DOI: 10.5846/stxb201809302132

李嘉珣,曹飞飞,吴钢.三种判定落叶阔叶混交林土壤损害基线的方法研究——以吉林省抚松县为例.生态学报,2019,39(17): - . Li J X, Cao F F, Wu G.Study on three methods to determine the soil damage baseline of deciduous broad-leaved mixed forests: A case of Fusong County in Jilin Province.Acta Ecologica Sinica,2019,39(17): - .

三种判定落叶阔叶混交林土壤损害基线的方法研究

——以吉林省抚松县为例

李嘉珀1,2,曹飞飞1,2,吴钢1,2,*

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:生态环境损害鉴定评估是生态系统修复与保护管理工作的基础,而生态环境损害基线作为一个地区生态水平原始状态的 表征,是鉴定评估生态环境损害的基准。森林土壤是森林生态系统的重要组成部分,是维系森林生态系统生物及化学循环的关 键部分,同时也是森林生态系统是否受到损害及损害程度大小的重要表征指标。在已有的生态环境损害基线判定方法的基础 上,本文针对森林土壤的特点,改进森林土壤损害基线的判定方法并用这些方法对吉林省长白山抚松县地区落叶阔叶混交林进 行研究。本文运用的三种方法包括群体分布法、三分位法和回归模型法。计算结果显示,运用三分位法确定的基线值最高,运 用群体分布法确定的基线值最低。从方法的适用范围考虑,群体分布法和三分位法计算简便,结果可比性强,适用于无明显人 为干扰的地区;回归模型法灵活度高,应用性广,适用于有较强人为干扰的地区;在数据充足的情况下应首选回归模型法,在回 归模型法无法确认基线时,另外两种方法作为补充。

关键词:生态环境损害;土壤基线;回归模型;落叶阔叶混交林

Study on three methods to determine the soil damage baseline of deciduous broadleaved mixed forests: A case of Fusong County in Jilin Province

LI Jiaxun^{1,2}, CAO Feifei^{1,2}, WU Gang^{1,2,*}

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 Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The assessment of ecological damage is the basis of ecosystem protection and recovery management. Representing an original ecological level in a region, an ecosystem damage baseline is foundational in defining the degree of ecological damage. Forest soil is a key element in maintaining the chemical cycle of forest ecosystems and is also an important characterization factor in identifying the degree of damage in an ecosystem. Based on the systematic analysis of existing methods for ecological damage baselines and the characteristics of forest soil, this paper suggests several improvements to existing methods for forest soil damage baselines. We evaluated the Changbai Mountain area's deciduous broad-leaved mixed forest in Fusong County of Jilin Province as the case study. Three methods—the population distribution method, the trisection method, and the regression model method—were applied in this study. Results showed that these methods can be used successfully in determining the soil damage baseline. The baseline value determined by the trisection method was the highest while the baseline value by population distribution method was the lowest. The calculation steps for the population

基金项目:国家重点研发计划资助(2016YFC0503603)

收稿日期:2018-09-30; 网络出版日期:2019-00-00

^{*} 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wug@ rcees.ac.cn

distribution and trisection methods were easy with results having strong comparability, and these methods were suitable in areas without substantial anthropogenic disturbance. Regression models had higher flexibility and wider application in practice. This method would be preferred in areas with sufficient data or that have experienced significant anthropogenic disturbance. If the regression model was not feasible, the other two methods could be utilized instead.

Key Words: ecological environmental damage; soil baseline; regression model; deciduous broad-leaved mixed forests

生态环境损害是指因污染环境、破坏生态造成大气、地表水、地下水、土壤等环境要素和植物、动物、微生物等生物要素的不利改变,及上述要素构成的生态系统功能的退化的行为^[1]。生态环境损害既包含了环境的损害,也包含了生态系统整体结构和功能的损害,具有潜伏时间长、受损对象广、恢复难度大、定责困难的特点^[2]。随着人类活动的影响,我国生态环境损害事件频发,对损害类型的甄别和损害程度的判定显得十分重要。生态破坏行为发生前,受影响区域内生态系统的状态或水平被称为生态环境损害基线(简称"损害基线")^[3]。损害基线既包含了动植物种群、数量、结构等生物因素,也包含了区域的土壤、水质、空气等非生物因素,是反映一个地区生态系统状态的综合性指标集^[4]。对损害区域而言,首先要判断损害的类型和程度,继而为后续量化损失和责任判定提供依据^[5]。而在具体操作过程中,要先确定损害区域的损害基线,再与当前状态进行比较,通过两者的差异来判定损害程度。准确地确定一个地区的损害基线将是损害鉴定评估的基础,也是判定人为破坏生态行为与环境损害因果关系的纽带,更是开展生态损害量化评估的前提^[6,7]。

