

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 17 期 Vol.31 No.17 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美珏,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

谷艳芳, 张莉, 丁圣彦, 钦绳武. 长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响. 生态学报, 2011, 31 (17): 4900-4906.

Gu Y F, Zhang L, Ding S Y, Qin S W. The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (17): 4900-4906.

长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响

谷艳芳^{1,2,*}, 张莉², 丁圣彦^{1,2}, 钦绳武³

(1. 河南大学生态科学与技术研究所, 开封 475001; 2. 河南大学生命科学学院, 开封 475001;

3. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要:于 2007、2008 年春季在中国科学院封丘农业生态实验站, 研究长期定位施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响。调查共获得大型土壤动物 3068 头, 隶属 8 纲, 19 目, 28 科。不同施肥处理条件下土壤动物类群数差异显著 ($F=2.51$, $P<0.05$, $df=55$), 个体数差异极显著 ($F=8.99$, $P<0.01$, $df=55$)。结果显示, 大型土壤动物的类群数和个体数在有机肥和营养均衡条件下较高, 缺磷条件下较低。土壤动物多样性指数 (H') 以有机肥和营养均衡条件下显著高于营养不均衡和不施肥处理 ($P<0.05$)。主成分分析结果显示, 第一主成分贡献值 47.14%, 第二主成分贡献值 30.10%。经线性检验第一主成分与土壤动物个体数 ($y=0.335x-2.163$, $R^2=0.51$) 和类群数 ($y=0.042x-1.25$, $R^2=0.67$) 均呈线性关系。总之, 长期施用有机肥和营养均衡大型土壤动物群落构成相似。土壤有机质和磷含量是影响土壤动物群落构主要生态因子。

关键词:大型土壤动物; 群落; 长期定位施肥; 麦田

The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field

GU Yanfang^{1,2,*}, ZHANG Li², DING Shengyan^{1,2}, QIN Shengwu³

1 Institute of Ecological Science and Technology, Henan University, Kaifeng 475001, China

2 College of Life Science, Henan University, Kaifeng 475001, China

3 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: Soil fauna are an important component of farmland ecosystems. They play a very significant role in the decomposition of biological remains, affect soil properties and enhance material recycling and energy conversion in the soil. Conversely, soil factors determine the existence and activity of soil fauna.

The aim of this research was to examine the effects of long-term fertilization on the soil macrofaunal community structure. It was conducted in a wheat field at the Fengqiu (35°00' N, 114°24' E) Agro-Ecological Experimental Station of the Chinese Academy of Sciences in the spring of 2007 and 2008. A long-term located fertilization experiment was established in 1989. There were 7 treatments, and each treatment had four replicates: a control with no fertilizer (CK), chemical fertilizer NPK, chemical fertilizer without K (NP), chemical fertilizer without P (NK), chemical fertilizer without N (PK), organic manure (OM), and half organic manure and half chemical fertilizer (1/2OM + 1/2NPK). N, P and K chemical fertilizers were applied to wheat as follows: 150 kg/hm² N fertilizer, 75 kg/hm² P₂O₅ fertilizer, 150 kg/hm² K₂O fertilizer. All P, K and OM fertilizers were applied as basal fertilizers, whereas N fertilizer was added in two applications as both the basal and supplementary fertilizer. A total of 3068 soil macrofaunal individuals belonging to eight classes, 19 orders and 28 families were collected. The highest number of total species was found in the OM treatment and

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31070394, 41071118)

收稿日期: 2010-08-07; 修订日期: 2011-03-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: syding@henu.edu.cn

the lowest number in the NK and CK treatments. Both groups ($F = 2.51$, $P < 0.05$, $df = 55$) and individuals ($F = 8.99$, $P < 0.01$, $df = 55$) of the soil macrofauna differed significantly under the different fertilization treatments with greatest numbers of groups of macrofauna in the OM and NPK treatments and lowest numbers in the NK treatment. The species similarity index of soil fauna (S_1) was highest in the NK and CK treatments ($S_1 = 0.80$), and the species similarity index between groups (S_2) was highest in the OM and NPK treatments, being > 0.70 . The highest diversity indices of soil macrofauna (H') were observed in the OM and NPK treatments and decreased in the order: $H'_{\text{NPK}} (1.91) > H'_{\text{OM}} (1.83) > H'_{1/2\text{OM}+1/2\text{NPK}} (1.80) > H'_{\text{NP}} (1.74) > H'_{\text{NK}} (1.64) > H'_{\text{PK}} (1.56) > H'_{\text{CK}} (1.02)$.

