

基于土壤大孔隙流提升城市园林绿地 土壤入渗能力的思考

刘祥宏¹, 刘伟², 张楚涵¹, 田飞¹, 田晓明¹, 许秀泉³

(1. 天津泰达绿化集团有限公司, 天津 300457; 2. 国家林业局 中南林业调查规划设计院, 湖南 长沙 410014;

3. 沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要:城市绿地是海绵城市建设的重要功能单元之一, 城市土壤入渗能力的提升将对海绵城市的建设起到重要的促进作用。该研究从城市绿地土壤结构改良、入渗功能提升等角度出发, 探讨了借助人工措施、动物资源以及植物根系, 构建土壤大孔隙优先流网络体系, 促进降雨高效入渗、减少地表径流、补给城市地下水资源的可行性, 为城市绿地在海绵城市建设中作用的发挥提供新的思路。

关键词:城市绿地; 海绵城市; 土壤入渗; 大孔隙流

中图分类号:S 731.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)09-0159-05

1 背景

1.1 海绵城市与城市园林绿地

近年, 随着城市建设的发展和城市规模的不断

扩大, 城市内涝频发、地下水位下降等问题逐渐凸显。针对这些问题, 国家适时提出“海绵城市”建设构想, 计划通过自然途径与人工措施相结合, 在确保城市排水防涝安全的前提下, 最大限度地实现雨水在城市区域的积存、渗透和净化, 促进城市雨水资源的利用和城市生态环境保护。

城市绿地作为城市的重要组成部分, 起着提高城市自然生态质量和生活质量、增加城市美学效果、净化空气污染、城市防灾等重要作用。当前, 基于海绵城市建设理念, 城市园林绿地领域可采取的主要技

第一作者简介:刘祥宏(1985-), 男, 博士, 工程师, 现主要从事土壤改良与污染修复等研究工作。E-mail: xicheng516@126.com.

责任作者:许秀泉(1986-), 男, 博士, 讲师, 现主要从事水土保持与生态环境建设等研究工作。E-mail: xuxiuquan1986@126.com.

基金项目:天津市科技小巨人领军企业培育重大资助项目(15YDLJSF00050)。

收稿日期:2016-12-07

Abstract: The effect of using chemical fertilizer, organic fertilizer, biological organic fertilizer, organic fertilizer combined with chemical fertilizer, chemical fertilizer combined with biological organic fertilizer and no fertilizer treatment on the number of soil microbiologic and soil enzyme activities were investigated through an outdoor pots experiment. The results showed that using the biological organic fertilizer, the number of soil bacteria were 15.5%—43.1% and 3.5%—6.4% higher than chemical fertilizer and organic fertilizer treatments and the number of actinomycetes were 58.2%—94.4% and 9.8%—24.8% higher than chemical fertilizer and organic fertilizer treatments. But the numbers of fungus are 22.8%—59.5% and 8.9%—19.3% than chemical fertilizer and organic fertilizer treatments. Biological organic fertilizer combined with chemical fertilizer treatment had the highest urease activities. Biological organic fertilizer treatment had the highest number of phosphatase activities, 1.6%—37.4% higher than organic fertilizer treatment and 3.2%—38.9% higher than chemical fertilizer treatment. Biological organic fertilizer treatment has the highest sucrose activities, 50.9%—292.4% higher than organic fertilizer treatment and 67.6%—456.3% higher than chemical fertilizer treatment. Each treatment has small effect on the catalase activities. Using biological organic fertilizer can improve the soil microflora, raise the enzymatic activity and increase the soil fertility.

Keywords: organic fertilizer; chemical fertilizer; microform; enzymatic activity

术手段有下沉式绿地、透水铺装、渗透塘、渗井、雨水湿地等。城市绿地由于踩踏、机械等因素,普遍存在土壤压实问题,导致土壤通气孔隙减少、持水能力降低和渗透性变差^[1-2]。魏俊岭等^[1]通过双环入渗法探究合肥城市绿地土壤入渗能力,结果显示土壤水分平均入渗速率呈现公园绿地($87.12 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)>市政绿地($75.60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)>小区绿地($22.32 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)>校园绿地($20.16 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$),而稳定入渗率一般在 $18 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下;聂发辉等^[3]对上海市5种城市绿地的入渗速率研究,结果显示绿地蓄渗雨水能力大多数较弱,一般在 $1.8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下。绿地土壤入渗速率的降低直接导致降雨积存在地表,加快地表径流的形成,不利于海绵城市建设发展。充分开发城市绿地土壤的入渗能力,提高雨水及地表径流的入渗速率和土壤水库容量,是发挥城市绿地海绵功能的重要方向。同时,土壤具有的蓄积雨水能力,被形象地称之为“土壤水库”^[4],城市绿地作为城市中面积最大、最有效的降雨入渗面和海绵体单元,可在城市土壤水库构建、城市地下水补给、城市水土保持等领域发挥重要功能^[5]。

