

不同土壤培肥措施对华北高产农田 原生动物丰度的影响

曹志平, 陈国康, 张 凯, 吴文良

(中国农业大学资源与环境学院生态学及生态工程系, 北京 100094)

摘要: 为了解华北高产农田生态系统中秸秆还田、有机肥和化肥投入水平等土壤培肥措施对原生动物群落丰度的影响, 1999 年 10 月~ 2000 年 9 月在山东桓台冬小麦套种夏玉米的田间试验中进行了取样分析。田间处理 1~ 处理 9, 依序为: 全还, 麦还, 全还+ 化肥 1, 麦还+ 化肥 1, 全还+ 化肥 2, 麦还+ 化肥 2, 全还+ 化肥 3, 麦还+ 化肥 3 和全还+ 化肥 1+ 有机肥处理。应用 3 级 10 倍环式稀释培养法对土壤中鞭毛虫、纤毛虫、肉足虫 3 类群原生动物的丰度进行了测定。结果显示: 该研究地块肥力状况良好; 土壤鞭毛虫和肉足虫占有绝大比例, 分别为总丰度的 39.47% 和 59.22%, 纤毛虫仅占 1.31%; 土壤原生动物丰度在不同培肥处理中表现出相似的季节性动态变化特征; 比较不同土壤培肥措施条件下的原生动物丰度水平为: 全还 > 麦还, 全还+ 化肥 1+ 有机肥 > 麦还+ 化肥 1, 麦还+ 化肥 2, 麦还+ 化肥 3 > 全还+ 化肥 1, 全还+ 化肥 2, 全还+ 化肥 3; 化肥对原生动物丰度表现出明显的抑制作用, 而有机肥对原生动力丰度表现出明显的促进作用。化肥的施用量水平对土壤原生动物丰度的影响无显著性差异, 作物秸秆采取何种还田方式对土壤原生动物丰度的影响也是不显著的, 如麦还+ 化肥培肥地块的原生动物丰度仅略高于全还+ 化肥。

关键词: 农田; 土壤; 培肥措施; 原生动物; 丰度

文章编号: 1000-0933(2005)11-2992-05 **中图分类号:** Q 959.11 **文献标识码:** A

Impact of soil fertility maintaining practices on protozoa abundance in high production agro-ecosystem in northern China

CAO Zhi-Ping, CHEN Guo-Kang, ZHANG Kai, WU Wen-Liang (*Department of Ecology and Ecological Engineering, College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (11): 2992~ 2996

Abstract The experiment was carried out on cultivation patterns of winter wheat and summer corn in Huantai County, Shandong Province, China from October 1999 to September 2000. The purpose of the study was to understand how soil fertility maintaining practices, such as chemical fertilizer application level, the use of organic manure, and the return of crop straw to the field affected the dynamics of the protozoa community in a high production agro-ecosystem in northern China. Nine treatments of fertility maintaining practices in the field were chosen (where the symbol “+” means combination application, “chemical fertilizer1” means used 600kg/(hm² · a), “chemical fertilizer2” means 20% less than “fertilizer1” for the application 480 kg/(hm² · a), “chemical fertilizer3” means 20% more than “fertilizer1” for the application 720 kg/(hm² · a)): wheat straw + corn straw, wheat straw, wheat straw + corn straw + fertilizer1, wheat straw + fertilizer1, wheat straw + corn straw + fertilizer2, wheat straw + fertilizer2, wheat straw + corn straw + fertilizer3, wheat straw + fertilizer3, and wheat straw + corn straw + fertilizer1 + organic manure randomly designed and applied in the experimental plots. The abundances of protozoa flagellate, ciliate, and amoeba in the soil sampled by stages were measured in

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (39630070)

收稿日期: 2004-10-22; **修订日期:** 2005-05-11

作者简介: 曹志平 (1962~), 女, 湖南湘乡人, 博士, 教授, 主要从事土壤生态学研究 E-mail: zhiping@cau.edu.cn

致谢: 西北师范大学生命科学学院宁应之教授对本项研究中原生动物的培养方法给予了指导与人员培训, 谨此致谢!

