

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

徐立蒲^{1,2,3}, 赵 文³, 熊邦喜¹, 王静波², 潘 勇², 曹 欢³

(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 ;

3. 大连水产学院 辽宁省省级高校水生生物学重点实验室, 大连 116023)

摘要 通过顶空固相微萃取-气质联用色谱测定北京市精养鱼池中两种主要土腥异味物质 (土臭味素和二甲基异茨醇) 含量, 同时测定鱼池中浮游藻类和放线菌生物量, 研究了土腥异味物质含量与浮游藻类和放线菌生物量之间的关系。结果表明, 试验鱼池中土腥异味物质以土臭味素为主, 土臭味素在精养鱼池中普遍存在, 含量为 $1.22 \sim 35.58 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 二甲基异茨醇在部分鱼池中被检出, 含量 $1.39 \sim 6.00 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 。精养鱼池中共检出浮游藻类 6 门 22 属, 生物量 $17.33 \sim 178.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 以硅藻和裸藻为主。放线菌共测到 4 个属, 其中链霉菌 *Streptomyces* sp. 是主要种类, 放线菌总生物量 $0 \sim 76 \times 10^4 \text{ ind. L}^{-1}$ 。鱼池中浮游藻类总生物量与土臭味素含量正相关。浮游藻类中的颗粒直链藻 *Melosira granulata* 和条纹小环藻 *Cyclotella striata* 可能是北京地区夏秋季节淡水精养鱼池中能够产生土臭味素的主要藻类, 裸藻和其他鞭毛藻类对池中异味化合物的产生可能作用较小。

关键词 浮游藻类 放线菌 土腥异味 土臭味素 二甲基异茨醇 淡水精养鱼池

文章编号 1000-0933 (2007)07-2872-08 中图分类号 S963.2 ; TS207.3 文献标识码 A

The relationship between concentration of odorous compounds and biomass of phytoplankton and actinomycetes in freshwater fish ponds of Beijing

XU Li-Pu^{1,2,3}, ZHAO Wen³, XIONG Bang-Xi¹, WANG Jing-Bo², PAN Yong², CAO Huan³

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

2 Beijing Aquiculture Technology Extension Station, Beijing 100021, China

3 Key Laboratory of Hydrobiology in Liaoning Province's University, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (7) 2872 ~ 2879.

Abstract : The concentration of two odorous compounds (geosmin and 2-methylisoborneol MIB) in intensive cultivation freshwater fish ponds of Beijing were detected by coupling HSPME with GC-MS, and the biomass of the phytoplankton and actinomycetes in the ponds were investigated at the same time. The relationship between concentration of odorous compounds and biomass of phytoplankton and actinomycetes was researched. The results show that geosmin as the main composition of odorous compounds was found in all ponds with its concentration from 1.22 to $35.58 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, MIB was found in some ponds with its concentration from 1.39 to $6.00 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$.

Algae of 6 phylum and 22 genera was determined in the ponds with its biomass from 17.33 to $178.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, of which Bacillariophyta and Euglenophyta were dominant species. Four genera of actinomycetes with gross biomass from 0 to

基金项目 北京市科技攻关资助项目 (0705003040291)

收稿日期 2006-12-28 ; 修订日期 2007-05-28

作者简介 徐立蒲 (1972 ~), 男, 哈尔滨市人, 博士生, 主要从事生理生态学研究. E-mail: xulipu@sohu.com.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaowen@dlfu.edu.cn

Foundation item The project was financially supported by science and technology program of Beijing (No. Y0705003040291)

Received date 2006-12-28 ; Accepted date 2007-05-28

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

$76 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ were found in the ponds, of which *Streptomyces* was dominant. Regression analysis between the concentration of geosmin and the total biomass of dominant algae was positive. *Melosira granulata* and *Cyclotella striata* probably were main microorganism causing off-flavour in Beijing's intensive cultivation freshwater fish ponds in summer and autumn ;Euglenophyta and other algae probably played a little role in causing off-flavour.

