不同垦复方式油茶林土壤节肢动物多样性特征*

何 振[1, 2**] 李迪强[1***] 李 密[3]

（1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所，国家林业局森林生态环境重点实验室，北京 100091；
2. 湖南省林业科学院，长沙 410004；3. 国家油茶工程技术研究中心，长沙 410004）

摘 要 **【目的】** 油茶新造林特别是纯林不断骤增导致油茶林害虫发生日趋严重，食用茶油安全倍受威胁。为探索有效控制油茶林害虫发生的途径，保护分解者跳虫等土壤节肢动物多样性。**【方法】** 基于 Tullgren 干漏斗法和巴氏罐法，对半垦复油茶幼林、全垦复油茶幼林、全垦复油茶成林和未垦复油茶成林 4 种不同油茶林的 20 个土样和 15 个凋落物样中的土壤跳虫和土壤其他节肢动物多样性特征进行了研究。**【结果】** 共分离出跳虫 315 头，隶属 6 科 8 属；其他土壤节肢动物 11 科 17 种 295 头。多样性分析结果表明，油茶成林地比幼林地土壤动物的多样性指数高，多样化的地被物有利于提高土壤动物的多样性，垦复和施肥等人为干扰显著地降低土壤跳虫的多样性，却有利于增加罐诱土壤动物的多样性，水源是土壤动物生存的关键因子，对林地跳虫和罐诱动物的多样性提高有显著促进作用。**【结论】** 探明了不同垦复类型油茶林土壤跳虫和土壤其他罐诱节肢动物多样性特征，对合理开展油茶林垦复，发挥油茶林土壤跳虫和土壤节肢动物分解功能提供了科学依据。

关键词 油茶林，土壤跳虫，节肢动物，多样性，垦复方式

Soil Arthropod diversity in *Camellia oleifera* forest of different reclamation ways

HE Zhen[1, 2**] LI Di-Qiang[1***] LI Mi[3]

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China; 3. National Engineering Research Center for Oil-tea Camellia, Changsha 410004, China)

Abstract **[Objectives]** With the continuous increase of new afforestation of *Camellia oleifera*, the occurrence of pest is becoming more and more serious, *C. oleifera* seed oil safety is threatened. In order to explore the way of effectively controlling the *C. oleifera* forest pest, protect the diversity of decomposition such as soil arthropod. **[Methods]** Based on Tullgren dried funnel and pitfall traps method, systematically studied soil collembolan and other arthropod diversity characteristics in *C. oleifera* forest of four different reclamation ways. 100 trap tanks were set in 20 quadrates, 20 soil samples and 15 litters of 4 different reclamation ways in *C. oleifera* were sampled. **[Results]** 315 springtails belonging to 6 families and 8 genera were detached and identified; 295 soil other arthropod belonging to 11 families were identified. Variance analysis results showed that, the biological diversity index of the grown *C. oleifera* forest are higher than the young, rich variety of ground cover is beneficial to improving the soil arthropods diversity, human disturbance such as reclamation and fertilization can significantly reduce the diversity of soil springtails, but it is helpful to increase tank trapped arthropods diversity; Water is the key factor of soil arthropods survival, and has a significant role in promoting the diversity of woodland springtails and tank

*资助项目 Supported projects：湖南省科技计划（2013FJ3048）；中国自然保护区生物标本资源共享子平台（2005DKA21404）；湖南省科技计划（2014NK2013）；湖南省林业科技计划（XLK201403）.

**第一作者 First author，E-mail：hezhen531@sina.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：lidq@caf.ac.cn

收稿日期 Received：2016-07-11，接受日期 Accepted：2016-11-12

trapped soil arthropods. **[Conclusion]** It can provide a scientific basis for reasonably reclaimming *C. oleifera* forest, promoting the decomposition functional of soil Collembola and arthropod by ascertaining the diversity characteristics soil Collembola and arthropod in different reclamation type of *C. oleifera* oleifera forest.

