

陈一良,荆丹丹,岳一莹,等. 沼液养鱼水质变化及鲫鱼适应性研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):148-151.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.033

# 沼液养鱼水质变化及鲫鱼适应性研究

陈一良<sup>1,3</sup>, 荆丹丹<sup>1</sup>, 岳一莹<sup>1</sup>, 吴绍朕<sup>2</sup>, 韩建刚<sup>1</sup>, 李萍萍<sup>1</sup>

[1. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏南京 210037; 2. 中粮肉食(江苏)有限公司, 江苏东台 224200;  
3. 香港大学土木工程系, 香港薄扶林道]

**摘要:**通过分析沼液养鱼过程中的水质变化以探究鲫鱼对沼液施加的适应性。在鱼缸中投加沼液喂养鲫鱼并同步进行对照组试验,考察养殖过程中主要水质指标的变化规律,测定鲫鱼的生长曲线以及鱼肉品质。结果表明,投加沼液的鱼缸水中的氨氮、亚硝酸盐、有机质、重金属、无机盐等浓度高于对照组,且随沼液投加量的增加呈上升趋势;沼液鱼养殖过程中鱼质量先下降后持续增加,增长速率与对照组鱼相当;沼液鱼肉的脂肪、蛋白质、氨基酸等含量与对照组相差不大,Cu、Zn、Cr、Pb 等重金属含量比对照组鱼略高。研究证明,即使在高浓度的沼液环境下,鲫鱼仍能保持正常生长,具有良好的适应性和耐受性,鱼肉品质与对照组无明显差异,重金属含量未超标。

**关键词:**沼液;综合利用;水产养殖;水质;适应性

**中图分类号:** S965.117;X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0148-04

厌氧发酵沼气工程产生大量沼液,沼液的处理和综合利用已成为重要的研究课题。目前,对于沼液的利用主要有直接还田、沼液浸种、开发沼液有机肥、浓缩分离沼液中的有用物质等途径<sup>[1]</sup>,其中沼液灌溉农田是目前较常用的利用方式,但沼液中含有的重金属等污染物可能导致环境健康风险<sup>[2]</sup>。近年来日本、德国以及我国湖北、江苏等地已开始探索和尝试“猪-沼-鱼”综合利用生态模式<sup>[3-4]</sup>。沼液富含氨基酸、N、P、K 等营养物质以及多种微量元素和生长因子<sup>[5-6]</sup>,用于大塘养鱼能增加池塘中浮游生物量,形成促进鱼类生长的食物链和生态系统,可减少化肥和饲料用量,降低鱼病发生率<sup>[7-8]</sup>。目前,已有相关研究主要集中在沼液养鱼的经济效益以及沼液养鱼技术方面<sup>[4,9]</sup>,然而沼液中含有大量有机物和 Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd 等重金属元素<sup>[2,10]</sup>,进入池塘必然导致水质变化。因此,研究沼液养殖过程中的水质变化以及鱼对于沼液的适应性和耐受性十分必要,具有重要的实用价值。本研究以鲫鱼为例,在实验室进行鱼缸喂养试验,一方面监测沼液施用过程中水质变化规律,同时观测鲫鱼的生长状况,最后简单鉴定了沼液鱼的品质。需要说明的是,实验室模拟养鱼难以形成类似野外大塘养殖完整的水生生态系统,但本研究仍能为沼液用于养鱼的理论与推广应用提供很好的试验基础和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料试剂

收稿日期:2017-10-30

基金项目:江苏高校优势学科建设工程项目(编号:PAPD);江苏省科技支撑计划(编号:BE2013382);污染控制与资源化研究国家重点实验室基金(编号:PCRRF14020)。

作者简介:陈一良(1978—),男,湖北蕲春人,博士,讲师,香港大学土木工程系副研究员,主要从事水污染控制、农林废弃物综合利用研究。E-mail:chenyiliang@njfu.edu.cn。

试验所用沼液来自中粮肉食(江苏)有限公司养猪粪污厌氧发酵沼气站,主要成分及理化性质见表1。试验所用鲫鱼购于水产市场,其中用于定量研究的4尾鱼规格见表2。养鱼饲料为中粮肉食集团提供的鱼用膨化配合饲料(通威152),试验所用试剂药品见表3。

