

炭基养殖污水净化剂- K 对养猪场污水的净化研究

吴若菁¹, 陈清松², 蔡燕燕¹, 陆榕³, 黄婧¹

(1. 福建师范大学生命科学学院, 福建 福州 350108; 2. 福建师范大学化学与材料学院, 福建 福州 350108;
3. 福州黑金刚日用品有限公司, 福建 福州 350001)

摘要: 利用自制的炭基污水净化剂- K 净化养猪场污水, 用泥鳅成活率、泥鳅微核率和核异常率衡量污水净化效果。结果表明: 经净化处理后污水的 COD、NH₃- N 指标显著下降, pH 和 DO 值显著上升, 在 50% 原浓度污水中添加 6% 净化剂- K 处理 5 h 时净化效果最佳, 净化剂的处理量和处理时间与污水的各项化学指标间具有显著或极显著的相关性, 泥鳅成活率随着净化剂处理量和处理时间的延长而上升, 当 50% 原浓度污水中添加 8% 净化剂- K 处理 4 h 时, 与未处理的污水相比, 泥鳅成活率从 0 上升至 100%, 泥鳅微核率和核异常率随着污水中净化剂处理量的增加而显著下降, 与未净化的污水处理相比达到极显著差异水平。不同净化处理与成活率、微核率和核异常率间进行回归分析的结果均呈现出极显著的相关性。可见成活率、微核率和核异常率这三项指标均可以作为污水生物毒性的衡量指标。

关键词: 净化剂- K; 养猪场污水; 净化; 泥鳅成活率; 微核率; 核异常率

中图分类号: X 835; Q 953

文献标识码: A

Purification of pig farm wastewater using carbon-based treatment Agent- K

WU Ruo-jing¹, CHEN Qing-song², CAI Yan-yan¹, LU Rong³, HUANG Jing¹

(1. College of life sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350108, China;
2. College of Chemistry and Materials Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350108, China;
3. Fuzhou Black Diamond Commodity Co., Ltd. Fuzhou, Fujian 350001, China)

Abstract: A custom-made, carbon-based complex Agent - K was used to purify pig farm wastewater. The purification efficiency was indicated by *Misgurnus Anguillicaudatus* survival rate, micronuclei rate and nuclear anomalies rate. The results showed that, after treatment, the sewage COD and NH₃- N decreased significantly, and the pH and DO values increased significantly. The addition of 6% of Agent- K in a solution containing 50% of the sewage for 5 h yielded the optimal purification result. The chemical indicators of the water had a significant or highly significant correlation with the treatment capacity and time. The *M. Anguillicaudatus* survival rate increased from 0 to 100% when the Agent- K addition increased from 0 to 8% and treated for 4h. The micronuclei rate and nuclear anomalies rate of *M. Anguillicaudatus* significantly decreased with increased dosage, as compared to the untreated case. The regression analysis indicated a significant correlation among the purification, survival rate, micro nucleus rate and nuclear abnormality rate. They could be used as indicators for effluent toxicity determination.

Key words: Agent- K; pig farm wastewater; purification; *Misgurnus Anguillicaudatus*; survival rate; micronuclei rate; nuclear anomalies rate

畜禽养殖业的主要环境危害是水质污染, 畜禽养殖场污水中含有大量的污染物质, 其污水生化指标极高^[1]。据估计畜禽养殖污水每年实际排放总量超过 200 亿 t, 相当于全国工业和城镇生活污水排放总量的一半, 是个不容忽视的问题^[2]。仅福建省养猪业每年排放的污水中约含有 15 万~ 66 万 t 的氮和 18.0 万~ 85.5 万 t 的磷。废水水质大致情况

为: COD_{cr} 为 1 500~ 8 000 mg·L⁻¹; BOD₅ 为 1 000~ 3 000 mg·L⁻¹; NH₃- N 约 3 000 mg·L⁻¹; SS 约 10 000 mg·L⁻¹^[3]。虽然国内有关净化养猪场污水方面已经有报道^[4~ 9], 而竹炭改性制作成污水净化剂来净化养猪场污水的研究至今尚未见到相关报道。由于养猪业是一个低利润行业, 一般无法承受耗费较高的污水处理工艺。针对这些特点, 本

