

# 乌伊岭自然保护区沼泽湿地土壤线虫分布及影响因子

董小琪

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2024年2月18日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月29日

## 摘要

半个世纪来大面积排水造田使沼泽湿地面积急剧缩减, 乌伊岭自然保护区作为生态屏障具有其特殊地位, 因此探讨乌伊岭地区不同沼泽湿地及土壤深度线虫分布特征并分析其影响因子具有重要意义。结果表明: 各沼泽湿地共有优势类群为具脊垫刃属(*Coslenchus*), 各沼泽湿地土壤线虫特有类群较多, 而各土壤深度线虫共有类群较多。森林沼泽湿地土壤线虫数量显著高于草甸和灌丛( $P < 0.05$ ), 不同土壤深度在数量和类群上有显著差异( $P < 0.05$ ), 且呈明显表聚性。土壤深度对线虫多样性、优势度和丰富度指数变化具有极显著影响( $P < 0.001$ ), 沼泽湿地类型对植物寄生线虫和食细菌线虫有极显著影响( $P < 0.001$ )。全磷和土壤有机碳是影响土壤线虫属的重要因素。

## 关键词

沼泽湿地, 土壤深度, 土壤线虫

# Distribution and Influencing Factors of Nematodes in Marsh Wetland of Wuyiling Nature Reserve

Xiaoqi Dong

College of Geographic Sciences, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Feb. 18<sup>th</sup>, 2024; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In the past half century, the area of marsh wetland has been drastically reduced by large-scale

drainage and farmland construction. Wuyiling Nature Reserve has its special status as an ecological barrier. Therefore, it is of great significance to explore the distribution characteristics of nematodes in different marsh wetlands and soil depths in Wuyiling area and analyze their influencing factors. The results showed that *Coslenchus* was the common dominant group of nematodes in each marsh wetland, and there were more nematodes in each marsh wetland soil, and more nematodes in each soil depth. The number of nematodes in forest marsh soil was significantly higher than that in meadow and shrub ( $P < 0.05$ ), and there were significant differences in the number and groups of nematodes in different soil depths ( $P < 0.05$ ), and the nematodes showed obvious super aggregation. Soil depth had significant effects on nematode diversity, dominance and richness index ( $P < 0.001$ ), and marsh wetland type had significant effects on plant parasitic nematode and bacteria-eating nematode ( $P < 0.001$ ).

## Keywords

Marsh Wetlands, Soil Depth, Soil Nematodes

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

湿地是世界上最具有生产力的生态系统之一，被誉为“地球之肾”。沼泽湿地作为地球表层功能独特的生态系统，约占我国湿地的 37.8% [1] [2]，而研究表明我国沼泽湿地正在快速流失和退化，其中以黑龙江沼泽湿地退化程度最为严重[3]。乌伊岭自然保护区正地处这一分布区域，所以研究乌伊岭地区沼泽湿地对湿地的生态保护有重要作用。土壤动物作为土壤食物网初级生产者和次级消费者之间的中介，参与湿地生态系统的物质循环[4]。而线虫是整个陆地生态系统微型动物中数量最多的组成部分之一。土壤线虫群落可能受到生态环境、物种组成和多样性的影响[5]。

近年随着地下生态学发展，与土壤线虫群落相关的线虫属种类、结构组成、分布特征以及演变规律等研究已经在许多不同类型的生态系统中广泛开展，如沙丘[6]、农田[7]、森林[8]、草地[9]和湿地[10]等，但湿地的研究多集中于沼泽湿地的生物入侵、湿地土壤碳氮含量、湿地微生物群落变化、湿地中的植被在人为干扰下的响应等[11] [12] [13] [14]，对湿地土壤线虫的研究则相对较少。其中我国湿地土壤线虫研究在湿地类型上多为内陆湿地、淡水沼泽地和盐沼湿地等，在内容上包括植物入侵、不同湿地植物类型及人为干扰影响[15] [16] [17]，而对不同沼泽湿地类型下土壤线虫的影响因素则少有研究，尤其是高寒沼泽湿地土壤线虫研究有限，土壤线虫变化规律尚不清晰[18]，而乌伊岭自然保护区位于小兴安岭地区，其上冻土分布广泛，沼泽湿地属高寒沼泽湿地，因此研究乌伊岭地区沼泽湿地土壤线虫分布具有重要价值和科学意义。本研究分析乌伊岭地区典型沼泽湿地和土壤深度下土壤线虫群落的分布及影响因子，研究结果可以提供乌伊岭地区典型湿地土壤线虫多样性方面的基础资料。