森林土壤作为重要的营养输出者和能量转化者,能有效协调植物生长所需的水肥气热等条件,是影响树木生存的重要因素^[8,9]。研究森林土壤状态,揭示森林与土壤间的动态变化规律,可以为森林植被损害程度鉴定和生态重建提供理论依据和参考。在我国,破坏森林资源违法行为依然存在,森林保护形势严峻复杂,其主要表现在毁林开垦、土地整理、中药材种植和采石采矿等方面,造成森林土壤不可逆损害^[10],如何甄别森林土壤损害类型并判定其损害程度显得十分重要,森林土壤的基线的判定成为关注的重点^[11,12]。

目前生态损害基线的方法众多,适用范围不尽相同。如果区域内有详细的历史数据,可采用历史数据法 或者古生态学法反推过去的生态环境^[13];如果区域内有环境标准或行业限定值,可采用相关环境基准值作为 损害基线^[14];在区域受干扰程度较深的地区,可采用专家判别法或者模型法,利用专家经验或者数据构建模 型来确定基线值^[15,17];在生境变化不大的区域可采用参照点位法,用受损区域周围未受影响的区域的生态状 态作为基线值^[18]。此外,在研究较为成熟的湖泊生态系统中,美国环境保护署(U.S.EPA)在指南中推荐统计 学方法,即选择样点群中某一点位的数值作为基线值^[19]。目前在土壤基线研究中,学者一般采用参照点位法 和统计学方法对城市、矿区、湖泊周围的土壤重金属元素含量和分布进行研究,以确定区域内受到人类工业活 动的环境污染及污染程度^[20-22]。然而,并非所有方法都适用于森林土壤基线判断中。首先,森林土壤对环 境、气候、植被及人为干扰十分敏感,存在巨大的时空变异性^[23],同时森林常位于人类难以到达的闭塞区域, 历史数据缺失且相关标准不足;其次,专家判别法仅能依靠专家经验判别区域有无受损,无法定量确定损害程 度和基线值;再次,不同生态系统受到的干扰源不同,在其他生态系统中使用的模型,在森林土壤基线的判定 中往往不显著^[24]。因此,寻找出合适的能判定森林土壤基线的方法显得十分重要。本研究主要目的在于:1、 对已存在损害基线的研究方法进行筛选;2、运用筛选后的方法进行实例研究和分析,确定这些方法的适用范 围,以选择判定森林土壤基线合适的方法。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究地在吉林省东南边陲白山市的抚松县。该县位于松花江上游,长白山西北麓,东经 127°01′— 128°06′,北纬41°42′—42°49′,面积6153 km²,人口 28.5 万(2017)。抚松县属于寒温带湿润气候,四季分明, 冷暖阶段性变化显著,年均降水 800mm。区域内地形 垂直分化显著,平均海拔 300—700m。抚松县森林资源 丰富,林地占全县面积的 90%以上,以落叶松为主的针 叶林和红松针叶阔叶混交林为主。抚松县独特的自然 条件非常适宜人参生长,素有"中国人参之乡"的美誉。 该地区是我国最早有人参栽培的地区,人参栽培始于 1567年,距今已有 450年历史。但是,随着人参需求的 扩大,人参种植面积也不断增加,森林结构失调、面积减 少,水土流失现象严重^[25]。

1.2 研究方法

本研究于 2015 年 7—8 月在研究区进行土壤样点 采集(图1)。基于典型取样原则,首先根据遥感影像确 定林地及还林地位置,再进行实地取样,共采集 29 个样 地,其中一个样地作为参照区样地,无人参种植及其他 人为干扰。土壤样地为 1m×1m 方格,分别记录土壤样 地的经纬度、海拔、弃耕时间、还林时间、群落类型、土壤