Key words *Camellia oleifera* forest, soil collembola, arthropod, diversity, reclamation ways

油茶 *Camellia oleifera*，属山茶科（Theaceae）常绿小乔木，为世界四大木本食用油料植物之一。茶油的不饱和脂肪酸含量高达 90%，具有极高的营养价值（马力等，2009）。当前，我国油茶种植面积超过 400 万 hm^2，根据全国油茶产业发展规划（2009 至 2020），到 2020 年，全国油茶种植面积将达到 467 万 hm^2。随着油茶新造林特别是纯林不断骤增，油茶林有害生物的发生也越来越严重，如何有效的控制油茶林害虫的发生，保障食用茶油的安全和可持续增长日益受到关注。土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分，不仅对植被凋落物的分解有重要影响，而且对优化土壤结构、促进物质循环和植物对 N 的吸收过程、增加作物产量和监测环境污染等方面具有重要作用（Heneghan 和陈永忠，1999；Gonzalez and Seastedt，2001；徐国良，2003；张志丹等，2012）。如土壤中的跳虫能通过取食微生物从土壤和废弃物中释放营养物质，通过沉积植物根系生长所需粪便来影响植物的生长和功能（陈建秀等，2007；Endlweber *et al.*，2009；Chang *et al.*，2011）。地表的体型较大的捕食者，比如蜘蛛、地表甲虫等，在土壤生态系统中主要通过下行效应而发挥作用，即捕食者通过抑制碎屑食物网中的土壤动物数量，改变土壤动物的物种组成，从而间接地影响凋落物分解和养分循环等生态系统过程（Lensing *et al.*，2006；Liu *et al.*，2014；邵元虎等，2015）。显然，如何充分发挥土壤跳虫和土壤节肢动物的生态服务功能十分重要。

湖南省是油茶林的主要分布区，其中在湖南省耒阳市现有油茶林 8 万 hm^2，年产茶油 5×10^6 kg，油茶面积和年产油量均居全省之首，素有“湖南油海”之称。目前有不同的经营模式，如家庭经营、大户经营、公司经营、公司+农户等（罗攀柱等，2011）。公司经营模式下一般采用全垦方式大面积种植油茶纯林，每年进行垦复和施肥等。油茶林病虫害防治已经有不少报道（郑学慧等，2011；李密等，2014），由于土壤动物研究技术的局限性，油茶林土壤动物的多样性与油茶林土壤健康的关系尚未有相关报道。本文对湖南省耒阳市 4 种不同垦复方式的油茶林土壤跳虫和土壤节肢动物多样性进行了比较，分析了不同林龄及垦复方式油茶林土壤跳虫和土壤节肢动物多样性的异同及成因，可为油茶林的健康经营提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

试验油茶林位于湖南省耒阳市南京乡，是有名的“油茶之乡”。试验地基本情况见表 1。

1.2 取样调查

2013 年 10 月底至 11 月初，在湖南省耒阳市南京乡确定 4 个不同垦复类型的样地，在每个样地中随机抽取 5 个 20 m × 30 m 标准地，每个标准地边缘用红色塑料绳做标记，再在每个标准地中按 5 点取样法用直径为 5 cm 的取土器钻取 15 cm 深的土样（约 800 g）；每个标准地取凋落物（约 600 g）分别用塑料袋密封带回室内；油茶林地表罐诱动物收集是在固定标准地中按五点取样法各抽取 1 个面积为 1 m^2 的样方的 4 个角和对角线交叉处各放置 1 个内盛 50 mL 糖醋液的一次性纸杯，放置 5 d 后收集诱集到的甲虫等地表土壤动物。

收集跳虫共随机抽样 40 个，每个样地凋落物和土样各 5 个，即 5 个重复。由于全垦复油茶幼林没有收集到凋落物，实际取样 35 个，包括：半垦复油茶幼林凋落物（ycfsrl）、半垦复油茶幼林土层（ycfsrs）、全垦复油茶幼林土层（ycfrs）全垦复油茶成林土层（mcfrs）全垦复油茶成林

表 1　油茶林样地基本情况表
Table 1　Basic situation of *Camellia oleifera* forest

样地名称 Sample plot	林龄（年） Stand age (y)	坡位 Slop position	经纬度 Geographic location	海拔（m） Height
半垦复油茶幼林 Young *Camellia oleifera* forest after semi-reclaimed	4	山谷 Valley	E112°40′44″，N26°21′51″	97
全垦复油茶幼林 Young *Camellia oleifera* forest after semi-reclaimed	4	山脊 Ridge	E112°40′34″，N26°22′8″	146
全垦复油茶成林 Mature *Camellia oleifera* forest afterreclaimed	32	南坡 South	E112°41′7″，N26°20′53″	107
未垦复油茶成林 Mature *Camellia oleifera* forest after non-reclaimed	32	南坡 South	E112°41′10″，N26°20′55″	128

