

宁夏银北盐碱地油葵田土壤动物多样性及群落结构*

贺 奇^{1**} 杨贵军² 张文银¹ 来长凯¹ 殷延勃^{1***}

(1. 宁夏农林科学院农作物研究所, 永宁 750105; 2. 宁夏大学生命科学学院, 银川 750021)

摘 要 【目的】调查宁夏银北盐碱地油葵田的土壤动物多样性及群落结构, 探讨不同改良时间盐碱地土壤动物多样性及群落结构与环境因子之间的相关性。【方法】生物与环境因子之间的关系研究一直是生态研究的热点, 尤其是恢复生态学中如何设计环境因子来恢复生物群落的结构和功能最近引起了国内外学者的关注。以宁夏银北盐碱地油葵田为对象, 研究了不同改良时间盐碱地中油葵田土壤动物与环境因子的相互关系, 采用野外调查和室内试验相结合。【结果】共采集 12 个土壤动物类群, 优势类群为弹尾目 (60.67%)、蜱螨亚纲 (23.24%) 和鞘翅目 (6.45%); 土壤动物物种多样性、丰富度指数和均匀度在未改良盐碱地中较高。【结论】土壤 pH 值、碱化度和全盐质量分数是土壤动物分布的限制因素, 土壤动物的数量随土壤 pH 值、碱化度和全盐质量分数的降低而增加。这些结果为盐碱地改良的恢复与评价提供了重要的数据支持和基础资料。

关键词 土壤动物, 物种多样性, 土壤因子, 冗余度对应分析, 盐碱地

Soil animal diversity and community structure of saline-alkali soil in sunflower fields in northern Ningxia

HE Qi^{1**} YANG Gui-Jun² ZHANG Wen-Yin¹ LAI Chang-Kai¹ YIN Yan-Bo^{1***}

(1. Institution of Crop Research, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yongning 750105, China;

2. School of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract [Objectives] To investigate the soil animal diversity and community structure of saline-alkali soil in sunflower fields in Northern of Ningxia, and to reveal the relationship between soil animal diversity, community structure and soil factors over time in improved saline land. [Methods] The relationship between biotic factors and abiotic factors has been an important issue in ecology, especially in restoration ecology. In order to reveal the mutual relationships between soil animals and soil environmental factors we conducted a field investigation to collect biotic data in saline-alkali sunflower fields. [Results] Results showed that a total of 12 types of soil fauna, dominated by Collembola (60.67%) and Acarina (23.24%), were not significantly changed by the improvement of saline land. Diversity, Margalef richness, and uniformity also remained unchanged by the improvement of saline-alkali soil. [Conclusion] Soil pH, basicity and salt were the limiting factors of soil fauna distribution. The number of soil animals was higher in lower salt environment. The presence of Collembola, soil pH, and total salt content were negatively correlated with soil moisture. The Acarina distribution was affected by these factors, but not

* 资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目 (CARS-01-84)

**E-mail: heqi_1820@126.com

***通讯作者, E-mail: nxyyb@sohu.com

收稿日期: 2013-06-23, 接受日期: 2013-09-24

significantly so. These results provide important information for the improvement of saline land.

Key words soil animal, communities biodiversity, soil factors, redundancy analysis, saline-alkali soil

土壤动物作为陆地生态系统重要组成部分,在农业生态系统中物质循环和能量流动方面具有重要作用 (Anderson, 1975; Tian *et al.*, 1998)。土壤动物种类和数量极丰富,甚至多样性超过地上植物和动物的多样性 (Bloemers *et al.*, 1997; John *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2009; Wall *et al.*, 2010)。土壤动物食物网关系复杂,不同物种间具有紧密的联系,而且对环境变化敏感,环境因子的轻微波动都能对土壤动物多样性和生态系统功能产生深刻影响 (Bardgett, 2005),近年来土壤动物已成为土壤和土地品质评价的一个重要指标 (朱永恒等, 2005; 颜增光等, 2007)。丰富的土壤动物还与人类的生物资源、农林业的发展息息相关,因此探讨土壤动物与土壤环境之间的内在联系对于揭示土壤生态系统运行规律具有重要意义 (张建英等, 2012)。

盐碱土是在一定的自然或者人为条件下如气候干旱、蒸发量强等情况下形成的一类特殊土壤,其形成的实质主要是各种易溶性盐类在地面作水平方向与垂直方向的重新分配,致使盐分在集盐地区的土壤表层逐渐积聚起来 (Wall *et al.*, 1999)。土壤盐碱化是目前制约宁夏乃至全国农业增产的土壤因素之一,宁夏盐碱化土壤主要集中在银北地区,其主要分布在石嘴山市的平罗县、惠农区、大武口区和银川市的贺兰县、银川三区。近几年来,利用脱硫废弃物改良盐碱地的田间试验,取得了初步成果 (李跃进等, 2004; 肖国举等, 2010)。本文通过对银北盐碱油葵田土壤动物群落组成、多样性及其与土壤因子的关系,促进生态系统的良性循环、合理利用土壤资源、调整农业生产结构、改善土壤的盐碱化深入

