DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.01.003



# 青海湖防沙治沙区土壤微生物特征初步研究

展秀丽[1], 严 平[2]

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021; 2. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

**摘 要**: 选择了青海湖防沙治沙措施区,通过野外调查、采样和室内实验分析,对该措施区及流动沙区的土壤微生物数量及垂直分布特征进行研究。结果表明:(1) 微生物总数量为沙岛半固定沙丘>克土丘间地>克土灌丛>沙岛灌丛>湖东种羊场草方格区>流动沙丘>克土沙棘草方格>克土青杨草方格>示范区近年设置的草方格区。(2) 早期治理区,植被覆盖较高,微生物数量垂直分布表现为上层的高于下层,微生物含量也较其他点高。(3) 流动沙丘及草方格治理的沙丘,微生物数量非常少,而且下层的稍高于上层,这是因为流动沙丘下层土壤水分状况较好。

**关键词**: 土壤微生物; 青海湖; 防沙治沙

**文献标识码**: A **文章编号**: 1000-288X(2014)01-0104-05 **中图分类号**: Q938.1

# Characteristics of Soil Microbe in Desertification Combating Areas Around Qinghai Lake

ZHAN Xiu-li[1], YAN Ping[2]

(1. *School of Recourses and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia* 750021, *China*;
2. *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*)

**Abstract**: The desertification combating areas around Qinghai Lake were selected in the study. The number and characteristics of soil microbe were examined through field survey and sampling and laboratory test. (1) The areas, in order of decreasing soil microbe gross, were semi-fixed dune in sand island, the lowland between sandy dunes in Ketu, shrubs in Ketu, shrubs in sand island, straw checkerboard barriers zone in Hudong sheep stud, mobile dune, straw checkerboard barriers zone planted with *Hippophae thibetana* Schlechtend. in Ketu, straw checkerboard barriers zone planted with *Populus cathayana* Rehd. in Ketu and straw checkerboard barriers zone recently set in the demonstration area. (2) In early combating areas, the vegetable coverage was high, the vertical distribution of soil microbe showed that the amount in topsoil(0—10 cm) was much more than subsoil layer(10—30 cm), and the content of soil microbe was richer than other sample plots. (3) In the mobile dunes and straw checkerboard barriers combating areas, soil microbe was very few, and its number in lower layer was a little higher than the upper layer, due to the better situation of soil water content in the lower layer of mobile dunes.

**Keywords**: soil microbe; Qinghai Lake; desertification combating

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分,参与动、植物残体等各种有机质分解和转化活动,对动植物残体的分解、有机质的矿化、腐殖质和团聚体的形成、维持土壤生态系统平衡起着重要的作用[1],可表征土壤质量变化,它常与土壤微生物区系、微生物多样性、微生物量等结合起来研究[2]。风沙土中微生物在固定沙丘形成过程中也起着重要的作用[3],土壤微生物生物量常被作为监测沙丘固定程度和分析土壤发育动态的一项重要指标[4]。还有,土壤微生物可参与荒漠地表生物结皮形成的各阶段[5]。关于微生物结皮对风蚀作用影响,国外进行研究较多[6],William 等[7]在美国半干旱草地的研究表明,当未受干扰的微生物结皮存在时,风蚀需要更高的初始摩擦速度,West[8]进行了人为活动对结皮踩踏破坏,如何使被结

收稿日期:2013-04-15 修回日期:2013-04-24
资助项目:国家自然科学基金项目"宁夏河东沙区沙漠化治理生态效益观测与评估"(41201087); 国家科技支撑项目"青海湖流域生态和环境综合整治模式及技术集成"(2007BAC30B05-01)
作者简介:展秀丽(1983—),女(汉族),甘肃省靖远县人,博士,讲师,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:zhanxiuli@mail.bnu.edu.cn。
通信作者:严平(1966—),男(汉族),安徽省宁国市人,博士,教授,研究方向为土壤风蚀与控制。E-mail:yping@bnu.edu.cn。

