

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

曹志平¹, 乔玉辉^{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:通过在华北高产农田生态系统进行的土壤培肥试验,研究了不同秸秆还田方式和施肥措施对土壤大型动物——蚯蚓的影响。研究表明:该区域高肥力土壤共有 7 种蚯蚓,其中以正蚓科梯形流蚓为主,并同时分布巨蚓科的远盲蚓属、腔蚓属和链胃蚓科的杜拉蚓属的一些广布种。全年平均种群密度为 83.83 条/m²,最高种群数量出现在 1998 年 8 月份,其季节变化趋势为夏季>春季>秋冬季。在投入同量化肥条件下,有机物投入越多,蚯蚓越丰富,其生物量有以下趋势:化肥投入<化肥与麦秸还田<化肥与玉米秸麦秸全还田<化肥与玉米秸麦秸还田加施有机肥处理。在有有机物投入的条件下,化肥对土壤生物的负面效应不明显,不会对土壤中的蚯蚓有较大影响;而单施化肥,对蚯蚓负面影响较为显著。有机肥的施入可以增加蚯蚓的种群数量,随着时间的增加这种趋势越明显。

关键词:高产农田;土壤培肥措施;蚯蚓

Impact of soil fertility maintaining practice on earthworm population in high production agro-ecosystem in North China

CAO Zhi-Ping¹, QIAO Yu-Hui¹, 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(10): 2302~2306.

Abstract: The study was conducted in high production agro-ecosystem in Huantai County Shandong Province of China North plain to study the impact of organic input and chemical fertilizer application on earthworm population. The result shows that there were seven species in Huantai high production agro-ecosystem, Among the seven earthworm species, *Aporrectae trapezoids* is the dominant species. The average earthworm population is 83.83 indiv./m². The highest population density was found in August 1998 among the five surveys of the study, the seasonal variation of the earthworm population is: summer>spring>autumn and winter. The impact of chemical fertilizer on the earthworm population depends on the organic input and the earthworm population density increases accordingly. 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, The biomass of the earthworm will decrease with the application of chemical fertilizer without organic input or only with wheat straw return, this trend became more obviously when the time went through, while the impact is not significant under the situation with both wheat and corn straw return. The input of organic manure will increase the earthworm population; this trend was reflected in the late period of the experiment season. The results implied that in order to keep the good soil fertility, organic material input is critical.

Key words: agro-ecosystem; organic input; earthworm; chemical fertilizer

文章编号:1000-0933(2004)10-2302-05 中图分类号:Q958 文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(编号:39630070)

收稿日期:2003-07-20;修订日期:2004-04-02

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:zhipingc@cau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. Email:qiaoyh@cau.edu.cn

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

Received date: 2003-07-20; Accepted date: 2004-04-02

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

近十几年来,随着农业持续性研究的逐步深入,土壤质量被认为是农业持续性的关键因素之一,土壤培肥是改善土壤肥力、提高土壤质量的重要农业措施。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。针对于这些培肥措施对作物以及环境效应已有众多研究^[1~4],但过去的众多研究多集中于这些措施对作物以及对土壤理化性质的影响,而对土壤生物的影响研究较少,只在土壤微生物和土壤酶等方面作了一些工作^[4],秸秆还田对土壤动物的影响方面的研究就更少^[5]。在土壤生物中,蚯蚓是农田生态系统中最重要的一种土壤动物之一,通过其活动可提高土壤肥力,同时也是土壤生态系统演替与进化及土壤肥力高低的重要指示者^[6~7]。

本研究通过在高产农田上进行不同培肥措施试验,旨在研究不同土壤培肥措施对土壤中蚯蚓种群数量和结构的影响,以揭示蚯蚓种群与土壤环境条件及管理方式的关系,为华北高产农田土壤培肥、施肥和区域农田生态系统的管理提供生态学依据。

1 研究地点概况与研究方法

1.1 研究地点概况

该研究在山东桓台县高产粮田上进行。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 2832.78h,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 年全县粮食耕亩单产 1084kg,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(4 500~6 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。

1.2 试验设计与材料方法

1.2.1 试验设计 为揭示高产农田生态系统目前乃至今后土壤肥力变化规律,在当地典型高产田上设置不同培肥与施肥处理进行研究,试验设计见表 1。试验地土壤理化性质见表 2。