收稿日期: 2010- 06- 11 初稿; 2010- 07- 05 修改稿

作者简介: 吴若菁 (1955-), 女, 副教授, 研究方向: 细胞遗传学 (E-mail: genetick@fjnu.edu.cn)

基金项目: 福建省科技计划重点项目 (2007- N0042); 福州市科技计划重点项目 (2006- Z- 039)

试验以泥鳅作为生物监测材料, 用本试验室研制的炭基养殖污水净化剂-K对养猪场污水的净化效果进行研究, 期望为进一步开发价格低廉的畜禽养殖污水净化剂提供可靠的试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 购自福州市程埔头市场, 选取体长10±2 cm、无伤病的健康个体作为试验鱼; 污水取自位于福州一中新区附近的一家中型养猪场门前池塘入口处, 取回的污水经过静置4 h, 用12层纱布过滤残渣后备用; 炭基养殖污水净化剂-K: 以竹炭为基质添加改性剂K等成分并按照一定工艺制作而成。

1.2 试验方法

1.2.1 养猪场污水的净化处理及常规指标测定

1.2.1.1 污水的净化处理 将炭基养殖污水净化剂-K用超滤水浸泡24 h, 70℃左右烘干后, 分别观察不同处理时间(1 h、2 h、3 h、4 h、5 h)和不同处理量(1%、2%、3%、4%、6%净化剂-K)对原污水的净化效果。处理时将装有净化剂和污水的玻璃容器置于调速振荡器(HY-8)上, 转速为120 $r \cdot min^{-1}$, 处理不同时间后静置过滤备用。

1.2.1.2 净化后的污水的常规指标检测方法 检测分析方法参照《水和废水监测分析方法》^[10]。NH₃-N用752型紫外光栅分光光度计测定, 纳氏试剂光度法, GB7479-87方法标准。COD用5B-3型COD快速测定仪进行测定, 酸性法, GB11892-87方法标准。DO用inolab溶氧仪(德国WTW)测定, 碘量法, GB7489-87方法标准。pH用Ph S-3C数字式酸度计测定。

1.2.2 养猪场污水对泥鳅半致死量的测定 养猪场污水用曝气3 d的自来水稀释成不同的浓度梯度进行急性致死试验, 对照组采用曝气3 d的自来水。采用统一规格的水桶盛放, 试验用水量均为5 L, 每个浓度设3个重复, 水温为26±2℃。饲养96 h, 根据成活率利用改良寇氏法(Karber)计算半致死浓度(LC₅₀)^[10]:

$$LC_{50} = \log^{-1} [X_m - i(\sum P - 0.5)]$$

其中, X_m-最大剂量的对数值; i-相邻两组剂量对数值之差; P-各组动物死亡率, 用小数表示; $\sum P$ -各组动物死亡率之总和。

1.2.3 不同净化处理对泥鳅成活率的影响 根据致死浓度的筛选结果, 取不同净化处理时间的污水均按照50%浓度配制成1 000 mL的泥鳅养殖水,

在每个统一规格的饲养桶中放10条泥鳅, 分别观察不同处理时间(1、2、3、4、5、6 h)和不同处理量(按照原污水浓度的6%、8%添加净化剂-K)对泥鳅成活率的影响。

1.2.4 利用泥鳅红细胞的遗传损伤监测不同处理对污水的净化作用

1.2.4.1 不同处理对泥鳅红细胞的遗传损伤的影响 分别取5 g、10 g、15 g、20 g炭基养殖污水净化剂-K, 分别投放在1 000 mL的50%原浓度的污水中, 另取未经净化处理的50%原浓度污水和曝气3 d的自来水各1 000 mL分别做阳性和阴性对照, 在同一规格的桶中放置泥鳅饲养5 d, 观察泥鳅微核率及核异常率与净化剂处理量的关系。

