

藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落的影响*

薛会英^{1,2} 胡锋^{1†} 罗大庆³

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏林芝 860000)

(3 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏林芝 860000)

摘要 2011 年 5 月—11 月, 对西藏北部高寒草甸 3 种典型植物群落下 0~30 cm 范围内不同深度土层的土壤线虫群落进行调查, 浅盆法收集土壤线虫, 应用个体密度、类群属数、多样性指数等特征值来分析高寒环境下土壤线虫群落的组成、分布特征与多样性。调查共分离得到 33 038 条土壤线虫, 隶属于 2 纲 6 目 51 科 93 属; 线虫个体密度平均为 847 条 100 g⁻¹ 干土; 表聚性明显。研究结果表明, 不同植物群落间的土壤线虫群落组成存在一定差异, 土壤线虫数量的大小顺序为委陵菜植物群落 < 藏北高草植物群落 < 高山高草植物群落, 土壤线虫数量差异显著 ($p < 0.05$); 土壤线虫数量随生长季变化发生明显波动, 返青期最多, 盛长期次之, 枯草期最低; 不同植物群落的优势属种类不同。生物多样性为委陵菜植物群落 > 高山高草植物群落 > 藏北高草植物群落, 这可能是放牧干扰强度不同, 以及植物群落影响下的土壤性质分异所导致的结果。总之, 不同植物群落下土壤线虫群落特征的分异初步显示出线虫指示环境因子影响土壤生态系统的潜力。

关键词 土壤线虫; 群落结构; 生物多样性; 西藏

中图分类号 S154.38 **文献标识码** A

土壤线虫是植物根际土壤中非常活跃的一类生物体^[1]。由于其与植物、土壤中的微生物及其他土壤动物关系密切, 不仅对维持土壤生态系统稳定、促进物质循环和能量流动具有重要作用, 而且是指示环境因子影响土壤生态系统的理想指示生物^[2-3]。近年来, 关于植物群落影响土壤线虫群落的研究受到重视^[4-6]。线虫等土壤生物被认为是植物群落演替的重要驱动力之一, 其生态功能影响着土壤生态系统正常生态效应的发挥^[7-9]。因此, 研究土壤线虫在西藏高原尤其是西藏草原的群落结构及与生态环境因子之间的关系, 可以揭示土壤线虫在草原生态系统中的地位和作用, 并为西藏草地土壤质量评价奠定理论基础。

藏北地区地处青藏高原腹地, 气候干寒, 是全球气候变化的敏感地带, 其草地面积约 34.2 × 10⁴ km²^[10], 是藏北地区面积最大、最重要的生态系统, 其间广泛分布的高寒草甸类草地具有典型的区域代表性。

本文研究了藏北高寒草甸不同植物群落下土壤线虫的群落组成、分布特征及多样性, 目的是了解高寒环境下植物群落对土壤线虫群落结构及生

物多样性的影响, 有助于进一步理解植物如何通过影响土壤生物来调控土壤生态系统过程, 为高寒草甸生态系统管理提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 样地概况

藏北高寒草原呈高原水平地带性分布 (海拔 4 300~5 200 m), 高原大陆性气候特征极为明显, 暖季短且温凉, 冷季长且寒冷, 年均气温 -2.8℃ ~ 1.6℃, 全年无绝对无霜期, 最冷月 (1 月)、最热月 (7 月) 平均气温分别为 -10℃ ~ -12℃ 和 7℃ ~ 12℃, ≥0℃ 年积温 800℃ ~ 1 100℃; 年降水量 100~300 mm, 年蒸发量 1 500~2 300 mm, 干燥度 6.7~20^[11]。

研究样区位于那曲地区那曲县德吉乡达嘎村, 地理位置 N31°31'38" ~ N31°32'02", E92°04'03" ~ E92°04'16", 海拔 4 534 m ~ 4 567 m。此区域年均气温 -0.9℃, 年降水量 400 mm 以上, 年蒸发量 1 811 mm, 年相对湿度 51%, 8 级以上大风日可达 92 d。牧草生长期 170 d 以上。土壤类型为高山草甸土, 季节

* 国家自然科学基金地区科学基金项目 (31260144) 资助

† 通讯作者, E-mail: fenghu@njau.edu.cn

作者简介: 薛会英 (1970—), 女, 副教授, 博士研究生, 主要从事土壤生态学研究和环境科学教学。E-mail: 472425717@qq.com

收稿日期: 2012-07-28; 收到修改稿日期: 2012-11-03

性冻土。地被植物主要优势种及亚优势种有藏北嵩草 (*Kobresia littledalei*)、高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*)、二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、钉柱委陵菜 (*Potentilla saundersiana*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、草地早熟禾 (*Poa pratensis*) 和紫羊茅 (*Festuca rubra*) 等。

