

## 新疆农田不同施肥区土壤昆虫群落丰富性与多样性

林英华<sup>1</sup>, 刘 骅<sup>2</sup>, 张树清<sup>3</sup>, 张夫道<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091; <sup>2</sup>新疆农业科学院土壤肥料研究所, 乌鲁木齐 830000; <sup>3</sup>中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

**摘要:**【目的】在新疆国家灰漠土土壤肥力与肥料效益长期监测基地, 对 10 种施肥处理, 即 (1) 撂荒 (不施肥、不耕作、不种植, Aband. )、(2) 对照 (种植、不施肥, CK)、(3) 施氮肥 (N)、(4) 施氮磷肥 (NP)、(5) 施氮钾肥 (NK)、(6) 施磷钾肥 (PK)、(7) 施氮磷钾化肥 (NPK)、(8) 施氮磷钾化肥+有机肥 (有机氮和化肥氮的比例为 7 : 3) (MNPK)、(9) 化肥用量增加 50% 配施有机肥 (1.5 MNPK)、(10) 化肥配施秸秆 (SNPK) 与新疆灰漠土区农田土壤昆虫群落之间的关系进行研究。【方法】采用改良干漏斗 (Modified Tullgren) 分离土壤 (0~20 cm) 中的土壤昆虫, 同时利用陷阱法收集活动在地表的各类土壤昆虫。【结果】两种方法共获得土壤昆虫 4 915 只 (未知标本 128 只), 隶属 9 目 33 科。大型土壤昆虫个体数和类群数在 Aband. 处理中分布最多, 中小型土壤昆虫则分别在 N 和 PK 处理中分布最多; MNPK 处理土壤动物组成最丰富, N 处理土壤动物分布最均匀。农田土壤昆虫类群分布受施肥影响极其显著 ( $X_{0.05(9)}=23.38, P<0.005$ ), Aband. 区土壤昆虫群落与其它施肥处理土壤昆虫群落差异极显著 ( $P<0.01$ )。利用非度量多维标度分析法对土壤昆虫群落分类排序, 则灰漠土土壤昆虫群落划分为 5 组, 即 NPK、MNPK、1.5MNPK 和 CK 为一组, NP 和 PK 为一组, NK 和 N 为一组, SNPK 和 Aband. 各为一组, 表明土壤昆虫分布与肥料性质有关。主成分中前两个主成分解释总变量的 98.51%, 其中第一主成分反映了单施 N 肥和 SNPK 还田对土壤昆虫群落具有促进作用; 第二主成分反映了 1.5MNPK 对土壤昆虫群落促进作用, 表明施肥处理对土壤昆虫类群影响不平衡。【结论】新疆灰漠土区, 肥料的种类与性质影响着土壤昆虫类群多样性与丰富性, 且其影响具有不平衡性。

**关键词:** 土壤昆虫; 施肥; 非度量多维标度分析; 主成分分析

## Abundance and Diversity of Crop Soil Insect Community at Different Fertilizer in Xinjiang

LIN Ying-hua<sup>1</sup>, LIU Hua<sup>2</sup>, ZHANG Shu-qing<sup>3</sup>, ZHANG Fu-dao<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Research Institute of Ecology Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; <sup>2</sup>Institute of Soil and Fertilizer, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830000; <sup>3</sup>Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** 【Objective】The aim of this study was to research the relationship between the soil insect community and the 10 types of fertilization treatments (Abandonment., CK, N, NP, NK, PK, NPK, MNPK(fertilizer N : organic N=3 : 7), 1.5 MNPK and SNPK). The research was conducted at the Station's Experiment Research Network for Soil Fertility and Fertilizers in Xinjiang gray desert soil. 【Method】Soil insect was collected in 0-20 cm of soil by Modified Tullgren and the ground dwelling soil insect by pitfall traps. 【Result】4 915 soil insects (128 unknown) individuals belonging to 9 orders and 33 families were collected by two methods. The result showed that the number of individual and group, the macro fauna both reached their peaks in abandonment, while meso and microfauna in N and PK respectively. Of the 10 treatments, most dominant of soil insect composition was in MNPK, most evenness of was N. The result by Kruskal- Wallis test indicated that the distribution of the crop soil insect was significantly impacted by different fertilizer treatments ( $X_{0.05(9)}=23.38, P<0.005$ ), soil insect group of the abandonment was significantly different from

