

西藏麦地卡湿地国家级自然保护区土壤肥力评价

度泊楠, 陈虎林, 杨 洋, 叶湜倩, 黄香

(西藏大学理学院,高原流域环境化学实验室,拉萨 850000)

摘要:以麦地卡湿地国家级自然保护区内土壤环境为研究对象,在完成样品现场采集、指标分析测定的基础上,对土壤各肥力指标的统计学参数进行研究,再进一步通过改进的内梅罗综合指数法对麦地卡湿地各类型土壤的肥力进行综合评价。结果表明:研究区土壤综合肥力系数(F)大小顺序为高山草甸土(1.72)>高山灌丛草甸土(1.66)=寒漠土(1.66)>沼泽土(1.56)>粗骨土(1.43);除了高山草甸土肥力等级属于肥沃以外,其余 4 种土壤均属于一般等级。多独立样本的非参数检验结果显示,研究区土壤容重、有机质、阳离子交换量、TOC、土壤水分以及土壤盐度的含量分布与土壤类型具有一定的相关性,而 pH、速效钾、有效磷以及氨氮与土壤类型没有相关性。整体而言,地处高寒高海拔藏北区域的麦地卡湿地土壤肥力与西藏其他区域的耕地以及人工造林作业区土壤肥力相当。

关键词: 麦地卡湿地; 土壤肥力; 空间分布; 内梅罗综合指数法

中图分类号: X825; S158.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2022)05-0287-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbxb.2022.05.035

Evaluation of Soil Fertility in the Mitika Wetland National Nature Reserve, Tibet, China

TUO Bonan, CHEN Hulin, YANG Yang, YE Xiqian, HUANG Xiang

(Laboratory of Tibetan Plateau Basin Environmental Chemistry, School of Sciences, Tibet University, Lhasa 850000)

Abstract: Taking the soil environment in Mitika Wetland National Nature Reserve as the research object, based on the completion of on-site sample collection and index analysis and determination, the statistical parameters of soil fertility indexes were studied, and then soil fertility of different soil types in the Mitika Wetland National Nature Reserve was studied. The results demonstrated that the comprehensive soil fertility coefficient (F) in the study area followed the order of alpine meadow soils (1.72) > alpine shrub meadow soils (1.66) = frigid desert soils (1.66) > bog soils (1.56) > skeletal soils (1.43). Except the alpine meadow soil belonged to fertile grade, the other four types soil belonged to the general grade. The non-parametric test results of multiple independent samples indicated that soil bulk density, organic matter content, cation exchange capacity, TOC, soil moisture and soil salinity in the study had a certain correlation with soil type, however, pH, content of available potassium, available phosphorus and ammonia nitrogen were unrelated to soil type. Overall, the soil fertility of Mitika Wetland located in northern Tibet with high cold and high altitude was comparable to that of cultivated land and artificial afforestation areas in the other regions of Tibet.

Keywords: Mitika Wetland; soil fertility; spatial distribution; Nemerow synthesis index method

土壤是地球陆地表面具有一定肥力的、能够生长植物的疏松表层,其在形成过程中不仅受到母质、生物、气候、时间和地形等自然因素^[1]的影响,也有利用方式、耕作制度等人为因素的共同作用^[2-3],且这些因素在空间上影响程度各异。因此,空间变异性是土壤的自然属性,同时也是土壤形成过程中被赋予的基本属性之

一^[4]。对土壤肥力现状进行调查研究是对土壤质量进行综合评价的重要组成部分之一,也是土壤资源合理利用与改良的重要依据。

青藏高原是地球上最年轻的高原,相较地球上的其他区域,有关青藏高原,特别是其腹地西藏自治区境内土壤肥力的研究很少。已有研究^[5]结果表明,西藏五大

收稿日期:2022-03-07

资助项目:国家自然科学基金项目(22066022);科技部科技基础性工作专项((2015FY111000));中央支持地方高校改革发展资金项目[藏财科教指(2021)1号]

第一作者:度泊楠(1997—),女,硕士研究生,主要从事土壤质量研究。E-mail:735883787@qq.com

通信作者:黄香(1974—),女,博士,教授,主要从事高原流域环境化学研究。E-mail:xiang.huang@utibet.edu.cn

主要地市(林芝、昌都、山南、拉萨、日喀则)耕地土壤的综合肥力系数为 0.93~2.41,为一般等级到肥沃等级,在空间分布上从东南—中部河谷—西北土壤肥力系数降低,并且表现出与海拔和降雨量等有较显著的正相关;而对西藏六大地市(林芝、昌都、山南、拉萨、日喀则、阿里)人工造林作业区的土壤综合肥力的研究^[6]结果表明,六大地市人工造林作业区的综合土壤肥力系数为 0.425~1.972,其中处在肥沃等级的占比为 0.2%,一般等级的占比为 64.9%,贫瘠等级的占比为 34.9%;大部分属于一般等级。已有的关于西藏自治区土壤肥力研究的区域大部分为人工作业区,而西藏自治区更多的土地为天然区域,据统计^[7],西藏自治区 70%的土地面积为天然草场,但目前仍缺少对区内面积占比较大的天然草场土壤肥力的评价。

那曲作为西藏的主要牧区之一,拥有草地面积约 42.1 万 km²,占全区土地总面积的 94.4%^[8],而位于高寒高海拔的那曲市嘉黎县境内的麦地卡湿地国家级自然保护区就是一个重要的天然草场。土壤肥力对于天然草场的生产力是至关重要的,本文首次通过对麦地卡湿地国家级自然保护区的土壤 pH、盐度、容重、水分含量、有机质、TOC、氨氮、有效磷、速效钾、阳离子交换量等 10 个肥力指标的分析测定对该湿地土壤肥力进行了调查研究,旨在对该区域的土壤生产力现状有一个科学且客观的认识。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

