应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2013,50(6):1679 - 1691. DOI:10.7679/j.issn.2095 - 1353.2013.231

陷阱法和 Winkler 法调查土壤节肢动物多样性比较:以千岛湖岛屿封闭生境研究为例*

黄杰灵** 胡 广[2] 袁金凤[2] 罗媛媛[1]***

(1. 中国计量学院生命科学学院 杭州 310018;2. 浙江大学生命科学学院 杭州 310058)

摘 要 陷阱法和 Winkler 法是调查土壤动物的两种常规方法,然而这两种方法的调查效率各有优劣。本研究于 2010 年秋季,在千岛湖中心湖区选取了 15 个面积不同的岛屿,同时采用 Winkler 法和陷阱法采集岛屿上的土壤节肢动物,在岛屿这一封闭生境中比较两种方法收集土壤节肢动物的效率。结果表明,两种方法捕获土壤动物类群丰富度差异不显著,但多样性指数差异极显著。Winkler 法对常规土壤节肢动物类群的采集效率优于陷阱法,尤其对运动较缓慢、活动范围较小的土壤节肢动物类群的采集具有优势;陷阱法则更优于采集运动能力较强、活动范围较大的类群。基于样方的稀疏曲线结果说明,Winkler 法能用少量样方快速获取研究区域的土壤节肢动物群落基本组成,推荐在面积较小的岛屿上使用;而在面积较大的岛屿上使用陷阱法能够获取更多的类群。Chao-Jaccard 相似性系数比较则显示两种方法所取的土壤节肢动物相似性在大型岛屿上差异较大,说明大样本数据的采集需要两种方法同时使用能够提高数据的完整性和可靠性。本研究的结果为土壤节肢动物研究的方法选择提供了数据支持,具有一定的实际应用性。

关键词 土壤节肢动物, 取样方法, 千岛湖, 陆桥岛屿, 研究尺度

A comparison of pitfall trapping and the Winkler method for investigating soil arthropod diversity: a case study on the closed habitats of land-bridge islands

HUANG Jie-Ling[1]** HU Guang[2] YUAN Jin-Feng[2] LUO Yuan-Yuan[1]***

(1. College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China;
2. College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract The Winkler method and pitfall trapping are two conventional methods used for soil fauna surveys, with each having advantages at different aspects and scales. In autumn 2010, we select 15 different areas of the island, we compared the efficiencies of these methods for collecting soil arthropods on land-bridge islands in the Thousand Island Lake (TIL), Zhejiang, China. The results show that, Taxon richness was not significantly different between the two methods but the diversity indices were significantly different. The Winkler method is superior to pitfall trapping in collecting soil arthropods, especially for those taxa with slower movement and smaller territories, whereas pitfall trapping is more inclined to collect more mobile species. The sample-based rarefaction curves showed that the Winkler method can quickly achieve the basic list of local soil arthropods with fewer samples, and is thus recommended for smaller islands, whereas pitfall traps can capture more taxa on the larger islands. Analysis of Chao-Jaccard similarity coefficients showed significant differences between the community compositions estimated by the two methods on large islands. This suggests that large scale sampling requires the use of both methods to improve the integrity and reliability of data.

Key words soil arthropod, sampling methods, Thousand Island Lake, land-bridge island, research scales

---

* 资助项目:浙江省自然科学基金(Y5080117 和 Y504253)。

** E-mail: joling2011@163.com

*** 通讯作者, E-mail: yyluo@cjlu.edu.cn

收稿日期:2013-04-17,接受日期:2013-06-04

土壤节肢动物是森林生态系统的重要组成成分之一,在生态系统结构和功能中扮演着重要角色,如改善土壤性质、调节分解作用和养分循环、促进植物生长、作为外来生物的天敌和脊椎动物的食物等。随着生态学研究的日趋深入,土壤节肢动物在生态系统中的重要作用已引起生态学者和保护生物学家的广泛关注(Stork and Eggleton, 1992;Fitter *et al.*,2005;Decans *et al.*,2006)。对土壤节肢动物群落及其多样性的研究在国内外已有大量的报道(杨效东,2004;Driscoll and Weir, 2005;彭涛等,2006;Clough *et al.*,2007;Palacios *et al.*,2007)。因传代快、运动能力强、对生境和植物群落结构的变化反应迅速,土壤节肢动物的聚群结构(assemblage)能够快速反映生态系统受到的干扰程度(Copley,2000;Buddle *et al.*,2006;Schaffers *et al.*,2008)。但是,土壤节肢动物种类繁多、数量巨大,在有限的时间和资源条件下获取其在一个区域的所有物种很困难,因此选择一种专业、快速、可重复和高效率、能分离大部分土壤节肢动物类群的取样技术十分必要(Parr and Chown,2001)。经过大量学者的比较研究,陷阱(Pitfall trap)法和 Winkler(sack)法因其具有简单、高效、对原有生境破坏小、不带走土壤、不使用人造能源、适合长期野外监测等优点,已成为土壤节肢动物最主要的两种采集技术(Fisher,2005)。

陷阱法是一种简单、快速、廉价并可昼夜采集的土壤节肢动物采样方法(Majer,1997)。它适合分离生活在地表或半土生的土壤节肢动物(Sabu and Shiju,2010)。通常,陷阱法在开放生境(open habitats)里效率较高(Melbourne,1999)。Winkler 法则被认为可以收集到陷阱法遗漏的土壤节肢动物(Fisher,1999),因其取样时既可以取土表土样(可包括枯枝落叶),也可挖取深层土样,故 Winkler 法对生活在地表和土壤深层的土壤节肢动物均有较好的分离效率(Nadkarni and Longino, 1990;Donegan *et al.*,1997;Perry *et al.*,1997)。尤其是对于栖息在落叶层或土壤中陷阱法不易采集到的活动空间极小行动缓慢的土壤节肢动物,Winkler 法有很好的采集效果(Parr and Chown, 2001;Delabie *et al.*,2007),它在含有大量凋落物的森林生境中是一种值得推荐的收集技术(Fisher,1999)。

在国外,多位学者已对这两种常用收集技术进行了比较(Parr and Chown,2001;Yoshida and Hijii,2008;Ivanov and Keiper,2009)。但由于研究地区多为开放生境,物种交流频繁,外界干扰较强,想获取土壤节肢动物的完整名录非常困难,其结果的可靠性值得商榷。只有研究区尺度较小或者在封闭的生境中,获得完整的土壤节肢动物名录才有可能实现(Disney,1986)。同时,多数学者关注比较两种方法对某个特定类群的分离效率时(Brennan *et al.*, 2005;Krell *et al.*,2005;Sabu and Shiju,2010),很少有人尝试比较两种方法分离完整土壤节肢动物时的效率。此外,对于研究区尺度大小对两种方法取样效率的影响,国内外尚未见报道。

