

# 塞罕坝地区土壤污染分析评估

环境综合实习二第五小组

2021.7.29

# 目录

---

01 背景介绍

02 研究方法

03 结果分析

03 总结与展望



# 01

## Part One

### 背景介绍

## 塞罕坝概览——自然地理与人文历史

- 位于**河北省承德市围场满族蒙古族自治县**境内，地处内蒙古高原东南缘与冀北山地的交接处，总面积**20029.8公顷**
- 主要气候类型为**温带半湿润季风气候**，春季较迟且多风；夏季凉爽短暂，紫外线强烈；冬季寒冷且漫长；降雨量少；昼夜温差较大；多发风沙、霜冻和干旱天气
- 1962年林业部在塞罕坝机械林场、大唤起林场、阴河林场的基础上组建塞罕坝机械林场总场。建立之初，气候恶劣，土地沙化严重，人烟稀少。塞罕坝**用三代人的青春和汗水，营造起万顷林海，生态价值和景观价值极高**





01

## Part One 背景介绍



森林与草原的交界

### 塞罕坝概览——植被特点

- 该自然保护区属于典型的**森林、草原交错带**，保护区植被划分为 7 个植被类型 25 个群系
- 天然针叶林以华北落叶松和云杉为主
- 针阔叶混交林以落叶松、樟子松、白桦、云杉、山杨为主
- 天然次生林以白桦、山杨为主

塞罕坝林场中土壤的**肥力**随着土壤深度的增加而**递减**

同时，林地土壤中的有机质含量明显低于相同条件下无林地的有机质含量

### 塞罕坝概览——土壤情况

**垂直分布**（由低到高）：棕壤、灰色森林土、黑土

**水平分布**（由东到西）：黑土、灰色森林土、风沙土

#### 演变趋势

- 棕壤向灰化棕壤过渡
- 风沙土向灰色森林土方向发育
- 灰色森林土向风沙土方向转变
- 草甸土和沼泽土有向地带性土壤演变的趋势



01

Part One  
背景介绍

## 土壤重金属污染

主要包括**汞、镉、铅、铬、砷**

**特点：**沉积性、滞留时间长、隐蔽性强、毒性大、化学行为和生态效应复杂、不易被微生物降解、不可逆性，治理和恢复的难度大

**来源：**复杂，**人类矿业生产和农药化肥的施用**是主要来源，此外还包括生活垃圾、家禽饲养、交通运输等

**危害：**

- 对土壤微生物和动植物造成影响
- 影响生态系统中土壤微生物生物量和土壤酶的活性
- 对周围环境（地下水和大气环境）造成污染
- 有毒性，会通过食物链富集，对人体健康造成危害

## 土壤TOC

TOC是**土壤形成的重要标志**

**特点：**

- 影响土壤肥力进而影响粮食生产
- 吸附和储存各种污染物
- 吸收和释放植物营养元素
- 保持土壤水分
- 作为碳源，固定或释放大量二氧化碳，影响**全球气候变化的碳循环**

# 02

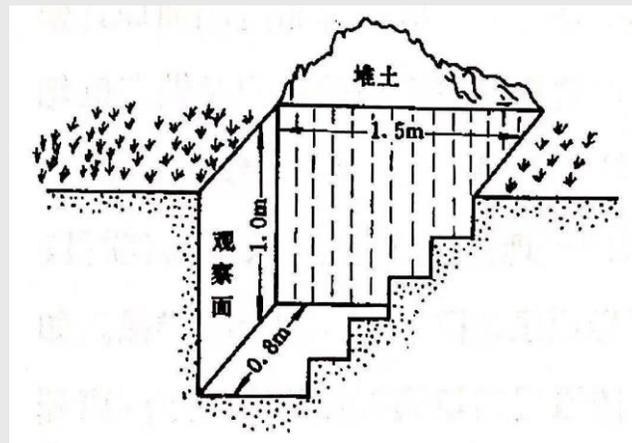
## Part Two 研究方法



(1) 纵深线



(2) 沿湖线



(3) 深度点

### 布点方案

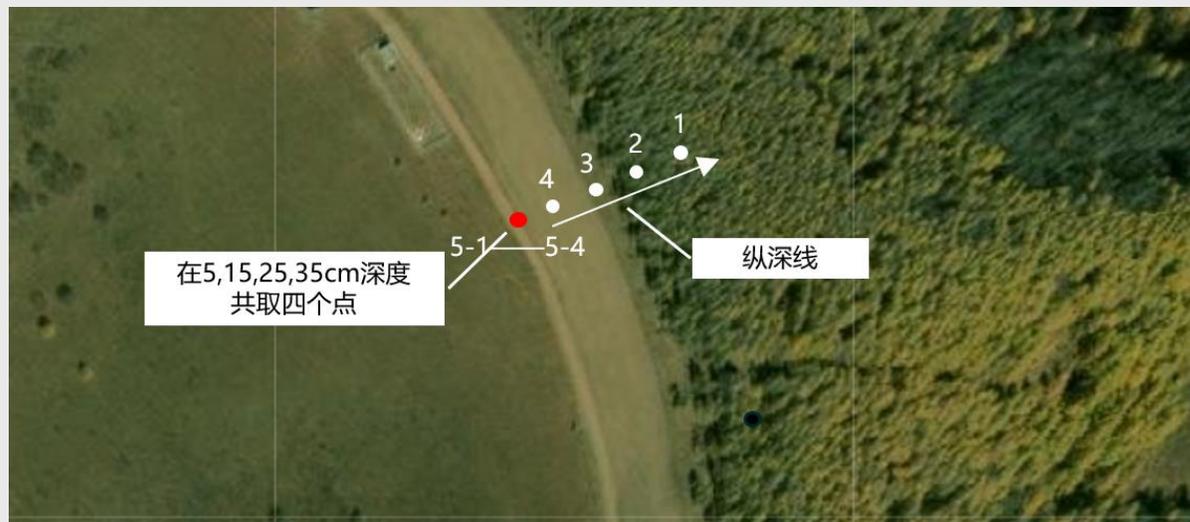
① **“纵深线”** 即通过设置一条垂直于马路、向林地深处延伸的采样线，在线上根据实际情况设置采样点进行测量，以此探讨人为因素对土壤物理性质、重金属分布的影响。

② **“沿湖线”** 即通过在湖泊附近一系列采样点，以此反映不同湖泊的土壤理化性质及重金属分布。

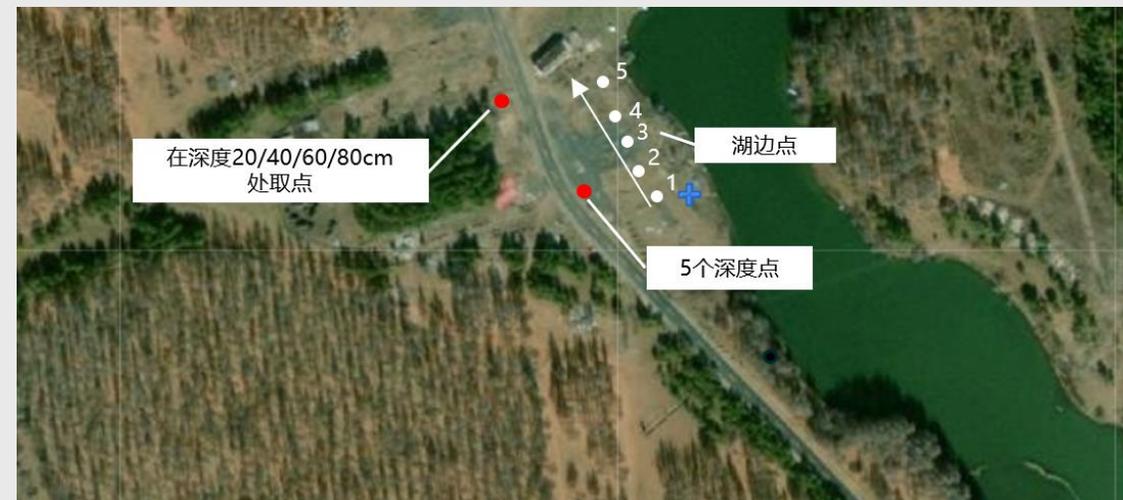
③ **“深度点”** 即在同一点不断挖深并测量，以此探讨深度对土壤理化性质及重金属分布的影响。

月亮山	纵深线	5
	深度点	4
七星湖	纵深线	3
	沿湖线	5
森林大酒店	深度点	4
	沿湖线	5
神龙潭	纵深线	4
	沿湖线	4
泰丰湖	沿湖线	5
	深度点	4+5

