

松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤 螨类群落特征的差异*

吴东辉^{1,2**} 尹文英² 杨振明³

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061
2. 中国科学院上海植物生理生态研究所, 上海 200032
3. 吉林大学植物科学学院, 吉林 长春 130062

摘要 应用类群数、个体密度、多样性指数和 MI 指数等多个群落参数, 研究不同植被恢复方式下松嫩草原中度退化草地土壤螨类群落特征的差异。研究表明, 与过度放牧样地相比, 种植苜蓿和围栏封育样地的土壤环境相对优越, 它们拥有较高的土壤螨类类群数、个体密度和群落多样性以及中气门螨类 MI 指数。在土壤螨类群落结构所有参数中, 多样性指数 (H') 和中气门螨类 MI 指数, 种植苜蓿和围栏封育样地均明显高于过度放牧样地, 这些差异反映了种植苜蓿和围栏封育对中度退化草地土壤螨类的群落结构具有明显改善作用。然而研究结果也显示, 围栏封育样地土壤螨类群落多样性指数 (H') 和中气门螨类 MI 指数尽管明显高于过度放牧样地, 但是依然显著低于种植苜蓿样地, 表明选择种植苜蓿较围栏封育可能更利于松嫩草原中度退化草地土壤螨类群落的恢复与重建 [动物学报 53 (4): 607–615, 2007]。

关键词 土壤螨类 草地退化 植被恢复 松嫩草原

Difference in soil mite community characteristics among different vegetation restoration practices in the moderately degraded pasture of Songnen grassland*

WU Dong-Hui^{1,2**}, YIN Wen-Ying², YANG Zhen-Ming³

1. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, China
2. Institute of Plant Physiology & Ecology, Shanghai Institutes for Biological Sciences, CAS, Shanghai 200032, China
3. College of Plant Science, Jilin University, Changchun 130062, China

Abstract Data on the soil mites living under different vegetation reclamation conditions in the moderately degraded grasslands were collected in Songnen between May to October in 2005. Community parameters such as generic richness, abundance, diversity index, and MI index were described, and community structure and its seasonal changes were studied. The results showed that planting alfalfa, and fencing enclosures, substantially improved soil mite communities after five years reclamation. Soil mite diversity and MI index were also significantly higher after planting alfalfa than after fencing enclosures. The results suggested that planting alfalfa may more favourably restore soil mite communities than fencing enclosures in the moderately degraded grasslands of Songnen [*Acta Zoologica Sinica* 53 (4): 607–615, 2007].

Key words Soil mites, Degraded grasslands, Vegetation reclamation, Songnen grasslands

2007-02-13 收稿, 2007-04-25 接受

* 国家自然科学基金项目 (No.40601047), 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (No.KZCX3-SW-356), 吉林大学创新基金项目 (No.4CX105), 中国博士后科学基金项目 (No.20060390643) [This research was funded by the grants from the National Natural Sciences Foundation of China (No.40601047), Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (No.KZCX3-SW-356), Innovation Program of Jilin University (No.4CX105), and China Postdoctoral Science Foundation (No.20060390643)]

** 通讯作者 (Corresponding author). E-mail: wudhyang@yahoo.com.cn

近年来,国内外关于不同环境条件及管理措施下土壤螨类群落变化的研究受到重视(Hülsmann and Wolters, 1998; Jennifer et al., 2001; Peachey et al., 2002; 郑长英等, 2002; Kinnear and Tongway, 2004; 谢桂林等, 2004; 吴东辉等, 2005; Bedano et al., 2006)。松嫩草原位于欧亚草原带的最东端,主要分布于我国吉林省西部、黑龙江省西部和内蒙古兴安盟。该草原区原为土壤肥沃、生物生产力较高的重要畜牧业生产基地,长期以来,由于超载过牧和开荒等人为活动影响,草原大面积退化,已成为我国典型的生态脆弱带(刘兴土, 2001)。

有关退化草地生态系统恢复与重建的研究一直受到广泛关注,但许多学者多致力于植被恢复和土壤理化性质改良两大方面(宋长春等, 2003; 祝廷成, 2004),而与螨类等土壤动物相关的研究涉及不多(吴东辉等, 2004; 吴东辉等, 2006)。土壤螨类是土壤生态系统的重要功能组分,对其研究不仅有助于揭示土壤生态系统的结构,还可以提供有关土壤生态环境的独特信息(Ruf et al., 2003; Parisi et al., 2005)。

本文以松嫩草原退化草地植被恢复长期定位试验为基础,着重研究不同植被恢复方式下中度退化草地土壤螨类群落特征差异,主要目的是了解不同植被恢复方式对中度退化草地螨类群落特征的影响,探讨土壤螨类对不同植被恢复方式的响应特点,旨在为保护松嫩草原土壤螨类多样性和合理利用土壤动物资源,提高中度退化草地生态系统恢复与重建质量,促进土壤生态系统健康发展提供科学依据。

1 研究方法

1.1 样地选择与设置

试验区位于松嫩草原中南部张江窝棚草场,行政隶属于吉林省长岭县,地理位置东经 123°16', 北纬 44°23'。该草场气候属温带大陆性季风气候,四季分明,年平均气温 5.2℃左右,年平均降水量 430 mm 左右,且多集中于夏季。地貌属低平原,土壤为碱性较强的碱化草甸土。植被类型为以羊草(*Leymus chinensis*)为优势种的草甸草原,但由于长期过牧,植被退化为以虎尾草(*Chloris virgata*)为优势种的草地,植被退化等级为中度。