图 1 研究区位置 Fig.1 Direction of study area

类型、枯落叶厚度等内容,每个样方内先去掉土壤表层覆盖物(残值、枯叶等),再用五点法取样地中10—20cm 层土样,混合后装入土壤袋(200g)带回实验室,总计29个土壤样本数量。实验测定每个样本的TOC、P、N、 K、B、Mn、Ca、Zn、Cu,同时测定样本中pH值、平均粒径(APS)、阳离子交换量(CEC)等指标(表1)。其中,pH 值采用电位法测定;CEC采用中性乙酸铵法测定;TOC含量采用重铬酸钾容量法测定;N含量采用微量凯氏 法测定;P含量采用酸溶—钼锑抗比色法测定;K含量采用乙酸铵浸提—火焰光度法测定;Ca采用EDTA容量 法测定;其余指标含量使用ICP-MS(Agilent USA)测定^[26,27]。

Table 1 Statistics of different index parameters							
土壤指标	最小值	均值	最大值	中位数	标准差		
Parameters	Min.	Avg.	Max.	Median	Std.		
总有机碳 TOC(g/kg)	8.50	67.86	271.21	54.05	48.55		
碱解氮 N (mg/kg)	12.30	81.07	239.30	66.50	56.05		
有效磷 P (mg/kg)	1.92	15.41	157.82	7.96	28.83		
速效钾 K (mg/kg)	58.34	155.1	340.89	141.31	70.52		
有效硼 B (mg/kg)	0.04	0.35	1.27	0.27	0.25		
锰 Mn(mg/kg)	407.90	670.76	1506.50	618.90	233.56		
钙 Ca(mg/kg)	0.76	1.65	4.26	1.48	0.85		
锌Zn(mg/kg)	69.80	88.94	130.30	85.30	15.26		
铜 Cu(mg/kg)	14.40	18.72	33.50	16.50	5.01		
pH 值	3.96	4.79	7.78	4.72	0.71		
阳离子交换量 CEC (cmol/kg)	14.64	28.33	56.63	27.16	9.83		
平均粒径 APS (µm)	12.30	18.43	39.05	16.73	6.72		

表1 样本指标数统计

1.3 数据分析

本研究筛选了 U.S.EPA 推荐的群体分布法、三分位法以及被广泛应用的回归模型法分别对样本土壤指标进行测算。通过三种方法计算得出各自基线值,再分别与该地区历史数据进行比较,分析三种方法的科学性与适用性。

群体分布法(Population Distribution Method, PDM),该方法以评价区内所有样点(除去已知损害严重的样点)为样本,选择每个指标数据频数分布的后 25%作为该地区的基线值^[28,29](图 2)。本研究将采集的土壤样 点各指标值按从小到大顺序排列,选择每个指标值后四分位的数作为基线值,由于样本数量不能被 4 整除,后 四分位数由其相隔两个数按比例计算得出。

三分位法(Trisection Method, TM),该方法对评价区内所有森林样点指标值进行排序,选择数据中最好的 三分之一的中位数作为基线值(图3)。本方法包含了所有样点数据,将样点各指标值按从小到大顺序排列, 选择指标数值最大的后三分之一的中位数作为基线值^[19]。



图 2 群体分布法示意图 Fig.2 Diagrammatic sketch of PDM



图 3 三分位法示意图 Fig.3 Diagrammatic sketch of TM

回归模型法(Regression Model Method, RMM),该方法通过对现有样点数据进行处理,运用模型确定解释 变量和被解释变量的关系^[15,30]。被解释变量通常为基线指标值,如某种营养物质的浓度、物种数量等。解释 变量可以为生态风险源,如人为干扰时间、破坏程度等,也可以为某些有利因素,如绿地占有率、植被恢复时间 等。不同研究选择的解释变量不同,回归模型也需根据基线判定情况来确定。人参种植是目前对研究区域内 森林生态环境威胁较大的人为干扰之一,森林被不断砍伐来满足日益增长的人参需求,但人参种植会使土壤 养分流失愈加严重^[31],人参弃耕后需要至少 3—5 年来恢复土壤养分,才能再重新种植树木。林地的土壤状 态远好于参地,人参还林地的土壤状态也因还林时间的不同而呈现较大差异。本研究根据其他研究成果,以 参地还林时间、pH 值、土壤平均粒径、土壤阳离子交换量(CEC)等可能影响土壤指标含量的因素作为解释变 量,以土壤元素含量作为被解释变量建立回归模型(公式1)。由于部分样点存在人工施肥和新填土现象,因 此某些样点元素数值与该地本底值存在差别,剔除异常值(与均值相差3倍以上),再进行回归,形成不同指 标的回归模型,计算每个解释变量在最优样点集(前 50%)中的平均值代入回归模型中,作为该方法的基 线值。