1.2 土壤大孔隙及大孔隙流

土壤优先流是指进入土壤的水分和溶质绕过土壤基质,只通过少部分土壤体的快速运移过程,是一种较为常见的土壤水分运动形式,与土壤入渗、地表及地下水水质密切相关^[6]。在不同类型的优先流中,以大孔隙流最为常见、意义也最为重大^[7]。一般认为,不论孔隙大小、形状如何,能够提供优先水流路径的任何孔隙都可称之为大孔隙^[8]。土壤大孔隙成因可分为生物因素、物理因素和化学因素3个方面^[8-9]。主要包括植物根系的生长与腐烂^[7,9]、土壤动物的运动^[9]、土壤冻融交替^[10-12]、干湿变化和化学风化溶解^[13-14]、以及人为农业耕作^[9]等过程。

土壤大孔隙普遍存在于自然界的土壤中^[15],其仅占土壤体积的 $0.1\% \sim 5.0\%$,却在很大程度上影响着水分及溶质在土壤中的运移^[16-18]。ALAOUI等^[19]研究发现50%以上的降水可以通过土壤大孔隙优先流进入地下水,对于一些土壤甚至可以达到90%以上^[18-20]。土壤大孔隙提供的优先路径可使得渗入水可以迅速补给含水层,尤其是在高强度降雨条件下^[7]。利用人为活动、土壤动物、绿地植物等构建土壤大孔隙结构,借助土壤大孔隙流的快速输水功能,将降雨径流快速疏导到绿地深层,将有效降低降水径流的产生量,同时有效补充地下水资源,具有较好的利用前景。

2 土壤大孔隙流构建技术

2.1 人工措施构建土壤大孔隙结构

2.1.1 绿地打孔技术措施的应用 城市绿地因人为踩踏等,使得植物生长层土壤容重不断增大,透气性越来越差,造成植物生长不良,景观效果变差。为了改善生长层土壤的通透性,使根系获得足够氧气以利于生长,草坪打孔技术应运而生^[21]。城市绿地和草坪打孔可消除土壤板结、清除草毡层,增加绿地土壤的透气性,为绿地植物生长提供良好的条件;可使植物根系发达,提高对水分、养分的吸收能力,地上部分生长旺盛、抗逆性增强,提高观赏性;同时可改善地表排水条件,促进地表积水、径流入渗,是草坪养护管理中的重要技术措施。刘劲松^[22]对不同草坪样地进行打孔对比试验,发现打孔草坪空秃度降低25%,禾草新芽及分蘖数增加90%,禾草生长量增加80%,草坪打孔是改善草坪生长、提高草坪存活质量的一项既简捷又有效的方法。丁少江等^[23]以3种不同密度在暖季型草台湾草和假俭草草坪上开展打孔和有机肥料施用对比试验,发现打孔结合施有机肥料能显著改善暖季型草坪冬季的质量,以蘑菇肥和泥炭土最佳,打孔密度以 $60 \sim 120 \text{ 孔} \cdot \text{m}^{-2}$ 为宜。李志强等^[24]对建植7年的草地早熟禾草坪进行的打孔和施肥处理研究显示,打孔对生长速度、分蘖密度、生殖枝效、地下生物量的影响不明显,但却改善了颜色和整齐度,打孔+微肥+尿素处理作用效果较好。刘晓波等^[25]以匍匐剪股颖草坪为研究对象,探讨不同打孔密度对草坪枯草层及土壤微生物活性和有机质含量的影响,发现不同打孔密度对枯草层微生物活动具有一定影响,与 $60 \text{ 孔} \cdot \text{m}^{-2}$ 相比, $120 \text{ 孔} \cdot \text{m}^{-2}$ 促进了土壤微生物活动及土壤有机质积累。当前,绿地养护打孔操作是由专业打孔机具完成的。专用的草地打孔机械以及将绿地打孔与施肥等工序相结合的一体机被广泛研发,为绿地常规养护以及海绵功能提升提供很好的基础。在园林绿化管理中,以海绵城市建设和绿地经营管理为双重目的的绿地打孔应加以重视,尤其对绿地中的洼地以及微地形条件下的雨水汇流通道等部位,可进行一定密度、尺寸规格的人工打孔作业,促进积水、径流的高效入渗,补给城市地下水资源。