麦地卡湿地国家级自然保护区位于西藏自治区中部偏北的那曲市嘉黎县北部麦地卡乡(30°48′11.64″—31°17′57.35″N,92°39′52.9″—93°21′10.22″E),地处念青唐古拉山中段北麓,总面积 895.41 km²,平均海拔 4 900 m。在地质构造上,位于藏北构造区班公错—东巧—怒江断裂带南部,冈底斯—念青唐古拉褶皱东段;其地貌属高原湖盆地平原,多湖盆、谷地、山地^[9]。气候上,宛如青藏高原东南地面巨大裂口的雅鲁藏布江下游河谷构成了印度洋暖气流伸入高原内部的主要通道,而沿布拉马普特拉河—雅鲁藏布江大峡谷“水汽通道运动”的较强水汽可以攀越高峰,到达念青唐古拉山北坡的嘉黎县。因此,由于该水汽通道的存在,来自印度洋的暖湿气流影响着麦地卡湿地,使其降水量与气温均高于同纬度的藏北其他地区^[10]。

麦地卡湿地是藏北地区典型的高原湖泊沼泽草甸湿地,是西藏境内首个于 2004 年 12 月被国际湿地公约组织列入《国际重要湿地名录》的湿地。2016 年 5 月,经国务院审定,麦地卡湿地又被列为国家级自然保护区。该湿地是西藏集国际重要湿地和国家级自然保护区为

一体的重要湿地^[11]。保护区内土壤类型多样,主要包括高山草甸土、高山灌丛草甸土、沼泽土、寒漠土以及粗骨土。湿地流域属雅鲁藏布江水系,区内的主要河流麦地藏布及其支流是雅鲁藏布江最大的支流—拉萨河的源头,对削洪补枯、调蓄拉萨河的水量、净化其水质、保护拉萨河的水生态安全有着极其重要的意义^[12]。

1.2 土壤样品的采集与分析

为了对麦地卡湿地自然保护区内的土壤肥力进行系统研究,根据《土壤环境监测技术规范 HJ/T 166—2004》^[13]《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)GB 15618—2018》^[14]结合研究区的土壤类型(即沼泽土、高山草甸土、高山灌丛草甸土、寒漠土、粗骨土)情况以及现场情况进行采样点的确定,本研究在保护区内布设采样点共计 43 个(图 1)。于 2020 年 9 月采集到表层土壤样品共计 43 份,包括 14 份沼泽土样品、20 份高山草甸土样品、3 份高山灌丛草甸土样品、3 份粗骨土样品和 3 份寒漠土样品。由于土壤中的有机质、氮、磷、钾营养元素等主要集中在表层土壤中,且植物的根系主要生长于表层土壤^[4]。且已有研究^[15]发现,在高寒冻土区由于多年冻土季节反复冻融,导致了高寒草甸根系分布浅层化,主要集中于表层土壤中,因此本研究在进行样品采集时主要采集对象为 0—20 cm 的表层土壤,采集时采用对角线法多点采样并等量混合,得到该点的土壤样品。

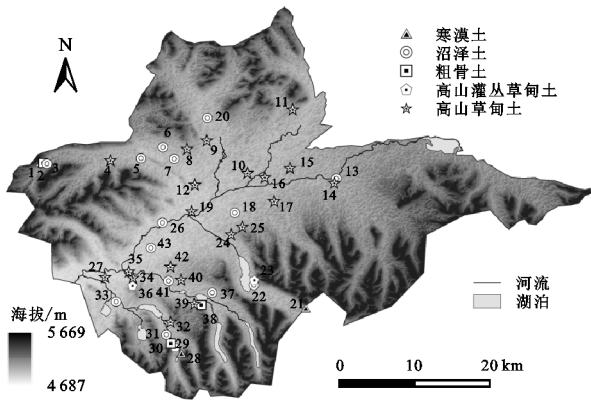


图 1 麦地卡湿地国家级自然保护区表层土壤采样点分布

样品采集的同时,在现场采用便携式 pH 计(哈纳 HI 98168,精度:±0.01)和便携式盐度仪(赛亚斯 SYS,精度:±0.2%)分别测定土壤 pH 和盐度。土壤容重的分析测定采用环刀法^[16]。土壤水分测定的样品用铝盒采集后,根据《土壤 干物质和水分的测定 重量法 HJ 613—2011》^[17]进行分析测定。用于测定氨氮的样品现场保存于(−20 ℃)冷链箱中并于 14 天内实验室根据《土壤 氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定 氯化钾溶液提取—分光光度法 HJ 634—2012》^[18]完成分析测定。用于有效磷、速效钾、有机质、TOC、阳离子交换量等参数的样品则于实验室自然风干,剔除石块、植物残体后经玛瑙研钵粉碎研磨,

过 0.149 mm 土壤筛备用。其中,有效磷根据《土壤检测 第 7 部分:土壤有效磷的测定 NY/T 1121.7—2014》^[19] 进行分析测定,速效钾根据《土壤速效钾和缓效钾含量的测定 NY/T 889—2004》^[20] 进行分析测定,有机质根据《森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算 LY/T 1237—1999》^[21] 进行分析测定,TOC 根据《土壤 有机碳的测定 重铬酸钾氧化—分光光度法 HJ 615—2011》^[22] 进行分析测定,阳离子交换量根据《土壤 阳离子交换量的测定 三氯化六氨合钴浸提—分光光度法 HJ 889-2017》^[23] 进行分析测定。