1.2.4.2 血涂片制作与显微观察 将泥鳅断尾取血, 制作血涂片。晾干后先用瑞氏染液染1 min, 然后用蒸馏水洗去瑞氏染液, 再用磷酸缓冲液稀释10倍后的姬母萨染液染15 min, 水洗, 晾干即可用显微镜观察。统计微核率和核异常率(核外突、核内凹、核空洞、核不均等缢缩与分裂)。每个处理3个重复, 每重复统计2 000个细胞。微核率=微核细胞数/观察红细胞总数×1000‰, 核异常率=核异常细胞数/观察红细胞总数×1000‰。

1.3 统计分析

数据采用SPSS 15.0和Excel 2003进行绘图和不同的统计分析, 并进行常规指标与成活率、微核率、核异常率与不同净化处理之间的相互回归分析。采用的回归模式为线性方程(Linear)、二次曲线(Quadratic)、混合曲线(Compound)、生长曲线(Growth)、三次曲线(Cubic)、S曲线(S)、指数曲线(Exponential)、反曲线(Inverse)、幂函数(Power)、Logistic曲线模块(Logistic)、对数曲线(Logarithmic)。最后根据实际观测值与不同模式回归的吻合结果, 筛选出最佳的回归方程。

2 结果与分析

2.1 养猪场污水的净化处理与常规指标测定

2.1.1 不同处理对污水常规指标的影响 净化剂的不同处理对污水常规指标的影响见表1。从表1可以看出, 原污水的各项指标都远超过国家养猪污水排放标准, 但经过处理后污水的各项检测指标均有明显的下降, 当按照6%净化剂添加量处理5 h的pH值、COD和DO已经达到国家规定的排放标准, NH₃-N含量接近排放标准。说明炭基养殖污水净化剂-K对污水中的有害成分具有较好的

吸附作用。

2.1.2 不同处理与检测指标的回归相关分析 用 11 种不同的回归模型分析 6% 炭基养殖污水净化剂-K 不同的净化处理时间与各项常规指标之间的回

归相关性结果见表 2, 可以看出采用不同的回归模式可以较好的预测处理时间与不同检测指标间的关系, 而且这种相关性均达到显著或极显著水平, 因此, 可以用作实际应用的参照依据。

表 1 不同净化处理对污水常规指标的影响

Table 1 Effect of different purification treatments on pollution indices of wastewater

处理	pH	COD _{Cr} (mg·L ⁻¹)	DO (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N (mg·L ⁻¹)
原浓度污水	4.68	869.2	4.08	236.09
1%净化剂+4h	5.00	773.6	4.10	214.05
2%净化剂+4h	5.96	668.0	4.12	186.36
3%净化剂+4h	6.00	560.5	4.22	169.15
4%净化剂+4h	6.50	392.2	4.24	132.65
6%净化剂+4h	6.75	286.0	4.52	101.50
6%净化剂+1h	6.28	353.4	4.10	145.71
6%净化剂+2h	6.35	320.3	4.30	138.90
6%净化剂+3h	6.44	291.7	4.54	116.00
6%净化剂+5h	7.01	282.7	4.48	91.10
畜养殖业污染物排放标准(GB18596-2001)	6~9	400	>4	80

表 2 不同处理时间与污水各项检测指标间的回归分析

Table 2 Regression analysis on different treatment time and indices on sewage

回归分析	最佳模式	相关系数 <i>R</i>	标准误 <i>SD</i>	显著性水平 <i>P</i>
pH 与时间	Linear 模式, $Y = 5.3 + 0.38X$ (Y - pH, X - 时间)	0.86	±0.46	0.027*
COD 与时间	Cubic 模式, $Y = 850.72 - 626.59X + 210.65X^2 - 21.73X^3$ (Y - COD, X - 时间)	0.98	±65.65	0.048*
DO 与时间	Cubic 模式, $Y = 4.07 - 0.04X + 0.11X^2 - 0.02X^3$ (Y - DO, X - 时间)	0.98	±0.06	0.048*
NH ₃ -N 与时间	Compound 模式, $Y = 201.94(0.84X)$ (Y - NH ₃ -N, X - 时间)	0.95	±0.12	0.004**

