

毛乌素沙地三种植物根际土壤线虫群落和多样性分析

吴建波 阮维斌* 谢凤行 李 晶 高玉葆

(南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要: 为研究地上部不同植物对地下部生物的影响, 作者于2004年7月在内蒙古鄂尔多斯高原毛乌素沙地对自然分布的3种优势植物油蒿(*Artemisia ordosica*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、牛心朴子(*Cynanchum komarovii*)根际土壤线虫群落进行了调查。共捕获线虫6,098条, 隶属于19科43属, 平均每100 g干土中含有线虫169条, 其中丽突属(*Acrobeles*)、真滑刃属(*Aphelenchus*)、盘旋属(*Rotylenchus*)、矛线属(*Dorylaimus*)分别为食细菌类线虫、食真菌类线虫、植食性线虫和捕食—杂食类线虫的优势属。研究表明在沙地生态系统中, 3种植物根际土壤线虫群落的多样性、丰富度、均匀度和线虫总数虽然都存在一定的差异, 但不显著; 功能多样性指数中结构指数(SI)存在显著差异, 而通道指数(CI)、富集指数(EI)不存在显著差异; 3种植物对根际土壤线虫群落中各营养类群线虫的比例有显著影响。本实验结果表明, 在干旱生态系统中植物种类的不同对土壤食物网中线虫群落结构和种类组成有一定的影响。

关键词: 沙地生境, 土壤线虫, 群落组成, 营养结构, 多样性

Diversity and community analysis of soil nematodes associated with three plant species in Mu Us sandy land of Ordos Plateau

Jianbo Wu, Weibin Ruan*, Fengxing Xie, Jing Li, Yubao Gao

College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071

Abstract: The objective of this study was to investigate soil nematode communities associated with three naturally-distributed plant species (*Artemisia ordosica*, *Caragana korshinskii* and *Cynanchum Komarovii*) in Mu Us sandy land in the Ordos Plateau, Inner Mongolia. Total abundance of nematodes was 6,098, mean individual abundance was 169 per 100 g dry soil, represented by 43 genera from 19 families. *Acrobeles*, *Aphelenchus*, *Rotylenchus* and *Dorylaimus* were the most dominant genera in bacterivores, fungivores, plant-parasites and predators-omnivores, respectively. No differences in the diversity, richness, evenness and the total abundances of soil nematode community were observed among three plant species ($P > 0.05$). Structure index was significantly ($P < 0.05$) different among three plant species whereas channel index and enrichment index were not. Plant species not only modified abundance of plant-feeding, omnivorous and predatory nematodes, but also percentage of each trophic group. Bacterivorous and fungivorous nematodes were affected most by the differences in plant species. Results presented here indicated that plant species modified nematode community structure in arid ecosystems.

Key words: sand dune habitat, soil nematodes, community composition, trophic structure, diversity

近年来, 陆地生态系统中地上部植物多样性与地下部土壤生物多样性的生态联系以及土壤食物

网功能已成为国内外生态学界的研究热点之一 (Wardle *et al.*, 1999, 2003; Hooper *et al.*, 2000; Spehn

收稿日期: 2008-06-17; 接受日期: 2008-11-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB106802)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: ruanweibin2004@hotmail.com

et al., 2000; Stephan *et al.*, 2000; Korthals *et al.*, 2001; Hedlund *et al.*, 2003; De Deyn *et al.*, 2003)。研究不同植物对土壤中不同营养级生物的影响, 有助于理解植物多样性对地下部土壤生物多样性和土壤食物网功能的影响, 进一步理解地上部生物与地下部生物之间的联系。

线虫广泛分布于土壤生态系统中, 是土壤生物中最重要的类群之一, 具有数量大、种类多、环境适应性强等特点(Dropkin, 1989; Bernard, 1992)。线虫与其他土壤生物形成复杂的食物网, 并占有多个营养级, 在土壤有机质分解和矿化、物质循环和控制能量流动方面起着重要的作用, 直接或间接地影响植物群落演替过程和群落结构组成(Chew, 1974; Ingham *et al.*, 1985; Griffiths, 1994; Ritz & Trudgill, 1999; Wardle *et al.*, 1999; De Deyn *et al.*, 2004), 关系到生态系统的恢复重建和生物多样性保护的成败(De Deyn *et al.*, 2003)。目前, 国外学者对植物群落多样性和不同功能类型植物对地下部线虫群落的影响做了很多工作, 如Wardle等(2003)、De Deyn等(2004)、Viketoft等(2005)和Viketoft (2008)分别在温室和试验田中进行了不同种植物对土壤中线虫群落影响的研究; Porazinska等(2003)和Viketoft (2007)研究了在半自然(semi-natural)草原生态系统中不同种植物对线虫群落的影响。以上研究都表明植物种类和植物本身的特性可能比植物群落多样性对线虫群落产生的影响更大。但是, 由于温室、试验田以及半自然条件的限制, 这些研究反映的都是相对短期的影响效应, 这些结论有待于进一步在自然条件下进行验证。

