

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

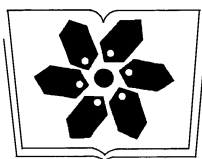
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12

甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制

陈云峰^{1,2}, 曹志平^{1,*}

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064)

摘要: 甲基溴熏蒸作为一种控制土传病害的技术, 不仅对大气臭氧层有破坏作用, 而且对土壤中的有益生物也有不利影响。2005—2006年, 对山东省寿光市番茄温室土壤进行甲基溴 (50 g/m^2) 熏蒸, 调查甲基溴熏蒸对土壤食物网结构和功能群的影响。结果表明: 甲基溴熏蒸显著抑制了土壤微生物生物量 C 及微生物生物量 N, 减少了原生动物 (鞭毛虫、纤毛虫、肉足虫)、线虫 (根结线虫二龄幼虫、食细菌线虫、食真菌线虫、食植物线虫、杂食性线虫) 及螨类的丰度。在整个番茄生长期间, 与对照相比, 微生物生物量 C、微生物生物量 N、原生动物总丰度、线虫总丰度、螨总丰度分别下降了 45.9%、44.8%、9.5%、93.6%、89.5%。熏蒸后, 土壤食物网功能群数目、联通度、食物链最大长度和平均长度均降低。由此可见, 甲基溴熏蒸后抑制了土壤中的生物, 使整个食物网结构更简单。

关键词: 土壤生物; 原生动物; 线虫; 螨; 功能群

Methyl bromide fumigation suppressed the soil food web in tomato greenhouse

CHEN Yunfeng^{1,2}, CAO Zhiping^{1,*}

1 College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agriculture Science, Wuhan 430064, China

Abstract: Soil fumigation with methyl bromide (MB) has been effectively used for decades to control soil borne pathogens. However, because of ozone-depleting and negative effects on soil beneficial organism, its use has been limited. Recently, several researches have been reported on the use of alternative technologies to replace MB. In this sense, we have studied the impact of MB on functional groups and the community structure in the soil food web with objective to provide the theory support for the selection of MB alternative technologies.

The experiments were conducted in a tomato greenhouse during 2005—2006 in Shouguang city, Shandong province, China. 50 g/m^2 MB were injected at conventional polyethylene mulching films to fumigate the soil before the tomato transplant and control received without MB. Microbial biomass C (MBC), microbial biomass N (MBN), protozoa (including three functional groups of flagellates, ciliates and amoeba), nematode (including four functional groups of bacterial-feeding nematodes, fungi-feeding nematodes, plant-parasite nematodes, omnivores-predators nematodes and the second stage juvenile of root-knot nematodes) and mites (including four functional group of predatory, omnivorous, non-cryptostigmatic, cryptostigmatic and nemaotophagous mites and the Larva and nymph mites) were compared at seven sampling times. Also, the structure of the soil food web composed with the functional groups within the unfumigated and fumigated soil was compared.

The results showed that MB fumigation suppressed significantly MBC, MBN, the abundance of functional groups of flagellates, ciliates, amoebae, bacterial-feeding nematodes, fungi-feeding nematodes, plant-parasite nematodes, omnivores nematodes, the second stage juvenile of root-knot nematodes, and the total abundance of protozoa, and mites. Compared to the unfumigated soil, the MBC, MBN, total abundance of protozoa, nematode and mites decreased 45.9%、44.8%、9.5%、93.6% and 89.5% during the whole tomato growth stage, respectively. After soil fumigation, the number of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30970536); 北京市生态学重点学科资助项目 (XK10019440)

收稿日期: 2009-11-11; **修订日期:** 2010-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhiping@cau.edu.cn

functional groups, connectance, maximum and mean food chain length of fumigated soil food web decreased as well.

It is concluded that MB fumigation decreased the abundance of each functional groups and the complexity of the soil food web structure. The MB alternative technologies that don't affect and even promoted the soil beneficial organism were suggested.

Key Words: soil organism; protozoa; nematode; mites; functional group

甲基溴(MB)作为一种广谱熏蒸剂已经超过 70a 的历史,在农业生产中,可以用来防治昆虫、线虫、杂草、及土传病原菌包括细菌、真菌及病毒^[1-2]。由于其对大气臭氧层的破坏,1997 蒙特利尔协议中规定发达国家将在 2005 年淘汰甲基溴,发展中国家包括中国将在 2015 年全面淘汰^[2]。

关于甲基溴的替代技术这方面的研究很多,许多学者做了很好的综述^[3-4]。但这些研究都注重于对农业病虫害的影响,而忽略对整个地下食物网中有益的生物的影响,关于这些方面的研究仅仅在线虫方面有所涉猎^[5-6],其结果为甲基溴对有害的植物线虫和有益线虫均有抑制作用,对其他的如土壤微生物生物量、土壤原生动物、微节肢动物等则鲜见报道。但这些土壤生物在土壤过程如有机质降解、养分矿化中起着重要的作用。甲基溴熏蒸时,如对这些土壤生物有抑制作用的话,将严重影响土壤的自我调控功能。在考虑甲基溴的替代技术时,应尽可能避免对土壤有益生物造成负面影响。本文从这个角度出发,以寿光市番茄温室为研究对象,探讨甲基溴对整个地下食物网结构和各功能群的影响,为以后正确地选择甲基溴替代技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点选在山东省寿光市洛城农发集团绿色食品基地,当地年平均气温为 12.4℃,降雨量 608mm,无霜期 195d。整地前,2005 年 8 月 13 日测定温室大棚理化性质为:含水量,11.26%;pH_{H2O},7.1;电导率,2041.2 mS/cm;有机质含量 13.6g/kg;全氮 1.3 g/kg;碱解氮,109.3 mg/kg;有效磷 222.4 mg/kg;有效钾 435.0 mg/kg。