收稿日期: 2006-08-09; 接受日期: 2007-04-13

基金项目: 科技部社会公益研究专项资金项目 (2000-177) 部分资助

作者简介: 林英华 (1966-), 女, 黑龙江绥化人, 副研究员, 博士, 研究方向为动物生态学和土壤生态环境。Tel: 010-62889505; E-mail: linyinghua@263.net

that of others fertilizer treatments. The soil insect community were divided into five group by Non-metric Multi-Dimensional Scaling (NM-MDS) analysis: (1) NPK, MNPK, 1.5MNPK and CK, (2) NP and PK, (3) NK and N, (4) SNPK and (5) abandonment., indicated that distribution of soil insect was related to the fertilizer characteristic. In the principal component analysis, two factors explained 98.51% of the total variation among 10 treatments, the factor one explained N and SNPK was positively affected, while was second factor explained the 1.5MNPK positively affected the soil insect community. It showed the diversified fertilizer did not evenly affect on the soil insect community. 【Conclusion】In Xinjiang gray desert soil area, the soil insect community was effected by the fertilization types and their characteristics. That effect was not the equilibrium.

**Key word:** Soil insect; Fertilizer; Non-metric Multi-Dimensional Scaling (NM-MDS); Principal component analysis

## 0 引言

【研究意义】土壤有机质在维持土壤质量方面发挥着重要作用,是影响土壤变化过程的一个关键因子<sup>[1]</sup>。虽然土壤动物在土壤养分转换过程中的重要作用多被忽视,但试验条件下,土壤节肢动物对微生物矿化过程显著性影响已得到证实<sup>[2]</sup>。【前人研究进展】肥料在提高农作物产量的同时,改变了农业生态系统的土壤动物种群结构<sup>[3]</sup>,但土壤动物群落或种群特征对农业生态系统的反作用,如对营养物质氮、磷含量的影响以及在此条件下影响农作物的长势<sup>[4]</sup>。长期施肥导致无脊椎动物种类减少,某些种类,如弹尾类、蛴螬类数量增加<sup>[5]</sup>。随着全球对生物多样性及其保护和全球环境变化的关注,农业生产强度、土壤生物多样性与农业生态系统功能之间的关系已经引起人们的重视<sup>[6]</sup>。【本研究切入点】灰漠土是典型的干旱荒漠地带性土壤,也是西北干旱地区具有代表性的一类土壤,其面积的80%分布在新疆。由于灰漠土土壤有机质缺乏、板结、有效肥力低,成为农业生产进一步发展的主要限制因子。【拟解决的关键问题】在国家灰漠土土壤肥力与肥料效益长期监测基地不同施肥小区农田土壤昆虫群落调查的基础上,分析农田土壤昆虫群落丰富性多样性,并探讨不同施肥对丰富性与多样性的影响。

## 1 研究地概况与研究方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于新疆乌鲁木齐市以北22 km新疆农业科学院安宁渠试验场内,海拔高度680~920 m,处于干旱半干旱的荒漠气候带,年均气温5~7℃,昼夜温差平均在15℃以上,冬季寒冷。年降水量150~200 mm,蒸发量1600~2200 mm。土壤母质为冲积性洪积性黄土,属灰漠土类的中度熟化灰漠土。

该基地设10个试验处理,小区面积为468 m<sup>2</sup>,顺

序区组排列,种植制度为春玉米-春小麦(或冬小麦)。其处理分别为(1)撂荒(不施肥、不耕作、不种植, Aband.)、(2)对照(种植、不施肥, CK)、(3)施氮肥(N)、(4)施氮磷肥(NP)、(5)施氮钾肥(NK)、(6)施磷钾肥(PK)、(7)施氮磷钾肥(NPK)、(8)施氮磷钾肥+有机肥处理(有机氮和化肥氮的比例为7:3)(MNPK)、(9)化肥用量增加50%配施有机肥(1.5 MNPK)、(10)化肥配施秸秆(SNPK)。有机肥为羊粪,玉米秸秆全部还田。

### 1.2 农田土壤动物采集方法

2004年9月,取0~20 cm耕层土壤对土壤昆虫进行调查。在每个小区的对角线上取3个点,利用100 ml环刀分0~5、5~10、10~20 cm分层取样,利用改良干漏斗分离(modified tullgren)土壤中的土壤昆虫,同时在每小区均匀布设10个陷阱,利用陷阱法收集活动在地表的各类土壤昆虫。

受分类限制,所有昆虫标本鉴定到科<sup>[7]</sup>。动物体型大小依据其在食物分解过程中作用进行划分<sup>[8]</sup>,并依据此确定土壤昆虫的营养功能团<sup>[9]</sup>。