Principal component analysis (PCA) revealed the contribution of the first (PC1) and the second (PC2) principal components as 47.14% and 30.10%, respectively. PC1 was significantly positively correlated with the number of groups ($R = 0.82$, $P < 0.05$) and individual numbers of soil fauna ($R = 0.85$, $P < 0.05$). PC1 was linearly correlated with soil macrofaunal individuals ($y = 0.335x - 2.163$, $R^2 = 0.51$) and soil macrofaunal groups ($y = 0.042x - 1.25$, $R^2 = 0.67$).

The soil macrofaunal community structure was similar in the wheat field following organic manure addition and balanced NPK fertilization. Numbers of earthworm numbers and its natural enemies were enhanced by the addition of OM. Soil organic matter and available P content were the key factors affecting the composition of the soil macrofaunal community.

Key Words: soil macrofauna; community; long-term located fertilization; wheat field

土壤动物是农田生态系统的重要组成部分之一。土壤动物在分解生物残体、改变土壤理化性质、促进土壤物质循环和能量转化过程中起着重要作用,同时土壤生态因子也决定了土壤动物的生存与活动^[1]。土壤动物群落构成和生物多样性直接受农业栽培措施的影响。施肥是保障作物产量的重要农田管理措施,不同施肥措施对土壤质量与健康产生深远的影响。因此研究长期施肥对土壤动物群落特征及生物多样性是农田生态系统研究的重要课题。前人研究认为,农业生产活动如耕作方式、种植制度、施肥和农药使用一定程度上影响着土壤动物的分布、种类和数量^[2]。特别是大型土壤动物(体长 >2 mm)受农田管理制度的影响更明显^[3-4]。近年来农田生态系统围绕不同土地利用形式、作物类型、土壤类型等影响下土壤动物群落研究较多,但单纯研究长期不同施肥措施对土壤动物群落的影响,实验数据积累还很少^[5]。长期定位肥料实验是观察长期施用不同肥料对作物产量、土壤肥力和环境影响的可靠方法。本研究利用的长期施肥定位实验田,研究长期不同施肥措施对农田土壤动物的影响规律。这对于充分利用土壤动物的特性改善土壤质量及合理制定施肥措施具有重要的现实意义。

1 研究方法

1.1 研究地概况

调查在中国科学院封丘农业生态实验站进行,封丘处于黄淮海平原中部,黄河北岸,地理位置在 $114^{\circ}14'E$, $34^{\circ}53'—35^{\circ}14'N$ 。站区所在地属半湿润偏旱的暖温带季风气候,年平均降水量为 605 mm,年蒸发量为 1875 mm,年平均气温为 $13.9^{\circ}C$, $\geq 0^{\circ}C$ 积温在 $5100^{\circ}C$ 以上,无霜期在 220 d 左右。全年日照时数在 2300—2500 h 之间,日照率为 55%。站区海拔高度在 67.5 m,地下水位埋深变幅在 5—15 m 之间。潮土农田生态系统养分平衡长期定位施肥实验于 1989 年秋天正式布置实验。

1.2 实验设计

实验设 7 个处理,4 次重复,共 28 个小区,随机区组排列。处理为纯有机肥(OM)、半有机肥($1/2\text{OM}+1/2\text{NPK}$)、营养均衡(NPK)、缺钾(NP)、缺磷(NK)、缺氮(PK)、不施肥(CK)。N、P、K 肥以 N 、 P_2O_5 和 K_2O 计算,有机肥(OM)以粉碎的麦秸为主,加上适量粉碎的大豆饼和棉仁饼,经过堆制发酵后施用。肥用量冬小麦 N 肥用量为 150 kg/hm^2 ,其中 90 kg/hm^2 作为基肥, 60 kg/hm^2 作为追肥使用;P、K 肥用量分别为 75、 150 kg/hm^2 。种植玉米 N 肥用量为 150 kg/hm^2 ,其中 60 kg/hm^2 作为基肥, 90 kg/hm^2 作为追肥使用;P、K 肥用量分