1.2 取样

试验设甲基溴处理(+MB)和对照(-MB),3 次重复,共 6 个小区。甲基溴施用量为 50 g/m²。每个小区样地面积为 4.5 m × 7.5 m = 33.75m²,种植 114 株番茄,番茄品种 FA189 (*Lycopersicon esculentum* Mill)。每 6 个星期取 1 次样(由于客观原因,取样间隔时间略有差异),取样时间为 2005 年 9 月 25 日、11 月 6 日、12 月 18 日、2006 年 2 月 7 日、3 月 14 日、4 月 23 日、6 月 6 日。采用“之”字行取样,每个小区取 15 钻土,土钻直径 3 cm,深度为 20cm,将这 15 钻土混合均匀作为一个土样,带回实验室保存在 4℃ 冰箱,进行土壤生物测定。

1.3 土壤生物测定

1.3.1 土壤微生物生物量 C 及微生物生物量 N

土壤微生物生物量 C 采用熏蒸提取-容量分析法测定,微生物生物量 N 采用熏蒸提取-茚三酮比色法测定^[7]。采用 0.5mol/L K₂SO₄ 浸提经氯仿和未经氯仿熏蒸的土壤,浸提液中有有机碳的测定采用重铬酸钾容量法,氮的测定采用水合茚三酮比色法。微生物生物量 C = 2.64 × (熏蒸后的有机碳 - 熏蒸前的有机碳),微生物生物量 N = 5 × (熏蒸后的氮 - 熏蒸前的氮)。

1.3.2 土壤原生动物

土壤原生动物测定采用最大或然数(most probable number, MPN)法测定^[8]。本实验中,稀释梯度为 10⁻²—10⁻⁴,个别样品采用 10⁻³—10⁻⁵。根据形态及运动状态在 10 × 10 显微镜下将原生动物鉴定至鞭毛虫、纤毛虫及肉足虫。

1.3.3 土壤线虫

土壤线虫分离采用淘洗-过筛-重糖离心法分离^[9]。线虫计数直接在显微镜下统计,根据测得的土壤含水

量,将线虫数量折算成 100g 干土中土壤线虫的数量。随机挑取 100 条线虫,在 100 × 或 400 × 显微镜下,根据线虫口针、基部球、齿、食道腺的形态将线虫食性分为 4 个类群:即食细菌线虫、食真菌线虫、植食性线虫、杂食性线虫和捕食性线虫^[10-11]。若线虫不足 100 条,则全部鉴定。

1.3.4 土壤螨

土壤螨采用 Tullgren 漏斗法收集^[12]。将收集到的螨放在 75% 的酒精中保存,在 100 × 或 400 × 显微镜下鉴定至科。螨的食性参见 Smith 等^[13]、郑长英和胡敦孝^[14],根据螨的食性,将其划分到隐气门亚目螨、杂食性非隐气门亚目螨、食细菌螨、食线虫螨、捕食性螨等功能群^[15]。其中,隐气门亚目螨主要取食真菌和有机质;杂食性非隐气门亚目螨取食真菌、有机质,有时还可能取食线虫;食细菌螨仅取食细菌;食线虫螨专性捕食线虫;捕食性螨取食各种猎物,包括弹尾目。

1.4 食物网结构分析

采用 3 个统计量即功能群数目(S),食物链长度和连通度(C)来分析土壤食物结构。计算功能群数目时,尽管没有分别测定细菌和真菌生物量,仍然将微生物分成细菌和真菌两个功能群,碎屑和根系也各算一功能群。食物链的长度计算最大长度和平均长度,最大长度为从碎屑到顶级捕食者之间的转移的数目,由于一个食物网中包括好几条食物链,所有食物链的长度除以食物链条数即为平均食物链长度。连通度为现实链接数占理论链接数的比例,在此取 $C = 2L/S(S-1)$, L 为实际链接数, S 为功能群数^[16-17]。各功能群的营养关系参考 Moore 等^[18], Berg 和 Bengtsson^[19],在计算过程中,不明确的营养关系不计算在内。

1.5 统计分析

甲基溴熏蒸前后每次取样时各功能群之间的差异采用 t 检验,不满足齐次性统计假设的数据在分析之前采用平方根、倒数、 $\ln(x+1)$ 等方式进行转换,如若转换后仍不满足齐次性要求,采用 Mann-Whitney 非参数检验。双因素方差分析(取样日期 × 处理)比较处理效应和时间效应及两者之间的交互作用。所有统计均采用 SPSS11.5 完成,显著水平采用 $P < 0.05$, 0.01 和 0.001 三个水平。

2 结果

2.1 土壤功能群动态

2.1.1 土壤微生物生物量 C 及微生物生物量 N

7 次取样中,微生物生物量 C 变动范围为 55.5—315.0 mg/kg。在熏蒸小区,其最高值出现在 9 月份,为 153.4 mg/kg,在未熏蒸小区,其最高值出现在 4 月份,为 315.0 mg/kg(图 1A)。双因素方差分析表明,取样时间之间差异显著($P < 0.001$,表 1),甲基溴熏蒸显著降低了生物量 C 含量($P < 0.001$,表 1)。比较各次取样生物量碳值,结果表明,2、4、6 月份,甲基溴熏蒸小区生物量 C 含量显著降低(图 1A)。

微生物生物量 N 变动范围为 18.0—150.0 mg/kg。在熏蒸小区,其最高值出现在 9 月份,为 150.0 mg/kg,在未熏蒸小区,其最高值出现在 3 月份,为 101.7 mg/kg(图 1B)。双因素方差分析表明,取样时间之间差异极显著($P < 0.001$,表 1),甲基溴熏蒸显著降低了生物量 N 含量($P < 0.001$,表 1)。比较各次取样生物量 N 值,结果表明,除 9 月份外,其余各次取样中,甲基溴熏蒸小区生物量 N 含量显著降低(图 1B)。

2.2.2 原生动物

原生动物总丰度变动范围为 32—82251 个/g 干土。在未熏蒸小区,其最高值出现在 3 月份,为 82,251 个/g 干土。熏蒸小区中,原生动物总丰度很低,最高值才 556 个/g 干土,出现在 6 月份。双因素方差分析表明,取样时间之间差异不显著($P > 0.05$,表 1),但甲基溴熏蒸显著降低了原生动物总丰度($P < 0.05$,表 1)。比较各次取样总丰度,结果表明,除 11 月份外,其余各次取样中,甲基溴熏蒸小区原生动物总丰度均显著降低(图 2A)。