按照植被主要建群种的不同,在研究区域选取有代表性的 3 种植物群落作为样区,分别是委陵菜 (*Potentilla*) 为主要建群种的样地 (Po, 以下简称为委陵菜群落)、高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 为主要建群种的样地 (Kp, 以下简称为高山嵩草群落) 及藏北嵩草 (*Kobresia littledalei*) 为主要建群种的样地 (Kl, 以下简称为藏北嵩草群落), 面积均为 50 m × 50 m, 样地基本情况见表 1。以高山嵩草为主要建群种的高寒草甸类草地是分布最广, 面积最大, 是最具有代表性的一类高寒草甸类型, 草层高度一般 3 ~ 5 cm, 盖度达 80% 以上。由于过牧、鼠害及气候变化等原因, 部分高山嵩草高寒草甸植被退化为以委陵菜为优势种的高寒草甸类型。藏北嵩草为寒中生多年生草本植物, 草甸草层高度 20 ~ 30 cm, 盖度可达 90% 以上。3 个样地处于同一地理单元, 地理、气候及地形条件相对一致, 为研究植物群落与土壤线虫群落之间的关系提供了较好的平台。

表 1 实验样地基本情况

Table 1 Basic conditions of the sample plots

样地 Sample plot	草地类型 Meadow type	海拔 Altitude (m)	草地生物量 Biomass (g m ⁻²)	盖度 Coverage (%)
Po	退化高寒草甸	4 560 ~ 4 563	149.5	55 ~ 60
Kp	高寒草甸	4 560 ~ 4 567	118.2	80 ~ 85
Kl	高寒沼泽化草甸	4 534 ~ 4 550	522.7	90 ~ 95

注: Po, 委陵菜 (*Potentilla*) 为主要建群种的样地; Kp, 高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 为主要建群种的样地; Kl, 藏北嵩草 (*Kobresia littledalei*) 为主要建群种的样地。下同 Note: Po denotes a sample plot with *Potentilla* as dominant species; Kp, a sample plot with *Kobresia pygmaea* as dominant species; and Kl, a sample plot with *Kobresia littledalei* as dominant species. The same below

1.2 样品采集与指标测定

于 2011 年草地返青期 (5 月)、盛长期 (8 月)、枯草期 (11 月) 对研究样地按照随机布点方式布设 4 个采样点进行采样; 在每个采样点去除地被物后, 沿土壤剖面采集 0 ~ 5、5 ~ 10、10 ~ 15、15 ~ 20、20 ~ 25、25 ~ 30 cm 土层原状土样约 2 kg, 装入聚乙烯袋中贴上标签后带回实验室。

土壤 pH 测定采用电位法; 土壤含水量测定采用

烘干法; 电导率测定采用电导率仪法; 土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法; 速效氮采用蒸馏法测定^[12]。

在 2011 年 8 月初, 植物旺盛生长期测定草地生物量。在每个样区选取 3 个面积为 1 m × 1 m 有代表性的样方, 采用目测法观察植物群落总盖度; 在每个样方里随机选取 3 个 0.25 m × 0.25 m 的小样方, 齐地面剪下所有的植株地上部分, 然后放入纸袋中封好, 称取鲜重, 带回实验室后在 85℃ 烘箱内烘干至恒重, 计算生物量 (精确至 0.01 g)。

1.3 土壤线虫的分离与鉴定

每个土壤样品分别称取 30.0 g, 用浅盘法室温分离 48 h^[13]; 用 0.045 mm 的两个套筛收集线虫, 用自来水将留在网筛上的线虫冲洗入烧杯, 按体积比 1:1 加入 10% 甲醛溶液固定。解剖镜下计数, 线虫个体数量转换成条 100 g⁻¹ 干土。制片。依据《DE NEMATODEN VAN NEDERLAND》^[14]、《Dorylaimida—Free-living, Predaceous and Plant-parasitic Nematodes》^[15]、《中国土壤动物检索图鉴》^[16]、《植物线虫分类学》^[17] 和《中国淡水和土壤线虫的研究》^[18], 利用体视显微镜按科、属对线虫进行分类。

1.4 数据分析

各类群数量优势度的划分: 个体数占总捕获量 10% 以上者为优势类群 (+++), 个体数占总捕获量 1% ~ 10% 为常见类群 (++) , 个体数占总捕获量 1% 以下为稀有类群 (+)。

土壤线虫群落结构分析采用以下指标:

Shannon-Weiner 多样性指数: $H' = - \sum_{i=1}^s n_i/N \times \ln(n_i/N)$, 式中, n_i 为第 i 类群的个体数, N 为群落所有类群的个体总数;

Pielou 均匀度指数: $J' = H'/\ln S$, 式中, H' 为 Shannon-wiener 指数, S 为类群数;

Simpson 优势度指数: $\lambda = \sum (n_i/N)^2$, 式中, n_i 为第 i 类群的个体数, N 为群落所有类群的个体总数;

