

培育土壤中硫化细菌和硫酸盐还原细菌的消长特征初探

朱增炎 李成保 赵安珍

(中国科学院南京土壤研究所, 南京, 210008)

摘 要

通过不同含水量下潮土和褐土的培育试验, 测定了土壤中硫化细菌和硫酸盐还原细菌的消长变化及水溶性硫、有机硫和盐酸挥发性硫的含量。结果表明, 土壤中硫化细菌含量随土壤含水量的增加而有增大趋势, 其消长变化与有机硫和盐酸挥发性硫的含量变化有关。硫酸盐还原菌含量亦随土壤含水量的增加趋于增大, 潮土中硫酸盐还原菌的消长与水溶性硫含量呈显著相关。硫化细菌和硫酸盐还原细菌的消长曲线表明, 这两类细菌的消长呈相反的变化趋势。

关键词: 硫化细菌, 硫酸盐还原细菌, 消长过程

土壤中不同形态硫的转化与土壤微生物的生命活动, 尤其与土壤中硫化细菌和硫酸盐还原细菌的生长繁殖有密切的关系。然而, 这方面的研究在国内尚无报导。本工作是通过不同水分条件下进行的土壤培育试验, 初步探讨土壤水分状况对土壤中不同形态硫的含量及其转化与两类硫细菌消长的关系。

材 料 与 方 法

1. 供试土壤

每一土壤均分层取土样, 装入塑料袋内保湿, 置冰箱保存备用。土壤的理化性质及两类硫细菌在土壤中的数量列于表1。

表1 供试土壤的理化性质及硫细菌数量

Table 1 Physicochemical properties and population of sulfur bacteria in tested soils

| 土壤名称 | 取土深度 (cm) | 含水量 (%) | pH* | 有机质 (%) | 硫化细菌** (个/g土) | 硫酸盐还原细菌 (个/g土) |
|------------------|--------------|------------|------|------------|------------------|-------------------|
| 潮土 (廊坊市北史家务乡) | 0—10 | 15.8 | 7.94 | 1.47 | 869 | 23 |
| | 10—20 | 19.2 | 8.13 | 1.17 | 2677 | 148 |
| | 20—40 | 20.0 | 8.23 | 0.82 | 24 | 24 |
| 褐土 (怀柔县沙峪) | 0—10 | 13.1 | 7.00 | 1.35 | 254 | 141 |
| | 10—20 | 15.6 | 7.27 | 1.18 | 260 | 144 |
| | 20—30 | 5.2 | 7.59 | 0.76 | 131 | 22 |

* 水土比1:1, 用平板玻璃电极测定。 ** 土壤中的细菌数量均以每克干土中的个数表示, 下同

2. 模拟试验

将两类土壤按不同土层调节成不同含水量(表2),然后分别均匀地装于塑料杯内,杯顶加盖防止水分蒸发,置28℃下恒温培育,定期取样测定水溶性硫、有机硫和盐酸挥发性硫含量以及硫化细菌和硫酸盐还原细菌的数量。

3. 测定方法

土壤总硫以及水溶性硫、盐酸挥发性硫、有机硫的测定按照文献[1]进行。

菌数测定采用试管稀释法,分别用Beijerinck和Van Delden的培养基成份^[2]培育硫化细菌和硫酸盐还原细菌,根据稀释法最大或然数(MPN)^[3]计算培育土壤中两类硫细菌的数量,以每克干土含菌数表示。

表2 供试土壤的含水量
Table 2 Contents of water
in tested soils

| 处理号 | 土壤类型 | 土层深度 (cm) | 含水量 (%) |
|-----|------|--------------|------------|
| 1 | 潮 | 0—10 | 20 |
| 2 | | | 25 |
| 3 | | | 30 |
| 4 | | | 37.8 |
| 5 | 土 | 10—20 | 20 |
| 6 | | | 25 |
| 7 | | | 30 |
| 8 | | | 35 |
| 15 | 褐 | 10—20 | 15 |
| 16 | | | 25 |
| 17 | | | 30.8 |

