

# 耕地利用方式对土壤原生动动物群落的影响

韩雪梅<sup>1</sup>, 梁子安<sup>1\*</sup>, 王明伟<sup>1</sup>, 陈云峰<sup>2</sup>, 胡 诚<sup>2</sup>, 吴思宇<sup>1</sup>

(1. 南阳师范学院 生命科学与技术学院, 河南 南阳 473061; 2. 湖北省农业科学院 植保土肥研究所, 湖北 武汉 430064)

**摘要:** 为了探讨不同农业环境条件下耕地土壤原生动动物群落的演替状况, 为土壤生物多样性保护和农业可持续发展提供更多的理论依据, 研究了北方耕地常见的 3 种利用方式——常规大田、温室大棚和露天菜地下土壤原生动动物的群落结构及其与土壤理化性质的关系。土壤原生动动物群落分析结果表明, 常规农田、1 a 温室大棚和 4 a 温室大棚之间具有明显的演替梯度, 在 4 a 温室大棚中鞭毛虫丰度较高, 这可能是由于常规农田中土壤翻耕引起了鞭毛虫数量下降。露天菜地内由于较多的肥料投入提高了纤毛虫的丰度。温室大棚和露天菜地这 2 种耕地利用方式都会强化土壤食物网细菌分解途径。

**关键词:** 温室大棚; 露天菜地; 常规农田; 鞭毛虫; 纤毛虫; 肉足虫

**中图分类号:** Q142.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)09-0054-04

## Effect of Agricultural Land Use Types on Soil Protozoa Community

HAN Xue-mei<sup>1</sup>, LIANG Zi-an<sup>1\*</sup>, WANG Ming-wei<sup>1</sup>, CHEN Yun-feng<sup>2</sup>,  
HU Cheng<sup>2</sup>, WU Si-yu<sup>1</sup>

(1. School of Life Science and Technology, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China;

2. Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** In order to protect soil biodiversity and maintain sustainable agriculture, an experiment was conducted to analyze the relationship between soil protozoa community and soil physico-chemical characteristics under three kinds of agricultural land use types——conventional wheat-maize rotation field, plastic greenhouse, and open vegetable field. The results of protozoa community analysis indicated that a succession gradient existed from the conventional field to the one-year plastic greenhouse, then to the four-year one. Tillage brought about a decrease of flagellates in the conventional field, so there was higher abundance under the four-year plastic greenhouse. More ciliates occurred under the open vegetable field due to the increased fertilizer. Both of the plastic greenhouse and open vegetable field could strengthen the pathway of bacterial decomposing.

**Key words:** plastic greenhouse; open vegetable field; conventional field; flagellate; ciliate; amoeba

北方耕地常见的利用方式主要有常规农田、露天菜地和温室大棚 3 种类型, 其中大部分露天菜地和温室大棚都是在常规农田的基础上转变而来的。与常规农田相比, 露天菜地和温室大棚除了种植的植被不同外, 往往还具有更高的土地使用频率和肥料投入水平<sup>[1-2]</sup>。伴随土地利用方式的变化, 土壤理化性质也

发生了改变, 如土壤容重增大、氮磷钾含量提高等, 从而进一步影响土壤动物的群落分布。

土壤原生动动物是土壤食物网中生物量仅次于微生物的生物类群, 它们通过调节微生物群落结构及自身代谢, 影响土壤中的物质循环和能量流动<sup>[3-4]</sup>。土壤原生动动物主要集中分布在鞭毛纲、纤毛纲和肉足

收稿日期: 2013-03-15

基金项目: 南阳师范学院校级专项项目 (ZX2012014)