研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地位于宁夏平罗西大滩前进农场七队 (106°22'50"E, 38°48'18"N, 海拔 1 095 m)。西大滩地处河套平原西南部,贺兰山东麓洪积扇边缘,属典型的北温带大陆性气候,年平均气温 8.50℃,年平均降水量 180 mm,主要集中在 7—9 月,平均海拔 1 100 m。西大滩属黄河中上游灌溉区,地势平缓低洼,境内分布有典型的碱化土壤(俗称白僵土)。地下水埋深 1.50~2.00 m,主要含硫酸盐和氯化物,并且普遍含有苏打 (Na_2CO_3)。土壤碱化度为 15%~60%,总碱度为 0.0020~0.0065 mol/kg, pH 值 8.00~10.40,全盐含量 2.50‰~6.50‰。盐分类型主要有 NaCl、 Na_2SO_4 和 Na_2CO_3 ,土壤质地黏重,透水性差 (王彬等, 2010)。

1.2 样地设置

为了研究盐碱地生境改良恢复中油葵田内土壤动物群落分布情况及多样性,选择改良 1、2、3、4 年和 2010 年的油葵田 (Improved oil sunflower field) 各一块,化学改良剂为脱硫物,施用量为 3.0 kg/m²,脱硫物的化学成分为 CaO 37.67%、SiO₂ 2.16%、Al₂O₃ 0.62%、Fe₂O₃ 0.58%、MgO 0.75%、TiO₂ 0.06%、K₂O 0.10%、Na₂O 0.10%、MnO 0.02%、P₂O₅ 0.03%。并选定一块面积大约 0.07 hm² 的未改良地 (Original saline-alkali soil) 做对照。每个样地均选择 3 个采样点,并在 3 个样点上各选择 3

个重复。

1.3 标本的采集及鉴定

试验分别于 2010 年 6 月、7 月和 8 月进行, 在 6 种不同改良时间油葵田里随机选取面积为 50 cm×50 cm 样方 3 个, 每一样方分 0~5、5~10、10~15、15~20 cm 4 层, 取土样。将取得的土样带回实验室分别用 Tullgren 法(干漏斗法)进行分离提取土壤动物(殷秀琴等, 2003; 李海英等, 2004; 郑祥, 2005; 黄红英等, 2011)。各土样同时烘烤 24 h。所获得的土壤动物在实验室用立体显微镜进行分类、鉴定(尹文英, 1992, 1998)。由于分类的困难, 土壤动物鉴定到目或科, 中小型土壤动物鉴定到纲或目。因土壤动物成虫和幼虫的生活习性差异较大, 所以将成虫和幼虫分开统计数量。

1.4 土样因子的调查

在每个样方内, 按照 0~5、5~10、10~15、15~20 cm 的层间距(5 cm), 用小土铲协助环刀分层取样两份土样后, 立即装入袋中, 带回室内, 一份用电子天平称量并记录其湿重, 计算土壤含水量(Soil water content); 将另一份土样带回实验室自然风干, 测定土壤 pH 值(pH value)、碱化度 ESP(Exchange sodium percentage)和全盐质量分数 TS(Total salt content)。

1.5 数据分析

个体捕获数大于 5%者为优势类群, 个体数在 1%~5%为常见类群, 个体数小于 1%者为稀有类群。A/C 值为在不同改良时间内油葵田蜱螨亚纲 Acari 和弹尾目 Collembola 个体数量之比。以 6 块油葵田, 每块田 3 个采集点, 采集到的土壤动物物种的组成和数量为原始数据, 计算土壤动物多样性(H')、均匀度(J)、丰

富度(D)和优势度(C)。土壤动物多样性(H')分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数, 计算公式为: $H' = -\sum P_i \ln P_i$, 其中 $P_i = N_i/N$, P_i 是第 i 种个体数占总个体数的比率, N_i 是第 i 种的个体数, N 是总个体数; 均匀度(J)分析采用 Pielou 均匀度指数, 计算公式为: $J = H'/\ln S$; Margalef(D)丰富度指数: 计算公式为: $D = (S-1)/\ln N$; 优势度(C)分析采用 Simpson 优势度指数, 计算公式为: $C = \sum (N_i/N)^2$ (马克平, 1994; 马克平等, 1994)。

本论文采用基于线性模型的冗余度对应分析(Redundancy analysis, RDA)来确定土壤动物群落分布、土壤环境因子和不同改良时间之间的关系, 绘制土壤动物类群分布与环境因子的二维排序图(Biplot), 应用国际通用的排序软件 CANOCO4.5 和 CANODRAW4.0 进行分析运算, 为了保证试验数据满足正态分布及减小异常值对分析结果的影响, 对环境数据和物种数据进行 $\lg(x+1)$ 转换, 然后进行排序分析(Lepě *et al.*, 2003)。利用 SPSS15.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)检验, 显著水平设定为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落组成与数量分布

本研究中采集到土壤动物 12 个类群, 共 1 691 只, 见表 1。其中弹尾目、蜱螨亚纲和鞘翅目为优势类群, 分别占总数比例为 60.67%、23.24%和 6.45%, 其中鞘翅目在不同的样地均有分布, 变化不明显; 蜱螨亚纲的捕获数在改良当年(2010 年)及 1 年后较少, 在第 3 年最多, 其他数量变化不大; 弹尾目在未改良盐碱地数量最少, 改良后不同年限弹尾目数量增加明显, 相应 A/C 值未改良盐碱地最高, 而经改良后均降

低(图1)。蜘蛛类、等足目、双翅目幼虫和膜翅目是常见类群(占总数比例1%~5%),分别占总数比例为1.30%、1.48%、1.12%和4.08%,等足目多见于未改良盐碱地。蠋蛾纲、蛭目、半翅目、缨翅目和鳞翅目幼虫是稀有类群,随机出现的可能性较大。