凋落物（mcfrl）未垦复油茶成林土层（mcfnrs）和未垦复成林凋落物（mcfnrl）4 个垦复方式 7 种类型各 5 个样；罐诱土壤动物随机抽取 20 个取样点，包括半垦复油茶幼林、全垦复油茶幼林、全垦复油茶成林和未垦复油茶成林 4 个垦复方式各 5 个取样点，即 5 个重复。

1.3　土壤动物的收集分离和鉴定

土壤跳虫用 Tullgren 干漏斗法分离后，在解剖镜下观察其形态，按照《中国土壤动物图鉴》（尹文英，1998）的分类系统可以先分到属，再结合体表是否被鳞片、触角分节情况及其附属结构、腹节、弹器构造等特征可将跳分为不同的种，部分跳虫用霍氏封固液做成玻片标本后利用 OLYMPUS BX43 显微镜及配装的 MSHOT-MD50 显微成像系统拍照，再进行形态观察或辅助鉴定，少数请相关专家进行鉴定。巴氏罐法收集的地表动物，利用与湖南省林业科学院昆虫标本室数字化标本对比或查阅《湖南森林昆虫图鉴》(彭建文，1992）等相关资料进行分类鉴定。

1.4　数据处理

根据鉴定结果，先分别统计各种（科或属）昆虫的个体数，再分别利用如下公式计算其各样地的生物多样性值（马克平和刘玉明，1994）：Simpson 多样性指数：$D=1-\sum\frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)}$；Margalef 丰富度指数：$R=\frac{S-1}{\ln N}$；Shannon-Wiener 指数：$H=-\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{N_i}{N}\ln\frac{N_i}{N}\right)$。式中：$N_i$ 为第 i 种昆虫的个体数，N 为样地中昆虫的总个体数，S 为样地中昆虫的种数。根据计算出来的生物多样性数值，利用 SPSS19.0 和 Excel 进行多样性统计分析（董兆克和戈峰，2013）。

2　结果与分析

2.1　跳虫的种类组成、分布及多样性

2.1.1　跳虫的种类组成与分布　在 4 不同垦复方式油茶林的 20 个土样和 15 个凋落物样中共采集分离出跳虫 315 头。共鉴定出 5 科 8 属。其中，原等蛛属 *Proisotoma* Borner 123 头，占 39.0%；球角蛛属 *Hypogastrura* Bourlet 59 头，占 18.7%；长蛛属 *Entomobrya* Rondani 50 头，占 15.9%；圆蛛属 *Sminthurus* Latreille 31 头，占 9.8%，拟裸长角蛛属 *Pweudosinella* Schaffer、棘蛛属 *Onychiurus* Gervais、德蛛属 *Desoria* Nicolet in Desor 和刺蛛属 *Acanthocyrtus* Handschin 共 52 头，约占 16.6%。

进一步对不同油茶林中跳虫的分布分析表明（表 2），跳虫在不同油茶林中的分布不均匀，其中：半垦复油茶幼林跳虫数量较多，土样和凋落物中共 8 属 108 头，占 34.3%；全垦复油茶成林中跳虫数量较少，土样和凋落物中的跳虫共 4 属 49 头，占 15.6%；跳虫数量最少的是全垦复幼林地，林地内基本上没有其他地被物，仅在土层中采集到跳虫 3 属 19 头，占 6.0%；跳虫最丰

表 2 耒阳油茶林土壤跳虫种类及分布

Table 2 The species and distribution of soil springtails in the forest of *Camellia oleifera* in Leiyang

跳虫种类	ycfsrl	ycfsrs	ycfrs	mcfrs	mcfrl	mcfnrs	小计 Sub-total
刺跳属 *Acanthocyrtus* sp.	2	2					4
德跳属 *Desoria* sp.	5						5
原等跳属 *Proisotoma* sp.	4	21	12	10	6	70	123
棘跳属 *Onychiurus* sp.	1					16	17
拟裸长跳属 *Pweudosinella* sp.	8	13				5	26
球角跳属 *Hypogastrura* sp.	10	14	4		5	26	59
圆跳属 *Sminthurus* sp.	4	3		10	8	6	31
长跳属 *Entomobrya* sp.	12	9	3	10		16	50
合计 Total	46	62	19	30	19	139	315

