

吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫的影响

林英华^{1,2}, 朱平³, 张夫道^{2,*}, 彭畅³, 高洪军³, 刘淑环³

(1. 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; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3. 吉林省农业科学院农业环境与资源研究中心, 吉林公主岭 136100)

摘要:为研究不同施肥处理与农田土壤昆虫群落之间的关系,对吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫群落的影响进行了研究。在12个处理小区内,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+有机肥处理(有机N和化肥N的比例为2:1)(M₁NPK)、(9)增加50%用量化肥配施有机肥(1.5 MNPK)、(10)化肥配施秸秆(SNPK)、(11)玉米、大豆2:1轮作,施肥量同处理8(Rot)、(12)施氮磷钾化肥+有机肥处理(有机N和化肥N的比例为1:1)(M₂NPK),共采集144个定点土壤样品。通过手捡法和改良干漏斗法(Modified Tullgren)共获得土壤昆虫9922只(未知标本187只),隶属9目48科。调查结果显示,12种施肥小区内,大型土壤昆虫个体数和类群数依次是:ABAND > NP > N > 1.5MNPK > Rot. > PK > NK > NPK > M₂NPK > CK > M₁NPK > SNPK, N > NK > ABAND = 1.5MNPK > NP = NPK > PK > CK = Rot. > M₂NPK = M₁NPK > SNPK;中小型土壤昆虫数依次是ABAND > 1.5MNPK > PK > M₂NPK > CK > Rot. > NPK > SNPK > NK > NP > N > M₁NPK, Rot. > NPK > ABAND = NP = 1.5MNPK = PK = NK = M₂NPK = CK = M₁NPK = SNPK > N。大型土壤昆虫个体数和类群数据撂荒中分布最多,中小型土壤昆虫则分别在撂荒和轮作中分布最多。多样性分析表明,1.5MNPK处理中大型农田土壤昆虫组成最丰富,M₁NPK处理中小型农田土壤昆虫组成最丰富;CK处理与其他11处理之间群落相似程度最小,Rot.与其他处理之间的群落相似程度较大。Kruskal-Wallis检验法分析表明,施肥对农田土壤昆虫分布影响极显著($X_{0.05(11)} = 10.25, p < 0.05$),反映出不同施肥对土壤生态系统内部环境,进而对土壤动物群落产生的影响。多元统计分析表明,轮作对土壤昆虫优势类群具有负向作用,而M₂NPK则具正向作用。各种施肥对农田土壤昆虫影响不平衡,其中对农田土壤昆虫个体数影响最大,对中小型土壤昆虫均匀性影响最小。

关键词:土壤昆虫;类群特征;土壤性质;主成分分析

文章编号:1000-0933(2006)04-1122-09 中图分类号:Q142, Q145, Q958 文献标识码:A

Effect of different fertilizer treatments on crop soil insect community at Black soil district in Jilin Province

LIN Ying-Hua^{1,2}, ZHU Ping³, ZHANG Fu-Dao^{2,*}, PENG Chang³, GAO Hong-Jun³, LIU Shu-Huan³ (1. Forest Protection Laboratory, SFA, Research Institute of Forest Ecology Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China; 2. Institute of agricultural resources and regional planning, CAAS, Beijing 100081, China; 3. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Centre of agricultural environment and resource, Gongzhuling, Jilin province 136100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1122 ~ 1130.

Abstract: The effect of different fertilizer treatments on soil insect community at the black soil district in Jilin province was investigated in Aug. 2003. In 12 types of treatments, namely abandonment (ABAND), no-fertilizer treatment (CK), nitrogen fertilizer (N), nitrogen and phosphor fertilizer (NP), nitrogen and potassium fertilizer (NK), phosphor and potassium fertilizer (PK), nitrogen and phosphor and potassium fertilizer (NPK), NPK with organic matter (fertilizer N: organic N = 1:2) (M₁NPK),

基金项目:科技部社会公益研究专项资金资助项目(2000-177)**收稿日期:**2004-12-24; **修订日期:**2005-08-30**作者简介:**林英华(1966~),女,黑龙江人,博士,主要从事动物生态学和土壤生态环境研究. E-mail: linyinghua@263.net***通讯作者** Corresponding author

致谢:本研究在吉林国家黑土土壤肥力与肥料效益监测站完成,中国林业科学研究院[萧刚柔]研究员、杨秀元先生协助鉴定部分标本,在此一并致谢

Foundation item: The project was supported by Special Fund of the Social Public Welfare of the Ministry of Science And Technology (No. 2000-177)**Received date:** 2004-12-24; **Accepted date:** 2005-08-30**Biography:** LIN Ying-Hua, Ph.D., mainly engaged in zoological ecology & ecology and environment of soil. E-mail: linyinghua@263.net

