

不同土壤培肥措施下农田有机物分解的生态过程

李云乐, 乔玉辉*, 孙振钧, 张瑞清, 庞军柱

(中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094)

摘要:通过在河北曲周实验站的田间试验,研究了 4 种不同土壤培肥措施条件下农田生态系统中几种主要土壤生物随有机物分解的变化规律、有机物的分解及其主要影响因素。研究结果表明:除土壤线虫外,其他几种主要的土壤生物的分布规律基本上是堆肥区> 原貌区> 对照区> 化肥区,与施入的有机物(小麦秸秆)的分解规律一致。在受人为扰动的堆肥区、化肥区和对照区土壤中,细菌占绝对优势,而在未开垦的原貌区中,真菌起着重要作用。

在有机物分解初期,土壤微生物能比较快地迁移到秸秆表面,秸秆表面的生物数量最多的是细菌,随着细菌的数量增加,原生动物的数量亦呈现增加趋势,蚯蚓数量增多,而线虫的数量则减少。而有机物分解后期,真菌的数量逐渐减少,蚯蚓的数量也呈下降趋势,有机物的分解速度减慢。通过灰色关联度分析,9 种外界因素(生物因素和环境因素)对小麦秸秆分解作用的相对重要程度排序:土壤温度(0.844)> 蚯蚓(0.777)> 真菌(0.764)> 全氮(0.754)> 线虫(0.753)> 有机质(0.742)> 细菌(0.738)> 原生动物(0.693)> 土壤含水量(0.661),其中土壤温度和蚯蚓是影响土壤有机物分解的最重要的两个因素。

关键词:农田;有机物分解;土壤生物;生态过程

文章编号:1000-0933(2006)06-1933-07 中图分类号:Q143, S154.5 文献标识码:A

The eco-process of agricultural organic matter decomposition under different soil conditions

LI Yun-Le, QIAO Yu-Hui*, SUN Zhen-Jun, ZHANG Rui-Qing, PANG Jun-Zhu (China Agricultural University, College of Agricultural Resource and Environment, Beijing, 100094). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1933~ 1939.

Abstract: The decomposition of organic matter and the succession of different soil fauna population during this process were studied under four different soil fertility maintaining treatments at Quzhou experimental Station of Hebei Province. The results showed that the numbers of some main soil fauna — excluding nematodes — differed between treatments with the highest number in the compost plot (OF followed by the untilled plot (OR) and the control plot (CK) with the lowest numbers in the chemical fertilization plot (CF). This trend was in accord with the trend of decomposition rate in the different treatments. In the compost plot, the control plot and the chemical fertilization plot, bacteria-based food webs play the main role in regulating organic matter decomposition. Contrary to this, fungal-based food web plays a larger role in regulating organic matter decomposition in the untilled plot.

At the initial stage of the decomposition, the biomass of bacteria was greater, the number of protozoa increased, and so did the number of earthworms under all treatments. At the late decomposition stage, the biomass of fungi and the number of earthworms decreased, which was correlated with a decreasing decomposition rate. Gray correlation analysis was used to study the relationships between the organic matter decomposition rate and environmental or biological factors. The most important regulating factors in descending sequence were Soil temperature (0.844), Number of earthworms (0.777), fungi (0.764), total nitrogen

基金项目:国家“973”重大基础研究前期研究专项资助项目(2002CCA00800);北京市生态学重点学科资助项目(XK10019440)

收稿日期:2005-04-18;修订日期:2006-01-19

作者简介:李云乐(1979~),女,辽宁鞍山人,硕士生,主要从事土壤生态学研究. E-mail: dream_ljl@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qiaoyh@cau.edu.cn

Foundation item: The project was supported by prophase research of 973 National Key Basic Project (No. 2002CCA00800), Beijing Key discipline construction project for ecology (No. XK10019440)

Received date: 2005-04-18; **Accepted date:** 2006-01-19

Biography: LI Yun-Le, Master candidate, mainly engaged in soil ecology. E-mail: dream_ljl@163.com

(0.754), Numbers of nematodes (0.753), Soil organic matter(0.742), Numbers of bacteria(0.738), protozoa(0.693) and soil moisture(0.661), Therefore, soil temperature and the number of earthworms were the main factors that affected the organic matter decomposition rates.