别为 60、150 kg/hm²,其中 P、K 肥与有机肥都作为基肥一次施入。施用前先分析 N、P、K 养分含量,以等 N 量为标准,有机肥中的 P、K 不足部分用 P、K 化肥补足到等量。采用冬小麦-玉米一年两熟制,调查期种植小麦品种为郑麦 9023。

1.3 样品的采集、分析和鉴定

于 2007、2008 年 4 月中旬,取 0—20 cm 耕层土壤对土壤动物进行调查。样方大小为 50 cm × 50 cm,每个样方均按 0—5cm、5—10cm、10—15cm、15—20 cm 分层取样。取出土样后,直接采用手捡法分离出每层的大型土壤动物,放入瓶中做好标签,并用 80% 的酒精杀死、固定,带回实验室,解剖镜下分析鉴定,一般鉴定到科,部分鉴定到属,同时统计个体数量^[6-7]。采集 0—20 cm 土壤,测定土壤 pH 值、土壤有机质、土壤全 N、有效 P、有效 K 含量(表 1)。

表 1 长期定位施肥处理麦田土壤理化性质(平均数±SE.)

Table 1 Soil physical and chemical properties in wheat field with long-term located fertilization (mean±SE.)

处理 Treatment	全氮/(g/kg) Total N	速效 P/(mg/kg) Available P	有机碳/(g/kg) Organic C	速效钾/(mg/kg) Available K	pH
OM	1.20±0.02	23.31±2.33	9.96±0.11	190.15±10.22	8.10±0.04
1/2OM	0.96±0.01	11.81±2.12	8.12±0.12	180.85±9.23	8.13±0.11
NPK	0.69±0.01	9.23±0.36	5.95±0.01	178.99±14.02	8.15±0.08
NP	0.64±0.02	9.55±1.23	6.00±0.22	59.57±8.53	8.17±0.05
NK	0.56±0.00	1.06±2.10	4.58±0.15	298.78±19.46	8.29±0.03
PK	0.48±0.01	26.86±1.45	4.06±0.04	296.78±23.87	8.36±0.09
CK	0.46±0.01	0.84±0.11	4.68±0.18	77.28±15.23	8.34±0.05

1.4 数据处理

根据原始捕获量占捕获总量的百分比来划分各类群数量等级,即个体数量大于捕获总量的 10.0% 以上者为优势类群,占 1.0%—10.0% 者为常见类群,不足 1.0% 者为稀有类群。土壤动物多样性指数^[3,8]采用 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数,即 $H' = -\sum P_i \ln P_i$, $J = H' / \ln S$ 。Sorenson 相似性指数 $S_1 = 2c/(a+b)$, Whittaker 相似性指数 $S_2 = 1 - 0.5 \sum |a_i - b_i|$ 。

统计各样方中土壤动物个体数、类群数,不同处理间进行 LSD 方差分析。群落结构数据用主成分分析(PCA),第一主因子进一步进行回归分析和线性模型检验,统计分析采用 SPSS13.0 软件。

2 结果

2.1 长期施肥处理下大型土壤动物群落构成

2007、2008 年春季麦田调查获得大型土壤动物 3068 头(表 2),隶属 8 纲、19 目、28 科。有机肥处理(OM 和 1/2OM)大型土壤动物获取量较高,分别为 771 头和 716 头;缺磷肥(NK)处理和不施肥(CK)捕获量较少,仅有 125 头和 151 头。大型土壤动物总类群数以有机肥处理最高,缺少磷肥处理和不施肥田中动物类群数最少。其中环节动物门后孔目寡毛纲和节肢动物门膜翅目蚁科昆虫为优势类群,两年捕获量分别占总捕获量的 28.69% 和 29.38%,环节动物主要是蚯蚓类的赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)、膜翅目主要是蚁科(Formicidae)昆虫。多度在 1%—10% 的常见类群为节肢动物门昆虫纲的鞘翅目、双翅目和同翅目幼虫,蛛形纲的蜘蛛目、甲壳纲的等足目和多足纲的唇足目等。

