

寡盐水鱼池藻菌土腥异味化合物研究

徐立蒲^{1,2}, 潘 勇², 曹 欢², 殷守仁², 熊邦喜¹

(1. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070; 2. 北京市水产技术推广站, 北京 100021)

摘要: 通过利用固相微萃取-气质联用色谱测定天津市寡盐水养鱼池中浮游藻类和放线菌的次生代谢产物——土腥异味化合物(土臭味素和二甲基苄醇)浓度, 感官评价养殖鱼土腥异味程度, 同时测定浮游藻类和放线菌生物量, 探讨鱼池中土臭味素和二甲基苄醇浓度、浮游藻类和放线菌生物量以及养殖鱼异味之间的相互关系。结果表明, 寡盐水养鱼池水体中普遍存在土臭味素和二甲基苄醇, 其中二甲基苄醇是鱼池中的主要异味物质, 浓度 $0.33 \sim 5302.70 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 土臭味素浓度相对较低, $0.29 \sim 12.10 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 。养鱼池中共测到 6 门 94 属的浮游藻类, 生物量 $0.07 \sim 186.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 以蓝藻 Cyanophyta、裸藻 Euglenophyta 等种类为主。放线菌共测到 3 个属, 总生物量 $0.01 \times 10^4 \sim 1.50 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$, 以链霉菌属 *Streptomyces* 为主。巨颤藻 *Oscillatoria princeps* 和放线菌是天津地区寡盐水养鱼池中能够产生二甲基苄醇的主要产源。水体异味和鱼肉发生异味不同步。

关键词: 异味; 土臭味素; 二甲基苄醇; 浮游藻类; 放线菌; 寡盐水鱼池

文章编号: 1000-0933(2008)10-5173-06 中图分类号: Q143, Q178, X171 文献标识码: A

Preliminary study on off-flavour compounds of algae and actinomycete in saline water ponds

XU Li-Pu^{1,2}, PAN Yong², CAO Huan², YIN Shou-Ren², XIONG Bang-Xi¹

1 Aquaculture College, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China

2 Beijing Aquaculture Technology Extension Station, Beijing 100021, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5173 ~ 5178.

Abstract: The concentration of two kinds of secondary metabolite-muddy odorous compounds (geosmin and 2-methylisoborneol) of algae and actinomycete in intensive cultivation ponds of saline water in Tianjin were detected by coupling solid phase micro-extraction with gas chromatography-mass spectrometry, the degree of earthy flavour of fish and biomass of the algae and actinomycete in the ponds were determined at the same time. The tripartite relationship (the concentration of geosmin and MIB, the biomass of the algae and actinomycete, the earthy flavour of fish in the ponds) was researched. It was found that geosmin and MIB existed in all the ponds, and MIB was the major odorous compounds with its concentration from $0.33 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ to $5302.70 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$. The concentration of geosmin was less than MIB, it was from $0.29 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ to $12.10 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$. Algae of six phylum and ninety-four genera was determined in the ponds with its biomass from $0.07 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ to $186.48 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, and Cyanophyta and Euglenophyta were dominant species. Four genera actinomycete with gross biomass from $0.01 \times 10^4 \sim 1.50 \times 10^4 \text{ ind.} \cdot \text{L}^{-1}$ were found in the ponds and *Streptomyces* was dominant. It was found

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30470342); 国家教育部博士学科点专项基金资助项目(20020504001); 北京市科技攻关项目(Y0705003040291)

收稿日期: 2007-05-30; **修订日期:** 2007-10-06

作者简介: 徐立蒲(1972~), 男, 哈尔滨市人, 博士生, 高级工程师, 主要从事鱼类生理生态学研究。E-mail: xulipu@sohu.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 30470342); The Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (No. 20020504001); The project was supported by science and technology program in Beijing (No. Y0705003040291)

Received date: 2007-05-30; **Accepted date:** 2007-10-06

Biography: XU Li-Pu, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecological physiology. E-mail: xulipu@sohu.com

that MIB in the intensive cultivation ponds of saline water in Tianjin was mainly produced by *Oscillatoria princeps* and actinomycete. It was also found that the occurrence of the earthy flavour in the fish and in the water was not at the same time.

