

刈割活动对松嫩草原碱化羊草草地土壤线虫群落的影响

吴东辉^{1,2*} 尹文英¹ 陈鹏³

1 (中国科学院上海植物生理生态研究所, 上海 200032)

2 (吉林大学地球科学学院, 长春 130061)

3 (东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

摘要: 应用类群数、个体密度、多样性指数和功能类群指数等多个群落参数, 研究刈割活动对松嫩草原碱化羊草草地土壤线虫群落特征的影响。本研究共捕获土壤线虫8,335条, 分别隶属于线虫动物门2纲7目23科40属。结果表明, 与围栏封育样地相比, 刈割活动样地中线虫个体密度和类群数显著减少, 群落多样性指数(H')、均匀度指数(J)和丰富度指数(SR)虽低于围栏封育样地, 但两类处理间差异不显著, 表明刈割活动尽管明显降低土壤线虫群落个体密度和类群数, 但对土壤线虫群落多样性的影响有限; 样地间 PPI/MI 值差异明显, 表明刈割活动在一定程度上确实改变了土壤线虫功能类群组成, 其中受影响的主要是非植物寄生线虫。

关键词: 土壤线虫, 刈割活动, 羊草, 松嫩草原

Effect of mowing practice on soil nematode community in alkalinized grasslands of *Leymus chinensis* in Songnen Plain

Donghui Wu^{1,2*}, Wenyong Yin¹, Peng Chen³

1 Institute of Plant Physiology & Ecology, Shanghai Institutes for Biological Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032

2 College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061

3 College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024

Abstract: We used generic number, individual density, biodiversity, and functional group index to analyze the effect of mowing practice on soil nematode community in alkalinized grasslands of *Leymus chinensis* in Songnen Plain, Northeast China. A total of 8,335 soil nematode individuals were collected, belonging to two classes, seven orders, 23 families, and 40 genera. The results indicated that the generic number and individual density of soil nematodes were significantly lower in the land under mowing practice (MP) treatment than that under fencing enclosure (FE) treatment, whereas the diversity index showed no significant difference between the two treatments. The results also suggested that PPI/MI was sensitive to mowing practice, which changed the composition of functional groups of soil nematodes, especially that of free-living soil nematodes.

Key words: soil nematodes, mowing practice, *Leymus chinensis*, Songnen Plain

刈割活动是畜牧业生产中一种较为常见的牧草收获方式, 也是影响草地生态系统特征的主要因子之一(李荣平和阎巧玲, 2006)。目前关于刈割活动对

草地生态系统的影响研究很多, 但多集中于植被生态特征方面, 例如植物的生活型、群落组成、多样性、生物量以及种群特征变化等(章家恩等, 2005;

收稿日期: 2006-12-01; 接受日期: 2007-01-21

基金项目: 国家自然科学基金(40601047)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-356)、吉林大学创新基金(4CX105)和中国博士后科学基金(20060390643)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wudhyang@yahoo.com.cn

鲍雅静等, 2005), 对包括线虫在内的土壤动物的生态变化关注较少。植物与土壤线虫的关系非常密切, 植物为土壤线虫提供食物和生活环境, 而土壤线虫也对植物的生长产生直接或间接的影响(Ingham *et al.*, 1985; Yeates & Bongers, 1999; 梁文举和闻大中, 2001)。近年来国外关于不同环境条件及管理措施下土壤线虫群落变化方面的研究受到重视(Fu *et al.*, 2000; Ferris *et al.*, 2004; Wasilewska, 2006), 我国也有相关工作的报道(Li *et al.*, 2002; Liang *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2005)。我们以在松嫩草原碱化羊草草地长期定位试验为基础, 以刈割活动为干扰因子, 以围栏封育为对照, 研究土壤线虫群落组成、结构和功能类群特征, 主要探讨牧草刈割活动对草地土壤线虫群落特征的影响, 旨在为提高草地管理质量和保护草地生物多样性以及促进草地土壤生态系统健康发展提供基础科学资料。

1 样地概况

试验区位于松嫩草原中南部腰井子草场, 地理位置123°31'E, 44°36'N。地貌属冲积平原, 地势平坦, 平均海拔141.13 m。气候属温带大陆性季风气候, 四季分明, 年均降水量418 mm, 且60%集中于夏季。土壤原为碱性很强的碱化草甸土, 部分地段现已退化为苏打草甸碱土。植被类型为以羊草(*Leymus chinensis*)为优势种的草甸草原。