2.1.2 绿地透气管技术的应用 城市园林绿地的透气管是人工促进土壤通透的一种技术措施,该技术多用于树木移栽(特别是大树移栽)以及树木生长调控中^[26]。透气管的作用表现为:一是可以提高土壤的通气性,防止土壤板结,利于新移栽大树伤口的

愈合和促进新根的萌发,提高成活率;二是新植树木根系一般受损伤致使其吸水能力减弱,土壤水量过大会影响透气性,通过透气管监控根际水分状况并通过通气孔抽取多余水分,可有效控制土壤含水量,避免植物沤根发生;三是透气管是后期养护追肥的极佳通道,通过通气孔给大树增施营养,可将肥料直接送达大树根系,避免肥料的浪费,促进大树的生长发育。

借助现有的透气管原理,在园林绿地建设与管理中,选择树穴、洼地等位置,布设一定密度、尺寸的透气管,并对透气管进行有效防护,防止土粒、枯枝落叶等对透气管的阻塞,可长期起到绿地土壤透气和输水作用,成为海绵城市建设的一项技术选择。

2.2 利用土壤动物活动构建大孔隙体系

土壤动物(如鼠类、蚯蚓和蚂蚁等)对土壤的挖掘翻动过程中会形成一些孔道。这些大孔隙多集中在地表上层 1 m 之内,一般呈现管状,直径在 1~50 mm。其中,蚂蚁活动形成的大孔隙直径一般在 2~50 mm,深度至少 1 m;蚯蚓活动形成的孔洞直径一般在 2~11 mm,深度可达 60~70 cm^[8-9]。蚯蚓是土壤中的主要动物类群,其对土壤肥力提升和土壤结构均有重要的作用,在陆地生态系统中具有重要的功能^[27]。DEIBERT 等^[28]提出土壤质地的好坏可以通过测定蚯蚓的数量来判断,蚯蚓对于土壤质量的有利影响得到了广泛认可。

蚯蚓对于土壤肥力的改善主要通过形成蚯蚓粪,以及对植物残枝落叶的降解、有机物质的分解和矿化来实现,通过肥力提升进而促进了植物的生长^[29-30]。赵洪涛等^[31]通过盆栽土培试验研究了蚯蚓和蚯蚓粪改良基质对高羊茅种子萌发、生长发育和生理指标的影响。结果显示,蚯蚓和蚯蚓粪改良基质的应用能缩短高羊茅种子发芽时间和提高发芽率,促进幼苗的初期生长、提高地上部分生物量的积累和促进根系的生长,大大提升高羊茅草坪的品质。苏晓红等^[32]开展的盆栽试验显示,蚯蚓粪和磷肥配合施用条件下油菜生物量比单施磷肥增加 61.4%。俞协治等^[33]研究显示,蚯蚓活动显著提高了 2 种污染土壤上黑麦草地上部的生物量,蚯蚓可能通过提高重金属的生物有效性而间接影响植物对重金属的修复效率,蚯蚓在土壤污染修复领域受到广泛关注。

蚯蚓对于土壤结构的改良效果,主要表现在促进土壤团粒结构的形成,并通过不停钻洞形成大量纵横交错的孔道或者爬痕、裂隙,使得土壤变得疏松多孔,大大增强了土壤的通风和透水能力^[30,34]。于

建光等^[35]通过 1 个月的室内培养试验发现,施用有机质并接种蚯蚓有助于土壤有机碳库的恢复,有助于土壤大团聚体的形成与土壤结构稳定性的提高,是水土流失与土壤结构退化严重地区可供选择的生态工程措施。黄福珍等^[36]研究显示在蚯蚓数量不同的土壤中,土壤吸水的速度也不相同,20 mm 深度水在无蚯蚓的土壤入渗完成需 3 min 左右,而在 33、184 条·m⁻²蚯蚓的土壤中,分别仅需要 24.2、10.4 s,吸水速度分别比无蚯蚓的土壤提高了 7.4、18.6 倍。蚯蚓活动对提高土壤渗透能力、减少暴雨径流、增加土壤深层蓄水都具有重要的意义。