### 点位展示 (月亮山、七星湖)



### 点位展示 (森林大酒店、神龙潭、泰丰湖)





# 02

## Part Two 研究方法

### 实验目的

- ① 通过**在线监测**塞罕坝当地的土壤的pH、温度、湿度、电导率、重金属含量等参数，**离线监测**TOC含量
- ② 研究**重金属、TOC含量的分布情况**和**影响因素**，以及土壤不同性质之间内在关系

### 实验材料

#### 要携带去采样点的

##### 仪器

pH 400 Meter	两台
WET sensor	两台
VANTA	一台

##### 其他物品

军工铲	两个
大铁铲	一个
保鲜膜	一盒

#### 不用携带去采样点的

筛网	两个
硫酸纸	若干
研钵	若干
自封袋	若干

无菌袋	若干
去离子水洗瓶	两个
记号笔	一支

### 流水线采样及分析步骤

大铲挖坑→小铲采样→WET现场监测→pH400Meter现场监测→VANTA现场监测→土样带回生态站  
→烘干→挑拣→研磨→过筛→装袋→称重后装入样品舟→上机测TOC

## (1) 大铲挖坑，清理采样点，记录周边环境

- ①用**铲子挖掘并清理**采样点表面的腐殖质、植物根系及石子，使表土裸露（深度约**20-30cm**）
- ②将表土适当**压实并拍平**，为后续仪器测量做准备
- ③拍摄**周边环境**照片，记录采样点**地理位置**（经纬度定位与地图截图）、植被类型、土壤颜色及其他可能影响土壤理化性质的因素

## (2) 小铲取土，采集部分土壤样品

用工兵铲将部分土壤样品转移至**无菌袋**（装至**1/3左右**）中，并用**记号笔**在袋子表面做好标记（格式如：**点位+日期+序号**），采集的土样用于后续TOC含量的分析



奋力铲土



# 02

## Part Two 研究方法

### (3) 测量土壤含水率、电导率及温度

仪器 **WET Sensor (土壤三参数仪)** (**WET**、**EC**、**TEP**)

①按 **“ESC”** 键开机并调节至初始界面，将金属探头**尽可能深地缓慢**插到土壤中

②按下 **“Read”** 键，等待仪器显示数据并**稳定**后，依次记录土壤的含水率、电导率和温度

③测量结束后，按 **“ESC”** 键关机，用**去离子水润湿滤纸**后**擦净探头**，放回箱中待下次使用



图1 金属探头

图2 完整仪器

# 02

## Part Two 研究方法

### (4) 测量土壤 pH 值

仪器 **pH 400 Meter**

①按开关键  开机

②用**打孔工具**在测试点钻一个圆孔

③将**探头**插入，使电极能够与土壤**充分接触**

④等待仪器**示数稳定后**读出并记录土壤 pH 值

⑤测量结束后，关机并用**去离子水润湿滤纸**，擦拭电极，擦净后放回箱中待下次使用



图1 打孔工具



显示屏

电源开关

图2 完整仪器

### (5) 测量土壤不同种类重金属含量

仪器 **vanta-X 射线荧光分析仪**

①按**开关键**  **开机**，输入密码“0000”，进入初始界面

②在测试点**表面平整地铺**一层保鲜膜（目的是保护仪器测试镜头，实际使用时也可选择直接用保鲜膜**盖住镜头**）

③将测试镜头与测试点土壤**贴紧**，**扣动扳机**开始测量（也可以点击屏幕上的**开始键** ）

④测量结束后，记录数据，长按开关键  **关机**

X射线口

扳机



图1 vanta外观

开始键

电源键

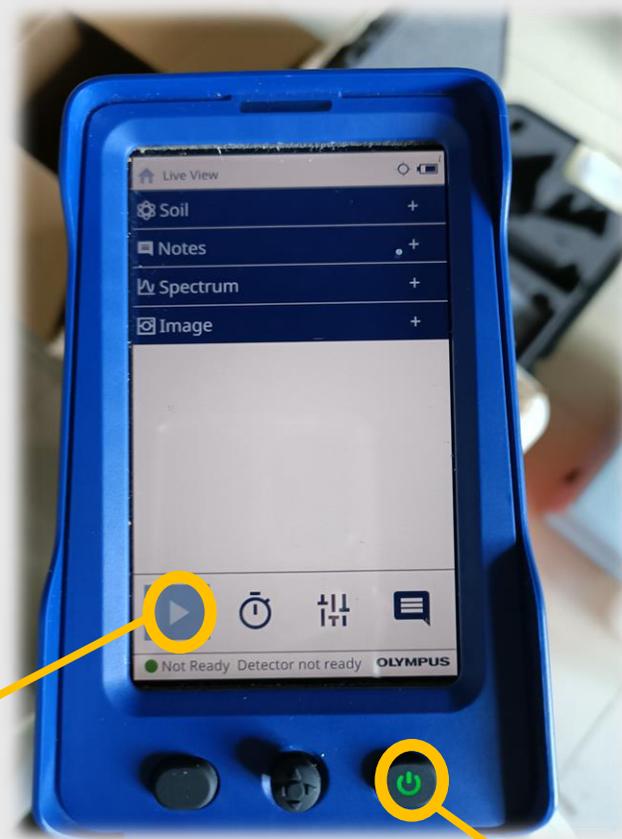


图2 仪器显示屏

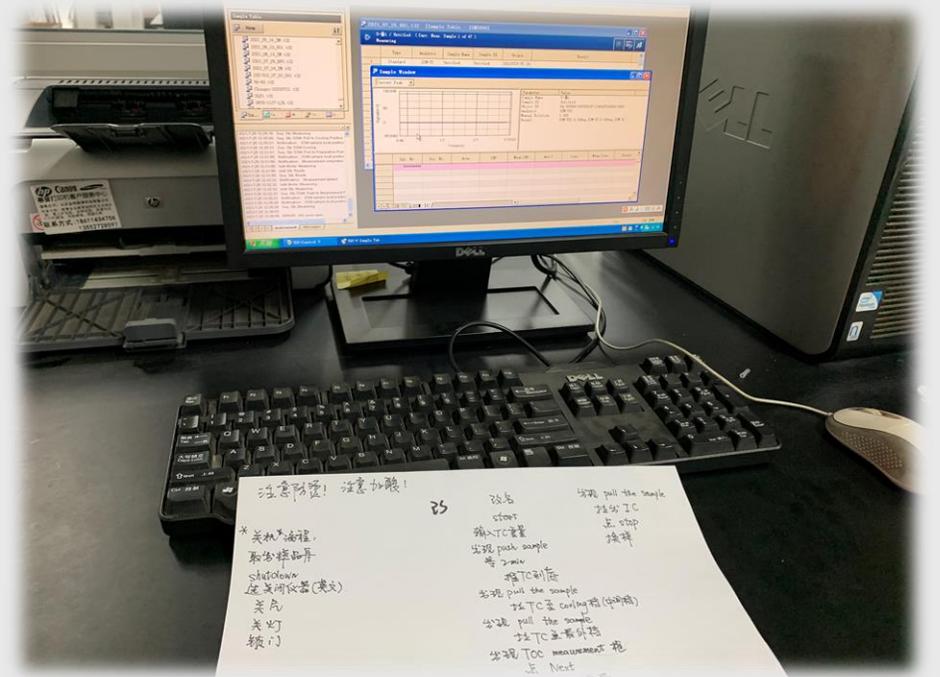
## (6) 土壤样品预处理：烘干、挑拣、研磨、过筛

- **干燥**：将土壤充分混匀并平铺在硫酸纸的表面，并在纸上做好标记。可以在阴凉处自然晾干，时间一周左右；也可以用烘箱，将土样烘干时温度设置为**60°C**，时间为**4~5h**。（本次实验采取烘干）
- **研磨过筛**：取出土样放入研钵中，利用瓷质研磨棒对土样进行**初研磨**，并利用2mm（10目）筛网过筛。将筛出的土样**再次进行研磨**，利用0.097mm（160目）筛网过筛。将筛出的土样（此时的样品都是**细微的粉末**）放入无菌自封袋中，做好标记，将完成的土样用铝箔纸遮光包裹后放入冰柜或者阴凉处保存。



### (7) 土壤TOC上机测定

- a) **绘制校准曲线**: 首先, 使用万分之一天平称量50mg的**葡萄糖**以及176.7mg的**碳酸钠**, 将其分别导入TC与IC的分析进路, 从而进行**标准曲线 (Standard) 与方法 (Method) 的构建**, 通过峰面积与已知浓度的对应关系, 可以形成标准曲线, 并为后续一系列样品提供比照的参考。
- b) **测定**: 一个土壤样品, 用**万分之一天平称取两份50mg试样** (误差小于0.05mg), 分别放入两个石英舟中。将石英舟放入总有机碳测定仪后, **按照规范流程和仪器提示操作**, 得到样品中TOC含量。
- c) 实验完成后多余的土壤样品需要丢弃, 使用过的石英舟在倒掉参与土样后放入浓硝酸中洗涤。最后按照规范关闭仪器。