## 2. 研究区概况与研究方法

### 2.1. 研究区概况

研究区为乌伊岭国家级自然保护区，位于黑龙江省小兴安岭顶部东北段(48°33'~48°50'N, 129°00'~129°28'E)，如图 1。该保护区受蒙古 - 西伯利亚高压控制，四季分明，年平均气温-11.1℃，平均日照总

数 228718 h。林区沼泽湿地保存完好，河流分属汤旺河、库尔滨河和乌云河水系。保护区丰富的动植物资源及独特的湿地类型与气候特点为土壤线虫的多样性分布提供了良好的营养条件和生态环境。

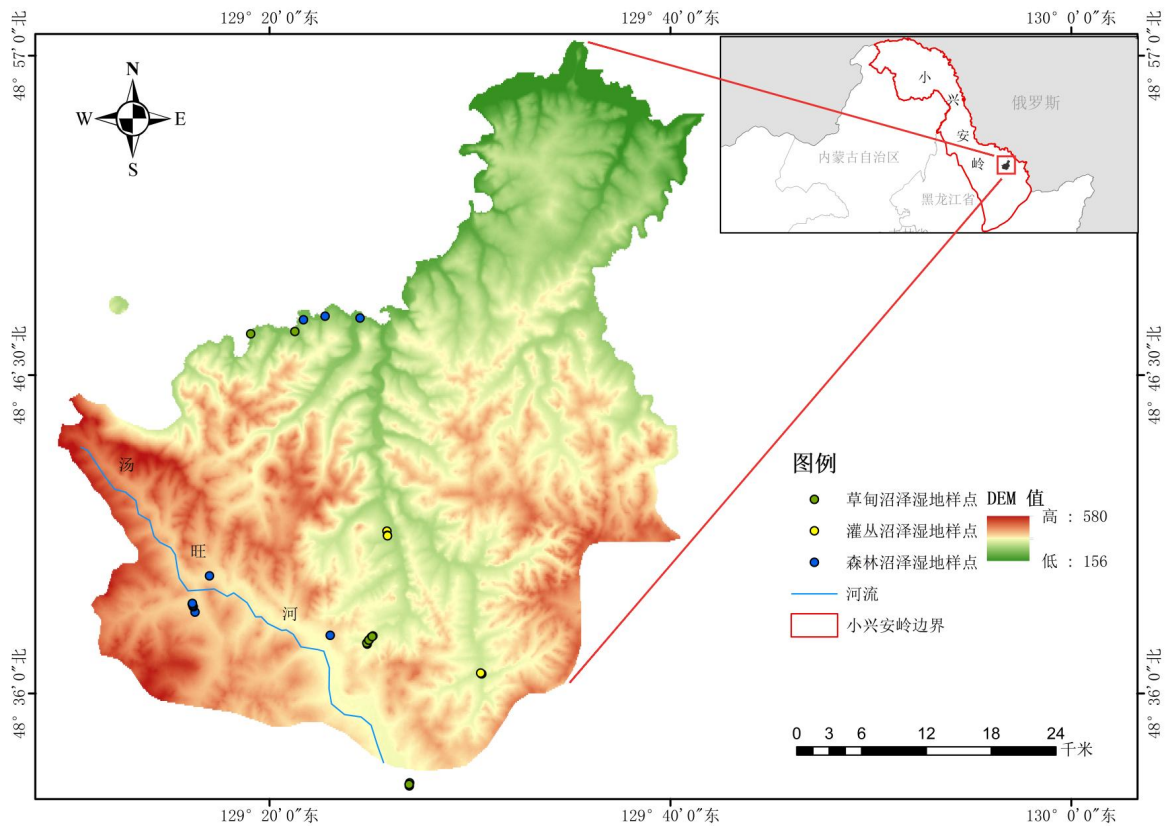


Figure 1. Distribution of sample plots in the study area  
图 1. 研究区样点分布图

## 2.2. 研究方法

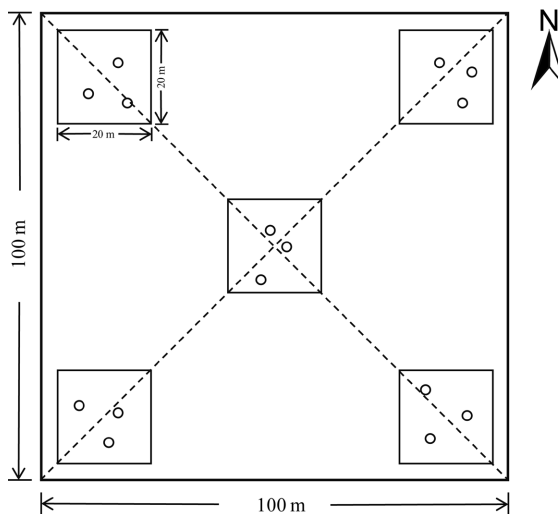


Figure 2. Distribution of sample points  
图 2. 样点分布图

以乌伊岭国家级自然保护区为研究区,土壤线虫为研究对象。依据典型沼泽湿地设置各类型 2 个 100 m × 100 m 大样方,五点取样法设置 20 m × 20 m 样方,随机选取 3 个样点作为重复(图 2)。采样过程去除土壤表面凋落物,装入袋中于 4℃ 恒温冰箱保存。