Key Words : phytoplankton ; actinomycetes ; off-flavour ; geosmin ; MIB ; intensive cultivation freshwater fish ponds

京津地区淡水精养鱼池中的淡水鱼常带有土腥异味,既降低食用价值和养殖效益,又存在食用安全问题,解决淡水鱼异味问题已提到议事日程,并受到广泛关注。国外对土腥异味的研究较早,认为鱼体所特有的土腥异味主要与水中藻类和放线菌分泌的代谢产物 2-甲基异茨醇 (MIB, 2-methylisoborneol) 和土臭味素 (Geosmin) 两种物质有关^[1,2]。近年来国内对土腥异味也开展了一些研究,如土腥异味物质的感官检测与分析测定技术^[3~6]、湖泊水体中的土腥异味^[7]、藻类对鱼体产生异味的影响^[8]、淡水鱼异味消除技术等^[9,10]。殷守仁等^[11]最近对北京郊区养鱼池的研究指出,除蓝藻外,硅藻 (*Melosira granulata*、*Synedra* spp.、*Navicula* spp.、*Nitzschia* spp.) 和绿藻 (*Scenedesmus* spp.) 的一些种类也可能引起鱼的异味。但对鱼池中的土腥异味物质含量未做仪器分析测定。本文测定了北京淡水精养鱼池土臭味素和 MIB 的含量,并分析了其含量与藻类和放线菌生物量的关系,旨在为淡水精养鱼池水质管理、保障淡水鱼食用安全提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品的采集

2005 年 8 ~ 10 月,在北京市主要食用鱼生产区域,选择 5 个渔场 10 个精养鱼池进行样品采集,各池塘面积 0.40 ~ 0.53 hm^2 ,水深 1.5 ~ 1.8m,主养草鱼 *Ctenopharyngodonid ellus* 和鲤 *Cyprinus carpio*,鱼产量均在 15000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上。水质指标采用明德水质分析盒现场测定 (表 1)。为便于比较,采样深度取同一水层水面下 0.5m,在池塘四周各取 1L 水,混合后备用。水样采集后盛满在 125ml 磨口瓶中,严防气泡产生,低温保存。7h 内对土腥异味物质定性定量,同时对浮游藻类及放线菌进行定性定量。

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

池塘 Ponds	月份 Month	水温 (℃) Water temperature	DO ($\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH
1#	8	28	8.0	4.5	0.3	0.2	8.0
	9	24	5.0	0.2	0.2	0.5	8.0
	10	18	4.5	1.5	0.1	0.1	8.1
2#	8	28	8.0	0.2	0.2	0.2	8.0
	9	24	4.0	0.2	0.2	0.5	8.0
	10	18	3.5	ND	ND	0.3	8.0
3#	9	24	3.5	0.5	0.1	0.2	8.0
4#	9	24	3.5	0.5	ND	0.9	8.0
5#	8	28	8.2	ND	ND	ND	8.2
6#	8	28	8.2	ND	ND	ND	8.0
7#	9	23	4.0	ND	ND	0.3	8.1
8#	9	23	4.0	ND	ND	0.3	8.1
9#	10	18	4.5	ND	ND	0.9	8.2
10#	10	16	7.0	ND	ND	0.7	8.4

1#和 2#池塘为平谷区马坊镇渔场 1 号和 2 号鱼池 ;3#和 4#池塘为平谷区西高村渔场 1 号和 2 号鱼池 ;5#和 6#池塘为通州区海宁通公司 1 号和 2 号鱼池 ;7#和 8#池塘为通州区人民商场渔场 1 号和 2 号鱼池 ;9#和 10#池塘为通州区枣林庄渔场 1 号和 2 号鱼池

No. 1 and No. 2 are Mafangzhen Fishery Pond 1# and 2# in Pinggu District, respectively ;No. 3 and No. 4 are Xigaocun Fishery Pond 1# and 2# in Pinggu District, respectively ;No. 5 and No. 6 are Hainingtong Fishery Pond 1# and 2# in Tongzhou District, respectively ;No. 7 and No. 8 are Renmin Market Fishery Pond 1 # and 2 # in ongzhou District, respectively ;No. 9 and No. 10 are Zaolinzhuang Fishery Pond 1 # and 2 # in Tongzhou District, respectively

1.2 试剂

土臭味素标准品浓度为 $100\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$,纯度 99.9% 3-甲基异茨醇为 $1\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$,纯度大于 98% 2-异丁基-甲氧基吡嗪 (BMP) 为 $100\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$,纯度 99.9% ;以上 3 种标准品均为色谱纯,MIB 购自 Sigma 公司,土臭味素和 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°C 烘烤 4h。纯水用法国密里博公司纯水器制备。