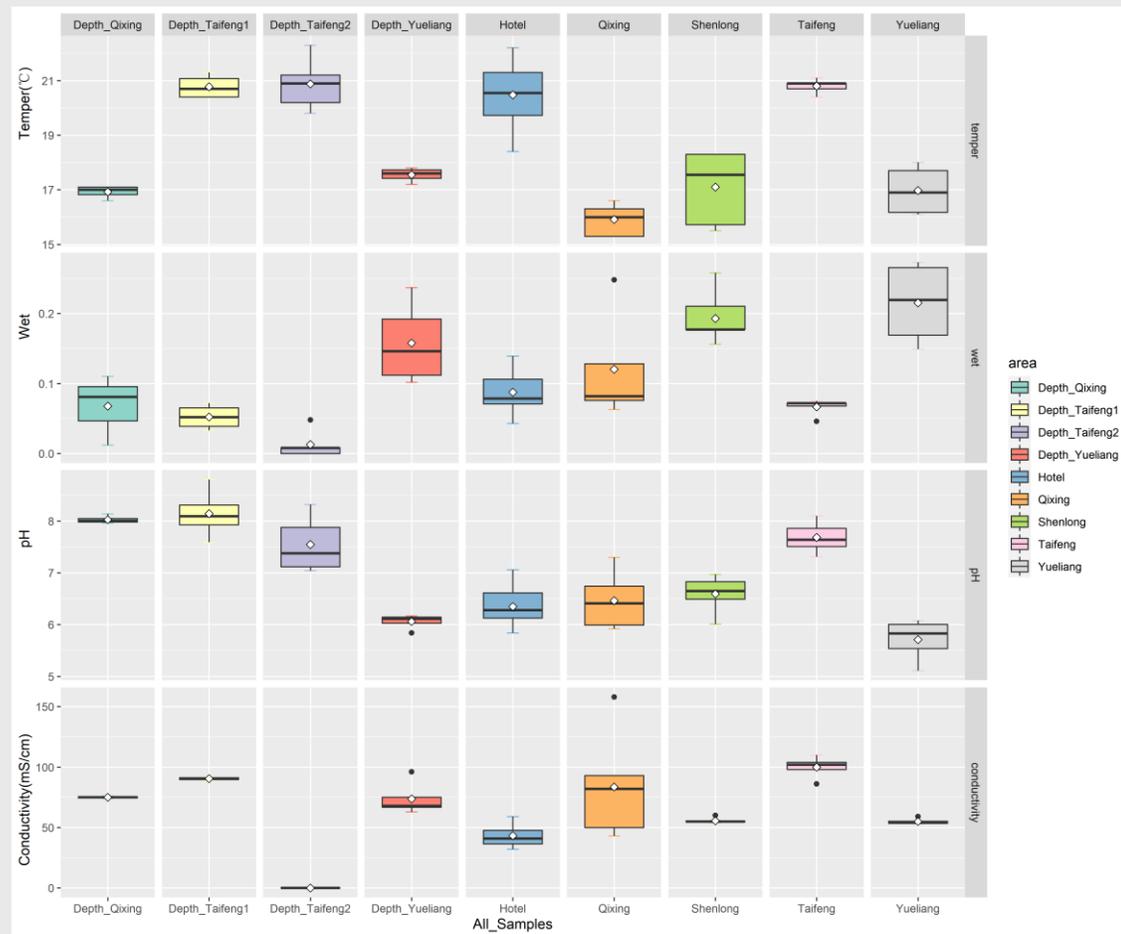
# 03

## Part Three

### 结果分析

## 3.1 土壤四参数分析

- 温度相对较低，**随深度变化不明显**，在同一采样点不同深度处土样温度极差均不超过1°C。
- 不同区域、统一区域不同采样点、同一采样点不同深度处土壤**含水率极差较大**，但**含水率随深度的变化规律不显著**。
- 大部分地区土壤的pH在6-7之间，呈**弱酸性**。月亮山部分点位土壤pH小于6，酸性相对强；**泰丰湖各点位土壤pH在7.5-8左右，呈弱碱性**。
- 七星湖地区路边的深度点与林中的纵深点pH差异大，前者呈碱性而后者呈弱酸性，说明路边土壤受到**人为影响较大**。
- 由于部分点位土壤含水率较低，导致土壤**电导率无法测出**，数据有限，代表性不足。





### 3.2 土壤质量综合评价——内梅罗多因子综合分析法

《土壤环境监测规范》(HJ/T 166 -2004)

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

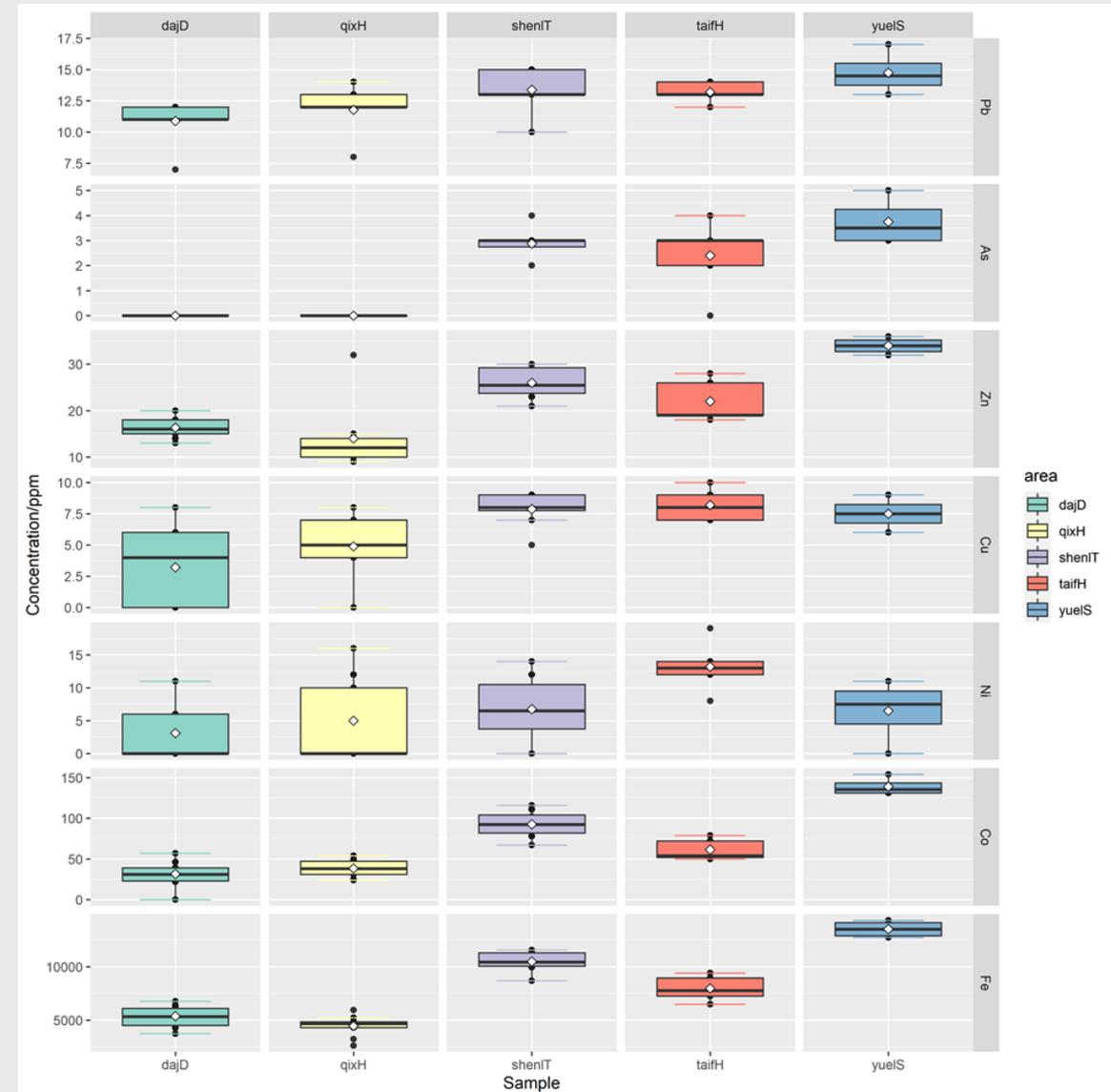
$$P_{综} = \sqrt{(\bar{P}^2 + P_{max}^2) / 2}$$

$P_i$	$P_i \leq 1$	$1 < P_i \leq 2$	$2 < P_i \leq 3$	$P_i \geq 3$
污染水平	非污染	轻污染	中污染	重污染

