

# 呼伦贝尔寸草苔草原群落特征及物种多样性与土壤理化性质的关系

崔盛超<sup>1</sup>, 图雅<sup>1</sup>, 萨拉<sup>2</sup>, 朱媛君<sup>3</sup>, 杨晓晖<sup>3</sup>, 张克斌<sup>1</sup>

(1.北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2.呼伦贝尔市林业和草原事业发展中心, 内蒙古 呼伦贝尔 021008; 3.中国林业科学研究院 荒漠化研究所/生态保护与修复研究所, 北京 100091)

**摘要:** [目的] 研究内蒙古呼伦贝尔寸草苔草原群落特征及物种多样性与土壤理化性质的关系, 为草原生态系统的保护和恢复提供科学参考。[方法] 对呼伦贝尔寸草苔草原 95 个典型样地进行群落调查, 研究呼伦贝尔寸草苔草原 4 种群落类型间群落特征及物种多样性与土壤理化性质之间的关系。[结果] ①群落特征中, 地上生物量、物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数在 4 种群落类型间以寸草苔—一二年生草类群落最高; 土壤理化性质中, 全氮和全磷均以寸草苔—根茎型草类群落最高。②寸草苔—丛生草类群落和寸草苔—杂类草群落中, 土壤有机碳、全氮、全磷与地上生物量、地下生物量呈显著正相关关系。③寸草苔—根茎型草类群落和寸草苔—一二年生草类群落中, 土壤有机碳、全氮、全磷与 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数呈显著负相关关系。[结论] 呼伦贝尔寸草苔草原群落特征在 4 种群落类型间存在不同程度差异, 土壤理化性质中土壤有机碳、全氮和全磷是影响群落特征和物种多样性差异的主要因子。

**关键词:** 呼伦贝尔; 寸草苔草原; 群落特征; 物种多样性; 土壤理化性质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)05-0027-08

中图分类号: Q948.113

**文献参数:** 崔盛超, 图雅, 萨拉, 等. 呼伦贝尔寸草苔草原群落特征及物种多样性与土壤理化性质的关系 [J]. 水土保持通报, 2023, 43(5): 27-34. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.05.004; Cui Shengchao, Tu Ya, Sa La, et al. Relationship between community characteristics and species diversity of *Carex duriuscula* and soil physiochemical properties in Hulunbuir steppe [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5): 27-34.

## Relationship Between Community Characteristics and Species Diversity of *Carex Duriuscula* and Soil Physiochemical Properties in Hulunbuir Steppe

Cui Shengchao<sup>1</sup>, Tu Ya<sup>1</sup>, Sa La<sup>2</sup>, Zhu Yuanjun<sup>3</sup>, Yang Xiaohui<sup>3</sup>, Zhang Kebin<sup>1</sup>

(1.School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2.Hulunbuir Forestry and Grassland Enterprise Development Center, Hulunbuir, Inner Mongolia 021008, China; 3.Institute of Desertification/Institute of Ecological Conservation and Restoration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** [Objective] The relationships between community characteristics, species diversity, and soil physical and chemical properties of *Carex duriuscula* in Hulunbuir steppe were analyzed in order to provide a scientific reference for the protection and restoration of grassland ecosystems. [Methods] Ninety-five sample plots typifying the Hulunbuir *C. duriuscula* steppe were studied. The relationships between community characteristics of four community types and species diversity and soil physical and chemical properties were studied. [Results] ① With regard to the community characteristics, aboveground biomass, species richness, and Shannon-Wiener index were significantly different among the four community types. The community of *C. duriuscula*-annual and biennial herbs was the highest. With regard to the soil physical and chemical

收稿日期: 2022-09-13

修回日期: 2023-02-02

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“基于联合物种分布模型的呼伦贝尔草地退化评价及未来潜在风险预测”(41971061); 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目“中国—阿根廷温带草原退化合作研究: 现状评价与恢复策略”(32061123005)

第一作者: 崔盛超(1994—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区锡林郭勒盟人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。Email: f15754889397@163.com.

通信作者: 杨晓晖(1968—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 研究员, 研究方向为草地恢复和荒漠生态学研究。Email: yangxh@caf.ac.cn.

properties, total nitrogen and total phosphorus were the highest in the community of *C. duriuscula*-rhizome herbs. ② Soil organic carbon, total nitrogen, and total phosphorus were significantly positively correlated with above-ground biomass and below-ground biomass in the *C. duriuscula*-clump herbs community and the *C. duriuscula*-forbs community. ③ Soil organic carbon, total nitrogen, and total phosphorus were significantly negatively correlated with the Shannon-Wiener index, Simpson index, and Pielou index in the *C. duriuscula*-rhizome herbs community and the *C. duriuscula*-annual and biennial herbs community. [Conclusion] There were differences in community characteristics among the four community types in the *C. duriuscula* steppe. Soil organic carbon, total nitrogen, and total phosphorus were the main factors affecting the differences in community characteristics and species diversity.

**Keywords:** Hulunbuir; *Carex duriuscula* steppe; community characteristics; species diversity; soil physiochemical properties

近年来,由于长期受全球气候变化和人为活动等因素的影响,天然草原出现大面积退化,不但严重影响当地人民的生产生活,并会进一步对草原生态系统稳定甚至是全国生态环境安全造成一定程度的影响,所以对草原生态环境的保护显得尤为重要<sup>[1-5]</sup>。鉴于此,为优化草原区域生态系统的结构配置和物种组成,分析土壤理化性质作用下寸草苔草原植物群落动态响应过程及差异,探究呼伦贝尔寸草苔草原群落特征及物种多样性现状,本文对寸草苔草原针对不同群落的群落特征、物种多样性及土壤理化性质进行测定和分析,将植物—土壤两个因子结合起来作为一个整体,深入研究其内在变化、制约规律,阐明寸草苔草原群落特征差异及土壤因子对群落特征和物种多样性的影响和不同群落间土壤驱动因子的影响差异。