Foundation item: Key Project of National Natural Science Foundation of China (No. 39630070)

Received date: 2004-10-22; **Accepted date:** 2005-05-11

Biography: CAO Zhi-Ping, Ph.D., Professor, mainly engaged in soil ecology. E-mail: zhiping@cau.edu.cn

the laboratory using the M-P-N method of three level ten-fold dilution and cultivation. The results showed that: the fertility level of the soil in the study was higher; the proportion of flagellate and amoeba in the protozoa community were both higher than that of ciliate, which were 39.47%, 59.22%, and 1.31% respectively; similar seasonal dynamics characteristics of soil protozoa total abundance in different treatments of fertility maintaining practices were found suggesting that protozoa abundance reached a peak value in March, September and November, while falling to lowest levels from May to June and in October. the comparison of average protozoa abundance in different treatments appeared in sequence from wheat straw + corn straw > wheat straw + corn straw + fertilizer1 + organic manure > wheat straw + fertilizer1, wheat straw + fertilizer2, wheat straw + fertilizer3 > wheat straw + corn straw + fertilizer1, wheat straw + corn straw + fertilizer2, wheat straw + corn straw + fertilizer3. there was higher protozoa abundance in the plots applied organic manure than in no organic manure application plots, suggesting that organic manure promoted the increase of soil protozoa abundance; and, equal protozoa abundance was found in the plots with different fertilizer levels combined with crop straw, however their protozoa abundances were a little lower than in the plots where only straw was applied (such as wheat straw + corn straw + fertilizer < wheat straw + corn straw, while wheat straw + fertilizer < wheat straw), indicating that the chemical fertilizer restrained the increase in protozoa abundance in the single straw application plots. This suggests that the return way of straw application to the field had little effect ($p > 0.05$) on the abundance of protozoa community and that it may not be an important factor in protozoa abundance. This was particularly so in plots where the return of straw was combined with chemical fertilizer.

Key words: agro-ecosystem; soil; fertility maintaining practice; protozoa, abundance

我国对土壤原生动物的生态学研究起步较晚^[1],主要是开展原生动物分类和区系的摸底调查^[2]。但土壤原动物是土壤生物群落的重要类群,其种类多,数量大,仅次于土壤微生物^[3]。它既是土壤微生物和藻类的捕食者,又是土壤线虫的被捕食者,在土壤养分的矿质化和循环过程中发挥着重要作用^[4,5],最终影响其它土壤生物的活性及植物生长^[6],如研究证明原动物有助于植物氮的吸收、提高植物体含氮水平,因而促进植物生长和增加植物干重^[7]。

其作用具体表现在如下两个方面,一是原动物通过摄取和分解土壤中的物质直接参与土壤生态系统的物质循环和能量流动,二是通过食物链关系间接地发挥作用。研究表明,农业耕作管理措施对土壤原动物有重要影响^[8]。那么在华北高产粮田生态系统中,不同培肥措施对土壤原动物的影响怎样?其机理是什么?回答和解释这些问题,有助于阐明农田培肥措施与土壤生物的相互关系,为实现高产粮田生态系统的生态良性循环和可持续发展提供理论依据和实践支持。

1 材料与方法

本研究是国家自然科学基金重点项目“华北高产粮区农业生态系统内生物资源培育机制及调控途径研究”的一部分。试验点选在华北高产粮区——山东省桓台县,以冬小麦夏玉米一年两熟轮作制吨粮田为主的高产粮田生态系统中。

前瞻性试验,指在经多年秸秆还田的高产田上设置9个处理(表1),旨在研究高产农田的发展趋势,根据土壤生物群落(本研究为原动物)及土壤理化性质的变化判断其土地生产力是否是可持续的。处理小区随机排列,其间均设保护行。试验处理的变量有两类,一是秸秆还田方式,二是施肥方式和施肥量的变化。试验只有氮肥施用量在处理间有差异,磷肥和钾肥的施用均一致,其基本施肥方案包括所有供试肥料的品种及来源也相同。其它田间管理措施如灌溉、使用机械、喷洒农药等在各地块均为一一致。上述田间耕作措施的详细资料和土壤理化性状参见曹志平^[9]。

