

黑河中游绿洲化过程中不同开垦年限农田 大型土壤动物群落特征

董炜华¹, 王子婷², 李锋瑞³, 刘继亮³

(1. 长春师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130032; 2. 甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730020;

3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 临泽内陆河流域研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 对不同开垦年限绿洲农田大型土壤动物群落结构特征进行研究, 探讨绿洲化过程中农田大型土壤动物群落对土壤环境演变的响应及适应机制。天然荒漠草地开垦为绿洲农田后, 新垦绿洲农田大型土壤动物密度和类群丰富度增加为天然荒漠草地的1.95倍和1.54倍, 百年绿洲农田土壤动物密度和类群丰富度增加为天然荒漠草地的3.54倍和3.00倍; 但群落多样性和均匀度指数变化较小。不同动物类群随着绿洲农田开垦年限增加, 其变化规律也存在较大差异, 如地蜈蚣科(Geophilidae)、线蚓科(Enchytraeidae)、正蚓科(Lumbricidae)和蝇科幼虫(Muscidae)个体密度逐渐增加, 拟步甲科(Tenebrionidae)和象甲科(Curculionidae)个体密度显著降低, 而平腹蛛科(Gnaphosidae)、夜蛾科(Noctuidae)幼虫和蚁科(Formicidae)受农田开垦以及开垦年限的影响较小。RDA分析结果表明绿洲化过程中不同开垦年限绿洲农田的土壤温度、pH、土壤粘粉粒、土壤含水量、土壤有机碳和全氮的变化是导致绿洲化过程中绿洲农田大型土壤动物群落演变的主要影响因素, 而随着绿洲农田开垦年限增加, 土壤含盐量、土壤粗砂粒和细砂粒的变化是导致不同开垦年限绿洲农田大型土壤动物群落演变的主要影响因素。

关键词: 黑河中游; 绿洲化; 绿洲农田; 开垦年限; 大型土壤动物

中图分类号: Q958; S154

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2014)10-1254-08

黑河流域是中国第二大内陆河流域, 该流域内山地、绿洲、荒漠三大自然景观共存。绿洲是受人类活动影响最强烈、人地水矛盾最突出的一个区域^[1,2]。近几十年来, 随着流域人口数量的急剧上升及对粮食等农产品需求量的不断增加, 对黑河中游人工绿洲区水土资源开发利用强度不断加大, 中游绿洲化和荒漠化进程加快, 绿洲面积在增加, 而荒漠绿洲过渡区和荒漠区面积在减少^[3,4]。绿洲化过程中不同开垦年限和利用强度农田土壤质量发生明显变化^[5], 土壤微生物和土壤动物群落组成也存在显著差异^[6]。土壤动物是干旱半干旱地区地下生态系统的重要组成部分之一, 它与其它土壤微生物和土壤酶共同参与了土壤有机物质的分解、矿化及腐殖质的形成等重要土壤生态过程, 在

土壤碳氮等关键元素的生物地球化学循环过程以及土壤肥力形成及质量演变过程中扮演着重要角色^[7-10]。然而, 目前绿洲化过程中不同开垦年限农田土壤动物群落演变过程中大型土壤动物群落变化研究还未见报道。将位于黑河中游的临泽人工绿洲作为研究区域, 以绿洲边缘的天然荒漠草地、荒漠绿洲过渡区的新垦绿洲农田和绿洲区的百年绿洲农田为研究对象, 探讨不同开垦年限农田大型土壤动物群落组成、多样性和关键类群演变特征及不同开垦年限农田土壤环境因子对大型土壤动物群落演变过程作用。研究有助于解析荒漠-绿洲化过程中土壤动物群落的演变格局及维持机制, 为人类活动和气候变化影响下荒漠绿洲生态系统的生物多样性保育功能及其维持机制研究提

收稿日期: 2013-09-30; 修订日期: 2013-12-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200407; 41201248)、国家自然科学基金项目(91025021)、吉林省科技厅自然科学基金项目(20130101109JC)和长春师范大学科研创新团队项目(T2013-3)资助。

作者简介: 董炜华(1978-), 女, 河北唐山人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为自然地理及土壤动物生态。E-mail: dongwh78@126.com

