

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

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 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用.....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201105260707

范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 贾淑霞, 陈学文, 魏守才, 杨学明. 不同蚯蚓采样方法对比研究. 生态学报, 2012, 32(13): 4154-4159.

Fan R Q, Zhang X P, Liang A Z, Jia S X, Chen X W, Wei S C, Yang X M. Comparative study of different earthworm sampling methods. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4154-4159.

不同蚯蚓采样方法对比研究

范如芹^{1,2}, 张晓平^{1,*}, 梁爱珍¹, 贾淑霞¹, 陈学文^{1,2}, 魏守才^{1,2}, 杨学明³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 加拿大农业与农业食品部温室与加工作物研究中心)

摘要: 蚯蚓种类组成和丰度变化是反映农业管理措施对土壤质量影响的重要指标。为研究利用芥末悬液等方法进行蚯蚓样品采集的有效性和准确性, 寻求合理有效的蚯蚓种群特征调查方法, 在我国东北玉米连作黑土上分别运用手拣法、福尔马林溶液驱赶法、芥末+水悬液及芥末+乙酸悬液驱赶法, 以及驱虫剂与手拣法相结合的方法进行蚯蚓样品采集, 将上述 7 种方法测得的蚯蚓丰度、生物量及年龄组成信息进行了系统分析。结果表明, 福尔马林溶液驱赶法不结合手拣法使用时测得的蚯蚓丰度及生物量远远低于其他方法, 尤其幼年蚯蚓比例偏低, 并不能反映真实的蚯蚓种群特征。使用芥末悬液做驱虫剂有效性明显提高, 尤其芥末+乙酸悬液, 测得的蚯蚓丰度比手拣法高 22.3%。福尔马林溶液结合手拣法后有效性大大提高, 测得的蚯蚓丰度和生物量分别是其单独使用时的 19.1 和 9.3 倍, 但相对其他驱虫剂方法仍高估了成年蚯蚓的比例; 芥末+水悬液和芥末+乙酸悬液方法结合手拣法后收集到蚯蚓的数量分别提高了 67.8% 和 89.1%, 平均个体重量分别是原来的 1.8 和 1.3 倍, 说明芥末悬液不会杀死小个体的幼年蚯蚓, 但少部分大个体蚯蚓及洞穴不与地表相接的蚯蚓可能并不能被其驱赶至地表, 结合手拣法后可以弥补这个缺陷。芥末+乙酸悬液结合手拣法收集到的成年及幼年蚯蚓数量和生物量均显著高于其他方法 ($P < 0.05$), 既能有效地驱赶小个体和幼年蚯蚓, 又可以收集到洞穴不与地表相接的土栖型蚯蚓, 因此可以作为真实有效地反映蚯蚓种群特征的采样方法之一。

关键词: 蚯蚓; 种群特征; 福尔马林; 芥末悬液; 手拣法

Comparative study of different earthworm sampling methods

FAN Ruqin^{1,2}, ZHANG Xiaoping^{1,*}, LIANG Aizhen¹, JIA Shuxia¹, CHEN Xuewen^{1,2}, WEI Shoucai^{1,2}, YANG Xueming³

¹ Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

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

³ Greenhouse & Processing Crops Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Harrow N0R 1G0, Canada

Abstract: The species composition and abundance of earthworms are important indicators for the impacts of agricultural management on soil quality. In order to develop a proper method for investigating earthworm population in agricultural soils, the effectivity and accuracy of seven sampling methods including: hand-sorting; formalin expulsion; mustard water suspension expulsion; mustard acetic acid suspension expulsion; and the three corresponding chemical expulsions in combination with hand-sorting, were reported in this paper. The experiment was carried out in the Black soils in northeast China under continuous corn cropping with four replicates. The abundance, biomass and age of the earthworm population obtained with these methods were analyzed synthetically. Results showed that the formalin expulsion without hand-sorting yielded the lowest earthworm abundance and biomass relative to other methods, especially for the juveniles, which indicated

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40801071); 中国科学院东北地理与农业生态研究所前沿领域项目 (KZCX3-SW-NA3-31); 青年博士基金项目 (08H2041) 和中国科学院知识创新项目 (KZCX2-EW-QN307)

