维普资讯 http://www.cqvip.com

生物多样性 2007, 15 (2):199-206
Biodiversity Science
doi: 10.1360/biodiv.060244
http: //www.biodiversity-science.net

洞庭湖湿地与农田土壤动物多样性研究

韩立亮[1,2] 王 勇[1*] 王广力[1] 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 100049)

摘要: 为探讨洞庭湖退田还湖工程的生态恢复进程, 2005年10月对洞庭湖退田还湖区3类典型生境7个样地土壤动物群落结构进行了调查, 共获土壤动物标本8,484头, 隶属于5门11纲32个动物类群。其中, 还湖湿地捕获土壤动物类群26类, 优势类群为线虫类、蜱螨目; 未还湖农田生境捕获土壤动物类群28类, 优势类群为线虫类、蜘蛛目; 原始湿地(对照)仅捕获土壤动物13类, 优势类群为腹足类。对Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀性指数(E)、Simpson优势度指数(C)、Margalef丰富度指数(D)和复杂性指数(C_j) 5个多样性指标进行分析, 结果表明: (1)与Shannon-Wiener多样性指数(H')相比, 复杂性指数(C_j)表征的土壤动物多样性更能客观地反映土壤动物分布的真实情况; (2)群落多样性与均匀度显著相关($P<0.05$), 而与其他指数关系不密切; (3)在类群数上, 还湖湿地和未还湖农田都多于对照的原始湿地, 有极显著差异($P<0.01$); 个体数量上看, 未还湖农田多于原始湿地, 存在极显著差异($P<0.01$), 还湖湿地与原始湿地相比却没有显著差异($P>0.05$)。这说明: 洞庭湖退田还湖后生态恢复较慢, 恢复效率较低。

关键词: 退田还湖, 生态恢复效率, 复杂性指数, 生物评价

Soil animal diversity of wetland and farmland in Dongting Lake region

Liliang Han[1,2], Yong Wang[1*], Guangli Wang[1], Meiwen Zhang[1], Bo Li[1]

1 *Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125
2 *Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049

Abstract: In order to evaluate the process of ecological restoration in Dongting Lake region, we surveyed the community structure and diversity of soil animals in October 2005. A total of 8,484 individuals, belonging to five phyla and 11 classes, were obtained from three typical habitat types, i.e., wetland restored from farmland, farmland, and original wetland. Twenty-six species were obtained from wetland restored from farmland, of which Nematode and Acarina accounted for 66.97%, while 28 species were collected from farmland, of which Nematode and Araneae occupied 61.79%. However, only 13 species were found in the original wetland, of which Gastropoda was the absolutely dominant group, accounting for 79.89%. The results analyzed using diversity indices (H', E, C, D, C_j) indicated that: (1) Complexity index (C_j) is manifested better than H' in representing the complexity and the diversity of animal communities; (2) Community diversity index (H'), had a closer relationship with evenness index (E) ($P<0.05$); (3) Wetland restored from farmland and the farmland were richer in soil animal taxa than the original wetland ($P<0.01$). In terms of soil animal individuals, there were far more in the farmland than in the original wetland ($P<0.01$), whereas no significant difference ($P>0.05$) was found between the wetland restored from farmland and in the original wetland. The results indicated that the ecological restoration process in Dongting Lake region was fairly slow and inefficient.

Key words: return farmland to lake, ecological restoration, complexity index, biological assessment

随着生态学研究的日趋深入, 土壤动物在生态系统中的作用日趋显著, 国内外学者对于土壤动物多样性及其功能均开展了较为广泛的研究(Simone & Pierre, 1999; 张雪萍等, 1999; Johanne & Patrick,

收稿日期: 2006-10-23; 接受日期: 2007-01-21
基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-SW-415)
* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wangy@isa.ac.cn

维普资讯 http://www.cqvip.com

2002; Thomas *et al.*, 2004; 徐国良等, 2006)。我国对土壤动物群落多样性的研究主要集中在森林、草地以及农业生态系统, 对湿地土壤动物群落多样性的研究则鲜有报道。

洞庭湖是我国第二大淡水湖, 动植物资源十分丰富, 是我国的重要湿地资源。但是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, 生态环境遭到破坏, 生物多样性面临严重威胁(庄大昌等, 2002; 张建波和田琪, 2005)。洞庭湖区实施退田还湖生态工程后, 湿地生态系统的恢复已引起了广泛的关注(王克林等, 1998; 张美文等, 2003; 彭友林等, 2005; 张文菊等, 2005; 杨忠芳等, 2006), 但对土壤动物多样性的研究少见报道。本文以洞庭湖退田还湖区湿地和农田为基础, 研究了3种生境下7个典型样地中土壤动物多样性, 以了解洞庭湖湿地不同利用类型土地间土壤动物多样性的差异, 为洞庭湖湿地恢复提供生物学基础资料。

