

地埂植物篱对大型土壤动物多样性的影响

吴玉红^{1,2}, 蔡青年¹, 林超文³, 黄晶晶³, 程 序^{1,*}

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 中国环境管理干部学院, 秦皇岛 066004;
3. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066)

摘要: 为了解地埂植物篱作为农田边界对于大型土壤动物多样性的影响, 2006 年冬季和 2007 年春季对桑园、桑埂、橘园、橘埂和农田大型土壤动物群落结构进行了调查, 共获得大型土壤动物 4533 只, 隶属于 3 门、9 纲、24 类。结果表明, 不同土地利用方式大型土壤动物群落的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数均存在显著差异。无论在冬季还是在春季, 地埂植物篱桑埂和橘埂的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数均显著高于农田; 冬季桑园和橘园的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数也显著高于农田。大型土壤动物群落的个体密度和类群数在垂直分布上与土壤含水量、全 N 和有机质含量的垂直分布规律一致, 均随着土层深度的增加而递减。主成分分析表明, 桑埂、橘埂和橘园的大型土壤动物群落组成与桑园和农田存在显著差异, 桑园与农田也存在显著差异。地埂植物篱的存在对于大型土壤动物多样性保护具有重要意义。

关键词: 大型土壤动物; 群落结构; 多样性; 地埂植物篱

文章编号: 1000-0933(2009)10-5320-10 中图分类号: Q143, Q16, Q958, S154.5 文献标识码: A

Effects of terrace hedgerows on soil macrofauna diversity

WU Yu-Hong^{1,2}, CAI Qing-Nian¹, LIN Chao-Wen³, HUANG Jing-Jing³, CHENG Xu^{1,*}

1 College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 Environmental Management College of China, Qinhuangdao 066004, China

3 Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5320 ~ 5329.

Abstract: In order to understand the effects of terrace hedgerows on the soil macrofauna diversity, soil macrofauna was investigated during winter 2006 and spring 2007 in five land-use systems i. e. mulberry orchard, mulberry field margin, citrus orchard, citrus field margin and farmland. A total of 4533 soil macrofauna individuals were captured and classified into 3 phylums, 9 classes. The results showed that individual density, group number and *DG* diversity index of soil macrofauna community varied significantly with land use systems. The three indicators were significantly higher in the mulberry field margin and citrus field margin than in the farmland both in winter and spring, and higher in the mulberry orchard and citrus orchard than in the farmland in winter. The individual density and group number decreased with the increase of soil depth in five land-use systems, same trend has been found for the vertical distribution of soil water content, total N and organic matters. Principal component analysis showed that the soil macrofauna communities of mulberry field margin, citrus field margin and citrus orchard were significantly different from mulberry orchard and farmland, and the soil macrofauna community of mulberry orchard was also significantly different from farmland. The study suggests that terrace hedgerows play an important role in conserving soil macrofauna diversity.

Key Words: soil macrofauna; community structure; diversity; terrace hedgerow

基金项目: 国家 973 计划资助项目 (2006CB100206)

收稿日期: 2008-07-07; 修订日期: 2008-10-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengxu@cau.edu.cn

近年来,随着全球对生物多样性及其保护的关注,土壤动物多样性的研究已经成为土壤生态学研究的热点和前沿^[1,2]。不同土地利用方式下土壤动物多样性及其生态功能作用已引起国内外学者的广泛关注,并开展了一系列相关研究^[3~8]。国外有研究报道农田边界复杂多样的植被结构减少了温度的变化,提高了土壤节肢动物在冬季的存活率^[9]。与农田相比,农田边界明显提高了土壤节肢动物的个体数量和物种数量^[10]。地埂植物篱是复合农林业(Agroforestry)的一种形式。在我国有研究报道地埂植物篱可有效保护田埂免受冲刷,改善土壤的理化性状,提高土壤水分含量,有效拦蓄地表径流及泥沙,经济效益也比较显著^[11]。但关于地埂植物篱作为农田边界对于大型土壤动物多样性的影响迄今还未见报道。为此,2006年12月和2007年5月,对两种具有经济价值的地埂植物篱(桑埂植物篱和橘埂植物篱)、桑园、橘园和农田的大型土壤动物多样性进行调查,旨在了解地埂植物篱作为农田边界对于大型土壤动物群落结构和生物多样性的影响,为保护土壤动物多样性及促进农田生态系统健康发展提供科学依据。

1 研究方法

1.1 样地选择与设置

研究区设在四川省青神县境内(103°54' E, 29°52' N),位于四川省西南部,距成都110 km,属亚热带湿润季风气候,年平均气温为17.1℃,年平均降雨量为1095.8 mm,土壤为紫色土。样地选择桑园、桑埂、橘园、橘埂、农田5种土地利用方式。桑园主要以种植的桑树为主,伴生杂草为马唐 *Digitaria adscendens*、牛筋草 *Eleusine indica*、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*、小飞蓬 *Conyza canadensis*、婆婆纳 *Veronica didyma* 等;桑埂为种植桑树的地埂,主要植物还有马唐 *Digitaria adscendens*、苎草 *Arthraxon hispidus*、马兰 *Kalimeris indica*、毛茛 *Ranunculus japonicus*、鸭跖草 *Commelina communis* 等草本植物和少量的灌木;橘园主要以种植的橘树为主,伴生杂草为马唐 *Digitaria adscendens*、空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*、酢浆草 *Oxalis corniculata*、铁苋菜 *Acalypha australis*、猪殃殃 *Galium aparine* 等;橘埂为种植橘树的地埂,主要植物还有白茅 *Imperata cylindrica*、马唐 *Digitaria adscendens*、苎草 *Arthraxon hispidus*、苘麻 *Abutilon theophrasti*、小旋花 *Convolvulus ammannii*、泥胡菜 *Hemistepta lyrata*、附地菜 *Trigonotispeduncularis* 等草本植物和少量的灌木;农田为水田,种植制度为水稻-油菜轮作,调查时期为油菜生长期,伴生杂草为看麦娘 *Alopecurus aequalis*、牛繁缕 *Malachium aquaticum*、毛茛 *Ranunculus japonicus*、碎米荠 *Cardamine hirsuta* 等。每种土地利用方式选择3个有代表性的样地,除了地埂植物篱外,每块样地的大小不小于600 m²,地埂植物篱宽1.0 m左右,长不小于30 m,共有15个样地。