收稿日期: 2011-05-26; **修订日期:** 2012-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangxiaoping@neigae.ac.cn

that this method is not suitable for earthworm population studies. The mustard suspension expulsion, especially mustard acetic acid suspension, was more efficient than formalin solution, which acquired abundance 22.3% higher than hand-sorting. The earthworm abundance and biomass acquired from formalin expulsion combined with hand-sorting were 19.1 and 9.3 times higher than formalin solution without hand-sorting. However, the proportion of adult earthworms was overestimated by this formalin method compared to other expellants methods studied. The hand-sorting combined with mustard water suspension and mustard acetic acid suspension had 67.8% and 89.1% more earthworms individuals collected, respectively, than those chemicals used independently, and the average of individual weight was 1.8 and 1.3 times higher, respectively. The results indicated that unlike formalin solution, mustard suspension was not likely to kill young or small-sized earthworm species. The mustard suspension without hand-sorting was not efficient to collect adult earthworms and the ones without burrows connected to the soil surface. However, these inefficiencies could be corrected with hand-sorting and the mustard suspension application. Earthworm abundance and biomass acquired using mustard acetic acid suspension in combination with hand-sorting were significantly greater than the other methods ($P < 0.05$). Using this method, we could collect not only the juvenile earthworms efficiently, but also the endogeic earthworms without burrows connected to soil surface. Accordingly, the method of mustard acetic acid suspension in combination with hand-sorting could be used as a better sampling method compared with other sampling methods for investigation of species composition and abundance of earthworms in agricultural soils.

Key Words: earthworms; population traits; formalin; mustard suspension; handsorting

蚯蚓被誉为“生态系统工程师”,其在土壤中的活动不仅有助于提高土壤肥力^[1],改善土壤结构^[2-4],而且直接关系着土壤养分的生物地球化学循环,对生态系统功能的正常运行至关重要^[5-6]。蚯蚓种类组成和丰度变化可以用来反映农业管理措施对土壤质量的影响^[7],蚯蚓数量也经常被用作评价土壤质量的指标^[8]。而正确有效的蚯蚓采样方法是获得蚯蚓丰度和种类组成等种群特征的重要保证^[9]。蚯蚓样品的采集方法主要有手拣法、驱虫剂法、电击法、热量驱逐法和浮选筛分法等,其中前3种较为常见。电击法的有效性随土壤条件变化很大,尤其受土壤湿度影响明显^[10]。目前国内蚯蚓采集绝大部分是采用手拣法^[11-13]和福尔马林溶液驱赶法^[14]。手拣法不仅需要消耗大量的时间和劳动力,破坏土壤结构,而且测定结果的准确性较低^[15-17]。用此法收集蚯蚓过程中,成年及亚成年蚯蚓(尤其洞穴深入土层深处的上食下栖型 anecic 蚯蚓)会迅速逃到下层土壤,因此有可能会错误估计所调查地区的蚯蚓年龄和种群组成。Chan 和 Munro^[18]在澳大利亚永久性牧场上用此方法只收集到了成年及亚成年蚯蚓的6.7%。鉴于手拣法的缺陷,用福尔马林溶液作为驱虫剂采集蚯蚓的方法应用较为普遍^[19-20]。但是,福尔马林具有较强的致癌性,对人体、土壤生物和地表植被都有毒害作用,而且被驱出土表的蚯蚓需要立即清洗才能避免被杀死^[21-22]。另一方面,该方法的有效性会随不同土壤类型^[23]和蚯蚓种类^[24]的变化而变化。Chan 和 Munro^[18]发现,福尔马林溶液只对永久性垂直洞穴里的蚯蚓最为有效,如陆正蚓(*lumbricus terrestris*),且只有利于收集较大的蚯蚓样品。因此,近些年来利用对环境无毒害作用的芥末悬液作为驱虫剂收集蚯蚓的方法在国外逐渐开始应用。该方法收集到的蚯蚓不会产生中毒反应,清洗后仍可用于实验室研究^[21]。然而,Eisenhauer 等^[25]及 Bartlett 等^[26]认为该芥末悬液方法并不能有效驱赶所有类型的蚯蚓,其有效性还有待研究;East 和 Knight^[27]认为芥末悬液难以调到合适的浓度,因而影响了该方法的推广。利用该方法进行蚯蚓采样的有效性及与其他方法的综合比较在我国还鲜见报道。本文在我国东北黑土上尝试了芥末+水悬液法及芥末+乙酸悬液法,并将驱虫剂和手拣法相结合,同时与手拣法和福尔马林溶液法进行了对比研究,目的在于探索利用无毒无害的芥末悬液进行蚯蚓采样的有效性和准确性,以期寻求合理有效的蚯蚓种群特征调查方法提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样地点概述

