

# 陕西农田土壤动物群落与长期施肥环境的灰色关联度分析

林英华<sup>1,2</sup>, 张夫道<sup>1\*</sup>, 杨学云<sup>3</sup>, 贾小明<sup>4</sup>, 古巧珍<sup>3</sup>, 孙本华<sup>3</sup>, 马路军<sup>3</sup>

(1 中国农业科学院土肥所, 北京 100081; 2 中国林业科学研究院森保所, 北京 100091;

3 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100; 4 浙江大学生命科学院, 浙江杭州 310029)

**摘要:** 2001年7月至2002年10月,对陕西黄土区6种长期定位施肥农田土壤动物群落进行调查,采集72个定点土壤样品,通过手捡法和Cobb过筛法,共获得农田土壤动物标本5495只,隶属6门11纲22目;分析测定了土壤环境中的3类土壤微生物(细菌、真菌和放线菌)和土壤因子的5项指标(耕层全N、有机质含量、有效P、pH、土壤含水量)。以长期定位施肥农田土壤动物5种优势类群、弱势类群以及农田土壤动物个体数为研究对象,应用灰色理论对长期定位施肥农田土壤动物群落与土壤环境之间的灰色关联系数和灰色关联度进行了分析。结果表明,本研究选取的环境因子与农田土壤动物因子的关联表现出一定的规律性,土壤pH和含水量对土壤动物个体总数的影响最大。对农田土壤动物的影响的大小顺序为:全N>有机质>含水量>pH>细菌>真菌>放线菌>有效P。优势分析显示,土壤有机质对土壤动物的影响最大,土壤全N的影响次之,其灰色综合关联系数分别为0.6555和0.6444;细菌的影响最小,其灰色综合关联系数为0.5429。土壤因子对农田土壤动物的影响大于土壤微生物。

**关键词:** 农田土壤动物; 长期施肥; 土壤环境因子; 灰色关联分析

中图分类号: S154.5

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X (2005)05-0609-06

## Grey relationship between cropland soil fauna community and the environment factors in Shaanxi

LIN Ying-hua<sup>1,2</sup>, ZHANG Fu-dao<sup>1\*</sup>, YANG Xue-yun<sup>3</sup>, JIA Xiao-ming<sup>4</sup>, GU Qiao-zhen<sup>3</sup>, SUN Ben-hua<sup>3</sup>, MA Lu-jun<sup>3</sup>

(1 Soil and Fertilizer Inst., CAAS, Beijing 100081 China; 2 Research Inst. of Forest Protection, CAF, Beijing 100091, China;

3 College of Resour. and Envir. Sci., Northwest Sci. and Tech. Univ. of Agric. and For., Yangling, Shaanxi 712100, China;

4 Life Sci. College, Zhejiang Univ., Hangzhou 310029, China)

**Abstract:** From Jul. 2001 to Oct. 2002, the composition and community structure of cropland soil fauna on a loess soil were studied using hand picking and Cobb method. Totally, 72 soil samples throughout 6 long-term stationary experiments were collected and 5495 cropland soil fauna specimens, which belonged to 6 Phyla, 11 Classes, 22 Order, were obtained. The relationship between cropland soil fauna community and the environment factors was analyzed by gray relationship based on individual of cropland soil fauna (dominant communities, rare community and total numbers of cropland soil fauna), soil microbe (bacteria, fungal and actinomyces) and soil properties (total nitrogen, organic matter, pH, available phosphorus and water content). The result showed that the correlation between environment factors, which were selected by this paper, show an unvarying regularity. pH and soil water content has the greatest affection on individual of soil fauna. The sequence of the affection on cropland soil fauna by soil environment factors is total nitrogen > soil organic matter > containing water > pH > bacteria > fungal > actinomyces > available phosphorus. The results of dominance analysis indicated that the organic matter has the greatest affection on cropland soil fauna, followed by soil total nitrogen. The synthesis grey correlation reading of organic matter and total N with soil fauna was 0.6555 and 0.6444, respective. The