1.2 样品采集与土壤动物鉴定

于2006年12月和2007年5月,分2次对研究区的15个样地进行大型土壤动物取样,取样方法为TSBF法(热带土壤生物学和肥力计划)^[12]。在每个样地随机选择5个样点,每个样点之间的距离大于5 m。由于桑树之间的距离相对较窄,桑园和桑埂各样点选择在距树根20 cm左右;橘树之间的距离相对较宽,橘园和橘埂各样点选择在距树根30 cm左右;农田各样点选择在距油菜5 cm左右;取样面积为25 cm×25 cm,先收集样方内的凋落物,用手拣出其中的大型土壤动物,然后沿土壤剖面分0~10 cm(Ⅰ)、10~20 cm(Ⅱ)、20~30 cm(Ⅲ)3层采样,每层单独用手拣法采集大型土壤动物。凋落物层获得的大型土壤动物加到0~10 cm土层。收集到的大型土壤动物用75%的酒精杀死固定,带回室内鉴定。15个样地2次共取土样450份。土壤动物主要依据《中国亚热带土壤动物》^[13]和《中国土壤动物检索图鉴》^[14]进行分类,一般鉴定到目。其中因土壤昆虫成虫与幼虫的生态功能不同,类群数与个体数分开统计。于2006年12月在研究区的15个样地内自上而下分3层(0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm)采集每个样地土样装入铝盒,以测定土壤自然含水量,同时收集一定量土样,测定土壤pH值、全N和有机质含量。

1.3 数据处理

1.3.1 多样性指数

采用密度-类群指数 *DG* 来进行群落多样性的比较^[15],其公式为:

$$DG = (g/G) \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{imax} C)$$

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 为各群落所包含的总类群数, C_i/C 为相对次数, 即在 C 个群落中第 i 个类群出现的比率。

1.3.2 大型土壤动物群落结构组成的分析

采用 CANOCO 4.5 (Microcomputer Power, Ithaca, USA) 软件根据不同土地利用方式在冬季和春季捕获的数量均较多的 13 个土壤动物类群的个体密度 (进行 $\log(x+1)$ 转换) 对大型土壤动物群落结构组成进行主成分分析 (Principal component analysis, PCA)。

1.3.3 数据统计

采用 SAS 统计软件对 5 种土地利用方式大型土壤动物的个体密度、类群数和密度-类群指数 DG 进行单因素方差分析 (One way-ANOVA), 在数据分析前, 对个体密度进行 $\log(x+1)$ 转换, 使之符合正态分布, 获得显著性以后, 两两比较用 LSD 检验。

2 结果与分析

2.1 大型土壤动物群落组成

两次调查共获得大型土壤动物 4533 只, 分别隶属于 3 门、9 纲、24 类 (表 1)。其中优势类群为膜翅目和蚯蚓类, 占总捕获量的 62.59%; 常见类群为蜘蛛目、鞘翅目、线蚓类、综合目、倍足类、等足目、鞘翅目幼虫、双尾目、直翅目、地蜈蚣目、腹足类 11 类, 占总捕获量的 33.82%; 其余为稀有类群共 11 类, 占总捕获量的 3.59%。优势类群和常见类群占总捕获量的 96.36%, 是该地区大型土壤动物的主要组成部分, 在生态系统物质循环中发挥着重要作用。稀有类群的个体数少, 对环境条件的变化极为敏感, 对局部小环境有指示作用。

表 1 不同土地利用方式大型土壤动物群落类群与数量组成

Table 1 Groups and individuals of soil macrofauna in different land-use systems

类群 Groups	土地利用方式 Land use systems *					总量 Total (%)	多度 Abundance
	I	II	III	IV	V		
膜翅目 Hymenoptera	183	421	492	1015	0	2061 ^a (45.97 ^b)	+++
蚯蚓类 Oligochaeta	117	162	123	276	48	726 (16.19)	+++
蜘蛛目 Araneae	62	41	27	37	108	275 (6.13)	++
鞘翅目 Coleoptera	62	43	34	37	76	252 (5.62)	++
线蚓类 Enchytraeidae	25	55	60	35	45	220 (4.91)	++
综合目 Symphyla	14	38	111	35	2	200 (4.46)	++
倍足类 Diplopoda	21	40	20	36	5	122 (2.72)	++
等足目 Isopoda	1	37	11	54	0	103 (2.30)	++
鞘翅目幼虫 Coleoptera	29	17	17	18	18	99 (2.21)	++
双尾目 Diplura	8	19	45	21	0	93 (2.07)	++
直翅目 Orthoptera	16	16	6	13	6	57 (1.27)	++
地蜈蚣目 Geophilomorpha	7	8	20	22	0	57 (1.27)	++
腹足类 Gastropoda	17	9	8	4	17	55 (1.23)	++
双翅目幼虫 Diptera	2	5	1	3	31	42 (0.93)	+
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	2	4	13	15	0	34 (0.76)	+
鳞翅目幼虫 Lepidoptera	7	3	2	8	0	20 (0.45)	+
同翅目 Homoptera	3	6	4	5	1	19 (0.42)	+
蛭类 Hirudinea	2	1	0	4	7	14 (0.31)	+
革翅目 Dermaptera	1	5	3	3	0	12 (0.27)	+
半翅目 Hemiptera	1	2	1	5	0	9 (0.20)	+
蜚蠊目 Blattopoda	1	3	1	2	0	7 (0.16)	+
等翅目 Isoptera	1	0	0	2	0	3 (0.07)	+
拟蝎目 Pseudoscorpiones	0	0	2	0	0	2 (0.04)	+
同翅目幼虫 Homoptera	0	1	0	0	0	1 (0.02)	+
总个体数 Total number of individual	582	936	1001	1650	364	4483	
总类群数 Total number of group	22	22	21	22	12	24	

