

# 不同土地利用方式下的蚯蚓种群特征及其与土壤生物肥力的关系\*

张宁<sup>1,2</sup> 廖燕<sup>1,3</sup> 孙福来<sup>4</sup> 王冲<sup>1</sup> 孙振钧<sup>1†</sup>

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

(2 清华大学热能工程系, 北京 100084)

(3 广东中鉴认证有限公司, 广州 510600)

(4 山东省滨州市农业局, 山东滨州 256600)

**摘要** 采用样方法对华北平原(河北曲周)盐渍化改造区7种土地利用方式下的蚯蚓种群进行详细调查,并通过培养实验研究了蚯蚓种群特征对若干土壤生物学指标的影响。结果表明:(1)在7种土地利用调查样地中共存在蚯蚓有3个科,5个属,5个种,其中赤子爱胜蚓(*Eisenia fetida*)占调查样地总个体数的60%以上,梯形流蚓(*Aporrectodea trapezoides*)和赤子爱胜蚓两个种在本地区广泛分布,样点出现频率分别为74%和44%,为该地区的优势种;(2)不同土地利用方式的蚯蚓种群密度及生物量变化趋势是:庭院菜地>直立免耕>清茬免耕>商品菜地>传统玉米地>果园>原貌地。其中庭院菜地蚯蚓种群的平均密度和生物量分别达到272 Ind. m<sup>-2</sup>和68.04 gm<sup>-2</sup>;(3)蚯蚓种群密度和物种数等种群特征与土壤基础呼吸强度、微生物生物量碳含量成显著正相关( $p < 0.01$ ),与土壤基础呼吸商成显著负相关( $p < 0.01$ );(4)不同土地利用方式下,蚯蚓的种群密度、生物量等种群特征对土壤中微生物群落的影响作用显著。蚯蚓生物量越大、种群越丰富的土壤有机质、氮、磷、钾等有效成分越高,反之则相反。室内培养实验表明,随着蚯蚓个体数量增加土壤原生动物的总丰度、微生物生物量碳、氮也存在升高的趋势,与用土壤生物学特性指标及土壤化学特性指标评价的结果基本一致。

**关键词** 蚯蚓种群特征;土壤生物肥力;土壤生物学性质;盐碱地;土地利用方式;

**中图分类号** S154.1 **文献标识码** A

随着人类对土地利用广度和深度的发展,土壤可持续利用与管理问题成为土壤和生态学家共同关注的重大理论和实践问题。对于农用土地而言,土壤的可持续性主要体现为土壤环境质量和土壤肥力的维持。前者涉及农产品的质量安全和人类健康,而后者则关系到土壤的持续生产力。事实上,土壤可持续性的实现很大程度上依赖于土壤肥力的改善<sup>[1]</sup>。大量研究表明,不同的土地利用状况和管理措施对土壤肥力变化有明显的影响<sup>[2]</sup>,这些研究主要针对土壤物理与化学肥力性状,较少关注土壤生物学肥力特征<sup>[3]</sup>。2003年,澳大利亚学者提出了土壤生物肥力(Soil biological fertility)的概念和基本内涵<sup>[4]</sup>,但结合土壤各类生物学指标、定量研究土壤生物肥力的报道较少。

蚯蚓在有机质分解、营养循环和土壤形成中起重要作用,它们通过取食、消化、排泄、分泌和掘穴等活动调节土壤物质循环和能量转化过程,被称为“生态系统工程师”<sup>[5-8]</sup>。此外,蚯蚓还可直接或间接改变土壤生物学性质,是土壤生物肥力形成中最为活跃的土壤动物类群之一。然而,目前关于不同土地利用方式下蚯蚓种群与土壤生物肥力指标间的关系研究较为薄弱。

本文选择华北盐渍化改造区7种土地利用方式,采用田间调查与室内分析及模拟培养相结合的方法,重点研究蚯蚓种群特征对土地利用方式的响应以及蚯蚓对土壤生物肥力的影响,旨在探明不同土地利用方式下蚯蚓种群差异特征、深入理解蚯蚓对于土壤生物肥力的指示价值及其在培育土壤生

\* 北京市生态重点学科(XK10019440)和高校博士点基金(20110008130003)资助

† 通讯作者, E-mail: Sun108@cau.edu.cn

作者简介:张宁(1983—),女,硕士,研究方向:土壤生态与肥力。E-mail: Soil.ning@yahoo.com.cn

收稿日期:2010-07-20;收到修改稿日期:2011-07-19

物肥力方面的作用和潜在贡献。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地概况

调查地点位于河北省邯郸市曲周县,位于河北省邯郸市的东北部,为黑龙港地区上游,该地属华北地区暖温带半湿润大陆性季风气候区,年均气温 13.1℃。年平均降雨量为 556.2 mm,年蒸发量 1841 mm,明显表现出干湿季节的交替。

### 1.2 样地选择

在曲周盐渍化改造区,根据当地土地利用方式的实际情况,按比例选择样地。包括原貌地、果园、菜地、玉米地等 7 种土地利用方式<sup>[9]</sup>。

原貌地一曲周实验站内未开垦过的一块盐渍化荒地,从建站至今已有 30 多年的历史;