(1)麦秸施用量为 7.5t/hm²,玉米秸秆施用量为 8t/hm²;有机肥为猪粪,施用量 30 m³/hm²;氮肥 1,比常规施氮水平低 20%(480kgN/(hm²·a));氮肥 2,常规施氮水平(600kgN/(hm²·a));氮肥 3,比常规施氮水平高 20%(720kgN/(hm²·a))。

玉米秸秆还田和有机肥施用从 1997 年 9 月开始,麦秸还田在 1998 年 6 月初,化肥施用分布在玉米和小麦种植季节里。施肥品种为尿素(N46%);普通过磷酸钙(P₂O₅ 12%);磷酸二铵(N46%,P₂O₅ 46%);KCl (K₂O 63%);有机肥(氮 0.6%,磷 0.4%,钾 0.4%,有机质 15%),复合微肥含铁锰硼等。

(2)冬小麦品种为鲁麦 23;种植密度为基本苗 120 万苗/hm²。夏玉米品种为鲁玉 10;种植密度为 80 000 株/hm²。其它的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)50×50×20cm³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》^[8]。

表 2 中土壤养分的测定方法如下: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法测定;土壤 pH 值用氯化钙溶液浸提,酸度计测定。

表 1 试验设计

Table 1 Experiment design

代号 Code	处理/Treatment
WS+CS	麦秸+玉米秸 wheat straw +corn straw
WS+CS+N1	麦秸+玉米秸+氮肥 1 wheat straw +corn straw + N fertilizer level 1
WS+CS+N2	麦秸+玉米秸+氮肥 2 wheat straw +corn straw + N fertilizer level 2
WS+CS+N3	麦秸+玉米秸+氮肥 3 wheat straw +corn straw + N fertilizer level 3
WS+CS+N2+OF	麦秸+玉米秸+氮肥 2+有机肥 wheat straw +corn straw+ N fertilizer2+ organic fertilizer
WS	麦秸 wheat straw
WS+N1	麦秸+氮肥 1 wheat straw + N fertilizer level 1
WS+N2	麦秸+氮肥 2 wheat straw +N fertilizer level 2
WS+N3	麦秸+氮肥 3 wheat straw +N fertilizer level 3
N2	氮肥 2 N fertilizer 2

氮肥N fertilizer (kgN/(hm²·a)): N1=480, N2=600, N3=720; 以下同the same below

表 2 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 O. M. (%)	总氮 Total N (%)	总磷 Total P (%)	有效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	pH (0.01mol/L CaCl ₂)
粉壤土 Silt loam	1.83	0.12	0.11	19.83	135.37	8.26

2 结果与分析

2.1 桓台高产农田蚯蚓种群组成及季节分布规律

该研究从 1997 年 11 月开始在桓台试验区历时 1a 进行了 5 次蚯蚓调查, 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); 该地区高产农田生态系统蚯蚓种群中梯形流蚓 *Aporrectae trapezoides* 为优势种, 该种的密度占总种群密度的范围是 33.69%~64.23%, 从生物量看, 占总生物量的比例为 47.62%~62.94%, 在不同的处理中都占主要地位, 并且还有随着还田有机物的增多其所占比例增加的趋势。其次从各处理的种群密度平均值来看, 天锡杜拉蚓 *Drawida gisti* 占蚯蚓总数的 28.43%。日本杜拉蚓 *Drawida japonica* 和湖北远盲蚓 *Amyntas hupeiensis* 分别占蚯蚓调查总数的 11.86% 和 6.89%, 直隶腔蚓 *M. tschilliensis* 只在一次调查中发现了 1 条。

中国陆栖蚯蚓从地理分布来看, 山东桓台在地理位置上属于古北界^[9]。历来学者认为古北界典型蚯蚓是正蚓科, 即在此地区广泛分布异唇蚓属、爱胜蚓属等。本调查结果表明, 该区域高肥力土壤上蚯蚓种群组成中以正蚓科梯形流蚓 *Aporrectae trapezoides* 为主, 并同时分布部分属于东洋界典型蚯蚓的巨蚓科的远盲蚓属、腔蚓属和链胃蚓科的杜拉蚓属的一些广布种, 如天锡杜拉蚓 *Drawida gisti* 也占较大比例。蚯蚓在古北界和东洋界的分布并不是绝对的, 经过长时期的生物演替及迁移过程, 在古北界也出现了部分东洋界的广布种, 反之也是如此。