1 研究区自然概况

洞庭湖区位于湖南北部, 长江南岸, 地理位置为28°30′–30°20′N, 111°40′–113°10′E, 处于中亚热带向北亚热带过渡的地带, 气候温暖湿润, 四季分明, 年平均气温16.4–17.0℃, 年平均降水量1,200–1,550 mm, 4–6月雨量占全年的50%, 年平均蒸发量1,150–1,500 mm。20世纪90年代湖南省政府提出"平垸行洪, 退田还湖, 移民建镇"的治水方略, 对161个堤垸实施退田还湖, 形成了现在单退垸(退人不退耕)、双退垸(人、耕双退)和确保垸(保护区)的格局(王广力等, 2005)。

2 研究方法

2.1 样地设置

根据洞庭湖区湿地分布和农田利用现状, 选择3类典型生境:原始湿地(湖滩)、退田还湖湿地、未还湖农田, 5个较有代表性的地区, 用GPS测量各样地的海拔和经纬度, 在此基础上抽取7个典型的样地(表1)。

2.2 取样方法

2005年10月对上述7个样地土壤动物群落结构进行调查。每样地随机选取3个样点, 分0–5 cm、5–10 cm、10–15 cm和15–20 cm 4个层次取样, 每层用定容环刀(100 cm^3和25 cm^3)取土, 土样置于Tullgren漏斗和Baermann漏斗分离提取中小型土壤动物。

大型土壤动物也采取3点取样, 样方大小为50 cm×50 cm, 以5 cm为一层取两层, 在附近于地势平坦处, 手拣分离大型土壤动物, 用75%的酒精固定, 带回实验室。

收集的所有土壤动物在实验室内进行数量统计、分类鉴定, 昆虫鉴定至目(尹文英, 1992, 1998), 其他动物以类群表示。

2.3 数据处理

土壤动物的多度按以下标准划分: 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。

采用以下几个参数来分析土壤动物群落多样性:

Shannon-Wiener多样性指数(Shannon & Weaver, 1949):

$$H'=-\Sigma P_i \ln P_i$$

Pielou均匀性指数(Pielou, 1985):

$$E=H'/\ln S$$

Simpson优势度指数(Simpson, 1949):

$$C=\Sigma(n_i/N)^2$$

Margalef丰富度指数(马克平, 1994):

$$D=(S-1)/\ln N$$

复杂性指数(傅必谦等, 2002):

$$C_j=H'_j\times r_j=H'_{jmax}\times e_j\times r_j$$

其中H'_j、H'_{jmax}和e_j分别为群落j的Shannon-Wiener多样性指数、最大多样性和均匀度; r_j为校正系数, 代表群落间相对丰度对群落j复杂性的影响。

统计分析用方差分析和t检验, 在EXCEL 2003和SPSS 11.5上进行。

3 结果

3.1 群落组成和数量

共取样方210个, 捕获土壤动物8,484头, 分属于5门11纲32个动物类群(昆虫成虫和幼虫分别计算个体数目)(表2)。其中还湖湿地捕获土壤动物类群26个, 优势类群为线虫类、蜱螨目, 占总捕获量的66.97%; 常见类群为膜翅目、倍足类、鞘翅目、蜘蛛目、弹尾目、腹足类、蚯蚓类、鳞翅目幼虫, 占总捕获量的27.24%; 其他16类为稀有类群, 占总捕获量

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1　研究区域样地概况
Table 1　Natural situation of the research plots

