

植被覆盖对土壤线虫营养类群空间分布的影响^{*}

华建峰^{1,2} 姜勇¹ 梁文举^{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 100039)

【摘要】 以中国科学院沈阳生态实验站的裸地和撂荒地作为研究对象, 采用经典统计学与地统计学相结合的方法, 研究裸地和撂荒地土壤线虫总数及各营养类群的空间分布特征。结果表明, 裸地和撂荒地植物寄生线虫与土壤 pH 呈显著负相关; 撂荒地土壤线虫总数的平均值显著大于裸地, 分别为每百克干土 1 485.3 和 464.0 条; 撂荒地土壤线虫总数、植物寄生线虫和食细菌线虫的块金值/基台值 (27.3%~45.6%) 低于裸地 (49.5%~100%), 裸地和撂荒地土壤线虫总数及各营养类群的空间分布格局均有明显差异, 表明植被覆盖对土壤线虫的空间分布有较大影响。

关键词 植被覆盖 土壤线虫 营养类群 空间分布 地统计学

文章编号 1001-9332(2006)02-0295-05 **中图分类号** S154 **文献标识码** A

Effects of vegetation coverage on spatial distribution of soil nematode trophic groups. HUA Jianfeng^{1,2}, JIANG Yong¹, LIANG Wenju¹ (¹Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ²Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(2): 295~299.

By the methods of classic statistics and geostatistics, this paper examined the spatial variability of soil nematodes and their trophic groups in bare and fallow plots at Shenyang Experimental Station of Ecology, Chinese Academy of Sciences. The results showed that soil pH had a negative effect on the plant-parasitic nematodes in both bare and fallow plots. The total number of soil nematodes was significantly higher in fallow than in bare plot, being 1 485.3 and 464.0 individuals per 100 g dry soil, respectively. The nugget (C_0)/sill ($C_0 + C$) ratio of total nematodes, plant-parasites and bacterivores were lower in fallow plot (27.3%~45.6%) than in bare plot (49.5%~100%). There was a significant difference in the spatial distribution of total nematodes and trophic groups between fallow and bare plots, indicating that vegetation coverage had an obvious effect on soil nematodes.

Key words Vegetation coverage, Soil nematode, Trophic group, Spatial distribution, Geostatistics.

1 引言

近年来的研究表明, 土壤线虫能够对生态系统所受到的干扰产生响应。土壤线虫常被用来作为生态系统变化的敏感性指示生物^[4,22]。在土壤食物网中, 相互作用的线虫营养类群的空间异质性已经成为标志土壤养分动态的一个重要决定因素^[21], 其对生态系统养分循环和能量流动有较大的影响。以数理统计和概率论为基础的经典统计分析方法在描述空间相关方面具有很大的局限性^[26], 进而使地统计学方法成为研究土壤养分异质性^[11,13]、土壤生物空间分布特征^[15,17]等的有效工具。国内外已有许多学者应用地统计学方法研究土壤线虫的空间分布格局^[15,29]。以往研究多集中在耕地土壤线虫空间分布上^[9,17], 有关植被覆盖条件下土壤线虫空间分布及其与裸地间差异方面的研究尚未见报道。植被覆盖对土壤微生物及土壤动物的生长发育有较大影响^[23]。有研究表明, 植物寄生线虫种群结构受控于植物类型^[8,20], 土壤线虫多度与根系分布密切相

关^[19,30]。因此, 研究植被覆盖条件下土壤线虫空间分布特征对于土壤生态系统管理具有一定的借鉴意义。本文采用经典统计学与地统计学相结合的方法, 研究了中国科学院沈阳生态实验站裸地及撂荒地土壤线虫总数及营养类群的空间分布特征, 以期土壤生态系统健康管理提供依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

本试验在中国科学院沈阳生态实验站(辽宁省沈阳市苏加屯区十里河镇, 41°31'N, 123°22'E)进行。该站位于下辽河平原, 属于暖温带半湿润大陆性气候, 海拔 31 m, 年平均气温 7~8℃, 年降雨量 650~700 mm, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 3 300~3 400℃, 无霜期 147~164 d, 供试土壤为砂壤质潮棕壤。取样期撂荒地覆盖植被种类主要有野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia*)、小薊 (*Cephalanoplos segetum*)、小藜