Key words: agriculture; wheat straw decomposition; soil biota; eco-process

随着我国农业的迅猛发展, 每年都有大量的农业废弃物产生。据报道, 我国各类农作物秸秆的年总产量达 7.0×10^8 t 以上, 但利用率不足 30%^[1], 相当多的地区, 每年将大量秸秆就地烧毁, 使得其中 70% 以上的纤维素、木质素等得不到利用, 而且燃烧释放出的有害气体严重污染大气, 妨碍交通安全^[2]。有机废弃物的分解和处置成为一个必须解决的难题。

土壤生物处理是实现有机废弃物自然净化和资源化的一条有效途径。尽管目前对有机物的分解进行了众多研究, 但多集中在土壤微生物对有机物分解的作用上面^[3~5], 并没有从土壤生态系统水平上去揭示土壤生物(微生物与动物)间存在着的极其复杂的链网作用关系及其在有机物分解过程中的作用和演替规律。实际上, 在土壤生态系统中, 其中某一种群的变化会导致其它种群的相应变化, 并影响有机物的高效分解, 本文将在生态系统水平上, 从农田有机物分解的生态过程入手, 研究农田有机物分解和转化的生态过程、影响因素及调控途径; 为土壤生态系统的模拟研究和有机废弃物资源高效利用提供科学依据。

1 研究地点概况

试验在中国农业大学曲周实验站进行, 实验站位于河北省邯郸市曲周县北部, 为黑龙港地区上游, 属内陆冲积平原浅层咸水型盐渍化低产地区。土壤为改良后的轻盐化潮褐土。全县面积 674.8km², 属温带半湿润季风气候区。冬春寒冷干燥, 夏季温暖多雨, 降水少, 蒸发强烈, 春旱尤为严重, 可一年两熟。年平均气温 13.1℃, 7 月份最热, 平均气温 26.8℃。无霜期年平均 201d, 年均降水量 556.2mm, 年平均蒸发量是平均降水量的 3.3 倍。

2 研究方案与材料方法

2.1 试验方案

试验于 2004 年 6 月开始进行, 在试验站内已有 11a 的土壤培肥历史的试验区上, 选取土壤条件不同的堆肥区(OF), 化肥区(CF), 对照区(CK) 及原貌区(OR) 进行小区试验。对照区不施肥; 堆肥区使用的是传统的有机肥, 每公顷 15t; 化肥区为当地施用的化肥量为每年每公顷 0.75t 碳铵, 0.3t 尿素, 0.75t 过磷酸钙; 原貌区是实验站北侧从未受到人为干扰的区域, 其植被主要是盐蒿、茅草和零星分布的芦苇等。小区随机分布, 重复 3 次。小区大小为 10.5m × 3m, 当季作物为玉米, 前茬作物为冬小麦; 4 种土壤的理化性质见表 1。

将风干的小麦秸秆剪成 3~5cm 段, 80℃烘干 8h, 称取 20.0g, 装入网眼大小约为 1cm 的塑料网袋(20cm × 20cm)中, 网袋的底面铺网眼 1mm 的尼龙网布防止麦秸漏出。将封好的网袋于 2004 年 6 月 22 日埋入上述 4 种不同条件的土壤中, 埋深为 20cm 左右, 分别于 2004 年 7 月 2 日、7 月 12 日、8 月 1 日、8 月 23 日、9 月 15 日、10 月 9 日取样 6 次。

表 1 供试土壤的基本理化性质
Table 1 Soil chemical properties of the experiment fields

处理 Treatment	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N(g/kg)	有效氮 Available N (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	pH (0.01 mol/L CaCl ₂)	含盐量 (mg/kg)
堆肥区 OF	17.0	0.11	102.02	73.55	34.37	7.93	0.88
化肥区 CF	11.0	0.08	57.45	42.17	11.36	8.02	1.19
对照区 CK	10.0	0.07	49.11	75.60	12.12	7.98	1.27
原貌区 OR	7.60	0.33	4.99	128.80	4.69	7.87	11.47