		地点 Place	地理位置 Location	海拔 Elevation (m)	主要植物 Dominant plant species	备注 Note
原始湿地 Original wetland	I	岳阳县春风乡 Chunfeng, Yueyang County	29°15′N, 113°04′E	27	苔草*Carex* spp. 莎草*Cyperus* spp.	样地每年5–10月汛期被淹, 10月份退水 The flood season of the plot is from May to October
退田还湖湿地 Wetland restored from farmland	II	华容县小集成 Xiaojicheng, Huarong County	29°41′N, 112°57′E	35	荻属*Triarrhena* spp.	每年汛期被淹1–2个月(6–7月左右) The flood season lasts two months every year (June and July)
	III	汉寿县围堤湖 Weidihu Polder, Hanshou County	28°57′N, 111°58′E	25	黑杨*Populus nigra* 苔草*Carex* spp. 艾蒿*Artemisia vulgaris*	林地, 主要种植南方型黑杨, 汛期形成短期内涝 Woodland, the main species are southern *Populus nigra*. In the flood season it was flooded several days every year.
	IV	华容县小集成 Xiaojicheng, Huarong County	29°41′N, 112°57′E	35	黑杨*Populus nigra* 苔草*Carex* spp. 水蓼*Polygonum hydropier*	退田还湖后, 每年汛期被淹1–2个月(6–7月左右) After the project that return farmland to lake, it was flooded 1–2 months in the flood season (June and July).
未还湖农田 Farmland	V	澧县澧南垸 Linan Polder, Li County	29°36′N, 111°48′E	33	油菜*Brassica campestris* 棉花*Gossypium herbaceum* 水稻 *Oryza sativa*	退田还湖后2003年7月因泄洪被淹 Because of the project that return farmland to lake, it was flooded in July in 2003.
	VI	岳阳县春风乡 Chunfeng, Yueyang County	29°15′N, 113°05′E	24	水稻 *Oryza sativa*	耕作期为每年4–10月, 其他时间处于稻田休闲期 The farming season is from April to October. Other time it was left unused.
	VII	汉寿县围堤湖 Weidihu Polder, Hanshou County	28°57′N, 111°58′E	25	蔬菜 Vegetable	汛期形成短期内涝 In the flood season it was flooded several days every year.

的5.79%。未还湖农田生境有土壤动物类群28个, 优势类群为线虫类、蜘蛛目, 占总捕获量的61.79%; 常见类群有膜翅目、蜱螨目、鞘翅目、腹足类、弹尾目、鞘翅目幼虫、同翅目、等足目, 占总捕获量的33.38%; 其他18类为稀有类群, 占总捕获量的4.83%。对照原始湿地(湖滩)仅捕获土壤动物13类, 优势类群为腹足类, 占总捕获量的79.89%, 常见类群为蜱螨目、线虫类和弹尾目, 占捕获总量的18.19%, 其余9类为稀有类群, 占捕获总数的1.92%。

3类生境中共捕获大型土壤动物3,535头, 优势类群为腹足类、膜翅目和蜘蛛目, 占捕获总量的72.53%。还湖湿地生境中膜翅目、倍足类、鞘翅目和蜘蛛目为优势类群, 占总捕获量的67.63%; 未还湖农田生境中优势类群为鞘翅目、膜翅目和蜘蛛目, 占农田捕获量的73.29%; 原始湿地中腹足类为绝对优势类群, 占该样地捕获总量的98.24% (表3)。各样地具体捕获情况如表3所示。

中小型节肢动物以蜱螨目和弹尾目为主, 在每个样地中它们的捕获量占捕获总量的75%以上, 是中小型节肢动物最为重要的两个类群。还湖湿地生境中优势类群为膜翅目、蜱螨目和鞘翅目, 占捕获总量的83.80%; 未还湖农田生境中弹尾目、蜱螨目和鞘翅目为优势类群, 占农田捕获总量的87.37%; 原始湿地中优势类群为弹尾目和蜱螨目, 占该样地捕获总量的96.55%(表3)。各样地间蜱螨目、弹尾目数量差异极显著($P<0.01$)。各样地具体分布情况如表3所示。

中小型湿生动物主要是线虫类和线蚓类, 其中线虫类为优势类群, 占湿生中小型动物捕获量的98.48%。II号样地数量为7.85头/cm^3, 明显高于其他各样地(中小型湿生动物数量/取样体积)。IV号样地最少, 为0.37头/cm^3。还湖湿地数量(2.24头/cm^3)远远超过农田(0.97头/cm^3), 但并未达到显著水平($\chi^2=0.6670$, $P>0.05$)。

3.2　多样性分析

从捕获量上看, 退田还湖湿地中土壤动物个体

维普资讯 http://www.cqvip.com

表2 洞庭湖区不同样地土壤动物类群数量组成

Table 2 Composition of soil animal communities in various plots in Dongting Lake region