试验样地设置在试验区坡降为 1/6 000 的平坦地段,采用围栏自然封育和人工种植紫花苜蓿(*Medicago sativa*)等 2 种处理,随机区组设计, 4

个重复,同时设置过度放牧处理为对照。自 2001 年始,样地连续处理 5 年,每年 8 月对围栏封育样地和种植苜蓿样地进行刈割。至采样时止,样地恢复过程中植物群落面貌发生了显著变化,围栏封育样地已自然演替为羊草+虎尾草植物群落,种植苜蓿样地采用人工干预(整地和施肥),苜蓿长势良好,过度放牧样地则由虎尾草为优势种的植物群落进一步退化,样地有较多碱蓬出现。

1.2 样品采集与处理

2005 年 5 月初(春季)、7 月末(夏季)和 10 月初(秋季)共 3 次对研究样地进行土壤螨类取样,其中冬季由于严寒,土壤中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,3 类处理样地 3 次共采集用于分离土壤螨类的土壤样品 144 份。Tullgren 法实验室分离收取螨类,螨类标本主要依据尹文英《中国土壤动物检索图鉴》鉴定(尹文英, 1998),一般鉴定到属,同时统计个体数量。土壤化学性质主要依据鲁如坤(1999):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,土壤孔隙度由容重换算。

1.3 数据分析与处理

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(+)(殷秀琴等, 2003)。

群落多样性分析 运用 H' 指数与 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数相结合说明土壤动物群落的多样性(Jennifer et al., 2001)。公式如下:

(1) Shannon-Wiener 指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

P_i 为土壤螨群落第 i 类群个体数占总个体数的比例; s 为土壤螨群落中所有螨类群数。

(2) Margalef 丰富度(SR): $SR = (S - 1) / \ln N$

N 为土壤螨类群落全部类群的个体总数。

(3) Pielou 均匀度(J): $J = H' / \ln S$

中气门亚目(Mesostigmata)是重要的捕食性螨类,本文采用成熟指数(Maturity index, MI)表达各生境中气门亚目土壤螨类群落结构特征,通过计

算中气门亚目 K-选择类群在土壤螨类群落中的类群数权重获得成熟指数 (Ruf, 1998)。公式如下:

$$(4) MI = \frac{\sum_{i=1}^s K_i}{\sum_{i=1}^s K_i + \sum_{i=1}^s r_i}$$

s 为土壤螨群落中气门亚目螨类属数, K_i 为第 i 属所在科的 K 值, r_i 为第 i 属所在科的 r 值。数据统计处理方差分析运用 Statistica 统计分析软件完成。

2 结果

2.1 各样地土壤理化性质分析

由表 1 可见, 各样地土壤有机质、全氮和总孔隙度随土层深度的增加呈现递减趋势, 而碱化度、

pH 值和容重则随土层深度的增加而升高。样地间比较, 过度放牧样地土壤理化性质最差, 有机质、全氮和总孔隙度均为最低, 而碱化度、pH 值和容重均为最高, 其中在剖面下层还出现了明显的碱化层。围栏封育和种植苜蓿两类处理样地间相比, 种植苜蓿样地土壤总孔隙度更高, 有机质在土壤剖面土层间分布更为均匀, 围栏封育样地碱化度和 pH 值在土壤剖面各土层则小于种植苜蓿样地。上述结果表明, 植被恢复方式影响中度退化草地土壤理化性质, 与过度放牧相比, 围栏封育和种植苜蓿都能改善轻度退化草地土壤理化环境, 但是围栏封育和种植苜蓿两类处理间也存在一定的不同。

表 1 不同植被恢复条件下土壤主要理化性质测定

Table 1 Chief soil properties under different vegetation restoration practices

	有机质 (g/kg) Organic matter	全氮 (g/kg) Total Nitrogen	容重 (g/cm ³) Volume weight	总孔隙度 (%) Total porosity	碱化度 (%) Na+ /CEC	pH 值 pH value	
FE	0 cm - 5 cm	3.59 ± 0.08	0.24 ± 0.01	1.11 ± 0.09	58.18 ± 9.54	0.38 ± 0.01	8.11 ± 0.31
	5 cm - 10 cm	2.48 ± 0.12	0.15 ± 0.02	1.25 ± 0.07	52.93 ± 8.20	0.43 ± 0.02	8.13 ± 0.26
	10 cm - 15 cm	2.25 ± 0.14	0.15 ± 0.02	1.34 ± 0.07	49.63 ± 8.31	0.59 ± 0.04	8.21 ± 0.27
	15 cm - 20 cm	1.85 ± 0.09	0.12 ± 0.01	1.34 ± 0.07	49.62 ± 8.34	0.77 ± 0.05	8.45 ± 0.21
PA	0 cm - 5 cm	3.08 ± 0.07	0.19 ± 0.01	0.95 ± 0.04	64.31 ± 5.21	0.61 ± 0.05	8.15 ± 0.37
	5 cm - 10 cm	2.29 ± 0.11	0.16 ± 0.02	1.06 ± 0.04	60.08 ± 5.11	0.91 ± 0.14	8.18 ± 0.16
	10 cm - 15 cm	2.20 ± 0.06	0.14 ± 0.01	1.07 ± 0.05	59.58 ± 6.65	0.96 ± 0.21	8.19 ± 0.19
	15 cm - 20 cm	2.13 ± 0.07	0.13 ± 0.01	1.22 ± 0.02	54.11 ± 3.11	1.25 ± 0.11	8.26 ± 0.11
OG	0 cm - 5 cm	1.54 ± 0.15	0.09 ± 0.03	1.31 ± 0.11	50.56 ± 12.10	8.70 ± 1.43	9.17 ± 0.33
	5 cm - 10 cm	1.28 ± 0.11	0.07 ± 0.02	1.40 ± 0.09	47.05 ± 9.23	16.38 ± 1.22	10.08 ± 0.35
	10 cm - 15 cm	1.19 ± 0.08	0.06 ± 0.01	1.45 ± 0.08	45.47 ± 9.11	29.13 ± 2.411	0.27 ± 0.41
	15 cm - 20 cm	1.09 ± 0.11	0.06 ± 0.02	1.45 ± 0.09	45.23 ± 9.45	32.09 ± 2.03	10.32 ± 0.38