1.3 土腥异味物质测定

利用顶空固相微萃取-气质联用色谱法^[2] 测定水中土臭味素和二甲基异茨醇的含量。气相色谱为 HP5890,质谱为 HP5971A,固相微萃取仪及配套设施购自美国 SUPELCO 公司。

1.4 浮游藻类和放线菌的测定

浮游藻类定量按常规方法测定^[3],根据文献^[4,15] 进行放线菌的鉴别。水样中放线菌的测定方法为 :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成 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°C 下倒置培养 7 日后,计数放线菌菌落,并计算出每毫升水中的含菌量。底泥中放线菌的测定方法为 :土样室温自然风干,碾碎过筛,取 1g , (这里方法没交待清楚)取 0.1ml0.5% 的苯酚溶液加入 10ml 无菌水充分混匀后,静置 10min,以 10 倍稀释法依次稀释至 10^{-3} 、 10^{-4} 和 10^{-5} ,每个梯度 3 个重复。使用高氏 1 号培养基, 28°C 下倒置培养 14d 后,计数放线菌菌落,并计算出每克底泥中的含菌量。

2 结果

2.1 土腥异味物质的检测技术

采用文献规定的检测土腥异味方法^[2],土臭味素与二甲基异茨醇的回收率在 90% ~ 120% 之间,且每次检测前建立的标准曲线相关系数均达到 0.99 以上 (表 2)。

表 2 水体中土腥异味化合物的添加回收测定
Table 2 Accuracy and precision for odorous compounds of water body

样品 Sample	异味化合物 Odorants	添加量 ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Dose level	理论值 ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Theoretical value	实测值 ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Measured value	相对回收率 (%) Relative recovery
1	土臭味素 Geosmin	10	10	9.58	95.84
	2-甲基异茨醇 MIB	10	10	11.67	116.71
2	土臭味素 Geosmin	10	10	11.44	114.42
	2-甲基异茨醇 MIB	10	10	9.76	97.60

2.2 精养鱼池中土臭味素与二甲基异茨醇的含量

本实验淡水鱼精养区域内 5 个渔场 10 个鱼池中的土臭味素与二甲基异茨醇的含量测定结果见表 3。土臭味素在全部实验鱼池中均有检出,含量为 $1.22\sim35.58\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,平均 $7.15\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$;二甲基异茨醇在 2 个渔场的 4 个池塘中被测出,含量为 $1.39\sim6.00\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,检出率为 30%。

2.3 精养鱼池中的浮游藻类

在 10 个被测鱼池 (4 个水样) 中,共出现浮游藻类 6 门 22 属,其中硅藻门 7 属,绿藻门 6 属,蓝藻门 5 属,隐藻门 2 属,裸藻和甲藻各一属。生物量上硅藻和裸藻门种类为主。优势种有颗粒直链藻 *Melosira granulata*、条纹小环藻 *Cyclotella striata*、针杆藻 *Synedra* sp.、舟形藻 *Navicula* spp.、绿裸藻 *Euglena varidis* 和啮蚀隐藻 *Cryptomonas erosa* (表 4)。

浮游藻类生物量变动于 $17.33\sim178.34\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均 $56.39\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (表 3)。相关分析表明,浮游藻类总生物量与水体中主要异味物质土臭味素含量正相关 ($\hat{Y}=0.1046X+1.4951,r_{14}=0.49,p<0.05$)。表明随浮游藻类总生物量增加,水体中土臭味素有增加趋势 (图 1)。

表 3 淡水池塘中主要土腥异味物质种类、含量及浮游藻类和放线菌的生物量

Table 3 The odorous compounds categories and concentration, gross biomass of algae and actinomycetes biomass in the fresh water ponds

池塘 Ponds	月份 Month	异味物质		生物量 Biomass		
		Odorous compounds (g·L ⁻¹)		藻类 Algae (ng·L ⁻¹)	放线菌 Actinomycetes (0 ⁵ ind. L ⁻¹)	
		土臭味素 Geosmin	2-甲基苄醇 MIB		底泥 Mud	水体 Water
1#	8	1.67	ND	32.95	3.4	1.4
	9	1.33	ND	16.65	2.3	1.4
	10	5.09	ND	18.70	1.0	0.3
2#	8	1.22	ND	54.63	7.6	1.5
	9	1.32	ND	18.45	3.9	0.9
	10	17.72	ND	94.31	2.0	0.4
3#	9	2.03	6.00	33.28	2.1	1.2
4#	9	1.70	4.75	42.25	4.1	2.7
5#	8	1.44	ND	25.83	0.6	0.1
6#	8	5.07	ND	34.37	0.8	0.1
7#	9	16.80	1.39	80.14	1.1	0.7
8#	9	5.05	4.93	18.75	1.6	1.0
9#	10	35.58	ND	109.2	0.1	0.7
10#	10	4.07	ND	177.5	ND	0.3