收稿日期: 2004-07-27

修改稿收到日期: 2004-10-25

基金项目: 科技部社会公益研究专项资金项目“中国土壤生物演化及安全预警系统研究”(2000-177)资助。

作者简介: 林英华(1966—),女,黑龙江省绥化市人,博士,主要从事动物生态学和土壤生态环境研究。\* 通讯作者

本研究承蒙萧刚研究员、杨秀元女士、李枢强博士、陈德牛研究员、张崇洲研究员、魏琮博士、高文呈副研究员等帮助鉴定部分标本,谨表谢忱!

affection of bacteria on soil fauna is smallest, its synthesis grey correlation reading is 0.5429. The influence of soil factors on soil fauna was greater than that of soil microorganism.

**Key words:** cropland soil fauna; long-term fertilization; soil factor; grey correlation

土壤动物主要活动在复杂的土壤生态系统中,对改善土壤理化性质具有重要作用。土壤的不同使用方式会改变土壤理化性质,从而引起土壤动物变化<sup>[1]</sup>。土壤动物数量不仅与环境因子有关,还与土壤微生物存在密切的关系。土壤有机质的分解过程实质上就是土壤动物和微生物相互作用的过程,通过两者相互作用,加快有机质的分解速度和促进矿质化<sup>[2]</sup>。

土壤生物是决定土壤质量的重要因素。土壤生物的研究多年来主要集中在土壤微生物及其对土壤理化性质影响<sup>[3-5]</sup>,从整个土壤动物角度对农田土壤质量的影响研究较少。土壤动物对土壤健康功能的生物指示作用研究是一个新兴的研究领域,其功能性作用已经得到人们的认可,并已渗透到农业管理中<sup>[6]</sup>。土壤动物数量变化主要取决于自身生殖特征,但土壤中的微生物,土壤的各种特性,如水分、结构、质地、通气性、保水性、有机质含量和土壤的 pH 值等对土壤动物数量的影响也是不容忽视的重要因素,并起着相当大的作用。因此,本研究是在对陕西国家黄土土壤肥力与肥料效益长期监测基地的 6 种施肥处理农田土壤动物群落以及土壤环境因子调查的基础上,采用灰色关联分析方法,对两者之间的相互关系以及相互作用作初步探讨。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

研究地位于陕西杨凌国家黄土土壤肥力与肥料效益长期监测基地,海拔 524.7 m,年均气温 13℃,≥10℃积温 4196.2℃,无霜期 184~216d,年均降水量 550~600 mm,主要集中在 7~9 月,年均蒸发量 993mm。土壤母质为第四纪风积黄土,黄土母质,属褐土土类,塋土亚类,厚层红油土种。

试验共设 13 个处理,本研究涉及其中 6 个,即:1)对照(简称 CK);2)撂荒(简称 ABAND,不施肥、不耕作、不种植);3)氮磷钾(简称 NPK);4)氮磷钾+有机肥(简称 MNPK);5)氮磷钾(增量)+有机肥(增量)(简称 1.5MNPK);6)氮磷钾+秸秆(简称 SNPK)。小区面积为 196m<sup>2</sup>(14 m×14 m)。

### 1.2 样品采集和测定

农田土壤动物于每季作物收割后,取 0—20 cm

耕层土壤进行分层取样,每个小区选取 5 个点,调查因条件限制,仅采用手捡法和 Cobb 过筛法<sup>[7]</sup>。4 次取样平均面积为 0.40m×0.40m。在分类上以大类为主<sup>[8]</sup>,体型大小依据其在食物分解过程中的作用<sup>[9]</sup>进行划分。