通讯作者: 刘继亮, 助理研究员。E-mail: Liujl707@lzb.ac.cn

供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省河西走廊中段黑河中游的临泽人工绿洲(39°21'N, 100°08'E; 平均海拔为1 384 m)。研究区域属温带大陆性干旱荒漠气候, 夏季炎热, 冬季寒冷, 降水稀少、光热资源丰富、风沙灾害频繁。年降水量117 mm, 约75%的降水分布在6~9月。年蒸发量2 390 mm, 年平均气温7.6℃, ≥10℃年积温3 085℃, 无霜期165 d。地带性土壤为灰棕漠土。绿洲区的主要土壤类型有绿洲潮土和灌漠土, 绿洲边缘主要是风沙土。土壤母质主要为第四纪砂砾洪积-冲积物。地下水平均埋深3~5 m。

1.2 试验设计与取样方法

在绿洲区选择开垦年限大于100 a的绿洲农田(百年绿洲农田), 在荒漠绿洲过渡区选择开垦27 a的灌溉农田(新垦绿洲农田), 并以绿洲边缘的天然荒漠草地作为研究对照。研究样地的基本概况见表1。

2011年5月上旬、7月和9月中旬在荒漠区的天然荒漠草地、绿洲区和荒漠绿洲过渡区选择开垦年限相近的9块农田作为土壤动物样品采样区, 随机设置9个30 m×30 m的采样区, 在每个采样区随机布设3个50 cm×50 cm区域作为大型土壤动物样品采集区, 样品采集深度为20 cm。采用国际通用的手捡法调查每个采样区的大型土壤动物群落组成和数量。捕获的动物样品保存在装有75%

的酒精溶液的样品瓶中, 带回实验室借助于实体显微镜和生物显微镜进行分类鉴定和个体数量统计。所有样品鉴定到科。分类鉴定主要依据尹文英编写的《中国土壤动物检索图鉴》^[11]、郑乐怡和归鸿编写的《昆虫分类》^[12]及胡金林编写的《中国农林蜘蛛》等权威分类著作^[13]。在土壤动物调查期间, 监测土壤温度、土壤含水量, 并采集土壤带回室内分析土壤砂粒含量、容重、pH、土壤有机碳、全氮、可溶性盐含量、微生物量碳和微生物量氮。土壤环境特征见表2。

1.3 数据分析

本文主要考虑不同农田开垦年限对土壤动物群落分布的影响, 不考虑采样时期对动物群落分布的影响, 对3种样地、3个采样点和3个采样期的动物类群(科)数及每个类群的个体密度进行合并统计。依据不同类群土壤动物在群落总密度中所占比例计算相对多度。统计不同开垦年限农田大型土壤动物群落个体密度, 计算土壤动物类群丰富度、多样性指数和均匀度指数, 统计分析使用BioDiversity软件包^[14]。采用单因素方差分析确定不同开垦年限的动物群落总密度、类群丰富度、多样性指数和均匀度指数的差异。采用单因素方差分析确定不同开垦年限主要动物类群(相对多度大于1%的类群, 蚜总科和摇蚊科仅在百年灌溉农田出现, 不作统计分析)个体密度差异。统计分析使用SPSS16.0软件包。

选用RDA (Redundancy analysis)排序分析土壤动物群落分布(出现样方少于9个的动物类群不参与排序)与土壤环境因子的关系。在RDA分析

表1 样地环境概况

Table 1 Environmental characteristics of sites

	天然荒漠草地	新垦绿洲农田	百年绿洲农田
开垦年限(a)	0	27	>100
位置	荒漠区	荒漠绿洲交错区	绿洲区
农业利用	未开垦利用	种植小麦和玉米为主 近年来种植制种玉米	种植小麦和玉米为主 近年来种植制种玉米
主要灌溉水源	-	地下水和河水	地下水和河水
年肥料施入量*	-	化肥年施用量: 1650~1950 kg/ha 有机肥年施用量: 18000~24000 kg/ha	化肥年施用量: 1200~1500 kg/ha 有机肥年施用量: 18000~24000 kg/ha

注:* 研究区自20世纪70年代末期开始使用化肥。

表2 不同开垦年限农田土壤环境特征

Table 2 Soil environmental properties (Mean \pm SE) at an age sequence of cultivation

	天然荒漠草地	新垦绿洲农田	百年绿洲农田
土壤温度($^{\circ}\text{C}$)	24.34 \pm 0.11	17.73 \pm 0.41	17.47 \pm 0.20
土壤含水量(%)	2.12 \pm 0.04	11.82 \pm 0.38	12.59 \pm 0.30
土壤粗砂(%)	15.64 \pm 1.16	22.42 \pm 1.99	9.20 \pm 0.54
土壤中细砂(%)	83.77 \pm 1.14	73.90 \pm 1.93	79.21 \pm 0.59
土壤粘粉粒(%)	0.59 \pm 0.06	3.67 \pm 0.35	11.58 \pm 0.35
pH	9.35 \pm 0.10	8.74 \pm 0.03	8.40 \pm 0.06
全氮(g/kg)	0.06 \pm 0.004	0.52 \pm 0.03	0.66 \pm 0.02
有机碳(g/kg)	0.56 \pm 0.03	6.56 \pm 0.48	6.8 \pm 0.26
土壤可溶性盐含量(mg/kg)	1185.67 \pm 58.0	843.33 \pm 57.93	1028.89 \pm 85.64