用湿漏斗法分离线虫,根据《长白山森林土壤线虫》[19]在光学显微镜下鉴定到属。根据线虫食性划分为植物寄生线虫(PI)、食细菌线虫(Ba)、食真菌线虫(Fu)和捕食-杂食线虫(Pr)四个营养结构[20]。

土壤线虫群落多样性特征公式如下[21] [22]:

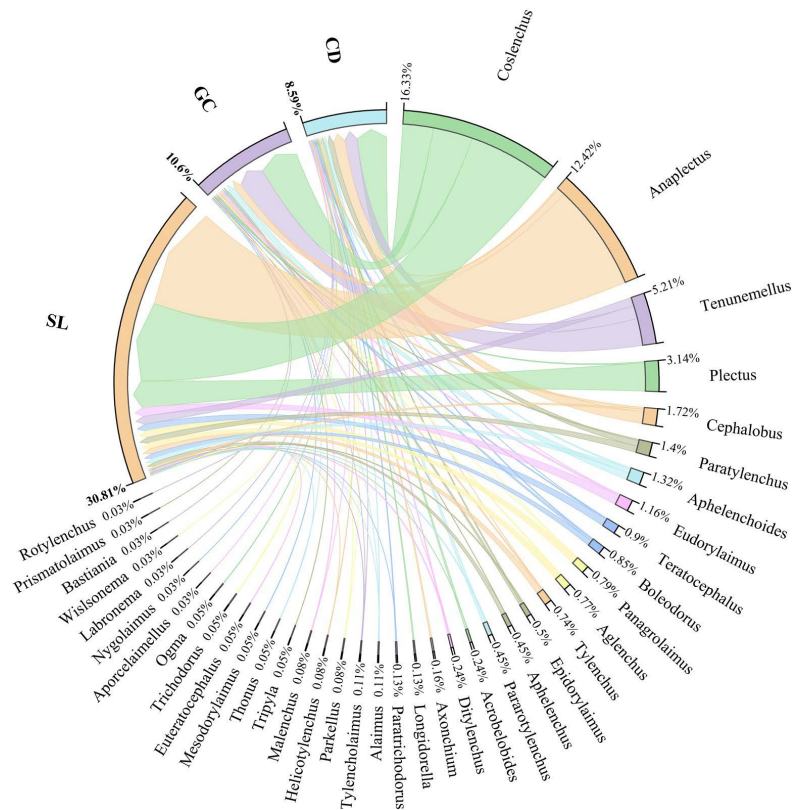
- 1) 多样性指数( $H'$ ) =  $-\sum P_i \times (\ln P_i)$
- 2) 优势度指数( $\lambda$ ) =  $\sum P_i^2$
- 3) 均匀度指数( $J$ ) =  $H'/\ln S$
- 4) 丰富度指数( $SN$ ) =  $(S-1)/\ln N$

式中,  $S$  为鉴定分类单元的数,  $P_i$  为第  $i$  个分类单元中物种的个体数所占的比例,  $N$  为某个样本鉴定物种的总数。

基于土壤线虫分析使用 SPSS25.0 的单因素方差(one-way ANOVA)和双因素方差(tow-way ANOVA)。冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)研究影响土壤线虫群落的环境因子,绘图使用 Excel2010、Origin2022 和 Canoco 5.0。