FE: 围栏封育; PA: 种植苜蓿; OG: 过度放牧。下同。

FE: Fencing enclosure; PA: Planting alfalfa; OG: Over grazing. The same below.

2.2 土壤螨类群落组成

本项研究共捕获土壤螨类 2 718 只, 个体密度平均 7 550 只/m², 分别隶属于蛛形纲 3 亚目 56 属 (表 2)。其中隐气门亚目 (Cryptostigmata) 24 属 1 429 只, 前气门亚目 (Prostigmata) 16 属 563 只, 中气门亚目 16 属 726 只 (表 1), 无气门亚目 (Astigmata) 数量和种类太少, 未统计在上述结果中。

围栏封育样地共捕获土壤螨类 41 属 769 只, 其中隐气门亚目 16 属 280 只, 前气门亚目 12 属 273 只, 中气门亚目 13 属 216 只; 优势类群为吸螨属 (*Bdella*), 占围栏封育样地总捕获个体数

12.35%; 常见类群包括下盾螨属 (*Hypoaspis*) 等 25 属, 共占围栏封育样地总捕获个体数 82.19%; 稀有类群 15 属, 共占围栏封育样地总捕获个体数 5.46%。

种植苜蓿样地共捕获土壤螨类 50 属 1 293 只, 其中隐气门亚目 23 属 712 只, 前气门亚目 13 属 188 只, 中气门亚目 14 属 293 只; 优势类群为下盾螨属 (*Hypoaspis*), 占种植苜蓿样地总捕获个体数 11.45%; 常见类群包括奥甲螨属 (*Oppia*) 等 24 属, 共占种植苜蓿样地总捕获个体数 79.12%; 稀有类群 25 属, 共占种植苜蓿样地总捕获个体数 9.44%。

过度放牧样地共捕获土壤螨类 35 属 656 只，其中隐气门亚目 17 属 437 只，前气门亚目 12 属 102 只，中气门亚目 6 属 117 只；优势类群为囊螨属 (*Asca*) 等 4 属，占过度放牧样地总捕获个体数

47.87%；常见类群包括下盾螨属 (*Hypoaspis*) 等 14 属，共占过度放牧样地总捕获个体数 44.36%；稀有类群 17 属，共占过度放牧样地总捕获个体数 7.77%。

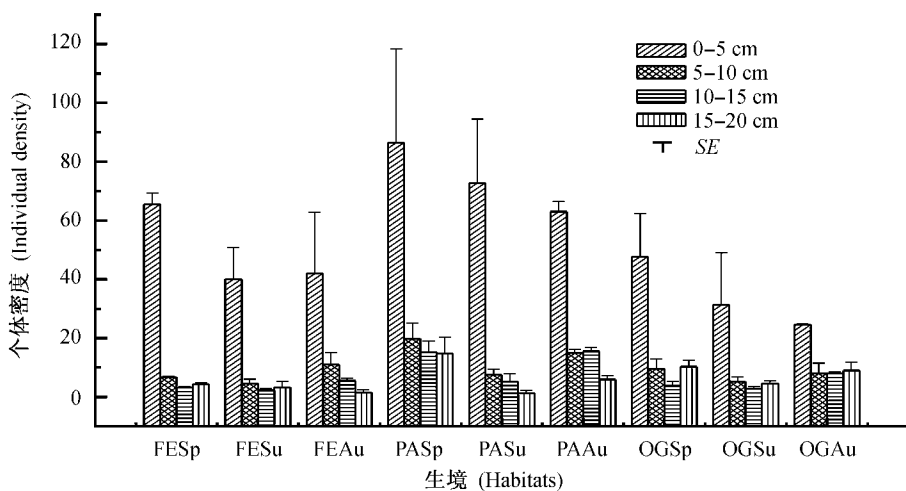
表 2 中度退化草地土壤螨类群落类群、数量统计

Table 2 Composition of soil mite communities in the moderate degraded grasslands of Songnen

