

路域土壤特征及其成因研究*

余海龙^{1,2,3}, 顾 卫³, 袁 帅^{2,3}

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875; 3. 北京师范大学 资源工程重点实验室, 北京 100875)

摘 要:通过对西禹高速合阳段路域土壤的调查和分析, 并和未受人为干扰的自然土壤进行比较, 研究了公路路域土壤的成因、特点及其限制因子, 并总结出如下特点: (1) 土壤物理性质差; (2) 有机质和养分贫乏, pH 值普遍偏高; (3) 土壤成分复杂, 侵入体多; (4) 有效土层有限, 植物扎根受限; (5) 土壤重金属污染因素增多。

关键词: 路域; 土壤特征; 重金属

中图分类号: S152; U412.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0049-04

Research on Road Area Soil Characteristics and Formation

YU Hai long^{1,2,3}, GU Wei^{2,3}, YUAN Shuai^{2,3}

(1. College of Resources and Environment Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. College of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Key Laboratory of Resources Engineering, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to expound the characteristic and the formation of road soil, this paper took an existing road area soil as a typical case study, which lies in Xi'yu expressway Heyang section. Compared with the undisturbed natural soils, investigated and analyzed the expressway road area soil, and summarized the formation and characteristic and its limit factors as the following: (1) Worsening of soil physical properties is a general characteristic. (2) Soil organic matter and nutrient were scanty, and the pH value of road soil were higher than local natural soil. It has the trend to be the alkaline soil. (3) The soil component was quite complex, too much invasive matter were intermingled. (4) The valid soil depth was limited and its higher rigidity made it's difficult for plant to take root. (5) Because of the continuing exposing to the exhaust gas, it had more likelihood to be polluted by heavy metals.

Key words: road area; soil characteristic; heavy metal

由于路域植被生态恢复日渐受政府和人民的重视, 道路绿化的效果如何, 绿化的效益如何, 除设计施工等主观因素外, 其客观因素很大程度上取决于植物生长的地下环境因子——路域土壤。因此, 路域土壤也理所当然地被予以越来越多的研究和重视。

由于人为活动的影响, 路域土壤的物理化学性质会发生很大变化, 这些变化往往影响到植物的正常生长, 从而极大地影响了绿地质量和绿化效果。路域土壤受人为活动的影响强烈, 其形成和性质与所处的自然环境没有必然的联系, 本质上是一种泛域的人为土或人为新成土。路域土壤在空间上变异十分明显, 在较短距离内会出现完全不同的土壤类型。除自然土壤物质外, 路域土壤包含大量的人为物质, 这些物质决定或影响着路域土壤的形态学、物理、化学、生物学特性和污染状况。本研究旨在通过对路域土壤的特点和成

因分析探索在恢复植被过程中可能会遇到的土壤障碍因素和有利因素, 为工程施工中可能会存在的土壤问题提供可靠依据。因此, 了解路域土壤特性, 可为绿化的规划和管理、路域环境保护和治理提供理论依据和指导作用。

土壤功能的演变是伴随道路建设及其运营进程出现的, 这种关系可以用图 1 来说明。进程中最显著的变化是城市路域内土地利用结构的变化。很多研究定量地揭示了城市化过程中各种土地利用类型的剧烈转变过程和驱动因素, 这种变化对土壤的影响主要体现在土壤功能的转变和多样化。道路建设的另一个更为直接的影响是地表特征的改变, 土壤所承担着容纳和转化污染物的服务功能降低或丧失, 其结果将是长期和致命的。道路胁迫下的土壤功能变化主要分为两类: 一是土壤结构变化引起的功能变化; 二是土壤成分变化引起的功能变化。

* 收稿日期: 2007-12-10

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目“公路路域生态工程技术研究”(200331822333); 半干旱地区公路岩质边坡生物恢复加固技术研究(200631800087)

