

DOI: 10.5846/stxb201803260601

李嘉珣, 曹飞飞, 汪铭一, 吴钢. 参照点位法下的参照状态在草原生态系统损害基线判定中的应用分析. 生态学报, 2019, 39(19): - .
Li J X, Cao F F, Wang M Y, Wu G. Study on damage baseline assessment of grassland ecosystem in reference site method with different reference conditions. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(19): - .

参照点位法下的参照状态在草原生态系统损害基线判定中的应用分析

李嘉珣^{1,2}, 曹飞飞^{1,2}, 汪铭一^{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: 生态环境损害基线的判定是环境损害鉴定与评估的基础与前提。参照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, 有效弥补了历史数据不完善的问题。在基线判断的过程中, 参照点位选择的不同, 会导致判定基线的参照状态不同, 进而影响对人类干扰程度的判定和损害基线的基准值的设定。但目前缺乏统一的对草原生态系统参照状态的讨论与分析。本文提出了草原生态系统参照点位法的评价指标体系, 对文献资料中的样点进行分析和筛选, 形成四种参照状态, 选择最优的参照状态对损害基线进行判定, 并以内蒙古锡林郭勒盟锡林浩特典型草原区为案例进行实例分析。结果表明: 对于自然保护区、草原实验站宜采用极小干扰状态和历史状态作为基线标准。对于实施了人为正向干扰的地区宜采用最佳可获得状态作为基线标准。对于草原的其他大部分地区, 宜采用最低干扰状态作为基线标准。

关键词: 损害基线; 参照状态; 典型草原

Study on damage baseline assessment of grassland ecosystem in reference site method with different reference conditions

LI Jiaxun^{1,2}, CAO Feifei^{1,2}, WANG Mingyi^{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 ecosystem damage baseline assessment is the foundation and premise of the environmental damage identification and evaluation. As the most widely used method in baseline assessment, reference site method can overcome the problem of lacking historical data. In the process of the assessment, choosing the different reference site can cause different reference conditions, which affect the degree of anthropogenic disturbance and the set value of damage baseline. At present, there is no universal discussion and evaluation about the reference condition of grassland ecosystem. In this paper, we proposed evaluation index of the reference site method in grassland ecosystem, categorized and filtered the samples in bibliography to form four conditions, and then chose the most accurate condition to determine the damage baseline. We took the typical grassland of Xilinhot in Xilingol League as the case study. The result showed that for natural reserve and experimental stations, it is appropriate to use minimally disturbed condition and historical condition as the baseline; for the areas where human implemented positive interference, it is appropriate to use the best attainable condition as the baseline; for the most other parts of grassland, it is appropriate to use the least disturbed condition as the baseline.

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFC0503603)

收稿日期: 2018-03-26; 网络出版日期: 2019-00-00

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

Key Words: damage baseline; reference condition; typical grassland

近年来,随着人类活动的增加和城镇化的扩张,生态环境损害事件时有发生,导致生态系统结构和功能遭到破坏、生态系统服务降低^[1]。如何对生态环境损害事件进行科学评估是解决生态环境赔偿案件的有效依据^[2]。生态损害原因各异,损害形式多样,损害过程复杂,而生态环境损害基线的判定是确定损害形式、过程的重要前提和关键环节^[3]。生态环境损害基线(以下简称“损害基线”),是指生态破坏行为发生前,受影响区域内物理、化学或生物特性及其生态系统服务的状态或水平^[4]。损害基线是生态损害评估的基础和开端,是判断生态损害事件发生的依据,也是确定损害时空范围、损害程度、修复难度的重要指标,更是确定损害赔偿数额的参考依据^[5-6]。目前损害基线的判定尚无统一标准和规范,主流的判断基线方法包括:参照点位法、历史数据法、环境标准法和模型法。他们确定基线的原理均是寻找时间或空间范围内未受到破坏的生态状态作为基准值或目标修复值,再与现有生态状态进行比较,两者差值即作为损害程度。参照点位法凭借其完整性、可重复性、灵活性等优势被广泛应用于土壤研究、鱼群繁衍、水质测评等方面,是目前应用最广泛的判定方法^[7-8]。但相同区域内不同参照点位的选择会带来不同的参照状态,进而造成结果的差异,如何科学的选择最准确的参照状态,成为参照点位法在损害基线判定中的重点和难点。目前草原区的参照状态鲜有研究,本文对锡林郭勒盟锡林浩特典型草原区进行研究分析,旨在找出不同区域草原合适的参照状态,进而为草原区损害基线的判断提供科学方法和案例分析。