表 3 高产农田生态系统蚯蚓种群组成和数量特征

Table 3 Earthworm population composition and characteristic in high arable ecosystem

处理 Treatment	蚯蚓种 Species	A	B	C	D	E	F	G	合计 Total
氮肥 2 N fertilizer 2	密度 Density(ind/m ²)	28.83	6.5	0	21.17	6.33	0	0	62.83
	组成 Composition(%)	45.89	10.34	0	33.69	10.08	0	0	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	14.35	4.98	0	19.53	2.15	0	0	41.01
	组成 Composition(%)	34.99	12.15	0	47.62	5.24	0	0	100
麦秸+氮肥 2 wheat straw +N fertilizer level 2	密度 Density(ind/m ²)	18.17	6.50	2.50	43.67	17.33	1.33	0	89.50
	组成 Composition(%)	20.3	7.26	2.79	48.79	19.37	1.49	0	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	5.95	5.05	0.63	24.55	5.18	2.60	0	43.97
	组成 Composition(%)	13.53	11.49	1.45	55.83	11.79	5.91	0	100
麦秸+玉米秸+氮肥 2 Wheat straw+corn straw + N fertilizer level 2	密度 Density(ind/m ²)	23.50	3.67	1.33	70.33	9.33	0.67	0.67	109.50
	组成 Composition(%)	21.46	3.35	1.22	64.23	8.52	0.61	0.61	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	11.63	4.77	0.67	36.13	4.02	0.40	2.87	60.48
	组成 Composition(%)	19.24	7.88	1.10	59.74	6.64	0.66	4.74	100
麦秸+玉米秸+氮肥 2+有机肥 Wheat straw+ corn straw+ N fertilizer2+ organic fertilizer	密度 Density(ind/m ²)	40.83	10.33	0	90.67	14.83	0	0	156.67
	组成 Composition(%)	26.06	6.60	0	57.87	9.47	0	0	100
	生物量 Biomass(g/m ²)	17.10	8.65	0	52.73	5.30	0	0	83.78
	组成 Composition(%)	20.41	10.32	0	62.94	6.33	0	0	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 直隶腔蚓 *M. tschilliensis*

土壤中蚯蚓的种群数量动态具有季节性(图 1), 最高蚯蚓种群数量出现在 1998 年 8 月份, 蚯蚓种群平均密度可达 42.13 条/m², 其季节变化趋势为 8 月份>9 月份>4 月份>5 月份>11 月份。这是因为该地区属于暖温带气候, 夏季温暖多雨、土壤潮湿, 有益于蚯蚓繁殖生长, 因此调查到的蚯蚓数量较多, 而春秋两季地温较低且少雨、土壤较干燥, 调查到的数量较少。另与调查的方法也有关系, 调查的土层是 0~20cm 的土壤耕层, 春秋两季土温低, 部分蚯蚓可能在耕层以下活动或处于休眠状态。

2.2 不同有机物投入对蚯蚓种群的影响

根据有机物施用情况, 进行以下各处理的蚯蚓生物量比较并进行一维方差分析(图 1)。试验结果表明: 1997 年 11 月和 1998 年 4 月的调查结果各处理间差异不显著; 在 1998 年 8 月调查中发现, 在同样数据投入条件下, 玉米和小麦秸秆全部还田地块中蚯蚓的生物量要比作物秸秆不还田和只有小麦秸秆还田田