Key Words: off-flavour; geosmin; MIB; algae; actinomycete; saline water ponds

天津是我国北方重要的渔业生产基地, 养鱼池水盐度在 2~5, 属于寡盐水鱼池, 养殖鱼类存在较普遍土腥异味, 降低水产品食用价值和养殖效益, 危及食用安全, 因此日益受到关注。国外对土腥异味的研究较早, 已有研究表明能引起鱼体所特有的土腥异味主要是水中藻类和放线菌分泌的次生代谢产物 2-甲基异莰醇 (MIB, 2-methylisoborneol) 和土臭味素 (geosmin) 这两种异味物质渗透到鱼体内所引起^[1~3]。近年来国内对土腥异味也开展了一些研究, 主要集中在土腥异味物质的分析测定技术^[4~7]、鱼体异味消除技术^[8,9]等方面, 但国内的水体异味状况资料较少^[10,11], 尤其缺乏寡盐水养鱼池的水体异味资料, 对寡盐水养鱼池水体中的土腥异味物质种类及浓度定量较少。本文采用国际前沿方法^[12]测定了天津寡盐水养鱼池中土臭味素和 MIB 的浓度, 同时感官检测^[7]养殖鱼的异味程度, 探讨寡盐水鱼池中异味物质浓度与藻类及放线菌的关系, 以及寡盐水鱼池中异味物质浓度与养殖鱼异味程度关系, 旨在为寡盐水养鱼池水质管理、改善食用水产品品质及保障食用安全提供科学依据。

1 实验方法

1.1 样品的采集

在天津市西青区凯润水产养殖公司、西青区水产局渔场和静海区团泊水库渔场各选择 1 个寡盐水养鱼池按季度进行样品采集。为便于比较, 采样深度统一在水面下 0.5m, 在鱼池四周各取 1L 水, 混合后备用。鱼池面积 0.33~13.33hm², 水深 1.5~2.0m。主要养殖品种是草鱼 *Ctenopharyngodonid ellus* 和鲤 *Cyprinus carpio*, 鱼产量在 10000kg·hm⁻² 以上。

1.2 试剂

土臭味素 (Geosmin) 浓度为 100μg·ml⁻¹, 纯度 99.9%; 2-甲基异莰醇 (MIB) 浓度为 1mg·ml⁻¹, 纯度大于 98%; 2-异丁基-甲氧基吡嗪 (IBMP) 和 2-isopropyl-3-methoxy pyrazine (IPMP) 纯度 99.9%。以上 4 种标准品均为色谱纯, MIB 和 IPMP 购自 Sigma 公司, Geosmin 和 IBMP 购自美国 SUPELCO 公司。甲醇为色谱级。氯化钠 (NaCl) 为分析级, 使用前在马福炉中 450℃ 烘烤 4h。纯水用法国密里博公司纯水器制备。

1.3 测定方法

1.3.1 水环境指标测定

水质指标中的 COD、氨氮、总氮、总磷分别按照 GB1892-1989、GB7499-1987、GB1894-1989、GB1894-1989 规定测定, pH、盐度、温度采用 HACH sension156 现场测定 (如表 1)。

1.3.2 浮游藻类及放线菌的测定

浮游藻类定性及定量按常规方法^[13], 放线菌的鉴别及定量根据文献^[14,15]进行。

水样中放线菌的测定: 取 0.1ml 0.5% 的苯酚溶液加入待测 10ml 水样中。充分混匀后, 以 10 倍稀释法将水样稀释至 10⁻²、10⁻³ 和 10⁻⁴ 的悬液。每个梯度 3 个重复。使用高氏 1 号培养基, 28℃ 下倒置培养 7d 后, 计数放线菌菌落, 并计算出每毫升水中的含菌量。

