

潮棕壤线虫群落对土地利用方式的响应

李琪^{1,2} 梁文举^{1*} 欧伟¹

1 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 作者对潮棕壤不同土地利用方式(旱田、撂荒地和林地)下土壤线虫群落时空分布特征进行了研究, 结果表明, 不同土地利用方式能够影响线虫群落及其优势属的时空分布。线虫优势属对不同土地利用方式的响应不同, 撂荒地和林地处理中板唇属(*Chiloplacus*)线虫主要分布在5–30 cm土层, 而其他线虫优势属则主要分布在0–20 cm土层; 在旱田处理中, 短体属(*Pratylenchus*)线虫均匀分布在各个土层。由于土地利用方式的改变而引起的土壤环境因素的变化能够对土壤线虫产生影响, 研究发现土壤孔隙度、土壤有机碳、全氮和碳氮比与土壤线虫优势属的数量具有显著的正相关关系。线虫区系分析结果表明, 撂荒地和林地处理中土壤环境相对稳定, 土壤食物网向较成熟的阶段演替。线虫区系分析方法可用来揭示不同土地利用方式下土壤食物网的变化, 为进一步研究土壤生态过程对土地利用方式的响应提供了有效的工具。

关键词: 土壤线虫, 优势属, 区系分析, 土地利用, 潮棕壤

Responses of nematode communities to land use in an aquic brown soil

Qi Li^{1,2}, Wenju Liang^{1*}, Wei Ou¹

1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: The seasonal and vertical distribution of soil nematode communities under three contrasting land uses, i.e., cropland, abandoned cropland and woodland, was conducted in an aquic brown soil. The results showed that land-use types affected the spatio-temporal distribution of soil nematodes and their dominant genera, and different dominant genera showed different responses to land uses. In the abandoned cropland and woodland, most dominant genera were present in the 0–20 cm layers and *Chiloplacus* was mainly distributed in the 5–30 cm layers, while in the cropland *Pratylenchus* exhibited an even distribution from the 0–5 to the 40–50 cm depths. Soil environmental parameters under different land uses could influence soil nematodes; soil porosity, total organic C, total N and the C/N ratio were found to positively influence the abundance of some dominant genera in the present study. The faunal profiles revealed that the environmental stability and the homeostasis of the abandoned cropland and woodland lead to higher levels of community structure and the soil food web tend to succeed to maturity. Nematode faunal analyses were found to be a useful method for interpreting the stress or/and nutrient conditions under different land uses.

Key words: soil nematodes, dominant genera, faunal analysis, land use, aquic brown soil

20世纪90年代以来, 土地利用与土地覆被变化问题引起了世界各国学者的普遍关注, 作为农业可持续发展重要组成部分的土壤, 其性质随土地利用和管理方式不同而发生变化, 进而对土壤生产力和土壤生物区系产生了不同程度的影响。在农田生态

系统中, 不同的土地利用方式能够对土壤生态系统产生一系列的扰动, 随之造成许多环境问题, 诸如土壤养分的流失、土壤侵蚀、土壤生物多样性降低等; 也能导致植物残留物和土壤有机质的重新分配, 随之改变土壤生物种群数量、多样性与活性(Fu

收稿日期: 2006-12-20; 接受日期: 2007-01-21

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2005CB121105)和国家自然科学基金项目(30570337)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: liangwj@iae.ac.cn

et al., 2000; Kladvko, 2001; Chemini & Rizolli, 2003; Liang *et al.*, 2005a; Ou *et al.*, 2005)。

土壤线虫作为土壤中最丰富的小型土壤动物, 它们与土壤生态过程紧密相关, 并且对土壤质量或生态系统变化具有很好的指示作用(Bongers & Bongers, 1998)。土壤线虫可以通过改变食物网结构和分解途径来影响土壤生态系统的功能(Yeates, 1996; Yeates *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2002; Liang *et al.*, 2005b; Ou *et al.*, 2005)。迄今为止, 关于不同土地利用方式下土壤线虫群落组成的研究在国内外已有较多报道(Wu *et al.*, 2002; Ou *et al.*, 2005; 王广力等, 2005), 但这些研究多注重表土层或耕层, 针对小尺度或同一地点的研究则相对缺乏。本研究采用土壤线虫区系分析方法, 研究潮棕壤地区不同土地利用方式下土壤线虫群落的变化, 探讨土壤理化因素与土壤线虫群落的关系, 为进一步揭示土壤生态过程对土地利用方式的响应提供科学依据。

