

洞庭湖区不同土地利用方式下的土壤动物群落结构

王广力^{1,2}, 王 勇^{1*}, 韩立亮^{1,2}, 张美文¹, 李 波¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:2004 年 4 月和 7 月, 对洞庭湖区 5 种不同土地利用方式下土壤动物群落结构进行调查, 以了解洞庭湖区湿地土壤动物多样性的基本情况, 以及不同土地利用方式对土壤动物群落结构的影响。实验采得土壤样本 270 个, 经分离后获土壤动物 6282 头, 分属于 5 门、10 纲、29 类。通过对物种丰富度 (S)、多样性指数 (H)、均匀度指数 (j)、相似度指数 (q) 和密度-类群指数 (DG) 几个多样性指标进行分析, 结果表明农林间作的黑杨-苔草-菜地的物种丰富度、均匀度和密度-类群指数均显著高于其它生境, 土壤动物多样性随土地利用方式和人为干扰程度的不同而存在很大差异。不同类型区的大、中、小型土壤动物的数量和组成有季节性变化, 大型动物的类群组成在每个样地 4、7 月间均有很大差别, 黑杨-苔草-菜地、黑杨-苔草地和稻田 3 个样地 4 月份蜱螨目数量均显著高于 7 月份; 而弹尾目的数量仅在稻田 4 月份显著高于 7 月份, 油菜-棉花+水稻地却是 7 月份显著高于 4 月份, 其它样地无显著性差异; 线虫数量仅在黑杨-苔草地和油菜-棉花+水稻地 7 月份的数量显著高于 4 月份。人类的农业生产活动导致土壤动物物种多样性降低, 优势集中度提高, 优势种突出, 均匀性降低, 形成了只利于少数几个种群栖息和生存的环境, 土壤动物生物多样性受到影响, 但适度干扰能提高土壤动物生物多样性。

关键词:土壤动物; 多样性; 洞庭湖区

文章编号:1000-0933(2005)10-2629-08 **中图分类号:**Q145, Q958.15 **文献标识码:**A

Soil animal communities of variously utilized in the Dongting Lake region

WANG Guang-Li^{1,2}, WANG Yong^{1*}, HAN Li-Liang^{1,2}, ZHANG Mei-Wen¹, LI Bo¹ (1. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039), *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2629~2636.

Abstract: The Dongting Lake region, which is an important region for agricultural production in the Yangtze Valley, is located in the north of Hu'nan Province in China. In this subtropical region, the weather is warm and humid with a mean annual temperature of 16~17 °C and rainfall of 1200 to 1550 mm. In order to protect biodiversity, the Hu'nan Provincial Government carried out a project of restoring farmlands to the lake. There are two main kinds of ways to restore the farmlands: ① DRP (double restoration polder) which removed human habitation from the polder and gave up associated agricultural activity, and ② SRP (single restoration polder), which only removed human habitation from the polder but retained agricultural activity. In the DRP, the polder is flooded annually during the flood season, but there is no flooding in the SRP.

In April and July 2004, soil animals were investigated in five kinds of variously utilized land, and five typical plots were selected for investigation in the Dongting Lake region. They were the DRP (*Populus*, *L-Carex* spp. Plot I), SRP (*Populus*, *L-Carex* spp. -vegetable, Plot II), SRP (*Brassica-Gossypium herbaceum*+*Oryza sativa*, Plot III), paddy field (*Oryza sativa*, Plot IV) and the beach of the lake (Plot V). Three replicates were taken from each plot to collect the mesofauna and the microfauna. Soil specimen were sliced horizontally into four 5 cm layers to a depth of 20 cm, and 2 samples (100 cm³ and 25

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-SW-415)

收稿日期:2004-11-15; **修订日期:**2005-05-10

作者简介:王广力(1977~), 男, 河北省邢台市人, 硕士生, 从事生态学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wangy@isa.ac.cn

致谢:本项研究的土壤动物的分离与鉴定分类得到湖南师范大学颜亨梅教授的悉心指导, 湖南农业大学周旭星同学参加部分野外样品采集与实验室分拣工作, 在此一并致谢

Foundation item: The Knowledge Innovation Project of CAS (No. KZCX2-SW-415)

Received date:2004-11-15; **Accepted date:**2005-05-10

Biography: WANG Guang-Li, Master candidate, mainly engaged in ecology.

cm³) of each layer were each placed separately in a cotton bag and transported to the laboratory. The mesofauna and microfauna were separated from the samples using Tullgren's and Bearmann's methods, respectively. Three replicates were taken from each plot to collect the macrofauna. The soil specimens were sliced horizontally into two 5 cm layers to a depth of 10 cm and a sample (50cm×50cm×5cm) of each layer. The macrofauna was collected by hand and the mesofauna and the microfauna were collected through microscopic investigation.

Twenty-nine groups of soil animals and belonging to 5 phyla and 10 classes were collected. Nematodes were the dominant animal group, accounting for 64.15% of the total. Acarina, Gastropoda, Araneae, Coleoptera, Oligochaeta, Collembola, Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera and Diptera represented 31.02% of collected taxa. The other 18 animal groups were infrequent, representing 4.83% of the total individuals.