150% NPK fertilizer with organic matter(1.5 MNPK), NPK with straw (SNPK), Rotation(maize: soybean = 2:1) and the quantity of fertilizer being the same as(M_1 NPK)(Rot), NPK fertilizer with organic matter(fertilizer N:organic N = 1:1)(M_2 NPK), 144 soil samples had been collected and 9922 soil insects(187 unknown) individuals, belonging to 9 Orders and 48 families were obtained by hand-sorting and modified Tullgren methods. The result showed that the number of individual and group, the macrofauna reached their peaks in abandonment and N treatment, respectively, while mesofauna and microfauna in abandonment and rotation treatments showed that the distribution of the soil insect was related to fertilizer treatment. Of the 12 treatments, most dominant soil insect composition of the macrofauna was in 1.5MNPK, while mesofauna and microfauna were in M_1 NPK, the similarity coefficient between CK and other treatments was general low, and between rotation and other treatments general greater. The result by Kruskal- Wallis test indicated that the distribution of the crop soil insect was significantly impacted by different fertilizer treatments ($X_{0.05(11)} = 10.25, p < 0.05$), indicating that the soil fauna community was affected by different fertilizer treatments, of which the rotation had negatively effected, and M_2 NPK positively effected on the dominant soil insect group, showing the effect of different fertilizers on inner environment of the soil ecosystem and then proceeded to the soil fauna community. The result by principal component analysis showed that the diversified fertilizer did not evenly effect on the soil insect, of which the greatest the number of cropland soil insect individuals, the least evenness of meso- and microfauna.

Key words: soil insect; group character; soil property; principal component analysis

随着人口压力增大和集约化生产水平的不断提高,农林土壤大量施用化肥、农药等化学物质所导致土壤肥力、土壤生产力和土壤环境质量的改变,正在不断得到世界范围内的共同关注。长期以来,科学家大多认为人为活动主要引起空气与水资源的质量退化,很少认识到土壤质量也会在不同的利用与管理条件下发生严重退化。

土壤动物在土壤形成和发育过程中起着主导性作用。农业生产活动,如耕作等管理方式影响着土壤动物的分布、种类和数量^[1]。一方面土壤动物数量和栖息环境^[2]受耕作方式的影响,土壤性质与土壤动物之间存在一定的联系^[3];另一方面土壤动物群落或种群特征又反作用于农业生态系统,如影响营养物质氮、磷含量和农作物长势^[4,5]。近年来,随着全球对生物多样性及其保护和全球环境变化的关注,土壤动物区系和土壤动物多样性的研究也已经成为土壤生态学研究的热点和前沿^[6~8]。

国家黑土土壤肥力与肥料效益长期监测基地是 1990 年建成并正式实施土壤肥力与肥料效益长期监测试验的 9 个监测基地之一。试验采用大田定位方法,共设 12 个处理。本研究于 2003 年 8 月对 12 种施肥农田土壤动物群落进行调查的基础上,利用多元统计方法对长期施肥对农田土壤动物群落影响进行分析,探讨长期施肥对土壤动物群落影响的机制。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于吉林公主岭吉林省农科院“国家黑土土壤肥力与肥料效益监测基地”,海拔高度 150 ~ 222m, 年均气温 5 ~ 6℃, 年降水量 500 ~ 650mm, 降水多集中在 7 ~ 8 月份, 约占全年 60% ~ 70%。无霜期为 120 ~ 140d, 有效积温 2600 ~ 3000℃, 为一年一季雨养农区。土壤分类上属于黑土土类, 黑土亚类, 肥黑土土种。

该基地设 12 个试验处理, 小区面积为 400m², 顺序区组排列, 种植方式为玉米连作。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)施氮磷钾化肥(NPK)、(8)施氮磷钾化肥 + 有机肥处理(有机 N 和化肥 N 的比例为 2:1)(M_1 NPK)、(9)增加 50% 用量化肥配施有机肥(1.5 MNPK)、(10)化肥配施秸秆(SNPK)、(11)玉米、大豆 2:1 轮作, 施肥量同处理 8(Rot)、(12)施氮磷钾化肥 + 有机肥处理(有机 N 和化肥 N 的比例为 1:1)(M_2 NPK)。化肥氮、磷、钾分别用尿素、磷酸氢二铵和硫酸钾, 有机肥采用猪厩肥, 玉米秸秆用量 7500kg/hm² (风干)。

1.2 农田土壤动物采集方法

2003 年 8 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,分 0~5、5~10、10~20 分层取样,中小型土壤昆虫采用改良干漏斗分离法(Modified Tullgren),取样面积分别为 0.1m×0.1m。大型土壤昆虫采用手捡法,仅对 0~5 土层取样,取样面积分别为 0.2m×0.2m。两种方法共采集土样 144 个。土壤昆虫体型大小依据在食物分解过程中作用进行分类^[9]。