2.2 土壤动物类群的多样性

选择4种指数对不同改良时间的盐碱地油菜田的土壤动物群落的多样性进行比较分析。表2说明,土壤动物多样性指数 H' :未改良>改良2年>2010年改良>改良3年>改良4年>改良1年。丰富度指数 D :未改良>改良2年>2010年改良>改良4年>改良3年>改良1年,变化趋势与多样性指数 H' 基本一致,显著正相关

($r=0.971$, $P=0.001$);均匀度指数 J :未改良>2010年改良>改良2年>改良3年>改良4年>改良1年,与多样性指数 H' 显著正相关($r=0.974$, $P=0.001$)。优势度指数 C :改良1年>改良4年>改良3年>2010改良年>改良2年>未改良,变化趋势与多样性指数 H' 基本一致,显著负相关($r=0.987$, $P=0.001$)。通过改良不同时间的盐碱地可以看出,不同环境下的土壤动物多样性指数、丰富度指数、均匀度指数和优势度指数都呈现出不同的规律,反映了不同生境因子下对土壤动物多样性的影响。土壤动物群落多样性各特征指数及其变化规律基本符合土壤动物生态学研究的一般规律,即多样性指数越

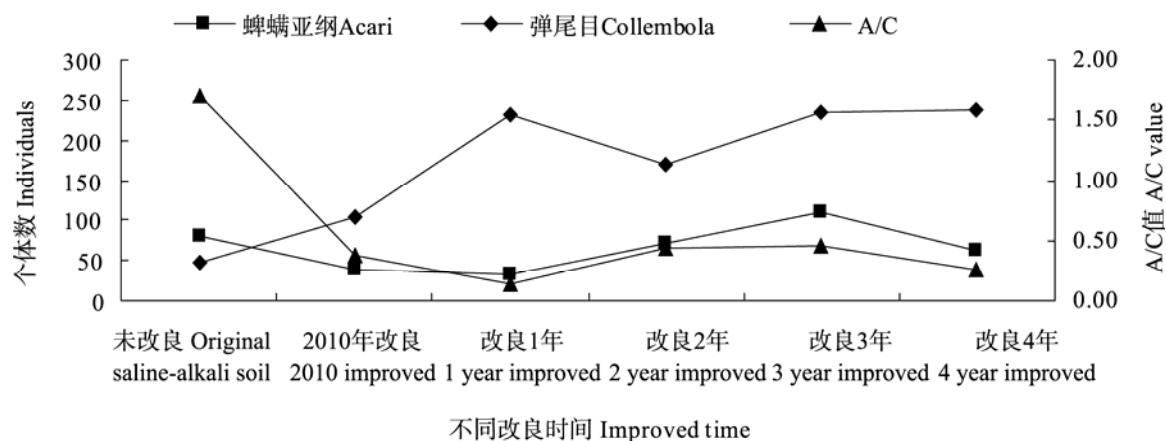


图 1 不同改良时间盐碱油葵田土壤动物优势类群个体数及 A/C 值

Fig. 1 The dominant groups and A/C ratio in different improved time in oil sunflower field

表 2 不同改良时间盐碱油葵田土壤动物的多样性指数

Table 2 Diversity index of soil fauna community in different sampling sites

样地 Sampling plot	多样性指数 Diversity index	优势度指数 Dominance index	均匀度指数 Evenness index	丰富度指数 Margalef index
未改良盐碱地 Original saline-alkali soil	1.6723±0.0755 a	0.2524±0.0351 d	0.7234±0.0698 a	1.1807±0.0651 a
2010 年改良 2010 improved	1.2543±0.1159 bc	0.3935±0.0513 cd	0.6401±0.0601 ab	0.8003±0.0507 cd
改良 1 年 1 year improved	0.6912±0.1124 d	0.6531±0.0557 a	0.4320±0.0503 d	0.4923±0.0503 e
改良 2 年 2 years improved	1.3536±0.0700 b	0.3716±0.0451 cd	0.6108±0.0551 bc	0.9712±0.0971 b
改良 3 年 3 years improved	1.0328±0.0603 c	0.4524±0.0503 bc	0.5319±0.0550 cd	0.7011±0.0751 d
改良 4 年 4 years improved	0.8845±0.0710 d	0.5637±0.0551 ab	0.4550±0.0640 d	0.7206±0.0703 d

注: 数据为 3 次重复的平均值±标准差, 同列数据间不同字母表示差异显著 ($P<0.05$, ANOVA, LSD)。

The data in the table are repetitive mean± SD for three times, and followed by different small letters in the same column indicate significantly different ($P<0.05$) ANOVA, LSD).