### 3. 研究结果与分析

#### 3.1. 土壤线虫群落组成特征



注: CD: 草甸; GC: 灌丛; SL: 森林。

**Figure 3.** Composition of soil nematode populations in different marsh wetland types  
**图 3.** 不同沼泽湿地土壤线虫数量组成

如图 3 为研究区不同沼泽湿地类型下土壤线虫在属水平上的数量分布, 总体来看, 具脊垫刃属(*Coslenchus*)、拟绕线属(*Anaplectus*)和类突腔唇属(*Tenunemellus*)是其中的优势类群, 盘旋属(*Rotylenchus*)和棱咽属(*Prismatolaimus*)等则为稀有类群。在数量组成上森林 > 灌丛 > 草甸沼泽湿地, 而其中草甸与灌丛沼泽湿地具脊垫刃属(*Coslenchus*)和类突腔唇属(*Tenunemellus*)为占比最多的优势类群, 森林沼泽湿地拟绕线属(*Anaplectus*)和具脊垫刃属(*Coslenchus*)占比最多, 为优势类群。

在土壤线虫类群组成中, 不同沼泽湿地与不同土壤深度下土壤线虫类群的组成如图 4, 三种沼泽湿地类型中共有类群 11 属, 特有类群在草甸沼泽湿地、灌丛沼泽湿地和森林沼泽湿地中分别为 6、5 和 3; 三种土壤深度下共有类群 15 属, 特有类群在 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 土壤深度下分别为 12、1 和 0。

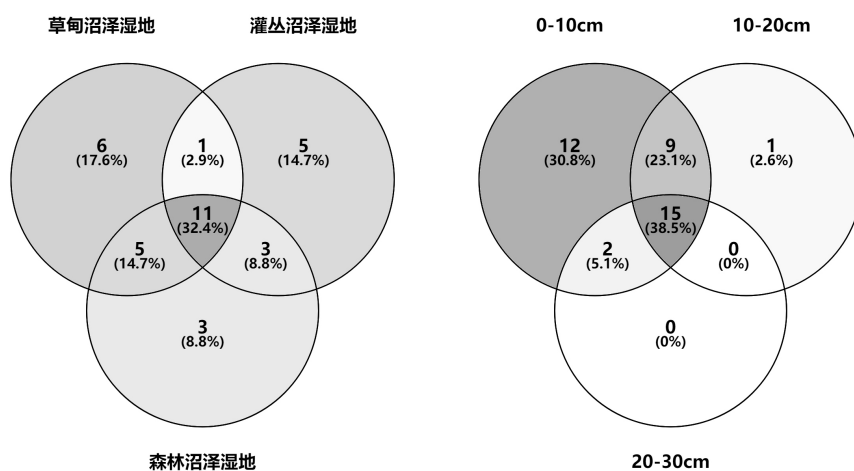
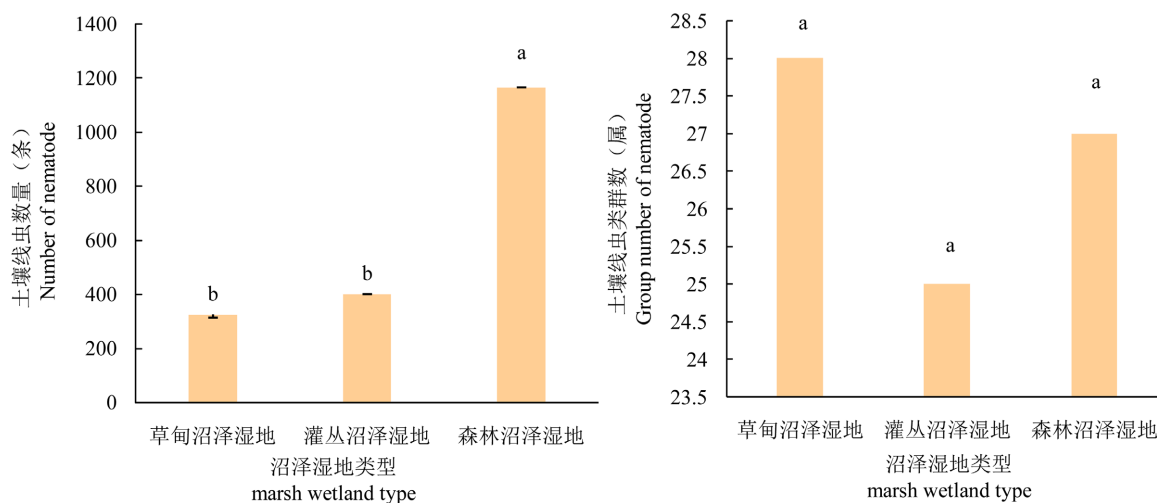