细菌、真菌、放线菌分别采用牛肉膏蛋白胨、马丁氏和改良高氏 1 号培养基,涂抹法接种,稀释平板法测数。

耕层全 N、有机质含量、有效 P、pH 值、土壤含水率测定参照《国家土壤肥力与肥料效益长期监测研究技术规程》。

### 1.3 数据分析

采用灰色系统分析方法—灰色关联分析方法。其原理是依据空间理论为数学基础,按照规范性、偶对称性、整体性和接近性的原则,对信息部分确定和部分不确定的系统—灰色系统的发展势态进行定量描述和比较,以确定参考数列(母数列)和若干比较数列(子数列)之间的灰色关系,进而评价各个子数列对母数列的相对重要程度。本研究以土壤动物个体数为母数列,土壤环境因子为子数列。无量纲化采用初值化处理。

$$\text{关联系数: } D_{ij}(\rho) = \frac{\Delta K_{\min} + \rho \Delta K_{\max}}{\Delta K + \rho \Delta K_{\max}},$$

$\Delta K_{\min}$ 、 $\Delta K_{\max}$ 分别为  $K$  时刻两个数列绝对差中的最小值和最大值,其中判别系数  $\rho$  取值区间为 $[0,1]$ ,本文取 0.5。

$$\text{广义灰色关联度: } \epsilon_{ij} = \frac{1 + |x_{ij}| + |y_{ij}|}{1 + |x_{ij}| + |y_{ij}| + |y_{ij} - x_{ij}|}$$

$$\text{其中, } |x_{ij}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_1^0(k) + \frac{1}{2} x_1^0(n) \right|$$

$$|y_{ij}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} y_1^0(k) + \frac{1}{2} y_1^0(n) \right|$$

$$\text{灰色综合关联度: } \rho_{0i} = \theta \epsilon_{0i} + (1 - \theta) r_{0i}$$

其中  $\epsilon_{0i}$ 、 $r_{0i}$ 分别为灰色绝对关联度和相对关联度, $\theta \in [0,1]$ ,一般为 0.5<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 农田土壤动物群落组成与分布

4 次(2001.6~2002.10)共采集 72 个土壤样品、获得农田土壤动物标本 5495 只,隶属 6 门 11 纲 22

目。其中大型农田土壤动物 19 类,优势类群有后孔寡毛目、等足目、鞘翅目、膜翅目(蚊科),分别占捕获大型农田土壤动物总个数的 15.65%、15.13%、16.55%、28.94%; 常见类群近孔寡毛、柄眼目、蜘蛛目、带马陆目,分别占大型农田土壤动物总个体数的 4.09%、2.35%、1.32%、9.66%; 中、小型农田土壤动物 8 类,优势类群为线虫动物门,占中小型土壤动

物总个体数的 79.55%; 常见类群有弹尾目、蜉蝣目、等翅目,分别占中小型土壤动物总个体数的 2.42%、8.16%、8.44%。这些农田土壤动物对 6 种施肥农田土壤环境具有较强的适应能力,是 6 种施肥农田土壤动物的主要类群(表 1)。其优势类群和土壤环境因子特性如表 2。

表 1 黄土区农田土壤动物的种类组成和结构

Table 1 Species composition and community structure of cropland soil fauna of loess soil

序号 No.	动物类群 Taxa	大型土壤动物 Macrofauna		中小型土壤动物 Mesofauna and Microfauna		多度 Degree
		个体数(No./m <sup>3</sup> )	丰度(%)	个体数(No./m <sup>3</sup> )	丰度(%)	
		Individual	Percent	Individual	Percent	
1	轮形动物门 <i>Roliusca</i>			8.33	0.38	
2	线虫动物门 <i>Nemata</i>			1746.88	79.55	* * *
3	后孔寡毛目 <i>Ol. opisthopora</i>	541.67	15.64			* * *
4	近孔寡毛目 <i>Ol. plesiopora</i>	141.67	4.09			* *
5	柄眼目 <i>Stylommatophora</i>	81.25	2.35			* *
6	缓步动物门 <i>Tardigrada</i>			1.04	0.05	
7	蜘蛛目 <i>Araneae</i>	45.83	1.32			* *
8	盲蛛目 <i>Opiliones</i>	2.08	0.06			
9	蜉蝣目 <i>Acariformes</i>			179.17	8.16	* *
10	等足目 <i>Isopoda</i>	523.96	15.13			* * *
11	姬马路目 <i>Julida</i>	21.88	0.63			
12	带马陆目 <i>Polydesmida</i>	334.38	9.66			* *
13	地蜈蚣目 <i>Geophilomorpha</i>	20.83	0.60			
14	蜈蚣目 <i>Scolopendromorpha</i>	4.17	0.12			
15	综合纲 <i>Pauropoda</i>	7.29	0.21			
16	原尾纲 <i>Protura</i>			1.04	0.05	
17	弹尾目 <i>Collembola</i>			53.13	2.42	* *
18	双尾目 <i>Diplura</i>			20.83	0.95	
19	等翅目 <i>Isoptera</i>			185.42	8.44	* *
20	直翅目 <i>Orthoptera</i>	22.92	0.66			
21	革翅目 <i>Deramptera</i>	1.04	0.03			
22	缨翅目 <i>Thysanoptera</i>	1.04	0.03			
23	半翅目 <i>Thysanoptera</i>	6.25	0.18			
24	鳞翅目 <i>Lepidoptera</i>	10.42	0.30			
25	鞘翅目 <i>Coleoptera</i>	572.92	16.55			* * *
26	双翅目 <i>Diptera</i>	27.08	0.78			
27	膜翅目 <i>Hymenoptera</i>	1002.08	28.94			* * *