2.2 长期施肥处理下大型土壤动物分布格局

长期施肥处理下大型土壤动物种类数有较大的变化,通过对 28 个实验小区 2 a 调查所获得大型土壤动物的类群数和个体数进行方差分析和显著性检验。结果显示,不同年份间大型土壤动物类群数和个体数差异不显著($P>0.05$, $df=1$);长期施肥处理下大型土壤动物类群数($F=2.51$, $P<0.05$, $df=55$)差异显著,个体数($F=8.99$, $P<0.01$, $df=55$)差异极显著。大型土壤动物的垂直分布多集中于 10—15cm 层中(图 1),缺磷和

CK 处理分层现象不明显。长期施肥影响下土壤动物个体数量分布与类群数分布趋势一致,有机肥(OM、1/2OM)和营养均衡处理较其它处理较高,其中有机肥处理动物总数最高;缺氮处理最低。大型土壤动物个体数垂直分布表聚现象不明显。

表 2 长期不同施肥处理大型土壤动物类群个体数和多度(2007 和 2008 年)

类群 Groups	处理 Treatments							总量 Total	多度 Abundance
	OM	1/2OM	NPK	NP	NK	PK	CK		
后孔目 Ophisthopora	256	205	147	93	29	94	54	878	+++
近孔目 Plesiopora	8	8	24	28	12	40	4	124	++
柄眼目 Stylommatophore	10	10	0	4	6	10	4	44	++
双尾目 Diplura	4	8	8	0	0	8	0	28	+
地蜈蚣目 Geophilomorpha	40	16	28	21	7	17	8	137	++
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	0	0	4	0	0	0	0	4	+
蜈蚣目 Scolopendromorpha	0	4	0	4	0	4	4	16	+
蜘蛛目 Araneae	32	39	38	38	10	42	14	213	++
综合目 Symphyla	24	48	28	60	8	16	4	188	++
等足目 Isopoda	25	37	82	14	20	20	8	206	++
鞘翅目 Coleoptera	27	21	20	13	4	0	0	85	++
鞘翅目幼虫 Coleoptera	20	26	24	8	12	4	24	118	++
膜翅目 Hymenoptera	301	262	165	71	13	63	24	899	+++
半翅目 Hemiptera	4	4	0	0	0	4	0	12	+
双翅目幼虫 Diptera	12	8	8	0	4	0	0	32	++
同翅目 Homoptera	12	16	7	23	0	7	3	68	++
鳞翅目幼虫 Lepidoptera	0	4	0	0	0	0	0	4	+
直翅目 Orthoptera	0	0	0	4	0	0	0	4	+
等翅目 Isotera	0	0	0	0	0	4	0	4	+
缨翅目 Thysanoptera	0	4	0	0	0	0	0	4	+
总类群数 Total number of groups	14	17	13	13	11	14	11	20	
总个体数 Total number of individuals	771	716	583	381	125	333	151	3068	