本试验在吉林省德惠市米沙子乡(44°12' N, 125°33' E)中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土农

业示范基地进行。试验区土壤类型为中层典型黑土,壤质粘土,具体理化性质见表1。试验于2010年8月末在玉米连作大田中进行,气温(30.5 ± 1.5) $^{\circ}\text{C}$,10 cm地温为(24.3 ± 0.9) $^{\circ}\text{C}$,20 cm及30 cm深度土壤体积含水量分别为30%和33%。

表1 试验区土壤理化性质

Table 1 Selected soil physical and chemical properties in experiment plot

深度 Depth /cm	pH	粘粒 Clay /%	孔隙度 Porosity /%	容重 Bulk density /(g/cm ³)	有机碳 Soil organic carbon /(g/kg)	总氮 Total nitrogen /(g/kg)
0—5	6.48	36.03	60.91	1.24	16.5	1.42
5—10	6.45	35.83	56.56	1.38	16.3	1.39
10—20	6.51	35.68	50.76	1.36	16.1	1.37
20—30	7.03	36.56	50.15	1.38	14.2	1.16

1.2 试验设计

蚯蚓采集方法分为手拣法和驱虫剂(福尔马林;芥末+水;芥末+乙酸)法,其中驱虫剂法又分为简单施加驱虫剂以及驱虫剂与手拣相结合的方法。每种方法4个重复。具体实施过程为:在大田中间选取光照条件、土壤含水量、土壤温度等一致的16个取样点,取样点之间间隔大于2 m,每个取样点处将一个60 cm×60 cm×15 cm的金属框插入土中10 cm。将16个取样点随机分为4组,随机选取其中一组用铲子挖取框内60 cm×60 cm×10 cm的土壤放于编织袋上,过筛,收集蚯蚓;同样随机选取其他3组取样点,向框内分别加入12 L 0.55%的福尔马林溶液、12 L 15 g/L芥末+水悬液和12 L芥末+乙酸悬液。为了使芥末粉与水或乙酸充分混合,将芥末粉磨碎过0.5 mm筛。芥末+乙酸悬液配制方法为:将106 g干芥末粉加入1 L 5%的乙酸中震荡过夜,然后按3:200的比例用水稀释^[18]。Chan和Munro^[18]研究发现,将26 g, 53 g, 106 g或312 g干芥末粉加入1 L 5%的乙酸中震荡过夜,然后按3:200或3:100的比例用水稀释制得的8种浓度的悬液中,106 g和3:200比例所制得的悬液采集蚯蚓的效果最佳,因此本文采用此浓度配比。加入驱虫剂后收集钻出地表的蚯蚓。为了与手拣法相结合,当蚯蚓不再钻出地表,过1—2 h后挖出铁框,挑出60 cm×60 cm×10 cm土壤中的蚯蚓。所有蚯蚓收集后进行清洗、鉴定、计数并称重。