	原始湿地 Original wetland		退田还湖湿地 Wetland restored from farmland					未还湖农田 Farmland					总数 Total	频度 Frequency (%)
	I	频度 Frequency (%)	II	III	IV	总计 Total	频度 Frequency (%)	V	VI	VII	总计 Total	频度 Frequency (%)		
半翅目 Hemiptera	—	—	—	11	—	11	0.23	5	1	—	6	0.30	17	0.20
倍足类 Diplopoda	—	—	223	13	11	247	5.06	4	—	1	5	0.25	252	2.97
唇足类 Chilopoda	—	—	8	8	—	16	0.33	1	—	7	8	0.40	24	0.28
等翅目 Isoptera	2	0.12	—	—	—	—	—	1	—	—	1	0.05	3	0.04
等足目 Isopoda	—	—	12	25	—	37	0.76	—	—	21	21	1.06	58	0.68
蜚蠊目 Blattoptera	—	—	1	—	—	1	0.02	—	—	—	—	—	1	0.01
腹足类 Gastropoda	1,287	79.89	45	59	37	141	2.89	16	15	51	82	4.12	1,510	17.80
革翅目 Dermaptera	—	—	13	23	—	36	0.74	—	2	4	6	0.30	42	0.50
结合类 Symphyla	—	—	5	6	6	17	0.35	—	—	7	7	0.35	24	0.28
膜翅目 Hymenoptera	3	0.19	256	114	1	371	7.60	36	8	131	175	8.80	549	6.47
拟蝎目 Pseudoscorpiones	—	—	—	—	6	6	0.12	—	—	—	—	—	6	0.07
啮虫目 Corrodentia	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	0.05	1	0.01
蜱螨目 Acarina	130	8.07	371	148	59	578	11.83	92	13	62	167	8.40	875	10.31
鞘翅目 Coleoptera	4	0.25	33	145	11	189	3.87	44	5	38	87	4.37	280	3.30
蚯蚓类 Oligochaeta	—	—	17	32	15	64	1.31	1	—	16	17	0.85	81	0.95
双翅目 Diptera	—	—	1	2	—	3	0.06	8	—	—	8	0.40	11	0.13
双尾目 Diplura	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	2	0.10	2	0.02
弹尾目 Collembola	38	2.36	102	4	6	112	2.29	63	6	9	78	3.92	228	2.69
同翅目 Homoptera	1	0.06	3	2	—	5	0.10	14	10	—	24	1.21	30	0.35
涡虫类 Turbellarians	—	—	1	—	—	1	0.02	—	8	—	8	0.40	9	0.11
线虫类 Nematode	125	7.76	2,354	227	112	2,693	55.14	308	223	340	871	43.79	3,689	43.48
线蚓类 Enchytraerdae	2	0.12	1	41	—	42	0.86	—	13	—	13	0.65	57	0.67
原尾目 Protura	—	—	1	—	—	1	0.02	—	—	—	—	—	1	0.01
直翅目 Orthoptera	—	—	—	—	—	—	—	2	—	1	3	0.15	3	0.04
蜘蛛目 Araneae	11	0.68	33	94	21	148	3.03	96	233	29	358	18.00	517	6.09
少足类 Pauropoda	—	—	7	37	—	44	0.90	—	—	—	—	—	44	0.52
等翅目幼虫 Isoptera larvae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	0.05	1	0.01
膜翅目幼虫 Hymenoptera larvae	2	0.12	—	—	1	1	0.02	2	3	—	5	0.25	8	0.09
鳞翅目幼虫 Lopidoptera larvae	2	0.12	0	53	5	58	1.19	—	—	1	1	0.05	61	0.72
鞘翅目幼虫 Coleoptera larvae	4	0.25	9	10	12	31	0.63	5	23	2	30	1.51	65	0.77
双翅目幼虫 Diptera larvae	—	—	2	4	25	31	0.63	—	3	—	3	0.15	34	0.40
同翅目幼虫 Homoptera larvae	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	0.05	1	0.01
总计 Total	1,611	100.00	3,498	1,058	328	4,884	100.00	702	566	721	1,989	100.00	8,484	100.00

样地代号同表1

The plot codes are the same as in Table 1.