I: 桑园 Mulberry orchard; II: 桑埂 Mulberry field margin; III: 橘园 Citrus orchard; IV: 橘埂 Citrus field margin; V: 农田 Farmland; 下同 the same below; a: 代表每个土壤动物类群捕获的个体数 Total number of individuals per group caught in each land-use system; b: 括号内的数代表每个土壤动物类群捕获的个体数占捕获量的百分比 (%) The figures in parentheses are percentages of each group in the total number of individual

2.2 大型土壤动物的空间分布

2.2.1 水平分布

大型土壤动物个体密度比较表明,无论在冬季还是在春季(图 1A),大型土壤动物个体密度在 5 种土地利用方式间差异均极显著($P < 0.01$)。其中冬季,橘园、橘埂、桑埂和桑园的个体密度均显著高于农田,同时橘园和橘埂也显著高于桑埂和桑园;春季,橘埂和桑埂的个体密度均显著高于农田,同时橘埂也显著高于橘园和桑园。从冬季到春季,除了橘园的个体密度有所下降外,其他所有土地利用方式的个体密度均有不同程度的上升,但除了橘埂个体密度的季节变化差异显著($P < 0.05$)外,其他土地利用方式个体密度的季节变化均未达到显著水平。

大型土壤动物类群数比较表明,无论在冬季还是在春季(图 1B),大型土壤动物类群数在 5 种土地利用方式间差异均极显著($P < 0.01$)。其中冬季,橘埂、桑埂、桑园和橘园的类群数显著高于农田,同时橘埂也显著高于橘园;春季,橘埂、桑埂和橘园的类群数显著高于农田,同时橘埂也显著高于桑埂、橘园和桑园。从冬季到春季,橘埂和农田的类群数有所上升,桑埂、桑园和橘园的类群数有所下降,但所有土地利用方式类群数的季节变化均未达到显著水平。

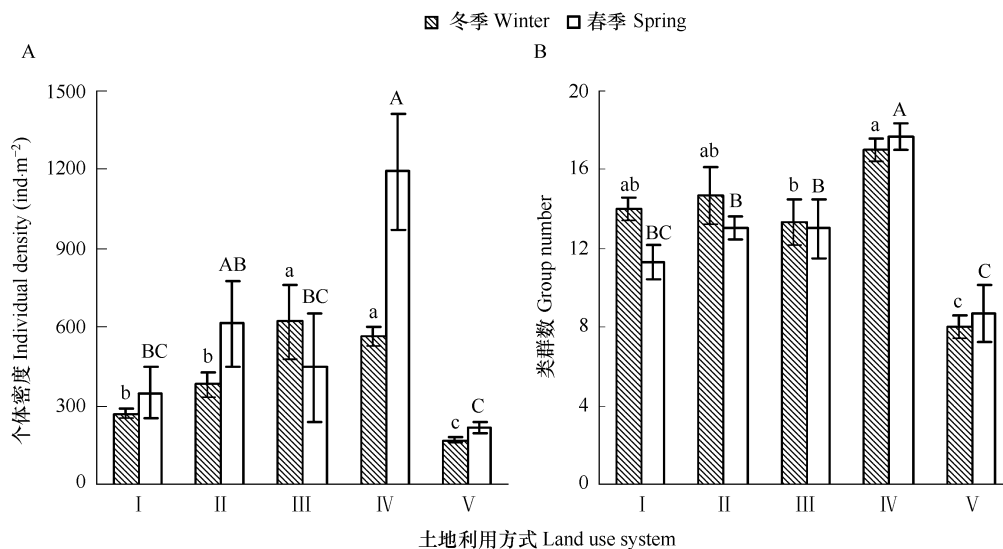


图 1 不同土地利用方式大型土壤动物的个体密度和类群数(平均值 ± 标准误)

Fig. 1 Individual density and group number of soil macrofauna in different land-use systems (Mean ± SE)

不同小写字母表示冬季差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示春季差异显著($P < 0.05$);A:个体密度;B:类群数 Different lowercase letters indicate significant difference in winter ($P < 0.05$); Different uppercase letters indicate significant difference in spring; A: individual density; B: group number

2.2.2 垂直分布

各土地利用方式土壤剖面大型土壤动物个体密度和类群数均随着土层深度的增加而递减,个体密度和类群数均在土壤 I 层最高。冬季,大型土壤动物个体密度在各土地利用方式不同土层间差异均显著($P < 0.05$),土壤 I 层的个体密度均显著高于土壤 II 层和 III 层。春季,除了桑埂个体密度在不同土层间差异不显著外,其他土地利用方式的个体密度在不同土层间差异均显著($P < 0.05$)。橘园和农田土壤 I 层的个体密度显著高于土壤 II 层和 III 层,桑园和橘埂土壤 I 层的个体密度仅显著高于土壤 III 层(图 2A)。无论在冬季还是在春季,大型土壤动物类群数在各土地利用方式不同土层间均有极显著差异($P < 0.01$),土壤 I 层的类群数均显著高于土壤 II 层和 III 层(图 2B)。