2.2 调查取样及分析方法

蚯蚓种群调查采用样方徒手分离法, 取样时, 在每个采样点取土(长 × 宽 × 深) 20 × 20 × 20cm³ 的样方, 置

于平展于地的塑料布上采用手捡法捡取蚯蚓^[6]。小心取出样袋,去除分解的秸秆表面附着土,分离参与有机物分解的主要土壤生物。土壤线虫采用湿漏斗法分离,体视镜下计数(表2),并按口器形态等特征划分为植食性线虫(植物寄生线虫)、食细菌线虫、食真菌线虫和捕杂食线虫等4个营养类群^[7];土壤原生动物采用“3级10倍”环式稀释法来间接计数(表3),并鉴定鞭毛虫、肉足虫、纤毛虫3类。测定用环式稀释法^[8],土壤微生物用稀释平板法培养计数,其中细菌培养基为牛肉膏蛋白胨,真菌培养基为马铃薯葡萄糖^[9]。

秸秆分解率采用粗灰化法测定^[9],土壤理化性质测定方法按照常规分析方法进行^[9]。

所得试验数据采用SPSS数据处理软件进行统计分析。无特殊说明,均取显著水平 $p=0.05$ 。

表2 4种培肥措施下土壤线虫总数的变化(条/g)

Table 2 dynamic changes of total nematode numbers in four different soil during organic matter decomposition (indiv/g)

处理 Treatment	日期 Sampling date						均值 Average
	2004-07-2	2004-07-12	2004-08-1	2004-08-23	2004-09-15	2004-10-9	
堆肥区 OF	667.0	360.0	132.8	355.5	378.1	281.4	362.5
化肥区 CF	584.7	609.5	257.8	430.2	437.4	626.1	491.0
对照区 CK	614.8	330.0	115.8	348.4	381.2	824.5	435.8
原貌区 OR	308.0	580.7	157.3	371.2	451.4	347.5	372.5

表3 4种不同培肥措施下土壤原生动物总数的变化($\times 10^4$ 个/g)

Table 3 dynamic changes of total protozoa numbers in four different soil during organic matter decomposition ($\times 10^4$ ind./g)

处理 Treatment	日期 Sampling date						均值 Average
	2004-07-2	2004-07-12	2004-08-01	2004-08-23	2004-09-15	2004-10-09	
堆肥区 OF	10.71	1.24	1.06	10.17	1.81	4.95	4.99
化肥区 CF	0.15	1.01	0.64	4.30	1.29	0.59	1.33
对照区 CK	1.47	0.51	1.48	3.64	4.41	0.67	2.03
原貌区 OR	0.12	6.46	0.72	16.43	0.55	1.77	4.34

3 结果与分析

3.1 有机物分解过程中土壤生物的变化

3.1.1 土壤微生物 图1是有机物分解过程中细菌和真菌的动态变化。从图1可以看出,4个处理的细菌数量其动态变化趋势基本处于平稳状态,同时分别在7、8月中旬出现两次小的高峰,而真菌数量则在有机物分解过程中呈现下降趋势。不同土壤条件下的微生物数量存在着一定差异,堆肥区比对照区细菌数量高1.3%~117.0%。方差分析结果显示,堆肥区、原貌区细菌数量与其它处理差异显著;化肥区和对照区之间差异不显著($p>0.05$),土壤中细菌数量大小顺序为堆肥区>原貌区>对照区=化肥区(表4)。而对于土壤真菌来说,方差分析表明:4个处理之间差异显著,其数量大小顺序为:原貌区>堆肥区>对照区>化肥区,原貌

