大, 为了更具有代表性, 在每种利用类型下至少选择 2~ 3 个点, 本研究共有 52 个采样点。由于城市土壤的压实主要在表层<sup>[11]</sup>, 所以主要采集表层 0~ 10 cm 的土壤样品。每个样点采集原状环刀三个, 用于测定容重、孔隙度和含水量, 同时采集 0~ 10 cm 的表层土壤样品和原状环刀, 野外实地测定采样点的土壤紧实度。土壤质地为黏壤土到砂壤土。

分析测定项目主要有: 土壤颗粒组成: 采用美国 COULTER (库尔特) 公司生产的 LS230 激光粒度仪测定; 土壤紧实度(硬度): 用土壤硬度仪(Spectrum Field-scout, SC900)野外实测; 土壤含水量: 烘干法; 土壤容重: 环刀法; 土壤比重: 比重瓶法; 土壤总孔隙度: 通过公式计算获得, 土壤总孔隙度% = (1 - 容重/比重) × 100; 土壤通气孔隙度: 首先测定土壤毛管水和土壤饱和水, 二者之差即是土壤重力水, 由于土壤重力水的比重为 1 g/cm<sup>3</sup>, 由此可以换算土壤的通气孔隙度; 土壤毛管孔隙度: 通过计算获得, 土壤毛管孔隙度 = 总孔隙度 - 通气孔隙度<sup>[12,13]</sup>。

## 2 结果与讨论

收稿日期: 2004-11-09 修订日期: 2004-12-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40235054); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-427)资助

作者简介: 杨金玲(1973-), 女, 山东烟台人, 助理研究员, 主要从事土壤发生和土壤地球化学研究。南京 中国科学院南京土壤研究所, 210008

通讯作者: 张甘霖(1966-), 男, 湖北通山人, 研究员, 博士, 主要从事土壤地理研究。南京 中国科学院南京土壤研究所, 210008。E-mail: glzhang@issas.ac.cn

### 2 1 土壤紧实度

由于土壤是土粒的集合体,所以土粒与土粒之间的结合力、凝聚力、土粒垒结状态等的综合作用使土壤具有某种“硬度”,这种硬度称为土壤的紧实度。所以土壤紧实度又叫土壤硬度、土壤强度、土壤穿透阻力。土壤被压实后,必然导致土壤紧实度增加,这是土壤压实最直观的表现,也是土壤结构重排、孔隙度减少的集中体现。

从表 1 南京市土壤的紧实度统计结果可以看出,紧实度最小为 182 kPa,最大为 3176 kPa,平均 1196 kPa。一般农田表层土壤的紧实度小于 500 kPa,达到 2.5 MPa 已经限制了根系生长<sup>[14,15]</sup>,3 MPa 被认为是根系生长的上限<sup>[16]</sup>。从图 1 土壤紧实度的分布图可以看出,在测定时的含水量情况下,只有 23.1% 土壤的紧实度小于 500 kPa,这其中的 58.3% 是城郊菜地。也就是说,城区只有 9.6% 的土壤属于未压实土壤。在压实土壤中有 11.5% 紧实度大于 2.5 MPa,已经限制了根系的生长;有 3.8% 大于 3 MPa,被认为根系已经无法生长。可见,大部分城市土壤紧实度较高,土壤被不同程度压实,部分城市土壤的紧实度非常高,土壤压实非常严重。

表 1 南京市研究点的土壤压实指标统计

Table 1 Statistics of soil compaction indexes of the study points in Nanjing City

压实指标	最小值	最大值	中值	平均值	标准差
紧实度/kPa	182	3176	950	1196	808
容重/g·cm <sup>-3</sup>	1.14	1.70	1.43	1.41	0.13
总孔隙度/%	37.9	56.6	46.3	47.4	4.58
毛管孔隙度/%	36.5	49.4	43.8	43.6	2.86
通气孔隙度/%	0.4	11.4	3.0	3.7	2.80

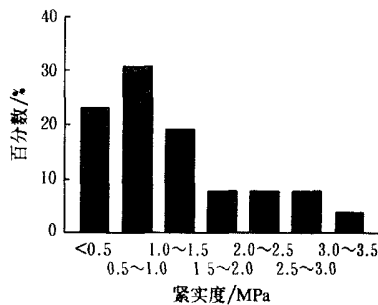


图 1 土壤紧实度分布图

Fig 1 Frequency distribution of direct compaction measurement (DCM)