维普资讯 http://www.cqvip.com

表3　洞庭湖区不同样地土壤动物群落个体数量百分比组成(%)
Table 3　Soil fauna composition in different plots in Dongting Lake region (%)

	原始湿地 Original wetland	退田还湖湿地 Wetland restored from farmland				未还湖农田 Farmland			
	I	II	III	IV	总计 Total	V	VI	VII	总计 Total
大型土壤动物 Soil macrofauna									
半翅目 Hemiptera	–	–	1.85	–	0.78	2.14	0.33	–	0.71
倍足类 Diplopoda	–	34.74	2.19	7.43	17.49	1.71	–	0.33	0.59
唇足类 Chilopoda	–	1.25	1.18	–	1.13	0.43	–	1.99	0.95
等足目 Isopoda	–	1.87	4.22	–	2.62	–	–	6.64	2.48
腹足类 Gastropoda	98.24	7.01	9.95	25.00	9.99	6.84	4.89	16.94	9.69
革翅目 Deramptera	–	2.02	3.88	–	2.55	–	0.65	1.33	0.71
结合类 Symphyla	–	0.62	0.67	4.05	1.20	–	–	1.00	0.83
鳞翅目幼虫 Lopidoptera larvae	0.08	–	8.94	3.38	4.11	–	–	0.33	0.12
膜翅目 Hymenoptera	0.15	38.63	18.55	0.68	26.27	15.38	2.61	43.52	20.69
拟蝎目 Pseudoscorpiones	–	–	–	4.05	0.42	–	–	–	–
鞘翅目 Coleoptera	0.31	4.05	24.45	5.41	13.39	17.95	0.65	11.63	10.28
鞘翅目幼虫 Coleoptera larvae	–	1.25	1.52	8.11	2.20	2.14	7.17	0.66	3.55
蚯蚓类 Oligochaeta	–	2.18	5.40	10.14	4.53	0.43	–	5.32	2.01
双翅目 Diptera	–	–	0.34	–	0.21	3.42	–	–	0.95
双翅目幼虫 Diptera larvae	–	0.31	0.67	16.89	2.20	–	0.98	–	0.35
同翅目 Homoptera	0.08	0.47	0.34	–	0.35	5.98	3.26	–	2.84
涡虫类 Turbellarians	–	0.16	–	–	0.07	–	2.61	–	0.95
蜘蛛目 Araneae	0.84	5.30	15.85	14.19	10.48	41.03	75.90	9.63	42.32
中小型节肢动物 Soil meso- and micro-arthropod									
唇足类 Chilopoda	–	–	0.51	–	1.18	–	–	1.25	2.11
弹尾目 Collembola	21.84	20.36	2.03	8.82	8.25	39.38	26.09	11.25	20.53
等翅目 Isoptera	1.15	–	–	–	–	–	–	–	–
等翅目幼虫 Isoptera larvae	–	–	–	–	–	–	–	1.25	0.26
结合类 Symphyla	–	0.20	1.02	–	1.25	–	–	5.00	1.84
膜翅目 Hymenoptera	0.57	1.60	2.03	–	27.32	–	–	–	–
蜱螨目 Acarina	74.71	74.05	75.13	86.76	42.56	57.5	56.52	77.5	43.95
鞘翅目 Coleoptera	–	1.40	–	4.41	13.92	1.25	13.04	3.75	22.89
鞘翅目幼虫 Coleoptera larvae	1.15	0.20	0.51	–	2.28	–	4.35	–	7.89
双尾目 Diplura	–	–	–	–	–	1.25	–	–	0.53
少足类 Pauropoda	–	1.40	18.78	–	3.24	–	–	–	–

样地代号同表1
The plot codes are the same as in Table 1.

数量最多，其次是未还湖农田，原始湿地最少。还湖湿地Shannon-Wiener指数(H')为1.8440，未还湖农田则为1.9228，在类群数上湿地也略低于农田(表4)。据傅必谦等(2002)提出的复杂性指数: $C_j = H'_j \times r_j = H'_{jmax} \times e_j \times r_j$，由此计算本次调查7个样地的校正系数$r_j$值，校正后原始湿地、还湖湿地、未还湖农

维普资讯 http://www.cqvip.com

田的C_j值分别是0.6934、1.9954和1.6618。校正后的复杂性指数可以看出总体上还湖湿地的多样性略高于未还湖农田(1.9954>1.6618)(表4)。在退田还湖湿地生境各样地间，Ⅱ号样地的类群数和个体数均为最高，但Shannon-Wiener指数(H')(1.2576)仅高于Ⅰ号样地(0.7825)。相反，物种数、个体数都较低的Ⅲ号样地和Ⅳ号样地Shannon-Wiener指数(H')却分别高达2.4426和2.1026，为7个样地中最高值。Ⅲ、Ⅳ号样地物种数和个体数都不高但其分布比较均匀，物种优势度低(0.1147和0.1783)，均匀度相对较高(0.8023和0.7764)。在农田生境中也类似，但其样地均匀度、个体数和物种数上的差异在一定程度上纠正了多样性指数，减小了H'间的差异显著性。不同群落多样性变化与均匀度变化呈现显著相关(R=0.9821, P<0.05)，而与其他指数关系不密切。