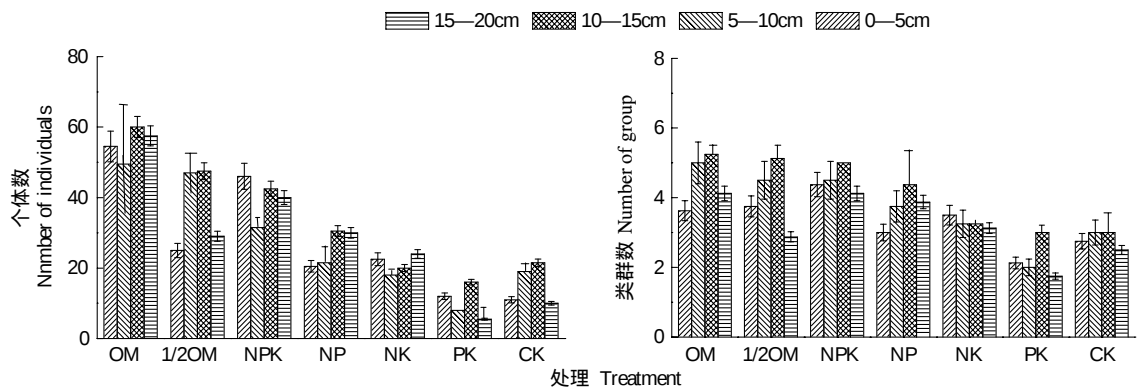


图 1 长期施肥处理下土壤动物个体数和种类数垂直分布(平均数±SE.)

Fig. 1 Vertical distribution of soil macrofauna in wheat field with long-term located fertilization (mean ±SE.)

2.3 长期施肥处理下大型土壤动物多样性和群落相似性

长期不同施肥处理土壤动物丰度指数显示(表 3),有机肥、营养均衡、缺钾处理较高,缺磷、氮和不施肥处理有显著下降($P<0.05$)。多样性指数由大到小依次为 $H'_{\text{NPK}}(1.91)>H'_{\text{OM}}(1.83)>H'_{1/2\text{OM}/2\text{NPK}}(1.80)>H'_{\text{NP}}$

(1.74) > H'_{NK} (1.64) > H'_{PK} (1.56) > H'_{CK} (1.02)。营养均衡和有机肥处理能保持较高的生物多样性,缺少任何一种营养均能导致生物多样性指数的显著下降 ($P < 0.05$)。施用有机肥、营养均衡和缺钾处理土壤动物均匀程度指数也较高,但缺磷和缺氮处理均匀度指数显著下降 ($P < 0.05$),不施肥处理均匀度最小 ($P < 0.05$)。

表 3 长期定位施肥处理下麦田大型土壤动物多样性分析(平均数 $\pm$ SE.)

Table 3 Biodiversity indexes of soil macrofauna in wheat field with long-term located fertilization (mean $\pm$ SE.)

处理 Treatment	丰度 (S) Group richness	多样性指数 (H') Diversity index	均匀度指数 (J) Evenness index
OM	7.87 $\pm$ 0.10a	1.83 $\pm$ 0.06a	0.66 $\pm$ 0.06a
1/2OM	7.13 $\pm$ 0.07ab	1.80 $\pm$ 0.12a	0.65 $\pm$ 0.02a
NPK	7.50 $\pm$ 0.05ab	1.91 $\pm$ 0.03a	0.67 $\pm$ 0.01a
NP	6.37 $\pm$ 0.10abc	1.74 $\pm$ 0.05b	0.66 $\pm$ 0.01a
NK	5.75 $\pm$ 0.09bc	1.64 $\pm$ 0.11b	0.62 $\pm$ 0.02ab
PK	4.80 $\pm$ 0.05c	1.56 $\pm$ 0.08c	0.59 $\pm$ 0.01b
CK	5.75 $\pm$ 0.09bc	1.02 $\pm$ 0.08d	0.37 $\pm$ 0.02c

同列不同字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

长期不同施肥下土壤动物相似性分析如表 4 所示。相似性系数 S_1 反映的是群落物种的相似性,7 个处理的土壤动物群落物种相似性指数以缺磷和不施肥处理群落相似性最高 ($S_1 = 0.80$),有机肥、营养平衡处理与缺少营养处理相似相似性较低。 S_2 反映的是群落间种群组成相似性,以有机肥营养均衡处理间相似性高, S_2 均大于 0.70;有机肥处理和缺磷处理 S_2 较低,为 0.44 和 0.50。土壤中有有机质含量和缺磷可能是影响大型土壤动物构成的重要生态因子。

表 4 长期定位施肥处理下麦田大型土壤动物相似性系数

Table 4 Similarity coefficient of soil macrofauna in wheat field with long-term located fertilization