紧实度虽然是土壤压实的一个重要的表现,而且其测定也非常简单快捷,但是目前很少有人将其作为衡量土壤压实的指标。这主要是因为土壤紧实度很大程度上受土壤水分含量的影响。对于同一土壤,水分含量越高,土壤的紧实度就越小。这是因为水的表面张力可以将土粒连接在一起,但水也可以作为润滑剂减轻物理摩擦力<sup>[2]</sup>,这样含水量就影响了剪切强度,使得土壤紧实度标准的应用受到很大限制。如果我们能够在同一含水量情况下测定土壤紧实度,或者建立土壤紧实度和含水量之间的关系,得到水分对紧实度的影响系数,就可以消除水分对紧实度的影响。这样,就可以采用简便的仪器

方便地进行土壤紧实度的测定。

由于测量时质地和含水量影响了剪切强度,所以土壤紧实度是衡量压实的相对不可靠的指标<sup>[17]</sup>。Jim 认为如果用紧实度作为评估土壤压实的指标,应当在田间含水量最小的情况下进行<sup>[2]</sup>。

我们于 2003 年在南京市绿地土壤上进行实验,研究土壤紧实度与土壤含水率的关系。在不同时段,测定同一点土壤的紧实度,同时测定其含水量,从而得到不同含水量下的土壤紧实度。其测定结果的关系图见图 2。从图中可以看出,随着含水率的增加,土壤紧实度呈直线下降。而且其斜率的绝对值非常大,这说明土壤水分含量对土壤紧实度影响程度极大。所以,我们在应用土壤紧实度指标时必须说明土壤的含水量,如果没有含水率的数据,仅有紧实度数据,并不能说明土壤是否压实,更不能体现土壤的压实程度。

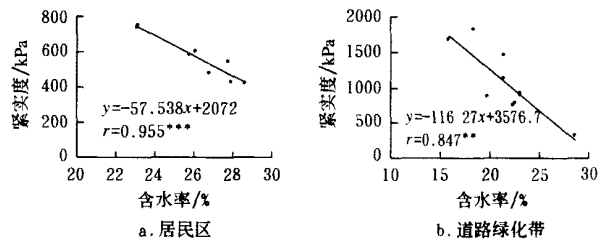


图 2 南京市绿地土壤紧实度与含水率的关系

Fig 2 Relationship between DCM and water content

如果要对土壤的压实程度进行空间对比,必须在同样含水量情况下比较,否则没有任何意义。目前,还缺乏对土壤紧实度与含水量之间关系的深入研究。如果采用修正曲线的话,必须考虑到土壤的结构、质地、有机质含量等与其有关的土壤其它性质,因为这些性质会影响到土壤紧实度与含水量之间的关系。从图 2a 在居民区的一个点上做的修正曲线与 b 在道路绿化带的一个点上做的修正曲线看,二者的系数相差非常大。如果在研究中,应用同样的修正曲线对不同的土壤进行修正的话,结果是同样含水量具有同样的紧实度,这显然是错误的。

也正是由于以上的局限性,使得土壤紧实度这一能够直观地反映土壤压实程度的指标应用不广泛。当然,如果在同样土壤上,同一含水量情况下,要比较土壤的压实程度,土壤紧实度指标还是非常方便、快捷和有效的。

### 2 2 土壤容重

单位容积土壤体(包括孔隙)的干重量,叫做容重。在土壤质地相似条件下,容重的大小可以反映土壤的压实程度<sup>[18]</sup>。容重小,表明土壤疏松多孔,结构性良好;反之,容重大则表明土壤紧实板硬而缺少团粒结构。土壤压实越严重,容重越大。所以人们一般用容重来反映土壤的压实程度。