英文首字母组合 ycfsrl，ycfsrs，ycfrs，mcfrs，mcfrl，mcfnrs 和 mcfnrl 依次代表半垦复油茶幼林凋落物、半垦复油茶幼林土层、全垦复油茶幼林土层、全垦复油茶成林土层、全垦复油茶成林凋落物、未垦复油茶成林土层和未垦复成林凋落物。下同。

ycfsrl，ycfsrs，ycfrs，mcfrs，mcfrl，mcfnrs and mcfnrl represent litters of the young *C. oleifera* after semi-reclaimed, soil of the young *C. oleifera* forest after semi-reclaimed, soil of the young *C. oleifera* forest after reclaimed, soil of the mature *C. oleifera* forest after reclaimed, litter of the mature *C. oleifera* forest after reclaimed, soil of the non-reclaimed mature *C. oleifera* forest, litter of the non-reclaimed mature *C. oleifera* forest respectively. The same below.

富的为未垦复油茶成林，仅土层中采集到的跳虫就达 6 属 139 头，占 44.1%，其中的凋落物可能是由于采集时水分含量过低，没有收集到跳虫。

2.1.2 跳虫的多样性

2.1.2.1 Shannon-Wiener 指数 不同类型油茶林取样跳虫的 Shannon-Wiener 指数方差分析结果图 1 表明：半垦复油茶幼林凋落物、半垦复油茶幼林土层、全垦复油茶成林土层和未垦复油茶成林土层中显著高于全垦复油茶幼林土层和全垦复油茶成林凋落物（P<0.05）；半垦复油茶幼林凋落物、半垦复油茶幼林土层、全垦复油茶成林土层和未垦复油茶成林土层之间无显著差异；全垦复油茶幼林土层和全垦复油茶成林凋落物之间无显著差异。

2.1.2.2 丰富度指数 不同类型跳虫的丰富度指数方差分析结果图 2 显示：半垦复油茶幼林凋落物、全垦复油茶成林土层和未垦复成林土层显著高于全垦复油茶幼林土层和全垦复油茶成林凋落物（P<0.05）；半垦复油茶幼林凋落物、全垦复油茶成林土层和未垦复油茶成林土层之间无显著差异；全垦复油茶幼林土层和全垦复油茶成林凋落物之间无显著差异；半垦复油茶幼林凋

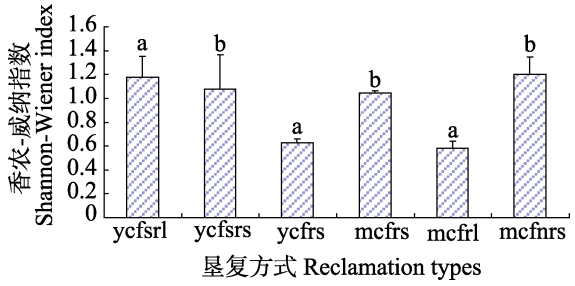


图 1 不同垦复方式油茶林土壤跳虫香农-威纳指数

Fig. 1 Shannon-Wiener index of soil collembolas in different reclamation types for *Camellia oleifera* forest

柱上标有不同小写字母表示差异显著（P＜0.05），下图同。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference (P<0.05). The same below.

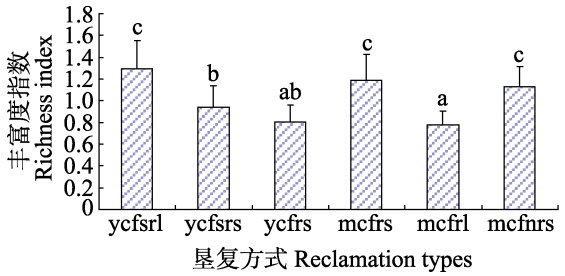


图 2 不同垦复方式油茶林土壤跳虫丰富度指数

Fig. 2 Richness index of soil collembolas in different reclamation types for *Camellia oleifera* forest

