

农田土壤动物与土壤理化性质关系的研究

林英华^{1,2}, 张夫道¹, 杨学云³, 宝德俊⁴, 石孝均⁵, 王胜佳⁶, 王伯仁⁷

(¹ 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081; ² 中国林业科学研究院森林保护研究所, 北京 100091; ³ 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; ⁴ 河南省农业科学院土壤肥料研究所, 郑州 450002; ⁵ 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716; ⁶ 浙江省农业科学院土壤肥料研究所, 杭州 310021; ⁷ 中国农业科学院红壤试验站, 祁阳 426182)

摘要: 2001年夏季作物收割季节, 采用系统调查法对国家土壤肥力和肥料效益监测基地网的黄土、潮土、水稻土、紫色土、红壤5个土壤类型定位试验中的对照(CK)、撂荒、NPK、NPK+OM、NPK+S和1.5(NPK+OM)施肥小区的土壤动物调查。采集土壤样品90个, 通过手捡法和Cobb过筛法, 共获得土壤动物6414只, 隶属6门12纲22目, 同时对采集的土壤样品理化性质进行分析。以8类主要农田土壤动物与土壤理化性质的6项指标为研究对象, 采用典型相关分析方法, 研究影响农田土壤动物的主要因子。结果表明, 在土壤理化性质6项指标中, 土壤有机质、田间持水量和土壤全氮负荷量(或权重系数)较高; 8类主要土壤动物中, 线虫、蛴螬类和鞘翅目昆虫负荷量较高, 在两者作为一个整体的组合中, 土壤有机质、田间持水量和土壤全氮对线虫、蛴螬类和鞘翅目昆虫影响较大, 而土壤有机质和土壤全氮对线虫、蛴螬类的作用最大, 其它土壤因子与土壤动物类群之间相关性较弱。土壤动物主要类群的变化分别被土壤理化性质第I变量和第II变量解释的比例为10.79%和13.00%, 仍有76.21%以上变化不能得到解释。

关键词: 农田土壤动物; 土壤理化性质; 典型相关分析

Study on the Relationship Between Agricultural Soil Fauna and Soil Physicochemical Properties

LIN Ying-hua^{1,2}, ZHANG Fu-dao¹, YANG Xue-yun³, BAO De-jun⁴, SHI Xiao-jun⁵,
WANG Sheng-jia⁶, WANG Bo-ren⁷

(¹Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ²Research Institute of Forest Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; ³College of Resources and Environmental Sciences, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100; ⁴Soil and Fertilizer Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002; ⁵College of Resources and Environmental Sciences, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716; ⁶Soil and Fertilizer Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021; ⁷Red Soil Experiment Station, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qiyang 426182)

Abstract: During the summer harvest of 2001, field investigations of 90 samples of soil and 6414 individuals of soil fauna collected by handsorting and Cobb method from 6 treatments (CK, abandon, NPK, MNPK, 1.5MNPK and SNPK) of 5 types of soil (Loess soil, Fluvo-aquic soil, Paddy soil, Purple paddy soil and Red soil) at the State's Experimental Research Network for Soil Fertility and Fertilizers, which belonged to 6 Phyla, 12 Classes, 22 Orders, respectively, were carried out. The relationship between agricultural soil fauna and soil physicochemical properties was analysed by canonical correlation analysis based on 6 indexes of soil physicochemical properties and 8 types of soil fauna in the paper, which respectively include soil organic matter, pH, porosity, field capacity, total nitrogen, volume weight and Nemata, Oligochaeta, Gastropoda, Araneae, Acariformes, Isopoda, Diplopoda, Collembola, Coleoptera, Hymenoptera, aimed to find major soil factor variables affecting soil fauna in different treatments of different types of soil. The results indicated that Nemata, Acariformes and

收稿日期: 2003-12-01

基金项目: 科技部社会公益研究专项《中国土壤生物演化及安全预警系统研究》部分内容(2000-177)

作者简介: 林英华(1966-), 女, 黑龙江绥化人, 博士, 主要从事动物生态学和土壤生态环境研究。Tel: 010-62889505; E-mail: linyinghua@263.net。张夫道为通讯作者, Tel: 010-68918669

Coleoptera were affected by the contents of organic matters, total nitrogen and field capacity in soil, especially Nemata and Acariformes by the contents of organic matters and total nitrogen in soil, while other factors had not much relation with that pattern of distribution. It was found that 10.79% and 13.00% of the variance of soil fauna in 6 types of soil was respectively explained by the first and the second canonical variable of soil factor variable, the rest was not interpreted yet.