试验时间从1999年10月至2000年9月,取土样8次。使用3cm×20cm土钻在试验处理小区随机采集0~20cm耕层土壤10~15钻,迅速封装于塑料袋中带回,风干备用。采用氯化钠琼脂培养计数法测定3类群土壤原动物的数量^[10]。在土壤风干前后测定重量,获得土壤含水量数据。

2 结果与分析

试验中各培肥处理的综合结果显示,三大类原动物的比例为:鞭毛虫占39.47%±3.12%,肉足虫59.22%±3.06%,纤毛虫仅占总数的很小部分为1.31%±0.46%。

土壤原动物在各取样月份的丰度如表2所示。对同一月份处理间的差异作方差分析和Duncan's多重比较。分析结果表明除3、4月份外,处理间土壤原动物丰度在5、6、7、9、10、11月份均有显著性差异。

从全年丰度均值来看,培肥处理1(全还)属于第1档次,处理2(麦还)和处理9(全还+化肥1+有机肥)为第2档次,处理4(麦还+化肥1)、处理6(麦还+化肥2)和处理8(麦还+化肥3)为第3档次,处理3(全还+化肥1)、处理5(全还+化肥2)和处理7(全还+化肥3)为第4档次。即比较不同土壤培肥措施条件下的原动物丰度水平为:处理1>处理2、9>处理4、6、8>

处理 3 5 7。

表 1 试验处理

Table 1 Field treatments					
处理 Treatment	代号 Code	玉米秸秆 Corn straw	小麦秸秆 W heat straw	化肥 Chem ical fertilizer	厩肥 O rganic fertilizer
1 全还	W S+ C S	+	+	—	—
2 麦还	W S	—	+	—	—
3 全还+ 化肥 1	W S+ C S+ C F1	+	+	+	—
4 麦还+ 化肥 1	W S+ C F1	—	+	+	—
5 全还+ 化肥 2	W S+ C S+ C F2	+	+	+	—
6 麦还+ 化肥 2	W S+ C F2	—	+	+	—
7 全还+ 化肥 3	W S+ C S+ C F3	+	+	+	—
8 麦还+ 化肥 3	W S+ C F3	—	+	+	—
9 全还+ 化肥 1+ 有机肥	W S+ C S+ C F1+ O F	+	+	+	+

+ : 有 W ith, - : 无 W ithout; W S: W heat straw, C S: C orn straw, C F: C hem ical fertilizer, O F: O rganic fertilizer; 化肥 1 C F1: 常规施氮水平 (600kg/(hm² · a)); 化肥 2 C F2: 比常规施氮水平低 20% (480kg/(hm² · a)); 化肥 3 C F3: 比常规施氮水平高 20% (720kg/(hm² · a))

表 2 试验 9 种处理的土壤原生动物丰度比较(105 个/g 土)

Table 2 Comparison of soil protozoa abundance among nine experimental treatments (105 ind /g Soil)									
月份 Month	1 W S+ C S	2 W S	9 W S+ C S+ C F1+ O F	4 W S+ C F1	6 W S+ C F2	8 W S+ C F3	3 W S+ C S+ C F1	5 W S+ C S+ C F2	7 W S+ C S+ C F3
3	3 59a [*]	3 18a	3 35a	3 04a	3 33a	3 12a	2 45a	2 68a	2 50a
4	1 17a	1 04a	1 02a	1 09a	1 19a	1 12a	1 63a	1 78a	1 66a
5	0 21c	0 19c	0 15c	0 36b	0 39b	0 37b	0 60a	0 65a	0 61a
6	0 11b	0 10b	0 14ab	0 24a	0 26a	0 24a	0 04bc	0 05b	0 04bc
7	0 41b	0 36b	2 26a	0 36b	0 40b	0 37b	0 18b	0 20b	0 19b
9	8 37a	7 41a	6 73a	1 50b	1 64b	1 54b	1 50b	1 64b	1 54b
10	0 63bc	0 55bc	1 01a	0 43c	0 47bc	0 44bc	0 66bc	0 72ab	0 67b
11	4 38a	3 88a	1 27bc	3 27ab	3 57a	3 35a	1 35bc	1 47b	1 38bc
均值 A verage	2 36	2 09	1 99	1 29	1 41	1 32	1 05	1 15	1 07