果园—果园中种植的果树为苹果树,施有一定量的化肥和农药;

庭院菜地—为农舍前后的菜园地,长年种植各种蔬菜,有机肥施入量较高,不施农药、化肥;

商品菜地—蔬菜种植地块,长年种植蔬菜,施有一定数量的化肥和农药;

直立免耕—小麦秸秆还田免耕播种夏玉米,玉米秸秆全量覆盖还田,免耕播种冬小麦;

清茬免耕—小麦秸秆还田免耕播种夏玉米,玉米秸秆根茬还田,免耕播种冬小麦;

传统玉米地—小麦秸秆还田免耕播种夏玉米,玉米秸秆根茬还田,翻耕播种冬小麦。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 蚯蚓种群调查** 采用样方结合徒手分离法。在上述各土地利用方式中选取代表性样方 50 cm × 50 cm × 20 cm (长 × 宽 × 深度),清除地被物,用铁铲挖掘,小心破碎土块并置于白塑料布上,手拣其中的蚯蚓,计算种群密度。采集的蚯蚓带回实验室,用蒸馏水清洗掉体表的泥土后放在吸水纸上吸干水分,称其鲜重,用 75% 酒精处理后保存。蚯蚓鉴定主要根据体长、刚毛生长方式、环带位置、雄孔数等特征,具体鉴定和分类按《中国动物图谱—

环节动物》和《中国亚热带土壤动物》<sup>[10-11]</sup>。

Shannon-Weiner 多样性指数的计算:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \cdot \ln P_i$$

式中, $P_i$ 指  $i$  类群在群落中的个体比例,即  $P_i = n_i/N$ , $n_i$ 为该样地内第  $i$  个类群的个体数量, $s$ 为样地内类群的数目。

**1.3.2 分析测定方法** 土壤含水量采用烘干法测定;土壤 pH 值采用 pH 计 (Mi150) 测定;土壤有机质采用浓硫酸-重铬酸钾外加热氧化法测定;全氮采用浓硫酸消化-半微量凯氏定氮法测定;有效磷采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法测定;速效钾采用醋酸氨浸提-火焰光度计法<sup>[12]</sup>测定。原生动物测定采用三级十倍环式稀释法<sup>[13]</sup>;土壤呼吸强度采用碱吸收滴定法<sup>[14]</sup>测定;土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸-浓硫酸-重铬酸钾氧化容量法<sup>[15]</sup>测定;微生物生物量氮采用氯仿熏蒸-浓硫酸消化-半微量凯氏定氮法<sup>[15]</sup>测定。

### 1.4 室内模拟试验

为了解蚯蚓种群密度对土壤生物学性质的影响,建立室内模拟培养实验:供试土壤取自曲周实验站玉米清茬免耕和玉米直立免耕 2 种利用方式田块。土壤风干后过 2 mm 筛,分装于 30 cm × 20 cm × 35 cm 的瓦氏盆中(每盆 15 kg),土壤含水量调节至田间持水量的 60%;供试蚯蚓为赤子爱胜蚓,根据田间蚯蚓种群密度调查结果,蚯蚓投放量设 4 个处理,分别为:0, 2, 4, 8 条,每个处理设 3 个重复,蚯蚓清肠 24h 后投放到盆钵;盆钵置于 24℃ 恒温培养箱中避光培养;分别于第 0、20、40、60 天破坏性取样,测定不同处理土壤的原生动物总丰度,微生物生物量碳,微生物生物量氮。

## 2 结果分析

### 2.1 不同土地利用方式下土壤理化及生物学性状

根据不同耕作方式、施肥及秸秆还田方式,在曲周选取的 7 种土地利用方式,其土壤化学及生物学性质的测定结果见表 1、表 2。

表 1 不同土地利用方式下土壤理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of soils different in land-use

土地利用方式 Land-use types	含水量 Water content (%)	pH	有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium (mg kg <sup>-1</sup> )
原貌地 Abandoned land	14.63	8.93	7.61	0.36	10.40	319.6
果园地 Orchard	15.61	8.06	11.14	0.69	18.20	105.4
传统玉米地 Traditional corn land	15.57	8.08	12.43	0.64	20.28	113.8
清茬免耕地 Clean-stubble no-tillage	15.65	7.95	14.85	0.86	21.42	242.2
直立免耕地 Vertical no-tillage	16.75	8.19	16.47	0.87	28.27	262.7
商品菜地 Market vegetable plot	16.25	7.92	14.17	0.80	45.27	206.3
庭院菜地 Vegetablegarden	19.18	8.15	18.09	1.18	56.23	287.0