在自然条件下, 植物群落中不同植物根系通常交错分布, 难以区分不同植物种类对根际土壤线虫群落的影响。因此, 选择植物分布稀疏、根系分布相对独立的植物群落是开展这一研究的重要前提。经过近几年调查, 鄂尔多斯高原广泛分布着油蒿(*Artemisia ordosica*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)和牛心朴子(*Cynanchum komarovii*)。建群种优势度显著, 地下部根系发达, 伴生草本植物的影响较小。这3种植物分布零散且相对独立, 几乎完全隔开, 周围植物对3种植物地下部生物的影响可能性很低。另外, 3种植物处于同一生境, 受到人为干扰相对较少, 这就提供了一个非常好的平台, 可以研究植物种类对根际土壤线虫群落的影响。本文主

要探讨不同植物对根际土壤线虫群落的组成、营养类群特征和营养结构的影响, 在相同气候和地理条件下, 在自然生境中研究不同植物自身特征的差异对地下部线虫群落的影响, 有助于进一步理解地上部植物群落与地下部土壤生物群落的相互关系。

1 研究区域及植物特征

研究地点设在中国科学院植物研究所鄂尔多斯沙地草地生态站(39°29'37.6" N, 110°11'29.4" E), 位于内蒙古鄂尔多斯高原毛乌素沙地的东北缘, 海拔1,300 m, 年降水量为350–400 mm, 集中于7–9月; 年均温度为6–7°C, 1月平均温度为–12°C至–10°C, 7月平均温度为21–22°C; 无霜期为130–150 d; 年日照时数为2,800–3,100 h, 平均风速为3–3.5 m/s, 11月到5月多为西北风, 最大风速达20 m/s。取样地点设在生态站东南500 m的固定沙丘, 沙丘起伏不大, 高5–10 m, 沙丘垂直于主风向开沟。

取样的地内植被稀疏, 以油蒿和牛心朴子为主, 其次为柠条锦鸡儿。地面有较少的禾本科、菊科和藜科等科植物分布。油蒿属菊科, 半灌木, 高50–70 cm, 主茎不明显, 多分枝, 具直根系, 根系非常发达, 在半固定、固定沙地上主要分布在20–45 cm深的土层中。牛心朴子属萝藦科, 为多年生直立、半直立丛生草本植物, 高30–50 cm。根须状, 粗壮, 黄白色, 簇生于短小根茎上。柠条锦鸡儿属豆科, 灌木, 株高1.5–3.0 m, 最高可达5 m以上, 根系庞大, 入土深达5–6 m, 水平伸展可达20 m以上。

2 研究方法

2.1 取样方法

于2004年7月(湿季)在毛乌素沙地边缘的固定沙丘上和丘间地(100 m×100 m)分别选取油蒿、牛心朴子、柠条锦鸡儿3种植物各12株, 测量每株植物的冠幅。每种植物株间距>4 m。取样时去除土壤表面的凋落物, 在每株植物的根区沿剖面取0–25 cm的土样300 g, 共取36份样品, 用封口袋带回实验室进行土壤理化性质分析和线虫分离鉴定。

2.2 土壤的理化性质分析

取50 g土风干后, 剔除杂质, 研磨, 全部过100目筛, 用于全氮和有机碳的分析。土壤有机碳采用重铬酸钾加热法测定; 全氮采用半微量凯氏定氮法测定, 测定结果以土壤干重计算(鲍士旦, 2000)。