土壤综合污染等级	土壤综合污染指数	污染程度	污染水平
1	$P_{综} \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	警戒线	尚清洁
3	$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	轻度污染	污染物超过起初污染值，作物开始被污染
4	$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	中度污染	土壤和作物污染较为明显
5	$P_{综} > 3.0$	重度污染	土壤和作物污染较为严重

### 3.2 土壤质量综合评价——重金属（单因子）

- 共采集了**52份土壤样品**并分别进行了重金属测量，八种评价因子中，由于**镉(Cd)、汞(Hg)、铬(Cr)**在任何点位都没有测出，因此可以认为全部土样中均不含有这三种重金属（有一个样品测出了元素汞，但数据过大，可以认为是异常值而将其舍弃）
- 剩下的五种重金属则根据实测值与背景值进行了**单因子指数的计算**，并根据**内梅罗公式**计算得到了**多因子综合指数值**。

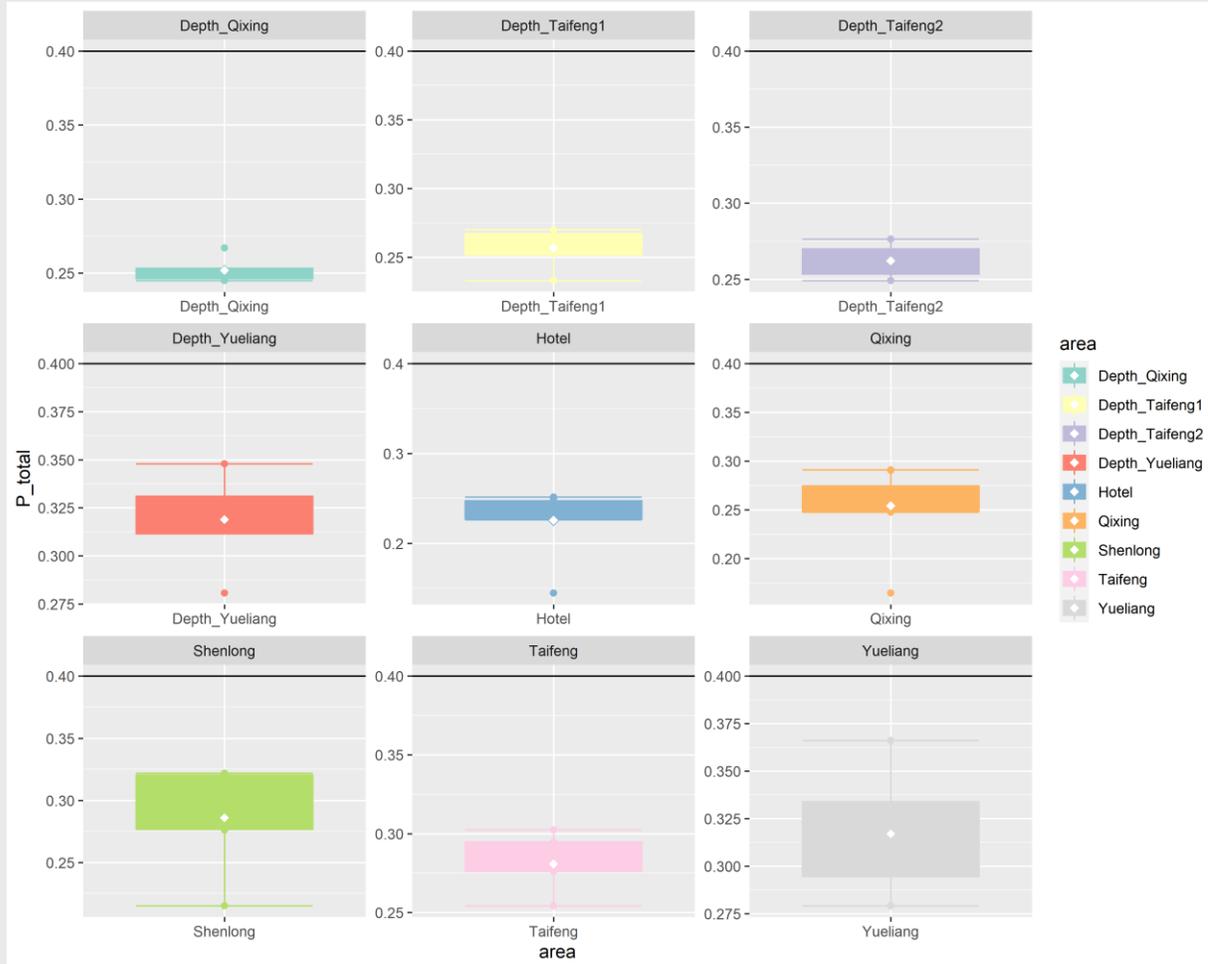




# 03

## Part Three 结果分析

### 3.2 土壤质量综合评价——重金属（多因子）

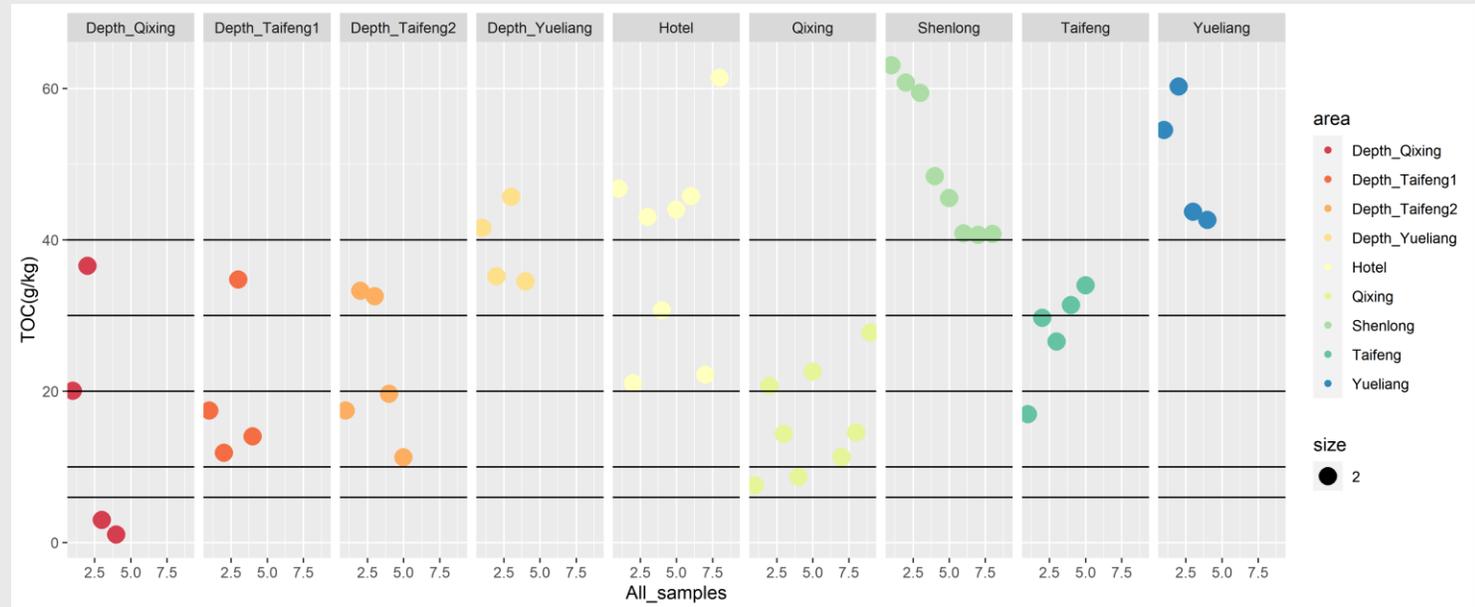


- 从计算结果来看，五个实习点位（月亮山、七星湖、森林大酒店、神龙潭、泰丰湖）的土壤情况**普遍良好**，没有任何单因子指数超过1（说明每份样品的每种重金属都在标准范围以内）
- 多因子内梅罗指数较为平均，**普遍分布在0.2~0.4的数值范围内**，属于十分安全与**清洁**的水平（低于0.7即为清洁水平），几乎没有受到污染。