* 国家自然科学基金项目(30570337)和辽宁省自然科学基金资助项目(20042008)。

** 通讯联系人。

2005-06-22 收稿, 2005-10-17 接受。

(*Chenopodium serotinum*)、萝摩(*Metaplexis japonica*)、小蓬草(*Conyza canadensis*)等. 调查表明, 撂荒地覆盖植被风干重为 $0.59 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

2.2 研究方法

2.2.1 样品的采集与测定 试验地从1994年起开始撂荒, 2002年经过火烧后设置2个处理: 1) 裸地(地表裸露, 没有任何植被生长)(Bare plot); 2) 撂荒地(覆盖植被自然演替)(Fallow plot), 每个处理面积 $14 \text{ m} \times 14 \text{ m}$, 两小区相邻.

取样时间为2004年11月18日, 取样网格为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, 用内径为 2.5 cm 的土钻在每个网格内取 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 表层土壤, 每个土壤样品由5个小样混合而成, 装袋封口并作好标签, 带回实验室处理, 裸地、撂荒地各取49个土样(图1). 土壤全氮(TN)采用开氏定氮法; 土壤有机碳(TOC)采用 TOC-5000A 型固体有机碳分析仪测定; 阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵法; 土壤 pH 值用酸度计法测定(水土比 2.5:1).

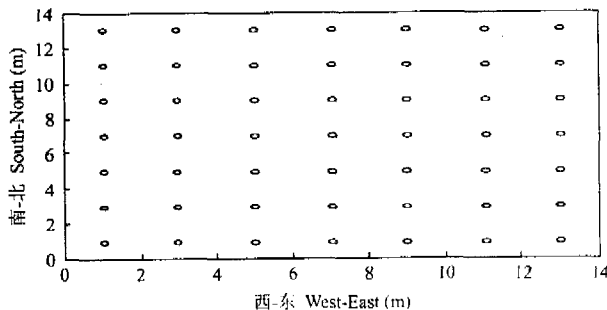


图1 采样点在裸地和撂荒地样方中的空间位置
Fig. 1 Spatial location of sample points in bare and fallow lands.

2.2.2 土壤线虫的分离鉴定 称取新鲜土样 100 g , 采用淘洗-过筛-蔗糖离心法分离线虫^[10,18], $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 温 and 热杀死, 再加入等量的2倍 TAF 固定液固定. 线虫总数通过解剖镜直接计数, 然后依据土壤湿度, 将土壤线虫种群数量折算成每 100 g 干土含有线虫的条数^[16]. 在光学显微镜下, 根据线虫的头部形态学特征和取食生境将土壤线虫分成4个营养类群: 植物寄生线虫(Plant-parasites)、食细菌线虫(Bacterivores)、食真菌线虫(Fungivores)、捕食/杂食线虫(Predators/Omnivores)^[31].

2.2.3 统计方法 经典统计学采用 SPSS10.0 分析; 地统计学采用 GS+ 分析.

插值分析采用 3×3 块段克里格法进行空间内插^[12,26]. 根据空间局部插值估计进行克里格制图, 可精确地描述研究变量在空间上的拓扑学形状, 有助于更深刻和全面地了解变量的空间分布格局.

3 结果与分析

3.1 土壤线虫总数及营养类群的描述性统计

表1是裸地和撂荒地土壤线虫总数及各营养类群的描述性统计分析结果. 从表中的平均值可以看出, 裸地与撂荒地土壤线虫数量差异显著($P < 0.01$), 撂荒地土壤线虫总数、植物寄生线虫、食细菌线虫及捕食/杂食线虫的平均值显著高于裸地. 对变异系数而言, 撂荒地除捕食/杂食线虫外均大于裸地.