1.3 统计分析与作图

用SPSS11.5软件的单因素方差分析(ANOVA)对不同采样方法所测得的蚯蚓丰度及生物量数据进行LSD显著性差异检验。用Origin8.0软件作图。

2 结果与讨论

2.1 不同方法采集到的蚯蚓生物量

由表2可知,仅使用福尔马林溶液作为驱虫剂所测得的蚯蚓丰度及生物量显著低于其他方法($P < 0.05$),且蚯蚓平均个体重量大于其他方法所收集到的蚯蚓,这可能是由福尔马林溶液的毒害作用造成的^[22],小个体蚯蚓在到达土表之前已经麻痹或死亡。因此,仅使用福尔马林溶液作为驱虫剂的方法不适合用于野外蚯蚓丰度及种类调查。当驱虫剂为芥末+水悬液时,有效性明显提高,测得的蚯蚓数量达到手拣法的水平,但是蚯蚓体型较小,平均个体重量仅为手拣法的40.8%,可见此方法收集大个体蚯蚓的有效性不高,而对小个体蚯蚓的比例估计过高。芥末+乙酸悬液的有效性较芥末+水悬液又有所提高,可以收集到的蚯蚓数量比手拣法多22.3%,这可能是由于手拣法容易低估小个体蚯蚓的数量^[9],而芥末悬液既可以使这些蚯蚓向地表移动,又不致在此过程中将其杀死。但是,仅使用驱虫剂采样容易过高地估计洞穴与地表相接的上食下栖型 anecic 蚯蚓及表栖型 epigeic 蚯蚓的比例,而低估了不容易钻出地表的土栖型 endogeic 蚯蚓^[28]的比例。Bartlett等^[26]认为,由于土栖型蚯蚓的特殊生活习性,芥末等驱虫剂可能并不能驱使该生态型的蚯蚓移向地表,而是使其侧向移动而逃离。加之实验土壤粘粒及有机质含量较高(表1),对福尔马林和芥末中的异硫氰酸烯丙酯(AITC)可能会有一定程度的吸附作用,因此更不利于该方法收集较深土层的土栖型蚯蚓。3种驱

虫剂收集到的蚯蚓均以正蚓科的赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)和花园爱胜蚓(*Eisenia hortensis*)为主,为表栖型蚯蚓。结合手拣法使用后,3种驱虫剂有效性均显著提高($P < 0.05$)。福尔马林溶液结合手拣法后,测得的蚯蚓丰度、生物量和平均个体重量分别是其单独使用时的19.1、9.3和0.5倍,也就是说与手拣法结合收集到了大量未能钻出地表的体型相对较小的或幼年的蚯蚓;芥末+水悬液、芥末+乙酸悬液结合手拣法后收集到蚯蚓数量分别提高了67.8%和89.1%,平均个体重量分别是原来的1.8和1.3倍,说明芥末悬液不会杀死小个体的幼年蚯蚓,但少部分大个体蚯蚓及洞穴不与地表相接的蚯蚓可能并不能被其驱赶至地表,结合手拣法后可以弥补这个缺陷,收集到少量土栖型长流蚓(*Apporectodea longa*)。芥末+乙酸悬液结合手拣法所测得的蚯蚓丰度及生物量均显著高于其他方法($P < 0.05$,表2)。驱虫剂与手拣法相结合,既可以收集到单一使用驱虫剂难以收集到的土栖型蚯蚓^[29],另一方面,施用化学驱虫剂又可以在一定程度上弥补手拣法的不足,即可以驱赶出在手拣法扰动土壤过程中逃离到较深土层的蚯蚓。因此,虽然挖取土壤过程中对土壤结构造成破坏,但是为了更为准确地测定蚯蚓丰度、生物量、年龄及种类组成等种群特征,在允许土壤扰动的地方,驱虫剂结合手拣法是更好的选择。

表 2 不同方法采集蚯蚓的丰度和生物量
Table 2 Abundance and biomass of earthworms extracted using different methods

方法 Methods	手拣法 Handsorting	福尔马林溶液 Formalin expulsion	芥末+水悬液 Mustard water suspension expulsion	芥末+乙酸悬液 Mustard acetic acid suspension expulsion	福尔马林 结合手拣法 Formalin expulsion and handsorting	芥末+水结 合手拣法 Mustard water suspension expulsion and handsorting	芥末+乙酸 结合手拣法 Mustard acetic acid expulsion and handsorting
丰度 Abundance/(个/m ²)	^a 46.5 ± 4.7c	2.8 ± 1.3d	45.1 ± 4.6c	56.9 ± 5.9c	53.5 ± 4.0c	75.7 ± 6.4b	107.6 ± 10.5a
生物量 Biomass/(g/m ²)	10.1 ± 1.6b	1.0 ± 0.4d	4.0 ± 1.4cd	6.8 ± 0.9c	9.3 ± 1.6cd	12.3 ± 0.8b	16.8 ± 2.8a