在城市绿地养护中,有目的性的开展蚯蚓引种和经营管理,既是培肥绿地土壤地力、优化绿地植物生长环境的有效措施,又是人为构建土壤大孔隙结构、提升城市绿地雨水深层疏导能力的重要手段。

2.3 利用植物根系构建土壤大孔隙体系

植被是控制大孔隙形成、规模及寿命的决定性因素,对优先流产生具有至关重要的作用^[7,37]。徐则民^[7]分析认为植物生长可形成根系通道,细小根系及与植被相关的菌丝有助于形成土壤团聚体,也为打洞的土壤动物提供食物来源,同时枯枝落叶层是大孔隙抵御环境因素扰动的重要屏障。

吴尧^[38]通过四川岷江上游卧龙自然保护区内高山栎林、岷江冷杉林、灌竹林、阔叶乔木林和亚高山草甸等 5 种群落的土壤入渗研究,发现根系的生长过程对土壤大孔隙形成以及土壤水分的入渗过程具有重要作用;张英虎等^[39]研究发现,根系与土壤接触面之间的缝隙以及根系形成的根孔隙都是土壤水分的重要运移通道。作为占林分总生物量的 10%~20%^[40]的植物根系,是产生土壤大孔隙优先流的重要因素^[41-42]。

活体根和腐烂的根都可形成连续大孔隙^[9,39,43-44]。植物根皮的抗腐能力一般比木质部强,内部木质腐烂后常会形成由根皮构成的管状大孔隙,这些中空或被疏松的有机质、表层土颗粒所充填的大孔隙,可为降水的快速下渗提供通道^[7,43]。GAISER 等^[43]认为开展土壤物理和水分特性研究需要建立在对土壤根系腐烂分解形成孔隙加以研究的基础上,根系腐烂分解形成的纵横交错的孔隙网络为自由水入渗提供通道,这对于粘重土壤尤其重要。

土壤根系形成的土壤孔隙深度、孔隙大小对优先流入渗有一定的影响。吴继强等^[18]研究显示,大孔隙的存在使得水分入渗量远远高于均质土体,大孔隙域的存在使得水分迅速充满孔隙域并到达大孔

隙域底部,造成初期水分垂直和径向入渗,累积入渗增量随着孔隙深度的增大而加大,并与孔隙深度呈一定的函数关系。根系孔隙大小对土壤有限流的贡献度研究结论存在一定分歧。王伟等^[45]通过四面山林地土壤剖面研究发现,半径大于 0.3 mm,尤其是半径大于 1.5 mm 的大孔隙数量是影响林地优先流发生的主要通道;孙龙等^[46]研究显示,孔隙半径大于 0.7 mm 的大孔隙是构成优先路径的主要孔隙,其数量的多少间接反映优先路径数量的多少;魏虎伟等^[47]通过 2 种林地大孔隙与优先流研究显示孔隙半径大于 0.6 mm,尤其是大于 1.5 mm 的大孔隙是 2 种林地形成优先流的最主要孔径范围。但董宾芳^[48]研究表明,与粗根系相比,细根系与土壤优先流相关性更好,其认为寿命短的植物细根系非木质化程度高,在大量增生及死亡之后可形成更多的根孔隙通道,进而促进优先流过程;张英虎等^[39]也认为植物细根系(直径小于 1 mm)对优先流产生具有更高贡献度,均值在 94.8%左右。

进一步加强城市园林绿地环境下的植物根系大孔隙和大孔隙流研究,在城市园林绿地的建设、改造过程中,充分利用植物根系生长、发育以及死亡、分解后形成的连通孔隙结构,结合园林景观要求,选择特定位置种植目标植物,进而构建绿地土壤大孔隙流网络体系,可有效提升城市绿地降雨水分入渗能力和深层输水能力,有效减小地表径流量,是城市绿地提升海绵城市功能的一个可能发展方向。

3 结语

当前大力推进海绵城市建设的背景下,在强化城市排水体系建设以及大力开展透水铺装、下沉式绿地、湿塘等绿地工程建设的同时,从城市绿地土壤结构、入渗功能等角度出发,选择洼地、汇流通道等特定汇水区域,通过工程、动物、植物等技术措施,构建土壤大孔隙优先流网络体系,大力提升城市绿地对降水的调控、蓄积、入渗能力,使得有限的城市绿地空间吸纳、传导、储存更多雨水,减少径流损失和城市洪水灾害,这符合海绵城市建设的要求,将对海绵城市功能发挥起到重要作用。