根据表1中土壤线虫的平均值计算, 撂荒地中植物寄生线虫、食细菌线虫、食真菌线虫、捕食/杂食线虫占土壤线虫总数的比例分别为 73.0%、22.4%、1.9% 和 2.7%; 裸地中的比例分别为 57.1%、35.9%、5.3% 和 1.6%. 其中, 撂荒地植物寄生线虫占土壤线虫总数的比例显著高于裸地.

3.2 土壤线虫总数及营养类群的空间分布特征

表2是理论半方差理论模型及相应的参数. 裸地土壤线虫总数和捕食/杂食线虫的最佳理论模型为线性模型, 植物寄生线虫、食细菌线虫和食真菌线虫符合指数模型; 撂荒地土壤线虫总数和植物寄生线虫符合球状模型, 食细菌线虫符合指数模型, 食真菌线虫和捕食/杂食线虫符合线性模型(表2). 对表2中的决定系数进行 F 检验, 除裸地的植物寄生线虫和食真菌线虫达到显著水平($P < 0.05$)外其余均达到极显著水平($P < 0.01$), 说明理论模型较好地反映了裸地、撂荒地土壤线虫总数和各营养类群变量的空间结构特征.

由表2可知, 裸地土壤线虫半方差函数的基台值($C_0 + C$)均比撂荒地低, 说明其总的内部变异较

表1 土壤线虫总数及营养类群的描述性统计分析结果

Table 1 Descriptive statistics of the number of total nematodes and trophic groups (Individuals per 100 g dry soil)

处理 Treatment	项目 Item	平均值 \pm 标准差 Mean \pm S.D	变异系数 CV (%)	中值 Median	最小值 Minimum	最大值 Maximum	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
裸地 Bare plot	线虫总数 TNEM	464.0 \pm 150.7	32.49	450.10	160	758	0.140	-0.202
	植物寄生线虫 PP	265.0 \pm 142.2	53.65	251.43	45	655	0.574	0.017
	食细菌线虫 BF	166.8 \pm 91.8	55.05	155.57	7	482	0.966	1.609
	食真菌线虫 FF	24.6 \pm 23.6	95.90	18.96	0	98	1.493	2.006
	捕食/杂食线虫 OP	7.6 \pm 10.2	133.65	3.82	0	38	1.384	1.163
撂荒地 Fallow plot	线虫总数 TNEM	1485.3 \pm 794.1	53.47	1301.65	519	5233	2.345	9.247
	植物寄生线虫 PP	1084.6 \pm 777.3	71.66	1038.45	165	5128	3.017	14.533
	食细菌线虫 BF	332.0 \pm 223.4	67.29	278.09	35	1130	1.682	3.487
	食真菌线虫 FF	28.7 \pm 39.5	137.95	16.04	0	176	2.292	5.187
	捕食/杂食线虫 OP	39.9 \pm 42.9	107.38	24.41	0	176	1.670	2.520

TNEM: Total nematodes; PP: Plant-parasites; BF: Bacterivores; FF: Fungivores; OP: Omnivore/Predators. 下同 The same below.

小,块金值/基台值($C_0/(C_0 + C)$)反映了由随机因素引起的空间变异所占比例,裸地土壤线虫总数、植物寄生线虫、食细菌线虫的 $C_0/(C_0 + C)$ 高于撂荒地,撂荒地土壤线虫总数、植物寄生线虫、食细菌线虫 $C_0/(C_0 + C)$ 较低(27.3%~45.6%),表明其由随机性因素引起的空间变异所占比例较小,由结构因素引起的空间变异所占的比重较大.裸地土壤线虫总数和捕食/杂食线虫,撂荒地食真菌线虫和捕食/杂食线虫的 $C_0/(C_0 + C)$ 为 100%,属于纯块金效应,这表明其空间分布主要由随机因素引起的.

变程(range)能很好地反应变量的影响范围.裸地和撂荒地土壤线虫总数及各营养类群的变程处于 10.55~30.99 m 之间.除食真菌线虫外,裸地土壤

线虫总数及其它营养类群半方差函数的变程均小于或等于撂荒地(表 2),说明撂荒地在相对较长的距离内存在空间结构异质性,而裸地在相对较短的距离内存在空间结构异质性.