* 对同月份各培肥处理间的差异作方差分析($p = 0.05$)和Duncan's 多重比较, 相同字母显示无显著差异($p > 0.05$) ANOVA among different treatments in the same month, and Duncan's multiple comparison ($p = 0.05$), no significance with the same letters in horizontal column

2.1 施用有机肥对土壤原生动物丰度的影响

将施用有机肥的处理 9 与未施用有机肥的处理 3 进行对比(图 1), 结果表明处理 3 的土壤原生动物丰度只在 5 月份明显高于前者, 而在 6 7 9 10 月份均明显低于前者, 到 11 月份两者出现持平。就全年平均来看, 处理 9 的原生动物丰度水平比处理 3 高 89.0%。

2.2 施用化肥对土壤原生动物丰度的影响

处理 3 5 7 为全还条件下化肥的 3 种施用水平, 分析表明土壤原生动物丰度不受化肥施用水平的影响, 3 个处理之间在任何月份均无显著性差异(表 2)。处理 4 6 8 为麦还条件下化肥的 3 种施用水平, 分析也显示 3 个处理之间的差异性在任何月份均不显著(表 2)。因此, 从统计学上可将化肥 3 种施用水平的处理 3 5 7 合并为一类处理“全还+ 化肥”; 将处理 4 6 8 合并为一类处理“麦还+ 化肥”。

将不施化肥的处理 1(全还)与施用化肥处理 3 5 7 的合并

项均值(全还+ 化肥)进行比较(图 2), 处理 1 的土壤原生动物丰度在 5 月份明显低于后者, 6 7 月份二者持平, 到 9 月份则明显高于后者, 10 月份略低, 11 月份又明显高于后者。其中, 全还+ 化肥地块在 5 月份高出全还 191.4%, 而在 9 11 月份低于全还地块分别为 436.1%和 213.2%。就全年平均来看, 为全还地块高于全还+ 化肥地块 116.1%。将不施用化肥的处理 2(麦还)与施

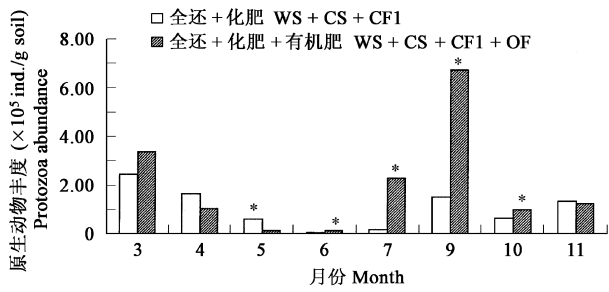


图 1 处理 9 与处理 3 的原生动物丰度对比
Fig 1 Comparison of protozoa abundance between treatment 9 and treatment 3
均值 T 检验 T-test, * 为差异显著, $p < 0.05$ Means significant difference with $p < 0.05$; 下同 the same below

用化肥的处理 4、6、8 的合并项均值(麦还+ 化肥)进行比较(图 3)得出, 处理 2 的土壤原生动物丰度在 5、6 月份明显低于后者, 7 月份二者持平, 到 9 月份则明显高于后者, 在 10、11 月份无显著差异。其中, 麦还+ 化肥地块在 5、6 月份高出麦还地块分别为 98.4% 和 147.2%, 而在 9 月份低于麦还地块 375.8%。就全年平均来看, 为麦还地块高于麦还+ 化肥地块 56.3%。