相关分析表明,颗粒直链藻和条纹小环藻生物量与土臭味素含量极显著正相关 图 2 和图 3, $Y=0.4188X+1.7708$, $Y=2.1614X-2.4243$,相关系数分别为 0.91 和 0.64, $p<0.01$),表明随这两种藻类生物量增加,水体中土臭味素增加。可见这两种藻类可能是北京地区夏秋季节能够引起淡水池塘水体异味物质土臭味素发生的主要浮游藻类。针杆藻生物量与土臭味素含量有正相关趋势,但不显著。舟形藻、裸藻和隐藻则呈负相关。

表 4 鱼池中浮游藻类优势种、亚优势种及其生物量

Table 4 Dominant species , subdominant species and biomass of alga in ponds

池塘 Ponds	月份 Month	优势种 Dominant species/ 生物量 Biomass (ng·L ⁻¹)	亚优势种 Subdominant species/ 生物量 Biomass (ng·L ⁻¹)
1#	8	绿裸藻/20.20	舟形藻/3.64
	9	条纹小环藻/6.71	绿裸藻/2.77
	10	颗粒直链藻/3.56	啮蚀隐藻/3.32
2#	8	绿裸藻/44.44	啮蚀隐藻/4.85
	9	条纹小环藻/7.08	针杆藻/5.27
	10	绿裸藻/47.00	颗粒直链藻 16.02/
3#	9	颗粒直链藻/8.57	条纹小环藻/6.52
4#	9	颗粒直链藻/20.65	绿裸藻/5.54
5#	8	啮蚀隐藻/10.00	舟形藻/4.41
6#	8	绿裸藻/12.88	啮蚀隐藻/6.21
7#	9	颗粒直链藻/44.65	绿裸藻/16.54
8#	9	啮蚀隐藻/6.61	颗粒直链藻/5.98
9#	10	颗粒直链藻/73.70	条纹小环藻/9.77
10#	10	绿裸藻/162.99	颗粒直链藻/6.65

2.4 精养鱼池中的放线菌

在 10 个被测鱼池水体及底泥中共测到放线菌 4 个属,即链霉菌属 *Streptomyces*、孢囊链霉菌属

Streptosporangium、小单孢菌属 *Micromonospora* 和诺卡氏菌属 *Nocardia*。链霉菌在鱼池中普遍存在,并且对各池放线菌总生物量贡献率基本均超过 90% ;而诺卡氏菌虽在各池中存在,但生物量较低,孢囊链霉菌只在平谷区马坊镇渔场的 2 个池塘中出现,小单孢菌仅在该场 1 个池塘中测到。放线菌总生物量见表 3,变动于在 $0 \sim 76 \times 10^4 \text{ ind. L}^{-1}$ 之间,并且底泥中放线菌生物量普遍高于水体。水中土臭味素及二甲基异茨醇含量与水体和底泥中放线菌生物量之间不存在相关关系。

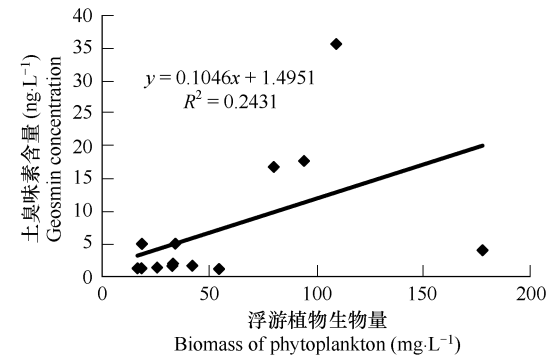


图1 浮游藻类生物量与水中土臭味素含量之间的关系

Fig. 1 Relationships between the concentration of geosmin and the biomass of algae