草原是世界上分布最广的植被类型,同时也是陆地生态系统中重要的生态系统类型之一<sup>[6]</sup>。中国草原面积约为  $4.00 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>, 占国土面积的 40.7%, 其中, 呼伦贝尔天然草原面积为  $9.97 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>, 是世界四大草原之一, 同时也是中国北方保存相对完好的草原牧区<sup>[7]</sup>。草原生态系统是中国陆地生态系统的主体, 兼具中国北方生态屏障及为广大农牧民提供生产和生活资料的重要功能; 此外, 草原在防风固沙、涵养水源、调节区域气候和生态保护等方面发挥着重要作用<sup>[8-9]</sup>。土壤作为草原生态系统的重要组成部分, 是物质和能量交换的重要场所, 其中贮存着大量的碳、氮、磷等营养物质, 不仅直接影响着植物生理特征, 并决定着生态系统的结构、功能和生产力水平<sup>[10-12]</sup>, 同时, 草地群落结构及物种多样性也与土壤养分供给水平密切相关<sup>[13]</sup>, 在土壤—植物系统中, 土壤制约着植物群落, 影响着植物群落的类型、分布和动态, 同时, 植物群落也会反作用于土壤, 改善其生境条件, 使群落得以发展, 二者相互制约、相互依存, 共同发展<sup>[14]</sup>。

寸草苔(*Carex duriuscula*)为莎草科(Cyperaceae)苔草属(*Carex*)多年生根茎型植物, 主要分布于典型

草原和草甸草原的山坡、路边或河岸湿地, 在中国内蒙古、吉林、黑龙江等省份均有分布<sup>[15]</sup>, 经常作为伴生种出现在各种以禾草为建群种的群落底层, 当外界原因引起草原退化时, 多年生禾草物种会逐渐减少甚至消失, 寸草苔则发展成为优势植物, 原始植物群落退化演替成为寸草苔群落, 甚至很可能发展为单优势群落。由此可见, 寸草苔群落特征变化在草原退化的群落演替过程中具有特殊作用<sup>[16-17]</sup>。现有对于寸草苔草原的研究主要集中在个体和群落水平上, 包括生物学与生态学特性, 以及群落特征变化的数量作为指标开展了诸如密度、群集度、优势度等种群动态方面的比较研究<sup>[18]</sup>; 在种群水平上, 主要是关于寸草苔无性系种群分株结构<sup>[19]</sup>、生殖分株种子生产和种群分株生长可塑性等方面的研究<sup>[20]</sup>, 对于寸草苔群落特征及物种多样性与土壤理化性质的关系鲜有报道。

本文选取呼伦贝尔寸草苔草原作为研究对象, 探究寸草苔草原 4 种群落类型(寸草苔—丛生草类群落、寸草苔—根茎型草类群落、寸草苔—杂类草群落以及寸草苔—一二年生草类群落)之间群落特征和物种多样性之间的差异及其与土壤理化性质的关系, 为退化草原生态系统的保护和恢复以及草原的可持续发展提供理论依据和科学参考。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区呼伦贝尔的典型草原区( $45^{\circ}49'43''$ — $50^{\circ}00'25''$ N,  $118^{\circ}34'47''$ — $120^{\circ}30'46''$ E)<sup>[21]</sup>, 呼伦贝尔典型草原是欧亚草原的重要组成部分, 也是中国北方草原的主要部分, 地处内蒙古自治区东北部, 大兴安岭以西, 是牧业六旗市——陈巴尔虎旗、新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗、鄂温克族自治旗、满洲里市和海拉尔区所含草原的总称, 海拔高度 500~900 m。该区域属于温带半湿润—半干旱大陆性气候, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥, 多年平均气温在

-3~0℃,年降雨量在250~400mm之间,全年降雨量变化较大并呈现由西向东逐渐递增的趋势,无霜期80~155d,日照充足,雨热同期。草原土壤主要以黑土、黑钙土、暗棕壤等为主,草原植被类型以大面积的早生的根茎型禾草、丛生禾草为主,植物优势种为羊草、寸草苔、大针茅(*Stipa grandis*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)等<sup>[21-23]</sup>。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样方调查

本研究将寸草苔草原划分为4种群落类型,调查时间选在2020年7—8月草原植物的生长季,根据内蒙古植被图<sup>[24]</sup>和实际考察情况,在研究区域内共选择95个典型样地(图1)。植物调查采用样方法,每个样地设置3个1m×1m的样方,样方距离大于5m,分别调查并记录每个样方内全部的植物种类、株数及每个植物种的高度、盖度并估算样方的总盖度;同时记录样方的基本信息,包括海拔、经度、纬度和群落类型类别等,同时齐地面剪取样方内的全部植物,按种类分别装袋,置于80℃烘干至恒质量并称量,据此记录地上生物量;在每个样方内沿对角线等距设置3个采样点,用直径为10cm的土钻采集土表以下0—30cm深度的土壤样品装袋带回备用,用直径为10cm的根钻采集土表以下0—30cm深度的植物根系,反复清洗后置于80℃烘干至恒质量并称量,进而依据根钻截面积换算1m<sup>2</sup>样方对应的地下生物量,据此记录样方地下生物量。

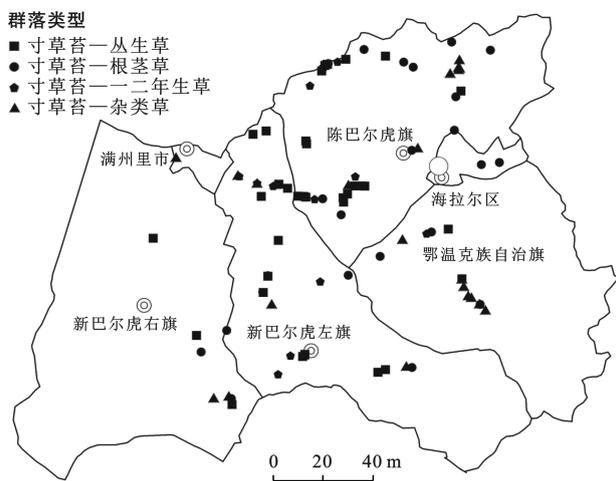


图1 研究区样地分布

Fig.1 Distribution of sample plots in research area

### 1.2.2 物种重要值和多样性计算

植物群落物种重要值计算公式<sup>[25]</sup>为:

$$\text{重要值}(\text{important value}) = (\text{相对高度} + \text{相对密度} + \text{相对盖度}) / 3 \quad (1)$$