前,采用除趋势对应分析(Detrended correspondence analysis, DCA)确定排序轴的梯度长度(Lengths of gradient, LGA),根据排序轴的LGA选择适宜的排序方法^[15]。当LGA<4时,宜采用线性模型排序,当LGA>4时,宜采用非线性模型排序。DCA分析表明,排序轴的LGA小于4,故采用基于线性模型的RDA排序分析。为了保证实验数据满足正态分布及减小异常值对分析结果的影响,在进行RDA排序分析之前,对动物个体密度以及土壤温度、pH、土壤全氮、土壤有机碳、土壤含盐量进行对数转换,对土壤粗砂粒、细砂粒和粘粉粒及土壤含水量进行反正弦平方根转换。

2 结 果

2.1 不同开垦年限农田对大型土壤动物群落的影响

绿洲农田和天然荒漠草地共采集36个土壤动物类群,分属3门7纲13目36科(表3)。天然荒漠草地共收集到13科土壤动物,其中拟步甲科(28.67%)、蚁科(23.08%)、象甲科(20.98%)和平腹蛛科(10.84%)是主要的动物类群,而卡尔避日蛛科、跳蛛科、土椿科、蚁蚶科幼虫、拟步甲科和剑虻科幼虫仅在天然荒漠草地捕获到。新垦绿洲农田收集到20科土壤动物,其中蚁科(16.88%)、叩甲科幼虫(15.62%)和隐翅虫科(10.41%)是主要动物类群,而食虫虻科幼虫仅在新垦灌溉农田捕获到。百年绿洲农田收集到30个科的土壤动物,其中线蚓科(14.12%)、地蜈蚣科(13.03%)和叩甲科幼虫(11.55%)是主要的动物类群,而石蜈蚣目、蟹蛛科、长椿科、蛎总科、丽金龟科、葬甲科、谷盗科、叶甲总科、摇蚊科幼虫和长足虻科幼虫仅在百年灌溉农田捕获到。

不同开垦年限大型土壤动物群落结构方差分析结果显示,绿洲农田和天然荒漠草地大型土壤动物群落个体密度($F_{2,26}=78.01$, $P=0.0001$)、类群丰富度($F_{2,26}=135.31$, $P=0.0001$)、多样性指数($F_{2,26}=101.30$, $P=0.0001$)和均匀度指数($F_{2,26}=5.52$, $P=0.015$)存在显著差异,但不同群落参数的变化规律明显不同(图1)。图1表明绿洲农田大型土壤动物群落个体密度和类群丰富度明显高于天然荒漠草地,而百年绿洲农田大型土壤动物群落个体密度和类群丰富度明显高于新垦绿洲农田。绿洲农田大型土壤动物群落多样性指数显著高于天然荒漠草地,而新垦绿洲农田大型土壤动物均匀度指数明显高于天然荒漠草地。

2.2 不同开垦年限农田对主要动物类群的影响

表4表明不同开垦年限农田主要动物类群个体密度变化存在显著差异。随着绿洲农田开垦年限增加,线蚓科、正蚓科、地蜈蚣科、蝇科幼虫、玄蛭科和叩甲科动物个体密度逐渐增加,但新垦绿洲农田和百年绿洲农田的玄蛭科和叩甲科动物个体密度差异不显著。天然荒漠草地开垦为绿洲农田后,狼蛛科、步甲科、隐翅虫科和瓢甲科动物个体密度显著增加,随着绿洲农田开垦年限增加,狼蛛科、步甲科和隐翅虫科动物的密度又开始下降。天然荒漠草地开垦为绿洲农田后,拟步甲科和象甲科动物个体密度显著降低,随着绿洲农田开垦年限增加,动物个体密度变化较小。平腹蛛科、夜蛾科幼虫和蚁科动物随着农田开垦年限增加,它们的个体密度变化不显著。