结果与讨论

1. 土壤含水量对硫化细菌、硫酸盐还原细菌消长的影响

1.1 含水量与硫化细菌消长的关系

硫化细菌属于好气性能自养型菌,它的消长特性主要决定土壤中该菌所需要的基质(还原性硫化物)多寡和对细胞周围微域环境条件变化的适宜程度。从图1(a)和(b)看出,在潮土的八个不同含水量处理下,培育6至21d,土壤中硫化细菌的含量除处理2号和3号外,渐趋增加,培育至35d,各处理中硫化细菌的数量达至高值,然而再培育至80d时,菌数都有明显的下降趋势。在褐土中(图1(c)),硫化细菌的繁殖量远较潮土中的低,其高值大多出现在21d而不是在35d。这些结果表明,在上述不同含水量范围内,虽然随含水量的增加使土壤通气状况变差(E_h 值由510mV下降至300mV),但并没有阻碍硫化细菌的生长繁殖。与此相反,在不同含水量处理之间作一比较,可以看出,硫化细菌的数量随土壤含水量的增加而有增大的趋势。如在图1(a)中,处理1号与4号相比,在培育6d,土壤含水量为20%(处理1号),含菌量为721个/g土;含水量为37.8%(处理4号),含菌量为13726个/g土,后者为前者的17倍。在培育80d后,后者仍为前者的4.9倍。又如在图1(b)中,除处理8号外,处理5号与6号或7号相比,在褐土中(图1(c)),处理15号与16号或17号相比,硫化细菌的数量都有相似的变化趋势。当土壤水分含量增加时,在嫌气条件下,土壤细菌会引起含硫氨基酸的脱巯基作用,形成硫化氢等产物,使有机硫分解^[4]。这说明土壤含水量增加时,不仅影响土壤的通气状况,而且影响土壤中“某些物质”的转化。可以设想,硫化细菌的数量随土壤含水量的增加而增大,是与土壤中“某些物质”的分解及其形成有利于硫化细菌生殖所需的基质有关。

1.2 含水量与硫酸盐还原细菌消长的关系

硫酸盐还原细菌是属于严格嫌气性微生物，它们的生长繁殖依赖于硫酸盐的含量、可氧化的有机物的数量以及严格的嫌气环境条件。图 2(a)及 (b) 表明，在潮土中，硫酸盐还原菌的高峰值大部分处理在培育 80d 出现，少数出现在 21d (处理 1 号与 6 号) 或 35d (处理 5 号)，有的还出现两个峰值，如处理 2 号，4 号和 7 号。在褐土中 (图 2(c))，硫酸盐还原细菌的消长趋势大体上与潮土的情况相类似，所不同的是菌数高峰期出现在培育 6d 或 21d，且菌数也较潮土低。

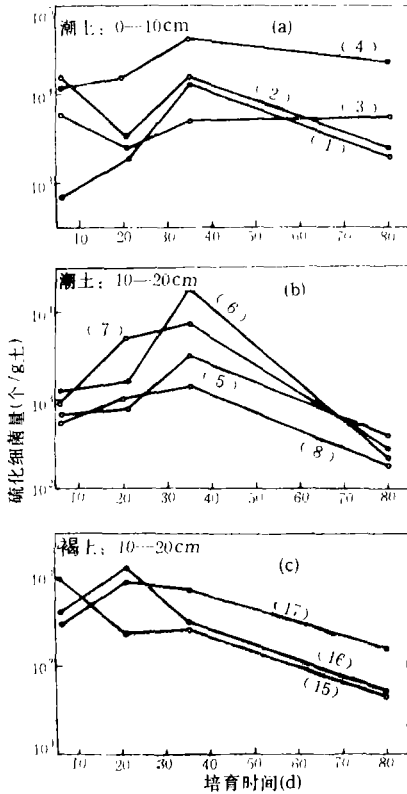


图 1 培育土壤中硫化细菌数量随培育时间的变化

Fig.1 Changes in the population of sulfur-oxidizing bacteria in incubated soils with incubation time