千岛湖是新安江大坝建设后形成的人工湖泊,因湖内有 0.25 hm^2 以上岛屿 1 078 个而得名。千岛湖岛屿众多,边界清晰,隔离岛屿的景观基质是湖水,对土壤动物的隔离作用极强,可以看作是相对的封闭生境(closed habitat),是比较土壤节肢动物取样方法分离效率的理想实验地。我们在千岛湖中心湖区选取了 15 个面积不同的岛屿作为长期研究样岛,同时采用 Winkler 法(Besuchet and Burckhardt,1987;Didham,1997)和陷阱法(Martin, 1977)采集岛屿上的土壤节肢动物,以比较岛屿这一封闭生境中的土壤节肢动物多样性,探讨生境片段化对土壤节肢动物的影响,检验岛屿生物地理学、生态学和保护生物学等领域的理论。本文作为前期工作,旨在探索更合适的取样方法,并对千岛湖岛屿上的土壤节肢动物进行初步研究,试图解决以下几个科学问题:(1)千岛湖土壤节肢动物基本概况,以及陷阱法和 Winkler 法调查获得的土壤节肢动物群落组成和多样性的差异?(2)两种方法分别更有效取样的土壤节肢动物类群是哪些?(3)两种方法的取样效率在岛屿面积梯度上显示什么规律?本文将不仅为课题组在千岛湖的后续研究提供依据,还将为亚热带土壤节肢动物的调查方法选择提供有力的数据支持。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

千岛湖(新安江水库)位于浙江省杭州市淳安县境内,是 1959 年新安江水电站大坝建成后蓄水形成的大型水库。水库地处 118°34′~119°22′E,29°22′~29°50′N 之间,东西跨度 60 km,南北 59 km,最

高水位线为海拔 108 m。水域面积约 573 km^2,水位线海拔 108 m 时有面积 2 500 m^2 以上的岛屿 1 078 个,并以 2 hm^2 以下的小岛为主,最大岛屿为界首岛,面积为 1 320 hm^2。气候类型为亚热带季风气候,年平均气温 17℃,年均降水量 1 430 mm,相对湿度 76%。气候温暖湿润,四季分明。湖中岛屿的森林植被在大坝建成前已被砍伐殆尽,现在以天然次生马尾松(*Pinus massoniana*)林为主,森林覆盖率达 88.5%(Wang *et al.*,2010)。

1.2　研究样岛

根据千岛湖地形图,结合实地勘查,选取千岛湖中心湖区的 15 个岛屿(图 1)作为研究样岛。根据 Terborgh 等(2001)的研究方法并结合研究区域实际情况,按面积(A)大小将这 15 个岛屿划分为 3 个等级:小型岛屿($A < 0.5$ hm^2)、中型岛屿(0.5 $hm^2 < A < 2$ hm^2)和大型岛屿($A > 20$ hm^2)。根据岛屿面积大小确定采样样方个数,小型岛屿取 10 个样方,中型岛屿取 15 个样方,大型岛屿取 25 个样方(表 1)。各样方在岛屿上的分布均采用随机法,样方之间最少间隔 10 m。

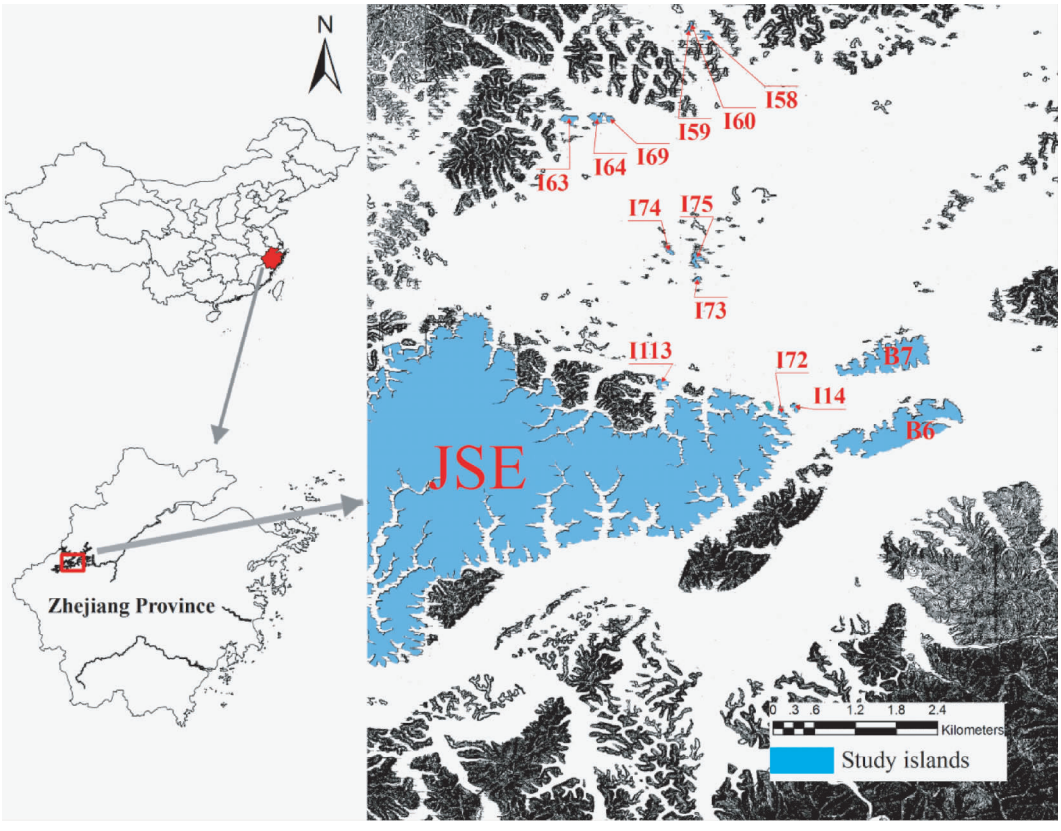

图 1　千岛湖研究区示意图

Fig. 1　Sketch map of the study area in the Thousand Island Lake

1.3　土壤节肢动物收集方法与鉴定

在以往的比较研究中,两种方法各自装置分布和取样面积略有不同,本文参照 Prasifka 等(2007)的研究方法并结合实际情况,先为 Winkler 法选择一个 0.5 m×0.5 m 小样方,在小样方周围约 1 m 处设置陷阱装置。各装置取样分布剖面见图 2。两种方法同时收集,收集时间为 2010 年 10—11 月。

因陷阱法主要分离地表土壤节肢动物,故本文 Winkler 法(Besuchet and Burckhardt,1987;Didham,1997)取样相应的调整为:用薄铁框(高 20 cm,面积 0.5 m×0.5 m)确定样方后,沿土壤剖面快速挖取 0.5 m×0.5 m 样方内 0~2 cm 土样,连带土表枯枝落叶一起放入密封袋中,密封袋中的土样用筛网(筛网孔径 2 cm)去掉较大石块后,留下的土样分 3 袋装入 Winkler Sacks(网筛孔径

表 1 千岛湖样岛概况

Table 1 Overview of study islands in the Thousand Island Lake

岛屿编号 Island number	面积(hm^2) Area(hm^2)	岛屿等级 Island class	样方数 Plot number
I60	0.14	小型 Small	10
I59	0.19	小型 Small	10
I73	0.25	小型 Small	10
I74	0.39	小型 Small	10
I69	0.42	小型 Small	10
I14	0.46	小型 Small	10
I72	0.69	中型 Medium	15
I58	0.84	中型 Medium	15
I75	0.86	中型 Medium	15
I113	0.99	中型 Medium	15
I64	1.31	中型 Medium	15
I63	1.33	中型 Medium	15
B7	27.49	大型 Large	25
B6	47.98	大型 Large	25
JSE	1 153.88	大型 Large	25

2 mm),悬挂 72 h 采集布袋底部塑料杯(杯内装有甘油和 75% 酒精的混匀物)中动物样本后将土样倒回原处(Didham,1997)。标本用 75% 酒精保存。

