

刘仁华, 秦洪文, 周大详, 等. 三峡库区消落带土壤微生物在周期蓄水影响下的多样性[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(6): 318–321.

三峡库区消落带土壤微生物在周期蓄水影响下的多样性

刘仁华, 秦洪文, 周大详, 李彦杰, 杨俊年, 甘丽萍, 杨冬梅, 刘正学

(重庆三峡学院生命科学与工程学院, 重庆 404100)

摘要:为探讨三峡库区消落带土壤微生物种群多样性、优势种群及其蓄水前后的变化,对三峡库区万州区、云阳县和巫山县等 3 个采样点土壤可培养细菌、放线菌和真菌进行研究和分析。结果表明:3 个采样点可培养微生物总量在淹没后均略有减少,但差异不显著($P > 0.05$);其中真菌数量略有增加,细菌和放线菌数量略有减少,差异均不显著($P > 0.05$);从 3 种可培养微生物所占比例来看,细菌和真菌占有比例略有增加,放线菌比例略有减少,差异均不显著($P > 0.05$)。不管是淹没前还是淹没后,土壤中细菌数量最多,放线菌其次,真菌数量最少。消落带土壤中可培养微生物数量在淹没前后变化不明显,说明当水位消减后消落带土壤中的微生物总数恢复较快,在土样中共分离出优势放线菌和优势真菌各 3 属。

关键词:三峡库区;消落带;土壤微生物;多样性

中图分类号: Q938 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2013)06–0318–03

土壤微生物是生态系统的重要组成部分,在生态系统循环中占有重要地位,参与土壤碳、氮等元素的循环过程和土壤有机物的矿化过程,对有机物质的分解转化、养分供应起着重要的主导作用^[1]。土壤微生物量是土壤微生物群落和植物可利用的不稳定的能量和营养物的来源^[2],可作为监测土壤质量短期和长期变化的敏感指标^[3]。

消落带是指水体水位因季节性涨落使土地被周期性淹没和出露成陆而形成的干湿交替的水陆衔接地带。按照三峡水库预定运行调度方案,每年汛期(6—9 月)水库水位降至最低(145 m),于 10 月底开始蓄水到最高水位(175 m)且保持到 12 月,而后水位又重新逐次降低,这样在一年内库区周围形成垂直距离为 30 m 的消落带区域。三峡水库自 2003 年开始试验性蓄水,在 2010 年蓄水达到了预期设计水位 175 m,从此 30 m 高程的消落带正式形成。消落带土壤将在每年 6—9 月的汛期出露,而在其余月份则大部分浸泡在江水中。目前,该处是世界上面积最广、水位涨落幅度最大、人类活动影响最为频繁的消落带,面积超过 349 km²。水位、水压变化造成消落带内原有陆生植被大部分消亡更新,土壤结构也发生了变化,同时水土资源的不合理利用彻底改变了自然的水文状况,区域生态系统表现出一定易变性、不稳定性和脆弱性,特别是在水库消落带形成初期,水淹导致土壤生境承受着由干到湿的剧烈变化,使得原来多数喜旱生的植物难以忍受长时间水淹而消失。如何快速恢复和重建消落带植被、恢复消落带生态系统的基本生态功能,已经成为消落带建设成功的关键。

目前,国内外对三峡库区消落带的研究主要是探讨消落带功能、消落带土地资源利用、消落带退化生态系统恢复和消落带生态治理等方面,而土壤微生物方面的基础研究很少。本研究拟针对三峡水库消落带淹没前后土壤中的微生物多样性进行初步研究,了解三峡水库消落带淹没前后土壤中微生物多样性、土壤生态状况等,进而为消落带退化生态系统恢复和消落带生态治理等提供决策依据和科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于三峡水库万州段蓄水水位在 145 ~ 175 m 之间的消落区,属亚热带季风湿润带。气候四季分明:冬暖,多雾;夏热,多伏旱;春早,气温回升快而不稳定;秋长,阴雨绵绵,日照充足,雨量充沛,天气温和,无霜期长,霜雪稀少。境内多年平均气温 17.7 ℃,河谷区年平均气温 16.7 ~ 18.7 ℃,7 月平均气温 28 ~ 30 ℃,多年平均降水量 1 243 mm。

在三峡水库万州区新田镇、开县巴阳镇和巫山县消落带共选取 3 个具有代表性的土样采集区。根据每个样区的地貌在 145 ~ 175 m 消落带内沿库滨向上按海拔高程设置多个采样点,采样点选定后采用浇灌水泥桩的形式对采样点进行固定。