1.3 土壤肥力评价方法

内梅罗指数是一种兼顾极值或突出最大值的计权型多因子环境质量指数^[24-25]。根据“木桶理论”,土壤整体肥力取决于含量最缺的养分指标,即指标最小值对土壤肥力的限制性,当某属性测定值超过好的标准(即 $C_i > X_c$) 时,肥力系数也不再提高,反映植物生长对某属性的要求并不是越高越好,这与生产实践相符^[26]。结合内梅罗指数兼顾极值、避免权系数主观影响等特点^[27-30],本研究采用改进的内梅罗综合指数法^[30-31] 对麦地卡湿地土壤肥力现状进行评价。在进行内梅罗综合评价前,需要根据相应分级标准对所选择的参评指标进行标准化以消除各肥力属性之间的量纲差别。本研究参照第二次土壤普查中的土壤各属性分级标准^[30-31] (表 1) 对所选参评指标进行标准化。

表 1 土壤各属性分级标准

土壤属性	X_a	X_b	X_c
有机质/(g · kg ⁻¹)	10	20	30
有效磷/(mg · kg ⁻¹)	5	10	20
速效钾/(mg · kg ⁻¹)	50	100	200
容重/(g · cm ⁻³)	1.45	1.35	1.25
阳离子交换量/(cmol(+) · kg ⁻¹)	5	10	15
pH(≤7.0)	4.5	5.5	6.5
pH(>7.0)	9.0	8.0	7.0

注: X_a 、 X_b 、 X_c 为属性的分级标准。

由于第二次土壤普查中的土壤各属性分级标准仅涉及土壤有机质、有效磷、速效钾、容重和 pH 的相关标准(表 1),因此本研究根据表 1 所列各分级标准(X_a 、 X_b 、 X_c) 对本研究参评相关肥力指标的标准化具体处理方法^[30] 为:

当属性值属于差一级时,即 $C_i \leq X_a$:

$$F_i = \frac{C_i}{X_a} (F_i \leq 1)$$

当属性值属于中等一级时,即 $X_a < C_i \leq X_b$:

$$F_i = 1 + \frac{C_i - X_a}{X_b - X_a} (1 < F_i \leq 2)$$

当属性值属于较好一级时,即 $X_b < C_i \leq X_c$:

$$F_i = 2 + \frac{C_i - X_b}{X_c - X_b} (2 < F_i \leq 3)$$

当属性值属于好一级时,即 $C_i > X_c$:

$$F_i = 3$$

式中: F_i 为分肥力系数; C_i 为属性测定值。

此外,由于土壤容重在 1.14~1.26 g/cm³ 范围内比较有利于幼苗的出土和根系的正常生长,大于或小于此范围在标准化后其分肥力系数应该较小^[32]。因此对容重的标准化进行特殊处理。标准化方法^[31] 为:

当容重(C_i) ≥ 1.45 g/cm³ :

$$F_i = \frac{1.45}{C_i} (F_i \leq 1)$$

当 1.35 g/cm³ ≤ C_i < 1.45 g/cm³ :

$$F_i = 1 + \frac{C_i - 1.45}{1.35 - 1.45} (1 < F_i \leq 2)$$

当 1.25 g/cm³ ≤ C_i < 1.35 g/cm³ :

$$F_i = 2 + \frac{C_i - 1.35}{1.25 - 1.35} (2 < F_i \leq 3)$$

当 1.14 g/cm³ ≤ C_i < 1.25 g/cm³ :

$$F_i = 3$$

通过上述标准化方法将本研究各指标进行标准化后,得到的各分肥力系数便于进一步地对比和计算。最后采用修正的内梅罗计算公式进行综合肥力的计算:

$$F = \sqrt{\frac{\overline{F_i}^2 + F_{i\min}^2}{2}} * (\frac{n-1}{n})$$

式中: F 为土壤综合肥力系数; $\overline{F_i}$ 为土壤各属性分肥力系数的平均值; $F_{i\min}$ 为土壤各属性分肥力系数的最小值; n 为参与评价的土壤属性个数。

根据 F 值对土壤肥力进行分等级评价的分级标准见表 2。采用 F_i 最小值代替原内梅罗公式中的 F_i 最大是为了突出土壤肥力的限制性因子^[32]。式中用 F_i 最小代替了原内梅罗综合指数法中 F_i 最大突出了土壤中最差属性对土壤肥力的影响,能够反映植物生长的最小因子律;另外增加修正项 $(n-1)/n$ 提高了评价的可信度,即参与评价的土壤属性越多 $(n-1)/n$ 值越大,可信度越高同时使评价参数不相等时的评价结果具有可比性^[27,30]。

表 2 土壤肥力分级标准

土壤肥力	土壤肥力分级标准(F)
很肥沃	≥2.5*
肥沃	1.7~2.5
一般	0.8~1.7
贫瘠	<0.8

注:* 表示当参评参数为 6 项,各项分肥力指数都为 3 时,根据修正的内梅罗计算公式进行计算,得到 $F \geq 2.5$,其他级别以此类推。

1.4 数据处理

本研究采用 SPSS 25.0 中的 Shapiro—Wilk test 法(S—W 法)对各理化指标分布类型进行检验,判断其是否符合正态分布(显著性 >0.05 ,符合正态分布;显著性 <0.05 ,不符合正态分布)。用多独立样本的非参数检验对研究区内不同土壤类型是否对理化性质的差异性造成影响进行分析(显著性 >0.05 ,无显著差异;显著性 <0.05 ,有显著差异)。应用 ArcGIS 10.6 对麦地卡湿地国家级自然保护区土壤肥力各指标空间分布图的绘制。其中,对于数据服从正态分布的指标,本研究采用克里金插值,对于不服从正态分布的数据,采用反距离权重插值法^[33]。采用 Excel 2010 软件对各属性值的标准化以及综合肥力进行计算。