Key words: Agricultural soil fauna; Soil physical and chemical properties; Canonical correlation analysis

土壤动物主要活动在复杂的土壤生态系统中,对于改善土壤的理化性质具有重要的作用。在农业生态系统中,土壤动物与农业耕作制度以及管理方式密切相关^[1],农业耕作或施肥在改变了土壤某些理化性质的同时,也改变了土壤动物生存的环境,导致土壤动物种类的复杂程度和总数量的减少,土壤动物群落或种群特征对农业生态系统具有反作用^[2~4]。建于1843年的英国洛桑试验站(Rothamsted experiment station)150年来的研究成果已经充分证明土壤动物在改善土壤结构和环境中的作用,但对农田土壤动物与土壤因子相互关系的研究较少,多为描述性^[5]。目前农业土壤环境的研究,较多侧重农业耕作或施肥对土壤理化性质、肥力以及土壤微生物的影响和少数几个农田土壤动物类群,如土壤线虫、弹尾类等的研究。近些年来,随着各种先进仪器和研究方法的出现和完善,土壤动物研究已经进入到生物生产力和人类与环境关系的研究阶段,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]。

笔者以国家土壤肥力与肥料效益监测基地的5种土壤类型为代表,在夏收时对土壤动物种群结构进行调查并在土壤性质测定的基础上,利用典型相关分析,对土壤动物与不同土壤类型、不同施肥处理的土壤主要性质的关系进行分析,对土壤主要理化性质变化对土壤动物群落影响进行定量研究。

1 试验设计与方法

1.1 试验设计

本项研究试验地设在国家土壤肥力与肥料效益监测基地网内,以其中的黄土、潮土、水稻土、紫色土、红壤5种土壤类型为代表。选择定位试验中6种主要处理作为研究对象:(1)撂荒(不施肥、不耕作、不种植);(2)对照(CK);(3)氮磷钾(NPK);(4)氮磷钾+有机肥(NPK+OM);(5)1.5[氮磷钾(增量)+有机肥(增量)](NPK+OM);(6)氮磷钾+秸秆(NPK+S)。

1.2 土壤动物的采集方法

在国家土壤肥力和肥料效益监测基地网长期定

位试验田内夏季作物收割后,取0~20 cm耕层土壤。每个小区选取5个点,分0~5、5~10和10~20 cm土层进行土壤动物调查。受条件的限制,本次调查仅采用手捡法和Cobb过筛法^[9],分离线虫时辅助分离土壤动物。由于分类的限制,采用大类群进行分类^[10, 11],一般分类到目。

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》中的方法测定土壤理化性质。有机质采用丘林法(180℃油浴);全氮采用 $K_2SO_4-CuSO_4-Se$ 消化、半微量凯氏法;pH值采用水浸法;田间持水、土壤容重和孔隙度分别采用数量法、环刀法和计算法。

采用典型相关分析^[12]研究农田主要土壤动物种群密度与土壤理化因子之间的关系。从影响土壤动物种群密度的众多的因子中选取土壤耕层物理性质和主要养分(土壤有机质和全氮)进行分析,土壤动物种群以农田主要土壤动物为代表。所有运算采用SAS软件进行典型相关分析(CANCORR)^[13]。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落结构

在2001年夏收季节对5种类型土壤进行调查,共获得90个土样,土壤动物22类,6414只,隶属6门12纲22目。其中大型动物15类,优势类群有鞘翅目(Coleoptera)、腹足纲(Gastropoda)、膜翅目(Hymenoptera)、寡毛纲(Oligochaeta),分别占大型土壤动物总个体数的10.65%、22.18%、24.07%和29.85%;常见类群倍足纲(Diplopoda)、蜘蛛目(Araneae)、等足目(Isopoda)、鳞翅目幼虫(Lepidoptera)、双翅目幼虫(Diptera),分别占大型土壤动物总个体数的2.27%、2.43%、3.83%、1.38%和1.55%。中小型土壤动物7类,优势类群有线虫动物门(Nemata)、蜱螨目(Acariformes),分别占中小型土壤动物总个体数的80.96%和10.70%;常见类群弹尾目(Collembola),占中小型土壤动物总个体数的7.12%。这些土壤动物构成了5种土壤类型中土壤动物的主要类群,它们对这5种土壤环境具有较

强的适应能力，这 10 类土壤动物成虫种群平均密度如表 1。

表 1 主要土壤动物在不同土壤类型、不同施肥处理中的分布

Table 1 Distribution of chief soil fauna at different type of soil and treatment (Individual·m⁻³)