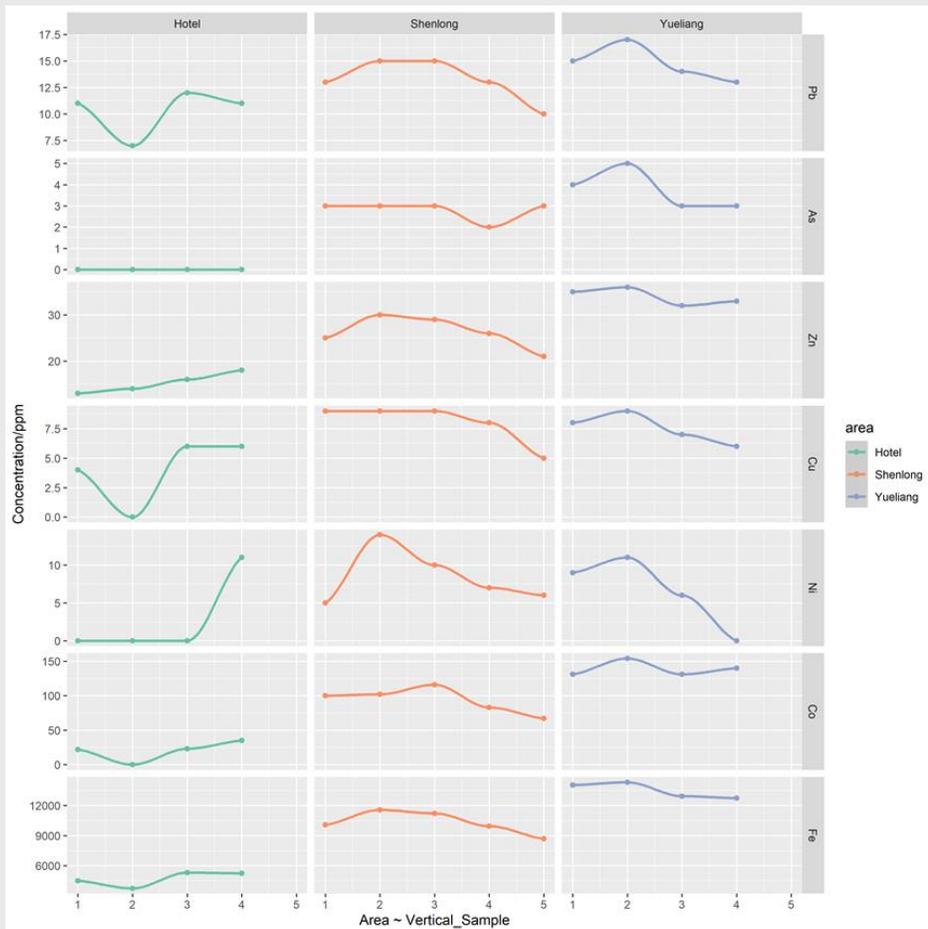
## 3.2 土壤质量综合评价——TOC

根据土壤TOC的评价标准，可以将土壤的有机质含量分为六个级别：丰富、富、较富、不缺、较缺、缺。其中，如果土壤有机质含量高于**40g/kg**，则土壤的有机质含量属于**丰富级别**。



- 从最终的实验数据结果来看，大部分的土壤样品的有机质含量处于丰富、富与较富的三个等级，可以看出塞罕坝的**土壤肥力比较充足**，能够较好地涵养水源与营养物质，也比较适合植物的生长。
- 从散点图的分布可以看出，**七星湖的深度点**有两份样品的TOC含量在最低等级，另外**泰丰湖的两个深度点**也出现了TOC含量低的情况。这可能与采样点位当地的**土壤分层情况有关**，当土壤深度较大时，土质由真土变为沙土，肥力有明显下降，TOC含量因而也较低。

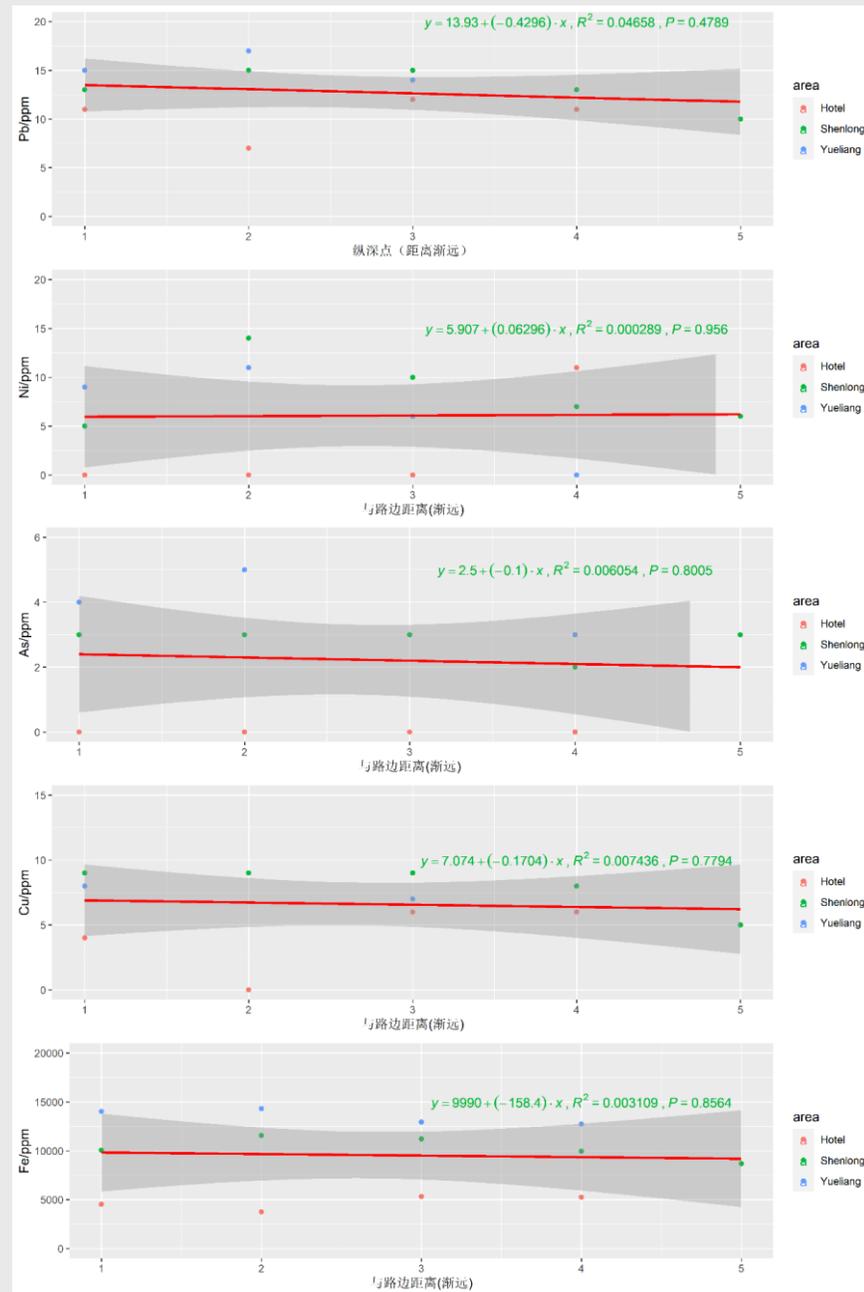
### 3.3 平行地面纵深对土壤质量的影响——重金属



- 在森林大酒店、神龙潭、月亮山三处纵深点的重金属测量结果的变化曲线如图所示，其中横坐标由1到5表示离道路距离渐远。根据此图可以看出，三地土壤**重金属浓度随采样点与道路的距离的变化规律不显著**，且三地表现出的**变化特点并不统一**。
- 例如在森林大酒店，随着采样点离道路越远，土壤中Zn的含量越高；神龙潭的多数采样点都呈现出距道路越远，Zn含量越低的特点，而在月亮山没有表现出明显的变化规律。