各生境土壤动物类群、数量比较表明：3生境土壤动物在类群上相比都有显著性差异，其中还湖湿地与原始湿地差异达到极显著水平(t=3.5546, P=0.0026)；未还湖农田与原始湿地差异显著(t=2.6554, P=0.0120)；还湖湿地与未还湖农田差异显著(t=2.1303, P=0.0245)。在数量上表现出的差异性与类群有不同，对3样地调查结果作单因素方差分析：还湖湿地与原始湿地之间差异没有达到显著水平(F=0.0002, P=0.9895)；未还湖农田与原始湿地差异极显著(F=17.3357, P=0.0019)；还湖湿地与未还湖农田之间差异也没有达到显著水平(F=1.5552, P=0.2303)。

4 讨论

从农田向原始湿地演替的过程中，土壤动物类群数和个体数量都在趋于减少，但还湖湿地作为中间演替阶段其生物多样性却出现了高于演替起点的状况，原因在于：(1)还湖湿地植被覆盖率较高，系统结构相对较复杂(傅必谦等, 2002)，地面具有丰富的植被凋落物，土壤动物有丰富的食物来源和稳定的生存环境。农田中主要为农作物以及农田杂草，系统结构比较简单，土壤动物生存环境有较高的波动性；植被凋落物的质量也在一定程度上影响土壤动物的数量和分布（张雪萍等，1999；徐国良等，2006)；(2)土壤理化性质改变。农田连年耕作导致土壤肥力下降，耕作年限越长，土壤有机质、全N、全P损失就越多（林英华等，2004；徐国良等，2006)，土壤肥力下降进而导致土壤动物数量的下降。而且农田多大量使用化肥农药，也在一定程度上对土壤动物数量的增长起到了抑制作用；(3)人为干扰因素不同。湿地主要受气候因素影响，随降雨量多少周

表4 洞庭湖区不同样地土壤动物多样性指数
Table 4 Diversity indices of soil animal in different plots in Dongting Lake region

样地 Plot		类群 Number of taxa(S)	个体数 Number of individuals (inds./cm^3)	Shannon-Wiener diversity index (H')	均匀度 Evenness index (E)	Simpson index (C)	丰富度 Richness (D)	校正系数 Correction coefficient	复杂性指数 Complexity index(C_j)
原始湿地 Original wetland	Ⅰ	13	0.50	0.7825	0.3051	0.6513	1.6250	0.6494	0.5081
退田还湖湿地 Wetland restored from farmland	Ⅱ	22	4.77	1.2576	0.4069	0.4749	2.5735	1.1579	1.4562
	Ⅲ	21	0.78	2.4426	0.8023	0.1147	2.8719	1.1415	2.7882
	Ⅳ	15	0.32	2.1026	0.7764	0.1783	2.4167	0.7005	1.4728
	总计	26	1.59	1.8440	0.5595	0.2553	2.9617	1.2034	1.9954
未还湖农田 Farmland	Ⅴ	20	0.78	1.8539	0.6188	0.2442	2.8990	1.0791	2.0006
	Ⅵ	15	0.44	1.5006	0.5541	0.3290	2.2087	0.8282	1.2427
	Ⅶ	17	0.70	1.7608	0.6215	0.2739	2.4314	1.0853	1.9109
	总计	28	0.64	1.9228	0.5570	0.2445	3.5548	0.7966	1.6618

样地代号同表1
The plot codes are the same as in Table 1.

维普资讯 http://www.cqvip.com

期性受到水淹, 除此之外基本不受其他人为干扰。农田则周而复始的耕作, 受人类频繁干扰。

也有一些农田样地的土壤动物多样性要高于湿地生境的某些样地。究其原因可能为: 土壤中可能留有农作物及杂草的种子或其他繁殖体, 增加了土壤空间异质性, 为某些土壤动物提供了较适宜的生存环境, 提高了物种的多样性; 其次农田土壤表层动植物残体和腐殖质丰富, 给土壤动物繁殖提供了一个相对稳定和食物来源较为丰富的生境。

