

不同培肥措施对低肥力土壤生态系统 蚯蚓种群数量的影响

乔玉辉¹, 曹志平^{1*}, 王宝清², 徐 芹³

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 中国农业大学生物学院, 北京 100094; 3. 北京教育学院生物系, 北京 100035)

摘要:通过在华北低肥力农田生态系统进行的不同土壤培肥试验,研究了不同秸秆还田方式和施肥措施对土壤中蚯蚓种群的影响。研究表明:一年中 5 次调查到的蚯蚓属于同一个目——后孔寡毛目,3 科、6 属、7 种;在 7 种蚯蚓中,天锡杜拉蚓 *Drawida gisti* 是该地区较低肥力土壤中的蚯蚓优势种。蚯蚓种群数量的季节变化趋势为 8 月 > 9 月 > 4 月 > 5 月 > 11 月。在低肥力土壤上,单独施用化肥与对照相比可以增加蚯蚓的数量,施用化肥对蚯蚓的影响程度依赖于有机物的投入情况,没有有机物投入或只有麦秸还田条件下,施用化肥会对土壤中蚯蚓的种群数量产生负面影响,随着时间的延长,这种影响表现得比较明显。在同时用玉米秸和麦秸还田的情况下,施用化肥对蚯蚓的种群数量影响较小。有机肥的施入可以增加蚯蚓的种群数量,随着时间的延长这种趋势愈为明显。在几种秸秆还田的投入方式中,蚯蚓种群数量的大小次序为双倍麦还 > 玉米麦秸全还 > 麦还。因此在施用化肥的时候应当同时进行有机物投入,以保持土壤中良好的生物状况,这也是土壤培肥的重要环节。

关键词:低肥力土壤生态系统;土壤培肥措施;蚯蚓种群

Impact of soil fertility maintaining practice on earthworm population in low production agro-ecosystem in north China

QIAO Yu-Hui¹, CAO Zhi-Ping¹, WANG Bao-Qing², XU Qin³ (1. China Agricultural University, College of Agricultural Resource and Environment, Beijing, 100094, China; 2. China Agricultural University, College of Biology, Beijing, 100094, China; 3. Department of Biology, Beijing Education College, Beijing 100035, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 700~705.

Abstract: The study was conducted in farmland with low productivity in Huantai County, Shandong Province of China North Plain to study the impact of organic manure and chemical fertilizer application on earthworm population. The result shows that there are 3 families, 6 genera and 7 species. *Drawida gisti* is the dominant species. The seasonal variation of the earthworm population density has following trend: August > September > April > May > November. The chemical fertilizer increased the earthworm population compared with the control treatment in the low soil fertility agro-ecosystem. The impact of fertilizer on the earthworm population depends on the input of organic material. With the increase of the organic input, the earthworm population density is increasing. The earthworm density of the treatments has the following ascending trend: Chemical fertilizer < Chemical fertilizer + Wheat Straw < Chemical Fertilizer + Wheat Straw + Corn Straw < Chemical Fertilizer + Wheat Straw + Corn Straw + Organic Fertilizer, this trend became more obvious with the time. The input of organic manure will increase the earthworm population. The earthworm population with double wheat straw return is more than that of wheat straw and wheat straw + corn straw under the same chemical fertilizer application. The results implied that in order to keep the good soil fertility, organic material input is critical.

Key words: low soil fertility ecosystem; fertility cultivation; earthworm population

文章编号: 1000-0933(2004)04-0700-06 中图分类号: Q143 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(39630070)

收稿日期: 2003-07-01; 修订日期: 2003-11-10

作者简介: 乔玉辉(1970~), 女, 山东青岛人, 博士, 副教授, 主要从事土壤生态学方面的研究。E-mail: qiaoyh@cau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhipingc@cau.edu.cn

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

Received date: 2003-07-01; Accepted date: 2003-11-10

Biography: QIAO Yu-Hui, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in soil ecology, E-mail: qiaoyh@cau.edu.cn

近年来,随着生态农业和可持续农业的发展,土壤质量倍受关注,合理的土壤培肥措施对土壤肥力保持和提高土壤质量起着重要作用^[1,2],对土壤质量的研究除理化性质外,对土壤生物的研究也开始受到关注^[3~6]。蚯蚓是土壤生态系统中最重要生物因子之一,它通过改变土壤的理化和生物学特性来提高土壤肥力,其活动可增加养分的有效性、加速有机质的矿化以及改良土壤结构等^[7~9]。从蚯蚓入手研究不同土壤培肥措施对土壤生物的影响具有重要意义。

