

DOI: 10.20103/j.stxb.202410102459

张文卿, 孟林夕, 马金豪, 魏雪, 吴鹏飞. 不同取土方式及收集液对 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的影响. 生态学报, 2025, 45(19): - .  
Zhang W Q, Meng L X, Ma J H, Wei X, Wu P F. Impacts of different soil sampling methods and collection liquids on the extraction of soil microarthropods using Tullgren method. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(19): - .

# 不同取土方式及收集液对 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的影响

张文卿, 孟林夕, 马金豪, 魏雪, 吴鹏飞\*

西南民族大学草地资源学院, 成都 610041

**摘要:** 为了查明不同取土方式及收集液对 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的影响, 探索获取更加客观小型土壤节肢动物群落调查数据的方法。设计了两个独立试验。试验 1: 用内径 5 cm 土钻和铁铲采集草地 0—10 cm 层土样各 20 份, 用 4% 甲醛作收集液; 试验 2: 用铁铲挖取 0—10 cm 层草地土样 18 份, 等分成 3 组, 分别用 4% 甲醛、75% 酒精和水作为收集液。分别对比两种取土方式和三种收集液对 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的效率及群落组成影响。结果表明: (1) 铁铲取土平均每个土样分离到小型土壤节肢动物总个体数是土钻的 2.3 倍, 其中跳虫和其他类群的数量分别是土钻的 6.7 和 4.0 倍, 而螨类数量差异不显著, 表明铁铲取土显著提高了跳虫和其他小型土壤节肢动物的分离效率; (2) 4% 甲醛平均每个土样收集到的小型土壤节肢动物总个体数分别是酒精和水的 2.9 和 1.8 倍, 其中螨类个体数分别是 75% 酒精和水的 8.8 倍和 4.4 倍, 其他类群个体数均是 75% 酒精和水的 1.9 倍, 而跳虫数量在三种收集液间差异不显著, 表明 4% 甲醛可显著提高小型土壤节肢动物的分离效率。研究结果表明, 用铁铲采集土样和 4% 甲醛作为收集液能获得更加客观的小型土壤节肢动物调查数据。

**关键词:** 螨类; 跳虫; 收集液; 干漏斗法; 小型土壤节肢动物

## Impacts of different soil sampling methods and collection liquids on the extraction of soil microarthropods using Tullgren method

ZHANG Wenqing, MENG Linxi, MA Jinhao, WEI Xue, WU Pengfei\*

College of Grassland Resources, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China

**Abstract:** To investigate the effects of different soil collection methods and preservation solutions on the extraction of micro-soil arthropods using the Tullgren funnel method, and to explore approaches for obtaining more objective community survey data of micro-soil arthropods. Two independent experiments were designed in this study. Experiment 1, 20 soil samples were collected at the depth of 0—10 cm layer in grassland using soil auger with a 5 cm inner diameter and shovel, respectively, and 4 % formaldehyde was used as collecting liquid. Experiment 2, 18 soil samples were collected from 0—10 cm layer using shovel and equally divided into 3 groups, then 4% formaldehyde, 75% ethanol and water was used as collecting liquid, respectively. The study compared the effects of two soil collection methods and three preservation solutions on the extraction efficiency and community composition of micro-soil arthropods isolated by the Tullgren funnel method. The results showed that: (1) The average number of soil microarthropod individuals extracted from each soil sample collected by shovel was 2.3 times that of the soil auger, and the individual number of springtails and other groups was 6.7 and 4.0 times that of the soil auger, respectively, while mite abundance showed no significant difference. These results demonstrated that shovel

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (41971064); 四川省自然科学基金重点项目 (24NSFC0107); 西南民族大学研究生创新项目 (YCZD2024007)

**收稿日期:** 2024-10-10; **网络出版日期:** 2025-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wupf@swun.edu.cn

sampling significantly enhanced the extraction efficiency of collembolans and other micro-soil arthropods. (2) The average individuals of soil microarthropods extracted from each soil sample using 4% formaldehyde liquid was 2.9 and 1.8 times that of 75% ethanol and water, respectively. The average individual number of mites was 8.8 and 4.4 times those of 75% ethanol and water, respectively. The average individual number of other groups was 1.9 times those of 75% ethanol and water. Springtails abundance did not differ significantly among the three preservation solutions. These results demonstrated that 4% formaldehyde significantly enhanced microarthropod extraction efficiency. The results demonstrated that combining shovel sampling with 4% formaldehyde as the preservation solution yielded more objective survey data of soil microarthropod communities.