原生动物三大营养类群中,鞭毛虫占总数的 93.6% (熏蒸和未熏蒸小区 7 次取样之和),为优势类群,肉足虫比例最低,为 2.9%。由于鞭毛虫数量占总数比例过大,其变动趋势及甲基溴对其效应同原生动物总丰度(表 1,图 3A)。纤毛虫丰度取样时间之间变动极显著($P < 0.001$,表 1),甲基溴熏蒸

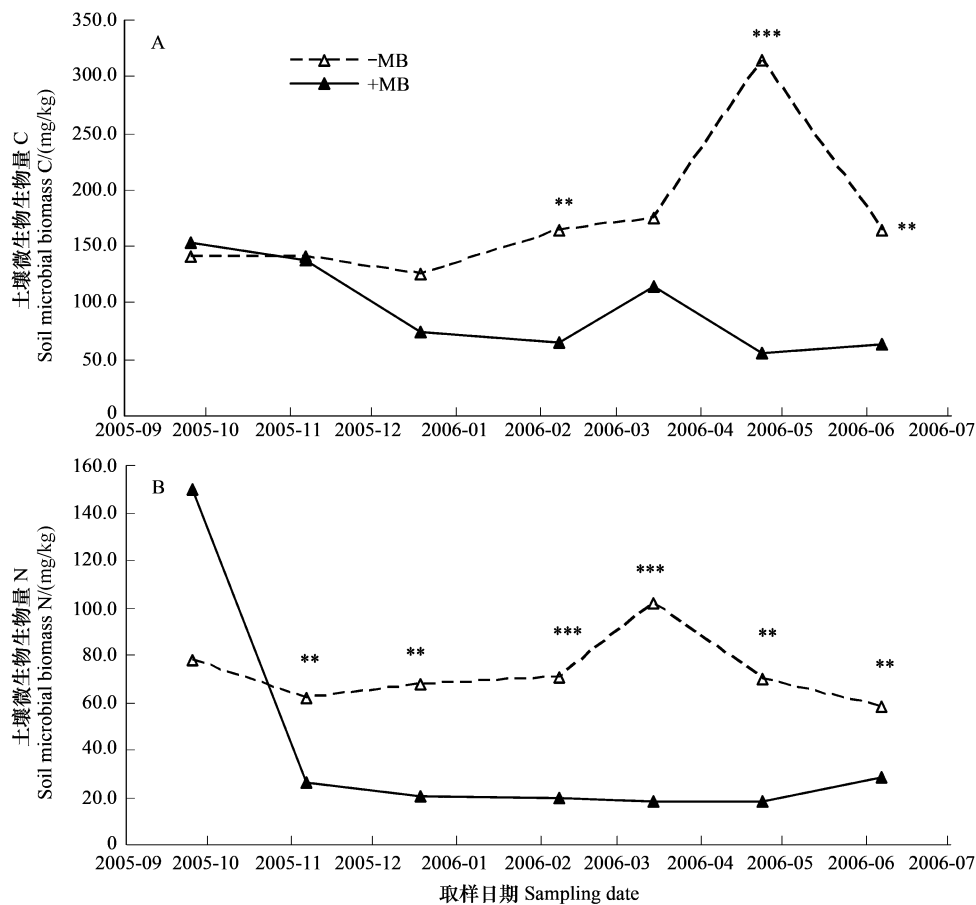


图1 甲基溴熏蒸对土壤(A)微生物生物量C(B)微生物生物量N动态的影响

Fig. 1 Impact of MB fumigation on the dynamics of (A) microbial biomass C and (B) microbial biomass N

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$,无*表示差异不显著

显著降低纤毛虫丰度($P < 0.05$,表1),但在未熏蒸小区中,纤毛虫丰度波动相对剧烈,其最高值出现在9月份,而在熏蒸小区中,纤毛虫丰度波动相对平缓,最高值出现在3月份(图3B)。肉足虫取样时间效应及处理效应与纤毛虫类似(图3C),在未熏蒸小区中,其丰度波动相对剧烈,最高值出现在4月份,在熏蒸小区中,纤毛虫丰度波动相对平缓,最高值出现在2月份。

表1 土壤功能群动态双因素方差分析

Table 1 Two-way factors analysis of variance (ANVOA) for soil functional groups

项目 Item	处理 Treatment		与未熏蒸相比 Compare to - MB/%	P		
	+ MB	- MB		取样日期 Sampling date	处理 Treatment	取样日期 × 处理 Sampling date × Treatment
微生物生物量 C Microbial biomass C/(mg/kg)	94.7 ^{a)}	175.2	-45.9	* * * ^{b)}	* * *	* * *
微生物生物量 N Microbial biomass N/(mg/kg)	40.0	72.5	-44.8	* * *	* * *	* * *
原生动物 Protozoa (个/g 干土)						
总丰度 Total abundance	1.9×10^4	2.1×10^6	-9.5	NS	*	NS
鞭毛虫 Flagellate	1.6×10^4	1.9×10^6	-15.8	NS	*	NS
纤毛虫 Ciliate	1.0×10^3	7.2×10^4	-86.1	* * *	* *	* * *
肉足虫 Amoeba	2.8×10^3	5.7×10^4	-50.9	*	*	*

续表

项目 Item	处理 Treatment		与未熏蒸相比 Compare to - MB/%	P		
	+ MB	- MB		取样日期 Sampling date	处理 Treatment	取样日期 × 处理 Sampling date × Treatment
线虫 Nematode/(条/100g 干土)						
总丰度 Total abundance	2.1	33.0	-93.6	NS	* * *	NS
食细菌 Bacterivores	1.1	3.7	-70.3	NS	* * *	NS
食真菌 Fungivores	0.0	0.2	-100.0	NS	*	NS
植食性 Plant parasites	0.7	3.6	-80.6	* *	* *	NS
杂食性 Omnivorous	0.2	3.2	-93.8	NS	*	NS
二龄幼虫 J2	0.1	22.3	-99.6	NS	* * *	NS
螨 Mites/(个/100g 干土))						
总丰度 Total abundance	0.12	1.14	-89.5	NS	*	NS
捕食性 Predatory	0.00	0.03	-100.0	NS	NS	NS
杂食非隐气门螨 Omnivorous non-cryptostigmatic	0.05	0.35	-85.7	NS	NS	NS
非隐气门螨 Cryptostigmatic	0.01	0.00	- c)	NS	NS	NS
食线虫 Nemaotophagous	0.01	0.05	-80.0	NS	NS	NS
幼螨和若螨 Larva and nymph	0.05	0.72	-93.1	NS	NS	NS