山东省桓台县是华北第一个吨粮县,在维持土壤肥力方面,他们一直都在实施秸秆还田以及有机无机肥配施等土壤培肥措施,这是粮食高产的基础。本研究通过在弃耕农田上进行不同培肥措施试验,旨在探讨土壤肥力的演变规律及合理的土壤培肥措施,本文主要研究不同土壤培肥措施对土壤中蚯蚓种群数量的影响,以揭示蚯蚓种群与土壤环境条件及管理方式的关系,为低肥力土壤的耕种施肥提供理论与实践依据。

1 研究地点概况与研究方法

1.1 研究地点概况

桓台县位于山东省中部偏北,是我国典型的粮食高产县。境内地势平坦,自然条件优越,本区属于暖温带半湿润季风气候区,光、热、水资源比较丰富,年平均日照时数 2832.78 时,平均降水量 586.4mm。土壤肥力较高,全县土壤有机质平均含量为 1.44%。1990 年全县粮食单产 1084kg/666.7 m²,是华北第一个吨粮县。全县粮食种植模式为冬小麦套种夏玉米,粮食生产比较单一,其农业管理措施是典型的高投入,高产出类型,包括高产玉米和小麦品种,大量的化肥投入(630 kgN/(hm²·a)),灌溉(4500~6,000m³/(hm²·a)),农药,除草剂以及农业机械等。同时在维持土壤肥力方面,他们一直都在实施秸秆还田的措施。

表 1 试验地土壤理化性质

Table 1 Soil chemical properties of the experiment fields

土壤质地 Soil texture	有机质 Organic matter (g/kg)	总氮 Total N (g/kg)	总磷 Total P (g/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	缓效钾 Slowly available K (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	pH (0.01mol/L CaCl ₂)
粉壤土 Silt loam	14.3	0.9	0.8	11.30	812.60	125.50	8.35

为了揭示高产粮区土壤肥力形成起步阶段土壤生物的变化规律,本研究在山东省桓台县选择一块由于没有灌溉条件处于弃耕状态的中低产地块,代表集约化农业和秸秆还田措施起始阶段的肥力状况,试验地土壤理化性状见表 1。在其上布置不同培肥与施肥处理,代表当地不同施肥模式。

1.2 试验设计与材料方法

1.2.1 试验设计 试验地位于桓台县唐山镇,在弃耕 30a 无秸秆还田历史、肥力较低的田块上设置,7 个处理,3 组重复,处理小区随机排列,其间均设保护行。试验设计见表 2。

表 2 试验设计

Table 2 Experiment design

处理 Treatments	代号 Code
不施肥(对照)No input	CK
化肥 Chemical fertilizer	CF
麦还+化肥 Wheat straw + chemical fertilizer	WS+CF
麦还+化肥+有机肥 Wheat straw + chemical fertilizer + organic fertilizer	WS+CF+OF
麦还双倍+化肥 Double wheat straw + chemical fertilizer	2WS+CF
全还+化肥 Wheat straw + corn straw + chemical fertilizer	WS+CS+CF
全还+化肥+有机肥 Wheat straw + corn straw + chemical fertilizer + organic fertilizer	WS+CS+CF+OF

麦秸施用量为 7.5t/hm²,玉米秸秆施用量为 8t/hm²;秸秆粉碎后撒施在试验小区中,有机肥是厩肥,施用量为 2t/hm²,化肥量为常规施氮水平(600kgN/(hm²·a));从 1997 年 6 月开始,实施麦秸还田,玉米秸秆还田和有机肥施用在 1997 年 9 月,化肥施用分别在玉米和小麦种植季节里。冬小麦品种:鲁麦 23;种植密度为 120 万基本苗/hm²。夏玉米品种:鲁玉 10;种植密度为 80000 株/hm²。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一致。

1.2.2 调查及测定方法 蚯蚓种群调查采用样方徒手分离法。每一处理每次随机选取 6 个小样点,每一小样点取土(长×宽×深)50×50×20(cm³)置于平展于地的塑料布上,采用手捡法捡取蚯蚓,然后带回实验室称其鲜重并马上鉴定分类,或用 5%~10%福尔马林处理后保存,以后鉴定,鉴定方法和分类依据《中国动物图谱——环节动物》^[10]。