通过对裸地及撂荒地土壤线虫的克里格插值制图(图 2)可以看出,撂荒地土壤线虫总数及各营养类群在单位面积内的数量远高于裸地,说明在有植被覆盖条件下表层土壤线虫的数量相对较多.另外,裸地与撂荒地土壤线虫的空间分布具有较大差异,裸地食细菌线虫表现出西高东低的趋势;撂荒地土壤线虫总数和植物寄生线虫空间分布格局较为相似,在东北角线虫数量相对较多.

表 2 各向同性下变异函数理论模型及相应的参数

Table 2 Parameters of the best-fitted semivariogram model for isotropic variogram

处理 Treatment	项目 Item	理论模型 Model	块金值 Nugget C_0	基台值 Sill $C_0 + C$	块金/基台 $C_0/(C_0 + C)$ (%)	变程 Range A, (m)	决定系数 Model R^2	残差 RSS	F 值 F value
裸地 Bare plot	线虫总数 TNEM	线性 Linear	23552	23552	100.0	10.55	0.351	1.849E+7	4.65**
	植物寄生线虫 PP	指数 Exponential	20030	40070	50.0	30.99	0.253	3.519E+6	2.91*
	食细菌线虫 BF	指数 Exponential	6820	13776	49.5	27.02	0.531	1.440E+6	9.74**
	食真菌线虫 FF	指数 Exponential	474	948	50.0	30.99	0.251	38244	2.88*
	捕食/杂食线虫 OP	线性 Linear	108	108	100.0	10.55	0.673	650	17.70**
撂荒地 Fallow plot	线虫总数 TNEM	球状 Spherical	351000	1021400	34.4	30.99	0.889	4.937E+9	68.88**
	植物寄生线虫 PP	球状 Spherical	289000	1058000	27.3	30.99	0.846	9.492E+9	47.24**
	食细菌线虫 BF	指数 Exponential	40900	89630	45.6	30.99	0.417	9.687E+7	6.15**
	食真菌线虫 FF	线性 Linear	1601	1601	100.0	10.55	0.330	31225	4.24**
	捕食/杂食线虫 OP	线性 Linear	1938	1938	100.0	10.55	0.647	93711	15.76**

* 和 ** 分别代表 F 检验 $P=0.05$ 及 $P=0.01$ 的显著水平 Significant at $P=0.05$ and 0.01 levels, $F_{0.05}=2.41$; $F_{0.01}=3.42$.