**Key Words:** mites; springtails; collection liquids; Tullgren method; soil microarthropod

土壤中栖息大约 360000 种土壤动物<sup>[1]</sup>。土壤动物通过粉碎凋落物、动物残体的形式,在生态系统的物质循环和能量流动等过程中发挥重要作用<sup>[2]</sup>,还通过挖掘等活动改变土壤性质,对土壤形成和发育具有重要意义。近年来,土壤动物多样性及其生态功能研究逐渐成为生态学领域的新兴热点<sup>[3-6]</sup>。我国于 2022 年开展第三次全国土壤普查工作,本次调查就包含了土壤动物多样性。这些表明土壤动物多样性越来越受到重视。土壤动物中,节肢动物占 85%<sup>[1]</sup>,而跳虫和螨类约占小型土壤节肢动物的 95%<sup>[7]</sup>。在土壤节肢动物多样性研究中,获取客观的观测数据是首要任务。调查数据的客观性不仅受到重复采样数量的影响,还与野外土样采集方式和室内分离方法等有关。已有研究表明,不同土样采集方法会导致土壤节肢动物数量和种类上的差异<sup>[8-9]</sup>。目前国内外学者对小型土壤节肢动物采集主要采用 Tullgren 法<sup>[10-11]</sup>,也是相对便捷高效的方法。Tullgren 法采集小型土壤节肢动物主要涉及土壤采集和小型节肢动物分离两个环节,这两个环节的具体操作方法的的不同可能会影响到小型节肢动物群落调查结果。

首先,土样采集方式主要有土钻钻取<sup>[12-14]</sup>或用铁铲等挖取等<sup>[15-17]</sup>。在长期控制性实验样地中,由于样地面积相对较小,为了降低对样地的干扰及破坏,多采用土钻采样<sup>[18-19]</sup>。但是土钻取样会对土壤产生挤压,改变土壤孔隙,可能会对土壤中小型节肢动物身体造成伤害,影响 Tullgren 法的分离结果。相比之下,铁铲采样对土壤的挤压相对较轻,能够更好地维持土壤的原有结构,对小型土壤节肢动物的伤害可能较小<sup>[20]</sup>。此外,不同小型土壤节肢动物身体构造不同,抗挤压的能力存在差异<sup>[21]</sup>。因此,用土钻和铁铲采集土样对不同小型土壤节肢动物造成的影响可能不同。但目前还不清楚土样钻取和挖取对 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物数量及组成是否存在差异。

其次,Tullgren 法分离小型土壤节肢动物过程中,通常使用 4% 甲醛<sup>[22-24]</sup>或 75% 酒精<sup>[25-26]</sup>作为收集液保存和固定小型土壤节肢动物。由于甲醛会挥发,具有较强的刺激性,长期吸入甲醛可能对人体健康造成不利影响,因此部分研究人员不愿使用 4% 甲醛溶液。酒精对人体的危害相对较弱,故研究人员更偏向使用 75% 酒精为收集液<sup>[25-27]</sup>。然而,甲醛和酒精均是刺激性挥发有机物,可能对不同的小型土壤节肢动物行为等产生影响,从而影响 Tullgren 法的分离结果。已有研究表明在利用 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的过程中,土壤厚度、松紧度、灯光强度等均能对分离的数量产生影响<sup>[28-30]</sup>,但目前还不清楚 4% 甲醛和 75% 酒精这两种收集液对 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物组成及数量的影响。

土样采集和分离两个环节均可能影响 Tullgren 法收集小型土壤节肢动物的数量和组成,从而影响到对研究区域小型土壤节肢动物群落组成及多样性等客观情况的获取,也不利于不同区域间小型土壤节肢动物群落组成特征和多样性的比较<sup>[31-32]</sup>。为了提高小型土壤节肢动物群落调查数据的客观性和可比性,有必要研究不同土样采集方法和不同收集液对 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的影响,探索获取小型土壤节肢动物客观数据的调查方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 小型土壤节肢动物采集

于 2023 年在四川省阿坝藏族羌族自治州红原县(101°51'E—103°23'E, 31°50'N—33°22'N)的青藏高原生态保护和畜牧业高科技研究示范基地内开展试验,本研究设计分为两个独立试验,采用分阶段试验。

首先进行试验 1:选取一块 5 m×5 m 的草地,分别用土钻( $\Phi=5$  cm)和铁铲(单次取样面积约为 9 cm×9 cm)采集 0—10 cm 层土样各 20 份,每个采样点间隔 0.5 m,以降低不同采样点间的空间异质性及采样干扰。两种取土方法采集的每份土样重量均为 500 g 左右。实验室内,用手把每个土样掰成大小均匀的颗粒并剔除石块和植物根系等杂物,装入相同规格的分筛筛中,每个分筛筛 300 g 土样,用 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物。分筛筛下用装有 4%甲醛溶液的 80 mL 塑料瓶收集小型土壤节肢动物,分筛箱内温度保持在 38 °C,连续分离 48 h。本试验目的是比较不同取土方式对小型土壤节肢动物分离效果的影响。

