

# 轻简化 Tullgren 干漏斗分离 土壤动物的效果评价\*

郭泽阳\*\* 种海南 张 兵 肖海军\*\*\*

(北京林业大学草业与草原学院, 北京 100083)

**摘要** 【目的】土壤动物在凋落物分解、土壤有机质形成和理化性质调节中具有重要生态功能。本研究针对传统 Tullgren 漏斗成本高、体积大、重量沉及组装复杂等问题, 创新性地设计出基于倒置矿泉水桶组装的轻简化土壤动物分离装置。【方法】通过比较 40 与 15 W 光热源下轻简化土壤动物分离装置与传统 Tullgren 干漏斗分离土壤动物的分离效果, 系统评估轻简化装置对土壤动物的分离效果。【结果】(1) 结构性能方面, 轻简化装置具有显著的成本优势 (降低约 80%)、重量/体积均减少约 75%, 且操作简便; (2) 分离效能上, 40 W 光热源下, 传统装置分离土壤动物总量显著高于轻简化装置 ( $P < 0.05$ ), 而 15 W 条件下二者差异不显著 ( $P > 0.05$ ); (3) 在草地、农田和林地土壤优势类群 (主要是螨类与弹尾类) 的分离数量无显著差异 ( $P > 0.05$ ); (4) 时间动态特征显示, 40 与 15 W 条件下的有效分离窗口期分别为 4-6 和 12 h。【结论】采用 15 W 光热源的轻简化装置可在维持核心分离效能的前提下, 显著提升野外工作的经济性与便捷性, 适用于野外生态调查的即时样本处理需求。

**关键词** 螨类; 弹尾类; 干漏斗法; 轻简化装置; 实验方法改良

## Comparison of the performance of a simplified dry funnel for extracting soil fauna to a Tullgren funnel

GUO Ze-Yang\*\* CHONG Hai-Nan ZHANG Bing XIAO Hai-Jun\*\*\*

(School of Grassland Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract** [Aim] To assess whether a simplified, and significantly cheaper, soil fauna extraction device made from inverted water bottles could be a viable alternative to the traditional Tullgren funnel, which has the disadvantages of high cost, bulky size, heavy weight and complex assembly. [Methods] The performance of the simplified, lightweight soil fauna extraction device was compared to that of the traditional Tullgren funnel under both 40 W and 15 W photothermal sources. [Results] (1) The lightweight, simplified funnel was significantly (~80%) cheaper, ~75% lighter and smaller in volume, and much easier to operate. (2) Although the Tullgren funnel extracted a significantly higher number of soil fauna under 40 W conditions ( $P < 0.05$ ), there was no significant difference between tunnel types at 15 W ( $P > 0.05$ ). (3) Furthermore, no statistical differences ( $P > 0.05$ ) were found in the numbers of the dominant soil fauna groups (mainly mites and collembolans) extracted from grassland, farmland, or forest, soils. (4) The time intervals required for effective extraction were, 4-6 h (40 W) and 12 h (15 W). [Conclusion] This study demonstrates that a lightweight, simplified soil fauna extraction device with a 15 W photothermal source has similar performance to a traditional Tullgren funnel, while at the same time being significantly cheaper, lighter, and easier to assemble and use. The simplified soil fauna extraction device is suitable for immediate on-site sample collection in ecological field surveys, particularly in remote areas.

**Key words** mites; springtails; Tullgren funnel method; simplified device; methodological improvement

\*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2022YFD1400400); 内蒙古自治区科技计划项目 (2025KJHZ0024); 国家自然科学基金项目 (32301427)

\*\*第一作者 First author, E-mail: g000911@163.com

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: hjxiao@bjfu.edu.cn

收稿日期 Received: 2025-07-28; 接受日期 Accepted: 2025-11-28

土壤是覆盖于地球陆地表面支持生命系统的一层疏松物质, 约涵盖至少 25% 的地球生物, 亦是地球上生物多样性最丰富的生境之一 (Powell *et al.*, 2014; 徐聪等, 2022)。土壤动物作为生物多样性的主体之一, 在改善土壤结构、维持陆地生态系统结构和功能、调节微食物网、促进凋落物分解和物质循环等生态过程中发挥着至关重要的作用 (Carrillo *et al.*, 2011)。同时, 土壤动物群落构成和多样性与土壤和植物凋落物的理化性质密切相关, 是评估土壤健康状况和生态恢复效果的理想指示生物 (孙新等, 2021)。土壤动物类群主要包括原生动物、扁形动物、线形动物、软体动物、环节动物和节肢动物等。根据体型可将土壤动物划分为小型 (体宽  $< 0.1$  或  $0.2$  mm, 如在土壤或枯落物空隙中生活的土壤原生动物和线虫)、中型 ( $0.1$  mm  $\leq$  体宽  $< 0.2$ - $2.0$  mm, 如蜉蝣类、弹尾类等节肢动物)、大型 ( $2$  mm  $\leq$  体宽  $< 20$  mm, 例如蚯蚓和唇足纲、倍足纲、蛛形纲和土栖性昆虫等节肢动物) (Neher and Barbercheck, 2019; 徐聪等, 2022; 杨析, 2023), 均对生态服务有着多方面的支持与贡献 (Lavelle *et al.*, 2006)。土壤动物的体型比微生物更大, 但对空间和水分的生境需求比微生物要求更苛刻。然而, 土壤动物群落动态可受到土地利用类型、管理方式和气候因子的共同影响, 且不同生境的土壤在含水量和土壤质地等方面也存在显著差异。因此, 准确分析各生境中土壤动物的多样性和群落结构, 是理解其不同生态系统中功能的基础。