1 研究地点概况

本实验在中国科学院沈阳生态实验站进行, 该站地处松辽平原南部的中心地带, 位于沈阳市南郊苏家屯区十里河镇(41°31'N, 123°22'E), 在地理位置上具有很好的区域代表性和网络研究的重要性。该站属暖温带半湿润大陆性气候, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥, 年平均气温7–8℃, 年降水量为650–700 mm, 无霜期为147–164 d。土壤类型为潮棕壤(Liang *et al.*, 2005b)。实验地为潮棕壤起源的潜育性水稻土, 有机质含量为20.20 g/kg, 土壤全N含量为1.40 g/kg, 土壤全P含量为0.75 g/kg, 土壤速效K含量为100.00 mg/kg, pH值为6.5, 水耕熟化过程处于初级阶段, 剖面发育除了上部30 cm层次外, 其下土层基本保持潮棕壤的特征。实验站建站前种植作物为水稻。建站之初(1990年)设计了不同的土地利用方式: 旱田试验区、撂荒地试验区和人工林

试验区(Zhang *et al.*, 2004)。我们选择了这3种土地利用方式, 其中: (1) 旱田, 种植玉米 (*Zea mays*), 品种为富友一号; (2) 撂荒地, 主要杂草类型为三裂叶豚草(*Ambrosia trifida*)、小蓬草(*Conyza canadensis*)、葎草(*Humulus scandens*)和萝藦(*Metaplexis japonica*); (3) 人工林地, 种植杨树(*Populus canadensis*)。

2 研究方法

2.1 土壤样品采集

每种土地利用方式下各选取4个25 m²的样地, 每个样地采用5点取样法, 各点按照0–5 cm、5–10 cm、10–20 cm、20–30 cm、30–40 cm和40–50 cm六个层次分层采集土壤样品。将采集的土壤样品混匀并装入塑料袋中, 带回实验室后放置于4℃冰箱。取样时间为2004年春季(4月)和夏季(8月)。

2.2 土壤理化指标的测定

土壤含水量采用烘干法(105℃)测定, 土壤pH值采用电位法测定(土水比为1:2.5), 土壤全N采用凯氏定氮法测定, 总有机C采用TOC-5000A分析仪测定; 土壤容重采用环刀法进行测定; 土壤全磷采用H₂SO₄-HClO₄ 消煮, 速效磷采用NaHCO₃浸提(Olsen法), 钼锑抗比色法进行测定; 土壤有效氮采用碱解扩散法(40℃, 恒温培养24 h)测定(鲁如坤, 2000)。不同土地利用方式下土壤基本化学性质见表1。

2.3 土壤线虫分离提取及鉴定

每个样品称取土样200 g, 用淘洗–过筛–蔗糖离心方法分离线虫(Liang *et al.*, 2005a), 60℃温热杀死后, 用三乙醇胺和福尔马林(TAF)固定, 倒入标本瓶中待测, 在解剖镜下观察计数。从每个样品中随机抽取100条线虫在光学显微镜下进行线虫属鉴定, 线虫的分类鉴定参照Bongers (1988)的分类图鉴进行。

2.4 土壤线虫区系分析

按照Ferris等(2001)的方法进行线虫区系分析,

表1 不同土地利用方式下土壤主要化学特性

Table 1 Main chemical properties under different land use types

	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	有效态氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	有机质 Organic matter (g/kg)	pH
旱田 Cropland	1.036	0.423	95.8	10.7	19.53	5.7
撂荒地 Abandoned cropland	1.466	0.541	127.9	27.2	29.78	6.7
林地 Woodland	2.048	0.536	151.4	17.8	37.57	7.2

表2 不同土地利用方式下土壤线虫属的相对多度(%)

