

华北高产农田生态系统中蚯蚓种群次生演替规律

乔玉辉, 曹志平*, 吴文良

(中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094)

摘要:通过对山东省桓台县不同土壤肥力的农田生态系统中蚯蚓种群的调查发现,该地区农田生态系统中有 7 种蚯蚓,高肥力土壤中蚯蚓相对较丰富,种群密度可达 83.83 条/m²,梯形流蚓为优势种;低肥力土壤中蚯蚓种群密度 40.18 条/m²,优势种是天锡杜拉蚓。梯形流蚓和湖北远盲蚓在高肥力土壤中的种群密度要明显高于低肥力土壤;而其他几种蚯蚓种群数量变化不大,随着土壤肥力的演变,低肥力土壤中天锡杜拉蚓的优势地位随着土壤肥力的提高逐渐被梯形流蚓所代替。合理的投入特别是农田有机物投入可以加速农田生态系统中生态演替;试验中不同处理间蚯蚓的种群生物量有以下趋势:化肥投入<化肥与麦秸还田<化肥与玉米麦秸全还田<化肥与玉米麦秸全还田以及有机肥的施用。无论在高肥力还是低肥力的土壤上都表现出相同的规律,但蚯蚓种群组成并没有明显差异。

关键词:土壤肥力;蚯蚓种群;次生演替;有机投入

Secondary succession of earthworm population in high production agro-ecosystem in North China

QIAO Yu-Hui, CAO Zhi-Ping, WU Wen-Liang (China Agricultural University, College of Agricultural Resource and Environment, Beijing, 100094, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2307~2311.

Abstract: The study was conducted in Huantai County Shandong Province in North China to study the secondary succession of earthworm population under low and high soil fertility in agro-ecosystem. The result shows that seven species were found both in two agro-ecosystems, but the earthworm population density and composition are different, the average earthworm population in the high fertility soil is relatively abundance, the population density is 83.83 in./m². Among the seven earthworm species, *Aporrectae trapezoids* is the dominant species. While in the low fertility soil, the population density is 40.18 ind./m² and *Drawida gisti* is the dominant species. Comparing the density of each earthworm species in the two kinds of soil fertility agro-ecosystems, the density of *Aporrectae trapezoids* and *Amyntas hupeiensis* is significantly higher in the high fertility soil than that in the low fertility soil, while the difference of other five species is not obvious. This result shows that with the succession of the soil fertility, the earthworm also has a process of succession; the abundance species in the low fertility agro-ecosystem *Drawida gisti* is gradually substituted by *Aporrectae trapezoids* in the high fertility agro-ecosystem.

One-year experiment was also conducted to study the impact of the organic input on earthworm population and succession. The result shows that 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, the law was shown both in the low and high fertility agro-ecosystem, the organic input is critical to increase the soil organism activity and soil fertility. However the different of the earthworm population composition was not shown due to too short experiment period, succession of soil fertility and earthworm is the long-term adaptation of organism and environment.

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:2004-03-25

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的研究。E-mail:qiaoyh@cau.edu.cn

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

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

Received date: 2003-07-01; Accepted date: 2004-03-25

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

Key words:soil fertility; earthworm population; secondary succession; organic input
文章编号:1000-0933(2004)10-2307-05 中图分类号:Q958 文献标识码:A

蚯蚓是土壤生态系统中重要的生物因素,但土壤学科的研究往往多偏重于物理和化学方面,土壤生物学方面的研究相对较少^[1,2],国内这方面研究也不多见^[3~6]。土壤农田生态系统中生产者所生产物质的 80%要进入土壤中的残屑链,这些物质的分解主要靠土壤中营腐生活的微生物和土壤动物^[7]。他们将动植物尸体所包含的复杂有机物分解为简单的无机物并释放能量,归还给周围环境。蚯蚓是腐食性土壤动物,在分解过程中蚯蚓的作用仅次于土壤微生物而居于其他动物之上,所以蚯蚓在自然界的物质循环和生态平衡中起着巨大的作用^[8,9]。从蚯蚓入手研究在不同土壤肥力条件下的土壤生物演替规律具有重要意义。