高, 相应的 Margalef 丰富度指数也越高(尹文英等, 2000), 同时群落内个体在物种间分配越均匀, 均匀性指数就越大, 而与优势度指数呈负相关关系。

2.3 土壤动物个体数与土壤因子的相关性分析

2.3.1 不同改良时间土壤因子特征及回归分析 6 个样地土壤盐碱化的测定结果见表 3, 样地中土壤动物数量与土壤环境因子的相关性分析如图 2 所示。采用 Spearman 秩相关系数分析不同改良

时间盐碱地油葵田土壤动物与各环境因子之间变化的关联程度, 土壤动物个体数量与土壤全盐、碱化度和 pH 值呈显著负相关(TS: $r = -0.8984$, $P = 0.0150$; ESP: $r = -0.8154$, $P = 0.0480$; pH: $r = -0.8333$, $P = 0.0393$), 低盐、低碱和偏中性的土壤适宜土壤动物生存。随着改良时间的不同, 土壤全盐、pH 值和碱化度都发生了明显变化。随着改良时间的增长, 土壤动物的数量呈递增趋势。此外, 土壤动物个体数量与土壤含水量呈正相关

($r=0.5240$, $P=0.2801$), 土壤含水量的变化与土壤动物数量的关系并不相同, 在一定的条件下, 以几种土壤因素起主要作用。

表 3 4 种土壤因子的测量值
Table 3 Four soil factors of different plots

样地 Sampling plot	土壤全盐质量分数 Soil total content (TS)(%)	土壤 pH 值 Soil pH value	土壤碱化度 Exchange sodium percentage (ESP)(%)	土壤含水量 Soil water content (SW)(%)
未改良盐碱地 Original saline-alkali soil	0.63	9.7	32.63	6.35
2010 年改良 2010 improved	0.55	8.9	18.90	7.90
改良 1 年 1 year improved	0.49	8.5	13.30	10.63
改良 2 年 2 years improved	0.38	8.4	10.40	11.67
改良 3 年 3 years improved	0.28	8.2	8.30	8.26
改良 4 年 4 years improved	0.25	8.2	8.20	11.84

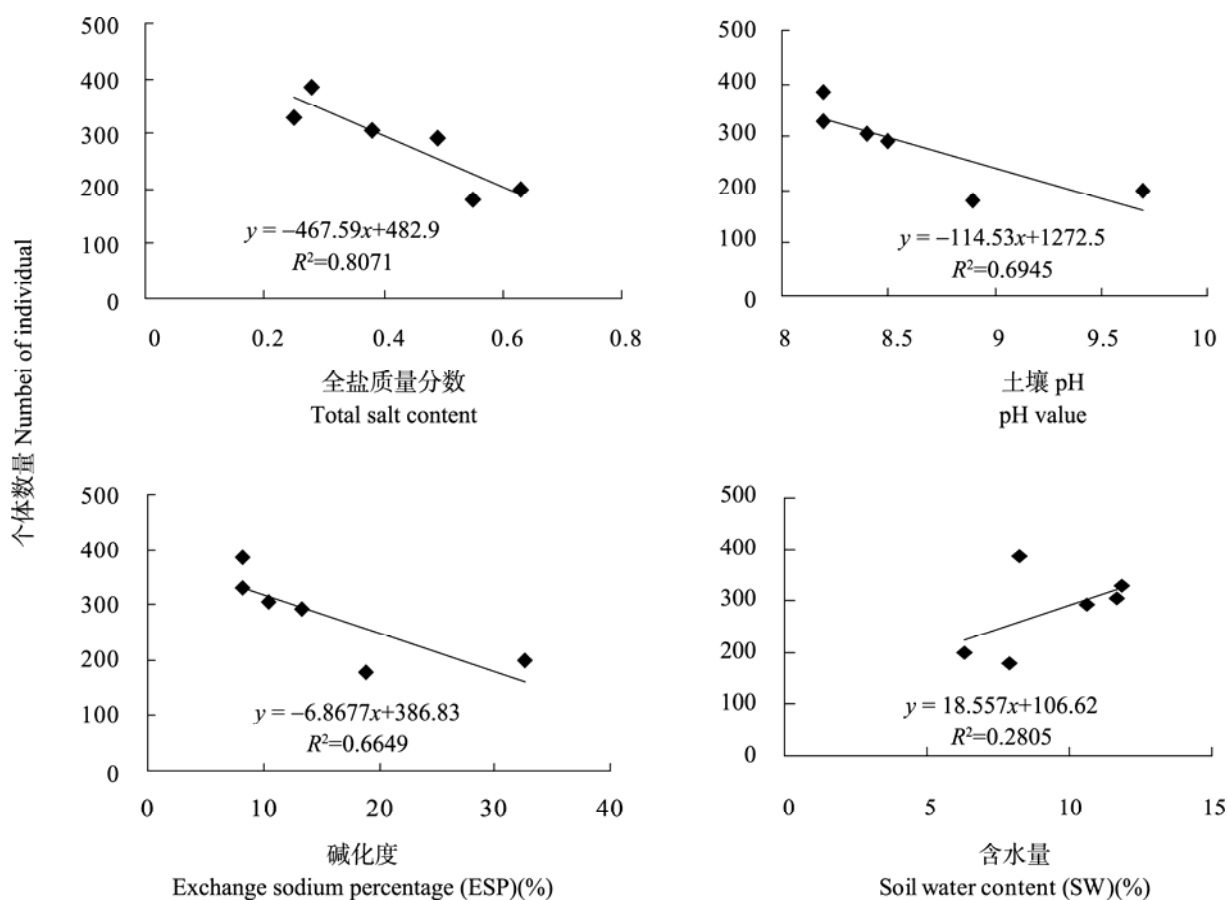


图 2 土壤动物个体数量与土壤全盐质量分数、pH、碱化度和含水量的线性回归

Fig. 2 Linear regression of number of individual of soil animal on total salt content, pH value, exchange sodium percentage and soil water content