从土壤中分离出土壤动物是研究土壤生物多样性和生态功能研究的关键环节。干漏斗法是常用的分离方法, 而浮选法则存在用时过长, 且分离过程又比较繁琐等问题 (Lefors *et al.*, 2018)。分离中型土壤动物 (体宽  $0.2$ - $2.0$  mm), 多采用 Tullgren 干漏斗法 (吴鹏飞和杨大星, 2011; 高雅荣等, 2024; 贺世龙等, 2024; 王意锟等, 2025), 可用于分离叶片以及土壤和凋落物中的土壤动物 (Faraji *et al.*, 2004; George *et al.*, 2017; Harris *et al.*, 2017)。当采用 Tullgren 干漏斗法进行土壤动物分离操作时, 采集的土壤样品会被置于漏斗内部的筛网平台上, 顶部放置一个

热源 (通常为灯泡), 从顶部开始逐渐烘烤样品, 使得土壤动物被迫向下移动至底部样品收集瓶内, 之后再分离杂质和土壤动物 (Hart and Fain, 1987; Harris *et al.*, 2017)。该分离法经历过系列的改进、改良和探讨。如 Water Sugar-Water 方法是基于对 Jenkins 方法的改进, 通过两次离心浮选实现螨类等土壤动物和杂质分离 (Lefors *et al.*, 2018)。还有设计加热和冷却相结合的方式, 通过样品上方加热, 下方冷却和保湿, 促进土壤动物的移动, 提升土壤动物的分离效率 (MacFadyen, 1953)。黄红英和李栋 (2018) 采用干漏斗法原理改良为干漏斗烘箱, 改进光照时间和土壤放置方式, 也提升了土壤动物分离效率。铁烈华等 (2015) 通过设置不同的烘烤温度和时间对中小型土壤动物的分离效果进行比较分析, 明确了最佳的烘烤温度和时间组合。萧倩雯等 (2020) 采用复合筛网漏斗分离土壤动物, 可显著降低落土量, 从而有效提升后期土壤动物分拣的效率。

尽管以 Tullgren 干漏斗为代表的传统土壤动物分离方法已被广泛应用, 并在长期实践中证明具有操作成熟、结果可靠等优势, 但此方法通常依赖体积较大、质量较重的设备, 主要适用于实验室环境。在实际野外调查, 尤其是交通不便的偏远地区的土壤动物多样性研究中, 受限于现场条件, 常难以及时完成样品分离与处理。土壤样品在运输和储存过程中, 易因温湿度波动、捕食行为或保存方式不当等导致土壤动物死亡或增殖, 从而改变其群落结构, 进而影响多样性、丰富度及功能相关指标的准确性。已有研究评估了冷藏时间对 Tullgren 漏斗提取效率的影响, 结果显示, 随着冷藏时间延长, 提取个体数量显著减少, 表明延迟处理会降低分离效率, 影响数据的代表性与科学性 (Lakly and Crossley, 2000)。因此, 探究适用于野外条件且能够快速分离土壤动物的装置具有重要的应用价值。本研究旨在设计一种与 Tullgren 干漏斗法分离中型土壤动物效率相似或更好且更为轻简化的分离方法。通过设置轻简化的漏斗形装置, 比较分析其制作成本和应用便利性, 并与传统 Tullgren 干漏斗法比较分离土壤动物的效率, 以期为野外科考中携带土壤动物分离装置进行就地或就近分离操作提供

轻简化的替代方法。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 Tullgren 干漏斗与轻简化干漏斗设置

轻简化漏斗组成部件: 6.5 L 矿泉水瓶、小水桶、20 目筛网、白炽灯泡、灯线、收集瓶、锡箔纸。以传统 Tullgren 干漏斗装置与分离土壤动物的方法为对照, 平行改装用小水桶固定的倒置 6.5 L 矿泉水桶替代 Tullgren 干漏斗的轻简化

漏斗装置 (图 1: B)。两种漏斗底部均采用 20 目筛网, 将筛网剪至合适大小置于轻简化漏斗内, 尽可能防止杂质落入下方土壤动物样本收集瓶内。漏斗顶部设置白炽灯泡作为光/热源 (Tullgren 漏斗灯高约 20 cm, 轻简化漏斗灯高约 12 cm)。分别采用 40 和 15 W 白炽灯为光热源, 比较两种装置对土壤动物的分离效果。漏斗口下方放置盛有 95% 酒精的样品收集瓶。轻简化装置外围以锡箔纸包裹, 以达到遮光聚温的效果 (图 1: A, B)。