作者简介: 韩雪梅 (1981-), 女, 河南南阳人, 讲师, 博士, 主要从事土壤动物和土壤生态学研究。

E-mail: hanxue mei916@163.com

\* 通讯作者: 梁子安 (1965-), 男, 河南博爱人, 教授, 本科, 主要从事动物学研究。E-mail: liangzian1965@163.com

纲,其中鞭毛虫绝大多数为食细菌的异养鞭毛虫;肉足虫和纤毛虫食性相对复杂,食真菌、食细菌、杂食性种类可能共存,如肉足虫中的裸足虫主要摄食细菌,壳足虫则主要摄食细菌和藻类<sup>[5]</sup>。总的来说,大部分原生动动物以细菌为食,它们与细菌一起,组成了土壤食物网细菌分解通道的主要结构。同时,原生动动物对环境变化敏感,研究表明,农业耕作管理措施会影响土壤原生动动物的群落结构<sup>[6-7]</sup>。张四海等<sup>[8]</sup>通过秸秆添加试验证明,秸秆量增加可以提高土壤中原生动动物总丰度。因此,原生动动物的群落变化可以反映出土壤食物网内物质周转的变化,并进一步作为衡量土壤质量健康状况的指标<sup>[9-10]</sup>。

本试验研究了北方耕地常见的3种利用方式以及温室大棚利用年限对土壤原生动动物的影响,并结合土壤理化性质的变化,探讨不同农业环境条件下土壤原生动动物群落的演替关系,以期农业可持续发展提供更多的理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验设在河南省南阳市王村乡蔬菜种植基地(32°58'N,112°25'E)。该地区位于季风大陆半湿润气候区,年平均气温15℃,年降水量800mm,夏季炎热湿润,冬季寒冷干燥,四季交替明显。土壤类型为黄棕壤。

共设4个试验处理:常规农田(W)、1a温室大棚(1G)、4a温室大棚(4G)和4a露天菜地(4V)。常规农田为冬小麦—夏玉米轮作农田,每年10月至次年6月为小麦种植季节,6月至当年10月为玉米种植季节。后3个处理均为蔬菜用地,处理设立之前,耕地利用情况与常规农田一致。1a温室大棚设立于2012年4月,4a温室大棚和4a露天菜地设立于2008年9月。每个处理均设置3个重复,每个小区面积为667m<sup>2</sup>。

### 1.2 土壤采样与分析

2012年5月分别在每个试验小区“Z”字型取5个点,每个点取0~10cm土层土壤,土钻直径3cm。所取土样立即密封保存,带入实验室,测定土壤基础理化性质和原生动动物丰度。10月份采用同样方法再次取样,测定含水量和原生动动物丰度。

从每个小区采集到的土样中分离出一部分进行土壤理化性质测定。土样过2mm筛网后充分混匀,直接测定土壤含水量,另风干一部分土样测定土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和pH值等常规理化指标<sup>[11-12]</sup>。土壤容重采用原位环刀法测定。

土壤原生动动物测定采用Stout和Singh的“3级10倍”环式稀释法。将2g湿土连续稀释3个梯度后,根据形态学特征及运动特征将原生动动物鉴定至鞭毛虫、纤毛虫及肉足虫<sup>[13]</sup>。原生动动物丰度根据土壤含水量转换为每克干土中的个体数目。

### 1.3 数据分析

基于3个类群丰度,选用香农指数(Shannon weaver index)、均匀度指数(Evenness)和辛普森优势度指数(Simpson's dominance index)评价土壤原生动动物群落多样性。计算公式如下:香农指数 $H' = -\sum [p_i \log_2(p_i)]$ ;均匀度指数 $J = H' / \ln S$ ;辛普森优势度指数 $D = \sum (p_i)^2$ ;其中 $p_i$ 为类群 $i$ 的相对丰富度。

不同采样月份下,对各指标进行单因素方差分析,采用Duncan测验比较处理间的差异( $P < 0.05$ )。不满足齐次性假设的数据,统计之前进行对数或平方根转换。各指标之间的相关性通过计算Pearson相关系数确定。方差分析和相关性分析均在SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, USA)中完成。

环境因子与土壤原生动动物群落的相关性采用典型对应分析CCA(Canonical correspondence analysis)排序,结果用排序图展示。排序分析采用CANOCO for Windows 4.5 (Microcomputer Power, Ithaca, USA)软件完成<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 耕地利用方式对土壤理化性质的影响

