

生活垃圾堆肥基质草坪建植体系 接种草坪土壤线虫多样性特征

多立安*, 廉 菲, 赵树兰

(天津师范大学化学与生命科学学院, 天津 300387)

摘要:通过城市生活垃圾堆肥基质草坪建植体系接种草坪土壤线虫,研究了线虫数量、科属分类、营养类群等线虫多样性变化。结果表明,接种草坪土壤线虫 4 个月后,垃圾堆肥基质中共鉴定出线虫 4 科 7 属,包括植物寄生性线虫、食真菌线虫和食细菌线虫 3 个营养类群;垃圾堆肥基质草坪建植体系中线虫总数明显少于土壤基质。在接种草坪线虫的土壤基质草坪建植体系中,植物寄生线虫为优势营养类群,盘旋线虫属仍为优势属,相对多度达到 83.3%,显著高于本底土壤 45.1%。在接种草坪土壤线虫的垃圾堆肥基质草坪建植体系中,土壤本底中处于优势属的植物寄生类线虫如盘旋线虫属和螺旋线虫属基本消失了,表明垃圾堆肥基质对植物寄生类群的生长与繁殖表现出明显的抑制作用,优势属也发生了很大变化,食细菌类群的头叶属和丽突属成为优势属,相对多度分别为 67.0% 和 14.0%。因此,从草坪土壤线虫危害角度来说,以垃圾堆肥作为草坪基质将会为草坪植物生长创造良好的基质环境。

关键词:多样性;生活垃圾堆肥基质;草坪建植体系;草坪线虫;营养类群

文章编号:1000-0933(2009)04-1725-06 中图分类号:Q143 文献标识码:A

The characteristics of nematode diversity in turf medium derived from municipal solid waste compost

DUO Li-An*, LIAN Fei, ZHAO Shu-Lan

College of Chemistry and Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1725 ~ 1730.

Abstract: This study investigated the characteristics of soil nematode diversity in nematode-inoculated turf medium derived from municipal solid waste (MSW) compost. After 4 months nematode inoculation, 4 families and 7 genera of nematodes were identified in the MSW compost medium, which belonged to three trophic groups, namely plant-parasites, fungivores and bacterivores. In the MSW compost medium the plant-parasite was the dominant trophic group with *Rotylenchus* was the dominant genus. The relative abundance (RA) of *Rotylenchus* was 83.3%, which was significantly higher than that in the background soil (control). However, the number of genera in MSW compost medium was less than that in the background soil. *Cephalobus* and *Acrobeles* of bacterivorous nematodes were found as the dominant genera in the MSW compost medium, with a RA of 67.0% and 14.0%, respectively. In contrast, *Helicotylenchus* and *Rotylenchus*, which were found as the dominant genera of plant-parasitic nematodes in background soil, were not found in the inoculated MSW compost medium, suggesting that MSW compost inhibited the growth and propagation of plant-parasitic nematodes. These findings suggest that MSW compost medium could provide a favorable environment for turfgrass growth.

Key Words: diversity; MSW compost medium; turf establishment system; turf nematode; trophic group

基金项目:天津师范大学专项基金资助项目(52LE19);天津市科技发展计划(培育)资助项目(043100611);国家自然科学基金资助项目(59878033)

收稿日期:2007-12-03; **修订日期:**2008-09-16

致谢:感谢南开大学生命科学学院阮维斌老师在草坪土壤线虫的分类与鉴定中给予的帮助

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: duolian_tjnu@163.com

我国城市生活垃圾(简称“垃圾”)历年的堆存量已超过 60 亿 t,而资源化利用低于 5%,绝大多数垃圾处于闲置混乱堆放状态^[1,2]。堆肥化是垃圾资源化利用的一个重要途径,以往垃圾堆肥应用农田进行作物生产较为普遍^[2,3]。垃圾堆肥中富含有机质和氮、磷、钾,是优质的有机肥料,施用垃圾堆肥可以促进植物生长,提高生物量^[4];而有关以垃圾堆肥为基质进行草坪建植的研究表明,垃圾堆肥基质培植的草坪植株密度、株高、根系、绿期与绿度等均符合草坪建植要求,草坪综合质量特征优于土壤^[5~8]。因此,以垃圾堆肥为基质构建草坪建植体系具有重要的应用价值^[9]。