由于土壤动物的分类很困难, 我国土壤动物多样性研究主要是以目为主要分类单元的类群多样性分析(刘新民和杨劼, 2005)。分析涉及的土壤动物类群生态功能各异, 彼此之间的关系复杂多样, 个体数量存在很大差异。采用一般的多样性指数计算(如Shannon-Wiener指数)时, 组成简单、各类群数量较低的群落反而常常可能比组成丰富、各类群数量较高的群落具有更高的计算结果(如Ⅳ号样地小集成杨树林)。Anderson(1975)也认为: Shannon-Wiener多样性指数增加了群落内种类相对多度的信息反而不能正确反映土壤动物群落的多样性。它首先假定群落内部各物种之间是相互竞争的, 此多则彼少。在群落中只要各个物种的数量相等, 不管其数量如何地少, 这个群落就可以获得最大的多样性指数。因此, 多样性指数只能用来测度分类范围不大, 生态功能比较接近的种类所组成的群落, 只宜于说明群落本身多样性可能达到什么程度, 而不能作群落间的比较。

在廖崇惠等(1997)提出用密度—类群指数 $DG=(g/G)\sum[(D_iC_i)/D_{max}C]$ 评价不同土壤动物群落的多样性差异后, 傅必谦等(2002)又另寻新方法提出利用r_j计算C_j值的方法来比较不同土壤动物群落的复杂性, 使之能同时体现群落的类群数、各类群在群落中的相对多度以及在群落间的相对丰度3个特征。校正后的数值既反映出各样地群落丰富的个体数量对于群落多样性的影响, 又使相对个体丰盛度的重要性与类群丰富度和均匀度大致相当。对比本研究中的H'和C_j可以看出, C_j比H'更加合理, 通过r_j修正后的C_j校正了类群个体数量给多样性分析带来的影响, 使群落多样性以及复杂性展现的更加合理, 能使土壤动物群落的多样性和复杂性情况在土壤动物分类阶元较大的情况下依然可以得到很好的展示。

校正后原始湿地、还湖湿地以及未还湖农田3生境的多样性指标均没有显著差异($t_{original\ wetland,\ 湿地}$=1.3837; $t_{original\ wetland,\ 农田}$=1.3380; $t_{湿地,\ 农田}$=0.9891, df = 6, P>0.05)。由此也可以看出, 洞庭湖退田还湖工程实施9年来湿地生态系统变化不大, 仍处于恢复的初期。

各生境土壤动物种类、数量比较结果表明: 在类群上,还湖湿地和未还湖农田都与作为对照的原始湿地有极显著差异(P<0.01), 而且它们两者之间差异也达到显著水平(P<0.05)。不管是还湖湿地还是未还湖农田都在人为作用下向原始湿地这个顶级群落方向演替, 而以恢复湿地和保护生态为目的的退田还湖工程的发展方向也正在于此。原始湿地作为一个顶级生态群落由于受到周期性淹水, 物种数目相对较少, 但却维持较高的稳定性。从类群数差异显著性分析结果可以看出: 还湖湿地虽然与作为顶级群落的原始湿地相比还存在极显著差异, 但与恢复起点的农田生境比较两者之间也已经达到显著水平, 说明还湖湿地已经开始向顶级群落结构方向演替, 但仍处于演替初期。从个体数量上看, 未还湖农田与原始湿地相比存在极显著差异(P<0.01), 还湖湿地与原始湿地相比却没有显著差异 (P>0.05), 而且两者数量本身之间也无显著差异(P>0.05)。

不同类型生境中土壤动物群落的结构以及多样性均有不同的表现, 这反映了土壤动物对生境类型的响应。可见, 将土壤动物研究与洞庭湖退田还湖生态评价相结合, 作为评定洞庭湖退田还湖工程生态恢复效率的一项参考指标是很有意义的(Pankhurst *et al.*, 1995; Porazinska *et al.*, 1999)。

参考文献

Anderson JM (1975) The enigna of soil animals diversity. In: *Progress in Soil Zoology*, pp. 51–58. Academic Press, Prague.

Fu BQ (傅必谦), Chen W (陈卫), Dong XH (董晓晖), Xing ZM (邢忠民), Gao W (高武) (2002) The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 215–223. (in Chinese with English abstract)

Johanne N, Patrick L (2002) Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology*, **38**, 297–300.