陷阱法:在 Winkler 法样方周围约 1 m 处放置一个塑料杯(高 8 cm,口径 9.5 cm)作为陷阱,杯壁上方 1/4 处打 1 小孔,塑料杯内倒入 40~60 mL 甘油和 75% 酒精的混匀物,重量比为 1∶10,陷阱壁沿与土表平齐,陷阱上方装 1 塑料盖(高 3 cm,口径 11 cm)作为防雨和防异物掉落装置,放置陷阱时间为 72 h。标本用 75% 酒精保存。

本文把陷阱法采集时间设计为与 Winkler 法萃取时间相同是为了减少时间效应带来的差异,Winkler 法取样剖面设计为枯枝落叶层和 0~2 cm 土层是为使 Winkler 法只收集地表土壤节肢动物。

所有土壤节肢动物标本依据《中国亚热带土壤动物》(尹文英等,1992)和《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英,1998)分类至目。

1.4 数据处理

1.4.1 类群组成及多样性差异 把所获土壤节肢动物类群占总量 10% 以上的记为优势类群,1%~10% 的记为常见类群,小于 1% 的当作稀有类群。多样性指标采用 Shannon-Wiener 指数:$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i$;Simpson 优势度指数:$C = \sum_{i=1}^{s} P_i^2$ 和 Margalef 丰富度指数:$D = (S-1)/\ln N$,WT 式中的 S 代表类群数,N 为群落总个体数,P_i 为类群 i 个体数占群落总个体数的比率。分别计算每个岛屿两种方法所获土壤节肢动物的多样性指标,并用配对样本 t-检验(paried samples t-test)分析差异。

1.4.2 各类群频度差异 频度计算方法为:出现次数/样方个数(只要在一个样方中出现,不管数量多少记为 1 次),以每个样方所收集的土壤节肢动物为单元对两种方法分别得到的频度进行双样本 z-检验(two sample z-tests)以分析两种收集方法的差异(Sabu and Shiju,2010)。

1.4.3 基于样方的稀疏曲线 基于样方的稀疏曲线(sample-based rarefaction curves)常被称为种-样方曲线,通常随机选取 N 个样方,把观测到的物种数记在 Y 轴,样方数量记在 X 轴来生成曲线,常用来评估物种达到饱和所需的样方数,也可以评估不同方法间差异(Colwell,2000),本研究在每个面积梯度等级岛屿随机选取 100 个样方,计算其样方稀疏曲线并生成 95% 置信区间(Colwell *et al.*,2004),比较不同等级岛屿上两种方法采样的差异。

1.4.4 土壤节肢动物群落相似性比较 在群落比较分析中,Jaccard 相似性系数常被用于比较不同群落的物种相似性,但经典的 Jaccard 系数基于 0(无共有物种)1(存在共有物种)矩阵,常低估群落间相似性(Chao *et al.*,2005)。例如两群落其他组成都相同但因为不共有某些稀有类群,用经典的 Jaccard 系数计算时得到的相似性偏低。为避免这一偏差,Chao 等(2005)开发了一种基于多度的 Chao-Jaccard 相似性系数。本文采用 Chao-Jaccard 相似性系数评价岛屿等级对两种采样方法的影响,每个等级岛屿随机抽取 100 个样方计算两种方法的 Chao-Jaccard 相似性系数,Chao-Jaccard 相似性系数越接近 1,两种方法得到的土壤节肢动物物种组成相似性越高,如果在相似性系数和 1 没有显著差别,说明两种方法得到的物种组成无显著差异。

$$I_{\text{chao}} = \frac{UV}{U+V-UV},$$

$$U = \sum_{i=1}^{D_{12}} \frac{X_i}{n} + \frac{(n-1)}{m}\frac{f_{+1}}{2f_{+2}}\sum_{i=1}^{D_{12}} \frac{X_i}{n}\ (Y_i = 1),$$

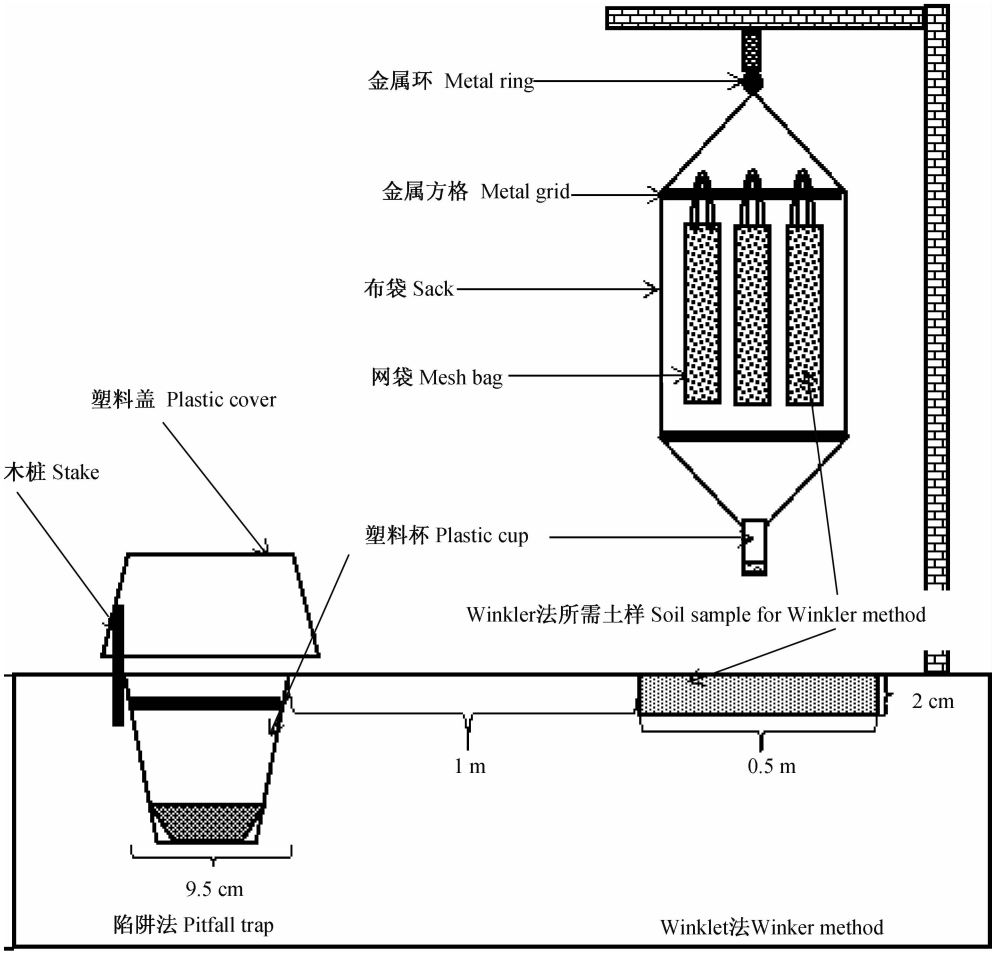

图 2　两种方法在每个样方内分布剖面图

Fig. 2　Cross-section representation of pitfall trap and Winkler method in each quadrat

$$V = \sum_{i=1}^{D_{12}} \frac{Y_i}{m} + \frac{(n-1)}{n}\frac{f_{1+}}{2f_{2+}}\sum_{i=1}^{D_{12}} \frac{X_i}{n} \ (X_i = 1)。$$