2.3.2 不同改良时间土壤因子与土壤动物冗余分析

冗余度对应分析结果见图 3, 表示了土壤动物与土壤盐碱化因子的关系, 其中第 1 排序轴 (横轴) 解释了土壤动物数量变异的 45.8%, 第 2 排序轴 (纵轴) 解释了 22.9%, 所有土壤盐碱化指标 (所有排序轴) 能解释土壤动物数量变异的 71.7%。排序图表示的是在土壤盐碱化约束下的土壤动物类群分布, 由图 3 可见, 土壤动物优势类群弹尾目分布与土壤 pH、碱化度和全盐呈负相关, 与土壤含水量呈负相关。蜱螨亚纲分布受这些土壤因子影响不明显。缨翅目、蛭目、膜翅目、双翅目幼虫、等足目和半翅目在盐碱化较高的土壤分布较多。

3 讨论与结论

研究表明: 在不同改良时间的盐碱地油葵田中, 土壤动物的优势类群是弹尾目、蜱螨亚纲和鞘翅目, 蜘蛛类、等足目、双翅目幼虫和膜翅目是常见类群, 不同改良时间盐碱地油葵田中土壤动物个体数和类群分布都不同, 这与其他人的研究结果基本一致 (付关强 2007, 张建英等 2012)。调查结果显示: 盐碱地油葵田小型土壤动物群落组成种类和个体数都比较丰富, 从水平分布来看, 土壤动物类群数在未改良、改良 2 年、3 年和 4 年和 2010 年改良的油葵田比较丰富, 在改

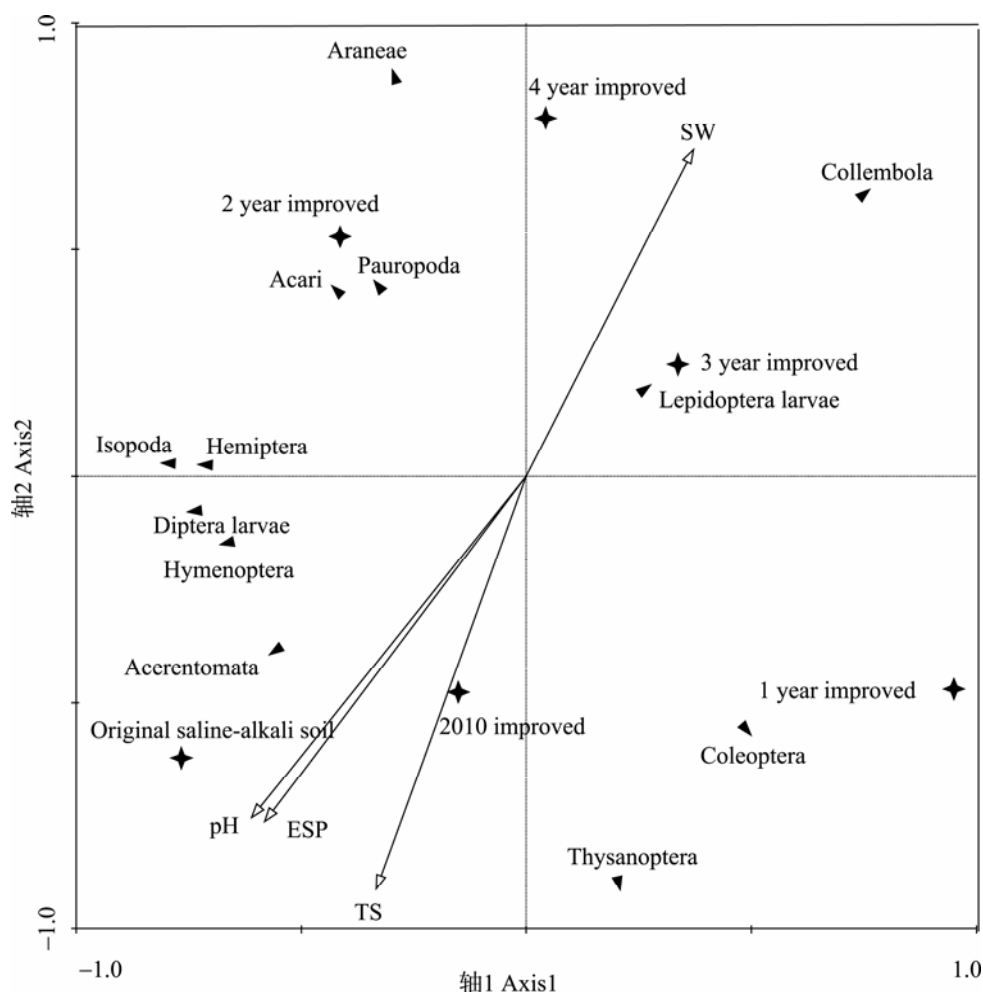


图 3 土壤动物群落分布与土壤因子关系的 RDA 二维排序图

Fig. 3 Soil factors on soil animal community affected by redundancy analysis (RDA)

良 1 年油葵田的最低；土壤动物个体数在改良 3 年、4 年和改良 2 年油葵田最多，其次是改良 1 年的油葵田，未改良和 2010 年改良的最低。从垂直分布来看，不同改良时间土壤动物群落都具有明显的表聚性 ($P < 0.05$)，表层最多，其次为中层，下层最少。这与其他研究结果一致 (葛宝明等, 2005; 黄丽荣和张雪萍, 2008; 古丽布斯

