

DOI: 10.5846/stxb201705020808

韩林桅, 全元, 付晓, 单鹏, 吴钢. 参考点位法在土壤基线判定中的改进与应用. 生态学报, 2018, 38(21): - .

Han L W, Quan Y, Fu X, Shan P, Wu G. Improvement and application of reference-site approach in soil baseline determination. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(21): - .

## 参考点位法在土壤基线判定中的改进与应用

韩林桅<sup>1,2</sup>, 全元<sup>1</sup>, 付晓<sup>1,\*</sup>, 单鹏<sup>1</sup>, 吴钢<sup>1,2</sup>

1 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:** 损害基线的判定是环境损害鉴定与评估的基础与前提。参考点位法作为目前损害基线判定中使用最为广泛的方法之一, 有效地弥补了历史数据不完善的现象。而参考点位的选取作为参考点位法应用的重点与难点, 仍然存在缺乏明确标准与可信度低等问题。针对上述问题, 提出了土壤基线判定的参考点位相似度评价指标体系, 旨在为参考点位的选取提供一个较为清晰的思路与标准。并以锡林浩特市胜利一号露天矿区为例, 对土壤基线进行计算, 并将计算结果与历史数据进行比较。结果表明: 运用参考点位法计算的土壤基线结果具有一定的真实性与可靠性, 同时通过控制与评价相关的主要环境要素可以在保证参考点位选择的可靠性的前提下提高方法的实用性。

**关键词:** 参考点位法; 土壤污染; 损害基线

## Improvement and application of reference-site approach in soil baseline determination

HAN Linwei<sup>1,2</sup>, QUAN Yuan<sup>1</sup>, FU Xiao<sup>1,\*</sup>, SHAN Peng<sup>1</sup>, WU Gang<sup>1,2</sup>

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Baseline is the basis and precondition of environmental damage identification and assessment. As one of the most widely used methods for baseline determination, the reference-site approach makes up for the shortage of historical data. However, as the key point of the reference-site approach, the selection of the reference site still has some problems, including the lack of clear standards and low credibility. To address these problems and provide a clear way and standard for the selection of reference sites, the reference site similarity evaluation index system for the soil baseline was proposed. Using the Shengli no.1 open-pit mine in Xilin Hot as an example, the baseline for soil damage was determined, and the result was compared with historical data. The results showed that the soil baseline calculated by the reference-site approach, to some degree, was authentic and reliable, and the practicability of the reference-site approach could be improved under the premise of ensuring the reliability of reference-site selection through controlling the main environmental factors related to the research.

**Key Words:** reference-site approach; soil pollution; baseline

环境损害鉴定评估是指对环境污染造成损害的范围和程度进行科学合理的鉴定与量化评估, 是环境管理

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0503603)

收稿日期: 2017-05-02; 网络出版日期: 2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaofu@cees.ac.cn

与解决环境赔偿案件的有效手段<sup>[1]</sup>。其中基线的判定是环境损害评估的关键环节与重要前提。基线指未受人类活动干扰的自然状态或参考状态,是判定损害是否发生以及发生程度的依据,如何科学、合理地确定基线水平是环境损害鉴定评估工作的重要内容<sup>[2]</sup>。目前基线的判定方法通常包括历史数据法、参考点位法、环境标准法以及模型推断法<sup>[3]</sup>。历史数据法是将损害发生前该区域的调查数据作为基线,是结果最为准确的方法,但由于历史资料在很多情况下并不完备,因此较难直接使用<sup>[4]</sup>。环境标准方法是将现行的环境标准值作为基线,操作起来较为简单,但现行标准并未涉及全部的生态环境要素,并且目前的环境标准大多无法体现区域的差异性。模型推算法可以根据实际研究区域的情况通过设定不同的参数对基线进行计算<sup>[5]</sup>,但模型推断法需要大量的数据,实际操作起来较为困难。参考点位法是从一组生境类似的生态系统中,选择未受到损害行为影响的区域的历史数据或现场监测数据作为研究区域评定生态环境损害评估的基线值<sup>[6]</sup>。国外对于参考点位法在基线判定中的应用已积累了一些实践经验。例如 Mabit, L. 等选取东斯洛文尼亚区域未受干扰的森林作为参考区域进行采样,确定斯洛文尼亚的土壤侵蚀研究的基线水平<sup>[7]</sup>。Lejeune 等通过对科达伦河流域上游及附近区域进行评估来确定流域的资源基线<sup>[3]</sup>。在 Blackbird Mine 超基金场地水资源重金属污染的评估工作中,评估人员将上游参考区域的重金属浓度水平和水质标准作为损害基线<sup>[8]</sup>。这些案例均为在污染区域附近选取未受干扰的场地(如上游区域)进行采样,确定基线水平。在缺乏历史数据的情况下,参考点位法的应用较为直接,并且计算结果比较客观,是目前使用最为广泛的方法<sup>[9-10]</sup>。