Total soil animal numbers were statistically analyzed through use of diversity indexes (S , H , DG , j , and C). The Population-density quantity (DG) was more suitable for evaluating soil animal biodiversity than was the biodiversity quantity (H). Because of the complexity of the habitat and the temperate interference, soil animal abundance (24) and biodiversity ($DG=15.3009$) were highest in the SRP (*Populus*.L-*Carex* spp. -vegetable,Plot Ⅱ). DRP (*Populus*.L-*Carex* spp. , ,Plot Ⅰ) had the second highest values ($S=22$, $DG=8.8242$); paddy field (*Oryza sativa*,Plot Ⅳ) had the third highest values ($S=21$, $DG=8.4070$), and the beach of the lake, (Plot Ⅴ) ($S=15$, $DG=2.8729$) and SRP (*Brassica-Gossypium herbaceum*+*Oryza sativa*,Plot Ⅲ) ($S=14$, $DG=1.8738$) followed. We also analysed seasonal change of different kinds of soil animals in each plot. Macrofauna and meso- and micro-arthropods were affected significant by seasonal change, whereas nematodes were not.

Biodiversity is one of the most important factors with which to evaluate quality of the ecological environment. Soil animal communities are strongly influenced by land utilization. SRP with intercropping is the best way to protect the biodiversity of soil animal. Restoring farmlands to the Dongting Lake area protects the biodiversity of soil animals.

Key words: Dongting Lake area; diversity; soil animal

土壤动物是人类重要的生物资源,是自然生态系统的重要组成部分之一;土壤动物数量众多,其生物量大约是整个人类数量的 20 倍,土壤动物对土壤的形成和发育、物理化学性质的变化和有机质的分解都起着重要的作用^[1]。随着生态学科研究的日趋深入,土壤动物在生态系统中的作用日趋明显。各种土地利用方式下土壤动物多样性及其功能的研究,在国内外均有较多报道^[2~6],但关于湿地土壤动物多样性方面的研究报道较少;2004 年 4 月和 7 月,作者对洞庭湖区 5 种不同土地利用方式下土壤动物生物多样性进行调查,旨在了解不同土地利用方式对于土壤动物群落结构和生物多样性的影响,为保护湖区生态环境,优化湿地生态系统提供科学数据。

1 研究区自然概况

洞庭湖区位于湖南北部,长江南岸,经纬度在 28°30′~30°20′N, 111°40′~ 113°10′E 之间,主要包括常德、益阳、岳阳的 14 个县、6 个市和 15 个国营农场,土地面积占湖南省总面积的 16.5%。该区处于中亚热带向北亚热带过渡的地带,气候温暖湿润,年平均气温 16.4~17.0℃,无霜期 260~280 d,年平均降水量 1200~1550 mm,年平均湿度 80%。洞庭湖是我国第二大淡水湖,由于每年洪水季节大量泥沙的入湖淤积,在其独特的地理环境的控制下,形成了以敞水带、季节性淹水带、滞水低地为主的我国最大的湖泊地区湿地景观,现有湿地面积约 1.52×10⁴ km²^[7]。洞庭湖区具有丰富的动植物资源,但由于泥沙沉积和人工围垦,致使洞庭湖区湿地面积急剧减少,生态环境破坏严重,生物多样性面临严重威胁。为合理开发和保护洞庭湖区的湿地资源,协调人类活动与生物多样性保护的关系,保护人类赖以生存的环境和可持续利用资源,湖南省根据洞庭湖区的实际情况,实施 161 个垵院退田还湖^[8],从而加强对湿地动物生物多样性的保护,改善当地的生态环境。退田还湖的类型主要有两种,一种是单退垵,即居民退出划定的退田还湖区域而农田不退;另一种是双退垵,实行的是居民和农田都退出退田还湖区域。

2 研究方法

2.1 样地选择

根据洞庭湖区的土地利用情况,选择 5 个典型的样地进行土壤动物调查,用 GPS 全球定位仪测出每个样地的海拔和经纬度,分别是:①Ⅰ号样地(黑杨-苔草地,海拔 35 m,经纬度 29°41′N, 112°57′E),此地为洞庭湖区退田还湖双退垵(人退田也退),植被主要为高大乔木(南方型黑杨, *Populus* L.),树下植物为 1 年生杂草,主要是苔草 (*Carex* spp.)、水蓼 (*Polygonum hydropier*)等,退田还湖后,每年洪水季节被淹 1~2 个月(6~7 月份左右);②Ⅱ号样地(黑杨-苔草-菜地,海拔 25 m,经纬度 28°57′N, 111°58′E),为洞庭湖区单退垵,植被主要为南方型黑杨 (*Populus* L.),树下是苔草 (*Carex* spp.)、艾蒿 (*Artemisia vulgaris*)等杂草群落,未植树的空地主要种植蔬菜,汛期可能形成短期内涝;③Ⅲ号样地(油菜-棉花+水稻旱作地,海拔 33 m,

经纬度 29°36'N, 111°48'E), 生境主要为单退垵, 4 月份主要植被为油菜 (*Brassica*), 7 月份主要植被为棉花 (*Gossypium herbaceum*) 和水稻 (*Oryza sativa*), 1998 年汛期被淹数月, 退田还湖后 2003 年 7 月因泄洪被淹; ④Ⅳ号样地(稻田, 海拔 24 m, 经纬度 29°15'N, 113°05'E), 4 月份生境为处在间歇期的稻茬地, 主要植被为禾本科杂草, 7 月份为早稻的收割期; ⑤Ⅴ号样地(湖滩地, 海拔 27 m, 经纬度 29°15'N, 113°04'E), 此地也为洞庭湖湖滩, 植被主要为苔草 (*Carex spp*) 和莎草 (*Cyperaceae*) 等, 该样地每年的 5~10 月汛期被淹, 10 月以后退水。