落物显著高于半垦复油茶幼林土层（P<0.05）。

2.1.2.3　Simpson 多样性指数　进一步对不同林分类型取样跳虫的 Simpson 多样性指数分析发现：半垦复油茶幼林凋落物、全垦复油茶成林土层显著高于全垦复油茶幼林土层和全垦复油茶成林凋落物（P<0.05）；半垦复油茶幼林土层显著高于全垦复成林凋落物（P<0.05）；半垦复油茶幼林凋落物、半垦复油茶幼林土层、全垦复油茶成林土层和未垦复油茶成林土层显著高于全垦复油茶成林凋落物（P<0.05）；半垦复油茶幼林凋落物、半垦复油茶幼林土层、全垦复油茶成林土层和未垦复油茶成林土层之间无显著差异；全垦复油茶幼林土层和全垦复油茶成林凋落物之间无显著差异（图 3）。

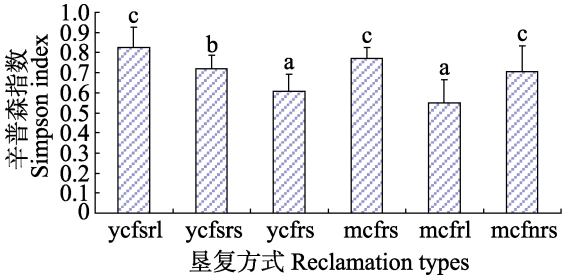


图 3　不同垦复方式油茶林土壤跳虫辛普森指数

Fig. 3　Simpson index of soil collembolas in different reclamation types for *Camellia oleifera* forest

2.2　罐诱土壤节肢动物的种类组成、分布及多样性

2.2.1　土壤节肢动物的种类组成与分布　4 个不同的油茶林类型 20 个巴氏罐诱集点 100 个诱集罐共诱集到土壤动物 11 科 17 种。其中，蛛形纲的 2 种，昆虫纲 15 种。但不同垦复方式油茶林中的土壤罐诱动物分布不均匀，其中，半垦复油茶幼林和全垦复油茶幼林中均为 9 种，种类最多；全垦复油茶成林 8 种，种类较多；未垦复成林中只有 5 种，种类最少。从个体数量来看，半垦复油茶幼林中诱集到的土壤动物数量最多，为 113 头，占总数量的 38.3%；未垦复油茶成林中数量最少，为 34 头，占总数量的 11.5%。在诱集的土壤动物种类中，油葫芦的数量最多，共 101 头，占总数量的 34.2%；其次为宽结大头蚁、拟斗蟋和大头弓背蚁，依次为 50 头、39 头和 30 头，分别占总数量的 16.9%、13.2%和 10.2%；黄守瓜、木橑尺蠖和蠼螋均只有 1 头，数量最少，分别占总数量的 0.34%（表 3）。

2.2.2　土壤节肢动物的多样性

2.2.2.1　Shannon-Wiener 指数　从各垦复方式油茶林中 5 个诱集点诱集的土壤节肢动物 Shannon-Wiener 指数分析结果图 4 可知：全垦复油茶成林（mcfr）显著高于未垦复成林（mcfnr）、全垦复油茶幼林（ycfr）和半垦复油茶幼林（ycfsr）（P<0.05）；未垦复成林显著低于全垦复油茶成林、全垦复油茶幼林和半垦复油茶幼林（P<0.05）；全垦复油茶幼林和半垦复油茶幼林显著高于未垦复成林（P<0.05）而显著低于全垦复油茶成林（P<0.05）；但全垦复油茶幼林和半垦复油茶幼林之间无显著差异。

2.2.2.2　丰富度指数　对不同垦复方式油茶林罐诱的土壤节肢动物丰富度指数分析结果（图 5）表明：全垦复油茶成林显著高于未垦复成林和全垦复油茶幼林（P<0.05）；未垦复成林显著低于垦复后成林、全垦复油茶幼林和半垦复油茶幼林（P<0.05）；半垦复油茶幼林显著高于未垦复成林和全垦复油茶幼林（P<0.05）；全垦复油茶幼林显著高于未垦复成林而显著低于垦复后成林和半垦复油茶幼林（P<0.05）；但全垦复油茶成林和半垦复油茶幼林之间无显著差异（图 5）。

2.2.2.3　Simpson 多样性指数　从图 6 不同模式油茶林罐诱土壤动物 Simpson 多样性指数可以看出：未垦复成林显著低于垦复后成林、全垦复油茶幼林和半垦复油茶幼林（P<0.05）；但垦复后成林、半垦复油茶幼林和全垦复油茶幼林三者之间无显著差异。