皮所固定的土壤细粒因风蚀而损失的研究。然而,制约荒漠生态系统的各种环境因素,特别是低降水量、高温和土壤有机质贫乏,限制了土壤微生物的生长[9]。

沙区土壤环境特征是沙区生态恢复效应研究的关键,而分析沙漠化过程中土壤微生物特征对于揭示沙漠化的生物学机制具有重要意义。近年来,中国干旱荒漠区的土壤微生物研究也取得了一定的进展,顾峰雪等[10]研究了塔克拉玛干沙漠腹地的流沙上建立人工绿地后风沙土微生物的特征,王素娟等[11]研究了库布齐沙地土壤微生物数量特征,袁世斌等[12]研究了罗布泊沙土的土壤微生物生态分布特征,王少昆等[13]在科尔沁沙地和浑善达克沙地研究了流动沙丘中的土壤微生物特征。

本研究对青海湖流域防沙措施区及流动沙区的土壤微生物数量的垂直分布特征进行研究,以期明确防沙治沙初期风沙土微生物的基本特征,深入了解该地区土壤的质量变化,为沙漠化治理土壤恢复效果评价提供基本依据。

## 1　研究区概况

青海湖流域位于 97°50′—101°20′E,36°15′—38°20′N,处于中国东部季风区、西北干旱区和西南部高寒区的交汇地带。青海湖流域沙漠化土地主要分布在湖东岸下巴台、海晏县克土沙区及耳海周围,是从全新世以来在干旱区气候控制下形成的该流域最大规模的风沙堆积区。多年平均气温 0.3 ℃,日照时数3 040 h,年均降水量 378.2 mm,集中在 6—8 月,年蒸发量大于年降水量,约为年降水量的 3.8 倍。年大风日数大于 48 d,四季多风,风向以西北风为主。环湖地区植被和土壤类型比较丰富,沙区土壤类型主要是风沙土、草甸土、盐碱土等,天然植被草本主要有芨芨草(*Achnatherum splendens*)、赖草(*Leymus secalinus* Tzvel.)等,灌木有沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)、沙蒿(*Artemisia deseraorum* Spreng.)等。

海晏县克土沙区处在青海湖东北部,东南至大水塘,西北达哈尔盖河,西南至青海湖岸,西北沿白佛寺—托勒滩—塔勒宣果一线,总面积 $7.67\times10^4$ $hm^2$。海晏县克土自 1980 年以来开始封沙育草,之后逐渐开始设置草方格,1982 年被列入国家“三北”防护林建设工程体系,截至 2004 年,设置草方格已达 140 $hm^2$。

草方格内人工栽植的植被主要有:西藏沙棘(*Hippophae thibetana* Schlechtend.)、沙蒿(*Artemisia desertorum* Spreng.)、青杨(*Populus cathayana* Rehd.)、乌柳(*Salix cheilophila* Schneid.)等。沙岛公路两侧于 2002 和 2005 年设置草方格,人工栽植的植物主要是沙棘、沙蒿,长势较好,沙丘基本固定。湖东—种羊场在近 2 a 开始大面积实施防沙工程措施。

## 2　研究方法

2010 年 3 月,选取青海湖沙区典型防治工程措施区进行研究,主要选择 2008 年采取措施的示范区;2002—2005 年克土草方格措施区,2002—2005 年沙岛治理区,2008 年湖东种羊杨的草方格措施区。表 1 为采样点特征描述。

表 1　采样点基本特征

| 典型样地及代码 | | 地理坐标 | 海拔高度/m | 样地描述 | 植被特征 |
|---|---|---|---|---|---|
| 示范区(2008 年) | $Z_{01}$ | 36°46′56″E,100°46′ 56″N | 3 175.00 | 2008 年草方格 | 沙棘、乌柳栽植在拐角 |
| | $Z_{02}$ | 36°46′56″E,100°46′57″N | 3 177.00 | 2009 年草方格 | 没有栽植植被 |
| | Z—LD | 36°46′56″E,100°46′58″N | 3 164.00 | 流动沙丘 | 无植被 |
| 克土沙区(2002—2005 年) | KT—QY | 36°50′02″E,100°50′13″N | 3 238.20 | 草方格 | 植被为青杨 |
| | KT—SJ | 36°49′49″E,100°50′07″N | 3 247.50 | 草方格 | 沙 棘 |
| | KT—QJD | 36°50′03″E,100°50′11″N | 3 249.70 | 丘间地 | 沙棘灌丛分布密集 |
| | KT—GC(坡顶) | 36°50′10″E,100°50′10″N | 3 260.30 | 灌丛,坡顶 | 沙棘灌丛分布密集 |
| | KT—GC(坡中) | 36°50′100″E,100°50′10″N | 3 260.30 | 灌丛,坡中 | 沙棘灌丛分布密集 |
| 沙岛(2002—2005 年) | SD—QD | 36°53′44″E,100°41′07″N | 3 170.00 | 沙岛半固定沙丘 | 植被依稀分布 |
| | SD—GC | 36°53′46″E,100°41′06″N | 3 172.50 | 沙岛灌丛 | 沙棘灌丛分布 |
| 湖东种羊场(2008 年) | HD | 36°45′17″E,100°46′04″N | 3 212.40 | 迎风坡草方格 | 沙 棘 |