表1 试验所用沼液主要成分及理化性质

pH 值	COD (mg/L)	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)
7.8~8.4	5 788.2	1 330.5	1 209.2	51.7	36.5	348.7
氨基酸 (mg/L)	电导率 (mS/cm)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Ni (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)
29.08	4.6	3.12	5.76	0.12	0.12	0.22

表2 定量试验所用4尾鲫鱼规格

项目	试验组		对照组	
	初始鱼质量(g)	鱼全长(cm)	初始鱼质量(g)	鱼全长(cm)
鲫鱼1	16.44	9.82	13.66	8.58
鲫鱼2	179.93	19.74	143.08	15.97

表3 主要药品试剂

药品名称	生产厂家	规格
硫酸银	上海申博化工有限公司	AR
重铬酸钾	南京化学试剂有限公司	AR
六水合硫酸亚铁铵	西陇化工股份有限公司	AR
水杨酸	国药集团化学试剂有限公司	AR
酒石酸钾钠	国药集团化学试剂有限公司	AR
次氯酸钠	国药集团化学试剂有限公司	AR
4-氨基苯磺酰胺	国药集团化学试剂有限公司	AR
N-(1-萘基)-乙二胺盐酸盐	国药集团化学试剂有限公司	AR

### 1.2 仪器设备

ICP-AES 仪(Optima 5300DV,美国 PE 公司);紫外可见光分光光度计(T6 新世纪,北京普析通用仪器有限公司);可调式气泵(ACO-9610,广东海利集团);电子天平(BS 224S,美国赛多利斯公司);电导率仪(DDSJ-308A,上海精密科学

仪器有限公司);全自动氨基酸分析仪(S-433D,德国SYKAM)。

试验所用为普通鱼缸(长 38 cm、宽 26 cm、高 41 cm),透明有机玻璃材质,有效水深 35 cm,配有简单的水质循环过滤系统。

1.3 试验方法

1.3.1 养鱼方案 试验时间为 2015 年 6 月下旬至 9 月上旬。在实验室阳光较充足位置并列摆放 2 个鱼缸,每个鱼缸养 5 尾鲫鱼,其中 1 个鱼缸(试验组)按设定方式投加沼液进行试验,另一鱼缸(对照组)不投加沼液,其余操作及条件均相同。鲫鱼先在鱼缸内暂养 3 d,使其适应实验室环境,采用室内自然水温,自然光周期。养鱼水源来自城市自来水,用前充分曝气。鱼缸及时添加新鲜水以弥补采样及蒸发损耗的水量,水位保持恒定。鱼缸连续曝气,维持水中溶解氧浓度 5 ~ 8 mg/L。每天 08:00—09:00 投喂饲料 1 次(观察鲫鱼吃食,一直到鲫鱼停止进食为止),傍晚捞出残饵及鱼粪便。

为考察鲫鱼对沼液的适应性和耐受性,沼液采用梯度增加的方式投加:从 6 月 24 日开始至 9 月 1 日结束,每隔 2 ~ 3 d 投加 1 次,10 d 为 1 个梯度,每 10 d 后增大沼液投加量,最终所投加的沼液浓度远大于规模化养殖实践中的沼液投加量,具体数值见表 4。与此同时,每 10 d 取 1 次水样测定水质,用电子天平准确称量每个鱼缸其中 2 尾鲫鱼的质量(试验组和对照组定量试验的鲫鱼都是 1 大 1 小,具体规格见表 2;其余 3 条鲫鱼作定性观察),并更换 10 L 的新鲜水。试验结束后,分析测定鲫鱼肉脂肪、蛋白质、氨基酸、重金属等指标。

表 4 试验组每 10 d 沼液投加量

时间段	投加量 (mL)
6 月 24 日至 7 月 3 日	30
7 月 4 日至 7 月 13 日	45
7 月 14 日至 7 月 23 日	60
7 月 24 日至 8 月 2 日	75
8 月 3 日至 8 月 12 日	90
8 月 13 日至 8 月 22 日	105
8 月 23 日至 9 月 1 日	120