2 研究方法

2.1 样地设置

试验样地设置在地势平坦地段, 原为围栏禁牧的割草场, 植物群落为羊草+杂类草群丛, 土壤为苏打草甸碱土, 采用刈割生产(mowing practice, MP)和围栏封育(fencing enclosure, FE)两种处理, 随机区组设计, 4次重复。样地连续处理3年, 刈割强度为每年进行一次, 8月进行, 留茬高度3–5 cm。至采样时止, 刈割活动样地中羊草高度约60 cm, 羊草+杂类草植株密度约1,000株/m², 地表几乎无凋落物; 围栏封育样地中羊草高度约70 cm, 羊草+杂类草植株密度约1,200株/m², 地表有明显的凋落物层。

2.2 样品采集与处理

2005年5月(春季)、8月(夏季)和10月(秋季)共3次对研究样地进行土壤线虫取样, 由于冬季严寒,

几乎无土壤动物活动, 所以冬季未采样。各样地取样深度20 cm, 沿土壤剖面划分为0–5 cm、5–10 cm、10–15 cm和15–20 cm四层, 共采集用于提取土壤线虫的土壤样品96份。淘洗–过筛–蔗糖离心法实验室分离提取土壤线虫(Liang *et al.*, 2005), 线虫标本主要依据《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英, 1998)鉴定, 一般鉴定到属, 并依据土壤湿度, 将土壤线虫个体数量折算成每100 g干土含有线虫的条数。

根据线虫头部形态学特征和取食生境将土壤线虫分为以下4个功能(营养)类群: 食细菌类群(Bacterivores)、食真菌类群(Fungivores)、植物寄生类群(Plant parasites)、捕食类群/杂食类群(Predators/Omnivores)(梁文举等, 2001)。

土壤化学性质主要依据《土壤农业化学分析方法》(鲁如坤, 1999)测定: 土壤有机质, 重铬酸钾氧化法; 全氮, 凯氏法; 阳离子交换量, 乙酸钠–火焰光度法; 交换性钠, 乙酸铵–氢氧化铵交换–火焰光度法; pH值, 电位法。土壤物理性质应用常规方法测定, 环刀法测定土壤容重, 烘干法测定土壤含水量。

2.3 数据统计与处理

各类群数量多度的划分 个体数占总捕获量10%以上者为优势类群(+++), 1–10%为常见类群(++), 1%以下为稀有类群(+)(梁文举等, 2001; 殷秀琴等, 2003)。

采用MI(maturity index)指数、PPI(plant parasite index)指数、 $\sum MI$ 指数和PPI/MI值表示各生境土壤线虫群落功能结构特征(Bongers, 1990; Yeates & Bongers, 1999)。其中前3个指数计算公式形式相同, 公式如下:

MI指数(PPI指数、 $\sum MI$ 指数):

$$MI(PPI, \sum MI) = \sum_{i=1}^n cp_i \times p_i \quad (1)$$

式中 cp_i 为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫第*i*类群colonizer-persister(cp)值; n 为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫类群数; P_i 为土壤线虫群落非植物寄生性(植物寄生性)线虫第*i*类群的个体数占群落总个体数的比例。

运用Shannon-Wiener指数、Pielou均匀度指数和Margalef丰富度指数相结合研究土壤线虫群落的多样性(梁文举等, 2001; Serigne *et al.*, 2001; Wu *et al.*,

2005)。公式如下:

Shannon-Wiener指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

P_i 为土壤线虫群落第*i*类群个体数占总个体数比例;
 S 为土壤线虫群落所有线虫类群数。

Pielou均匀度指数(J):

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

Margalef丰富度指数(SR):

$$SR = (S-1) / \ln N \quad (4)$$

N 为土壤线虫群落全部类群的个体总数。

数据处理运用Statistica统计分析软件完成。

3 结果

3.1 土壤理化性质特征

表1可见,刈割活动样地中土壤有机质、全氮和总孔隙度低于围栏封育样地,土壤碱化度和pH值高于围栏封育样地,其中碱化度样地间差别较大。各土壤层样地间比较结果表明,表层土壤理化性质差异最大。刈割活动对草地土壤理化性质的影响是负面的。

3.2 土壤线虫群落组成

本研究共捕获土壤线虫8,335条,分别属于线虫动物门2纲7目23科40属(表2)。其中刈割活动样地捕获土壤线虫34属3,141条,个体密度平均91.25条/100 g干土。真滑刃属(*Aphelenchus*)、小杆属(*Rhabditis*)和盘旋属(*Rotylenchus*)为优势类群,个体数占总捕获个体数量的46.58%;常见类群包括针属(*Paratylenchus*)等15属,个体数占总捕获个体数量