1 理论基础

参照点位法是从一组生境类似、可用以比较的参照点位中选择未受干扰的区域作为参照区,利用该区域的历史数据或实验数据与评价区进行比较的方法^[9]。参照状态是指一定区域内受人类活动干扰最少或影响程度最小的状态,通过与环境现状对比,用以评估人类活动对自然环境的影响^[10-11]。参照状态是参照点位法中参考点的最优生态状态,是验证参照点位法在损害基线应用中科学性的重要手段。若无参照状态很难确定区域内随时间变化而改变的生态状态及受人类干扰的程度,参照状态的选择将对基线的选定起到重大影响^[12]。在任何时间段的任何点位上的参照状态均呈现出一系列的生物属性,而这些属性随着气候和自然的变化而改变。由于研究者角度、研究目的和区域可获数据的不同,参照状态中所呈现出来的最佳状态也不同。国内外学者把参照状态分为四类^[12-13]:

极小干扰状态(Minimally Disturbed Condition, MDC):用以描述区域没有显著人类干扰的状态。极小干扰状态是自然环境下最优的状态,这种状态虽然受到气候和地质变化的影响,但最大限度地保留了当地的生物完整性,该状态下的每个样点的生态指标值虽然不同,但差距较小,波动较低。尽管人类足迹未至区域目前已经不多,但在人类已至区域中并没有受到人类干扰的情况下(比如自然保护区)的生态状态可以被称为 MDC。该状态常出现在热带雨林、保存完好的森林和草原深处、湿地和沙漠地区。

历史状态(Historical Condition, HC):用以描述区域内历史某一时点的状态。由于跨度长、调查方法和实验技术的改进,相同地点的历史状态也会随着时间变化而变化。样点通常选择没有进行过城市化、工业化和农业集约化的地区,同时区域内的水文、地质和生态没有发生大的改变。

最低干扰状态(Least Disturbed Condition, LDC):用以描述现阶段区域内受到干扰最低、各项指标最佳的状态。由于人类活动和指标选择的影响,最低干扰状态的指标值呈现出区域差异值,并且根据人类干扰程度显现变好或者变坏的趋势。在一定范围内,即使有人类干扰,但某一特定区域生态暴露风险和受干扰程度明显小于周边区域,那么在该区域内的生态状态也可以被称为 LDC。该状态常出现于河流的上游、未有养殖和航道的淡水区、未过度放牧的草原区、海拔较高的山区等。

最佳可获得状态(Best Attainable Condition, BAC):用以描述在环境治理或管理下区域达到的最佳状态。

由于最佳可获得状态是在最佳管理目标、先进的修复技术下可达到的理论状态,所以又称期望状态。该状态取决于人类活动对区域的干扰状态,但其不会优于极小干扰状态,也不会低于最低干扰状态,常出现于城市化和工业化程度较高、经济较发达的生态治理区域。

一个区域最开始的状态是 MDC,自然结构稳定,生态功能齐全,由于自然或者人为干扰,生态系统向着不稳定的方向发展(图 1)。当干扰程度超过一定阈值时,生态系统在结构和功能等方面将表现出受损症状,此时的参照状态是 LDC,且 $LDC < MDC$ 。随着干扰强度和时间的继续增加,超过一定阈值,生态系统的稳态将被打破,退化到另一阶段。在退化过程中某一时点的参照状态是 HC。在生态系统演变的过程中,同一时点的 $HC = LDC < MDC$ 。在受损的情况下,将生态系统进行恢复,此时的参照状态是 BAC。BAC 取决于人类活动对区域的干扰程度、恢复时间和技术,但 $LDC \leq BAC \leq MDC$ ^[11]。