1.3 土壤理化性质分析方法

按照《国家土壤肥力与肥料效益长期监测研究技术规程》:有机质采用丘林法(180°油浴);全 N 采用 K₂SO₄-CuSO₄-Se 消化、半微量凯氏法;全 P 采用碱熔-钼锑抗比色法;速效 K 采用 1mol/L NH₄OAC 浸提-火焰光度计法;速效 P 采用 Olsen 法;土壤容重采用环刀法;土壤孔隙度采用计算法;土壤自然含水量采用数量法。pH 采用酸度计法测定。田间持水量采用容重环法。

1.4 数据分析

群落多样性指数采用 Shannon-Weiner index、Pielou 均匀性指数、Simpson index 和 Jaccard(*q*)指数,即:

$$H' = - \sum_{i=1}^i P_i \ln P_i$$
$$J_s = H' / \ln S$$
$$D = \frac{N(N-1)}{\sum n_i(n_i-1)}$$
$$q = c / (a + b - c)$$

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, *a*, *b* 分别为群落 A、群落 B 的类群数, *c* 为两类群的共有类群数。

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他类群。

采用非线性统计分析方法 Kruskal- Wallis 检验法分析不同施肥对土壤昆虫分布的影响;主成分(主分量)法分析 12 种施肥与农田主要土壤动物群落之间的关系。所有运算通过 SAS 软件进行。

2 结果

2.1 土壤主要理化性质

表 1 可见,不同的施肥措施对土壤理化性质有不同的影响。土壤的理化性质随着施肥方式的改变而改变,与对照相比,增施有机肥可以使土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量增加;田间持水量也有不同程度的增加;土壤容重略有减少。

表 1 2000 年黑土区不同施肥条件下主要土壤特征

Table 1 Chief traits of black soil applied different fertilizers at 2000

施肥* Treatment	容重 Volume Weight(%)	含水量 Water capacity(%)	孔隙度 Porosity(%)	田间持水 Field Water capacity (%)	pH	全 N Total Nitrogen (%)	有机质 Organic matter (%)
不种植 ABAND	1.35	15.14	44.89	23.72	7.65	0.1275	2.5923
对照 CK	1.43	17.75	43.03	23.60	7.35	0.1106	2.0208
施氮肥 N	1.39	15.63	44.84	23.16	6.78	0.1110	2.0920
施氮磷肥 NP	1.39	17.60	42.56	22.18	6.15	0.1087	2.1616
施氮钾肥 NK	1.36	17.07	45.60	23.95	7.05	0.1173	2.3648
施磷钾肥 PK	1.27	18.80	49.40	23.90	6.45	0.1079	2.1418
施氮磷钾 NPK	1.26	17.53	48.78	22.80	6.03	0.1076	2.1834
有机 N:化肥 N M ₁ NPK(2:1)	1.18	19.47	52.03	26.23	7.10	0.1811	3.7574
有机肥:150%化肥 1.5MNPK	1.18	19.40	52.61	25.75	7.40	0.1737	3.1476
化肥+秸秆 SNPK	1.37	17.60	44.31	24.06	7.00	0.1163	2.2224
轮作 Rot.	1.17	18.63	53.20	25.80	7.58	0.1570	3.3175
有机肥:化肥 M ₂ NPK(1:1)	1.19	19.90	52.23	26.43	7.53	0.1727	3.0041

* 下同 the same below

2.2 农田土壤昆虫群落组成与类群特征

2.2.1 农田土壤昆虫群落组成 在 12 块试验小区内,共获得土壤昆虫 9922 只(未知标本 187 只),隶属 9 目 48 科。其中双尾目由于个体数较少,将其科合并进行统一计数(表 2)。从表 2 中可见,本调查共采集到大型土壤昆虫 39 类,优势类群 2 类:蚁科、隐翅虫科,常见类群 17 类:步甲科、隐翅虫科(幼)、蚜科、摇蚊科、叶甲科(幼)、长扁甲科、虻科、水虻科、蟋科、叶甲科、叩头甲科、苔甲科、出尾罩甲科、土蟋科、鳃金龟科、拟步甲科、金龟甲科(幼),优势类群和常见类群两者占总个体数的 91.32%;中小型土壤昆虫 9 类,优势类群 4 类:棘跳科、球角跳科、等节跳科、疣跳科,常见类群 3 类:长角跳科、双尾目、圆跳科,优势类群和常见类群两者占总个体数的 99.22%;其他均在 0.10% 以下,为稀有或极稀有类群。

表 2 长期定位施肥小区中农田土壤昆虫组成(个)