土壤螨类 (属) Soil mites (genus)	FE		PA		OG	
	个体数	优势度	个体数	优势度	个体数	优势度
	Individuals	Dominance	Individuals	Dominance	Individuals	Dominance
下盾螨属 <i>Hypoaspis</i>	62	++	148	+++	29	++
下盾甲螨属 <i>Hypovertex</i>	34	++	114	++	83	+++
木单翼甲螨属 <i>Xylobates</i>	29	++	86	++	74	+++
奥甲螨属 <i>Oppia</i>	25	++	85	++	27	++
小奥甲螨属 <i>Oppiella</i>	53	++	83	++	3	+
缰板颚甲螨属 <i>Chamobates</i>	8	++	77	++	53	++
美绥螨属 <i>Ameroseius</i>	44	++	67	++	8	++
丽甲螨属 <i>Liacarus</i>	39	++	57	++	80	+++
庭甲螨属 <i>Domatorina</i>	20	++	48	++	5	++
长须螨属 <i>Stigmaeus</i>	19	++	45	++	17	++
吸螨属 <i>Bdella</i>	95	+++	44	++	28	++
囊螨属 <i>Asca</i>	18	++	38	++	77	+++
盲蛛螨科 <i>Caeculidae</i>	32	++	28	++	16	++
若甲螨属 <i>Oribatula</i>	3	+	27	++	19	++
小黑螨属 <i>Caligonella</i>	76	++	26	++	6	+
盾螨属 <i>Scutaracus</i>	11	++	25	++	1	+
穴螨属 <i>Zercon</i>	4	+	23	++		
步甲螨属 <i>Carabodes</i>	7	+	22	++	7	++
全盾螨属 <i>Holaspulus</i>	8	++	24	++	1	+
土厉螨属 <i>Oloaelaps</i>	14	++	22	++	1	+
大翼甲螨属 <i>Galumna</i>			20	++	4	+
小革螨属 <i>Gamasellus</i>	25	++	17	++		
原大翼甲螨属 <i>Protokalumna</i>	14	++	16	++	2	+
尾足螨科 <i>Uropodidae</i>	2	+	14	++		
微奥甲螨属 <i>Microppia</i>	4	+	12	+	4	+
莓螨科 <i>Rhagidiidae</i>	3	+	11	+	12	++
孔翼甲螨属 <i>Porogalumnella</i>			15	++	11	++
珠足甲螨属 <i>Belba</i>	28	++	9	+	20	++
尖棱甲螨属 <i>Ceratozetes</i>			8	+		
跳甲螨属 <i>Zetorchestidae</i>	1	+	8	+		
布伦螨属 <i>Brennandania</i>	8	++	7	+	1	+
微三甲螨属 <i>Microtritia</i>			6	+		
菌甲螨属 <i>Scheloribates</i>			6	+		
厚绥螨属 <i>Pachyseius</i>			6	+		
异小黑螨属 <i>Xenocaligonellidus</i>			5	+		

续表 (Continued)

土壤螨类 (属) Soil mites (genus)	FE		PA		OG	
	个体数	优势度	个体数	优势度	个体数	优势度
	Individuals	Dominance	Individuals	Dominance	Individuals	Dominance
携卵螨科 Labidostommidae			5	+	3	+
肉食螨属 <i>Cheyletus</i>	19	++	5	+	6	+
厚厉螨属 <i>Pachylaelaps</i>	1	+	5	+		
沙甲螨属 <i>Eremulus</i>	1	+	4	+	1	+
小真古螨科 Eupalopsellidae			4	+		
绒螨科 Trombididae	8	++	4	+		
新肋甲螨属 <i>Neoribates</i>			3	+		
巨须螨属 <i>Cunaxa</i>			2	+	4	+
阿斯甲螨属 <i>Astegistes</i>			2	+	7	++
叉肋甲螨属 <i>Furcoribula</i>			2	+		
盖头甲螨属 <i>Tectocepheus</i>	2	+	2	+	37	++
大赤螨科 Anystidae	4	+	2	+	1	+
前小派盾螨属 <i>Proparholaspulus</i>	8	++	2	+		
腮螨属 <i>Rhodacarus</i>			1	+		
寄螨科 Parasitidae			1	+		
裂头甲螨属 <i>Fissicephus</i>	12	++				
隐鄂螨属 <i>Cryptognathus</i>	4	+			4	+
革伊螨属 <i>Gamasiphis</i>	18	++				
奇矮螨属 <i>Allopygmephorus</i>	4	+			4	+
新派盾螨属 <i>Neparholaspis</i>	1	+				
叶爪螨科 Penthaleidae	1	+				
合计 Total	769		1 293		656	

图 1 不同植被恢复方式下土壤螨类个体密度 (100 只/m²) 在土壤中的垂直分布和季节变化

Sp: 春季; Su: Summer; Au: 秋季; SE: 标准误差。下同。

Fig.1 Vertical distribution and seasonal change of individual density (100 inds/m²) of soil mites under different vegetation reclamation practices

Sp: Spring; Su: Summer; Au: Autumn; SE: Standard error. The same below.