容重数值的大小受土壤的质地、有机质、结构性和紧实度等土壤性质的影响。砂土容重较大;反之,黏土容重较小;壤土的情况,介于两者之间。土壤有机质含量

高, 团聚化良好, 形成具有多孔的团粒, 则孔隙度显著增大, 容重相应地减小。这样, 在不同的质地和结构性的土壤上, 土壤容重反映压实程度的精度受到一定的影响。

南京市 52 个样点土壤质地为黏壤土到砂壤土, 从表 1 南京市土壤的紧实度统计结果看, 容重最小为 1.14 g/cm<sup>3</sup>, 最大为 1.70 g/cm<sup>3</sup>, 平均 1.41 g/cm<sup>3</sup>。一般农地表层土壤容重为 1.3 g/cm<sup>3</sup>, Reisinger 等发现容重达到 1.4 g/cm<sup>3</sup> 已经成为根系生长的限制值<sup>[19]</sup>。Zisa 等的实验研究说明容重超过 1.6 g/cm<sup>3</sup> 树苗几乎不能成活<sup>[20]</sup>。从图 3 土壤容重的分布图可以看出, 我们在南京城市中不同土地利用上测定的数据表明, 大部分城区表层土壤容重大于正常土壤的容重, 大大超过植物生长发育所需要的理想值。只有 26.9% 土壤容重小于 1.3 g/cm<sup>3</sup>, 这其中的 35.7% 为城郊菜地土壤, 57.7% 的容重大于 1.4 g/cm<sup>3</sup>, 9.6% 的容重大于 1.6 g/cm<sup>3</sup>。可见, 南京市大多数土壤的压实影响了植物根系的生长, 部分可能引起幼树的死亡。管东生等在广州的研究也发现, 在晓港公园和流花湖公园, 由于树林下游人践踏, 其表土容重也超过了 1.6 g/cm<sup>3</sup><sup>[18]</sup>。Jim 在香港行道树土壤的研究也发现, 大多数土壤容重大于 1.3 g/cm<sup>3</sup>, 存在严重的压实现象<sup>[2, 21]</sup>。

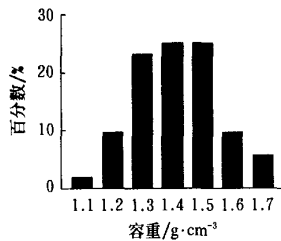


图 3 南京市采样点土壤容重分布图

Fig 3 Frequency distribution of soil bulk density (Bd) of the sampled points in Nanjing city

从测定的数据看, 土壤质地和结构对容重影响相对较小, 而土壤紧实度对其影响明显, 土壤压实越严重, 土壤容重越大。原状土容重具有好的准确程度和重现性, 实验室测定土壤容重的误差较小, 平行绝对误差小于 0.03 g/cm<sup>3</sup>。虽然野外同一土壤的空间变异较大, 但可以采用多取重复样品的方法来减少这一误差。一般一个样点的容重样品野外采样为 3~ 5 个重复, 在实验室测

定后取其平均值, 这样就具有较好的代表性了。因此, 容重是一个可靠和合适的压实的指标<sup>[2]</sup>。在质地、结构类似的土壤上, 容重可以很好地反映土壤的压实程度, 并可很好地进行空间上的比较。这也是人们通常用容重来反映土壤压实程度的主要原因。

### 2.3 土壤孔隙度

单位容积土壤中孔隙容积所占的分数或百分数, 叫做孔隙度。土壤孔隙的大小对于土壤本身的性质和土壤对植物、水分、空气等的作用是不同的。土壤孔隙按照粗细分级有许多方案, 目前尚无一致的看法。综合来看, 在压实研究中大体上把土壤孔隙分为毛管孔隙度和通气孔隙度。毛管孔隙具有毛管作用, 孔隙中水的毛管传导率大, 可供植物吸收利用。通气孔隙比较粗大, 孔隙中的水分可在重力作用下排出, 因而成为通气的过道, 非滞水条件下, 充满空气, 具有供氧和防止瞬时洪涝的作用。

孔隙度也是反映土壤压实的一个很好的指标。有研究表明, 如果压实不是过于强烈, 一些通气孔隙会通过微结构重组而转变成毛管孔隙; 如果严重压实, 大量孔隙的损失也将明显地消除一部分毛管孔隙<sup>[2]</sup>。土壤孔隙度仍然受到土壤质地和有机质含量的影响。对于未压实土壤, 黏土的孔隙度大, 以毛管孔隙为主; 砂土的孔隙度小, 但通气孔隙的比例相对较大; 壤土的孔隙度居中, 孔径分配较为适当, 既有一定数量的通气孔隙, 也有较多的毛管孔隙。由于有机质本身疏松多孔, 所以富含有机质的土壤孔隙度较高。