本研究是在华北高产粮区——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进行的。分别选择了弃耕 30a 无秸秆还田历史的肥力较低的田块和经多年秸秆还田的肥力较高的田块进行土壤培肥试验,系统的研究了不同土壤培肥阶段和方式下土壤中蚯蚓群落动态演替规律,以揭示不同土壤肥力条件下的土壤培肥措施、施肥与蚯蚓之间的关系,为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,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 年全县粮食耕亩单产 1084kg,是华北第 1 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(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,在当地典型有秸秆还田历史的高产田上设置不同培肥与施肥处理进行研究,故称为前瞻性试验。同时选择了弃耕 30a 无秸秆还田历史的肥力较低的田块作为回顾性试验,主要考察土壤肥力在形成初期不同的秸秆还田和培肥方式对土壤生物的影响。试验设计见表 1,前瞻性试验和回顾性试验设置同样的试验处理。试验地土壤质地为粉壤土,其理化性质见表 2。

每年的麦秸施用量为 7.5t/hm²,玉米秸秆施用量为 8t/hm²;有机肥施用量为 2t/hm²,化肥量为常规施氮水平(600kgN/hm²);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,化肥施用分布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 80 000 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。

表 1 试验设计

Table 1 Experiment design

处理 Treatments	代号 Code
化肥 Chemical fertilizer	CF
麦还+化肥 Wheat straw +corn straw +chemical fertilizer	WS+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

表 2 试验地土壤理化性质

Table 2 Soil chemical properties of the experiment fields

处理 Treatment	有机质 Organic matter (%)	总氮 Total N (%)	总磷 Total P (%)	有效磷 Available P (mg/kg)	缓效钾 Slowly available K (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	pH (0.01M CaCl ₂)
前瞻性试验 Forward	1.83	0.12	0.11	19.83	774.23	135.37	8.26
回顾性试验 Backward	1.43	0.09	0.08	11.30	812.60	125.50	8.35

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 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—钒钼比色法;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 1M 醋酸铵浸提火焰光度计法测定;土壤 pH 值用氯化钙溶液浸提,酸度计测定。

1.2.3 数据分析方法 所得试验数据采用 SPSS 软件进行统计分析。

Simpson 多样性指数(D_2)的计算方法^[11]: $D_2 = N \times (N - 1) / \sum n \times (n - 1)$
式中, D_2 为多样性指数; N 为所有种个体总数; n 为一个种的个体数。

香农-威纳多样性指数 H 的计算公式^[11]: $H = - \sum_{i=1}^i (ni/N) \times \ln(ni/N)$

式中, H 为多样性指数; N 为所有种个体总数; ni 为一个种的个体数

均匀性指数采用皮洛公式^[11]: $e = H/\ln se$

式中, e 为均匀性指数, S 为蚯蚓种数

2 结果与分析

2.1 试验区蚯蚓种群结构特征

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环节动物门的寡毛纲的同一个目——后孔寡毛目,共分 3 科 7 个种,即链胃蚓科的日本杜拉蚓和天锡杜拉蚓;巨蚓科的湖北远盲蚓;威廉腔蚓;直隶腔蚓以及正蚓科的赤子爱胜蚓和梯形流蚓。但在不同的肥力条件下,蚯蚓的种群结构有所不同。

图 1 和图 2 分别是前瞻性试验和回顾性试验的蚯蚓种群组成状况,从图中可以清晰地看出不同土壤肥力条件下的蚯蚓种群的组成特点:在高肥力土壤上,梯形流蚓是该地区蚯蚓种群中的优势种,该种数量占总种群数量的比例范围是 33.69%~64.23%,在各处理中都占主要地位。排在第 2 位的是天锡杜拉蚓,其所占比例平均为 28.43%。日本杜拉蚓和湖北远盲蚓,分别占蚯蚓调查总数的 11.86% 和 6.89%,而赤子爱胜蚓和威廉腔蚓数量最少,直隶腔蚓只在 1 次调查中发现了 1 条。前瞻性试验表明,在研究区域的高肥力土壤中蚯蚓种群组成中以梯形流蚓和天锡杜拉蚓为主,而其他种类的蚯蚓数量较少。但在只施用化肥的处理中,优势种为天锡杜拉蚓,其次为梯形流蚓。