Table 2 Relative abundance (%) of nematode genera under different land use types

属 Genus	功能团 Guild	2004年4月 April, 2004			2004年8月 August, 2004		
		旱田	撂荒地	林地	旱田	撂荒地	林地
		Cropland	Abandoned cropland	Woodland	Cropland	Abandoned cropland	Cropland
<i>Bunonema</i>	Ba1	—	0.1	—	—	0.2	—
<i>Diploscapter</i>	Ba1	0.5	0.1	1.0	0.3	0.1	1.3
<i>Panagrolaimus</i>	Ba1	0.2	0.1	—	0.7	1.0	1.3
<i>Protorhabditis</i>	Ba1	2.0	0.1	0.7	0.3	5.3	1.3
<i>Acrobeles</i>	Ba2	1.9	4.3	0.9	5.7	11.3	3.1
<i>Acrobeloides</i>	Ba2	11.7	18.2	4.6	1.2	3.7	0.8
<i>Cephalobus</i>	Ba2	1.0	1.4	—	—	0.1	—
<i>Chiloplacus</i>	Ba2	1.0	12.5	1.6	0.5	3.9	3.3
<i>Eucephalobus</i>	Ba2	1.7	1.9	1.8	2.0	0.5	0.6
<i>Heterocephalobus</i>	Ba2	0.1	—	—	1.6	1.6	1.6
<i>Microlaimus</i>	Ba2	—	—	—	—	0.1	—
<i>Plectus</i>	Ba2	0.1	0.1	—	—	0.1	—
<i>Achromadora</i>	Ba3	—	—	0.2	—	0.1	—
<i>Bastiania</i>	Ba3	—	—	0.2	—	—	—
<i>Metateratocephalus</i>	Ba3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
<i>Prismatolaimus</i>	Ba3	2.2	0.1	0.3	1.0	2.8	1.0
<i>Aphelenchoides</i>	Fu2	1.8	0.3	0.1	8.1	0.4	0.4
<i>Aphelenchus</i>	Fu2	5.4	4.8	2.8	1.0	1.7	0.8
<i>Ditylenchus</i>	Fu2	0.2	0.2	0.7	0.9	0.2	0.1
<i>Deladenus</i>	Fu2	—	0.8	0.8	—	—	—
<i>Paraphelenchus</i>	Fu2	—	—	—	0.2	0.2	—
<i>Pseudhalenchus</i>	Fu2	—	0.1	0.2	—	—	—
<i>Tylencholaimellus</i>	Fu4	—	—	—	—	0.6	—
<i>Tylencholaimus</i>	Fu4	0.2	—	—	0.9	—	—
<i>Seinura</i>	Ca2	—	0.1	—	0.3	—	—
<i>Dorydorella</i>	Om4	—	0.2	0.5	0.5	—	0.9
<i>Epidorylaimus</i>	Om4	0.1	0.3	0.1	0.7	0.6	—
<i>Eudorylaimus</i>	Om4	0.4	0.3	1.0	1.3	3.7	0.5
<i>Longidorella</i>	Om4	—	—	—	0.1	0.1	0.2
<i>Microdorylaimus</i>	Om4	—	1.5	0.3	0.5	1.1	0.6
<i>Mononchus</i>	Om4	—	—	0.1	—	—	0.1
<i>Thonus</i>	Om4	0.2	0.1	—	—	—	0.6
<i>Thornia</i>	Om4	—	—	—	—	0.1	—
<i>Aporcelaimellus</i>	Om5	0.1	0.6	2.8	1.3	0.9	3.5
<i>Dorylaimellus</i>	Om5	—	—	—	0.8	—	—
<i>Laimydorus</i>	Om5	0.2	1.5	0.2	—	—	—
<i>Mesodorylaimus</i>	Om5	—	—	—	—	1.2	0.1
<i>Nygolaimus</i>	Om5	—	—	—	—	0.1	—
<i>Paraxonchium</i>	Om5	—	—	—	—	—	0.1
<i>Prodorylaimus</i>	Om5	—	—	—	—	1.4	—
<i>Aglenchus</i>	H2	—	0.3	4.7	0.3	0.6	2.0
<i>Basiria</i>	H2	0.1	0.2	0.3	—	—	—
<i>Beleodorus</i>	H2	0.7	—	0.2	1.1	0.3	—
<i>Cephalenchus</i>	H2	0.1	0.6	0.1	0.2	—	0.5
<i>Filenchus</i>	H2	2.8	2.2	5.2	3.0	2.0	0.8
<i>Malenchus</i>	H2	—	—	0.4	—	—	0.3
<i>Paratylenchus</i>	H2	1.3	32.1	39.7	1.7	22.1	37.3
<i>Psilenchus</i>	H2	—	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Tylenchus</i>	H2	0.9	0.2	—	—	0.3	—
<i>Macroposthonia</i>	H3	—	0.7	—	—	—	—
<i>Bitylenchus</i>	H3	0.3	0.2	0.3	0.5	1.8	0.1

表2 (续) Table 2 (continued)

属 Genus	功能团 Guild	2004年4月 April, 2004			2004年8月 August, 2004		
		旱田	撂荒地	林地	旱田	撂荒地	林地
		Cropland	Abandoned cropland	Woodland	Cropland	Abandoned cropland	Woodland
<i>Criconemoides</i>	H3	0.3	0.2	0.3	0.1	1.2	0.2
<i>Helicotylenchus</i>	H3	16.4	2.3	25.9	32.3	1.8	34.7
<i>Hemicyclophora</i>	H3	-	-	-	-	0.1	-
<i>Heterodera</i>	H3	0.4	0.3	0.1	-	0.3	0.2
<i>Hoplotylus</i>	H3	-	-	-	-	0.4	-
<i>Merlinius</i>	H3	-	-	-	-	-	0.3
<i>Pratylenchooides</i>	H3	-	0.1	-	-	-	-
<i>Pratylenchus</i>	H3	45.4	0.3	1.0	28.7	0.2	-
<i>Rotylenchus</i>	H3	-	-	0.1	0.2	0.2	0.2
<i>Tylenchorhynchus</i>	H3	-	-	-	-	-	0.1
<i>Zygotylenchus</i>	H3	-	10.5	0.2	1.3	25.2	0.4
<i>Longidorus</i>	H5	-	-	-	0.1	-	-
<i>Xiphinema</i>	H5	0.1	-	-	-	-	-
属的数目 Number of genera		33	40	37	36	44	36

Ba: 食细菌线虫; Fu: 食真菌线虫; Om: 杂食线虫; Ca: 捕食线虫; H: 植物寄生线虫; Ba、Fu、Om、Ca、H后面的数字代表每个线虫属的cp值。Ba, Bacterivores; Fu, Fungivores; Om, Omnivores; Ca, Canivores; H, Herbivores. Number following Ba, Fu, Om, Ca, H represent the cp values belonging to each genus.