2.3 大型土壤动物的群落多样性

采用 DG 指数对 5 种土地利用方式大型土壤动物群落多样性进行比较,无论在冬季还是在春季,大型土

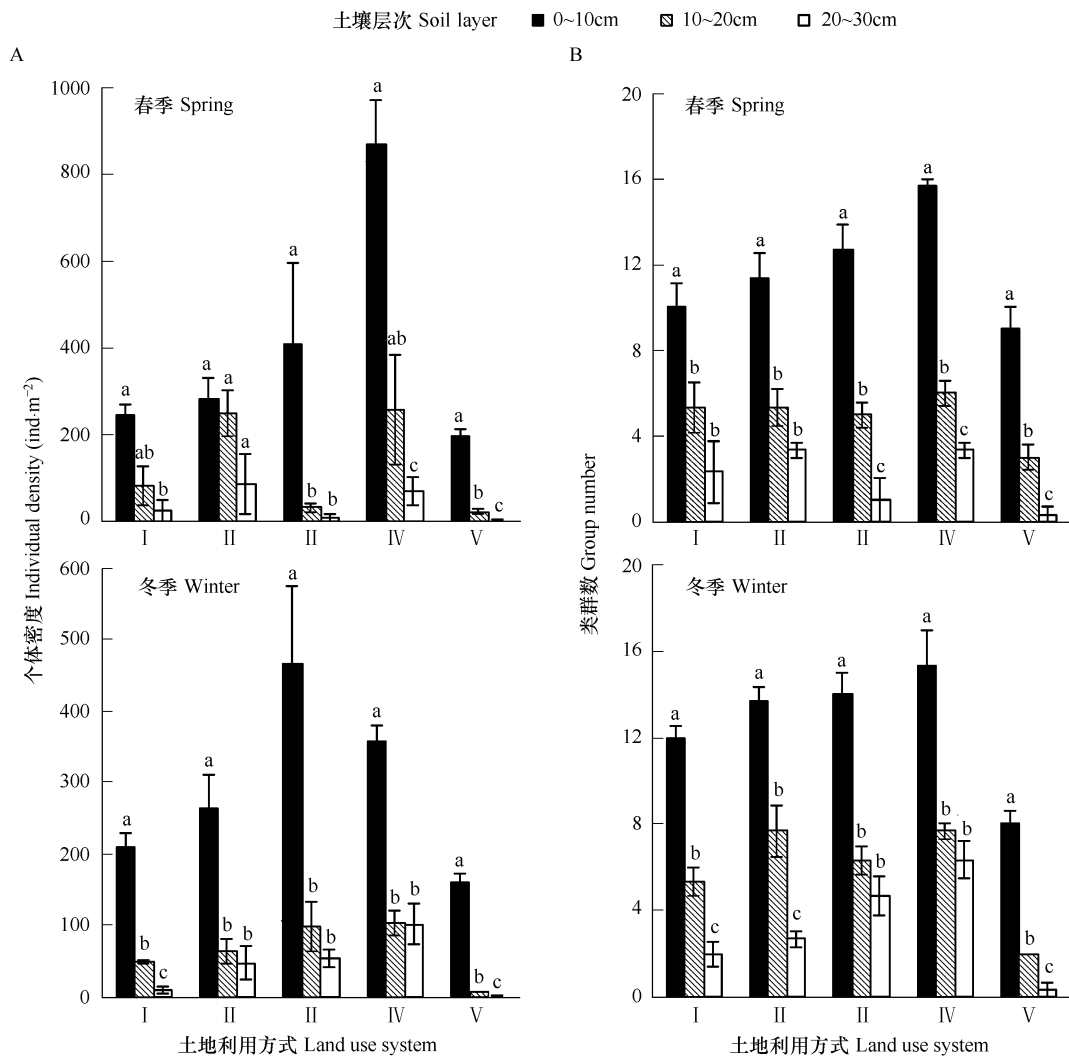


图2 不同土地利用方式大型土壤动物的垂直分布(平均值 ± 标准误)

Fig. 2 Vertical distribution of soil macrofauna in different land-use systems (Mean ± SE)

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); A: 个体密度; B: 类群 Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$); A: individual density; B: group number

壤动物 DG 指数在 5 种土地利用方式间差异均极显著 ($P < 0.01$) (图 3)。其中冬季, 橘埂、橘园、桑埂和桑园的 DG 指数均显著高于农田, 同时橘埂也显著高于桑园。春季, 橘埂的 DG 指数显著高于其他所有土地利用方式, 其他土地利用方式之间无显著差异。从冬季到春季, 除了农田的 DG 指数有所上升外, 其他所有土地利用方式的 DG 指数均有不同程度的下降, 但所有土地利用方式 DG 指数的季节变化均未达到显著水平。

2.4 大型土壤动物群落结构的主成分分析

通过对个体数量较多的 13 类大型土壤动物进行主成分分析 (PCA) 研究了冬季和春季不同土地利用方式下大型土壤动物群落结构组成的变化 (图 4)。从图 4 可以看出, 5 种土地利用方式在冬季和春季的排序基本相似, 5 种土地利用方式土壤动物群落具有明显的分异。冬季和春季主成分 1 (PC1) 得分系数差异均极显著 ($P < 0.01$), 表现在桑埂、橘埂、橘园与桑园、农田差异均达到显著水平, 同时桑园与农田差异也达到显著水平。冬季和春季主成分 2 (PC2) 得分系数差异均不显著 (表 2)。从排序结果可以看出, 无论在冬季还是在春季, 主成分 1 (PC1) 按照人为干扰程度的不同均将 5 种土地利用方式区分为桑埂、橘埂与橘园; 桑园; 农田三大类; 而不能区分开桑埂、橘埂和橘园。图 4 结果表明土地利用方式对大型土壤动物群落结构组成有显著的