Table 2 Composition of cropland soil insect at long term fertilization plots in black soil at Jinlin (ind.)																	
类别 Taxa	大小 Size	ABAND	CK	N	NK	NP	PK	NPK	M ₁ NPK	1.5MNPK	SNPK	Rot.	M ₂ NPK	Perc.	Dre.	Gu.	
双尾目 Diplura	Meso/micro	20	1		18	5	5	1	10	24	11	36	11	1.55	* *	O	
弹尾目 Collembola																	
棘跳科 Onychiuridae	Meso/micro	783	343	245	361	276	520	260	139	452	258	377	365	47.69	* * *	O	
球角跳科 Hypogastruridae	Meso/micro	313	244	160	162	180	198	144	48	238	186	15	152	22.22	* * *	O	
疣跳科 Neanuridae	Meso/micro	61	27	1	16	28	13	10	111	5	91	308	255	10.08	* * *	O	
等节跳科 Isotomidae	Meso/micro	38	158	55	65	56	142	330	33	233	98	17	36	13.73	* * *	O	
长角跳科 Entomobryidae	Meso/micro	22	15		23	32	23		62		30	19	32	2.81	* *	O	
圆跳科 Sminthuridae	Meso/micro	5	28	10	6	9	11	2	3	5	7	10	9	1.14	* *	O	
短角跳科 Neelidae	Meso/micro							3				1		0.04		O	
长角长跳科 Orchesellidae	Meso/micro			3				13		31		19		0.72		O	
直翅目 Orthoptera																	
蝗科 Acrididae	Macro	1												0.18		Ph	
蟋蟀科 Gryllidae	Macro		2											0.36		Ph	
螻蛄科 Gryllotalpidae	Macro					1								0.18		Ph	
革翅目 Dermaptera																	
蠹螋科 Labiduridae	Macro		1	1										0.36		O	
缨翅目 Thysanoptera																	
蓟马科 Thripidae	Macro									1		1		0.36		S	
同翅目 Homoptera																	
蚜科 Aphididae	Macro	3		2		2	1			4		2	5	3.44	* *	Ph	
大叶蝉科 Tettigellidae	Macro	1										1		0.36		Ph	
半翅目 Hemiptera																	
蝽科 Pentatomidae	Macro	1		1	2			3	2	2				1.99	* *	Ph	
土蝽科 Cydnidae	Macro			2		3		1	1					1.27	* *	Ph	
花蝽 Anthrenidae	Macro		1		1	2								0.73		Ph	
长蝽科 Lygaeidae	Macro	1												0.18		Ph	
鞘翅目 Coleoptera																	
步甲科 Carabidae	Macro	5	1	2	4	4	3	3	1	1	1	6	3	6.16	* *	Pr	
长扁甲科 Cupedidae	Macro	1		2	3	8				1		1		2.89	* *	Pr	
埋葬甲科 Silphidae	Macro	1		1										0.36		Ca	
隐翅虫科 Staphylinidae	Macro	4		33	2	31	8	1	2	6	3	16	4	19.89	* * *	S	
叩头甲科 Elateridae	Macro				1				1			7		1.63	* *	Pr	
锯谷盗科 Silvanidae	Macro			2										0.36		Ca	
毛蠹甲科 Biphyllidae	Macro					1								0.18		S	
薪甲科 Lathridiidae	Macro			1										0.18		Pr	
拟步甲科 Tenebrionidae	Macro		1	5										1.09	* *	Ca	
金龟甲科 Scarabaeidae	Macro			1						3				0.72		S	
粪金龟科 Geotrupidae	Macro			1										0.18		Co	
鳃金龟科 Melolonthidae	Macro			2		2	3							1.27	* *	Ph	
丽金龟科 Rutelidae	Macro				1									0.18		Ph	
叶甲科 Chrysomelidae	Macro		1	1		6		1	2					1.99	* *	Ph	
象甲科 Curculionidae	Macro	1												0.18		Ph	
苔甲科 Scydmaenidae	Macro			6							2			1.45	* *	Ph	