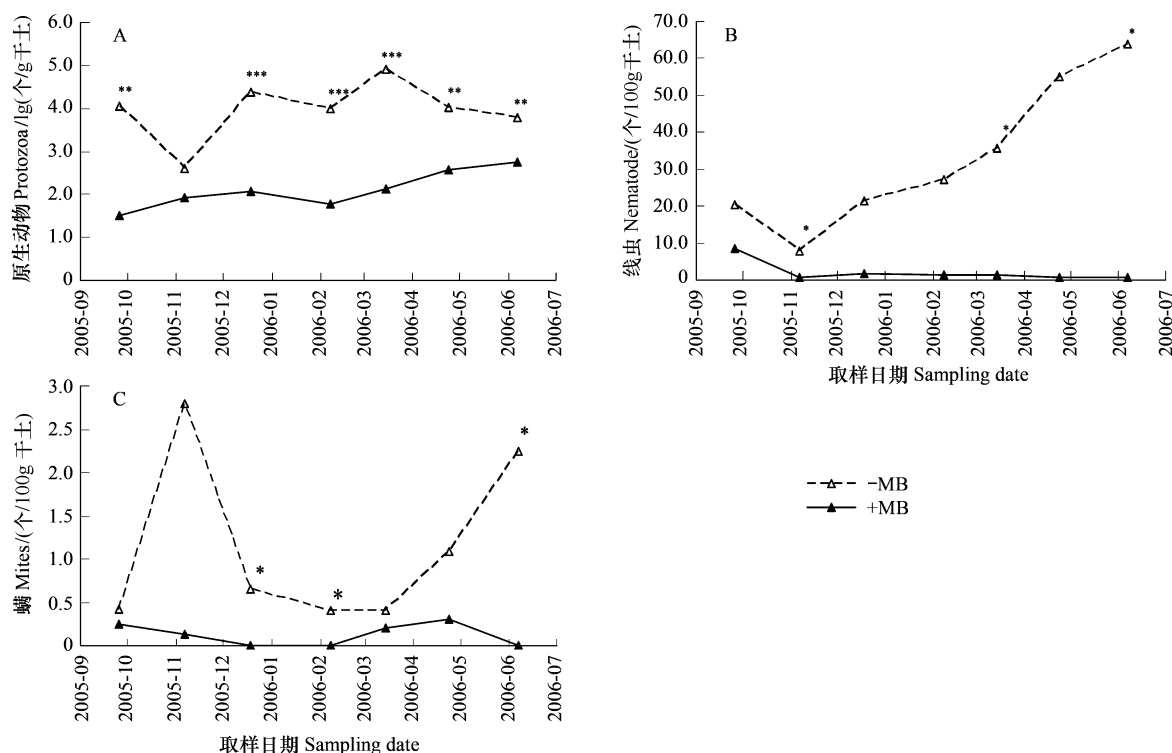
a) 7 次取样平均值; b) * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$, NS 表示方差显著; c) 数据不可用

图2 甲基溴熏蒸对土壤(A)原动物(B)线虫(C)螨总丰度动态的影响

Fig. 2 Impact of MB fumigation on the dynamics of total abundance of (A) protozoa (B) nematode (C) mites

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$, 无*表示差异不显著

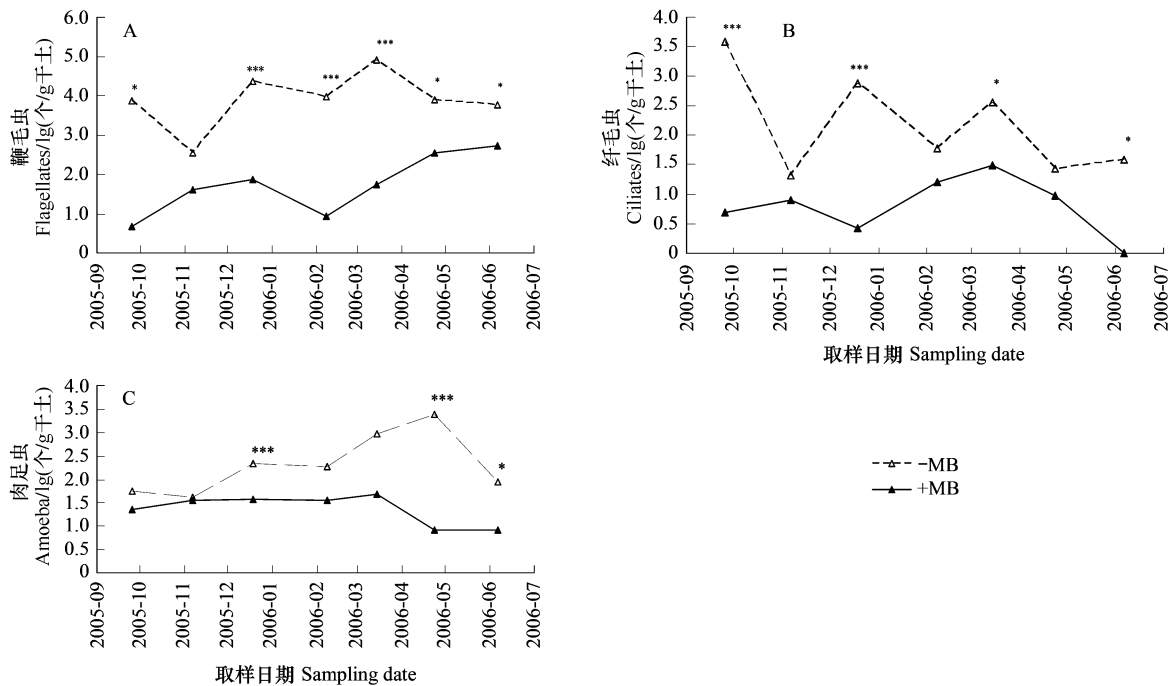


图3 甲基溴熏蒸对(A)鞭毛虫 (B)纤毛虫(C)肉足虫丰度动态的影响

Fig. 3 Impact of MB fumigation on the dynamics of (A) flagellates, (B) ciliates and (C) amoeba