较低肥力土壤中蚯蚓优势种为天锡杜拉蚓,在 4 个试验处理中约占蚯蚓总数的 60% 以上,在高肥力土壤中为优势种群的梯形流蚓在低肥力土壤中出现数量较少,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。这与高肥力土壤上蚯蚓种群的分布规律有些不同。通过分析可以看出,天锡杜拉蚓对较为恶劣的土壤环境有较强的适应能力,在该地区的低肥力土壤中成为优势种,并且在肥力较高的土壤上分布也较为广泛,属于广布种。

2.2 蚯蚓种群的演替规律

通过试验调查,该地区低肥力土壤中蚯蚓种群密度 5 次调查各处理的平均值为 40.18 条/ m^2 ,高肥力土壤中蚯蚓的平均种群密度为 83.83 条/ m^2 ,明显高于低肥力土壤的蚯蚓的丰富度。蚯蚓种群的大小在耕作土壤中一般每平方米从几十条到 100 多条^[7]。因此高产土壤中蚯蚓的种群数量较为丰富,而低肥力土壤中蚯蚓数量仍处于较低水平。

所调查到的蚯蚓在低肥力土壤中为 3~5 种;而高肥力土壤为 4~7 种,蚯蚓种出现的频次和数量都要高于低肥力土壤中的蚯蚓。在所调查的蚯蚓种中,梯形流蚓在高肥力土壤中的种群密度最高,1997~1998 年期间 5 次调查平均种群密度为 45.16 条/ m^2 ,而在低肥力土壤上只有 1.62 条/ m^2 ;同样湖北远盲蚓尽管出现的种群密度不高,但在两种不同肥力土壤上出现的频次和数量差异也较为明显,这种显著的差异说明土壤肥力较高的土壤利于梯形流蚓和湖北远盲蚓生存;而其他几种蚯蚓种群数量变化不是特别明显,这说明土壤肥力对其他几种蚯蚓影响不大。从多样性指数 D_2 和 H 以及均匀度指数来看,高肥力土壤中的蚯蚓种的多样性比低肥力土壤中的蚯蚓种丰富,并且分布也较为均匀。

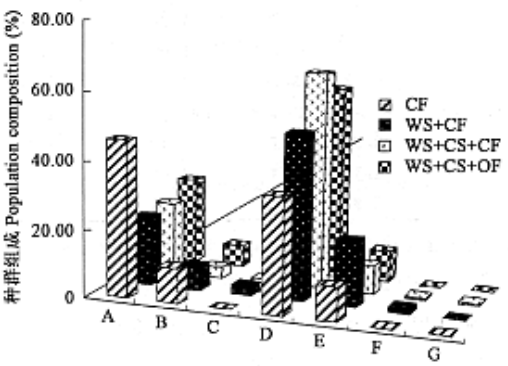


图 1 前瞻性试验蚯蚓种群组成及分布状况

Fig.1 Earthworm population composition in forward experiment
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 trapezoids*; E 日本杜拉蚓 *Drawida japonica*; F 威廉腔蚓 *Metaphire guillelmi*; G 直隶腔蚓 *M. tschilliensis*; 下图同 the same below