### 1.3 数据分析

类群数量等级:个体数量占全部捕获量10%以上为优势类群;介于1%~10%之间为常见类群;介于0.1%~1%为稀有类群;0.1%以下的为极稀有类群。本文将优势类群和常见类群统归为主要类群、稀有类群和极稀有类群统归为其它类群。

群落多样性指数采用 Shannon-Weiner 指数、Pielou 均匀性指数和 Simpson index 指数,即

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i, J_s = H' / \ln S \text{ 和 } C = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$

式中,  $p_i$  为类群  $i$  占类群总个体数的比例,  $S$  为类群数,  $N$  为群落总个体数,  $n_i$  为第  $i$  个种的个体数。采用非线性统计分析方法 Kruskal-Wallis 检验法分析不同施肥区土壤昆虫分布的差异,并通过其对不同施肥区土壤昆虫分

布进行多重比较。

为降低数量占优势的个别类群对群落结构的影响权重,将原始数据进行四次方根变换后对土壤昆虫群落通过非度量多维标度法(non-metric multi-dimensional scaling, NM-MDS)分析,对不同施肥处理土壤昆虫群落进行排序。主成分(主分量)法分析施肥对农田土壤昆虫的影响。所有运算通过 SPSS11.0 软件进行<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 群落结构与多样性

在 10 种施肥小区,共采集土壤样品 90 个、陷阱 100 个,获得土壤昆虫 4 915 只(未知标本 128 只),隶属 9 目 33 科,见表 1。啮虫目昆虫由于分类限制未进一步鉴定。其中大型农田土壤昆虫 26 类,优势类群有蚁科(20.00%)、蟋蟀科(21.54%);常见类群有蚜科(1.54%)、叶蝉科(幼虫)(1.54%)、拟步甲科(1.54%)、丸甲科(2.31%)、啮虫目(3.08%)、蚧科(幼虫)(3.08%)、蠹螋科(3.85%)、隐翅虫科(3.85%)、瓢甲科(4.62%)、叩头甲科(6.92%)、蓟马科(7.69%)、叶蜂科(幼虫)(9.23%)。中、小型农田土壤昆虫 7 类,优势类群为疣跳科(10.74%)、长角跳科(23.02%)、等节跳科(59.37%);常见类群有球角跳科(2.51%)、棘跳科(3.67%),其余为稀有类群(0.69%)。

新疆灰漠土农田土壤动物营养功能群共采集到 8 种,即植食性、枯食性、尸食性、粪食性、菌食性、捕食性、腐食性和杂食性,不同的施肥小区营养功能团组成不同。整体而言,植食性农田土壤动物占的比例最大(27.03%),其次杂食性(24.32%),但在每种施肥小区,杂食性营养功能团所占的比例却高于植食性营养功能团所占的比例,即植食性土壤昆虫依次为 Aband.(26.09%)>SNPK(22.22%)=N(22.22%)>CK(18.18%)=PK(18.18%)>1.5MNP(16.67%)>NPK(14.29%)>NP(12.50%)>MNP(11.11%)>NK(10.00%),而杂食性则依次为 PK(72.73%)>NP(75.00%)=NK(70.00%)=NK(70.00%)>SNPK(66.67%)=N(66.67%)>NPK(57.14%)>MNP(55.56%)>1.5MNP(50.00%)>CK(45.45%)>Aband.(26.09%)。

Kruskal-Wallis 检验法分析显示,不同施肥处理对农田土壤昆虫类群分布影响差异显著( $X_{0.05(9)}=23.38$ ,  $P<0.005$ ),表明农田土壤动物类群分布与施肥处理

有关。多重分析表明,Aband.小区的土壤昆虫群落与其它 9 种处理差异极显著( $P<0.01$ )。

在 10 种施肥条件下捕获的大型、中小型农田土壤动物的个体总数和类群数变化趋势不一致(表 1)。大型农田土壤动物的个体总数依次是 Aband.>SNPK>CK>NPK>1.5MNP>NP>NK>MNP>N>PK;类群数依次为 Aband.>1.5MNP>MNP>SNPK>CK>NPK>NK>PK>NP>N;中小型农田土壤动物个体总数和类群数分别为 N>SNPK>PK>NP>Aband.>1.5MNP>NPK>MNP>CK>NK,PK>NK>N>Aband.>CK>NP>1.5MNP>MNP>SNPK>NPK。