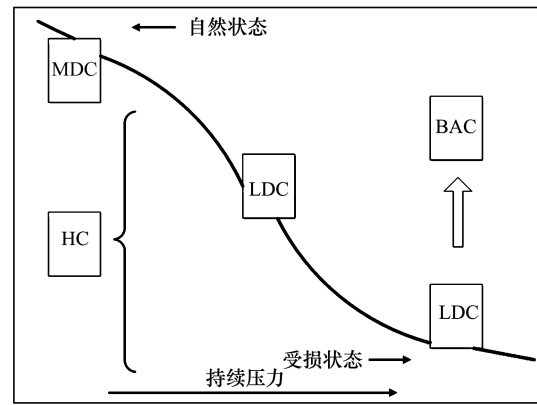


图 1 参照状态的 4 种状态示意图

Fig.1 Diagrammatic sketch of 4 conditions of reference condition

2 研究区域

本文研究区域选择在锡林郭勒盟锡林浩特市范围内(图 2)。锡林浩特位于内蒙古自治区锡林郭勒大草原中部,地理坐标为北纬 $43^{\circ}02' - 44^{\circ}52'$,东经 $115^{\circ}18' - 117^{\circ}06'$ 。锡林浩特处于中温带半干旱大陆性季风气候区,年平均气温 $0 - 3^{\circ}C$,平均日照 2877 小时,年平均降水量 300mm,降水多集中在 6—8 月份,结冰期长达 5 个月,为华北最冷的地区之一。锡林浩特市自然资源丰富,草原种类齐全,以典型草原为主体,同时兼有草甸草原和荒漠草原,天然草场面积 2068 万亩。典型草原多由旱生的多年生草本植物所组成,区域内建群种为大针茅(*Stipa grandis*)、羊草(*Leymus chinensis*)和克氏针茅(*Stipa krylovii*),优势种主要有糙隐子草(*Cleistogenes*

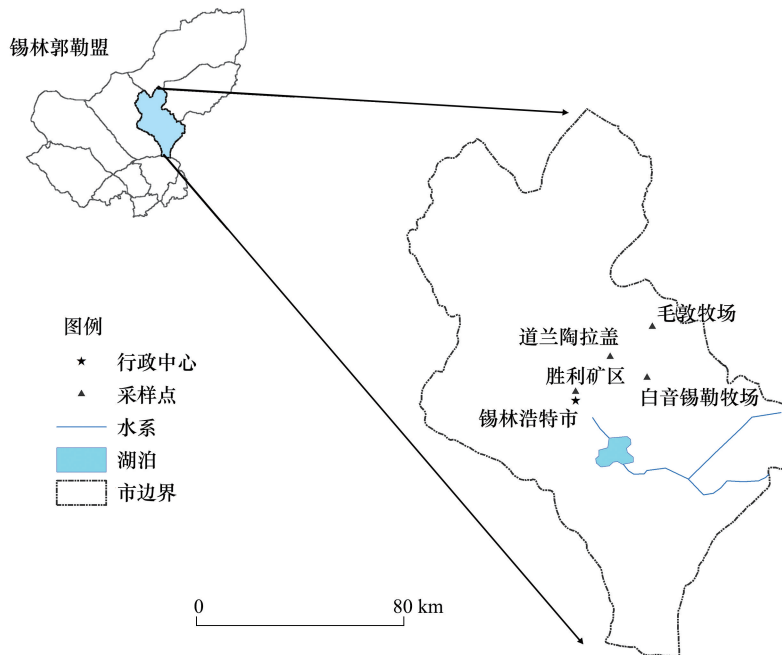


图 2 研究区位置图

Fig.2 Location map of study area

squarosa)、线叶菊(*Filifolium sibiricum*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla Lam*)等。锡林浩特地区土壤类型主要以栗钙土为主,兼有草甸栗钙土、草甸土、黑钙土、暗栗钙土、盐碱化土等,土壤质地多为轻质壤土,通气状况良好。区域内资源丰富,探明煤炭储量 233 亿吨,主要矿种有锡、铜、银、锌等。

2.1 参照状态确定的原则及方法

样点区与评价区选择尽可能相似的生境状态。对于草原区损害基线的判定,应遵循以下原则:1、样点区与评价区距离相近原则;2、自然背景值相似原则;3、人为干扰方式、程度类似原则;4、采集方法与数据获取方法相似原则。

依照以上原则,本文建立一套筛选样点的指标体系(表 1),并按照参照点位法中群体分布法的标准确定基线^[14],该方法选择每个样点指标频数分布的前 25% 的值作为基线值。本文通过对近 40 年的文献梳理,筛选出符合条件的植物样方样点 211 个,土壤样方点位 238 个,将样点数据归为不同状态,再选取各样点植被状态指标、土壤养分指标正序的 75 分位值(最高值的 75%)和土壤重金属指标正序的 25 分位值(最低值的 25%)作为各状态的基线值。样方面积均为 1m×1m,样方植被指标主要通过人工观测记录,样方土壤均取自 0—10cm 土层,各指标值取回实验室测定。