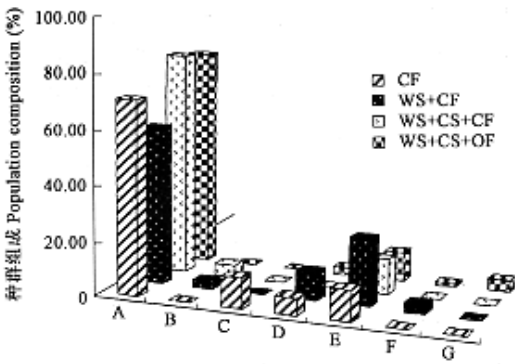


图 2 回顾性试验蚯蚓种群组成及分布状况

Fig.2 Earthworm population composition in backward experiment

表 3 两试验不同处理蚯蚓种的密度(条/m²)及种群多样性

Table 3 Earthworm density(indiv. /m ²) and population biodiversity of different treatments in the two experiments										
蚯蚓种类 Species	前瞻性试验 Forward experiment					回顾性试验 Backward experiment				
	CF	WS+CF	WS+CS +CF	WS+CS+ CF+OF	1997~1998	CF	WS+CF	WS+CS +CF	WS+CS+ CF+OF	1997~1998
A	28.83	18.17	23.50	40.83	111.33	16.79	25.46	48.79	60.67	151.71
B	6.50	6.50	3.67	10.33	27.00	0.00	1.33	2.67	0.00	4.00
C	0.00	2.50	1.33	0.00	3.83	2.67	0.00	0.00	0.00	2.67
D	21.17	43.67	70.33	90.67	225.83	1.47	4.67	0.00	2.00	8.13
E	6.33	17.33	9.33	14.83	47.83	2.67	10.79	7.58	8.00	29.04
F	0.00	1.33	1.00	0.00	2.33	0.00	1.33	0.00	0.67	2.00
G	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.33	3.33
合计 Total	62.83	89.50	110.17	156.67	419.17	23.59	43.58	59.04	74.67	200.89
种数 Species	4	6	7	4		4	5	3	5	
D2	2.99	3.17	2.19	2.42	2.66	1.94	2.49	1.44	1.49	1.69
H	1.19	1.34	1.08	1.07	1.20	0.66	1.11	0.56	0.69	0.87
e	0.86	0.75	0.56	0.77	0.62	0.48	0.69	0.51	0.43	0.45

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 trapezoids*; E 日本杜拉蚓 *Drawida japonica*; F 威廉腔蚓 *Metaphire guillelmi*; G 直隶腔蚓 *M. tschilliensis*

2.3 蚯蚓种群的演替规律与生产投入的关系

在农田生态系统中,蚯蚓的种群演替与土壤肥力密切相关^[7],蚯蚓不仅可作为土壤肥力高低的指示因子,同时肥料的投入特别是有机物的投入会影响到蚯蚓的分布和数量,良好的食物来源是增加蚯蚓种群数量和活性的重要措施,进而也会影响到蚯蚓种群的演替。

图 3 是 1997~1998 年前瞻性和回顾性试验田里的蚯蚓生物量。从图中可以明显看出,不同处理间蚯蚓的种群生物量分布有以下规律:化肥投入<化肥与麦秸还田<化肥与玉米麦秸全还田<化肥与玉米麦秸全还田以及有机肥的施用。无论在高肥力还是低肥力的土壤上都表现出相同的规律,这说明还田有机物在增加土壤生物活性和提高土壤肥力中的重要作用。

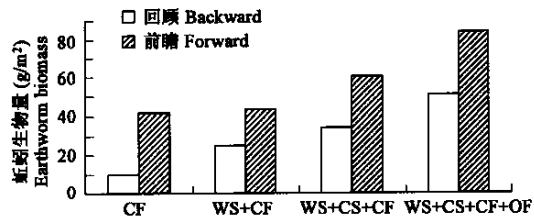


图 3 不同肥力条件下培肥措施对蚯蚓的影响

Fig. 3 Effects of increasing farming intensity on earthworm under different soil fertility

在气候条件一致的情况下,土壤有机质是影响蚯蚓分布和数量的重要因素,土壤有机质的高低又与有机肥的投入有关。前瞻性施用田块由于连续 10a 采用秸秆还田方式来培肥土壤,尽管是现代化的高投入高产出的生产方式,但土壤肥力并没有降低,其有机质含量维持在一个较高的水平上,为 1.83%。而在不同的土壤肥力条件下,低肥力土壤中的蚯蚓数量明显低于高肥力土壤(图 3),比如,在施用化肥处理中,高肥力土壤中 1997~1998 年全年调查的蚯蚓种群生物量是 42.00g/m²,而低肥力土壤的种群生物量只有 9.90g/m²,尽管进行的处理一样,但由于土壤基础肥力不同,蚯蚓的数量和种群结构都存在差异。

土壤肥力及生物的演变是一长期过程,不同的土壤培肥措施也会影响到蚯蚓的种群演替,从图 1、图 2 及表 3 的试验结果来看,蚯蚓种数、种群组成、多样性指数以及各种蚯蚓种在各处理中出现的频次并没有明显的规律性,经过一年的试验处理,不同的土壤培肥措施对蚯蚓的种群分布还没有明显的表现出来。