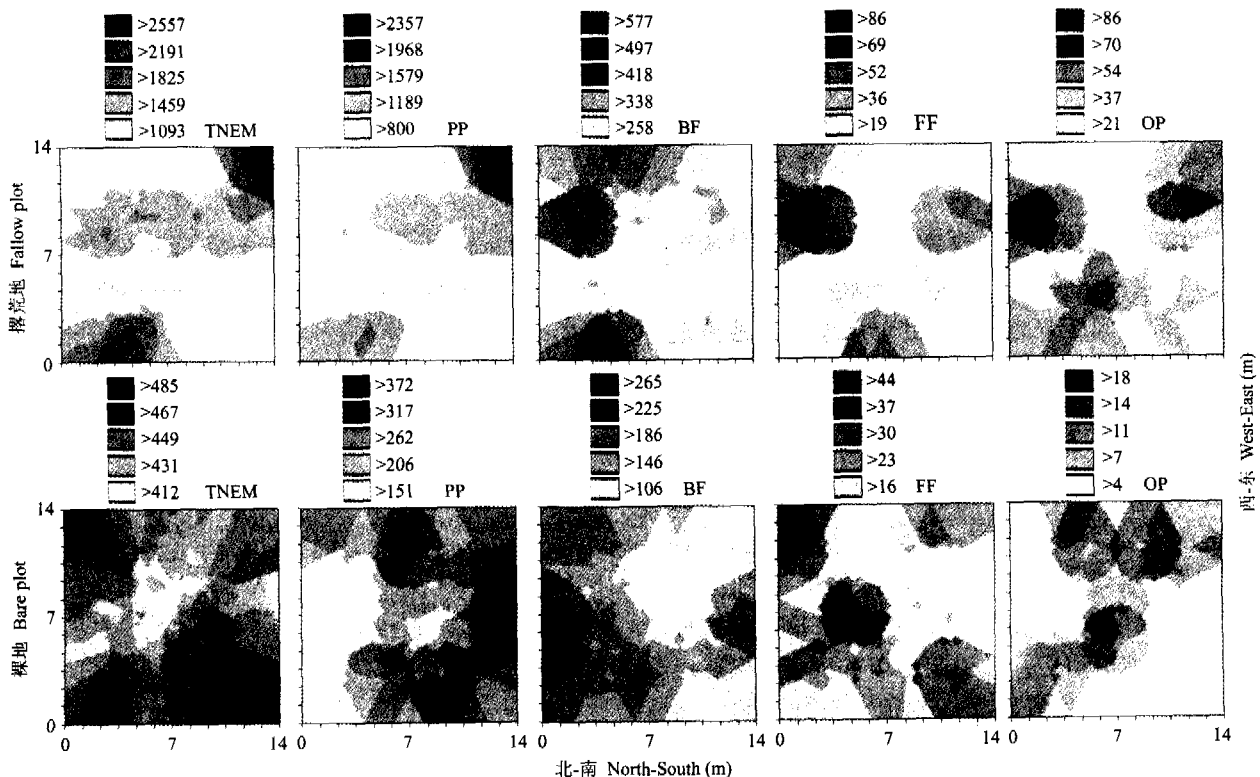


图 2 裸地和撂荒地土壤线虫空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of soil nematodes in bare and fallow plots (individuals per 100 g dry soil).

3.3 土壤理化性质与土壤线虫的相关性

裸地和撂荒地的土壤 pH ($P < 0.01$)、阳离子交换量 (CEC) ($P < 0.01$)、全氮 (TN) ($P < 0.01$)、有机碳 (TOC) ($P < 0.01$) 存在极显著差异, 除 CEC 之外撂荒地均高于裸地. 相关性分析表明, 裸地植物寄生线虫 ($r = -0.337, P < 0.05$) 和撂荒地植物寄生线虫 ($r = -0.302, P < 0.05$) 与 pH 呈显著负相关, 而 CEC、全氮、有机碳与两处理土壤线虫之间不存在显著相关关系.

4 讨 论

撂荒地土壤线虫总数及各营养类群线虫数量显著高于裸地, 这可能是由于植被种类、生物量及土壤养分的差异所致. Connell 等^[7]认为植被结构通过改变小气候条件和土壤养分影响土壤动物的种群密度, 植被的生境多样性也深刻影响着土壤动物群落的多样性. 有研究表明, 撂荒措施能有效恢复农田生态系统^[24], 提高土壤肥力^[6], 促进土壤生物群落形成, 提高生物活性及生物多样性. 植物寄生线虫以植物根系为主要食物资源, 撂荒地植物寄生线虫不仅数量远多于裸地, 其占土壤线虫总数的比例也显著高于裸地, 这从一个侧面反映出植被覆盖有利于增加土壤线虫的数量. 在没有翻耕等人为干扰后, 撂荒地自然植被的恢复再生能够产生大量残落物^[27], 这有利于土壤有机质的积累, 土壤有机质能促进土壤微生物的繁殖发育, 捕食/杂食线虫既能以土壤微生物为食, 也能以其它营养类群线虫为食, 丰富的食物资源能够促进撂荒地食细菌线虫和捕食/杂食线虫数量的增加.

撂荒地土壤线虫空间变异性主要受空间结构性因素影响, 空间相关性较强. 裸地土壤线虫由随机性因子引起的空间变异性较大; 由于裸地没有植被覆盖, 易于受随机因子的影响, 如降雨、光照、风吹等^[3, 28], 使得裸地土壤线虫的空间相关性减弱.