然而,参考点位法在生态环境损害基线判定的实际应用中依然存在一些问题。首先,参考点位法的关键与难点在于参考点位的选择,而目前对于参考点位的选择并没有一个明确的标准。同时,在实际情况中不同场地总会受到各种不同类型的干扰,受到其他相同干扰影响但未受到损害事件影响的参考区域几乎不存在,这使得依据参考区域数据所确定的损害基线结果经常会遭到质疑,导致参考点位法的应用范围受到很大限制。此外,不同的评估区域与污染事件对于参考区域选择过程中所考虑的主要环境要素各有不同。例如土壤环境参考区域的选择主要侧重于暴露土壤和地质条件与评价区域的相似程度,而地表水环境参考区域主要考虑水文条件等方面与研究区域的相似度。

针对以上问题,考虑我国日益突出的土壤污染损害情况<sup>[3]</sup>,本文提出了土壤基线判定的参考点位相似度评价指标体系,为土壤基线判定中参考点位的选择提供了一个较为清晰的思路与标准,最后通过案例验证方法的合理性,以期为参考点位法在基线判定中更为科学、合理地运用提供一定的参考与借鉴。

## 1 土壤基线判定的参考点位相似度评价指标体系

在选择参考区域确定基线水平时,一般需要遵循两个关键点:一是相似性,包括参考区域与研究区域在生境特征的相似性,同时还包括具体基线确定指标的数据获取、计算方法的相似性;二是非相关性,即受限于相似性,参考区域与研究区域的空间距离一般不会太大,因此需要保证参考区域不会受到生态环境损害行为的影响<sup>[3]</sup>。依据参考点位选择的一般遵循原则,结合土壤环境主要属性与文献调查,选取距离、自然背景、生态系统服务功能以及人类干扰情况 4 类,共 13 个指标,建立了土壤基线判定的参考点位相似度指标体系,具体见表 1。

## 2 应用案例

### 2.1 研究区域

胜利一号露天矿位于内蒙古锡林浩特市西北部胜利苏木境内<sup>[11]</sup>,地理坐标为 115°30'—116°26'E, 43°57'—44°14'N。土壤类型主要为栗钙土、草甸土和草甸栗钙土<sup>[12]</sup>,地带性草原植被包括柠条、紫花苜蓿、黄花草木樨、沙打旺、沙蒿等。气候类型属于半干旱草原气候,年平均降水量和蒸发量分别为 294.74 mm 和 1794.64 mm。

胜利煤田一号露天煤矿由神华北电胜利能源有限责任公司开发建设,一期工程设计生产能力为年产

1000 万 t,于 2004 年完成开工前准备工作,2005 年正式开工,至 2009 年达一期规模。二期扩建工程于 2012 年开始,至 2015 年生产能力达到年产 2000 万 t。露天矿区的开发不仅对土壤造成了直接的挖损与压占,同时大量剥离岩土中一般存在重金属 Cu、Zn、Pb 等有害元素,煤矿开采将不同深度的岩土从地下深处转移到地表,岩土中重金属元素在地表重新分异,有可能造成局部的土壤污染<sup>[11]</sup>。随着矿区建成时间的增加,土壤中有机质、重金属等一些成分的含量也会发生一定的变化<sup>[13]</sup>。