2.2 样品采集与土壤动物鉴定

2004 年 4 月和 7 月采样 2 次。2004 年 7 月由于Ⅴ号样地(湖滩地)处于汛期, 被水淹没, 未能取样。
样品采集根据张振中^[9]和尹文英^[10]的方法, 采用多点取样。在每个样地设 3 个取样点, 拣去表面上的新鲜凋落物, 挖掘土壤剖面(深 25 cm), 按照 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 和 15~20 cm 4 个层次取样, 在每个层次分别用直径 5 cm、高 5 cm、容量为 100 cm³ 和直径 3.5 cm、高 2.8 cm、容量为 25 cm³ 的取土环刀各取 1 个土样, 分别用于干漏斗法和湿漏斗法分离提取干生和湿生土壤动物, 所取土样分别放入取土布袋, 并插入号签, 带回实验室分离提取中小型土壤动物。

在每个样地内, 再选择 3 个样点, 每个样点内分别用木框框出 50 cm×50 cm 的样方, 首先用剪刀剪去地表植被的茎叶, 然后分 2 层挖出框内 10 cm 深的土体, 以 5 cm 为一个样分别装入取土布袋, 并分别放入号签, 在附近于地势平坦处, 手拣分离大型土壤动物, 用的酒精杀死固定, 带回实验室。

收集的所有动物在实验室内进行数量统计、分类鉴定, 昆虫鉴定至目, 其它动物以类群表示。

2.3 数据处理

采用以下几个参数来分析土壤动物多样性:

- (1) Shannon-Wiener 多样性指数^[11,12]
$$H = - \sum P_i \ln P_i$$
式中, $p_i = n_i/N$, n_i 为每个类群的个体数, N 为总的个体数。
- (2) 密度-类群指数^[13,14]
$$DG = \sum (D_i/D_{i\max}) \times (G/G_T)$$
式中, D_i 为第 i 类群的密度, $D_{i\max}$ 为各类群中第 i 类群的最大密度, G 为群落中的类群数, G_T 为各群落所包含的总类群数。
- (3) Pielou 均匀性指数^[15,16]
$$j = H / \ln s$$
式中, H 为 Shannon-Wiener 多样性指数, s 为物种丰富度。
- (4) Simpson 优势度指数^[17]
$$C = \sum (n_i / N)^2$$
式中, n_i 为每个类群的个体数, N 为总的个体数。
- (5) Sorenson 相似性指数^[18]
$$S_1 = 2c / (a + b)$$
式中, c 为样本 A 和 B 中共有的种数, a 为样本 A 中的种数, b 为样本 B 中的种数。
- (6) Whittaker 相似性指数^[19]
$$S_2 = 1 - 0.5(\sum |a_i - b_i|)$$
式中, a_i 为各土壤动物种类的个体数在 a 群落中的比例; b_i 为各土壤动物种类的个体数在 b 群落中的比例。
- 根据原始捕获量占捕获总量的百分比来划分各类群数量等级, 即个体数量大于捕获总量的 10.0% 以上者为优势类群, 占 1.0%~10.0% 者为常见类群, 不足 1.0% 者为稀有类群^[20]。统计分析用方差分析和 t 检验。

3 结果

3.1 土壤动物数量及群落组成

5 样地两次共采得土壤样本 270 个, 经分离后获土壤动物 6282 头, 分属于 5 门、10 纲、29 类(见表 1)。其中以线虫类为优势类群, 其捕获量占总捕获量的 64.15%; 常见类群为蜱螨目、弹尾目、蜘蛛目、鞘翅目、双翅目幼虫、鞘翅目幼虫、鳞翅目幼虫、膜翅目、蚯蚓类和腹足类 10 类, 其捕获量占总捕获量的 31.02%; 其余为稀有类群共 18 类, 其类群数多达总类群数的 62.07%, 但个体数仅占总捕获量的 4.83%。

在 5 样地中, 均以线虫类为优势类群, 而且均占各样地捕获总量的 40% 以上。Ⅰ号样地(黑杨-苔草地)除线虫类外, 蜱螨目数量最多, 占该样地捕获量的 12.23%, 鳞翅目幼虫、鞘翅目幼虫、蜘蛛目等 7 类为常见类群, 其余为稀有类群(仅占 3.67%); Ⅱ号样地(黑杨-苔草-菜地)以线虫类(46.91%)为优势类群, 蜱螨目(9.82%)、膜翅目(8.26%)、双翅目幼虫(6.70%)等 11 类为常见类群, 稀有类群共计 12 类(5.05%); Ⅲ号样地(油菜-棉花+水稻地)捕获土壤动物数量和种类均最少, 两次共捕获土壤动物 14 类, 608 头, 蚯蚓类(10.69%)是仅次于线虫类的优势类群; Ⅳ号样地(稻田)以线虫类(77.05%)为优势类群, 与其它样地相比, 占样地内捕获的比例为最高; Ⅴ号样地(湖滩地)仅于 2004 年 4 月采样 1 次, 共获土壤动物 15 类, 695 头, 该样地以线虫类(52.07%)、腹足类(23.31%)和蜱螨目(10.36%)为优势类群, 该样地腹足类数量较多, 所占捕获比例也是各样地中最大的。