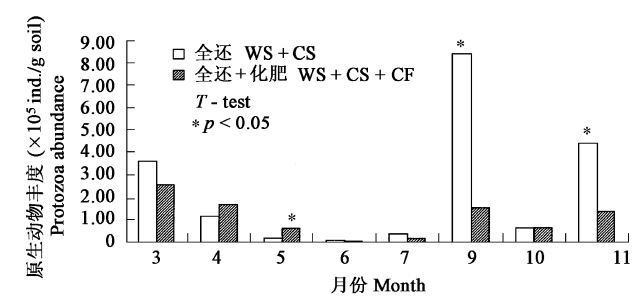


图 2 处理 1 与处理 3、5、7 合并项均值间原生动物丰度对比
Fig. 2 Comparison of protozoa abundance between treatment 1 and the average of treatment 3, 5, 7

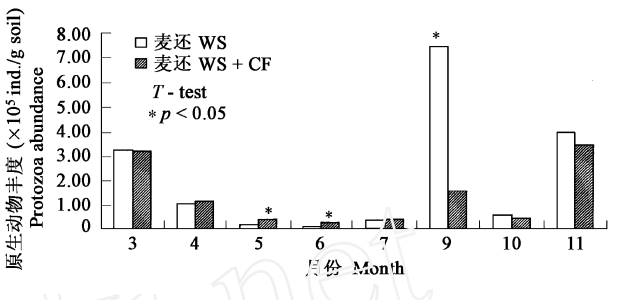


图 3 处理 2 与处理 4、6、8 合并项均值间原生动物丰度对比
Fig. 3 Comparison of protozoa abundance between treatment 2 and the average of treatment 4, 6, 8

2.3 不同秸秆还田方式对土壤原生动物丰度的影响

如表 2 所示, 单独秸秆还田的处理 1 与处理 2 在取样月份及全年均无显著性差异 ($p > 0.05$)。秸秆还田结合施用化肥的处理 3~ 8 在 7、9 月份差异性不显著, 而在其余取样月份差异显著, 表现为全还处理 3、5、7 的原生动物丰度在 5、10 月份明显高于麦还处理 4、6、8 (图 4a、4c), 但在对应的下个月份这种趋势颠倒过来, 即处理 4、6、8 的原生动物丰度在 6、11 月份反过来明显高于处理 3、5、7 (图 4b、4d)。其中, 处理 3、5、7 在 5 月份比处理 4、6、8 分别高出 66.4%、65.8% 和 65.4%, 在 10 月份分别高出 55.1%、54.5% 和 54.2%; 在 6 月份比处理 4、6、8 分别低 454.0%、455.8% 和 457.3%, 在 11 月份分别低 142.6%、143.4% 和 142.2%。但就全年平均来看, 处理 4、6、8 均高出处理 3、5、7, 分别是 22.1%、22.5% 和 22.7%。

2.4 不同季节对土壤原生动物丰度的影响

将处理 1~ 9 按 3 种培肥方式即秸秆还田、秸秆还田+ 化肥和秸秆还田+ 化肥+ 有机肥进行合并, 计算原生动物丰度均值, 并分析其季节动态。结果显示(图 5), 土壤原生动物的数量变化曲线有 3 个高峰, 分别出现在初春 3 月份、秋季 9 月份和初冬 11 月份, 低谷出现在夏季 5~ 6 月份和深秋 10 月份, 且这种变化趋势在 3 种培肥方式地块中较为一致。这表明土壤原生动物的数量动态具有季节性, 而且在不同处理中表现出相似的变化特征。

3 讨论

研究结果表明, 使用有机肥能明显提高土壤原生动物的丰度, 这是因为原生动物可直接吸收利用有机肥。此外, 作物秸秆还田和施用有机肥也为土壤微生物提供了丰富的碳源和氮源, 极大地增加了土壤微生物生物量^[12, 13], 从而为土壤原生动物提供了充足的食物来源, 这可能是本试验“全还+ 化肥+ 有机肥”处理中其原生动物丰度在多数月份保持最高水平的主要原因。

但化肥与秸秆结合施用, 其原生动物丰度反而低于单独的秸秆还田, 特别是在 9、11 月份和翌年 3 月份。9 月份在小麦播种时施用了大量的化肥作基肥, 从这时开始, 化肥对原生动物数量