Margalef 丰富度指数: $SR = (S - 1)/\ln N$, 式中, S 为类群数, N 为群落所有类群的个体总数。

用 SPSS13.0 软件进行 ANOVA 分析和相关分析。

2 结果

2.1 不同植物群落下土壤理化性质

藏北高寒草甸不同植物群落不同植物生长时

期的土壤理化性质见表 2。从表 2 可以看出,不同植物群落下土壤的含水量、有机质含量及速效氮含量均随土层深度的增加而递减;电导率则先是随土层深度的增加而递减,至 20 cm 左右随土层深度的增加而有不同程度的增加;pH 随土壤深度增加而增大。

ANOVA 分析结果表明,藏北嵩草群落土壤的含水量、电导率、有机质、速效氮含量显著高于其他

两种植物群落 ($p < 0.01$),而委陵菜群落和高山嵩草群落间无显著性差异 ($p > 0.05$);3 种植物群落间的土壤 pH 差异显著 ($p < 0.05$)。

返青期及枯草期采样时,3 种植物群落均有冻土层出现。

此外,在样区存在高原属兔,对 3 个样地高原属兔洞数分别计数,结果如下:高山嵩草群落 > 委陵菜群落 > 藏北嵩草群落。

表 2 三种植物群落类型高寒草甸主要土壤理化性质

Table 2 Major soil physical-chemical properties under different plant communities of alpine meadows

样地 Sample plot	含水量 Moisture content		pH	电导率 Electrical conductivity		有机质 Organic matter		速效氮 Avail N	
	(%)			$(\mu\text{S cm}^{-1})$		(g kg^{-1})		(mg kg^{-1})	
Po	10.07 ± 0.91c		7.09 ± 0.28ab	17.13 ± 8.07b		28.35 ± 9.94b		215.0 ± 66.4b	
Kp	12.38 ± 3.55b		6.89 ± 0.31b	21.64 ± 21.99b		30.68 ± 14.50b		235.0 ± 86.7b	
Kl	38.47 ± 1.76a		7.26 ± 0.58a	61.78 ± 50.04a		88.29 ± 50.02a		429.8 ± 209.5a	

注:平均值 ± 标准差。同一列中字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$, 邓肯法)。下同 Note: Means ± Standard deviation. Different letters in a row indicate significant differences occurred at 0.05 level (by Duncan method). The same below

2.2 不同植物群落下土壤线虫群落组成

3 个生长时期共分离获得土壤线虫 33 038 条,个体密度平均 847 条 100 g^{-1} 干土,分属于 2 纲 6 目 51 科 93 属,基本情况见表 3。

委陵菜群落 3 个时期共分离得到土壤线虫 74 属 7 800 条,个体密度平均 536 条 100 g^{-1} 干土,其中, *Tylenchorhynchus* 和 *Helicotylenchus* 为优势属,两属的个体数量占有已知个体总数的 24.92%; *Paratylenchus* 等 21 个属为常见属,占有已知个体总数的 62.05%; *Clarkus* 等 51 属为稀有属,占有已知属个体总数的 13.03%。

高山嵩草群落三个时期共分离得到土壤线虫 72 属 18 006 条,个体密度平均 814 条 100 g^{-1} 干土,其中,垫咽属和 *Tylenchorhynchus* 为优势属,两属的

个体数量占有已知个体总数的 24.72%; *Cephalobus* 等 20 个属为常见属,占有已知属个体总数的 61.09%; *Rhabdolaimus* 等 50 个属的个体总数仅占有已知个体总数的 14.19%。

藏北嵩草群落 3 个时期共分离得到土壤线虫 65 属 7 232 条,个体密度平均 735 条 100 g^{-1} 干土,其中, *Cervidellus*、*Filenchus* 为优势属,占有已知个体总数的 26.58%; *Acrobeloides* 等 18 个属为常见属,占有已知个体总数的 61.12%; *Teratocephalus* 等 48 属为稀有属,占有已知个体总数 12.31%。

3 种植物群落间的土壤线虫组成存在一定的差异,表明藏北高寒草甸土壤线虫的组成受到植物群落的影响。

表 3 高寒草甸不同植物群落下土壤线虫群落的组成及营养类群 c-p 值

Table 3 Compositions of nematode communities composition and c-p values of trophic groups in the three alpine meadows different in plant community in North Tibet

属名 Genus	相对多度 Relative Abundance									c-p 值 c-p value
	返青期 Reviving period			盛长期 Flourishing period			枯草期 Withering period			
	Po	Kp	Kl	Po	Kp	Kl	Po	Kp	Kl	
食真菌性线虫 (Fungivores, Fu)										
<i>Aphelenchus</i>	++	++	+	++	++		++	++	+	2
<i>Paraphelenchus</i>	+	+	—	+	+	++	+	+	++	2
<i>Aphelenchoides</i>	—	+	+	—	+	++	—	—	++	2
<i>Tylencholaimus</i>	++	+++	++	++	+++	++	++	++	++	4
<i>Ditylenchus</i>	++	++	++	++	++	++	+	++	++	2