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$, 无*表示差异不显著

2.2.3 线虫

线虫总丰度变动范围为0.6—63.8条/100g干土。在未熏蒸小区,其最高值出现在6月份,为63.8条/100g干土。熏蒸小区中,线虫最高值出现在9月份,为8.4条/100g干土。双因素方差分析表明,取样时间之间差异不显著($P > 0.05$,表1),但甲基溴熏蒸显著降低了线虫总数($P < 0.001$,表1)。比较各次取样总丰度,结果表明,11月、3月、6月份甲基溴熏蒸小区线虫总丰度显著低于未熏蒸小区,其余几次取样中,熏蒸小区线虫总丰度也低于未熏蒸小区(图2B)。

在实验中,仅发现一条捕食性线虫,将其忽略不计,因此杂食/捕食性功能群可简化为杂食性功能群,将根结线虫二龄幼虫(J2)单独列作一个“功能群”。将熏蒸和未熏蒸小区7次采样数据加起来,计算各功能群占总数的比例,从大到小依次为:J2(63.9%)、食细菌线虫(13.2%)、植食性线虫(12.4%)、杂食性线虫(9.6%)、食真菌线虫(0.5%)。双因素分析结果表明,甲基溴熏蒸显著降低了各功能群的数量(表1),除植食性线虫外,其余各功能群取样时间之间差异不显著(表1)。具体变动趋势上,由于J2数量占总数的比例较大,因此其变动趋势与线虫总数类似,熏蒸小区中各功能群波动平缓而未熏蒸小区则较为剧烈(图4A—D)。其中,食真菌线虫由于数量极少,且在未熏蒸小区中未发现(表1),故而未用折线图表示其动态变动。

2.2.4 螨

螨总丰度变动范围为0—2.8个/100g干土,其中在熏蒸小区,12月份、2月份螨的丰度均为0。在未熏蒸小区,其最高值出现在11月份,为2.8个/100g干土。双因素方差分析表明,取样时间之间差异不显著($P > 0.05$,表1),但甲基溴熏蒸显著降低了螨总丰度($P < 0.05$,表1)。比较各次取样总丰度,结果表明,12月份、2月份及6月份中,甲基溴熏蒸小区原动物总丰度均显著降低($P < 0.05$,图2C),其余几次取样中,熏蒸小区螨总丰度也低于未熏蒸小区(图2C)。

本次试验中,所有鉴定出的螨可以归到四个功能群杂食非隐气门螨、隐气门螨、捕食性螨和食线虫螨。其中,隐气门螨仅在第1次取样(2005年9月25日)熏蒸小区中检出,丰度为0.1个/100g干土,其余样次中均为0。捕食性螨和食线虫螨也仅在个别样品中检出,且最高丰度仅为0.1和0.2个/100g干土。因此,隐气门

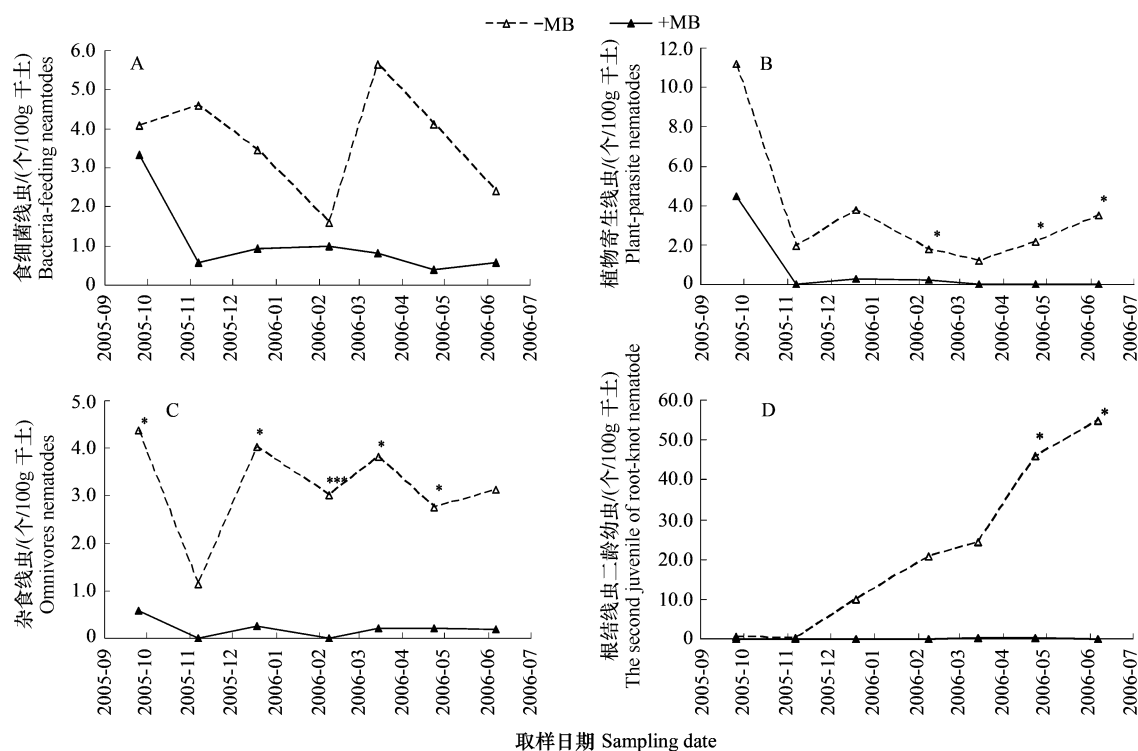


图4 甲基溴熏蒸对土壤(A)食细菌线虫(B)植物线虫(C)杂食性线虫(D)根结线虫二龄幼虫动态的影响

Fig. 4 Impact of MB on the dynamics of (A) bacteria-feeding nematodes (B) plant-parasite nematodes, (C) omnivores nematodes and (D) the second stage juvenile of root-knot nematodes