2.3 不同开垦年限大型土壤动物群落与土壤环境因子的关系

RDA分析表明,排序轴1和所有排序轴均在

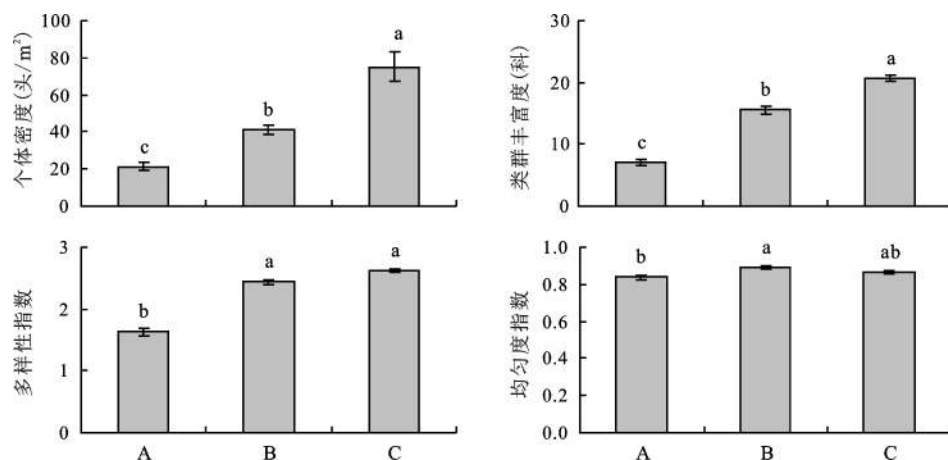
表3 不同开垦年限绿洲农田大型土壤动物平均密度(头/m²)和相对多度(%)

Table 3 Average density (individuals/m²) and relative abundance (%) of soil macrofauna at an age sequence of cultivation

动物类群	天然荒漠草地		新垦绿洲农田		百年绿洲农田	
	平均密度	相对多度	平均密度	相对多度	平均密度	相对多度
瓦娄蜗牛科 Valloniidae			0.44	1.08	0.37	0.49
琥珀螺科 Succineidae			0.44	1.08	0.37	0.49
线蚓科 Enchytraeidae			1.48	3.59	10.59	14.12
正蚓科 Lumbricidae			0.67	1.62	7.11	9.48
地蜈蚣科 Geophilidae			2.67	6.46	9.78	13.03
石蜈蚣目 Lithobiomorpha					0.59	0.79
么蚣科 Scolopendrellidae			2.15	5.21	3.63	4.84
卡尔避日蛛科 Karschiidae	0.37	1.75				
狼蛛科 Lycosidae			1.70	4.13	1.04	1.38
平腹蛛科 Gnaphosidae	2.30	10.84	2.44	5.92	2.74	3.65
跳蛛科 Salticidae	0.15	0.70				
蟹蛛科 Thomisidae					0.07	0.10
长椿科 Lygaeidae					1.26	1.68
土椿科 Cydnidae	1.11	5.24				
蚜总科 Aphidoidea					1.70	2.27
蚁狮科 Myrmeleontidae	0.30	1.40				
虎甲科 Cicindelidae			0.07	0.18	0.15	0.20
步甲科 Carabidae	0.52	2.45	3.11	7.54	1.70	2.27
隐翅虫科 Staphylinidae			4.30	10.41	2.81	3.75
叩甲科 Elateridae	0.15	0.70	6.44	15.62	8.67	11.55
象甲科 Curculionidae	4.44	20.98	0.30	0.72	0.37	0.49
金龟子科幼虫 Scarabaeidae	0.15	0.70	1.85	4.49	2.30	3.06
瓢甲科 Coccinellidae			0.96	2.33	0.96	1.28
鳃金龟科 Melolonthidae			1.85	4.49	1.78	2.37
丽金龟科 Rutelidae					1.04	1.38
拟步甲科 Tenebrionidae	6.07	28.67			0.07	0.10
葬甲科 Silphidae					0.30	0.39
谷盗科 Ostomatidae					0.22	0.30
叶甲总科 Chrysomeloidea					0.07	0.10
摇蚊科幼虫 Chironomidae					2.07	2.76
剑虻科幼虫 Therevidae	0.30	1.40				
食虫虻科幼虫 Asilidae			1.04	2.51		
长足虻科幼虫 Dolichopodidae					1.26	1.68
蝇科幼虫 Muscidae			1.11	2.69	5.26	7.01
夜蛾科幼虫 Noctuidae	0.44	2.10	1.26	3.05	1.04	1.38
蚁科 Formicidae	4.89	23.08	6.96	16.88	5.70	7.60