式中:相对高度(relative height)=某一植物种的高度/各植物种高度之和×100;相对密度(relative density)=某一植物种的个体数/全部植物种个体数之和×100;相对盖度(relative coverage)=某一植物种的盖度/各植物种的分盖度之和×100。

物种多样性指数计算,选取物种丰富度( $S$ )、Shannon-Wiener多样性指数( $H$ )、Simpson物种多样性指数( $D$ )、Pielou均匀度指数( $J$ ),各指数计算公式<sup>[21]</sup>为:

物种丰富度指数:

$$S = \text{出现在样方内物种总数目} \quad (2)$$

Shannon-Wiener多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i) \quad (3)$$

Simpson多样性指数:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (4)$$

Pielou均匀度指数:

$$J = H / \ln S \quad (5)$$

式中: $S$ 为出现在样方内物种总数目; $P_i$ 为 $IV / \sum IV$ ( $IV$ 为重要值); $H$ 为Shannon-Wiener多样性指数。

### 1.2.3 土壤理化性质选取与测定

土壤全氮(total nitrogen, TN)、全磷(total phosphorus, TP)、有机碳(soil organic carbon, SOC)、土壤容重(soil bulk density, BD)、土壤pH值是分析土壤养分含量及土壤性能的常用指标,因此本研究选取以上指标作为影响寸草苔群落特征及物种多样性的主要土壤理化性质进行测定。土壤容重的测定采用环刀法;土壤pH值的测定采用电位法;全氮的测定采用半微量凯氏法;全磷的测定采用HClO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>熔融—钼锑抗比色法和土壤有机碳的测定采用重铬酸钾—浓硫酸外加热氧化法<sup>[26-28]</sup>。

## 1.3 数据统计与分析

使用ArcMap 10.2软件绘制研究区样地分布,使用Origin pro 2021软件绘制直方图和拟合关系图,使用R4.1.3软件进行Pearson相关性分析,用“corrplot”包的“cor”函数进行土壤理化性质对群落特征和物种多样性的影响程度分析。

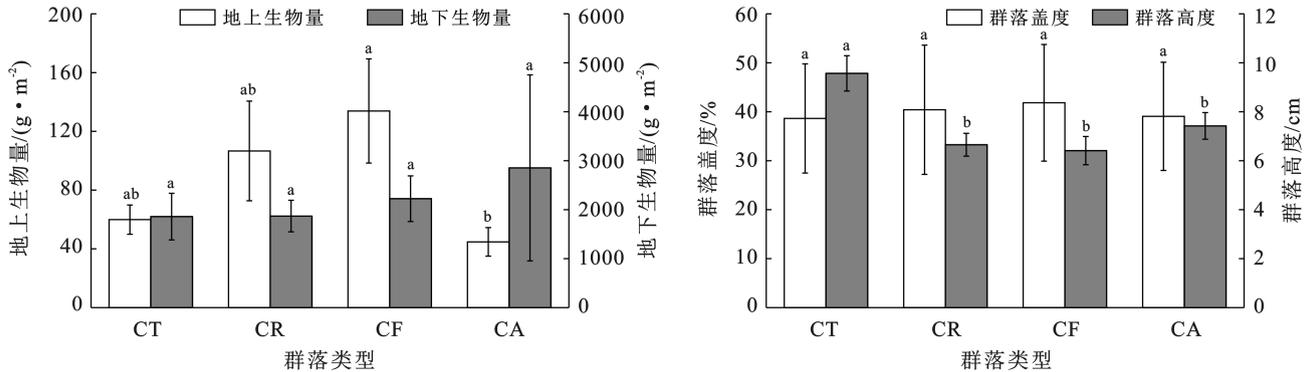
## 2 结果与分析

### 2.1 寸草苔草原不同群落类型间群落特征及物种多样性差异比较

通过分析寸草苔草原4种群落类型的群落特征(图2)可知,地下生物量与群落盖度在寸草苔4种群落类型间没有显著差异,数值分别在1800~3000g/m<sup>2</sup>与35%~45%之间,而地上生物量与群落高度存在

较大差异,地上生物量的大小顺序为:寸草苔—杂类草群落>寸草苔—根茎型草类群落>寸草苔—丛生草类群落>寸草苔—一二年生草类群落,其中以寸草苔—杂类草群落明显高于其余 3 种群落类型,为  $133.86 \text{ g/m}^2$ , 是最低的寸草苔—一二年生草类群落

$44.75 \text{ g/m}^2$  的 3 倍,群落高度大小顺序为:寸草苔—丛生草类群落>寸草苔—一二年生草类群落>寸草苔—根茎型草类群落>寸草苔—杂类草群落,其中寸草苔—丛生草类群落  $9.57 \text{ cm}$ , 显著高于其余 3 种群落类型。



注:①CT为寸草苔—丛生草类群落;CR为寸草苔—根茎型草类群落;CF为寸草苔—杂类草群落;CA为寸草苔—一二年生草类群落;②图中不同小写字母表示群落间差异显著( $p < 0.01$ )。下同。

图 2 不同群落类型间群落特征差异

Fig.2 Community characteristic differences among different community types

通过分析寸草苔草原 4 种群落类型的物种多样性(图 3)可知,4 种群落类型间的 Simpson 指数没有显著差异,数值变化保持在  $0.69 \sim 0.75$  之间,而在物种丰富度、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数上存在显著差异。物种丰富度为:寸草苔—杂类草群落>寸草苔—根茎型草类群落>寸草苔—丛生草类群落>寸草苔—一二年生草类群落,其中寸草苔—杂类草群落为 16.38,较最低的寸草苔—一二年生草类群落,11.67 高出  $40.36\%$ , Shannon-Wiener 指数以:寸草