△: -MB; ▲: +MB) * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$, 无*表示差异不显著

螨、捕食性螨和食线虫螨未以折线图的方式列出其动态变化。幼螨和休眠体较多,将其单独列出来作为一“功能群”。双因素分析表明,取样时间效应和甲基溴熏蒸效应在统计上均不显著(表1),但在数量上熏蒸小区均低于未熏蒸小区(表1)。图5A、B列出了数量较多的表现杂食非隐气门螨、幼螨和若螨功能群的动态变化,熏蒸小区中波动平缓而未熏蒸小区则较为剧烈。

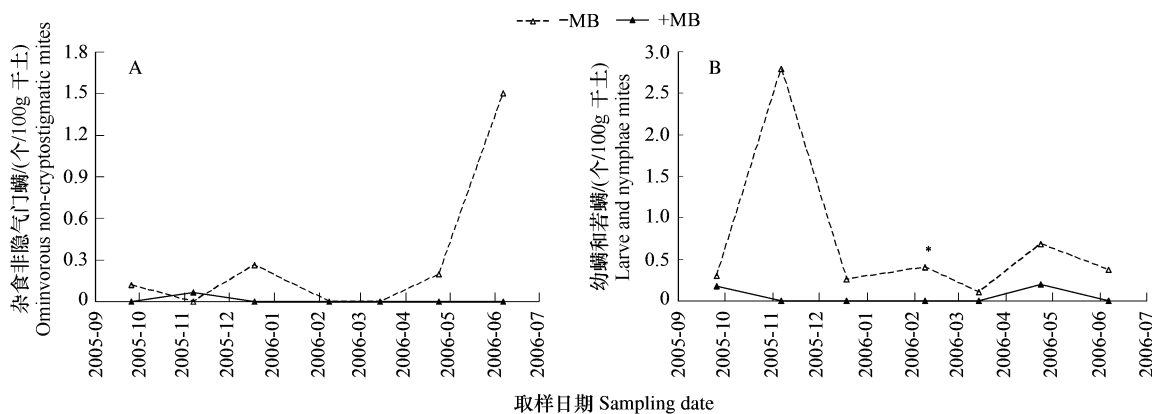


图5 甲基溴熏蒸对(A)杂食非隐气门螨(B)幼虫和若螨动态的影响

Fig. 5 Impact of MB on the dynamics of (A) omnivorous non-cryptostigmatic mites, (B) larva and nymph of mites

△: -MB; ▲: +MB) * $P < 0.05$, 无*表示差异不显著

2.3 食物网结构

未熏蒸土壤和熏蒸土壤中各功能群相互作用组成的食物网见图6A和图6B。从图中可以看出,相对于未

熏蒸小区,熏蒸小区中缺少食真菌线虫及捕食性螨这两个功能群,但未熏蒸小区中也不存在隐气门螨功能群。统计食物网功能群数目、连通度及最大食物链长度和平均食物链长度,结果表明,熏蒸小区食物网功能群数目、最大食物链长度、连通度、平均食物链长度均低于未熏蒸小区(表 2),这表明熏蒸小区中的食物网结构相对简单。

表 2 食物网结构功能群数目、连通度及食物链长度				
Table 2 The number of functional groups, connectance and food chain length with the soil food web				
	功能群数目 Number of functional groups	连通度 Connectance	食物链长度 Food chain length	
			最大值 Maximum	平均值 Mean
- MB	14	0.24	6	3.95
+ MB	13	0.14	5	3.45

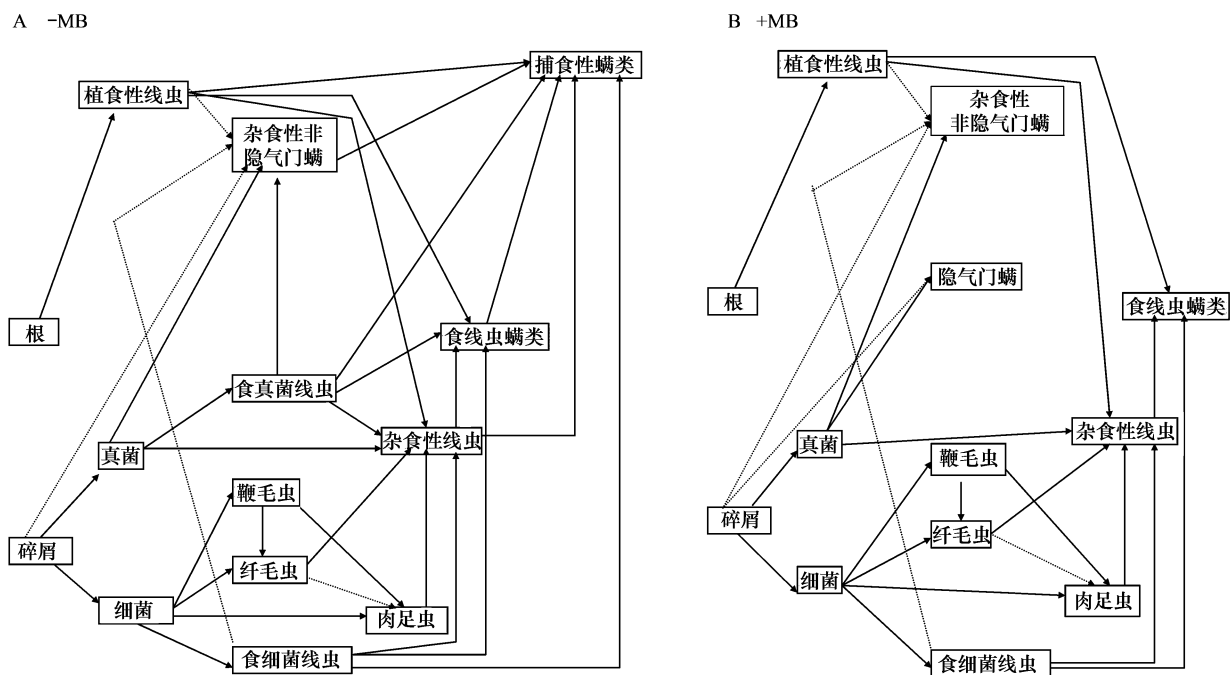


图 6 未熏蒸小区(-MB)(A)和熏蒸小区(+MB)(B)土壤食物网结构图

Fig. 6 The connectedness diagram of the soil food web in unfumigated soil (-MB)(A) and fumigated soil (+MB)(B), the dashed lines indicate potential feeding relationships