1.3.3 土腥异味物质测定

水样采集后盛满在 125ml 磨口瓶中, 严防气泡产生, 低温保存, 14d 内对土腥异味物质定性定量。利用顶空固相微萃取-气质联用色谱法^[12]测定水中土臭味素和二甲基异莰醇的浓度。Trace 2000 型 GC-MS 仪。层析管柱, 柱长 3m, 内径 0.25mm, 膜厚 0.25μm, J&W 公司提供。固相微萃取针 (2cm-50/30μm DVD/Carboxen/PDMS) 和磁力搅拌器 (Corning Model PC-420) 购自 SUPELCO 公司。

表 1 试验池塘基本情况
Table 1 Basic situation of the experimental ponds

池塘 Ponds	测定时间 Investigation time	水温(℃) Water temperature	pH	DO (mg·L ⁻¹)	盐度 Salinity	COD (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (mg·L ⁻¹)	TN (mg·L ⁻¹)	TP (mg·L ⁻¹)	Chro-a (mg·L ⁻¹)
凯润公司 KaiRun company	2006-04	11.0	8.0	9.2	5.0	56.3	0.7	4.0	0.8	0.1892
	2006-07	25.8	8.4	7.5	1.5	34.3	4.2	4.2	0.4	0.0799
	2006-10	14.1	8.6	6.9	3.4	36.9	2.0	3.6	0.4	0.1048
	2007-01	1.5	8.9	22.2	4.0	40.8	1.1	3.5	0.4	0.0511
西青水产局 渔场 XiQing fisheries bureau	2006-04	11.0	8.0	10.8	5.0	24.4	0.3	1.0	0.1	0.5678
	2006-07	25.0	8.3	3.4	4.0	37.2	10.3	5.4	1.2	0.0104
	2006-10	15.1	8.6	7.5	4.3	43.7	3.1	4.8	0.3	0.3350
	2007-01	3.4	8.3	0.5	4.0	40.9	5.2	5.7	0.9	0.1251
团泊水库 渔场 TuanBo reservior	2006-04	12.0	8.6	9.4	4.0	75.6	0.8	5.4	1.0	0.0270
	2006-07	23.7	8.7	8.7	4.0	27.6	0.4	1.1	0.1	0.0267
	2006-10	15.3	8.4	8.5	3.7	18.8	0.3	1.0	0	0.0090
	2007-01	5.1	8.2	10.7	5.0	20.0	0.5	1.5	0.1	0.0243

1.3.4 鱼肉异味程度鉴定

采用文献 7 的方法检测。

1.4 数据分析

采用 SPSS11.0 生物统计软件分析。

2 结果

2.1 寡盐水鱼池中土臭味素与 MIB 的浓度

见表 2,土臭味素和 MIB 在 3 个寡盐水鱼池中均被检出,浓度分别是 0.29 ~ 12.10ng·L⁻¹和 0.99 ~ 5302.70 ng·L⁻¹。MIB 在 1 月和 7 月份较高,10 月最低;土臭味素在 7 月和 1 月份较高,4 月最低。二者浓度比(MIB/Geosmin)0.6 ~ 1433.2,MIB 浓度普遍高于土臭味素浓度,75% 的鱼池中 MIB 浓度高于土臭味素浓度,且 50% 被测鱼池中二者浓度相差 10 倍或更高,可见天津地区寡盐水鱼池中的主要异味物质是 MIB。

2.2 寡盐水鱼池中的浮游藻类和放线菌

见表 2,被测鱼池中共出现浮游藻类 6 门 94 属,其中硅藻门 Bacillariophyta9 属,绿藻门 Chlorophyta29 属,蓝藻门 Cyanophyta30 属、隐藻门 Cryptophyta3 属、裸藻门 Euglenophyta20 属、金藻门 Chrysophyta3 属,裸藻门和蓝藻门是优势种类。浮游藻类总生物量 0.03 ~ 186.48mg·L⁻¹。被测鱼池中共测到 3 个属的放线菌,总生物量 0.01 × 10⁴ ~ 1.50 × 10⁴个·L⁻¹,包括链霉菌属 *Streptomyces*、小单孢菌属 *Micromonospora* 和马杜拉菌属 *Actinomadura*。链霉菌属是鱼池中的优势种,对各池放线菌总生物量贡献率基本均超过 90%。