通过对试验 1 结果分析,发现铁铲采集土样分离到的小型土壤节肢动物数量显著高于土钻,基于此结果,选择铁铲作为取土工具进行试验 2,进一步探究不同收集液(4%甲醛、75%酒精、水)对分离效果的影响。具体方法是用铁铲按 0.5 m 间隔挖取 18 份土样。每份 500 g 左右。实验室内,将土块轻轻掰碎,剔除石块等杂物后,称取 300 g 的土样装入相同规格的分筛筛中。把土样分为 3 组,每组 6 个土样,分别用 75%酒精、水、4%甲醛溶液收集小型土壤节肢动物。用 Tullgren 法进行分离小型土壤节肢动物,3 组样品均放置在同一分筛箱内,确保分离温度相同。用胶带将每个漏斗颈与收集瓶口连接处密封,降低收集液挥发造成相互影响。分筛箱内温度保持在 38 °C,连续分离 48 h。本试验目的是比较不同收集液对小型土壤节肢动物分离效果的影响。

### 1.2 小型土壤节肢动物鉴定与计数

根据《中国土壤动物检索图鉴》<sup>[33]</sup>、《昆虫分类检索》<sup>[34]</sup>、《农业螨类学》<sup>[35]</sup>等参考资料,在体视显微镜(Leica TL3000 Ergo)下对分离的不同种类节肢动物个体数进行统计。

### 1.3 数据分析

对两种土壤取样方法和 3 种收集液分离到的小型土壤节肢动物分别统计其总数,并统计跳虫、螨类和其他类群的个体数量。利用 *t*-检验比较两种土壤取样方式分离到的小型土壤节肢动物总数及跳虫、螨类、其他类群个体数的差异显著性。分析前对数据进行正态性检验,均符合正态分布。另用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验三种收集液间小型土壤节肢动物总数及跳虫、螨类、其他类群个体数的差异;如果差异显著则用 LSD 法进行多重比较。对不符正态分布的数据利用  $\log(x+1)$  进行转换,若转换后仍不符合正态分布,则用非参数进行检验。以上数据分析采用 IBM SPSS 27.0 软件,显著性水平为 0.05、0.01 或 0.001( $P<0.05$ 、0.01 或 0.001)。

## 2 结果

### 2.1 不同土壤采集方法

#### 2.1.1 小型土壤节肢动物总数

土钻取样每个土样平均分离到 11.55 只,铁铲取样每个土样平均分离到 27.05 只小型土壤节肢动物,后者是前者的 2.3 倍,且差异显著( $P=0.002$ ) (图 1)。表明铁铲采集土样分离小型土壤节肢动物的效率显著高于土钻。

#### 2.1.2 不同类群小型土壤节肢动物数量

土钻取样法平均每个土样获得跳虫、螨类、其他类群分别为 1.35 只、9.95 只和 0.25 只;铁铲取样法平均每个土样获得跳虫、螨类、其他类群分别为 9.05 只、17.00 只和 1.00 只(图 2)。铁铲取样获得的跳虫、螨类和其他类群的数量分别为土钻取样法的 6.7( $P<0.001$ )、1.7( $P=0.121$ ) 和 4.0 倍( $P=0.002$ )。表明铁铲取样法能

显著提高除螨类之外的其他小型节肢动物的分离效率。

## 2.2 不同收集液

### 2.2.1 小型土壤节肢动物分离总数

75%酒精、4%甲醛和水每个土样平均分离到小型土壤节肢动物个体数依次为 6.83 只、19.67 只和 10.67 只,三者间差异显著( $P=0.025$ );其中 4%甲醛分离的数量分别是 75%酒精和水的 2.9( $P=0.012$ )和 1.8 倍( $P=0.027$ ),75%酒精和水间的分离数无显著差异(图 3)。表明用 4%甲醛作为收集液分离小型土壤节肢动物的效率更高。

### 2.2.2 不同类群小型土壤节肢动物数量

75%酒精、4%甲醛和水分离到的跳虫分别为 2.50 只、5.67 只、5.50 只,4%甲醛和水非常接近,均高于 75%酒精,但三者间无显著差异( $P=0.600$ )(图 4);75%酒精、4%甲醛和水分离到的螨类分别为 0.83 只、7.33 只和 1.67 只,分离到的其他类群依次为 3.50 只、6.67 只、3.50 只,均表现为 4%甲醛显著高于 75%酒精( $P<0.001$ )和水( $P=0.044$ )(图 4)。不同类群的数量差异表明,使用 4%甲醛比 75%酒精能够更有效地分离除跳虫之外的其他小型土壤节肢动物,尤其是螨类。