续表

属名 Genus	相对多度 Relative Abundance									c-p 值 c-p value
	返青期 Reviving period			盛长期 Flourishing period			枯草期 Withering period			
	Po	Kp	Kl	Po	Kp	Kl	Po	Kp	Kl	
<i>Diphtherophora</i>	+	—	—	+	+	—	+	—	—	3
<i>Doryllium</i>	+	—	+	—	—	—	—	—	—	4
<i>Leptonchus</i>	—	+	—	—	—	—	—	—	—	4
植物寄生性线虫 (Plant-parasites, Pp)										
<i>Criconrmoides</i>	+	+	++	—	+	+	—	—	—	3
<i>Criconemella</i>						+	+	+	++	3
<i>Criconema</i>							+			3
<i>Hemicriconemoides</i>						+				3
<i>Hemicycliophora</i>							+			3
<i>Paratylenchus</i>	++			+++	+		++	+		2
<i>Tylenchus</i>	+	++	+	++	++	++		+		2
<i>Filenchus</i>	++	++	++	++	++	+++	++	++	+++	2
<i>Miculenchus</i>		++			++	+		++		2
<i>Coslenchus</i>					+	+		++	+	2
<i>Rhabdotylenchus</i>						+				2
<i>Aglenchus</i>	++		+	+	+	+				2
<i>Boleodorus</i>	++	+		++				+		2
<i>Basiria</i>	+	++	++	+	++	+				2
<i>Cephalenchus</i>	+	+	+	+	++	+			++	2
<i>Tylenchorhynchus</i>	++	+++	++	+++	+++	++	+++	++	+	2
<i>Tetylenchus</i>									+	2
<i>Neotylenchus</i>					+					2
<i>Heterodera</i>				+						3
<i>Geocnamus</i>		+	+							2
<i>Helicotylenchus</i>	+++	++	+	+++	+	+	++	++	+	3
<i>Merlinius</i>		++	+	+	++			++	++	2
<i>Pratylenchus</i>		+								3
<i>Pratylenchooides</i>		++	+++	+		++			++	3
<i>Malenchus</i>	+				+				+	2
<i>Tichodorus</i>	+	+		+			+	+		3
食细菌性线虫 (Bacterivores, Ba)										
<i>Acrobeloides</i>	+	++	++	+	++	+++	++	++	++	2
<i>Cephalobus</i>	++	++	++	++	+++	++	+++	++	++	2
<i>Acrobeles</i>	++	++	+	++	++	+	++	++	+	2
<i>Cervidellus</i>	++	++	+++	+	++	+++	++	++	+++	2
<i>Chiloplacus</i>	++	++	++	++	+	++	++	+	+	2
<i>Rhabditis</i>	++			+	++	+	++			1
<i>Mesorhabditis</i>			+			+	+	++		1
<i>Eucephalobus</i>		+	++		+	++	+	+	+	2
<i>Acrolobus</i>								+++		2
<i>Alaimus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		4
<i>Plectus</i>	+	+	+	++	+	++	++	++	+	2
<i>Anaplectus</i>	+	+	+	+	+	+	+	++		2
<i>Wilsonema</i>	+	+	+		+	++	+	++	+	2
<i>Tylocephalus</i>							+	+		2

2.3 不同植物群落下土壤线虫数量及分布

从图 1 可以看出,3 种植物群落土壤剖面中的土壤线虫数量总体上从地表向下随土层的加深而逐渐减少。

0~5 cm 土层,草地返青期和盛长期,藏北嵩草群落土壤线虫数量最高,高山嵩草群落次之,萎陵菜群落最低,藏北嵩草群落的线虫数量在枯草期则大幅减少,最大数量出现在了 5~10 cm 土层,萎陵菜群落在枯草期同样最大数量出现在了 5~10 cm 土层,而非表层。

不同植物群落及不同土层间的差异,用土壤线虫数量不同生长时期的平均值进行统计分析说明,结果表明,不同样地 0~5 cm 土层与其他 5 个土层间土壤线虫数量差异均极显著($p < 0.01$);除 0~5 cm 土层外的 5 个土层间土壤线虫数量无显著差异。萎陵菜群落与高山嵩草群落土壤线虫数量差

异显著($p < 0.05$);藏北嵩草群落与其他两种植被类型间差异不显著,0~15 cm、25~30 cm 土层的线虫数量 $K_p > K_l > P_o$,15~25 cm 土层则表现为 $K_l > K_p > P_o$ 。

上述结果说明,不同植物群落使土壤线虫数量发生了一定程度的分异,这种分异在萎陵菜群落与高山嵩草群落之间表现的尤为明显。

从图 1 可以看出,土壤线虫数量随植被生长季变化有明显的波动,3 种植物群落均在返青期的土壤线虫数量最高,其次是盛长期,枯草期的数量低于其他两个时期,返青期与盛长期的线虫数量差异显著($p < 0.05$),甚至达到极显著水平($p < 0.01$)。在不同生长期,0~5 cm 土层与其他 5 个土层间土壤线虫数量差异均极显著($p < 0.01$)。