表 1 样点指标筛选体系

Table 1 Filter system of sample points index

指标类别 Index Category	指标 Index	评判标准 Criteria
地点 Site	评价区域与参照状态下参照点位的距离	锡林浩特市内
自然背景值 Natural Background Value	气候类型 降水量 用地类型	温带半干旱大陆性季风气候区 区域内降水量相似 年均 300mm 典型草原
人为干预活动 Human Intervention	优势物种 土壤土质 风险源 是否自然保护区 有无人工治理	羊草+大针茅+克氏针茅 栗钙土为主,土质轻壤 放牧、干旱、工矿业活动 均属于锡林郭勒盟保护区 除最佳可获得状态的样点外,无人工修复措施

2.2 评价区和样点选择

评价区选择锡林郭勒盟胜利矿区(2002),胜利露天矿位于锡林浩特市东北部 4 公里,总体规划建设两期工程。一期工程于 2004 年开工,对露天煤矿进行改扩建,配套建设矿区铁路和非煤产业。评价区样点选择在改扩建前的矿区周边的草原,景观基底为草原,占评价区面积的 81%,农田、城镇、工矿业用地较少^[15]。植被类型为典型草原,大针茅草原处于绝对优势,植物组成有克氏针茅、大针茅、糙隐子草、冷蒿、羊草等。评价区土壤样点提取于煤矿改扩建前,土壤类型以栗钙土,草甸土为主,由于草场退化,形成沙化、砾石化栗钙土,有机质含量较低。

MDC 样点选择了毛登牧场(2013)和白音锡勒牧场(1979, 1982, 1984, 2002)。毛登牧场位于锡林浩特东 37 公里,是我国温带典型草原区的代表区域^[16]。该区域建群种为大针茅和羊草,优势种为知母、糙隐子草。样点选择未受放牧、刈割、工矿业、城市化扩张等影响,保留原始生态状态。白音锡勒牧场位于锡林浩特东南部,属锡林郭勒高端低山丘陵区的边缘部分,该牧场自 1982 年围栏禁牧,是目前文献中最早记载锡林浩特草原样点信息的地方,样点为非农田用地,除了少量啮齿类动物和昆虫活动外,无人为干扰,样点采集年份无干旱(SPI 指数无旱),优势种有大针茅、羊草、克氏针茅、糙隐子草等,优质种科属与历年资料保持一致,保留典型草原原始状态^[17-19]。土壤采样点选择在白音锡勒牧场(1984)和草原生态系统定位站(1997),除上游高地和高台地外,几乎全被栗钙土所占据^[20],无人为干扰,可归为极轻度无退化等级^[21]。此外,选取了该地区典型草原土壤本底值作为极小干扰状态样本^[15,22]。

HC 样点主要借助于不同历史时期区域内的描述数据。除去干旱年份(1986,1997,2001,2005,2007),结合数据有效性,选择样点的地点在白音锡勒牧场(1983),锡林浩特市(2006—2008,2010—2011),毛登牧场(2012),和道兰陶拉盖(2013),草原类型均为典型草原^[23—26]。土壤样点选择在草原生态系统定位站(1997)^[27],锡林浩特典型草原区(2006—2011)^[28-29]和白音锡勒牧场(2005)^[20]。

LDC 样点位于白音锡勒牧场(2006)和锡林浩特东 40km 的典型草原中心区域样地(2010)^[29-30]。自 1984 年起,锡盟推出牧场“双权一制”政策,将全盟可利用草原面积 95% 的草场划分到户,锡盟超载过牧现象严重,导致草原退化严重。自 2002 年起,锡盟实行了“围封禁牧,划区轮牧”政策,草原退化、沙化趋势得到了有效遏制,但草原区生态状态不如 20 世纪末期。本文 LDC 样点采集时间均在 2000 年以后,在当时均为围封时间较长,未有放牧、刈割及其他人类活动干扰的区域,是当时受到干扰最少的区域。土壤采样区选择在白音锡勒牧场(2002,2008,2011)^[31-32],和胜利矿区外围 10km 处(2014)^[33],均为典型草原栗钙土为主。