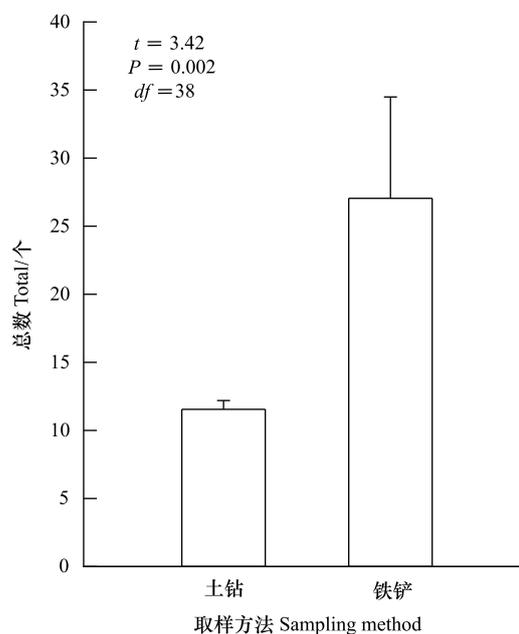


图 1 不同土样采集方法分离的小型土壤节肢动物总数(平均值±标准误,  $n=20$ )

Fig.1 The total individuals of soil microarthropods extracted from soil sampled by different methods (mean±SD,  $n=20$ )

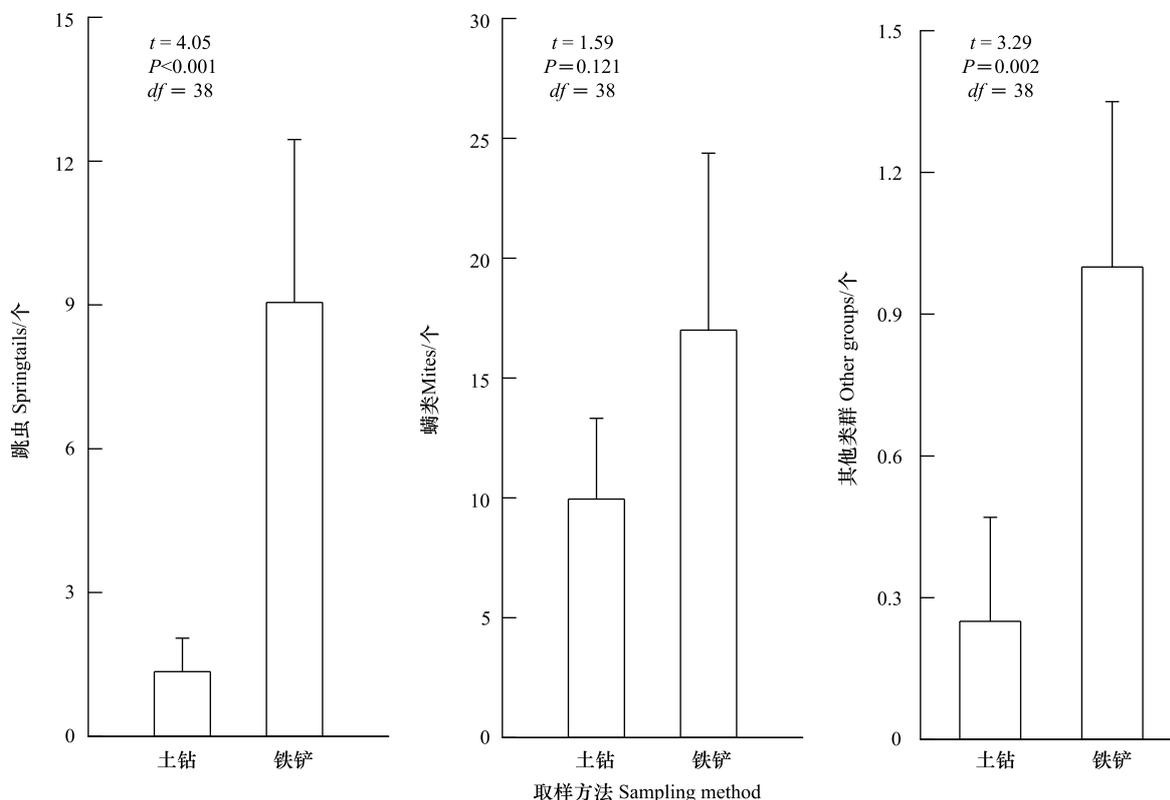


图 2 不同取样方法分离的小型土壤节肢动物主要类群个体数量(平均值±标准误)

Fig.2 The individuals of main microarthropod groups extracted from soils sampled by different methods (mean±SD)