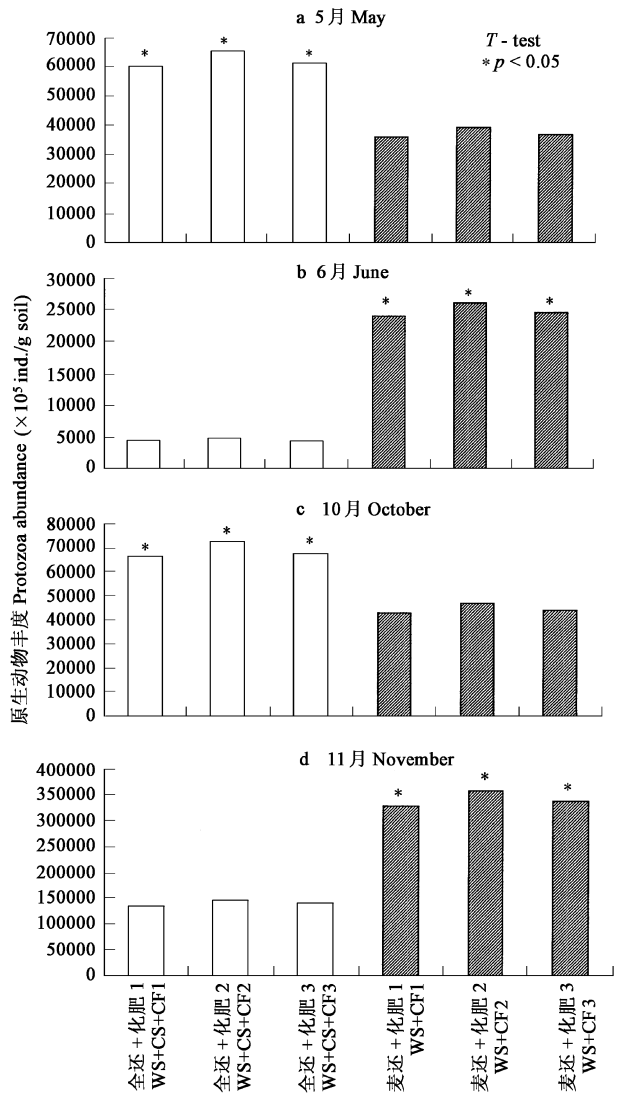


图 4 处理 3、5、7 的原生动物丰度分别与处理 4、6、8 作比较
Fig. 4 Comparison of protozoa abundance between treatment 3, 5, 7 and treatment 4, 6, 8

的抑制作用一直持续到翌年的3月份,从4月份开始,进入夏季以后,原生动物的数量很低,化肥的抑制作用因而不明显。但化肥为什么会抑制原生动物的数量?化肥的施用是否抑制了土壤有机质的分解,降低了土壤微生物数量和群落多样性,反过来限制了土壤原生动物群落的增长?这是一个有趣的值得深入探讨的问题。

本试验中,单独的秸秆还田对土壤原生动物丰度的影响,在全还和麦还两种方式间不存在显著性差异。但秸秆与化肥结合施用的条件下,麦还地块原生动物的丰度高于全还,这可能与两种还田秸秆不同的分解过程和影响因子有关,由于作物秸秆中碳、氮等营养成分的分解释放时间长短不一致,从而使土壤原生动物丰度水平产生上述差异。而且,全还+化肥和麦还+化肥两种方式间原生动物的丰度水平还出现了5、6月份和10、11月份两次交叉更替,表现为5、10月份全还+化肥明显高于麦还+化肥,6、11月份则又明显低于麦还+化肥。原生动物丰度水平的这种时间交叉更替现象,仅从原生动物本身出发,很难找到合理的解释,应与土壤微生物生物量和其它土壤动物的动态变化结合起来研究,并考虑施用化学肥料对不同秸秆营养成分的分解时间和释放量的影响,以及土壤中的养分变化对土壤生物的影响。