2.3 土壤线虫的分离和鉴定

每个土样称取200 g, 采用淘洗—过筛—蔗糖梯度密度离心法分离线虫(刘维志, 2000)。在显微镜下观察、统计每个分离样品中线虫的数量, 并依据《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英, 2000)和《植物线虫分类学》(谢辉, 2000)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。根据形态学特征和取食生境, 将土壤线虫划分为4个营养类群: 食细菌类线虫(bacterivores)、食真菌类线虫(fungivores)、植物寄生类线虫(plant-parasites)和捕食—杂食类线虫(predators-omnivores) (Yeates *et al.*, 1993; Bongers & Bongers, 1998; 梁文举等, 2001)。根据 Bongers (1990)给出的线虫c-p值表, 将捕获的每种线虫赋予一定的c-p值。c-p值代表线虫的生活史对策(*r*-*K*对策者), 值越小, 生活史越倾向于*r*对策; 值越大, 生活史越倾向于*K*对策。

2.4 线虫群落分析

(1)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; 吴东辉等, 2007)。

(2)线虫群落的多样性指数:

Shannon-Wiener 多样性指数 (*H'*) (Shannon & Weaver, 1949):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

丰富度指数(*SR*) (Yeates & king, 1997):

$$SR = (S-1) / \ln N \quad (2)$$

Simpson均匀度指数(*E*) (Magurran, 1988):

$$E = D/S, D = 1/\sum P_i^2 \quad (3)$$

以上公式中, *N*为线虫群落中线虫的总个体数; *S*为所鉴定属的总数; *P_i*为第*i*个属的个体所占的比例。

(3)线虫群落功能指数: 富集指数(*EI*)表示线

虫群落对可利用资源的响应; 通道指数(*CI*)表示有机物分解途径, 是以细菌为主还是以真菌为主; 结合*EI*和*CI*可以说明土壤肥力状况、营养物质的可利用性和养分流失状况; 结构指数(*SI*)反映土壤食物网结构在被干扰或恢复过程中的变化(Ferris *et al.*, 2001), 具体计算公式如下:

富集指数(Enrichment index):

$$EI = 100(e/(e+b))$$

通道指数(Channel index):

$$CI = 0.8Fu_2/(3.2Ba_1 + 0.8Fu_2)$$

结构指数(Structure index):

$$SI = 100(s/(s+b))$$

以上公式中, *b* (basal)代表食物网中的基础成分, 主要指*Ba₂*和*Fu₂*这两个类群; *e* (enrichment)代表食物网中的富集成分, 主要指*Ba₁*和*Fu₂* 这两个类群; *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。*b*、*e* 和*s*值的计算公式分别为 $b = \sum k_b n_b$, $e = \sum k_e n_e$, $s = \sum k_s n_s$, 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), *n_b*、*n_e* 和 *n_s* 则为各类群的多度。

2.5 统计分析

数据处理在SPSS10.0软件中进行, 土壤线虫的多度经ln(*x*+1)转换后进行单因素方差分析。根据在植物根际土壤中检测到的线虫的有或无和线虫的多度, 进行Jaccard相似性分析和典范判别分析。

3 结果

3.1 三种植物根际土壤理化性状和植物冠幅

油蒿根际土壤有机碳含量显著高于牛心朴子和柠条锦鸡儿, 而牛心朴子和柠条锦鸡儿之间差异不显著; 油蒿根际土壤全氮含量虽然高于其他两种植物, 但是差异不显著。3种植物的冠幅存在显著差异, 柠条锦鸡儿最大, 油蒿次之, 牛心朴子最小(表1)。

表1 三种植物根际土壤化学性状和植物冠幅

Table 1 Chemical characteristics of soils and plant crown width associated with three plant species (mean ± SE)

	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	牛心朴子 <i>Cynanchum komarovii</i>	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>
有机碳 Organic carbon content (mg/g)	7.17 ± 0.48 ^a	5.20 ± 1.46 ^b	5.56 ± 1.20 ^b
全氮 Total nitrogen content (mg/g)	0.35 ± 0.08 ^a	0.28 ± 0.04 ^a	0.32 ± 0.03 ^a
碳氮比 C/N	12 ± 3 ^a	10 ± 3 ^a	15 ± 5 ^a
植物冠幅 Plant crown width (m ²)	1.608 ± 0.267 ^b	0.035 ± 0.006 ^c	5.385 ± 1.501 ^a

同一行内不同字母表示差异显著(*P*<0.05)

Different letters in the same row denote significant differences at *P*=0.05 level by Duncan test

表2 3种植物根际土壤线虫群落的组成、营养类群与c-p值

Table 2 Composition, trophic group and c-p values of soil nematodes associated with three plant species