3　结论与讨论

3.1　油茶成林的土壤动物多样性一般高于油茶幼林

本文研究结果表明，油茶成林的土壤跳虫种类丰富，数量多，跳虫的多样性指数一般要比幼林的高；且成林土壤中跳虫的 Shannon-Wiener 指数、丰富度指数和 Simpson 多样性指数高于幼

表 3 耒阳油茶林罐诱土壤动物种类及数量

Table 3 The species and quantity of trapped soil animals in the forest of *Camellia oleifera* forest in Leiyang

土壤动物种类 Soil animal species	垦复后成林 Ultivated mature	未垦复成林 Uncultivated mature	半垦复幼林 Young in valley	全垦复幼林 Young in ridge	小计 Total
草间小黑蛛 *Erigonidium gramicola*	5	1	2		8
茶色新园蛛 *Neoscona theisi*	3				3
大头弓背蚁 *Camponotus largiceps*	30				30
宽结大头蚁 *Pheidole nodus*			50		50
飘细长蚁 *Tetraponera allaborans*	11				11
黑须刺蛾寄蝇 *Chaetexorista atripalpis*		2	3	1	6
短角外斑腿蝗 *Xenocatantops brachycerus*			2		2
油茶地蜂 *Andrena camellia*	1			1	2
中华蜜蜂 *Apis cerana*				19	19
油茶史氏叶蜂 *Dasmithius camelliae*				7	7
茶角胸叶甲 *Basilepta melanopus*	3		4	1	8
黄守瓜 *Aulacophora femoralis*			1		1
木橑尺蠖 *Culcula panterinaria*				1	1
拟斗蟋 *Velarifictorus khasiensis*	11	9	12	7	39
油葫芦 *Gryllus testaceus*	11	19	38	33	101
中华拟歪尾蠊 *Episymploce sinensis*		3		3	6
蠼螋 *Labidura riparia*			1		1
合计（头）Total (head)	75	34	113	73	295

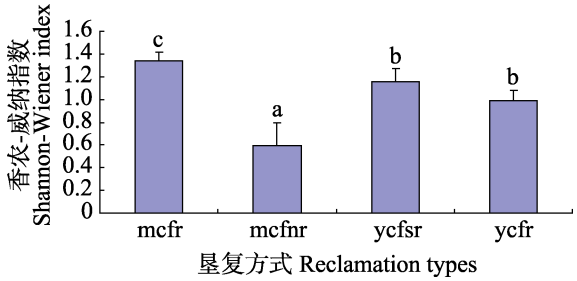


图 4 不同垦复方式油茶林罐诱土壤节肢动物香农-威纳指数

Fig. 4 Shannon-Wiener index of trapped soil arthropods in different reclamation types of *Camellia oleifera* forest

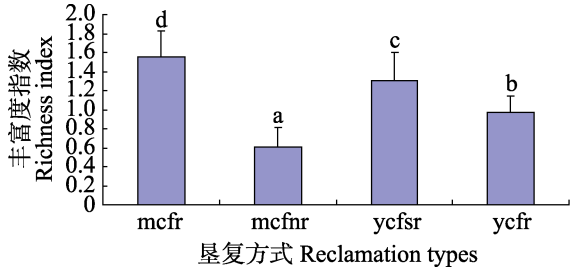


图 5 不同垦复方式油茶林罐诱土壤节肢动物丰富度指数

Fig. 5 Species richness index of trapped soil arthropods in different reclamation types of *Camellia oleifera* forest

林；垦复后成林土壤节肢动物的 Shannon-Wiener 指数、丰富度指数和 Simpson 多样性指数高于其他油茶林类型，但未垦复成林由于土壤板结，地被物水分缺失等原因其多样性指数均低于其他油茶林类型。与何振等（2007）研究的湖南八大公山天然林网捕昆虫多样性指数相比，本次调查的多样性指数显著较低。

3.2 土壤含水量、地被物、人为干扰对土壤动物的多样性有显著影响

半垦复油茶幼林地被物种类丰富，土层相对湿度较大，其中的跳虫数量和种类均较为丰富；而未垦复成林中虽然有较为丰富的地被物，由于取样时地表干燥，相对湿度小，5 个凋落物样中均未收集到跳虫。垦复后成林由于土壤孔隙度大幅度提高，为土壤动物提供了丰富多样的栖息环