SPSS 统计分析显示,寡盐水鱼池中土臭味素和 MIB 与浮游藻类总生物量无关;鱼池中放线菌数量与 MIB 浓度显著正相关,而与土臭味素浓度无关。结合宋立荣等^[2]整理的能产生土臭味素和 MIB 的藻资料,对 2006 年 4 月到 2007 年 1 月间天津寡盐水鱼池中的浮游藻类优势种进行筛选(表 2),可见天津寡盐水鱼池中存在与异味物质(MIB)有关的是浮游藻类中的巨颤藻 *Oscillatoria princeps* 和放线菌。

SPSS 统计分析还显示,寡盐水鱼池水体盐度与放线菌数量及 MIB 浓度显著负相关。

2.3 养殖鱼肉土腥异味的感官鉴定

见表 2,对寡盐水鱼池中养殖的草鱼及鲤鱼进行土腥味感官评价后表明,一半鱼池的养殖鱼带有明显或较重的土腥异味。

3 讨论

3.1 寡盐水鱼池中土臭味素和 MIB 的浓度及产源

土臭味素和 MIB 是水体中最常见的且最难以排除的土腥异味物质^[1-3]。已有对北京淡水鱼池研究表明^[11],土臭味素在淡水精养鱼池中普遍存在,浓度为 1.22 ~ 35.58 ng·L⁻¹,MIB 在部分鱼池中被检出,浓度

表 2 鱼池中浮游藻类和放线菌的种类、生物量,次生代谢产物浓度以及养殖鱼异味程度

Table 2 Phytoplankton ,actinomycete , Geosmin ,MIB and the tastes in samples from Tianjin city									
试验地点 Ponds	测定时间 Investigation time	MIB (ng·L ⁻¹)	Geosmin (ng·L ⁻¹)	MIB/ Geosmin	浮游藻类总 生物量(mg·L ⁻¹) Phytoplankton biomass	浮游藻类优势种及 生物量(mg·L ⁻¹) Dominant species biomass	放线菌生物量 (10 ⁴ ·L ⁻¹) Actinomycetes biomass	味觉反应 Taste	
凯润公司 KaiRun company	2006-04	41.71	1.33	31.4	1.07	绿球藻 <i>Chlorococcum</i> sp. (0.48) 镰形纤维藻 <i>Ankistrodesmus falcatus</i> (0.13)	0.53	明显 Obvious	
	2006-07	5302.70	3.70	1433.2	31.71	巨颤藻 <i>Oscillatoria princeps</i> (31.07) 水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i> (0.32)	1.50	较轻 Slight	
	2006-10	19.26	1.97	9.8	18.73	嗜蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i> (12.52) 强壮石囊藻 <i>Entophysalis robusta</i> (3.33)	0.45	无 No	
	2007-01	97.56	2.24	43.6	186.48	绿裸藻 <i>Euglena viridis</i> (43.59) 血红裸藻 <i>Euglena sanguinea</i> (41.69)	0.14	未测定 Undetected	
	2006-04	1.40	0.29	4.8	13.35	血红裸藻 <i>Euglena sanguinea</i> (8.91) 绿裸藻 <i>Euglena viridis</i> (1.47)	0.40	较轻 Slight	
西青水产局渔场 XiQing fisheries bureau	2006-07	4.80	1.10	4.4	0.07	池生菱形藻 <i>Nitzschia stagnorum</i> (0.03) 舟形藻 <i>Navicula</i> sp. (0.02)	0.23	较重 Heavy	
	2006-10	0.53	0.83	0.6	15.37	梭形裸藻 <i>Euglena acus</i> (13.81) 嗜蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i> Ehr (0.52)	0.07	无 No	
	2007-01	49.10	2.20	22.3	176.88	绿裸藻 <i>Euglena viridis</i> (43.98) 纤细裸藻 <i>Euglena gracilis</i> (41.24)	0.12	未测定 Undetected	
	2006-04	12.02	0.83	14.5	18.42	线形棒条藻 <i>Rhabdolenia lineare</i> (17.92) 席藻 <i>Phormidium</i> sp. (0.27)	0.01	较轻 Slight	
	2006-07	9.10	12.10	0.8	2.44	水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i> (1.92) 针杆藻 <i>Synedra</i> sp. (0.20)	0.16	未测定 Undetected	
团泊水库渔场 TuanBo reservior	2006-10	1.03	1.76	0.6	29.04	水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i> (26.92) 紫色星球藻 <i>Astrocapsa purpurea</i> (1.18)	0.08	较重 Heavy	
	2007-01	4.10	1.78	2.3	37.67	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> (18.83) 针杆藻 <i>Synedra</i> sp. (8.54) 席藻 <i>Phormidium</i> sp. (4.65)	0.03	未测定 Undetected	