1.3.2 分析测定方法 鱼缸水质需测定  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、COD、重金属(Cu、Zn、Ni、Cr、Pb)、电导率等指标。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  用水杨酸分光光度法测定(HJ 536—2009), $\text{NO}_2^- - \text{N}$  用盐酸萘乙二胺分光光度法测定(GB 7493—1987);COD 用重铬酸钾法测定(GB 11914—1989),重金属用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定;电导率用电导率仪测定。

鱼品质需测定水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸和重金属含量,均委托南京农业大学动物科技学院测定。水分用 105 ℃ 恒温干燥法测定;灰分用 550 ℃ 马弗炉灼烧法测定;粗蛋白用凯氏定氮法测定;粗脂肪用索氏抽提法测定;氨基酸用氨基酸分析仪测定;重金属用 ICP-AES 测定。

2 结果与讨论

2.1 养殖过程中的水质变化

2.1.1 氨氮浓度的变化 由图 1 可知,随着饲养时间的增加,对照组鱼缸氨氮浓度略微有增大,变化范围为 2.35 ~

2.58 mg/L。试验组鱼缸氨氮浓度比对照组高,且呈上升趋势,最高浓度达到 4.18 mg/L。实验室鱼缸中难以形成大量浮游生物来利用和消耗氨氮,因而所投加沼液中的氨氮大部分累积在水中。

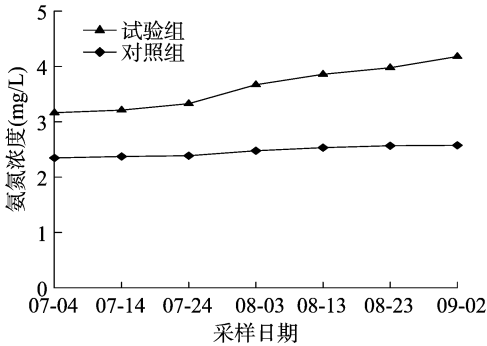


图 1 试验组与对照组  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度变化

2.1.2 亚硝酸盐浓度变化 亚硝酸盐对鱼有较强的毒性,是诱发鱼病的重要因素之一,因此在渔业养殖中亚硝酸盐是一个重要水质指标<sup>[11-12]</sup>。由图 2 可知,试验组和对照组鱼缸水中亚硝基氮( $\text{NO}_2^- - \text{N}$ )浓度均有不同程度的增高。但试验组增加更为显著,亚硝基氮浓度最高达到 1.92 mg/L。尽管鱼缸维持好氧环境,但水中未形成足够多的硝化细菌,所投加沼液中的氮素在有限时间内无法充分转化为硝酸盐,故亚硝酸盐有上升趋势<sup>[13]</sup>。

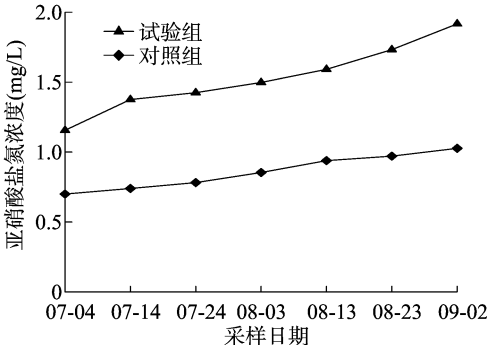


图 2 试验组与对照组亚硝酸盐氮浓度变化

2.1.3 有机物浓度变化 COD 是表征水中有机物含量的综合性指标。由图 3 可知,试验组和对照组鱼缸水 COD 均有上升趋势。试验组 COD 增加更快,最高达到 154 mg/L,比对照组高 69.8%。这说明沼液中的有机质在鱼缸中未充分降解,有明显积累,由此可推测鱼缸水中未生长大量异养微生物。对照组鱼缸水 COD 增大是由于投喂的饲料有少量溶解引起的。