另外,每年全球因有害线虫造成的损失高达 870 亿美元^[10]。线虫(nematode)是土壤动物中数量和功能类群最丰富的一类,土壤中的数量惊人,每平方米可高达 30 000 000 条^[11]。不同环境条件及管理措施下土壤线虫群落变化的研究在国外得到重视^[12~14],并将线虫作为土壤健康的指示生物^[15,16]。从 20 世纪 90 年代开始,我国也有一些报道^[17~20]。植物寄生线虫也是危害草坪植物生长的主要有害生物之一^[21],尤其在亚热带和温暖气候区能造成大面积草坪黄化,甚至死亡。为此,本实验以垃圾堆肥为基质构建草坪建植体系,通过基质接种草坪土壤线虫,研究了垃圾堆肥草坪基质中线虫数量、科属分类、营养类群等多样性变化特征,目的为垃圾堆肥基质草坪建植体系中线虫防治提供依据,而有关这方面研究尚无文献报道。

1 材料与方法

1.1 实验材料

生活垃圾堆肥来自天津市小淀垃圾堆肥处理厂。草坪植物选用多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)。实验地设在天津师范大学北院。

1.2 实验方法

1.2.1 基质线虫背景分析、线虫接种及草坪建植

夏季,取自天津博物馆广场草坪土壤,在草坪草根际取土约 500 g,取样深度为 0~10 cm,采样点为 5 个,装袋封口,带回实验室。取均匀混合土样,在实验开始前,分离、鉴定土壤中线虫种类及数量作为本底数据。土样分成两部分,一部分用于接种,一部分在 160 ℃下干热灭菌 2 h 备用。普通塑料花盆作为容器,用于构建草坪建植体系。实验共设 2 个处理:垃圾堆肥(已灭活)350 g 与土壤(含线虫)350 g 混合均匀装入花盆;土壤(已灭活)350 g 与土壤(含线虫)350 g 混合均匀装入花盆。在每个花盆中,分别播种黑麦草种 1.5 g,实验为 3 次重复。然后,将所有花盆埋入实验地,花盆上沿与地面相距 1 cm。草坪培植 4 个月后,分离鉴定各处理线虫的种类及数量,并分析垃圾堆肥基质中的线虫多样性特征。

1.2.2 线虫分离、鉴定与计数

称取草坪基质样品 100 g,用淘洗-过筛-蔗糖离心法分离线虫,在 60℃下杀死,再加入 2 倍的 TAF 固定液固定,混匀,倒入标本瓶中待测。样品过筛从上到下分别为:35 目、60 目、400 目。TAF 固定液为:甲醛:三乙醇胺:水 = 7ml:2ml:91ml^[22]。在 OLYMPUS 体视解剖镜下鉴定、计数,分类方法参见文献^[23]。最后,依据土壤含水量,将线虫数量折算成每 100 g 干土的线虫条数^[19]。

1.2.3 草坪建植体系线虫多样性分析

根据线虫的头部形态学特征和取食生境将土壤线虫分成以下 4 个营养类群:食细菌类、食真菌类、植物寄生类和捕食/杂食类,线虫分类鉴定到科属水平。线虫相对多度(RA%)采用三级分类制:“+++”代表 RA% > 10,为优势属;“++”代表 1 ≤ RA% ≤ 10,为常见属;“+”代表 RA% < 1,为稀有属。土壤线虫群落多样性的变化采用生态学家普遍应用的多样性指数来度量^[24,25]。3 个基本的量化指标分别为: N 为所鉴定的个体数目; S 为鉴定分类单元的数目,某一给定的分类单元可以看作是第 i 个分类单元; P_i 为第 i 个分类单元中个体所占的比例。根据上述 3 个指标可以计算以下基本指数:

多样性指数(Diversity)采用香农-威纳指数(Shannon-Weiner index) $H' = - \sum P_i \ln P_i$

均匀度指数(Evenness) $J = H'/H'_{\max}$, 其中 $H'_{\max} = \ln S$

丰富度指数(Richness) $SR = (S - 1) / \ln N$

优势度指数(Dominance) $\lambda = \sum P_i^2$

2 结果与分析

2.1 自然草坪土壤线虫本底数量、科属分类及营养类群

实验开始前,对供试草坪土壤本底线虫的数量及科属分类进行了鉴定(表1),共鉴定出土壤线虫11科19属,其中植物寄生类群的螺旋属和盘旋属是优势属,相对多度分别占土壤线虫的19.4%和45.1%。本底土壤每100 g干土中,各属线虫数量分布在0.3~86.3条,表明各属线虫数量相差悬殊,其中数量最少的为鹿角唇属、平滑垫刃属和矛线属,最多的为盘旋属。在本底土壤线虫群落营养类群中,植物寄生类群占绝对优势,杂食-捕食类群所占比例最少。上述分析表明,以该土壤作为草坪基质构建草坪建植体系,有可能对草坪植物的生长发育造成不利影响。