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \tag{1}$$

式中: X_i 代表影响样点的解释变量, Y_i 代表土壤指标数值, i 代表不同样点。

2 计算结果

2.1 回归模型与验证

通过公式1计算得到的土壤各元素回归模型,见表2。

将影响土壤指标的因素分别进行回归后,得到不同的模型公式。结果显示,还林时间与所有土壤指标都 成正相关关系,说明森林土壤状态好于参地或者撂荒地,且还林地随着还林时间的增加,土壤各项指标含量均 有不同程度增加。土壤中营养物质含量与土壤阳离子交换量、pH值和平均粒径均呈现正相关关系,B元素含 量与 pH 值呈现负相关关系,金属元素含量与 pH 值呈现正相关关系。Ca 的相关系数最高,与影响因素相关 度最高,达到 0.836;B 的相关系数最低,达到 0.499。在回归模型的方差分析中,所有回归模型的 P 值均< 0.05,说明回归模型显著有效。将所有样点中影响因素最优样点集的均值带入回归公式中,得到每个指标的 基线值 (表 3)。

Tuble 2 Regression models of university							
土壤指标 Parameters	回归公式 Models	相关系数 Multiple R	回归标准差 S.E	F值 FValue	P 值 P Value		
总有机碳 TOC	32.027+1.942 <i>X</i>	0.725	20.563	28.800	0.000		
碱解氮 N	-10.891+2.047X+2.136W	0.641	44.419	8.017	0.002		
有效磷 P	-5.645+0.134X+0.795Z	0.598	7.424	6.052	0.008		
速效钾 K	-13.467+2.306X+16Y+3.033Z	0.581	60.774	4.235	0.015		
有效硼 B	0.51 + 0.009X - 0.064Y	0.499	0.224	4.324	0.024		
锰 Mn	-279.706+9.711X+164.335Y	0.682	160.577	10.856	0.000		
钙 Ca	$-2.562 \pm 0.025X \pm 0.783Y$	0.836	0.396	29.063	0.000		
锌 Zn	18.471+0.514 <i>X</i> +12.868 <i>Y</i>	0.711	10.232	12.750	0.000		
铜 Cu	-0.828+0.019X+4.019Y	0.563	4.300	6.039	0.007		

表 2 不同指标的回归模型 Table 2 Regression models of different parameters

X为还林时间, Y为土壤 pH值, Z为土壤平均粒径, W为土壤阳离子交换量

Table 3	The baselines by	y three methods,	reference v	alues and	historical	values of	different	parameters
---------	------------------	------------------	-------------	-----------	------------	-----------	-----------	------------

土壤指标 Parameters	群体分布法 PDM	三分位法 TM	回归法 RMM	参照点值 Reference Value	历史均值 Historical Value
总有机碳 TOC(g/kg)	79.89	94.50	81.13	271.21	41.2
碱解氮 N (mg/kg)	96.95	147.70	114.84	147.70	254.9
有效磷 P (mg/kg)	11.77	17.32	16.28	28.04	6.9
速效钾 K (mg/kg)	177.86	216.99	199.20	319.99	154.8
有效硼 B (mg/kg)	0.41	0.50	0.41	0.75	0.48
锰 Mn(mg/kg)	738.97	826.20	823.90	1229.10	781
钙 Ca(mg/kg)	1.87	2.28	2.16	4.26	-
锌 Zn(mg/kg)	91.95	109.40	98.66	123.40	142.5
铜 Cu(mg/kg)	19.39	22.80	20.64	31.65	13.5