的49.06%;稀有类群包括环属(*Criconema*)等16属,占总捕获个体数量的4.36%。围栏封育样地捕获土壤线虫38属5,194条,个体密度平均142.25条/100 g干土。真滑刃属、绕线属(*Plectus*)和小杆属为优势类群,个体数占总捕获个体数量的47.57%;常见类群包括盘旋属等12属,个体数占总捕获个体数量的44.44%;稀有类群包括矮化属(*Tylenchorhynchus*)等共23属,占总捕获个体数量的7.99%。两类处理间土壤线虫群落组成差异主要体现为非植物寄生性线虫的个体密度的大小和类群的有无,刈割活动主要降低了非植物寄生性线虫的个体密度和类群数。

3.3 土壤线虫群落结构

3.3.1 垂直结构

两类样地中线虫个体密度和类群数表聚性十分明显,其中围栏封育样地中线虫个体密度表聚程度强于刈割活动样地,而类群数两类样地间表聚程度差异不大(图1)。围栏封育增加了草地地表凋落物的数量,使土壤环境变好可能是导致围栏封育样地土壤线虫个体密度表聚性强于刈割活动样地的主要原因。

3.3.2 水平结构

围栏封育样地中土壤线虫个体密度和类群数明显高于刈割活动样地,其中个体密度差异显著于类群数(表3,表4)。个体密度和类群数在季节间也存在不同,但方差分析显示差异不明显($P > 0.05$),表明季节变化的影响不大。同类样地不同季节和相同季节不同样地间存在显著差异($P < 0.05$),该差异主要来自不同样地的不同季节(例如围栏封育样地夏季

表1 刈割活动和围栏封育两种处理条件下土壤主要特征

Table 1 Major soil properties under mowing practice and fencing enclosure treatments

处理 Treatment	有机质(g/kg) Organic matter	全氮(g/kg) Total nitrogen	碱化度(%) Na ⁺ /CEC	pH	总孔隙度 Total porosity(%)
围栏封育 Fencing enclosure (FE)					
0-5 cm	1.92±0.03	0.125±0.013	25.247±3.15	10.05±0.12	67.304±5.89
5-10 cm	1.09±0.04	0.073±0.009	36.222±3.34	10.41±0.35	55.765±6.02
10-15 cm	1.03±0.03	0.065±0.006	46.024±4.12	10.38±0.21	48.946±4.73
15-20 cm	0.72±0.03	0.043±0.005	44.285±3.03	10.47±0.29	49.991±3.27
刈割活动 Mowing practice (MP)					
0-5 cm	1.77±0.06	0.101±0.011	39.757±4.15	10.31±0.42	66.055±7.11
5-10 cm	1.02±0.05	0.069±0.008	50.310±7.11	10.46±0.35	52.063±3.34
10-15 cm	0.70±0.02	0.041±0.005	51.404±4.68	10.48±0.33	46.173±6.19
15-20 cm	0.71±0.02	0.041±0.004	55.974±6.99	10.51±0.25	43.318±3.21

表2 碱化草地土壤线虫群落组成、功能类群与cp值

Table 2 Composition, functional groups and cp values of soil nematodes in alkalized grasslands