BAC 样点选择在白音锡勒牧场(2002—2007)^[23,34]、毛登牧场(2012)^[24]胜利矿复垦区和锡林浩特北部地区(2010—2013)^[35],白音锡勒牧场改良措施包括围栏封育、耙地松土等措施,并从 1983 年起,样点没有进行任何方式的利用。毛登牧场改良措施包括切根、施肥、灌溉等。锡林浩特北部样点采取围栏、禁牧、休牧等措施。由于实施了恢复改良措施,样地内呈现不同的群落演替状态,有一、二年生杂类草向多年生杂类草和丛生禾草过渡,样地内草原高度、盖度、多样性均与周围未实施恢复措施的草原呈现明显不同。随着恢复措施的加强和年限的增加,退化草原将逐渐呈现像天然草原方向进化的趋势。土壤样地选择在白音锡勒牧场(2002)和胜利矿区排土场覆土种植区(2010)^[22,32-33],对土壤的整治措施主要包括:适度放牧、人工覆土、边坡再造、人工种植等。

3 结果

通过对样点的筛选和计算,形成了锡林浩特市典型草原各参照状态下植被状态基线和土壤状态基线(表 2,表 3)

表 2 锡林浩特市典型草原植被状态基线

Table 2 Vegetation baseline of typical grassland in Xilinhot

状态 Condition	高度 Height/cm	盖度 Coverage/%/	地上生物量 Above-ground biomass (g/m ²)
对照	25—50	60—80	150—350
MDC	19—72	75—85	180—330
HC	20—26	44—47	73—300
LDC	29—55	50—80	120—400
BAC	25—63	70	131—450

表 3 锡林浩特市典型草原土壤状态基线

Table 3 Soil baseline of typical grassland in Xilinhot

状态 Condition	pH 值	有机质 OM/ (g/kg)	全氮 TN/%	全磷 TP/%	速效钾 AK/ppm	铜 Cu/ (mg/kg)	铅 Pb/ (mg/kg)	锌 Zn/ (mg/kg)	镉 Cd/ (mg/kg)	砷 As/ (mg/kg)
对照	8.2	14.7	0.15	0.07	197.1	7.46	17.35	22.47	0.016	4.38
MDC	8.7	36.67	1.87	1.74	124	2.13	NA	8.65	0.01	NA
HC	8.3	27.61	1.66	1.53	224	12.3	15	NA	0.0928	6.85
LDC	7.5	22	2.4	0.34	NA	14.21	3.39	41.89	24.18	NA
BAC	NA	35	1.91	0.38	170	15	3	33	0.102	9.63

NA 为未测定

植被方面,评价区植被状态与 LDC 最为接近,高度、盖度、生物量均在 LDC 的区间中。MDC 的植被高度、

盖度、地上生物量均处于较高水平,物种丰富,生态结构稳定,是区域内原生的最佳状态。HC的各项指标均较低,样地采集区受到干扰程度比较大,导致其生态状态不佳。LDC的高度和盖度介于MDC和HC之间,但生物量的极差较大,且地上生物量最高值高于MDC的。除了地上生物量最高值外,BAC的各项指标介于MDC和LDC。土壤养分方面,评价区土质沙化现象明显,有机质、全氮和全磷含量均较低,养分指标与LDC指标相近。MDC所处地区有适度放牧和人工施肥,土壤肥力高,pH值最高,有机质含量最高,全氮、全磷均保持较高水平。LDC有机质含量小于HC含量,间接验证了目前锡盟草原整体处于退化趋势^[36]。土壤重金属方面,MDC的铜、铅、铬水平最低,而受到矿业活动干扰的LDC,除铅外,其余指标均处于最大值。经过生态治理和土壤修复后BAC的重金属含量略低于LDC,而HC的各项状态处于中间水平。草原区4种生态状态所确定的基线水平与其他生态系统的所测定的基本一致^[37]。

4 讨论

对草原区植被而言,植物群落高度、盖度和生物量是能够综合反映草原生态环境质量好坏最直接的指标。物种之间生物量相差较大,若样方内建群种或优势种不一致,将会导致生物量的失真^[38]。所以在基线判定中首先应该确定区域内建群种或优势种,再进行测定。由于样方调查中高度、盖度均凭借人为判断,具有较强主观性,无法做到十分精确,因此基线确定不应是某个确定的数值,应以划定范围为准,范围控制在10%内为宜。此外,由于草原退化,某些优势种变成消退种,而某些单株个体较大、生物量大的物种变成增强种,这样造成草原退化而地上生物量增加的现象。在LDC样点中,出现了草原退化的标志物种——披针叶黄华和狼毒大戟,这两种植物单株株体大,造成样点内整体生物量增大,但草原出现了退化迹象^[39]。由于草原植被生长的周期性,采样时间对于植被生物量的影响巨大,一般采取一年中植被生长最好的时间(8月)进行生物量的测定和基线确定。