由此可见,高寒草甸不同植物群落的土壤线虫数量及类群属数均受到生长季变化的影响。

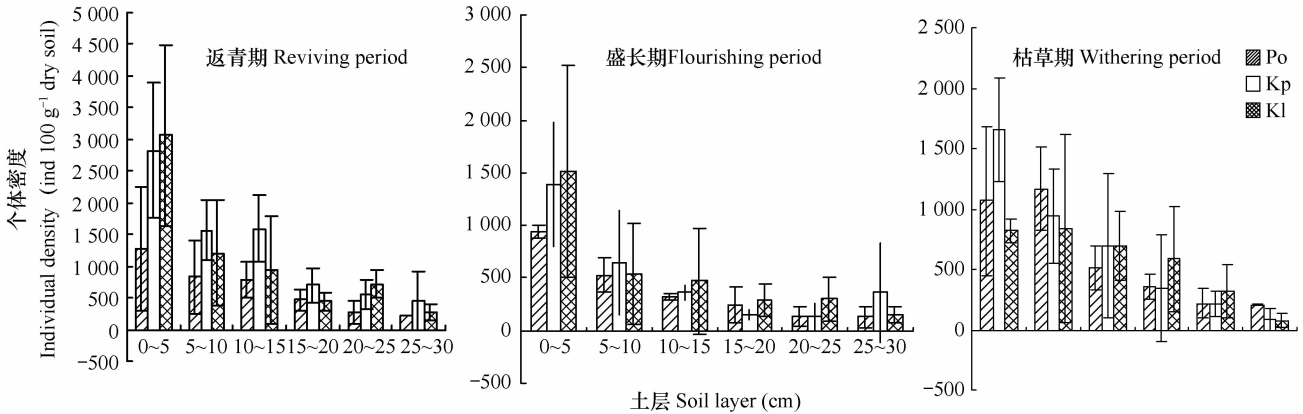


图 1 土壤线虫个体密度的季节变化和垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution and seasonal variation of individual density of soil nematodes

2.4 不同植物群落下土壤线虫群落的多样性

土壤线虫群落的多样性采用多样性 H' 指数、均匀度 J' 指数、优势度 λ 指数和丰富度 SR 指数来说明,见表 4。萎陵菜群落的土壤线虫生物多样性及丰富度均最高,高山嵩草群落次之,藏北嵩草群落最低,3 种植物群落的 J' 指数, $K_l > P_o > K_p$, ANOVA 分析显示,尽管 3 种植物群落之间的 H' 指数、 J' 指数差异不显著($p > 0.05$),但 SR 指数在不同植物群落间的差异依然显著($p < 0.05$),藏北嵩草群落的 SR 指数显著低于萎陵菜群落和高山嵩草群落。3 种植物群落的 λ 指数, $K_l > K_p > P_o$,藏北嵩草群落与其他两种植物群落间的差异显著($p < 0.05$)。

0~5 cm 土层与其他 5 个土层相比, H' 指数和

J' 指数均有显著性差异($p < 0.05$),且随着土层加深,差异性增大。25~30 cm 土层与 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 土层比较, SR 指数和 λ 指数均具显著性差异($p < 0.05$),与 15~20 cm、20~25 cm 土层之间不具有显著差异。

植被生长时期的变化对土壤线虫群落多样性也有一定影响。ANOVA 分析显示,萎陵菜群落盛长期的 4 个生物多样性指数与其他两个生长时期的差异均极显著($p < 0.01$),除 H' 指数在枯草期与盛长期差异显著外,藏北嵩草群落的 3 个生长期无差异,高山嵩草群落的 H' 指数、 J' 指数及 SR 指数的变化主要发生在枯草期, λ 指数在不同生长期间无显著性变化。

表 4 高寒草甸不同植物群落下土壤线虫群落的多样性指数值

Table 4 Diversity index of the soil nematode communities in the three alpine meadows different in plant community in North Tibet