作者简介: 余海龙(1979-), 男, 甘肃酒泉人, 博士, 讲师, 研究方向为路域生态恢复与重建技术研究。E-mail: yhl2008@ires.cn

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

合阳段位于陕西关中西部,黄河中游西侧,位于东经 $109^{\circ}58'33''-110^{\circ}24'00''$,北纬 $34^{\circ}59'16''-35^{\circ}26'27''$ 。为阶梯地貌,北高南低,海拔 $342\sim 1\,538\text{ m}$,年平均气温 11.5°C ,降雨量 553 mm 。合阳县地处渭北黄土台塬东部,呈阶梯状地形,自东南向西北逐渐升高,海拔 $342\sim 1\,543.8\text{ m}$,根据地势、成因,将地貌划分为河谷阶地、黄土台塬和低中山 3 部分,素有“一山一滩川,二沟六分原”之称。合阳县属暖温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,冬夏长而春秋短。

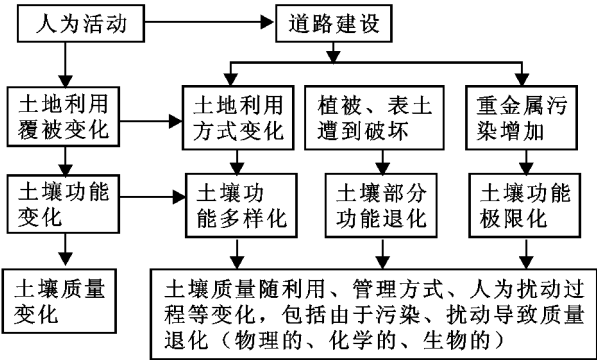


图 1 道路建设过程中的土壤功能演变

1.2 研究方法

选择路域内不同土地利用类型的土壤作为研究对象,分为边坡、互通、中央隔离带和对照地(自然坡地)。选择 14 个主要土壤质量指标,其中以沙粒含量、黏粒含量、紧实度、土层厚度表征土壤物理特性;以 pH 值、全氮、全磷、全钾、有机质作为表征土壤营养状况的指标,而以 Pb、Zn、Cr、Cd、As 表征土壤重金属含量的变化。

2 结果与分析

2.1 土壤物理特性的变化

以物理性沙粒、物理性黏粒、紧实度、土层厚度表征土壤物理特性。路域土壤的形成原因主要是人类活动干扰的结果,可以看成是人为干扰土壤。路域土壤的形成过程实际上也是自然土壤的退化过程,它包含了人为引起的土壤退化过程的两大类型,一是土壤物质位移产生的土壤退化,二是土壤性质恶化引起的退化^[1]。路域土壤的形成过程涵盖了两种退化类型中的部分过程:如土木工程引起的表土丧失,地体变形,以及工程造成裸露边坡土壤的水蚀、风蚀,同时由于表土丧失引发的化学退化也很严重,如养分和有机质丧失,由于机械压实导致土壤物理性质下降。

2.1.1 土壤质地的变化

用物理性沙粒、物理性黏粒这两个指标可以反映土壤质地的变化。普遍含有渣砾(侵入体)是绿地扰动土的一大特征。李玉和^[2]曾提出用渣砾种类和含量为基础来分类城市绿地土壤。因此本研究也引入这种研究方法。按其研究方法,按渣砾含量分类如下:无渣土(不含渣砾);少渣土(渣砾含量 $< 10\%$);较多渣土(渣砾含量 $10\% \sim 20\%$);多渣土(渣砾含量 $> 20\%$);过多渣土(渣砾含量 $30\% \sim 40\%$);渣质土

(渣砾含量 $> 40\%$)。从表 1 可以看出,互通、中央隔离带因为人为堆积过程中混杂了许多工程渣料,所以渣砾含量较高,均属于多渣土;而边坡土壤,因为表土被剥离,底土中基岩含量较高,导致土壤中渣砾含量高,达到 25% 。相应的,结果显示,土壤物理性质以未受人为干扰的对照地,也就是自然边坡的土壤为最好。供试土壤的颗粒组成变化幅度大,部分土壤来自路域周边的混合土壤,所以理化性质复杂。在机械组成上,粗粒变化明显。