土壤线虫 Soil nematode	围栏封育 Fencing enclosure		刈割活动 Mowing practice		功能类群 Functional groups	cp值 cp value
	个体数 Individuals	多度 Abundance	个体数 Individuals	多度 Abundance		
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	1,186	+++	621	+++	Fu	2
绕线属 <i>Plectus</i>	708	+++	249	++	Ba	2
小杆属 <i>Rhabditis</i>	577	+++	479	+++	Ba	1
滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	395	++	255	++	Fu	2
短体属 <i>Pratylenchus</i>	394	++	186	++	Pa	3
盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	336	++	363	+++	Pa	3
散香属 <i>Boleodorus</i>	292	++	155	++	Pa	2
裸矛属 <i>Psilenchus</i>	170	++	72	++	Pa	2
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	127	++	128	++	Ba	2
膜皮属 <i>Diphtherophora</i>	124	++	47	++	Fu	3
孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	122	++	55	++	PO	5
板唇属 <i>Chiloplacus</i>	114	++	44	++	Ba	2
丽突属 <i>Acrobeles</i>	110	++	20	+	Ba	2
茎属 <i>Ditylenchus</i>	68	++	8	+	Fu	2
环属 <i>Criconema</i>	56	++	1	+	Pa	3
三等齿属 <i>Pelodera</i>	48	+	6	+	Ba	1
矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	45	+	99	++	Pa	3
垫刃属 <i>Tylenchus</i>	45	+	70	++	Pa	2
针属 <i>Paratylenchus</i>	38	+	41	++	Pa	2
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	31	+	47	++	Pa	3
异色矛属 <i>Achromadora</i>	31	+	1	+	PO	3
双胃属 <i>Diplogaster</i>	25	+	3	+	Ba	1
鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	22	+	9	+	Ba	2
剑属 <i>Xiphinema</i>	21	+	19	+	Pa	5
盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	20	+	—	—	Ba	1
似绕线属 <i>Anaplectus</i>	17	+	41	++	Ba	2
伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	15	+	52	++	Pa	2
伊龙属 <i>Ironus</i>	15	+	17	+	PO	5
基齿属 <i>Iotonchus</i>	11	+	19	+	PO	4
中矛线属 <i>Mesodorylaimus</i>	6	+	—	—	PO	5
矛线属 <i>Dorylaimus</i>	6	+	—	—	PO	4
矧齿属 <i>Mylonchulus</i>	5	+	—	—	PO	4
头叶属 <i>Cephalobus</i>	4	+	1	+	Ba	2
拟杯咽属 <i>Paracyatholaimus</i>	3	+	—	—	PO	3
色矛属 <i>Chromadorita</i>	3	+	—	—	PO	3
单齿属 <i>Mononchus</i>	2	+	16	+	PO	4
异皮属 <i>Heterodera</i>	1	+	8	+	Pa	3
畸头属 <i>Teratocephalus</i>	1	+	2	+	Ba	3
鞘属 <i>Hemicycliophora</i>	—	—	3	+	Pa	3
轮属 <i>Criconemoides</i>	—	—	4	+	Pa	3
合计 Total	5,194		3,141			

Ba: 食细菌类群; Fu: 食真菌类群; Pa: 植物寄生类群; PO: 捕食类群/杂食类群
Ba, Bacterivores; Fu, Fungivores; Pa, Plant parasites; PO, Predators/Omnivores