-为未记载

结果显示,三分位法确定的基线值最高,群体分布法确定的基线值最低,回归法确定的基线值居中。三种方法的基线值均低于参照点位的土壤指标值,其中TOC含量差别最大,参照区土壤TOC含量是平均基线值的3.2倍,Ca含量是平均基线值得2.1倍,说明无人为干扰林地土壤状态好于还林地土壤,人参种植对于土壤肥力产生不利影响,且影响持续时间较长。本研究选择中国土壤数据库及相关文献中长白山抚松地区的土壤微量元素平均值作为历史均值^[32,33],结果发现,除N和Zn外,三种方法的基线均值均大于历史均值,其中TOC和P的基线均值均大于历史均值2倍以上;但土壤中金属元素含量差异较小,平均差异为4.7%,说明近几十年来该地区人为活动较为频繁,在人参种植和还林过程中已经改变部分土壤性状,土壤肥力明显增强。此外,通过三种方法得出的基线值的相互比较,群体分布法的基线值和三分位法基线值相差较大,最大(N)差异为52.34%,最小(Mn)差异为11.81%,平均差异为25.78%,且非金属含量差异(32.34%)大于金属含量差异(17.57%);回归模型法和群体分布法数值差异较小,最大(P)差异为38.31%,最小(B)差异为0.01%,平均差异为12.34%。土壤中非金属元素含量波动比金属元素含量波动大,样点中指标差异最大的为N,极值相差82.19倍,差异最小的为Zn,极值相差1.86倍,三种方法计算非金属元素基线值的差异(20.9%)也大于金属元

素基线值的差异(11.5%)。一般判断基线的方法是取 参照样点的均值,除群体分布法中的 P 外,本研究的三 种方法的指标基线值均大于均值,其基线值分别是均值 的 1.14、1.35 和 1.21 倍,其中差异最大为三分位法的 N,是均值的 1.82 倍,最小为群体分布法的 Zn,是均值 的 1.03 倍;各指标值中,差异最大的为 N,平均是均值 的 1.48 倍,差异最小的为 Cu,是均值的 1.12 倍(图4)。

3 讨论

3.1 三种方法结果分析

从结果中看,样点中极值将显著影响群体分布法和 三分位法的结果。由于森林样点选取的随机性以及土 壤空间异质性,某些样点的某些指标存在高异常值,如 果异常值占到总样本数量的15%,三分位法确定的基





Fig. 4 Difference ratio between three methods' baseline and average value

TOC: Total Organic Carbon,总有机碳

线结果将偏高,如果异常值占到总样本的 25%,群体分布法确定的基线结果将偏高。对于回归模型法而言, 解释变量的相关性将决定模型预测的准确性。在其他生态系统中,农业种植活动,牲畜养殖和人口密度都显 著影响土壤营养物质含量^[34]。本研究中土壤营养物质含量均与人为干扰有关,人为干扰影响越小,土壤营养 物质含量越高,这与已有研究成果结论相似^[35]。此外,非金属元素基线值的差异大于金属元素的差异,尤以 N、P 两者差异值最大,这是由于该地区属于落叶阔叶混交林,不同树种养分摄取侧重存在差异^[36],人为干预 (施肥、移土、枯落叶清理)对 N、P 的影响较大^[37],造成样点 N、P 含量差别较大。在所有指标中,P 的极值比 最大,达到 82.2 倍,最小的是 Zn,为 1.86 倍。已有研究结果表明树木枯落叶分解后土壤 P、N、TOC 含量有显 著增加趋势^[38-40],本研究部分样点枯落叶大量存在且无人为清理,造成这些样点中非金属元素含量极高,基 线测定结果偏高;而该区域周围并无工矿业和制造业活动,所以样点间金属元素含量差异较小。为避免单一 因素的影响,在确定森林土壤基线时,应在远离人为活动的地区连续采集不同季节的土壤指标值,或避免选择

3.2 不同基线方法在该地区的适用性分析

虽然样本均值是判定生态状态的常用指标,但在该地区作为基线不适宜,均值只能反映一个地区受干扰 的平均状态,受极值影响巨大,基线是反映区域未被干扰前的良好状态,一般用以描述区域内人为干扰少、生 态系统功能健全的样点,若选择均值作为基线值,将导致损害程度判定和修复难度的低估,造成生态损害鉴定 的不准确。在本研究的样点中,非金属元素受环境影响巨大,个别样点出现高异常值,样本均值被严重高估, 造成结果失真。群体分布法和回归模型法均将异常点值去掉,能更加准确评估该地区原始状态而非均化状 态。历史数据法在该区域同样不适用。首先,该地区的历史数据基于长白山地区,该地区分布着山地暗棕壤 土、棕色针叶林土、亚高山疏林草甸土和高山苔原土等不同类型土壤,不同类型土壤性状不同,土壤元素含量 和评价区差异较大,影响基线准确度。其次,历史数据采集时间较为久远,经过人为扰动后生境状态发生改 变,历史数据不能准确反映土壤目前情况,影响基线准确度。参照点位法在该地区应用同样受限。本研究选 择的参照点选择在人参还林区旁边的原始森林中,但测定的土壤指标值远大于测定基线值。在实际操作过程 中,森林情况复杂,参照点位的选择存在偏差,易导致基线值偏高。