2 结果与分析

2.1 研究区土壤肥力参数分析

麦地卡湿地国家级自然保护区各土壤理化性质和肥力指标的统计学参数见表 3 和表 4。研究区表层土壤 pH 分析结果表明,区内不同类型表层土壤 pH 相差不大,为 4.64~6.71,整体偏酸性;与那曲其他地区草地土壤相比,pH 从高到低顺序为班戈、安多所在的西部地区(8.14)^[8] $>$ 那曲、巴青、比如以及索县所在的东部地区(7.54) $>$ 麦地卡湿地国家级自然保护区(5.83)。而土壤有机质含量从高到低顺序为麦地卡湿地国家级自然保护区(151.1 mg/kg) $>$ 那曲、巴青、比如以及索县所在的东部地区(91.6 mg/kg) $>$ 班戈、安多所在的西部地区(43.7 mg/kg)。从上述结果可以看出,那曲地区草地土壤有机质含量有随土壤 pH 的升高而降低的趋势,这一结论与戴万宏等^[34]的研究结果一致。

土壤容重可以反映土壤的孔隙状况、松紧程度和土壤肥力等状况,是土壤物理性质的一项重要指标;疏松多孔、富含有机质的土壤容重低,而坚实致密、有机质含量少的土壤容重较高^[35]。因此,容重直接影响着土壤疏松度和通气性,并对植物根系生长和生物量的积累有影响,进而影响土壤的渗透性和保水能力^[26, 35]。已有研究^[36]发现,适合植物根系生长的容重范围一般为 1.10~1.40 g/cm³,大于 1.60 g/cm³时,已达到植物根系穿插的临界值,非常不利于植物的生长发育。麦地卡湿地国家级自然保护区内土壤容重研究结果显示,研究区内高山灌丛草甸土和高山草甸土的容重在比较适合植物根系生长的范围内,而粗骨土和寒漠土的容重平均值均偏大,且有机质含量较其他几种土类低,此时土壤的蓄水和通透性较差,不仅不利于植物根系的生长,也不利于土壤水分的储存,导致土壤水分含量低于其他几种类型土壤,尤其是沼泽土。

研究区土壤主要养分研究结果表明,根据全国第

二次土壤普查中养分的分级指标^[37]对研究区各养分含量等级进行划分,区内 5 种类型土壤有机质含量均处于一级水平(>40 mg/kg),总体上土壤有机质含量水平较高,这与青藏高原范围内气候条件有关,由于低温寒冷,土壤中有有机质的分解的速度也极缓慢,因此高原内自然植被下土壤有机质的累积贮量高^[4]。研究区内有机质含量最高的为沼泽土,其均值是其余 4 种土类有机质含量均值的 3~4 倍,远大于其余 4 种土类,造成这一结果的原因主要是沼泽土发育于低温、水分含量高的环境,在这样的条件下,有机质的分解速度尤为缓慢,导致沼泽土中有机质大量积累,远高于研究区的其余土类^[38];研究区 5 种土壤类型的速效钾含量水平分级中,除了寒漠土处于 4 级水平(50~100 g/kg)外,其余 4 种类型土壤均处于 3 级水平(100~150 g/kg),与班戈、安多所在的那曲西部地区(148.99 g/kg,3 级)含量相当,但低于那曲、巴青、比如以及索县所在的东部地区(182.02 g/kg,2 级),说明研究区土壤中速效钾的供应较为充足;研究区有效磷含量水平的分级中,除了寒漠土处于 3 级水平(10~20 g/kg)外,其余 4 种类型土壤均处于 4 级水平(5~10 g/kg),较班戈、安多所在的那曲西部地区(3.50 g/kg,5 级)以及那曲、巴青、比如以及索县所在的东部地区(3.56 g/kg,5 级)有效磷含量水平高,说明研究区土壤有效磷虽处于比较缺乏的状态,但相比于那曲的其他地区较为充足。从上述养分含量水平来看,虽然麦地卡湿地国家级自然保护区处于高寒高海拔的那曲地区,但其土壤的养分含量水平较同纬度的其他那曲地区高,这可能是由于雅鲁藏布江大峡谷的“水期通道效应”,使该区域能较多地沐浴来自印度洋的暖湿气流,降水量与气温高于同纬度的其他藏北地区的原因^[12,39-40]。

变异系数在一定程度上反映着样本的变异程度,在土壤科学中,变异系数(CV)在 0~15% 范围内为弱变异,在 16%~35% 范围内为中等强度变异, $>36\%$ 为强变异^[41]。土壤各肥力参数的变异系数显示,研究区土壤 pH 为弱变异,土壤容重和阳离子交换量为中等强度变异,而有效磷、速效钾、氨氮、有机质、TOC、盐度、土壤水分以及电导率都属于强变异。研究区大部分的土壤肥力参数都属于强变异,表明这些参数的含量在研究区内具有较大的空间离散特征,为了探究这些肥力参数的较大空间离散性是否与土壤类型有关,本研究进行了多独立样本的非参数检验。结果(表 5)表明,pH 的分布与土壤类型没有相关性,并且由于该项指标为弱变异,因此可以得出研究区内 pH 的分布是比较均匀的;土壤容重、有机质、阳离子交换量、TOC、土壤水分以及土壤盐度的含量分布与土壤类型表现出一定的相关性,因此这几项指标的变异程度主要是由于不同的土壤类型造成