$1.39 \sim 6.00 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 。本文寡盐水鱼池中的土臭味素和 MIB 的浓度分别是 $0.29 \sim 12.10 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.99 \sim 5302.70 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 二者浓度比 (MIB/Geosmin) $0.6 \sim 1433.2$, 75% 的鱼池中 MIB 浓度高于土臭味素浓度, 且 50% 被测鱼池中二者浓度相差 10 倍或更高, 可见 MIB 是天津地区寡盐水鱼池中的主要异味物质。

凯润公司鱼池(7 月份)的浮游藻类总生物量虽只有 $31.71 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 但 MIB 浓度高达 $5302.7 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 而浮游藻类总量较高的凯润公司和西青水产局渔场鱼池(1 月份的浮游藻类生物量 $186.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $176.88 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 相应的 MIB 浓度只有 $97.56 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $49.10 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 前者是后两者鱼池中 MIB 浓度的 50 ~ 100 倍。分析鱼池中浮游藻类组成, 凯润公司 7 月份鱼池主要以巨颤藻为主, 而后两者鱼池中以裸藻为主。已有研究表明颤藻能产生异味物质^[1~3], 而裸藻等鞭毛藻类较少分泌异味物质^[11]。本文再次验证鱼池中浮游藻类种类组成比总生物量对水体产生异味有更大影响。同时, 凯润公司 7 月份鱼池中放线菌数量最高, 达到 $1.5 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$, 本文数据分析也表明鱼池水体中 MIB 浓度与放线菌数量显著相关。联系起来可说明在天津寡盐水鱼池这一生态环境下 MIB 是放线菌以及巨颤藻的主要次生代谢产物。

在我国, 有关鱼池水体中放线菌的研究较少, 本文对寡盐水鱼池中的放线菌进行了研究, 结果显示寡盐水鱼池与湖泊中的放线菌存在较大差异。主要表现在鱼池中放线菌种类组成较为单一, 主要优势种类是链霉菌属, 而在湖泊水体中链霉菌属并不是绝对优势种^[17]; 同时鱼池中放线菌的生物量要显著高于湖泊。在放线菌产生土臭味素方面, Gerber 等早在 1964 年就从不同放线菌的发酵液中提取出土臭味素, 赵洪娟等^[18]综合前人研究资料进一步列出各种放线菌产生土臭味素的产率, 放线菌因种类不同土臭味素产率有较大区别 ($0.03 \sim 5.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 同时放线菌产生土臭味素的产率还取决于某些环境因素^[19,20]。本文中相关分析表明鱼池中土臭味素浓度与放线菌无关, 这可能是由于在室外较大水体中, 环境因素较为复杂, 进而影响到鱼池内放线菌群落结构以及土臭味素产率, 造成放线菌在某些时间及区域水体中对土臭味素产生的贡献较少。