影响。

2.5 大型土壤动物与土壤环境要素的相关关系

从表 3 可以看出,各土地利用方式土壤含水量、全 N 和有机质含量均随着土层深度的增加呈现递减趋势,而 pH 值则随着土层深度的增加而升高。通过方差分析表明,除了橘园的土壤含水量、全 N 在不同土层间差异不显著外,其他土地利用方式的土壤环境要素在不同土层间差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。不同土地利用方式的土壤含水量、pH 值、全 N 和有机质含量有所不同,其中土壤含水量为农田 > 橘园 > 桑园 > 桑埂 > 橘埂;pH 值为橘埂 > 桑园 > 橘园 > 桑埂 > 农田;全 N 为橘园 > 农田 > 桑园 > 桑埂 > 橘埂;有机质为农田 > 橘园 > 桑园 > 桑埂 > 橘埂。通过方差分析表明,不同土地利用方式间的土壤含水量、pH 值、全 N 和有机质含量均存在极显著差异 ($P < 0.01$)。

同一土地利用方式不同土层的大型土壤动物个体密度、类群数与土壤环境要素之间相关性分析结果表明(表 4),所有土地利用方式大型土壤动物个体密度、类群数均与土壤含水量、全 N 和有机质含量呈正相关,与土壤 pH 值呈负相关。桑园的个体密度、类群数与土壤 pH 值达到了显著相关水平,与土壤有机质含量达到了

极显著相关水平。桑埂的个体密度、类群数与土壤含水量、全 N、有机质含量均达到了极显著相关水平,类群数与土壤 pH 值也达到显著相关水平。橘园的个体密度与土壤 pH 值和有机质含量达到显著相关水平,类群数与土壤 pH 值和有机质含量达到极显著相关水平。橘埂的个体密度与土壤含水量和有机质含量达到了极显著相关水平,与土壤 pH 值和全 N 含量达到了显著相关水平;类群数与土壤含水量和全 N 含量达到了极显著相关水平,与土壤有机质含量达到了显著相关水平。农田除了个体密度与土壤 pH 值达到显著相关水平外,个体密度、类群数与其他所有土壤环境要素均达到了极显著相关水平。

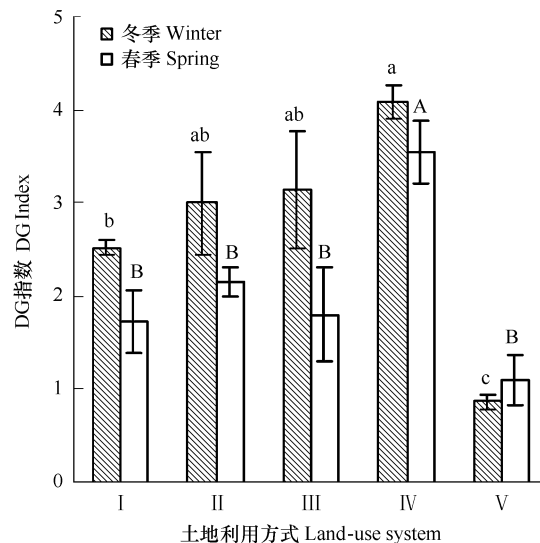


图 3 不同土地利用方式大型土壤动物群落的 DG 指数(平均值 ± 标准误差)

Fig. 3 DG index of soil macrofauna communities in different land-use systems (Mean ± SE)

不同小写字母表示冬季差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示春季差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters indicate significant difference in winter ($P < 0.05$); Different uppercase letters indicate significant difference in spring ($P < 0.05$)

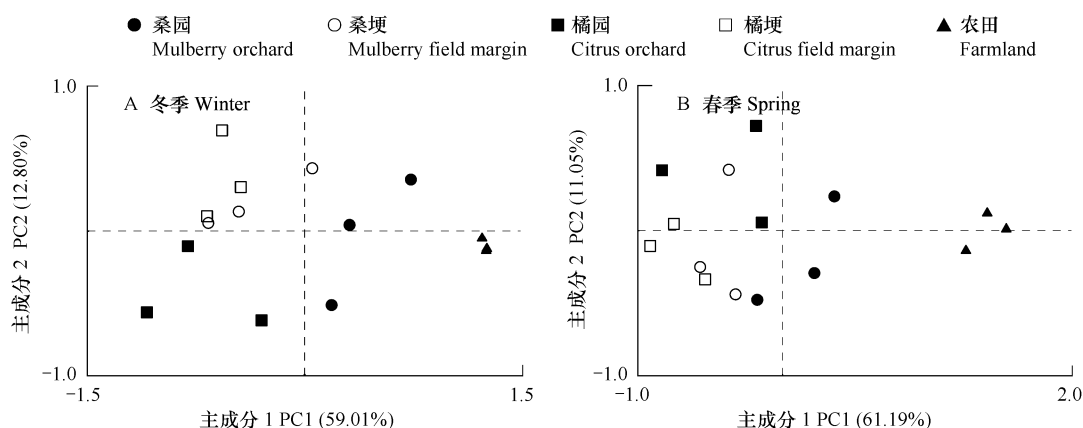


图 4 大型土壤动物群落结构的主成分分析

Fig. 4 Principle components analysis ordination diagrams of soil macrofauna communities

表 2 主成分得分系数方差分析

Table 2 Principal component score coefficient variance analysis

土地利用方式 Land-use system	冬季 Winter		春季 Spring	
	PC1	PC2	PC1	PC2
I	0.531 ± 0.22b	-0.109 ± 0.71a	0.171 ± 0.20b	-0.532 ± 0.64a
II	-0.464 ± 0.28c	0.575 ± 0.32a	-0.539 ± 0.10c	-0.270 ± 0.78a
III	-0.952 ± 0.30c	-1.197 ± 0.45a	-0.494 ± 0.29c	1.200 ± 0.58a
IV	-0.732 ± 0.09c	1.020 ± 0.49a	-0.937 ± 0.14c	-0.394 ± 0.33a
V	1.618 ± 0.01a	-0.289 ± 0.08a	1.798 ± 0.10a	-0.005 ± 0.23a