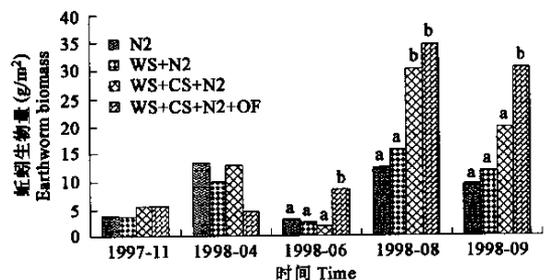


图 1 不同有机物投入对土壤蚯蚓种群的影响及季节变化规律

Fig. 1 Seasonal variation of earthworm under different organic input

块中蚯蚓的数量明显增多,有机肥的投入使蚯蚓数量增加更多。在1998年5月、8月和9月的调查中,WS+CS+CF+OF处理的种群生物量都明显高于其他处理,并达到显著水平 $p < 0.05$ 。只施用化肥和麦秸加化肥处理,两者对蚯蚓种群数量的影响差异不显著,这是因为麦秸在1998年6月份施入,其投入的影响还没有显现出来。而有玉米秸秆和有机肥投入的处理即WS+CS+CF(N₂)和WS+CS+CF(N₂)+OF两处理在1997年9月就有有机物投入,经过近一年的分解,特别进入夏季,随着温度的升高,微生物分解有机物的速度增快,蚯蚓的生长繁育也有所增加。所以在1998年8月和9月的调查中,蚯蚓其种群数量要明显高于化肥和麦秸加化肥处理。从全年5次调查综合起来看,无论蚯蚓的种群密度还是生物量,都是随着有机物投入量有增加的趋势(表3)。

2.3 施用化肥对蚯蚓种群的影响

碳氮比是影响有机物分解的重要因素,因此在秸秆还田的同时,施用部分氮肥以调节合适的碳氮比以加速有机物的分解。本研究在进行麦秸还田和玉米秸加麦秸还田时,施用了不同量的氮肥,来探讨一下化肥用量对蚯蚓种群的影响效应。

从表4和图2中可以看出,在5次不同季节的调查取样中,无论是麦秸还田还是玉米秸+麦秸条件,不同施肥量处理之间的蚯蚓生物量基本上没有差异,且蚯蚓数量随施肥量的变化规律不明显。但从全年5次调查的平均水平看,两种秸秆还田方式下,随着施肥量增加,蚯蚓生物量有减少的趋势。这种规律在只有麦秸还田条件下表现的较为明显。这是因为麦秸还田处理是在1998年6月实施的,所以在1998年6月以前,实际上是单施化肥的效应。随着施肥量的增加,对蚯蚓的影响较为明显。

表4 在不同施肥量条件下蚯蚓种群生物量变化

Table 4 Earthworm biomass under different chemical fertilizer application

项目 Item	玉米秸+麦秸还田生物量(g/m ²)				麦秸还田生物量(g/m ²)			
	Biomass under corn + wheat straw return condition				Biomass under wheat straw return condition			
施肥处理 Fertilizer application	无 N no N	N1	N2	N3	无 N no N	N1	N2	N3
1997-11	15.07a	4.13b	5.60	5.07	6.53	9.33	3.67	1.20
1998-04	14.47	11.47	13.07	10.80	13.40	4.13	10.07	4.13
1998-05	2.07	4.27	1.93	4.27	5.73	4.07	2.53	3.13
1998-08	22.30	27.35	30.15	23.95	25.85	16.10	15.70	22.50
1998-09	10.93	13.27	9.73	15.73	11.20	9.07	12.00	5.53
平均 Mean	12.97	12.10	12.10	11.96	12.54	8.54	8.79	7.30

2.4 不同秸秆还田方式对土壤蚯蚓生物量的影响

将不同施肥量条件下的麦秸还田与玉米秸加麦秸还田进行成对比较,结果表明,在不施化肥条件下,两种秸秆还田方式对蚯蚓生物量的影响不显著。但在施用化肥条件下,麦秸还田处理的蚯蚓生物量明显低于玉米秸与麦秸同时还田的生物量,并且达到了统计检验的显著水平,显著水平分别为0.049和0.038,并且随着施肥量的增加这种差异越明显。这说明在有化肥投入情况下,有机物配施将大大减小化肥对土壤生物物的负面影响,同时还有利于提高土壤肥力。

3 结论与讨论

在该区域高肥力土壤上所调查到的蚯蚓共有7种;其中正蚓科梯形流蚓 *Aporrectae trapezoides* 为优势种,无论种群密度还是生物量都最大,其次天锡杜拉蚓 *Drawida gisti* 也占较大比例。土壤中具有较为丰富的蚯蚓种群数量,全年平均种群密度为83.83条/m²,其中最高蚯蚓种群数量出现在1998年8月份,蚯蚓种群平均密度可达42.13条/m²,其季节变化趋势为夏季>春季>秋冬季,这种分布规律与温度、土壤湿度等因素影响有很大关系。