### 3 讨论

#### 3.1 土壤采集方法对小型土壤节肢动物群落的影响

本研究结果表明,铁铲采集土样分离到的小型土壤节肢动物个体数量显著高于土钻。其原因是小型土壤节肢动物平均体长大于 217  $\mu\text{m}$ ,体宽大于 60  $\mu\text{m}$ ,主要栖息于大于 50  $\mu\text{m}$  的土壤孔隙中<sup>[36]</sup>,因此土壤孔隙是小型土壤节肢动物的栖息及活动场所<sup>[37]</sup>。其他研究也发现小型土壤节肢动物无法在土壤中建立活动通道,故倾向于避开狭窄的土壤孔隙,从而保护其蜡质层免受损坏<sup>[38]</sup>。

铁铲因为有薄而锋利的刀口,能够较容易的切断植物根系,采集土样时对土壤孔隙影响较小,能够使土样尽可能维持原状,减少对小型土壤节肢动物造成的伤害。在分离时小型土壤节肢动物能通过现有的土壤孔隙迁移。而土钻因壁厚且钝,要用力按压或旋转才能采集到土样,再加上采样面积较小,很容易对采集的土样造成挤压,破坏土壤原有结构。土壤结构和孔隙的变化可导致一些小型土壤节肢动物受伤甚至死亡,从而影响

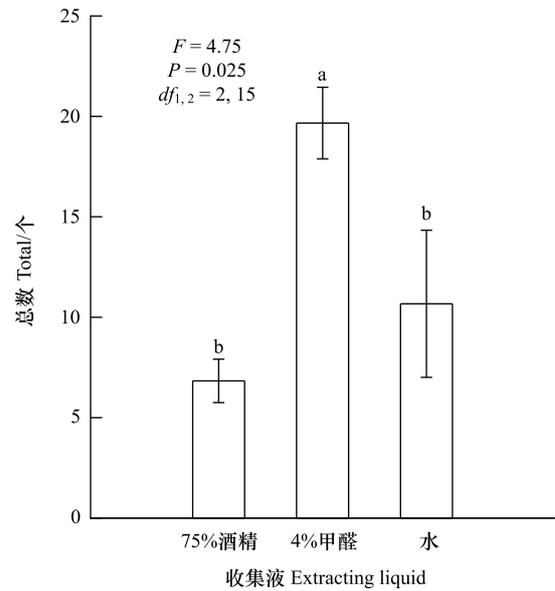


图3 不同收集液分离的小型土壤节肢动物数量(平均值±标准误, n=6)

Fig.3 The individuals of soil microarthropods extracted by different preserve liquids (mean±SD, n=6)

不同小写字母表示小型土壤节肢动物数量差异显著 (P<0.05)