### 2.1　样品采集与处理

在每个研究样点随机选取 3 个点采集土壤样品,采样深度为 0—2,2—10 和 10—30 cm,样品质量 1～2 kg。对土壤进行碾磨、均匀混合,应用四分法,保留对角线两份样品,其中一份样品自然风干,用于测定土壤养分,另一份样品放置于冰箱保存(温度4 ℃),

供微生物测定分析。

### 2.2 微生物数量的测定

在北京师范大学生命科学学院微生物实验室进行微生物的测定，主要包括细菌、真菌和放线菌数量的测定。

2.2.1 土样的稀释、接种、培养 细菌、真菌和放线菌数量采用稀释平板法测定[14]，分离细菌采用牛肉膏—蛋白胨培养基，真菌用孟加拉红培养基，放线菌用高氏 1 号培养基[15]。

2.2.2 计数 菌落计数分以下两种情况进行计算[15]：(1) 若一个稀释度的平均菌落数在 30～300，则将该菌落数乘以稀释倍数；(2) 若所有稀释度的平均菌落数均小于 30，则按稀释度最低的平均菌落数乘以稀释倍数。计算公式：每克干土中菌数＝(菌落平均数×稀释倍数)/干土重(%)

## 3 结果与分析

不同样地微生物数量如表 2 所示。

表 2 不同样地土壤微生物数量垂直分布 个/g

| 样 点 | 深度/cm | 细菌/(个·g$^{-1}$) | 占微生物总数/% | 真菌/(个·g$^{-1}$) | 占微生物总数/% | 放线菌/(个·g$^{-1}$) | 占微生物总数/% | 微生物总数/(个·g$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KT—QJD | 0—2 | 7 139 | 23.86 | 729 | 2.44 | 22 052 | 73.70 | 29 920 |
| | 2—10 | 46 516 | 83.73 | 2 449 | 4.41 | 6 590 | 11.86 | 55 555 |
| | 10—30 | 9 383 | 69.40 | 3 084 | 22.81 | 1 054 | 7.80 | 13 521 |
| KT—GC (坡顶) | 0—2 | 11 979 | 71.03 | 2 025 | 12.01 | 2 860 | 16.96 | 16 864 |
| | 2—10 | 17 347 | 83.89 | 817 | 3.95 | 2 514 | 12.16 | 20 678 |
| | 10—30 | 11 233 | 63.91 | 1 556 | 8.85 | 4 785 | 27.23 | 17 575 |
| KT—GC (坡中) | 0—2 | 13 874 | 73.16 | 2 833 | 14.94 | 2 257 | 11.90 | 18 963 |
| | 2—10 | 45 625 | 91.70 | 855 | 1.72 | 3 271 | 6.57 | 49 752 |
| | 10—30 | 17 067 | 56.90 | 517 | 1.72 | 12 412 | 41.38 | 29 996 |
| KT—QY | 0—2 | 3 255 | 78.57 | 288 | 6.95 | 601 | 14.51 | 4 143 |
| | 2—10 | 8 358 | 95.97 | 150 | 1.72 | 200 | 2.30 | 8 709 |
| | 10—30 | 2 299 | 60.52 | 223 | 5.87 | 1 277 | 33.61 | 3 799 |
| KT—SJ | 0—2 | 4 256 | 62.80 | 267 | 3.94 | 2 253 | 33.24 | 6 777 |
| | 2—10 | 7 523 | 95.24 | 125 | 1.58 | 251 | 3.18 | 7 899 |
| | 10—30 | 3 067 | 93.73 | 102 | 3.12 | 102 | 3.12 | 3 272 |
| SD—QD | 0—2 | 67 760 | 99.41 | 252 | 0.37 | 151 | 0.22 | 68 163 |
| | 2—10 | 36 123 | 92.84 | 326 | 0.84 | 2 458 | 6.32 | 38 907 |