表1 自然草坪土壤本底线虫营养类群、科属分类及数量特征

营养类群 Trophic groups	科 Family	属 Genus	密度 Density	相对多度 RA%	优势度 Dominance
食细菌类群 Bacterivores	头叶科 Cephalobidae	头叶线虫属 <i>Cephalobus</i>	9	4.8	++
		真头叶线虫属 <i>Eucephalobus</i>	13	6.8	++
	小杆科 Rhabditidae	板唇线虫属 <i>Chiloplacus</i>	1.7	0.8	+
		丽突线虫属 <i>Acrobeles</i>	0.7	0.4	+
		鹿角唇线虫属 <i>Cervidellus</i>	0.3	0.2	+
		小杆线虫属 <i>Rhabditis</i>	5.7	3.2	++
食真菌类群 Fungivores	膜皮科 Diphtherophoridae	膜皮线虫属 <i>Diphtherophora</i>	6.7	3.3	++
	真滑刃科 Aphelenchidae	真滑线虫刃属 <i>Aphelenchus</i>	3.7	1.7	++
	滑刃科 Aphelenchoididae	滑刃线虫属 <i>Aphelenchoides</i>	1.7	0.9	+
植物寄生类群 Plant-parasites	粒科 Anguinae	茎线虫属 <i>Ditylenchus</i>	7.3	4	++
	短体科 Pratylenchidae	潜根线虫属 <i>Hirschmanniella</i>	2	0.9	+
		短体线虫属 <i>Pratylenchus</i>	2.3	1.2	++
	纽带科 Hoplolaimidae	螺旋线虫属 <i>Helicotylenchus</i>	41.7	19.4	+++
		盘旋线虫属 <i>Rotylenchus</i>	86.3	45.1	+++
	垫刃科 Tylenchidae	垫刃线虫属 <i>Tylenchus</i>	3	1.6	++
		丝尾垫刃线虫属 <i>Filenchus</i>	4.3	2	++
		平滑垫刃线虫属 <i>Psilenchus</i>	0.3	0.2	+
	刺线虫科 Belonolaimidae	矮化线虫属 <i>Tylenchorhynchus</i>	4	1.9	++
杂食-捕食类群 Omnivores-predators	矛线科 Dorylaimidae	矛线线虫属 <i>Dorylaimus</i>	0.3	0.2	+

密度 Density:个/100 g 土壤 number/100 g soil; +++: RA > 10 优势属 Dominant genus; ++: 1 ≤ RA ≤ 10 常见属 Ordinary genus; +: RA < 1 稀有属 Rare genus

2.2 接种后土壤与垃圾堆肥草坪基质线虫数量、科属分类及营养类群

接种草坪土壤线虫4个月后,土壤和垃圾堆肥基质草坪建植体系中线虫数量及科属变化见表2。在接种线虫的土壤草坪基质中,共鉴定出线虫6科8属,明显少于本底土壤,优势属仍为植物寄生类群的盘旋线虫属,相对多度达到83.3%,显著高于本底土壤45.1%。线虫群落的各营养类群组成均有所减少,然而植物寄生类群仍为优势类群。在接种的垃圾堆肥草坪基质中,共鉴定出线虫4科7属,也明显少于本底土壤,并且优势属也发生了很大变化,食细菌类群的头叶线虫属和丽突线虫属成为了优势属,相对多度分别为67.0%和14.0%(表2);植物寄生类群中只有丝尾垫刃线虫属少量存在,其余科属均消失了。以上结果说明,垃圾堆肥对线虫群落中各类群的影响存在明显差异,主要表现为,垃圾堆肥抑制了植物寄生类群的群体数量,而对非植物寄生的营养类群则有不同程度的促进作用,尤其促进了食细菌类群的生长发育。由于食细菌类群线虫主要以细菌为食,对植物没有直接的伤害;而植物寄生类群线虫以寄主植物为食,对植物的伤害最大,因此,非植物寄生线虫群体数量的增长,植物寄生线虫营养类群的降低,说明垃圾堆肥改善了基质质量。从土壤动物角度来讲,这一结果也反映了以垃圾堆肥作为草坪基质可能比土壤基质更有利于草坪植物的生长。