对于两个集合的比较,我们从集合 1 里面随机选取 n 个个体,从集合 2 里面随机选取 m 个个体,把集合 1 里面的每个类群出现的频度标记为 $(X_1, X_2, X_3 \ldots)$,把集合 2 里面的每个类群出现的频度标记为 $(Y_1, Y_2, Y_3 \ldots)$,S_{12} 为 2 个集合实际共有的类群数,D_{12} 为 2 个集合观测到的共有类群数,f_{1+} 为观测到的 2 个集合共有的类群但在集合 1 里只出现 1 次,f_{2+} 为观测到的 2 个集合共有的类群但在集合 1 里只出现 2 次,f_{+1} 为观测到的 2 个集合共有的类群但在集合 2 里只出现 1 次,f_{+2} 为观测到的 2 个集合共有的类群但在集合 2 里只出现 2 次,如果有类群 i 不属于 n 个个体所属类群里的任何一个类群,$X_i = 0$,如果有类群 i 不属于 m 个个体所属类群里的任何一个类群,$Y_i = 0$。

数据处理基于 R 2.11.1、SPSS18.0 和 EstimateS 8.20。

2　结果与分析

2.1　土壤节肢动物群落组成与物种多样性比较

在 15 个岛屿共计 225 个样方中采用两种采集方法共获土壤节肢动物 29 226 个,分别隶属于 7 纲 24 目(表 2),Winkler 法获土壤节肢动物 7 纲 22 目 21 767 个,陷阱法获土壤节肢动物 7 纲 23 目 7 226 个,在陷阱法里未发现毛马陆目,在 Winkler 法里未发现裂盾目和石蛃目。弹尾目和膜翅目在两种方法中都是优势类群,蜘蛛目、蚰蜒目、鞘翅目和等足目在两种方法中都是常见类群,但□目在陷阱法里是优势类群(11.14%),在 Winkler 法里为常见类群(1.39%),真螨目在 Winkler 法里为优势类群(31.67%),在陷阱法里是稀有类群(0.14%)。比较两种方法所采集的个体数目发现,对于两者共有的优势类群和常见类群,Winkler

法采集的个体数目均多于陷阱法,但对于两者共有的稀有类群,Winkler 法采集的个体数目均少于陷阱法。

对两种采集方法获得的土壤节肢动物群落组成按岛屿面积梯度比较,发现陷阱法在小型岛屿上采集到的类群数少于 Winkler 法,但在中型岛屿和大型岛屿上,陷阱法采集到的类群数均多于 Winkler 法(表 2)。比对其个体数目发现,Winkler 法所采集的大部分类群在各岛屿上均多于陷阱法,但陷阱法所采集的裂盾目、盲蛛目、直翅目、

表 2 两种方法所采集的土壤节肢动物群落组成

Table 2 The composition of the soil arthropods with two methods

纲/目 Class/Order	小型岛屿 Small island		中型岛屿 Medium island		大型岛屿 Large island		总计 Total	
	陷阱法(%) Pitfall trap (%)	Winkler 法(%) Winkler method (%)	陷阱法(%) Pitfall trap (%)	Winkler 法(%) Winkler method (%)	陷阱法(%) Pitfall trap (%)	Winkler 法(%) Winkler method (%)	陷阱法(%) Pitfall trap (%)	Winkler 法(%) Winkler method (%)
蛛形纲 Arachnida	7.77	37.74	7.75	38.82	10.42	32.99	8.48	37.29
裂盾目 Schizomida	0.00	0.00	0.03	0.00	0.10	0.00	0.04	0.00
蜘蛛目 Araneae	3.97	7.39	3.90	3.34	5.06	4.03	4.23	4.35
伪蝎目 Pseudoscorpiones	0.06	0.50	0.09	0.26	0.15	0.70	0.10	0.41
盲蛛目 Opiliones	3.74	0.56	3.58	0.62	4.86	1.78	3.97	0.86
真螨目 Acariformes	0.00	29.29	0.14	34.60	0.25	26.48	0.14	31.67
软甲纲 Malacostraca	2.01	3.54	1.33	1.57	1.52	1.49	1.55	1.97
等足目 Isopoda	2.01	3.54	1.33	1.57	1.52	1.49	1.55	1.97
多足总纲 Myriapoda	3.24	11.02	2.02	4.00	7.08	6.68	3.71	6.08
毛马陆目 Polyxenida	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.02
蚰蜒目 Scutigeromorpha	2.51	1.98	1.73	0.70	4.70	1.14	2.74	1.07
蹋□目 Pauropodidae	0.45	0.59	0.20	0.95	1.32	3.02	0.57	1.33
幺蚰目 Scuti-gerellidae	0.28	8.43	0.09	2.34	1.06	2.48	0.40	3.66
弹尾纲 Collembola	6.42	15.43	30.07	29.62	25.85	19.70	23.06	24.41
弹尾目 Collembola	6.42	15.43	30.07	29.62	25.85	19.70	23.06	24.41
双尾纲 Diplura	0.11	0.02	0.06	0.02	0.05	0.06	0.07	0.03
双尾目 Doplura	0.11	0.02	0.06	0.02	0.05	0.06	0.07	0.03
昆虫纲 Insecta	80.45	32.20	58.77	25.93	54.27	39.00	62.91	30.16
等翅目 Isoptera	0.28	3.52	0.40	3.26	1.72	7.48	0.73	4.25
直翅目 Orthoptera	0.67	0.00	0.58	0.01	1.11	0.23	0.75	0.06
革翅目 Deramptera	0.00	0.00	0.03	0.02	0.35	0.00	0.11	0.01
半翅目 Hemiptera	0.00	0.02	0.03	0.00	0.35	0.00	0.11	0.00
□目 Psocoptera	14.92	1.50	10.35	1.22	9.10	1.72	11.14	1.39
缨翅目 Thysanoptera	0.00	0.00	0.06	0.00	0.46	0.02	0.15	0.00
膜翅目 Hymenoptera	63.18	17.28	44.78	18.84	35.20	21.08	46.72	19.01
鳞翅目 Lepidoptera	0.28	0.80	0.09	0.46	0.35	1.07	0.21	0.67
双翅目 Diptera	0.22	6.54	0.40	0.47	1.32	4.40	0.61	2.63
鞘翅目 Coleoptera	0.89	2.54	2.05	1.66	4.10	3.00	2.32	2.15
石蛃目 Archaeognatha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.06	0.00
桡足纲 Copepoda	0.00	0.04	0.00	0.05	0.81	0.08	0.22	0.06
猛水蚤目 Harpacticoida	0.00	0.04	0.00	0.05	0.81	0.08	0.22	0.06
类群数 Number of Taxa	16	19	21	20	23	20	23	22

□目、缨翅目和石蛃目在各岛屿上均多于 Winkler 法,蚰蜒目、革翅目、半翅目和猛水蚤目在大型岛屿上多于 Winkler 法,膜翅目在小型岛屿上多于 Winkler 法。

为比较两种采集方法所获土壤节肢动物群落多样性差异,对采用两种方法在每个岛屿所捕获的土壤节肢动物计算其 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Simpson 优势度指数(C)和 Margalef 丰富度指数(D),配对样本 t-检验结果表明,两种方法 15 个岛屿的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数差异均达极显著($t_{H'} = -5.42$, $df = 14$, $P < 0.001$; $t_C = 5.69$, $df = 14$, $P < 0.001$),Margalef 丰富度指数差异不显著($t_D = -1.84$, $df = 14$, $P = 0.08$)。