3.2 土壤动物群落结构及季节变化

对丰富度 (S)、多样性指数 (H)、均匀度指数 (j)、优势度指数 (C) 和密度-类群指数 (DG) 5 个多样性指标进行分析

表 1 洞庭湖区土壤动物类群组成

Table 1 Composition of soil animals in Dongting Lake Region

动物类群 Animal communities	样地 Plots *										总个体数 Total number	占全捕量 数(%) Percentage	多度 Abundance
	I		II		III		IV		V				
	个体数 No. of ind.	占捕获量 (%) Percentage	个体数 No. of ind.	占捕获量 (%) Percentage	个体数 No. of ind.	占捕获量 (%) Percentage	个体数 No. of ind.	占捕获量 (%) Percentage	个体数 No. of ind.	占捕获量 (%) Percentage			
线虫类 Nematode	1044	68.28	721	46.91	429	70.56	1474	77.05	362	52.07	4030	64.15	+++
蜱螨目 Acarina	187	12.23	151	9.82	18	2.96	98	5.12	72	10.36	526	8.37	+
腹足类 Gastropoda	11	0.72	20	1.30	5	0.82	24	1.25	162	23.31	222	3.53	+
蜘蛛目 Araneae	34	2.22	78	5.07	17	2.80	58	3.03	5	0.72	192	3.06	+
鞘翅目 Coleoptera	15	0.98	83	5.40	17	2.80	66	3.45	5	0.72	186	2.96	+
蚯蚓类 Oligochaeta	21	1.37	36	2.34	65	10.69	5	0.26	36	5.18	163	2.59	+
弹尾目 Collembola	28	1.83	23	1.50	20	3.29	78	4.08	8	1.15	157	2.50	+
鳞翅目(幼虫) Lepidoptera	84	5.49	46	2.99	1	0.16	8	0.42	14	2.01	153	2.44	+
鞘翅目(幼虫) Coleoptera	35	2.29	53	3.45	21	3.45	33	1.73	10	1.44	152	2.42	+
膜翅目 Hymenoptera	5	0.33	127	8.26	1	0.16	0	0	2	0.29	135	2.15	+
双翅目(幼虫) Diptera	20	1.31	103	6.70	0	0	3	0.16	3	0.43	129	2.05	+
线蚓类 Enchytraeidae	1	0.07	19	1.24	3	0.49	11	0.58	12	1.73	46	0.73	+
倍足类 Diplopoda	20	1.31	13	0.85	0	0	0	0	0	0	33	0.53	+
双尾目 Diplura	1	0.07	15	0.98	2	0.33	13	0.68	0	0	31	0.49	+
缓步类 Tardigrada	0	0	1	0.07	0	0	25	1.31	0	0	26	0.41	+
直翅目 Orthoptera	4	0.26	13	0.85	1	0.16	4	0.21	0	0	22	0.35	+
唇足纲 Chilopoda	5	0.33	5	0.33	8	1.31	2	0.10	0	0	20	0.32	+
缨翅目 Thysanoptera	7	0.46	6	0.39	0	0	3	0.16	0	0	16	0.25	+
等足目 Isopoda	1	0.07	9	0.59	0	0	0	0	1	0.14	11	0.18	+
挠足类 Copepoda	0	0	7	0.46	0	0	1	0.05	0	0	8	0.13	+
同翅目(幼虫)Homoptera	0	0	4	0.26	0	0	2	0.10	0	0	6	0.10	+
等翅类 Isoptera	2	0.13	0	0	0	0	1	0.05	0	0	3	0.05	+
半翅类 Hemiptera	1	0.07	2	0.13	0	0	0	0	0	0	3	0.05	+
蜚蠊目 Blattoptera	0	0	1	0.07	0	0	0	0	2	0.29	3	0.05	+
啮目 Psocoptera	1	0.07	0	0	0	0	0	0	1	0.14	2	0.03	+
同翅目 Homoptera	0	0	0	0	0	0	2	0.10	0	0	2	0.03	+
原尾类 Protura	2	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.03	+
石蛎目 Microcoryphia	0	0	0	0	0	0	2	0.10	0	0	2	0.03	+
蛭类 Hirudinea	0	0	1	0.07	0	0	0	0	0	0	1	0.02	+
合计 Total	1529		1537		608		1913		695		6282	100	
类群数 Communities	22		24		14		21	15					

I : 黑杨-苔草地; II : 黑杨-苔草-菜地; III : 油菜-棉花+水稻地; IV : 稻田; V : 湖滩地 I : *Populus L.*-*Carex* spp.; II : *Populus L.*-*Carex* spp.-vegetable; III : *Brassica-Gossypium herbaceum* + *Oryza sativa*; IV : Paddy field; V : The beach of lake; * 下同 the same below

(表 2),各个多样性指标在 5 各样地之间的差异显著($p<0.05$)。从不同样地多样性指标的季节变化来看(表 3),I (黑杨-苔草地)、Ⅲ号样地(油菜-棉花+水稻地)的 5 种多样性指标间均无显著的季节变化;II 号样地(黑杨-苔草-菜地)除丰富度和 DG 值季节变化差异不显著外,其它几个指标均有显著的差异;IV 号样地(稻田)除物种丰富度的季节变化无显著差异性,其余 4 项指标均有显著性差异。