统计上达到显著水平(Monte Carlo 检验: $F=26.77$, $P=0.001$ 和 $F=6.96$, $P=0.001$),说明 RDA 排序分析结果可信。土壤动物群落与土壤环境因子的 RDA 分析的排序轴 1 解释了 61.2%的物种信息和 77.8%的物种和环境关系,前两个排序轴一共解释了 69.8%的物种信息和 88.7%的物种和环境关

系。图 2 表明绿洲农田和天然荒漠草地被分成 3 组,说明绿洲农田与天然荒漠草地土壤动物群落明显不同,两种绿洲农田大型土壤动物群落又存在一定差异。RDA 排序图直观地反映了土壤动物群落与土壤环境因子的关系以及不同因子对动物群落分布的影响。排序轴 1 主要反映了 pH、土壤



注: 不同开垦年限农田含不同字母表示差异显著 (Turkey 检验法, $P < 0.05$), A 代表天然荒漠草地, B 代表新垦绿洲农田, C 代表百年绿洲农田

图 1 不同开垦年限农田大型土壤动物群落个体密度、类群丰富度、多样性指数和均匀度指数

Fig.1 Average density (ind/m²), group richness, diversity index and evenness index of soil macrofauna community at an age sequence of cultivation

表 4 不同开垦年限农田主要动物类群个体密度 (类/m²)

Table 4 Density (Mean \pm SE) of main soil macrofauna at an age sequence of cultivation

动物类群	天然荒漠草地	新垦绿洲农田	百年绿洲农田	F
线蚓科 Enchytraeidae	0.00 \pm 0.00c	1.48 \pm 0.31b	7.04 \pm 0.84a	70.35***
正蚓科 Lumbricidae	0.00 \pm 0.00c	0.67 \pm 0.27b	10.67 \pm 2.57a	89.69***
地蜈蚣科 Geophilidae	0.00 \pm 0.00c	2.67 \pm 0.70b	9.78 \pm 2.38a	53.35***
蜈蚣科 Scolopendrellidae	0.00 \pm 0.00b	2.15 \pm 0.46a	3.63 \pm 0.88a	26.19***
狼蛛科 Lycosidae	0.00 \pm 0.00b	1.70 \pm 0.12a	1.04 \pm 0.30a	22.53***
平腹蛛科 Gnaphosidae	2.30 \pm 0.23	2.44 \pm 0.43	2.74 \pm 0.79	0.001
步甲科 Carabidae	0.52 \pm 0.29b	3.11 \pm 0.87a	1.70 \pm 0.42a	9.94**
隐翅虫科 Staphylinidae	0.00 \pm 0.00b	4.30 \pm 0.66a	2.82 \pm 1.21a	26.78***
叩甲科 Elateridae	0.15 \pm 0.10b	6.44 \pm 0.91a	8.67 \pm 0.83a	148.80***
象甲科 Curculionidae	4.44 \pm 1.35a	0.30 \pm 0.16b	0.37 \pm 0.23b	19.22***
金龟子科幼虫 Scarabaeidae	0.15 \pm 0.15b	1.85 \pm 0.46a	2.30 \pm 0.75a	11.89***
瓢甲科 Coccinellidae	0.00 \pm 0.00b	0.96 \pm 0.32a	0.96 \pm 0.30a	11.55***
鳃金龟科 Melolonthidae	0.00 \pm 0.00b	1.85 \pm 0.66a	1.78 \pm 0.42a	7.99**
拟步甲科 Tenebrionidae	6.07 \pm 0.46a	0.00 \pm 0.00b	0.07 \pm 0.07b	754.65***
蝇科幼虫 Muscidae	0.00 \pm 0.00c	1.11 \pm 0.25b	5.26 \pm 1.16a	45.52***
夜蛾科幼虫 Noctuidae	0.44 \pm 0.19	1.26 \pm 0.39	1.04 \pm 0.37	1.77
蚁科 Formicidae	4.89 \pm 1.13	6.96 \pm 0.96	5.70 \pm 1.02	1.68

注: ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, 不同开垦年限农田不含相同字母表示差异显著 (Turkey 检验法)。

温度、土壤含水量、土壤粘粉粒、土壤有机碳和土壤全氮对土壤动物群落分布的影响, 它将天然荒漠灌丛草地与百年绿洲农田和新垦绿洲农田分开。排序轴 2 主要反映了土壤含盐量、土壤粗砂粒和土壤细砂粒对土壤动物群落分布的影响, 它将

新垦绿洲农田与百年绿洲农田分开。从排序图还可以看出, 主要的动物类群明显受环境因子影响, 如拟步甲科和象甲科与排序轴 1 呈显著正相关, 其主要分布在天然荒漠灌丛草地; 而地蜈蚣科、蜈蚣科、叩甲科幼虫、金龟子科幼虫、瓢甲科幼虫和鳃