### 2.2 农田土壤动物与土壤环境因子的关联度分析

2.2.1 农田土壤动物与土壤环境因子关联系数  
原始数据无量纲化初值后计算灰色级差灰色关联系数,其关联矩阵见表 3。

从表 3 中各因子之间的关联系数大小可以看出,在所有系数中,  $r_{77}$ 、 $r_{78}$  最大,即:  $r_{77} = r(y_7, x_7) = 0.992$ 、 $r_{78} = r(y_7, x_8) = 0.992$ , 表明土壤 pH 和含水量对土壤动物个体总数的影响最大。

表2 6种施肥处理土壤动物主要优势类群的个体数与土壤微生物、土壤理化因子

Table 2 Population density of dominant community of soil fauna, microflora and soil factor at 6 treatments

指标 Item	CK	ABAND	NPK	MNPK	SNPK	1.5MNPK
线虫动物门 <i>Nemata</i> ( $y_1$ )	993.75	1800.00	722.22	1286.67	2156.25	3746.67
后孔寡毛目 <i>Ol. opisthopora</i> ( $y_2$ )	75.00	237.50	300.00	1653.33	593.75	486.67
等足目 <i>Isopoda</i> ( $y_3$ )	306.25	856.25	444.44	680.00	512.50	353.33
鞘翅目 <i>Coleoptera</i> ( $y_4$ )	362.50	325.00	494.44	1013.33	706.25	573.33
膜翅目(蚁科) <i>Hymenoptera</i> ( $y_5$ )	668.75	1512.50	1455.56	706.67	262.50	1353.33
弱勢类群 Rare community ( $y_6$ )	775.00	1537.50	700.00	1313.33	1262.50	1566.67
土壤动物总数 Total numbers ( $y_7$ )	3205.09	6112.50	4084.88	6533.86	5346.36	7867.96
细菌 Bacteria ( $\times 10^6$ unit /g, soil) ( $x_1$ )	17.40	7.87	15.40	17.40	12.00	17.50
真菌 Fungus ( $\times 10^4$ unit /g, soil) ( $x_2$ )	1.76	1.72	1.10	1.87	1.44	1.22
放线菌 actinomycetes ( $\times 10^5$ unit /g, soil) ( $x_3$ )	0.97	2.05	7.72	16.30	7.20	13.40
有机质 SOM(g/kg) ( $x_4$ )	12.53	16.16	15.13	23.86	16.67	28.79
全 N Total N(g/kg) ( $x_5$ )	0.97	1.25	1.18	1.75	1.31	2.01
有效 P Available P (mg/kg) ( $x_6$ )	4.59	5.35	18.56	125.76	19.03	187.93
pH(1:1H <sub>2</sub> O) ( $x_7$ )	8.40	8.36	8.38	8.22	8.36	8.13
含水量 Containing water (%) ( $x_8$ )	39.4	30.7	42.5	43.7	32.8	48.7