虚线表示潜在的食性关系

3 讨论

农业生态系统中,微生物生物量 C 的含量一般在 200—1000 mg/kg^[20]。然而在本次实验七次取样中,仅在未熏蒸小区 4 月份的取样中其最大值超过了 200mg/kg,其余六次均低于 200mg/kg。微生物生物量 N 变动范围为 18.0—150.0 mg/kg,在 Reyes-Reyes 等^[21]测定的墨西哥中部高地的值(31—152 mg/kg)的范围内,但是显著高于 Joergensen 和 Brookes^[22]测定的草地、耕地和林地的 12 个土样,其范围为 1.8—57.6 mg/kg,也高于不同的轮作系统,其变动范围为 5.4—9.9 mg/kg^[23]。由于微生物生物量 C 与 N 代表了 C 库和 N 库中的可变部分^[20, 24],因此我们的结果表示该温室中 C 源相对来说不足而 N 源充足甚至过量,需要通过田间碳源来调节温室土壤 C/N 比。

本实验中,原生动物的总丰度为 32—82251 个/g 干土,在冯伟松等^[25]综述的几个研究的原生动物丰度范围之内,但低于曹志平等^[26]测定的华北平原高产农田的原生动物总丰度,其总丰度范围为 4000—741000 个/g 干土。鞭毛虫、纤毛虫、肉足虫占总丰度分别为 93.6%、3.5%、2.9%,这种结构模式与 Finlay 和 Fenchel^[27]

在苏格兰高山草地的研究结果类似,也与冯伟松等^[28]测定的广东省韶关市凡口铅锌矿湿地处理系统中原生动物群落结构类似,但与曹志平等^[26]测定的华北平原高产农田的原生动物群落结构显著不同,其鞭毛虫和肉足虫占有绝大比例,分别为总丰度的 39.47% 和 59.22%,纤毛虫仅占 1.31%。这表明温室土壤原生动物丰度较低且其群落结构与大田土壤原生动物群落结构差异较大。

线虫是土壤中最丰富的后生动物,从沙漠到落叶林,其丰度范围为 7.6×10^5 个/ m^2 到 2.9×10^7 个/ m^2 ^[28],与此相对照,本研究中的线虫丰度极低。各功能类群相对比例、动态均与 Cao^[29]在山东省青州市温室系统做的结果类似,但丰度更低。甲基溴抑制根结线虫二龄幼虫的数量这与 Taylor^[1]的综述一致。本实验每次取样中,螨的丰度不超过 2 个/100g 干土,这个数值略低于吴东辉等^[30]对长春市不同土地利用生境螨研究的结果,也低于 Bedano 等^[31]在不同农业管理措施强度对阿根廷土壤螨研究的结果(1252—31725 只/ m^2),远低于 Kinnear 和 Tongway^[32]对澳大利亚西部黎类灌木类半干旱地区研究的结果(100000 只/ m^2)。这表明温室土壤中线虫和螨等无脊椎动物的丰度也较低。

甲基溴显著抑制了土壤微生物生物量 C、微生物生物量 N、原生动物(鞭毛虫、纤毛虫、肉足虫及总丰度)、线虫(食细菌线虫、食真菌线虫、食植物线虫、杂食性线虫及总丰度)及螨的总丰度。甲基溴熏蒸后,杂食非隐气螨、捕食性螨、食线虫螨、幼螨及若螨的丰度也有所降低。从整个食物网看,甲基溴熏蒸后,食物网功能群数目、最大食物链长度、联通度、平均食物链长度均降低,这证明了 Salles^[33]所提到的甲基溴作为一种广谱熏蒸剂能有效的抑制真菌、细菌、病毒、节肢动物和线虫。因此,可以认为甲基溴在控制病原的同时,也抑制土壤中有利的生物,使整个食物网结构更简单。

甲基溴的替代技术多种多样,包括物理防治技术、化学防治技术、生物防治技术、耕作制度改良和环境友好的土壤改良等方面的替代技术^[4]。从对地下生物的影响角度看,化学防治技术对土壤有益生物破坏较大,因此一些对土壤生物影响不大甚至促进土壤有益生物的替代技术如抗性品种^[29]等,更值得提倡。

致谢:文中土壤螨的鉴定由中国农业大学韩雪梅博士完成,特此致谢。

References:

- [1] Taylor R W D. Methyl bromide — Is there any future for this noteworthy fumigant?. *Journal of Stored Products Research*, 1994, 30:253-260.
- [2] Gullino M L, Camponogara A, Gasparrini G, Rizzo V, Clini C, Garibaldi A. Replacing methyl bromide for soil disinfection: The Italian experience and implications for other countries. *Plant Disease*, 2003, 87:1012-1021.
- [3] Labrada R, Fornasari L. Global Report of Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation. Rome: FAO, 2001: 1-86.
- [4] Cao A C, Zhang W J, Liu J H. Progress in the alternatives to methyl bromide in soil disinfection. *Plant Protection*, 2007, 33(1):15-20
- [5] Santos B M, Gilreath J P, Motis T N, Noling J W, Jones J P, Norton J A. Comparing methyl bromide alternatives for soilborne disease, nematode and weed management in fresh market tomato. *Crop Protection*, 2006, 25:690-695.
- [6] Chen Y, Steinberger Y, Cao Z. Effect of methyl bromide and alternatives on soil free-living nematode community dynamics in a greenhouse study, *Journal of Sustainable Agriculture*, 2008, 31:95-113.
- [7] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao A H. The Methods of Measuring Soil Microbial Biomass and its Application. Beijing: China Meteorological Press, 2006:57-60, 71-74.
- [8] Shen Y F. Method and technology for identification of protozoa//Yin W Y ed. *Soil Fauna in Subtropical of China*. Beijing: Science Press, 1992: 83-87.
- [9] Ingham R E. Nematodes//Weaver R W, Angle S, Bottomley P, Bezdicke D, Smith S, Tabatabai A, Wollun A eds. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. Madison: WI, 1994:459-490.
- [10] Yeates G W, Bongers T, De Goede R G M, Freckman D W, Georgieva S S. Feeding habits in soil nematode families and genera — An outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 1993, 25:315-331.
- [11] Yardim E N, Edwards C A. The effects of chemical pest, disease and weed management practices on the trophic structure of nematode populations in tomato agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 1998, 7:137-147.
- [12] Hu S H, Wang X Z. Mites//Yin W Y, ed. *Soil Fauna in subtropical of China*, Beijing: Science Press, 1992: 92-93.
- [13] Smith I M, Lindquist E E, Behan-Pelletier V. Mites (Acari)//Smith I M, Scudder G G, eds. *Assessment of Species Diversity in the Montane Cordillera Ecozone*. Burlington: Ecological Monitoring and Assessment Network, 1998. [2007-08-01] <http://www.emanrese.ca/eman/reports/>