z 均值±标准误;数字后不同字母表示不同采用方法测得到蚯蚓丰度及生物量在0.05水平上有显著差异

2.2 不同方法采集到蚯蚓的年龄组成

不同采样方法测得的蚯蚓年龄组成各不相同(图1)。手拣法测得成年与幼年蚯蚓的丰度比例为1:1.8,幼年蚯蚓比例偏低。实验区黑土为壤质粘土,手拣法筛土收集蚯蚓过程中土壤黏结较为严重,肉眼计数过程中容易漏掉部分小个体蚯蚓,这可能是手拣法单独使用时测得幼年蚯蚓比例较低的一个原因。同时,手拣法扰动土壤过程中部分成年及亚成年蚯蚓会迅速逃离到下层土壤,因而对该部分蚯蚓的收集也不理想^[18]。仅施福尔马林溶液的方法收集到的成年及幼年蚯蚓数量太低,与其他方法相比可知,此法获得的蚯蚓年龄组成信息不符合实际。Čoja等^[30]也发现福尔马林溶液收集到的幼年蚯蚓远远低于手拣法,当溶液浓度高于0.8%时则几乎收集不到幼年蚯蚓。福尔马林结合手拣法之后虽然总体丰度和生物量均明显增加,但被杀死或麻痹的小型幼年蚯蚓仍不容易被收集到,导致成年蚯蚓比例仍然偏大(1:1.4)。芥末+水以及芥末+乙酸悬液方法的优势为可以收集到大量幼年蚯蚓,但是成年蚯蚓的数量比手拣法低,尤其芥末+水悬液法。可见成年蚯蚓对芥末+水悬液的敏感性低于幼年蚯蚓,芥末+水悬液不能有效收集成年蚯蚓。改为芥末+乙酸悬液后,幼年蚯蚓增加不明显,但成年蚯蚓却增至原来的2.6倍,有效性显著提升($P < 0.05$)。芥末+水悬液结合手拣法后,成年蚯蚓丰度显著增加,成年与幼年蚯蚓丰度比由1:6.4增至1:2.6。Lawrence和Bowers^[31]在不同利用方式的土壤上对蚯蚓种群特征进行研究,认为芥末+水悬液结合手拣法可以有效地用于测定多种土壤和土地利用类型的蚯蚓丰度。而本研究发现芥末+水悬液改为芥末+乙酸悬液后再结合手拣法更为有效。芥末+乙酸悬液结合手拣法后虽然测得的成年及幼年蚯蚓丰度均显著高于其他方法($P < 0.05$),但二者比例变化不大(由1:2.6增至1:2.5),可见芥末+乙酸悬液方法在不结合手拣法之前仍能较为准确地反映蚯蚓的年龄比例。

综上可知,不同年龄及不同生态型的蚯蚓对各种驱虫剂的反应是不同的,手拣法单独使用时对生活在土壤表层的蚯蚓最为有效,对于有垂直洞穴的蚯蚓和幼年蚯蚓收集效果较差;芥末水悬液对表栖型蚯蚓及幼年

蚯蚓更为有效,大个体的成年蚯蚓则不容易被其驱赶出地表;福尔马林溶液则对表栖型蚯蚓和大个体成年蚯蚓更为有效;芥末乙酸悬液可以有效驱赶成年蚯蚓,对幼年蚯蚓没有毒害作用因而驱赶效果颇佳,但是对于大部分土栖型蚯蚓的收集仍需要集合手拣法。因此,经过综合比较可以看出,芥末乙酸悬液结合手拣法可以最为准确地反映调查区域蚯蚓种群特征信息。

3 结论

不同采样方法所测得的蚯蚓丰度、生物量及年龄组成差异显著。不结合手拣法使用时,福尔马林溶液驱赶法测得的蚯蚓丰度及生物量远远低于其他方法,并不能用来进行蚯蚓种群特征的调查。芥末+水悬液做驱虫剂的有效性明显提高,但会低估成年蚯蚓的比例;改为芥末+乙酸悬液后有效性进一步提高。结合手拣法后3种驱虫剂的有效性均大大提高,福尔马林溶液测得的蚯蚓丰度和生物量分别是其单独使用时的19.1和9.3倍,但高估了成年蚯蚓的比例;芥末+水悬液和芥末+乙酸悬液结合手拣法后测得的蚯蚓丰度分别比单独使用