表3 因子间灰色关联系数 ( $r_{ij}$ )Table 3 The grey relational degree among factors ( $r_{ij}$ )

因子 Factors	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
$y_1$	0.973	0.960	0.959	0.972	0.880	0.746	0.966	0.965
$y_2$	0.771	0.772	0.866	0.792	0.967	0.802	0.777	0.777
$y_3$	0.965	0.963	0.779	0.967	0.970	0.743	0.966	0.969
$y_4$	0.964	0.965	0.779	0.977	0.985	0.757	0.969	0.972
$y_5$	0.951	0.955	0.780	0.966	0.966	0.745	0.956	0.955
$y_6$	0.966	0.967	0.781	0.985	0.988	0.745	0.971	0.971
$y_7$	0.958	0.959	0.763	0.968	0.970	0.741	0.992	0.992

从5类主要类群看,在  $r_{1j}$ , 即  $r_{1j} = (y_1, x_j)$  中,  $r_{11}$  最大,而  $r_{15}$ 、 $r_{16}$  偏小,表明细菌(0.973)对线虫动物影响最大,而全 N(0.880)、有效 P(0.746)对其影响最小;在  $r_{2j}$ , 即  $r_{2j} = (y_2, x_j)$  中,  $r_{25}$  最大,而  $r_{21}$ 、 $r_{22}$  偏小,表明全 N(0.967)对后孔寡毛类的影响最大,而细菌(0.771)、真菌(0.772)对其影响最小;以此类推,全 N(0.970)、含水量(0.969)对后孔寡毛类的影响较大,而放线菌(0.779)、有效 P(0.743)对其的影响较小;全 N(0.985)对鞘翅目影响最大,放线菌(0.779)、有效 P(0.757)对其的影响较小;有机质(0.966)和全 N(0.966)对膜翅目,主要蚁科的影响最大,有效 P(0.745)对其的影响最小;全 N(0.988)对于农田土壤动物弱勢类群的影响最大,有效 P(0.745)对其的影响最小。

### 2.2.2 农田土壤动物与环境因子间关联度 关联

度均以  $R_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ij} (i = 1, 2, \dots, 7, j = 1, 2, \dots, 8)$  计算,其中  $R_{ij}$  是第  $i$  个环境因子与农田土壤动物指标关联度的均值;  $r_{ij}$  为第  $i$  个环境因子与第  $j$  农田土壤动物指标的关联度。

环境因子关联度均值大小顺序为全 N(0.9609)、有机质(0.9467)、含水量(0.9430)、pH(0.9424)、细菌(0.9354)、真菌(0.9344)、放线菌(0.8153)、有效 P(0.7541)。

农田土壤动物关联度均值大小顺序为线虫动物门(0.9276)、弱勢类群(0.9218)、鞘翅目(0.9210)、土壤动物总数(0.9179)、等足目(0.9153)、膜翅目(蚁科)(0.9093)、后孔寡毛目(0.8155)。

灰关联度越大,说明比较数列与参考数列的发展趋势越接近,或者说比较数列对参考数列影响就越大。从上述数据可以看出,环境因子与农田土壤动物关联值均较高,其中最大值为 0.9609,最小值为 0.7541,说明这些环境因子与农田土壤动物的关系较为密切,其中全 N 和有机质对农田土壤动物个体数量影响较大,土壤有效 P 对农田土壤动物个体数影响较小;土壤线虫与本文选取的环境因子最密切,后孔寡毛目则密切程度较差;土壤因子对农田土壤动物的影响总体上大于土壤微生物因子。