土壤类型	施肥处理	线虫动物门	寡毛纲	腹足纲	蜘蛛目	蜱螨目	等足目	倍足纲	弹尾目	鞘翅目	膜翅目
Soil type	Treatments	Nemata	Oligochaeta	Gastropoda	Araneae	Acariformes	Isopoda	Diplopoda	Collembola	Coleoptera	Hymenoptera
潮土 Fluvo-aquic soil	CK	6210.2	636.9	0.0	0.0	318.5	0.0	0.0	0.0	318.5	0.0
	撂荒 Abandon	7802.5	2070.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	318.5	0.0
	NPK	22452.2	159.2	0.0	0.0	636.9	0.0	636.9	0.0	159.2	0.0
	MNPK	20222.9	636.9	318.5	0.0	318.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	NPK	20222.9	1910.8	159.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.5MNPK	11146.5	318.5	0.0	0.0	636.9	0.0	0.0	159.2	0.0	0.0
红壤 Red soil	CK	29440.9	0.0	0.0	0.0	1132.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	撂荒 Abandon	9436.2	1509.8	0.0	0.0	754.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	NPK	7171.5	0.0	0.0	0.0	15097.9	0.0	0.0	377.4	0.0	0.0
	MNPK	58126.9	1887.2	0.0	0.0	8303.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SNPK	1132.3	0.0	0.0	0.0	9813.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.5MNPK	9058.7	3019.6	0.0	0.0	6039.2	0.0	0.0	4529.4	0.0	0.0
黄土 Loess soil	CK	868.6	39.5	171.1	0.0	118.5	289.5	0.0	26.3	65.8	855.5
	撂荒 Abandon	401.0	155.2	258.7	38.8	155.2	297.5	25.9	0.0	155.2	3725.7
	NPK	1102.3	95.9	95.9	35.9	179.7	47.9	59.9	24.0	455.3	946.6
	MNPK	998.9	720.7	784.0	37.9	202.3	50.6	101.2	12.6	923.1	252.9
	SNPK	600.7	439.6	58.6	29.3	205.1	307.7	175.8	87.9	761.9	542.1
	1.5MNPK	3318.0	550.7	96.4	13.8	82.6	13.8	302.9	82.6	344.2	605.8
水稻土 Paddy soil	CK	0.0	588.8	226.5	90.6	0.0	0.0	0.0	30.2	90.6	0.0
	撂荒 Abandon	0.0	1479.6	60.4	241.6	0.0	362.3	135.9	588.8	151.0	0.0
	NPK	0.0	1932.5	1162.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	362.3	151.0
	MNPK	45.3	1675.9	120.8	30.2	0.0	0.0	15.1	0.0	15.1	0.0
	SNPK	0.0	1268.2	15.1	302.0	0.0	0.0	0.0	921.0	286.9	0.0
	1.5MNPK	60.4	1766.5	4348.2	90.6	15.1	0.0	0.0	0.0	60.4	1501.0
紫色土 Purple paddy soil	CK	2985.7	0.0	2985.7	0.0	796.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	撂荒 Abandon	3393.8	0.0	796.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	NPK	6369.4	0.0	1194.3	0.0	199.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	MNPK	4379.0	0.0	3184.7	398.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SNPK	3383.8	0.0	2587.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	199.0
	1.5MNPK	1592.4	0.0	1393.3	0.0	199.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.2 不同土壤类型的主要理化性质

2000~2001 年不同土壤类型、不同施肥处理土壤主要理化性质，见表 2。

从表 2 可以看出，不同施肥处理对土壤的理化性质均有不同的影响。与对照相比，施入有机肥可以使土壤有机质和土壤全氮含量增加，田间持水量则有不同程度的增加，但对土壤容重的影响较小，对孔隙度和土壤 pH 的影响因土壤而异。

2.3 典型相关分析

典型相关关系方法是研究两组指标（变量）间的一种多变量统计分析方法，其目的是寻找一组指标的线性组合与另一组指标的线性组合，使两组之间的相关达到最大（即两组典型变量的相关达到最大值）。由于等足类和膜翅目昆虫仅在黄土中分布数

量较多，因此本文选取除等足类和膜翅目昆虫以外的其它 8 类主要土壤动物类群作为第一组变量 x ；土壤有机质、pH、孔隙度、田间持水量、全氮、容重等土壤的 6 项指标作为另一组变量 y ，反映土壤理化性质的指标。表 3 列出了所有 6 对典型变量它们的显著性和各原始变量的标准化相关系数 (r) 以及原始变量 x_1 和 y_1 在典型变量 V 、 U 上的载荷(或权重系数) (a 、 b)。

计算结果分析表明，第 I 对典型变量是土壤因子： $U_1 = -1.1091y_1 + 0.7429y_2 + 0.3933y_3 + 0.9018y_4 + 1.2828y_5 + 0.5390y_6$
土壤动物类群： $V_1 = -0.4733x_1 + 0.2639x_2 + 0.1457x_3 - 0.0712x_4 - 0.5454x_5 + 0.1023x_6 - 0.1291x_7 + 0.2655x_8$

表2 2000~2001年不同施肥处理不同土壤类型主要理化性质

Table 2 Main physicochemical properties of different soil types and treatments in 2000-2001

土壤类型 Soil type	施肥方式 Treatments	土壤有机质 SOM (g·kg ⁻¹)	pH (1:1H ₂ O)	孔隙度 Porosity (%)	田间持水量 Field capacity (%)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	容重 Volume weight (g·cm ⁻³)
潮土 Fluvoaquic soil	CK	11.10	8.70	55.80	18.80	0.58	1.44
	撂荒 Abandon	13.40	8.60	47.50	21.00	1.01	1.39
	NPK	13.40	8.70	49.63	20.60	0.63	1.44
	MNPK	14.70	8.70	58.80	21.90	0.84	1.37
	SNPK	14.00	8.65	52.0	21.20	0.88	1.42
	1.5MNPK	16.10	8.60	48.10	22.90	0.90	1.40
红壤 Red soil	CK	14.55	5.64	58.90*	27.60*	0.95	1.09
	撂荒 Abandon	17.79	7.16	51.70*	23.70*	1.24	1.28
	NPK	17.94	4.71	60.70*	26.40*	1.26	1.04
	MNPK	25.16	5.84	55.10*	25.00*	1.25	1.19
	SNPK	17.14	4.83	59.60*	25.70*	1.34	1.07
	1.5MNPK	26.39	6.15	58.10*	26.80*	1.76	1.11
黄土 Loess soil	CK	12.53	8.40	51.30	21.02	0.97	1.31
	撂荒 Abandon	16.16	8.36	49.63	21.12	1.25	1.30
	NPK	15.13	8.38	54.62	30.10	1.18	1.22
	MNPK	23.86	8.22	56.03	29.61	1.75	1.18
	SNPK	16.67	8.36	52.89	25.73	1.31	1.26
	1.5MNPK	28.79	8.13	55.63	32.05	2.01	1.19
水稻土 Paddy soil	CK	26.30	6.70	60.32	36.13	1.64	1.07
	撂荒 Abandon	28.70	6.60	59.80	38.30	1.67	1.09
	NPK	29.70	6.63	59.78	39.40	1.92	1.07
	MNPK	29.80	7.15	62.65	46.20	1.81	1.02
	SNPK	31.60	6.60	10.90	58.50	2.00	1.15
	1.5MNPK	32.00	7.10	64.38	46.50	2.00	1.00
紫色土 Purple paddy soil	CK	20.63	7.90	47.70	28.00	1.20	1.39
	撂荒 Abandon	18.36	7.80	52.00	28.00	1.09	1.27
	NPK	25.09	7.70	50.60	28.00	1.49	1.31
	MNPK	25.44	7.60	48.50	28.00	1.53	1.36
	SNPK	28.08	7.70	49.70	28.00	1.57	1.33
	1.5MNPK	7.48	7.60*	50.40	28.00	1.42	1.62