3.3 三种方法应用的优势与不足

群体分布法及三分位法计算简便,数据利用率高,结果可比性强。两种方法确定的基线均是人为设定的, 该基线值有可能落在样本中,也可能存在于未采集的区域中,还可能并不存在于自然界中,但基线值的大小能 够反映过去评价区内的生态系统状态,对损害程度的判定起到关键作用,适合在研究区较小范围内进行基线 判定。随着样点区域的扩大,样点区的优势物种、土壤理化性质、气候条件等均不一致,在此状态下得出的基 线值与原区域的生态状态不一致,在样点差异较大的情况下得出的基线值可能会失真。回归模型法可充分利 用现有数据,可以在样本数据有限的情况下进行基线判定,灵活度高,适用范围大。该方法下的基线值与样本 均值差异较小,与通用的生态评价方法得出的结论差异性小,也更易被接受和采纳。但该方法在判定过程前 需要对评价区进行风险识别,建立风险源或影响因素与基线指标的关系,在实际操作过程中要求较高。在很 多情况下,若未找到基线指标值与影响因素直接的关系或两者相关性不显著,将无法使用该方法作为基线判 定的方法。此外,异常值在样本数量较少情况下将显著影响结果。本研究中个别还林地、人参转林地土壤经 过施肥后的 TOC、P 含量显著高于其他样点值,回归分析时未采用该样点数据。在实际操作过程中应去除异 常值或将被解释变量进行对数化(log)处理后做回归分析^[19,41],以避免基线值受到过多异常值的影响。回归 模型法最大的缺陷在于过于依赖现有样本数据信息,然而在参照点位信息不足时,回归法是为数不多能够确 定基线值的方法。

3.4 三种方法适用范围讨论与最优方法确定

在本研究中,三分位法判定的基线值大于群体分布法的基线值,但不能简单认为三分位法更优于群体分 布法,应根据不同需要来选择不同的方法。通过与样本均值相比,群体分布法与均值相差比例远小于三分位 法与均值之差,说明三分位法受到极值影响更明显,三分位法更加适合受人类干扰不大的区域^[42,43]。随着人 类活动的日益频繁,在某一区域寻找完全没有人类影响的区域显得越来越困难,两种方法的应用也受到较大 限制,虽然有研究表明基线的样本中应有 10%来自未受干扰区域并对人为干扰来源进行校正^[44],但本研究认 为为了增加基线的准确性,在小尺度范围内,样本中至少应有 25%来自未受干扰区域,并且土壤样点尽量避 免选择人工林地或较短时间的还林地。随着生态损害鉴定研究尺度的不断扩大,回归模型法凭借着其灵活度 广和适用性强被广泛应用。在未来大尺度的基线确定中,火灾频率、动物活动情况、人工干预措施等有可能影 响回归模型准确度的因素也应该被考虑进去^[45],将多因子解释变量加入回归模型,并采用广义线性回归模型 等措施将显著增强基线回归预测的准确性^[46]。对于回归模型法而言,样本的数目决定了数据的质量,进而影 响回归模型法判定基线的精度。样本越多,回归分析受极值的影响越小,但样本的采集将花费巨大的人力物 力,在实际操作过程中存在诸多困难。如何寻找合适的样本数量为生态损害提供合理的基线评估成为未来研 究的对象。通过本次实例分析,我们建议在人类干扰不大的区域内进行基线评估时,原则上样点数量不少于 25 个。