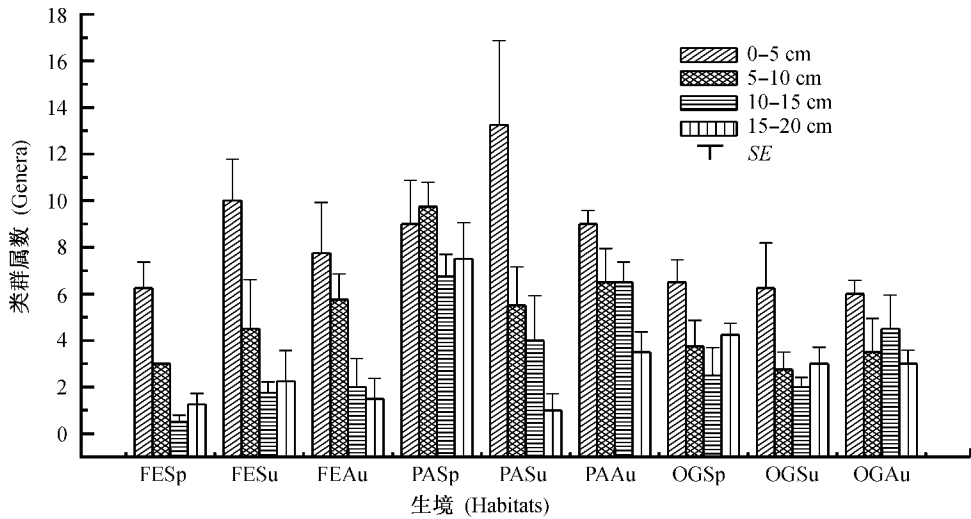


图2 不同植被恢复方式下土壤螨类类群数(属)在土壤中的垂直分布和季节变化

Fig.2 Vertical distribution and seasonal change of groups (genera) of soil mites under different vegetation reclamation practices

2.3 土壤螨类的群落结构特征

2.3.1 垂直结构 图1和图2表明,各样地土壤螨类群落个体密度和类群数垂直分布均具有表聚性,其中个体密度表聚程度明显于类群数。样地间比较,个体密度和类群数表聚程度均为种植苜蓿最大,围栏封育次之,过度放牧最小。季节间比较,各样地螨类自土壤表层向底层递减幅度个体密度与类群数间存在一定差异,其中个体密度递减幅度总体上为春季大于夏季和秋季,而类群数种植苜蓿和围栏封育样地为夏季大于春季和秋季,过度放牧样

地则季节间相差不大。

2.3.2 水平结构 由表3可见,植被恢复方式对土壤螨类个体密度和类群数均具有极为显著的影响($P < 0.001$),其中种植苜蓿样地螨类类群数和个体密度明显高于围栏封育和过度放牧样地(表4),而围栏封育样地螨类类群数和个体密度尽管也高于过度放牧样地,但二者相差未达到显著水平。与围栏封育相比,种植苜蓿能显著提高土壤螨类的类群数和个体密度。

表3 不同植被恢复条件和季节变化对土壤螨类群落结构的影响

Table 3 Effect of different vegetation reclamation practices and seasons on the structure of soil mite communities

项目 Item	df	类群数		个体密度		多样性		均匀度		丰富度		MI	
		Genus number		Density		H' Diversity		J Evenness		SR Richness		index	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
生境 Habitats	2	10.838	<0.001	17.648	<0.001	10.783	<0.001	6.646	<0.01	5.088	<0.05	18.907	<0.001
季节 Seasons	2	0.198	>0.05	7.292	<0.01	3.524	<0.05	1.358	>0.05	4.094	<0.05	4.285	<0.05
交互作用 Interaction	4	3.304	<0.05	4.307	<0.01	4.392	<0.01	4.420	<0.01	4.445	<0.01	3.042	<0.05

表3结果同样表明,季节变化对土壤螨类个体密度也具有显著影响($P < 0.01$)。土壤螨类个体密度春季最高,明显高于秋季和夏季。土壤螨类类群数夏季最高,春季最低(表4)。方差分析显示,季节间螨类类群数相差不大,季节变化对螨类类群数影响不明显($P > 0.05$)。季节更替主要影响螨类个体密度的变化,其中春季螨类个体密度的增长最快。

同类恢复方式不同季节和相同季节不同恢复方式间比较,土壤螨类个体密度和类群数也均有显著不同(表4)。植被恢复方式与季节变化两种因子间相比,植被恢复方式对土壤螨类群落个体密度和类群数的影响显著于季节变化作用,土壤螨类个体密度和类群数季节间的差异主要来自不同处理样地的不同季节。

表 4 不同植被恢复与重建条件下土壤螨类群落结构

Table 4 Structure of soil mite communities different vegetation reclamation practices