表 1 土壤基线判定的参考点位相似度指标体系

Table 1 The reference site similarity evaluation index system for soil baseline

类别 Category	指标 Index	指标说明 Index instruction	指标类型 Index type
距离 Distance	参考点位与评价区域的距离	包括参考点位与评价区域的最小距离、参考点位与评价区域采样点距离	参考类
自然背景 Natural background	地质岩层	参考点位与评价区域的地质岩层一致	控制类
	用地类型	评价区域类型的用地一般为建设用地,因此需要考虑损害行为发生前该区域的用地类型	控制类
	土壤土质	同上,应当考虑损害前的土壤土质是否一致;尤其考虑是否存在客土回填等情况	控制类
	降水量	区域降雨量相似	参考类
	植被类型	损害行为发生前的植被的类型是否一致	控制类
生态系统服务功能 Ecosystem service function	优势种	损害行为发生前的植被的优势种是否一致	参考类
	生态功能区划	参考生态功能区划,需要在同一生态功能区划内	控制类
	主导生态服务功能	主导的生态系统服务功能一致	控制类
人类干扰 Anthropogenic disturbances	土壤侵蚀程度	参考点位与评价区域的土壤侵蚀程度趋于一致	参考类
	生产作业活动	除了评价的损害行为外,其他人类干扰活动趋同	参考类
非自然保护区	非自然保护区	参考点位需选择在非自然保护区、非珍稀动植物栖息地	控制类
	污染治理与恢复措施	对区域已有的污染治理、生态修复措施应一致	控制类

## 2.2 参考点位相似度评价指标体系

依据参考点位选择的一般遵循原则与研究区域土壤环境的特征,建立了土壤损害基线判定的参考点位相似度指标体系,分别从与评价区域的距离、自然背景、生态系统服务功能 3 个方面对参考点位与评价区域的相似度进行评价,具体指标见表 2。

## 2.3 数据来源与分析

本文通过 ArcGIS 建立缓冲区的方式确定参考区域的范围。区域自然背景值及生态系统服务功能类指标主要依据区域环境影响评价报告与实地考察进行确定。

于 2013 年 7 月进行土壤取样。采用网格法布点,每个采样点以“S”形多点(5—12 点)混合取样法,用有机玻璃铲,采集表层(0—20 cm)土壤样品,装入自封塑料袋中。将土壤样品放置于实验室阴干,剔除碎石与枯枝,研磨过 200 目(0.074 mm)尼龙筛,装入密封袋中备测。采用 SJ-4A 型 pH 计测定土壤 pH 值;重铬酸钾氧化法测定有机质(TOC);半微量凯氏法测定全氮(TN);采用微波消解法测定土壤重金属总量。使用 ICP-MS(Agilent USA)测定重金属元素 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Hg、Pb 的浓度。

## 3 结果

### 3.1 参考点位选择结果

依据土壤损害的参考点位相似度评价指标体系,本文最终确定的参考点位,如图 1 所示。所选取的参考

点位于研究区域 3 km 缓冲区范围内,用地类型属于典型草原,以栗钙土为主,土质为轻壤。该区域不属于自然保护区,且未进行煤炭开采及生态恢复措施,符合控制指标的要求。此外参考指标与研究区域相似,依据参考点位相似度指标,是符合标准的参考点位。

表 2 研究区域土壤基线判定的参考点位相似度指标体系及评判标准

Table 2 Similarity evaluation index system and standard of reference site for soil baseline judgement in study area

指标类别 Index category	指标 Index	评判标准 Evaluation criterion
距离 Distance	参考点位与评价区域的距离	推荐评价区域外沿 3km 以内
自然背景 Natural background	地质岩层	粉砂岩、泥岩、细砂岩、粗砂岩、砾岩为主
	用地类型	典型草原
	土壤土质	栗钙土为主,土质轻壤
	降水量	300 mm
	植被类型	贝加尔针茅、线叶菊、大针茅
	优势种	大针茅
生态系统服务功能 Ecosystem service function	土壤侵蚀程度	中重度侵蚀
	生产作业活动是否趋同	无其他生产建设活动
	非自然保护区	非自然保护区
	有无污染治理与恢复措施	无治理修复措施(非实验用地)