4 结论

本研究对森林土壤损害基线的确定方法进行了研究,提出了针对森林土壤损害基线的三种方法,群体分 布法、三分位法、回归模型法,并以吉林省抚松县长白山地区落叶阔叶混交林进行实例分析,验证了这三种方 法在判定过程中准确性和可行性。基于三种方法的判定结果可知,三种方法均能在基线判定中应用,但不同 方法确定的基线值不同,三分位法确定的基线值最高,群体分布法最低,回归模型法和群体分布法数值差异较 小,三分位法与样本均值差异较大。在具体应用中,群体分布法及三分位法计算方法简便,结果可比性强,但 易受样点极值的干扰,导致基线值偏高,两种方法适用于受人类影响不大的区域。随着研究尺度的扩大,回归 模型法充分利用有限数据进行推算,在数据有限的情况下是较好的基线判定方法。目前,对土壤损害基线的 表征指标和判定方法仍处在探索阶段,不同地区可根据实际情况采用多种方法共同确定基线。未来在制定土 壤损害鉴定评估工作中,首选回归模型法,在回归模型法无法得出基线值得情况下,再选择群体分布法和三分 位法作为补充。随着基线内涵的不断丰富和数据的充实,未来对森林损害的界定还包括树木的损害,而基线 界定的内容也将由单一的土壤元素含量值向树木种类、结构、年龄、密度、空间分布等多角度多指标扩充。通 过对树木和土壤基线的综合测定,为森林损害程度的判断和经济评估提供科学依据。

7

参考文献(References):

- [1] 王金南,刘倩,齐霁,於方.加快建立生态环境损害赔偿制度体系.环境保护,2016,44(2):25-29.
- [2] 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,张逦嘉.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.
- [3] 环境保护部环境规划院. 环境损害鉴定评估推荐方法(第二版). [2018-02-15]. https://wenku. baidu. com/view/ 50eb12bd4793daef5ef7ba0d4a7302768e996fc1.html.
- [4] 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.
- [5] 曹东,田超,於方,王灿发.解析环境污染损害鉴定评估工作流程.环境保护,2012,(5):30-34.
- [6] 於方,张衍燊,徐伟攀.《生态环境损害鉴定评估技术指南总纲》解读.环境保护,2016,24(20):9-11.
- [7] 陈璋琪,陈秋兰,洪小琴,董冬吟.大气污染环境损害鉴定评估的基线确认方法探讨.环境与可持续发展,2018,43(4):136-140.
- [8] 刘世荣, 王晖, 栾军伟. 中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展. 生态学报, 2011, 31(19): 5437-5448.
- [9] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 221-223.
- [10] 侯绪波, 陈超. 浅析我国森林资源保护现状及措施. 科技创新与应用, 2014, (17): 280-280.
- [11] Holling C S. Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems//Samson F B, Knopf F L, eds. Ecosystem Management. New York: Springer, 1994: 351-423.
- [12] Stephenson N L. Reference conditions for giant sequoia forest restoration: Structure, process, and precision. Ecological Applications, 1999, 9(4): 1253-1265.
- [13] Meyers P A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: A summary of examples from the Laurentian Great Lakes. Organic Geochemistry, 2003, 34(2): 261-289.
- [14] 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.
- [15] Li J X, Cao F F, Wu D, Fu X, Tian Y, Wu G. Determining soil nutrients reference condition in alpine region grassland, China: a case study of hulun buir grassland. Sustainability, 2018, 10(12): 4666.
- [16] Bamber J L, Aspinall W P. An expert judgement assessment of future sea level rise from the ice sheets. Nature Climate Change, 2013, 3(4): 424-427.
- [17] Carrel G. Prospecting for historical fish data from the Rhone River basin: a contribution to the assessment of reference conditions fig: 3 tab: 1. Archiv für Hydrobiologie, 2002, 155(2): 273-290.
- [18] 朱欢迎. 滇池草海富营养化和营养物磷基准与控制标准研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [19] Gibson G, Carlson R, Simpson J, Smeltzer E, Gerritson J, Chapra S, Heiskary S, Jones J, Kennedy R. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Lakes and Reservoirs. Washington; U.S. Environmental Protection Agency, 2000; 85-97.
- [20] 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): 7813-7818.
- [21] 刘久臣,刘晓端,徐清,汤奇峰.上海崇明岛表层土壤重金属元素分布特征与环境地球化学基线值研究. 岩矿测试, 2010, 29(3): 245-249.
- [22] 袁峰,张颖慧,周涛发,李湘凌,张鑫,李晓晖,陈兴仁,陈永宁,陈富荣,贾十军.典型城镇土壤重金属元素环境地球化学基线研究——以合肥地区为例.地质论评,2010,56(1):114-123.
- [23] USDA Forest Service. Forest Reference Conditions for Ecosystem Management in the Sacramento Mountains, New Mexico. Colorado: USDA FS, 1998.
- [24] Muxika I, Borja Á, Bald J. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. Marine Pollution Bulletin, 2007, 55(1/6): 16-29.
- [25] 李莉,赵晓松.吉林省东部山区人参栽培基地土壤污染现状与评价.农业环境科学学报,2005,24(2):403-409.
- [26] 王瑞永,刘莎莎,王成章,郭玉霞,严学兵.不同海拔高度高寒草地土壤理化指标分析.草地学报,2009,17(5):621-628.
- [27] 田晓娅, 陈超子. 应用 ICP-AES 法同时测定土壤中 27 种元素的方法研究. 土壤通报, 1993, 24(4): 188-190.
- [28] 陈奇, 霍守亮, 席北斗, 昝逢宇, 李秀金. 湖泊营养物参照状态建立方法研究. 生态环境学报, 2010, 19(3): 544-549.
- [29] Lyche Solheim A. Reference Conditions of European lakes—Indicators and Methods for the Water Framework Directive Assessment of Reference Conditions. Italy: REBECCA Project, 2005.
- [30] Chen J B, Lu J. Establishment of reference conditions for nutrients in an intensive agricultural watershed, Eastern China. Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21(4): 2496-2505.
- [31] 张亚玉.不同生长环境下人参根区土壤肥力特性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.