苔—杂类草群落>寸草苔—丛生草类群落>寸草苔—根茎型草类群落>寸草苔—一二年生草类群落,其中寸草苔—杂类草群落(1.96)显著高于寸草苔—一二年生草类群落(1.66)。Pielou 指数为:寸草苔—杂类草群落>寸草苔—丛生草类群落>寸草苔—根茎型草类群落>寸草苔—一二年生草类群落,前 3 种群落之间变化不明显,数值在  $0.73 \sim 0.78$  之间,均值为  $0.75$ ,比最低的寸草苔—一二年生草类群落的  $0.63$  高  $19.05\%$ 。

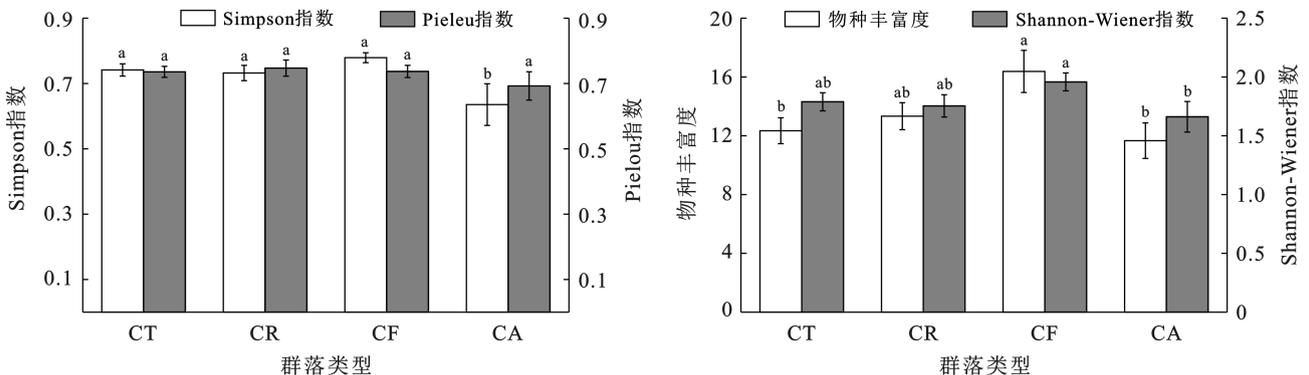


图 3 不同群落类型间群落多样性指数差异

Fig.3 Differences of community diversity index among different community types

## 2.2 寸草苔草原不同群落类型间土壤理化性质差异比较

对比寸草苔草原 4 种群落类型的土壤理化性质(图 4)可知,4 种群落间的土壤容重和土壤 pH 值在

一个较为稳定的范围内变化,分别为  $1.37 \sim 1.87 \text{ g/cm}^3$ ,  $7.22 \sim 7.38$ 。

其余土壤理化性质存在显著差异,并且均呈现先大幅度增加后逐渐减小的动态变化趋势,土壤全氮含

量表现出如下规律,即寸草苔一根茎型草类群落>寸草苔一杂类草群落>寸草苔一丛生草类群落>寸草苔一一二年生草类群落。

其中,寸草苔一根茎型草类群落全氮(0.29 g/kg)高于寸草苔一杂类草群落(0.27 g/kg)和寸草苔一丛生草类群落(0.20 g/kg),又显著高于寸草苔一一二年生草类群落(0.15 g/kg),全磷呈现同样

的变化趋势,含量分别为0.54,0.43,0.38,0.31 g/kg,与全氮、全磷在群落类型间差异变化趋势不同的是,土壤有机碳在寸草苔一根茎型草类群落与寸草苔一杂类草群落;寸草苔一丛生草类群落与寸草苔一一二年生草类群落中无显著差异,而寸草苔一根茎型草类群落与寸草苔一杂类草群落显著高于寸草苔一丛生草类群落与寸草苔一一二年生草类群落。

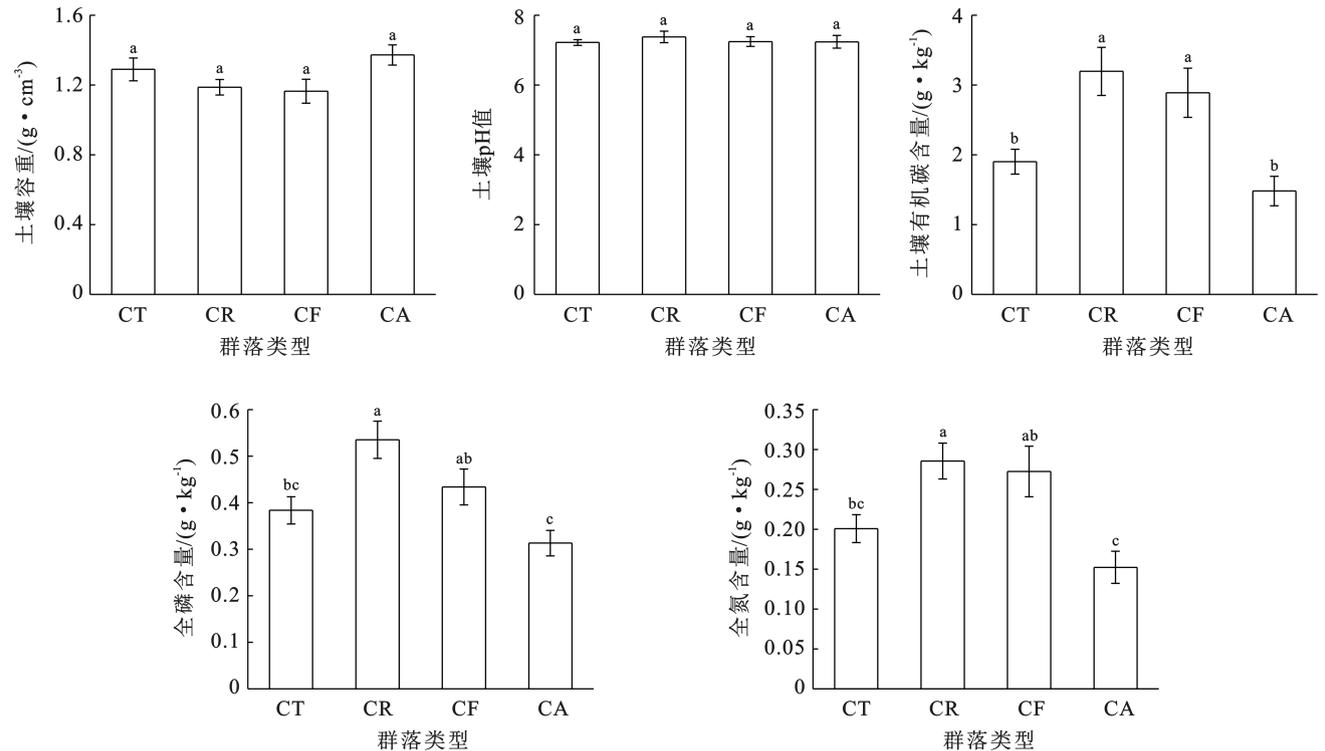


图4 不同群落类型间土壤理化性质差异

Fig.4 Differences of soil physicochemical properties among different community types