在投入同量化肥条件下,有机物投入越多,蚯蚓也丰富。这说明在施用化肥的时候应当同时进行有机物投入,这样才会保持土壤中良好的生物状况。因为投入有机物可以为土壤微生物提供丰富的碳源和氮源,从而极大地增加了土壤生物量^[10]。长期施用有机肥有益于提高土壤有机质、改善土壤结构,最终增强土壤生物的活性^[11],这可能也是本试验玉米秸+麦秸+化肥+有机肥处理蚯蚓丰富度在多数月份保持最高水平的主要原因。

在农田生态系统中,化肥的使用会对土壤生物产生一定影响,在荷兰进行的一项研究中发现常规耕作措施(施用化肥)比有机农作的土壤生物量普遍减少^[12]。在本研究中,麦秸还田条件下,随着施用化肥量的增加,蚯蚓生物量减少较为明显,而在玉米秸加麦秸还田条件下,这种趋势不明显。也就是说,在有有机物投入的条件下,化肥对土壤生物物的负面效应不明显,不会对

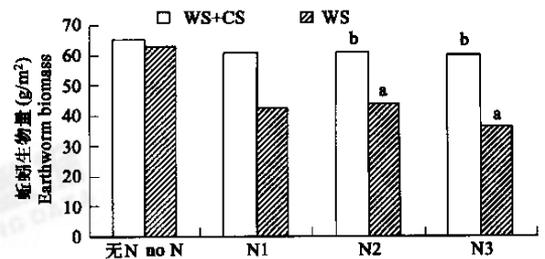


图2 在不同秸秆还田方式下化肥对蚯蚓生物量的影响

Fig. 2 Effects of chemical fertilizer on earthworm under different crop straw return (one year survey)

土壤生物活性有较大的影响;而单施化肥,这种负面影响较为显著。因为受时间限制,本试验研究只进行了一年,但秸秆还田对土壤生物的影响是长期的,应当进一步进行研究。

References:

- [1] Lao X R, Wu Z Y, Gao Y CH. Effect of long term straw return on soil fertility. *Transactions of the CSAE*. 2002, **18** (2) 49~52.
- [2] Wu ZH J, Zh H J, *et al.* Effect of corn straw return on soil fertility. *Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(5) : 539~542.
- [3] Zhang G ZH, Xu Q, *et al.* Effect of straw covering without tillage on soil characteristic and corn production. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, **35**(3):384~390.
- [4] Jiang Y H, Yu ZH R, Ma Y L. The effect of stubble return on agro-ecological system and crop growth, *Journal of Soil Science*, 2001, **5**: 209~213.
- [5] Edwards C A,Lofty J R. *BIOLOGY OF EARTHWORMS*. Chapman and Hall,1977.
- [6] Geoff Baker, *et al.* The abundance and diversity of earthworms in pasture soil in the Fleurieu Peninsula, South Australia. *Soil biology & biochemistry*, **24**(12): 1389~1396.
- [7] Lee K E. Earthworm-their ecology and relationships with soils and land use. ACADEMIC PRESS,INC. (LONDON)LTD, 1985. 89~99.
- [8] Chen Y. *China animal atlas-Annelida*. Beijing:Science press, 1959. 2~16.
- [9] Xu Q. Geological distribution of Earthworm in China. *Journal of Beijing Education College*, 1996, **3**: 54~61.
- [10] 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.
- [11] Lijbert Brussaard. *Ronald Ferrera-Cerrato. Soil ecology in sustainable agricultural systems*. Lewis publishers Boca Raton New York, 1997.
- [12] Zwart K B, Burgers G E, *et al.* Population dynamics in the belowground food webs in two different agricultural systems. *Agriculture Ecosystems and Environment*,1994, **51**:187~198.

参考文献:

- [1] 劳秀荣, 吴子一, 高燕春. 长期秸秆还田改土培肥效应的研究. *农业工程学报*, 2002, **18**(2):49~52.
- [2] 武志杰 张海军, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果还田. *应用生态学报*, 2002, **13**(5) : 539~542.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [8] 陈义. 中国动物图谱——环节动物. 北京: 科学出版社, 1959. 2~16.
- [9] 徐芹. 中国陆栖蚯蚓地理分布概述. *北京教育学院学报*, 1996. **3**:54~61.