表3 土壤线虫生态指数和优势属的三因素(土地利用方式、采样时期和采样深度)方差分析的F值

Table 3 Three-factor ANOVA table of F-values on the effect of land use, sampling date and soil depth on soil nematodes indices and dominant genera

	生态指数 Ecological indices			优势属 Dominant genera						
	属的数目	富集指数	结构指数	丽突属	拟丽突属	板唇属	针属	螺旋属	短体属	接合属
	GR	EI	SI	ABL	ABD	CHI	PAR	HEL	PRA	ZYG
土地利用方式 Land use	13.18**	21.54**	24.50**	38.42**	51.84**	105.42**	82.13**	24.69**	94.34**	34.66**
采样日期 Sampling date	12.73**	0.40 ^{ns}	33.75**	7.80**	91.81**	38.69**	28.02**	1.04 ^{ns}	13.21**	3.61 ^{ns}
采样深度 Soil depth	6.02**	0.51 ^{ns}	0.87 ^{ns}	8.62**	7.89**	7.76**	21.67**	13.44**	1.67 ^{ns}	4.89**
采样日期×土地利用方式 Sampling date × Land use	1.92 ^{ns}	0.18 ^{ns}	3.22*	3.27*	31.32**	35.06**	11.58**	0.74 ^{ns}	11.77**	3.21*
采样深度×土地利用方式 Soil depth × Land use	1.82 ^{ns}	0.57 ^{ns}	1.51 ^{ns}	5.01**	3.98**	5.83**	14.05**	5.12**	1.42 ^{ns}	4.88**
采样日期×采样深度 Sampling date × Soil depth	1.32 ^{ns}	0.29 ^{ns}	1.56 ^{ns}	3.85**	5.34**	2.38*	4.46**	0.86 ^{ns}	0.98 ^{ns}	1.11 ^{ns}
日期×深度×土地利用方式 Sampling date × Soil depth × Land use	1.53 ^{ns}	0.40 ^{ns}	1.73 ^{ns}	3.67**	2.75*	3.48**	2.25*	3.30**	0.95 ^{ns}	1.14 ^{ns}

GR, Number of genera; EI, Enrichment index; SI, Structure index; ABL, *Acrobelus*; ABD, *Acrobeloides*; CHI, *Chiloplacus*; PAR, *Paratylenchus*; HEL, *Helicotylenchus*; PRA, *Pratylenchus*; ZYG, *Zygotylenchus*. *P < 0.05, **P < 0.01.

具体计算公式如下:

富集指数 $EI = 100 \times (e/(e+b))$, 用于评估食物网对可利用资源的响应;

结构指数 $SI = 100 \times (s/(s+b))$, 指示在人为干扰或生态恢复过程中土壤食物网结构的变化。

其中 b (basal)代表食物网中的基础成分, 主要指Ba2和Fu2这两个类群(即食细菌线虫和食真菌线虫中cp值为2的类群); e (enrichment)代表食物网中的富集成分, 主要指Ba1和Fu2这两个类群(即食细菌线虫中cp值为1和食真菌线虫中cp值为2的类群); s (structure)代表食物网中的结构成分, 包括

Ba3–Ba5、Fu3–Fu5、Om3–Om5、Ca2–Ca5类群(分别为食细菌线虫、食真菌线虫和杂食线虫中cp值为3–5的类群以及捕食线虫中cp值为2–5的类群)。 b 、 e 和 s 对应的值分别为 $\sum k_b n_b$ 、 $\sum k_e n_e$ 和 $\sum k_s n_s$, 其中 k_b 、 k_e 和 k_s 为各类群所对应的加权数(其值在0.8–5.0之间)(Bongers & Bongers, 1998), 而 n_b 、 n_e 和 n_s 则为各类群的相对多度。

根据计算出的富集指数和结构指数, 可以将线虫区系划分为A、B、C、D四个象限, 其中, EI 和 SI 的值在0–100之间变化, 当 EI 大于50但 SI 小于50 (A象限) 时, 表明土壤养分状况较好但受干扰程度较

表4 不同土地利用方式下线虫优势属在各采样时期0–50 cm土层中的分布 (条数/100 cm³ 干土)(平均值±标准误)Table 4 Abundance of dominant genera under different land use types, sampling date and soil depth (individuals per 100 cm³ dry soil) (Mean±SE)