2.2.3 优势分析 采用广义灰色关联序对环境因子影响进行优势分析。计算灰色绝对关联、灰色相对关联以及综合关联度,其关联序大小次序依次为:

$$\begin{aligned} \epsilon_{6j}(0.5552) &> \epsilon_{3j}(0.5106) > \epsilon_{4j}(0.5102) > \\ \epsilon_{5j}(0.5040) &> \epsilon_{8j}(0.5036) > \epsilon_{2j}(0.5035) = \\ \epsilon_{7j}(0.5035) &> \epsilon_{1j}(0.5035) \\ r_{4j}(0.8008) &> r_{5j}(0.7849) > r_{7j}(0.6218) > \\ r_{8j}(0.6181) &> r_{3j}(0.6109) > r_{2j}(0.5904) > \\ r_{1j}(0.5823) &> r_{6j}(0.5776) \\ \rho_{4j}(0.6555) &> \rho_{5j}(0.6444) > \rho_{6j}(0.5664) > \\ \rho_{7j}(0.5626) &> \rho_{8j}(0.5608) > \rho_{3j}(0.5608) > \\ \rho_{2j}(0.5470) &> \rho_{1j}(0.5429) \end{aligned}$$

结果表明,绝对关联度中  $x_6$  为最优因素,  $x_3$  次之,  $x_4$  又次之,  $x_1$  最劣,即有效 P 对土壤动物的影响最大,放线菌的影响次之,土壤有机质的影响次于前两者,细菌的影响最小;相对关联度中  $x_4$  为最优因素,  $x_5$  次之,  $x_7$  又次之,  $x_6$  最劣,即土壤有机质对土壤动物的影响最大,全 N 的影响次之, pH 的影响次于前两者,有效 P 的影响最小;而综合关联度中  $x_4$  为最优因素,  $x_5$  次之,  $x_6$  又次之,  $x_1$  最劣,即土壤有机质对土壤动物的影响最大,土壤全 N 的影响次之,有效 P 的影响次于前两者,细菌的影响最小。三种关联序分析的结果不一致,这是由于绝对关联序是从绝对量的关系进行考虑,相对关联序是从各时刻观测数据相对于始点的变化,而综合关联序则综合了绝对变量的关系和变化。可见,土壤有机质对土壤动物的影响最大,土壤全 N 的影响次之,有效 P 的影响次于前两者,细菌的影响最小;土壤因子对农田土壤动物的影响大于土壤微生物。

### 3 讨论

农田土壤动物群落结构与土壤环境中土壤理化性状和土壤微生物密切关系,这些因子直接影响土壤动物的生存与发展。

灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度判断其联系是否紧密,曲线越接近,相应序列之间的关联度就越大,反之就越小。灰色相关系数分析表明,除有效 P 以外,土壤因子对农田土壤动物群落影响程度明显高于土壤微生物因子的影响,这与苏永春等<sup>[11]</sup>报道的速效 P(有效 P 部分含量)对东北高寒区土壤生物影响存在差异,但从广义灰色关联序看,两者有相似处,这是否与气候因子有关,有待于进一步研究。土壤 pH 和含水量对土壤动物个体总数的影响最大,这与我们于 2004 年对农田土壤动物与土壤理化性质关系分析的结果相

一致<sup>[12]</sup>。

从农田土壤动物的影响程度看,细菌对线虫动物影响最大,而全 N、有效 P 对其影响最小,土壤线虫属于湿性土壤动物,高湿度是其生存的基本条件,土壤含水量增加,其数量增加,因此土壤含水量与土壤线虫的关联度较高。此外,后孔寡毛类、鞘翅目和农田土壤动物弱勢类群也与土壤含水量的关联度较大,表明水分也是土壤生物生存的基本条件之一。同时分析表明,细菌、有机质对线虫个体数影响较大,与 Anderson 等<sup>[13]</sup>曾报道的线虫以细菌为食,从而降低细菌数量的观点是否存在一定的联系,有待于进一步研究。

影响大型土壤动物最主要因素为土壤全 N,这与土壤含氮量与土壤动物个体数量成正相关是一致的,与本研究采用广义灰色相关的综合关联度的分析相一致。有资料显示,土壤有机质含量与土壤全氮的含量一般呈正相关关系<sup>[14]</sup>,因此,土壤有机质对其他 4 类优势类群和弱勢类群影响较大,这与许多学者的研究结果基本一致。