表 2 接种后土壤与堆肥草坪基质线虫营养类群、科属分类及数量特征

Table 2 The trophic groups, family and genus classification and quantitative characteristics of nematode in the inoculated soil and MSW compost turf medium

营养类群 Trophic groups	科 Family	属 Genus	接种土壤 Inoculated soil			接种堆肥 Inoculated compost		
			密度 Density	相对多度 RA(%)	优势度 Dominance	密度 Density	相对多度 RA(%)	优势度 Dominance
食细菌类群 Bacterivores	头叶科 Cephalobidae	头叶线虫属 <i>Cephalobus</i>	0	0	+	105.3	67	+++
		真头叶线虫属 <i>Eucephalobus</i>	7.3	2.9	++	0.7	0.3	+
	小杆科 Rhabditidae	板唇线虫属 <i>Chiloplacus</i>	0	0	+	0.7	0.28	+
		丽突线虫属 <i>Acrobeles</i>	2	0.4	+	14.7	14	+++
		鹿角唇线虫属 <i>Cervidellus</i>	0	0	+	0	0	+
		小杆线虫属 <i>Rhabditis</i>	12	4.9	++	10.7	10	++
食真菌类群 Fungivores	膜皮科 Diphtherophoridae	膜皮线虫属 <i>Diphtherophora</i>	0	0	+	0	0	+
	真滑刃科 Aphelenchidae	真滑刃线虫属 <i>Aphelenchus</i>	8	4	++	9.3	7.3	++
	滑刃科 Aphelenchoididae	滑刃线虫属 <i>Aphelenchoides</i>	0	0	+	0	0	+
植物寄生类群 Plant-parasites	粒科 Anguinae	茎线虫属 <i>Ditylenchus</i>	0	0	+	0	0	+
	短体科 Pratylenchidae	潜根线虫属 <i>Hirschmanniella</i>	0	0	+	0	0	+
		短体线虫属 <i>Pratylenchus</i>	0	0	+	0	0	+
	纽带科 Hoplolaimidae	螺旋线虫属 <i>Helicotylenchus</i>	0	0	+	0	0	+
		盘旋线虫属 <i>Rotylenchus</i>	238.7	83.3	+++	0	0	+
		垫刃线虫属 <i>Tylenchus</i>	7	1.5	++	0	0	+
		丝尾垫刃线虫属 <i>Filenchus</i>	5.3	1.9	++	0.7	0.3	+
		平滑垫刃线虫属 <i>Psilenchus</i>	0	0	+	0	0	+
	刺线虫科 Belonolaimidae	矮化线虫属 <i>Tylenchorhynchus</i>	0.7	0.1	+	0	0	+
	矛线科 Dorylaimidae	矛线线虫属 <i>Dorylaimus</i>	0	0	+	0	0	+

密度 Density: 个/100 g 土壤 number/100 g soil; +++: RA > 10 优势属 Dominant genus; ++: 1 ≤ RA ≤ 10 常见属 Ordinary genus; +: RA < 1 稀有属 Rare genus

2.3 接种后土壤与堆肥草坪基质线虫多样性指标综合分析

生物多样性是生态系统过程稳定性的一个重要因子,其中不同的物种和种群发挥着不同的作用,土壤线虫作为土壤食物网的一个重要组成部分,通过取食微生物而影响土壤有机质分解和养分循环。一些“关键种”的消失将会严重影响生态系统功能,而且这种影响可能无法补偿,从而导致生态系统功能的丧失^[11]。正是基于这样的认识,目前多数生态学者较为普遍地应用多样性指数来度量土壤线虫群落的多样性^[25, 26]。本研究发现,接种后垃圾堆肥基质草坪建植体系中线虫的多样性指数和均匀度指数均高于土壤基质草坪建植体系(表 3),说明经过 4 个月的生长繁殖后,垃圾堆肥促进了草坪基质中线虫的多样化和种类的均匀性,然而丰

富度指数和优势度指数不及土壤基质,但差异不明显。

3 讨论与结论

土壤线虫在植物根际这一特殊的微生态区域中非常活跃,它们直接参与生态系统的物质循环和能量流动,对于土壤有机物的分解、养分的储存转化与释放、土壤微生物区系的调节及土壤理化性质的改变都起着非常重要的作用^[11, 27]。已有的研究表明,不同的环境条件及管理措施对土壤线虫的数量特征、群落结构及分布格局产生影响^[12~14, 28]。土壤线虫与基质中有机肥料的施用有关,Okada 等的研究表明,有机肥增加了捕食性线虫的数量^[12];Leroy 等将蔬菜、水