1.2 采样

每一采样点按照海拔高程顺序采集 5 个样方内的土样。每样方在 1 m² 的范围内先将采样点上的草和 0 ~ 5 cm 表层土去除,然后每样方挖 35 cm 深的采样坑,分别在 5 ~ 15 cm、15 ~ 35 cm 的土层取样。每一层随机取 3 份土壤样品,混匀后 1 份约 1 000 g,用灭菌铲采集后立即装于已编号的灭菌密封塑料袋内。3 个采样点共 15 个样方,每样方采集 2 层土样,共采集 30 个土壤样本。取样后迅速将土样带回实验室进行土壤含水量和土壤微生物数量的测定。淹没退水后按照以上方法同样采集 30 个土壤样本。

1.3 测定项目与方法

土壤三大类微生物区系的数量分析采用平板稀释法。用

收稿日期:2012–11–21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31270451);重庆市教育委员会项目(编号:KJ091109);重庆市自然科学基金(编号:estc2012jjA80012)。

作者简介:刘仁华(1977—),男,四川宜宾人,硕士,副教授,主要从事微生物学研究。E-mail:bio168@163.com。

通信作者:刘正学,博士,教授,主要从事三峡库区消落带植被重建和生态系统修复研究。E-mail:1421031367@qq.com。

牛肉膏蛋白胨培养基培养细菌,用高氏合成一号培养基培养放线菌,用含 1% 孟加拉红和 30 mg/kg 链霉素的马丁氏培养基培养真菌。各培养基按参考文献[4]的方法配制和灭菌。每处理 3 个重复,取平均值,测定细菌、放线菌和真菌的总数后,三者相加作为微生物总量;土壤含水量采用常规烘干法测定。

1.4 测定微生物量

1.4.1 土壤含水量测定及悬液制备 将待测土样取出再次混匀后,用无菌滤纸称取 2 份各 10 g,1 份置于培养皿中,立即放入烘箱中,120 ℃ 下干燥数小时,直至 2 次称重所得土壤重量相同为止。计算土样含水率:含水率 = (湿重 - 干重)/干重 × 100%。另 1 份置于装有玻璃珠的 250 mL 灭菌三角瓶中,用 90 mL 蒸馏水制成悬液,振荡 15 min,待充分溶解后,采用十倍稀释法配制成 10² ~ 10⁶ 倍的稀释悬液待用^[5]。

1.4.2 微生物培养 对细菌、放线菌、真菌对应选择稀释度 10⁶、10⁴、10³,用移液枪分别向 3 种培养基表面滴加 0.2 mL 稀释悬液,用接种用涂布玻璃棒将悬液涂抹均匀,各稀释度重复 3 次。细菌 37 ℃ 培养 2 d,放线菌 28 ℃ 培养 4 d,真菌 28 ℃ 培养 6 d。

1.4.3 微生物计数 参照文献[4]进行菌落计数和土壤微生物量的计算,根据公式:干土中菌数(个/g) = 菌落平均数 × 稀释倍数/(1 - 土壤含水量),计算干土中的微生物数量。

1.5 放线菌和真菌的培养及鉴定

根据培养的平板内菌落的形态、大小、色泽和生长速度等特点,从每个样品尽可能多地挑取单菌落划线纯化培养,依据菌落培养性状和形态特征对菌株进行归类并统计数量^[6]。确定优势菌后进行编号保存,待进一步鉴定。优势菌定义:在最高稀释度上,菌落数占总菌落数的比例为 10% 以上的菌。每个样品中最多的菌落数达不到 10% 的,取菌落数最多的前 2 种菌作为该样品的优势菌^[7]。

1.5.1 优势放线菌的鉴定 将分离到的优势放线菌接种到高氏合成一号培养基上,28 ℃ 培养,观察 72 ~ 96 h 菌龄的菌落形态。根据其菌落特征和显微特征参照有关参考文献进行形态学鉴定^[8]。

1.5.2 优势真菌的鉴定 将分离到的优势真菌接种到马铃薯培养基(PDA)上,28 ℃ 培养 6 d 后,描述菌落质地、形状、大小、隆起形状和颜色等,同时在光学显微镜(16 × 40 倍)下观察菌株的分生孢子和分生孢子梗形态并拍照。参照有关参考文献进行形态学鉴定^[9-10]。