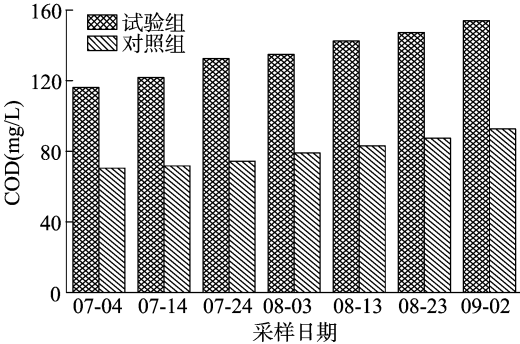


图 3 试验组与对照组 COD 变化

2.1.4 重金属浓度变化 对鱼缸水中的 Cu、Zn、Ni、Cr、Pb 5 种重金属进行监测,由表 5、表 6 可知,试验组各重金属浓度均高于对照组,尤其是沼液中含有量较多的 Cu、Zn 有明显残留

积累,后期 Cu、Zn 浓度超过《渔业水质标准》(GB 11607—1989)限值。

表 5 试验组水中重金属含量

重金属	不同采样日期(月-日)水中重金属含量(mg/L)						
	07-04	07-14	07-24	08-03	08-13	08-23	09-02
Cu	0.010	0.006	0.005	0.046	0.007	0.021	0.454
Zn	0.071	0.098	0.091	0.117	0.179	0.273	0.242
Ni	0.003	0.001	0.001	0.007	0.001	0.002	0.002
Cr	—	0.044	—	—	—	—	0.003
Pb	—	—	0.002	—	—	—	—

注:“—”表示未检出,下表同。

表 6 对照组水中重金属含量

重金属	不同采样日期(月-日)水中重金属含量(mg/L)						
	07-04	07-14	07-24	08-03	08-13	08-23	09-02
Cu	0.006	0.009	0.005	0.011	0.008	0.009	0.010
Zn	0.026	0.037	0.035	0.045	0.043	0.067	0.067
Ni	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003
Cr	—	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—	—

2.1.5 电导率的变化 电导率反映了水中溶解性固体总量,通常可以表征无机盐含量。由图 4 可知,随着投喂时间的推移,试验组和对照组水体电导率均有不同程度增大。对照组电导率增大是由于投喂的颗粒饲料有少量盐分溶解到水中。在养殖后期,试验组的电导率比对照组增加更为显著,这是因为沼液中存在较多的无机盐,大部分残留在鱼缸水中导致电导率升高。

死亡现象,这一定程度上支持沼液能抑制和减少鱼病发生的结论<sup>[14]</sup>。值得注意的是,鲫鱼体质量增长速率与对照组近似而没有高于对照组(大塘沼液养鱼实践表明沼液施用能够节省饲料和增产<sup>[15]</sup>),这是因为在实验室鱼缸中很难形成类似大塘养殖的生态系统,沼液中的营养成分未能有效转化为可供鱼类食用的浮游生物。

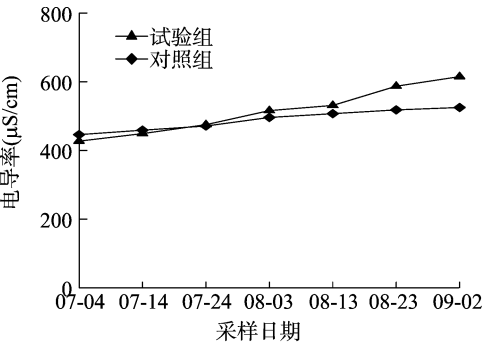


图4 试验组与对照组电导率变化

2.2 施加沼液对鲫鱼生长的影响

鲫鱼的体质量变化直接反映了其生长状况,图 5 为试验组与对照组各 2 尾鲫鱼养殖过程中的生长曲线。对照组的 2 尾鲫鱼体质量呈线性增长,而试验组 1 大 1 小 2 尾鲫鱼的体质量变化趋势都是随沼液的投加先下降后上升直至稳步增长,增长曲线与对照组基本平行。试验组鲫鱼体质量最初出现下降说明鲫鱼在投加了沼液的水质环境中有一个适应的过程(约 20 d),影响其对饲料的摄取和利用,之后鲫鱼逐渐适应能够正常吃食,体质量稳步增长,增长速率与对照组近似。