17 期

- [32] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤科学数据库. [2018-12-18]. http://vdb3.soil.csdb.cn.
- [33] 孟宪玺. 长白山土壤中十种微量元素的自然背景值. 土壤通报, 1981, (1): 23-24, 46-46.
- [34] Cheng P, Li X Y. Establishing reference nutrient conditions using improved statistical methods in a river network with typical monsoon climatic pattern. Ecological Indicators, 2018, 89: 260-268.
- [35] Huo S L, Xi B D, Su J, He Z S, Zan F Y, Yu H. Defining physico-chemical variables, chlorophyll-a and Secchi depth reference conditions in northeast eco-region lakes, China. Environmental Earth Sciences, 2014, 71(3): 995-1005.
- [36] 徐清乾,许忠坤,张勰,愈传明,郭玉华.不同树种幼林生长差异及对土壤营养的影响.湖南林业科技, 2013, 40(6): 29-32.
- [37] 李静鹏,徐明锋,苏志尧,孙余丹,胡砚秋.不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价. 生态学报, 2014, 34(9): 2297-2307.
- [38] 刘圣恩. 凋落叶多样性对土壤碳氮形态及微生物多样性的影响[D]. 福州: 福建农业大学, 2016.
- [39] 魏江生,周梅,赵鹏武,景宇鹏,刘星岑.兴安落叶松林型对土壤氮素含量的影响.干旱区资源与环境,2014,28(7):127-132.
- [40] Bunn S E, Smith M J. Design and Implementation of an Ecosystem Health Monitoring Program for Streams and Rivers in Southeast Queensland, Australia: an Overview. Schaumburg: Journal of the North American Benthological Society, 2002.
- [41] Smith R A, Alexander R B, Schwarz G E. Natural background concentrations of nutrients in streams and rivers of the conterminous United States. Environmental Science & Technology, 2003, 37(14): 3039-3047.
- [42] Carvalho L, Solimini A, Phillips G, van den Berg M, Pietiläinen O P, Lyche Solheim A, Poikane S, Mischke U. Chlorophyll reference conditions for European lake types used for intercalibration of ecological status. Aquatic Ecology, 2008, 42(2): 203-211.
- [43] Dodds W K, Carney E, Angelo R T. Determining ecoregional reference conditions for nutrients, Secchi Depth and Chlorophyll a in Kansas Lakes and Reservoirs. Lake and Reservoir Management, 2006, 22(2): 151-159.
- [44] 霍守亮, 陈奇, 席北斗, 郭旭晶, 陈艳卿, 刘鸿亮. 湖泊营养物基准的制定方法研究进展. 生态环境学报, 2009, 18(2): 743-748.
- [45] Dodds W K, Oakes R M. A technique for establishing reference nutrient concentrations across watersheds affected by humans. Limnology and Oceanography: Methods, 2004, 2(10): 333-341.
- [46] Kennard M J, Harch B D, Pusey B J, Arthington A H. Accurately defining the reference condition for summary biotic metrics: a comparison of four approaches. Hydrobiologia, 2006, 572(1): 151-170.