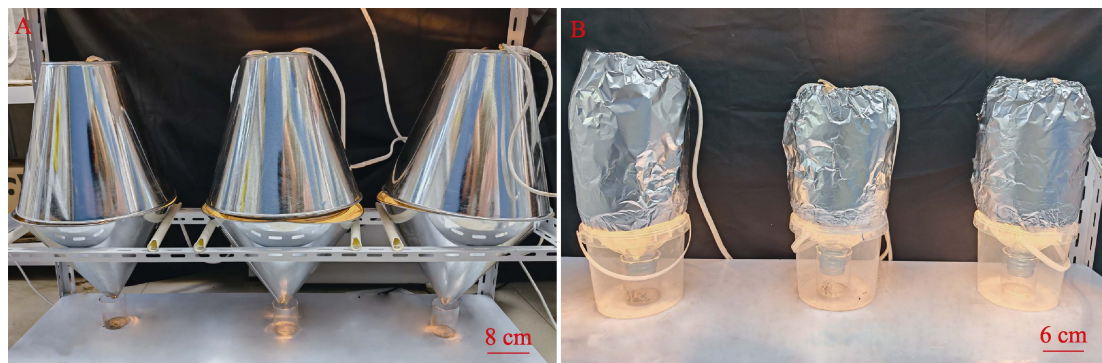


图 1 土壤动物分离漏斗装置

Fig. 1 Soil fauna funnel-based separation

A. Tullgren 漏斗; B. 轻简化漏斗。

A. Tullgren funnel; B. Lightweight simplified funnel.

### 1.2 装置相关参数比较

**1.2.1 制作成本和便利性** 分别统计制作传统 Tullgren 干漏斗装置和轻简化漏斗装置所有耗材价格, 称量装置重量、计算装置收纳体积, 计算单套装置所需各种材料价格成本汇总 (其中, 材料价格参考淘宝网、京东和拼多多报价, 最后取 3 个采购平台价格平均值计算)。

**1.2.2 检测土样参数** 为检测轻简化装置的适用性, 选择在北京林业大学三顷园 (40°0'47.7" N, 116°20'49.5" E) 的林地、草地和农田 3 种生境中钻取土壤样品。选择直径 5 cm 的土钻, 取 10 钻 0-10 cm 表层土壤, 设置单钻土壤即为 1 个土样。为保证土样一致性, 同一生境所取土样间距为 15-60 cm。取回的土样分别以传统 Tullgren 干漏斗和轻简化装置进行分离, 各设置 3 个重复处理。将土样平铺于漏斗内的筛网上,

以量尺测量土样放入漏斗后的土样堆放厚度。以温度计测量连续烘烤分离土壤动物的温度, 以收样结束时的温度为最终温度。

### 1.3 不同装置土壤动物的分离效果

采样结束后, 将土样分别转入准备好的两种装置中, 均匀平铺于漏斗内筛网上, 下方放置好收集瓶后即刻以白炽灯为光热源进行烘烤分离。为尽可能完全分离土壤动物, 根据文献 (铁烈华等, 2015; 殷秀琴和马祝阳, 2002) 和前期预实验经验, 设置 40 W 白炽灯泡连续分离 24 h, 15 W 白炽灯泡连续分离 48 h 处理。分离结束后取出漏斗下方收集瓶的样品。此外, 对草地生境的土壤样品设计分离时间梯度为 1、2、4、6、12、24 或 48 h。在体视显微镜 (舜宇 SOPTOP SZM45) 下对收集的土壤动物 (包括螨类、弹尾类和其他土壤动物) 进行分类鉴定和计数统计。

## 1.4 数据分析

应用 Excel 2024 和 R (Version 4.3.3) 对数据进行处理和统计分析, 以 Graphpad Prism 10.0 进行绘图。Tullgren 漏斗与轻简化漏斗所分离的土壤动物数量在进行正态性与方差齐性检验后, 采用独立样本 *t* 检验进行差异分析。温度、土壤厚度、制作成本、重量和体积等指标同样采用独立样本 *T* 检验进行比较。当数据不满足正态性或方差齐性假设时, 则采用非参数检验 (Kruskal-Wallis test), 显著水平  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 传统 Tullgren 干漏斗装置和轻简化漏斗装置相关参数的比较

对两种装置单套制作成本进行统计, 结果表

明两种装置成本总价存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。Tullgren 漏斗平均成本为 ( $201.74 \pm 11.83$ ) 元, 轻简化漏斗为 ( $41.86 \pm 1.05$ ) 元, 轻简化漏斗的平均成本仅为 Tullgren 漏斗的 20.75%, 即约 1/5 成本价 (表 1)。由于两种漏斗的形状都为不规则外形, 因此分别称量漏斗装置重量和计算两种漏斗所需最小容纳箱的体积 (表 1)。结果表明, 单套轻简化漏斗装置的重量为 ( $0.434 \pm 0.02$ ) kg, 体积为 ( $9\ 970.50 \pm 433.50$ )  $\text{cm}^3$ , Tullgren 漏斗分离装置的重量为 ( $1.71 \pm 0.08$ ) kg, 体积为 ( $39\ 304.00 \pm 1\ 895.11$ )  $\text{cm}^3$ 。尽管套数越多两套装置体积相差倍数越小, 但 Tullgren 漏斗所需体积仍高于轻简化漏斗 (表 1)。因此, 轻简化装置更具有轻筒便利性。

### 2.2 土层厚度和土样温度测量

将土样分别置于 Tullgren 漏斗和轻简化

表 1 传统 Tullgren 干漏斗装置和轻简化漏斗装置的制作成本、重量和体积  
Table 1 Cost, weight, and volume of traditional and lightweight simplified Tullgren devices