从土壤线虫半方差函数理论模型决定系数的 F 检验结果可以看出, 理论模型具有较强的适用性. 裸地除捕食/杂食线虫外, 变异系数均小于撂荒地, 表明撂荒地土壤线虫总数、植物寄生线虫、食细菌线虫、食真菌线虫存在相对较强的变异性. 撂荒地植被覆盖的群落结构和多样性引起土壤有机层或腐屑层的时空异质性, 从而导致了撂荒地土壤线虫的空间分布具有较大变异性^[2]. 据调查, 撂荒地杂草分布具有较强的空间和时间上的异质性特征, 由于植被覆盖的影响, 撂荒地土壤养分的空间变异也相对较大.

Liang 等^[17]和 Ettema 等^[9]分别在中国科学院海伦农业生态实验站 (47°26'N, 126°38'E) 和美国佐治亚州河岸湿地开展了土壤线虫空间分布格局的研究, 结果表明土壤线虫总数及营养类群与土壤理化性质之间不存在显著的相关关系. 本项研究中土壤 pH 与裸地、撂荒地植物寄生线虫呈显著负相关^[14], 其他理化指标与两处理的土壤线虫没有显著相关关系. 除 CEC 之外, 裸地土壤 pH、全氮、有机碳含量显著低于撂荒地, 可能的原因是土壤经长时间裸露后, 养分耗竭, 加之地面裸露产生的水土流失, 使裸地土壤肥力下降^[25]. 撂荒地覆盖植被根系的生长活动及其分泌的营养物质、土壤动物的活动都可能对土壤的理化性质有改善作用^[1]. 另外, 裸地自由生活线虫 (食真菌线虫、食细菌线虫、捕食/杂食线虫) 数量明显少于撂荒地, 也是裸地土壤肥力下降的表征^[5].

裸地食细菌线虫表现出西高东低的趋势, 而撂荒地土壤线虫总数和植物寄生线虫在东北角数量相对较多. 调查发现, 裸地西面及撂荒地东北面存在零星的树木, 树木根系及其分泌物和树冠产生的遮阴作用可能对土壤线虫的空间分布产生影响^[23].

土壤线虫由于受自身活动能力及食物资源的限制而显示出“群居”特点^[17], 这反映了土壤线虫群落分布的空间异质性. 裸地和撂荒地土壤线虫总数及各营养类群的空间分布格局均有明显差异, 撂荒地土壤线虫总数和植物寄生线虫分布较为相似, 这些都表明植被覆盖对土壤线虫的空间分布有较大影响.

参考文献

- 1 Abbadie L, Mariotti A, Menaut JC. 1992. Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply. *Ecology*, 73:608~613
- 2 Beare MH, Coleman DC, Crossley DA, et al. 1995. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant Soil*, 170:5~22
- 3 Bloemers GF, Hodda M, Lambshead PJD, et al. 1997. The effects of forest disturbance on diversity of tropical soil nematodes. *Oecologia*, 111:575~582
- 4 Bongers T. 1990. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83:14~19
- 5 Bongers T, Bongers M. 1998. Functional diversity of nematodes. *Appl Soil Ecol*, 10:239~251
- 6 Cadet P, Floret C. 1999. Effect of plant parasitic nematodes on the sustainability of a natural fallow cultural system in the Sudano-Sahelian area in Senegal. *Eur J Soil Biol*, 35:91~97
- 7 Connell JH, Slatyer RO. 1997. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Am Nat*, 111:1119~1144
- 8 De Goede RGM, Bongers T. 1994. Nematode community structure in relation to soil and vegetation characteristics. *Appl Soil Ecol*, 1:

- 29~44
- 9 Ettema CH, Coleman DC, Vellidis G, *et al.* 1998. Spatiotemporal distributions of bacterivorous nematodes and soil resources in a restored riparian wetland. *Ecology*, **79**:2721~2734
 - 10 Ingham RE. 1994. Nematodes. In: Weaver RW, Angle S, Bottomley P, eds. *Methods of Soil Analysis. Part II: Microbiological and Biochemical Properties*. Madison: Soil Science Society of America Book Series No. 5. 459~490
 - 11 Jiang Y, Liang WJ, Wen DZ, *et al.* 2005. Spatial heterogeneity of DTPA-extractable zinc in cultivated soils induced by city pollution and land use. *Sci Chin Ser C*, **48**(supp. I):82~91
 - 12 Jiang Y(姜勇), Liang W-J(梁文举), Zhang Y-G(张玉革). 2005. Spatial variability of soil phosphorus in field scale. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16**(11):2086~2091 (in Chinese)
 - 13 Jiang Y(姜勇), Zhang Y-G(张玉革), Liang W-J(梁文举), *et al.* 2003. Spatial variability of soil nutrients in cultivated surface soil of Sujiatun District, Shenyang City. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(10):1673~1676 (in Chinese)
 - 14 Kandji ST, Ogot CKPO, Albrecht A. 2001. Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. *Appl Soil Ecol*, **18**:143~157
 - 15 Liang WJ, Jiang Y, Li Q, *et al.* 2005. Spatial distribution of bacterivorous nematodes in a Chinese Ecosystem Research Network (CERN) site. *Ecol Res*, **20**:481~486
 - 16 Liang WJ, Lavian I, Steinberger Y. 2001. Effect of agricultural management on nematode communities in a Mediterranean agroecosystem. *J Nematol*, **33**:208~213
 - 17 Liang WJ, Li Q, Jiang Y, *et al.* 2003. Effect of cultivation on spatial distribution of nematode trophic groups in black soil. *Pedosphere*, **13**:97~102
 - 18 Liang W-J(梁文举), Zhang W-M(张万民), Li W-G(李维光), *et al.* 2001. Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the black soil region. *Biodiv Sci* (生物多样性), **9**(3):237~240 (in Chinese)
 - 19 Manlay RJ, Cadet P, Thioulouse J, *et al.* 2000. Relationships between abiotic and biotic soil properties during fallow periods in the Sudanian zone of Senegal. *Appl Soil Ecol*, **14**:89~101
 - 20 McSorley R. 1997. Relationship of crop and rainfall to soil nematode community structure in perennial agroecosystems. *Appl Soil Ecol*, **6**:147~159
 - 21 Moore JC, De Ruiter PC. 1991. Temporal and spatial heterogeneity of trophic interactions within below-ground food webs. *Agr Ecosyst Environ*, **34**:371~397
 - 22 Neher DA, Peck SL, Rawlings JQ, *et al.* 1995. Measures of nematode community structure for an agroecosystem monitoring program and sources of variability among and within agricultural fields. *Plant Soil*, **170**:167~181
 - 23 Ou W, Liang WJ, Jiang Y, *et al.* 2005. Vertical distribution of soil nematodes under different land use types in an aquatic brown soil. *Pedobiologia*, **49**:139~148
 - 24 Prach K, Pyšek P. 2001. Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: Experience from central Europe. *Ecol Eng*, **17**:55~62
 - 25 Rhoades HL. 1983. Effects of cover crops and fallowing on populations of *Belonolaimus longicaudatus* and *Meloidogyne incognita* and subsequent crop yields. *Nematopica*, **13**:9~16
 - 26 Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG, *et al.* 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol Monogr*, **62**:277~314
 - 27 Szott LT, Palm CA, Davey CB. 1994. Biomass and litter accumulation under managed and natural tropical fallows. *For Ecol Manage*, **67**:177~190
 - 28 Venette RC, Ferris H. 1997. Thermal constraints to population growth of bacterial-feeding nematodes. *Soil Biol Biochem*, **29**(1):63~74
 - 29 Wallace MK, Hawkins DM. 1994. Applications of geostatistics in plant nematology. *J Nematol*, **26**:626~634
 - 30 Wasilewska L. 1997. The relationship between the diversity of soil nematode communities and the plant species richness of meadows. *Ekol Polska*, **45**:719~732
 - 31 Yeates GW, Bongers T, De Goede RGM, *et al.* 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera - An outline for soil ecologists. *J Nematol*, **25**:315~331

作者简介 华建峰,男,1980年生,硕士.主要从事土壤生态学方面的研究. E-mail: huajf@iae. ac. cn

责任编辑 肖红