果及花园废弃物堆肥后应用于单播的玉米地中,经过 7a 的研究发现,有机肥的施用减少了土壤植物寄生短体线虫属(*Pratylenchus* sp.)和垫刃科线虫(*Tylenchidae*)数量,而以细菌为食的小杆科线虫(*Rhabditidae*)种群数量却明显增加^[29]。本研究通过对土壤和垃圾堆肥进行灭活接种草坪线虫,并构建了两种基质草坪建植体系,经过 4 个月的线虫生长繁殖和世代交替,垃圾堆肥和土壤草坪基质中线虫群落在数量、组成结构和生物多样性方面表现出显著差异。垃圾堆肥基质草坪建植体系中线虫总数明显少于土壤基质中线虫总数。土壤基质仍以植物寄生类群的一些属为优势属;垃圾堆肥基质中线虫以食细菌类群的头叶属和丽突属为优势属,垃圾堆肥对植物寄生类群表现出明显的抑制作用,在本底土壤中处于优势属的植物寄生类线虫如盘旋属和螺旋属在垃圾堆肥草坪基质中基本消失了,这和 Nahar 等人的有机肥料的加入,食细菌与食真菌线虫增加而植物寄生线虫种群数量减少的结果相一致^[30]。植物寄生线虫是草坪的潜在危害线虫,其中,矮化线虫、螺旋线虫和小环线虫是草坪上 3 种常见的植物寄生线虫^[21, 31]。以垃圾堆肥作为土壤营养施配物质,不但可以改善土壤微生物区系,促进土壤中有益微生物的生长,而且还可以有效控制植物寄生线虫的群体数量,降低土壤线虫对植物的危害。因此,从控制草坪基质有害线虫危害的角度来讲,以垃圾堆肥作为草坪基质可为草坪植物生长创造良好的基质环境,并有利于提高草坪质量。

References:

- [1] Jiang Y, Kang M Y, Liu Z, *et al.* Urban garbage disposal and management in China. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, 15(4): 531—540.
- [2] Zhao Y C, Chai X L. The principle and technique of urban garbage resources utilization. Beijing: Chemical Industry Press, 2002. 1—11.
- [3] Wei Y S, Fan Y B, Wang M J, *et al.* Composting and compost application in China. *Resources Conservation and Recycling*, 2000, 30(4): 277—300.
- [4] Ma K, Wang Z Q, Du Q, *et al.* Effect of municipal refuse compost to the growth of spring-wheat and the soil. *Agro-environmental Protection*, 2000, 19(5): 312—314.
- [5] Fan H R, Hua L, Cai D X, *et al.* Effects of municipal waste compost and its compound fertilizers on the turf quality of ryegrass. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2694—2702.
- [6] Duo L A, Zhao S L. Study on raising medium function of environmental engineering by using life rubbish to produce carpet turf. *Journal of Environmental Sciences*, 2002, 12(4): 498—505.
- [7] Duo L A, Zhao S L. Medium selection and compounding of environmental eco-engineering through making use of life rubbish to produce carpet turf. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(5): 767—772.
- [8] Zhao S L, Duo L A, Wang X L, *et al.* Turf established by sod with municipal solid waste compost as medium and waste material as netting. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 2007, 27(1): 126—131.
- [9] Duo L A, Zhao S L, Gao Y B. Probe into several ecological issue related to the establishment of urban turf system. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 1065—1071.
- [10] Dong L Q, Zhang K Q. Microbial control of plant-parasitic nematodes: a five-party interaction. *Plant Soil*, 2006, 288: 31—45.

表 3 接种后土壤与垃圾堆肥草坪基质线虫多样性分析

Table 3 Biodiversity analysis of nematode in the inoculated soil and MSW compost turf medium

指标 Indices	接种后土壤基质 Inoculated soil	接种后垃圾 堆肥基质 Inoculated compost
多样性指数 Diversity	0.687	0.905
均匀度指数 Evenness	0.33	0.465
丰富度指数 Richness	1.039	0.991
优势度指数 Dominance	0.726	0.571