表 2 不同土地利用方式下土壤部分生物学性质

Table 2 Biological properties of soils different in land-use

土地利用方式 Land-use types	基础呼吸强度 Respiratory intensity (mgkg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	基础呼吸商 Respiratory quotient (h <sup>-1</sup> )	微生物生物量碳 Microbial biomass carbon (mgkg <sup>-1</sup> )	微生物生物量氮 Microbial biomass nitrogen (mgkg <sup>-1</sup> )	原生动物的总丰度 Protozoa total abundance (10 <sup>4</sup> g <sup>-1</sup> 干土)
原貌地 Abandoned land	14.67	0.014	88.39	46.79	1.38
果园地 Orchard	20.78	0.0087	118.2	58.83	1.3
传统玉米地 Traditional corn land	22.43	0.0086	124.3	59.92	1.4
清茬免耕地 Stubble-free non-tillage	24.92	0.0085	131.7	68.42	2.18
直立免耕地 Vertical non-tillage	30.67	0.0075	140.6	95.31	2.65
商品菜地 Market vegetable plot	27.25	0.0091	135.9	67.05	1.71
庭院菜地 Vegetablegarden	37.77	0.0077	144.4	81.61	4.08

测定结果表明,庭院菜地的土壤有机质含量最高(18.09 g kg<sup>-1</sup>),原貌地(7.61 g kg<sup>-1</sup>)最低,一般情况下,土壤有机质含量越高,蚯蚓的种群密度越高<sup>[16]</sup>。7种土地利用方式样地的土壤全氮含量为0.36~1.18 g kg<sup>-1</sup>,平均全氮含量为0.77 g kg<sup>-1</sup>。土壤速效磷为:10.40~56.23 mg kg<sup>-1</sup>;土壤速效钾为:80.41~319.60 mg kg<sup>-1</sup>。

土壤生物学性质的基本情况为:原生动物的总丰度为:1.19 × 10<sup>4</sup> ~ 4.08 × 10<sup>4</sup> 个 g<sup>-1</sup>干土;土壤基础呼吸强度为:0.61~1.57 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>;土壤微生物生物量碳为:88.39~144.4 mg kg<sup>-1</sup>;土壤微生物生物量氮为:47.57~95.31 mg kg<sup>-1</sup>。

## 2.2 不同土地利用方式下蚯蚓种群特征

由表3可见,在7种土地利用方式土壤中共检出链胃蚓科(Moniligastridae)、巨蚓科(Megascolecidae)和正蚓科(Lumbricidae)3科,杜拉蚓属(*Drawida* Michaelsen, 1990)、远盲蚓属(*Amyntas* Kinberg, 1867)、腔蚓属(*Metaphire* Sims et Easton, 1972)、流蚓属(*Aporrectodea* Orley, 1885)和爱胜蚓属(*Eisenia* Malm, 1877)等5属,有如下5个种:链胃蚓科杜拉蚓属的日本杜拉蚓(*Drawida japonica*)、巨蚓科远盲蚓属的湖北远盲蚓(*Amyntas hupeiensis*)、腔蚓属的威廉腔蚓(*Metaphire guillelmi*)、正蚓科流蚓属的梯形流蚓(*Aporrectodea trapezoides*)和爱胜蚓属的赤子爱胜蚓(*Eisenia fetida*)<sup>[17]</sup>。

表3结果显示,在原貌地、清茬免耕和直立免耕3种土地利用方式下调查到的蚯蚓以正蚓科的赤子爱胜蚓为主,占蚯蚓总个体数的60%以上;在果园、传统玉米地和庭院菜地3种利用方式下的蚯蚓以正蚓科的梯形流蚓为主,占蚯蚓总个体数的50%以上;而在商品菜地中则以巨蚓科的湖北远盲蚓为主,占蚯蚓总个体数的50%以上。

从不同蚯蚓种的检出率来看,在7种土地利用方式所有调查样点中,74%的样点出现梯形流蚓,44%的样点出现赤子爱胜蚓,说明这两个种在本地区广泛分布,属于广布种。而日本杜拉蚓、湖北远盲蚓及威廉腔蚓3个种分布范围小,出现的样点数仅占总调查样点数的24%、22%和6%。

蚯蚓多样性指数( $H'$ )的变化较为复杂,以庭院

菜地最高(1.113),直立免耕次之(1.04),而原貌地最低(0.367)。 $H'$ 指数着重于群落中种间的关系,当群落中有一些种类的数量过大时, $H'$ 值即下降。原貌地中,赤子爱胜蚓个体数为该种土地利用方式下蚯蚓总数的(87.99%),故原貌地的 $H'$ 指数低些。

不同土地利用方式的蚯蚓种群密度及生物量如表3。种群密度的变化趋势是:庭院菜地 > 直立免耕 > 清茬免耕 > 商品菜地 > 传统玉米地 > 果园 > 原貌地。其中庭院菜地耕作层中蚯蚓种群的平均密度为272 Ind. m<sup>-2</sup>,分别为原貌地的7.08倍,果园的3.78倍,玉米传统的3.45倍,清茬免耕的2.18倍,直立免耕的1.15倍,商品菜地的2.66倍。且庭院菜地蚯蚓生物量最高,为68.04 gm<sup>-2</sup>,原貌地最低,为6.12 gm<sup>-2</sup>。

## 2.3 蚯蚓种群特征与土壤部分生物学指标的相关性分析

根据田间调查结果,将样地中蚯蚓种的丰度、种群密度及生物量等种群特征指标与土壤生物学指标作相关性分析,结果显示调查区蚯蚓种群特征与土壤各生物学性质之间的相关性有不同的表现,如表4所示。