从表 1 南京市土壤的孔隙度统计结果看, 总孔隙度最小为 37.9%, 最大为 56.6%, 平均 47.4%; 毛管孔隙度最小 36.5%, 最大 49.4%, 平均 43.6%; 通气孔隙度最小 0.4%, 最大 11.4%, 平均 3.7%。一般适于植物生长发育的土壤总孔隙度为 50%~ 56%, 通气孔隙度在 10% 以上, 如能达到 15%~ 20% 则更好。总孔隙度低于 40% 就会严重限制通气性和根系的生长<sup>[22]</sup>, 从图 4 土壤孔隙度的分布图可以看出, 在南京的典型区域研究发现, 只有 28.8% 土壤总孔隙度大于 50%, 属于未压实土壤, 5.8% 的总孔隙度小于 40%。只有 5.8% 的通气孔隙度大于 10%, 34.6% 的通气孔隙度小于 2%。Jim 和 Judith 在香港行道树土壤的研究中也发现大部分样品的通气孔隙度是很低的 (< 10%)<sup>[21]</sup>。不论总孔隙度, 还是通气孔隙度指标都说明南京市土壤压实普遍而且较严重。

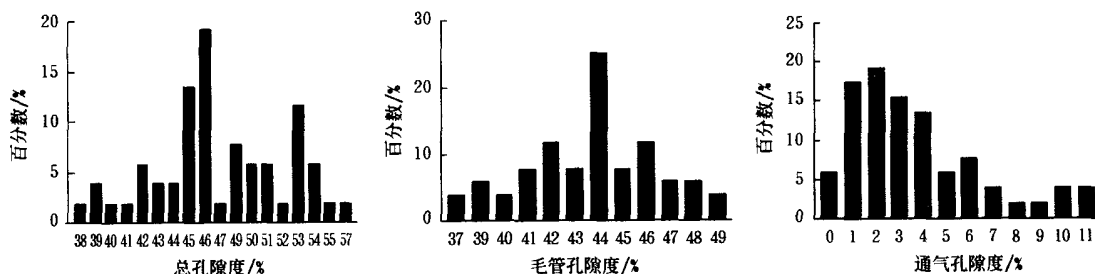


图 4 南京市典型土壤的土壤孔隙度分布图

Fig 4 Frequency distribution of soil porosity (Pr) of the typical soil in Nanjing city

孔隙度指标虽然可以很好地反映土壤的压实程度,但由于目前测定土壤孔隙度的方法都相对粗糙,没有较精确的方法,而且测定过程较复杂,既不适合不同样品之间的精确比较,也不适合于大量测定。这使得孔隙度指标的应用受到一定的限制。

### 2.4 土壤压实指标间的关系

实际上,容重与孔隙度是密切相关的,影响土壤容重和孔隙度的因素基本一致。因为不管从理论分析,还是从以上土壤总孔隙度计算公式都可以发现,某个因素影响到容重,就必然会影响到孔隙度。在比重差异不大的土壤上,土壤的容重和孔隙度之间具有很好的相互关系。从南京市 52 个样品的测定结果看,土壤容重与孔隙度之间具有非常显著的相关性(图 5)。容重越大,土壤压实越严重,土壤的孔隙度越少。当容重达到 $1.6 \text{ g/cm}^3$ 时,土壤的通气孔隙近乎消失。此时的土壤总孔隙度和毛管孔隙度也降低很多。Jim 在香港的研究表明<sup>[23]</sup>,容重在 $1.3 \text{ g/cm}^3$ 时,总孔隙度为 50.9%;容重在 $1.6 \text{ g/cm}^3$ 时,总孔隙度为 39.6%;容重在 $1.8 \text{ g/cm}^3$ 时,总孔隙度降低到 32.0%;容重在 $2.0 \text{ g/cm}^3$ 时,总孔隙度为 24.5%。在严重的压实情况下,总孔隙度的下降往往伴随着大孔隙的骤减。所以,在质地变化不大的土壤上,容重与孔隙度作为土壤压实的指标是较一致的。