- [11] Shao Y H, Fu S L. The diversity and functions of soil nematodes. *Biodiversity Science*, 2007, 15(2): 116—123.
- [12] Okada H, Harada H. Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in a Japanese soybean field. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(3): 582—598.
- [13] Cheng Z, Grewal P S, Stinner B R, *et al.* Effects of long-term turfgrass management practices on soil nematode community and nutrient pools. *Applied Soil Ecology*, 2008, 38(2): 174—184.
- [14] Rahman L, Chan K Y, Heenan D P. Impact of tillage, stubble management and crop rotation on nematode populations in a long-term field experiment. *Soil and Tillage Research*, 2007, 95(1-2): 110—119.
- [15] Ritz K, Trudgill D L. Utility of nematode community analysis as an integrated measure of the functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and Soil*, 1999, 212: 1—11.
- [16] Neher D A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, 2001, 33(4): 161—168.
- [17] Li H X. Nematode abundance under different vegetations restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1882—1889.
- [18] Liang W J, Jiang Y, Li Q. Spatial distribution characteristics of plant-parasitic nematodes in cultivated horizon of a site-specific experimental field. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 33—39.
- [19] Li X X, Wu H Y, Shi L B. Effects of irrigation on nematode communities in wheat field. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2007, 33(4): 413—418.
- [20] Wu D H, Zhang B, Chen P. Structural characteristics of soil nematodes community under different land uses in Changchun City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(3): 450—456.
- [21] Davis R F, Wilkinson H T, Noel G R. Vertical distribution of three nematode genera in a bentgrass putting green in central Illinois. *Journal of Nematology*, 1994, 4: 518—521.
- [22] Liu W Z. *Plant pathogenic nematology*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000. 372—381.
- [23] Yin W Y. *Pictorial keys to soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1998. 51—89.
- [24] Mensorley R, Frederick J J. Nematode community structure in rows and between rows of a soybean field. *Fundamental and Applied Nematology*, 1996, 19: 251—261.
- [25] Yeates G W, Bongers T. Nematode diversity in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 74: 113—135.
- [26] Bongers T. The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil*, 1999, 212: 13—22.
- [27] Fu S L, Ferris H, Brown D, *et al.* Does the positive feedback effect of nematodes on the biomass and activity of their bacteria prey vary with nematode species and population size? *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37: 1979—1987.
- [28] Bakonyi G, Nagy P, Kovács-Láng E, *et al.* Soil nematode community structure as affected by temperature and moisture in a temperate semiarid shrubland. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37(1-2): 31—40.
- [29] Leroy B L, Bommele L, Reheul D, *et al.* The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: Effects on soil fauna and yield. *European Journal of Soil Biology*, 2007, 43(2): 91—100.
- [30] Nahar M S, Grewal P S, Miller S A, *et al.* Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties. *Applied Soil Ecology*, 2006, 34(2-3): 140—151.
- [31] Wick R L. Population dynamics of nematodes in putting greens. *Golf Course Management*, 1989, 57: 100—112.

参考文献:

- [2] 赵由才, 柴晓利. 生活垃圾资源化原理与技术. 北京: 化学工业出版社, 2002. 1—11.
- [4] 马琨, 王兆骞, 杜茜, 等. 城市生活垃圾堆肥对春小麦生长和土壤的影响. *农业环境保护*, 2000, 19(5): 312—314.
- [5] 范海容, 华璐, 蔡典雄, 等. 城市垃圾堆肥及其复合肥对黑麦草草坪质量的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2694—2702.
- [7] 多立安, 赵树兰. 生活垃圾生产地毯式草皮环境生态工程基质选配研究. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 767—772.
- [8] 赵树兰, 多立安, 王修鲁, 等. 以生活垃圾堆肥为基质的废弃物铺网草皮建植研究. *西北植物学报*, 2007, 27(1): 126—131.
- [9] 多立安, 赵树兰, 高玉葆. 草坪建植体系构建中的生态问题. *生态学报*, 2007, 27(3): 1065—1071.
- [11] 邵元虎, 傅声雷. 试论土壤线虫多样性在生态系统中的作用. *生物多样性*, 2007, 15(2): 116—123.
- [17] 李辉信. 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.
- [18] 梁文举, 姜勇, 李琪. 定位试验地耕层土壤植物寄生线虫空间分布特征. *生态学报*, 2006, 26(1): 33—39.
- [19] 李秀侠, 吴海燕, 时立波. 灌溉对麦田土壤线虫区系的影响. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2007, 33(4): 413—418.
- [20] 吴东辉, 张柏, 陈鹏. 长春市不同土地利用生境的土壤线虫群落结构特征. *应用生态学报*, 2006, 17(3): 450—456.
- [22] 刘维志. *植物病原线虫学*. 北京: 中国农业出版社, 2000. 372—381.
- [23] 尹文英. *中国土壤动物检索图*. 北京: 科学出版社, 1998. 51—89.