### 3.2 土壤环境损害基线

依据露天开采对生态环境的损害特征分析,本研究选择 pH、TN、TOC、Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Hg、Pb。依据参考点所确定的土壤损害基线结果见表 3。

表 3 参考点位法的基线确定结果

Table 3 Baseline determined by reference site method

pH	总氮 Total nitrogen (TN)/%	总有机碳 Total organic carbon (TOC)/%	铬 Cr/ (mg/kg)	镍 Ni/ (mg/kg)	铜 Cu/ (mg/kg)	锌 Zn/ (mg/kg)	砷 As/ (mg/kg)	镉 Cd/ (mg/kg)	汞 Hg/ (mg/kg)	铅 Pb/ (mg/kg)
9.12	0.17	0.87	31.90	14.36	4.46	20.87	12.81	0.03	0.02	12.69

## 4 讨论

### 4.1 基线与评价区域采样结果比较

对评价区域进行采样,对 pH、TN、TOC、Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Hg、Pb 含量进行测定,所得结果见表 4。比

表 4 基线结果与评价区域实测结果比较

Table 4 Comparison between baseline and measured results in evaluated area

结果 Result	pH	TN/%	TOC/%	Cr/ (mg/kg)	Ni/ (mg/kg)	Cu/ (mg/kg)	Zn/ (mg/kg)	As/ (mg/kg)	Cd/ (mg/kg)	Hg/ (mg/kg)
评价区域 Evaluated area	9.17	0.12	0.87	38.20	19.73	8.64	30.00	15.17	0.05	0.03
参考点位 Reference site	9.12	0.17	1.33	31.90	14.36	4.46	20.87	12.81	0.03	0.02
差值 D-value	0.05	-0.05	-0.46	6.30	5.37	4.18	9.13	2.36	0.02	0.01
差值百分比 D-value percentage/%	0.55	-41.67	-52.87	16.49	27.22	48.38	30.43	15.56	40.00	37.50