参考文献

- [1] 魏俊岭,金友前,郝红建,等.合肥市绿地土壤水分入渗性能研究[J].中国农学通报,2012,28(25):302-307.
- [2] 杨金玲,张甘霖,袁大刚.南京市城市土壤水分入渗特征[J].应用生态学报,2008,19(2):363-368.
- [3] 聂发辉,李田,姚海峰.上海市城市绿地土壤特性及对雨洪削减效应的影响[J].环境污染与防治,2008,30(2):49-52.
- [4] 郭凤台.土壤水库及其调控[J].华北水利水电学院学报,1996,

17(2):72-80.

- [5] 伍海兵,方海兰.绿地土壤入渗及其对城市生态安全的重要性[J].生态学报,2015,34(3):894-900.
- [6] 牛健植,余新晓.优先流问题研究及其科学意义[J].中国水土保持科学,2005,3(3):110-116.
- [7] 徐则民.植被与斜坡非饱和带大孔隙[J].地学前缘,2007,14(6):134-142.
- [8] 刘伟,区自清,应佩峰.土壤大孔隙及其研究方法[J].应用生态学报,2001,12(3):465-468.
- [9] 李伟莉,金昌杰,王安志,等.土壤大孔隙流研究进展[J].应用生态学报,2007,18(4):888-894.
- [10] BEVEN K,GERMANN P. Macropores and water flows in soils[J]. Water Resources Research,1982,18(5):1311-1325.
- [11] 区自清,贾良清,金海燕,等.大孔隙和优先水流及其对污染物在土壤中迁移行为的影响[J].土壤学报,1999,36(3):341-346.
- [12] QU Z Q, JIA L Q, JIN H Y, et al. Formation of soil macropores and preferential migration of linear alkylbenzene sulfonate(LAS) in soils[J]. Chemosphere,1999,38(9):1985-1996.
- [13] BOUMA J. Soil morphology and preferential flow a long macropores[J]. Agricultural Water Management,1981(3):235-250.
- [14] BOUMA J,WFISTEN J H M. Characterizing ponded infiltration in a dry cracked clay soil[J]. Journal of Hydrology,1984,69:297-304.
- [15] WEILER M,NAEF F. An experimental tracer study of the role of macropores in infiltration in grassland soils[J]. Hydrological Processes,2003,17:477-493.
- [16] GERMANN P,BEVEN K. Water flow in soil macropores. I. An experimental approach[J]. Journal of Soil Science,1981,32:1-13.
- [17] GERMANN P, BEVEN K. Kinematic wave approximation to infiltration into soils with sorbing macropores[J]. Water Resources Research,1985,21:990-996.
- [18] 吴继强,张建丰,高瑞.不同大孔隙深度对土壤水分入渗特性的影响[J].水土保持学报,2009,23(5):91-95.
- [19] ALAOUI A. Modelling susceptibility of grassland soil to macropore flow[J]. Journal of Hydrology,2015,525:536-546.
- [20] JØRGENSEN P R, HOFMANN M, KISTRUP J P, et al. Preferential flow and pesticide transport in a clay-rich till: Field, laboratory, and modeling analysis[J]. Water Resources Research,2002,38(11):281-285.
- [21] 郭增明.打孔技术在草坪养护管理中的应用[J].天津农业科学,2007,13(2):56.
- [22] 刘劲松.关于草坪打孔机与对草坪生长的影响[J].内蒙古林业调查设计,2003,26(2):56,60.
- [23] 丁少江,欧阳底梅,朱伟华,等.打孔结合施有机肥料对暖季型草坪冬季质量的影响[J].广东园林,2002(4):43-44.
- [24] 李志强,韩建国,陈怀,等.打孔和施肥处理对草地早熟禾草坪质量的影响[J].草业科学,2000,17(6):71-76.
- [25] 刘晓波,杨春华,徐耀华,等.打孔对草坪枯草层及坪床土壤微生物活性和有机质含量的影响[J].草地学报,2013,21(1):174-179.
- [26] 尹伯仁,周丕生,方海兰,等.上海大树移植的本底土质量调查与评价[J].上海交通大学学报(农业科学版),2004,22(4):373-377.
- [27] 宋伟,徐新创,陈百明,等.土地整理区生物:理化改良技术研究综述[J].中国农学通报,2011,27(17):229-233.
- [28] DEIBERT E J, UTTER R A. Earthworm(Lumbricidae) survey of North Dakota fields placed in the U. S. Conservation Reserve Program