样地 Sample plot	土层 Layers (cm)	H'	J'	λ	SR
Po	0 ~ 5	2.14 ± 0.07a	0.75 ± 0.05a	0.17 ± 0.04ab	3.70 ± 0.44a
	5 ~ 10	2.29 ± 0.29a	0.80 ± 0.08ab	0.15 ± 0.08a	4.17 ± 0.32a
	10 ~ 15	2.29 ± 0.28a	0.82 ± 0.03ab	0.14 ± 0.05a	3.94 ± 0.92a
	15 ~ 20	2.25 ± 0.50a	0.85 ± 0.01ab	0.14 ± 0.04a	4.24 ± 1.25a
	20 ~ 25	2.21 ± 0.42a	0.89 ± 0.03b	0.14 ± 0.07a	3.86 ± 0.93a
	25 ~ 30	1.89 ± 0.32a	0.88 ± 0.06b	0.17 ± 0.08ab	3.11 ± 1.13a
Kp	0 ~ 5	2.23 ± 0.10a	0.73 ± 0.03a	0.17 ± 0.02ab	4.07 ± 0.30a
	5 ~ 10	2.25 ± 0.07a	0.80 ± 0.04ac	0.14 ± 0.03a	3.69 ± 0.56a
	10 ~ 15	2.24 ± 0.04a	0.85 ± 0.03c	0.14 ± 0.01a	3.60 ± 1.12a
	15 ~ 20	2.22 ± 0.16a	0.88 ± 0.04c	0.16 ± 0.02ab	3.39 ± 0.58a
	20 ~ 25	2.03 ± 0.16ab	0.85 ± 0.12c	0.18 ± 0.09ab	3.44 ± 0.61a
	25 ~ 30	1.82 ± 0.046b	0.82 ± 0.07ac	0.25 ± 0.16ab	2.89 ± 0.21b
Kl	0 ~ 5	2.43 ± 0.05a	0.80 ± 0.02a	0.15 ± 0.01a	3.78 ± 0.60a
	5 ~ 10	2.06 ± 0.50a	0.82 ± 0.05a	0.21 ± 0.06ab	2.94 ± 0.96a
	10 ~ 15	2.10 ± 0.15a	0.83 ± 0.01a	0.17 ± 0.03ab	3.12 ± 0.24a
	15 ~ 20	1.87 ± 0.24a	0.84 ± 0.04a	0.24 ± 0.04ab	2.33 ± 0.25b
	20 ~ 25	1.95 ± 0.27a	0.83 ± 0.03a	0.23 ± 0.02ab	2.34 ± 0.20b
	25 ~ 30	1.72 ± 0.46b	0.89 ± 0.04c	0.27 ± 0.06b	2.11 ± 0.32b

2.5 土壤线虫数量与土壤理化性质的关系

土壤线虫数量与土壤理化性质间的相关性分析结果见表 5。结果表明,土壤线虫数量与土壤 pH 在不同生长时期均呈极显著负相关,而与电导率无明显相关性;盛长期,土壤线虫数量与土壤含水量、有机质含量、速效氮含量均呈极显著正相关;返青

期的线虫数量与土壤速效氮及有机质含量显著正相关;枯草期的线虫数量与土壤性质间的相关性较弱,仅与 pH 间有明显相关性。

分析结果表明,土壤线虫数量与土壤理化性质间的相关性随季节变化而变化。线虫数量与土壤含水量及电导率间均没有表现出预期的正相关关系。

表 5 土壤性质与土壤线虫数量间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between major soil properties and nematode number (ind 100 g⁻¹ dry soil)

生长期 Growing period	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	pH	含水量 Moisture content (%)	电导率 Electrical conductivity (μS cm ⁻¹)	速效氮 Avail N (g kg ⁻¹)
返青期 Reviving period	0.316 *	-0.484 **	0.082	0.117	0.376 **
盛长期 Flourishing period	0.396 **	-0.549 **	0.349 **	0.22	0.553 **
枯草期 Withering period	0.213	-0.409 **	0.149	0.053	0.108

* :显著性相关 ($p < 0.05$); ** :极显著相关 ($p < 0.01$) * :Significant correlation ($p < 0.05$); ** :Most significant correlation ($p < 0.01$)

3 讨论

本研究鉴定到的土壤线虫类群属数高于青海省海北高寒草甸草原 2 纲 6 目 47 属的报道结果^[8],也高于内蒙古中东部大针茅草原 50 属的报道结果^[9]。土壤线虫数量 23 ~ 4 109 条 100 g⁻¹干土,低于欧洲

草地土壤线虫的数量 (1 630 ~ 7 400 条 100 g⁻¹干土)^[19],但仍处于多数报道的范围。

高寒草甸不同植物群落间以高山嵩草群落的线虫个体密度最大,藏北嵩草群落次之,委陵菜群落最低。属数以委陵菜群落为最高,藏北嵩草群落最低。

根据已有的研究结果^[6,20],土壤有机物和微生物

境是影响土壤线虫群落的主要因素。委陵菜群落的土壤线虫数量在 3 种植物群落中最低,这与植被地上生物量较小,导致凋落物归还土壤的数量相对较少,以及地表风蚀带走土壤有机质和矿物盐类, pH 升高等有关。藏北嵩草群落由于沼泽化,其生境和委陵菜群落以及高山嵩草群落差异较大。尽管植被覆盖度很高,地上生物量、土壤含水量、电导率均明显高于其他两种高寒草甸,但无论是线虫类群属数、线虫数量还是多样性 H' 指数和丰富度 SR 指数,均低于另外两种类型的高寒草甸。一般认为,土壤线虫属于水生动物,只有当土壤中有充足的水分在土壤颗粒表面形成膜状水时,土壤线虫的幼虫才能通过土粒之间的孔隙自由移动。王振中等^[21]在进行湘中山地土壤线虫生态地理群研究时认为:土壤含水量为 23.45% 时,因土壤水分含量过高,而导致线虫的生长发育受到阻碍,数量减少。藏北嵩草群落土壤含水量平均值达到了 38.47%,土壤含水量高,会使土壤的透气性降低,土温也会受到一定的影响,这可能是藏北嵩草群落线虫类群属数、线虫数量低的原因之一。