*为1990年数据 *1990 data

表3 典型变量、显著性和与典型变量有关性质的相关系数

Table 3 Canonical correlation variables F statistic and standardized canonical coefficients for the soil fauna and soil factor

	第I典型 Canonical variate I		第II典型 Canonical variate II		第III典型 Canonical variate III		第IV典型 Canonical variate IV		第V典型 Canonical variate V		第VI典型 Canonical variate VI	
特征根 λ^2 Eigenvalue λ^2	0.9161***		0.7809*		0.6513		0.5553		0.4628		0.3474	
典型相关系数 λ	0.8392		0.6098		0.4242		0.3083		0.2141		0.1207	
Canonical correlation λ	0.6232		0.8099		0.8978		0.9511		0.9836		1.0000	
累计百分比 Cumulative	0.6232		0.8099		0.8978		0.9511		0.9836		1.0000	
显著性(Pr>F) Sgnificant	0.0008		0.0803		0.2819		0.3960		0.4406		0.4295	
	a_i	r_{vi}	a_i	r_{vi}	a_i	r_{vi}	a_i	r_{vi}	a_i	r_{vi}	a_i	r_{vi}
线虫动物门 Nemata (x_1)	-0.4733	-0.6697	-0.7019	-0.5457	0.0830	0.0283	-0.3695	-0.0858	0.5367	0.2396	-0.0458	0.3558
寡毛纲 Oligochaeta (x_2)	0.2693	0.0793	0.2082	0.1334	0.4611	0.4331	0.3792	0.0254	-0.1760	0.3224	1.0602	0.6728
腹足纲 Gastropoda (x_3)	0.1457	0.2869	-0.1110	-0.1129	0.5424	0.5999	0.6867	0.4805	0.4271	-0.0402	-0.3213	-0.4376
蜘蛛目 Araneae (x_4)	-0.0712	0.1946	0.1552	0.1642	0.5560	0.6628	-0.7979	-0.6088	-0.2856	-0.2165	0.0016	-0.1468
蜱螨目 Acariformes (x_5)	-0.5454	-0.8174	0.7872	0.5075	0.1119	-0.0117	0.3340	0.1841	-0.0627	0.0955	0.2370	0.0861
倍足纲 Diplopoda (x_6)	0.1023	0.1522	-0.2186	-0.2951	0.1374	-0.1509	0.2007	-0.0829	0.1315	0.3005	0.3120	0.2327
弹尾目 Collembola (x_7)	-0.1291	-0.1842	-0.0398	0.3020	0.0779	0.3031	-0.2809	-0.1355	0.8867	0.6058	-0.7418	-0.1001
鞘翅目 Coleoptera (x_8)	0.2655	0.5595	0.3297	0.3009	-0.2858	-0.3589	-0.2297	-0.2612	0.7121	0.4392	-0.0237	0.1909
	b_j	r_{uj}	b_j	r_{uj}	b_j	r_{uj}	b_j	r_{uj}	b_j	r_{uj}	b_j	r_{uj}
土壤有机质 SOM (y_1)	-1.1091	0.2259	-2.3347	0.1936	1.8809	0.6017	-0.3474	0.0669	1.5983	0.0456	0.9994	-0.0003
pH (y_2)	0.7429	0.5970	-0.7905	-0.4654	-0.0345	-0.2637	-0.3808	-0.0473	0.9272	0.0668	0.8102	-0.0582
孔隙度 Porosity (y_3)	0.3933	-0.1211	0.1997	0.0517	-0.2350	-0.1143	1.2594	0.4764	-0.8234	0.0559	0.0369	0.1540
田间持水量 Field capacity (y_4)	0.9018	0.3290	0.4452	0.2815	-0.1557	0.4679	0.4016	-0.1323	-2.4093	-0.1378	0.0199	0.0979
全氮 Total N (y_5)	1.2828	0.3267	2.4707	0.4352	-1.0781	0.4675	0.6463	0.0357	-0.1241	0.0931	-1.6303	0.0165
容重 Volume weight (y_6)	0.5390	0.1019	0.6856	-0.5046	-0.2873	-0.2105	1.1283	-0.0084	-1.7771	-0.0301	-1.7551	-0.2359