续表 2

棒角甲科 Paussidae	Macro									1					0.18		Pr
扁甲科 Cucujidae	Macro		2	1											0.54		Pr/D
出尾罩甲科 Scaphidiidae	Macro		1	1	3	2	1								1.45	**	F
伪叶甲科 Lagriidae	Macro							1							0.18		F/S
坚甲科 Colydiidae	Macro				2										0.36		Ph
双翅目 Diptera(larva)																	
鳞虹科 Rhagionidae	Macro									1					0.18		Co/S
摇蚊科 Chironomidae	Macro	5		1		3		4		4		2			3.44	**	O
蝇科 Muscidae	Macro	1								1	2				0.73		Pr
瘿蚊科 Cecidomyiidae	Macro					2									0.36		Ph/F
水虻科 Stratiomyidae	Macro					1		5		5		3			2.54	**	S
虻科 Tabanidae	Macro		1	4		6	2	1		1					2.72	**	Pr/S
膜翅目 Hymenoptera																	
叶蜂科 Tenthredinidae	Macro	1									1				0.36		Ph
蚁科 Formicidae	Macro	133	1	2		1	4	2	4	7	2	3	3		29.29	***	O
鞘翅目 Coleoptera(larva)																	
步甲科 Carabidae	Macro			1											0.18		Pr
隐翅虫科 Staphylinidae	Macro			5	4	1	2		5	1	5	1			4.34	**	Pr/F
金龟甲科 Scarabaeidae	Macro	1				2						3			1.08	**	Ph/Co
鳃金龟科 Melolonthidae	Macro					2									0.36		Ph/Co
叶甲科 Chrysomelidae	Macro		6		5	1	3		3						3.25	**	Ph
象甲科 Curculionidae	Macro			1	1										0.36		Ph
未知种类 Unknown																	
弹尾目 Collembola									11			55					
鞘翅目成虫 Coleoptera imago									4			1	2				
鞘翅目幼虫 Coleoptera larva		10		1							14	24	11				
双翅目幼虫 Diptera		2							2		6	10	11				
成虫 Unknown imago		3		1		2			2			6	2				
幼虫 Unknown larva		2	1	1	2					1							
总计 Total																	
个体数 Individual	Meso/micro	1242	816	475	651	586	912	763	406	988	681	802	860				
	Macro	160	15	72	28	82	33	25	13	46	12	42	24				
类群数 Group	Meso/micro	7	7	6	7	7	7	8	7	7	7	9	7				
	Macro	15	8	21	11	17	10	11	7	15	6	8	7				

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: Fungivorous forms 菌食性, 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

吉林黑土农田土壤昆虫营养功能类群较多的是植食性(33.33%)、杂食性(19.05%)和捕食性(15.87%)昆虫,最少的是枯食性昆虫(1.59%)。

在这些优势类群和常见类群中,除拟步甲科、叩头甲科、水虻科、叶甲科(幼虫)和叶甲科成虫仅分布在 5 种施肥小区外,其他均分布在 6 种施肥处理中,因此可以认为,这些优势类群和常见类群为吉林黑土区的主要土壤昆虫,在农田生态系统中发挥着重要作用,稀有和极稀有类群是对农田环境变化中的敏感类群,仅在某一时期及土壤条件适宜时,其数量会逐渐增加,并成为某一时期的常见类群,其分布见表 2。

2.2.2 类群特征 整体而言,12 种施肥处理中捕获的大型、中小型农田土壤昆虫的个体总数和类群数变化趋势不一致(表 2)。大型土壤昆虫的个体数和类群数依次是 ABAND > NP > N > 1.5MNPK > Rot. > PK > NK > NPK > M₂NPK > CK > M₁NPK > SNPK, N > NK > ABAND = 1.5MNPK > NP = NPK > PK > CK = Rot. > M₂NPK = M₁NPK > SNPK; 中小型土壤昆虫数则是 ABAND > 1.5MNPK > PK > M₂NPK > CK > Rot. > NPK > SNPK > NK > NP > N > M₁NPK, Rot. > NPK > ABAND = NP = 1.5MNPK = PK = NK = M₂NPK = CK = M₁NPK = SNPK > N, 表明农田土壤动物类群分布与施肥处理有关。

从群落多样性与均匀性分析中可以看出(表 3),大型农田土壤昆虫多样性指数和均匀性指数依次是

1.5MNPk > NK > NP > PK > NPK > N > M₂NPK > CK > SNPK > M₁NPK > Rot. > ABAND、NPK > PK > 1.5MNPk > NK > M₂NPK > SNPK > NP > M₁NPK > CK > N > Rot. > ABAND, 辛普森优势度指数基本上相反, 即 ABAND > N > Rot. > CK > M₁NPK > NP > SNPK > M₂NPK > PK > NPK > NK > 1.5MNPk, 说明 1.5MNPk 处理中大型农田土壤昆虫组成最丰富, NPK 处理分布不均匀; 中小型农田土壤昆虫多样性指数和均匀性指数依次是 M₁NPK > SNPK > M₂NPK > CK > NP > 1.5MNPk > Rot. > NK > NPK > PK > N > ABAND、M₁NPK > SNPK > M₂NPK > CK > NP > 1.5MNPk > NK > NPK > PK > Rot. > N > ABAND, 辛普森优势度指数依次是 ABAND > PK > N > NK > Rot. > NPK > NP > 1.5MNPk > CK > M₂NPK > SNPK > M₁NPK, 说明 M₁NPK 处理中小型农田土壤昆虫组成最丰富, 且分布最均匀, 如表 3。

由于不同施肥之间中小型土壤昆虫共有数较多, 因此将土壤昆虫类群数合并统一计算不同施肥间的相似指数。其中 1.5MNPk 处理与 N 处理之间的类群相似指数最大, 其次是 1.5MNPk 处理与 Rot. 之间以及 Rot. 与 ABAND 相似指数, 而 NP 处理与 CK 处理之间最相似指数最小(表 3), 表明 1.5MNPk 处理与 N 处理之间的类群最相似, 其次是 1.5MNPk 处理与 Rot. 之间以及 Rot. 与 ABAND, 而 NP 处理与 CK 处理之间的类群相似程度最小。