Liao CH (廖崇惠), Li JX (李健雄), Huang HT (黄海涛) (1997) Soil animal community diversity in the forest of

维普资讯 http://www.cqvip.com

the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**, 549–555. (in Chinese with English abstract)

Lin YH (林英华), Zhang FD (张夫道), Yang XY (杨学云), Bao DJ (宝德俊), Shi XJ (石孝均), Wang SJ (王胜佳), Wang BR (王伯仁) (2004) Study on the relationship between agricultural soil fauna and soil physicochemical properties. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), **37**, 871–877. (in Chinese with English abstract)

Liu XM (刘新民), Yang J (杨劼) (2005) Comparison study for biodiversity of macro fauna community in arid and semi-arid region. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **25**, 216–222. (in Chinese with English abstract)

Ma KP (马克平) (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (1). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**,162–168. (in Chinese)

Pankhurst CE, Hawke BG, McDonald HJ (1995)Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **35**,1015–1028.

Peng YL (彭友林), Chen JZ (陈建忠), Tian ZC (田宗城), Wang Y (王云) (2005) Research on the wild pasture resource in the wet land of Dongting Lake. *Pratacultural Science* (草业科学), **22**(7), 34–36. (in Chinese with English abstract)

Pielou EC (1985) *Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience, New York.

Porazinska DL, Duncan LW, Mcsorley R (1999) Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Applied Soil Ecology*, **13**, 69–86.

Shannon CE, Weaver W (1949)The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbanna.

Simone D, Pierre T (1999) Long-term effects of mineral amendments on soil fauna and humus in an acid beech forest floor. *Forest Ecology and Management*, **118**, 245–252.

Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature*, **163**, 688.

Thomas F, Folgarait P, Lavelle P, Rossi J (2004) Soil macrofaunal communities along an abandoned rice field chronosequence in Northern Argentina. *Applied Soil Ecology*, **27**, 23–29.

Wang GL (王广力), Wang Y (王勇), Han LL (韩立亮), Zhang MW (张美文), Li B (李波) (2005) Soil animal communities of variously utilized in the Dongting Lake region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **25**, 2629–2636. (in Chinese with English abstract)

Wang KL (王克林), Zhang CH (章春华), Yi AJ (易爱军) (1998) Formation mechanism of flooding and water logging disasters in region of Dongting Lake and their ecological reducing strategies and watershed management. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **9**, 561–568. (in Chinese with English abstract)

Xu GL (徐国良), Zhou GY (周国逸), Mo JM (莫江明) (2006) Changes of soil fauna during forest restoration in subtropical China. *Zoological Research* (动物学研究), **27**, 23–28. (in Chinese with English abstract)

Zhuang DC (庄大昌), Ding DS (丁登山), Dong MH (董明辉), Zhao Q (赵清), Liu YX (刘永学) (2002) A wetland ecological construction study on reclaiming a lake from an area in Dongting Lake Plain. *World Regional Studies* (世界地理研究), **11**, 107–112. (in Chinese with English abstract)

Yang ZF (杨忠芳), Yu T (余涛), Tang JR (唐金荣), Zhu CJ (朱翠娟), Zong SF (宗思锋), Zhang J (张娇), Zhang JX (张建新), Shen ZJ (申志军) (2006) A study of the characteristics and mechanisms of soil acidification in the Dongting Lake region in Hunan Province, South China. *Earth Science Frontiers* (地学前缘), **13**, 105–112. (in Chinese with English abstract)

Yin WY (尹文英) (1992) *Subtropical Soil Animal of China* (中国亚热带土壤动物). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Yin WY (尹文英) (1998) *Pictorial Keys to Soil Animals of China* (中国土壤动物检索图鉴). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Zhang JB (张建波), Tian Q (田琪) (2005) Study on the present state and countermeasures of ecological conservation in Dongting Lake wetland. *Water Resources Protection* (水资源保护), **22**, 52–55. (in Chinese with English abstract)

Zhang MW (张美文), Wang KR (王凯荣), Wang Y (王勇), Li B (李波) (2003) Species diversity of rodent communities in the Dongting Lake area of China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**, 2260–2270. (in Chinese with English abstract)

Zhang WJ (张文菊), Peng PQ (彭佩钦), Tong CL (童成立) (2005) Characteristics of distribution and composition of organic carbon in Dongting Lake floodplain. *Environmental Science* (环境科学), **26** (3), 56–60. (in Chinese with English abstract)

Zhang XP (张雪萍), Li CY (李春艳), Yin XQ (殷秀琴), Chen P (陈鹏) (1999) Relation between soil animal and nutrients in the differently used forest lands. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), **5**, 26–31. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 闫文杰)