的;而速效钾、有效磷以及氨氮与土壤类型虽然没有

变异等级,说明在研究区内这几项参数含量的主要影

表现出相关性,但这几项参数在研究区内都是属于强

响因素不是土壤类型。

表 3 麦地卡湿地不同土壤类型理化性质统计学参数

指标	土壤类型	平均值	最大值	最小值	标准差 S_D	变异系数 $CV/\%$
容重/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总体	1.20	1.67	0.79	0.26	21.25
	高山草甸土	1.31	1.67	0.82	0.23	17.27
	高山灌丛草甸土	1.22	1.40	1.12	0.13	10.40
	沼泽土	0.96	1.32	0.79	0.14	14.33
	粗骨土	1.41	1.65	1.06	0.26	18.24
	寒漠土	1.39	1.48	1.31	0.07	4.96
	总体	5.83	6.71	4.64	0.58	10.02
	高山草甸土	5.83	6.57	4.66	0.52	8.99
pH	高山灌丛草甸土	5.55	5.85	5.07	0.34	6.18
	沼泽土	5.98	6.71	4.78	0.57	9.61
	粗骨土	5.88	6.48	4.81	0.76	12.87
	寒漠土	5.43	6.35	4.64	0.70	12.95
	总体	14.84	46.29	3.17	10.54	71.06
阳离子交换量/($\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$)	高山草甸土	8.87	17.65	3.17	4.37	49.29
	高山草甸土	15.00	21.00	8.50	3.16	21.09
	高山灌丛草甸土	19.50	25.90	14.50	4.76	24.40
	沼泽土	21.79	28.20	16.30	4.03	18.49
	粗骨土	12.23	14.60	10.40	1.76	14.35
	寒漠土	21.30	26.30	18.50	3.54	16.64
	总体	0.04	0.14	0	0.03	70.94
	高山草甸土	0.03	0.08	0.01	0.02	60.26
土壤盐度/($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	高山灌丛草甸土	0.03	0.06	0.01	0.02	61.64
	沼泽土	0.08	0.14	0.03	0.03	37.92
	粗骨土	0.02	0.04	0.01	0.01	70.71
	寒漠土	0.02	0.03	0	0.01	70.71
	总体	74.71	289.04	8.69	68.15	91.22
土壤水分/ $\%$	高山草甸土	40.00	100.07	12.58	20.21	50.53
	高山灌丛草甸土	44.73	63.67	26.43	15.21	34.01
	沼泽土	156.43	289.04	48.66	59.02	37.73
	粗骨土	16.01	23.56	11.61	5.36	33.49
	寒漠土	13.43	20.85	8.69	5.32	39.59
	总体	0.07	0.23	0	0.05	71.17
	高山草甸土	0.05	0.08	0.02	0.02	41.77
电导率/($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	高山灌丛草甸土	0.04	0.05	0.04	0	10.88
	沼泽土	0.12	0.23	0.06	0.05	38.05
	粗骨土	0.02	0.03	0.01	0.01	40.41
	寒漠土	0.02	0.03	0	0.01	70.71

S—W 法检验的结果显示,阳离子交换量、氨氮以及 pH 显著性均 >0.05 ,即符合正态分布;其余指标显著性均 <0.05 ,即不符合正态分布。因此在进行插值时,阳离子交换量、氨氮以及 pH 采用克里金插值法,而其余指标采用反距离权重法进行插值,结果见图 2。

上述结论中受土壤类型影响含量的参数在研究区内的含量分布(图 2)中能更直观地被体现。研究区土壤容重的分布上表现为高山草甸土、寒漠土以及粗骨土较高,而沼泽土较低;阳离子交换量的分布规律与容重相反,为沼泽土较高,高山草甸土较低;而有

机质、TOC、土壤水分以及土壤盐度均为沼泽土含量较高,其余土类含量较低。

土壤的肥力状况是影响天然草场生产力最重要的因素之一^[42]。西藏麦地卡湿地国家级自然保护区土壤肥力研究表明,单项肥力指标中的土壤容重、有机质、阳离子交换量、TOC、土壤水分以及土壤盐度的含量分布与土壤类型有关;而速效钾、有效磷以及氨氮的含量不受土壤类型的影响。这一分布规律与各类型土壤的发育环境、水热条件等因素的差异以及土壤中各肥力参数含量的影响因素不同有一定关系。沼泽土属于水成土,

其形成条件为地面积水或土层中长期处于水分饱和状态且有湿生植物生长,沼泽土的形成环境一般不受气候条件限制,但湿冷的气候条件更利于沼泽土的发

育^[4,43]。因此,在高寒高海拔的麦地卡湿地中常年滞水的低洼地带和临湖临河区域均发育有沼泽土,该土类也是麦地卡湿地主要的土壤类型之一。

表 4 麦地卡湿地不同土壤类型肥力指标统计学参数

指标	土壤类型	平均值	最大值	最小值	标准差 S_D	变异系数 $CV/\%$
有效磷/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总体	8.24	49.70	3.80	7.60	92.22
	高山草甸土	6.05	15.00	3.80	2.34	38.68
	高山灌丛草甸土	5.93	6.60	5.10	0.62	10.51
	沼泽土	9.44	49.70	4.30	11.40	120.78
	粗骨土	8.67	11.30	5.30	2.50	28.89
	寒漠土	19.13	24.40	15.60	3.80	19.84
速效钾/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总体	122.77	334.00	54.00	50.11	40.82
	高山草甸土	110.15	334.00	54.00	55.52	50.41
	高山灌丛草甸土	123.00	139.00	113.00	11.43	9.29
	沼泽土	145.50	222.00	88.00	41.42	28.47
	粗骨土	125.67	167.00	62.00	45.68	36.35
	寒漠土	97.67	142.00	62.00	33.23	34.02
氨氮/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总体	3.41	9.00	0.06	2.35	69.04
	高山草甸土	3.36	8.16	0.54	2.18	64.99
	高山灌丛草甸土	2.63	4.66	0.93	1.54	58.68
	沼泽土	4.20	8.03	0.71	1.88	44.87
	粗骨土	3.05	9.00	0.06	4.21	138.17
	寒漠土	1.18	3.29	0.06	1.50	127.07
有机质/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总体	151.10	626.00	31.00	129.50	85.65
	高山草甸土	82.10	152.00	31.00	36.10	43.98
	高山灌丛草甸土	94.30	145.00	57.70	37.00	39.27
	沼泽土	293.00	626.00	86.50	137.10	46.78
	粗骨土	71.70	142.00	32.30	49.80	69.44
	寒漠土	85.40	114.00	69.40	20.30	23.74
TOC/ $\%$	高山灌丛草甸土	11.88	17.87	6.35	4.71	39.69
	沼泽土	26.50	46.29	9.74	9.80	36.99
	粗骨土	7.68	15.78	3.60	5.72	74.49
	寒漠土	10.27	14.51	7.69	3.02	29.41
	总体	17.77	28.20	8.50	4.96	27.94