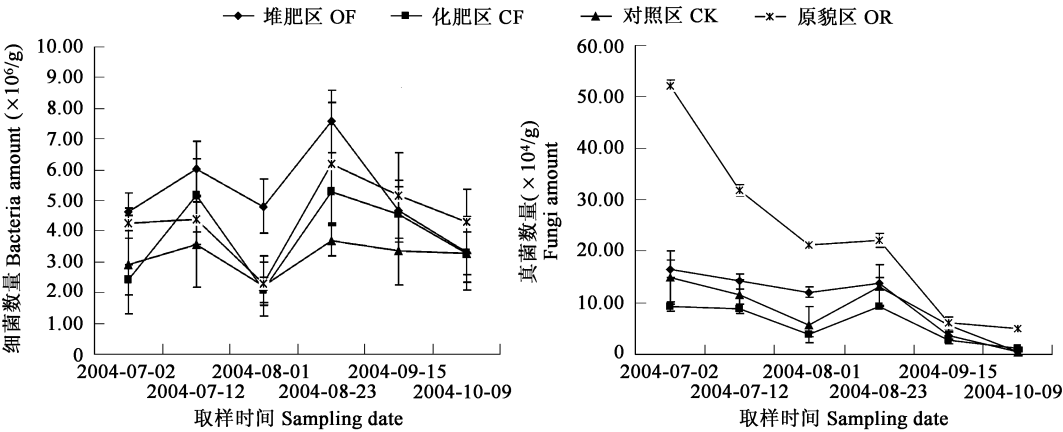


图1 4种不同土壤条件下有机物分解过程中土壤细菌、真菌的动态变化

Fig. 1. Changes of soil bacteria and fungi amount in four different soil during organic matter decomposition

区真菌数量的平均值分别比堆肥区、化肥区和对照区高出 127.7% , 291.8% 和 170.6% 。

3.1.2 几种主要土壤动物的动态变化 图 2 是不同土壤条件下蚯蚓的数量动态变化情况。由图 2 可以看出, 4 个处理中蚯蚓的数量随季节的变化趋势基本相似, 先增加后逐渐减少, 最高种群密度出现在 8 月份, 这与当地夏季温暖多雨, 土壤潮湿, 有利于蚯蚓生长有关。一般蚯蚓种群的大小在耕地中每平方米从几十条到 100 多条, 而堆肥区的蚯蚓数量平均为 161 条/ m²。显著高于其它 3 个处理, 尤其是第 2、3、4 次取样时差异比较明显。方差结果表明: 堆肥区蚯蚓数量与其它 3 个区的差异显著, 而化肥区、原貌区和对照区之间差异不显著(表 4) 。

本试验的土壤生物调查还发现食细菌线虫数量占观察到全部线虫的 96.9% , 植食性线虫和食真菌线虫约占全部观察到线虫的 3.1% , 未发现捕食性线虫。表 2 反映了不同土壤条件下线虫随时间的变化动态。从季节变化来看, 4 个不同培肥处理小区中土壤线虫的数量普遍在第 3 次取样时(2004 年 8 月 1 日) 最少。从第 1 次取样(2004 年 7 月 2 日) 到第 2 次取样时(2004 年 7 月 12 日) 堆肥区和对照区的变化趋势相似, 数量减少; 原貌区和化肥区的变化趋势类似, 数量增加。在 4 个培肥处理中, 化肥区线虫数量最多, 方差分析结果: 化肥区与堆肥区、原貌区和对照区之间差异显著, 而后三者之间差异不显著(表 4) 。

试验对土壤原生动物的变化状况进行了调查, 结果表明鞭毛虫数量占原生动物总数的 71.7% , 纤毛虫占 22.6% , 肉足虫占 5.7% 。可见鞭毛虫丰富度较高, 是原生动物的优势类群。表 3 反映了原生动物丰富度的变化情况。堆肥区和原貌区波动较大; 堆肥区先逐渐减少, 而原貌区先增加, 两者从 2004 年 8 月 1 日数量均迅速增加。对照和化肥区变化较平缓, 基本趋势是数量逐渐增加。原生动物的数量堆肥区> 原貌区> 对照区> 化肥区, 方差分析表明: 堆肥区和原貌区的原生动物数量最多, 明显高于对照区和化肥区(表 4) 。

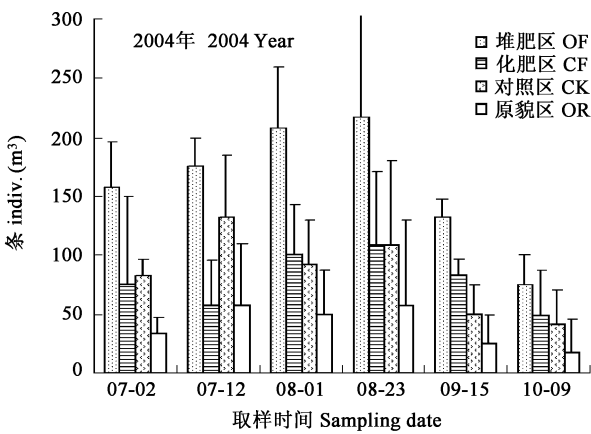


图 2 4 种不同土壤条件下有机物分解过程中蚯蚓数量的动态变化
Fig. 2 Changes of earthworm individuals in four different soils during organic matter decomposition