2.1.2 紧实度变化

由于土壤是土粒的集合体,所以土粒与土粒之间的结合粒、凝聚力、土粒垒结状态等的综合作用使土壤具有某种硬度,这种硬度称为紧实度。土壤经压实后,必然会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。土壤由于受施工和其他人为影响而导致退化。压实导致土壤原有结构被破坏,土体变得紧实,容重增加,孔隙度降低。由于中央隔离带和属于堆积型土壤,是人为搬运的异地土壤,比较虚,所以紧实度较低。而互通尽管也是堆积型土壤,由于施工机械的碾压导致土壤相对紧实,而路堑边坡土壤完全是机械切割造成的,紧实度远远高于自然土壤。

2.1.3 有效土层厚度变化

所谓有效土层,是指植物根系伸延容易,有一定的养分可以吸取,能正常生长发育的较松软土层^[4]。绿地扰动土壤的有效土层厚度主要决定于特殊异质土层(即含有大量夹杂物的土层)或下伏的硬质土层(特别压实的土层、过于粘重的土层)。也决定于地下建筑物,如中央隔离带的隔水层。有效土层的厚度,曾被规定为以下 3 种:①厚层: $> 60\text{ cm}$;②中层: $30\sim 60\text{ cm}$;③薄层: $< 30\text{ cm}$ ^[4]。从表 1 可以看出,中央隔离带有效土层厚度属于厚层,互通与自然坡属于中层,而边坡属于薄层。

表 1 合阳段路域土壤物理特性的变化

| 样点 | 土层/ cm | 土壤物理特性 | | | 紧实度/ kPa | 土层厚度/ cm |
|-------|-----------|--------|-----|-----|-------------|-------------|
| | | 渣砾% | 沙粒% | 黏粒% | | |
| 中央隔离带 | 0- 10 | 22 | 82 | 18 | 230.29 | 50 |
| | 10- 20 | 9 | 76 | 24 | | |
| 边坡 | 0- 10 | 25 | 88 | 12 | 1915.96 | 10 |
| | 10- 20 | 30 | 92 | 8 | | |
| 互通 | 0- 10 | 20 | 78 | 22 | 837.52 | 40 |
| | 10- 20 | 8 | 54 | 46 | | |
| 自然坡 | 0- 10 | 6 | 46 | 54 | 342.26 | 35 |
| | 10- 20 | 3 | 38 | 62 | | |

2.2 土壤化学特性的变化

2.2.1 有机质和养分含量的变化

从表 2 可以看出,工程建设对路域内土壤养分和有机质含量会带来很大的影响。总的特点是表层土壤中养分和有机质的含量都呈下降趋势,造成这种结果的原因是工程建设不仅破坏了地表原有植被,而且剥离了表土,间接地增强了风蚀和水蚀强度,从而造成了大量的表土中养分含量因风蚀和水蚀而降低。由于互通美化区域和中央隔离带的土壤属于堆积型人为土。

表 2 合阳段路域土壤营养状况的变化 g/kg

| 样点 | 土层/ cm | 土壤化学特性 | | | | |
|-------|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | | OM | TN | TP | TK | pH |
| 中央隔离带 | 0- 10 | 0. 173 | 0. 066 | 0. 423 | 2. 61 | 8. 95 |
| | 10- 20 | 0. 145 | 0. 05 | 0. 232 | 2. 22 | 9. 18 |
| 边坡 | 0- 10 | 0. 17 | 0. 030 | 0. 48 | 2. 04 | 8. 79 |
| | 10- 20 | 0. 08 | 0. 016 | 0. 42 | 1. 88 | 8. 47 |
| 互通 | 0- 10 | 0. 42 | 0. 22 | 0. 97 | 2. 20 | 8. 67 |
| | 10- 20 | 0. 211 | 0. 06 | 0. 56 | 1. 98 | 8. 55 |
| 自然坡 | 0- 10 | 2. 34 | 0. 11 | 0. 383 | 2. 41 | 7. 63 |
| | 10- 20 | 1. 58 | 0. 08 | 0. 341 | 2. 18 | 7. 30 |



图 2 路域土壤特征图示

2.3 土壤重金属含量的变化

从表 3 和表 4 中可以看出, 路域土壤重金属污染指数以下列顺序递降: 中央隔离带 > 互通 > 边坡 > 对照地(自然土地)。中央隔离带, 除 Cr, As 以外, 其他重金属平均含量均为各类土壤中最高, 明显高于其他区域, 而且 Pb 属于轻度污染。