比较项目 Items	具体项目 Components	Tullgren 漏斗 Tullgren funnel	轻简化漏斗 Lightweight simplified funnel
配件成本以及总制作成本 (元/套) Accessory costs and total production cost (yuan/set)	网筛 Mesh screen	22.00 ± 4.00	1.08 ± 0.31
	灯泡 Light bulb	1.12 ± 0.27	1.12 ± 0.27
	灯线 Lamp wire	32.00 ± 0.00	32.00 ± 0.00
	收集瓶 Collection bottle	0.32 ± 0.06	0.32 ± 0.06
	角钢 Angle iron	24.97 ± 3.89	0.84 ± 0.10
	三角片 Triangular plate	3.19 ± 1.42	4.33 ± 0.33
	螺丝 Screws	5.66 ± 2.07	2.17 ± 0.17
	架子板 Shelf board	10.33 ± 1.26	-
	PVC 管 PVC pipe	2.13 ± 0.44	-
	漏斗 Funnel	100.00 ± 0.00	-
总价 Total price	201.74 ± 11.83	41.86 ± 1.05 *	
重量 (kg) Weight (kg)	1 套 1 set	1.71 ± 0.08	0.434 ± 0.02 *
	6 套 6 sets	10.26 ± 0.48	2.604 ± 0.11 *
	18 套 18 sets	30.78 ± 1.44	7.812 ± 0.33 *
体积 ( $\text{cm}^3$ ) Volume ( $\text{cm}^3$ )	1 套 1 set	39 304.00 ± 1 895.11	9 970.50 ± 433.50 *
	6 套 6 sets	86 596.25 ± 2 915.97	42 194.00 ± 804.54 *
	18 套 18 sets	239 704.00 ± 5 814.38	119 530.40 ± 2 521.16 *

数据以均值±标准差表示 ( $n = 3$ )。\*表示同一行在同一指标内存在显著性差异 ( $P < 0.05$ , 独立样本 *t* 检验)。下表同。  
Data are mean ± SD ( $n = 3$ ). \* indicates significant differences within the same row for the same indicator ( $P < 0.05$ , independent sample *t*-test). The same below.

漏斗, 测量以 40 和 15 W 白炽灯为光热源烘烤处理后的土层厚度和土样温度。结果表明, 两种装置下土层厚度及最终土样温度差异显著 (表 2)。由于漏斗装置内径差异, 轻简化漏斗装置中土样的厚度和最终土样温度均显著

高于 Tullgren 漏斗 ( $P < 0.05$ )。轻简化漏斗内土样厚度平均范围为 6.2-6.6 cm, 最终温度维持在约 57.1-61.6 °C; Tullgren 漏斗中的土样厚度为 1.8-2.5 cm, 土样温度维持在约 47.4-53.4 °C。

表 2 不同功率白炽灯下传统 Tullgren 干漏斗装置和轻简化漏斗装置的最终温度和土壤厚度

Table 2 Final temperatures and soil layer thicknesses of the traditional Tullgren funnel and the lightweight simplified funnel under incandescent lamps of different power ratings

光源功率 (W) Light source power (W)	土样生境 Soil sample habitat	土层厚度 (cm) Soil layer thickness (cm)		土样温度 (°C) Soil sample temperature (°C)	
		Tullgren 漏斗 Tullgren funnel	轻简化漏斗 Lightweight simplified funnel	Tullgren 漏斗 Tullgren funnel	轻简化漏斗 Lightweight simplified funnel
40	农田 Farmland	1.8 ± 0.2	6.2 ± 0.2 *	51.9 ± 0.1	61.1 ± 0.4 *
	林地 Forest land	2.1 ± 0.3	6.3 ± 0.2 *	49.9 ± 0.1	59.2 ± 0.9 *
	草地 Grassland	2.5 ± 0.2	6.4 ± 0.1 *	47.4 ± 0.8	57.5 ± 1.0 *
15	农田 Farmland	2.0 ± 0.2	6.3 ± 0.1 *	52.5 ± 0.1	61.2 ± 1.7 *
	林地 Forest land	1.9 ± 0.1	6.4 ± 0.1 *	53.4 ± 0.1	61.6 ± 1.4 *
	草地 Grassland	2.1 ± 0.2	6.6 ± 0.2 *	48.8 ± 2.3	57.1 ± 2.0 *

### 2.3 土壤动物分离数量

分别测试以 40 和 15 W 白炽灯作为光热源的烘烤分离 3 种土壤类型中土壤动物的效果。结果表明, 在 40 W 灯源下, Tullgren 漏斗 24 h 分离的土壤动物总量显著高于轻简化漏斗 ( $P < 0.01$ ); 在 15 W 灯源下处理 48 h, 分离的土壤动物总量两种装置间无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (图 2)。

进一步分析两种装置在 40 和 15 W 光热源下对同一生境土壤中螨类和弹尾类的分离数量差异 (图 3: A-D)。结果表明, 在 40 W 白炽灯光热源下, 两种漏斗均可以有效分离出土壤动物, 且草地、农田和林地不同土样烘烤分离的螨类和弹尾类数量均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 在螨类方面, 使用传统 Tullgren 漏斗在草地、农田和林地中分离得到的数量分别为 ( $72.67 \pm 74.81$ )、( $17.00 \pm 10.54$ ) 和 ( $12.00 \pm 2.65$ ) 头; 使用轻简化漏斗在草地、农田和林地中的分离数量分别为 ( $14.67 \pm 11.72$ )、( $2.67 \pm 2.52$ ) 和 ( $5.33 \pm 5.51$ ) 头。弹尾类的分离结果同样无显著差异,