表 4 不同时间、不同处理之间土壤生物 的方差分析结果

Table 4 Variance analysis on soil biota changes at different decomposition period for four treatments				
处理 Treatment	堆肥区 OF	化肥区 CF	原貌区 CK	对照区 OR
细菌 Bacteria(× 10 ⁶)	5.17a	3.80c	4.43b	3.17c
真菌 Fungi(× 10 ⁵)	1.01b	0.59d	2.30a	0.86c
原生动物总数 Total numbers of protozoa(× 10 ⁴)	5.00a	1.33b	4.34b	2.03b
鞭毛虫 Number of flagellates(× 10 ⁴)	3.13a	0.85b	3.67b	1.46b
肉足虫 Number of amoebae(× 10 ⁴)	0.37a	0.19b	0.17b	0.18b
纤毛虫 Number of ciliates(× 10 ⁴)	1.50a	0.29b	0.50b	0.39b
线虫总数(条/ g) Total number of nematodes(ind./ g)	362.5b	491.0a	372.5b	435.8a
蚯蚓(条/ m ²) Number of earthworms(ind./ m ²)	116.0a	79.0b	40.2b	84.7b

* 所给数值是多次取样各重复的平均值; 同一行中标不同字母这表示差异显著(*p* < 0.05) Mean value is given; and the value with different letters in the same row mean significant difference among the treatments (*p* < 0.05)

3.2 不同土壤培肥措施农田有机物分解状况

4 种培肥措施下麦秸分解率如表 5 所示。埋入网袋时正值夏季, 7~ 8 月份降雨多, 温度高, 微生物活动频繁, 埋入堆肥区、原貌区、对照区和化肥区的秸秆在 110d 后分别分解了麦秸总量的 85.90%、75.63%、64.21% 和 51.11%。从不同处理看, 堆肥区的分解率一直高于其它 3 个处理。

土壤中有有机物的分解率与其分解速率有关, 以堆肥区为例, 分解前期, 埋入 10~ 20d 时相对分解速率较高, 埋入 20d 时相对分解速率为 17.3 × 10⁻³ g/(d·g); 分解 60d 后, 相对分解速率逐渐减慢, 埋入 85d 为 5.78 ×

$10^{-3} \text{ g}/(\text{d}\cdot\text{g})$; 110d $4.41 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ (表 6)。在整个试验过程中各处理相对分解速率平均值分别是堆肥区 ($8.96 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{d}\cdot\text{g})$) > 原貌区 ($7.61 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{d}\cdot\text{g})$) > 对照区 ($6.82 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{d}\cdot\text{g})$) > 化肥区 ($5.53 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{d}\cdot\text{g})$)。这与前面所分析的生物变化规律基本上相吻合。

表 5 4 种不同培肥措施小麦秸秆的分解率(%)

Table 5 decomposition rates of wheat straw in four different soil during organic matter decomposition (%)						
日期 date	2004-07-02	2004-07-12	2004-08-01	2004-08-23	2004-09-15	2004-10-09
天数 days(d)	10	20	40	60	85	110
堆肥区 OF	9.35±0.64	26.65±0.55	40.90±2.20	60.43±0.09	74.87±4.43	85.90*
化肥区 CF	1.78±0.24	15.94±0.91	22.15±1.46	41.01±1.24	48.45±4.29	51.11±2.90
对照区 CK	1.15±0.86	19.72±0.19	36.19±2.38	52.89±5.58	54.51±6.19	64.21±4.34
原貌区 OR	2.17±0.78	20.03±2.43	39.25±2.13	54.04±0.63	63.30±1.85	75.63±4.34