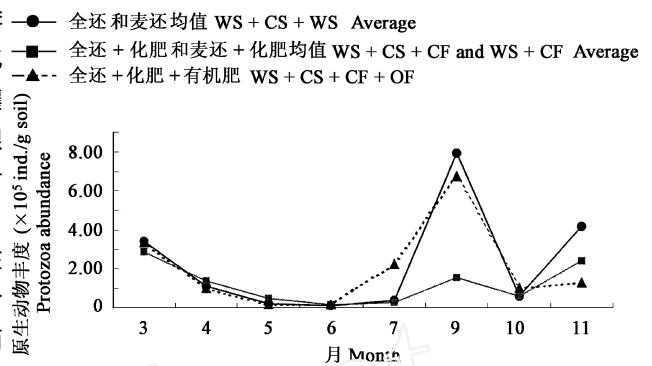


图5 土壤原生动物数量的季节动态

Fig. 5 Seasonal dynamics of soil protozoa abundance

References

- [1] Shen Y F, Liu J, Song B Y, et al. Protozoa. In: Yin W Y, et al, eds. *Soil Fauna in Semitropical of China*. Beijing, Science Press, 1992. 97~156.
- [2] Yin W Y, et al. *Soil fauna in China*. Beijing, Science press, 2000.
- [3] Ning Y Z, Shen Y F. Soil protozoa in typical zones of China. I. Faunal characteristics and distribution of species. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, **44**(1): 5~10.
- [4] Lavelle P. Ecosystem engineers and soil function. *Eur. J. Soil Biol.*, 1997, **33**: 179~193.
- [5] Couteaux M M, Darbyshire J F. Functional diversity amongst soil protozoa. *Applied Soil Ecology*, 1998, **10**: 229~237.
- [6] Clarholm M. Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. *Soil Biol. Biochem.*, 1985, **17**: 181~187.
- [7] Kuikman P J, Van Elsas J D, Jansen A G, et al. Population dynamics and activity of bacteria and protozoa in relation to their spatial distribution in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1990, **22**: 1063~1073.
- [8] Brussard L. An appraisal of the Dutch programme on soil ecology of arable farming systems (1985~1992). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1994, **51**: 1~6.
- [9] Cao Z P, Qiao Y H, Wang B Q, et al. Impact of soil fertility maintaining practice on earthworm population in low production agro-ecosystem in northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(10): 2302~2306.
- [10] Shen Y F. Method and Technology for Identification of Protozoa. In: Yin W Y, et al, eds. *Soil Fauna in Semitropical of China*. Beijing: Science Press, 1992. 83~87.
- [11] Ning Y Z, Shen Y F. Ecological studies on the forest soil protozoa of Mount Luojishan and exploration of quantitative methods for soil protozoa. *Zoological Research*, 1996, **17**(3): 225~232.
- [12] Ye Z N, Wu W L, Cao Z P. Dynamic of soil microbial biomass carbon under different pattern of straw application in high-yield area of northern China. *Master Thesis Album of China Agricultural University*, 1999.
- [13] Gupta J P. Integrated effect of water harvesting, manuring and mulching on soil properties, growth and yield of crops in pearl millet-mungbean rotation. *Trop. Agric. London: Butterworth-Heinemann*, 1989, **66**(3): 233~239.

参考文献:

- [1] 沈韞芬, 刘江, 宋碧玉, 等. 原生动物. 见: 尹文英等编. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992. 97~156.
- [2] 尹文英, 等. 中国土壤动物. 北京, 科学出版社, 2000.
- [3] 宁应之, 沈韞芬. 中国典型地带土壤原生动物. I. 区系特征和物种分布. 动物学报, 1998, **44**(1): 5~10.
- [9] 曹志平, 乔玉辉, 王宝清, 等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田生态系统蚯蚓种群的影响. 生态学报, 2004, **24**(10): 2302~2306.
- [10] 沈韞芬. 原生动物的鉴定技术与方法. 见: 尹文英等编. 中国亚热带土壤动物. 北京, 科学出版社, 1992. 83~87.
- [11] 宁应之, 沈韞芬. 珙珈山森林土壤原生动物生态学研究及土壤原生动物定量方法探讨. 动物学研究, 1996, **17**(3): 225~232.
- [12] 叶钟年, 吴文良, 曹志平. 华北高产粮区不同秸秆还田模式下土壤微生物量碳动态变化. 中国农业大学硕士学位论文, 1999.