对草原区土壤而言,土壤成分因时间和空间选择的不同而存在差异,营养成分时间差异较大,重金属含量空间差异较大,对于基线的判定产生较大影响。土壤有机质含量取决于土壤形成的条件(如微生物、温度、动植物)以及人类活动的影响。不同的放牧条件下,BAC和LDC的土壤营养成分出现较大波动^[40]。经过适当放牧和土壤改良后的BAC某些指标强于未经人工恢复的LDC,甚至强于原始状态MDC,但过度放牧将会导致植被减少,进而导致土壤有机含量下降。此外,草原区的植被恢复通常引进固碳能力强、耐瘠薄的外来种^[41],造成区域内优势种的变化,进而影响基线的判定。对土壤营养成分的筛选,需要对人工恢复措施进行变量实验。不同样点内,重金属成分波动较大,靠近人类活动的地区重金属含量普遍较高,且重金属有累积效应,导致LDC下的重金属含量显著高于其他状态。为了提高基线判定的科学性,应采取如下措施:(1)增加土壤样点采集数量,避免出现极值所带来的数据偏差;(2)降水量差异可能导致土壤微生物群落结构发生变化^[42],使土壤养分发生变化,因此,样点应避免极旱、涝年份采集;(3)工矿业的活动容易造成重金属的超标,造成整体数据偏高,所以样点应避免在河流中下游、电厂及煤炭开采区采集;(4)若地区土壤背景值有相关重金属的数据,可以选择其作为基线判定依据。

在草原区基线判定的具体操作过程中,不同草原区自然生境、人类干扰程度存在差异,四种状态的选择对基线判定将产生较大影响。一般而言,MDC是损害基线的最优选择,但在所有草原区以其为判定标准存在诸多困难。首先,草原受到降水影响较大,草原种类分布与降水分布呈现非常强的相关性^[43],降水对草原有渐变性和波动性影响,同一片区域的优势种和建群种由降水周期的改变而改变,对一个区域进行判定时,即使无人干扰,也很难根据植被类型确定该区域就是历史上受到干扰程度最小的状态;其次,草原包括草甸草原、典型草原、荒漠草原等多种类型,并且内陆草原存在着由草甸草原向荒漠退化的过程^[44],若选择的区域是典型草原或者荒漠草原,很难确定该区域原始的草原状态,进而无法判断该区域是否是极小的干扰状态。HC能够较好地反映区域环境的变化情况,但该状态同样不宜作为所有草原基线的状态。首先,历史状态有效性程度取决于基础数据的完整性。在生态损害发生前,很少有科研机构或个人对该区域进行长时间的监测,草

原区生境状态资料匮乏;其次,历史研究通常不是以生态环境损害为目的的研究,草原区所获得的历史数据常用于研究植被特征、物种演化、群落稳定性等特征,导致历史数据很难满足损害基线定量化的要求^[45];再次,由于研究介质和对象的自然可变性,同一区域的草原可能发生退化,植物群落、土壤性状发生改变,导致在确定基线时出现偏差。对于草原生态自然保护区、观测研究站等附近的草场,由于有连续的基础数据,加之保护力度强、人为干扰少,草原生境变化少,宜采用 MDC 和 HC 作为基线标准。

在草原露天矿复垦区、生态实验站等附近的草场,宜采用 BAC 作为基线标准。以胜利矿区为例,复垦区土壤中严重缺乏有机质、氮、磷,经大量补充改良土壤后,引进羊草、冰草、高羊茅等耐旱耐寒植被,并增加截流、保边护底、固土、围栏等措施,植被有所恢复。矿区活动(剥离、采矿、运输)离复垦区较远,不会对其造成影响。由于在修复区域有对损害过程中实现持续的监测和检验^[46],可在不同空间尺度(Spatial Scales)和时间尺度(Temporal Scales)实现评价指标体系的标准化,因此 BAC 可以作为复垦区及周围草原的基线标准。对于剩余的大部分草原地区而言,由于实验的可重复性、指标选择的灵活性都较强,因此宜选择目前受干扰程度最低的状态作为基线判定的标准。在操作过程中,应先对区域内的风险源进行筛选,对干扰程度进行等级划分,选择综合干扰程度最低的区域进行样点采集。此外,由于生态损害及修复是一个动态的过程,未来可以将 LDC 和 BAC 相结合,建立一套动态的基线标准,形成完整的从损害发生到修复治理的参照状态,以期全方位对损害事件进行评估。