土壤紧实度直接体现土壤的压实程度,土壤的压实程度与容重和孔隙度密切相关,那么紧实度和容重或孔隙度之间的关系是否也具有相关性呢?由于土壤含水率

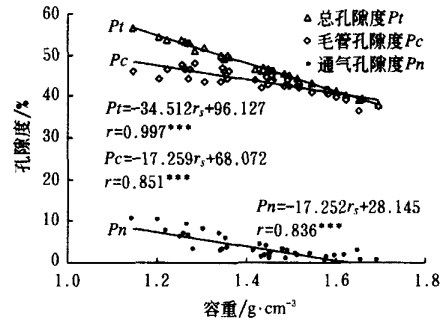


图 5 南京市土壤容重与孔隙度的关系  
Fig 5 Relationships between soil Bd and Pr

对土壤紧实度的影响非常大,在讨论土壤紧实度与其它性质的关系时,必须要考虑土壤含水率。表 2 是用南京市不同土地利用下土壤测定数据所模拟的土壤紧实度与含水率、容重或孔隙度关系的回归方程。从方程的相关性来看,土壤紧实度与含水率和容重或孔隙度都极显著相关。从方程的系数来看,土壤紧实度与土壤容重呈正相关,与土壤孔隙度呈负相关,同样含水量的情况下,土壤紧实度随着土壤容重的增加而增加,随着土壤孔隙度的增加而减少。从  $P_t$ 、 $P_c$ 、 $P_n$  的方程系数看, $P_n$  的系数大于  $P_t$  和  $P_c$  的系数,这说明土壤通气孔隙度对土壤紧实度的影响大于土壤总孔隙度和毛管孔隙度。也就是说,土壤通气孔隙度对压实的反映更敏感一些。

表 2 土壤紧实度与含水率、容重或孔隙度的关系

Table 2 Relationships among soil DCM, water content and Bd or Pr

方 程	样品个数	r	P
紧实度 - 含水率 - 容重 $F = -110.9Q + 1412.5r_s + 1487.4$	52	0.746	< 0.001
紧实度 - 含水率 - 总孔隙度 $F = -108.4Q - 45.2Pt + 5568.8$	52	0.751	< 0.001
紧实度 - 含水率 - 毛管孔隙度 $F = -112.5Q - 45.1Pc + 5482.9$	52	0.727	< 0.001
紧实度 - 含水率 - 通气孔隙度 $F = -113.5Q - 70.5Pn + 3797.3$	52	0.750	< 0.001

注:  $F$ —紧实度, kPa;  $Q$ —土壤的质量含水率, %;  $r_s$ —容重,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ;  $P_t$ —总孔隙度, %;  $P_c$ —毛管孔隙度, %;  $P_n$ —通气孔隙度, %;  $P < 0.001$ —99.9% 置信水平上显著。

由于不同压实程度指标之间有极显著的相关性,所以在进行城市土壤压实程度研究时,可以根据土壤质地和含水率状况选用其中的一种指标。

### 3 结 论

通过对 3 种土壤压实指标在南京城市土壤上的应用,发现南京市大多数土壤存在不同程度的压实,部分压实严重,可能限制植物的生长。不同压实指标在反映土壤压实程度上基本一致,它们之间具有极显著的相关性,可以相互转换。但紧实度指标受到土壤含水率的显著影响,在涉及土壤紧实度时必须考虑土壤水分因子,使其应用具有很大的限制性。容重和孔隙度的应用也受土壤质地和有机质等的影响,但对于同一质地或质地相近的土壤,还是可以很好地反映土壤的压实程度的。与总孔隙度和通气孔隙度相比,通气孔隙度在反映土壤压实时更为敏感。所以在进行城市土壤压实状况评价时,

可以选择不同土壤压实程度的指标,但就方法的实用性和可靠性来说,容重比紧实度和孔隙度指标一般更方便可靠。

### [参 考 文 献]

- [1] Bullock P, Gregory P. Soils in the urban environment Blackwell Scientific Publications [M]. Great Britain: Oxford, 1991: 1- 192
- [2] Jim C Y. Soil compaction as a constraint to tree growth in tropical & subtropical urban habitats[J]. Environmental Conservation, 1993, 20(1): 35- 49
- [3] 卢 瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤的特性及其管理[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 306- 309
- [4] 邱仁辉, 杨玉盛, 陈光水, 等. 森林经营措施对土壤的扰动和压实影响[J]. 山地学报, 2000, 18(3): 231- 236
- [5] Brakensiek D L, Rawls W J. Soil containing rock fragments: effects on infiltration[J]. Catena, 1994, 23: 99 - 110