注:差值百分比计算公式:  $(S_{\text{评价区域}} - S_{\text{参考点位}}) / S_{\text{评价区域}} \times 100$

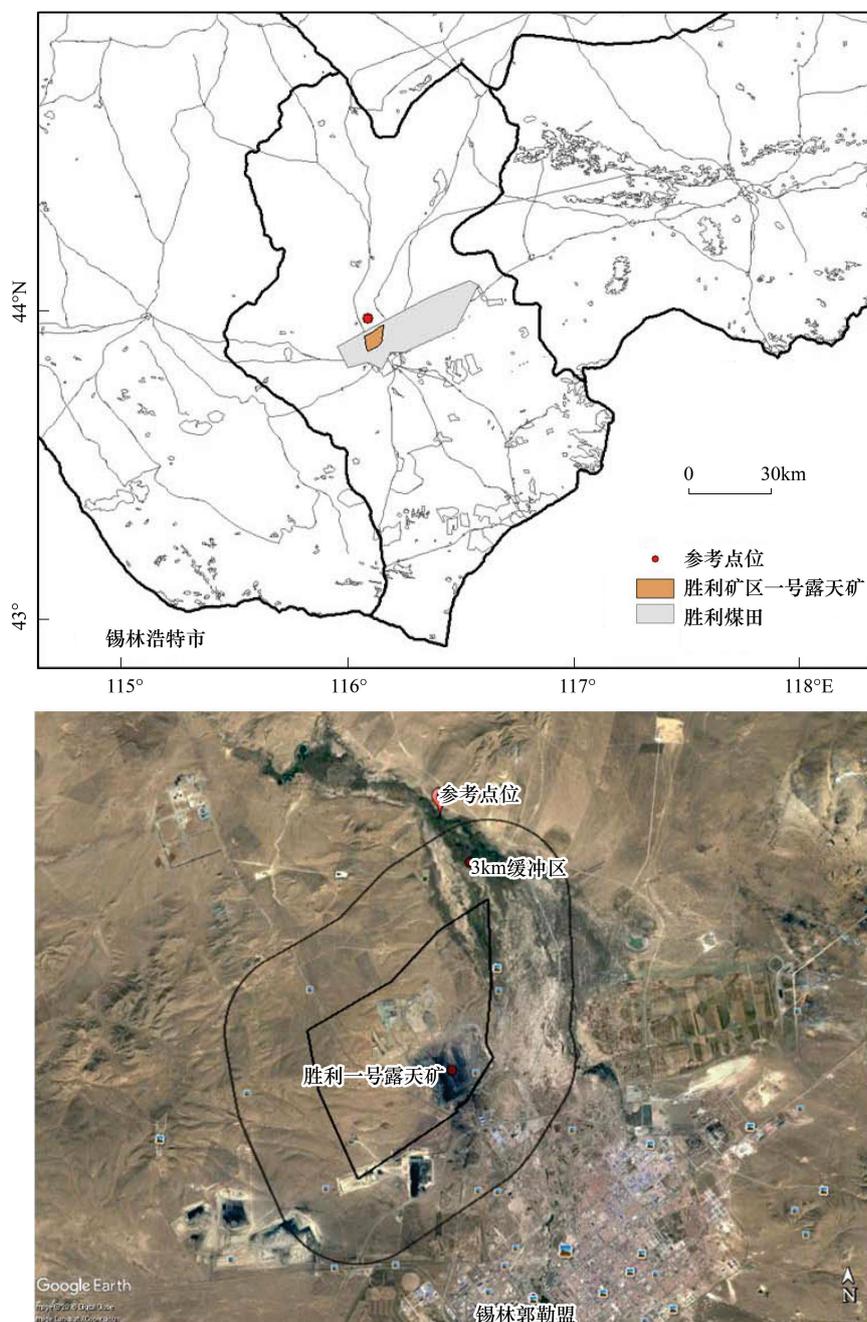


图1 参考点选取结果

Fig.1 The results of reference point selection

较土壤基线测定结果与评价区域测定结果可得,评价区域的 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 元素含量均高于参考点的基线计算结果,应为受采矿活动的影响。其中 Cu、Zn、Cd、Hg 元素含量变化幅度较大,差值百分比在 30% 以上。此外,评价区域的总氮与总有机碳含量较参考区域降低且变化幅度较大,差值百分比在 40% 以上。PH 值较参考区域略有升高,但均呈碱性,应为煤炭开采对土壤的侵蚀与污染造成了土壤有机质含量的下降。这与文献中的结果大体一致<sup>[11-12]</sup>,说明依据参考点位法计算的基线结果具有一定的现实可靠性。

#### 4.2 与历史数据法基线结果比较

基于研究区域 2000 年的环境监测数据,运用历史数据法对区域土壤损害基线进行计算,结果见表 5。将参考点位法计算的基线结果与历史数据法计算结果相比较,可得两种方法的计算结果大致相同,差值百分比均在 10% 左右。因此在历史数据缺乏的情况下,运用参考点位法进行土壤损害基线的计算是可行的。

表 5 基线结果与历史数据结果比较

Table 5 Comparison between baseline and historical data results

	pH	总氮 Total nitrogen (TN)/%	总有机碳 Total organic carbon (TOC)/%	铬 Cr/ (mg/kg)	镍 Ni/ (mg/kg)	铜 Cu/ (mg/kg)	锌 Zn/ (mg/kg)	砷 As/ (mg/kg)	镉 Cd/ (mg/kg)	汞 Hg/ (mg/kg)	铅 Pb/ (mg/kg)
历史数据 Historical data	9.10	0.18	1.34	30.90	15.21	5.02	22.00	11.96	0.03	0.02	11.60
参考点位 Reference site	9.12	0.17	1.33	31.90	14.36	4.46	20.87	12.81	0.03	0.02	11.54
差值 D-value	-0.02	0.03	0.01	-1.00	0.85	0.56	1.13	-0.85	0.00	0.00	0.06
差值百分比/% D-value percentage	-0.22	5.56	0.75	-3.24	5.59	11.16	5.14	-7.11	0.00	0.00	0.52