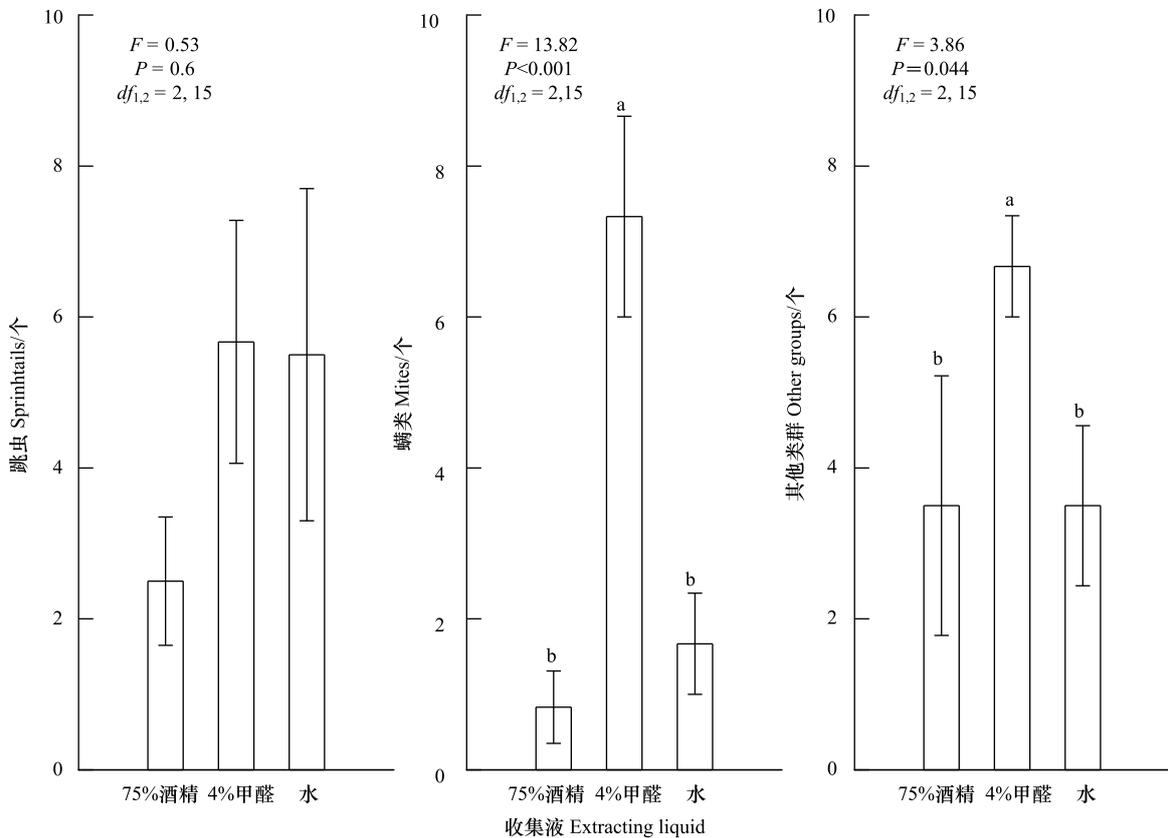


图4 3种收集液分离到的不同类群小型土壤节肢动物数量(平均值±标准误)

Fig.4 The individuals of different groups of microarthropods collected by three kinds of extraction liquids (mean±SD)

小写字母表示不同分离方法对不同土壤节肢动物类群间的差异性 (P<0.05 或 P<0.001)

分离到的小型土壤节肢动物的数量和组成<sup>[39]</sup>。Barberena-Arias 等人也发现利用铁铲采集土壤样本分离到的小型土壤节肢动物数量和类群比土钻法更多<sup>[20]</sup>。

本研究还发现铁铲采样分离到的跳虫和其他类群数量显著高于土钻,而螨类数量差异不显著。这可能是由于跳虫躯体较柔软<sup>[40]</sup>,对土壤结构的变化很敏感<sup>[41-42]</sup>。本研究中,其他类群多为鞘翅目、双翅目等小型昆虫,其身体构造特征与跳虫相近。土钻取样导致土壤压实,严重影响跳虫的活动<sup>[43]</sup>。已有研究表明跳虫的密度与土壤的孔隙度和通透性之间存在正相关<sup>[36, 21]</sup>。与跳虫和昆虫相比,螨类躯体多有不同程度的骨化,其中甲螨亚目骨化程度高且有厚而坚实的几丁质体壁<sup>[35]</sup>,抗挤压能力高于跳虫及昆虫等,因此土钻和铁铲采集的土样中分离到的螨类数量间差异不显著。

在野外调查和长期控制性实验样地中进行小型土壤节肢动物调查时,建议使用铁铲采集土样。考虑到铁铲采样面积比土钻相对较大,造成的扰动面积也较大,对于一些面积较小的长期固定观测样地,可以使用小铁铲或小刀等工具采集土样,以降低对样地的干扰及破坏。

### 3.2 收集液对小型土壤节肢动物群落的影响

本研究还发现,4%甲醛收集液分离出的小型土壤节肢动物总数显著高于75%酒精和水,其中螨类和其他类群数量显著高于75%酒精和水,而跳虫数量差异不显著。原因可能是多种螨类(节腹螨亚目、巨螨亚目、革螨亚目等)的呼吸系统是气管,部分没有气管的螨类以及表皮柔软的螨类(如瘦螨科螨类和大部分粉螨亚目)也可以通过体壁进行呼吸<sup>[35]</sup>。其他类群中的昆虫也具有可进行呼吸作用的气门和气管<sup>[44]</sup>。因此甲醛的刺激性气味可能对螨类及其他类群起吸引或驱离作用。如果4%甲醛收集液对螨类及其他类群起驱离作用,分离结果不可能显著高于75%酒精和水(对照)。再加上烘箱上部的灯光及温度的驱离作用,故甲醛可能对螨类和其他类群具有一定吸引作用。Luff 等人<sup>[45]</sup>发现在充满甲醛的诱捕器中发现的鞘翅目昆虫比在充满水的诱捕器中发现的更多,表明甲醛对部分节肢动物具有吸引作用,但其对螨类吸引的具体作用机制尚不明确。此外,收集到的跳虫数量虽然在三种收集液间无显著差异,但4%甲醛和水分离到的跳虫数量非常接近,且二者远大于75%酒精分离到的跳虫数量(图4),表明4%甲醛对跳虫无明显的吸引或排斥作用,而75%酒精对跳虫具有一定的排斥作用。因此,建议利用 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物时,使用4%甲醛溶液作为收集液。