表 1 中土壤理化性质测定方法如下:土壤有机质采用铬酸氧化还原滴定稀释热法;全氮采用半微量凯氏定氮法;全磷用硫酸高氯酸消煮钼锑抗比色法;碱解氮用碱解扩散法;速效磷用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法;速效钾用 1mol/L 醋酸铵浸提火焰光

度计测定;土壤 pH 值用氯化钙浸提,酸度计测定。

所得试验数据采用 SPSS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓种群组成及季节分布规律

本试验从 1997 年 11 月开始在柜台试验区进行蚯蚓调查,历时 1 年共调查 5 次,鉴定结果表明:在该区域所调查到的蚯蚓属于同一个目——后孔寡毛目,共分 3 科、6 属、7 种(表 3);从表中可以看出低肥力农田生态系统中蚯蚓种群的组成特点,蚯蚓的优势种为天锡杜拉蚓 *Drawida gisti*,在四个试验处理中均占约 60% 以上,其次为日本杜拉蚓 *Drawida japonica*,约占蚯蚓总数的 10%~25%,而梯形流蚓 *Aporrectae trapezoides* 其平均数量只占调查总数的 4.9%。其他蚯蚓种的数量均很少,直隶腔蚓 *M. tschilliensis* 只在一次调查中发现了一条。试验各处理之间蚯蚓的种群结构基本相同。

表 3 蚯蚓种群组成和数量特征

Table 3 Earthworm population composition and characteristic

处理 Treatment	种类 Species*	A	B	C	D	E	F	G	合计/Total
CF	密度 Density(ind · /m ²)	16.79	0.00	2.67	1.47	2.67	0.00	0.00	23.59
	占总量%	71.18	0.00	11.30	6.22	11.30	0.00	0.00	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	7.73	0.00	0.40	0.60	1.20	0.00	0.00	9.93
	占总量%	77.88	0.00	4.03	6.04	12.08	0.00	0.00	100
WS+CF	密度 Density(ind · /m ²)	25.46	1.33	0.00	4.67	10.79	1.33	0.00	43.58
	占总量%	58.42	3.06	0.00	10.71	24.76	3.06	0.00	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	13.73	0.67	0.00	1.60	7.07	1.67	0.00	24.74
	占总量%	55.51	2.69	0.00	6.47	28.56	6.75	0.00	100
WS+CS+CF	密度 Density(ind · /m ²)	48.79	2.67	0.00	0.00	7.58	0.00	0.00	59.04
	占总量%	82.64	4.52	0.00	0.00	12.84	0.00	0.00	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	27.13	2.27	0.00	0.00	4.73	0.00	0.00	34.13
	占总量%	79.50	6.64	0.00	0.00	13.87	0.00	0.00	100
WS+CS+CF+OF	密度 Density(ind · /m ²)	60.67	0.00	0.00	2.00	8.00	0.67	3.33	74.67
	占总量%	81.25	0.00	0.00	2.68	10.71	0.89	4.46	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	31.47	0.00	0.00	0.80	7.67	5.93	5.47	51.33
	占总量%A	61.30	0.00	0.00	1.56	14.94	11.56	10.65	100

* A 天锡杜拉蚓 *Drawida gisti*; B 湖北远盲蚓 *Amyntas hupeiensis*; C 赤子爱胜蚓 *Eisenia foetida*; D 梯形流蚓 *Aporrectae trapezoides*; E 日本杜拉蚓 *Drawida japonica*; F 威廉腔蚓 *Metaphire guillelmi*; G 隶腔蚓 *M. tschilliensis*