注:差值百分比计算公式:  $(S_{\text{历史数据}} - S_{\text{参考点位}}) / S_{\text{历史数据}} \times 100$

## 5 结论

(1) 基于参考点位法的基线计算结果可以较为清晰地体现出研究区域的土壤环境变化趋势,且与历史数据法所得的基线结果大体一致,说明运用参考点位进行土壤损害基线的计算具有一定的真实性与可靠性。

(2) 运用参考点位法进行土壤损害基线计算的关键在于参考点位的选择,依据评价区域的特征建立参考点位的相似度评价指标体系可以提高参考点位选择的效率。通过设置参考类指标与控制类指标,在保证参考点位选取的可信度的情况下提高了参考点位法在土壤损害基线判定中的实际应用能力。

(3) 运用参考点位法判定土壤损害基线的过程中应注意评价要素的选择。因为在实际情况中受到其他相同干扰影响但未受损害事件影响的参考区域几乎是不存在。但通过控制与评价相关的主要环境要素可以在一定程度上保证参考点位选择的可靠性,并提高方法的实用性。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] 吴钢, 曹飞飞, 张元勋, 张洪勋, 余志晟, 乔冰, 朱岩, 董仁才, 吴德胜, 高振会, 张迺嘉. 生态环境损害鉴定评估业务化技术研究. 生态学报, 2016, 36(22): 7146-7151.
- [ 2 ] 於方, 张衍桑, 齐霁, 赵丹, 徐伟攀. 环境损害鉴定评估关键技术问题探讨. 中国司法鉴定, 2016, (1): 18-25.
- [ 3 ] 龚雪刚, 廖晓勇, 阎秀兰, 李尤, 杨坤, 赵丹. 环境损害鉴定评估的土壤基线确定方法. 地理研究, 2016, 35(11): 2025-2040.
- [ 4 ] Labay B, Cohen A E, Sissel B, Hendrickson D A, Martin F D, Sarkar S. Assessing historical fish community composition using surveys, historical collection data, and species distribution models. PLoS One, 2011, 6(9): e25145.
- [ 5 ] Barrick A, Châtel A, Marion J M, Perrein-Ettajani H, Bruneau M, Mouneyrac C. A novel methodology for the determination of biomarker baseline levels in the marine polychaete *Hediste diversicolor*. Marine Pollution Bulletin, 2016, 108(1/2): 275-280.
- [ 6 ] Hawkins C P, Olson J R, Hill R A. The reference condition: predicting benchmarks for ecological and water-quality assessments. Journal of the North American Benthological Society, 2010, 29(1): 312-343.
- [ 7 ] Mabit L, Martin P, Jankong P, Toloza A, Padilla-Alvarez R, Zupanc V. Establishment of control site baseline data for erosion studies using radionuclides: a case study in East Slovenia. Journal of Environmental Radioactivity, 2010, 101(10): 854-863.
- [ 8 ] US EPA. First Five-year review report blackbird mine site. Seattle, WA, U.S.: U.S. Environmental Protection Agency, 2008.
- [ 9 ] Stoddard J L, Larsen D P, Hawkins C P, Johnson R K, Norris R H. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. Ecological Applications, 2006, 16(4): 1267-1276.
- [ 10 ] 车越, 吴阿娜, 曹敏, 杨凯. 河流健康评价的时空特征与参照基线探讨. 长江流域资源与环境, 2011, 20(6): 761-767.
- [ 11 ] 王启瑞, 才庆祥, 马从安, 李奋勇. 胜利露天煤矿重金属污染评价. 煤炭科学技术, 2006, 34(10): 72-73, 78.
- [ 12 ] 郭二果, 张树礼, 蔡煜, 李静, 闫文慧, 杨力鹏, 李永胜, 张颖, 张波. 草原区露天煤矿开发对土壤环境质量的影响. 露天采矿技术, 2012, (1): 93-97.
- [ 13 ] 崔龙鹏, 白建峰, 史永红, 颜事龙, 黄文辉, 唐修义. 采矿活动对煤矿区土壤中重金属污染研究. 土壤学报, 2004, 41(6): 896-904.