3 结论与讨论

通过调查发现,该地区农田生态系统中蚯蚓种类分布一般都在 7 个种左右,蚯蚓种的出现受各种因素影响,其中不同土壤肥力会影响到蚯蚓的种群丰富度、结构及分布。该地区高肥力土壤中蚯蚓相对较丰富,种群密度可达 83.83 条/m²,在 7 种蚯蚓中,梯形流蚓出现频率最高,在不同投入处理中都占主要地位,天锡杜拉蚓排第 2 位。而低肥力土壤中蚯蚓种群密度只有 40.18 条/m²,天锡杜拉蚓是土壤蚯蚓的优势种。

蚯蚓种群结构的演变与土壤肥力演变相关^[12]。前瞻性试验中土壤有机质和其他肥力指标明显高于回顾性试验土壤,这与当地持续采用秸秆还田方式进行土壤培肥的措施有极大的关系。而对于弃耕 30a 的土地来说,虽然蚯蚓的种类没有变化,但蚯蚓的数量较少。在所调查的蚯蚓中,梯形流蚓和湖北远盲蚓在前瞻性试验中的种群密度要明显高于回顾性试验地;而其他几种蚯蚓种群数量变化不大,这说明随着土壤肥力的演变,蚯蚓的这些种类种群数量并没有发生变化,但是他们在土壤生态系统的地位却在发生演变,低肥力土壤中天锡杜拉蚓的优势地位随着土壤肥力的提高逐渐被梯形流蚓所代替。

合理的有机物投入是土壤肥力形成和发展的重要措施,长期的秸秆还田和施用有机肥有益于提高土壤有机质、改善土壤结构,并可增强土壤生物的活性^[13]。试验表明高肥力土壤蚯蚓的种群数量明显高于低肥力土壤,并且在两试验中都表现出随着有机物投入的增加,土壤里的蚯蚓生物量呈增加趋势,但蚯蚓种群组成并没有表现出差异。如果进行长期试验,这种不同投入处理间分异会逐渐明显,可能会表现出蚯蚓种和组成结构之间的差别。无论是土壤肥力还是土壤中的生物都要经过一段很长时间演变,是生物与环境相互适用的结果。

References:

[1] Edwards C A, Lofty J R. *Biology of earthworms*. Chapman and Hall, 1977.

[2] Lee K E. *Earthworms-Their Ecology and Relationships with Soils and Landuse*. London: Academic Press, 1985.

[3] Hu F, Wu S M. Population characteristics of earthworm in red soil ecosystems under different utilization. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1992, **16**(1):65~71.

[4] Qian F SH, Wang Z Y. Relationship between soil fauna and soil environment in jujube garden of Shuidong, Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, **6**(1): 44~50.

[5] Wu W L, Qiao Y H, Xu Q. Ecological study on earthworm in farmland of salinity transforming region china north plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(7): 1109~11131.

[6] Qiao Y H, Wu W L, Xu Q. Relationship between production input and second succession of earthworm population in salinity transforming region of north China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(3): 114~116.

[7] Giller K E, Beare M H, Lavelle P, *et al.* Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.*, 1997, **6**: 3~16.

[8] 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.

[9] 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.

[10] Chen Y. China animal atlas——Annelida. Beijing:Science press, 1959. 2~16.

[11] Odum E P. Foundation of ecology. Sun R Y, *et al.* translated. Beijing:People Education Press, 1981. 136~153.

[12] Vaclav P. Succession of earthworm population in abandoned fields. *Soil Bil. Bioche.*, 1992, **24**(12): 1623~1628.

[13] 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.

参考文献:

[3] 胡锋, 吴珊眉. 不同土地利用方式红壤生态系统蚯蚓种群特征. 南京农业学报, 1992, **16**(1):65~71.

[4] 钱复生, 王宗英. 水东枣园土壤动物与土壤环境的关系. 应用生态学报, 1995, **6**(1): 44~50.

[5] 吴文良, 乔玉辉. 华北盐渍化改造区农田生态系统中蚯蚓种群特征——以河北曲周县为例. 生态学报, 2001, **21**(7):1107~1131.

[6] 乔玉辉, 吴文良. 华北盐渍化改造区蚯蚓种群次生演替与生产投入的关系——以河北省曲周试区为例. 应用生态学报, 2001, **12**(3):414~416.

[10] 陈义.《中国动物图谱——环节动物》.北京: 科学出版社, 1959. 2~16.

[11] Odum E P. 孙儒泳,等译. 生态学基础. 北京: 人们教育出版社,1981. 136~153.

[13] 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.