温度、湿度、食物、种群内的竞争及捕食作用的变化是线虫群落组成及数量随季节变化的原因^[22]。本研究中线虫数量与土壤含水量以及电导率的相关性比预期的弱,这与张晓珂等^[23]对沙地土壤线虫群落的研究结果不一致,表明了土壤线虫群落与环境因子间关系的复杂性。

线虫类群属数和数量的表聚性与前人的研究结果一致,线虫主要生活在 0~10 cm 土层。非常值得关注的是,从返青期和枯草期坚硬的冻土中均分离出线虫活体,而且数量超出预期,而且线虫数量的垂直分布,除了枯草期委陵菜群落以及藏北嵩草群落的线虫数量最大值出现在冻土层的 5~10 cm 土层外,仍然具有明显的表聚性。在冻土这种极端的生态环境中,低温、寡营养、缺氧、缺水,加上冻融交替,对生物的生存极为不利,研究线虫在这种极端环境下的存活机制有助于揭示生命极限等生命科学领域的谜题。

委陵菜群落土壤 10~30 cm 线虫类群属数在返青期和枯草期均明显高于其他两种植物群落,这使得委陵菜群落的土壤线虫数量虽然在 3 种植物群落中最低,但其类群属数、多样性 H' 指数、均匀度 J' 指数和丰富度 SR 指数均高于非退化状态的高山嵩草群落和藏北嵩草群落。群落组成类群愈丰富,多样性越大;群落均匀度越大,则群落多样性越大^[24]。

群落多样性的提高会导致生态系统在功能上的优化并导致生态系统稳定性的提高,由此,我们推论,高山嵩草群落由于放牧及高原兔带来的干扰较大,其生态系统的稳定性降低,如果进一步超载过牧,势必会引起草地的退化,而委陵菜群落由于植被稀疏,植被的适牧性差,受到的放牧及鼠害干扰较少,其生态系统的稳定性增大,这有利于退化草地的自然恢复。

4 结 论

从藏北高寒草甸 3 种植物群落土壤样本中共鉴定到 93 属土壤线虫,个体密度平均为 847 条 100 g^{-1} 干土,类群及数量较为丰富。植物群落使土壤线虫类群属数及数量均发生了一定程度的分异,这种分异同时表现在各植物群落下土壤线虫群落的种类组成、分布,营养结构,以及随生长季的变化等方面。

由于植被所影响的土壤湿度、温度、养分、冻融过程等因素均直接或间接地影响和限制着土壤线虫的分布和群落结构,植被深刻地影响着土壤线虫群落的多样性,并由此反映着土壤生态系统的动态过程和演变,从这一点来看,研究土壤线虫群落与植被之间的关系有着重要意义。

参 考 文 献

- [1] Hoeksema J D, Lussenhop J, Teeri J A. Soil nematodes indicate food web responses to elevated atmospheric CO_2 . *Pedobiologia*, 2000, 44: 725—735
- [2] Wall D H, Moore J C. Interactions underground. *Bioscience*, 1999, 49: 109—117
- [3] Yeates G W, King K L. Soil nematodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tableland (NSW): Comparison of native and improved grasslands. *Pedobiologia*, 1997, 41(6): 526—536
- [4] Wardle D A, Bonner K I, Barker G M, et al. Plant removals in perennial grassland: vegetation dynamics, decomposers, soil biodiversity, and ecosystem properties. *Ecological Monographs*, 1999, 69: 535—568
- [5] Wardle D A, Yeates G W, Williamson W, et al. The responses of a three trophic level soil food web to the identity and diversity of plant species and functional groups. *Oikos*, 2003, 102: 45—56
- [6] 李辉信, 刘满强, 胡锋, 等. 不同植被恢复方式下红壤线虫数量特征. *生态学报*, 2002, 22(11): 1882—1889. Li H X, Liu M Q, Hu F, et al. Nematode abundance under different vegetations restored on degraded red soil (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1882—1889
- [7] de Deyn G B, Raaijmakers C E, Zoomer H R, et al. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Na-*

