



刘昊一, 赵三琴, 丁为民, 等. 全自动增氧机水质净化效果研究与改进试验[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(3): 112-117.

全自动增氧机水质净化效果研究与改进试验

刘昊一, 赵三琴, 丁为民, 赵思琪

(南京农业大学 江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 江苏 南京 210031)

摘要:【目的】解决鳊鱼养殖过程中全自动增氧机的密封、安装不便等问题。【方法】2014年7月至11月,在鳊鱼养殖的整个周期中,对该机具的清洗周期、测量精度、控制可靠性展开鱼塘试验,研究长期使用该机具对养殖水质和用电量的影响。通过改变O形密封圈与三角沟槽的尺寸提高溶解氧传感器的密封性和安装便利性,通过改变上、下盖的倒角尺寸提升溶解氧传感器的安装便利性。【结果】在整个养殖过程中,与丹麦OxyGuard溶解氧测控仪相比,全自动增氧机平均清洗周期相差不大,温度测量误差为 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$,溶解氧含量测量误差为 $\pm 0.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,调控的鱼塘溶解氧含量均大于设定的溶解氧含量下限值($4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。同时,与手动控制增氧机的鱼塘相比,使用全自动增氧机的鱼塘溶解氧含量较高,最高达 $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,且水质参数中平均氨氮含量低35.9%,平均亚硝酸盐含量低50.7%,节约用电29.5%。【结论】该机具长期使用时,具有抗污性强、清洗方便、改善水质、节能省工的优点,可满足鱼塘养殖的实际要求,且密封好、安装方便,具有大面积推广的实用价值。

关键词:鳊鱼养殖; 全自动增氧机; 水质; 溶解氧; 密封性; 改进试验

中图分类号:S969

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2017)03-0112-06

Water purification effects and improvement tests of automatic aerators

LIU Haoyi, ZHAO Sanqin, DING Weimin, ZHAO Siqi

(Engineering Laboratory of Modern Facility Agricultural Technology and Equipment in
Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract:【Objective】To provide solutions for sealing and installation inconvenience of the automatic aerator during breeding of mandarin fish. 【Method】Through the whole cycle of mandarin fish breeding starting from July to November in 2014, fishponds tests were performed to study the cleaning cycle, measuring accuracy and controlling reliability of the automatic aerator. The impacts on aquaculture water quality and electricity consumption were evaluated. The sizes of the O-shape sealing ring and the triangle slot were changed to improve the sealing and installation convenience of the dissolved oxygen (DO) sensor. The sizes of the upper and lower chamfers were also changed to improve the installation convenience of the DO sensor. 【Result】During the whole breeding cycle, the average cleaning cycle of the automatic aerator was not significantly different compared with the Denmark OxyGuard DO monitor. The error of measured temperature was $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$, the error of measured DO content was $\pm 0.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, and the DO content of the controlled fishpond was higher than the set lower limit of $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Compared with manual control, the DO content of the controlled fishpond using the automatic aerator was higher with a peak value of $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, the average ammonia nitrogen content in water was 35.9% lower, the average nitrite content was 50.7% lower, and the electricity was saved by 29.5%. 【Conclusion】The automatic aerator is highly resistant to stain, can be conveniently cleaned, improves water quality and saves electricity during long-term use, meeting the requirements of the fishpond management. The automatic aerator

收稿日期:2016-07-24 优先出版时间:2017-04-12

优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170412.1442.028.html>

作者简介:刘昊一(1990—),女,硕士,E-mail:Haoyi_Liu03@163.com;通信作者:丁为民(1957—),男,教授,博士,E-mail:wmding@njau.edu.cn

基金项目:江苏省农机三新工程项目(NJ2013-12)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

has good sealing and can be conveniently installed, thus it is recommended for large-scale popularization.

Key words: mandarin fish breeding; automatic aerator; water quality; dissolved oxygen; sealing performance; improvement experiment

近 30 年里,中国水产养殖产量占世界水产品总产量的比重从 29% 升至 71%^[1-2]。据中国渔业统计年鉴,2013 年江苏省水产养殖产量占全国水产品总产量的 9.2%,淡水养殖产量占全国淡水养殖总产量的 11.6%,其中鱼塘养殖产量占全国淡水养殖总产量的 71%^[3],在水产养殖业中占有极其重要的地位。