蚯蚓种群密度与土壤基础呼吸强度的相关系数为 $r = 0.936$ ,  $p < 0.01$ ,因此蚯蚓与微生物之间存在正相关。分别将蚯蚓种群密度与土壤微生物生物量碳、微生物量氮和原生动物的总丰度做相关性分析,结果表明蚯蚓种群密度与土壤微生物生物量碳的相关系数为 $r = 0.78$ ,  $p < 0.01$ ,与土壤微生物生物量氮的相关系数为 $r = 0.916$ ,  $p < 0.01$ ,与原生动物的相关系数为 $r = 0.941$ ,  $p < 0.01$ 。因此得出,蚯蚓与这三者之间均存在正相关关系。

通过对7种土地利用方式样地的调查,将各种生物学性状与蚯蚓的生物量做多元相关分析,结果如表4所示,蚯蚓的种数与土壤基础呼吸商成显著负相关, $r = -0.779$ ;多样性指数 $H'$ 是用来描述种的个体出现的紊乱和不确定性。不确定性越高,多样性也就越高。如表4所示,它与土壤基础呼吸强度、微生物生物量碳含量成极显著正相关,与土壤基础呼吸商成极显著负相关。

表 3 田间调查土地利用方式下蚯蚓种群多样性比较

Table 3 Comparison between lands different in land use in earthworm population and diversity

土地利 用方式 Land-use types	日本杜拉蚓 <i>Drawida japonica</i> (Ind. m <sup>-2</sup> )	湖北远盲蚓 <i>Amyntas hupeiensis</i> (Ind. m <sup>-2</sup> )	威廉腔蚓 <i>Metaphire guillelmi</i> (Ind. m <sup>-2</sup> )	梯形流蚓 <i>Aporrectodea trapezoids</i> (Ind. m <sup>-2</sup> )	赤子爱胜蚓 <i>Eisenia fetida</i> (Ind. m <sup>-2</sup> )	蚯蚓 种数(种) Species	总生物量(鲜重) Biomass(fresh weight) (g m <sup>-2</sup> )	总个体数 Total numbers (Ind. m <sup>-2</sup> )	Shannon-Weiner 指数 Shannon-Weiner Index ( <i>H'</i> )
原貌地 Abandoned land	0	0	0	4.61	33.79	2	6.12	38.4	0.367
果园地 Orchard	5.83	3.4	0	50.55	12.15	4	9.97	71.94	0.896
传统玉米地 Traditional corn land	0	17.41	0	52.53	14.76	3	17	78.8	0.918
清茬免耕地 Stubble-free non-tillage	10.75	4.85	2.43	20.11	86.67	5	25.7	124.8	0.96
直立免耕地 Vertical non-tillage	14.24	11.6	7.38	51.16	151.38	5	55.78	235.76	1.042
商品菜地 Market vegetable	0	56.32	34.5	11.525	0	3	29.51	102.4	0.941
庭院菜地 Vegetable land	0	18.669	22.09	124.22	107.03	4	68.04	272	1.113

表 4 蚯蚓种群特征与土壤部分生物学性质的相关系数

Table 4 Correlation coefficients of the characteristics of earthworm population with soil biological properties

蚯蚓种群特征 Earthworm population characteristic	土壤生物学性质 Soil biological properties				
	基础呼吸强度 Respiratory intensity	基础呼吸商 Respiratory quotient	微生物生物量碳 Microbial biomass carbon	微生物生物量氮 Microbial biomass nitrogen	原生动物的总丰度 Protozoa total abundance
种 Species	0.662	-0.779*	0.691	0.849	0.511
种群密度 Population density	0.936**	-0.654	0.78**	0.916**	0.941**
生物量 Biomass	0.947**	-0.626	0.783**	0.897**	0.933**
年龄结构 Age structure	0.056	0.273	-0.064	-0.260	-0.008
<i>H'</i> 指数 <i>H'</i> index	0.836**	-0.914**	0.898**	0.752	0.563

注: \* 表示  $p < 0.05$  水平上的显著性; \*\* 表示  $p < 0.01$  水平上的显著性 Note: \* means significant differences with  $p < 0.05$ ; \*\* means significant differences with  $p < 0.01$

蚯蚓活动与微生物之间存在着各种直接或间接的关系。通过对 7 种土地利用方式样地的调查,将各种生物学性状与蚯蚓的生物量做多元相关分析,结果如表 4 所示,蚯蚓的种数与土壤基础呼吸商成显著负相关,  $r = -0.779$ ;多样性指数  $H'$  是用来描述种的个体出现的紊乱和不确定性。不确定性越高,多样性也就越高。如表 4 所示,它与土壤基础呼吸强度、微生物量碳含量成极显著正相关,与土壤基础呼吸商成极显著负相关。

土壤呼吸反应了土壤微生物的活性<sup>[18]</sup>,可通过改变微生物的数量、群落结构和组成等方式,提高微生物的活性。因此蚯蚓种群的多样性与土壤基础呼吸强度、微生物量碳及微生物量氮成正相关关系。同时蚯蚓活动能提高土壤养分的有效性和养分周转率,且具有扩大土壤中微生物量碳、氮库和促进有机氮矿化的双重作用<sup>[19]</sup>。