营养类群 Trophic group	属名 Genus	c-p值* c-p value	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	牛心朴子 <i>Cynanchum komarovii</i>	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>
食细菌类线虫 Bacterivores	丽突属 <i>Acrobeles</i>	2	+++	+++	+++
	拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	2	+	++	+
	板唇属 <i>Chiloplacus</i>	2	++	+	++
	头叶属 <i>Cephalobus</i>	2	++	+	++
	真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	2	+	+	+
	鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	2	++	++	++
	小杆属 <i>Rhabditis</i>	1	+	++	+
	棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	2	+	+	+
	中杆属 <i>Mesorhabditis</i>	1	-	+	-
	无咽属 <i>Alaimus</i>	4	+	+	+
	高杯侧属 <i>Amphidelus</i>	4	-	+	+
食真菌类线虫 Fungivores	真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	2	++	++	++
	滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	2	-	+	-
	拟滑刃属 <i>Paraphelenchus</i>	2	-	+	-
	茎属 <i>Ditylenchus</i>	2	++	++	+
	垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	4	-	+	-
	细齿属 <i>Leptonchus</i>	4	++	++	++
	膜皮属 <i>Diphtherophora</i>	3	+	+	+
植物寄生类线虫 Plant-parasites	丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	2	+	++	+
	平滑垫刃属 <i>Psilenchus</i>	2	-	+	-
	异皮属 <i>Heterodera</i>	3	+	+	+
	针属 <i>Paratylenchus</i>	2	++	+	+
	短体属 <i>Pratylenchus</i>	3	-	+	+
	矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	2	++	++	++
	盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	3	+++	+++	++
	拟盘旋属 <i>Pararotylenchus</i>	3	+	+	+
	螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	3	+	+	-
	小环属 <i>Criconemella</i>	3	++	+	++
	鞘属 <i>Hemicycliophora</i>	3	+	-	-
	刺咽属 <i>Belonolaimus</i>	5	-	+	-
	长针属 <i>Longidorus</i>	5	-	+	-
	拟毛刺属 <i>Paratrichodorus</i>	5	-	+	-
捕食—杂食类线虫 Predators—omnivores	矛线属 <i>Dorylaimus</i>	4	+++	+++	+++
	真矛线属 <i>Eudorylaimus</i>	5	-	++	-
	狭咽属 <i>Disclaimium</i>	5	++	++	++
	盘咽属 <i>Discolaimus</i>	5	++	++	++
	拱唇属 <i>Labronema</i>	5	++	++	+
	锐咽属 <i>Carcharolaimus</i>	5	++	+	+
	孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	5	++	+	+
	螯属 <i>Pungentus</i>	5	+	++	+
	单齿属 <i>Mononchus</i>	4	+	-	-
	缢咽属 <i>Axonchium</i>	5	-	-	+
大矛属 <i>Enchodelus</i>	5	-	+	+	

+++ 优势类群; ++ 常见类群; + 稀有类群; - 没有出现

+++ dominant genus; ++ accompanying genus; + rare genus; - not detected

3.2 3种植物根际土壤线虫群落的组成分析

3种植物对线虫群落的影响主要是线虫属的有无、个体的多少和各类群比例的不同。3种植物根际土壤中共检测到线虫6,098条,隶属于19科43属(表2)。在油蒿根际土壤中,共检测到线虫30属,2,649条,个体平均密度为220条/100 g干土。优势类群为丽突属(*Acrobeles*)、盘旋属(*Rotylenchus*)和矛线属(*Dorylaimus*),个体数占总捕获个体数的55.23%;常见类群包括板唇属(*Chiloplacus*)等14属,个体数占总捕获个体数的39.75%;稀有类群包括真头叶属(*Eucephalobus*)等13属,个体数占总捕获个体数的5.02%。在牛心朴子根际土壤中,共检测到线虫40属,1,684条,个体平均密度140条/100 g干土。优势类群与油蒿相同,3个属个体数占总捕获个体数的60.25%;常见类群包括拟丽突属(*Acrobeloides*)等16属,个体数占总捕获个体数的33.55%;稀有类群包括板唇属等21属,个体数占总捕获个体数的6.25%。在柠条锦鸡儿根际土壤中,共检测到线虫29属,1,765条,个体平均密度147条/100 g干土。优势类群有丽突属和矛线属,个体数占总捕获个体数的48.15%;常见类群包括板唇属等10属,个体数占总捕获个体数的44.92%;稀有类群包括拟丽突属等17