由于中小型土壤昆虫类群数较少,因此将土壤动物类群数合并统一计算不同施肥间的多样性指数(表 2)。从表 2 中可见,土壤动物多样性指数依次是 MNP>NPK>Aband.>CK>NK>PK>NP>SNPK>1.5MNP>N,辛普森优势度指数基本上相反,即 N>1.5MNP>NPK>PK>MNP>NP>SNPK>NK>CK>Aband.,均匀性指数依次是 CK>Aband.>NK>NP>NPK>SNPK>PK>MNP>1.5MNP>N,说明 MNP 处理土壤动物组成最丰富,N 处理土壤动物分布最均匀。

### 2.2 土壤昆虫群落分类与排序

非度量多维标度法二维分析结果见图 1。从图中可以看出,农田土壤昆虫群落可以划分为 5 组,即 NPK、MNP、HMNP 和 CK 为一组,NP 和 PK 为一组,NK 和 N 为一组,SNPK 和 Aband.(AB)各为一组。第一维方向主要代表 Aband.、SNPK 以及不同施肥对土壤昆虫群落的影响,第二维方向主要代表均衡施肥对土壤昆虫群落的影响程度。

### 2.3 施肥与土壤昆虫群落的关系

选取 19 种施肥小区中优势类群、常见类群、主要农田土壤昆虫个体数、其它个体数、总个体数、主要农田土壤昆虫类群数、其它类群数、类群总数、土壤昆虫类群多样性和均匀性 27 个因子与 10 种施肥处理之间的关系进行分析。

主成分结果显示,第一主成分特征根为 9.464,解释了总变量的 94.67%;第二主成分特征根为 0.384,解释了总变量的 3.84%,因此确定 2 个主成分分析不同施肥对土壤昆虫群落的影响,如图 2。从图 2 中可以看出,第一主成分中 N 和 SNPK 贡献最大,这说明第一主成分主要反映的是单施 N 肥和 SNPK 还田对土壤昆虫群落正向作用;而第二主成分中 1.5MNP 贡献

表 1 不同施肥处理农田土壤昆虫群落结构

Table 1 Structure of cropland soil insect at different fertilization plots in the grey desert soil (individual)

名称 Taxa	体型 Size	Aband.	CK	N	NP	NK	PK	NPK	MNPK	1.5MNPK	SNPK	Perc.	Deg.	Gu.
弹尾目 Collembola														
棘跳科 Onychiuridae	Meso/micro	91	17	6	6	3	35	1	2	10		3.67	**	O
球角跳科 Hypogastruridae	Meso/micro	113			2		2					2.51	**	O
疣跳科 Neanuridae	Meso/micro	5	4	3	25	1	30			3	429	10.74	**	O
等节跳科 Isotomidae	Meso/micro	210	58	984	278	71	434	73	58	54	545	59.37	***	O
长角跳科 Entomobryidae	Meso/micro	15	69	117	145	58	123	140	91	244	70	23.02	***	O
圆跳科 Sminthuridae	Meso/micro			3		4	18		1		1	0.58		O
长角长跳科 Orchesellides	Meso/micro		1	1		1	2					0.11		O
直翅目 Orthoptera														
网翅蝗科 Acrypteridae	Macro	1										0.77		Ph
蟋蟀科 Gryllidae	Macro		4	2	6	2	1	5	1	2	5	21.54	***	Ph
革翅目 Deramptera														
蠼螋科 Labiduridae	Macro							2	1	1	1	3.85	**	O
啮虫目 Psocoptera														
	Macro	4										3.08	**	S/D
缨翅目 Thysanoptera														
蓟马科 Thripidae	Macro	5						3	1	1		7.69	**	S
同翅目 Homoptera														
蚜科 Aphididae	Macro	1		1								1.54	**	Ph
蚱科 Coccidae 幼 larva	Macro	4										3.08	**	Ph
叶蝉科 Cicadellidae 幼 larva	Macro									1	1	1.54	**	Ph
蝉科 Cicadoidea 幼 larva	Macro	1										0.77		Ph
鞘翅目 Coleoptera														
虎甲科 Cicindelidae	Macro	1										0.77		Pr
葬甲科 Silphidae	Macro	1										0.77		Ca
隐翅虫科 Staphylinidae	Macro	3	1							1		3.85	**	S
叩头甲科 Elateridae	Macro		1	2		2	1		2	1		6.92	**	Pr
丸甲科 Byrrhidae	Macro					1					2	2.31	**	S
盘甲科 Discolomidae	Macro	1										0.77		S
瓢甲科 Coccinellidae	Macro		6									4.62	**	Pr/Ph
朽木甲科 Alleculidae	Macro				1							0.77		D
毛蕈甲科 Diphyllidae	Macro									1		0.77		S
拟步甲科 Tenebrionidae	Macro		1						1			1.54	**	Ca
叶甲科 Chrysomelidae	Macro						1					0.77		Ph
出尾罩甲科 Scaphidiidae	Macro							1				0.77		F
双翅目 Diptera														
鹬虻科 Rhagionidae 幼 larva	Macro	1										0.77		Co/S
虻科 Tabanidae 幼 larva	Macro	1										0.77		Pr/S
鳞翅目 Lepidoptera														
舟蛾科 Notodontidae 幼 larva	Macro	1										0.77		Ph
膜翅目 Hymenoptera														
叶蜂科 Tenthredinidae 幼 larva	Macro	12										9.23	**	Ph
蚁科 Formicidae	Macro	10			2	1	1			1	11	20.00	***	O
个体数 Indi.														
	Macro	47	13	5	9	6	4	11	6	9	20			
	Meso/micro	434	149	1114	456	138	644	214	152	311	1045			
类群数 Group														
	Macro	15	5	3	3	4	4	4	5	8	5			
	Meso/micro	5	5	6	5	6	7	3	4	4	4			
未知 弹尾目 Collembola (larva)		110												
Unkown 鳞翅目 Lepidoptera (larva)		2												
鞘翅目 Coleoptera (larva)											1			
双翅目 Diptera (larva)								2			1			
弹尾目 Collembola					3									
同翅目 Diptera (larva)		1												
未知 Unkown		2		4		1					1			