土壤中蚯蚓的种群数量动态具有季节性,其生物量季节变化见图 1,从图 1 中看出:在试验开始时,也就是土壤培肥初期,各处理之间蚯蚓的生物量基本相同,在低水平上徘徊,在 1997 年 9 月和 11 月份,蚯蚓的生物量维持在 0~3.37g/m²,这和气候因素特别是温度的影响有关,部分蚯蚓可能在耕层以下活动或处于休眠状态而没有采集到。第二年春天,随着气温回升和进行土壤中耕,促进了施入土壤中的有机质的分解,蚯蚓活性增强,其种群数量逐渐增加;在这种低肥力土壤上投入的还田有机物和氮肥,不仅为作物生长创造了适宜条件,同时也为土壤生物提供了丰富的食物来源;因此在这期间,蚯蚓数量也不断增加,但在 5 月底进行调查发现,蚯蚓数量又呈下降趋势,分析的原因可能是在这期间气温较高,又为小麦收获期,田间灌水减少而雨季又未到来,加之小麦收获后进行了除草剂喷洒等等这些因素都可能影响到蚯蚓的种群数量。

2.2 还田有机物投入强度对蚯蚓种群的影响

根据有机物施用情况,进行不同有机物投入处理的蚯蚓生物量比较(图 1)。结果表明 1997 年 11 月和 1998 年 4 月的调查结果各处理间差异不显著;但在 1998 年 8 月差异较明显,有机肥投入处理的蚯蚓生物量都显著高于对照、化肥处理和麦还加化肥处理,并达到了显著水平($p < 0.05$)。这表明,在试验初期小麦和玉米秸秆还没有被分解,对土壤中蚯蚓的数量影响很小。随着秸秆的分解和生物利用,有机物投入对蚯蚓数量的影响逐渐显现出来。

从全年 5 次调查的蚯蚓生物量和密度统计结果来看(图 2),物质投入的增加,蚯蚓的丰富度呈增长趋势。与对照相比,单施化肥并没有降低蚯蚓的数量,相反却略有增加,与对照相比较,投入化肥的蚯蚓生物量增加了 49.15%,这说明,在低肥力土壤上适量的化肥施用可以促进植物的生长,从而也激发了土壤中生物的活性。但同时也可以看出,只施用化肥的处理,其种群数量要明显低于其他有机物投入处理,也就是说,有机物的投入可为土壤生物生存提供食物来源,增加土壤生物数量。

图 3 是土壤培肥前和培肥后对蚯蚓种群数量的影响,在土壤培肥前,土壤中蚯蚓种群的平均生物量为 1.87g/m²。对于没有进行土壤培肥和没有投入化肥的处理来说,蚯蚓的种群数量基本没有变化,维持在一个较低水平;而采用秸秆+化肥和施用秸秆+化肥+有机肥的处理在土壤培肥 1 年后,蚯蚓的种群数量明显增加,在麦秸还田和施用化肥条件下,经 1 年培肥过程,蚯蚓的

生物量已增加到最初生物量(1997年调查的平均值)的4.38倍;在玉米秸和麦秸全还并施用化肥的条件下蚯蚓生物量是原来的5.73倍,如果在此基础上又配施有机肥,则蚯蚓的种群数量增加更为明显,为8.16倍,从这些数据分析可以看出,还田有机物在增加土壤中蚯蚓的种群数量中的重要性,对提高土壤生物活性具有重要意义。