3.3 不同类型土壤动物的水平分布

根据土壤动物采集分离方法,将其分为大型土壤动物(手拣法分离)、中小型节肢动物(干漏斗法分离)和中小型湿生动物(湿漏斗法分离)3 类。

3.3.1 大型土壤动物 由于 5 个样地土地利用方式不同,捕获的大型土壤动物及优势类群也不同(表 4)。黑杨-苔草地共捕获大型动物 252 头,13 类,以鳞翅目幼虫最多,占捕获量的 32.54%,鞘翅目幼虫和鳞翅目幼虫在 4、7 月份均为优势类群,在 4 月份为优势类群的蚯蚓类,在 7 月份却未有捕获,而蜘蛛目和倍足目在 7 月份为优势类群,4 月份仅为常见类群;黑杨-苔草-菜地捕获大型土壤动物 556 头,膜翅目最多(18.35%),双翅目幼虫仅次于膜翅目(17.81%),4 月份的优势类群为鞘翅目、鞘翅目幼虫和蜘蛛目,7 月份的优势类群是鞘翅目、鳞翅目幼虫、膜翅目和双翅目幼虫;油菜-棉花+水稻地仅捕获大型动物 133 头,蚯蚓类最多,占全部大型动物的 48.87%,在 7 月份却未有捕获,鞘翅目和蜘蛛目数量增大至优势类群;水稻田捕获大型动物 188 头,以鞘翅目和蜘蛛目为主,分别占捕获量的 35.11%和 30.32%,腹足类在 4 月份为优势类群,在 7 月份仅为常见类群,双尾类在 7 月份为优势类群而在 4 月份未有捕获;湖滩地仅于 2004 年 4 月采样 1 次,共获大型土壤动物 231 头,其中以腹足类为主,占该样地的 70.13%。

表 3 土壤动物群落结构参数的季节变化

参数 Parameters		Table 3 Seasonal change of community structure parameters of soil animal				
样地 Plot	月份 Month	丰富度 Abundance	H 值 H value	DG 值 DG value	j 值 j value	C 值 C value
I	4	19 ^a	1.5808 ^a	5.1459 ^a	0.5369 ^a	0.3311 ^a
	7	15 ^a	0.8892 ^b	3.1936 ^a	0.3283 ^b	0.6683 ^b
Ⅱ	4	19 ^a	1.9216 ^a	7.6235 ^a	0.6526 ^a	0.2479 ^a
	7	19 ^a	1.8341 ^a	6.9005 ^a	0.6229 ^a	0.2810 ^a
Ⅲ	4	12 ^a	1.6384 ^a	1.3623 ^a	0.6593 ^a	0.2804 ^a
	7	10 ^a	0.6051 ^b	0.4557 ^b	0.2628 ^b	0.7651 ^b
IV	4	18 ^a	1.1675 ^a	4.9142 ^a	0.4039 ^a	0.5252 ^a
	7	16 ^a	0.7837 ^a	4.1646 ^a	0.2827 ^a	0.7052 ^a
V	4	15	1.4754	3.2124	0.5448	0.3401
	7	—	—	—	—	—

表 4 不同土地利用方式下主要大型土壤动物类群统计

土壤动物 Soil animal	样地 Plot									
	I (%)		Ⅱ (%)		Ⅲ (%)		IV (%)		V (%)	
	4 月 April	7 月 July	4 月 April	7 月 July	4 月 April	7 月 July	4 月 April	7 月 July	4 月 April	
动物类群 Communities										
鞘翅目 Coleoptera	5.00	6.50	13.90	11.11	5.88	57.14	22.86	50.50		2.16
鞘翅目(幼虫) Coleoptera	13.13	11.96	18.72	4.61	15.97	0	7.62	0		2.60
鳞翅目(幼虫) Lopidoptera	45.00	10.87	2.67	10.57	0.84	0	2.86	4.82		6.06
蜘蛛目 Araneae	6.25	26.09	34.76	2.98	10.92	28.57	36.19	22.89		2.16
蚯蚓类 Oligochaeta	13.13	0	6.95	6.23	54.62	0	4.76	0		15.15
膜翅目 Hymenoptera	0	2.17	3.21	26.02	0	0	0	0		0.43
倍足类 Diplopoda	2.5	17.39	3.74	1.63	0	0	0	0		0
双尾目 Diplura	0	0	0	4.07	0.84	7.14	0	13.25		0
双翅目(幼虫) Diptera	6.88	9.79	6.95	23.31	0	0	2.86	0		1.30
腹足 Gastropoda 类	4.38	4.35	0	5.42	4.20	0	21.90	1.20		70.13
其它 Others	3.73	10.88	9.10	4.05	6.73	7.15	0.95	7.34		0

表 2 土壤动物多样性几个重要参数比较

参数 Index	样地 Plots				
	I	Ⅱ	Ⅲ	IV	V
丰富度 Abundance	22 ^a	24 ^b	14 ^c	21 ^a	15 ^{ac}
H 值 H value	1.2935 ^a	2.0211 ^b	1.1910 ^a	1.0591 ^a	1.4756 ^{ab}
DG 值 DG value	8.8242 ^a	15.3009 ^b	1.8738 ^c	8.4070 ^a	2.8729 ^a
j 值 j value	0.4185 ^a	0.6360 ^b	0.4513 ^{ab}	0.3479 ^a	0.5448 ^{ab}
C 值 C value	0.4863 ^{ab}	0.2500 ^a	0.5143 ^{ab}	0.6008 ^b	0.3402 ^{ab}

小写字母表示差异显著性,相同字母差异不显著,不同字母差异显著($p<0.05$) Small letters denote statistical significance, same letters indicate no significant differences ($p<0.05$);下同 the same below

3.3.2 中小型节肢动物 各样地的中小型节肢动物均以蜱螨目和弹尾目为主,且两类的捕获量之和均占该样地中小型动物捕获量的 70%以上(表 5),是该类动物中最为重要的两个类群。黑杨-苔草地的蜱螨目数量最多,所占比例也最大,油菜-棉花+水稻地的蜱螨目数量最少;稻田的弹尾目数量在 5 样地中最多,油菜-棉花+水稻地的数量最少。蜱螨目的数量在黑杨-苔草地、黑杨-苔草-菜地和稻田并无显著性差异,而弹尾目数量则是水稻田显著高于黑杨-苔草地和黑杨-苔草-菜地。除了油菜-棉花+水稻旱作地和湖滩地之外,其它 3 样地 4 月份蜱螨目数量均显著高于 7 月份;弹尾目的数量在稻田 4 月份显著高于 7 月份,油菜-棉花+水稻地却是 7 月份显著高于 4 月份,其它样地无显著性差异。