表 3 不同施肥条件下农田土壤昆虫的多样性指数和相似性指数
Table 3 The diversity and similarity index of soil fauna to different fertilizers

处理 Treatments		ABAND.	CK	N	NP	NK	PK	NPK	M ₁ NPK	1.5MNPk	SNPK	Rot.	M ₂ NPK
大型 Macro	H'	0.8542	1.8989	2.1820	2.3200	2.3426	2.3147	2.3006	1.8185	2.5344	1.8637	1.7981	2.0046
	D	0.6943	0.2089	0.2326	0.1752	0.1148	0.1185	0.1168	0.1834	0.0926	0.1667	0.2166	0.1424
	J _s	0.2806	0.7403	0.6866	0.7620	0.8449	0.8547	0.9258	0.7584	0.8460	0.7772	0.6640	0.7816
中小型 Meso/micro	H'	1.0530	1.3534	1.0969	1.3504	1.2548	1.1767	1.2163	1.5924	1.2938	1.5214	1.2581	1.3893
	D	0.4649	0.3062	0.3934	0.3309	0.3821	0.3940	0.3393	0.2365	0.3246	0.2590	0.3726	0.3027
	J _s	0.4391	0.5644	0.4764	0.5632	0.5233	0.4907	0.5072	0.6641	0.5395	0.6345	0.4905	0.5794
q	ABAND.		0.3214	0.5000	0.3636	0.5000	0.3667	0.3846	0.5000	0.6667	0.5455	0.7647	0.7222
	CK			0.3333	0.2857	0.4000	0.3667	0.3846	0.4348	0.4000	0.3600	0.4286	0.4091
	N				0.3636	0.6154	0.4828	0.7143	0.5000	0.8421	0.3600	0.5789	0.5500
	NP					0.5000	0.3667	0.4400	0.5714	0.4583	0.3600	0.5789	0.4091
	NK						0.5769	0.7143	0.5000	0.7500	0.4167	0.6667	0.7222
	PK							0.5000	0.5000	0.5909	0.4167	0.5789	0.6316
	NPK								0.5714	0.7500	0.3600	0.5789	0.5500
	M ₁ NPK									0.4583	0.4167	0.5789	0.4762
	1.5MNPk										0.4167	0.7647	0.7222
	SNPK											0.5000	0.4762
	Rot.												0.5238

2.3 施肥对农田土壤昆虫群落的影响

2.3.1 农田土壤昆虫群落与土壤理化性质之间的关系 Kruskal- Wallis 检验法分析表明, 不同施肥处理对农田土壤昆虫类群分布影响差异极显著 ($X_{0.05(11)} = 10.25, p < 0.05$), 反映出不同施肥处理对土壤生态系统内部环境, 进而对土壤动物群落产生的影响。相关分析表明, 大型土壤昆虫个体数与土壤含水量呈显著的相关关系 ($\rho < 0.001$), 而其类群数与容重 ($r = 0.5524$)、含水量 ($r = -0.7658$)、孔隙度 ($r = -0.5109$)、田间持水 ($r = -0.6028$)、全 N ($r = -0.5927$)、有机质 ($r = -0.5227$) 均呈显著的相关关系 ($p < 0.005$); 疣跳科与容重 ($r = -0.5674$)、孔隙度 ($r = 0.5653$)、田间持水 ($r = 0.6867$)、pH ($r = 0.5504$)、全 N ($r = 0.5902$)、有机质 ($r = 0.6084$) 均呈显著的相关关系 ($\rho < 0.001$); 球角跳科与容重 ($r = 0.5285$)、孔隙度 ($r = -0.5212$) 和有机质 ($r = -0.5218$), 以及蚁科与含水量 ($r = -0.5597$) 均呈显著的相关关系 ($p < 0.005$), 其他相关性不显著。

2.3.2 不同施肥对主要农田土壤昆虫群落的影响 主成分分析也称主分量分析, 是考察多个定量(数量)变量之间相关性的一种多元统计方法, 其目的是将分散在一组变量上的信息集中到某几个综合指标(主成分)上的探索性统计分析方法。

选取 12 种施肥小区中 6 类优势类群、主要农田土壤昆虫个体数、其他个体数、总个体数、类群总数、大型以及中小型土壤昆虫类群多样性和均匀性 14 个因子与 12 种施肥处理之间的关系进行分析。

根据特征向量和权重系数,得出 2 个主成分与原 12 项指标的线性组合:

$$\begin{aligned} y_1 &= 0.3171z_1 + 0.3175z_2 + 0.3179z_3 + 0.3173z_4 + 0.3096z_5 + 0.3139z_6 + \\ &\quad 0.3172z_7 + 0.3182z_8 + 0.3072z_9 + 0.3143z_{10} - 0.0569z_{11} - 0.0659z_{12} \\ y_2 &= -0.038z_1 - 0.060z_2 - 0.0252z_3 - 0.0163z_4 - 0.0485z_5 + 0.0367z_6 - \\ &\quad 0.0250z_7 + 0.0023z_8 + 0.0983z_9 + 0.0632z_{10} - 0.6575z_{11} + 0.7400z_{12} \end{aligned}$$