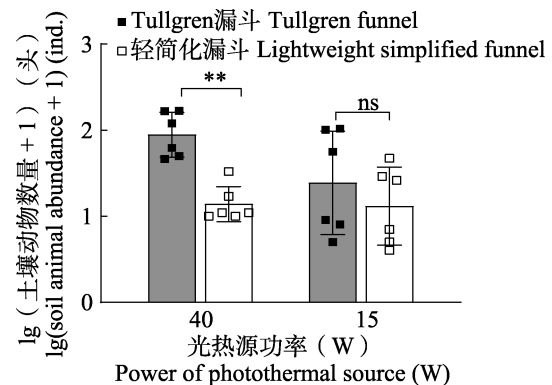


图 2 两种漏斗分离装置在 40 和 15 W 光热源下分离土壤动物总量

Fig. 2 Total number of soil fauna extracted using two types of funnel extraction apparatuses under 40 and 15 W light-heat sources

40 W 光热源下分离 24 h, 15 W 光热源下分离 48 h。\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ , 独立样本  $t$  检验), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ , 独立样本  $t$  检验), ns 表示差异不显著 ( $P > 0.05$ , 独立样本  $t$  检验)。下同。  
Separated for 24 h under a 40 W photothermal source, and for 48 h under a 15 W photothermal source. \* indicates significant difference ( $P < 0.05$ , independent sample  $t$ -test), \*\* indicates extremely significant difference ( $P < 0.01$ , independent sample  $t$ -test), ns indicates no significant difference ( $P > 0.05$ , independent sample  $t$ -test). The same below.

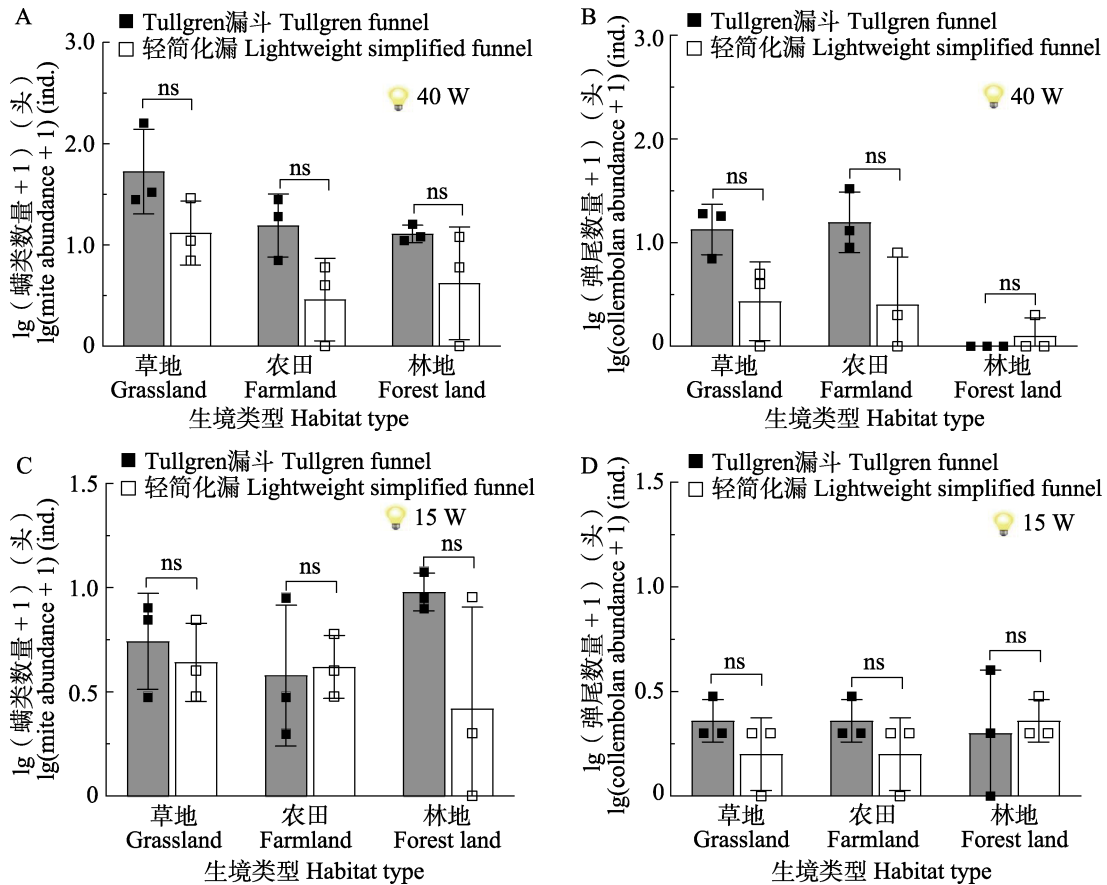


图 3 3 种生境中两种漏斗在 40 和 15 W 白炽灯下分离的螨类和弹尾类数量

Fig. 3 Numbers of mites and collembolans extracted by two types of funnel under 40 and 15 W incandescent lamps in three different habitats

- A. 40 W 光热源螨类; B. 40 W 光热源弹尾类; C. 15 W 光热源螨类; D. 15 W 光热源弹尾类。
- A. 40 W photothermal source for mites; B. 40 W photothermal source for collembola;
- C. 15 W photothermal source for mites; D. 15 W photothermal source for collembola.