同列内不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

表 3 不同土地利用方式下土壤环境要素

Table 3 Soil environment factors under different land-use systems

土地利用方式 Land-use systems		含水量 (%) Water content	pH 值 pH value	全 N (g·kg ⁻¹) Total N	有机质 (g·kg ⁻¹) Organic matters
I	0 ~ 10 cm	25.09 ± 2.84a	6.86 ± 0.13c	0.15 ± 0.02a	1.68 ± 0.14a
	10 ~ 20 cm	22.03 ± 2.58b	7.21 ± 0.10b	0.11 ± 0.02b	1.09 ± 0.16b
	20 ~ 30 cm	22.18 ± 2.70b	7.45 ± 0.09a	0.09 ± 0.02c	0.71 ± 0.10c
	平均 Mean	23.10 ± 2.70B	7.17 ± 0.11AB	0.12 ± 0.02B	1.16 ± 0.13AB
II	0 ~ 10 cm	24.50 ± 1.37a	6.67 ± 0.08c	0.15 ± 0.01a	1.49 ± 0.06a
	10 ~ 20 cm	20.75 ± 0.72ab	6.95 ± 0.09b	0.10 ± 0.01b	0.59 ± 0.16b
	20 ~ 30 cm	19.38 ± 0.46b	7.20 ± 0.11a	0.08 ± 0.00c	0.42 ± 0.16b
	平均 Mean	21.54 ± 0.85B	6.94 ± 0.09B	0.11 ± 0.01BC	0.83 ± 0.13B
III	0 ~ 10 cm	29.72 ± 0.77a	6.76 ± 0.10b	0.22 ± 0.04a	2.19 ± 0.15a
	10 ~ 20 cm	27.02 ± 1.19a	7.10 ± 0.09ab	0.16 ± 0.01a	1.42 ± 0.10b
	20 ~ 30 cm	28.84 ± 1.95a	7.40 ± 0.12a	0.13 ± 0.02a	1.07 ± 0.18c
	平均 Mean	28.52 ± 1.30A	7.09 ± 0.10AB	0.17 ± 0.02A	1.56 ± 0.14A
IV	0 ~ 10 cm	24.20 ± 0.12a	6.95 ± 0.20b	0.10 ± 0.02a	1.31 ± 0.20a
	10 ~ 20 cm	19.04 ± 0.33b	7.51 ± 0.16a	0.07 ± 0.01b	0.77 ± 0.06b
	20 ~ 30 cm	18.19 ± 1.03b	7.68 ± 0.13a	0.06 ± 0.01b	0.40 ± 0.03b
	平均 Mean	20.48 ± 0.50B	7.38 ± 0.16A	0.08 ± 0.01C	0.83 ± 0.10B
V	0 ~ 10 cm	42.17 ± 2.96a	6.35 ± 0.04c	0.17 ± 0.01a	2.35 ± 0.20a
	10 ~ 20 cm	29.04 ± 1.59b	6.57 ± 0.03b	0.13 ± 0.00b	1.49 ± 0.15b
	20 ~ 30 cm	25.36 ± 2.05c	6.85 ± 0.08a	0.09 ± 0.01c	0.85 ± 0.11c
	平均 Mean	32.19 ± 2.20A	6.59 ± 0.05C	0.13 ± 0.01B	1.56 ± 0.15A

同列内不同小写字母表示不同土层间差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示不同土地利用方式间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between the soil layers ($P < 0.05$); Different uppercase letters in the same column indicate significant difference between the land-use systems ($P < 0.05$)

表 4 大型土壤动物与土壤环境要素之间的相关性

Table 4 The correlation analysis between soil macrofauna and soil environmental factors

土地利用方式 Land-use systems	相关系数 Correlation coefficient	含水量 Water content	pH 值 pH	全 N Total N	有机质 Organic matters
I	个体密度 individual density	0.307	-0.754 *	0.610	0.867 **
	类群数 group number	0.164	-0.745 *	0.510	0.803 **
II	个体密度 individual density	0.897 **	-0.595	0.822 **	0.879 **
	类群数 group number	0.803 **	-0.721 *	0.901 **	0.837 **
III	个体密度 individual density	0.242	-0.656 *	0.553	0.737 *
	类群数 group number	0.312	-0.870 **	0.552	0.851 **
IV	个体密度 individual density	0.934 **	-0.728 *	0.777 *	0.839 **
	类群数 group number	0.930 **	-0.557	0.838 **	0.777 *
V	个体密度 individual density	0.869 **	-0.780 *	0.854 **	0.831 **
	类群数 group number	0.913 **	-0.885 **	0.895 **	0.895 **

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

3 讨论

地埂植物篱作为农田边界,半自然生境的一种,对大型土壤动物的群落结构有明显的影响。橘埂和桑埂大型土壤动物的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数均显著高于农田。主要原因在于(1)由于地埂植物篱具有1年生与多年生的植物物种和丰富的植被凋落物,导致其植被多样性较高,系统结构相对复杂。同时地埂植物篱地面的草丛和丰富的植被凋落物提供了遮蔽,减少了温度的变化,为土壤动物提供了良好的庇护和越冬场所,从而提高了土壤动物的越冬存活率^[9, 16, 17]。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;(2)人为干扰因素不同。地埂植物篱作为农田的边界,相对于农田受到的人为干扰较少,只在少数时候受到人类施肥、喷药等管理措施干扰。农田则受到耕作活动、施肥和喷药等农田生产活动的频繁干扰,这些生产活动必然对大型土壤动物的生长发育造成一定的干扰^[18~20]。桑园和橘园与农田相似,也受到一定程度的人为干扰,但由于耕作的次数相对较少,人为干扰程度比农田小,因此冬季大型土壤动物的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数均显著高于农田。这与葛宝明等的研究结果相似。葛宝明等研究表明果园大型土壤动物的个体密度、类群丰富度和多样性指数都高于农田。该研究认为可能原因是人为干扰少,地表植被丰富造成的^[21]。桑园与桑埂相比,虽然受到一定程度的人为干扰,但是由于桑园定期施肥,改变了土壤性状,提高了土壤肥力,通过对不同土地利用方式土壤环境要素分析发现,桑园的全 N 和有机质含量均高于桑埂,因此,桑园与桑埂之间大型土壤动物的个体密度、类群数、*DG* 多样性指数差异均不显著。橘园与橘埂相比,虽然橘园土壤的全 N 和有机质含量均显著高于橘埂,但由于橘埂位于水源附近,植被结构明显比橘园复杂多样,同时橘埂受到的人为干扰程度相对较少,因此春季橘埂大型土壤动物的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数均显著高于橘园。