5 结论

本文以草原区生态环境损害基线确定为出发点,系统总结了参照点位法所形成的 4 种参照状态,并对 4 种状态在草原区的利用进行详尽的分析和讨论。以锡林浩特典型草原为例,利用文献数据对胜利矿区周边草场进行参照状态的划分,并计算出该地区 4 种状态下的基线。在此基础上,讨论了目前 4 种状态在草原区应用存在的问题和解决方法,并提出 4 种状态应用范围和顺序,可根据草原区实际情况采用不同状态来确定基线。如果未受人类活动干扰,推荐使用极小干扰状态;如果有详尽的历史资料和数据,推荐使用历史状态;草原生态自然保护区、观测研究站等附近的草场适合选择以上两种状态作为基线。在大部分草原地区,可以根据要求进行实地样点采集和分析,推荐使用最小干扰状态;如果经过人工治理措施和科学管理,如在草原露天矿复垦区、生态实验站等附近的草原,推荐使用最佳可获得状态。本文验证的草原参照状态符合中国北方草原区现状,可为中国草原损害评估提供科学指导,也为制定草原损害基线提供理论依据和数据支持,具有较强的应用价值。

参考文献(References):

- [1] 孔红梅,赵景柱,吴钢,马克明. 生态系统健康与环境管理. 环境科学, 2002, 23(1): 1-5.
- [2] 吴钢,曹飞飞,张元勋,张洪勋. 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] 於方,张衍桑,徐伟攀. 生态环境损害鉴定评估技术指南总纲. 环境保护, 2016, 44(20): 9-11.
- [4] 环境保护部环境规划院. 生态环境损害鉴定评估推荐方法(第二版). [2017-10-15]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201411/t20141105_291159.htm.
- [5] 唐小晴. 突发性水环境污染事件的环境损害评估方法与应用[D]. 北京:清华大学,2012.
- [6] 白佳玉. 美国自然资源损害赔偿法律制度初探——以油污治理为视角. 甘肃政法成人教育学院学报, 2009, 6(5): 7-12.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 龚雪刚,廖晓勇,阎秀兰,李尤,杨坤. 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.
- [10] Karr J R, Chu E W. Restoring life in running waters: better biological monitoring. Washington, D.C.: Island Press, 1999: 279-310.
- [11] Bailey R C, Norris R H, Reynoldson T B. Bioassessment of freshwater ecosystems: Using the reference condition approach. New York, Kluwer Academic Publishers, 2004: 145-153.