因子 Factors	类群数 Genus number	个体密度 Density	多样性 H' Diversity	均匀度 J Evenness	丰富度 SR Richness	MI index	
FE	13.000 ^b ± 0.870	63.917 ^b ± 6.787	0.962 ^b ± 0.035	0.928 ^a ± 0.016	6.217 ^b ± 0.647	0.582 ^b ± 0.070	
PA	17.750 ^a ± 1.213	107.750 ^a ± 8.310	1.102 ^a ± 0.034	0.894 ^a ± 0.021	8.240 ^a ± 0.594	0.718 ^a ± 0.043	
OG	11.500 ^b ± 0.571	54.750 ^b ± 7.864	0.883 ^c ± 0.032	0.841 ^b ± 0.023	6.310 ^b ± 0.383	0.231 ^c ± 0.085	
Sp	13.583 ^{ns} ± 0.773	95.833 ^a ± 10.098	0.922 ^b ± 0.035	0.872 ^{ns} ± 0.031	5.761 ^b ± 0.490	0.490 ^b ± 0.090	
Su	14.417 ^{ns} ± 1.640	60.750 ^b ± 9.096	1.026 ^a ± 0.047	0.910 ^{ns} ± 0.019	7.699 ^a ± 0.752	0.632 ^a ± 0.093	
Au	14.250 ^{ns} ± 1.081	69.833 ^b ± 8.824	0.999 ^{ab} ± 0.042	0.881 ^{ns} ± 0.014	7.307 ^a ± 0.398	0.402 ^b ± 0.086	
FE	Sp	12.250 ^{bc} ± 0.947	80.000 ^{bc} ± 4.339	0.902 ^b ± 0.071	0.990 ^a ± 0.003	3.922 ^b ± 0.626	0.442 ^{bc} ± 0.051
	Su	14.250 ^{abc} ± 1.057	52.250 ^{cd} ± 6.330	1.028 ^{ab} ± 0.066	0.903 ^{abc} ± 0.017	7.752 ^a ± 1.184	0.729 ^{ab} ± 0.086
	Au	12.500 ^{bc} ± 1.555	59.500 ^{cd} ± 4.600	0.956 ^b ± 0.042	0.890 ^{bcd} ± 0.021	6.977 ^a ± 0.274	0.575 ^{abc} ± 0.051
PA	Sp	16.750 ^{ab} ± 0.629	136.250 ^a ± 8.440	1.008 ^{ab} ± 0.047	0.824 ^{cd} ± 0.029	7.394 ^a ± 0.316	0.754 ^{ab} ± 0.031
	Su	18.250 ^a ± 1.816	86.500 ^{bc} ± 5.196	1.140 ^a ± 0.076	0.936 ^{ab} ± 0.040	8.840 ^a ± 1.758	0.849 ^a ± 0.051
	Au	18.250 ^a ± 0.854	100.500 ^b ± 4.330	1.156 ^a ± 0.017	0.924 ^{ab} ± 0.007	8.488 ^a ± 0.561	0.550 ^{abc} ± 0.029
OG	Sp	11.750 ^{bc} ± 0.479	71.250 ^{bcd} ± 4.215	0.857 ^b ± 0.047	0.803 ^d ± 0.053	5.968 ^{ab} ± 0.349	0.275 ^{cd} ± 0.060
	Su	10.750 ^c ± 1.182	43.500 ^d ± 7.173	0.908 ^b ± 0.069	0.891 ^{bcd} ± 0.040	6.506 ^{ab} ± 0.904	0.317 ^{cd} ± 0.043
	Au	12.000 ^{bc} ± 1.291	49.500 ^{cd} ± 6.409	0.885 ^b ± 0.064	0.829 ^{cd} ± 0.011	6.456 ^{ab} ± 0.782	0.102 ^d ± 0.015

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。

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

2.3.3 群落多样性 表 3 方差分析结果显示, 各指数样地间差异显著, 其中 H' 指数样地间差异最为显著 ($P < 0.001$), 种植苜蓿样地 H' 指数明显高于围栏封育样地, 而围栏封育样地又明显高于过度放牧样地 (表 4)。生物多样性是群落生物组成结构的重要指标, 反映群落内物种的多少和生态系统食物网的复杂程度, 从而反映各生境间的相似性及差异性。上述结果表明, 经过连续多年恢复, 与过度放牧相比, 种植苜蓿和围栏封育都能明显改善土壤螨类群落环境, 其中种植苜蓿方式能够更好地改善土壤螨类群落结构。

各季节间土壤螨类群落多样性比较, 3 个指数均为夏季最高, 春季最低, 方差分析显示, 除 J 指数外, H' 指数和 SR 指数季节间差异均较明显 ($P < 0.05$)。研究样地土壤螨类群落结构夏季相对较为稳

定, 群落内物种较为丰富。同类样地不同季节和相同季节不同样地间比较, 土壤螨类多样性 H' 指数、 J 指数和 SR 指数均有显著不同。植被恢复方式与季节变化两种因子间相比, 植被恢复方式对土壤螨类群落多样性的影响显著于季节变化作用, 样地间群落多样性差异主要来源于植被恢复方式。

2.4 中气门亚目螨类群落结构的时空差异

采用 MI 指数研究松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤中气门亚目螨类群落结构的差异。该指数通过计算土壤中捕食性螨类 K 选择类群和 r 选择类群比例的变化来反映中气门土壤捕食性螨类的群落结构特征, 用以评价环境变化对螨类群落的影响: 环境所受扰动越小, 土壤捕食性螨类群落 MI 指数越大, 即群落 K 选择类群数比例越高。捕食性螨类类群 K -值和 r -值的确定见表 5。

表 5 捕食性土壤螨类 (Mesostigmata) r -值和 K -值的确定*Table 5 K - or r -values assigned to soil predatory mites (Mesostigmata)

土壤螨类 (科)	K -值	r -值	土壤螨类 (科)	K -值	r -值
Soil mites (family)	K -value	r -value	Soil mites (family)	K -value	r -value
Ascidae		1	Zerconidae	3	
Laelapidae		1	Parholaspididae	2	
Pachylaelapidae	1		Uropodidae	3	
Parasitidae		4	Ologamasidae		1
Rhodacaridae	2		Ameroseiidae	3	

* 确定土壤捕食性螨类 K -值或 r -值主要是依据各科螨类每天的产卵率和发育速度, 以及螨类的扩散能力和种群动态 (Ruf, 1998)。

* Assign K - or r - values to families of predatory soil mites according to the egg-laying rate per day and developmental rate, mainly, other factors are dispersal ability and stability of populations (Ruf, 1998).