由表1可知,与常规农田相比,4a露天菜地的土壤碱解氮含量显著增加,4a温室大棚的土壤有效磷含量显著增加。同时,4a露天菜地和4a温室大棚的土壤有机质含量显著高于1a温室大棚,而4a露天菜地的pH值也显著高于1a温室大棚和4a温室大棚,但与常规农田土壤无显著性差异。在各种耕地利用方式下,土壤速效钾和容重处于同一水平,无显著差异。

表1 不同耕地利用方式下土壤理化性质

处理	有机质/(g/kg)	碱解氮/(mg/kg)	有效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	pH	容重/(g/cm <sup>3</sup> )
W	16.4ab	91.6b	44.0b	115.8a	5.4ab	1.2a
1G	15.5b	100.9ab	54.0ab	111.0a	5.2b	1.4a
4G	18.2a	108.7ab	86.5a	97.9a	5.1b	1.3a
4V	17.9a	113.0a	70.2ab	99.6a	6.0a	1.4a

注:同列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.2 耕地利用方式对土壤原生动物群落的影响

由表 2 可知,在 5 月份,4 个处理中分离出的原生动物平均值为 2 165.5 个/g,其中鞭毛虫占 84%,为其中的优势类群。其他类群中纤毛虫占 13%,肉足虫占 3%。单因素方差分析的结果显示,4 种耕地利用方式对原生动物总丰度以及鞭毛虫和肉足虫的丰度未产生显著性影响。但与常规农田相比,4 a 露天菜地显著提高了土壤中纤毛虫的丰度。4 种耕地利用方式对香农指数、均匀度指数和优势度指数均未产生显著性影响。

而在 10 月份,4 个处理中分离出的原生动物平均值为 3 932.5 个/g,其中纤毛虫占 71%,成为其中的优势类群。其他类群中鞭毛虫占 36%,肉足虫占 3%。单因素方差分析的结果显示,4 种耕地利用方式对原生动物总丰度以及纤毛虫和肉足虫的丰度均未产生显著性影响。但 4 a 温室大棚显著提高了土壤中鞭毛虫的丰度。与 4 a 温室大棚相比,4 a 露天菜地具有较高的均匀度指数( $P < 0.05$ );其他指数在各个处理间无显著性差异。

表 2 耕地利用方式对土壤原生动物群落丰度和多样性的影响

指标	5 月				10 月			
	W	1G	4G	4V	W	1G	4G	4V
鞭毛虫丰度/(个/g)	2 312a	1 634a	984a	2 371a	717b	1 222ab	1 684a	495b
纤毛虫丰度/(个/g)	34b	291ab	329ab	487a	1 306a	2 556a	6 534a	718a
肉足虫丰度/(个/g)	114a	35a	35a	36a	116a	112a	38a	232a
总丰度/(个/g)	2 460a	1 960a	1 348a	2 894a	2 139a	3 889a	8 257a	1 445a
$H'$	0.23a	0.36a	0.63a	0.52a	0.75a	0.70a	0.53a	0.78a
$J$	0.66a	0.75a	0.78a	0.60a	0.91ab	0.85ab	0.65b	0.95a
$D$	0.87a	0.79a	0.60a	0.69a	0.50a	0.54a	0.67a	0.48a

注:同一行内,同一月份下数据后标注不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.3 土壤原生动物群落与土壤环境的关系

由表 3 可见,除土壤有效磷与原生动物总丰度

和纤毛虫丰度呈现显著性正相关外,其他各指标均未呈现显著相关性。

表 3 土壤理化性质与原生动物群落的相关性

指标	含水量	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	pH	容重
鞭毛虫	0.03	-0.14	-0.06	-0.10	0.00	0.13	-0.18
纤毛虫	0.18	0.18	0.27	0.51*	0.35	-0.24	-0.13
肉足虫	-0.18	0.03	0.14	-0.06	0.08	0.20	-0.07
总丰度	0.17	0.14	0.26	0.47*	0.35	-0.19	-0.18
$H'$	-0.01	0.16	0.20	0.02	-0.27	0.11	0.08
$J$	-0.24	-0.01	-0.02	-0.16	-0.04	-0.03	0.25
$D$	0.03	-0.15	-0.15	-0.01	0.28	-0.13	-0.06