表 5 多独立样本的非参数检验结果

指标	容重	pH	有机质	速效钾	有效磷	氨氮	水分	盐度	TOC	阳离子交换量
渐近显著性	0.001	0.504	0	0.055	0.055	0.164	0	0	0	0

沼泽土表层主要组成成分为植物残体,土体孔隙大且大部分体积被水分填满^[4,44],因此沼泽土的容重小且水分含量高;由于沼泽土长期处于嫌气还原状态,形成大量有机质积累,同时由于低温寒冷,土壤中有机质分解速度缓慢^[4,45],因此沼泽土的有机质含量也高。除沼泽土外,高山草甸土也是麦地卡湿地的主要土壤类型,该土类发育在低温半湿润的高原地区,由于气候寒冷,土壤中微生物活动弱,有机质的合成量大于分解量,因此导致该土类中有机质大量累积^[46]。但由于高山草甸土中水分含量远低于沼泽土,土壤中通气性较好,有机质分解速率较沼泽土快,因此其有机质含量低于沼泽土。而粗骨土和寒漠土发育于干旱寒冷的环境,以物理风化为主,发育程度

不高,且由于风蚀作用的影响,土体富含砾石,颗粒较粗^[4, 47],因此这 2 种土壤保水持水性较差,水分含量低;同时由于这 2 类土壤表面植被覆盖率不高,向土壤提供的有机残体有限^[4],因此有机质含量较沼泽土和高山草甸土低。

土壤中有效磷、速效钾等可供植物吸收利用的营养元素含量并不是某一种因素影响的结果,往往是多重因素的共同作用。已有研究^[48]发现,速效钾受地质地貌等自然因素以及人为土地利用方式的影响较大,这些因素相互影响且各有差异。在麦地卡湿地自然保护区这样一个较小的地质单元内受到的地质地貌等自然因素的影响差异性不大,因此这些营养元素的含量没有表现出与土壤类型的相关性。

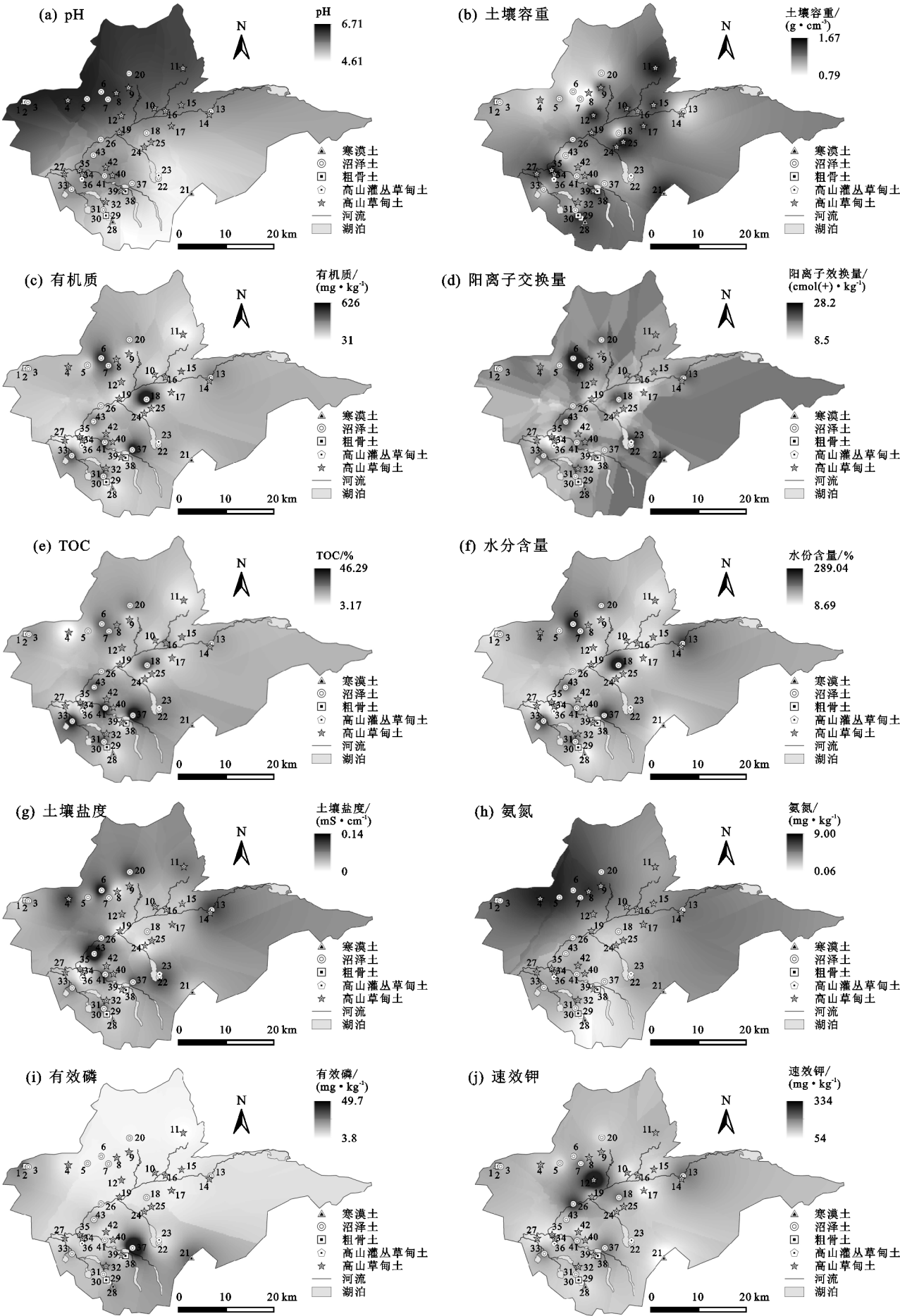


图 2 麦地卡湿地国家级自然保护区土壤各肥力参数空间差异分布

2.2 研究区土壤的综合肥力指数

在上述肥力指标的研究中,仅得到了单项肥力指标的分布特征,不能全面综合地对麦地卡湿地土壤肥力做出评价。因此,采用改进的内梅罗综合指数法对麦地卡湿地国家级自然保护区土壤肥力质量进行综合评价,结果见表 6。