Indi: 个体数 Individual, Perc.: 百分比 Percent, Deg.: 多度 Degree, Gu.: 功能类群 Guild, Meso/micro: 中小型 Meso and microfauna, Macro: 大型 Macrofauna, Ph: 植食性 Phytophage, D: 枯食性 Debris-feeder's, Ca: 尸食性 Cadavericoles, Co: 粪食性 Coprophages, F: 菌食性 Fungivorous forms, Pr: 捕食性 Predators, S: 腐食性 Saprozoic, O: 杂食性 Omnivores, \*\*\* 优势类群 Dominant group; \*\* 常见类群 Common group

表 2 不同施肥条件下农田土壤动物的多样性指数

Table 2 The diversity and similarity index of soil insect at different fertilizers treatment

	Aband.	CK	N	NP	NK	PK	NPK	MNPK	1.5MNPK	SNPK
<i>H'</i>	1.6197	1.3983	0.4441	1.0004	1.1520	1.0590	1.8927	1.9565	0.8170	0.9919
<i>J<sub>s</sub></i>	0.5407	0.6073	0.2021	0.4811	0.5003	0.4416	0.4588	0.4353	0.3288	0.4514
<i>C</i>	0.2841	0.3234	0.7843	0.4579	0.4071	0.4905	0.4932	0.4670	0.6111	0.4286

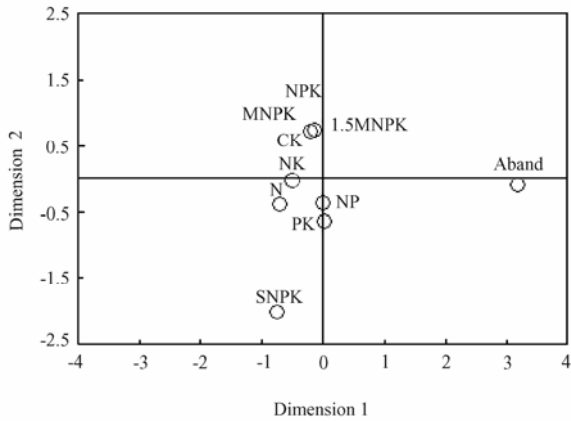
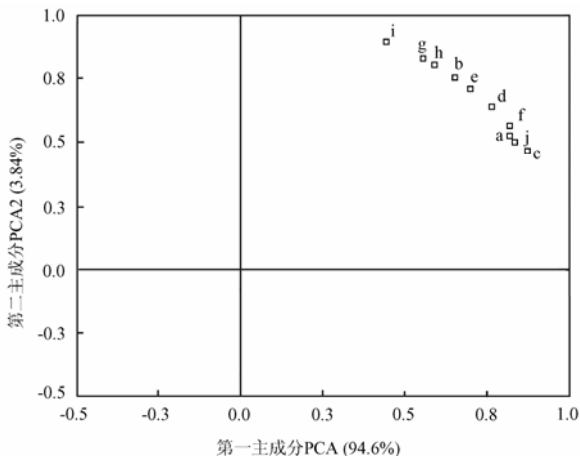