本文中当鱼池水体盐度下降时, 放线菌数量和 MIB 浓度升高。盐度对放线菌的数量有重要影响, 并间接影响到 MIB 的浓度。可见在天津地区控制养鱼池水体盐度对防范水体异味有一定意义。

3.2 鱼池中异味物质浓度与养殖鱼异味的关系

鱼池中异味物质浓度最大时, 养殖鱼土腥味却并不是最重的, 如凯润公司 7 月份鱼池中 MIB 浓度高达 $5000 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上, 鱼肉存在轻微异味。相反水中异味物质含量并不是很高的西青水产局渔场 7 月和团泊水库 10 月鱼池 (MIB 浓度为 $4.8 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.03 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$; Geosmin 浓度为 $1.1 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.76 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$), 鱼却存在较重土腥味。由此可见鱼池水体中和鱼体中异味物质 (Geosmin 和 MIB) 含量不存在正相关关系, 水体异味和鱼肉异味发生不同步, 二者关系还需进一步研究。

养殖鱼异味通常在水交换条件较差、鱼池水富营养化程度较高的高密度精养模式下发生, 这与水体中大量孳生能分泌土腥异味物质的浮游藻类及各种放线菌有关。故改良养殖模式, 降低养殖鱼密度, 防止养鱼水体过度富营养化并进一步调控水体中藻菌群落结构组成是控制水体和鱼体出现严重土腥异味的关键。

References:

- [1] Yin S R, Xu L P, Zhao W, *et al.* A review on the studies of off-flavour in aquatic animals. J. Dalian Fish Univ, 2003, 18(2): 135—140.
- [2] Song L R, Li L, Chen W, *et al.* Research progress on the off-flavours and secondary metabolites of algae in the aquatic environment. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28(4): 434—439.
- [3] Liu X, He J, Yu Z N. Earthy-smelling compounds produced by microorganisms and the smell-removing measures. China Biotechnology, 2005, 25(8): 35—38.
- [4] Zhang Y H, Xu Y, Li W, *et al.* Synthesis and determination of earthymusty odorous compound 2-methylisoborneol in lake waters. Analysis and Testing Technology and Instruments. 1997, 3(2): 86—92.
- [5] Li W, Xu Y, Wu W Z, *et al.* An effective method for determination of off-flavor compounds in waters. Analysis Testing Technology and Instruments, 1998, 4(2): 84—90.
- [6] Li L, Song L R, Gan N Q, *et al.* Determination of odorous compounds in water by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. Analytical Chemistry, 2005, 33(8): 1058—1062.

- [7] Yin SR, Zhao W, Xu L P, *et al.* A sensory methods and practices of off-flavor in common carp. J. Dalian Fish Univ. ,2004,19(4):264—267.
- [8] Zhao W, Zhang Z H, Cui T J, *et al.* Effect of L-carnitine on off-flavor, growth, body muscle composition and some biochemical indexes in common carp. J. Dalian Fish Univ, 2004,19(4):243—247.
- [9] Xu L P, Zhao W, Yin S R, *et al.* Elimination of off- flavor of cultivated fishes by water flowing, active carbon and supplementation with photosynthetic bacteria, J. Dalian Fish Univ. ,2005,20(3):229—232.
- [10] Xu Y, Li W, Wu W Z, *et al.* Study on aquatic off-flavors in eutrophic Donghu Lake. Acta Ecologica Sinica,1999,19(2):212—216.
- [11] Xu L P, Zhao W, Xiong B X, *et al.* The relationship between concentration of odorous compounds and biomass of phytoplankton and actinomycetes in freshwater fish ponds of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2007,27(7):2872—2879.
- [12] The test method of Geosmin and 2-Methylisoborneol in water-headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. Environment office in Tiwan in China-0920056895.
- [13] Zhao W. Experiments of Hydrobiology. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [14] Actinomycetes class group in microorganism graduate schools of Chinese Academy of Sciercer. Streptomycin Identified Handbook. Beijing: Science Press, 1975.
- [15] Yuan J S. Taxonomic Foundation of Actinomycetes. Beijing: Science Press,1977.
- [16] Paul V Zimba, Casey C Grimm. A synoptic survey of musty/muddy odor metabolites and microcystin toxin occurrence and concentration in southeastern USA channel catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) production ponds. Aquaculture, 2003,218:81—87.
- [17] Jiang C L, Xu L H. The actinomycetes of Dianchi, Erhai and Lugu lake in Yunnan Province. Acta Ecologica Sinica,1984, 4(4):316—320.
- [18] Zhao H J, Zhang Y Q. Volatile substances from microorganism-geosmin. World Notes on Antibiotics, 2001,22(3):105—108.
- [19] Blevins W T, Schrader K K, Saadoun I. Comparative physiology of geosmin production by *Streptomyces Halstedii* and *Anabaena* sp. Wat. Sci. Tech. ,1995,11:127—133.
- [20] Schrader K K, Blevins W T. Effects of carbon source phosphorus concentration and several micronutrients on biomass and geosmin production by *Streptomyces Halstedii*. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2001,26:241—247.