使用传统漏斗在草地、农田和林地中分离得到的弹尾类数量分别为 (13.67 ± 6.66)、(17.33 ± 12.86) 和 0 头; 使用轻简化漏斗在草地、农田和林地中分离得到的弹尾类数量分别为 (2.33 ± 2.08)、(2.67 ± 3.79) 和 (0.33 ± 0.58) 头。总体而言, 虽然不同生境间个体数量差异较大, 但两种漏斗的分离效果相当。以 15 W 白炽灯为光热源也可较好的分离土壤动物, 螨类和弹尾类在 3 种生境下的分离的数量均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 螨类方面, 使用传统 Tullgren 漏斗在草地、农田和林地中的分离数量分别为 (5.00 ± 2.65)、(3.67 ± 3.79) 和 (8.67 ± 2.08) 头; 使用轻简化漏斗在草地、农田和林地中的分离数量分别为 (3.67 ± 2.08)、(3.33 ± 1.53) 和 (3.00 ±

4.36) 头。弹尾类方面, 使用传统 Tullgren 漏斗在草地、农田和林地中的分离数量分别为 (1.33 ± 0.58)、(1.33 ± 0.58) 和 (1.33 ± 1.53) 头; 使用轻简化漏斗在草地、农田和林地中的分离数量分别为 (0.67 ± 0.58)、(0.67 ± 0.58) 和 (1.33 ± 0.58) 头。整体来看, 15 W 条件下的分离结果与 40 W 条件一致, 两种漏斗的分离效能基本相当。

#### 2.4 两种装置分离土壤动物的时效动态

40 W 光热源下, Tullgren 漏斗和轻简化漏斗分离土壤动物集中在前 4-6 h, 12 h 后分离数量明显下降; 15 W 光热源下分离土壤动物集中在前 12 h, 24 h 基本分离完全 (图 4: A, B)。40 W 光热源下, Tullgren 漏斗分离土壤动物数量高于

轻简化漏斗,且在 1 和 4 h 两种装置处理间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ) (图 4: A)。15 W 光热源

下,两种漏斗装置各时间点分离的土壤动物数量无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (图 4: B)。

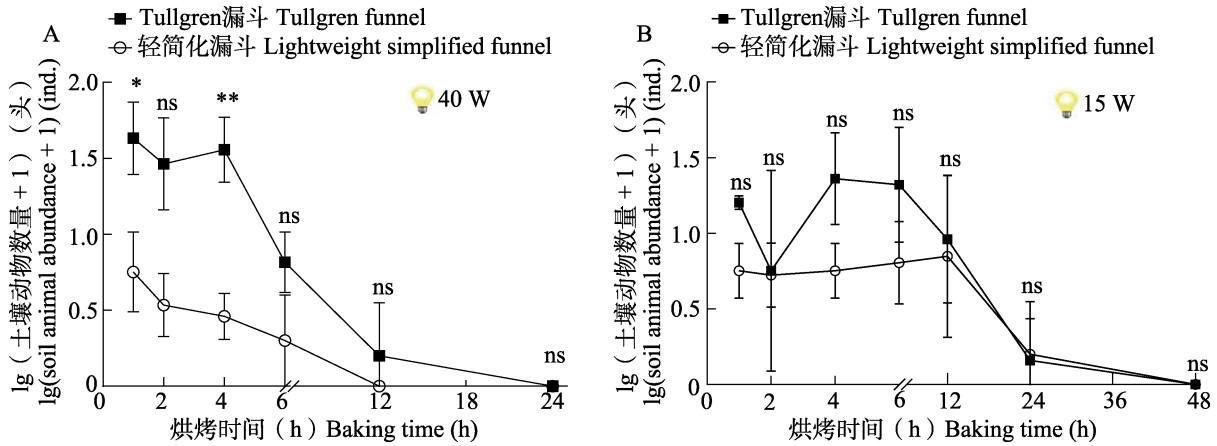


图 4 两种漏斗不同时间烘烤出草地土壤动物的数量

Fig. 4 Temporal variation in the number of grassland soil fauna extracted using two different types of Berlese funnels

A. 40 W 光热源分离; B. 15 W 光热源分离。

A. 40 W photothermal source for soil fauna separation; B. 15 W photothermal source for soil fauna separation.

### 3 讨论

本研究设计了一种轻简化漏斗,并与传统的 Tullgren 干漏斗对中型土壤动物的分离效果进行了对比分析。比较了两种灯泡温度下(即 40 和 15 W 白炽灯光热源)对农田、草地和林地 3 种生态系统中土壤中的螨类和弹尾类以及土壤动物总量的提取效率。

目前常用的 Tullgren 漏斗体积大、重量重、构造复杂,不仅操作繁琐且耗时长,且在远程、样点分散或长时间野外作业中布设不便(Kasuga *et al.*, 2005; Junod *et al.*, 2023),相比之下,本研究设计的轻简化漏斗具有构造简单、体积小、重量轻、安装便捷等优势,适合样点分散且分布较广的野外工作,可提高整体工作的效率。此外,在制作成本方面,轻简化漏斗仅为 Tullgren 漏斗的近 1/5,对于大规模样品分离而言,可显著降低科研投入。