**2.4 室内模拟条件下蚯蚓种群特征对土壤生物学指标的影响**

以清茬免耕和直立免耕为例,实验室模拟研究蚯蚓种群特征对土壤生物学指标的影响(0、2、4、8 分别表示不同处理投入的蚯蚓数量)。结果如下:

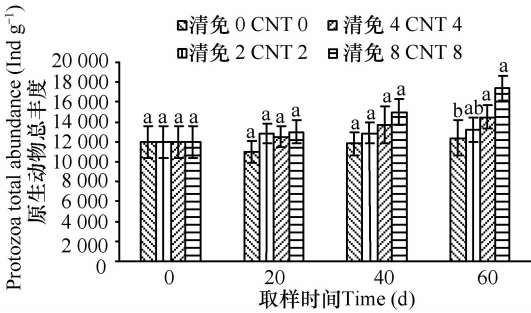


图 1 清茬免耕不同处理土壤原生动物的总丰度

Fig. 1 Total abundance of protozoa in soils of stubble-free non-tillage treatment

**2.4.1 对原生动物的总丰度的影响** 不同取样时间内不同处理的清茬免耕、直立免耕处理蚯蚓密度与土壤原生动物的总丰度关系如图 1、图 2 所示。0d 取样时,清茬免耕和直立免耕处理各密度级的原生动物的总丰度值是一致的,随着培养时间的增加,原生动物的总丰度值表现出差异。20d、40d、60d 取样时,清茬免耕处理原生动物的总丰度随着蚯蚓投入量的增加而增加,且 60d 时各密度级之间表现出显著差异,清免 8 处理土壤原生动物的总丰度为  $1.74 \times 10^4$  个  $g^{-1}$  干土,较清免 0 处理的  $1.24 \times 10^4$  个  $g^{-1}$  干土增加了 40%。直立免耕处理中,除 40d 时直免 2 的原生动物的总丰度稍有降低外,均呈现与清茬免耕相同的变化趋势,原因可能是直立免耕土壤为玉米秸秆全覆盖还田其中未分解的物质较多,而蚯蚓投入量较少且需经过一个适应的过程。

**2.4.2 对微生物生物量碳的影响** 不同取样时间内不同蚯蚓投入量的清茬免耕和直立免耕土壤微生物生物量碳如图 3、图 4 所示。清免与直免的微生物生物量碳均表现了相同的趋势,微生物生物量碳随着培养时间的增加和蚯蚓投入量的增加而增加。

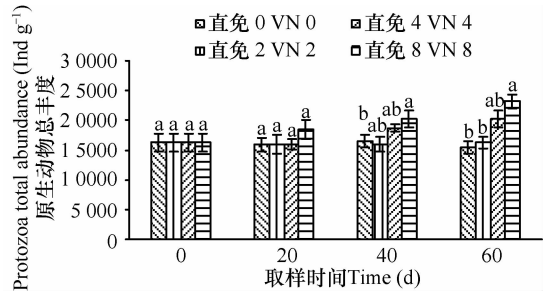


图 2 直立免耕不同处理土壤原生动物的总丰度

Fig. 2 Total abundance of protozoa in soils of vertical non-tillage treatment

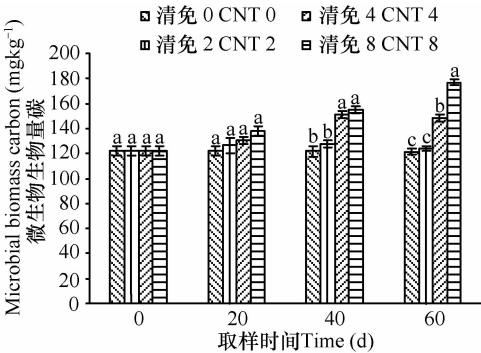


图 3 清茬免耕不同处理土壤微生物生物量碳

Fig. 3 Soil microbial biomass carbon contents in stubble-free non-tillage soils

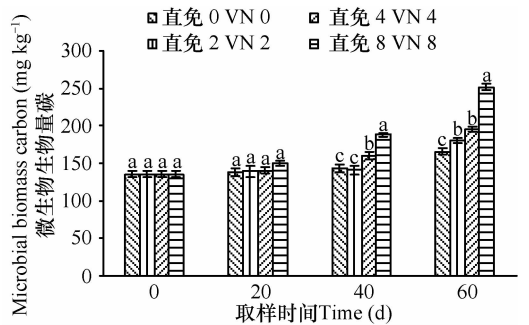


图 4 直立免耕不同处理土壤微生物生物量碳

Fig. 4 Soil microbial biomass carbon contents in vertical non-tillage soils

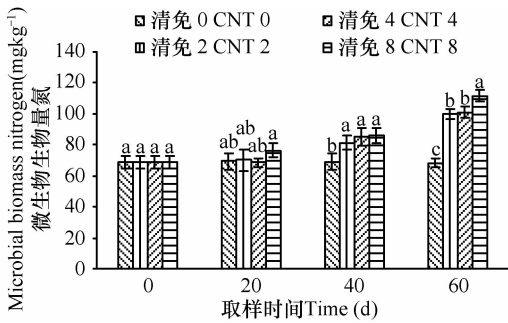


图 5 清茬免耕不同处理土壤微生物生物量氮

Fig. 5 Soil microbial biomass nitrogen contents in stubble-free non-tillage soils