图 1 农田土壤昆虫群落非度量多维标度法排序图  
Fig. 1 The 2-dimensional NM-MDS ordinal configuration of the soil insect communities (Stress=0.08953)



a. Aband.; b. CK; c. N; d. NP; e. NK; f. PK; g. NPK; h. MNPK; i. 1.5 MNPK; j. SNPK

图 2 土壤动物群落主成分二维空间图  
Fig. 2 The 2-dementional figure of PCA of the soil insect communities

最大，这说明第二主成分主要反映的是 1.5MNPK 对土壤昆虫群落正向作用。

从综合评价指标上看，第一主成分对等节跳科个体数影响最大，特征向量为 2.8829，其次对农田土壤

昆虫个体总数的影响，特征向量为 2.3540，对长角跳科个体数量的影响最小，特征向量为-2.2341；第二主成分对长角跳科和农田主要土壤昆虫个体总数影响最大，其特征向量分别为 3.5835 和 2.1784，对等节跳科个体数量的影响最小，其特征向量为-1.1151。表明第一主成分中 10 种定位施肥处理对等节跳科个体数综合影响最明显，其次是壤昆虫个体总数，对长角跳科影响最小；第二主成分则长角跳科综合影响最大，其次农田主要土壤昆虫个体总数影响，而对等节跳科个体数影响最小。从评价价值大小看，第一主成分特征向量最大为 2.8829，最小值为-2.2341，相差较大，即各种施肥对等节跳科个体数影响最大，对长角跳科个体数影响最小，表明施肥处理对土壤昆虫类群影响不平衡。

### 3 讨论

灰漠土农田土壤动物组成主要与采集时段和长期定位施肥所导致的土壤理化性质变化有关。本次采样时间为秋季，且土壤湿度因昼夜温差变化相对较大。由于土壤水分是氧的载体，一些气管系统不发达的土壤动物，如弹尾类只有在高湿的条件下才能呼吸，少数底栖性或两栖性动物幼虫，如叶甲类、双翅目幼虫，以及一些需要土壤高湿度或具有饱和状态湿空气的土壤的一些喜湿性土壤动物幼虫，因土壤湿度改变而影响其数量，弹尾类则因露水而数量增加，这种现象在陷阱法采集中表现尤为明显，这一点与笔者<sup>[11]</sup>黑土区的研究相一致。

在 10 个施肥小区内，共有类群 5 个，与对照(CK)相比，除 NK 和 MNPK 外，其它 6 种施肥农田土壤动物主要类群数量均有增加，其中 Aband.处理大型土壤动物优势类群和常见类群总数增加最多，SNPK 棘跳科和疣跳科动物个体数量增加最多，均在 1 倍以上。优势类群 Collembola 数量在施 NPK 条件下，土壤动物数量虽有增加，但在 N、SNPK、PK 和 NP 施肥处理中增加更显著(表 2)，说明不同施肥处理均对土壤动物具有一定的影响，但其影响因施肥处理不同而

不同，而施 NPK 情况下，优势类群 *Collembola* 数量的变化与 Bardgett 等对施用 NPK 使草原土壤动物的优势类群 *Collembola* 数量增加的结果基本一致<sup>[12]</sup>。

从物种多样性角度看，有机肥与化肥配施导致土壤动物生物多样性增高，但在灰漠土农田土壤动物多样性指数最高的是 Aband.，其次是 CK 处理，这与笔者以往的研究<sup>[13]</sup>不一致；某些物种由于环境变化，数量产生增长，导致个体数量分配不均匀，如 CK 处理，优势现象突出。研究结果显示，秸秆还田有利于增加土壤昆虫的丰度，这与 Kautz T 等<sup>[2]</sup>的研究相同。

植食性土壤昆虫对农业生产的危害性一直为学者所关注<sup>[14]</sup>，但生物多样性的食物链控制目前尚存在着一定的争议<sup>[15]</sup>。本研究从所采集到的土壤昆虫总数而言，捕食性土壤昆虫除了在 NP、NPK、SNPK 处理中未采集到外，植食性土壤昆虫所占的比例均高于捕食性土壤昆虫，但由于本研究不能反映出植食性土壤昆虫与捕食性土壤昆虫消长的状况，也无法体现两者的相互关系，而作物生长的状况与土壤昆虫营养功能团的多样性并无简单的对应关系，因此不同营养功能团之间的相互关系以及农田食物链控制机制如何，目前的研究还无法作出判断，有待研究。