Figure 4. Composition of soil nematode communities in different marsh wetland types and soil depths  
图 4. 不同沼泽湿地与土壤深度线虫类群组成韦恩图

### 3.2. 土壤线虫数量与类群分布差异



注: 图中英文字母表示差异达显著性水平; 相同字母视为差异不显著, 不同字母视为差异显著。

Figure 5. Number of individuals and groups of soil nematodes in different marsh wetland types

图 5. 不同沼泽湿地土壤线虫数量与类群数

如图 5 所示为各沼泽湿地类型下土壤线虫数量和类群的水平分布, 不同沼泽湿地类型下土壤线虫数

量具有显著差异( $P < 0.05$ )。三种沼泽湿地类型土壤线虫数量依次为森林(1166 条) > 灌丛(401 条) > 草甸(325 条), 其中森林沼泽湿地土壤线虫数量显著高于草甸沼泽湿地、灌丛沼泽湿地土壤线虫数量的 2.59 倍、1.9 倍; 线虫类群数依次为草甸(28 属) > 森林(27 属) > 灌丛(25 属), 三种沼泽湿地类型均无显著差异性( $P > 0.05$ )。

如图 6 所示为各土壤深度下土壤线虫数量和类群的分布, 不同沼泽湿地类型下土壤线虫数量具有显著差异( $P < 0.01$ )。三种土壤深度下土壤线虫数量依次为 0~10 cm (1281 条) > 10~20 cm (446 条) > 20~30 cm (165 条), 其中 0~10 cm 土壤线虫数量显著高于 10~20 cm、20~30 cm 的 1.87 倍、6.76 倍, 10~20 cm 土壤线虫数量显著高于 20~30 cm 的 1.7 倍; 线虫类群数依次为 0~10 cm (38 属) > 10~20 cm (24 属) > 20~30 cm (16 属), 三种土壤深度类群数均有显著差异性( $P < 0.01$ )。

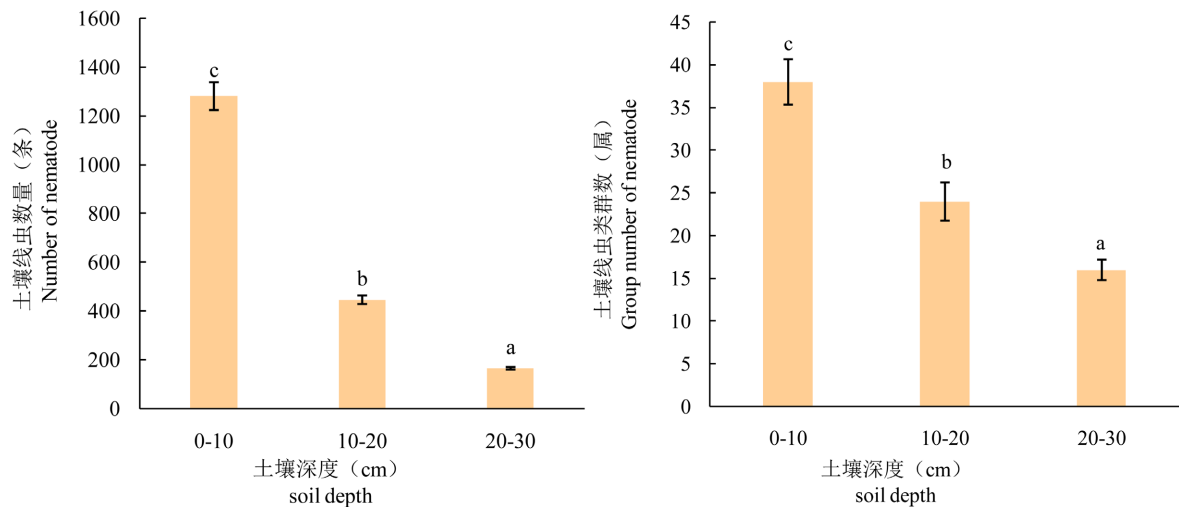


Figure 6. Number of individuals and groups of soil nematodes in different soil depths