清茬免耕处理在第 40 天取样时,处理之间差异显著,清免 8 处理土壤微生物生物量碳最高,为  $154.64 \text{ gkg}^{-1}$ ,分别较清免 4 处理、清免 2 处理和清免 0 处理增加了 5.95%、24.31%,和 26.95%。第 60 天取样时,处理之间差异显著,仍然是清免 8 处理土壤微生物生物量碳最高,为  $176.79 \text{ gkg}^{-1}$ 。

直立免耕土壤微生物生物量碳也表现了与清茬免耕相同的特点,第 40 天和第 60 天取样时,处理之间差异显著,直免 8 处理土壤微生物生物量碳最高,分别为  $188.41 \text{ gkg}^{-1}$  和  $251.95 \text{ gkg}^{-1}$ 。

从两处理微生物生物量碳的变化趋势来看,蚯蚓投入量越多,微生物生物量碳的含量越高,蚯蚓的活动显著提高了土壤微生物生物量碳的含量,与胡峰<sup>[20]</sup>等人的研究相符。蚯蚓的破碎和吞噬作用,加速了土壤中有有机物质的分解和矿化为微生物生物量碳的增加提供了基础。

**2.4.3 对微生物生物量氮的影响** 不同取样时间内不同蚯蚓投入量的清茬免耕和直立免耕土壤微生物生物量氮如图 5、图 6 所示,微生物生物量氮同样随着培养时间的和蚯蚓投入量的增加而增加。

在第 40 天取样时,处理之间差异显著,清免 8 处理土壤微生物生物量氮最高,为  $86.09 \text{ mgkg}^{-1}$ ,但是清免 8、清免 4 和清免 2 之间不存在显著性差异。第 60 天取样时,处理之间差异显著,仍然是清免 8 处理土壤微生物生物量氮最高,为  $111.65 \text{ mgkg}^{-1}$ 。

直立免耕土壤微生物生物量氮在第 40 天和第 60 天取样时,处理之间均差异显著,并且均以直免 8 处理土壤微生物生物量氮最高,分别为  $116.02 \text{ mgkg}^{-1}$  和  $170.26 \text{ mgkg}^{-1}$ 。

微生物生物量氮的变化同样表现了随着蚯蚓投入量的增加而增加的趋势,但是微生物生物量氮的相对数值小于微生物生物量碳,原因可能是由

于,蚯蚓的活动可以促进土壤碳素矿化的原因<sup>[21]</sup>,从而影响了微生物群落的氮素代谢。

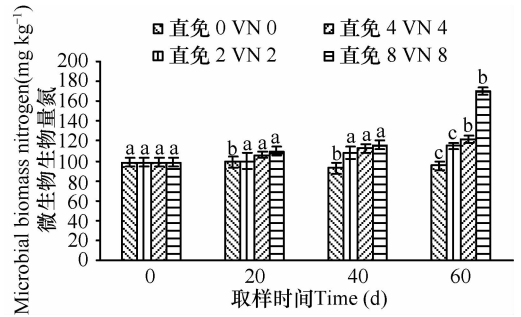


图 6 直立免耕不同处理土壤微生物生物量氮

Fig. 6 Soil microbial biomass nitrogen contents in vertical non-tillage soils

综上所述,蚯蚓种群特征与其在土壤的不同利用方式下的生境状况密切相关,对土壤生物学指标有一定的响应关系,由此可见,将土壤中蚯蚓的种群特征研究与土壤生物肥力评价相结合,是很有意义的。

### 3 讨 论

蚯蚓田间调查结果表现为,庭院菜地和商品菜地的蚯蚓种群密度高,说明当地种植蔬菜的方式有利于保持和提高土壤中蚯蚓种群的密度,根据农户调查该地区农户对于菜地多施用农家肥,较少施用化肥;绝大多数的厩肥、人畜粪尿均投入菜地之中;此外,落地腐烂的菜叶成为蚯蚓较好的食物,地表覆盖物对土壤起到较好的保温作用,这些措施都有利于蚯蚓的生长和繁殖,提高了蚯蚓种群的密度。

原貌地土壤贫瘠,生态环境恶劣,植被难以生长,凋落物极少,有机质含量最低,对该区蚯蚓数量有较大影响,因此蚯蚓种群密度最小。

果园由于种植果树为多年生木本植物,年枯枝落叶量少,加之施肥不合理,以及施用农药,毒死蜱石硫合剂、甲胺磷、乙磷铝锰锌和波尔多液等,造成果园土壤质量下降,以至于蚯蚓种群密度也不是很高。