提高67.8%和89.1%,同时也显著高于单独使用手拣法所测得的蚯蚓丰度和生物量。芥末+乙酸悬液结合手拣法收集到的成年及幼年蚯蚓数量和生物量均显著高于其他方法($P < 0.05$),该方法既能有效地驱赶小个体和幼年蚯蚓,又可以收集到洞穴不与地表相接的土栖型蚯蚓,因此可以较为真实有效地反映蚯蚓种群特征。

References:

- [1] Pelosi C, Bertrand M, Makowski D, Roger-Estrade J. WORMDYN: a model of *Lumbricus terrestris* population dynamics in agricultural fields. *Ecological Modelling*, 2008, 218(3/4): 219-234.
- [2] Shen W B, Yang H Q. Effects of earthworm and micro-organism on soil nutrient and heavy metal. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(3): 760-765.
- [3] Capowiez Y, Cadoux S, Bouchand P, Roger-Estrade J, Richard G, Boizard H. Experimental evidence for the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(4): 711-717.
- [4] Laossi K R, Noguera D C, Decaens T, Barot S. The effects of earthworms on the demography of annual plant assemblages in a long-term mesocosm experiment. *Pedobiologia*, 2011, 54(2): 127-132.
- [5] Bartlett M, James I, Harris J, Ritz K. Earthworm community structure on five English golf courses. *Applied Soil Ecology*, 2008, 39(3): 336-341.
- [6] Najar I A, Khan A B. Earthworm communities of Kashmir Valley, India. *Tropical Ecology*, 2011, 52(2): 151-162.
- [7] Ivask M, Kuu A, Sizov E. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. *European Journal of Soil Biology*, 2007, 43(1): S39-S42.
- [8] Birkás M, Jolánkai M, Gyuricza C, Percze A. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil and Tillage Research*, 2004, 78(2): 185-196.
- [9] Bartlett M D, Briones M J I, Neilson R, Schmidt O, Spurgeon D, Creamer R E. A critical review of current methods in earthworm ecology: from individuals to populations. *European Journal of Soil Biology*, 2010, 46(2): 67-73.
- [10] Zaller J G, Arnone J A III. Earthworm and soil moisture effects on the productivity and structure of grassland communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(4): 517-523.
- [11] Qiao Y H, Cao Z P, Wu W L. Secondary succession of earthworm population in high production agro-ecosystem in North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2307-2311.
- [12] Yu J G, Li H X, Chen X Y, Hu F. Effects of straw application and earthworm inoculation on soil labile organic carbon. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(4): 818-824.

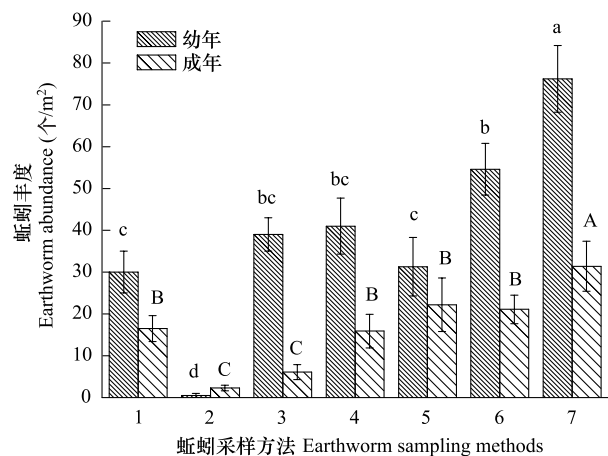


图1 不同方法下蚯蚓年龄组成

Fig. 1 Adult and juvenile earthworm abundance by different sampling methods

蚯蚓采样方法“1—7”依次表示:手拣法、福尔马林溶液法、芥末+水悬液法、芥末+乙酸悬液法、福尔马林溶液结合手拣法、芥末+水悬液结合手拣法、芥末+乙酸悬液结合手拣法;不同小写及大写字母分别表示幼年及成年蚯蚓丰度有显著性差异($P < 0.05$)