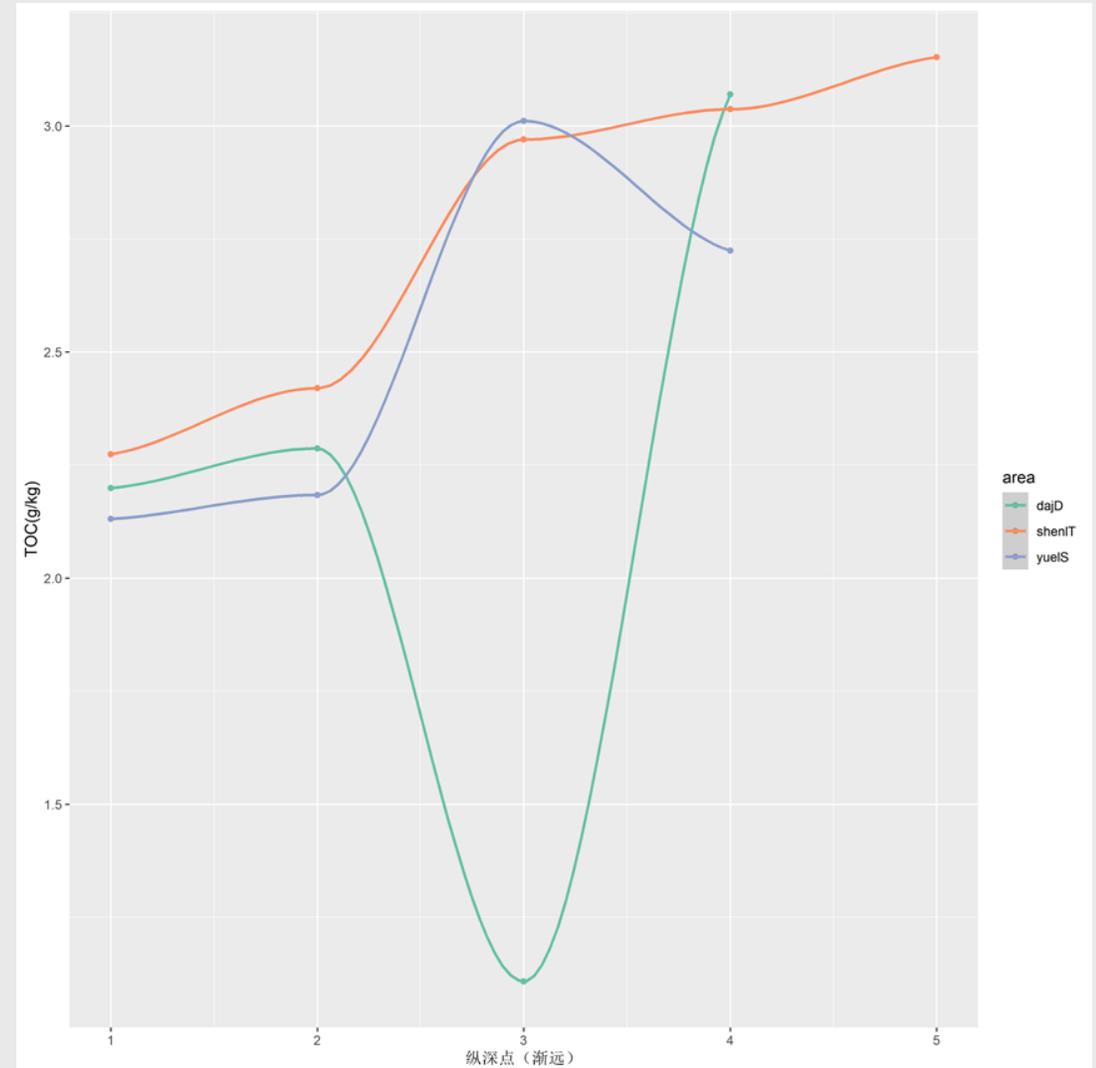
### 3.3 平行地面纵深对土壤质量的影响——重金属

- 将三地测得的整合后将重金属与样点与道路的距离进行线性拟合，得到土壤重金属含量随距离的变化趋势如图所示，得到的**大多数趋势线的R<sup>2</sup>都小于0.01**，说明**重金属含量与路边距离的相关性不强**，Pb元素表现的相关性略好，但其R<sup>2</sup>也小于0.05
- 综上所述，尽管各元素的趋势线斜率均为负值，但由于R<sup>2</sup>过小，且**P值的乘积大于0.05**，根据概率统计的相关知识我们**无法否定“所有纵深线的重金属含量与路边距离的相关性均不显著”**。最终我们认为由于采集的**样本量太少**，出现本次实验现象的偶然性较大，因此无法得出有说服力的结论。



### 3.3 平行地面纵深对土壤质量的影响——TOC

- 对分别位于森林大酒店、神龙潭、月亮山的三条纵深线上的各采样点土壤TOC进行测定，作出**土壤TOC含量与路边距离**的散点图，并用曲线将每条纵深线上的散点相连形成变化曲线，得到的结果如图所示。
- 由图可见，与重金属类似，三地样本土壤的TOC与路边距离同样**未呈现出统一的变化趋势**，其中神龙潭土壤TOC随距离增加而增加，月亮山随距离增加先上升后下降，森林大酒店则先下降后上升，**变化规律很不显著**。

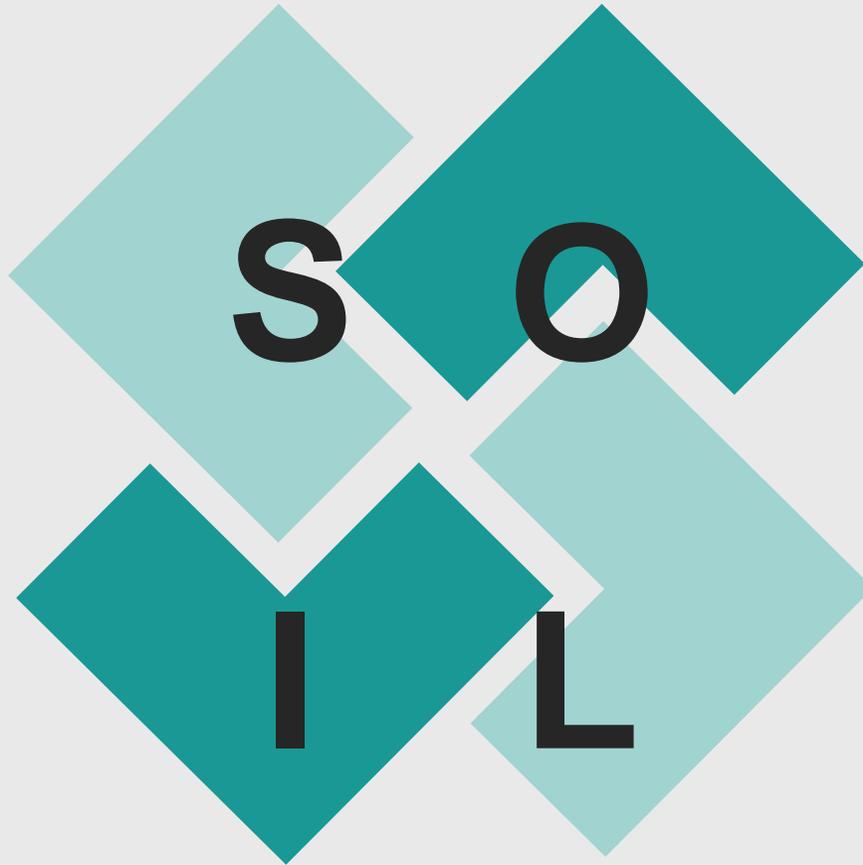




### 3.3 平行地面纵深对土壤质量的影响——小结

(1) **人为因素对土壤质量的影响路径有很多，不能用土壤与道路之间的距离来唯一表征。**例如，造成不同地区土壤重金属污染的主要污染源不同，由汽车尾气沉降造成的污染只是其中的一部分，施工、行人丢弃垃圾等因素也可能造成污染

(3) **采用的仪器不够精密**，塞罕坝各地的重金属和TOC含量均较低，同一纵深线上的各点含量相差的绝对值很小。而在正式实验前对标准土样进行测定时发现仪器存在一定误差，因此在实际测量中可能存在实验结果相对误差大的情况，对结论的得出产生影响

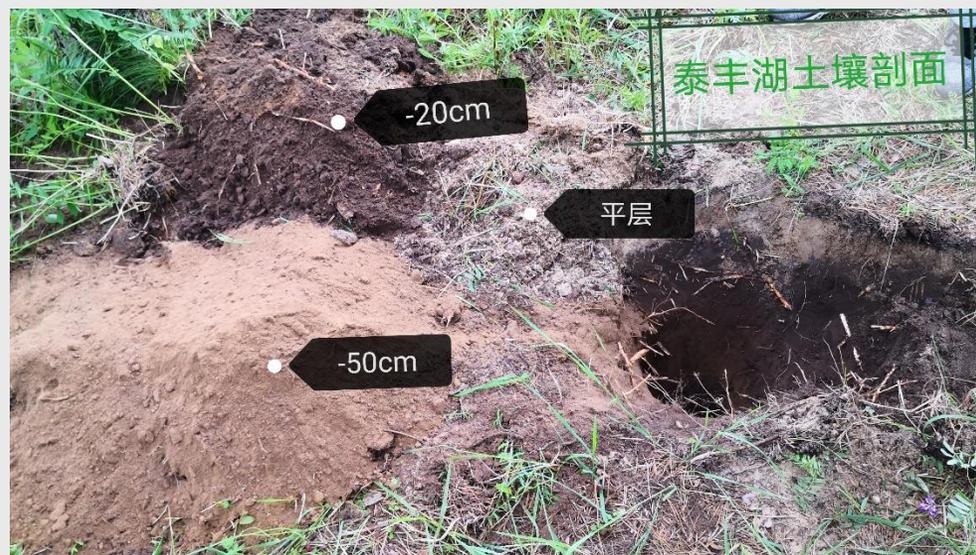
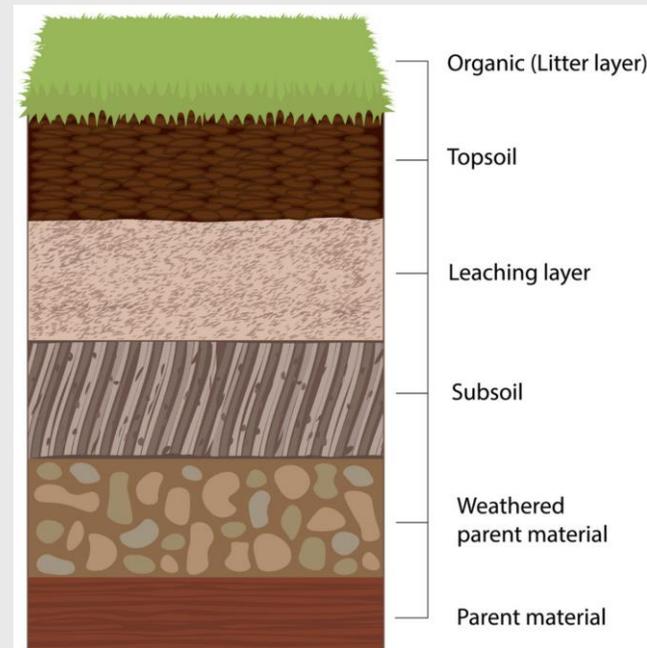