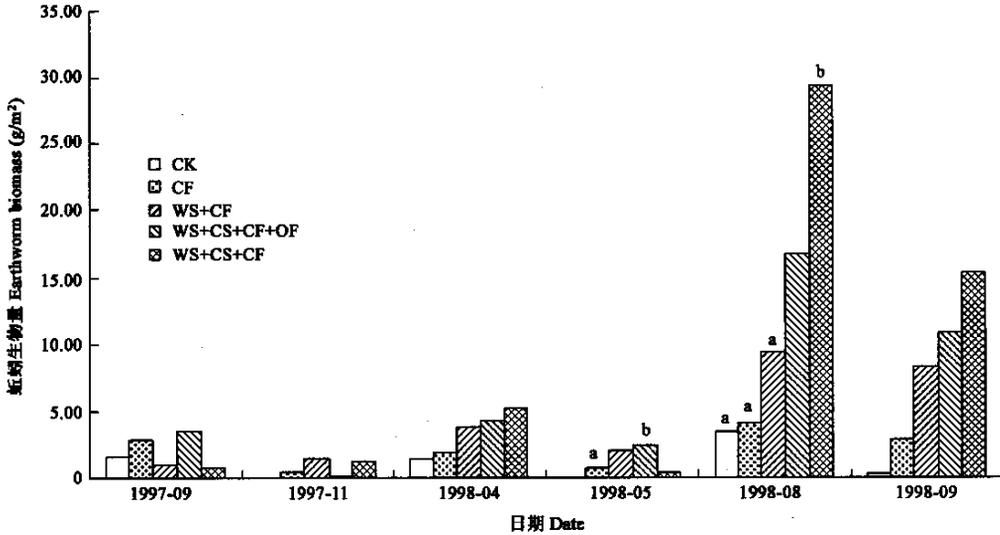


图1 不同有机物投入对土壤蚯蚓种群的影响及季节变化规律

Fig.1 Seasonal variation of earthworm under differencet organic material input

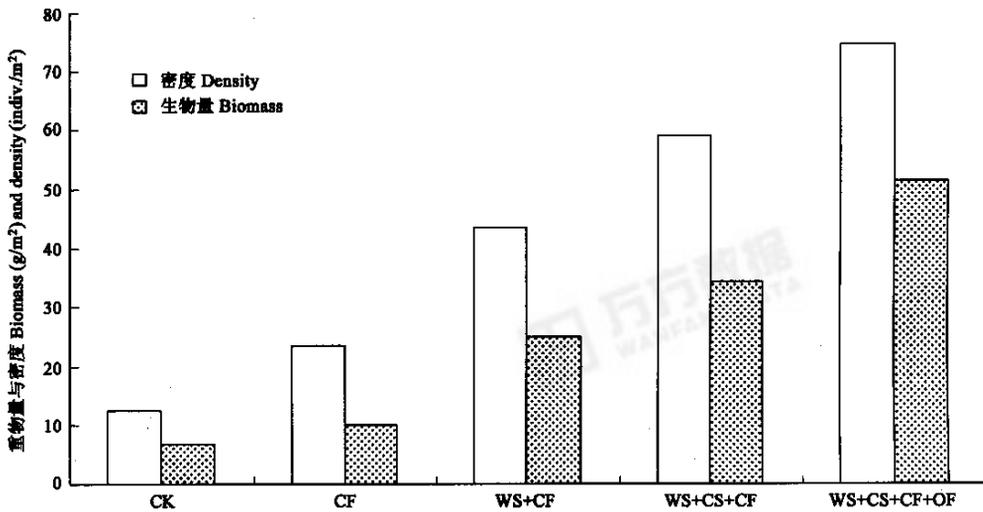


图2 不同有机物投入对土壤蚯蚓种群的影响

Fig.2 Variation of earthworm under different organic material input

2.3 施用有机肥对蚯蚓种群数量的影响

将麦还加化肥条件下以及全还加化肥条件下施用与不施有机肥处理进行成对比较(图4),在试验前期,处理间差别不明显,但在1998年8月和9月两次调查中这种差别逐渐表现出来。无论是在麦秸还田加化肥施用条件下,还是在玉米麦秸还田加化肥施用条件下,有机肥的施用都会在施用1a后增加土壤中的蚯蚓种群数量。这说明有机肥在促进土壤生物活性方面起重要作用,但两个施用有机肥的处理间差异不明显,也就是说无论全还还是麦还条件,有机肥施用后都会明显增加蚯蚓的丰富度。而在不施用有机肥的处理中,全还条件下的蚯蚓数量要高于麦还处理,在1998年8月和9月较为明显,全年5次调查总计不施有机肥时,全还处理的蚯蚓生物量比麦还蚯蚓生物量高46.14%。