- [13] Xiang C G, Zhang P J, Pan G X, Qiu D S, Chu Q H. Changes in diversity, protein content and amino acid composition of earthworms from a paddy soil under long-term different fertilizations in the Tai Lake Region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1667-1674.
- [14] Li W F, Zhang X P, Liang A Z, Shen Y, Yang X M. Impacts of no-tillage on earthworm and soil bulk density in black soil in Northeast China. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2007, 23(4): 489-493.
- [15] Rushton S P, Luff M L. A new electrical method for sampling earthworm populations. *Pedobiologia*, 1984, 26: 15-19.
- [16] Edwards C A, Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworms*. 3rd ed. London: Chapman and Hall, 1996.
- [17] Jiménez J J, Lavelle P, Decaëns T. The efficiency of soil hand-sorting in assessing the abundance and biomass of earthworm communities. Its usefulness in population dynamics and cohort analysis studies. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(S1): S225-S230.
- [18] Chan K Y, Munro K. Evaluating mustard extracts for earthworm sampling. *Pedobiologia*, 2001, 45(3): 272-278.
- [19] Edwards C A, Bajer J E. The use of earthworms in environmental management. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, 24(12): 1683-1689.
- [20] Römcke J, Sousa J P, Schouten T, Riepert F. Monitoring of soil organisms: a set of standardized field methods proposed by ISO. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(S1): S61-S64.
- [21] Gunn A. The use of mustard to estimate earthworm populations. *Pedobiologia*, 1992, 36(2): 65-67.
- [22] Eichinger E, Bruckner A, Stemmer M. Earthworm expulsion by formalin has severe and lasting side effects on soil biota and plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2007, 67(2): 260-266.
- [23] Satchell J E. Methods of sampling earthworm populations. *Pedobiologia*, 1969, 9: 20-25.
- [24] Raw F. Earthworm population studies: a comparison of sampling methods. *Nature*, 1960, 187(4733): 257-257.
- [25] Eisenhauer N, Straube D, Scheu S. Efficiency of two widespread non-destructive extraction methods under dry soil conditions for different ecological earthworm groups. *European Journal of Soil Biology*, 2008, 44(1): 141-145.
- [26] Bartlett M D, Harris J A, James I T, Ritz K. Inefficiency of mustard extraction technique for assessing size and structure of earthworm communities in UK pasture. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(9): 2990-2992.
- [27] East D, Knight D. Sampling soil earthworm populations using household detergent and mustard. *Journal of Biology Education*, 1998, 32(3): 201-206.
- [28] Fan R Q, Zhang X P, Liang A Z, Shen Y, Shi X H, Yang X M. Field sampling methods for earthworm: a review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(6): 1589-1595.
- [29] Pfiffner L, Luka H. Earthworm populations in two low-input cereal farming systems. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37(3): 184-191.
- [30] Čoja T, Zehetner K, Bruckner A, Watzinger A, Meyer E. Efficacy and side effects of five sampling methods for soil earthworms (Annelida, Lumbricidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2008, 71(2): 552-565.
- [31] Lawrence A P, Bowers M A. A test of the 'hot' mustard extraction method of sampling earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(4): 549-552.

参考文献:

- [2] 申为宝, 杨洪强. 蚯蚓和微生物对土壤养分和重金属的影响. *中国农业科学*, 2008, 41(3): 760-765.
- [11] 乔玉辉, 曹志平, 吴文良. 华北高产农田生态系统中蚯蚓种群次生演替规律. *生态学报*, 2004, 24(10): 2307-2311.
- [12] 于建光, 李辉信, 陈小云, 胡锋. 秸秆施用及蚯蚓活动对土壤活性有机碳的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 818-824.
- [13] 向昌国, 张平究, 潘根兴, 邱多生, 储秋华. 长期不同施肥下太湖地区黄泥土蚯蚓的多样性、蛋白质含量与氨基酸组成的变化. *生态学报*, 2006, 26(6): 1667-1674.
- [14] 李文凤, 张晓平, 梁爱珍, 申艳, 方华军, 杨学明. 免耕对黑土蚯蚓数量和土壤密度的影响. *农业系统科学与综合研究*, 2007, 23(4): 489-493.
- [28] 范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 申艳, 时秀焕, 杨学明. 蚯蚓野外采样方法评述. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1589-1595.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinxin, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,280页,国内定价70元/册,全年定价1680元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话: (010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn **网 址:** www.ecologica.cn

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32卷 第13期 (2012年7月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

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:100077	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

9 771000 093125

1 3>