1.6 统计分析

采用数理统计方法,对三峡水库消落带土壤微生物在淹没前后水位变化过程中的分布变化进行显著性差异分析,研究其是否具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 淹没前消落带土壤微生物总量及其差异分析

淹没前 15 份土样的含水量及微生物数量见表 1 和表 2。

由表 1 可见,在淹没前 5 ~ 15 cm 土层的土样中,细菌数量范围是 5.14 × 10⁵ ~ 1.22 × 10⁷ CFU/g,平均值是 2.16 × 10⁶ CFU/g;放线菌数量范围是 5.99 × 10⁴ ~ 1.10 × 10⁶ CFU/g,平均值是 3.74 × 10⁵ CFU/g;真菌数量范围是 1.21 × 10³ ~

表 1 淹没前消落带 5 ~ 15 cm 土层土微生物数量及含水量

土样号	细菌 (10 ⁵ CFU/g)	放线菌 (10 ⁴ CFU/g)	真菌 (10 ³ CFU/g)	总量 (10 ⁵ CFU/g)	含水量 (%)
1	5.14	20.14	2.10	7.18	4.12
2	12.01	14.10	1.21	13.43	1.04
3	11.68	8.12	6.24	12.56	6.17
4	9.24	9.47	5.14	10.24	18.10
5	5.68	6.15	5.57	6.35	2.78
6	8.17	47.12	8.12	12.96	3.01
7	5.45	98.12	11.04	15.37	4.56
8	5.09	12.14	1.98	6.32	1.78
9	6.24	45.21	15.41	10.92	6.14
10	15.85	15.04	5.47	17.41	5.11
11	54.69	110.24	6.47	65.78	5.98
12	122.17	74.12	2.17	129.60	12.45
13	12.71	5.99	6.54	13.37	14.11
14	41.54	85.12	2.14	50.07	3.57
15	7.68	10.14	13.68	8.83	17.10
平均值	21.56	37.41	6.22	25.36	7.07

1.54 × 10⁴ CFU/g,平均值是 6.22 × 10³ CFU/g;含水量范围为 1.04% ~ 18.10%,平均含水量为 7.07%;可培养微生物总量范围为 6.32 × 10⁵ ~ 1.30 × 10⁷ CFU/g,平均值是 2.54 × 10⁶ CFU/g;3 种微生物中,细菌数量占 85.02%,放线菌数量占 14.75%,真菌数量占 0.23%。

表 2 淹没前消落带 15 ~ 35 cm 土层微生物数量及含水量

土样号	细菌 (10 ⁵ CFU/g)	放线菌 (10 ⁴ CFU/g)	真菌 (10 ³ CFU/g)	总量 (10 ⁵ CFU/g)	含水量 (%)
16	18.21	54.12	6.25	23.68	1.24
17	20.15	25.95	8.12	22.83	2.12
18	6.33	8.35	7.64	7.24	2.59
19	9.15	66.21	5.08	15.82	16.45
20	16.20	54.12	9.12	21.70	3.08
21	20.04	5.98	11.67	20.76	5.01
22	60.35	7.85	6.27	61.20	10.24
23	24.08	18.65	4.57	25.99	9.15
24	8.25	38.42	8.21	12.17	11.17
25	9.10	66.32	9.68	15.83	12.04
26	21.24	15.94	8.12	22.92	6.57
27	27.01	43.71	3.27	31.41	14.01
28	16.58	112.14	6.04	27.85	6.64
29	9.91	12.01	4.12	11.15	7.58
30	23.14	26.58	5.02	25.85	11.45
平均值	19.32	37.09	6.88	23.10	7.97

由表 2 可见,在淹没前 15 ~ 35 cm 土样中,细菌数量范围是 6.33 × 10⁵ ~ 6.04 × 10⁶ CFU/g,平均值是 1.93 × 10⁶ CFU/g;放线菌数量范围是 5.98 × 10⁴ ~ 1.12 × 10⁶ CFU/g,平均值是 3.71 × 10⁵ CFU/g;真菌数量范围是 3.27 × 10³ ~ 1.17 × 10⁴ CFU/g,平均值是 6.88 × 10³ CFU/g;含水量范围为 1.24% ~ 16.45%,平均含水量为 7.97%;微生物总量范围为 7.24 × 10⁵ ~ 6.12 × 10⁶ CFU/g,平均值是 2.31 × 10⁶ CFU/g;3 种微生物中,细菌数量占 83.64%,放线菌数量占 16.06%,真菌数量占 0.30%。