### 2.3 寸草苔草原不同群落类型间土壤理化性质与群落特征的关系

表1相关分析表明:在寸草苔一丛生草类群落中,土壤容重与地下生物量呈显著负相关关系,土壤pH值与群落高度呈现显著负相关关系,土壤有机碳与地上生物量、地下生物量和群落盖度呈现显著负相关关系,全氮与地上生物量、群落盖度呈现显著负相关关系,全磷与地上生物量、地下生物量呈现显著相关关系,其中,全磷与地上生物量呈现极显著正相关关系( $p < 0.01$ ),在寸草苔一根茎型草类群落中,土壤容重与群落盖度呈现显著负相关关系,土壤有机碳与地上生物量、群落盖度呈现显著相关关系,全氮与地上生物量呈现显著正相关关系,在寸草苔一杂类草群落中,土壤容重与地上生物量、地下生物量均呈现极显著负相关关系( $p < 0.01$ ),土壤有机碳与地上生物量、地下生物量呈现显著正相关关系,其中,土壤有机

碳与地下生物量呈现极显著正相关关系( $p < 0.01$ ),全氮、全磷与地上生物量、地下生物量均呈现极显著正相关关系( $p < 0.01$ ),在寸草苔一一二年生草类群落中,土壤容重与地上生物量呈现显著正相关关系,土壤有机碳与群落盖度呈现显著正相关关系,全氮与地上生物量、群落盖度呈现显著正相关关系。

### 2.4 寸草苔草原不同群落类型间土壤理化性质与物种多样性的关系

表2相关分析表明:在寸草苔一丛生草类群落中,土壤pH值与物种丰富度呈现极显著正相关关系( $p < 0.01$ ),土壤有机碳与物种丰富度呈现显著正相关关系,全氮与物种丰富度呈现极显著负相关关系( $p < 0.01$ ),在寸草苔一根茎型草类群落中,土壤有机碳、全氮、全磷与Shannon-Wiener指数、Simpson指数、Pielou指数均呈现显著负相关关系,其中,全氮、全磷与Simpson指数呈现极显著负相关关系( $p < 0.01$ ),

在寸草苔—杂类草群落中,土壤有机碳与物种丰富度呈现显著正相关关系,全氮与物种丰富度呈现显著正相关关系( $p < 0.01$ ),在寸草苔—一二年生草类群落中,土壤有机碳、全氮与 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数均呈现显著负相关关系,土壤有机碳、全氮与 Pielou 指数均呈现极显著负相关关系( $p < 0.01$ ),全磷与 Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数呈现显著负相关关系。

表 1 不同群落类型间土壤理化性质与群落特征的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of soil physicochemical properties and community characteristics among different community types

群落类别	土壤因子	地上生物量	地下生物量	植被覆盖度	群落高度
丛生草类	土壤容重	-0.259	-0.366*	0.058	-0.108
	土壤 pH 值	0.161	0.151	0.183	0.402*
	有机碳	0.413*	0.350*	0.369*	0.234
	全氮	0.348*	0.247	0.361*	0.284
	全磷	0.464**	0.415*	0.184	0.282
根茎草类	土壤容重	-0.030	-0.341	-0.505*	0.047
	土壤 pH 值	-0.152	-0.058	-0.075	0.135
	有机碳	0.166	0.438*	0.507*	-0.290
	全氮	0.215	0.461*	0.280	-0.298
	全磷	0.186	0.399	0.314	-0.336
杂类草	土壤容重	-0.563**	-0.645**	-0.372	0.186
	土壤 pH 值	-0.225	-0.387	-0.035	0.344
	有机碳	0.486*	0.650**	0.279	-0.145
	全氮	0.580**	0.706**	0.172	-0.116
	全磷	0.614**	0.672**	0.180	-0.265
一二年生草类	土壤容重	0.692*	-0.141	-0.382	0.105
	土壤 pH 值	0.432	0.017	0.057	-0.108
	有机碳	-0.505	0.457	0.658*	-0.440
	全氮	-0.322	0.582*	0.647*	-0.513
	全磷	-0.189	0.502	0.400	-0.540

注: \* 表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著; \*\* 表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著,下同。

### 3 讨论

#### 3.1 寸草苔草原不同群落类型间土壤理化性质对群落特征的影响

土壤是植物生长的基质,会直接影响植物群落的组成与分布,决定生态系统的结构与功能,同时植物群落又反作用于土壤,改善其生境条件,使群落得以发展<sup>[14]</sup>。寸草苔能够在紧实度大、水分不足的土壤中成长,通过降低气体交换率、增加气孔敏感度,通过使叶片衰老和脱落的方式使地上生物量减小,同时根系会延伸到通气良好的土壤中,并能在根内形成通气组织,增加水和营养物质吸收等<sup>[29-30]</sup>。

表 2 不同群落类型间土壤理化性质与群落多样性指数的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of soil physicochemical properties and community diversity index among different community types