| | 10—30 | 61 716 | 96.64 | 373 | 0.58 | 1 774 | 2.78 | 63 863 |
| SD—GC | 0—2 | 802 | 24.90 | 1 692 | 52.53 | 727 | 22.57 | 3 221 |
| | 2—10 | 7 343 | 48.19 | 344 | 2.26 | 7 551 | 49.55 | 15 238 |
| | 10—30 | 29 969 | 87.29 | 225 | 0.66 | 4 139 | 12.06 | 34 333 |
| $Z_{01}$ | 0—2 | 3 501 | 89.72 | 200 | 5.13 | 200 | 5.13 | 3 902 |
| | 2—10 | 4 160 | 80.29 | 416 | 8.03 | 605 | 11.68 | 5 181 |
| | 10—30 | 4 441 | 92.08 | 76 | 1.58 | 306 | 6.34 | 4 823 |
| $Z_{02}$ | 0—2 | 3 857 | 76.59 | 127 | 2.52 | 1 052 | 20.89 | 5 036 |
| | 2—10 | 652 | 53.62 | 213 | 17.52 | 351 | 28.87 | 1 216 |
| | 10—30 | 4 441 | 92.08 | 76 | 1.58 | 306 | 6.34 | 4 823 |
| Z—LD | 0—2 | 677 | 35.99 | 100 | 5.32 | 1 103 | 58.64 | 1 881 |
| | 2—10 | 8 395 | 93.82 | 150 | 1.68 | 403 | 4.50 | 8 948 |
| | 10—30 | 12 842 | 95.42 | 205 | 1.52 | 411 | 3.05 | 13 458 |
| HD | 0—2 | 6 009 | 83.08 | 97 | 1.34 | 1 127 | 15.58 | 7 233 |
| | 2—10 | 12 178 | 99.34 | 30 | 0.24 | 50 | 0.41 | 12 259 |
| | 10—30 | 27 407 | 97.41 | 141 | 0.50 | 588 | 2.09 | 28 137 |

注：$Z_{01}$ 指 2008 年流动沙丘草方格治理区；$Z_{02}$ 指 2009 年流动沙丘草方格治理区；Z—LD 指流动沙丘；KT—QY 指栽植青杨的草方格；KT—SJ 指栽植沙棘的草方格；KT—QJD 指丘间低地；KT—GC 指顶部或坡中灌丛；SD—QD 指沙岛半固定沙丘丘顶；SD—GC 指沙岛灌丛；HD 指流动沙丘草方格治理区。

按土层,克土早期治理区,丘间低地中细菌数量的垂直分布表现为:2—10 >10—30 >0—2 cm,真菌:10—30 >2—10 >0—2 cm,放线菌:0—2 >2—10 >10—30 cm,微生物总数量:0—2 >2—10 >10—30 cm,总数量随着深度的增加而递减。在顶部灌丛中,细菌数量的垂直分布表现为:2—10 >0—2 >10—30 cm,真菌:0—2 >10—30 >2—10 cm,放线菌:10—30 >0—2 >2—10 cm,微生物总数量:2—10 >10—30>0—2 cm。在灌丛坡中,细菌数量的垂直分布表现为:2—10 >10—30 >0—2 cm,真菌:0—2 >2—10 >10—30 cm,放线菌:10—30 >2—10 >0—2 cm,微生物总数量:2—10 >10—30 >0—2 cm。可以看出,细菌数量表现为:2—10 cm 土层最高,真菌的数量丘间低地的是越深数量越多,而顶部灌丛和灌丛坡中的表现为表层最多,放线菌丘间低地是越深数量越少,而顶部灌丛和灌丛坡中的表现 10—30 cm 数量最多。在多年人工植被沙丘中,各层沙土的含水量不像流动沙丘有规律,但表层结皮中无论水分含量比下层多或少,微生物含量一般都较高,第二层即发育成块状结构的砂土层,土壤微生物的生长情况不如结皮层,但比第三层松散的黄沙中微生物数量要多。这表明在半荒漠地区,植物常年生长的固定沙丘中枯枝落叶和根系分泌物等有机质相对增加,给土壤微生物补充了营养,此时,土壤含水量不是影响微生物数量的唯一因素。