2.2 淹没后消落带土壤微生物总量及其差异分析

淹没后 15 份土样的含水量及微生物数量见表 3 和表 4。由表 3 可见,在淹没后 5 ~ 15 cm 土样中,细菌数量范围是 $3.24 \times 10^5 \sim 4.21 \times 10^6$ CFU/g,平均值是 1.36×10^6 CFU/g;放线菌数量范围是 $9.12 \times 10^4 \sim 2.87 \times 10^5$ CFU/g,平均值是 1.82×10^5 CFU/g;真菌数量范围是 $5.36 \times 10^3 \sim 5.10 \times 10^4$ CFU/g,平均值是 1.51×10^4 CFU/g;含水量范围为 1.21% ~ 13.64%,平均含水量为 5.94%;微生物总量范围为 $5.85 \times 10^5 \sim 3.49 \times 10^6$ CFU/g,平均值是 1.56×10^6 CFU/g;3 种微生物中,细菌数量占 87.34%,放线菌数量占 11.71%,真菌数量占 0.95%。

表 3 淹没后消落带 5 ~ 15 cm 土层微生物数量及含水量

土样号	细菌 (10^5 CFU/g)	放线菌 (10^4 CFU/g)	真菌 (10^3 CFU/g)	总量 (10^5 CFU/g)	含水量 (%)
31	15.68	9.12	12.21	16.71	1.21
32	3.24	21.04	51.04	5.85	12.01
33	5.19	21.12	6.28	7.36	2.69
34	9.14	12.04	8.54	10.43	4.28
35	5.24	28.69	9.57	8.20	12.01
36	15.47	9.45	21.08	16.63	13.64
37	21.12	12.87	16.54	22.57	8.27
38	33.01	17.14	17.69	34.90	2.45
39	5.24	26.47	33.01	8.22	6.14
40	8.45	19.18	14.01	10.51	10.24
41	12.68	16.54	5.36	14.39	3.22
42	42.06	24.15	7.18	44.55	4.61
43	8.75	18.04	8.25	10.64	3.12
44	6.08	15.32	9.11	7.70	1.04
45	12.49	22.14	6.22	14.77	4.19
平均值	13.59	18.22	15.07	15.56	5.94

表 4 淹没后消落带 15 ~ 35 cm 土层微生物数量及含水量

土样号	细菌 (10^5 CFU/g)	放线菌 (10^4 CFU/g)	真菌 (10^3 CFU/g)	总量 (10^5 CFU/g)	含水量 (%)
46	10.24	6.28	10.25	10.97	1.45
47	9.12	9.18	9.58	10.13	3.15
48	8.12	8.24	21.58	9.16	5.01
49	5.65	15.24	22.98	7.40	2.14
50	4.12	9.07	61.04	5.64	10.24
51	1.57	19.28	2.64	3.52	8.24
52	9.68	18.12	3.24	11.52	6.14
53	5.04	16.10	4.19	6.69	2.67
54	4.20	34.01	8.27	7.68	7.68
55	5.29	6.12	11.24	6.01	9.87
56	9.01	0.17	3.05	9.06	11.74
57	12.14	25.18	6.82	14.73	14.10
58	25.12	6.24	37.16	26.12	2.47
59	6.78	12.10	6.19	8.05	5.14
60	59.10	24.15	4.56	61.56	1.47
平均值	11.68	13.97	14.19	13.22	6.10

由表 4 可见,在淹没后 15 ~ 35 cm 土样中,细菌数量范围是 $1.57 \times 10^5 \sim 5.91 \times 10^6$ CFU/g,平均值是 1.17×10^6 CFU/g;放线菌数量范围是 $1.70 \times 10^3 \sim 3.40 \times 10^5$ CFU/g,平均值是

1.40×10^5 CFU/g;真菌数量范围是 $2.64 \times 10^3 \sim 6.10 \times 10^4$ CFU/g,平均值是 1.42×10^4 CFU/g;含水量范围为 1.45% ~ 14.10%,平均含水量为 6.10%;微生物总量范围为 $3.52 \times 10^5 \sim 6.16 \times 10^6$ CFU/g,平均值是 1.32×10^6 CFU/g;3 种微生物中,细菌数量占 88.35%,放线菌数量占 10.59%,真菌数量占 1.06%。