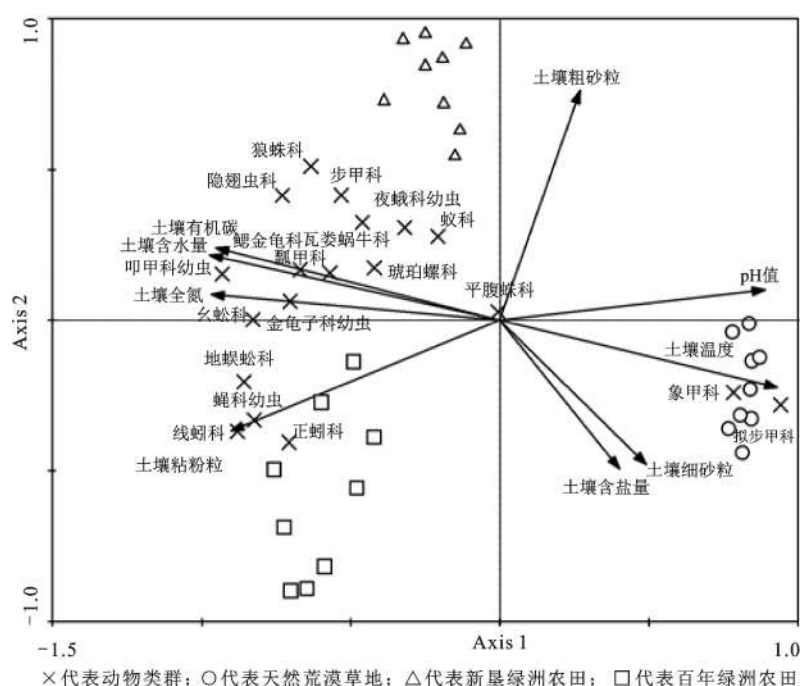


图2 不同开垦年限绿洲农田土壤环境因子对土壤动物群落影响的RDA分析

Fig.2 RDA of soil fauna with soil environment factors in an age sequence of cultivation

金龟科与排序轴1呈显著负相关,它们主要分布在绿洲农田。另外,线蚓科、正蚓科和蝇科幼虫与排序轴1和轴2均呈显著负相关,它们主要分布在百年绿洲农田;而狼蛛科、步甲科和隐翅虫科排序轴1呈显著负相关,与排序轴2呈显著正相关,它们主要分布在新垦绿洲农田。

3 讨论

王雪峰等^[6]对黑河中游不同开垦年限农田土壤线虫群落的研究结果表明,线虫总数随着农田开垦年限的增加而增加。本文研究结果为随着开垦年限增加,新垦灌溉农田和百年绿洲农田大型土壤动物密度和类群丰富度均增加为天然荒漠草地1.95和1.54倍,3.54倍和3.00倍。徐万里等^[16]对新疆玛纳斯河流域农田土壤微生物的研究发现随着农田开垦年限的增加,土壤细菌总数增加,但群落多样性先增加后降低。刘骅等^[17]和林英华等^[18]对农田土壤动物研究也发现农田长期施肥(特别是化肥)增加了土壤动物群落的优势度、丰富度,但降低了动物群落的均匀度。我们的研究结果也证实天然荒漠草地开垦为绿洲农田后,大型土壤动物群落多样性显著增加,均匀度表现为先增加后降低的趋势,但百年绿洲农田和新垦绿洲农田

的大型土壤动物群落多样性差异较小。这说明荒漠开垦为绿洲农田后,长期的施肥影响了大型土壤动物群落变化。一些适应荒漠干旱贫瘠环境类群的种类和数量明显降低(如拟步甲科和象甲科),而适应绿洲农田湿润环境的种类和数量开始增加(如地蜈蚣科、线蚓科、正蚓科、金龟科和蝇科幼虫),随着开垦年限的增加,这些类群的个体密度和类群丰富度明显增加,这导致百年绿洲农田的动物群落多样性略高于新垦绿洲农田,而动物群落均匀度低于新垦绿洲农田。