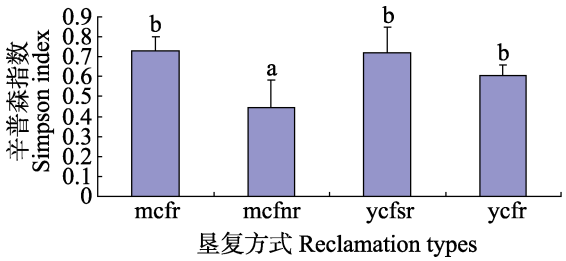


图 6　不同垦复方式油茶林罐诱土壤节肢动物辛普森多样性指数

Fig. 6　Species richness index of trapped soil arthropods in different reclamation types of *Camellia oleifera* forest

境，有利于土壤动物的生存和繁衍，其 Shannon-Wiener 指数显著高于其他类型，丰富度指数高于未垦复成林和全垦复油茶幼林，Simpson 多样性指数高于未垦复成林；半垦复油茶幼林保留了较多地被物，水分条件优越，同样有利于土壤动物栖息，其多样性指数也较高；未垦复成林由于其土壤紧实，孔隙度小，地被物种类稀少，其 Shannon-Wiener 指数、丰富度指数和 Simpson 多样性指数均显著低于其他油茶林垦复类型。这与李岳诚等（2014）的研究认为土壤含水量、植被盖度、人为干扰强度是造成不同生境甲虫多样性差异的主要因素一致。

3.3　保持油茶林地较高的物种多样性有利于促进油茶林害虫自然控制能力

半垦复油茶幼林的跳虫多样性指数显著高于全垦复油茶幼林的跳虫多样性指数，但我们在实地调查中发现，山谷和山脊同为 4 年生的油茶幼林地，全垦复油茶幼林平均苗高达到 80 cm 以上，灌幅也普遍超过 60 cm，部分长势特别好的已经超过 100 cm，灌幅超过 80 cm，有的已经挂果；而半垦复油茶林普遍在 40 cm 以下，长势也很差，可能的原因是山谷缺乏阳光和排水不畅等原因抑制了油茶林的生长，另外，丰富的地被物形成的养分竞争对油茶的营养吸收也有不良影响。油茶林中的其他灌草存在虽然会对油茶林地土壤动物多样性的保护会有一定的促进作用，有利于从自然生态平衡角度控制油茶林害虫的集中暴发，减少农药的使用并提高茶油的品质，但可能会在一定程度上降低油茶林的产量。如何在油茶林生物多样性的保护和油茶产量的提高之间找到一个效益最大的平衡点还需要进一步深入研究。

致谢：在标本采集、分离和鉴定过程中得到了中国科学院动物研究所刘向辉、中国科学院东北地理与农业生态研究所常亮副研究员、孙新副研究员和王柏凤博士的热心帮助，在此深表感谢！

参考文献 (References)

Chang L, Liu XH, Ge F, 2011. Effect of elevated O_3 associated with Bt cotton on the abundance, diversity and community structure of soil Collembola. *Applied Soil Ecology*, 47(1): 45–50.

Chen JX, Ma ZC, Yan HJ, Zhang F, 2007. Roles of springtails in soil ecosystem. *Biodiversity Science*, 15(2): 154–161. [陈建秀, 麻智春, 严海娟, 张峰, 2007. 跳虫在土壤生态系统中的作用. 生物多样性, 15(2): 154–161.]

Dong ZK, Ge F, 2013. Statistical analysis of insect population data and the use of SPSS Chinese *Journal of Applied Entomology*, 50(4): 1163–1169. [董兆克, 戈峰, 2013. 昆虫种群数据分析及在 SPSS 软件上的实现. 应用昆虫学报, 50(4): 1163–1169.]

Endlweber K, Ruess L, Scheu S, 2009. Collembola switch diet in presence of plant roots thereby functioning as herbivores. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6): 1151–1154.

Gonzalez G, Seastedt TR, 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and sub alpine forests. *Ecology.* 82(4): 955–964.

He Z, Yang DD, Tong XW, Wang BL, Gu ZY, 2007. Pecies diversity of insects in Badagongshan National Nature Reserve of Hunan Province. *Journal of Central South University of Forestry &Technology*, 27(2): 61–65. [何振, 杨道德, 童新旺, 王帮利, 谷志荣, 2007. 湖南八大公山自然保护区昆虫物种的多样性. 中南林业科技大学学报, 27(2): 61–65.]