将淹没前后的数据进行比较(表 1 和表 3 比较,表 2 和表 4 比较),结果表明不论是 5 ~ 15 cm 还是 15 ~ 35 cm 的土样,淹没后土样中可培养微生物总量均略有减少,但差异并不显著($P > 0.05$);其中真菌数量略有增加,差异不显著($P > 0.05$);细菌和放线菌数量略有减少,差异不显著($P > 0.05$);但从 3 种可培养微生物比例来看,细菌占有比例略有增加,放线菌比例略有减少,真菌比例略有增加,差异均不显著($P > 0.05$)。消落带土壤可培养微生物总量在淹没前后相差不大,说明当水位消减后消落带土壤中的微生物总数恢复较快。

2.3 放线菌及真菌的培养及鉴定结果

根据平板内菌落的形态、大小和色泽等特点,从每个样品中挑取单菌落进行纯化培养,依据菌落培养性状和显微特征对菌株进行归类并统计数量。确定优势菌后进一步鉴定得到优势放线菌 3 属和优势真菌 3 属,具体如下:优势放线菌为链霉菌属(*Streptomyces*)、诺卡氏菌属(*Nocardia*)和小单孢菌属(*Micromonospora*);优势真菌为曲霉属(*Aspergillus*)、青霉属(*Penicillium*)和木霉属(*Trichoderma*)。

3 讨论

三峡库区消落带土壤微生物在周期蓄水影响下数量和种群变化是否具有周期性和规律性方面的研究较少。本试验通过采样分析和种群鉴定,研究三峡库区消落带土壤可培养微生物的种群分布及其在水位变化过程中的变化规律,期望建立消落带土壤微生物的背景资料,进而为三峡库区消落带植被修复过程中的植物种类筛选及后期三峡水库消落带整体生态修复、库区生物物质循环、水质安全监测提供基础数据和理论支持。本试验结果表明,三峡库区消落带土壤中可培养微生物的总量在淹没前后相差不大,淹没后比淹没前略有减少,但差异并不显著。这可能是由于年际浸泡时间短,尤其是消落带上部土壤总浸水时间不长,因而其质地和性质与地势更高的土壤相比并无明显的变化,同时也说明当水位消减后消落带土壤中的微生物总数恢复较快。

土壤微生物是三峡库区消落带生态系统多样性研究的重要组成部分,保持基本的生态过程和多样性是人类农业生产赖以生存的基础。影响库区消落带土壤微生物多样性的因素很多,凡与库区消落带土壤相关的生态因子均能产生影响,归结起来其主要影响因素包括土壤类型、退耕方式及植被类型等^[11-12]。在三峡库区消落带区域,部分退耕土地被少数农民复耕,造成局部土壤植被破坏,进而对库区消落带的治理带来困扰,希望能引起相关部门的重视。

由于本试验是对库区消落带土壤微生物中可培养微生物的研究,而可培养微生物在土壤微生物中的比例仅占 10% 左右,因此还有更多的不可培养微生物有待进一步研究^[13-15],这对库区消落带的生态治理和生态恢复有十分重要的理论和实践意义。由于细菌的形态学鉴定较困难,因此本试验只对

姜忠峰,李畅游,张 生. 呼伦湖底栖动物调查与水质评价[J]. 江苏农业科学,2013,41(6):321-323.

呼伦湖底栖动物调查与水质评价

姜忠峰^{1,2}, 李畅游², 张 生²

(1. 河南城建学院环境与市政工程系, 河南平顶山 463076; 2. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018)

摘要: 调查结果显示, 呼伦湖内共有底栖动物 7 种, 隶属 3 门 4 纲 6 科。平均密度和生物量分别为 172 ind/m²、1.598 g/m², 与 20 世纪 80 年代的调查结果相比, 底栖动物种类数明显增加。以底栖动物生物量对呼伦湖水质进行评价, 结果表明呼伦湖处于中营养状态。

关键词: 呼伦湖; 底栖动物; 水质; 评价

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)06-0321-03

呼伦湖, 也称达赉湖, 为中国第 4、内蒙古第 1 大湖, 位于内蒙古自治区满洲里市及新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗之间, 地理坐标介于 48°33′~49°20′N, 116°58′~117°48′E 之间(图 1)。湖盆东面是兴安岭山脉, 西面及南面是蒙古高原。呼伦湖湖面呈不规则斜长方形, 轴向为东北至西南方向, 长度为 93 km, 最大宽度为 41 km, 湖周长 447 km, 湖水面积 2 339 km², 平均水深 5.7 m, 最大水深 10 m, 总储水量 138.5 亿 m³, 湖岸线弯曲系数为 1.88^[1]。呼伦湖是中国北方数千里之内唯一的大泽, 其水域宽广, 沼泽湿地连绵, 湖中共有野生鱼类 30 种, 隶属 5 目 8 科 2 亚科, 其中主要的经济鱼类有