(2) 实际采样时受地形、工具等因素制约，**每一条纵深线上选取的采样点数量有限，且各点之间距离过近**，因此，实际上重金属等污染物在各点之间扩散作用不明显，实验结果的误差较大

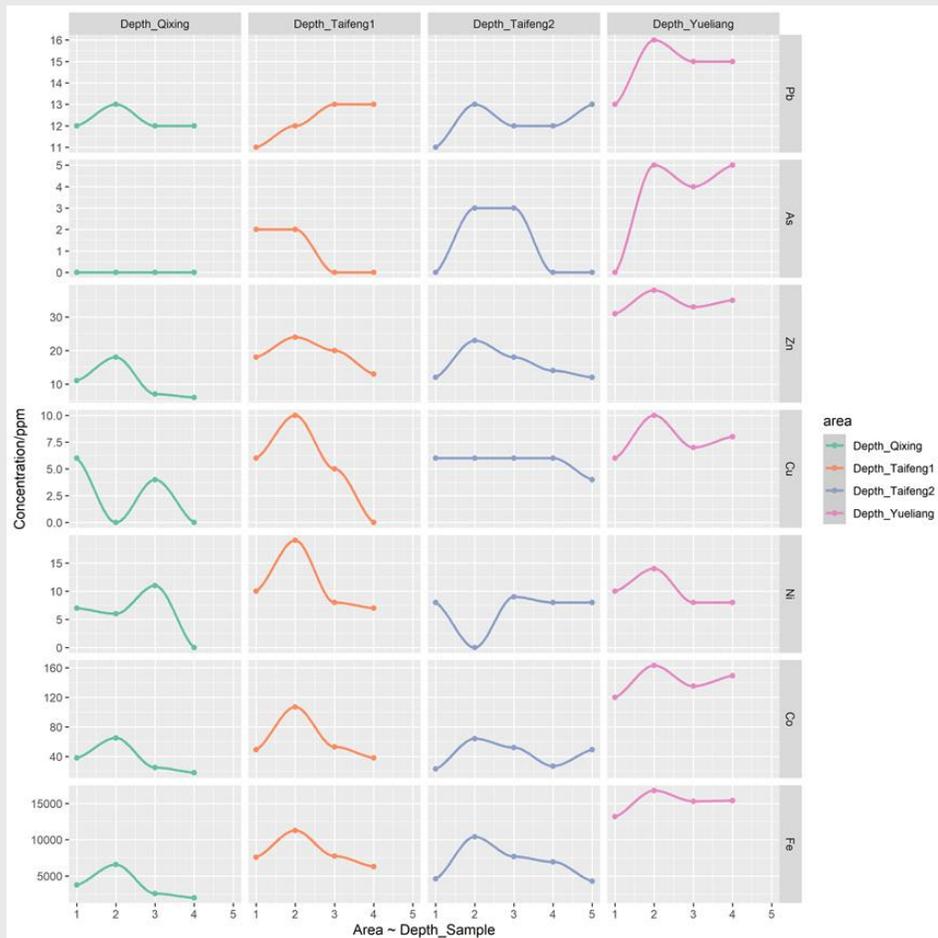
(4) **土壤污染扩散会受到很多因素的影响**（包括大气颗粒物沉降，地下水系的流动，固体废弃垃圾的倾倒入渗滤等等），最终并不一定呈现出和污染源距离的显著相关关系，另外，污染物质在土壤介质中的扩散速率很缓慢，不容易得出比较明显的趋势变化

### 3.4 垂直地面深度对土壤质量的影响——土壤分层

- 土壤分层是土壤在形成过程中自然发生的一种现象，常见的分层情况可以大致分为**表土层**、**心土层**与**底土层**三层
- 在实际采样的过程中我们发现，**四个点位的土壤都出现了比较明显的分层现象**。其中，泰丰湖点位1（Taifeng1）和月亮山（Yueliang）可能由于道路的翻修与施工，土壤表层有一层沙土，随深度增加土壤颜色变深，混有一些腐殖质的矿质层，随深度继续增加土壤颜色又变浅，土壤中富含石英砂粒，泰丰湖点位2（Taifeng2）和七星湖（Qixing）点位表面无砂土层，上层为深色的矿质层，下层为浅色的砂粒层



### 3.4 垂直地面深度对土壤质量的影响——重金属



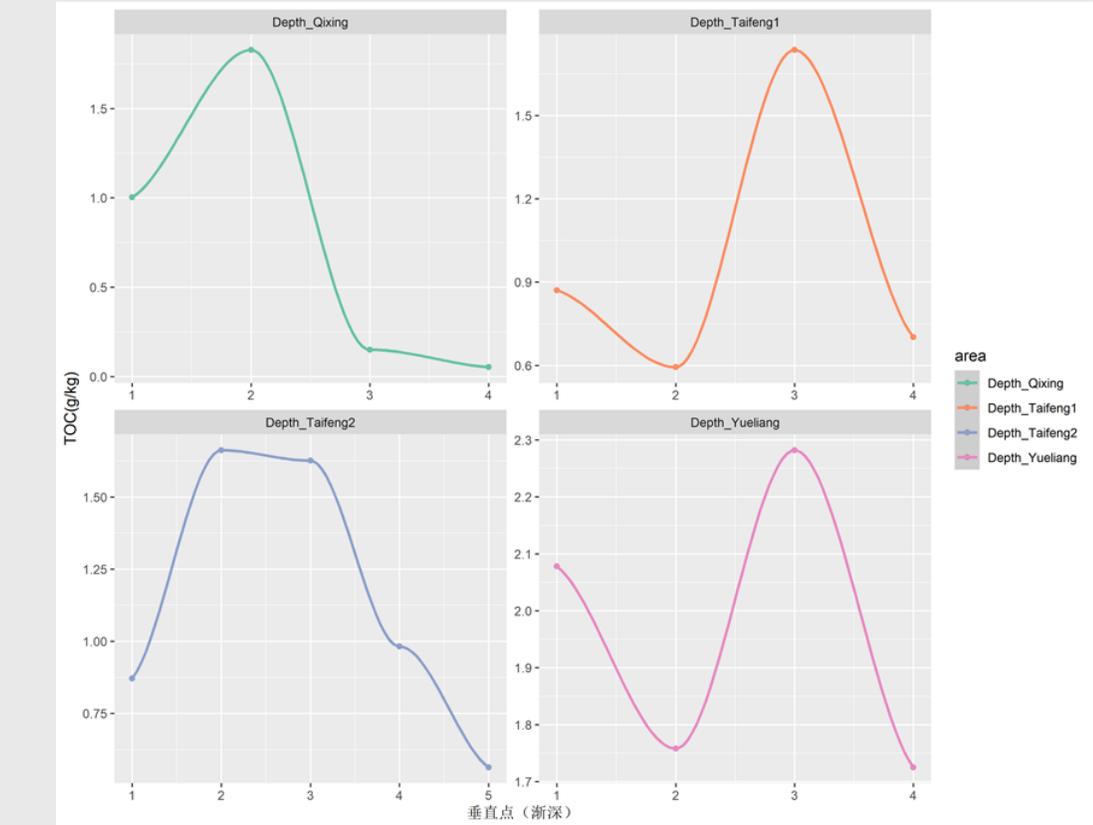
- **重金属含量随深度变化的一致趋势仍不明显**，这可能与选取的深度点之间距离不够、仪器精密度有限、选取点的数量不够等因素有关
- 但大部分重金属的浓度都呈现出**随深度增加先上升后下降的趋势**，有可能是因为上层土壤中混有腐殖质或直接从腐殖层展开测量，腐殖质中的重金属含量较低，而在土壤表层重金属含量最高，随土壤深度增加，扩散至下层的重金属有限，故下层的重金属含量也较低
- **部分未出现下降趋势的散点图**有可能是因为腐殖层较厚，选取的最深处土壤深度仍有限。同时还要考虑随着道路的重建、翻修，在原土地上又铺陈了一层外来土壤的因素