由此可见,大量施用有机肥,少施农药化肥以及较少人工干扰的菜地,蚯蚓的种群密度相对较高;而种植单一作物,人工干扰频繁,并且施用农药、化肥的农田中蚯蚓种群密度普遍偏低。

而室内培养实验证明,蚯蚓的活动能显著影响

土壤原生动、土壤微生物生物量碳、土壤微生物生物量氮,从另一个角度说明了蚯蚓种群与土壤微生物肥力存在一定的相关关系,但由于实验研究的设计及方法的限制,未能将蚯蚓种群与土壤全部生物肥力做相关分析,从而没有明确的显示蚯蚓与土壤酶活、土壤微生物总数等生物肥力的相关关系,但仍可以表明蚯蚓的活动对于调节土壤中的原生动、微生物的含量具有一定的贡献作用。

## 4 结 论

1)在调查样地的 0~20cm 的耕作层中,共检出蚯蚓有 3 个科,5 个属,5 个种,爱胜蚓科占较大比例,其中梯形流蚓和赤子爱胜蚓是该地区的优势种,且庭院菜地蚯蚓种群密度、生物量最高和多样性指数( $H'$ )最高,商品菜地次之,原貌地最低,结合调查样地的土地利用情况及土壤肥力状况,不同土地利用方式下土壤化学性质和部分生物学性质表现:庭院菜地的氮、磷、钾及有机质含量为七种利用方式中最高,直立免耕地次之,原貌地含量最低;土壤生物学指标除微生物量氮为直立免耕最高外,其余均表现为庭院菜地高于其余土地利用方式,且原貌地各项指标值都表现最低。

2)蚯蚓种群密度、生物量、多样性指数( $H'$ )与土壤部分生物学指标(土壤基础呼吸、微生物量碳、微生物量氮、原生动总丰度)均存在正相关关系,说明蚯蚓的种群特征对土壤生物肥力有一定的指示作用。

3)相关性分析结果显示,不同土地利用方式下,蚯蚓的种群密度、生物量等种群特征对土壤中微生物群落的影响作用显著。用蚯蚓种群特征评价不同土地利用方式中土壤生物肥力的优劣与用土壤生物学特性指标及土壤化学特性指标评价的结果基本一致,表明蚯蚓的种群特征指标也可以在大体上综合反映土壤的生物肥力。

## 参 考 文 献

[ 1 ] 周根娣,田光明,周忠贤. 农用土地资源利用的可持续性评价—以河北省曲周县为例. 上海农业学报, 2005, 21(3): 83—87. Zhou G D, Tian G M, Zhou Z X. Sustainability evaluation of farmland utilization in Quzhou County (In Chinese). Acta Agriculture Shanghai, 2005, 21(3): 83—87

[ 2 ] 张心昱,陈利顶,傅伯杰,等. 农田生态系统不同土地利用方式与管理措施对土壤质量的影响. 应用生态学报, 2007, 18(2): 303~309. Zhang X Y, Chen L D, Fu B J, et al.

Effects of land use and management practice on farmland soil quality in Yanhai basin of Beijing (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 303—309

[ 3 ] 肖焯,张于光,张小全,等. 土地利用变化对土壤肥力影响研究进展. 世界林业研究, 2007, 20(1): 6~9. Xiao Y, Zhang Y G, Zhang X Q, et al. Review on the influence of land use changes on soil fertility (In Chinese). World Forestry Research, 2007, 20(1): 6—9.

[ 4 ] Abbott L K, Murphy D V. Soil biological fertility. Springer, Kluwer Academic Publishers, 2003

[ 5 ] 张卫信,陈迪马,赵灿灿. 蚯蚓在生态系统中的作用. 生物多样性, 2007, 15(2): 142—153. Zhang W X, Chen D M, Zhao C C. Functions of earthworm in ecosystem (In Chinese). Biodiversity Science, 2007, 15(2): 142—153

[ 6 ] 贺彦才. 蚯蚓对改良土壤和改善农业生态环境的作用. 黑龙江农业科学, 2004, 6: 42~44. He Y C. Role of earthworms to the soil improvement and the agro ecosystems (In Chinese). Heilongjiang Agricultural Sciences, 2004, 6: 42—44

[ 7 ] 黄初龙,张雪萍. 蚯蚓环境生态作用研究进展. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1466~1470. Huang C L, Zhang X P. Research progress on environmental and ecological functions of earthworm (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(12): 1466—1470

[ 8 ] Decaens T, Mariani L, Lavelle P. Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plain of Colombia. Applied Soil Ecology, 1999, 13: 87—100

[ 9 ] 乔玉辉,吴文良,徐芹,等. 华北盐渍化改造区蚯蚓种群次生演替与生产投入的关系——以河北省曲周县为例[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 414—416. Qiao Y H, Wu W L, Xu Q, et al. Relationship between production input and secondary succession of earthworm population in salinity transforming region of North China—A case study in Quzhou County (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(3): 414—416

[ 10 ] 尹文英,等. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992. Yin W Y, et al. Chinese subtropical soil animals (In Chinese). Beijing, Science Press, 1992.