### 3.3 研究结果的适用范围

本研究中的不同土样采集方法的研究结果虽然是来自高寒草地的采样结果,但是对于森林、灌丛等植物根系较密集、土壤较紧实的自然生态系统而言,土钻采集土样均可对土壤造成竖直或水平方向的挤压,土钻采集土样对小型土壤节肢动物分离效率的影响可能会较大。从这一点来讲,本研究结果也适用于大部分自然生态系统。而对于植物根系稀疏、土壤较松的农田等生态系统,土钻采样对土壤的挤压程度可能较轻,利用土钻采集土样对小型土壤节肢动物分离效率的影响可能较小。

此外,小型土壤节肢动物群落组成主要是螨类、跳虫和小型昆虫等。本研究发现,4%甲醛溶液能显著提高螨类及小型昆虫等的分离数量而75%酒精对跳虫分离数量有明显抑制的作用。该研究结果适用于 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物。

## 4 结论

利用铁铲取土分离到的小型土壤节肢动物总个体数及各类群的数量均高于土钻取土,用4%甲醛溶液收集到的小型土壤节肢动物总个体数及各类群的数量也均高于75%酒精和水,表明用铁铲取土和4%甲醛作收集液可以显著提高 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的效率。建议在调查小型土壤节肢动物过程中,利用铁铲等不易对土壤产生挤压的采样工具,以降低对小型土壤节肢动物造成伤害提高分离效率;另外,用4%甲醛作为收集液,也可以提高 Tullgren 法分离小型土壤节肢动物的效率。因此,建议把铁铲取土与4%甲醛溶液收集相结合有利于提高 Tullgren 分离效率,获得更客观的小型土壤动物群落调查数据。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] Decaëns T, Jiménez J J, Gioia C, Measey G J, Lavelle P. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42: S23-S38.
- [ 2 ] Hättenschwiler S, Gasser P. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102(5): 1519-1524.
- [ 3 ] Bonkowski M, Villenave C, Griffiths B. Rhizosphere fauna: the functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. *Plant and Soil*, 2009, 321(1): 213-233.
- [ 4 ] Yin R, Qin W K, Wang X D, Xie D, Wang H, Zhao H Y, Zhang Z H, He J S, Schädler M, Kardol P, Eisenhauer N, Zhu B. Experimental warming causes mismatches in alpine plant-microbe-fauna phenology. *Nature Communications*, 2023, 14: 2159.
- [ 5 ] Tresch S, Frey D, Le Bayon R C, Zanetta A, Rasche F, Fliessbach A, Moretti M. Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens. *Science of The Total Environment*, 2019, 658: 1614-1629.
- [ 6 ] Dai Z M, Xiong X Q, Zhu H, Xu H J, Leng P, Li J H, Tang C, Xu J M. Association of biochar properties with changes in soil bacterial, fungal and fauna communities and nutrient cycling processes. *Biochar*, 2021, 3(3): 239-254.
- [ 7 ] Seastedt T. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, 1984, 29: 25-46.
- [ 8 ] MacFadyen A. Notes on methods for the extraction of small soil arthropods. *Journal of Animal Ecology*, 1953, 22(1): 65.
- [ 9 ] MacFadyen A, Phillipson J. Methods of study in quantitative soil ecology: population, production and energy flow. *The Journal of Animal Ecology*, 1973, 42(2): 467.
- [ 10 ] González G, Barberena-Arias M F, Huang W, Ospina-Sánchez C M. Sampling methods for soil and litter fauna//Measuring Arthropod Biodiversity. Cham: Springer International Publishing, 2020: 495-522.
- [ 11 ] 陈鹏. 土壤动物的采集和调查方法. *生态学杂志*, 1983, 2(3): 46-51.
- [ 12 ] Coleman D C, Callahan M A, Crossley Jr D. *Fundamentals of soil ecology*. New York: Academic press, 2017.
- [ 13 ] Wu T H, Ayres E, Bardgett R D, Wall D H, Garey J R. Molecular study of worldwide distribution and diversity of soil animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(43): 17720-17725.
- [ 14 ] De Deyn G B, Raaijmakers C E, Zoomer H R, Berg M P, de Ruiter P C, Verhoef H A, Bezemer T M, van der Putten W H. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*, 2003, 422(6933): 711-713.
- [ 15 ] Kaufmann R, Fuchs M, Gosterxeier N. The soil fauna of an alpine glacier foreland: colonization and succession. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2002, 34(3): 242-250.
- [ 16 ] Mamabolo E, Pryke J S, Gaigher R. Soil fauna diversity is enhanced by vegetation complexity and no-till planting in regenerative agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2024, 367: 108973.
- [ 17 ] Sofo A, Nicoletta Mininni A, Ricciuti P. Comparing the effects of soil fauna on litter decomposition and organic matter turnover in sustainably and conventionally managed olive orchards. *Geoderma*, 2020, 372: 114393.
- [ 18 ] Lindberg N, Engtsson J B, Persson T. Effects of experimental irrigation and drought on the composition and diversity of soil fauna in a coniferous stand. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(6): 924-936.
- [ 19 ] Murray P J, Cook R, Currie A F, Dawson L A, Gange A C, Grayston S J, Treonis A M. Interactions between fertilizer addition, plants and the soil environment: Implications for soil faunal structure and diversity. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33(2): 199-207.
- [ 20 ] Fernanda M, Gonzalez G, Cuevas E. Quantifying variation of soil arthropods using different sampling protocols: is diversity affected //Tropical Forests. InTech, 2012
- [ 21 ] Schrader S, Lingnau M. Influence of soil tillage and soil compaction on microarthropods in agricultural land. *Pedobiologia*, 1997, 41(1/2/3): 202-209.
- [ 22 ] Nahmani J, Rossi J P. Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. *Comptes Rendus Biologies*, 2003, 326(3): 295-303.
- [ 23 ] 武崎, 吴鹏飞, 王群, 文勇立, 高艳美, 张荣芝, 龙伟. 放牧强度对高寒草地不同类型群土壤动物的群落结构和多样性的影响. *中国农业科学*, 2016, 49(9): 1826-1834.
- [ 24 ] 周育臻, 吴鹏飞. 贡嘎山东坡森林小型土壤节肢动物群落多样性与时空分布. *生态学杂志*, 2020, 39(2): 586-599.
- [ 25 ] Parisi V, Menta C, Gardi C, Jacomini C, Mozzanica E. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2005, 105(1/2): 323-333.
- [ 26 ] González G, Ley R E, Schmidt S K, Zou X M, Seastedt T R. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. *Oecologia*, 2001, 128(4): 549-556.