对土壤中气门亚目螨类群落结构 MI 指数进行方差分析, 结果显示样地间差异极为显著 ($P < 0.001$) (表 3)。植被恢复方式对中气门螨类群落结构产生了明显影响。MI 指数样地间比较, 种植苜蓿样地最高, 过度放牧样地明显低于种植苜蓿和围栏封育样地, 而种植苜蓿与围栏封育样地间也存在显著差异 (表 4)。经过连续多年恢复, 与过度放牧相比, 种植苜蓿和围栏封育等两种植被恢复方式均能明显提高土壤中气门螨类 K-选择类群比例, 但种植苜蓿更有利于中气门螨类 K-选择类群的恢复。

季节间 MI 指数比较, 表 3 和表 4 结果显示, 夏季明显高于春季和秋季 ($P < 0.05$)。夏季土壤环境有利于中气门螨类 K-选择类群比例的提高。同类样地不同季节和相同季节不同样地间比较, 土壤中气门亚目螨类群落结构 MI 指数也有显著不同。植被恢复方式与季节变化两种因子间相比, 植被恢复方式对土壤中气门亚目螨类群落结构 MI 指数影响显著于季节变化作用, 植被恢复方式是造成样地间 MI 指数差异的最主要因素。

3 讨论

过度放牧是造成松嫩草原草地退化的主要原因之一。过度放牧主要表现为家畜对草地的过度采食和践踏, 这不仅破坏植物的正常生长发育规律, 而且可以引起土壤环境恶化, 特别是雨天放牧, 畜蹄践踏可直接破坏草地的表土层。据调查, 在放牧草地, 牧草的踏伤率超过采食率的 4 倍以上, 蹄凹迹超过地表的 70% 以上 (郑慧莹、李建东, 1993)。土壤动物与土壤环境的关系密切, 土壤环境的改变必然引起土壤动物群落的变化。本研究表 1、表 2 结果表明, 过度放牧确实使草地土壤环境恶化, 同时也使草地土壤螨类群落组成和多样性受到了明显的负面影响。

针对草地退化, 有多种恢复措施可供选择, 围栏封育和种植苜蓿等优良牧草是目前松嫩草原中度退化草地恢复与重建措施中最主要和常见的方式。其中苜蓿是世界上分布广泛的一种多年生豆科牧草, 无论是干草还是青储都是家畜和驯养野生动物的优良饲草。苜蓿有强大的根系, 能吸收土壤深层的水分、养分和固定土壤中游离态氮, 可以培肥地力, 同时具有改良土壤、保持水土的作用 (刘兴土, 2001)。而围栏封育是对退化草地培育中最简单易行、投资省和便于推广应用的技术措施, 它是

对退化草地采用围栏 (草库仑) 的工程措施进行封闭使其得以休养生息进而自然恢复植被 (祝廷成, 2004)。

种植苜蓿和围栏封育对中度退化草地土壤螨类群落结构具有明显改善作用。与过度放牧样地相比, 种植苜蓿和围栏封育样地能够改善土壤环境, 它们拥有较高的土壤螨类个体密度、类群数、群落多样性和 MI 指数。在土壤线虫群落结构所有参数中, 多样性指数 (H') 和 MI 指数样地间差异最显著, 种植苜蓿和围栏封育样地均明显高于过度放牧样地。然而研究结果也显示, 围栏封育样地土壤螨类群落多样性指数 (H') 和 MI 指数尽管明显高于过度放牧样地, 但是依然显著低于种植苜蓿样地。上述分析表明, 与围栏封育比, 选择种植苜蓿可能更适合恢复与重建中度退化草地土壤螨类群落环境。

一般情况下, 土体中土壤动物类群数和个体密度的垂直分布具有表聚性。这主要因为土壤动物的垂直分布受土壤理化性质和营养状况的制约, 随着土层的加深, 土壤温度和孔隙度减少, 土壤 pH 值和含盐量升高, 营养状况也是如此, 土壤有机质和全 N 也是随着土层深度而减少 (郭继勋、祝廷成, 1995)。各处理样地与该规律大体相符, 土壤螨类类群数和个体密度具有表聚性, 但种植苜蓿和围栏封育样地类群数和个体密度在表土层和深土层间递减幅度较大, 而过度放牧样地螨类个体数量表现出一定的下移趋势。过度放牧对土壤螨类的垂直分布也产生了一定影响。