群落类别	土壤因子	Richness 指数	Shannon-Wiener 指数	Simpson 指数	Pielou 指数
丛生草类	土壤容重	-0.321	-0.292	-0.269	-0.124
	土壤 pH 值	0.436**	0.303	0.198	0.029
	有机碳	0.393*	0.149	-0.050	-0.245
	全氮	0.501**	0.233	-0.002	-0.230
	全磷	0.331	0.093	-0.101	-0.315
根茎草类	土壤容重	-0.133	0.082	0.066	0.212
	土壤 pH 值	-0.256	-0.225	-0.165	-0.079
	有机碳	-0.017	-0.443*	-0.498*	-0.482*
	全氮	-0.123	-0.491*	-0.549**	-0.500*
	全磷	-0.082	-0.479*	-0.559**	-0.473*
杂类草	土壤容重	-0.385	-0.207	-0.090	0.087
	土壤 pH 值	-0.328	-0.190	-0.092	0.048
	有机碳	0.484*	0.276	0.150	-0.127
	全氮	0.518**	0.351	0.209	-0.093
	全磷	0.381	0.225	0.132	-0.115
一二年生草类	土壤容重	0.060	0.444	0.367	0.483
	土壤 pH 值	-0.158	-0.033	0.351	0.001
	有机碳	-0.102	-0.634*	-0.624*	-0.743**
	全氮	-0.058	-0.658*	-0.645*	-0.852**
	全磷	-0.345	-0.614*	-0.558	-0.610*

在本研究中,在寸草苔—杂类草群落与寸草苔—一二年生草类群落中,土壤容重与地上生物量呈现一负一正不一致显著相关关系,而在寸草苔—丛生草类群落和寸草苔—杂类草群落中,土壤容重与地下生物量均呈现显著负相关关系,这与马瑞等<sup>[26]</sup>对祁连山草原的研究结果一致,在寸草苔—根茎型草类群落中,土壤容重与群落盖度呈现显著负相关关系,土壤紧实度减小,透气、透水性增强,土壤结构发生变化,进而影响土壤水分的储存和蒸发,土壤养分不断积累,促进植物生长,使得地上生物量、地下生物量和群落盖度均增加<sup>[31]</sup>,而在寸草苔—一二年生草类群落中正好相反;在寸草苔—丛生草类群落与寸草苔—杂类草群落中,土壤有机碳、全磷与地上生物量、地下生物量呈现显著正相关关系,这与刘玉等<sup>[32]</sup>对草原的研究结果一致,可能是由于众多自然和人为因素致使地上生物量不断减少,从而降低了凋落物的积累,使得归还给土壤的有机质不断减少,而植物地上部分又会对土壤养分持续吸收,进一步加速了土壤养分供给能力的下降。本研究还发现全氮与地上生物量、地下生物量具有显著正相关关系,这与罗琰等<sup>[33]</sup>对草甸

的研究结果相同,土壤有机碳、全氮和全磷与地上生物量、地下生物量表现为同步增加的趋势,土壤有机碳包括植物、动物、微生物遗体、排泄物、分泌物及其部分分解产物与土壤腐殖质等,地上、地下生物量是土壤有机碳的主要来源,土壤为植物生长发育提供养分和能量,土壤有机碳、全氮、全磷的增加促进植物生长发育,植物根系粗壮发达,生物量就较高,同时,根系的生长过程及其分泌物均会对土壤碳氮产生影响<sup>[34]</sup>,且在寸草苔—丛生草类群落、寸草苔—根茎型草类群落和寸草苔—一二年生草类群落中,群落盖度表现为随着土壤有机碳含量的增加呈现逐渐增加的趋势,这与张静妮等<sup>[35]</sup>对贝加尔针茅草原的研究结果一致,在寸草苔—丛生草类群落和寸草苔—一二年生草类群落中群落盖度同样随着全氮含量的增加呈现逐渐增加的趋势,这与张莉等<sup>[36]</sup>对草原的研究结果一致,在寸草苔—根茎型草类群落、寸草苔—杂类草群落和寸草苔—一二年生草类群落中全氮与地下生物量有着同样的增加趋势,土壤有机碳和全氮的动态变化直接影响着群落生物量和植被类型,植物残体输入量会对土壤有机碳含量产生影响,群落盖度较大时,植物残体较多从而增加了凋落物的积累与输入,归还给土壤的有机碳不断增加,进一步增强了土壤养分的供给能力,同时,也有可能是在放牧的条件下,牲畜排泄物的量增加,氮素又是牲畜排泄物的主要组成成分,从而草原上土壤全氮含量得以积累,植物从土壤中摄取了充足的土壤有机碳和全氮促进植物生长发育,提高了地下生物量的积累。

### 3.2 寸草苔草原不同群落类型间土壤理化性质对物种多样性的影响

物种多样性与土壤理化性质的关系是生态学及环境科学领域的热点问题,物种多样性是草原生态系统平衡的重要影响因素之一,物种多样性的增加有利于土壤理化性质的改善,且良好的土壤环境又有利于植物的生长,同时可以有效增加植物物种的种类和数量,但由于不同研究区域影响因素过多,目前二者之间关系的研究结果缺乏一致的规律性。本研究中,在寸草苔—丛生草类群落中,土壤 pH 值与物种丰富度呈现显著正相关关系,在寸草苔—丛生草类群落与寸草苔—杂类草类群落中,土壤有机碳、全氮与物种丰富度呈现显著正相关关系,这与白永飞等<sup>[37]</sup>人对锡林河流域草原的研究结果一致,即随着土壤有机碳、全氮含量的增加,植物物种组成丰富度逐渐增加,土壤有机碳含量能够说明营养元素碳、氮等的可利用状态。因此,高的有机碳含量与较高的土壤肥力紧密相关,从而能够支持更高的物种多样性<sup>[38]</sup>。在寸草

苔—根茎型草类群落与寸草苔—一二年生草类群落中,在土壤有机碳、全氮和全磷与 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数中除寸草苔—一二年生草类群落的 Simpson 指数与全磷以外均呈现显著负相关关系,即土壤全量养分含量越高,物种多样性反而越低,且在寸草苔—一二年生草类群落中表现得更加明显,总体上来说,土壤理化性质对于物种多样性的影响在两个群落类型间呈现相同的趋势,并且由于群落类型间植物种类差异,出现了影响程度不同之别,这与杨崇耀等<sup>[39]</sup>对内蒙古西部和文海燕等<sup>[40]</sup>对沙质草原的研究结果相反,可能是由于寸草苔群落是草原退化状态中形成的,土壤全量养分含量以未退化的群落最高,其次为处于恢复演替阶段的群落,最低的是处于退化状态的群落,此时,研究区草原属于退化草原,物种间竞争关系发生变化,寸草苔利用其生物和生态学特性汲取营养迅速成为群落优势物种,进一步导致物种多样性降低<sup>[32]</sup>,而且对于存在放牧和刈割状态的草原,可供转化为土壤养分的植物残体较少,且腐殖质无法快速转化为可供植物生长的养分物质,土壤中的养分物质得不到及时补充,致使土壤养分储存量降低,同时,植物和土壤调查取样时间正值夏季植物生长期,由于植物生长所需养分较大,所以土壤中残留养分较低,土壤肥力低,尤以寸草苔—一二年生草类群落表现得更加突出<sup>[41-42]</sup>。