两者的相关系数为0.8392,其特征值最大,累计百分比为62.32%,土壤因子第I典型变量 U_1 对土壤动物类群第I典型变量 V_1 之间具有显著的相关关系并且达到了极显著水平($\alpha < 0.0008$),说明土壤因子第I典型变量 U_1 对土壤动物类群第I典型变量 V_1 影响极大,在 U_1 的线性组合中,土壤有机质(y_1)、田间持水量(y_4)和全氮(y_5)负荷量分别是-1.1091、0.9018和1.2828,可见是土壤有机质、田间持水量和全氮在第I典型变量中起主要作用,其它理化性质负荷量较小;土壤动物类群第I典型变量 V_1 中起主要作用的土壤动物类群是线虫(x_1)、蜱螨类(x_5)和鞘翅目昆虫(x_8),由此得出土壤有机质、田间持水量和全氮对线虫、蜱螨类和鞘翅目昆虫影响最大。而从 U_1 与原始数据的相关系数可以看出,它与pH(y_2)、田间持水(y_4)和全氮(y_5)有较好的正相关,分别为0.5970、0.3290和0.3267,可以理解为 U_1 主要描述的是土壤化学性质的综合性状;对 V_1 作类似的分析可知,它与线虫(x_1)、蜱螨类(x_5)和鞘翅目(x_8)有较高的相关关系,分别为-0.6697、-0.8174和0.5595,它主要描述了土壤线虫、蜱螨类和鞘翅目昆虫的密度变化。土壤有机质(y_1)的相关系数虽然较低,但其含义系数较高,为-1.1091,为负相关,说明土壤有机质所起的作用相对较小,且为一抑制变量,以此来提高田间持水量和全氮与土壤线虫、蜱螨类和鞘翅目昆虫之间的相关性。

第II对典型变量是

土壤因子: $U_2 = -2.3347y_1 - 0.7905y_2 + 0.1997y_3 + 0.4452y_4 + 2.4707y_5 + 0.6856y_6$

土壤动物类群: $V_2 = -0.7019x_1 + 0.2082x_2 - 0.1110x_3 + 0.1552x_4 + 0.7872x_5 - 0.2186x_6 - 0.0398x_7 + 0.3279x_8$

两者的相关系数为0.6098,其特征值其次,累计百分比为80.99%,土壤因子第II典型变量 U_2 对土壤动物类群第II典型变量 V_2 之间具有显著的相关性($\alpha < 0.08$),说明土壤因子第II典型变量 U_2 对土壤动物类群第II典型变量 V_2 影响较大。在 U_2 的线性组合中,土壤有机质和全氮负荷量分别是-2.3347和2.4707,可见是土壤有机质(y_1)和全氮(y_5)在第II典型变量中起主要作用,其它理化性质负荷量较小;土壤动物类群第II典型变量 V_2 中起主要作用的土壤动物类群是线虫和蜱螨类,由此得出土壤有机质和全

氮对线虫(x_1)和蜱螨类(x_5)密度影响最大。而从 U_2 与原始数据的相关系数可以看出,它与pH(y_2)、全氮(y_5)和容重(y_6)有较好的相关关系,分别为-0.4654、0.4352和-0.5046,可以理解为 U_2 主要描述的是土壤性质的综合性状;对 V_2 作类似的分析可知,它与蜱螨(x_5)和线虫(x_1)有较好的相关关系,分别为0.5075和-0.5457,它主要描述了蜱螨类和线虫的密度变化。容重与土壤有机质一样,其相关系数与含义系数较高,为负相关,说明两者均是抑制变量,以此来提高田间持水量和全氮与蜱螨类和线虫之间的相关性。

其它典型变量的相关性显著性程度检验均低于显著性标准,相关性系数均在0.5000以下,主要反映了孔隙度(y_3)对腹足类(x_3)和蜘蛛类(x_4)密度的影响。由于这4对典型变量相关性不显著,可以认为孔隙度对腹足类和蜘蛛类密度没有表现出明显的相关关系。

2.4 典型冗余分析

本文采用典型冗余指数对典型相关分析过程中的标准化方差结果进行检验。冗余指数是一组当中形成的典型变量对另一组观测变量总方差的解释比例,是一种组间交叉共享比例,反映自变量组各典型变量对于因变量组所有观测变量的解释能力,其结果见图1、2。从图看出,土壤因素中的第I和第II典型变量分别解释了土壤动物主要类群因素的10.79%和13.00%,而土壤动物主要类群因素的第I和第II典型变量分别解释了土壤因素的16.92%和6.72%,因此两者均不能很好地从总体上全面预测对应的那组变量。

但从表4的多重相关平方来看,土壤因素的第I、第II典型变量对土壤动物主要类群的各因素具有一定的预测或解释能力,其中第I典型变量对蜱螨类、第II典型变量对线虫、蜱螨类具有较好的预测能力,第I典型变量对线虫和鞘翅目昆虫、第II典型变量对鞘翅目昆虫具有一定的预测能力,对其它没有预测能力;土壤动物主要类群因素的第II典型变量对土壤因素pH具有较好的预测能力,而第I典型变量对pH预测能力较差,第I、第II典型变量对田间持水量和全氮预测能力较差,第II典型变量对土壤容重预测能力较差,对其它土壤因素则没有。