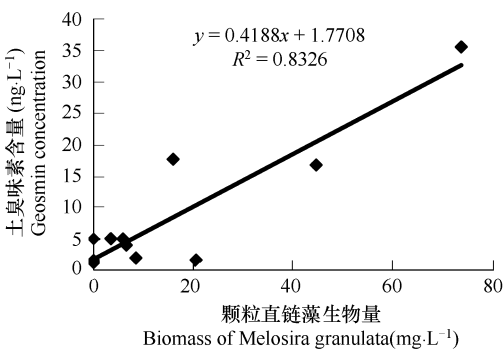


图2 颗粒直链藻生物量与土臭味素含量之间的关系

Fig. 2 Relationships between the concentration of geosmin and the biomass of *Melosira granulata*

3 讨论

3.1 土腥异味物质检测技术评价

土腥异味物质检测技术是开展土腥异味研究的关键。目前国内外对土腥异味的检测主要有人工嗅觉鉴定法和仪器分析法。对养殖鱼类的检测主要依靠人工嗅觉鉴定,检测阈值 $10 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 由于每个人的味觉有差异,所以采用人工嗅觉鉴定水产动物异味程度需要有多人参加以减少偏差。美国已有鱼虾类土腥异味感官检测的详细方法及标准^[1],殷守仁等^[2]也提出鲤鱼土腥异味感官评分标准。但该方法不能鉴定出异味物质种类,当异味物质低于嗅觉阈值时难以鉴定^[1]。而采用气相色谱法检测土腥异味物质国内外均有报道^[3,4],除灵敏度高超过人工品尝外,存在检测时间长、过程复杂等问题。

国外还开发出单克隆抗体建立 ELISA 法检测 MIB 的专利,可检测 $0.01 \sim 1 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的 MIB^[5]。最近李林等^[6]利用固相微萃取-气相色谱-质谱检测技术检测水体中土腥异味取得成功。本文运用中国台湾公布的《水中 Geosmin 及 2-methylisoborneol 检测方法——固相微萃取/气相层析质谱仪法》检测土腥异味物质,该方法将固相微萃取与气质联用色谱检测结合,与液-液萃取和固相萃取相比,具有操作时间短,样品量小,无需萃取溶剂,重现性好等优点。土臭味素与二甲基异茨醇的回收率达到了 90% ~ 120%,且每次检测前建立的标准曲线相关系数均达到 0.99 以上,符合规定的检测要求,看来采用本方法可有效测定水体中土臭味素与二甲基异茨醇含量。

3.2 土臭味素和 MIB 在淡水精养鱼池中的含量

已有研究表明,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^[1,2]。Paul 等^[6]对美国东南部 4 个州 485 个养鳙池塘异味物质分析显示:在路易斯安那洲 MIB 存在最普遍,但浓度大于 $0.1 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 的池塘也只占 30%,浓度大于 $0.7 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 的池塘约 20%,浓度大于 $3 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 的池塘约 10%。在阿拉巴

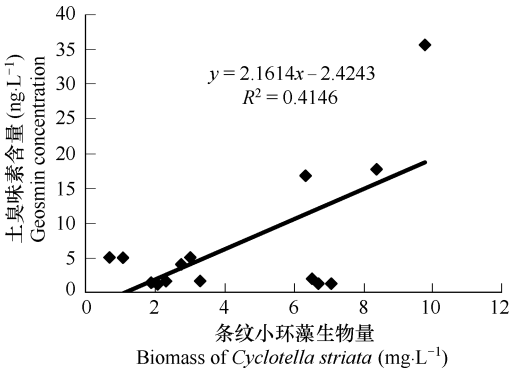


图3 条纹小环藻生物量与土臭味素含量之间的关系

Fig. 3 Relationships between the concentration of geosmin and the biomass of *Cyclotella striata*

马洲土臭味素存在则最普遍,约 7% 池塘浓度大于 $0.3\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,6% 的池塘浓度大于 $0.7\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,3% 的池塘浓度大于 $3\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。本文检测结果显示,50% 池塘土臭味素含量大于 $3\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,池塘检出率是美国四洲的 17 倍,其余鱼池浓度也均大于 $1\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而 MIB 仅在 4 个池塘测出,占总鱼池数 30%,与美国四洲检测结果类似。看来北京地区淡水精养鱼池与美国淡水养殖池塘中的土腥异味物质含量有所不同,主要体现在北京地区鱼池土臭味素含量显著高于美国,这可能与养殖模式差异有关。北京地区采用精养模式,每公顷鱼产量至少是美国的 2 倍以上,池水呈富营养化程度高,池水中微生物组成与国外水体中微生物组成有差别,进而引起异味物质含量及分布不同。