样地 Plots	OM	1/2OM+1/2NPK	NPK	NP	NK	PK	CK	
OM		0.76	0.71	0.67	0.64	0.62	0.57	
1/2OM	0.70		0.74	0.70	0.56	0.56	0.56	
NPK	0.75	0.75		0.71	0.69	0.60	0.69	
S_2 NP	0.52	0.61	0.54		0.64	0.76	0.72	S_1
NK	0.50	0.44	0.59	0.57		0.72	0.80	
PK	0.61	0.56	0.63	0.66	0.67		0.73	
CK	0.55	0.55	0.56	0.60	0.59	0.65		

2.4 大型土壤动物群落构成因素分析

不同处理下土壤动物群落多度大于 1% 的类群组成进行主成分分析,提取出 3 个成分,其累积贡献达 92.47%,其中第一主成分 (PC1) 和第二主成分 (PC2) 贡献率为 77.24%。图 2 是 PC1 和 PC2 的作图分析。结果表明,不同施肥处理在 PC 轴上出现了明显的分异,在 PC1 轴上有机肥、营养均衡和缺钾处理分布在轴正方向,缺氮、磷和对照分布于 PC1 轴负方向;在 PC2 轴上有机肥处理和缺氮处理分布在正方向,其它化肥处理分布在负方向。大型土壤动物类群在 PC1、PC2 正方向区域分布较多,占类群总数的 72.27%。

进一步对第一主成分数值与土壤动物类群数和个体数进行线性检验,PC1 与类群数呈显著正相关 ($R = 0.82, P < 0.05$),与土壤动物个体数量亦为显著正相关 ($R = 0.85, P < 0.05$)。经线性检验分析 (图 3),第一主因子与大型土壤动物类群数的关系为 $y = 0.042x - 1.25$ ($R^2 = 0.67$),第一主因子与大型土壤动物个体数量的关系为 $y = 0.335x - 2.163$ ($R^2 = 0.51$)。

3 讨论

长期施用有机肥或有机肥与化肥合理搭配,能显著提高土壤有机碳、磷储量、土壤酶活性^[9]。长期不同施肥条件改变了田间土壤中营养成分状况,影响了田间杂草群落、土壤微生物、土壤酶活性和土壤中的变

化^[10-12]。本调查显示,农田大型土壤动物的少数一些类群由于个体数量较多成为优势类群,如环节动物、膜翅目昆虫等。蚯蚓在土壤有机质分解和养分循环中具有重要作用,被称为“生态工程师”,农田中蚯蚓的密度与土壤中有机碳和氮含量呈显著正相关($R>0.90$, $P<0.05$)。蚯蚓具有很高的生物量周转率和同化率,可直接为土壤提供大量养分,另外还可增强土壤的通透性和团聚体的形成,从而改善土壤的结构和理化性质。农田蜘蛛数量较多,由于蜘蛛食量大、捕食时间长,是农田的主要天敌生物。但蜘蛛的田间个体数与土壤环境因素相关性较小($R=0.23$)。这可能是蜘蛛多生活在土壤表层,活动范围较大,多选择农田中冬小麦植株长势较好或杂草茂密的小区作为庇护场所。金龟甲科(Scarabaeoidea)幼虫蛴螬是本调查中的主要地下有害昆虫,在施用有机肥、营养均衡以及不施肥处理下田间密度明显高于营养不平衡处理,相关分析结果显示蛴螬

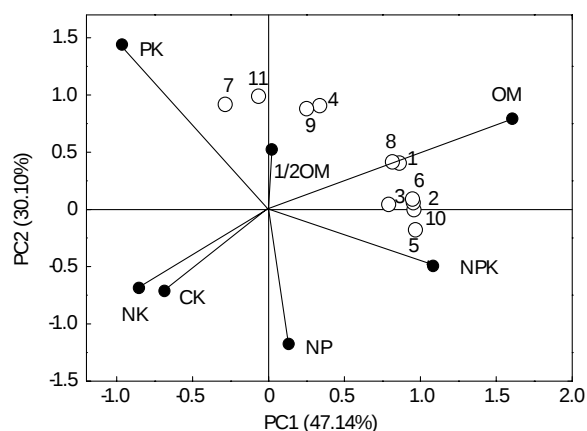


图2 长期定位施肥处理下麦田大型土壤动物群落主成分分析

Fig.2 PCA of soil macrofauna communities in wheat field with long-term located fertilization