参考文献:

- [1] 殷守仁,徐立蒲,赵文,等. 水产动物异味的研究. 大连水产学院学报, 2003,18(2):135~140.
- [2] 宋立荣,李林,陈伟,等. 水体异味及其藻源次生代谢产物研究进展. 水生生物学报, 2004, 28(4):434~439.
- [3] 刘欣,何进,喻子牛. 微生物产生的土腥味化合物及其清除方法. 中国生物工程杂志,2005,25(8):35~38.
- [4] 张银华,徐盈,黎雯,等. 湖泊水体中土霉味化合物 2-甲基异莰醇的合成与测定. 分析测试技术与仪器, 1997, 3(2):86~91.
- [5] 黎雯,徐盈,吴文忠,等. 水体中异味化合物定量测定的一种有效方法. 分析测试技术与仪器,1998, 4(2):84~90.
- [6] 李林,宋立荣,甘南琴,等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱测定水中异味化合物. 分析化学, 2005, 33(8):1058~1062.
- [7] 殷守仁,赵文,徐立蒲,等. 鲤土腥味的感官检测与实践. 大连水产学院学报,2004, 19(4):264~267.
- [8] 赵文,崔铁军,张泽虎,等. L-肉毒碱对鲤异味、生长、身体组成和某些生化指标的影响. 大连水产学院学报,2004,19(4):243~47.
- [9] 徐立蒲,赵文,殷守仁,等. 用流水、活性炭和施光合细菌去除养殖鱼类的异味. 大连水产学院学报,2005,20(3):208~211.
- [10] 徐盈,黎雯,吴文忠,等. 东湖富营养水体中藻菌异味性次生代谢产物的研究. 生态学报, 1999, 19(2):212~16.
- [11] 徐立蒲,赵文,熊邦喜,等. 淡水鱼池土腥异味物质含量与浮游藻类和放线菌生物量的关系. 生态学报,2007,27(7):2872~2879.
- [12] 水中 Geosmin 及 2-Methylisoborneol 检测方法——固相微萃取/气相层析质谱仪法. 中国台湾环署检字第 0920056895 号公告.
- [13] 赵文. 水生生物学实验. 北京:中国农业出版社,2004.
- [14] 中国科学院微生物研究所放线菌分类组. 链霉菌鉴定手册. 北京:科学出版社,1975.
- [15] 阮继生. 放线菌分类基础. 北京:科学出版社, 1977.
- [17] 姜成林,徐丽华. 云南滇池、洱海及庐沽湖的放线菌. 生态学报,1984,4(4):316~320.
- [18] 赵洪娟,张月琴. 来源于微生物的易挥发性物质—geosmin. 国外医药抗生素分册,2001,22(3):105~108.