灰色综合关联度是能较全面地表征序列之间联系是否紧密的一个数量指标。分析结果表明,土壤有机质对土壤动物之间联系最紧密,即土壤有机质对土壤动物的影响最大,土壤全 N 的次之,与灰色关联系数的分析结果相一致,也验证了土壤动物的数量与土壤有机质的含量呈较明显的相关关系。从土壤微生物的角度看,土壤微生物的影响程度小于土壤理化因子,即土壤理化因子对农田土壤动物的影响大于土壤微生物,与灰色关联系数的分析结果相一致。

本研究仅选取了黄土区长期定位施肥中的 5 类优势类群,其中优势类群是指个体数量占全部捕获量 10% 以上,而一些小型土壤动物由于按照类群进行分类而被忽略,使大型、中小型土壤动物所占的比例明显发生改变,但整体趋势发生变化不大。采用平板计数法测定的是可培养的土壤微生物群体,以生长迅速和能产生孢子的微生物群体占优势;培养分离出的土壤微生物的数量比土壤微生物的实际值偏低,是否对本研究的结果产生影响,有待于分析。此外,土壤动物个体数量也受采样时间和分离方法等条件影响,本研究仅就主要的环境因子对农田土壤动物优势群落进行了分析,其它方面的研究有待于进一步深入。

## 参考文献:

- [1] 张雪萍,李春艳,殷秀琴,等. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系[J]. 应用与环境生物学报,1999,15(1): 26-31.
- Zhang X P, Li C Y, Yin X Q *et al.* Relation between soil animals and nutrients in the differently used forest lands[J]. Chinese Journal Applied and Environmental Biology, 1999, 15(1): 26-31.
- [2] Beare M H, Parmelee R W, Hendrix P F *et al.* Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems[J]. Ecological Monographs, 1992, 62: 569-591.
- [3] Warkentin B P. The Changing concept of soil quality[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 50: 226-228.
- [4] Kennedy A C, Papendick R I. Microbial characteristics of soil quality [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 50: 243-248.
- [5] Gryndler M, Heselova H, Klir J *et al.* Long-term fertilization affects the abundance of saprotrophic microfungi degrading resistant forms of soil organic matter[J]. Folia Microbiologica, 2003, 48(1): 76-82.
- [6] 梁文举,张万民,李维光,等. 施用化肥对黑土地地区线虫群落组成及多样性影响[J]. 生物多样性,2001,9(3): 237-240.
- Liang W J, Zhang W M, Li W G *et al.* Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the black soil region [J]. Biodiversity Science, 2001, 9(3): 237-240.
- [7] 《土壤动物研究方法手册》编写组. 土壤动物研究方法手册 [M]. 北京: 中国林业出版社,1998. 24-34.
- Compiled by Team of Handbook of Soil Fauna Research Methods. Handbook of soil fauna research methods [M]. Beijing: China Forest-Publishing House, 1998. 24-34.
- [8] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- Yin W Y. Pictorial keys to soil animal of China [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [9] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in terrestrial ecosystems[M]. Berkeley: Univ. Calif. Press, 1979.
- [10] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社,1999.
- Liu S F, Guo T B, Dang Y G *et al.* The theory of grey system and its application[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [11] 苏永春,勾影波,张忠恒,等. 东北高寒地区土壤动物和土壤微生物的生态特征研究[J]. 生态学报,2001,21(10): 1614-1619.
- Su Y C, Gou Y B, Zhang Z H *et al.* Ecology characters of soil faunas and microorganisms in the north-east heavy frigid region of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(10): 1614-1619.
- [12] 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[J]. 中国农业科学,2004,37(6): 871-877.
- Lin Y H, Zhang F D, Yang X Y *et al.* Study on the relation of agricultural soil fauna and soil physical and chemical properties[J]. Chinese Agricultural Sinica, 2004, 37(6): 871-877.
- [13] Anderson J P E, Domsch K H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils[J]. Soil Biology and Biochem., 1978, 10: 215-221.
- [14] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Office of National Soil Survey. China soil[M]. Beijing: China Agriculture Publishing House, 1995.