坦·努尔买买提等, 2013)。中国不同地区的农田生态系统土壤动物主要涉及蜱螨亚纲、弹尾类和线虫类 3 大类 (王移等, 2010)，沙地土壤动物结果群落单调，中小型土壤动物中线虫类为优势类群。其中半翅目的土蝽科和鞘翅目的拟步甲科两类昆虫为沙地特征性类群 (刘任涛和赵哈林, 2009)。农牧交错区中小型土壤动物优势类

* 资助项目：现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目 (CARS-01-84)

**E-mail: heqi_1820@126.com

***通讯作者，E-mail: nxxyb@sohu.com

收稿日期：2013-06-23，接受日期：2013-09-24

群为线虫, 常见类群为螨类和弹尾类(宋理洪等, 2011)。由此比较, 本研究改良盐碱地生境土壤动物群落组成与沙地生态系统差别较大, 与农田生态系统相似, 但未采集到线虫类。

土壤动物群落中蜱螨亚纲(Acaric)与弹尾目(Collembola)之比 A/C 值, 在一定程度上能反映不同地带土壤动物的分布特征, 蜱螨亚纲对环境条件的变化十分敏感, 常用来指示生态环境条件的演变(张建英等, 2012)。本研究中, 未改良盐碱地 A/C 值为 1.70, 经不同改良时间后, A/C 值明显降低, 本结果与尹文英(2000)及傅荣恕和苗明升(2001)的结果是相吻合的, 即同一地带不同干扰程度的生境中, 在人为干扰较少的生境中, 蜱螨目的数量明显多于弹尾目, A/C 值较大, 在人为干扰较大的生境中, 弹尾目数量增加, A/C 值较小(郑祥等, 2005)。

多样性研究对揭示群落的组成特点及动态, 生态系统多样性的研究具有重要的意义, 在土壤群落研究中, 群落物种多样性指数是表明群落组织水平及其功能特征的综合指标, 在理论与生产实践上都有重要意义(葛宝明等, 2005; 武海涛等, 2008), Shannon 生物多样性指数一般在 1.5~3.5(贾凤龙等, 2000), 而盐碱地油葵田土壤动物多样性总体较低, 为 0.6912~1.6723, 这与盐碱地的生境特点和人为干扰程度相关, 导致一些优势种群个体数量较多, 稀有种类数量稀少, 并且不同生态系统的恢复效果与生态系统的恢复时间、恢复程度、植被组成和采取的措施密切相关(张建英等, 2012)。

环境因子即是土壤动物赖以生存的条件, 又是限制其分布的因素, 但土壤动物在适应环境的同时也通过自身来改变环境, 土壤动物与土壤环境相结合来对土地进行评价(林英华等, 2007; 章家恩等, 2011)。土壤动物随着盐碱地改良前

后时间的不同而分布也有所不同, 引起该变化的主要原因是 4 种土壤盐碱化因子(土壤全盐、pH 值、盐碱度和含水量)的变化。其中改良 1 年的油葵田土壤动物个体总数最低, 这主要跟土壤动物的适应性有关, 土壤动物的生活环境在短时间内发生变化, 它们适应环境是需要时间的, 所以在改良第 1 年内, 动物的个体总数最低, 甚至比改良前都低。但是随着改良时间的增加, 动物的个体总数和类群总数都有所提高。

该地区的优势种随着生境因子的变化分布变化比较小, 在改良前后的田地里都会出现。土壤动物的多样性指数变化并没有随土壤盐碱化水平的降低而升高, 而在未改良盐碱地最高, 改良后种植单一的作物, 作物田的植物多样性降低了土壤动物种类, 所以应在大时空尺度范围内进行多种作物与非作物生境的设计与布局, 创造有利于土壤动物和作物共生的环境条件(赵紫华等, 2013)。本研究盐碱地生境中土壤含水量与土壤碱化度、pH 和土壤全盐质量分数变化趋势相反, 土壤含水量升高能够降低土壤的盐碱化程度, 可提高土壤动物群落多样性, 即这些因子是未改良盐碱地和改良盐碱地土壤动物序列分布的重要影响因子。在不同的改良时间内, 没有出现盐碱地土壤动物的群落组成和多样性明显提高的现象, 可能与土地的利用方式有关, 或者是改良 4 年时间对土壤结构的影响有限, 因此在今后的研究中, 应加强盐碱地土壤动物与土壤因子关系的时间变化规律研究。

参考文献 (References)

- Anderson JM, 1975. Succession, diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. *The Journal of Animal Ecology*, 44(2): 475-495 .
- Bardgett R, 2005. *The Biology of Soil: a Community and Ecosystem Approach*. Oxford: Oxford University Press. 183-189.