表 5 不同土地利用方式下蜱螨目和弹尾目数量和百分比
Table 5 Individuals and percentage of Acarina and Collembola in various land utilization

样地 Plot	月份 Month	蜱螨目 Acarina		弹尾目 Collembola	
		数量 Individuals	比例 Percentage (%)	数量 Number	比例 Percentage (%)
I	4	139a	82.25	16a	9.47
	7	46b	75.41	19.67	
	合计 total	185a	80.43	28a	12.17
II	4	132a	76.74	16a	9.30
	7	19b	27.54	7a	10.14
	合计 total	151a	62.66	23a	9.54
III	4	4a	66.67	1a	16.67
	7	14a	41.18	13b	38.24
	合计 total	18b	45.00	14a	35.00
IV	4	87a	47.54	75a	40.98
	7	10b	29.41	2b	5.88
	合计 total	97a	44.70	77b	35.48
V	4	72	78.26	8	8.70

3.3.3 中小型湿生动物 中小型湿生动物主要包括线虫、线蚓和挠足类等,线虫是土壤动物中一个庞大的类群,也是湿漏斗集虫法中数量最多的一类,5 样地共捕获线虫 4030 头(表 6),占总捕获量的 64.15%,占中小型湿生动物捕获量的 91.03%。线虫数量最多的在水稻田,其数量显著高于黑杨-苔草-菜地和油菜-棉花-水稻地,而与黑杨-苔草地无显著差异。线虫数量在 4 月份和 7 月份无显著差异,仅在黑杨-苔草地和油菜-棉花-水稻地 7 月份的数量显著高于 4 月份。

3.4 土壤动物各样地间的相似性

相似性系数 S_1 反映的是群落物种的相似性, S_2 反映的是群落间种群组成相似性。从表 7 可以看出,5 样地土壤动物群落物种相似性以 I 号样地(黑杨-苔草地)和 II 号样地(黑杨-苔草-菜地)最高($S_1=0.8261$),这两个样地均为退田还湖区域,土地利用方式均以林地为主,但这两个样地群落组成相似性却不是最高($S_2=0.7253$),可能是由于前者每年汛期淹水,从而导致物种组成差异较大;两个单退垅(黑杨-苔草-菜地和油菜-棉花+水稻地)之间物种相似度也比较高($S_1=0.7778$),但是种群组成相似性却几乎是最低($S_2=0.6521$),虽然同为单退垅,但两地的土地利用方式却有很大不同。黑杨-苔草-菜地主要种植杨树和蔬菜,近年仅有少量低洼部分形成内涝外,未被水淹没,而油菜-棉花+水稻地由于淹水导致土质过沙,所以造成两地差异;IV 号样地(水稻田)和 V 号样地(湖滩地)土地利用方式差别较大,相似性最低($S_1=0.6111$; $S_2=0.6391$)。可见土壤动物群落结构的相似性与土地利用方式和生境状况有关。

4 讨论

土壤动物作为生态系统物质循环中的重要分解者,在生态系统中起着重要的作用^[21],土壤动物生物多样性的研究对于整个生态系统的研究有着重要的意义,是生态环境评价的重要指标。

表 6 不同土地利用方式下土壤线虫数量统计
Table 6 Statistics of the Nematode individuals in various land utilization

样地 Plot	4 月 April	7 月 July	合计 Total
I	364a	680b	1044ac
II	295a	426a	721a
III	100a	329b	429b
IV	739a	735a	1474c
V	362	—	362ac
合计 Total	1860	2170	4030

表 7 不同土地利用方式下土壤动物群落的相似性系数
Table 7 Similarity coefficient of soil animal community in various land utilization

样地 Plots	I	II	III	IV	V
S_2	I	0.8261	0.7778	0.7442	0.7568
	II	0.7253	0.7368	0.7556	0.7179
	III	0.8160	0.6521	0.7429	0.7586
	IV	0.8238	0.6577	0.8648	0.6111
	V	0.7149	0.6857	0.6589	0.6391
S_1					