- [6] Zhang G L, Gong Z T, Zhao W J, et al. Features of soils in urban and suburban Nanjing and their environmental effect [A]. In: Burghardt W and Dornauf C. First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas [C]. Vol. I University of Essen, Germany, July 12- 18, 2000, 39- 44.
- [7] Kainay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. *Nature*, 2003, 423: 528- 531.
- [8] Neve S D, Hofman G. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues[J]. *Biol Fertil Soils*, 2000, 30: 544- 549.
- [9] Hopkins R M, Patrick W H. Combined effect of oxygen content and soil compaction on root penetration[J]. *Soil Science*, 1969, 108, 408- 413.
- [10] 刘克锋, 龚学坤, 袁跃云, 等. 天坛公园土壤研究III, 古树生长区围栏效果分析[J]. *北京农学院学报*, 1994, 9(1): 15- 21.
- [11] LaPage W F. Recreation and forest site[J]. *Journal of Forestry*, 1962, 60: 319- 321.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 593.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999, : 638.
- [14] Taylor H M, Robertson G M, Parker J J. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials[J]. *Soil Science*, 1966, 102(1): 18- 22.
- [15] Pittenger D R, Stamen T. Effectiveness of methods used to reduce harmful effects of compacted soil around landscape tree[J]. *Journal of Arboriculture*, 1990, 16(3): 55 - 57.
- [16] Kopinga J. Site preparation practices in The Netherlands [A]. 62- 71. In: METRIA 5: Selecting and Preparing Sites for Urban Trees (Eds L. J. Kuhns and J. C. Patterson). Proceedings Fifth Conference Metropolitan Tree Improvement Alliance [C]. 23 - 24 May 1985 Pennsylvania State University. University Park, Pennsylvania, U SA: 1985, 100pp.
- [17] Albery C A, Pellet H M, Taylor D H. Characterization of soil compaction at construction sites and woody plant response [J]. *Journal of Environmental Horticulture*, 1984, 2: 48- 53.
- [18] 管东生, 何坤志, 陈玉娟. 广州城市绿地土壤特征及其对树木生长的影响[J]. *环境科学研究*, 1998, 11 (4): 51- 54.
- [19] Reisinger T W, Simmons G L, Pope P E. The impact of timber harvesting on soil properties, and seeding growth in the south[J]. *Southern Journal of Applied Forestry*, 1988, 12: 58- 67.
- [20] Zisa R P, Halverson H G, Stout B B. Establishment and Early Growth of Conifers on Compact Soils in Urban Areas[M]. U S Department of Agriculture Forest Service, Northeastern Experimental Station Research Paper NE - 451. Broomall, Pennsylvania, U SA: 1980 8pp.
- [21] Jim C Y, Judith Y YNG. Soil porosity and associated properties at roadside tree pits in urban Hong Kong[A]. In: Burghardt W. and Dornauf. First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas[C]. Vol. I University of Essen, Germany, July 12- 18, 2000, 51- 56.
- [22] Haan F A M de, Valk G G M van der. Effects of soil compaction, restricted aeration and forest injury on flower-bulb crops[A]. In: Effects of compaction on physical properties of soil and root growth of ornamental bulbs [C]. Proceedings 1st International Symposium on Flower Bulbs, Noordwijk, The Netherlands, 1970: 326 - 332.
- [23] Jim C Y. Soil compaction at tree-planting sites in urban Hong Kong[A]. In: Neely D and Watson G W (eds). The Landscape Below Ground II: International Society of Arboriculture [C]. Champaign, Illinois, 1998: 166 - 178.

## Application and comparison of soil compaction indexes in the evaluation of urban soils

Yang Jinling, Zhang Ganlin, Zhao Yuguo, Ruan Xinling, He Yue

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Compaction is ubiquitous in urban soil. This study evaluated urban soil compaction degree by comparing three compaction indexes, i.e., direct compaction measurement (DCM), bulk density (Bd) and porosity (Pr) of 52 soil samples in different land uses in Nanjing City. The results showed that most of the soils in the Nanjing City were compacted, and a high portion of them was severely compacted, which might restrict plant growth. DCM, Bd and Pr were consistent in expressing compaction degree and they had significant relationships, so they could substitute one another. It should be noted that soil water content must be considered when using DCM as a compaction index because water content affects DCM value significantly, which limits the application of DCM. Bd and Pr are affected by texture and organic matter content, but they are good indexes of soil compaction degree when soil texture is similar. Aeration porosity is more sensitive than total and capillary porosity to reflect soil compaction degree. Therefore, different compaction indexes can be used in estimating soil compaction, but Bd is often easier and more reliable than DCM and Pr.

**Key words:** urban soil; compaction index; compaction; bulk density; porosity