* 残留样品太少,没有重复

表 6 有机物分解率与外界因素的时间变化

Table 6 variables of organic matter decomposition rates and other biotic and environmental factors									
指标 Index			日期 Date	2004-07-02	2004-07-12	2004-08-01	2004-08-23	2004-09-15	2004-10-09
			分解时间 Decomposition time(d)	10	20	40	60	85	110
生物因素 Biotic factors	Y	秸秆分解速率 Decomposition rates($\times 10^{-3} \text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$)	9.35	17.30	7.13	9.77	5.78	4.41	
	x ₁	细菌($\times 10^6$ 个/g) Bacteria($\times 10^6$ ind./g)	4.63	6.03	4.81	6.59	8.74	6.33	
	x ₂	真菌($\times 10^4$ 个/g) Fungi($\times 10^4$ ind./g)	16.49	14.10	12.05	13.69	3.69	0.51	
	x ₃	原生动物总数($\times 10^4$ 个/g) Protozoa($\times 10^4$ ind./g)	10.71	1.24	1.06	10.17	1.81	1.09	
	x ₄	线虫总数(条/g) Total number of nematodes(ind./g)	667.0	360.0	132.8	355.5	378.1	281.4	
	x ₅	蚯蚓(条/m ²) Number of earthworms(ind./m ²)	158	175	208	217	133	75	
环境因素 Environmental factors	x ₆	土壤温度 Soil temperatures($^{\circ}\text{C}$)	29	25	25.5	25	19	11.8	
	x ₇	土壤含水量 Moisture content(%)	8.0	21.6	17.2	9.5	9.6	8.0	
	x ₈	全氮 Total nitrogen(%)	0.123	0.131	0.125	0.130	0.134	0.129	
	x ₉	有机质 Soil organic matter content(%)	1.86	0.93	1.85	0.90	1.83	0.95	

3.3 有机物分解的动态与生物、环境因素的灰色关联度分析

有机物的分解受众多因素的影响,除了有机物自身的性质外,生物因素和环境因素对有机物的分解也起重要作用,为分析在众多影响因素中对有机物质分解的主次关系本文采用灰色关联分析,选取堆肥区有机物分解与环境、生物因素,对其关系进行量化、序化和比较分析。将有机物秸秆分解率作为母数列 Y_i ,各种因素分别定义为子因素 $X_i^{[10]}$ 。

通过计算, $\Delta K_{\max}=1.73$, $\Delta K_{\min}=0$,取分辨系数 0.5,得灰色关联系数,计算关联度,9 种外界因素(生物因素和环境因素)对小麦秸秆分解作用的相对重要程度可由灰色关联度经排序得出: $x_6(0.844)>x_5(0.777)>x_2(0.764)>x_8(0.754)>x_4(0.753)>x_9(0.742)>x_1(0.738)>x_3(0.693)>x_7(0.661)$ 。即土壤温度>蚯蚓>真菌>全氮>线虫>有机质>细菌>原生动物>土壤含水量。

从以上灰色关联序可得出:土壤温度和蚯蚓是影响麦秸分解的最重要的两个因素。土壤温度是影响微生物数量和活性的主要因子;土壤中的蚯蚓,不仅能通过自身摄食、粉碎和搬运来帮助土壤有机物质的分解,而且蚯蚓活动中所产生的废物,还能刺激微生物的分解过程。农业生态系统中,在土壤水分含量充足的条件下,土壤呼吸与土壤温度成正相关,而水分含量成为限制因子的干旱、半干旱地区,水分含量和温度共同起作用。本研究中土壤含水量影响最小,这可能是由于实验站灌溉条件便利,且堆肥区土壤保水持水力强,因此不是限制因素。

4 讨论

4.1 土壤生物参与的有机物分解过程

土壤微生物是土壤的重要组成部分和最活跃的部分,其生命活动可以加速有机物的分解和营养元素在土

壤生态系统中的循环,提高土壤肥力,一般在农田土壤微生物中,细菌占绝对优势。原貌区是未受人为影响的区域,这与免耕能提高土壤真菌的生物量和休耕土壤中真菌占绝对优势的结论一致^[11,12]。在4个处理中堆肥区因较高的土壤有机质而利于微生物生存,而化肥区对土壤微生物有较大的干扰,其数量明显低于其他处理。