属,个体数占总捕获个体数的6.90%。

3.3 3种植物根际土壤线虫群落指数分析

由表3可以看出,油蒿、牛心朴子、柠条锦鸡儿3种植物根际土壤线虫群落Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)、丰富度指数(*SR*)和均匀度(*E*)不存在显著差异($P>0.05$)。油蒿根际土壤线虫群落多样性和均匀度最大,牛心朴子和柠条锦鸡儿根际土壤线虫群落多样性和均匀度接近;在牛心朴子根际土壤线虫群落的丰富度最高,油蒿和柠条锦鸡儿根际土壤线虫群落的丰富度比较接近。而3种植物根际土壤线虫群落结构指数(*SI*)存在显著差异,在油蒿根际土壤线虫群落中值最大(81.60);而3种植物根际土壤线虫群落的通道指数(*CI*)和富集指数(*EI*)不存在显著的差异。

3.4 3种植物根际土壤线虫群落营养结构比例分析

由表4可以看出,在3种植物根际土壤线虫群落中,食细菌类线虫和植物寄生类线虫所占比例存在显著差异,而对捕食-杂食类线虫和食真菌类线虫所占比例没有显著差异。其中食细菌类线虫是主要的营养类群,在柠条锦鸡儿根际土壤中所占比例最大(54%),在油蒿根际土壤中所占比例最小。捕食-杂食类线虫在牛心朴子和柠条锦鸡儿根际土壤线

表3 3种植物根际土壤线虫群落指数

Table 3 Indices of soil nematodes community associated with three plant species (mean ± SE)

	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	牛心朴子 <i>Cynanchum komarovii</i>	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>
多样性指数 Shannon-Wiener diversity index (<i>H'</i>)	2.07 ± 0.07 ^a	1.87 ± 0.11 ^a	1.85 ± 0.07 ^a
丰富度 Species richness (<i>SR</i>)	2.42 ± 0.14 ^a	2.81 ± 0.20 ^a	2.46 ± 0.13 ^a
Simpson均匀度 Simpson evenness (<i>E</i>)	0.78 ± 0.03 ^a	0.72 ± 0.03 ^a	0.73 ± 0.02 ^a
富集指数 Enrichment index (<i>EI</i>)	10.78 ± 3.77 ^a	17.37 ± 4.68 ^a	9.27 ± 2.39 ^a
结构指数 Structure index (<i>SI</i>)	81.60 ± 3.19 ^a	70.91 ± 4.09 ^{ab}	58.22 ± 6.51 ^b
通道指数 Channel index (<i>CI</i>)	73.00 ± 10.14 ^a	64.47 ± 9.60 ^a	76.91 ± 7.73 ^a

同一行内不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Different letters in the same row denote significant differences at $P=0.05$ level by Duncan test

表4 3种植物根际土壤线虫群落营养类群比例

Table 4 Composition of nematode trophic groups (%) associated with three plant species (mean ± SE)

	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	牛心朴子 <i>Cynanchum komarovii</i>	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>
食细菌类线虫 Bacterivores (%)	34 ± 5 ^b	44 ± 5 ^{ab}	54 ± 5 ^a
食真菌类线虫 Fungivores (%)	5 ± 1 ^a	12 ± 4 ^a	7 ± 2 ^a
植物寄生类线虫 Plant-parasites (%)	31 ± 5 ^a	18 ± 4 ^b	18 ± 4 ^b
捕食-杂食类线虫 Predators-omnivores (%)	30 ± 3 ^a	26 ± 4 ^a	21 ± 3 ^a

同一行内不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Different letters in the same row denote significant differences at $P=0.05$ level by Duncan test

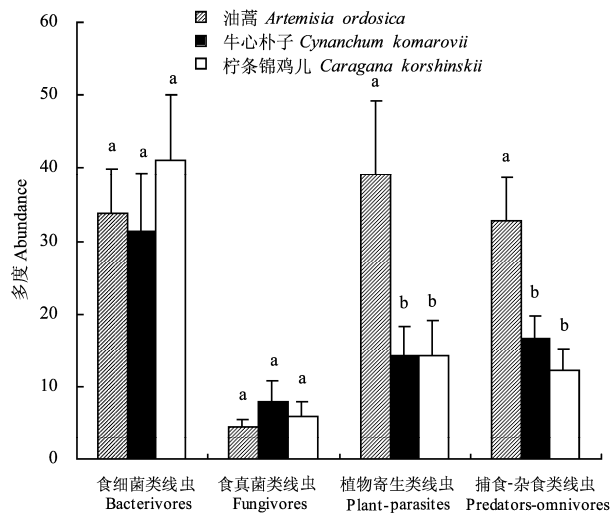


图1 3种植物根际土壤线虫群落中不同营养类群线虫的多度(条/100 g干土)