- [J]. Soil and Water Conservation, 2003, 58(1): 39-45.
- [29] RHEE J A. Some aspects of the productivity of orchard in relation to earthworms activities [J]. Annales De Zoologie Ecologie Animale, 1976, 4(s): 99-108.
- [30] 邱江平. 蚯蚓及其在环境保护上的应用 I. 蚯蚓及其在自然生态系统中的作用[J]. 上海农学院学报, 1999, 170(3): 227-232.
- [31] 赵洪涛, 丁国际, 邹联沛, 等. 蚯蚓及蚓粪改良基质对高羊茅发芽·生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(16): 6921-6923.
- [32] 苏晓红, 高志岭, 刘建玲, 等. 蚯蚓粪和磷肥配施对油菜生长和土壤性质的影响[J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(3): 8-12.
- [33] 俞协治, 成杰民. 蚯蚓对土壤中铜、镉生物有效性的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 922-928.
- [34] 宾冬梅. 蚯蚓的开发利用研究进展[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2006, 12(4): 457-460.
- [35] 于建光, 胡锋, 李辉信, 等. 接种蚯蚓对土壤团聚体分布、稳定性及有机碳赋存的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 175-179.
- [36] 黄福珍, 张与真, 杨夫瑞. 蚯蚓改土及综合利用[M]. 重庆: 重庆出版社, 1984: 28-36.
- [37] 牛健植, 余新晓, 张志强. 优先流研究现状及发展趋势[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 231-243.
- [38] 吴尧. 岷江上游森林土壤大孔隙特性与水分入渗性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [39] 张英虎, 牛健植, 朱蔚利, 等. 森林生态系统林木根系对优先流的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1788-1797.
- [40] 单建平, 陶大立, 王森, 等. 长白山阔叶红松林细根周转的研究[J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 241-245.
- [41] PERILLO C A, GUPTA S C, NATER E A. Prevalence and initiation of preferential flow paths in a sandy loam with argillie horizon[J]. Geoderma, 1999, 89(3/4): 307-331.
- [42] DEVITT D A, SMITH S D. Root channel macropores enhance downward movement of water in a Mojave Desert ecosystem[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 50(1): 99-108.
- [43] GAISER R N. Root channels and roots in forest soils [J]. Soil Science Society American Proceeding, 1952, 16(1): 62-65.
- [44] ANGERS D A, CARON J. Plant-induced changes in soil structure, processes and feedbacks[J]. Biogeochemistry, 1998, 42(1/2): 55-72.
- [45] 王伟, 张洪江, 程金花, 等. 四面山阔叶林土壤大孔隙特征与优先流的关系[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1217-1223.
- [46] 孙龙, 张洪江, 程金花, 等. 柑橘地土壤大孔隙与优先流的关系研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6): 75-79.
- [47] 魏虎伟, 程金花, 张洪江, 等. 四面山 2 种林地大孔隙特征与优先流关系研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 263-268.
- [48] 董宾芳. 黄土丘陵区林地植物根系与土壤优势流关系研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.

Improvement Soil Infiltration Capacity of Urban Green Space by Soil Macro-pore Flow

LIU Xianghong¹, LIU Wei², ZHANG Chuhan¹, TIAN Fei¹, TIAN Xiaoming¹, XU Xiuquan³

(1. Tianjin TEDA Greening Group Co. Ltd., Tianjin 300457; 2. Central South Forest Inventory and Planning Institute of State Forestry Administration, Changsha, Hunan 410014; 3. College of Water Resource, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

Abstract: Urban green space was one of the important function parts for construction of sponge city. Soil infiltration capacity improvement of urban green space could play an important role in promoting the construction of sponge city. The methods to build the soil macro-pore preferential flow network system, in view of improving soil structure and water infiltration function were conducted, by means of artificial measures, animals resources and plant roots, in order to promote efficient rainfall infiltration, reduce surface runoff and discuss the feasibility of supply for urban groundwater resources. The paper was hoped to offer some new ideas about the role of urban green space with sponge city construction.

Keywords: urban green space; sponge city; soil infiltration; soil macro-pore flow