3.3 土臭味素和 MIB 的产源

养鱼池中鱼的土腥味通常伴随着蓝藻水华的出现,因而长期以来研究者多认为蓝藻是异味的产源。已被报道产生土腥味的蓝藻主要有颤藻 *Oscillatoria*、鱼腥藻 *Anabaena*、鞘丝藻 *Lyngbya*、微囊藻 *Microcystis*、束丝藻 *Aphanizomenon* 等属的种类 [7,18]。最近张泽虎等 [1] 试验指出,针晶蓝纤维藻 *Dactylococcopsis maphidioides* 也能产生土臭味。Bowmer 等 [7] 甚至指出鱼腥藻能产生土臭味素,颤藻能产生 MIB。然而 Smith 等 [8] 的研究未得出蓝藻密度和鱼异味之间有紧密的相关性。Brown 等 [9] 发现异味严重的鱼池中浮游植物也有其他各门藻类占优势的情况。此外也有其他各门藻类分泌异味化合物的报道 [1,21,22]。Cotsarise 等 [11] 指出,绿藻中的微尖栅藻 (*Scenedesmus subspicatus*) 也能引起异味,本实验各精养鱼池未见到颤藻,鱼腥藻的生物量也较低,所有各池蓝藻均未占优势。反之绝大多数鱼池以硅藻占优势,特别是土臭味素高的 3 个鱼池 1 号 10 月、7 号和 9 号池),颗粒直链藻达到 16.02 、 $44.65\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $73.70\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,条纹小环藻达到 8.37 、 $6.34\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $9.77\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。相关分析表明 直链藻、小环藻与土臭味素呈极显著相关,针杆藻与土臭味素呈显著相关,舟形藻生物量和占总量的百分数不高,未出现显著的相关性,裸藻和隐藻门均仅出现 1 个属,与土臭味素量均呈负相关。

在 10 号池 10 月的水样中,藻类总量达 $170\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中裸藻占 94.1%,池水中土臭味素含量 ($4.07\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$) 并不高,MIB 未测出。在 1 号、2 号和 6 号池 8 月的 3 个水样中,裸藻均占优势 (占总量的 37.5 ~ 81.3%),土臭味素含量也不高 ($1.22\sim5.07\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$),MIB 未测出。2 号池 10 月和 7 号池 9 月水样中,土臭味素量较高 ($6.8\sim17.72\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$),但两次水样中裸藻不及总量的 50%,不排除其他藻类的作用。这些情况能否说明裸藻不分泌或分泌较少异味化合物?这尚有待于进一步研究。隐藻也与土臭味素呈负相关,隐藻占优势的 3 个水样中土臭味素量也不高 ($1.05\sim5.09\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$)。联系起来似乎鞭毛藻类对池塘的异味化合物的产生不起作用或作用甚微。

本文再次验证了硅藻也有可能产生土臭味素这一观点。但要确证异味来源于这些藻类,还必须通过对池塘中的上述藻类进行提纯培养,通过感官与仪器鉴定方法进一步验证后才能确定。

Smith [8] 总结美国养殖沟鲈异味现象的研究后认为用浮游藻类总量作为异味预兆的指标,可能较蓝藻密度或生物量更有意义。根据本试验,池水中浮游藻类生物量与土臭味素正相关,证明了 Smith 的提法的合理性,但还应该注意池塘中的藻类种类组成。

关于土壤放线菌的研究较多,而对水体及其底泥中放线菌的研究要少得多 [1,23]。本文结果表明池塘中水体及底泥中放线菌种类组成较为单一,主要种类是链霉菌属,其生物量占总生物量的 90% 以上。而也有研究表明,在其他水体中,如湖泊中链霉菌属并不是绝对优势种 [13]。同时池塘中放线菌的生物量要显著高于湖泊,如比武汉东湖就要高一个数量级 [1]。已知的能够产生异味的放线菌共有 17 种,其中链霉菌就有 13 种 [4],而本研究中的各精养鱼池中链霉菌属的生物量基本都在 $1\times10^4\text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上。但相关分析表明异味化合物与池塘存在放线菌无关。对此,国内外研究还存在分歧,如 Blevins 和 Schrader 等 [15,26] 通过室内可控试验研究后指出链霉菌可以产生异味化合物。Armstrong [17] 研究阿拉巴马地区沟鲈鱼池后指出,鱼的异味程度和浮游植物及颗粒有机质量之间呈显著相关,而鱼池水和底泥的放线菌生物量相关不显著。看来这一方面还需要进一步深入研究。

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 (1) 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] 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 (1) 86 — 92.