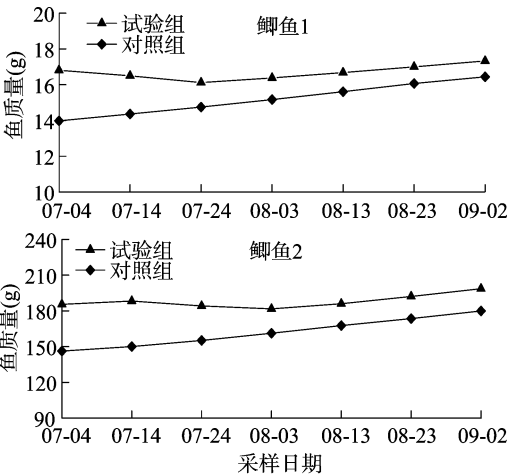


图5 试验组与对照组鱼质量增长曲线

2.3 鲫鱼品质分析

2.3.1 水分、脂肪、蛋白质及灰分 蛋白质和脂肪的含量反映鱼的营养水平,通常认为鱼肉水分含量高则蛋白质、脂肪含量相对会减少,鱼肉品质较差,反之蛋白质、脂肪含量高时鱼肉品质好,肥嫩味美<sup>[16]</sup>。由表 7 可知,沼液鱼与对照鱼的粗蛋白含量无明显差异,而水分、脂肪和灰分含量较对照鱼略低,这表明沼液鱼的营养价值没有下降。

2.3.2 氨基酸含量 氨基酸含量是鱼肉品质的重要生化指标,各种氨基酸的相对含量是影响鱼风味及鲜香味的重要因素,通常认为鱼肉的鲜美味道主要由天冬氨酸、谷氨酸、丙氨

本试验沼液投加量较大,沼液成分在鱼缸水中有累积趋势(见“2.1”节水质监测结果),但鲫鱼仍然能保持正常生长,这说明在连续投加沼液、较恶劣的水质环境下鲫鱼仍具有很好的适应性和耐受性。而且沼液养鱼过程中未出现鲫鱼发病

表 7 鲫鱼肉中水分、脂肪和蛋白质含量 %

组别	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
对照鱼	72.34	66.29	11.22	18.65
沼液鱼	70.86	66.64	10.73	17.65

酸和甘氨酸 4 种氨基酸含量决定<sup>[17]</sup>。由表 8 可知,沼液鱼与对照鱼的各种氨基酸含量无明显差异,沼液鱼品质良好。

表 8 鲫鱼氨基酸含量 %

组别	天冬氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	赖氨酸	组氨酸	精氨酸	蛋氨酸
对照鱼	0.053	0.079	0.054	0.040	0.042	0.015	0.037	0.016
沼液鱼	0.052	0.080	0.047	0.039	0.043	0.016	0.036	0.016

表 9 鲫鱼体内重金属含量 mg/kg

组别	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	As
标准限值	10 <sup>b</sup>	50 <sup>c</sup>	2 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>
对照鱼	0.011	—	0.018 8	0.000 35	0.000 17	0.041 0
沼液鱼	0.028	49.5	0.025 3	0.002 3	0.000 33	0.003 1

注:a.《鲜、冻动物性水产品卫生标准》(GB 2733—2005);b.《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量》(NY 5073—2006);c.《食品中锌限量标准》(GB 13106—1991)。

3 结论

(1)鱼缸投加沼液养鲫鱼过程中的水质变化:氨氮、亚硝酸盐、有机物、重金属、无机盐等指标均高于对照组,其浓度呈上升趋势,在水中有一定积累。

(2)养殖过程中沼液鱼的体质量呈先下降后上升,增长速率与对照鱼相当;鲫鱼对沼液施用存在一适应阶段,即便是在高浓度的沼液环境和较恶劣的水质条件下,鲫鱼仍能正常生长,表现出良好的适应性和耐受性。

(3)沼液鱼的脂肪、蛋白质、氨基酸等营养指标与对照鱼无明显差异,Cu、Zn、Cr、Pb 等重金属含量略有增大,但均未超标。

(4)实验室鱼缸中难以形成类似大塘养殖的生态系统,沼液中的活性成分未充分转化为鱼类可食用的浮游生物,但是通过养殖过程中的水质变化以及鱼的生长曲线,证明鲫鱼对沼液的施用具有良好的适应性和耐受性,研究结果为沼液用于水产养殖的后续研究以及推广应用提供了试验数据和科学依据。

参考文献:

[1]陈超,阮志勇,吴进,等. 规模化沼气工程沼液综合处理与利用的研究进展[J]. 中国沼气,2013,31(1):25-28,43.