Tullgren 漏斗和轻简化漏斗均基于土壤动物避高温、干燥和强光的特性,通过施加热源驱赶土壤动物自上而下迁移并最终完成收集。本研究发现,使用不同灯泡对提取过程中土壤温度的影响相似,两种光源下,轻简化漏斗的最终土壤温

度均显著高于 Tullgren 漏斗。土壤动物的分离效率受多种因素影响,包括分离器内土壤厚度、装置的热传导性能以及光源功率等(殷秀琴和马祝阳, 2002)。其中,光源功率在整个分离过程中具有关键作用。本研究结果表明,40 W 白炽灯下轻简化漏斗与 Tullgren 漏斗 24 h 分离的土壤动物总数量存在极显著差异。本实验中轻简化漏斗桶直径小于 Tullgren 漏斗,土层厚度及土样温度均显著高于 Tullgren 漏斗。这可能是因为轻简化漏斗采用锡箔纸包裹,具有较强的聚温效果,在相同光源功率下轻简化漏斗内升温速度快于 Tullgren 漏斗,由于土层更厚且升温过快,可能导致部分土壤动物滞留于土壤中未被收集,从而降低了分离效率。此外,也可以进一步考虑采用与 Tullgren 漏斗相当直径的简易水桶,可以保证相对一致厚度的分离土层与土样温度。相比之下,当采用 15 W 白炽灯时,两种漏斗在螨类、弹尾类以及土壤动物总数量方面 48 h 的分离效果差异均不显著,说明在较低功率条件下,轻简化漏斗亦可以用于分离土壤动物。

此外,有研究对不同功率光源在 Tullgren 漏斗中的分离效率进行了系统比较,结果表明,当光源功率在 25-40 W 时,分离效果较为理想。而

最佳分离效率和最短处理时间需综合考虑土壤样品的厚度与湿度：对于较厚或湿度较大的土样，使用 40 W 白炽灯；而较薄的土样则以 25 W 光源为宜（殷秀琴和马祝阳，2002）。本研究仅对 15 和 40 W 两种功率条件下的分离效果进行了对比，结果显示使用轻简化漏斗时，高功率灯泡可能导致土壤动物死亡，影响分离效率，因此，可以适当增加灯泡和筛子中土壤的距离，或可在更多功率梯度下（如 20、25 和 30 W）开展系统实验。

综上所述，轻简化漏斗在 15 W 光源条件下基本可实现与 Tullgren 漏斗相同的土壤动物分离效果，同时具备结构轻便、成本低廉、安装简便等多重优势，特别适用于野外快速调查与即时处理土壤动物样品的实际需求。未来可在装置优化、光源选择和环境参数控制等方面进一步完善，为土壤动物便捷高效分离提供更加科学和经济的技术路径，其具有广泛的应用前景。

## 4 结论

本研究设计并评估了一种基于倒置矿泉水桶的轻简化型土壤动物分离漏斗。研究发现，虽然在 40 W 光热源条件下 Tullgren 漏斗在动物分离总量上表现更优，但轻简化漏斗在 15 W 光热源下对螨类、弹尾类及土壤动物总量的提取效果与 Tullgren 漏斗无显著差异，且具备体积小、重量轻、安装便捷和成本低廉等显著优势，尤其适用于样点分散、条件受限的野外工作环境。本研究为野外土壤动物的高效、经济分离提供了切实可行的技术支持，并为后续装置优化与参数调控提供了实验基础。

## 参考文献 (References)

- Carrillo Y, Ball BA, Bradford MA, Jordan CF, Molina M, 2011. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7): 1440–1449.
- Faraji F, Bruin J, Bakker F, 2004. A new method for mite extraction from leaf samples. *Experimental and Applied Acarology*, 32(1/2): 31–39.
- George PBL, Keith AM, Creer S, Barrett GL, Lebron I, Emmett BA, Robinson DA, Jones DL, 2017. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry*, 115: 537–546.
- Gao YR, Lei YX, Tu LH, Xiao JJ, Lu QQ, Liu M, Tu CW, Tian JJ, Wang J, Zhang Y, Huang YM, Zhang J, 2024. Response of meso- and micro-soil fauna to nitrogen deposition in an evergreen broad-leaved forest in the rainy area of western China. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 42(3): 628–637. [高雅荣, 雷应雪, 涂利华, 肖玖金, 鲁琴琴, 刘梅, 涂程伟, 田娇娇, 王洁, 张亚, 黄玉梅, 张健, 2024. 中小型土壤动物群落对华西雨屏区常绿阔叶林氮沉降的响应. 四川农业大学学报, 42(3): 628–637.]
- Harris AL, Ullah R, Fountain MT, 2017. The evaluation of extraction techniques for *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) from apple (*Malus domestica*) and cherry (*Prunus avium*) leaves. *Experimental and Applied Acarology*, 72(4): 367–377.
- Hart BJ, Fain A, 1987. A new technique for isolation of mites exploiting the difference in density between ethanol and saturated NaCl: Qualitative and quantitative studies. *Acarologia*, 28(3): 251–254.
- Huang HY, Li D, 2018. The improvement and innovation of Tullgren apparatus. *Biology Bulletin*, 53(1): 57–58. [黄红英, 李栋, 2018. 干漏斗实验装置的改进与创新. 生物学通报, 53(1): 57–58.]
- He SL, Ye H, Li J, Zhang YL, De HS, Hong M, 2024. Effects of nitrogen deposition and precipitation changes in different time spans on community structure and diversity of soil meso- and micro-fauna in *Stipa breviflora* desert steppe. *Acta Prataculturae Sinica*, 33(9): 140–154. [贺世龙, 叶贺, 李静, 张雅玲, 德海山, 红梅, 2024. 不同时限氮沉降和降水变化对荒漠草原中小型土壤节肢动物群落结构与多样性的影响. 草业学报, 33(9): 140–154.]
- Junod MF, Reid BJ, Sims I, Miller AJ, 2023. Below-ground pitfall traps for standardised monitoring of soil mesofauna: Design and comparison to Berlese/Tullgren funnels. *Pedobiologia*, 101: 150911.
- Kasuga S, Honda K, Kawai A, Amano H, 2005. A bait trap for monitoring acarid mites (Acari: Acaridae) in agricultural soils. *Applied Entomology and Zoology*, 40(2): 303–308.
- Lefors JA, Johnson DT, Kirkpatrick T, Woodruff T, De Moraes GJ, 2018. A two step centrifugation method with water and sucrose to separate mites from raw extracts of tullgren funnels.