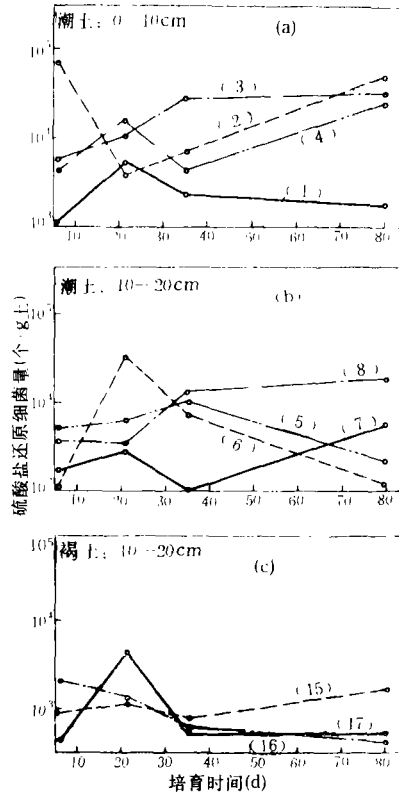


图 2 培育土壤中硫酸盐还原细菌数量随培育时间的变化

Fig.2 Changes in the population of sulfur-reducing bacteria in incubated soils with incubation time

此外，在不同含水量处理间作一比较后可以看出，硫酸盐还原细菌的数量随土壤含水量的增加而有增大的趋势。如土壤含水量为 20% (处理 1 号)，在培育 80d 的四次测定总平均含菌量为 2743 个/g 土，当土壤含水量为 30% (处理 3 号)，相应的总平均含菌量为 18796 个/g 土，后者约为前者的 7 倍。又如图 2(b)，将处理 7 号与 8 号作一比较，含水量为 30% (处理 7 号) 的平均含菌量 2797 个/g 土；而含水量为 37.8% (处理 8 号) 的平均含菌量为 9574 个/g 土，后者为前者的 3.4 倍。这些结果可能表明，当土壤水分含量增加时，由于土体结构的不均一性，加之在培养过程中有大量的好气性微生物生长，

使土壤通气状况变差,造成更多的局部嫌气性条件;同时,当土壤含水量增高,土壤中吸附性硫转换成水溶性硫的量也随之增加,因此,导致硫酸盐还原细菌的繁殖量增大。

1.3 两类硫细菌之间的消长关系

由图1和图2还可以看出,当硫化细菌量处于峰值时,硫酸盐还原细菌量却处在较低值;当硫化细菌量处在低值时,硫酸盐还原细菌量则处在相对高峰值,两者呈互为相反的消长趋势。这种消长关系,潮土表现得更为明显。其主要原因看来是由两类硫细菌的生理特性所决定的。众所周知,硫化细菌是好气性自养菌,以还原性硫化物如硫化氢、硫代硫酸钠等作为基质,其产生的代谢产物为硫酸盐;而硫酸盐还原细菌是严格的嫌气性细菌,以硫酸盐为基质,产生的代谢产物为硫化氢。因此,当好气性硫化细菌的生长繁殖逐渐增大时,使细胞周围的好气性环境条件转变成嫌气状况,结果使菌体细胞自身繁殖减慢,并渐趋停止,随培育时间的推移,菌体细胞自溶分解逐步趋向死亡,使测得的硫化细菌量明显下降;与此同时,由此形成的微域嫌气环境条件,使硫酸盐还原细菌的繁殖量增大,测得的含菌量明显地增加。

2. 两类硫细菌的消长与土壤水溶性硫含量的关系

将两类土壤不同含水量处理(表2)的水溶性硫含量与对应的硫化细菌及硫酸盐还原细菌量的平均值分别进行相关分析,结果(表3)表明,在潮土和褐土中,硫化细菌的数量与水溶性硫含量之间的相关系数分别为0.3858和0.3871,表明两者没有相关性。而硫酸盐还原细菌量与水溶性硫含量之间在潮土中有显著相关,相关系数为0.8686(35d)和0.8900(80d),表明潮土中硫酸盐还原细菌的繁殖量,除嫌气条件外,与水溶性硫的含量是有联系的。至于褐土没有呈现相关性,目前还不清楚,尚待进一步研究。

3. 有机硫含量及其变化与硫化细菌消长的关系

以潮土为例,有机硫含量在各培育阶段中有明显的变化(表4)。在培育6至21d,各处理中有机硫含量都有少量的增加,其增加范围在0—8 $\mu\text{g/g}$ 土,平均值为4.4 $\mu\text{g/g}$ 土;当培育至35d,各处理的有机硫含量明显地下降,其下降范围在12—63 $\mu\text{g/g}$ 土。从同一土层(0—10cm)的不同处理看,除处理3号之外,在培育6,21和35d,有机硫含量随土壤含水量的增加而有增大趋势,这表明硫化细菌的增殖可能与有机硫含量有关。