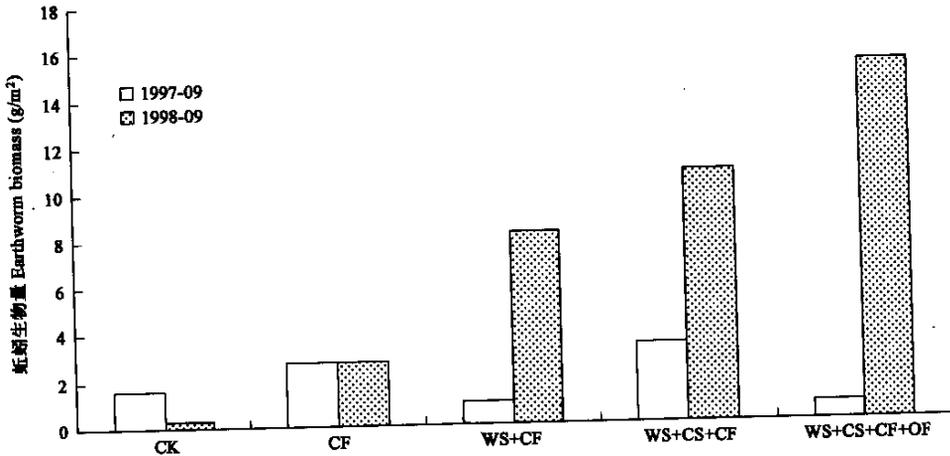


图3 土壤培肥 1a 后对蚯蚓生物量的影响

Fig. 3 Earthworm biomass variation after one year soil fertility cultivation

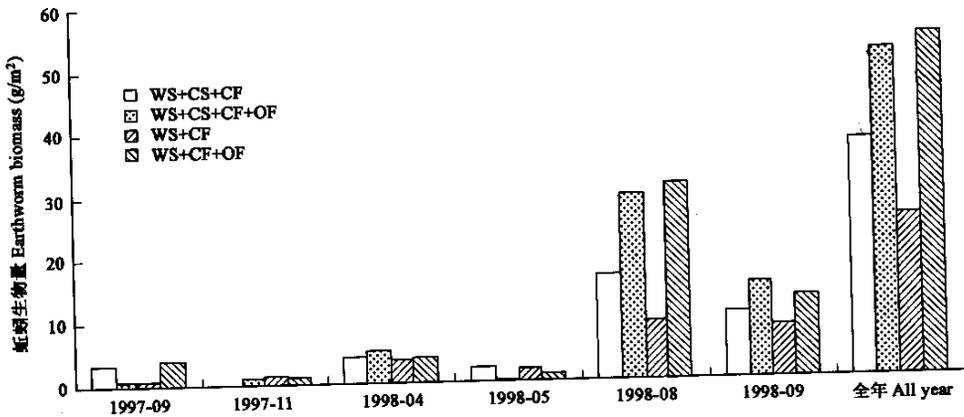


图4 不同秸秆还田条件下有机肥对蚯蚓生物量的影响

Fig. 4 Compare of the Effects of organic manure on earthworm under the straw return

2.4 不同秸秆还田方式对蚯蚓生物量的影响

将处理麦还、全还和两倍麦还 3 种秸秆还田方式进行比较(图 5),结果表明:在施用化肥的条件下,秸秆的还田模式对土壤蚯蚓的种群数量还是有所影响,全还、麦还和双倍麦还 3 种还田处理在 1998 年 5 月份之前对蚯蚓的种群生物量均无显著性差异,处理之间的差异尚未表现出来。从 1998 年 8 月和 9 月的分析可以看出,蚯蚓的种群数量大小顺序是:双倍麦还大于玉米麦秸全还大于麦还,这与还田有机物的投入量及其分解程度有很大关系。尽管玉米秸秆在 1997 年 9 月份就归还到农田中,但由于玉米秸秆较难分解,不能被土壤生物所利用,因此,玉米秸秆对土壤蚯蚓种群数量的影响表现并不明显,而麦秸还田后加上高温多雨,麦秸分解的速度较快,利于土壤微生物和土壤动物的活动,因此蚯蚓的数量增加的较为明显。

3 结论

桓台试验区历时 1 年进行了 5 次调查到的蚯蚓属于同一个目——后孔寡毛目,3 科、6 属、7 种;在 7 种蚯蚓中,天锡杜拉蚓 *Drawida gisti* 是该地区较低肥力土壤中的蚯蚓优势种。蚯蚓的生物量与气候因素特别是温度的影响有关,其季节月份变化趋势为 8 > 9 > 4 > 5 > 11 月份。

物质投入的强度对蚯蚓的丰富度有较大的影响,物质投入越多,蚯蚓数量也有增加趋势。在低肥力土壤上,单独施用化肥可以增加蚯蚓的数量,这可能与施用化肥后植物长势良好,可以为土壤生物和蚯蚓提供更多的食物来源有关。但单施化肥处理的蚯蚓生物量要低于麦还、全还、全还加有机肥。随着有机物投入的增加,土壤中蚯蚓数量也在不断增加。这说明有机物与化肥的配施,可以提高土壤中生物活性,有利于土壤肥力的形成。土壤培肥 1a 后土壤中蚯蚓的丰富度也可以说明这一点。