注: * 表示 $P < 0.05$ 显著相关, ** 表示 $P < 0.01$ 极显著相关; 下同。

2.2 污水不同的净化处理对泥鳅成活率的影响

根据“改良寇氏法”计算出泥鳅的 96 h 半致死浓度为原污水浓度的 35.3%, 95% 可信限为 -0.452 ± 0.0268。45% 的原污水浓度就会导致泥鳅全部死亡。为此, 选择 50% 的原污水浓度为净化处理的浓度。试验结果表明: 在 50% 原浓度的污水中泥鳅全部死亡, 而污水经过净化处理后泥鳅成活率不断提高, 从原来的 0 上升到 100%。污水不同的净化处理对泥鳅成活率的影响见图 1。从图 1 可以看出, 在 50% 的原污水浓度中添加 8% 的净化剂-K 处理 4 h, 泥鳅的成活率可以达到 100%。而按照 6% 的添加量在处理 5 h 以后泥鳅的最高成活率只能达到 80%。对 6% 与 8% 处理量的不同处理时间对泥鳅成活率的影响效果进行 *t* 检验, $SD = \pm 6.32$, $P = 0.00$, 达到极显著效果。试验结果表明, 在 50% 的原污水浓度中添加 8% 净化

剂-K 的净化效果最佳。

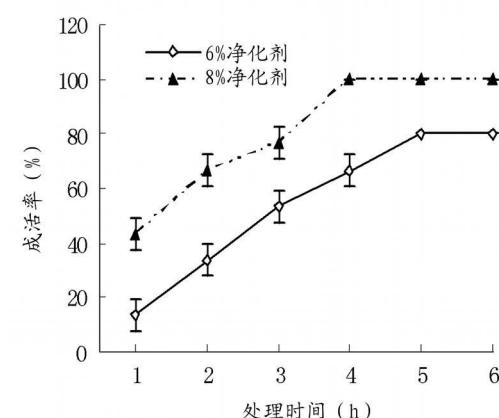


图 1 不同处理对成活率的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on *M. anguillinaudatus* survival rate

对分别添加 6% 与 8% 净化剂-K 的污水进行泥鳅成活率与处理时间的回归分析,发现添加 6% 净化剂采用 Cubic 模式进行回归分析的效果最佳, $Y = -4.33 + 15.32X + 2.58X^2 - 0.46X^3$ (Y -成活率, X -处理时间), $R = 0.999$, $P = 0.002 < P = 0.01$, 二者达到极显著相关, 其模拟回归见图 2。添加 8% 净化剂采用 Power 模式进行回归分析的效果最佳, $Y = 44.14X^{0.54}$ (Y -成活率, X -处理时间), $R = 0.989$, $P = 0.001 < P = 0.01$, 二者达到极显著相关, 其模拟回归见图 3。将净化剂不同添加量对泥鳅成活率的影响进行 t 检验, 结果为 $P = 0.000 < P = 0.01$, $SD = \pm 2.58$, 二者达到极显著相关。

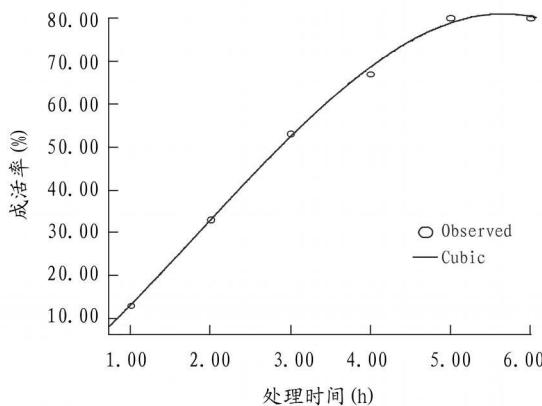


图 2 6% 净化剂处理时成活率与时间的 Cubic 回归模拟

Fig 2 Cubic regression model on *M. Anguillicaudatus* survival rate with a 6% Agent-K addition and different treatment time

2.3 成活率与常规指标监测结果的回归分析

对泥鳅成活率与添加 6% 净化剂处理后污水的常规监测指标进行回归分析, 结果见表 3。从表 3 可以看出, 泥鳅的成活率与常规监测指标的变化具有密切的相关性, 表明泥鳅成活率也可以作为生物监测指标来监测污水的净化结果。