RDA排序表明天然荒漠草地开垦为绿洲农田后,土壤温度、pH、土壤含水量、土壤有机碳、土壤全氮和土壤粘粉粒的变化是影响大型土壤动物在绿洲农田和天然荒漠草地间分布不同的主要影响因子,而土壤粗砂粒、细砂粒和土壤含盐量是影响新垦绿洲农田和百年绿洲农田间大型土壤动物群落分布不同的主要影响因子。殷秀琴等^[19]、吴东辉等^[20]、朱强根等^[21]在农田生态系统的研究结果均表明土壤养分是影响土壤动物群落演变的主要影响因子。本文研究发现在干旱区绿洲农田开垦年限不同的土壤温度、土壤含水量、土壤质地和土壤含盐量变化是影响土壤动物群落分布的重要影响因素。天然荒漠开垦为农田后,土壤温度和pH明显

降低,而土壤粘粉粒、土壤含水量、土壤有机碳和全氮含量增加,它们是导致土壤动物群落在绿洲农田和天然荒漠分布不同的关键因子,如拟步甲科动物的分布明显受土壤温度和pH影响,天然荒漠草地开垦为绿洲农田后,它们个体密度显著降低。再如,地蜈蚣科、线蚓科、正蚓科、么蛰科、叩甲科幼虫、金龟子科幼虫、瓢甲科幼虫、鳃金龟科、步甲科、隐翅虫科和狼蛛科等分布主要受土壤含水量、土壤有机碳、土壤全氮、土壤粘粉粒的影响。天然荒漠草地开垦为绿洲农田后,它们的个体密度显著增加。同时,我们的研究还发现随着绿洲农田开垦年限的延长,土壤粗砂粒含量降低、土壤细砂粒和土壤含盐量增加,它们是影响不同开垦年限农田大型土壤动物群落的主要影响因子。王国栋等^[22]对长期灌溉微咸水的绿洲农田土壤微生物的研究发现,长期灌溉增加了土壤含盐量,也降低了土壤微生物量碳和氮的含量。土壤盐分中的一些离子(Cl^-)对土壤生物有直接的毒害作用。荒漠开垦为绿洲农田土壤含水量明显增加,随着农田开垦时间延长,土壤含盐量增加,它可能抑制了某些农田大型土壤动物类群的活动,如步甲科、隐翅虫科和狼蛛科在绿洲农田的活动分布主要受土壤粗砂粒的影响,它们个体密度随农田开垦年限增加而降低,而线蚓科、正蚓科和蝇科幼虫的活动受土壤粗砂粒和土壤含盐量的影响,它们的个体密度随农田开垦年限的增加而增加。不同动物类群在对土壤环境变化的响应模式和适应机理上存在明显的差异,这充分反映了它们在生活史、营养方式、繁殖特征和生物学特性等方面的综合性差异^[23,24]。

4 结 论

综上所述,荒漠草地开垦为绿洲农田后,随着开垦年限的增加,土壤含水量、土壤质地和土壤养分发生变化。这些土壤环境的改变影响了土壤动物的栖居环境和食物资源,这导致部分适应荒漠生境的土壤动物类群数量降低或消失,适应农田环境下的土壤动物类群的相对多度也明显增加。不同土壤动物类群在对土壤环境变化的响应模式和适应机理上存在明显的差异。总之,由荒漠转变为绿洲农田增加了适应农田环境土壤动物类群的种类和数量,但也导致适应荒漠环境动物类群的种类和数量降低。

参考文献:

- [1] 赵文智,程国栋.生态水文研究前沿问题及生态水文观测试验[J].地球科学进展, 2008, **23**(7): 671~674.
- [2] 王 涛.我国绿洲化及其研究的若干问题初探[J].中国沙漠, 2010, **30**(5):995~998.
- [3] 程国栋,肖洪浪,徐中民,等.中国西北内陆河水问题及其应对策略—以黑河流域为例[J].冰川冻土,2006,**28**(3): 406~413.
- [4] Chen Guodong,Xiao Honglang,Xu Zhongmin,et al. Water Issue and Its Countermeasure in the Inland River Basins of Northwest China-A Case Study in Heihe River Basin[J].Journal of Glaciology and Geocryology, 2006,**28**(3): 406~413.
- [5] 苏永中,王 芳,张智慧,等.河西走廊中段边缘绿洲农田土壤性状与团聚体特征[J].中国农业科学, 2007, **40**(4):741~748.
- [6] 王雪峰,苏永中,杨 荣.黑河中游绿洲不同开垦年限农田土壤线虫群落特征[J].应用生态学报, 2010, **21**(8): 2125~2131.
- [7] 殷秀琴,刘继亮,高 明.小兴安岭森林生态系统中营养元素关系及土壤动物的作用[J].地理科学,2007,**27**(6): 814~819.
- [8] Fu S L, Zou X M, Coleman D. Highlights and perspectives of soil biology and ecology research in China[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2009, **41**: 868~876.
- [9] Schrader G, Metge K, Bahadir M. Importance of saltions in ecotoxicological tests with soil arthropods[J]. Applied Soil Ecology, 1998, **7**: 189~193.
- [10] Yin X Q, Song B, Dong W H, et al. A review on the eco-geography of soil fauna in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, **65**(1): 91~102.
- [11] 尹文英.中国土壤动物检索图鉴[M].北京:科技出版社, 1998.
- [12] 郑乐怡,归 鸿.昆虫分类[M].南京:南京师范大学出版社, 1999.
- [13] 胡金林.中国农林蜘蛛[M].天津:天津科技出版社, 1984.
- [14] McAleece N, Lamshead P J D, Paterson G L J, et al. Biodiversity Pro software package[M]. London and Oban: Natural History Museum & Scottish Association for Marine Sciences, 1997.
- [15] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [16] 徐万里,马正强,顾美英,等.新疆玛纳斯河流域不同垦殖年限农田耕层土壤微生物群落特征[J].新疆农业科学,2010,**47**(6): 1194~1199.
- [17] 刘 骅,林英华,张云舒,等.长期施肥对灰漠土生物群落和酶活性的影响[J].生态学报,2008,**28**(8):3898~3904.
- [18] 林英华,黄庆海,刘 骅,等.长期耕作与长期定位施肥对农田土壤动物群落多样性的影响[J].中国农业科学,2010,**43**(11): 2261~2269.
- [19] 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[J].生态学报, 2003,**23**(6):1071~1078.
- [20] 吴东辉,张 柏,陈 鹏.吉林省黑土区农业生境大型土壤节肢动物群落组成与生态分布[J].中国农业科学,2006, **39**(1):125~131.
- [21] 朱强根,朱安宁,张佳宝,等.保护性耕作下土壤动物群落及其

- 与土壤肥力的关系[J].农业工程学报,2010,26(2):70~76.
- [22] 王国栋,褚贵新,刘 瑜,等.干旱绿洲长期微咸地下水灌溉对棉田土壤微生物量影响[J].农业工程学报,2009,25(11):44~48.
- [23] Staley J T, Hodgson C J, Mortimer S R, et al. Effects of summer rainfall manipulations on the abundance and vertical distribution of herbivorous soil macro-invertebrates[J].European Journal of Soil Biology, 2007, 43:189-198.
- [24] Whitford W G. Ecology of desert systems[M]. London: Academic Press, 2002.

Characteristics of Soil Macrofauna Community at An Age Sequence of Cultivation in Process of Oasification in the Middle Heihe River Basin

DONG Wei-hua¹, WANG Zi-ting², LI Feng-rui³, LIU Ji-liang³

(1. Urban and Environmental Sciences, Changchun Normal University, Changchun, Jilin 130032, China;

2. Gansu Academy of Forestry Science, Lanzhou, Gansu 730020, China; 3. Linze Inland River Basin

Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,

Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Age sequence in the process of oasification changes soil conditions and affects on soil fauna community. Up to now, few research has explored soil macrofauna community composition and diversity at an age sequence of cultivation in process of oasification. We investigated the composition and diversity of soil macrofauna communities using hand sorting method in both early May, mid July and September in native sandy shrubland, 27-year and 100-year oasis farmland. The results showed age sequence of cultivation had significantly affected on density, group richness, diversity and evenness index of soil macrofauna community. The density and groups of soil macrofauna community were strongly influenced by age sequence of cultivation in contrast to the modest change of diversity and evenness index. 27-year oasis farmland supported nearly 1.95 and 1.54 times higher of density and group richness soil macrofauna community than native sandy shrubland. 100-year farmland supported nearly 3.54 and 3 times higher of density and group richness soil macrofauna community than native sandy shrubland. The density of Geophilidae, Enchytraeidae, Lumbricidae and Muscidae larvae increased with oasis farmland cultivated, but the density of Tenebrionidae and Cicindelidae distinctly decreased with oasis farmland cultivated, and the density of Gnaphosidae, Noctuidae larvae and Formicidae had no obviously changed with oasis farmland cultivated. RDA analyses showed that the distribution of soil macrofauna community between native sandy shrubland and 27-year oasis farmland was clearly affected by soil temperature, pH, soil moisture, soil silt and clay content, total nitrogen and soil organic carbon. However, soil salinity, soil coarse content, soil fine sand content were the most important factors in shaping the spatial distribution pattern of soil macrofauna community between 27-year and 100-year oasis farmland.

Key words: middle Heihe River Basin; oasification; oasis farmland; cultivated age; soil macrofauna