publications/99montane/intro. html.

- [14] Zheng C Y, Hu D X. Study on ecological effect of effective microorganisms fertilizer monitored by soil mites, Journal of Laiyang Agricultural College, 2000, 17(1):47-53.
- [15] Vreeken-Buijs M J, Geurs M, de Ruiter P C, Brussaard L. Microarthropod biomass-C dynamics in the belowground food webs of two arable farming systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1994, 51:161-170.
- [16] Moore J C. Impact of agricultural practices on soil food web structure: Theory and application. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1994, 51:239-247.
- [17] Pimm S L, Lawton J H, Cohen J E. Food web patterns and their consequences. Nature, 1991, 350:669-674.
- [18] Moore J C, Zwetsloot H J C, De ruiter P C. Statistical analysis and simulation modeling of the belowground food webs of two winter wheat management practices. Netherlands Journal of Agricultural Science, 1990, 38(3):303-316.
- [19] Berg M P, Bengtsson J. Temporal and spatial variability in soil food web structure. Oikos, 2007, 11:1789-1804.
- [20] Martens R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: Potentials and limitations. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19:87-99.
- [21] Reyes-Reyes G, Baron-Ocampo L, Cuali-Alvarez I, Frias-Hernandez J T, Olalde-Portugal V, Varela F L, Dendooven L. C and N dynamics in soil from the central highlands of Mexico as affected by mesquite (*Prosopis* spp.) and huizache (*Acacia tortuosa*): a laboratory investigation. Applied Soil Ecology, 2002, 19:27-34.
- [22] Joergensen R G, Brookes P C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22:1023-1027.
- [23] Chander K, Goyal S, Mundra M C, Kapoor K K. Organic matter, microbial biomass and enzyme activity of soils under different crop rotations in the tropics. Biology and Fertility of Soils, 1997, 24:306-310.
- [24] Salinas-Garcia J R, Velazquez-Garcia J D J, Gallardo-Valdez M, Diaz-Mederos P, Caballero-Hernandez F, Tapia-Vargas L M, Rosales-Robles E. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-western Mexico. Soil and Tillage Research, 2002, 66:143-152.
- [25] Feng W S, Yang J, Ye Z H, Miao W, Yu Y H, Huang M H, Shen Y F. Soil protozoan in wetland and treatment system of Pb-Zn mine in Fankou. Chinese Journal of Zoology, 2004, 39(1): 2-11.
- [26] Cao Z P, Chen G K, Zhang K, Wu W L. Impact of soil fertility maintaining practices on protozoa abundance in high production in agro-ecosystem in Northern China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2992-2996.
- [27] Finlay B J, Fenchel T. Protozoan Community Structure in a Fractal Soil Environment. Protist, 2001, 152:203-218.
- [28] Bernard E C. Soil nematode biodiversity. Biology and Fertility of Soils, 1992, 14:99-103.
- [29] Cao Z P, Chen G K, Chen Y F, Yang H, Han L F, Richard D. Comparative performance of nematode resistant rootstock and non-resistant tomato cultivars on soil biota. Journal of Allelopathy, 2005, 15(1): 85-94.
- [30] Wu D H, Zhang B, Bu Z Y, Chen P. The characteristics of community structure of soil mites from different habitats in Changchun area. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26:16-25.
- [31] Bedano J C, Cantu M P, Doucet M E. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. Applied Soil Ecology, 2006, 32:293-304.
- [32] Kinnear A, Tongway D. Grazing impacts on soil mites of semi-arid chenopod shrublands in Western Australia. Journal of Arid Environments, 2004, 56:63-82.
- [33] Salles L A. Effective alternatives to methyl bromide in Brazil // Labrada R, Fornasari L, eds. Global Report on Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation. Rome: FAO, 2001: 13-24.

参考文献:

- [4] 曹勘程, 张文吉, 刘建华. 溴甲烷土壤消毒替代技术研究进展. 植物保护, 2007, 33(1):15-20.
- [7] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京:气象出版社, 2006: 57-60, 71-75.
- [8] 沈韞芬. 原生动物的鉴定技术与方法 // 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京:科学出版社, 1992: 83-87.
- [12] 胡圣豪, 王孝祖. 螨 // 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京:科学出版社, 1992:92-93.
- [14] 郑长英, 胡敦孝. 以土壤螨为指标检测 EM 堆肥生态效应的研究. 莱阳农学院学报, 2000, 17(1): 47-53.
- [25] 冯伟松, 杨军, 叶志鸿, 缪炜, 余育和, 黄铭洪, 沈韞芬. 凡口铅锌矿湿地处理系统的土壤原生动物. 动物学杂志, 2004, 39(1): 2-11.
- [26] 曹志平, 陈国康, 张凯, 吴文良. 不同土壤肥措施对华北高产农田原生动物丰度的影响. 生态学报, 2005, 25(11):2992-2996.
- [30] 吴东辉, 张柏, 卜照义, 陈鹏. 长春市不同土地利用生境土壤螨类群落结构特征. 生态学报, 2006, 26(1): 16-25.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元