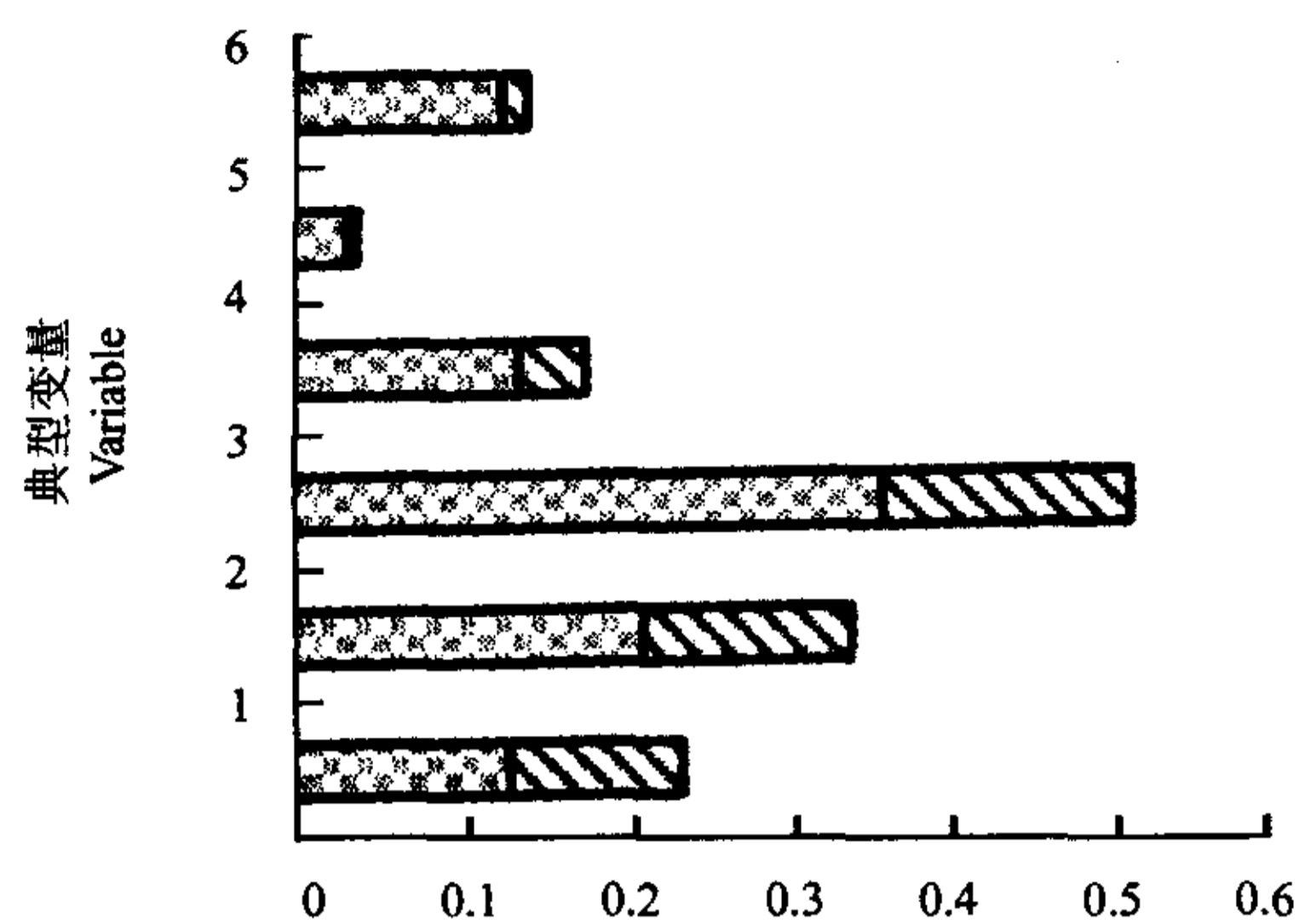


图1 土壤因素冗余指数分析

Fig.1 The analysis of redundancy index of soil factor

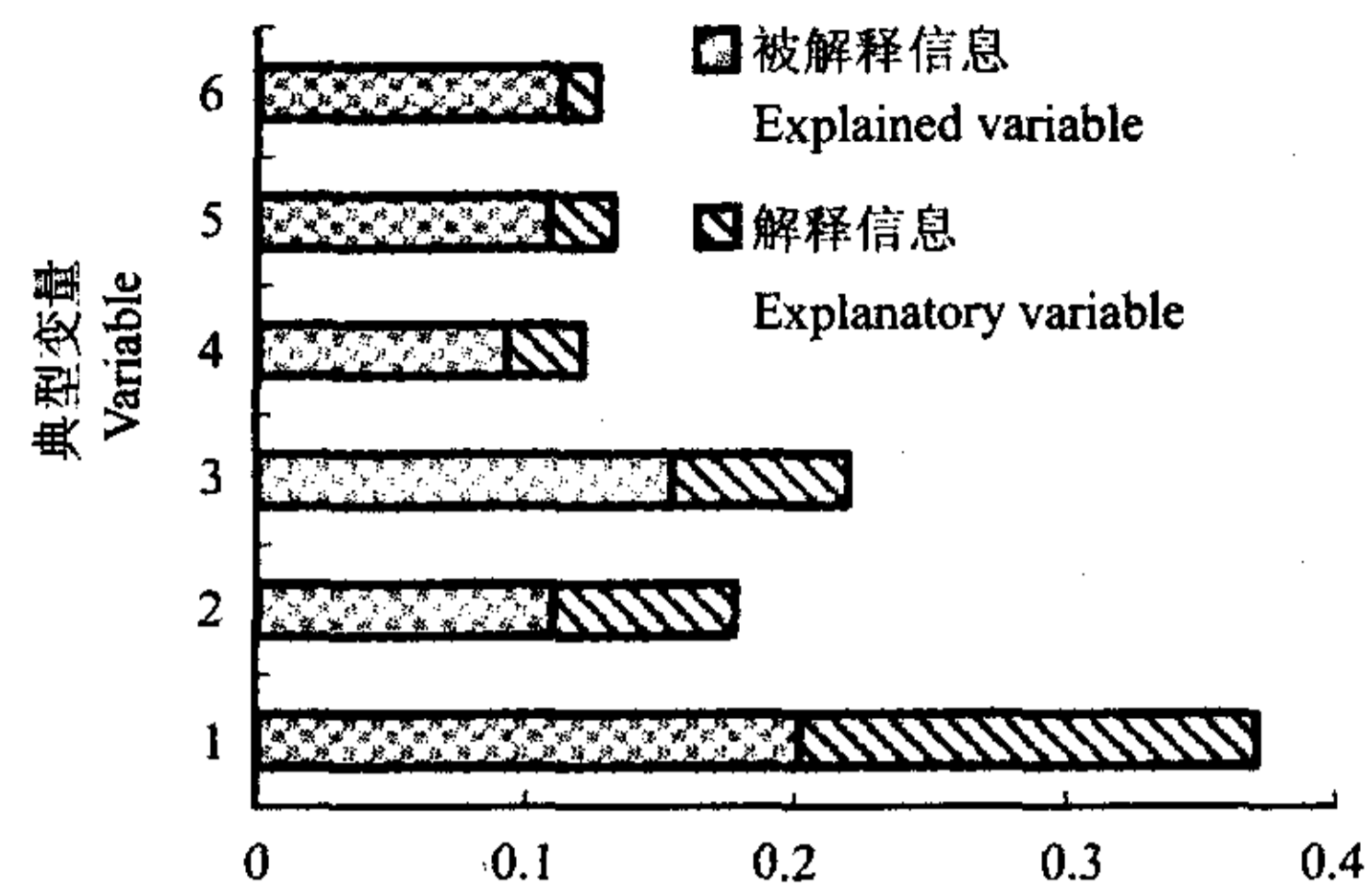


图2 土壤动物冗余指数分析

Fig.2 The analysis of redundancy index of soil fauna

表4 多重相关平方

Table 4 Squared multiple correlations

变量 Variable	1	2	3	4	5	6
线虫动物门 Nemata (x_1)	0.3764	0.5580	0.5583	0.5606	0.5729	0.5882
寡毛纲 Oligochaeta (x_2)	0.0053	0.0161	0.0957	0.0959	0.1181	0.1728
腹足纲 Gastropoda (x_3)	0.0691	0.0769	0.2295	0.3007	0.3010	0.3241
蜘蛛目 Araneae (x_4)	0.0318	0.0482	0.2345	0.3488	0.3589	0.3615
蜱螨目 Acariformes (x_5)	0.5607	0.7178	0.7178	0.7283	0.7302	0.7311
倍足纲 Diplopoda (x_6)	0.0194	0.0726	0.0822	0.0843	0.1037	0.1102
弹尾目 Collembola (x_7)	0.0285	0.0841	0.1230	0.1287	0.2073	0.2085
鞘翅目 Coleoptera (x_8)	0.2627	0.3179	0.3726	0.3936	0.4349	0.4393