- [27] Kim K H, Jahan S A, Lee J T. Exposure to formaldehyde and its potential human health hazards. *Journal of Environmental Science and Health Part C, Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews*, 2011, 29(4): 277-299.
- [28] 殷秀琴, 马祝阳. Tullgren 法对土壤动物的分离效率. *东北师大学报*, 2002, 34(2): 84-91.
- [29] 魏雪, 吴鹏飞. 土壤松紧度对 Tullgren 法分离小型节肢动物的影响. *西南农业学报*, 2014, 27(3): 1136-1142.
- [30] 铁烈华, 张林成, 冯茂松, 白文玉, 王玲, 何沛. 烘虫温度和时间对中小型土壤动物烘虫分离效果的影响. *四川农业大学学报*, 2015, 33(1): 45-50.
- [31] Frouz J, Roubířková A, Heděnc P, Tajovský K. Do soil fauna really hasten litter decomposition A meta-analysis of enclosure studies. *European Journal of Soil Biology*, 2015, 68: 18-24.
- [32] Sackett T E, Classen A T, Sanders N J. Linking soil food web structure to above- and belowground ecosystem processes: a meta-analysis. *Oikos*, 2010, 119(12): 1984-1992.
- [33] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [34] 李鸿兴, 隋敬之, 周士秀, 周勤, 孙洪国. 昆虫分类检索. 北京: 农业出版社, 1987.
- [35] 忻介六. 农业螨类学. 北京: 农业出版社, 1988.
- [36] Heisler C, Kaiser E A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, 19(2): 159-165.
- [37] Oades J M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 1993, 56(1-4): 377-400.
- [38] Larsen T, Schjønning P, Axelsen J. The impact of soil compaction on euedaphic Collembola. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26(3): 273-281.
- [39] Andrén O, Lagerlöf J. Soil fauna (microarthropods, enchytraeids, nematodes) in Swedish agricultural cropping systems. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 1983, 33(1): 33-52.
- [40] 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992.
- [41] Heisler C. Auswirkungen von bodenverdichtungen auf die bodenmesofauna: Collembola und gamasina—ein dreijähriger feldversuch I. *Pedobiologia*, 1994, 38(6): 566-576.
- [42] Heisler C. Collembola and Gamasina- Bioindicators for soil compaction. *Acta Zoologica Fennica*, 1995(196): 229-231.
- [43] Van de Bund C F. Influence of crop and tillage on mites and springtails in arable soil. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 1970, 18(4): 308-314.
- [44] 张巍巍, 李元胜. 中国昆虫生态大图鉴. 2 版. 重庆: 重庆大学出版社, 2019.
- [45] Luff M. Some effects of formalin on the numbers of Coleoptera caught in pitfall traps. *Entomol. Mon. Mag*, 1968, 104: 115-116.