- Systematic and Applied Acarology*, 23(5): 860–867.
- Lakly MB, Crossley DAJ, 2000. Tullgren extraction of soil mites (Acarina): Effect of refrigeration time on extraction efficiency. *Experimental and Applied Acarology*, 24(2): 135–140.
- Lavelle P, Decaens T, Aubert M, Barot S, Blouin M, Bureau F, Margerie P, Mora P, Rossi JP, 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42(S1): S3–S15.
- MacFadyen A, 1953. Notes on methods for the extraction of small soil arthropods by the high gradient apparatus. *Journal of Animal Ecology*, 22(1): 65–77.
- Neher DA, Barbercheck ME, 2019. Soil microarthropods and soil health: Intersection of decomposition and pest suppression in agroecosystems. *Insects*, 10(12): 414.
- Powell JR, Craven D, Eisenhauer N, 2014. Recent trends and future strategies in soil ecological research: Integrative approaches at *Pedobiologia*. *Pedobiologia*, 57(1): 1–3.
- Sun X, Li Q, Yao HF, Liu MQ, Wu DH, Zhu D, Zhu YG, 2021. Soil fauna and soil health. *Acta Pedologica Sinica*, 58(5): 1073–1083. [孙新, 李琪, 姚海凤, 刘满强, 吴东辉, 朱冬, 朱永官, 2021. 土壤动物与土壤健康. *土壤学报*, 58(5): 1073–1083.]
- Tie LH, Zhang LC, Feng MS, Bai WY, Wang L, He P, 2015. Effects of baking temperature and time on the separation efficiency of soil meso- and micro-fauna. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 33(1): 45–50. [铁烈华, 张林成, 冯茂松, 白文玉, 王玲, 何沛, 2015. 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*, 33(1): 45–50.]
- Wu PF, Yang DX, 2011. Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 31(13): 3745–3757. [吴鹏飞, 杨大星, 2011. 若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响. *生态学报*, 31(13): 3745–3757.]
- Wang YK, Zhu QG, Ye JG, Lang FY, Ma Y, Ji XL, Fang WL, 2025. Soil faunal communities and their relationship with soil bacterial diversity following the expansion of *Phyllostachys edulis* forests. *Journal of Northeast Forestry University*, 53(3): 87–95. [王意鞞, 朱强根, 叶建国, 郎法勇, 马毅, 季新良, 方万力, 2025. 毛竹林扩张后土壤动物群落及与土壤细菌多样性的关系. *东北林业大学学报*, 53(3): 87–95.]
- Xu C, Zhang FY, Yu DY, Sun X, Zhang F, 2022. Performance evaluation of molecular taxonomy assignment tools for soil invertebrates. *Biodiversity Science*, 30(12): 182–195. [徐聪, 张飞宇, 俞道远, 孙新, 张峰, 2022. 土壤动物的分子分类预测策略评估. *生物多样性*, 30(12): 182–195.]
- Xiao QW, Deng CR, Wang ZY, Zheng SM, Liang YX, Yu X, Xu GL, 2020. Study on the improvement of the Tullgren funnel for isolating soil animals. *Biology Bulletin*, 55(10): 51–54. [萧倩雯, 邓昌荣, 王泽韵, 郑淑梅, 梁颖欣, 余晓, 徐国良, 2020. 改良 Tullgren 干漏斗分离土壤动物的效果探讨. *生物学通报*, 55(10): 51–54.]
- Yin XQ, Ma ZY, 2002. Separation efficiency of the Tullgren method for meso- and micro-soil fauna. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, 34(2): 84–91. [殷秀琴, 马祝阳, 2002. Tullgren 法对土壤动物的分离效率. *东北师大学报(自然科学版)*, 34(2): 84–91.]
- Yang X, 2023. Geographic distribution of grassland soil fauna and their ecological functions on the Loess Plateau. Doctor dissertation. Yangling: Northwest A&F University. [杨析, 2023. 黄土高原草地土壤动物地理分布及其生态功能研究. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]