- Bloemers GF, Hodda M, Lamshead PJD, Lawton JH, Wanless FR, 1997. The effects of forest disturbance on diversity of tropical soil nematodes. *Oecologia*, 111(4): 575–582.
- John MGS, Wall DH, Hunt HW, 2006. Are soil mite assemblages structured by the identity of native and invasive alien grasses? *Ecology*, 87(5): 1314–1324.
- Lepě J, Šmilauer P, 2003. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO. Cambridge: Cambridge University Press. 3–269.
- Tian G, Adejuyigbe CO, Adeoye GO, Kang BT, 1998. Role of soil microarthropods in leaf decomposition and N release under various land-use practices in the humid tropics. *Pedobiologia*, 42(1): 33–42.
- Wall DH, Bardgett RD, Kelly E, 2010. Biodiversity in the dark. *Nature Geoscience*, 3(5): 297–298.
- Wall DH, Moore JC, 1999. Interactions underground: soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. *BioScience*, 49(2): 109–117.
- Wu T, Ayres E, Li G, Bardgett RD, Garey JR, 2009. Molecular profiling of soil animal diversity in natural ecosystems: Incongruence of molecular and morphological results. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(4): 849–857.
- 付关强, 2007. 吉林省羊草草原不同盐碱生境土壤动物多样性动态与生态因子关系研究. 硕士学位论文. 长春: 东北师范大学.[FU GQ, 2007. Study on the Relationship Between Dynamics of Soil Animals Biodiversity and Ecological factors of Different Halophilous Habitat in the *Leymus chinensis* Grassland of Jilin Province. Dissertation of master degree. Chang Chun: Northeast Normal University]
- 傅荣恕, 苗明升, 2001. 泰山地区土壤甲螨的群落组成和季节变动. *动物学报*, 47(专刊): 13–18. [FU RS, MIAO MS, 2001. Soil oribatida community component and seasonal fluctuation of Tai Mountain area at Shandong Province. *Acta Zoologica Sinica*, 47 (Special issue): 13–18.]
- 葛宝明, 孔军苗, 程宏毅, 郑祥, 鲍毅新, 2005. 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*, 26(3): 273–278. [GE BM, KONG JM, CHENG HY, ZHENG X, BAO YX, 2005. Community Structure of Soil Macrofauna in Different Using Types of Soils in Autumn. *Zoological Research*, 26(3): 273–278.]
- 古丽布斯坦·努尔买买提, 吾玛尔·阿布力孜, 欧尔比特·安瓦, 2013. 新疆雅玛里克山不同生境中小型土壤动物群落多样性研究. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 47(1): 91–96. [GU LI BU SI TAN NEMMT, WU MA ER A B L Z, OU ER BI TE AW, 2013. Study on the diversity of Soil meso-and micro-Fauna in Yamalik Mountain from Xinjiang. *Journal of Huangzhong Normal University*, 47(1): 91–96.]
- 黄红英, 徐剑, 白音, 张伟群, 王晓维, 2011. 大宝山矿污染弃耕农田不同恢复植被下土壤动物群落结构及多样性. *中国农学通报*, 27(24): 80–85. [HUANG HY, XU J, ZHANG WQ, WANG XW, 2011. Soil Animal Community Structure and Diversity under Different Restoration Vegetation in Polluted Abandoned Farmland of Dabaoshan Mine. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27(24): 80–85.]
- 黄丽荣, 张雪萍, 2008. 大兴岭寒温带地区中小型土壤动物群落特征. *应用与环境生物学报*, 14(3): 388–393. [HUANG LR, ZHANG XP, 2008. Community Characteristics of Mid-micro Soil Animals in Cold-temperate Zone of the Daxingan Mountains, China. *Chinese Journal of Applied And Environmental Biology*, 14(3): 388–393.]
- 贾凤龙, 梁铭球, 陈振耀, 庞虹, 谢委才, 陈里娥, 叶桂栋, 2000. 梧桐山甲虫物种多样性. *生物多样性*, 8(2): 169–171. [JIA FL, LIANG GQ, CHEN ZY, PANG H, XIE WC, CHEN LE, YE GD, 2000. Species diversity of beetles of Mt. Wutongshan, *Chinese Biodiversity*, 8(2): 169–171.]
- 李海英, 彭红春, 王启基, 2004. 高寒矮蒿草甸不同退化演替阶段植物群落地上生物量分析. *草业学报*, 13(5): 26–32. [LI HY, PENG HC, WANG QJ, 2004. Study on the aboveground biomass of plant communities among the stages of regressive succession in alpine *Kobresia humilis* meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 13(5): 26–32.]
- 李跃进, 乌力更, 芦永兴, 陈昌和, 徐旭常, 王淑娟, 2004. 燃煤烟气脱硫副产物改良碱化土壤田间试验研究. *华北农学报*, 19(S1): 10–15. [LI YJ, WU LG, LU YX, CHEN CH, XU XC, WANG SJ, 2004. Amelioration of Alkali-Soil with the by-Product of Burn Coal Smoke Desulphurization in the Field. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 19(S1): 10–15.]
- 林英华, 刘骅, 张树清, 张夫道, 2007. 新疆农田不同施肥区土壤昆虫群落丰富性与多样性. *中国农业科学*, 40(7): 1432–1438. [LIN YH, LIU H, ZHANG SQ, ZHANG FD, 2007. Abundance and Diversity of Crop Soil Insect Community at Different Fertilizer in Xinjiang. *Scientia Agricultura Sinica*, 40(7): 1432–1438.]
- 刘任涛, 赵哈林, 2009. 沙质草地土壤动物的研究进展及建议. *中国沙漠*, 29(4): 656–661. [LIU RT, ZHAO HL, 2009. Research Progress and Suggestion for Study on Soil Animal in Sandy Grassland. *Journal of Desert Research*, 29(4): 656–661.]
- 马克平, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I : α 多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 2(3): 162–168. [MA KP, 1994. The measure method of bio-community diversity: the method of α -diversity