1: 后孔目 2: 近孔目 3: 蜘蛛目 4: 等足目 5: 双尾目 6: 柄眼目 7: 同翅目 8: 鞘翅目 9: 双翅目 10: 膜翅目 11: 地蜈蚣目

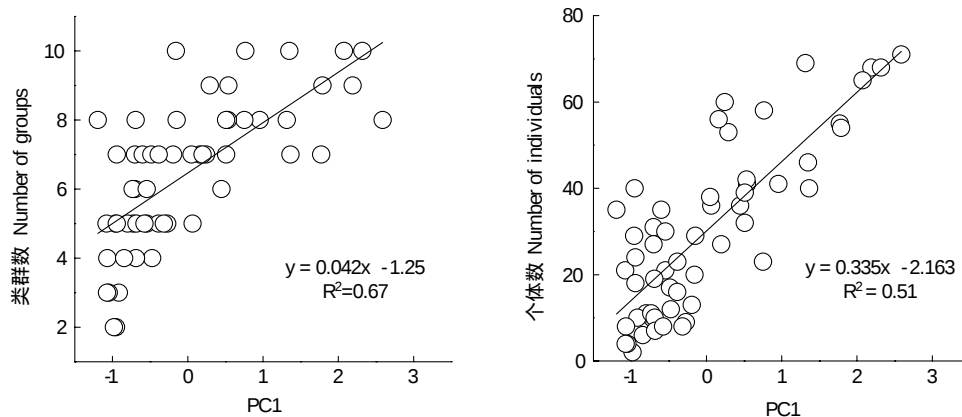


图3 长期定位施肥处理下麦田大型土壤动物与 PC1 的关系

Fig. 3 Relationship between PC1 and soil macrofauna in wheat field with long-term located fertilization

的发生与农田 pH 值有极显著负相关,长期有机肥和 NPK 均衡处理农田 pH 值低于其它处理(表1),也更利于蛴螬的发生。Whittaker 相似性指数显示,当土壤中施用有机肥和营养平衡状况下,土壤动物群落构成接近,有机肥处理与缺少营养处理群落结构相差较多。同样 Sorenson 相似性结果也显示土壤长期缺少磷肥,物种相似性较高,这主要是有由于稀有物种的敏感性较强所致。

由于优势种类群和常见类群适应性较强,田间调查出现频次和数量较多,因此本文对 11 类农田主要大型土壤动物田间密度与 7 个长期施肥处理之间进行分析,长期施用有机肥、氮肥和缺少磷肥对大型土壤动物的种类构成和个体数影响较大。长期营养不平衡导致土壤生物化学环境的质量下降,土壤微生物生物量明显下降,从而通过食物网结构变化而影响到食微土壤动物类群构成变化^[13]。地下食物网是通过各类群间物质与能量传递而达到稳定群落结构,而当长期施肥措施改变土壤环境时,土壤动物群落的稳定性就会变化、功能会降低,严重时甚至导致土壤的退化。土壤中长期缺少磷肥还会引起稀有物种缺少和各类动物的个体数量下降。另一方面,长期不同施肥处理影响地上作物生长发育、农田杂草生长和群落结构改变也会影响到地下土壤生物群落,不同植物的凋落物、残留物和根系分泌物可直接或间接影响了土壤动物^[14]。反之,土壤动物与其它生物群落之间的相互作用(如细菌和真菌)能影响植物生长、提高作物对土壤中氮的吸收并且减少害虫

的危害^[15]。

综上所述,长期施用有机肥和营养均衡农田中大型土壤动物群落构成相似,施用有机肥能增加重要土壤动物蚯蚓和天敌的数量。土壤有机质和速效磷含量是影响土壤动物群落构成的主要生态因子。