Fig. 1 Abundance of nematode trophic groups associated with three plant species (number per 100g dry soil) (mean \pm SE)

表5 3种植物根际土壤线虫群落的Jaccard相似性

Table 5 The Jaccard similarity indice of nematode community associated with three plant species

	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	牛心朴子 <i>Cynanchum komarovii</i>	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>
油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	1		
牛心朴子 <i>Cynanchum komarovii</i>	0.651	1	
柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>	0.788	0.707	1

虫群落所占的比例比植物寄生类线虫的比例大,而在油蒿根际土壤中两种营养类群的比例接近。食真菌类线虫在牛心朴子根际土壤中所占比例最大(12%)。

3.5 3种植物根际土壤线虫群落营养类群多度分析

3种植物根际土壤中,线虫的总多度($P=0.128$, $F=2.191$)没有显著差异,但是不同营养类群线虫的多度有一定差异。植物寄生类线虫和捕食-杂食类线虫的多度差异显著,而食细菌类线虫和食真菌类线虫的多度差异不显著。在油蒿根际土壤线虫群落中,植物寄生类线虫和捕食-杂食类线虫的多度最高,而在另外两种植物根际土壤线虫群落中相差不大(图1)。

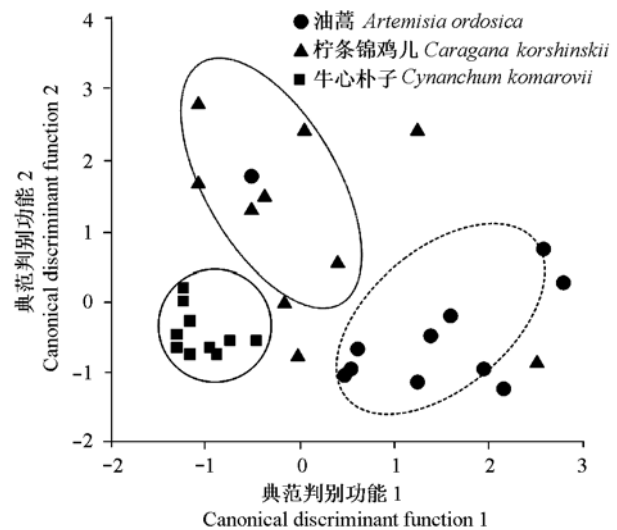


图2 植物根际土壤线虫群落二维典范判别分析结果

Fig. 2 Stepwise discriminant analysis: soil nematode community associated with three plant species defined by canonical discriminant function 1 and 2

3.6 3种植物根际土壤线虫群落相似性分析

3种植物根际土壤线虫群落的相似性指数见表5,其中油蒿根际土壤线虫群落与锦鸡儿根际土壤线虫群落的Jaccard相似性值最大(0.788),说明两种植物根际线虫群落的种类组成相似性最高。

3.7 3种植物根际土壤线虫群落的判别分析

根据典范判别分析,可以看出在3种植物根际土壤线虫群落被清楚地划分为3个部分,其中牛心朴子和油蒿根际土壤线虫群落可以清楚地划分为两类,而柠条锦鸡儿的土壤线虫群落较为分散,说明植物种类对土壤线虫群落组成有一定的影响(图2)。

4 讨论

4.1 不同植物对根际土壤线虫群落组成的影响

植物种类的不同会引起土壤环境和营养状况的不同,因此会影响线虫群落的组成,在总共43属线虫中,其中10属只出现在牛心朴子根际土壤中,2属只出现油蒿根际土壤中,1属只出现在柠条锦鸡儿根际土壤中。在3种植物根际土壤线虫群落中,常见类群和稀有类群的比例也有差别,而且,不同植物对优势属有一定的影响,如盘旋属在柠条锦鸡儿根际土壤线虫群落不是优势类群,而在油蒿和牛心