2.2　土壤节肢动物类群频度比较

裂盾目和石蛃目在 Winkler 法里出现频度为 0,毛马陆目在陷阱法里出现频度为 0(图 3:D),去除上述频度过小类群后对两种方法 225 个样方中土壤节肢动物类群出现频度的双样本 z-检验结果(表 3)表明,双尾目和猛水蚤目在各等级岛屿上两种收集方法频度未存在显著差异($|z| < 1.96$, $P > 0.05$),其他类群的两种收集方法频度均存在极显著差异($|z| > 2.58$, $P < 0.01$),且除盲蛛目、直翅目和□目在陷阱法里频度极显著高于 Winkler 法外,其余类群在陷阱法里频度极显著低于 Winkler 法(表 3,图 3:D)。

对两种采集方法所获土壤节肢动物频度按岛屿面积梯度比较的结果显示,对于大多数类群,Winkler 法获得的类群频度在各岛屿上均显著高于陷阱法(表 3,图 3:A ~ C),但两种方法盲蛛目频度在小型岛屿和中型岛屿中差异不显著,在大型岛屿中陷阱法频度极显著高于 Winkler 法;蚰蜒目频度在小型岛屿和中型岛屿中 Winkler 法显著高于陷阱法,在大型岛屿中差异却不显著;猛水蚤目在小型岛屿和大型岛屿中差异不显著,在中型岛屿中 Winkler 法显著高于陷阱法。

表 3　两种方法中土壤节肢动物类群出现频度的双样本 z 检验结果

Table 3　Results of two sample z-tests on the variation in the frequency of collection for ground dwelling arthropods using Pitfall trap and the Winkler method

类群 Taxon	z 值 z-value			
	小型岛屿 Small island	中型岛屿 Medium island	大型岛屿 Large island	总计 Total
蜘蛛目 Araneae	−2.62*	−3.97**	−2.04*	−5.00**
伪蝎目 Pseudoscorpiones	−3.69**	−3.47**	−3.55**	−6.17**
盲蛛目 Opiliones	1.80*	1.83	4.54**	4.46**
真螨目 Acariformes	−59.00**	−50.80**	−32.19**	−77.95**
等足目 Isopoda Isopoda	−5.37**	−3.57**	−2.92**	−5.70**
蚰蜒目 Scutigeromorpha	−2.27*	−2.34*	−0.33	−2.82**
蹋□目 Pauropodidae	−2.09*	−5.79**	−6.32**	−8.28**
幺蚰目 Scuti-gerellidae	−13.98**	−8.89**	−5.12**	−14.17**
弹尾目 Collembola	−9.41**	−14.04**	−11.15**	−20.15**
双尾目 Doplura	0.57	−2.95	−1.00	0.00
等翅目 Isoptera	−7.06**	6.64**	−6.67**	−12.51**
直翅目 Orthoptera	3.23**	3.01**	3.62**	5.69**
□目 Psocoptera	5.60**	4.39**	2.93**	7.26**
膜翅目 Hymenoptera	−2.32*	−2.95**	−3.75**	−5.29**
鳞翅目 Lepidoptera	−4.11**	−5.45**	−3.34**	−7.47**
双翅目 Diptera	−4.89**	−2.85**	−7.23**	−8.47**
鞘翅目 Coleoptera	−8.78**	−7.17**	−4.49**	−11.27**
猛水蚤目 Harpacticoida	−1.43	−2.52*	1.40	−0.65

注:* 表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著;** 表示在 $P < 0.01$ 水平上差异显著。

* indicates significantly different at 0.05 level; ** indicates significantly different at 0.01 level.

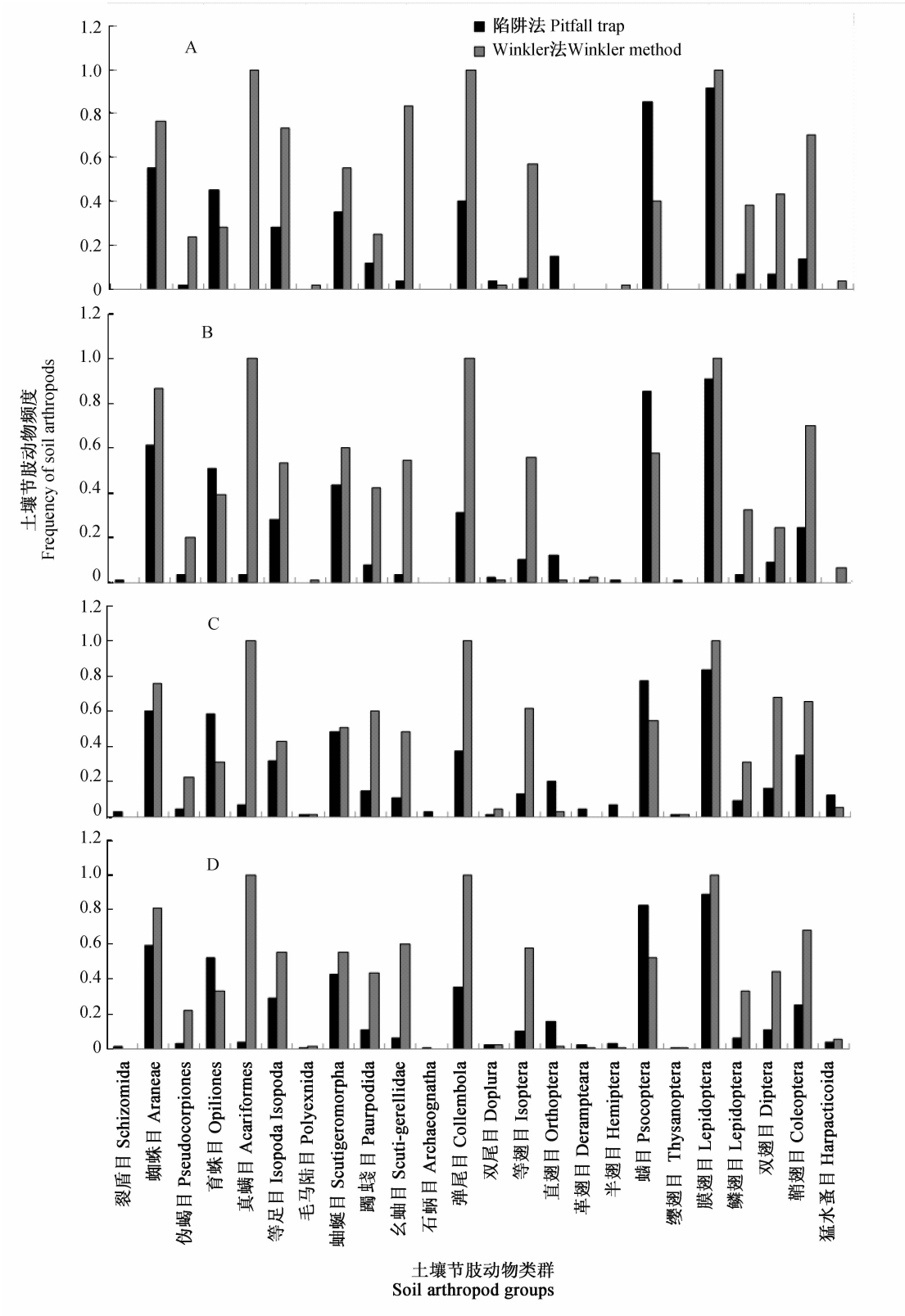

图 3 土壤节肢动物类群在 225 个样方中出现的概率比较

Fig. 3 Percentage of abundance of ground dwelling arthropods collected from pitfall trap and the Winkler method

A：小型岛屿；B：中型岛屿；C：大型岛屿；D：总计。

A：small island；B：medium island；C：large island；D：total.