土壤有机质 SOM (y_1)	0.0510	0.0885	0.4505	0.4550	0.4571	0.4571
pH (y_2)	0.3564	0.5730	0.6426	0.6448	0.6493	0.6527
孔隙度 Porosity (y_3)	0.0147	0.0173	0.0304	0.2574	0.2605	0.2842
田间持水量 Field capacity (y_4)	0.1082	0.1874	0.4064	0.4239	0.4429	0.4525
全氮 Total N (y_5)	0.1067	0.2962	0.5147	0.5160	0.5247	0.5250
容重 Volume weight (y_6)	0.0104	0.2650	0.3093	0.3094	0.3103	0.3660

3 讨论

3.1 土壤动物分布与不同土壤类型的关系

土壤是成土母质在一定水热条件和生物作用下, 经过一系列物理、化学和生物化学作用而形成的。土壤的质地和结构与土壤中的水分、空气和温度状况有密切的关系, 并直接或间接地影响着土壤动物的生活。由于受自然条件的影响, 不同土壤类型之间, 土壤动物分布存在一定的差异, 并且存在着明显的不均衡分布现象, 即少数物种在本研究中因其个体数量较多而成为优势类群, 如土壤中大量分布的线虫、等足类和膜翅目昆虫, 其它土壤动物类群由于个体数量较少而成为稀有类群 (<1.0%) 或极稀有类群 (<0.1%)。稀有类群或极稀有类群对环境的变化较为敏感, 仅在一定时期及土壤环境条件适宜时, 其种群数量才会逐渐增加, 并成为某一类土壤或者某一时期的常见种群。由于主要土壤动物类群对土壤环境适应性较强, 因此笔者主要从农田土壤理化性质对土壤动物影响方面分析了主要土