实验中,堆肥区和对照区的线虫数量较少。推断原因是堆肥区的有机物质丰富和对照区蚯蚓数量较多,抑制了线虫的发生,而化肥区和原貌区蚯蚓数量偏少,尤其是原貌区最少,并且化肥区有适合线虫生长繁殖的营养物质。到了8月1日,线虫数量都降低,是因为蚯蚓的大量繁殖,降低了线虫的发生率。随后蚯蚓数量的减少使得线虫的数量又逐渐增加。线虫功能团结构的改变与土壤中微生物群落结构有关,食细菌的线虫占绝大多数^[13],这也与上述以细菌为主的土壤微生物的结论相吻合。一些农业管理措施如无机肥和杀虫剂的使用,对线虫的数量有直接的影响。Bohlen 和 Edwards^[14]报道无机肥的使用使玉米地里的植物性线虫数量增加,长期施用化肥提高了线虫的发生率。又有研究表明蚯蚓可降低线虫的数量^[15],在上述讨论的蚯蚓在不同培肥区的变化趋势基本上与土壤线虫的变化规律相反,这与 Jorge^[15]的研究结果相吻合。

大型土壤动物蚯蚓通过影响其它土壤动物间接影响有机物的分解过程。土壤有机质是影响蚯蚓数量的重要因素;堆肥区有机质含量和土壤肥力较高,另外堆肥区的堆肥原料(秸秆、糠麸、棉仁饼等)以及秸秆残渣等都是这些蚯蚓较好的食物源。化肥区蚯蚓数量较少,有研究表明化肥的使用会对蚯蚓产生负面影响^[16]。本实验研究发现在四个处理中原貌区的蚯蚓数量最少,分析其原因一是原貌区有机质含量最低;另外土壤盐分含量高间接影响该区蚯蚓数量。

从试验结果可看出,原生动物随着微生物的增殖而增加,并且与细菌数量的变化基本相吻合。这与堆肥区和原貌区微生物数量多有直接的关系,原生动物是一类个体很小,生活周期(世代)很短,主要以细菌为食物来源的低等动物。就决定了原生动物随着微生物的增殖而增加,并且与细菌数量的变化基本同步,不存在明显的滞后现象^[17]。化肥区原生动物数量最少,由于原生动物的食物来源细菌在施用化肥的条件下数量很少,从而也影响化肥区原生动物的数量。

4.2 有机物分解过程中几种主要生物的演替

一种土壤动物的变化,会影响或导致其它生物的相应变化,分解初期,土壤微生物能比较快地迁移到秸秆表面,秸秆表面的生物数量最多的是细菌,细菌个体小,代谢强,繁殖快与土壤接触的表面积大,是土壤中最活跃的因素。因此最初细菌的数量是增加的,随着食细菌线虫和原生动物的迁移,它们的捕食作用使得细菌和真菌的数量减少,并在第3次取样(8月1日)时出现低谷。Regin 等发现原生动物数量增加,微生物活性就会增强^[18]。4种处理原生动物总数和细菌总数在第4次(8月23日)取样达到最高值。真菌的数量也出现了一次小高峰。食细菌线虫与细菌的相关性为负相关,与堆肥区细菌数量较多但线虫数量最少的结果相吻合。

分解后期,被分解的物质为纤维素和木质素,土壤动物的咬碎、撕裂作用和刺激微生物的活性作用较为重要,线虫、跳虫和螨类等典型土壤动物在此时对分解进程起着重要的作用。而微生物和小型土壤动物数量逐渐减少。因本文研究有限,待进一步探讨。

总的来说,土壤生物数量的变化趋势与秸秆分解的趋势基本相同。有机物组成成分的变化为土壤生物提供质地不同的食物源和生境。麦秸最初被分解的是蛋白质、水溶性物和半纤维素等易分解成分,直接以其为食的细菌、真菌和原生动物数量较多。并且温度和水分适宜,蚯蚓的数量也是逐渐增多。在有机物分解前期,秸秆分解的相对速率较大。

4.3 有机物的分解的影响因素分析

从有机物分解的灰色关联分析可以看出:不同培肥措施的土壤中有机物分解有所不同,有机物的分解是多种土壤生物的作用和环境因素作用共同产生的结果。环境因素中土壤温度和土壤含水量是影响有机物分解的重要因素。