和刈割活动样地秋季间类群数差异较大)。上述结果表明, 刈割活动与围栏封育两类不同处理是造成样

地间土壤线虫个体密度和类群数差异的主要原因, 刈割活动显著减少了草地土壤线虫的个体密度和

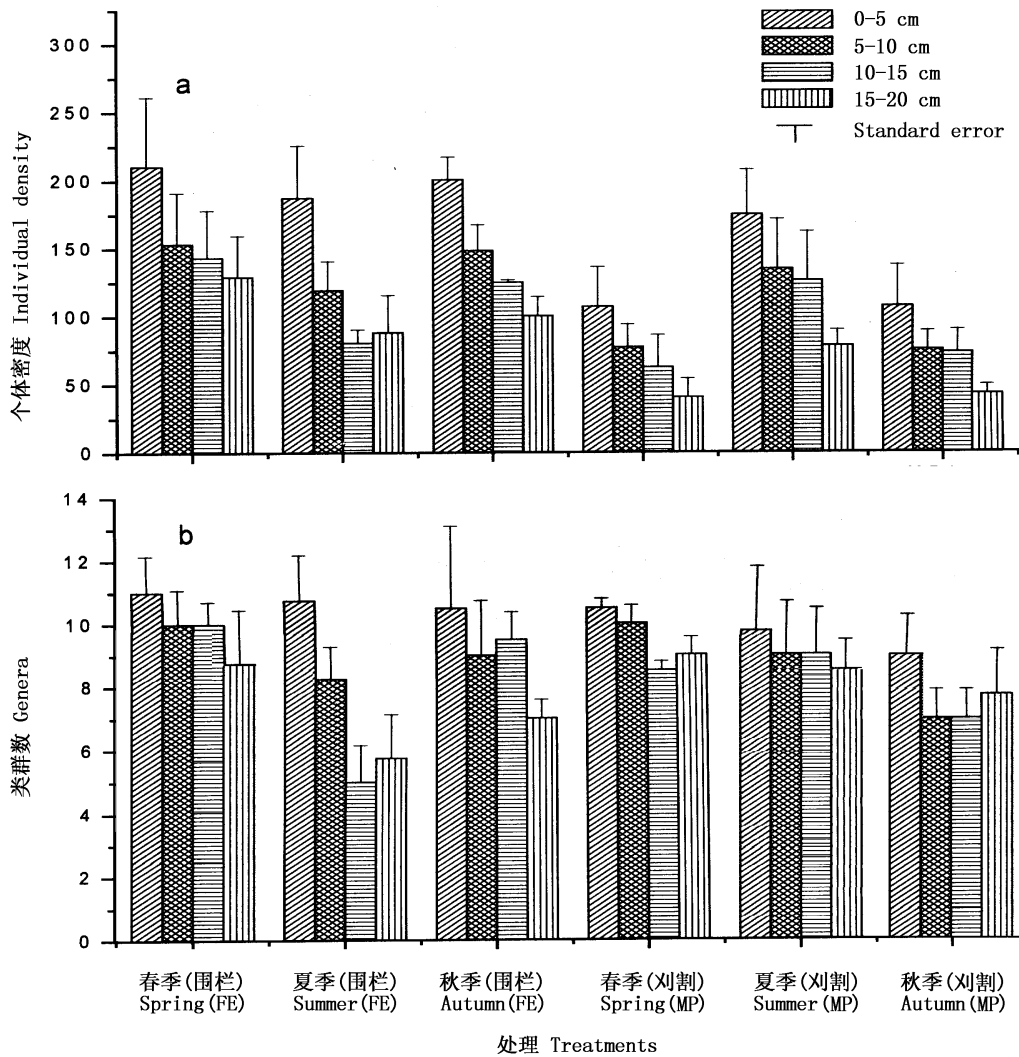


图1 松嫩草原碱化草地刈割活动和围栏封育样地中土壤线虫个体密度(条/100克干土)和类群数(属)在土壤中的垂直分布和季节变化

FE: 围栏封育; MP: 刈割活动

Fig. 1 Vertical distribution and seasonal change of individual density (inds./100 g dry soil) and groups (genera) of soil nematodes under mowing practice (MP) and fencing enclosure (FE) in alkalized grasslands of Songnen Plain

类群数。

3.3.3 群落多样性

围栏封育样地多样性指数(H')、均匀度指数(J)和丰富度指数(SR)均高于刈割活动样地(表4), 但方差分析显示样地间差异不显著($P > 0.05$)(表3)。季节间土壤线虫群落多样性比较, 多样性指数(H')为春季>夏季>秋季; 均匀度指数(J)为春季>夏季>秋季; 丰富度指数(SR), 夏季>春季>秋季。方差分析显示,

H' 指数季节间差异不明显($P > 0.05$), J 指数和 SR 指数季节间差异显著 ($P < 0.05$)。同类样地不同季节和相同季节不同样地间比较, 土壤线虫多样性指数(H')、均匀度指数(J)和丰富度指数(SR)均无显著差异。上述结果表明, 在本研究进行的3年中, 尽管刈割样地土壤线虫群落多样性有所降低, 但是每年一次的刈割活动造成的减低效果有限。

3.4 土壤线虫群落功能类群特征

表3 处理与季节变化对土壤线虫群落结构的影响

Table 3 Effects of treatment and season on the structure of soil nematode community

	df	类群数 No. of genus		个体密度 Density		多样性指数 Diversity index (<i>H'</i>)		均匀度指数 Evenness index (<i>J</i>)		丰富度指数 Richness index (<i>SR</i>)	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
		处理 Treatments	1	4.520	< 0.05	10.479	< 0.01	0.821	> 0.05	0.138	> 0.05
季节 Seasons	2	0.646	> 0.05	0.2279	> 0.05	1.684	> 0.05	3.661	< 0.05	4.124	< 0.05
交互作用 Interaction	2	3.629	< 0.05	3.819	< 0.05	0.104	> 0.05	0.146	> 0.05	0.184	> 0.05