优势属 Dominant genera	2004年4月 April, 2004			2004年8月 August, 2004		
	旱田 Cropland	撂荒地 Abandoned cropland	林地 Woodland	旱田 Cropland	撂荒地 Abandoned cropland	林地 Woodland
丽突属 <i>Acrobeles</i>						
0–5 cm	7 ± 6	111 ± 40	7 ± 6	9 ± 0	55 ± 9	8 ± 5
5–10 cm	14 ± 8	13 ± 5	7 ± 5	19 ± 5	91 ± 21	4 ± 2
10–20 cm	4 ± 1	8 ± 5	1 ± 1	12 ± 8	45 ± 14	3 ± 2
20–30 cm	2 ± 1	3 ± 2	–	9 ± 4	35 ± 13	6 ± 2
30–40 cm	2 ± 1	6 ± 2	–	4 ± 2	11 ± 4	3 ± 2
40–50 cm	2 ± 1	4 ± 1	1 ± 1	5 ± 2	30 ± 7	3 ± 1
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>						
0–5 cm	13 ± 2	96 ± 21	15 ± 4	4 ± 4	4 ± 4	–
5–10 cm	29 ± 4	187 ± 45	31 ± 13	3 ± 1	16 ± 7	1 ± 1
10–20 cm	49 ± 16	156 ± 44	9 ± 6	4 ± 2	23 ± 15	1 ± 1
20–30 cm	34 ± 7	111 ± 26	8 ± 3	1 ± 0	19 ± 4	1 ± 1
30–40 cm	26 ± 12	49 ± 2	2 ± 1	1 ± 1	6 ± 4	2 ± 1
40–50 cm	17 ± 4	13 ± 2	–	–	4 ± 2	–
板唇属 <i>Chiloplacus</i>						
0–5 cm	2 ± 2	19 ± 8	5 ± 5	–	6 ± 4	2 ± 1
5–10 cm	–	55 ± 8	6 ± 4	1 ± 1	18 ± 3	4 ± 1
10–20 cm	5 ± 3	63 ± 19	4 ± 2	1 ± 1	37 ± 4	2 ± 1
20–30 cm	4 ± 2	92 ± 21	3 ± 2	2 ± 2	16 ± 5	9 ± 6
30–40 cm	2 ± 1	56 ± 7	1 ± 1	–	7 ± 7	5 ± 3
40–50 cm	2 ± 1	16 ± 4	–	–	6 ± 4	2 ± 1
针属 <i>Paratylenchus</i>						
0–5 cm	12 ± 5	175 ± 36	172 ± 28	9 ± 4	48 ± 33	43 ± 11
5–10 cm	7 ± 4	504 ± 80	165 ± 50	6 ± 3	280 ± 94	57 ± 19
10–20 cm	2 ± 1	470 ± 88	81 ± 7	2 ± 1	173 ± 65	40 ± 10
20–30 cm	1 ± 1	165 ± 28	84 ± 22	1 ± 1	86 ± 16	57 ± 15
30–40 cm	1 ± 1	42 ± 11	21 ± 7	–	31 ± 12	61 ± 10
40–50 cm	–	21 ± 10	15 ± 3	–	18 ± 12	17 ± 4
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>						
0–5 cm	154 ± 67	6 ± 3	153 ± 49	13 ± 6	34 ± 12	220 ± 42
5–10 cm	73 ± 25	6 ± 4	51 ± 18	117 ± 27	3 ± 3	101 ± 49
10–20 cm	35 ± 13	2 ± 2	12 ± 6	69 ± 13	2 ± 2	32 ± 15
20–30 cm	44 ± 28	6 ± 4	16 ± 9	46 ± 10	4 ± 2	29 ± 20
30–40 cm	9 ± 7	7 ± 4	38 ± 11	36 ± 13	3 ± 2	12 ± 3
40–50 cm	5 ± 3	3 ± 6	46 ± 5	42 ± 3	–	36 ± 10
短体属 <i>Pratylenchus</i>						
0–5 cm	99 ± 38	1 ± 1	–	8 ± 2	–	–
5–10 cm	140 ± 64	5 ± 5	3 ± 2	85 ± 21	3 ± 3	–
10–20 cm	84 ± 34	–	–	91 ± 16	–	–
20–30 cm	121 ± 26	2 ± 2	–	39 ± 7	2 ± 2	–
30–40 cm	119 ± 18	1 ± 1	2 ± 2	40 ± 9	–	–
40–50 cm	64 ± 10	–	3 ± 2	34 ± 7	–	–
接合属 <i>Zygotylenchus</i>						
0–5 cm	–	109 ± 59	–	4 ± 2	116 ± 44	4 ± 2
5–10 cm	–	149 ± 78	–	1 ± 1	373 ± 153	1 ± 1
10–20 cm	–	59 ± 38	–	1 ± 1	136 ± 30	–
20–30 cm	–	51 ± 28	1 ± 1	1 ± 1	62 ± 13	1 ± 1
30–40 cm	–	28 ± 11	–	2 ± 1	63 ± 15	–
40–50 cm	–	7 ± 5	–	1 ± 1	12 ± 2	–