朴子根际土壤线虫群落是优势类群。这说明植物的不同会引起根际土壤线虫群落组成有所差异。

4.2 不同植物对根际土壤线虫群落多样性的影响

从对线虫群落多样性的分析来看, 3种植物根际土壤线虫群落的多样性差异不显著, 说明不同植物对线虫群落多样性的影响不显著(Porazinska *et al.*, 2003), 而在De Deyn等(2004)的实验中, 不同植物对线虫群落的多样性存在显著的影响, 主要是非禾本科草本植物和禾本科草本植物之间存在显著差异。Viketoft等(2005)和Viketoft (2007, 2008)的实验结果表明, 植物本身特征和功能类型都会对线虫群落的多样性产生显著的影响。但是, Viketoft (2007)在半自然草地的线虫群落的调查, 仅用了8 g湿土, 而大多数线虫学家约取200 g湿土进行线虫群落分析, 该研究取样的代表性值得商榷。虽然上述的结果存在差异, 但都反映出植物本身特征对线虫群落的多样性有一定的影响。

结构指数(SI)能够反映土壤食物网结构在干扰或恢复过程中的变化, 本文中SI的显著差异说明植物种类不同对土壤食物网的结构有一定的影响。另外, 富集指数(EI)小于50, SI大于50, 说明该地区干扰较少, 植物的土壤食物网正在形成中(李玉娟等, 2005), 这与该地区的生态环境处于恢复阶段相吻合。

4.3 不同植物对根际土壤线虫群落的营养类群结构的影响

植物种类不同对植物寄生类线虫的多度会有显著影响, 而对其他营养类群线虫影响的结果不一致, 即不同植物对土壤食物网中低营养级的线虫影响最大, 而对其他营养级的线虫影响较弱(Wardle *et al.*, 2003; Porazinska *et al.*, 2003; De Deyn *et al.*, 2004; Viketoft *et al.*, 2005; Viketoft, 2007, 2008)。本文研究发现3种植物对线虫群落中植物寄生类线虫和捕食一杂食类线虫的多度有显著的影响, 而对食细菌类线虫和食真菌类线虫的多度没有显著影响。因为植物自身的生物学特征, 例如植物的根系深浅和多少、根系分泌物、C₃和C₄植物、根的类型等都会影响植食性线虫的密度; 另外, 地下部植物寄生类线虫大部分不是专性寄生的, 所以不同植物会对植物寄生类线虫的多度产生显著的影响(Wardle *et al.*, 1999; Hooper *et al.*, 2000; Porazinska *et al.*, 2003; van der Putten, 2003)。同时, 3种植物个体形态相差较

大, 牛心朴子是多年生草本, 油蒿是半灌木, 柠条锦鸡儿是灌木。在干旱沙地的环境中, 植物灌丛有利于风携带物和残枝落叶的聚集, 从而改变有机质和营养成分含量, 进而间接引起线虫群落营养类群多度的改变(Jiang *et al.*, 2007)。

参考文献

- Bao SD (鲍士旦) (2000) *Agricultural Chemical Analyse of Soil* (土壤农化分析). China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Bernard EC (1992) Soil nematode biodiversity. *Biology and Fertility of Soil*, **14**, 99–103.
- Bongers T (1990) The maturity index, an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, **83**, 14–19.
- Bongers T, Bongers M (1998) Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, **10**, 239–251.
- Chew RM (1974) Consumers as regulators of ecosystems: an alternative to energetics. *Ohio Journals of Science*, **72**, 359–370.
- De Deyn GB, Raaijmakers CE, Zoomer HR, Berg MP, de Ruiter PC, Verhoef HA, Bezemer TM, van der Putten WH (2003) Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*, **422**, 711–713.
- De Deyn GB, Raaijmakers CE, van Ruijven J, Berendse F, van der Putten WH (2004) Plant species identity and diversity effects on different trophic levels of nematodes in the soil food web. *Oikos*, **106**, 576–586.
- Dropkin HV (1989) *Introduction to Plant Nematology*, 2nd. John Willey and Sons Publishing House, New York.
- 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.
- Griffiths BS (1994) Approaches to measuring the contribution of nematodes and protozoa to nitrogen mineralization in the rhizosphere. *Soil Use and Management*, **6**, 88–90.
- Hedlund K, Santa RI, van der Putten WH, Lepš J, Diaz T, Korthals GW, Lavorel S, Brown VK, Gormsen D, Mortimer SR, Rodriguez-Barrueco C, Roy J, Smilauer P, Smilauerová M, van Dijk C (2003) Plant species diversity, plant biomass and responses of the soil community on abandoned land across Europe: idiosyncrasy or above-belowground time lags. *Oikos*, **103**, 45–58.
- Hooper DU, Bignell DE, Brown VK, Brussaard L, Dangerfield JM, Wall DH, Wardle DA, Coleman DC, Giller KE, Lavelle P, Van der Putten WH, De Ruiter PC, Rusek J, Silver WL, Tiedje JM, Wolters V (2000) Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. *BioScience*, **50**, 1049–1061.
- Ingham RE, Trofymow JA, Ingham ER, Coleman DC (1985) Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs*, **55**, 119–140.