由图 3 可以看出:膜翅目、弹尾目和真螨目用 Winkler 法收集时总频度达 1。不同类群在两种方法中出现的频度存在差异。Winkler 法频度较高的 5 个类群由大到小依次为:弹尾目、真螨目、膜翅目、蜘蛛目和鞘翅目,5 个类群在 Winkler 法里出现的频度均在 50% 以上。陷阱法频度较高的 5 个类群由大到小依次为:膜翅目、□目、蜘蛛目、盲蛛目和蚰蜒目,说明两种方法采集的土壤节肢动物类群存在差异而对膜翅目和蜘蛛目均能实现有效采集。大多数的土壤节肢动物类群在 Winkler 法里出现的频度均高于陷阱法,特别是真螨目、幺蚰目、伪蝎目和等翅目等活动范围较小的类群;但对于盲蛛目、直翅目、革翅目、半翅目和□目等活动范围较大的类群,在陷阱法里出现的频度要高于 Winkler 法。

2.3　不同面积梯度岛屿上的稀疏曲线

两种方法在不同等级岛屿上的基于样方的稀疏曲线比较显示(图 4),在小型岛屿上 Winkler 法的稀疏曲线整体高于陷阱法,在中型岛屿和大型岛屿上,开始是 Winkler 法采集的物种数多于陷阱法,但随着样方数的增加,陷阱法采集的物种数逐渐超过 Winkler 法,说明两种方法对土壤节肢动物取样的积聚效率和速率存在研究尺度上的差异。当研究尺度较小时 Winkler 法占优势,当尺度较大时陷阱法较有优势。Winkler 法在第一个样方内就能积聚约 12.5 个类群,陷阱法在第一个样方只能积聚约 6.5 个类群,一般在前 10 个样方内,Winkler 法能积聚更多的类群数,且积聚速度快于陷阱法。本文还利用基于样方的稀疏曲线比较了获取研究区土壤节肢动物总类群(本文总类群数

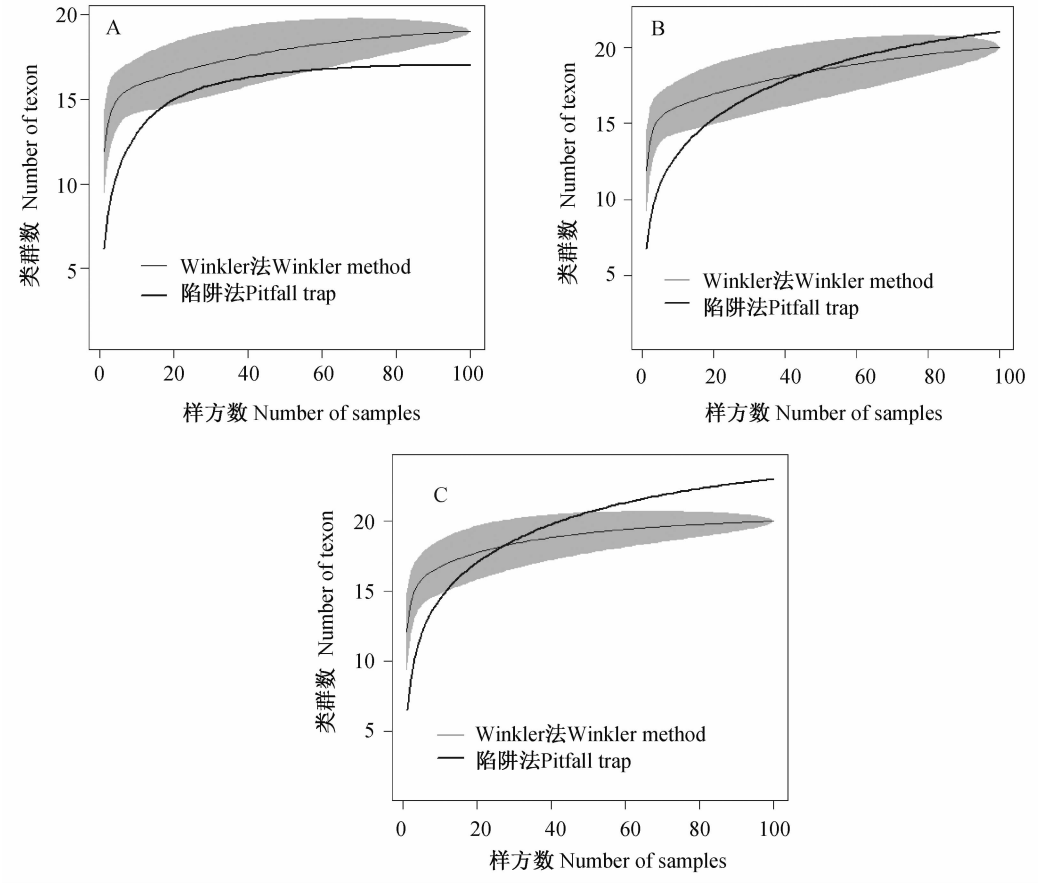

图 4　两种方法基于样方的类群稀疏曲线(阴影为 95% 置信区间)

Fig. 4　Sample based rarefaction curves for Pitfall trap and the Winkler method based on the number of samples(dark circle mean, solid line 95% CIs)

A: 小型岛屿;B: 中型岛屿;C: 大型岛屿。

A: small island; B: medium island; C: large island.

为 Winkler 法和陷阱法共获类群数)最少 80% 所需的最小样方数目:Winkler 法在小型岛屿、中型岛屿和大型岛屿上的最小样方数依次约为 12、32 和 60 个;陷阱法在小型岛屿、中型岛屿和大型岛屿上的最小样方数依次约为 35、39 和 40 个。

2.4 不同面积梯度岛屿上的相似性比较

Winkler 法和陷阱法在不同面积的岛屿上采集的土壤动物类群的 Chao-Jaccard 相似性系数不同(图 5)。在中型岛屿上两种方法相似性最高,在小型岛屿上次之,且两种方法获取的类群物种组成之间不存在显著差异。在大型岛屿上两种方法相似性最低且 95% 置信区间不包括 1,说明两种方法在大型岛屿上土壤节肢动物群落组成差异显著。

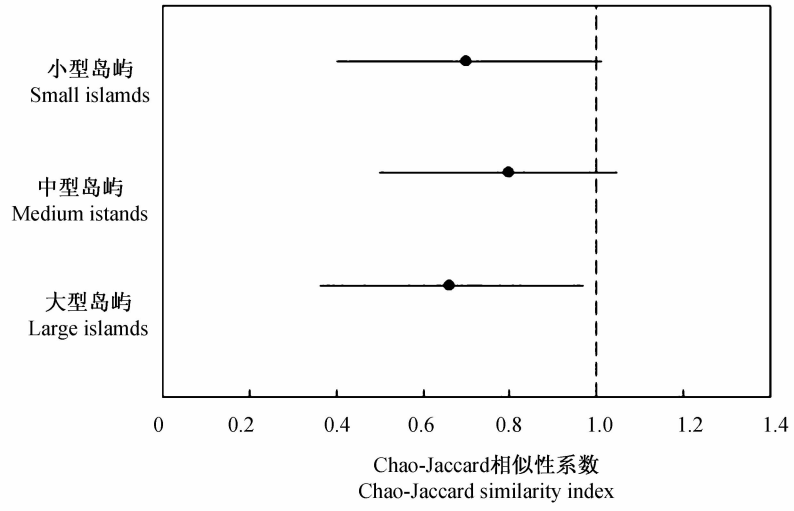

图 5 两种方法在不同等级岛屿间的相似性

Fig. 5 Similarity in taxa composition between Winkler and pitfall samples at different island class

黑点为平均值,实线为 95% 置信区间。

Dark circle mean, solid line 95% Cis.