References

- Bedano JC, Cantú MP, Doucet ME, 2006. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology* 32: 293–304.
- Guo JX, Zhu TC, 1995. Characteristics of soil fauna in *Aneurolepidium chinense* grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology* 6 (4): 359–362 (In Chinese).
- Huilsman A, Wolters V, 1998. The effects of different tillage practices on soil mites with particular reference to Oribatida. *Applied Soil Ecology* 9: 327–332.
- Jennifer LD, Rick JZ, John CM, 2001. Soil microarthropod community structure and dynamics in organic and conventionally managed apple orchards in Western Colorado, USA. *Applied Soil Ecology* 18: 83–96.
- Ke X, Liang WJ, Yu WT, 2004. Community structure and seasonal change of soil micro-arthropodes in the Lower Reaches of LiaoHe River Plain under different land utilization. *Chinese Journal of Applied Ecology* 15 (4): 600–604 (In Chinese).
- Kinnear A, Tongway D, 2004. Grazing impacts on soil mites of semiarid chenopod shrub lands in Western Australia. *Journal of Arid Environments* 56: 63–82.
- Liu XT, 2001. Management on Degraded Land and Agricultural Development in Songnen Plain. Beijing: Science Press, 62–192 (In Chinese).

- Lu RK, 1999. Soil and Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1 - 163 (In Chinese).
- Parisi V, Menta C, Gardi C, Jacomini C, Mozzanica E, 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. Agriculture, Ecosystems and Environment 105: 323 - 333.
- Peachey RE, Moldenke A, William RD, Berry R, Ingham E, Groth E, 2002. Effect of cover crops and tillage system on symphylan (Symphyla: *Scutigera immaculata*, Newport) and *Pergamasus quisquiliarum* Canestrini (Acari: Mesostigmata) populations, and other soil organisms in agricultural soils. Applied Soil Ecology 21: 59 - 70.
- Ruf A, 1998. A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. Applied Soil Ecology 9: 447 - 452.
- Ruf A, Beck L, Dreher P, 2003. A biological classification concept for the assessment of soil quality: "biological soil classification scheme" (BBSK). Agriculture, Ecosystems and Environment 98: 263 - 271.
- Song CC, Ke Y, Deng W, 2003. Ecological Geochemistry of Salinization Soil in Songnen Plain. Beijing: Science Press, 1 - 206 (In Chinese).
- Wu DH, Hu K, Yin XQ, 2004. Ecological characteristics of soil macro-animal community in mid-south Songnen degraded *Leymus chinensis* grassland under restoration succession. Acta Prataculturae Sinica 13 (5): 121 - 126 (In Chinese).
- Wu DH, Zhang B, Chen P, 2005. Characteristics of soil mite community structures in the mid-west plain, Jilin Province. Acta Zoologica Sinica 51 (3): 401 - 412 (In Chinese).
- Wu DH, Zhang B, Chen P, 2006. Community structure and composition of soil macrofauna under different land use in Changchun City. Acta Zoologica Sinica 52 (2): 279 - 287 (In Chinese).
- Yin WY, 1998. Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 163 - 243, 527 - 562 (In Chinese).
- Yin XQ, Wang HX, Zhou DW, 2003. Characteristics soil animals communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China. Acta Ecologica Sinica 23 (6): 1 071 - 1 078 (In Chinese).
- Zheng CY, Hu DX, Li WJ, 2002. Effects of EM compost on soil mites community in farmland. Acta Ecologica Sinica 22 (7): 1 116 - 1 121 (In Chinese).
- Zheng HY, Li JD, 1993. The Grassland Vegetation and Its Utilization and Conservation on the Songnen Plains. Beijing: Science Press, 1 - 188 (In Chinese).
- Zhu TC, 2004. Yang-Cao Biological Ecology. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 523 - 609 (In Chinese).
- 郭继勋, 祝廷成, 1995. 羊草草原土壤动物特征的研究. 应用生态学报 6 (4): 359 - 362.
- 柯欣, 梁文举, 宇万太, 2004. 下辽河平原不同土地利用方式下土壤微节肢动物群落结构研究. 应用生态学报 15 (4): 600 - 604.
- 刘兴士, 2001. 松嫩平原退化土地整治与农业发展. 北京: 科学出版社, 62 - 192.
- 鲁如坤, 1999. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1 - 163.
- 宋长春, 何岩, 邓伟, 2003. 松嫩平原盐渍土壤生态地球化学. 北京: 科学出版社, 1 - 206.
- 吴东辉, 胡克, 殷秀琴, 2004. 松嫩草原中南部退化羊草草地生态恢复与重建中大型土壤动物群落生态特征. 草业学报 13 (5): 121 - 126.
- 吴东辉, 张柏, 陈鹏, 2005. 吉林省中西部平原区土壤螨类群落结构特征. 动物学报 51 (3): 401 - 412.
- 吴东辉, 张柏, 陈鹏, 2006. 长春市不同土地利用条件下大型土壤动物群落结构与组成. 动物学报 52 (2): 279 - 287.
- 尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 51 - 89, 437 - 475.
- 殷秀琴, 王海霞, 周道玮, 2003. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征. 生态学报 23 (6): 1 071 - 1 078.
- 郑长英, 胡敦孝, 李维炯, 2002. 施用 EM 堆肥对于土壤螨类群落结构的影响. 生态学报 22 (7): 1 116 - 1 121.
- 郑慧莹, 李建东, 1993. 松嫩平原的草地植被及其利用保护. 北京: 科学出版社, 1 - 188.
- 祝廷成, 2004. 羊草生物生态学. 长春: 吉林科学技术出版社, 523 - 609.