- Jiang DM, Li Q, Liu FM, Jiang Y, Liang WJ (2007) Vertical distribution of soil nematodes in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy Land, Northeast China. *Ecology Research*, **22**, 49–56.
- Korthals GW, Smilauer P, van Dijk C, van der Putten WH (2001) Linking above- and below-ground biodiversity: abundance and trophic complexity in soil as a response to experimental plant communities on abandoned arable land. *Functional Ecology*, **15**, 506–514.
- Li YJ (李玉娟), Wu JH (吴纪华), Chen HL (陈慧丽), Chen JK (陈家宽) (2005) Nematodes as bioindicator of soil health: methods and applications. *Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**, 1541–1546. (in Chinese with English abstract)
- Liu WZ (刘维志) (2000) *Plant Parasitic Nematology* (植物病原线虫学). China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- 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)
- Magurran AE (1988) *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey.
- Porazinska DL, Bardgett RD, Blaauw MB, Hunt W, Parsons AN, Seastedt TR, Wall D (2003) Relationships at the aboveground-belowground interface plants, soil biota, and soil processes. *Ecological Monographs*, **73**, 377–395.
- Ritz K, Trudgill DL (1999) Utility of nematode community analysis as an integrated measure of the functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and Soil*, **212**, 1–11.
- Shannon CE, Weaver W (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Spehn EM, Joshi J, Schmid B, Alpehi J, Körner C (2000) Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant and Soil*, **224**, 217–230.
- Stephan A, Meyer AH, Schmid B (2000) Plant diversity affects cultural soil bacteria in experimental grassland communities. *Journal of Ecology*, **88**, 988–998.
- van der Putten WH (2003) Plant defense belowground and spatiotemporal processes in natural vegetation. *Ecology*, **84**, 2269–2280.
- Viketoft M, Palmborg C, Sohlenius B, Huss-Danellb K, Bengtsson J (2005) Plant species effects on soil nematode communities in experimental grasslands. *Applied Soil Ecology*, **30**, 90–103.
- Viketoft M (2007) Plant induced spatial distribution of nematodes in semi-natural grassland. *Nematology*, **9**, 131–142.
- Viketoft M (2008) Effects of six grassland plant species on soil nematodes: a glasshouse experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, **40**, 906–915.
- Wardle DA, Bonner KI, Barker GM, Yeates GW, Nicholson KS, Bardgett RD, Watson RN, Ghani A (1999) Plant removals in perennial grassland: vegetation dynamics, decomposers, soil biodiversity, and ecosystem properties. *Ecological Monographs*, **69**, 535–568.
- Wardle DA, Yeates GW, Williamson W, Bonner KI (2003) The responses of a three trophic level soil food web to the identity and diversity of plant species and functional groups. *Oikos*, **102**, 45–56.
- Wu DH (吴东辉), Yin WY (尹文英), Chen P (陈鹏) (2007) Effect of mowing practice on soil nematode community in alkalized grasslands of *Leymus chinensis* in Songnen Plain. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 180–187. (in Chinese with English abstract)
- Xie H (谢辉) (2000) *Taxonomy of Plant Nematodes* (植物线虫分类学). Anhui Science and Technology Press, Hefei. (in Chinese)
- Yin WY (尹文英) (2000) *Soil Animals of China* (中国土壤动物). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yeates GW, Bongers T, De Goede RGM, Freckman DW, Georgieva SS (1993) Feeding habitats in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, **25**, 315–331.
- Yeates GW, King KL (1997) Soil nematodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tables (NSW): comparison of native and improved grasslands. *Pedobiologia*, **41**, 526–536.

(责任编辑: 闫文杰)