表4 不同处理条件下土壤线虫群落结构

Table 4 Structure of soil nematode community under different treatments

因子 Factors	类群数 Genera	个体密度 Density	多样性指数(<i>H'</i>) Diversity index (<i>H'</i>)	均匀度指数 Evenness index (<i>J</i>)	丰富度指数 Richness index (<i>SR</i>)
围栏封育 Fencing enclosure	17.75±1.04 ^a	142.25±10.88 ^a	1.01±0.04 ^{ns}	0.81±0.02 ^{ns}	6.56±0.37 ^{ns}
刈割活动 Mowing practice	14.83±0.79 ^b	91.25±13.88 ^b	0.96±0.03 ^{ns}	0.80±0.02 ^{ns}	6.30±0.44 ^{ns}
春季 Spring	17.13±1.41 ^{ns}	118.00±21.74 ^{ns}	1.03±0.04 ^{ns}	0.84±0.01 ^a	6.25±0.46 ^{ab}
夏季 Summer	16.50±1.46 ^{ns}	123.25±14.41 ^{ns}	0.99±0.05 ^{ns}	0.79±0.02 ^b	7.43±0.45 ^a
秋季 Autumn	15.25±0.73 ^{ns}	109.00±16.74 ^{ns}	0.92±0.04 ^{ns}	0.78±0.02 ^b	5.60±0.37 ^b
围栏封育 春季 Spring	19.00±2.00 ^a	164.50±25.30 ^a	1.07±0.07 ^{ns}	0.84±0.02 ^{ns}	6.61±0.80 ^{ns}
Fencing enclosure 夏季 Summer	18.25±2.21 ^a	118.75±10.98 ^{ab}	1.00±0.07 ^{ns}	0.80±0.04 ^{ns}	7.46±0.27 ^{ns}
Fencing enclosure 秋季 Autumn	16.00±1.15 ^{ab}	143.50±11.84 ^a	0.94±0.06 ^{ns}	0.78±0.03 ^{ns}	5.61±0.49 ^{ns}
刈割活动 春季 Spring	15.25±1.70 ^{ab}	71.50±11.12 ^b	1.00±0.05 ^{ns}	0.85±0.02 ^{ns}	5.90±0.52 ^{ns}
Mowing practice 夏季 Summer	14.75±1.75 ^b	127.75±30.87 ^{ab}	0.98±0.05 ^{ns}	0.78±0.03 ^{ns}	7.39±0.92 ^{ns}
Mowing practice 秋季 Autumn	14.50±0.87 ^b	74.50±19.34 ^b	0.90±0.07 ^{ns}	0.78±0.02 ^{ns}	5.60±0.63 ^{ns}

小写字母表示差异显著性, 相同字母差异不显著, 不同字母差异显著($P < 0.05$, 邓肯法), ns表示同组内均无显著性差异

Small letters denote statistical significance, same letters indicate no significant differences, different letters indicate significant differences ($P < 0.05$ by Duncan method), ns indicates no significant difference occurred in the whole group.

表5 处理和季节变化对土壤线虫功能类群特征的影响

Table 5 Effects of treatment and season on functional groups of soil nematodes

	df	ΣMI		<i>MI</i>		<i>PPI</i>		<i>PPI/MI</i>	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
处理 Treatments	1	0.030	> 0.05	1.974	> 0.05	2.941	> 0.05	4.429	< 0.05
季节 Seasons	2	10.017	< 0.01	6.303	< 0.01	0.345	> 0.05	3.017	> 0.05
交互作用 Interaction	2	3.940	< 0.05	3.721	< 0.05	1.574	> 0.05	4.127	< 0.05

采用 ΣMI 指数、*MI*指数、*PPI*指数和*PPI/MI*值研究样地间土壤线虫群落功能结构的差异。功能(营养)类群划分和*cp*值确定见表2。围栏封育样地 ΣMI 指数和*MI*指数高于刈割活动样地; 而*PPI*指数和*PPI/MI*值, 则是刈割活动样地高于围栏封育样地。方差分析显示, ΣMI 指数、*MI*指数和*PPI*指数样地间差异不大($P > 0.05$), 只有*PPI/MI*值样地间差异明显($P < 0.05$)(表5和表6)。结果表明, 与其他功能类群指数相比, *PPI/MI*值能够敏感反映刈割活动对松嫩草原碱化羊草草地土壤线虫群落的干扰和影响。

季节间土壤线虫功能类群特征比较, ΣMI 指数

和*MI*指数, 夏季>春季>秋季; *PPI*指数, 春季>夏季>秋季; *PPI/MI*值, 春季>秋季>夏季。方差分析显示, ΣMI 指数和*MI*指数季节间差异显著($P < 0.01$), *PPI*指数和*PPI/MI*值季节间差异不明显($P > 0.05$)。同类样地不同季节和相同季节不同样地间比较, ΣMI 指数、*MI*指数和*PPI/MI*值差异明显($P < 0.05$), *PPI*指数差异不大($P > 0.05$)。处理间、季节间以及同类处理不同季节和相同季节不同处理间比较结果综合分析, 表明*PPI/MI*值的差异主要来源于草地处理方式, 而 ΣMI 指数和*MI*指数的差异则主要受季节因素影响。

表6 不同处理条件下土壤线虫功能类群特征

Table 6 Characteristics of functional groups of soil nematodes under different treatments