不同季节降雨和气温变化导致土壤温湿度改变是土壤动物群落结构具有季节性动态的主要影响因素^[22]。大量研究表明,大型土壤动物群落存在明显的季节变化^[8, 23, 24]。但本研究发现,从冬季到春季,除了橘埂个体密度的季节变化差异显著外,其他土地利用方式的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数的季节变化均未达到显著水平。这说明除了橘埂的个体密度外,大型土壤动物的个体密度、类群数和多样性指数季节性变化均不明显。这主要是因为冬季气温下降,地上有些土壤动物进入土壤中越冬,而且由于研究区属于亚热带湿润性季风性气候,冬季相对温暖,同时土壤含水量较高,导致大型土壤动物的个体密度、类群数和多样性指数均较高。春季随着气候变暖,地温升高,大型土壤动物的个体密度和类群数量有所上升,但是由于2007年春季研究区经历了历年来最严重的春旱,在一定程度上限制了大型土壤动物个体密度和类群数量的增长,导致其个体密度和类群数量增长不明显,有些土地利用方式还出现下降的趋势。

土壤理化性状如含水率、pH 值、结构、质地、土壤有机质含量等与农田土壤动物的群落结构均有密切的关系^[25],直接影响土壤动物的生存与发展。许多学者的研究表明,土壤动物的数量分布常与土壤含水量^[26]、土壤全 N 和有机质含量呈正相关^[27~29],与土壤 pH 值呈负相关^[27]。本研究通过对同一土地利用方式内不同土层的大型土壤动物个体密度、类群数与土壤环境要素之间的相关性分析发现,所有土地利用方式的个体密度、类群数均与土壤有机质含量呈显著正相关;桑埂、橘埂和农田的个体密度、类群数均与土壤含水量、土壤全 N 呈显著正相关;除了桑埂的个体密度和橘埂的类群数与土壤 pH 值无显著相关外,其他土地利用方式的个体密度、类群数均与土壤 pH 值呈显著负相关;这说明在土地利用方式相同的条件下,土壤含水量、pH 值、全 N 和有机质含量对大型土壤动物个体密度和类群数有明显影响。这与林英华等的研究结果相似。林英华等在国家土壤肥力与肥料效益监测基地对土壤主要理化性质变化对土壤动物群落影响进行的定量研究表明,土壤动物类群和数量的分布与土壤的理化性质,特别是土壤 pH 值、田间持水量、土壤全 N 和有机质含量有密切的关系^[30]。但是本研究发现在土地利用方式不同的条件下,大型土壤动物个体密度与土壤 pH 值呈显著正相关;类群数与土壤 pH 值呈极显著正相关,与土壤含水量和有机质含量呈极显著负相关。这与其他的研究结果不一致^[27~29]。这主要是因为土壤动物的群落结构除了与土壤理化性质有密切关系外,还受到农田生产活动(如耕作活动、施肥和喷药等)的明显影响。虽然桑园、橘园和农田土壤全 N 和有机质含量均高于桑埂和橘

埂,但是由于这些土地利用方式经常受到农田生产活动(耕作活动、施肥和喷药等)干扰,导致其大型土壤动物个体密度和类群数较低。这说明在本研究中农田生产活动对大型土壤动物群落结构的影响起主导性作用。

通过研究可以看出,大型土壤动物群落结构以及多样性受到土地利用方式的明显影响。与农田相比,由于地埂植物篱人为干扰相对较少,植被群落结构复杂多样,大型土壤动物的个体密度、类群数和 *DG* 多样性指数均显著高,可见地埂植物篱的存在为大型土壤动物提供了较农田更为理想的生境,更有利于土壤动物多样性的保护。因此保护土壤动物多样性,需要适当提高农田生态系统中不受人为干扰的半自然生境的比例,增加农田景观的异质性。

References:

- [1] Ekschmitt K, Griffiths B S. Soil biodiversity and its implications for ecosystem functioning in a heterogeneous and variable environment. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10: 201 – 215.
- [2] Wolters V. Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37: 221 – 227.
- [3] Barros E, Pashanasi B, Constantina R, *et al.* Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 338 – 347.
- [4] Thomas F, Folgarait P, Lavelle P, *et al.* Soil macrofaunal communities along an abandoned rice field chronosequence in Northern Argentina. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27: 23 – 29.
- [5] Sileshi G, Mafongoya P L. Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zambia. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33: 49 – 60.
- [6] Yang X D. Comparison of the communities structure and seasonal changes in diversity of soil arthropod in tropical secondary forest, dry-rice land and fired remain. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 883 – 891.
- [7] Yin X Q, Wang H X, Zhou D W. Characteristics of soil animals' communities in different agricultural ecosystem in Songnen Grassland of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1071 – 1078.
- [8] Wang G L, Wang Y, Han L L, *et al.* Soil animal communities of variously utilized in the Dongting Lake region. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25: 2629 – 2636.
- [9] Collins K L, Boatman N D, Wilcox A, *et al.* Effects of different grass treatments used to create overwintering habitat for predatory arthropods on arable farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 90: 59 – 67.
- [10] Pfiffner L, Luka H. Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 78: 215 – 222.
- [11] Wang X L, Cai Q G, Wang Z K, *et al.* The consolidating function and economic benefit analysis of the terrace hedgerows in the hilly loess region of Northwest Hebei Province. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(1): 74 – 79.
- [12] Anderson J M, Ingram J S. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods.* Oxford: CAB International, 1993.
- [13] Yin W Y. *Subtropical soil animals of China.* Beijing: Science Press, 1992.
- [14] Yin W Y. *Pictorial keys to soil animals of China.* Beijing: Science Press, 1998.
- [15] 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.
- [16] Collins K L, Boatman N D, Wilcox A, *et al.* A 5-year comparison of overwintering polyphagous predator densities within a beetle bank and two conventional hedgebanks. *Annals of Applied Biology*, 2003, 143: 63 – 71.
- [17] Macleod A, Wratten S D, Sotherton N W, *et al.* 'Beetle banks' as refuges for beneficial arthropods in farmland; long-term changes in predator communities and habitat. *Agricultural and Forest Entomology*, 2004, 6: 147 – 154.
- [18] Wang Z Z, Zhang Y M, Xia W S, *et al.* Effects of organophosphorus pesticide on community structure of soil animals. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(4): 357 – 366.
- [19] Giller, K E, Beare, M H, Lavelle, P, *et al.* Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 1997, 6: 3 – 16.
- [20] Baker G H. Recognizing and responding to the influences of agriculture and other land use practices on soil fauna in Australia. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10(9): 303 – 310.
- [21] Ge B M, Kong J M, Cheng H Y, *et al.* Community structure of soil macrofauna in different using types of soils in autumn. *Zoological Research*, 2005, 26(3): 272 – 278.

- [22] Yang X D, Tang J W. Soil arthropod communities in different successional tropical secondary forests in Xishuangbanna, SW China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 988—994.
- [23] Wang H X, Yin X Q, Zhou D W. Ecological study on large-size soil animals in compound ecosystem of farmland, grassland and woodland in the grassland region of Songnen Plain. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(4): 84—89.
- [24] Liu X M, Liu Y J, Guo L. The effects of grazing pressures on community dynamic of macrofauna in inner Mongolia typical steppe. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(3): 228—235.
- [25] Zhang X P. On the relation of soil animal to environment quality. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, 1995, 11(4): 95—99.
- [26] Lin Y H, Yang X Y, Zhang F D, *et al.* Variation of soil fauna under different fertilizer treatments in loess soil croplands, Shanxi Province. *Biodiversity Science*, 2005, 13(3): 188—196.
- [27] Guo J X, Zhou T C. Characteristics of soil fauna in Aneurolepidium Chinense Grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(4): 359—362.
- [28] Zhang X P, Zhang W, Gao H C. Geo-ecology of soil fauna in different tundras in Da Xinganling Mountains. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6): 996—1003.
- [29] Yi L, You W H. Influences of changes of environmental factors on soil animal community in the succession of the vegetation in Tiantong. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2006, 6: 109—116.
- [30] Lin Y H, Zhang F D, Yang X Y, *et al.* Study on the relationship between agricultural soil fauna and soil physicochemical properties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(6): 871—877.

参考文献:

- [6] 杨效东. 热带次生林、旱稻种植地和火烧迹地土壤节肢动物群落结构特征及季节变化. *生态学报*, 2003, 23(5): 883~891.
- [7] 殷秀琴, 王海霞, 周道玮. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征. *生态学报*, 2003, 23(6): 1071~1078.
- [8] 王广力, 王勇, 韩立亮, 等. 洞庭湖不同土地利用方式下的土壤动物群落结构. *生态学报*, 2005, 25(10): 2629~2636.
- [11] 王喜龙, 蔡强国, 王忠科, 等. 冀西北黄土丘陵沟壑区梯田地埂植物篱的固埂作用与效益分析. *自然资源学报*, 2000, 15(1): 74~79.
- [13] 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992.
- [14] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [15] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 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.
- [18] 王振中, 张友梅, 夏卫生, 等. 有机磷农药对土壤动物群落结构的影响研究. *生态学报*, 1996, 16(4): 357~366.
- [21] 葛宝明, 孔军苗, 程宏毅, 等. 不同利用方式土地秋季大型土壤动物群落结构. *动物学研究*, 2005, 26(3): 272~278.
- [22] 杨效东, 唐建维. 西双版纳不同演替状态热带次生林土壤节肢动物群落特征. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 988~994.
- [23] 王海霞, 殷秀琴, 周道玮. 松嫩草原区农牧林复合系统大型土壤动物生态学研究. *草业学报*, 2003, 12(4): 84~89.
- [24] 刘新民, 刘永江, 郭砺. 内蒙古典型草原大型土壤动物群落动态及其在放牧下的变化. *草地学报*, 1999, 7(3): 228~235.
- [25] 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.
- [26] 林英华, 杨学云, 张夫道, 等. 陕西黄土区不同施肥条件下农田土壤动物的群落组成和结构. *生物多样性*, 2005, 13(3): 188~196.
- [27] 郭继勋, 祝廷成. 羊草草原土壤动物特征的研究. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 359~362.
- [28] 张雪萍, 张武, 曹会聪. 大兴安岭不同冻土带土壤动物生态地理研究. *土壤学报*, 2006, 43(6): 996~1003.
- [29] 易兰, 由文辉. 天童植被演替过程中环境因子对土壤动物群落的影响. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 6: 109~116.
- [30] 林英华, 张夫道, 杨学云, 等. 农田土壤动物与土壤理化性质关系的研究. *中国农业科学*, 2004, 37(6): 871~877.