[ 11 ] 陈义. 中国动物图谱—环节动物. 北京: 科学出版社, 1959: 2—16. Chen Y. Chinese Animal Map—Annelid (In Chinese). Beijing: Science Press, 1959: 2—16

[ 12 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30—58. Bao S D. Soil agriculture chemical analysis (In Chinese). Beijing, China Agricultural Press, 2000: 30—58.

[ 13 ] 土壤动物研究方法手册编写组, 土壤动物研究方法手册. 北京: 中国林业出版社, 1998: 62—68. Compilation Group of Soil Animals Research. Manual of soil animals research methods (In Chinese). Beijing: China Forestry Publishing House, 1998: 62—68

[ 14 ] Salminen J, Liiri M, Haimi J. Responses of microbial activity and decomposer organisms to contamination in microcosms containing coniferous forest soil. Ecotoxicol Environ Safety, 2002, 53(1): 93—103



- [15] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006. Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, et al. Determination and application of soil microbial biomass (In Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2006
- [16] 刘长海, 骆有庆, 陈宗礼, 等. 土壤动物群落生态学与土壤微生态环境的关系, 生态与环境, 2007, 16(5): 1564—1569. Liu C H, Luo Y Q, Chen Z L, et al. The relationship between soil animal community ecology and soil micro-ecological-environment. Ecology and Environment, 2007, 16(5): 1564—1569
- [17] 黄健, 徐芹, 孙振钧, 等. 中国蚯蚓资源研究: I. 名录及分布. 中国农业大学学报 2006, 11: 9—20. Huang J, Xu Q, Sun Z J, et al. Research on earthworm resources of China: I. Checklist and distribution (In Chinese). Journal of China Agricultural University, 2006, 11: 9—20.
- [18] Lee K H, Jose S. Soil respiration, fine root production, and microbial biomass in cottonwood and loblolly pine plantations along a nitrogen fertilization gradient. Forest Ecology and Management, 2003, 185: 263—273
- [19] Cortez J, Billes G, Bouch M B. Effect of climate, soil type and earthworm activity on nitrogen transfer from a nitrogen-15-labelled decomposing material under field conditions. Biol Fertil Soils, 2000, 30: 318—327
- [20] 胡峰, 王霞, 李辉信, 等. 蚯蚓活动对稻麦轮作系统中土壤微生物量碳的影响. 土壤学报, 2005, 42(6): 965—969. Hu F, Wang X, Li H X, et al. Effects of earthworms on soil microbial biomass carbon in rice-wheat rotation agro-ecosystem (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(6): 965—969
- [21] 刘宾, 李辉信, 朱玲, 等. 接种蚯蚓对潮土氮素矿化特征的影响. 土壤学报, 2007, 44(1): 99—105. Liu B, Li H X, Zhu L, et al. Effects of earthworms on nitrogen mineralization in fluvo-aquic soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(1): 99—105

## EARTHWORM POPULATION CHARACTERISTICS IN SOILS DIFFERENT IN LAND USE AND THEIR RELATIONSHIPS WITH BIOLOGICAL FERTILITY OF THE SOILS

Zhang Ning<sup>1,2</sup> Liao Yan<sup>1,3</sup> Sun Fulai<sup>4</sup> Wang Chong<sup>1</sup> Sun Zhenjun<sup>1†</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

(2 Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

(3 Guangdong Zhongjian Certification Co., Ltd, Guangzhou 510600, China)

(4 Agricultural Bureau at Binzhou City in Shandong Province, Binzhou, Shandong 256600, China)

**Abstract** Field surveys were carried out to investigate earthworm species in soils in 7 land-use types in salinity transforming region of Quzhou Country, Hebei Province and indoor incubation was done to study influences of earthworm population to soil biological parameters. Results show that (1) 5 species of earthworms were found, belonging to 5 genera and 3 families, with *Eisenia fetida* in dominance over 60% in number of individuals, and two species of *Aporrectodea trapzoides* and *Eisenia fetida* were widely distributed in this area, the present frequency in samples were 74% and 44% respectively, as the dominant species; (2) the order of earthworm population density and biomass change tendency in different land use types was: vegetable garden > vertical no-tillage > clean-stubble no-tillage > market vegetable plot > traditional corn land > orchard > abandoned land. The earthworm average population density and biomass were highest was in vegetable garden, achieving 272 Ind. m<sup>-2</sup> and 68.04gm<sup>-2</sup> respectively; (3) Among the relationships between earthworm population characteristics and biological properties of soils the earthworm population density and the species number were positively correlated with soil basal respiration and microbial biomass carbon content significantly ( $p < 0.01$ ), but soil basal respiration quotient existed significantly negative correlation ( $p < 0.01$ ); (4) the effects of earthworm population density and biomass on soil microbial communities were significant. The greater the earthworm biomass and population, the higher the contents of soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus, available potassium, and conversely contrary. Moreover the lab experiment also indicates that soil protozoa, microbial carbon, and microbial nitrogen tended to increase with the rise of the number of earthworm individuals. The characteristics of earthworm population can also be used as indicators in evaluating soil biological fertility, just like soil biological indicators and soil chemical indicators.

**Key words** Earthworm population; Soil biological fertility; Soil biological properties; Salinity soil; Land-use type