因子Factors	$\sum MI$	MI	PPI	PPI/MI	
围栏封育 Fencing enclosure	2.20±0.05 ^{ns}	2.04±0.06 ^{ns}	2.56±0.06 ^{ns}	1.27±0.05 ^b	
刈割活动 Mowing practice	2.19±0.06 ^{ns}	1.93±0.06 ^{ns}	2.69±0.04 ^{ns}	1.41±0.05 ^a	
春季 Spring	2.22±0.02 ^a	1.92±0.06 ^b	2.66±0.05 ^{ns}	1.40±0.07 ^{ns}	
夏季 Summer	2.33±0.07 ^a	2.17±0.09 ^a	2.62±0.10 ^{ns}	1.23±0.08 ^{ns}	
秋季 Autumn	2.02±0.03 ^b	1.86±0.01 ^b	2.59±0.01 ^{ns}	1.39±0.01 ^{ns}	
围栏封育 Fencing enclosure	春季 Spring	2.21±0.04 ^{ab}	2.01±0.04 ^{ab}	2.63±0.06 ^{ns}	1.31±0.03 ^{ab}
	夏季 Summer	2.31±0.12 ^a	2.22±0.16 ^a	2.47±0.18 ^{ns}	1.13±0.12 ^b
	秋季 Autumn	2.06±0.03 ^{bc}	1.89±0.02 ^b	2.58±0.01 ^{ns}	1.37±0.01 ^{ab}
刈割活动 Mowing practice	春季 Spring	2.23±0.03 ^{ab}	1.83±0.11 ^b	2.69±0.08 ^{ns}	1.49±0.12 ^a
	夏季 Summer	2.35±0.10 ^a	2.13±0.12 ^{ab}	2.77±0.04 ^{ns}	1.32±0.09 ^{ab}
	秋季 Autumn	1.98±0.03 ^c	1.83±0.00 ^b	2.59±0.01 ^{ns}	1.41±0.01 ^a

小写字母表示差异显著性, 相同字母差异不显著, 不同字母差异显著($P < 0.05$, 邓肯法), ns表示同组内均无显著性差异

Small letters denote statistical significance, same letters indicate no significant differences, different letters indicate significant differences($P < 0.05$ by Duncan method), ns indicates no significant difference occurred in the whole group.

4 讨论

刈割活动是牧业生产中一种较为常见的牧草收获方式。刈割活动对植物地上部分会产生直接损伤, 影响植株高度、密度和繁殖性状, 进而改变牧草生物量和群落结构, 并对植物地下部分根系生长和活力也造成一定影响, 同时刈割活动也通过影响植物地上和地下部分进而改变草地土壤理化环境(祝廷成, 2004)。历史上, 本研究区草地土壤是碱性较强的碱化草甸土(郭继勋和祝廷成, 1995; 殷秀琴等, 2003), 目前测试结果表明该区大部分地段已经退化为苏打草甸碱土。多年的刈割活动使碱化羊草草地的土壤理化性质不断恶化, 土壤碱化度升高, 土壤碱化程度加重, 同时伴随土壤贫瘠化。

土壤动物的生存受土壤环境和营养状况制约(郭继勋和祝廷成, 1995)。土壤环境恶化和营养状况贫瘠化可能会影响草地土壤线虫的生存状态。在本研究中, 刈割活动样地无论线虫个体密度还是类群数都显著低于围栏封育样地, 同时样地间线虫群落组成也存在较大差异, 显示刈割活动对碱化草地土壤线虫群落确实产生了明显的负面作用。但本研究结果也显示, 刈割活动样地和围栏封育样地间线虫群落多样性未表现出显著差异。多样性是群落生物组成结构的重要指标, 它能反映群落内物种的多少和生态系统食物网的复杂程度及稳定性, 并能反映各生境间的相似性及差异性(郑师章等, 1994)。本文多样性结果表明, 刈割活动尽管明显减低了草地土

壤线虫个体密度和类群数, 但是对群落食物网的复杂程度及其稳定性影响是有限的。本研究只连续进行了3年, 多样性的改变也可能因迟滞于个体密度和类群数而未被观察到。

土壤线虫常被看作是反映生态系统受到各种管理措施干扰的敏感性指示生物(Yeates & Bongers, 1999; Liang *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2005; Wasilewska, 2006)。功能类群指数是敏感指标之一。 MI 指数和 PPI 指数由Bongers(1990)提出, 用以反映土壤线虫群落功能结构特征。其分别用于指示非植物寄生性线虫和植物寄生性线虫 r -和 k -选择类群的比例, 显示线虫生活周期、繁殖力和抗干扰能力的强弱(陈立杰等, 2006)。后来Yeates又提出了 $\sum MI$ 指数(Yeates & Bongers, 1999)。本研究结果表明刈割生产活动并没有显著改变碱化羊草草地各类线虫 r -和 k -选择类群的比例。同时也表明, 上述三指数对刈割活动对该草地土壤线虫的干扰敏感性较差。