图 6. 不同土壤深度土壤线虫数量与类群数

### 3.3. 沼泽湿地类型与土壤深度对线虫的影响

如表 1 所示, 土壤线虫多样性特征双因素方差显示沼泽湿地类型对土壤线虫多样性、优势度和均匀度指数变化均有显著影响( $P < 0.05$ ); 而土壤深度对线虫多样性、优势度和丰富度指数变化具有极显著影响( $P < 0.001$ ), 对均匀度指数具有显著影响( $P < 0.05$ ); 沼泽湿地类型与土壤深度交互作用对土壤线虫的多样性特征无显著影响。

Table 1. Diversity of soil nematode in different marsh wetland types under different soil depths

表 1. 各沼泽湿地不同土壤深度线虫多样性特征

| 双因素方差分析     | H'        | $\lambda$ | SN        | J      |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 沼泽湿地类型      | 3.302*    | 3.526*    | 3.085     | 4.278* |
| 土壤深度        | 17.075*** | 11.316*** | 14.221*** | 3.459* |
| 沼泽湿地类型*土壤深度 | 0.437     | 0.687     | 0.187     | 1.75   |

注: H': 多样性指数;  $\lambda$ : 优势度指数; SN: 丰富度指数; J: 均匀度指数; \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ 。

如表 2 所示营养结构特征的双因素方差结果显示, 沼泽湿地类型对植物寄生线虫、食细菌线虫均有极显著影响( $P < 0.001$ ); 土壤深度对植物寄生线虫、食细菌线虫具有显著影响( $P < 0.05$ ); 而沼泽湿地类型

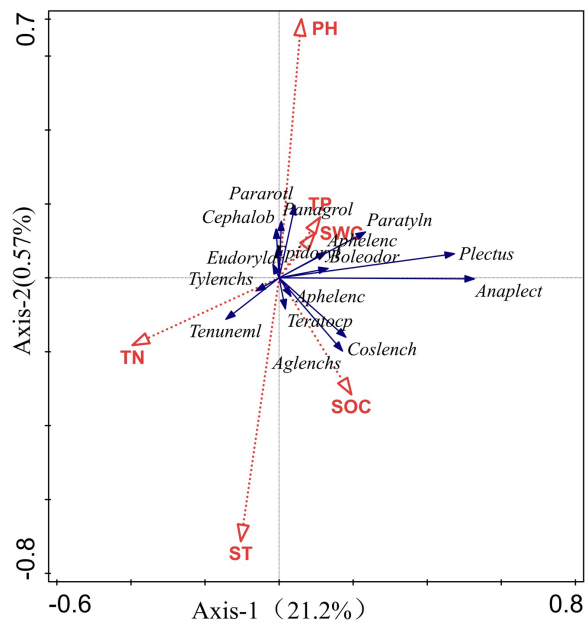
与土壤深度交互作用无显著影响。

**Table 2.** The relative abundance of soil nematode in different marsh wetland types under different soil depths  
**表 2.** 各沼泽湿地不同土壤深度线虫营养类群相对多度

| 双因素方差分析     | PI        | Ba        | Fu    | Pr    |
|-------------|-----------|-----------|-------|-------|
| 沼泽湿地类型      | 10.335*** | 11.955*** | 1.635 | 0.246 |
| 土壤深度        | 4.67*     | 3.141*    | 2.959 | 0.91  |
| 沼泽湿地类型*土壤深度 | 1.373     | 1.048     | 0.555 | 0.879 |

### 3.4. 环境因子对土壤线虫群落的影响

通过冗余分析(RDA)评价研究区土壤理化性质与土壤线虫属的相关性(图 7)。RDA 分析结果显示,第一轴物种与环境因子的相关性为 0.5368,第二轴物种与环境因子的相关性为 0.2078。6 个环境变量解释了土壤线虫属的 22.5%,第一轴解释了土壤线虫属变异的 21.2%,第二轴解释了土壤线虫属变异的 0.57%。SOC 与 TN 对线虫群落组成变异的解释度分别为 16.9% ( $P < 0.01$ )、3.4% ( $P < 0.05$ ),是影响线虫群落的两个主要环境因子。