3 讨论

研究学者针对亚热带森林的早期研究认为 Winkler 法效率偏低(Sabu and Shiju, 2010),这可能是国内学者较少采用 Winkler 法的原因之一。本研究中两种方法采集土壤节肢动物个体总数相差很大,如果定量分析计算其密度,发现陷阱法密度约为 198 000 个/m^2,Winkler 法密度约为 400 个/m^2,陷阱法远优于 Winkler 法。然而部分研究认为陷阱法所采集的土壤节肢动物数据并不适合做定量分析(Greenslade, 1964; Adis, 1979)。用陷阱法计算土壤节肢动物密度几乎是不可能的(Work *et al.*, 2002),因为陷阱法的取样面积并不能简单看成陷阱的横截面积,且陷阱法采集存在时间积累效应。因此比较两种方法优劣时使用这种简单的密度换算并不科学,故本研究未定量分析两种方法间个体数量和密度之间的差异,而是通过比较其类群种类、多样性指数及频度,两种方法得到的群落相似性等指标来进行判别。

3.1 两种方法采集土壤节肢动物类群种类无差异,而多样性具有差异

本文 Winkler 法共采集土壤节肢动物 7 纲 22 目 21 767 个,陷阱法共采集 7 纲 23 目 7 226 个,两者采集类群所属差异不大,但可以看出 Winkler 法在采集数量上具优势,两者土壤节肢动物群落组成不尽相同,Winkler 法统计的优势类群在陷阱法里可能是稀有类群,陷阱法里的优势类群可能是 Winkler 法里的常见类群。两者采集个体数目相差 3 倍多,Winkler 法在优势类群和常见类群上采集的个体数目多于陷阱法,但在稀有类群上,陷阱

法采集数量占优,如在真螨目、弹尾目、等翅目等几个类群上 Winkler 法采集数量明显多于陷阱法,但在盲蛛目、直翅目、革翅目、半翅目等几个类群上陷阱法占优。两者丰富度指数差异不显著,但多样性指数差异极显著,可见土壤节肢动物采集方法的选择对其多样性研究影响具有不容忽视的作用。

3.2　两种方法对不同类群的捕获效率(频度)不同

以往研究认为陷阱法对采集盲蛛目、直翅目、双翅目、半翅目和鞘翅目上具有优势,而对真螨目和各种幼虫不能很好地采集(Leather and Watt, 2005;Prasifka *et al.* ,2007),本文显示陷阱法更倾向于采集运动能力较强、活动范围较大的土壤节肢动物类群(图 3),如盲蛛目、□目、直翅目、半翅目、革翅目和缨翅目,这些类群一般足较发达,运动能力和活动范围较大,这与前人研究结果相符。鳞翅目、双翅目和鞘翅目 3 个类群则是 Winkler 法优于陷阱法,是因为采集到的这三类大多为幼虫,运动能力较弱。Underwood 和 Fisher(2006)认为 Winkler 法在收集真螨目和各种幼虫上具一定优势,与本研究结果一致。千岛湖岛屿上的土壤节肢动物大部分为运动缓慢、活动范围较小的类群,如真螨目、弹尾目、等翅目、蜘蛛目和伪蝎目等,Winkler 法在这些类群的采集上优势很明显(图 3),因而该方法并非如前人所说的效率低下。

3.3　研究尺度对调查方法效率的影响

如何快速获得研究区域完整的土壤节肢动物名录是土壤节肢动物研究的基础问题,但对于研究尺度大小对土壤节肢动物收集效率的影响少有关注。通常认为,Winkler 法在数据聚集速度和聚集量上均优于陷阱法(Ellison *et al.* ,2007;Lopes and Vasconcelos,2008;Ivanov and Keiper,2009)。我们发现只有在小型岛屿上,Winkler 法的效率要优于陷阱法(图 4)。在中型岛屿和大型岛屿上均是开始 Winkler 法的聚集速率要优于陷阱法,随着样方数的增加,陷阱法的总体聚集量要好于 Winkler 法。在需要进行完整土壤节肢动物名录调查时,我们倾向于推荐在面积较小的区域使用 Winkler 法,在面积较大的地区使用陷阱法。Winkler 法在调查初期能积聚更多的类群数,且积聚速度快于陷阱法,表明用少量样方达到快速获取研究区土壤节肢动物基本状况的目标,Winkler 法是不错的选择。

3.4　研究尺度对不同方法获取的类群相似性的影响

两种方法的 Chao-Jaccard 系数结果表明,研究尺度对两种方法采集的土壤节肢动物群落组成在大尺度地区具有一定影响,小型岛屿由于活动范围有限,生存环境相对恶劣,生境类型单一,残留的土壤节肢动物均是一些具有较强适应性、种群密度较大的类群,故而两种方法均能采集到;而在大型岛屿上,生境类型多样化导致土壤节肢动物类群丰富,隐含较多类群,类群之间的特征分化明显(Golden and Crist,1999;Tews *et al.* ,2004),导致两种方法得到的结果存在较大差别。

3.5　总结

结果表明了土壤动物群落优势类群、常见类群和稀有类群的划分与采集方法有关,采集方法不同,三者之间可以彼此转换。在针对具体类群的采集上,Winkler 法在收集大部分土壤节肢动物类群时优于陷阱法,但对一些行动速度较快,活动范围较广的土壤节肢动物和大型节肢动物,Winkler 法并无很好的捕获效率,需要通过陷阱法填补这一缺陷。陷阱法操作简单方便,适于长期野外监测。在进行取样方法比较时,研究尺度的影响少有人关注,本研究发现在小尺度下 Winkler 法优于陷阱法,而在大尺度下陷阱法能获得更多的土壤节肢动物类群。

总而言之,Winkler 法在快速获取小区域土壤节肢动物群落概况时具有取样少、见效快、采集目标范围相对全面的优势;而在需定量研究土壤节肢动物群落时,同时采用 Winkler 法和陷阱法可以最大限度地获取使土壤节肢动物完整信息。

致谢: 浙江大学生态研究所千岛湖研究基地和淳安县新安江开发总公司为本文野外工作提供方便,特此致谢。

参考文献(References)

Adis J, 1979. Problems of interpreting arthropod sampling with pitfall traps. *Zool. Anz.* , 202:177 – 184.

Besuchet C, Burckhardt DL, 1987. The "Winkler/Moczarski" eclector as an efficient extractor for fungus and

litter Coleoptera. *Coleopts. Bull.*, 41(4):392 – 394.

Brennan KEC, Majer JD, Moir ML, 2005. Refining sampling protocols for inventorying invertebrate biodiversity: influence of drift-fence length and pitfall trap diameter on spiders. *J. Arachnol.*, 33:681 – 702.

Buddle CM, Langor DW, Pohl GR, Spence JR, 2006. Arthropod responses to harvesting and wildfire: implications for emulation of natural disturbance in forest management. *Biol. Conserv.*, 128(3):346 – 357.

Chao A, Chazdon RL, Colwell RK, Shen TJ, 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecol. Lett.*, 8(2):148 – 159.

Clough Y, Holzschuh A, Gabriel D, Purtauf T, Kleijn D, Kruess A, Ingolf SD, Tscharntke T, 2007. Alpha and beta diversity of arthropods and plants in organically and conventionally managed wheat fields. *J. Appl. Ecol.*, 44(4):804 – 812.