改进的内梅罗综合指数法计算结果表明,麦地卡湿地国家级自然保护区土壤综合肥力系数(F)大小顺序为高山草甸土(1.72)>高山灌丛草甸土(1.66)=寒漠土(1.66)>沼泽土(1.56)>粗骨土(1.43)。除了高山草

甸土肥力等级属于肥沃以外,其余 4 种土壤均属于一般等级。由于缺少西藏其他地区天然牧场的土壤综合肥力研究数据,因此本研究将与少量西藏其他地区已有的土壤肥力评价研究结果进行比较。研究区土壤综合肥力评价结果与席永士等^[5]在西藏 5 地耕地土壤肥力研究中拉萨和日喀则 2 地的耕地土壤肥力等级相当,也与罗红等^[6]在西藏人工造林作业区土壤肥力研究中昌都和林芝 2 地的人工造林作业区土壤肥力等级相当。说明麦地卡湿地国家级自然保护区虽处于高寒高海拔的那曲地区,但其土壤综合肥力不低于西藏的其他地区。

表 6 麦地卡湿地国家级自然保护区土壤综合肥力

土壤类型	分肥力系数(F_i)						综合肥力(F)	肥力等级
	有机质	有效磷	速效钾	容重	阳离子交换量	pH		
高山草甸土	3	1.36	2.10	2.61	3.00	2.36	1.72	肥沃
高山灌丛草甸土	3	1.13	2.15	3.00	3.00	2.00	1.66	一般
沼泽土	3	1.89	2.40	0.92	3.00	2.39	1.56	一般
粗骨土	3	1.73	2.26	0.76	2.45	2.38	1.43	一般
寒漠土	3	2.91	1.95	1.23	3.00	1.93	1.66	一般

各类土壤的有机质含量值都是高于分级指标中最高一级的,但该项指标的分肥力并没有随着含量值的增加而继续增加,这也说明在肥力评价中,指标值不是越高越好,而是存在 1 个阈值。本研究中,就高山灌丛草甸土而言,影响该类土壤肥力综合指数最大的肥力指标是有效磷;对于寒漠土而言,影响其土壤综合肥力最大的肥力指标为速效钾;而对于沼泽土和粗骨土而言,影响这 2 种土壤综合肥力最大的肥力指标是容重。

3 结论

(1)麦地卡湿地国家级自然保护区土壤各肥力参数分析的结果显示:研究区土壤 pH 较那曲其他地区草地土壤 pH 低;研究区内高山灌丛草甸土和高山草甸土的容重在比较适合植物根系生长的范围内,而粗骨土和寒漠土的容重平均值均偏大,不利于植物根系的生长;研究区 5 种类型土壤有机质含量均处于一级水平,总体上麦地卡湿地国家级自然保护区的土壤有机质含量水平较高;速效钾除了寒漠土处于 4 级水平外,其余 4 种类型土壤均处于 3 级水平;而有效磷除了寒漠土处于 3 级水平外,其余 4 种类型土壤均处于 4 级水平,说明研究区土壤有效磷处于比较缺乏的状况。

(2)多独立样本的非参数检验结果以及各肥力参数含量的分布显示,研究区土壤容重、有机质、阳离子交换量、TOC、土壤水分以及土壤盐度的含量分布与土壤类型有一定相关性,且表现为土壤有机质、TOC、土壤水分以及土壤盐度有着相似的分布规律,即沼泽土含量较高,其余土类含量较低;而容重和阳离子交换量则有着相反的分布规律,即土壤容重的分

布上表现为高山草甸土、寒漠土以及粗骨土较高,而沼泽土较低;阳离子交换量的分布表现为沼泽土较高,而高山草甸土较低。

(3)麦地卡湿地国家级自然保护区土壤综合肥力评价结果表明,土壤综合肥力系数(F)大小顺序为高山草甸土>高山灌丛草甸土=寒漠土>沼泽土>粗骨土。其中,除了高山草甸土肥力等级属于肥沃以外,其余 4 种土壤均属于一般等级。尽管麦地卡湿地国家级自然保护区地处高寒高海拔的藏北区域,但其土壤肥力可与西藏其他较低海拔区域的耕地和人工造林作业区土壤肥力相当。

参考文献:

[1] Zuku M, Khosla M, Reich R. Spatial variability of measured soil properties across site-specific management zones [J]. Soil Science Society of America Journal, 2005(69):1572-1579.

[2] 张玲娥. 30 年间河北省曲周县土壤速效钾的时空变异特征及其影响因素[J]. 中国农业科学, 2014, 47(5):923-933.

[3] 冯万忠, 段文标, 许峰. 不同土地利用方式对城市土壤理化性质及其肥力的影响: 以保定市为例[J]. 河北农业大学学报, 2008, 31(2):61-64.

[4] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[5] 席永士, 胡俊. 西藏五地(市)耕地土壤肥力比较分析[J]. 西藏农业科技, 2016, 38(1):12-15.

[6] 罗红, 普布顿珠, 朱雪林, 等. 西藏人工造林作业区土壤肥力评价[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5):1507-1514.

[7] 张开栋. 那曲地区放牧绒山羊采食习性、采食量和消化率研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.