表 3 合阳段路域土壤重金属含量的变化

| 样点 | 土层/ cm | 土壤重金属含量/(mg · g ⁻¹) | | | | | 综合污染指数 |
|-------|--------|----------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | Pb | Zn | Cr | Cd | As | |
| 中央隔离带 | 0- 10 | 18. 17 | 86. 4 | 56. 7 | 0. 3843 | 17. 1 | 0. 809 |
| 边坡 | 0- 10 | 15. 26 | 60. 96 | 56. 82 | 0. 1349 | 20. 94 | 0. 544 |
| 互通 | 0- 10 | 17. 55 | 65. 19 | 64. 93 | 0. 2739 | 16. 53 | 0. 621 |
| 自然坡 | 0- 10 | 15. 79 | 65. 23 | 58. 04 | 0. 1178 | 12. 47 | 0. 373 |

注: 综合污染指数的计算方法用内梅罗公式计算: $P = [(\max P_i) \cdot (1/n \sum P_i)]^{0.5}$ 。式中: i —— 重金属种类; n —— 样本重金属种类总数($n = 5$); P_i —— 土壤单项污染评价指数, 计算公式如下: $P_i = C_i / S_i$; 式中: C_i —— i 重金属元素的实测值, S_i —— i 重金属元素的背景值。标准值引自土壤环境质量标准(GB15618- 1995) [6] 和《土壤环境学》 [7]。

2.4 土壤障碍因素分析

经过对合阳段路域土壤特性的总结分析发现, 绿地土壤养分含量过低、土壤粗骨化和 pH 值偏高会严重抑制绿地植物的生长, 另外依据绿地植物对土层厚度的要求, 边坡土层过薄也会限制植物的生长。而部分区域存在潜在的重金属污染可能。表 5 为不同类型绿地植物正常生长所要求的有效土层厚度, 表 6 为土壤紧实度与植物生长发育之间的关系。

2.2.2 pH 值的变化

从表 2 可以看出, 路域土壤 pH 值的变幅为 7. 30 ~ 9. 18。路域土壤 pH 值明显高于自然土壤, 土壤趋向碱性是路域土壤的显著特征, 且 pH 值在土壤层次中呈无规律分布。是因为土壤性质及类型千差万别。又由于路域土壤中常常混有建筑废弃物、水泥、砖块和其它碱性混合物等, 其中的 Ca 向土壤中释放; 另外, 大量含碳酸盐的灰尘和沉降; 水泥风化向土壤中释放 Ca; 土壤中碳酸盐与碳酸反应形成重碳酸盐等因素导致了路域土壤趋向碱性, pH 值与自然土壤差异明显。本研究与许多城市土壤的研究结果完全一致 [5]。

而其他区域之间的重金属差异相对很小。Pb 和 Cd 是典型的由于人类活动进入环境的元素, 其含量与当地的交通流量以及距离车辆的距离密切相关 [3]。单项污染指数($P_i = 1. 26 > 1$) 显示, 中央隔离带属于轻度污染。综合污染指数($P_{综} = 0. 809, 0. 7 < P_{综} \leq 1$) 表明, 中央隔离带处于警戒级。

表 4 综合污染指数分级

| 综合污染指数 | 分级 | 污染等级 |
|-----------------------|----|------|
| $P_{综} \leq 0. 7$ | 1 | 安全 |
| $0. 7 < P_{综} \leq 1$ | 2 | 警戒级 |
| $1 < P_{综} \leq 2$ | 3 | 轻度污染 |
| $2 < P_{综} \leq 3$ | 4 | 中度污染 |
| $P_{综} > 3$ | 5 | 重度污染 |

表 5 不同类型绿地植物正常生长所要求的有效土层厚度

| 植物类型 | 要求有效土层厚度/cm |
|---------|-------------|
| 草坪 | 20– 30 |
| 一、二年生花卉 | 20– 30 |
| 宿根花卉 | 30– 50 |
| 小灌木 | 40– 50 |
| 大灌木 | 60– 70 |
| 小乔木 | 80– 120 |
| 大乔木 | 100– 150 |