## 4 结论

(1) 在群落特征中只有地上生物量在 4 种群落类型间具有较大差异,以寸草苔—一二年生草类群落最高;在物种多样性中物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数在 4 种群落类型间具有较大差异,以寸草苔—一二年生草类群落最高;在土壤理化性质中全氮和全磷在 4 种群落类型间均以寸草苔—根茎型草类群落最高。

(2) 由土壤理化性质对群落特征的相关性分析结果可知,土壤有机碳、全氮和全磷是影响寸草苔群落最重要的土壤理化性质,并且是与寸草苔—丛生草类群落和杂类草类群落中地上生物量和地下生物量呈现显著正相关关系。

(3) 由土壤理化性质对物种多样性的相关性分析结果可知,土壤有机碳、全氮和全磷是影响寸草苔群落最重要的土壤理化性质,并且是与寸草苔—根茎型草类群落和寸草苔—一二年生草类群落中 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数呈现显著负相关关系。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] Irisarri J G N, Derner J D, Porensky L M, et al. Grazing intensity differentially regulates ANPP response to precipitation in North American semiarid grasslands [J]. *Ecological Applications*, 2016, 26(5): 1370-1380.
- [2] Wang J, Zhang R Q, Biyasi A, et al. Grazing reduces biomass fluctuations of rangeland plants: an 11-year comparison of grazing vs. enclosure [J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2020, 18(5): 6309-6320.
- [3] Angassa A. Effects of grazing intensity and bush encroachment on herbaceous species and rangeland condition in Southern Ethiopia [J]. *Land Degradation & Development*, 2014, 25(5): 438-451.
- [4] Ho P, Azadi H. Rangeland degradation in North China: Perceptions of pastoralists [J]. *Environmental Research*, 2010, 110(3): 302-307.
- [5] 吕世海, 冯长松, 高吉喜, 等. 呼伦贝尔沙化草地围封效应及生物多样性变化研究[J]. *草地学报*, 2008, 16(5): 442-447.
- [6] Le Cain D R, Morgan J A, Schuman G E, et al. Carbon exchange and species composition of grazed pastures and exclosures in the shortgrass steppe of Colorado [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 93(1/2/3): 421-435.
- [7] 王健, 张瑞强, 阿比亚斯, 等. 围封对内蒙古希拉穆仁草地物种多样性的影响[J]. *水土保持通报*, 2019, 39(2): 62-67.
- [8] 靳三玲, 刁兆岩, 吕世海, 等. 呼伦贝尔草原植物功能群对围封及放牧的响应特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(1): 151-158.
- [9] Zhao Haidi, Liu Shiliang, Dong Shikui, et al. Analysis of vegetation change associated with human disturbance using MODIS data on the rangelands of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *The Rangeland Journal*, 2015, 37(1): 77.
- [10] 王鑫, 胡玉昆, 热合木都拉, 阿迪拉, 等. 高寒草地主要类型土壤因子特征及对地上生物量的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(3): 196-200.
- [11] 赵景学, 陈晓鹏, 曲广鹏, 等. 藏北高寒植被地上生物量与土壤环境因子的关系[J]. *中国草地学报*, 2011, 33(1): 59-64.
- [12] 王迪, 赵锦梅, 雷隆举, 等. 祁连山东段高寒植被类型对土壤理化特征的影响[J]. *水土保持通报*, 2021, 41(1): 35-40.
- [13] 邓燕, 李钊, 姚树冉, 等. 不同程度退化草地的植被土壤特征及其相互间的关系[J]. *草业科学*, 2021, 38(7): 1260-1269.
- [14] 杨学亭, 樊军, 盖佳敏, 等. 祁连山不同类型草地的土壤理化性质与植被特征[J]. *应用生态学报*, 2022, 33(4): 878-886.
- [15] 郭力华, 杨允菲, 李建东. 松嫩平原不同生境寸草苔种群生殖分株的数量特征及生殖分配动态[J]. *草业学报*, 2005, 14(2): 63-68.
- [16] 李海燕, 杨允菲. 松嫩草甸水淹恢复演替过程中羊草和寸草苔无性系种群的相互动态[J]. *草业学报*, 2004, 13(6): 21-25.
- [17] 乔晓英, 马少阳, 候会芳. 毛乌素湖盆滩地土壤温度对寸草苔生长的影响[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(8): 2389-2396.
- [18] 王立, 周婵, 杨允菲. 林间草地寸草苔种群的生长可塑性分析[J]. *中国草地*, 2001, 23(4): 6-10.
- [19] 杨允菲, 李建东. 松嫩平原寸草苔无性系种群分株的结构[J]. *草业学报*, 2001, 10(1): 35-41.
- [20] 张春华, 杨允菲. 松嫩平原寸草苔种群生殖分株的种子生产与生殖分配策略[J]. *草业学报*, 2001, 10(2): 7-13.
- [21] 王百竹, 朱媛君, 山丹, 等. 呼伦贝尔典型草原群落退化对其物种多样性及生物量的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2019, 28(4): 68-76.
- [22] 刘琼, 席青虎, 乌仁其其格. 呼伦贝尔羊草草原割草场植物群落特征及物种多样性分析[J]. *中国草地学报*, 2020, 42(5): 55-63.
- [23] 范凯凯, 李淑贞, 陈金强, 等. 呼伦贝尔草原土壤呼吸作用空间异质性分析[J]. *草地学报*, 2022, 30(1): 205-211.
- [24] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [25] 萨仁其力莫格, 荆佳强, 秦洁, 等. 不同利用方式下贝加尔针茅草原植物和土壤的生态化学计量特征[J]. *中国草地学报*, 2022, 44(1): 20-29.
- [26] 马瑞, 赵锦梅. 东祁连山河谷高寒草地植被群落特征及其与土壤性状的关系[J]. *干旱区研究*, 2020, 37(2): 374-381.
- [27] 山丹, 朱媛君, 王百竹, 等. 呼伦贝尔沙地北部沙带植物群落分布格局与土壤特性的关系[J]. *中国沙漠*, 2020, 40(1): 145-155.
- [28] Zhu Yuanjun, Shan Dan, Wang Baizhu, et al. Floristic features and vegetation classification of the Hulun Buir Steppe in North China: geography and climate-driven steppe diversification [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 20: e00741.
- [29] 吉文丽. 苔草属植物对异质环境生理生态响应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [30] 修娜. 秦岭野生苔草植物种质资源与引种试验研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [31] 周建琴, 田赞, 吴雨晴, 等. 不同放牧方式下的草场植被群落特征及其与土壤因子的关系: 以新巴尔虎左旗为例[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(6): 1117-1126.
- [32] 刘玉, 常小峰, 田福平, 等. 放牧对草地群落与土壤特征的影响[J]. *西北植物学报*, 2016, 36(12): 2524-2532.