鱼塘水质决定着养殖鱼类的质量和产量^[4-6],其中溶解氧是最重要的水质指标^[7]。人工控制增氧机的养殖模式解决了鱼塘高密度养殖的缺氧问题,但该控制模式存在费时费工、盲目增氧等问题,尤其是夜间不能及时发现断电、气压降低等突发状况,在一定程度上影响养殖鱼类的生长^[8-10]。国外的溶氧测控仪价格昂贵、采购周期长,国内的清洗周期、测控精度和稳定性与国外的相比还有一定的差距^[11]。江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室研制了一套低成本、强抗污、满足不同水层测量的鱼塘溶解氧传感器及与其配套的在线控制器^[12],并已对测试设备进行了初步试验。然而,该溶解氧传感器、控制器与增氧机配合下组成的系统(以下称为全自动增氧机),在长期使用后,对养殖水质和用电量的影响,需要进一步进行鱼塘试验。为此,本研究在该全自动增氧机的基础上,以鳊鱼为养殖对象,进行一个养殖周期的鱼塘试验,对全自动增氧机溶解氧传感器及与其配套的在线控制器的准确性、稳定性进行评价,并考核全自动增氧机对养殖水质和用电量的影响。根据该机具在长期试验过程中出现的问题,对其结构进行优化以及验证试验。

1 材料与方法

1.1 材料

全自动增氧机接线原理如图 1 所示,全自动增氧机主要部件有空气开关、交流接触器、溶解氧在线控制器、溶解氧传感器、增氧机。其工作原理为:溶解氧在线控制器在初期使用时根据养殖对象设定溶解氧含量的下限值,当所测溶解氧含量低于下限值时,继电器工作,交流接触器线圈得电,交流接触器吸合,增氧机开启,直至所测溶解氧含量高于上限值时,继电器断开,交流接触器线圈失电,交流接触器复位,增氧机关闭。为方便养殖户及时应对鱼塘现场情况,溶解氧在线控制器还设置了手动操作,实现手动操作与自动控制的结合。

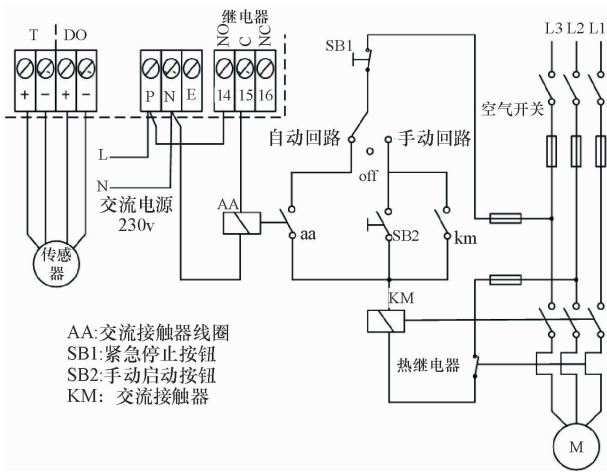


图 1 全自动增氧机接线原理图
Fig.1 Wiring diagram of the automatic aerator

1.2 方法

鱼塘试验于 2014 年 7 月 7 日至 11 月 7 日在江苏省盐城市亭湖区永丰镇原果林场进行。试验鱼塘为长 50 m、宽 40 m 东西走向的高位池,每亩放养鳊鱼 1 600 ~ 1 700 尾,水深为 1.2 ~ 1.6 m,选择 3 口鱼塘,分别为试验塘 1(全自动增氧机 1 台)、对照塘 2、对照塘 3(全自动增氧机 1 台 + 丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪 1 台),其中试验塘 1 的增氧机为自动控制,对照塘 3 的增氧机为手动控制。该机具溶解氧测量范围为 0 ~ 20 mg · L⁻¹,温度测量范围为 0 ~ 40 ℃^[12],溶解氧传感器安装在鱼塘中与增氧机水平位置相距约 20 m,与水面垂直位置相距约 0.8 m,均安装 1 台 1.1 kW 曝气式增氧机和 2 台 1.5 kW 水车式增氧机。

全自动增氧机对养殖水质以及用电量的影响试验在试验塘 1 和对照塘 2 中同时进行。全自动增氧机溶解氧传感器评价指标包括清洗周期、测量准确性、控制稳定性,由于试验受外界因素的影响,清洗周期和测量准确性试验在对照塘 3 进行,控制稳定性试验在试验塘 1 进行。

1.2.1 对养殖水质以及用电量的影响 采用检测工具箱水质检测器测试试验塘 1 和对照塘 2 的 pH、氨氮含量、亚硝酸盐含量及总溶解性固体(Total dissolved solid,TDS);对用电量的影响是通过对比试验塘 1 和对照塘 2 的用电量来确定的。

1.2.2 全自动增氧机溶解氧传感器测试 清洗周期的测试是通过记录全自动增氧机溶解氧传感器和丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪溶解氧传感器的清洗

次数及时间;长期测试的准确性主要是在整个养殖过程中与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪对比,记录温度和溶解氧含量数据,记录时间为 8:00 ~ 17:00,每隔 1.5 h 记录 1 次;长期控制的稳定性主要是通过考察增氧机开启条件是否低于设定的溶解氧下限值。