高, 食物网受到一定程度的干扰; 当 EI 和 SI 都大于50(B象限)时, 表明土壤养分状况较好而且受干扰程度较小, 食物网稳定成熟; EI 小于50但 SI 大于50(C象限)时, 表明土壤养分状况较差但受干扰程度较小, 食物网处于结构化的状态; 而 EI 和 SI 都小

于50时(D象限)时, 表明土壤养分状况较差而且受干扰程度最高, 已对环境造成胁迫, 食物网退化 (Ferris *et al.*, 2001)。

2.5 统计分析

首先对测定的线虫优势属(相对多度大于10%)

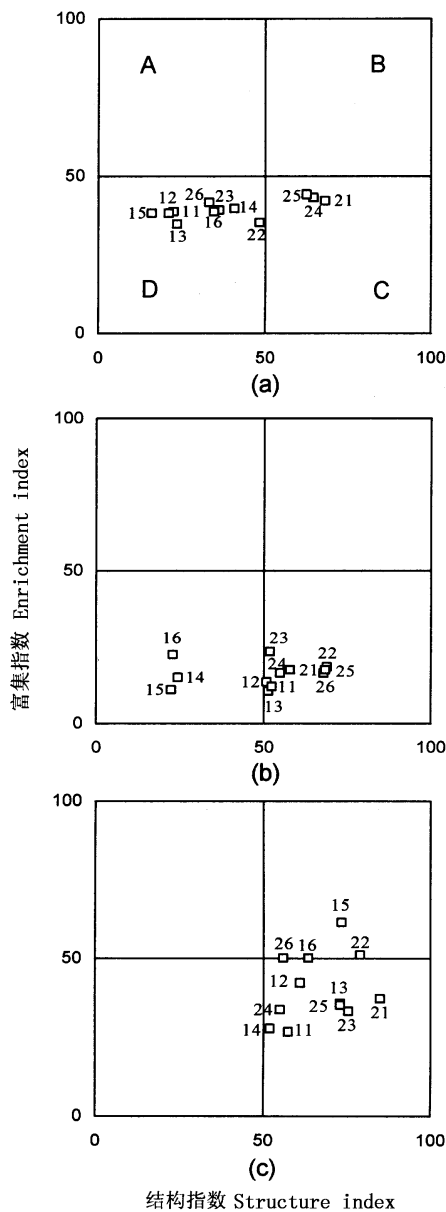


图1 不同土地利用方式下线虫区系分析
 (a)早田; (b)撂荒地; (c)林地。11-16表示4月份不同土层的采样点; 21-26表示8月份不同土层的采样点
 Fig. 1 Results of nematode faunal analysis under different land use types. (a) Cropland; (b) Abandoned cropland; (c) Woodland. Numbers of 11-16 represent sampling sites at different depths on April, and 21-26 represent sampling sites on August, 2004

的数量进行 $\text{Log}_{10}(X+1)$ 转换, 然后对优势属的数量、线虫属的数目和生态指数(SI和EI)进行多因素方差分析, $P < 0.05$ 为差异显著性水平; 相关分析采用双变量相关分析方法, 计算优势属线虫数量、线虫属

数目、生态指数(SI和EI)与土壤理化指标的相关系数; 以上统计分析均采用SPSS 11.0软件进行。

3 结果

3.1 不同土地利用方式下的线虫群落组成

研究期间在3种不同土地利用方式下共鉴定到线虫64属(表2), 其中撂荒地处理中线虫属的数量最高, 分别为40属(4月)和44属(8月), 其次为林地和早田处理。统计分析表明, 优势属的多度在不同处理、不同采样时期和采样深度之间均存在极显著差异($P < 0.01$), 而三者的交互作用效应均不显著(表3)。

在早田中, 线虫优势属为拟丽突属(*Acrobeloides*)、螺旋属(*Helicotylenchus*)和短体属(*Pratylenchus*), 由表4可知, 约60%的拟丽突属和螺旋属线虫集中分布在0-20 cm土层, 而短体属线虫则均匀分布在0-50 cm的各个土层之中。在撂荒地中, 丽突属(*Acrobeles*)、拟丽突属、板唇属(*Chiloplacus*)、针属(*Paratylenchus*)和接合属(*Zygotylenchus*)为优势属, 其中丽突属和拟丽突属线虫主要分布在0-20 cm土层, 而板唇属线虫主要分布在5-30 cm土层(表4)。在林地中, 短体属和螺旋属为优势属, 主要分布在0-20 cm土层。统计分析表明, 除螺旋属和接合属外, 各优势属在不同土地利用方式、不同采样时期和采样深度之间均存在极显著差异($P < 0.01$), 而三者的交互作用对除螺旋属、短体属和接合属外的其他优势属线虫也具有显著影响。