壤动物类群与不同农田土壤类型之间的关系。

土壤动物主要类群、稀有类群或极稀有类群的划分是否对分析土壤性质与土壤动物群落的关系产生偏差, 有待进一步研究。同时, 采样时间和分离方法等条件因素也会对土壤动物种类、数量和分布的调查结果产生一定的影响。

3.2 农田土壤理化性质对主要土壤动物类群的影响

长期定位施肥对土壤理化性质具有一定的影响。笔者主要研究其中的土壤有机质、pH、孔隙度、田间持水量、全氮、容重6个因子对土壤动物类群的影响。研究表明, 影响主要土壤动物类群种群密度变化的土壤理化性质主要是pH和田间持水量, 如土壤线虫以高湿度为基本生存条件, 弹尾类和蜱螨类中的无气门类只有在高湿条件下才能进行皮肤呼吸, 因此随着土壤含水量的增加, 土壤中耐湿动物数量增加, 相应也会导致一些干生土壤动物数量减少。土壤的pH值是土壤动物的一个限制因素^[14], 但在第I、第II典型变量中pH与土壤动物的种群密度呈正相关, 这种相关性是否与本次采样的

时间有关需进一步研究加以确认。

影响主要土壤动物类群种群密度变化的土壤理化性质还有土壤有机质和土壤全氮含量。土壤动物种群密度与土壤有机质含量呈负相关，与土壤全氮含量呈正相关，但土壤有机质负荷为负值。资料显示^[15]，土壤有机质含量与土壤全氮的含量一般呈正相关。因此土壤有机质和土壤全氮对土壤动物种群密度具有正向作用，其含量对主要土壤动物类群的丰度具有一定的影响。

土壤动物主要类群组的变化被土壤性质第 I 变量解释的比例为 10.79%，被土壤性质第 II 变量解释的比例为 13.00%，累计解释了 23.79%，仍有 76.21% 以上变化不能得到解释，因此还有一些未测定的土壤因素和土壤动物类群影响着线虫、蜱螨类和鞘翅目昆虫种群密度变化。

土壤动物类群和数量的分布与土壤的理化性质有密切的关系，这一结论与张雪萍^[16]对土壤动物的分布与环境中的有机质、pH、土壤质地和结构有密切关系的结论相同，但环境中的温度和降雨量也会影响土壤动物的分布，这方面的影响有待于进一步研究。

虽然等足类和膜翅目昆虫同为这 5 类土壤类型中的主要类群，但由于它们主要集中在某一土壤类型中而在典型分析中被省略，这是否会对分析结果产生影响，有待深入研究加以确证。

致谢：本文在数据分析过程中得到中国林业科学研究院森林资源信息研究所李永慈博士的帮助，在此谨表谢忱！

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] Ryan M. Is an enhanced soil biological community, relative to conventional neighbors, a consistent feature of alternative (organic and biodynamic) agricultural systems? *Biological Agriculture and Horticulture*, 1999, (17):131-144.
- [3] Blakemore R J. Ecology of earthworm under the 'haughley experiment' of organic and conventional management regimes. *Biological Agriculture and Horticulture*, 2000, 18:141-159.
- [4] Kladivko E J. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*, 2001, 61:61-76.
- [5] Leigh R A, Stevenson J H. Rothamsted experimental station: 150 years of agricultural research. *Biologist*, 1993, 40: 217-220.
- [6] Folgarait P J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation*, 1998, 7: 1 221-1 244.
- [7] Lavelle P. Faunal activities and soil process: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 1997, 27: 93-132.
- [8] Swift M J, Andren O, Brussaard L, Briones M, Couteaux M M, Ekschmitt K, Kjoller A, Loiseau P, Smith P. Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology*, 1998, 4:729-743.
- [9] 《土壤动物研究方法手册》编写组. 土壤动物研究方法手册. 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*. Beijing: China Forest Press, 1998: 24-34. (in Chinese)
- [10] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
Yin W Y. *Pictorial Keys to Soil Animal of China*. Beijing: Science Press, 1998. (in Chinese)
- [11] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000.
Yin W Y. *Soil Animal of China*. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [12] 唐守正. 多元统计分析方法. 北京: 中国林业出版社, 1986.
Tang S Z. *Method of Multiple Factors Analysis of Statistics*. Beijing: China Forest Press, 1986. (in Chinese)
- [13] 高惠璇. SAS 系统·SAS/STAT 软件使用手册. 北京: 中国统计出版社, 1998.
Gao H X. *SAS Software: SAS/STAT User's Guide*. Beijing: China Statistic Press, 1997. (in Chinese)
- [14] 张贞华. 土壤动物. 杭州: 杭州大学出版社, 1986.
Zhang Z H. *Soil Animal*. Hangzhou: Hangzhou University Press, 1986. (in Chinese)
- [15] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1995.
Office of National Soil Survey. *China Soil*. Beijing: China Agriculture Press. 1995. (in Chinese)
- [16] 张雪萍. 土壤动物与环境质量关系探讨. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1995, 11(4): 95-99.
Zhang X P. On the relation of soil animal to environment quality. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*. 1995, 11 (4):95-99. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)