**Figure 7.** Redundancy analysis of soil nematode communities with environmental factors  
**图 7.** 土壤线虫群落与环境因子的冗余分析

## 4. 讨论与结论

土壤线虫作为湿地生态系统土壤动物主要优势类群之一[23],水平与垂直方向的分布均具有差异。本研究发现,三种沼泽湿地优势类群均有具脊垫刃属(*Coslenchus*),这与陈玮在对大兴安岭土壤线虫的研究中相类似,他在研究中发现三种植被类型以具脊垫刃属和头叶属为优势属[24],可见具脊垫刃属在兴安岭地区为优势种属。各类型沼泽湿地土壤线虫特有类群较多,而不同深度土壤线虫共有类群较多,除 0~10 cm 外特有类群较少,呈现出表聚性。不同沼泽湿地类型土壤线虫类群数无显著差异而数量差异显著,主要是因为随着草甸向森林演替进程土壤中资源更加丰富[25],导致线虫数量增多。在土壤线虫数量和类群

上, 三种土壤深度间均具有显著差异, 这是由于土壤深度会影响土壤养分含量, 大部分土壤养分都聚集在土壤表层, 具有表聚性, 随着土层的加深土壤养分降低[26], 因此影响了土壤线虫数量和类群。

土壤线虫的多样性特征可以反映土壤线虫群落在环境变化下的影响[27]。研究发现土壤深度对线虫多样性、优势度和丰富度指数变化具有极显著影响( $P < 0.001$ ), 可能是土壤不同深度环境条件不同, 表层土壤结构、理化性质、养分含量等条件更适合中小型土壤动物的生存[28], 从而影响线虫多样性。沼泽湿地类型对植物寄生线虫和食细菌线虫有极显著影响( $P < 0.001$ )。可能是不同沼泽湿地植物物种丰富度不同影响根系分泌物, 从而提供给微生物的养分不同[29]。而土壤有机碳与全氮是影响土壤线虫群落组成的两个主要环境因子。土壤有机碳能为微生物提供适宜的生存条件[30], 进而促进食细菌线虫生长。

本研究分析乌伊岭不同沼泽湿地和土壤深度线虫群落分布及影响因子, 发现研究区内三种沼泽湿地的共有优势类群为具脊垫刃属(*Coslenchus*), 演替过程中线虫数量增加, 表聚性明显。沼泽湿地类型和土壤深度对多样性特征有不同程度影响, 对营养结构中植物寄生线虫和食细菌线虫影响显著。影响土壤线虫群落的主要因素是土壤有机碳和全氮。影响土壤线虫群落的内部机制还有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 马驰. 东北地区湿地遥感监测与景观分析[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(2): 10-16.
- [2] 江姗, 赵光影, 臧淑英, 等. 小兴安岭不同土地利用方式下的土壤 DOC 化学光谱特性[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 234-238.
- [3] 牛振国, 张海英, 王显威, 等. 1978-2008 年中国湿地类型变化[J]. 科学通报, 2012, 57(16): 1400-1411.
- [4] 张武, 张雪萍. 大兴安岭不同冻土带沼泽和湿草甸土壤动物群落结构特征[J]. 湿地科学, 2013, 11(1): 145-150.
- [5] Wu, P.F., Zhang, H.Z., Cui, L.W., *et al.* (2018) Author Correction: Impacts of Alpine Wetland Degradation on the Composition, Diversity and Trophic Structure of Soil Nematodes on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Scientific Reports*, **8**, Article No. 5771. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23579-w>
- [6] Zhang, X., Dong, X. and Liang, W. (2010) Spatial Distribution of Soil Nematode Communities in Stable and Active Sand Dunes of Horqin Sandy Land. *Arid Land Research and Management*, **24**, 68-80. <https://doi.org/10.1080/15324980903439321>
- [7] 牟文雅, 贾艺凡, 陈小云, 等. 玉米秸秆还田对土壤线虫数量动态与群落结构的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 877-886.
- [8] Háněl, L. (2001) Succession of Soil Nematodes in Pine Forests on Coal-Mining Sands near Cottbus, Germany. *Applied Soil Ecology*, **16**, 23-34. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00101-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00101-3)
- [9] Viketoft, M., Bengtsson, J., Sohlenius, B., *et al.* (2009) Long-Term Effects of Plant Diversity and Composition on Soil Nematode Communities in Model Grasslands. *Ecology*, **90**, 90-99. <https://doi.org/10.1890/08-0382.1>
- [10] Otfinowski, R., Coffey, V. and Nykvist, R. (2023) Dominant Plants Mediate Effects of Grazing on Soil Nematode Traits in a Wet Meadow Grassland. *Applied Soil Ecology*, **191**, Article ID: 105047. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4367374>
- [11] 刘贝贝, 叶成龙, 虞丽, 等. 不同植被类型的滩涂湿地土壤线虫群落特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 3057-3064.
- [12] 陈慧丽. 互花米草入侵对长江口盐沼湿地线虫群落的影响及其机制[D]: [博士学位论文]. 上海: 复旦大学, 2008.
- [13] 李媛媛, 朱源山, 郭长城, 等. 津冀 3 个盐渍化沼泽湿地土壤团聚体有机碳的分布特征[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2019, 39(6): 51-61.
- [14] 程智超, 王文浩, 隋心, 等. 基于文献计量分析的湿地土壤微生物研究热点趋势[J]. 中国农学通报, 2020, 36(29): 145-152.
- [15] Chen, H., Li, B., Fang, C., *et al.* (2007) Exotic Plant Influences Soil Nematode Communities through Litter Input. *Soil Biology and Biochemistry*, **39**, 1782-1793. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.011>
- [16] 武海涛, 吕宪国, 姜明, 等. 三江平原典型湿地土壤动物群落结构及季节变化[J]. 湿地科学, 2008, 6(4): 459-465.
- [17] 杜永芬, 高抒, 等. 海岸带湿地自由生活海洋线虫的生态功能研究进展[J]. 科学通报, 2014, 59(31): 3043-3060.
- [18] 严菊菊. 土壤线虫群落对青藏高原东部高寒沼泽湿地干涸的响应机制研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2022.