从表 2 中可以得出,克土流动沙丘栽植青杨的草方格中,细菌数量的垂直分布表现为:2—10 >0—2 >10—30 cm,真菌 0—2 >10—30 >2—10 cm,放线菌:10—30 >0—2 >2—10 cm,微生物总数量:2—10 >0—2>10—30 cm。在栽植沙棘的草方格内,细菌数量的垂直分布表现为:2—10>0—2>10—30 cm,真菌:0—2>2—10>10—30 cm,放线菌:0—2>2—10>10—30 cm,微生物总数量:2—10>0—2>10—30 cm。从测定的结果来看,栽植青杨和沙棘的草方格固沙沙障内,单个菌种数量的分布基本相似,土壤的细菌、真菌和放线菌的数量均表现为上层较下层的高,沙土内微生物数量随深度垂直分布的变化规律是一致的,目前植物并没有对其产生影响。

沙岛半固定沙丘丘顶,细菌数量的垂直分布表现为:0—2>10—30>2—10 cm,真菌:10—30>2—10>0—2 cm,放线菌:2—10>10—30>0—2 cm,微生物总量:0—2>10—30>2—10 cm。沙岛灌丛,细菌数量的垂直分布表现为:10—30>2—10>0—2 cm,真菌:0—2>2—10>10—30 cm,放线菌:2—10>10—30>0—2 cm,微生物总数量:10—30>2—10>0—2 cm。

防沙治沙示范区,2008 年流动沙丘草方格治理区中,细菌数量的垂直分布表现为:2—10 和 10—30 cm 大于 0—2 cm,真菌:2—10>0—2>10—30 cm,放线菌:2—10>10—30>0—2 cm,微生物总数量:2—10>10—30>0—2 cm。2009 年流动沙丘草方格治理区,细菌数量的垂直分布表现为:10—30>0—2>2—10 cm,真菌:2—10>0—2>10—30 cm,放线菌:0—2>2—10>10—30 cm,微生物总数量:0—2>10—30>2—10 cm。在流动沙丘中,细菌和真菌数量的垂直分布为:10—30>2—10>0—2 cm,随着深度的增加而增加,放线菌:0—2>10—30>2—10 cm,微生物总数量:10—30>2—10>0—2 cm。微生物总数量表现为随着深度的增加而增加。这是因为流动沙丘由于强烈的光照和沙面大量蒸发等原因,沙丘上层沙土非常干,土壤含水量较低,沙土中微生物的含量也较少,随着土层加深,沙土土壤湿度逐渐增加,土壤微生物的生长也较上层好。

湖东种羊场流动沙丘草方格治理区内,细菌数量的垂直分布表现为:10—30>2—10>0—2 cm,真菌:10—30>0—2>2—10 cm,放线菌:0—2>10—30>2—10 cm,微生物总数量:10—30>2—10>0—2 cm。细菌和真菌的数量均表现为随深度的增加而增加,表层的放线菌数量较下层的高。

总体看来,早期治理区,植被覆盖较高,微生物数量垂直分布表现为上层的高于下层,这是因为人工植被的生长使得表层土壤中有机质丰富,土壤结构疏松,为微生物活动提供了良好的营养和通气条件,土壤的热值状况比下层好,利于微生物生长繁殖,这样符合正常微生物数量的垂直分布规律。但是,明显看出,流动沙丘及近期草方格治理的沙丘,微生物数量非常少,而且下层的稍高于上层,这是由于流动沙丘下层的土壤湿度状况相对较好。