### 3.4 垂直地面深度对土壤质量的影响——TOC

不同采样区域的TOC的变化趋势大致相同，在最开始处于上升状态，而之后会显著降低到很低的水平，对于**TOC含量先增加后下降的变化模式**，可能与以下三个因素有关：

(1) **土壤分层使得不同深度的剖面土壤具有不同的属性**。真土（第二层）储存的有机质含量最为丰富，因而浓度也最高，其次是腐殖质与表土层（第一层），沙土（第三层）由于主要是硅酸盐组分，几乎无法形成、保留有机质

(2) **土壤的淋溶作用**会使表层土壤物质中可溶性或悬浮性化合物在渗漏水的作用下由土壤上部向下部迁移，因而腐殖质层形成的总有机质会逐渐下沉进入真土层，导致中间部分的真土层TOC含量最高



(3) 部分点位刚刚经历施工，**表面浅层的土壤可能并非点位原本的土壤**而是来自施工的一些废弃物质，可能影响实际测量结果，导致浅层TOC含量偏低。



# 03

## Part Three

### 结果分析

## 3.5 土壤数据相关性

### ① 金属元素:

Fe、Zn、Co同源关系

### ② TOC与金属、四参数:

与Fe、Zn、Co正相关 (络合物)

与湿度正相关、与pH负相关

### ③ 四参数与金属:

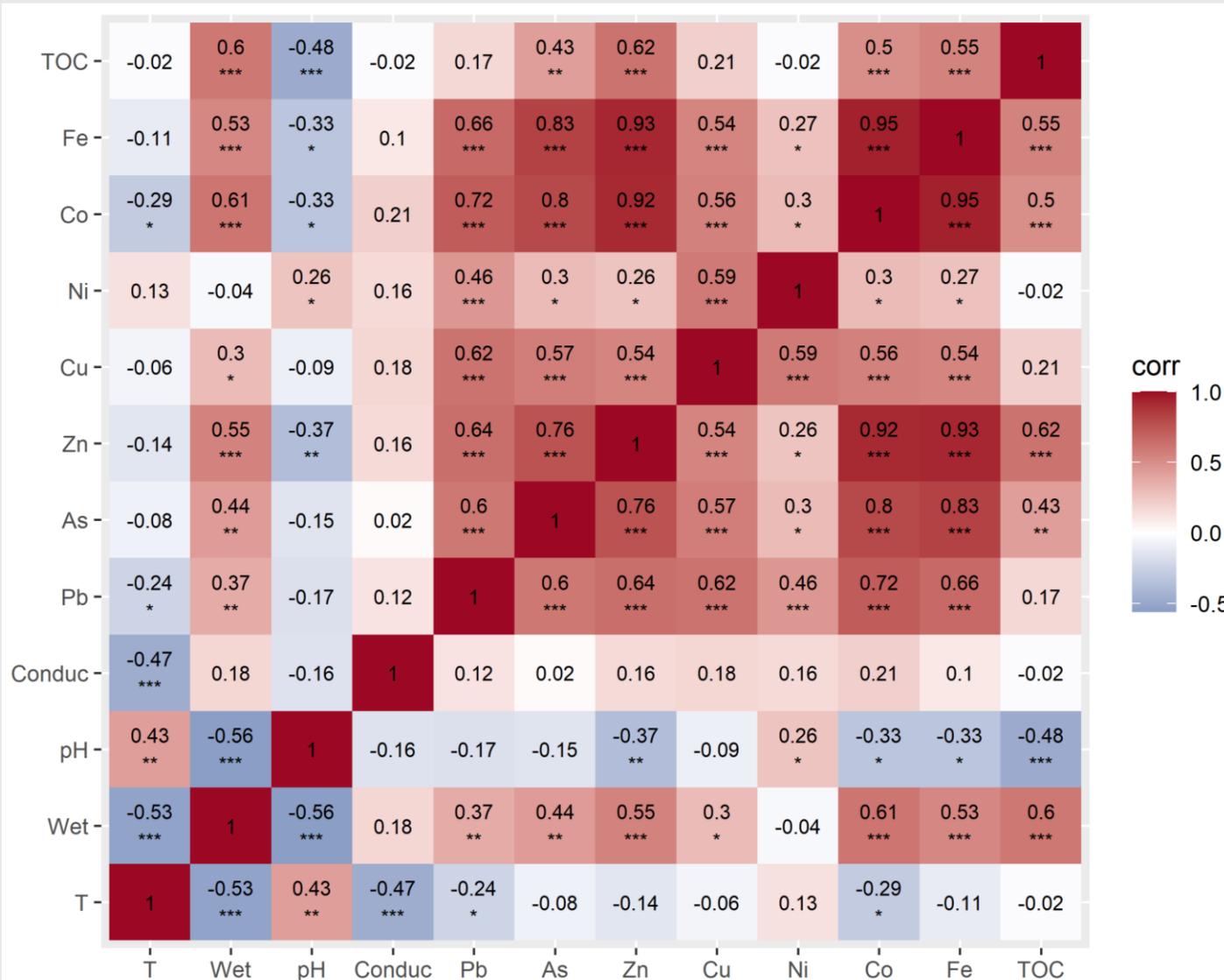
湿度与Fe、Zn、Co正相关

### ④ 四参数:

湿度与pH负相关

温度与湿度负相关

温度与电导率负相关



注: \* <0.1 \*\*<0.01, \*\*\*<0.001



# 04

## Part Four 总结与展望

### 塞罕坝的极净土壤

背景点意义  
生态系统与人类活动  
未来仍需谨慎

1

### 水气土、京津冀双协同

水气土三界面协同  
“协同污染”与协同治理  
京津冀的区域力量

2

### “极净”背后

数据不足，仍待深挖  
“看见”土壤（“SQI”）  
极净土壤标准何所依

3



## 参考文献

- [1] 张云玲. 塞罕坝自然保护区森林生态系统服务功能价值研究[D]. 河北: 河北师范大学, 2011.
- [2] 刘春延. 河北塞罕坝华落叶松人工林生长及生境因子关系研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [3] 杜兴兰等. 塞罕坝湿地资源现状与保护对策[J]. 内蒙古林业调查设计, 2020, 43(02): 60-62.
- [4] 于晓红等. 塞罕坝落叶松人工林土壤肥力现状及治理措施[J]. 河北林业科技, 2011, (2): 38-40.
- [5] 王少峰. 论土壤重金属污染及防治措施[J]. 资源节约与环保, 2020, (12): 36-37.
- [6] 林建美. 塞罕坝不同林分类型土壤活性有机碳特征研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [7] 舒爱霞, 李孜军, 邓艳星, 郭宁. 综合指数评价法在室内空气品质评价中的应用[J]. 化工装备技术, 2010, 31(02): 60-62.
- [8] 唐功政, 刘国栋, 高润青, 南浩然, 郭宏远. 利用单因子污染指数与内梅罗综合指数进行土壤重金属污染程度评级[J]. 科技风, 2019(13): 125-126.
- [9] 应蓉蓉, 张晓雨, 孔令雅, 冯艳红, 张亚, 赵欣, 单艳红, 夏冰, 林玉锁. 农用地土壤环境质量评价与类别划分研究[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(01): 18-25.
- [10] 徐彬, 林灿尧, 毛新伟. 内梅罗水污染指数法在太湖水质评价中的适用性分析[J]. 水资源保护, 2014, 30(02): 38-40.
- [11] 刘春早, 黄益宗, 雷鸣, 郝晓伟, 李希, 铁柏清, 谢建治. 湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价[J]. 环境科学, 2012, 33(01): 260-265.
- [12] 张民, 龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J]. 土壤学报, 1996(01): 85-93.
- [13] 莫争, 王春霞, 陈琴, 王子健. 重金属Cu Pb Zn Cr Cd在土壤中的形态分布和转化[J]. 农业环境保护, 2002(01): 9-12.
- [14] 陈浩, 吉力力·阿不都外力, 刘文, 陈京. 博尔塔拉河沿岸土壤重金属含量特征与有机质、pH值的关系[J]. 水土保持研究, 2016, 23(05): 210-213.
- [15] 戴昭华, 黄衍初. 天津地区土壤中若干金属元素间的相关性[J]. 土壤学报, 1984(03): 314-319.



**THANK YOU  
FOR WATCHING**