- ture, 2003, 422: 711—713
- [8] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000. Yin W Y. Soil animals of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000
- [9] 阮维斌, 吴建波, 张欣, 等. 内蒙古中东部大针茅群落土壤线虫多样性研究. 应用与环境生物学报, 2007, 13(3): 333—337. Ruan W B, Wu J B, Zhang X, et al. Soil nematode diversity in *Stipa grandis* community in the mid east of Inner Mongolia (In Chinese). Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2007, 13(3): 333—337
- [10] 魏兴琥, 杨萍, 谢忠奎, 等. 西藏那曲地区高山嵩草草地的分布与利用. 草地学报, 2003, 11(1): 67—74. Wei X H, Yang P, Xie Z K, et al. Distribution and utilization of *Kobresia pygmaea* type pastures in Naqu Prefecture of Tibet (In Chinese). Acta Agreatia Sinica, 2003, 11(1): 67—74
- [11] 刘雪松, 马玉才, 拉巴, 等. 那曲地区牧业气候区划. 北京: 气象出版社, 2003. Liu X S, Ma Y C, Laba, et al. Climatic regionalization of the animal husbandry of Naqu Region (In Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. Analytical methods for soil and agrochemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [13] 毛小芳, 李辉信, 陈小云, 等. 土壤线虫三种分离方法效率比较. 生态学杂志, 2004, 23(3): 149—151. Mao X F, Li H X, Chen X Y, et al. Extraction efficiency of soil nematodes by different methods (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(3): 149—151
- [14] Bongers T. De nematoden van Nederland (In Dutch). Utrecht: Stichting uitgeverij koninklijke nederlandse natuurhistorische vereniging, 1988
- [15] Jairajpuri M S, Ahmad W. Dorylaimida-freeliving, predaceous and plant-parasitic nematodes. New Delhi: Pauls Press, 1992
- [16] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998. Yin W Y. Pictorial keys to soil animals of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1998
- [17] 谢辉. 植物线虫分类学. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2005. Xie H. Taxonomy of plant nematodes (In Chinese). 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2005
- [18] 吴纪华. 中国淡水和土壤线虫的研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1999. Wu J H. Studies of freshwater and soil nematodes of China (In Chinese). Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1999
- [19] Ekschimit K, Bakonyi G, Bongers M, et al. Effects of the nematode fauna on microbial energy and matter transformation rates in European grassland soils. Plant and Soil, 1999, 212(1): 45—61
- [20] 江春, 黄菁华, 李修强, 等. 长期施用有机肥对红壤旱地土壤线虫群落的影响. 土壤学报, 2011, 48(6): 1235—1240. Jiang C, Huang J H, Li X Q, et al. Responses of soil nematode community to long-term application of organic manure in upland red soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(6): 1235—1240
- [21] 王振中, 张友梅, 伍惠生. 湘中山地土壤线虫(Nematoda)生态地理群的研究. 湖南师范大学自然科学学报, 1992, 15(1): 72—78. Wang Z Z, Zhang Y M, Wu H S. Study towards the eco-geographic community of mountain soil nematoda in the middle of Hunan (In Chinese). Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 1992, 15(1): 72—78
- [22] Freckman D W, Baldwin J G. Nematoda // Dindal D L. Soil biology guide. New York: John Wiley & Sons, 1990: 155—200
- [23] 张晓珂, 董锡文, 梁文举, 等. 科尔沁沙地流动沙丘土壤线虫群落组成与多样性研究. 土壤, 2009, 41(5): 749—756. Zhang X K, Dong X W, Liang W J, et al. Soil nematode community composition and diversity along an active sand dune in Horqin sandy land (In Chinese). Soils, 2009, 41(5): 749—756
- [24] 郑师章, 吴千红, 王海波, 等. 普通生态学. 上海: 复旦大学出版社, 1994. Zheng S Z, Wu Q H, Wang H B, et al. General ecology (In Chinese). Shanghai: Fudan University Press, 1994

EFFECT OF PLANT COMMUNITY ON SOIL NEMATODE COMMUNITY IN ALPINE MEADOWS IN NORTH TIBET

Xue Huiying^{1,2} Hu Feng^{1†} Luo Daqing³

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 College of Resources and Environment, Tibet College of Agriculture and Animal Husbandry, Linzhi, Tibet 860000, China)

(3 Institute of Plateau Ecology, Tibet College of Agriculture and Animal Husbandry, Linzhi, Tibet 860000, China)

Abstract During the period from May to November, 2011, a survey was carried out to investigate variation of soil nematode communities in different soil layers varying from 0 ~ 30 cm as affected by plant community in alpine meadows in North Tibet. The shallow dish method was adopted for nematode extraction. In order to analyze composition, distribution and diversity of nematode communities in an extremely cold condition, indices, such as individual density, genus number and diversity, were applied in the research. A total of 33 038 nematodes were extracted and sorted into 93 genus, 51 fami-

lies, 6 orders and 2 phylums. The average individual density of the nematodes was 847 indiv 100 g^{-1} dry soil. They were found mainly in the top soil. Differences in nematode community were found existing between meadows different in plant community. In terms of population of nematodes, the three alpine meadows followed an increasing order of *Potentilla* < *Kobresia littledalei* < *K. pygmaea*, and the differences are distinctive ($p < 0.05$); while in terms of genus number, an reverse order went like *Potentilla* > *Kobresia littledalei* > *K. pygmaea*. Quantity and genus number of nematodes were fluctuated sharply during the period. The plant reviving period was the highest and followed by the flourishing period and the withering period. Dominant species varied with plant community. In terms of biodiversity, the three meadows follow an order of *Potentilla* > *K. pygmaea* > *Kobresia littledalei*. This might be explained by disturbance of grazing, as well as soil properties as affected by different plant communities. Therefore, nematodes can be used as a potential indicator for analyzing impacts of environmental factors on soil ecosystems.

Key words Soil nematode; Community structure; Biodiversity; Tibet

(责任编辑: 卢 萍)