2.4 利用泥鳅红细胞的遗传损伤监测不同处理对污水的净化作用

2.4.1 不同净化处理对泥鳅遗传损伤的影响

鳅在外来理化因子诱变下常会产生遗传损伤, 出现微核和核异常, 因此, 在环境诱变因子的监测中, 微核率和核异常率的变化常被作为衡量环境污染的指标^[10-12]。本试验中发现养猪场污水会导致泥鳅红细胞产生微核(图 4a)、核内凹(图 4b)、核不均等分裂(图 4c)、核空洞(图 4d)等核异常现象。利用炭基净化剂-K 对 50% 的养猪场原污水进行净化处理, 进而观察泥鳅红细胞的微核率和核异常率的变化, 结果见图 5。从图 5 可以看出, 随着净化剂处理量的加大, 泥鳅微核率和核异常率不断下降, 方差检验的结果为不同处理间均达到极显著差异。从 LSD 分析的结果(表 4、表 5)可以看出与阴性对照(自来水)相比, 除了添加 4% 净化剂的处理为显著差异, 其余净化处理虽然微核率和核异常率呈现下降趋势, 但是与阴性对照相比还是存在极显著差异。说明添加 4% 净化剂的处理量虽可以较好的净化污水, 减轻污水对泥鳅的染色体损伤, 但是还没有达到最佳净化效果。该结果与前面化学监测的结果是一致的。不同处理与阳性对照(50% 的原污水)对比, 均存在极显著差异, 表明经不同的处理后, 污水净化程度明显提高, 对泥鳅染色体损伤显著下降。

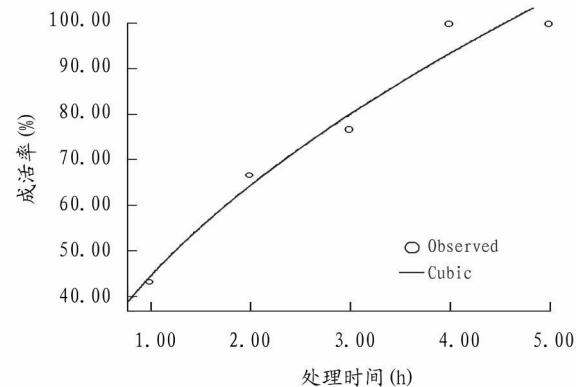


图 3 8% 净化剂处理时成活率与时间的 Power 回归模拟

Fig 3 Power regression model on *M. Anguillicaudatus* survival rate with a 6% Agent-K addition and different treatment time

表 3 成活率与污水常规指标间最佳回归模式

Table 3 Best fit regression model for *M. Anguillicaudatus* survival rate and conventional wastewater indicators

回归分析	最佳回归模式	相关系数		
		R	标准误 SD	显著性水平 P
成活率- pH	Quadratic 模式, $Y = 6.38 - 0.01X + 0.00X^2$ (Y -pH, X -成活率)	0.99	± 0.07	0.03*
成活率- COD	Quadratic 模式, $Y = 384.42 - 2.63X + 0.02X^2$ (Y -COD, X -成活率)	1.00	± 0.83	0.00**
成活率- DO	S 模式, $Y = e^{1.53 - 1.55/X}$ (Y -DO, X -成活率)	0.96	± 0.01	0.01**
成活率- NH_3-N	Quadratic 模式, $Y = 153.85 - 0.46X - 0.004X^2$ (Y - NH_3-N , X -成活率)	1.00	± 3.35	0.01**