式中, $z_i = (z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{ni})' i = (1, 2, \dots, p)$, z_{ij} 为 x_{ij} 经标准化的数值。 $z_i = (z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{ni})' i = (1, 2, \dots, p)$, z_{ij} 为 x_{ij} 经标准化的数值。

在第一主成分方程 y_1 表达式中,第一特征向量的各个分量除了指标 Z_{11} 、 Z_{12} 的指标低于其他指标且较小,均在 0.32 附近,说明除这两种处理方式(轮作和 M_2 NPK)外,其他 10 种施肥处理对土壤昆虫均有影响;第二主成分方程 y_2 表达式中,指标 Z_{11} 、 Z_{12} 系数明显比其它指标系数大,且符号相反,说明第二主成分集中刻画了轮作和 M_2 NPK 对土壤昆虫类群的影响能力,即轮作对土壤昆虫优势类群具有负向作用,而 M_2 NPK 则具有正向作用,但对其它的解释不明显。

在第一主成分的特征值向量中,第一主成分对农田土壤昆虫个体总数影响最大,其特征向量为 6.9872,其次对主要个体数量的影响,其特征向量为 6.8992,再次是对棘跳科的影响,其特征向量为 2.0243;第二主成分特征向量前 3 位分别为 2.1034、1.6258、0.9517,对疣跳科、其他个体数和蚁科的贡献较大。表明第一主成分中 12 种定位施肥处理对土壤昆虫个体数综合影响最明显,其次是主要个体数,再次是棘跳科,对其他个体数和中小型土壤昆虫均匀性影响最小;第二主成分则对疣跳科综合影响最大,其次其他个体数,再次是蚁科,而对中小型土壤昆虫均匀性和多样性影响最小。从评价值大小看,第一主成分特征向量最大为 6.9872,最小值为 -1.8989,相差较大,即各种施肥对农田土壤动物个体数影响最大,对中小型土壤昆虫均匀性影响最小,表明施肥处理对土壤昆虫类群影响不平衡。

3 讨论

3.1 黑土区农田土壤科昆虫组成与类群特征

黑土区农田土壤昆虫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。本次采样时间正值雨季,且采集时间段在雨后 2~4d 之间,土壤湿度相对较大。由于土壤水分是氧的载体,一些气管系统不发达的土壤昆虫,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昆虫幼虫,如叶甲类、双翅目幼虫,以及一些需要高湿度或饱和状态湿空气的土壤的一些喜湿性土壤昆虫幼虫,因土壤湿度增大而导致其增加,大型土壤昆虫个体数与土壤含水量间、弹尾目疣跳科与田间持水间存在显著的正相关关系也说明了这一点,因此本次调查到的土壤昆虫个体数较为丰富。

在 12 个施肥小区内,共有类群 6 个,与对照(CK)相比,除 SNPK、 M_1 NPK 和 M_2 NPK 外,其他 8 种施肥农田土壤昆虫主要类群数量均有增加,其中撂荒地大型土壤昆虫和中小型土壤昆虫优势类群和常见类群个体总数增加最多,且蚁科、球角跳科和棘跳科昆虫个体数量增加最多,均在 1 倍以上。优势类群 Collembola 数量在单施 NPK 条件下,土壤昆虫数量并未出现增加,但在 PK、Rot、 M_2 NPK 和 1.5MNPK 施肥处理中,却呈明显地增加(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,其中单施 NPK 情况下,优势类群 Collembola 数量的变化与 Bardgett 等^[10]对施用 NPK 使草原土壤动物的优势类群 Collembola 数量增加存在一定的差异。

从物种多样性角度看,有机肥与化肥配施导致土壤昆虫生物多样性增高,如大型农田土壤昆虫多样性指数最高的是 1.5MNPK 处理、中小型农田土壤昆虫多样性指数最高的是 M_1 NPK 处理;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,如大型农田土壤昆虫 NPK 处理,优势现象突出。

Jaccard(q)指数是群落相似性分析中较常用的分析方法,适于某个类群存在或不存在的二元数据,其数值大小反映群落之间的相似程度,数值越大,表明两个群落之间越相似。采用该指数对 12 种施肥农田土壤昆虫群落的相似性进行分析,总体而言,CK 处理与其他 11 处理之间群落相似程度最小,其次是 SNPK,而 Rot. 与其他处理之间的群落相似程度较大,这可能与由于 CK 小区长期种植、不施肥导致土壤肥力下降有关,在本研究 CK 小区主要表现为土壤容重增大、土壤孔隙度降低、有机质含量减少,土壤昆虫类群数减少;Rot. 则与之相反,土壤昆虫类群数增加,尤其是重小型土壤昆虫的类群数。