## 4　结 论

细菌在不同样地中排列的顺序是:沙岛半流动沙丘>克土丘间地>克土坡中灌丛> 湖东种羊场草方格>克土灌丛>沙岛灌丛>示范区流动沙丘>克土草方格(沙棘)>克土草方格(青杨)>近两年草方格措施区;真菌在不同样地中排列的顺序是:克土丘间地>克土灌丛>沙岛灌丛>沙岛流动沙丘>示范区草方格>克土草方格(青杨)>克土草方格(沙棘)>示范区流动沙丘>示范区草方格>湖东种羊场草方格;放线菌在不同样地中排列的顺序是:克土丘间地>克土坡中灌丛>沙岛灌丛>克土灌丛>沙岛半流动沙丘>克土草方格(沙棘)>克土草方格(青杨)>

示范区流动沙丘＞湖东种羊场草方格＞近两年草方格措施区。

从微生物总数来看，其大小顺序是：沙岛半固定沙丘＞克土丘间地＞克土灌丛＞沙岛灌丛＞湖东种羊场草方格区＞流动沙丘＞克土沙棘草方格＞克土青杨草方格＞示范区近年设置的草方格区，整体上可以看出，植被覆盖度高，表层形成土壤结皮，土壤水分较好，微生物含量也较高。说明随着沙漠化土地治理年限的增长，植被盖度的提高，改善了土壤的质地和结构，从而提高了土壤微生物活性，利于成土。

总体看来，微生物 3 大类群中，细菌占绝大数，其次是放线菌，真菌最少。植被覆盖较高的土壤微生物数量垂直分布表现为上层的高于下层，微生物含量也较其他点高，流动沙丘及近期草方格治理的沙丘，微生物数量非常少。土壤微生物对环境最敏感，在成土过程中，由于生态环境的改变，其数量、组成类群及微生物活动都会受到显著影响。本研究是对青海湖沙土微生物特征的初步研究，进一步需要对其季节变化特征开展研究，并对其影响因素进行探讨。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 郑昭佩，刘作新. 土壤质量及其评价[J]. 应用生态学报，2003，14(1)：131-134.

[2] 孙云云，赵兰坡. 土壤质量评价的生物指标及其相关性研究进展[J]. 中国农学通报，2010，26(5)：116-120.

[3] 邵玉琴，赵吉，包青海. 库不齐固定沙丘土壤微生物生物量的垂直分布研究[J]. 中国沙漠，2001，21(1)：87-92.

[4] 邵玉琴，赵吉. 不同固沙区结皮中微生物生物量和数量的比较研究[J]. 中国沙漠，2004，24(1)：68-71.

[5] 吴楠，潘伯荣，张元明. 土壤微生物在生物结皮形成中的作用及生态学意义[J]. 干旱区研究，2004，21(4)：444-450.

[6] 李新荣，贾玉奎，龙利群，等. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展[J]. 中国沙漠，2001，21(1)：4-11.

[7] Williiams J D, Dobrowolski J P, Gillette D A, et al. The role of microphysical crust on wind induced erosion [C]// Proc. 46th Annual Meeting Soc. Range Management. Albuquerque, New Mexico, U. S. A., 1993.

[8] West N E. Structure and function of microphysical soil crusts in wild land ecosystem of arid and semiarid regions [J]. Advances in Ecological Research, 1990, 20: 179-223.

[9] 潘惠霞，程争鸣，王林霞. 新疆吐鲁番盆地极端环境微生物资源研究[J]. 干旱区资源与环境，2002，1(4)：91-95.

[10] 顾峰雪. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被条件下土壤微生物的初步研究[J]. 生物多样性，2000，8(3)：297-303.

[11] 王素娟，苏和，高丽. 库布齐沙地土壤微生物数量初步研究[J]. 中国草地学报，2008，30(6)：89-93.

[12] 袁世斌，周婷，董微，等. 罗布泊沙土微生物生态分布特征[J]. 兰州大学学报：自然科学版，2009，45(4)：19-22.

[13] 王少昆，赵学勇，曲浩，等. 科尔沁沙地和浑善达克沙地流动沙丘中土壤微生物学特征比较[J]. 环境科学研究，2010，23(12)：1516-1522.

[14] 程丽娟，薛泉宏. 微生物学实验技术[M]. 西安：世界图书出版公司，2000：63-68.

[15] 杨文博. 微生物学实验[M]. 北京：化学工业出版社，2004：217-218.