- [19] 张晓珂, 梁文举, 李琪. 长白山森林土壤线虫[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [20] 殷秀琴, 王海霞, 周道玮. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征[J]. 生态学报, 2003(6): 1071-1078.
- [21] Burks, W.A. (1951) The Mathematical Theory of Communication. *The Philosophical Review*, **60**, 398-400. <https://doi.org/10.2307/2181879>
- [22] Pielou, E.C. (1975) Ecological Diversity. John Wiley, New York.
- [23] Ettema, C.H., Lowrance, R. and Coleman, D.C. (1999) Riparian Soil Response to Surface Nitrogen Input: Temporal Changes in Denitrification, Labile and Microbial C and N Pools, and Bacterial and Fungal Respiration. *Soil Biology and Biochemistry*, **31**, 1609-1624. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00071-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00071-1)
- [24] 陈玮. 大兴安岭多年冻土区不同植被类型下土壤线虫群落结构特征研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2023.
- [25] Biederman, L.A. and Boutton, T.W. (2009) Biodiversity and Trophic Structure of Soil Nematode Communities Are Altered Following Woody Plant Invasion of Grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, **41**, 1943-1950. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.06.019>
- [26] 张萌, 卢杰, 张新生, 等. 色季拉山林线典型植被下土壤生态化学计量特征[J]. 高原农业, 2022, 6(4): 332-341.
- [27] Shaw, A.E., Boot, M.C., Moore, C.J., *et al.* (2018) Long-Term Nitrogen Addition Shifts the Soil Nematode Community to Bacterivore-Dominated and Reduces Its Ecological Maturity in a Subalpine Forest. *Soil Biology and Biochemistry*, **130**, 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.12.007>
- [28] 张武, 张雪萍. 大兴安岭不同冻土类型环境中小型土壤动物群落结构特征[J]. 土壤通报, 2013, 44(6): 1449-1454.
- [29] Prommer, J., Walker, T.W.N., Wanek, W., *et al.* (2020) Increased Microbial Growth, Biomass, and Turnover Drive Soil Organic Carbon Accumulation at Higher Plant Diversity. *Global Change Biology*, **26**, 669-681. <https://doi.org/10.1111/gcb.14777>
- [30] Su, L.X., Bai, T.Y., Qin, X.W., *et al.* (2021) Organic Manure Induced Soil Food Web of Microbes and Nematodes Drive Soil Organic Matter under Jackfruit Planting. *Applied Soil Ecology*, **166**, Article ID: 103994. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103994>