土地利用方式是影响一个地区土壤动物生物多样性的的重要因素之一^[22],实施退田还湖工程,改变了原有的土地利用方式,也改变了一个地区生态环境的人为干扰程度,而这些都直接影响着土壤动物的群落结构和生物多样性。一般来说,人为干扰程度高的生境,土壤动物的密度和生物多样性均较低^[22,23],土壤动物群落的多样性随植被的恢复而逐渐提高^[13]。张知彬等^[24]、肖治术等^[25]认为:适度干扰有利小型哺乳动物多样性的提高。黑杨-苔草-菜地虽为单退垸,但土地利用方式以林地为主,植被覆盖较好,且生境情况复杂,林地中间或有菜地,存在适度干扰。因此,不论物种丰富度(S)、多样性系数(H)还是种群-密度系数(DG)均最高,密度-类群指数是基于各类群在群落中都有同等的独立性,宜在不同群落间进行同类群比较的假设,故采用密度-类群指数能较合理的反映土壤动物群落多样性的情况^[13,14,26]。黑杨-苔草地是典型双退垸,其物种丰富度和土壤动物个体密度均较高,但是其多样性情况(DG 值)却明显差于黑杨-苔草-菜地,主要是因为黑杨-苔草地位于长江干道旁,每年汛期都会不同程度淹水,致使土壤动物多样性受到一定影响;湖滩地只取样1次,与同期其他几个样地的多样性情况相比,虽然土壤动物密度较高,但由于生境情况单一,物种丰富度较低,在该样地所捕获的土壤动物中,腹足类(主要是钉螺 *Oncomelunia hupensis*)是仅次于线虫类的优势种群。吉林省大区域土壤动物分布规律的研究也表明,群落多样性在森林区高,农田区低^[27],与本研究的结果相似。土地利用方式以林地为主的黑杨-苔草地和黑杨-苔草-菜地的土壤动物密度-类群系数(DG)高于以农田为主的稻田和油菜-棉花+水稻地。稻田土地利用方式主要为水田,油菜-棉花+水稻地主要为旱地,前者物种丰富度和种群密度均明显高于后者,但是由于前者群落组成中线虫数量过于巨大,优势种突出,导致其均匀度系数较低,用密度-类群系数(DG)比较,稻田的生物多样性情况明显好于油菜-棉花+水稻地;水稻田由于较多人为干扰以及生境情况单一等原因,形成了优势种群密度过大,物种均匀性受到影响,进而影响该样地的生物多样性情况,多样性系数 H (1.0591) 较低,但由于该地耕作层厚,土质肥沃,土壤动物数量和种类较为丰富;油菜-棉花+水稻地在2003年7月泄洪淹水,并且样点位于泄洪决堤口不远,从而导致土质过沙,严重影响了土壤动物多样性,无论物种丰富度还是土壤动物密度均为各样地最低。线虫是土壤动物在土壤质量评价中的最有价值的一个类群,它在各类样地中均为优势种群,密度高、变化平稳。在几种不同土地利用方式中,土壤水分最丰富的水田密度最大,物种优势度指数也最大,而在较为干旱的单退垸(油菜-棉花+水稻地)密度最小;大多数小节肢动物的气孔式呼吸决定了它们更适应旱地生活^[28],在水田中的密度相对较低,这与柯欣等^[28]的研究结果相似。季节的变化对不同类型土壤动物的影响不同,大型土壤动物和中小型节肢动物受季节因子影响较大,而线虫类仅在黑杨-苔草地和油菜-棉花+水稻地7月份的数量显著高于4月份,其它样地在4月份和7月份间无显著差异($p>0.05$)。季节变化对于土壤动物的影响研究还需要较长期的调查。

根据相似性系数原理^[29],样地间相似性系数都比较高(表7),尤其黑杨-苔草地和黑杨-苔草-菜地($S_1=0.8261, S_2=0.7253$),说明在土地利用方式较为接近的两个样地,土壤动物群落物种相似程度较高;相反,水稻田和湖滩地相似性系数最低($S_1=0.6111, S_2=0.6391$),究其原因,可能是因为单一的土地利用方式持续的时间较长所致。

土壤动物的生物多样性和物种丰富度随着人为干扰程度的减少而逐渐提高^[22,29]。洞庭湖区实施的退田还湖工程,由于土地利用方式的改变,人为干扰相对较少,植被群落结构较好,土壤动物群落结构比较稳定,群落均匀度提高,但由于每年季节性淹水的双退垸植被情况较单一,生境复杂性程度极低,导致某些优势种群暴发,影响土壤动物生物多样性,相比之下,实施林农间作的单退垸由于复杂的生境情况,以及适度干扰,更有利于土壤动物生物多样性的保护。由于影响土壤动物生物多样性的其他因素还很多,如气候^[30]、土壤^[31]等,还需要进一步系统的比较研究。

References:

- [1] Yin W Y. Introduction. In: Yin W Y, *et al* eds. *Soil animals of China*. Beijing: Science Press, 2000. 1~9.
- [2] Lu Y C, Wang Z Y, Luo A W, *et al*. Ecology of soil animal community in vegetable plots of suburbs along the Yangtze River in Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, **8**(1): 70~76.
- [3] Yin X Q, Li J D. Diversity of soil animals community in *Leymus chinensis* grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, **9**(2): 186~188.
- [4] Ruf A, Beck L, Dreher P, *et al*. A biological classification concept for the assessment of soil quality: "biological soil classification scheme". *Agricultural, Ecosystem and Environment*, 2003, **98**:263~271.
- [5] Jennifer D Knoepp, David C Coleman, Crossley Jr D A, *et al*. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. *Forest Ecology and Management*, 2000, **138**:357~368.
- [6] Ron G M de Geode, Lijbert Brussaard. Soil zoology: an indispensable component of intergrated ecosystem studies. *European Journal of Soil Biology*, 2002, **38**:1~6.
- [7] Huang J G. Conservation of wetland biodiversity in Dongting Lake Area and its sustainable utilization. *Chongqing Environmental Science*, 2002, **24**(6):18~20.
- [8] Li J B, Zhu X, Cai B H. Eco-agricultural patterns for disaster prevention in wetland restoration area of Dongting Lake. *Journal of Natural Disasters*, 2001, **10**(4):108~112.
- [9] Wang Z Z, Zhang Y M, Hu J L. Study of the soil animal community structure in the forest ecosystem of the area of the Yuelu Mountain in Changsha. *Journal of Natural Science of Hu'nan Normal University*, 1990, **13**(3):268~274.