3.2 不同土地利用方式的线虫区系分析

不同土地利用方式下线虫富集指数(EI)和结构指数(SI)均表现出极显著差异($P < 0.01$)(表3)。线虫区系分析结果表明, 在早田中, 土壤线虫富集指数和结构指数均较低(< 50), 因此大多数样点分布在D象限, 表明土壤食物网处于退化状态, 土壤受到的扰动较大(图1a)。在撂荒地中线虫的结构指数较高, 富集指数较低, 样点大多数分布在C象限, 表明土壤很少受到扰动, 食物网处于结构化状态(图1b)。而在林地中, 线虫结构指数较高, 富集指数较低, 样点分布在B和C象限, 表明土壤食物网较成熟、处于结构化状态(图1c)。

3.3 线虫与土壤理化指标的相关分析

从表5看出, 土壤孔隙度与丽突属、针属、螺旋属、接合属和线虫属数目具有显著的正相关关系,

而土壤酸碱度则对不同土壤线虫属产生的影响有所不同, 其中与拟丽突属、板唇属和针属线虫具有显著正相关关系, 而与线虫属数目、富集指数、螺旋属线虫、短体属线虫呈显著的负相关关系; 土壤有机碳和全氮与丽突属、螺旋属和线虫属数目呈正相关, 而与板唇属呈显著的负相关关系; 土壤线虫结构指数则与土壤有机碳和C/N呈显著的正相关关系(表5)。

4 讨论

本研究结果表明, 土壤线虫群落的时空分布格局在不同生态系统中存在显著差异, 并且不同线虫属对土地利用方式的响应不同。这些差异可能与不同线虫的生活史、可获得食物资源的数量和质量以及土壤理化性质的变化有关(Norton & Niblack, 1991)。

Kandji等(2001)认为, 未受扰动的生态系统中土壤线虫多样性较高。Fu等(2000)也报道了类似的结果, 即免耕系统土壤线虫的丰富度高于常规耕作系统。本研究结果表明, 土壤线虫属的多度在受扰动较小的撂荒地处理中最高, 而在林地和旱田处理中较低, 且不同线虫优势属也表现出不同的时空分布格局。土壤线虫优势属的垂直分布具有表聚性, 主要表现在撂荒地和林地处理中, 线虫的优势属主要分布在0–20 cm土层, 容易受土壤理化性质和营养状况的影响。此外, 土壤的通气状况也可能是影

响线虫分布的重要因素之一, 土壤孔隙度通过影响O₂的扩散来影响线虫的分布, Sohlenius和Sandor (1987)在草地和麦田生态系统中研究发现, 由于土壤通气状况的影响, 体型较大的捕食/杂食性线虫和植物寄生线虫主要分布在表土层。

由于农业生产活动的影响, 土壤结构发生了改变, 导致土壤动物在土层中的垂直分布特征也发生变化, 这一现象可能与食物资源分布的差异有关(Ingham *et al.*, 1985)。对植物寄生线虫而言, 植物根系是影响其分布的主要因素之一(Norton & Niblack, 1991)。本研究中, 针属、接合属和螺旋属线虫在土壤剖面中的分布可能与植物根系的分布有关。

Ferris等(2001)在线虫功能团划分的基础上, 提出了线虫区系分析的方法, 可以揭示出土壤线虫食物网结构和养分富集状况等信息(Ferris *et al.*, 2001, Wu *et al.*, 2002; Ferris & Matute, 2003; Liang *et al.*, 2005b)。不同土地利用方式下的线虫区系分析结果表明, 在撂荒地和林地处理中线虫的结构指数较高而富集指数较低, 表明土壤线虫食物网可能是处于结构化状态, 土壤受到外界的扰动较小; 撂荒地和林地处理中较高的结构指数通常源于捕食/杂食线虫的出现, 这反映了撂荒地和林地土壤环境相对稳定, 土壤线虫食物网拥有较多的营养层次。而在旱田处理中, 线虫的富集指数和结构指数均较低, 主要原因是受到耕作等人为措施的影响, 旱田土壤线虫食物网处于胁迫状态。由于不同土地利用方式的

表5 优势属线虫数量、生态指数与土壤理化指标的相关分析 (r) (n=72)

Table 5 Correlation coefficients (r) between the numbers of nematode dominant genera, ecological indices and soil physico-chemical properties (n=72)