- [12] Stoddard J L, Larsen P, Hawkins C P. Setting expectations for the ecological condition of running waters; the concept of reference condition. *Freshwater Bioassessment*, 2006, 16(5):1267-1276.
- [13] 吴阿娜. 河流健康评论:理论、方法与实践[D]. 上海:华东师范大学, 2008.
- [14] Gibson G, Carlson R, Simpson J, Smeltzer E, Chapra S, Heiskary S, Jones J, Kennedy R. Nutrient criteria technical guidance manual lakes and reservoirs. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2000.
- [15] 内蒙古环境科学研究院, 内蒙古自治区锡林郭勒盟胜利矿区总体规划环境影响报告书. 锡林浩特, 2005:57-61.
- [16] 万志强. 不同刈割频度对内蒙古大针茅草原群落特征及补偿生长的影响[D]. 内蒙古:内蒙古大学, 2014.
- [17] 周庆强, 钟文勤, 孙崇璐. 内蒙古白音锡勒典型草原区鼠类群落多样性的研究. *兽类学报*, 1982, 02(1): 89-94.
- [18] 李燕红. 内蒙锡盟白音锡勒地区羊草草原生物量及其与群落结构、生境条件的关系. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 1983, 14(1): 119-128.
- [19] 王义凤, 姜恕. 干旱气候对大针茅草原的群落结构和地上部分生物量的影响. *植物生态学报*, 1982, 6(4): 333-338.
- [20] 王赞峰. 内蒙古典型草原受损生态系统土壤性状变化规律研究[D]. 内蒙古:内蒙古农业大学, 2006.
- [21] 关世英, 常金宝, 贾树海. 草原暗栗钙土退化过程中的土壤性状及其变化规律的研究. *中国草地*, 1997, (3): 39-43.
- [22] 郭二果, 张树礼, 蔡煜, 李静. 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(2): 93-98.
- [23] 宝音陶格涛. 不同改良措施下退化羊草草原群落恢复演替规律研究[D]. 内蒙古:内蒙古大学, 2009.
- [24] 杨波. 不同恢复措施对退化羊草草原影响研究[D]. 内蒙古:内蒙古大学, 2014.
- [25] 陈秀兰. 内蒙古伏沙地植被特征分析研究[D]. 内蒙古:内蒙古农业大学, 2011.
- [26] 胥慧. 锡林郭勒典型草原枯草高光谱生物量估算方法研究[D]. 内蒙古:内蒙古师范大学, 2015.
- [27] 中国土壤科学数据库. [2017-10-18]. <http://vdb3.soil.csdb.cn>.
- [28] 刘楠, 张英俊. 放牧对典型草原土壤有机碳及全氮的影响. *草业科学*, 2010, 27(4):11-14.
- [29] 赵育民, 王军邦, 张秀娟, 张波. 内蒙古温带典型草原羊草与大针茅群落结构特征比较. *安徽农业科学*, 2008, 36(30): 13093-13096.
- [30] 张建丽, 张丽红, 陈丽萍, 李军鹏, 赵念席, 高玉葆. 不同管理方式对锡林郭勒大针茅典型草原退化群落的恢复作用. *中国草地学报*, 2012, 34(6): 81-88.
- [31] 刘宪斌. 模拟大气气沉降水和对内蒙古典型草原土壤理化性状及微生物量的影响[D]. 河北:河北农业大学, 2010.
- [32] 孙秀英. 放牧压力对草原砂质栗钙土微生物学特性影响的研究[D]. 辽宁:沈阳农业大学, 2004.
- [33] 杨勇. 锡林郭勒露天煤矿区土壤重金属分布特征与植被恢复研究[D]. 内蒙古:内蒙古农业大学, 2016.
- [34] 左万庆, 王玉辉, 王凤玉, 师广旭. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究. *草业学报*, 2009, 18(3):12-19.
- [35] 张连义, 刘爱军, 邢旗, 刘德福. 内蒙古典型草原区植被动态与植被恢复. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(2):186-190.
- [36] 马林, 王亮, 张扬. 中国草原牧区可持续发展论.北京:民族出版社, 2015:374-384.
- [37] Stephenson N L. Reference conditions for giant sequoia forest restoration: structure, process, and precision. *Historical Variability*, 1999, 9(4): 1253-1265
- [38] 李政海, 裴浩, 刘钟龄, 何涛. 羊草草原退化群落恢复演替的研究. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 1994,25(1):88-98.
- [39] 赵成章, 樊胜岳, 殷翠琴, 贺学斌. 毒杂草型退化草地植被群落特征的研究. *中国沙漠*, 2004, 24(4):507-512.
- [40] 曹成有, 朱丽辉, 蒋德明, 富遥, 高菲菲. 科尔沁沙地不同人工植物群落对土壤养分和生物活性的影响. *水土保持学报*, 2007, 21(1): 168-171.
- [41] Feng J, Ma Y Q. Study on selection of slope protection plantation varieties in acid soil mine area reclamation. *Metal Mine Design and Construction*, 2013, 3(1): 28-30.
- [42] 孙盛楠. 草甸草原土壤微生物群落结构与多样性对增氮增雨响应[D]. 长春:东北师范大学, 2015.
- [43] 李晓兵, 陈云浩, 张云霞, 范一大, 周涛, 谢锋. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 254-261.
- [44] 龚子同, 张之一, 张甘霖. 草原土壤:分布、分类与演化. *土壤*, 2009, 41(4): 505-511.
- [45] Barnhouse L W, Stahl Jr R G. Quantifying natural resource injuries and ecological service reductions: Challenges and opportunities. *Environmental Management*, 2002, 30(1): 1-12.
- [46] M L Petesse. Tendency towards homogenization in fish assemblages in the cascade reservoir system of the Tietê river basin, Brazil. *Ecological Engineering*, 2012, 48(7):109-116.