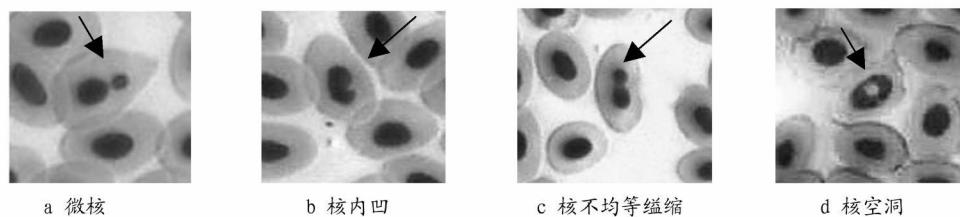


图 4 污水对泥鳅红细胞微核率和核异常率的影响

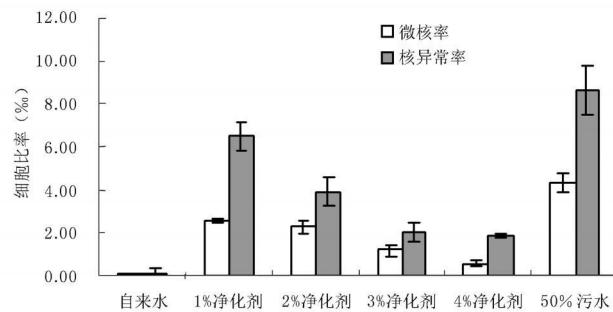
Fig 4 Effect of sewage on *M. Anguillicaudatus*' red blood cell micronucleus and nuclear anomalies rates

图 5 不同处理对泥鳅微核率及核异常率的影响

Fig 5 Effect of different treatments on micronucleus and nuclear anomalies rates in *M. Anguillicaudatus*

表 4 不同处理的微核率 LSD 分析

Table 4 LSD analysis on micronucleus rate under different treatments

处理	50% 原污水	4% 净化剂	3% 净化剂	2% 净化剂	1% 净化剂
自来水	4.28* *	0.50*	1.12* *	2.22* *	2.50* *
1% 净化剂	1.78* *	2.00* *	1.33* *	0.28	
2% 净化剂	2.06* *	1.72* *	1.06* *		
3% 净化剂	3.11* *	0.67* *			
4% 净化剂	3.78* *				

表 5 不同处理的核异常率 LSD 分析

Table 5 LSD analysis on nuclear anomalies rate under different treatments

处理	50% 原污水	4% 净化剂	3% 净化剂	2% 净化剂	1% 净化剂
自来水	8.44* *	1.72*	1.83* *	3.72* *	6.33* *
1% 净化剂	2.11* *	4.61* *	4.5* *	2.61	
2% 净化剂	4.72* *	2.00* *	1.89* *		
3% 净化剂	6.61* *	0.11			
4% 净化剂	6.72* *				

2.4.2 泥鳅微核率、核异常率与不同净化处理间的回归分析 对微核率、核异常率与不同的净化剂剂量进行 11 种模式的回归分析, 结果表明: 微核

率与不同净化剂剂量之间采用 Growth 模式时回归效果最佳, $Y = e^{1.52 - 0.47X}$ (Y —微核率, X —净化剂量), $R = 0.978$, $SD = \pm 0.182$, $P = 0.004 < P = 0.01$, 二者达到极显著相关, 见图 6。核异常率与不同净化剂剂量之间采用 Cubic 模式时回归效果最佳, $Y = 8.61 - 1.51X - 0.81X^2 + 0.19X^3$ (Y —核异常率, X —净化剂量), $R = 1.000$, $SD = \pm 0.022$, $P = 0.005 < P = 0.01$, 二者达到极显著相关, 见图 7。可见净化剂的处理剂量与泥鳅微核率、核异常率直接存在密切相关。

对微核率与核异常率间进行不同模式回归分析结果为: 微核率与核异常率间最佳回归分析模式是 Linear 模式, 当 $Y = 0.27 + 1.96X$ (Y —核异常率, X —微核率) 时, 它们间的相关性 $R = 0.957$, $SD = \pm 0.976$, $P = 0.011 < P = 0.05$, 二者达到显著相关, 见图 8。表明微核率与核异常率这两个指标间具有密切的相关性。