References:

- [1] Fu S L, Zhou X M, Coleman D. Highlights and perspectives of soil biology and ecology research in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 868-876.
- [2] Yin X Q, Wang H X, Zhou D W. Characteristics of soil animals' communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1071-1078.
- [3] Birkhofer K, Bezemer T M, Bloem J, Bonkowski M, Christensen S, Dubois D, Ekelund F, Flieβbach A, Gunst L, Hedlund K, Mäkelä J, Mikola J, Robin C, Setälä H, Tatin-Froux F, Van der Putten W H, Scheu S. Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9): 2297-2308.
- [4] Rossi J P, Mathieu J, Cooper M, Grimaldi M. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8): 2178-2187.
- [5] Ke X, Luo Y M. Role and existing indicators of soil animals in assessment of soil pollution and indication characteristics from their tolerance developed under stress. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2009, 4(4): 457-466.
- [6] Yin W Y. *Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 2000.
- [7] Jun-ich Aoki. *Soil Zoology*. Tokyo: Beilonwan, 1973: 1-240.
- [8] Wu Y H, Cai Q N, Lin W C, Huang J J, Cheng X. Effects of terrace hedgerows on soil macrofauna diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5320-5329.
- [9] Gong W, Yan X Y, Cai Z C, Wang J Y, Hu T X, Gong Y B. Effects of long-term fertilization on soil physical properties and erosion-resistance under wheat-maize rotation system in north china plain. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(3): 520-525.
- [10] Yin L C, Cai Z C. The change of the weed biodiversity in wheat field under a long-term located fertilization. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3): 57-59.
- [11] Wang J H, Yin R, Zhang H Y, Lin X G, Chen R R, Qin S W. Changes in soil enzyme activities, microbial biomass, and soil nutrition status in response to fertilization regimes in a long-term field experiment. *Ecology and Environment*, 2007, 16(1): 191-196.
- [12] Qin S W, Gu Y C, Zhu Z L. A preliminary report on long-term stationary experiment on fertility evolution of fluvo-aquic soil and the effect of fertilization. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(3): 367-375.
- [13] Wardle D A, Yeates G W, Watson R N, Nicholson K S. Development of the decomposer food-web, trophic relationships and ecosystem properties during a three-year primary succession in sawdust. *Oikos*, 1995, 73: 155-166.
- [14] Bardgett R D, Bowman W D, Kaufmann R, Schmidt S K. A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20(11): 634-641.
- [15] Ke X, Scheu S. Earthworms, Collembola and residue management change wheat (*Triticum aestivum*) and herbivore pest performance (Aphidina: *Rhopalosiphum padi*). *Oecologia*, 2008, 157(4): 603-617.

参考文献:

- [2] 殷秀琴,王海霞,周道玮. 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*, 2003, 23(6): 1071-1078.
- [5] 柯欣,骆永明. 土壤动物在污染评价中的作用、现行指标及胁迫环境下的耐受性. *生态毒理学报*, 2009, 4(4): 457-466.
- [6] 尹文英. *中国土壤动物*. 北京: 科学出版社, 2000.
- [8] 吴玉红,蔡青年,林超文,黄晶晶,程序. 地埂植物篱对大型土壤动物多样性的影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5320-5329.
- [9] 龚伟,颜晓元,蔡祖聪,王景燕,胡庭兴,宫渊波. 长期施肥对华北小麦-玉米轮作土壤物理性质和抗蚀性影响研究. *土壤学报*, 2009, 46(3): 520-525.
- [10] 尹力初,蔡祖聪. 长期定位施肥小麦田间杂草生物多样性的变化研究. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 57-59.
- [11] 王俊华,尹睿,张华勇,林先贵,陈瑞蕊,钦绳武. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响. *生态环境*, 2007, 16(1): 191-196.
- [12] 钦绳武,顾益初,朱兆良. 潮土肥力演变与施肥作用的长期定位试验初报. *土壤学报*, 1998, 35(3): 367-375.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwu, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil δ ¹⁵ N under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元