鲤鱼、鲫鱼、红鳍鲌、蒙古红鲌、油鲈、鲇鱼等 6 种, 此外湖中还盛产白虾。呼伦湖也是中国北方地区重要的鸟类栖息地和东部内陆鸟类迁徙的重要通道, 据初步统计, 呼伦湖地区共有鸟类 17 目 41 科 241 种, 占中国鸟类总数的 1/5, 主要有天鹅、雁、鸭、鹭等。呼伦湖地区的珍稀禽类繁多, 其中丹顶鹤、白鹤、黑鹤、大鸨、金雕等是国家一级保护鸟类; 全世界的 15 种鹤类中有 5 种分布于呼伦湖保护区内, 这些鹤类家族中的白鹤、丹顶鹤、白枕鹤已被列入世界濒危物种^[2]。在呼伦贝尔草原的生态保护和经济发展过程中, 呼伦湖水域与湿地发挥着不可替代的重要作用。具有独特自然价值的呼伦湖于 1992 年被确定为国家级自然保护区, 于 2002 年 1 月被拉姆萨尔公约组织批准为国际重要湿地, 于 2002 年 11 月成为世界生物圈保护区网络成员^[3]。但 40 多年来, 由于气候变化和人类活动的影响, 呼伦湖水位逐年下降, 水域面积不断减小, 湿地萎缩, 致使周边生态环境和湖水水质严重恶化, 湖水总含盐量和 pH 值逐年升高, 湖周大面积芦苇消失, 渔业资源濒临枯竭, 大量珍稀鸟类发生迁移^[4]。目前呼伦湖的水质已属于中度富营养化水平^[5], 湿地生态环境正在急剧恶化, 严重威

收稿日期: 2012-11-27

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 50569002、50669004、50969005、40901262); 河南省科技攻关项目(编号: 132300410304); 内蒙古自治区“十一五”科技攻关项目(编号: 20080105); 内蒙自然科学基金(编号: 2009BS0605); 平顶山市科技攻关项目(编号: 201223019)。

作者简介: 姜忠峰(1981—), 男, 山东高唐人, 博士, 讲师, 研究方向为水环境保护与水污染控制。E-mail: imujzf@163.com。

可培养的放线菌和真菌进行了形态学鉴定, 而对库区消落带土壤中可培养的优势细菌的种群有待进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 田耀华, 冯玉龙. 微生物研究在土壤质量评估中的应用[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(1): 132-137.
- [2] 刁承泰, 黄京鸿. 三峡水库水位涨落带土地资源的初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(1): 75-80.
- [3] 曾繁富, 赵同谦, 徐华山, 等. 滨河湿地土壤微生物数量及多样性研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(10): 13-18.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 49-65, 159-163.
- [5] 肖国生, 胡廷章, 唐华丽, 等. 三峡水库消落带淹没前后土壤微生物生态分布及优势菌群的鉴定[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 493-496.
- [6] 毕江涛, 贺达汉, 黄泽勇, 等. 退化生态系统植被恢复过程中土壤微生物群落活性响应[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 195-200.
- [7] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 等. 不同施肥制度对土壤微生物的影响

及其与土壤肥力的关系[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1591-1599.

- [8] 阎述初. 放线菌的分类和鉴定[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [9] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [10] 张中义. 中国真菌志: 第 14 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [11] 徐 洁, 罗华元, 常寿荣, 等. 烟草根际土壤微生物区系分析及其相关性研究[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6): 2279-2284.
- [12] 孔 滨, 孙 波, 郑宪清, 等. 不同水热条件下玉米单作系统中红壤微生物群落的代谢特征[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 119-124.
- [13] Harris J A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration[J]. Eur J Soil Sci, 2003, 54(4): 801-808.
- [14] Cairns Jr J. Balancing ecological destruction and restoration; the only hope for sustainable use of the planet[J]. Aquat Ecosyst Health Manag, 1999, 2(2): 91-95.
- [15] Winding A, Hund-Rinke K, Rutgers M. The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2005, 62(2): 230-248.