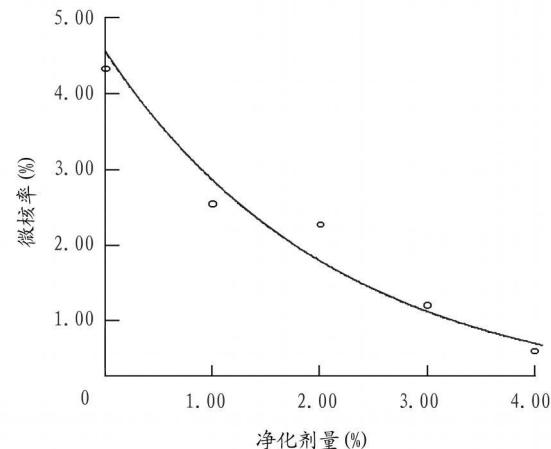


图 6 微核率与不同处理的 Growth 回归模拟

Fig 6 Growth regression model for micronucleus rate under different treatments

3 结论与讨论

3.1 养猪场污水对泥鳅的影响

本试验结果表明养猪场污水的 pH 值较低, 而

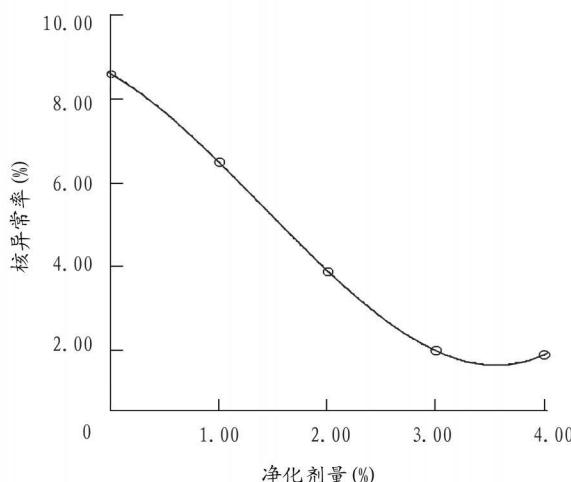


图 7 核异常率与不同处理的 Cubic 回归模拟

Fig 7 Cubic regression model on nuclear anomalies rate under different treatments

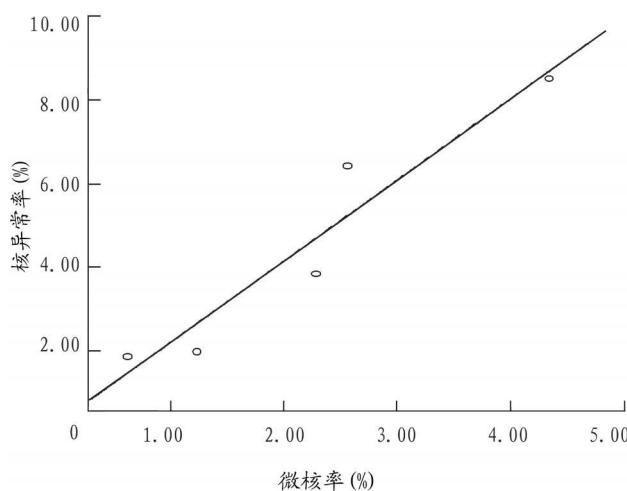


图 8 微核率与核异常率的 Linear 回归模拟

Fig 8 Linear regression model on micronucleus rate and nuclear anomalies rate

COD 与 NH_3-N 含量很高。水中污水的浓度越高泥鳅的成活率越低, 微核率和核异常率越高。其原因是富含各种污染因子的养猪场污水, 会使水中硝酸盐、有机质增加, 使亚硝态氮超标。尤其是在 pH 值较低的条件下, 亚硝酸盐可与仲胺类反应生成亚硝酸胺类物, 而后通过对泥鳅 DNA 碱基进行氧化脱氨或者通过亲电子基团与 DNA 中的亲核结构互相作用, 导致染色体损伤, 出现核异常率、微核率上升的现象。此外, 污水中丰富的含氮有机物受微生物作用分解成氨氮 (NH_3-N) 时, 氨氮将以游离氨 (NH_3) 或铵盐 (NH_4^+) 的形式存在于水中。在有氧的环境中, 水中的氨会转变为亚硝酸盐或硝酸盐。所以, 当水中氨氮含量异常增加时,