在 MI 指数、 PPI 指数和 $\sum MI$ 指数应用的基础上, Bongers等(1997)又提出了 PPI/MI 值, 他认为人为扰动会使土壤线虫群落 PPI/MI 值升高, 未受扰动的自然环境线虫 PPI/MI 值将低于扰动环境, PPI/MI 值可能更适合于反映来自外界环境的干扰特征(Bongers *et al.*, 1997)。依据本文研究结果, 围栏封育样地线虫 PPI/MI 值显著低于刈割样地, 与Bongers的上述推断相似, 表明刈割活动对土壤生态环境确实产生了较为明显的干扰, 能够改变松嫩草原碱化羊草草地土壤线虫功能类群组成。

参考文献

- Bao YJ (鲍雅静), Li ZH (李政海), Zhong YK (仲延凯), Yang C (杨持) (2005) Effects of mowing frequency on the energy standing crops of major populations in a *Leymus chinensis* steppe of Inner Mongolia. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), **22**, 153–162. (in Chinese with English abstract)
- Bongers T (1990) The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, **83**, 14–19.
- Bongers T, van der Meulen H, Korthals G (1997) Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*, **6**, 195–199.
- Chen LJ (陈立杰), Duan YX (段玉玺), Liang WJ (梁文举), Li YF (李永峰) (2006) Effects of aldicarb on community structure and biodiversity of soil nematodes in soybean field. *Soybean Science* (大豆科学), **25**, 164–169. (in Chinese with English abstract)
- Ferris H, Venette RC, Scow KM (2004) Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. *Applied Soil Ecology*, **25**, 19–35.
- Fu SL, Coleman DC, Hendrix PF, Crossley DA (2000) Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no-till regimes. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**, 1731–1741.
- Guo JX (郭继勋), Zhu TC (祝廷成) (1995) Characteristics of soil fauna in *Aneurolepidium chinense* grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **6**, 359–362. (in Chinese with English abstract)
- Ingham RE, Trofymow JA, Ingham ER, Coleman CD (1985) Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects of nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs*, **55**, 119–140.
- Li HX (李辉信), Liu MQ (刘满强), Hu F (胡锋), Chen XY (陈小云), He YQ (何圆球) (2002) Nematode abundance under different vegetations restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 1882–1889. (in Chinese with English abstract)
- Li RP (李荣平), Yan QL (阎巧玲) (2006) Effects of grazing and mowing on the meadow vegetation succession in Kerqin Steppe. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), **20**, 180–184. (in Chinese with English abstract)
- Liang WJ (梁文举), Zhang WM (张万民), Li WG (李维光), Duan YX (段玉玺) (2001) Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the black soil region. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 237–240. (in Chinese with English abstract)
- Liang WJ (梁文举), Wen DZ (闻大中) (2001) Soil biota and its role in soil ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12**, 137–140. (in Chinese with English abstract)
- Liang WJ, Li Q, Jiang Y, Neher DA (2005) Nematode faunal analysis in an aquic brown soil fertilized with slow-release urea, Northeast China. *Applied Soil Ecology*, **29**, 185–192.
- Lu RK (鲁如坤) (1999) *Soil and Agricultural Chemistry Analysis* (土壤农化分析). China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Serigne TK, Callistus KPO, Alain A (2001) Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. *Applied Soil Ecology*, **18**, 143–157.
- Wasilewska L (2006) Changes in the structure of the soil nematode community over long-term secondary grassland succession in drained fen peat. *Applied Soil Ecology*, **32**, 165–179.
- Wu JH, Fu CC, Lu F, Chen J (2005) Changes in free-living nematode community structure in relation to progressive land reclamation at an intertidal marsh. *Applied Soil Ecology*, **29**, 47–58.
- Yeates GW, Bongers T (1999) Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **74**, 113–135.
- Yin XQ (殷秀琴), Wang HX (王海霞), Zhou DW (周道玮) (2003) Characteristics of soil animals communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**, 1071–1078. (in Chinese with English abstract)
- Yin WY (尹文英) (1998) *Pictorial Keys to Soil Animals of China* (中国土壤动物检索图鉴), pp. 51–89, 437–475. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang JE (章家恩), Liu WG (刘文高), Chen JQ (陈景青), Shi YC (施耀才), Cai YF (蔡艳飞) (2005) Effects of different cutting intensities on above- and under-ground growth of *Stylosanthes guianensis*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**, 1740–1744. (in Chinese with English abstract)
- Zheng SZ (郑师章), Wu QH (吴千红), Wang HB (王海波) (1994) *General Ecology* (普通生态学). Fudan University Press, Shanghai. (in Chinese)
- Zhu TC (祝廷成) (2004) *Yang-Cao Biological Ecology* (羊草生物生态学), pp. 523–609. Jilin Science and Technology Press, Changchun. (in Chinese)