[4] 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 (1) 84 — 90.

[5] Yin S R, 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.

[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] Xu Y, Li W, Wu W Z, *et al.* Study on aquatic off-flavors in eutrophic Donghu Lake. Acta Ecologica Sinica,1999,19 (1) 212 — 216.

[8] Zhang Z H, Zhao W, Xu L P, *et al.* Identification of two off-flavor algae and effect of salinity on *Dactylococcopsis raphidi*. J. Dalian Fish Univ. , 2005,20 (5) 229 — 232.

[9] 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.

[10] Xu L P,Zhao W, Yin S R, Zhang Z H, Cui T J. Elimination of off- flavor of cultivated fishes by water flowing, active carbon and supplementation with photosynthetic bacteria, J. Dalian Fish Univ. ,2005,20 (5) 229 — 232.

[11] Yin S Y, Xu L P. A preliminary study on the relationship between freshwater algae and the off- flavor in fishes. J. Dalian Fish Univ. , 2003,18 (1) 156 — 157.

[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 Sciencer. 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 (1) 81 — 87.

[17] Tucker CS. Channel catfish culture. Amsterdam-oxford-NewYork-Tokyo Elsevier,1985.

[18] Bowmer K H, Padova N A, Oliver R L, *et al.* Physiology of geosmin production by *Anabaena circinalis* isolated from the Murrumbidgee River, Australia. Wa. Sci. Tech. ,1992,25 (2) 259 — 267.

[19] Smith D W. Phytoplankton and catfish Culture :a review. Aquaculture,1988,74 (2) 167 — 189.

[20] Brown S W, Boyd C E. Off-flavor in channel catfish from commercial ponds. Trans. Am. Fish. Soc. ,1982, 111 (3) 379 — 383.

[21] Liu X, He J, Yu Z N. Earthy-smelling Compounds Produced by Microorganisms and the Smell-removing Measures. China Biotechnology, 2005, 25 (1) 35 — 38.

[22] Cotsari S E, Bruche T A, Malleval E J, *et al.* The identification of odorous metabolites produced from algal monocultures. Wat. Sci. Tech. , 1995,31 (3) 251 — 258.

[23] 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.

[24] Zhao H J, Zhang Y Q. Volatile substances from microorganism — geosmin. World notes on Antibiotics, 2001,22 (1) 105 — 108.

[25] Blevins W T, Schrader K K, Saadoun I. Comparative physiology of geosmin production by *Streptomyces Halstedii* and *Anabaena* sp. Wat . Sci. Tech. ,1995,11 (2) 127 — 133.

[26] 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 (2) 241 — 247.

[27] Armstrong M S. Enviromental factor saffecting off-flavor in channel catfish production ponds. Alabama :Dissertation Auburn University, 1984.

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 (1) 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] 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 (1) 86 ~ 91.

[4] 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 (1) 84 ~ 90.

[5] 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.

[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 (6) 1058 ~ 1062.

[7] 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 (1) 212 ~ 16.

[8] 张泽虎, 赵文, 徐立蒲, 等. 两种异味藻类的筛选及盐度对针晶蓝纤维藻生长的影响. 大连水产学院学报, 2005, 20 (1) 229 ~ 232.

[9] 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.

[10] 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 (1) 208 ~ 211.

[11] 殷守仁, 徐立蒲. 淡水浮游藻类与鱼体异味关系的初步研究. 大连水产学院学报, 2003, 18 (1) 156 ~ 157.

[2] 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.

[3] 赵文. 水生生物学实验. 北京 中国农业出版社, 2004.

[4] 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.

[5] 阮继生. 放线菌分类基础. 北京 科学出版社, 1977.

[1] 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 (1) 35 ~ 38.

[3] 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.

[4] 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 (1) 105 ~ 108.