也会导致泥鳅染色体损伤。从回归分析结果可看出微核率和核异常率间具有显著相关性, 可见核异常的结果会导致微核的产生, 严重时会导致成活率下降。

3.2 净化剂处理与各项指标间的关系

竹炭的比表面积可达 $360 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 是普通木炭的 2~5 倍, 若进一步处理可达 $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 相当于优质木炭^[12~13]。因而, 近年来研究者常用其来吸附一些有害成分^[14~16]。竹炭的孔隙比活性炭大, 对有些物质不能很好的吸附。本试验研发的净化剂以竹炭为基质, 通过对竹炭材料的改性, 增强其对特定物质的吸附和降解性能。回归分析的结果表明净化剂的剂量和处理时间与污水中 COD 与 NH_3-N 含量的下降及 pH 值与 DO 值的上升均具有极显著相关性, 而与泥鳅成活率、微核率及核异常率也具有极显著的相关性。可见该净化剂净化养猪场污水的效果是比较理想的, 可以通过进一步的研究, 开发成高效养殖污水净化剂, 用于解决畜禽养殖污染问题。

此外, 对不同净化处理与成活率、微核率和核异常率进行回归分析的结果均呈现出极显著的相关性, 说明这三项指标均可以作为水质净化程度的衡量指标。

参考文献:

- [1] 李远, 单正军, 徐德徽. 我国畜禽养殖业的环境影响与管理政策初探 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10 (2): 136~138.
- [2] 国家发展改革委环境和资源综合利用司. 我国集约化养殖污染治理现状、问题及建议 [J]. 中国经贸导刊, 2004 (6): 29~30.
- [3] 潘庆. 养猪场的废水污染及防治对策 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3 (9): 66~71.
- [4] 王磊, 付永胜, 宋伟. SBR 处理养猪场废水研究 [J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2005, 24 (6): 43~45.
- [5] 杨朝晖, 曾光明, 陈信常, 等. 规模化养猪场废水处理工艺的研究 [J]. 环境工程, 2002, 20 (6): 19~21.
- [6] 成文, 卢平, 罗国维. 养猪场废水处理工艺研究 [J]. 环境污染与防治, 2000, 22 (1): 24~27.
- [7] 许振成, 谢武明, 谌建宇. 养猪场废水治理技术进展 [J]. 中国沼气, 2004, 22 (2): 26~29.
- [8] 潘道东, 韩正康, 陈杰, 等. 胞外多糖 Pullulan 处理养猪场污水的研究 [J]. 南京师大学报, 2006, 1 (2): 40~41.
- [9] 陈方舟, 吴飞龙, 叶美锋, 等. 养猪场粪污治理与再利用研究进展 [J]. 福建农业学报, 2009, 24 (5): 488~492.
- [10] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 104~281.
- [11] 吴若菁, 陈奋飞, 庄捷, 等. SO_2 的衍生物对泥鳅的急性毒性和染色体损伤研究 [J]. 水生生物学报, 2007, 31 (4): 585~589.

- [12] 吴若菁, 陈宜秋, 林霞, 等. 利用泥鳅红细胞核的遗传损伤监测福州市内河水质 [J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11 (1): 59- 63.
- [13] 汪珍春, 姚焱, 蔡冬霞, 等. 水体中铊对泥鳅外周血红细胞的遗传毒性 [J]. 生态环境学报, 2009, 18 (2): 414- 417.
- [14] 张齐生. 重视竹材化学利用, 开发竹炭应用技术 [J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20 (3): 34- 35.
- [15] 张齐生, 周建斌. 竹炭的神奇功能, 人类的健康卫士 [J]. 林产工业, 2007, 34 (1): 3- 8.
- [16] 钱梅芳, 朱义年, 覃鸿东. 竹炭吸附去除糖蜜酒精废水中 COD 的研究 [J]. 环境科学与技术, 2009, 32 (10): 5- 8.
- [17] 叶桂足, 陈清松, 赖寿莲. 竹炭对水溶液中苯酚的吸附性能研究 [J]. 林产化学与工业, 2005, 25 (10): 139- 142.
- [18] 肖荣辉, 马继平, 鹿文慧, 等. 竹炭固相萃取/气相色谱- 质谱联用对环境水样中 16 种多环芳烃的测定 [J]. 分析测试学报, 2009, 28 (9): 1022- 1026.

(责任编辑: 刘新永)