3.2 土壤理化性质改变对土壤昆虫优势类群的影响

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。

土壤有机质是土壤昆虫主要能量来源,增加其含量势必影响土壤昆虫群落组成。长期定位试验研究表明^[11],单施化肥和无肥区有机质含量呈缓慢下降趋势;撂荒和有机配施无机肥区有机质含量则呈增加趋势,且撂荒增加最多;SNPK 区有机质含量变化很小。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,其中大型土壤昆虫类群数、疣跳科、球角跳科与有机质($r = -0.5227, 0.6084, -0.5218$)均呈显著的负相关($p < 0.005$),土壤全氮与农田土壤昆虫的相关性与土壤有机质结果相同,这与许多学者土壤昆虫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。

土壤 pH 通常对动物的分布是一限制因素,而不同地区的动物由于对环境长期适应的结果,因而生存范围波动较大,在酸性土壤中,随着土壤的酸性减弱,土壤昆虫多样性增加。黑土区由于受长期施肥的影响,与对照($pH = 7.65$)相比,11 种施肥小区的土壤酸性有所增强,介于 6.03 ~ 7.58 之间,但酸性仍然较弱,因此土壤昆虫受土壤酸性影响较弱,其多样性有所增加。

土壤容重和孔隙度是评价农业土壤的松紧程度和宜耕状况的指标之一。土壤容重的数值大小受土壤孔隙大小影响,且呈负向相关。土壤动物在促进土壤团聚体的形成、提高孔隙方面具有主要的作用。从本次调查来看,土壤容重的数值与土壤孔隙呈显著的负相关($r = -0.9860, p < 0.005$)。土壤昆虫与土壤容重以及土壤孔隙度的分析表明,土壤容重分别与大型土壤昆虫类群数以及球角跳科昆虫存在明显的正相关($r = 0.5524, 0.5285, p < 0.005$),而与疣跳科存在显著负相关($r = -0.5674, p < 0.005$),而三者之间与土壤孔隙度间相关关系恰与土壤容重间的关系相反。

3.3 不同施肥处理对主要农田土壤昆虫的影响

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 91.65% 的原始信息,损失的信息仅为 8.35%,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 10 负荷值大致相当,没有包含其他因子的信息,因此本文对第二主成分作了进一步分析,确定了轮作和 M_2 NPK 之间对土壤昆虫群落影响,确定轮作对土壤昆虫中群发展具有负向作用,而施入适量的有机肥有利于土壤昆虫中群生存和发展,但对其他的影响解释不清。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最大,这与 Lindberg 等^[12]的研究结果一致,即施肥会引起土壤动物数量发生较大负的变化,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。

References:

- [1] Baker G H. Recognising 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
- [2] Blakemore R J. Ecology of earthworm under the 'haughley experiment' of organic and conventional management regimes. *Biological Agriculture and Horticulture*, 2000, 18:141 ~ 159
- [3] 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. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(6):871 ~ 877
- [4] Bonkowski M, Griffiths B, Scrimgeour C. Substrate heterogeneity and microfauna in soil organic 'hotspots' as determinants of nitrogen capture and growth of

- ryegrass. *Applied Soil Ecology*, 2000, 14(1): 37 ~ 53
- [5] Sarathchandra S U, Ghani A, Yeates G W, *et al.* Effect of nitrogen and phosphate fertilizers on microbial and nematode diversity in pasture soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(7-8): 953 ~ 964
- [6] Folgarait P J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity Conservation*, 1998, 7: 1221 ~ 1244.
- [7] Lavelle P. Faunal activities and soil process: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advance of Ecology Research*, 1997, 27: 93 ~ 132.
- [8] Swift M J, Andren O, Brussaard L, *et al.* Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology*, 1998, 4 (7): 729 ~ 743.
- [9] Swift M J, Heal O W and Anderson J M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Univ. Calif. Press, Berkeley, 1979.
- [10] Bardgett R D, Frankland J C, and Whittaker J B. The effects of agricultural practices on the soil biota of some upland grasslands. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 1993, 45: 25 ~ 45.
- [11] Sun D H, Zhu P, Ren J, *et al.* Studied on evolution patter of black soil fertilized and fertilization benefit. *Maize Science*, 2000, 8(4): 70 ~ 74.
- [12] Lindberg N, Persson T. Effects of long-term nutrient fertilization and irrigation on the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand. *Forest Ecology & Management*, 2004, 188(1 ~ 3): 125 ~ 135.

参考文献:

- [1] 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.
- [11] 孙宏德, 朱平, 任军, 等. 黑土肥力和肥料效益演化规律的研究. *玉米科学*, 2000, 8(4): 70 ~ 74.