[8] 万运帆, 高清竹, 林而达, 等. 西藏那曲地区草地植被及土壤养分状况调查[J]. 草业科学, 2006, 23(5):7-11.

- [9] 李妍妍.基于遥感技术的麦地卡湿地植被净初级生产力研究[D].济南:山东建筑大学,2018.
- [10] 张天义,邢永强,张璋,等.浅析喜马拉雅造山作用与雅鲁藏布水汽通道效应[C]//段子清.河南地质科学通报 2008 卷(上册).北京:中国大地出版社,2008:16-22.
- [11] 黄香,米加,仁珍,等.西藏麦地卡湿地表层沉积物元素分布特征及其污染风险评价[J].环境生态学,2020,2(11):1-6.
- [12] 王恒颖.西藏麦地卡自然保护区湿地生态系统经济价值评估[J].林业建设,2014(4):26-29.
- [13] 国家环境保护总局.HJ/T 166—2004 土壤环境监测技术规范[S].北京:中国环境科学出版社,2004.
- [14] 生态环境部,国家市场监督管理总局.GB 15618—2018 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准[S].北京:中国环境出版集团,2018.
- [15] 岳广阳,赵林,王志伟.多年冻土区高寒草甸根系分布与活动层温度变化特征的关系[J].冰川冻土,2015,37(5):1381-1387.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [17] 环境保护部.HJ 613—2011 土壤干物质和水分的测定重量法[S].北京:中国环境科学出版社,2011.
- [18] 中华人民共和国环境保护部.土壤氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定氯化钾溶液提取一分光光度法 HJ 634—2012[S].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [19] 农业部种植业管理司.土壤检测 第 7 部分:土壤有效磷的测定:NY/T 1121.7—2014[S].北京:中国农业出版社,2014.
- [20] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准:土壤速效钾和缓效钾含量的测定:NY/T 889—2004[S].北京:中国农业出版社,2005.
- [21] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室.LY/T 1237—1999 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [22] 中华人民共和国环境保护部.土壤有机碳的测定重铬酸钾氧化一分光光度法 HJ 615—2011[S].北京:中国环境科学出版社,2011.
- [23] 生态环境部.土壤 阳离子交换量的测定 三氯化六氨合钴浸提一分光光度法 HJ 889—2017[S].北京:中国环境出版集团,2017.
- [24] 孙华.基于改进内梅罗指数法的棕(褐)地周边土壤重金属污染评价[J].环境保护科学,2018,44(2):98-102.
- [25] 范拴喜,甘卓亭,李美娟,等.土壤重金属污染评价方法进展[J].中国农学通报,2010,26(17):310-315.
- [26] 田绪庆,陈为峰,申宏伟.日照市城区绿地土壤肥力质量评价[J].水土保持研究,2015,22(6):138-143.
- [27] 邓南荣,吴志峰,刘平,等.城市园林绿化用地土壤肥力诊断与综合评价:以广州市长虹苗圃为例[J].土壤与环境,2000,9(4):287-289.
- [28] 冯嘉仪,储双双,王婧,等.华南地区 5 种典型林分类型土壤肥力综合评价[J].华南农业大学学报,2018,39(3):73-81.
- [29] 耿庆龙,李娜,赖宁,等.基于修正内梅罗指数法的果园土壤肥力评价[J].新疆农业科学,2019,56(11):2104-2111.
- [30] 阎文杰,吴启堂.一个定量综合评价土壤肥力的方法初探[J].土壤通报,1994,25(6):245-247.
- [31] 周伟,王文杰,张波,等.长春城市森林绿地土壤肥力评价[J].生态学报,2017,37(4):1211-1220.
- [32] 单奇华,俞元春,张建锋,等.城市森林土壤肥力质量综合评价[J].水土保持通报,2009,29(4):186-190.
- [33] 李锋,刘思源,李艳,等.工业发达城市土壤重金属时空变异与源解析[J].环境科学,2019,40(2):934-944.
- [34] 戴万宏,黄耀,武丽,等.中国地带性土壤有机质含量与酸碱度的关系[J].土壤学报,2009,46(5):851-860.
- [35] 文璐,刘晶岚,习妍,等.北京地区重要古树土壤物理性状分析[J].水土保持研究,2011,18(5):175-178.
- [36] Jim C Y. Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth [J]. Urban Ecosystems, 1998,2(2):171-181.
- [37] 杨皓,胡继伟,黄先飞,等.喀斯特地区金刺梨种植基地土壤肥力研究[J].水土保持研究,2015,22(3):50-55.
- [38] 吴雅琼.青藏高原土壤有机碳密度垂直分布研究[J].环境科学学报,2008,28(2):362-367.
- [39] 王其洋.那曲地区降水分析[J].西藏科技,2006(4):52-54.
- [40] 达瓦泽仁,央美.那曲地区近五十年气温变化分析[J].西藏科技,2007(10):62-64.
- [41] 管孝艳.盐渍化灌区土壤盐分的时空变.特征及其与地下水埋深的关系[J].生态学报,2012,32(4):198-206.
- [42] 王钦,贾笃敬.高寒草甸土壤水和营养对草地生产的影响[J].中国草地,1990(3):6-13.
- [43] 刘立诚.塔里木盆地北部水成土壤及其合理利用[J].新疆大学学报,1985(4):101-109.
- [44] 张养祯.三江平原沼泽土壤的性质及利用[J].土壤通报,1980(4):3-6.
- [45] 蔡晓布,周进,钱成.不同退化程度高寒草原土壤微生物活性变化特征研究[J].土壤学报,2008,45(6):1110-1118.
- [46] 张晶.青海湖流域高山草甸土年代及其气候背景分析[D].西宁:青海师范大学,2019.
- [47] 董县中.南召县粗骨土土类的分类及改良措施[J].安徽农学通报,2021,27(2):122-123.
- [48] 胡江玲.新疆精河流域土壤质量空间分异规律分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(5):113-121.