Heneghan L, Coleman DC, Zou X, Crossley DA Jr, Haines BL, 1999. Soil micro arthropod contributions to decomposition dynamics: tropical temperate comparisons of a single substrate. *Ecology*, 80(6): 1873–1882.

Peng JW, 1992. Iconography of Forest Insects in Hunan China. Changsha: Hunan Science and Technology Press. 1–1352. [彭建文, 1992. 湖南森林昆虫图鉴. 长沙: 湖南科学技术出版社. 1–1352.]

Lensing JR, Wise DH, 2006. Predicted climate change alters the

indirect effect of predators on an ecosystem process. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(42): 15502–15505.

Li M, Zhou G, He Z, Tan JC, Liu YJ, Wu YP, 2014. Spatial Distribution patterns and the environmental interpretations of *Basilepta melanopus* (Coleoptera: Eumolpidae) adults in *Camellia oleifera* young forests. *Scientia Silvae Sinicae*, 50(10): 173–180. [李密, 周刚, 何振, 谭济才, 刘跃进, 伍义平, 2014. 油茶幼林茶角胸叶甲成虫空间分布型及其环境解释. 林业科学, 50(10): 173–180.]

Li YC, Zhang DZ, He DH, 2014. Species diversity of ground-dwelling beetles and its relationship with environmental factors in the Artificial Caragana Brushland of Fixed Sandy Lands in Ningxia. *Scientia Silvae Sinicae*, (5): 109–117. [李岳诚, 张大治, 贺达汉, 2014. 荒漠景观固沙柠条林地地表甲虫多样性及其与环境因子的关系. 林业科学, (5): 109–117.]

Liu SJ, Chen J, He XX, Hu J, Yang XD, 2014. Trophic cascade of a web-building spider decreases litter decomposition in a tropical forest floor. *European Journal of Soil Biology*, 65: 79–86.

Luo PZ, Yue Z, Luo LP, Jiang F, 2011. Comparative benefit analysis of high-yield Camellia oil tea with different management mode: a case of Liuyang City in Hunan. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, (8): 40–50. [罗攀柱, 岳臻, 罗立平, 江芬, 2011. 不同经营模式下高产油茶经营的比较利益研究——湖南省浏阳市为案例. 中南林业科技大学学报, (8): 40–50.]

Ma KP, Liu YM, 1994. Methods for measuring diversity of biological communities I. α diversity measure method(2). *Biodiversity Science*, 2(4): 231–233. [马克平, 刘玉明, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I. a 多样性测度方法(下). 生物多样性, 2(4): 231–233.]

Ma L, Chen YZ, 2009. Analyzed camellia oil of function characteristics. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(8): 82–84. [马力, 陈永忠, 2009. 茶油的功能特性分析. 中国农学通报, 25(8): 82–84.]

Shao YH, Zhang WX, Liu SJ, Wang XL, Fu SL, 2015. Diversity and function of soil fauna. *Acta Ecologica Sinica*, 35(20): 6614–6625. [邵元虎, 张卫信, 刘胜杰, 王晓丽, 傅声雷, 2015. 土壤动物多样性及其生态功能. 生态学报, 35(20): 6614–6625.]

Xu GL, Mo JM, Zhou GY, Peng SL, 2003. Relationship of soil fauna and N cycling and its response to N deposition. *Acta Ecologica Sinica*, 23(11): 2453–2463. [徐国良, 莫江明, 周国逸, 彭少麟, 2003. 土壤动物与 N 素循环及对 N 沉降的响应. 生态学报, 23(11): 2453–2463.]

Yin WY, 1998. Pictorical Keys to Soil Animals of China Retrieval of Soil Animal. Beijing: Science Press. 592–600. [尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社. 592–600.]

Zhang ZD, Dong WH, Wei J, Gai YH, 2012. Research progresses of soil fauna. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(29): 242–246. [张志丹, 董炜华, 魏健, 盖玉红, 2012. 土壤动物学研究进展. 中国农学通报, 28(29): 242–246.]

Zheng XH, Lang NJ, Huang Y, 2011. Present status of pest and disease occurrence of *Camellia oleifera* and environmental factors. *Journal of West China Forestry Science*, 20(4): 106–110. [郑学慧, 郎南军, 黄钰等, 2011. 油茶病虫害发生的现状及其环境因子研究. 西部林业科学, 20(4): 106–110.]