硫化细菌是好气性能自养型菌,对土壤中有有机硫化物是不能直接利用的,它只能利用如硫代硫酸钠、硫化氢等还原性无机硫化物。据报导^[5-7],有机硫化物的分解作用能形成微量的硫醇、烷基硫化物和其它挥发性有机硫化物以及硫化氢等产物。在培育过程中,定期取样测定潮土中盐酸挥发性硫的含量,结果(图3)表明,盐酸挥发性硫含量随土壤含水量及培育时间的增加而增大,特别在21至35d的培育期间,盐酸挥发性硫

表3 培育土壤不同含水量下两类硫细菌量与水溶性硫含量之间的相关性
Table 3 Relationship between the populations of two kinds of sulfur bacteria and H₂O-soluble S contents at various humidities in tested soils

| 土壤类型 | 细菌类型 | 培育时间(d) | 相关系数 |
|------|---------|---------|---------|
| 潮土 | 硫化细菌 | 35 | 0.3858 |
| | 硫酸盐还原细菌 | 35 | 0.8686* |
| | | 80 | 0.8900* |
| 褐土 | 硫化细菌 | 35 | 0.3871 |
| | 硫酸盐还原细菌 | 35 | -0.2402 |
| | | 80 | -0.1793 |

* 指 $P=0.01$ 的显著性

表 4 潮土的有机硫含量及其变化与硫化细菌消长的关系

Table 4 Content of organic S and its changes in relation to growth-decline of S-oxidizing bacteria in incubated Chao soil

| 处理号 | 土层深度 (cm) | 含水量 (%) | 不同培育期有关硫含量及其变化 ($\mu\text{g}/\text{g}\text{土}$) | | | | |
|-------|--------------|------------|---|--------|---------------|------|----------------|
| | | | 6d | 21d | 6—21d 的增加量 | 35d | 21—35d 的减少量 |
| 1 | 0—10 | 20 | 1518 | 1526 | 9 | 1503 | 23 |
| 2 | | 25 | 1648 | 1653 | 5 | 1641 | 12 |
| 3 | | 30 | 1438 | 1446 | 8 | 1383 | 63 |
| 4 | | 37.8 | 1688 | 1691 | 3 | 1653 | 38 |
| 5 | 10—20 | 20 | 1495 | 1497 | 2 | 1460 | 37 |
| 6 | | 25 | 1483 | 1485 | 2 | 1430 | 55 |
| 7 | | 30 | 1535 | 1542 | 7 | 1490 | 52 |
| 8 | | 35 | 1510 | 1510 | 0 | 1452 | 58 |
| 平均值 | | | 4.4 | | | | 42.3 |
| 相关系数* | | | 0.6293 | 0.7149 | 0.6459 | | |

* 指与相应培育期硫化细菌数量的相关性

渐趋上升时, 而对应时期的有机硫含量下降, 此时硫化细菌的繁殖数量也随之增大。潮土培育过程中有机硫含量变化结果表明: (1) 土壤有机质的某些组分被土壤微生物降解, 形成有机硫化物, 同时硫酸盐的同化作用组成了微生物生物量硫, 致使培育前期土壤中有机硫含量有所增加^[8-10]; (2) 在培育21至35d, 土壤中有机硫化物经土壤微生物的矿化作用, 形成挥发性的有机硫化物和硫化氢等产物^[4], 其中某些产物能被硫化细菌所利用, 致使硫化细菌量上升, 而此时土壤中有机硫的含量则相应下降。由此看来, 硫化细菌的增殖是与有机硫的分解及其形成某些还原性无机硫化物有关。