- [10] Yin W Y. Sampling and extraction. In: Yin W Y, *et al* eds. *Subtropical soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1992. 76~79.
- [11] Shannon C E, Weaver W. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana, 1949.
- [12] Peet R K. The measurement of species of diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1974, **5**: 285~307.
- [13] Liao C H, Chen M Q. Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1990, **1**(1): 53~59.
- [14] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5): 549~555.
- [15] Pielou E C. *Mathematical Ecology*. New York: Wiley-Interscience, 1985.
- [16] Pielou E C. The measurement of diversity in different types of biological collection. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, **13**: 131~144.
- [17] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, **163**: 688.
- [18] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 1972, **21**: 213~251.
- [19] Whittaker R H. Vegetation of the Siskiyou Mountains Oregon and California. *Ecological Monographs*, 1969, **30**(3): 279~338.
- [20] Li Z W, Tong X L, Zhang W Q, *et al*. Diversity of soil invertebrate assemblages in the forest of Shimentai Nature Reserve, Guangdong Province. *Journal of South China Agriculture University (Natural Science Edition)*. 2004, **25**(1): 80~84.
- [21] Zhang X P. On the relation of soil animal to environmental quality. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, 1995, **11**(4): 95~99.
- [22] Baker G H. Recognising and responding to the influences of agriculture and other land-use practice on soil fauna in Australia. *Applied Soil Ecology*, 1998, **9**: 303~310.
- [23] Wardle D A, Nicholson K S, Bonner K I, *et al*. Effects of agricultural intensification on soil-associated arthropod population dynamics, community structure, diversity and temporal variability over a seven-year period. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, **31**: 1691~1706.
- [24] Zhang Z B, Meng Z B. In: Chen L Z, Wang Z W, eds. *The impact of human alteration on ecosystem diversity*. Hangzhou: Zhenjiang Science and Technology Publishing House, 1999. 131~138.
- [25] Xiao Z S, Wang Y S, Zhang Z B, *et al*. Preliminary studies on the relationships between communities of small mammals and habitat types in Dujiangyan Region, Sichuan. *Biodiversity Science*, 2002, **10**(2): 163~169.
- [26] Fu B Q, Chen W, Dong X H, *et al*. The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(2): 215~223.
- [27] Sun F, Chen P, Bu Z Y, *et al*. A preliminary study on component and ecological distribution of soil animal in Jilin province. *Acta Geographica Sinica*. 1991, **46**(3): 310~318.
- [28] Ke X, Liang W J, Yu W T, *et al*. Community structure and seasonal change of soil micro-arthropodes in the lower reaches of Liaoh River Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, **15**(4): 600~604.
- [29] Shen Y F. Community ecology of protozoa in Tianmu Mountain. In: Yin W Y, *et al* eds. *Subtropical soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1992. 25~30.
- [30] Maria Jesús Iglesias Briones, Philip Ineson, Trevor George Pearce. Effects of climate change on soil fauna; responses of enchytraeids, Diptera, larvae and tardigrades in a transplant experiment. *Applied Soil Ecology*, 1997, (6): 117~134.
- [31] Wang Z Z, Zhang Y M, Xing X J. Effect of change of soil environment on community structure of soil animal. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, **39**(6): 892~897.

参考文献:

- [1] 尹文英. 概论. 见: 尹文英, 等著. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000. 1~9.
- [2] 路有成, 王宗英, 罗爱武, 等. 安徽沿江城郊蔬菜地土壤动物群落生态学研究. 应用生态学报, 1997, **8**(1): 70~76.
- [3] 殷秀琴, 李建东. 羊草草原土壤动物群落多样性的研究. 应用生态学报, 1998, **9**(2): 186~188.
- [7] 黄金国. 洞庭湖区湿地生物多样性保护及其可持续利用. 重庆环境科学, 2002, **24**(6): 18~20.
- [8] 李景保, 朱翔, 蔡炳华. 洞庭湖退田还湖区避灾生态农业模式研究. 生态灾害学报, 2001, **10**(4): 108~112.
- [9] 王振中, 张友梅, 胡觉莲. 长沙岳麓山森林生态系统中土壤动物群落结构的研究. 湖南师范大学自然科学学报, 1990, **13**(3): 268~274.
- [10] 尹文英. 土壤动物采集方法. 见: 尹文英, 等著. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992. 76~79.
- [13] 廖崇惠, 陈茂乾. 热带人工林土壤动物群落的次生演替和发展过程研究. 应用生态学报, 1990, **1**(1): 53~59.
- [14] 廖崇惠, 李健雄, 黄海啸. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. 生态学报, 1997, **17**(5): 549~555.
- [20] 李志伟, 童晓立, 张维球, 等. 广东石门台自然保护区森林土壤无脊椎动物群落多样性. 华南农业大学学报(自然科学版). 2004, **25**(1): 80~84.
- [21] 张雪萍. 土壤动物与环境质量关系探讨. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1995, **11**(4): 95~99.
- [24] 张知彬, 孟智斌. 人类活动对暖温带落叶阔叶林区兽类多样性的影响. 见: 陈灵芝, 王祖望主编. 人类活动对生态系统多样性的影响. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1999. 131~138.
- [25] 肖治术, 王玉山, 张知彬, 等. 都江堰地区小型哺乳动物群落与生境类型关系的初步研究. 生物多样性, 2002, **10**(2): 163~169.
- [26] 傅必谦, 陈卫, 董晓辉, 等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报, 2002, **22**(2): 215~223.
- [27] 孙帆, 陈鹏, 卜照义, 等. 吉林省土壤动物组成与生态分布的初步研究. 地理学报, 1991, **46**(3): 310~318.
- [28] 柯欣, 梁文举, 宇万太, 等. 下辽河平原不同土地利用方式下土壤微节肢动物群落结构研究. 应用生态学报, 2004, **15**(4): 600~604.
- [29] 沈韞芬. 土壤原生动物群落生态. 尹文英, 等著. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992. 25~30.
- [31] 王振中, 张友梅, 邢协加. 土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究. 土壤学报, 2002, **39**(6): 892~897.