[2]Bian B,Zhou L J,Li L,et al. Risk assessment of heavy metals in air, water,vegetables,grains,and related soils irrigated with biogas slurry in Taihu Basin, China[J]. Environmental Science and Pollution Research,2015,22(10):7794-7807.

[3]Nhu T T,Dewulf J,Serruys P,et al. Resource usage of integrated Pig-Biogas-Fish system: partitioning and substitution within attributional life cycle assessment[J]. Resources Conservation and Recycling,2015,102(9):27-38.

[4]刘艳琴,曾志勇. “养沼种”生态农业模式应用效果及其生产技术[J]. 福建农业科技,2013,44(5):38-40.

[5]沈其林,单胜道,周健驹,等. 猪粪发酵沼液成分测定与分析[J].

2.3.3 重金属含量 重金属含量是一个重要指标。由表 9 可知,沼液鱼肉的 Cu、Zn、Cr、Pb、Cd 的含量均比对照鱼高,但 As 含量较对照鱼低。由此可知,沼液鱼体内重金属与沼液中含有的重金属存在相关性。有文献报道沼液用于土壤灌溉和施肥可能导致土壤及农作物重金属累积和超标<sup>[18]</sup>,而从沼液养鱼的试验结果可知,沼液鱼的各项重金属含量均未超过相关国家和行业标准。

中国沼气,2014,32(3):83-86.

[6]徐延熙,田相旭,李斗争,等. 不同原料沼气池发酵残留物养分含量比较[J]. 农业科技通讯,2012(5):100-102.

[7]Sehgal H S,Kaur K,Sehgal G K. Phytoplankton response to biogas slurry in carp ponds[J]. Bioresource Technology,1991,37(3):229-234.

[8]Sehgal H S,Kaur K,Sehgal G K. Zooplankton response to biogas slurry in carp ponds[J]. Bioresource Technology,1992,41(2):111-116.

[9]甘福丁. 沼气工程沼肥利用及输送方式探讨[J]. 现代农业科技,2013(16):201,203.

[10]武丽娟,刘荣厚,王远远. 沼气发酵原料及产物特性的分析——以四位一体北方能源生态模式为例[J]. 农机化研究,2007(7):183-186.

[11]Serezli R,Kucukagtas A,Kurtoglu I Z. Acute toxicity of ammonia and nitrite to angel fish (*Pterophyllum scalare*, Liechtenstein 1823) and the effect of erythrocyte morphology[J]. Fresenius Environmental Bulletin,2016,25(8):3119-3124.

[12]董玉波,戴媛媛. 亚硝酸盐氮对水产经济动物毒性影响的研究概况[J]. 水产养殖,2011,32(4):28-32.

[13]段学华,何立红,李春燕. 水产养殖对水质影响及防治措施[J]. 能源与环境,2010(4):95-96.

[14]Yu F B,Li X D,Ali S W,et al. Use of biogas slurry for enhancing control of phytopathogens[J]. Polish Journal of Environmental Studies,2014,23(2):533-540.

[15]张加稳,林卫东,张无敌,等. 沼气系统在稻田养鱼中的应用[J]. 安徽农业科学,2015,43(1):236-238,241.

[16]马旭婷,钱攀,戴志远. 美国鳙鱼和鲢鱼的营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报,2016,16(11):273-280.

[17]乐贻荣,肖炜,邹芝英,等. 奥尼罗非鱼肌肉营养成分分析和营养价值评定[J]. 中国农学通报,2015,31(11):88-93.

[18]Bian B,Lv L,Yang D H,et al. Migration of heavy metals in vegetable farmlands amended with biogas slurry in the Taihu Basin, China[J]. Ecological Engineering,2014,71(71):380-383.