表 6 土壤紧实度与植物生长发育之间的关系

| 土壤紧实度/kPa | 植物发育状况 |
|------------------------|--------------------------------|
| < 137. 30 | 土壤松软易干燥, 导致植物发芽受影响 |
| | 坡度较大时, 土壤容滑落 |
| | 利于植物根系生长发育, 适宜草本植物繁殖 |
| 黏性土 137. 30~ 981. 68 | 适宜木本植物栽种 |
| 砂性土 137. 30~ 1793. 70 | |
| 黏性土 981. 68~ 3700. 18 | 除了一部分木本植物之外, 根系的生长发育受到影响 |
| 砂性土 1793. 70~ 3700. 18 | |
| > 3700. 18 | 根系的发育生长几乎是不可能的 |
| | 在岩石表面有龟裂的条件下, 木本类植物的根系生长发育是可能的 |

3 结 论

由于受到强烈人为活动的反复影响, 使路域内部分土壤成为复杂的扰动土壤分布区。其中一些土壤是今后用于绿化或者生态防护的绿地土壤, 结合本研究所调查区域路域土壤的障碍因素, 它具有如下一些特点:

- (1) 土壤物理性质差。
- (2) 有机质和养分贫乏, pH 普遍偏高。
- (3) 土壤成分复杂, 侵入体多; 路域堆积土壤中夹杂着特殊异质土层, 如碎砖、变性水泥等, 它们的特点是“杂物”多而细土少, 对整个堆积土体的性质和肥力都有很大影响。
- (4) 有效土层有限, 植物扎根受限。
- (5) 受施工垃圾的污染, 施工过程中适用的石灰、煤渣、水泥、砾石、沥青混凝土等, 往往对边坡土壤和中央隔离带土壤产生污染。
- (6) 土壤重金属污染因素增多。由于公路路域(尤其是边坡土和中央隔离带) 土壤具有如上一系列不良特征, 所以实施绿化或者生态防护工程时必须采取土壤改良措施及其相应措施。

参考文献:

[1] 刘良梧, 龚子同. 全球土壤退化评价[J]. 自然资源, 1995(1) 10 16.

[2] 李玉和. 城市土壤形成特点肥力评价及利用与管理[J]. 中国园林, 1997, 13(3): 20- 23.

[3] 刘廷良, 高松武次郎, 佐濑浴之. 日本城市土壤的重金属污染研究[J]. 环境科学研究, 1996, 9(2) 47 51.

[4] 崔晓阳, 方怀龙. 城市绿地土壤及其管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.

[5] 张甘霖, 朱永官, 傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应[J]. 生态学报, 2003, 23(3) : 539 546.

[6] 土壤环境质量标准(GB15618– 1995).

[7] 李天杰, 宫室国, 潘根兴, 等. 土壤环境学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 97- 138.

(上接第 48 页)

[3] 刘仁涛, 付强, 张艳梅, 等. 三江平原地下水脆弱性评价的熵权系数法模型[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 20 22.

[4] 刘仁涛. 三江平原地下水脆弱性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007: 31 50.

[5] 付强. 数据处理方法及其农业应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 83– 323, 466 469.

[6] Liu Rentao, Fu Qiang, GAI Zhaomei, et al. Entropy Weight Coefficient Model and Its Application in Evaluation of Groundwater Vulnerability of the Sanjiang Plain[J]. Journal of Northeast Agriculture University (English Edition), 2007, 14(4): 368- 373.

[7] 刘仁涛, 付强, 盖兆梅, 等. 三江平原地下水脆弱性评价的投影寻踪模型[J]. 东北农业大学学报, 2008(2): 184 190.

[8] 付强, 赵小勇. 投影寻踪模型原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 11- 28.

[9] 王国利, 周惠成, 杨庆. 基于 DRASTIC 的地下水易污染性多目标模糊模式识别模型[J]. 水科学进展, 2000, 11(2): 173 179.

[10] Alley L, Bennet T, Lehr J H. DRASTIC a Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings [M]. U. S. Environmental Protection Agency, Ada, OK, EPA/ 600/2- 87- 036, 1987.

[11] 陈守煜, 王国利. 含水层脆弱性的模糊优选迭代评价模型及应用[J]. 大连理工大学学报, 1999, 39(6) : 811- 815.