非度量多维标度法 (NM-MDS) 是近期发展起来的适用于非线性数据结构分析的一种复杂的迭代排序方法<sup>[16]</sup>。通过样本实体构成的分离的点阵提供生态学分析，能很好地揭示连续梯度变化关系<sup>[17]</sup>。其胁强系数 (stress) 来表征由 MDS 确定的  $n$  个初始排序点在多大程度上表示了  $n$  个实体的实际差异大小： $\text{stress} < 0.0500$  为吻合极好； $\text{stress} < 0.1000$  为吻合较好； $\text{stress} < 0.2000$  为吻合一般； $\text{stress} > 0.3000$  为吻合较差<sup>[17]</sup>。本文胁强系数  $\text{stress} = 0.0895$ ，吻合较好，其结果揭示了农田土壤昆虫群落与施肥之间的关系，具有实际生态学意义。在本文中，10 种施肥小区的土壤昆虫群落划分为 5 组，即 NPK、MNPK、HMNPK 和 CK 处理为一组，NP 和 PK 为一组，NK 和 N 为一组，SNPK 和 Aband. 各为一组，说明彼此之间相似程度较高。在第一维方向上，Aband. 位于最右侧，SNPK 处理位于最左侧，其它施肥处理位于中间，第一维主要代表 Aband.、SNPK 不同与其它施肥对土壤昆虫群落的影响；在第二维方向上，NPK、MNPK 处理位于最上方，SNPK 处理位于最下方，因此第二维主要代表均衡施肥对土壤昆虫群落的影响程度。由此可以认为，农田土壤昆虫分布与肥料的性质有关，Aband.、SNPK 有利于土壤动物生存；与其它施肥相比，均衡施肥的

作用较大。

主成分分析的目的之一是简化数据的结构，减少变量的个数。由于主成分中前两个主成分保留了 98.51% 的原始信息，损失的信息仅为 1.49%，因此确定两个主成分指标分析不同施肥处理对农田土壤昆虫类群的影响。但由于第一主成分中负荷值主要解释了 N 和 SNPK 处理对土壤昆虫群落的影响，同时也解释了 NP、PK、NPK 以及 1.5MNPK 的作用，因此本文对第二主成分作了进一步分析，确定了 1.5MNPK 对土壤昆虫群落影响。在综合评价指标上，第一主成分因子对土壤昆虫总个体数的影响比较大，这与 Lindberg 等<sup>[18]</sup>和作者以往的研究结果<sup>[11]</sup>基本一致，即施肥会引起土壤动物数量发生较大的变化，但所不同的是第一主成分因子对类群的影响并不最小，其原因有待探讨。

农田土壤由于受地表覆被物、耕作制度、生物量归还土壤的方式等因素的影响，土壤中的有机质来源多受人为因素的影响。土壤有机质是土壤动物主要能量来源，增加其含量势必影响土壤动物群落组成。长期定位试验研究表明<sup>[19]</sup>，有机肥配施无机肥区和 SNPK 区有机质含量呈增加趋势，且有机肥增量小区增加最多。本研究土壤动物个体数量和类群数变化与土壤有机质变化不一致，其中仅中小型土壤动物类群数、土壤动物类群数与有机质 ( $r = 0.8767, 0.7113$ ) 均呈显著的正相关 ( $P < 0.05$ )，其它均为不显著的负相关；土壤全氮与农田土壤动物的相关性与土壤有机质结果相同，这与许多学者土壤动物的数量常常与土壤有机质的含量呈比较明显的正相关关系存在着一定的差异<sup>[20]</sup>，其原因有待于今后研究加以确证。

## 4 结论

环境因子即是土壤昆虫赖以生存的条件，又是限制其分布的因素，但土壤昆虫在适应环境的同时也通过自身来改变环境。新疆国家灰漠土土壤肥力与肥料效益长期监测基地的研究结果表明，新疆灰漠土农田土壤昆虫分布除与气候因子有关外，其变化主要与长期定位施肥所导致的土壤理化性质变化有关，10 种施肥处理中，均衡施肥 (NPK) 对土壤昆虫的作用较大，秸秆还田有利于增加土壤昆虫的丰度，各种施肥对土壤昆虫的影响不均衡，但这种结论还需要进一步完善和验证。