- (12):4177-4185.
- [11] Li Guiyuan, Fan Haoming. Effect of freeze-thaw on water stability of aggregates in a black soil of Northeast China [J]. *Pedosphere*, 2014, 24(2):285-290.
- [12] Hu Y, Kuhn N J. Aggregates reduce transport distance of soil organic carbon: are our balances correct? [J]. *Biogeosciences*, 2014, 11(22):6209-6219.
- [13] Han Zhen, Wang Xiaoyan, Song Dandan, et al. Response of soil erosion and sediment sorting to the transport mechanism on a steep rocky slope [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2019, 44(12):2467-2478.
- [14] Zhang Shaoliang, Zhang Xingyi, Liu Zhihua, et al. Spatial heterogeneity of soil organic matter and soil total nitrogen in a mollisol watershed of Northeast China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72(1):275-288.
- [15] Edwards L M. The effect of alternate freezing and thawing on aggregate stability and aggregate size distribution of some Prince Edward Island soils [J]. *Journal of Soil Science*, 1991, 42(2):193-204.
- [16] 胡亚鲜, Nikolaus J. Kuhn. 利用土壤颗粒的沉降粒级研究泥沙的迁移与分布规律[J]. *土壤学报*, 2017, 54(5):1115-1124.
- [17] Zhang Ze, Pendin V V, Feng W, et al. The influence of freeze-thaw cycles on the granulometric composition of Moscow morainic clay [J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2015, 7(3):199-205.
- [18] 王恩姮, 赵雨森, 陈祥伟. 季节性冻融对典型黑土区土壤团聚体特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4):889-894.
- [19] 王风, 韩晓增, 李良皓, 等. 冻融过程对黑土水稳性团聚体含量影响[J]. *冰川冻土*, 2009, 31(5):915-919.
- [20] Mueller C W, Schlund S, Prietzel J, et al. Soil aggregate destruction by ultrasonication increases soil organic matter mineralization and mobility [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2012, 76(5):1634-1643.
- [21] 周旺明, 王金达, 刘景双, 等. 冻融对湿地土壤可溶性碳、氮和氮矿化的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3):1-6.
- [22] Qin Yan, Bai Yufeng, Chen Guoshuang, et al. The effects of soil freeze-thaw processes on water and salt migrations in the western Songnen Plain, China [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11:3888.
- [23] Wu Daoyong, Zhou Xiangyang, Jiang Xingyuan. Water and salt migration with phase change in saline soil during freezing and thawing processes [J]. *Groundwater*, 2018, 56(5):742-752.
- [24] Bing Hui, He Ping, Zhang Ying. Cyclic freeze-thaw as a mechanism for water and salt migration in soil [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 74(1):675-681.
- [25] Liu Bo, Ma Renming, Fan Haoming. Evaluation of the impact of freeze-thaw cycles on pore structure characteristics of black soil using X-ray computed tomography [J]. *Soil and Tillage Research*, 2021, 206:104810.
- [26] Plante A F, Conant R T, Stewart C E, et al. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(1):287-296.

(上接第 34 页)

- [33] 罗琰, 苏德荣, 纪宝明, 等. 辉河湿地不同草甸植被群落特征及其与土壤因子的关系[J]. *草业学报*, 2018, 27(3):33-43.
- [34] 王云英, 裴薇薇, 辛莹, 等. 2008—2015 年高寒草甸土壤有机碳变化特征及影响因素解析[J]. *中国草地学报*, 2021, 43(12):47-54.
- [35] 张静妮, 赖欣, 李刚, 等. 贝加尔针茅草原植物多样性及土壤养分对放牧干扰的响应[J]. *草地学报*, 2010, 18(2):177-182.
- [36] 张莉, 王长庭, 刘伟, 等. 不同建植期人工草地优势种植物根系活力、群落特征及其土壤环境的关系[J]. *草业学报*, 2012, 21(5):185-194.
- [37] 白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(6):667-673.
- [38] 王艳芬, 陈佐忠. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(6):545-551.
- [39] 杨崇曜, 李恩贵, 陈慧颖, 等. 内蒙古西部自然植被的物种多样性及其影响因素[J]. *生物多样性*, 2017, 25(12):1303-1312.
- [40] 文海燕, 傅华, 赵哈林. 退化沙质草地植物群落物种多样性与土壤肥力的关系[J]. *草业科学*, 2008, 25(10):6-9.
- [41] 杨静, 孙宗玖, 巴德木其其格, 等. 封育对草地植被功能群多样性及土壤养分特征的影响[J]. *中国草地学报*, 2018, 40(4):102-110.
- [42] 万志强, 杨九艳, 谷蕊, 等. 不同刈割频度对大针茅草原群落特征及土壤元素含量的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(17):5477-5484.