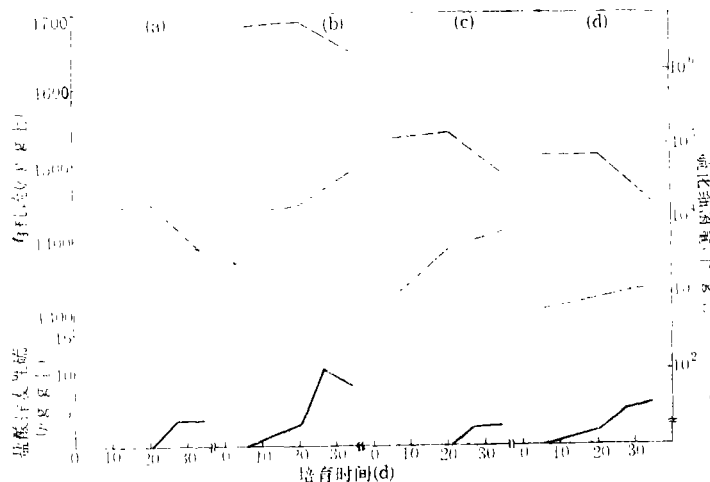


图 3 培育潮土中, 盐酸挥发性硫、有机硫及硫化细菌的含量随培育时间的变化
(a) 0—10cm, 含水量30%; (b) 0—10cm, 37.8%; (c) 10—20cm, 30%; (d) 10—20cm, 35%
盐酸挥发性硫: ——; 有机硫: —; 硫化细菌: - - - -

Fig. 3 Changes in the contents of HCl-volatile S, organic S, and S-oxidizing bacteria in incubated Chao soil with incubation time

参 考 文 献

- [1] 李成保, 1990. 土壤中总硫与不同形态硫的提取与测定. 土壤学进展, 18(6):42—46
- [2] Allen O N, (ed.) 1959. Experiments in Soil Bacteriology. Burgess Publishing Co., Second Printing, 25—31
- [3] 微生物研究法讨论会编(日), 程光胜等译, 1983. 微生物学实验法. 科学出版社, 160—162
- [4] Freney J R, 1967. Sulfur-Containing Organics. in Soil Biochemistry, McLaren A D & Petersen G H, eds. Marcel Dekker, N. Y., pp229—259
- [5] Banwart W L, Bremner J M, 1976. Evaluation of Volatile Sulfur Compounds from Soils Treated with Sulfur-Containing Organic Materials. *Soil Biol. Biochem.*, 8:439—443
- [6] Smith K A et al., 1973. Sorption of Gaseous Atmospheric Pollutants by Soils. *Soil Sci.*, 116(4):313—319
- [7] Swaby R J, Fedel R, 1973. Microbial Production of Sulphate and Sulphide in Some Australian Soils. *Soil Biol. Biochem.*, 5:77—781
- [8] Freney J R et al., 1971. Organic Sulphur Fractions Labelled by Addition of ^{35}S -sulphate to Soil. *Soil Biol. Biochem.*, 3:133—141
- [9] Freney J R et al., 1975. Soil Organic Matter Fractions as Sources of Plant-Available Sulphur. *Soil Biol. Biochem.*, 7:217—221
- [10] Saggiar S et al., 1981. Sulfur Transformations in Relation to Carbon and Nitrogen in Incubated Soils. *Soil Biol. Biochem.*, 13:499—511

1991年7月18日收到.

PRELIMINARY STUDY ON CHARACTERISTICS OF GROWTH-DECLINE OF SULFUR-OXIDIZING AND SULFUR-REDUCING BACTERIA IN INCUBATED SOILS

Zhu Zengyan Li Chengbao Zhao Anzhen

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008)

ABSTRACT

During incubation experiment of Chao soil and Drab Soil with different contents of water, growing and declining changes in sulfur-oxidizing and sulfur-reducing bacteria, and the contents of H_2O -soluble S, organic S and HCl-volatile S in the soils were determined. The results showed that the number of sulfur-oxidizing bacteria tends to increase with water content of soil, and its change is related to changes in contents of organic S and HCl-volatile S; the number of sulfur-reducing bacteria also tends to increase with humidity of soil, and in Chao soil there is a obvious relationship between changes in sulfur-reducing bacteria and contents of H_2O -soluble S. Growth-decline curves of sulfur-oxidizing and sulfur-reducing bacteria indicated that changes in numbers of two kinds of bacteria tend to be opposite.

Keywords: sulfur-oxidizing bacteria, sulfur-reducing bacteria growth-decline characteristic