- (First). Chinese Biodiversity, 2(3): 162-168.]
- 马克平, 刘玉明, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I : α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2(4): 231-239.[MA KP, LIU YM, 1994. The measure method of bio-community diversity: the method of α -diversity(Second). Chinese Biodiversity, 2(4): 231-239.]
- 宋理洪, 武海涛, 吴东辉, 2011. 我国农田生态系统土壤动物生态学进展. 生态学杂志, 30(12): 2898-2906.[SONG LH, WU HT, WU DH, 2011. Soil fauna ecology in China cropland ecosystems: Research progress. Chinese Journal of Ecology, 30(12): 2898-2906.]
- 王彬, 肖国举, 毛桂莲, 岳自慧, 许兴, 2010. 燃煤烟气脱硫废弃物对盐碱土的改良效应及对向日葵生长的影响. 植物生态学报, 34(10): 1227-1235.[WANG B, XIAO GJ, MAO GL, YUE ZH, XU X, 2010. Effects of coal-fired flue gas desulfurated waste residue application on saline-alkali soil amelioration and oil-sunflower growth. Chinese Journal of Plant Ecology, 34(10):1227-1235.]
- 王移, 卫伟, 杨兴中, 陈利项, 杨磊, 2010. 我国土壤动物与土壤环境要素相互关系研究进展. 应用生态学报, 21(9): 2441-2448.[WANG Y, WEI W, YANG XZ, CHEN LD, YANG L, 2010. Interrelationships between soil fauna and soil environmental factors in China: Research advance. Chinese Journal of Applied Ecology, 21(9):2441-2448.]
- 武海涛, 吕宪国, 杨青, 姜明, 佟守正, 2008. 三江平原湿地岛状林土壤动物群落结构特征及影响因素. 北京林业大学学报, 30(2): 50-58.[WU HT, LV XG, YANG Q, JIANG M, TONG SZ, 2008. Characteristics and influencing factors of soil fauna community structure in an island forest in wetland, Sanjiang Plain. Journal of Beijing Forestry University, 30(2):50-58.]
- 肖国举, 罗成科, 张峰举, 王彬, 郑国琦, 杨娟, 毛桂莲, 白海波, 2010. 燃煤电厂脱硫石膏改良碱化土壤的施用量. 环境科学研究, 23(6): 762-767.[XIAO GJ, LUO CK, ZHANG FJ, WANG B, ZHENG GQ, YANG J, MAO GL, BAI HB, 2010. Application Amount of Desulfurized Gypsum from Coal Fired Power Plants on Improving the Quality of Alkalized Soil. Research of Environmental Sciences, 23(6):762-767.]
- 颜增光, 何巧力, 李发生, 2007. 蚯蚓生态毒理试验在土壤污染风险评价中的应用. 环境科学研究, 20(1): 134-142.[YAN ZG, HE QL, LI FS, 2007. The Use of Earthworm Ecotoxicological Test in Risk Assessment of Soil Contamination. Research of Environmental Sciences, 20(1):134-142.]
- 尹文英, 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京:科学出版社. 75-79.[YIN WY, 1992. Subtropical Soil Animals of China. Beijing: National Natural Science Foundation China. 75-79.]
- 尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京:科学出版社. 1-683.[YIN WY, 1988. An illustrated key to Chinese Soil Animals. Beijing: National Natural Science Foundation China. 1-683.]
- 尹文英, 2000. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社. 127-293.[YIN WY, 2000. Soil macrofauna in China. Beijing: National Natural Science Foundation China. 127-293.]
- 殷秀琴, 王海霞, 周道玮, 2003. 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, 23(6): 1071-1078.[YIN XQ, WANG HX, ZHOU DW, 2003. Characteristics of soil animals' communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China. Acta Ecologica Sinica, 23(6):1071-1078.]
- 章家恩, 秦钟, 李庆芳, 2011. 不同土地利用方式下土壤动物群落的聚类与排序. 生态学杂志, 30(12): 2849-2856.[ZHANG JE, QIN Z, LI QF, 2011. Clustering and ordination of soil animal community under different land-use types. Chinese Journal of Ecology, 30(12):2849-2856.]
- 张建英, 杨贵军, 于有志, 2012. 银北盐碱地土壤动物多样性与土壤因子的相关性. 西北农业学报, 21(7): 177-184.[ZHANG JY, YANG GJ, YU YZ, 2012. Soil Fauna Diversity and Its Relations with Soil Factors in Saline-alkali Soil in Northern Yinchuan of Ningxia. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 21(7):177-184.]
- 赵紫华, 欧阳芳, 戈峰, 2013. 生境管理—保护性生物防治的发展方向. 应用昆虫学报, 50(4): 1-11.[ZHAO ZH, OU YF, GE F, 2013. Habitat management in biological control. Chinese Journal of Applied Entomology, 50(4):1-11.]
- 郑祥, 鲍毅新, 孔军苗, 2005. 金华北山阔叶林大型土壤动物群落的初步研究. 土壤, 37(5): 545-550.[ZHENG X, BAO YX, KONG JM,]
- 朱永恒, 赵春雨, 王宗英, 濮励杰, 2005. 我国土壤动物群落生态学研究综述. 生态学杂志, 24(12):1477-1481. [ZHU YH, ZHAO CY, WANG ZY, PU LJ, 2005. Research on soil animal community ecology in China. Chinese Journal of Ecology, 24(12):1477-1481.]