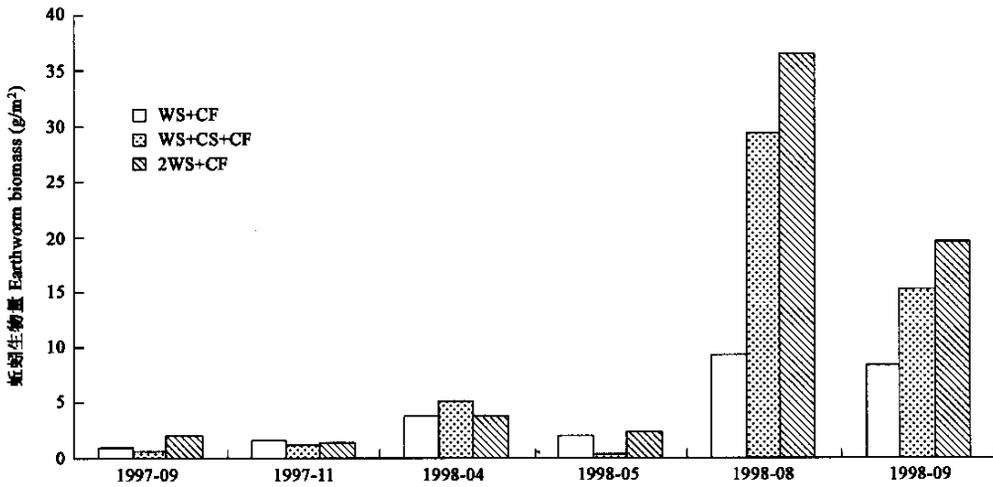


图 5 不同秸秆还田模式量对蚯蚓生物量的影响

Fig. 5 Compare of the Effects of straw return mode on earthworm biomass

利用秸秆还田措施是桓台县培肥土壤地力,保持稳产高产的主要措施,秸秆还田可以大大提高土壤蚯蚓的数量,从而提高土壤肥力。在几种秸秆还田的投入方式中,蚯蚓的种群数量为双倍麦还大于玉米麦秸全还大于麦还,这与还田有机物的投入量和其分解程度有很大关系。但无论如何,秸秆还田可以提高土壤生物活性,为秸秆还田措施的实施可以提供生态学依据。

References:

- [1] Wu Z J, Zhang H J, *et al.* Effect of corn straw return on soil fertility. *Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(5): 539~542.
- [2] Zhang G Z, Xu Q, *et al.* Effect of straw covering without tillage on soil characteristic and corn production. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, **35**(3): 384~390.
- [3] Jiang Y H, Yu Z R, Ma Y L, The effect of stubble return on agro-ecological system and crop growth, *Journal of Soil Science*, 2001, **5**: 209~213.
- [4] Edwards C A, Lofty J R. *Biology Of Earthworms*. Chapman and Hall, 1977.
- [5] Geoff Baker, *et al.* The abundance and diversity of earthworms in pasture soil in the Fleurieu Peninsula, South Australia. *Soil Biology & Biochemistry*, 1992, **24**(12): 1389~1396.
- [6] Lee K E. *Earthworm—their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, Inc. (London) Ltd, 1985. 89~99.
- [7] Lavelle P, Barois I, Martin A, *et al.*, Management of earthworm populations in agro-ecosystems: a possible way to maintain soil quality? In: Clarholm, M., Bergström, L. Eds., *Ecology of Arable Land*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1989. 109~122.
- [8] Giller K E, Beare M H, Lavelle P, *et al.*, Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.*, 1997, **6**: 3~16.
- [9] Lavelle P, Bignell D, Lepage M, *et al.* Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers, *Eur. J. Soil Biol.*, 1997. 159~193.
- [10] Chen Y. *China animal atlas—Annelida*. Science Press, 1959. 2~16.

参考文献:

- [1] 王志杰,张海军,等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果. *应用生态学报*, 2002, **13**(5): 539~542.
- [2] 张国志,徐琪,等. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质和玉米产量的影响. *土壤学报*, 1998, **35**(3): 384~390.
- [3] 江永红,宇振荣,马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响. *土壤通报*, 2001, (5): 209~213.
- [10] 陈义. *中国动物图谱——环节动物*. 北京: 科学出版社, 1959. 2~16.