注:\*表示在 0.05 的水平达到显著性相关(双尾测验)。

耕地利用方式、土壤理化性质和原生动物群落三者之间的相关性用 CCA 排序图表示(图 1)。CCA 分析结果表明,所有典型特征值解释了 35.1%的数据变量,排序图中只展示了轴 1 和轴 2 的变化量,其中轴 1 解释了 11.7%的总数据变量,轴 2 解释了 3.2%的总数据变量。4 个试验处理分布在 3 个象限,其中 4 a 露天菜地和常规农田分布在同一象限,表明它们为土壤原生动物群落提供了相似的生境条件。常规农田、1 a 温室大棚和 4 a 温室大棚沿着轴 1 自左向右分布,轴 1 具有较高的数据解释量,因此,更能体现这 3 种生境下原生动物群落的演替梯度,其中 4 a 温室大棚与常规农田的生境差异最大。图 1 中,鞭毛虫分布位置与土壤容重箭头方向一致,暗示土壤容重的增加不会降低鞭毛虫的数量;另一方面,鞭毛虫与土壤碱解氮、有效磷和速效钾等营养物质的箭头方向相反,表明它对

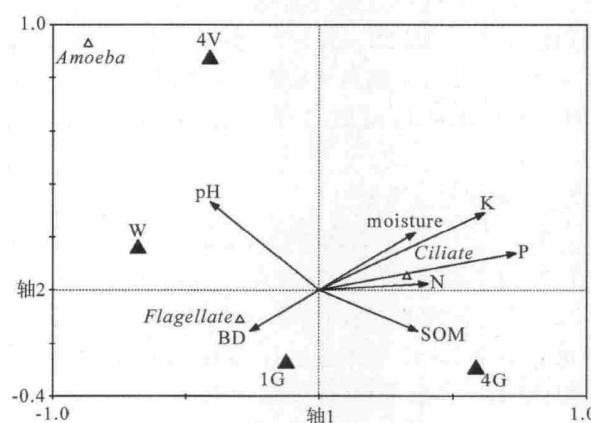


图 1 耕地利用方式与原生动物群落的典型对应分析排序结果

土壤养分的增加反应不敏感。而纤毛虫与土壤养分呈正相关,表明它更加偏好高营养(如高磷、高氮和高钾)的环境条件。

### 3 结论与讨论

与常规农田相比,尽管4a温室大棚具有较高的有效磷水平和鞭毛虫丰度,但是土壤理化性质相关性分析以及排序分析的结果表明,有效磷与鞭毛虫之间并不存在正相关性,也就是说10月份4a温室大棚中鞭毛虫丰度的提高并不是土壤中磷增加的结果。对于常规农田来说,5月到10月要经历小麦成熟和收获以及夏玉米播种,土壤扰动比较明显,而土壤扰动对土壤表层生物具有显著影响<sup>[15]</sup>,因此推测,土壤扰动是造成常规农田鞭毛虫丰度减少的直接原因。鞭毛虫主要摄食土壤中的细菌,是土壤食物网细菌分解途径的重要组成者。肉足虫和纤毛虫是鞭毛虫的主要捕食者,与常规农田相比,温室大棚内肉足虫和纤毛虫并没有明显变化,说明温室大棚食物网的调控以自下而上的调控为主,鞭毛虫的增加是细菌数量增加的结果。也就是说,温室大棚的长期利用会导致土壤食物网细菌分解途径增强。