Colwell R, 2000. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 6.0 b1. User's Guide and application published at: http://www.viceroy.eeb.uconn.edu/estimates.

Colwell RK, Mao CX, Chang J, 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85(10):2717 – 2727.

Copley J, 2000. Ecology goes underground. *Nature*, 406(6795):452 – 454.

Decans T, Jimenez J, Gioia C, Measey G, Lavelle P, 2006. The values of soil animals for conservation biology. *Eur. J. Soil Biol.*, 42:23 – 38.

Delabie JHC, Jahyny B, do Nascimento IC, Mariano CSF, Lacau S, Campiolo S, Philpott SM, Leponce M, 2007. Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic Forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodivers. Conserv.*, 16(8):2359 – 2384.

Didham R, 1997. An overview of invertebrate responses to forest fragmentation // Watt AD, Stork NE, Hunter MD (eds.). Forests and Insects. London: Chapman & Hall. 303 – 320.

Disney R, 1986. Assessments Using Invertebrates: Posing the Problem. //Michael BU (ed.). Wildlife Conservation Evaluation. London: Chapman and Hall Ltd. 271 – 293.

Donegan K, Seidler R, Fieland V, Schaller D, Palm C, Ganio L, Cardwell D, Steinberger Y, 1997. Decomposition of genetically engineered tobacco under field conditions: persistence of the proteinase inhibitor I product and effects on soil microbial respiration and protozoa, nematode and microarthropod populations. *J. Appl. Ecol.*, 34(3):767 – 777.

Driscoll DA, Weir T, 2005. Beetle responses to habitat fragmentation depend on ecological traits, habitat condition, and remnant size. *Conserv. Biol.*, 19(1):182 – 194.

Ellison AM, Record S, Arguello A, Gotelli NJ, 2007. Rapid inventory of the ant assemblage in a temperate hardwood forest: species composition and assessment of sampling methods. *Environ. Entomol.*, 36(4):766 – 775.

Fisher BL, 1999. Improving inventory efficiency: a case study of leaf-litter ant diversity in Madagascar. *Ecol. Appl.*, 9(2):714 – 731.

Fisher BL, 2005. A model for a global inventory of ants: a case study in Madagascar. *Proc. Calif. Acad. Sci.*, 56(8):86 – 97.

Fitter A, Gilligan C, Hollingworth K, Kleczkowski A, Twyman R, Pitchford J, 2005. Biodiversity and ecosystem function in soil. *Funct. Ecol.*, 19(3):369 – 377.

Golden DM, Crist TO, 1999. Experimental effects of habitat fragmentation on old-field canopy insects: community, guild and species responses. *Oecologia*, 118(3):371 – 380.

Greenslade P, 1964. Pitfall trapping as a method for studying populations of Carabidae (Coleoptera). *J. Anim. Ecol.*, 33(2):301 – 310.

Ivanov K, Keiper J, 2009. Effectiveness and biases of Winkler litter extraction and pitfall trapping for collecting ground-dwelling ants in northern temperate forests. *Environ. Entomol.*, 38(6):1724 – 1736.

Krell FT, Chung AYC, DeBoise E, Eggleton P, Giusti A, Inward K, Krell WS, 2005. Quantitative extraction of macro-invertebrates from temperate and tropical leaf litter and soil: efficiency and time-dependent taxonomic biases of the Winkler extraction. *Pedobiologia*, 49(2):175 – 186.

Leather SR, Watt AD, 2007. Sampling Theory and Practice // Leather SR (ed.). Insect Sampling in Forest Ecosystems. Oxford: Blackwell Science Ltd. doi:10.1002/9780470750513.ch1.

Lopes CT, Vasconcelos HL, 2008. Evaluation of three methods for sampling ground-dwelling ants in the Brazilian cerrado. *Neotrop. Entomol.*, 37(4):399 – 405.

Majer JD, 1997. The use of pitfall traps for sampling ants a critique. *Memoirs of the Museum of Victoria*, 56(2):323 – 329.

Martin J, 1977. The Insects and Arachnids of Canada. Vol. 1. Canada: Kromar Printing Ltd. 1643 – 1977.

Melbourne BA, 1999. Bias in the effect of habitat structure on

pitfall traps:an experimental evaluation. *Aust. J. Ecol.*, 24(3):228 – 239.

Nadkarni NM, Longino JT, 1990. Invertebrates in canopy and ground organic matter in a neotropical montane forest, Costa Rica. *Biotropica*, 22(3):286 – 289.

Palacios VJ, Castano MG, Gemez AJ, Martenez YA, Mejia RB, Martenez SJ, 2007. Litter and soil arthropods diversity and density in a tropical dry forest ecosystem in Western Mexico. *Biodivers. Conserv.*, 16(13): 3703 – 3717.

Parr CL, Chown SL, 2001. Inventory and bioindicator sampling:Testing pitfall and Winkler methods with ants in a South African savanna. *J. Insect Conserv.*, 5(1):27 – 36.

Perry WB, Christiansen TA, Perry SA, 1997. Response of soil and leaf litter microarthropods to forest application of diflubenzuron. *Ecotoxicology*, 6(2):87 – 99.

Prasifka J, Lopez M, Hellmich R, Lewis L, Dively G, 2007. Comparison of pitfall traps and litter bags for sampling ground dwelling arthropods. *J. Appl. Entomol.*, 131(2): 115 – 120.

Sabu TK, Shiju RT, 2010. Efficacy of pitfall trapping, Winkler and Berlese extraction methods for measuring ground-dwelling arthropods in moist-deciduous forests in the Western Ghats. *J. Insect. Sci.*, 10(98):1 – 17.

Schaffers AP, Raemakers IP, Sykora KV, Terbraak CJF, 2008. Arthropod assemblages are best predicted by plant species composition. *Ecology*, 89(3):782 – 794.

Stork NE, Eggleton P, 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *Amer. J. Alternative Agr.*, 7(1):38 – 47.

Terborgh J, Lopez L, Nuez P, Rao M, Shahabuddin G, Orihuela G, Riveros M, Ascanio R, Adler GH, Lambert TD, 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, 294(5548):1923.

Tews J, Brose U, Grimm V, Tielbörger K, Wichmann M, Schwager M, Jeltsch F, 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity:the importance of keystone structures. *J. Biogeogr.*, 31(1):79 – 92.

Underwood EC, Fisher BL, 2006. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. *Biol. Conserv.*, 132(2):166 – 182.

Wang YY, Bao YX, Yu MJ, Xu GG, Ding P, 2010. BIODIVERSITY RESEARCH: Nestedness for different reasons: the distributions of birds, lizards and small mammals on islands of an inundated lake. *Divers. Distrib.*, 16(5):862 – 873.

Work TT, Buddle CM, Korinus LM, Spence JR, 2002. Pitfall trap size and capture of three taxa of litter-dwelling arthropods: implications for biodiversity studies. *Environ. Entomol.*, 31(3):438 – 448.

Yoshida T, Hijii N, 2008. Efficiency of extracting microarthropods from the canopy litter in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation: a comparison between the washing and Tullgren methods. *J. Forest Res.*, 13(1):68 – 72.

彭涛, 欧阳志云, 文礼章, 郑华, 2006. 北京市海淀区土壤节肢动物群落特征. 生态学报, 25(4):389 – 394.

杨效东, 2004. 热带季节雨林凋落叶分解过程中的中小型土壤节肢动物的群落结构. 生物多样性, 12(2):252 – 261.

尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社. 1 – 756.

尹文英, 杨逢春, 王振中, 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社. 1 – 618.