4.4 由于受当地种植制度和耕作措施的影响,本实验只研究了部分土壤生物,对有机物分解过程还应当进行进一步的研究。

5 结论

- 5.1 随着有机物的分解,土壤生物呈现明显的动态变化规律。在受人为扰动的堆肥区、化肥区和对照区土壤中,细菌占绝对优势,而在未开垦的原貌区中,真菌起着重要作用。对堆肥区而言,适宜的环境和丰富的食物源使细菌的数量增加,原生动物数量随之增加,细菌活性增强;蚯蚓繁殖加快,数量增多,而线虫的数量减少。
- 5.2 在4种不同的土壤培肥措施条件下,有机物的分解速率各不相同,分别为堆肥区>原貌区>对照区>化肥区。有机物分解前期的相对分解速率可达 $15 \times 10^{-3} \sim 18 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{d} \cdot \text{g})$,分解后期的相对分解速率减慢为 $4 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 。
- 5.3 灰色关联分析表明:9种不同的生物和环境因素对堆肥区有机物麦秸分解的影响具有不同的灰色关联度,灰色关联序为:土壤温度(0.844)>蚯蚓(0.777)>真菌(0.764)>全氮(0.754)>线虫(0.753)>有机质(0.742)>细菌(0.738)>原生动物(0.693)>土壤含水量(0.661)。

References:

- [1] Li W, Lin S S, Tan Y Z, *et al.* Innovated techniques on comprehensive utilization of crop straw. Trans CSA E, 2000, 16(1): 14~17.
- [2] Qi X Y. The ecological engineering of organic wastes in agricultural utilization. Resour Develop Market, 1997, 13(5): 233~237.
- [3] Xia L Z, Yang L Z. Decomposition of organic waste by soil biota. Jiangsu Agricultural Sciences, 2002(2): 72~74.
- [4] Swift and Anderson, Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Ecology Volume 5. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1989.
- [5] Van PCJ, Vliet, Gupta VVSR, Abbott LK. Soil biota and crop residue decomposition during summer and autumn in southwest Australian. Applied Soil Ecology, 2000, 14: 111~124.
- [6] Compile team of Methods in soil animals. Methods in soil animals. Beijing: China Forestry Press, 1998.
- [7] Oostenbrink M. Comparison of techniques for population estimation of soil and plant nematodes. In: Methods of Study in Soil Ecology. UNESCO, Paris, 1971. 249~253.
- [8] Yin W Y, *et al.* Subtropical soil animals of China. Beijing: Science Press, 1992.
- [9] Bao S D. Chemical methods of soil analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [10] Yi D S, Guo P. Dark theory and method. Beijing: Petroindustrial Press, 1992.
- [11] Holland E A and Coleman D C. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. Ecology, 1987, 68: 425~433.
- [12] Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. Bacterial and fungal biomass and activities in straw mulch no-tillage soils. Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(2): 30~36.
- [13] Sohlenius B. Influence of food supply on population structure and length distribution in *Acrobdoides nanus* (Nematoda: ephalobidae). Pedobiologia, 1973, 13: 205~213.
- [14] Bohlen P J, Edwards C A. The response of nematode trophic groups to organic and inorganic nutrient inputs in agroecosystem. Soil Soc., 1994, 35: 235~244.
- [15] Jorge Domingue, Robert W. Pammelke, *et al.* Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaete) and nematode populations during vermicomposting. Pedobiologia, 2003, 47: 53~60.
- [16] Cao Z P, Qiao Y H, Xu Q, *et al.* Impact of soil fertility maintaining practice on earthworm population in high production agro-ecosystem in North China. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(10): 2302~2306.
- [17] Darbyshire J F. Soil Protozoa, CAB International, Wallingford, Oxon, 1994.
- [18] Regin R, Mayra G, John L, Jakobsen I, *et al.* Response of free living protozoa and microorganisms to elevated atmosphere CO₂ and presence of mycorrhiza. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34: 923~932.

参考文献:

- [1] 李伟, 蔺树生, 谭豫之, 等. 作物秸秆综合利用的创新技术. 农业工程学报, 2000, 16(1): 14~17.
- [2] 齐新英. 农业利用有机废弃物的生态工程. 资源开发与市场, 1997, 13(5): 233~237.
- [3] 夏立忠, 杨林章. 有机废弃物土壤生物降解. 江苏农业科学, 2002(2): 72~74.
- [6] 《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.
- [8] 尹文英, 等. 中国亚热带土壤动物, 北京: 科学出版社, 1992.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 易德生, 郭萍. 灰色理论与方法. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [12] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤细菌和真菌生物量和活性的研究. 生态学杂志, 2001, 20(2): 30~36.
- [16] 曹志平, 乔玉辉, 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.