4a露天菜地与常规农田相比,具有较高的碱解氮水平和较高的纤毛虫丰度。从相关性分析和排序图都可以看出,纤毛虫与有效磷有密切的正相关性。因此,露天菜地中营养物质含量的提高是纤毛虫丰度增加的直接原因<sup>[16-17]</sup>。在实际生产过程中,露天菜地中的施肥量要高于常规农田,肥料的增加有利于提高细菌的数量<sup>[18]</sup>,从而有利于提高纤毛虫的丰度。但是这种效应只出现在5月份,10月份后露天菜地与常规农田中纤毛虫处于同一水平。由于植被种类对土壤生物的影响较小<sup>[19]</sup>,推测主要是夏季高温消减了营养条件对纤毛虫丰度的影响,造成露天菜地和常规农田纤毛虫处于相同水平。

总的来说,常规农田、1a温室大棚和4a温室大棚之间具有演替梯度,常规农田和4a温室大棚中原生动物的群落差异最大,其中4a温室大棚具有较高的鞭毛虫丰度。土壤翻耕会引起鞭毛虫丰度的下降,土地使用频率的提高对原生动物影响不大。露天菜地中由于较高的肥料投入会提高纤毛虫的丰度。

#### 参考文献:

- [1] 黄毅,张玉龙. 保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策[J]. 土壤通报,2004,35(2):212-216.
- [2] 马云华,魏珉,王秀峰. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J]. 应用生态学报,2004,15(6):1005-1008.
- [3] Coûteaux M M, Darbyshire J F. Functional diversity

- amongst soil protozoa[J]. Applied Soil Ecology,1998,10(3):229-237.
- [4] 赵峰,徐奎栋. 土壤原生动物研究方法[J]. 生态学杂志,2010,29(5):1028-1034.
- [5] 宁应之,沈韞芬. 中国典型地带土壤原生动物食性的观察[J]. 动物学研究,1998,19(5):397-400.
- [6] Brussaard L. An appraisal of the Dutch programme on soil ecology of arable farming systems (1985-1992)[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,1994,51(1):1-6.
- [7] 曹志平,陈国康,张凯,等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田原生动物丰度的影响[J]. 生态学报,2005,25(11):2992-2996.
- [8] 张四海,曹志平,胡婵娟. 添加秸秆碳源对土壤微生物生物量和原生动物丰富度的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(6):1283-1288.
- [9] Foissner W. Soil protozoa as bioindicators:Pros and cons, methods, diversity, representative examples [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,1999,74(1):95-112.
- [10] 宋雪英,宋玉芳,孙铁珩,等. 土壤原生动物对环境污染的生物指示作用[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1979-1982.
- [11] Blakemore L C, Searle P L, Daly B K. Methods for chemical analysis of soils[M]. Wellington: New Zealand Soil Bureau Report 10 A, Government Printer,1972.
- [12] Bremner J M. Nitrogen-total[M]//Sparks D L. Methods of soil analysis, Part 3-Chemical methods. Soil Science Society of America Book Series 5 Madison: American Society of Agronomy,1996:1085-1086.
- [13] 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,1998:62-68.
- [14] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. Ecology,1986,67:1167-1179.
- [15] Minor M A, Volk T A, Norton R A. Effects of site preparation techniques on communities of soil mites (Acari: Oribatida, Acari: Gamasida) under short-rotation forestry plantings in New York, USA[J]. Applied Soil Ecology, 2004,25(3):181-192.
- [16] Fohge T A, Hogue E, Neilsen G, et al. Effects of organic mulches on soil microfauna in the root zone of apple: Implications for nutrient fluxes and functional diversity of the soil food web[J]. Applied Soil Ecology,2003,22(1):39-54.
- [17] Verhoeven R. Response of soil microfauna to organic fertilisation in sandy virgin soils of coastal dunes[J]. Biology and Fertility of Soils,2001,34(6):390-396.
- [18] Högborg M N, Bååth E, Nordgren A, et al. Contrasting effects of nitrogen availability on plant carbon supply to mycorrhizal fungi and saprotrophs—A hypothesis based on field observations in boreal forest[J]. New Phytologist,2003,160(1):225-238.
- [19] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, et al. Ecological linkages between aboveground and below-ground biota[J]. Science,2004,304:1629-1633.