	土壤孔隙度 Soil porosity	酸碱度 pH	有机碳 TOC	全氮 TN	碳氮比 C/N
优势属 Dominant genus					
丽突属 <i>Acrobeles</i>	0.292**	-0.032	0.218**	0.230**	0.103
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	0.102	0.314**	-0.030	-0.031	-0.012
板唇属 <i>Chiloplacus</i>	-0.048	0.481**	-0.176*	-0.169*	-0.189*
针属 <i>Paratylenchus</i>	0.294**	0.317**	0.066	0.087	0.024
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	0.330**	-0.236**	0.538**	0.528**	0.269**
短体属 <i>Pratylenchus</i>	-0.073	-0.472**	-0.048	-0.057	0.077
接合属 <i>Zygotylenchus</i>	0.245**	0.047	0.048	0.056	0.030
生态指数 Ecological index					
属的数目 Number of genera	0.380**	-0.245**	0.267**	0.267**	0.142
富集指数 Enrichment index	-0.093	-0.265**	0.049	0.023	0.083
结构指数 Structure index	0.159	0.025	0.182*	0.160	0.198*

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

影响, 在林地和撂荒地处理中, 土壤全氮和有机质等养分指标均高于旱田处理, 这就为处于不同营养级的线虫群落提供了较为充足的食物资源, 因此致使线虫结构指数较高。这与Ou等(2005)的研究结果一致, 即由于撂荒地和林地处理中, 土壤处于动态的平衡状态, 因此线虫群落向较成熟的阶段演替。由于土壤线虫群落结构与食物资源的变化、养分流动和分解途径等生态过程紧密相关(Norton & Niblack, 1991), 因此, 由不同土地利用方式引起的线虫群落和区系组成的变化能通过改变食物网结构和养分分解途径最终影响生态系统功能。

本研究表明, 不同土地利用方式对土壤线虫的时空分布产生了不同的影响, 不同线虫属对土地利用方式的响应不同。线虫区系分析方法可以用来揭示不同土地利用方式对土壤食物网产生的影响, 为进一步揭示土壤生态过程提供了有效的工具。

参考文献

- Bongers T (1988) *De Nematoden Van Nederland*. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht. (in Dutch)
- Bongers T, Bongers M (1998) Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, **10**, 239–251.
- Chemini C, Rizolli A (2003) Land use change and biodiversity conservation in the Alps. *Journal of Mountain Ecology*, **7** (Suppl.), 1–7.
- Ferris H, Bongers T, de Goede RGM (2001) A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, **18**, 13–29.
- Ferris H, Matute MM (2003) Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology*, **23**, 93–110.
- Fu SL, Coleman DC, Hendrix PF, Crossley Jr 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.
- Ingham RE, Anderson RV, Gould WD, Coleman DC (1985) Vertical distribution of nematodes in a short grass prairie. *Pedobiologia*, **28**, 155–160.
- Islam KR, Weil RR (2000) Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **79**, 9–16.
- Kandji ST, Ogol CKPO, Albrecht 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.
- Kladivko EJ (2001) Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Research*, **61**, 61–76.
- Liang WJ, Li Q, Jiang Y, Neher DA (2005a) Nematode faunal analysis in an aquic brown soil fertilised with slow-release urea, Northeast China. *Applied Soil Ecology*, **29**, 185–192.
- Liang WJ, Zhang XK, Jiang Y, Ou W, Neher DA (2005b) Vertical distribution of bacterivorous nematodes under different land uses. *Journal of Nematology*, **37**, 361–365.
- Lu RK (鲁如坤) (2000) *Analytical Methods of Soil and Agro-chemistry* (土壤农业化学分析方法). China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Norton DC, Niblack TL (1991) Biology and ecology of nematodes. In: *Manual of Agricultural Nematology* (ed. Nickle WR), pp. 47–71. Marcel Dekker Inc., New York.
- Ou W, Liang WJ, Jiang Y, Li Q, Wen DZ (2005) Vertical distribution of soil nematodes under different land use types in an aquic brown soil. *Pedobiologia*, **49**, 139–148.
- Sohlenius B, Sandor A (1987) Vertical distribution of nematodes in arable soil under grass (*Festuca pratensis*) and barley (*Hordeum distichum*). *Biology and Fertility of Soils*, **3**, 19–25.
- Wang GL (王广力), Wang Y (王勇), Han LL (韩立亮), Zhang MW (张美文), Li B (李波) (2005) Soil animal communities of variously utilized in the Dongting Lake region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **25**, 2629–2636. (in Chinese with English abstract).
- Wu JH, Fu CZ, Chen SS, Chen JK (2002) Soil faunal response to land use: effect of estuarine tideland reclamation on nematode communities. *Applied Soil Ecology*, **21**, 131–147.
- Yeates GW (1996) Impact of historical changes in land use on the soil fauna. *New Zealand Journal of Ecology*, **15**, 99–106.
- Yeates GW, Hawke MF, Rijkse WC (2000) Changes in soil fauna and soil conditions under *Pinus radiata* agroforestry regimes during a 25-year tree rotation. *Biology and Fertility of Soils*, **31**, 391–406.
- Zhang YG, Jiang Y, Liang WJ, Wen DZ, Zhang YL (2004) Vertical variation and storage of nitrogen in an aquic brown soil under different land uses. *Journal of Forestry Research*, **15**, 192–196.