致谢：本研究在新疆国家灰漠土土壤肥力与肥料效益监

测站完成, 中国林业科学研究院肖刚柔研究员、杨秀元先生协助鉴定部分标本, 在此一并致谢。

## References

- [1] Wolters V. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biological Fertilizer Soils*, 2000, 31: 1-19.
- [2] Kautz T, López-Fando C, Ellmer F. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33(3): 278-285.
- [3] Yardim E N, Edwards C A. Effects of organic and synthetic fertilizer sources on pest and predatory insects associated with tomatoes. *Phytoparasitica*, 2003, 31(4): 324-329.
- [4] Sarathchandra S U, Ghani A, Yeates G W, Burch G, Cox N R. Effect of nitrogen and phosphate fertilizers on microbial and nematode diversity in pasture soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 953-964.
- [5] Gudleifsson B E. Impact of long term use of fertilizer on surface invertebrates in experimental plots in a permanent hayfield in Northern-Iceland. *Agricultural Society of Iceland*, 2002, 15: 37-49.
- [6] Nannipieri P, Ascher J, Ceccherini M T, Landi L, Pietramellara G, Renella G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 2003, 54: 655-670.
- [7] 袁 锋. 昆虫分类学. 北京: 中国农业出版社, 1996.  
Yuan F. *Insect Taxonomy*. Beijing: China Agriculture Press, 1996. (in Chinese)
- [8] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Berkeley: University California Press, 1979.
- [9] 张贞华. 土壤动物. 杭州: 杭州大学出版社, 1993.  
Zhang Z H. *Soil Animal*. Hangzhou: Hangzhou University Press, 1993. (in Chinese)
- [10] 张文彤. SPSS11 统计分析教程. 北京: 北京希望出版社, 2002.  
Zhang W B. *Spss11 Statistic and Analysis Course*. Beijing: Beijing Hope Press, 2002. (in Chinese)
- [11] 林英华, 朱 平, 张夫道, 彭 畅, 高洪军, 刘淑环. 吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫的影响. *生态学报*, 2006, 26: 1122-1130.  
Lin Y H, Zhu P, Zhang F S, Peng C, Gao H J, Liu S H. Effect of different fertilizer treatments on crop soil insect community at black soil district in Jinlin Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26: 1122-1130. (in Chinese)
- [12] Bardgett R D, Frankland J C, Whittaker J B. The effects of agricultural practices on the soil biota of some upland grasslands. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 1993, 45: 25-45.
- [13] 林英华, 杨学云, 张夫道, 古巧珍, 孙本华, 马路军. 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.  
Lin Y H, Yang X Y, Zhang F D, Gu Q Z, Sun B H, Ma L J. Variation of soil fauna under different fertilization in loess soil Croplands, Shannxi Province. *Biodiversity Science*, 2005, 13(3): 188-196. (in Chinese)
- [14] 罗益镇, 崔景岳. 土壤昆虫学. 北京: 中国农业出版社, 1995.  
Luo Y Z, Cui J Y. *Soil Entomology*. Beijing: China Agriculture Press, 1995. (in Chinese)
- [15] 童春富, 陆健健. 草坪无脊椎动物群落物种多样性及功能群研究. *生物多样性*, 2002, 10(2): 149-155.  
Tong C F, Lu J J. Studies on species diversities and functional groups of invertebrate communities in an artificial turf. *Biodiversity Science*, 2002, 10(2): 149-155. (in Chinese)
- [16] 余世孝. 非度量多维标测度及其在群落分类中的应用. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 128-136.  
Yu S X. The application of Nonmetric multidimensional scaling in community classification. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1995, 19(2): 128-136. (in Chinese)
- [17] 厉红梅, 蔡立哲, 林丽珠, 姚建彬. 深圳湾潮间带底栖动物群落结构的等级聚类与非度量多维标度排序. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2001, 40: 735-740.  
Li H M, Cai L Z, Lin L Z, Yao J B. Using Hierarchical Clustering and Non-metric MDS to explore spatio-temporal variation of benthic community at intertidal in Shenzhen Bay. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2001, 40: 735-740. (in Chinese)
- [18] Lindberg N, Persson T. Effects of long-term nutrient fertilization and irrigation on the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management*, 2004, 188: 125-135.
- [19] 王讲利, 刘 骅, 桂 贞, 赵秉强, 张夫道. 灰漠土长期定位施肥实验研究. II 长期定位施肥对土壤肥力的影响. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(增刊): 87-91.  
Wang J L, Li H, Gui Z, Zhao B Q, Zhang F D. Research of long-term fertilization experiment on gray desert soil in Xinjian II Effect of long-term fertilization on soil fertility. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(Supp.): 87-91. (in Chinese)
- [20] 何冬梅, 由文辉, 李喜和, 王建国, 宋兴安, 刘永江. 锡林河中游草原生态系统中小型土壤动物与有机质的关系. *植物生态学与地植物学学报*, 1989, 13: 350-358.  
He D M, You W H, Li X H, Wang J G, Song X A, Liu Y J. Relationships between meso-microfauna and organic matter of soil in the steppe ecosystem in the middle reaches of xilin river. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1989, 13: 350-358. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)