试验数据均采用 Excel 和 SPSS 软件进行分析。

1.2.3 全自动增氧机溶解氧传感器的改进 密封是溶解氧传感器长期、安全、稳定运行的保证,其透气膜在不同介质中的受力情况不同。介质为空气时,改进前、后结构剖面分别如图 2a、2c 所示,与改进前相比,改进后透氧膜受到透氧膜膜盖对透氧膜的的压力和 O 形密封圈对透氧膜的支持力,以及三角沟槽斜面对透氧膜的的压力和垫圈的支持力,纵向和横向受力均平衡;介质为水时,改进前、后结构剖面分别如图 2b、2d 所示,受水压的作用透氧膜向内凸起变形,横向摩擦力分为 2 部分:平面上的透氧膜膜盖、外壳体和透氧膜之间的摩擦力;三角沟槽的斜面上透氧膜膜盖、O 形密封圈和透氧膜之间的摩擦力。横向的摩擦力增大,密封性增强。其中 O 形密封圈以及密封槽的尺寸是保证密封的关键之处。改进后的 O 形密封圈被安装在三角沟槽和透氧膜膜盖密封面之间,由两者压缩产生的弹性压力实现密封。

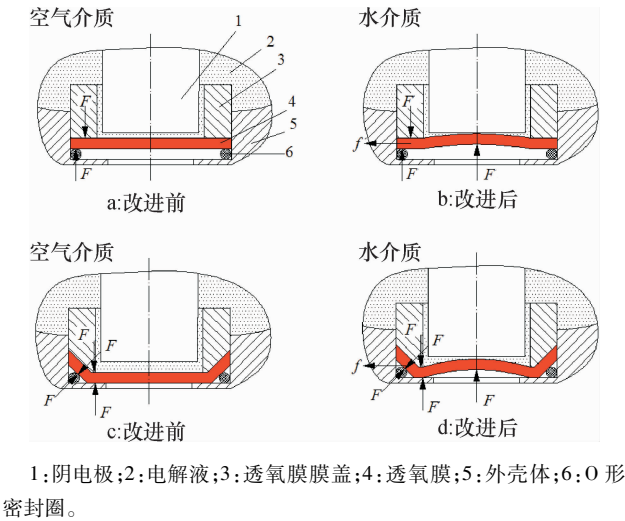


图 2 改进前、后透氧膜膜盖内部结构图

Fig. 2 Oxygen-permeable membrane cover internal structure before and after improvement

根据现使用的 O 形密封圈等条件可知,密封圈内径 $D_0 = 18\text{ mm}$,密封圈截面直径 $d_0 = 1\text{ mm}$,密封圈外径 $D = 20\text{ mm}$ 。根据机械设计手册^[13]可知,平面静密封的压缩率为 15% ~ 30%;孔径小于 30 mm 时,静密封状态下的过盈量 δ 为 0.3 ~ 0.4;密封圈体积溶胀率为 0.15 ~ 0.20,静密封取较大值。因此,为实现较好的密封,压缩率取值 30%, δ 取值 0.4,密封圈体积溶胀率取值 0.20。

根据机械设计手册可知,该三角沟槽的槽深 H 为 0.7 mm,槽宽 B 为 1.29 mm。因此,该三角沟槽内角应为 28.5°,由于加工工艺,一般加工为 30°。

图 3 为上盖改进前、后的结构图,由于轴头的倒角属于辅助工序,改进前被忽视,导致上、下盖安装产生干涉现象,甚至会导致阴电极和透氧膜之间的距离增大,影响测量;改进后使该倒角与下盖倒角相配合,方便溶解氧传感器上、下盖的安装。

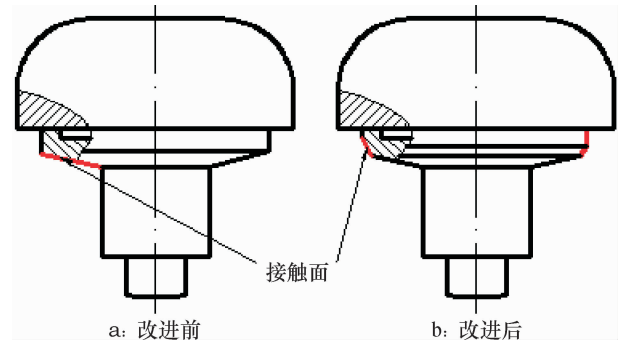


图 3 改进前、后溶解氧传感器上盖内部结构图

Fig. 3 The internal structure of the top cover of the dissolved oxygen sensor before and after improvement

2 结果与分析

2.1 全自动增氧机对鳊鱼养殖水质和用电量的影响

2.1.1 对溶解氧含量的影响 图 4 为全自动增氧机自动控制和手动控制下溶解氧含量的变化趋势。全自动增氧机控制的鱼塘溶解氧含量较平稳,且均高于鳊鱼生长所需溶解氧含量($5\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),而手动控制的鱼塘溶解氧含量比全自动增氧机控制溶解氧含量平均低 $1.8\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,最高达 $7\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,且手动控制的鱼塘溶解氧含量低于 $5\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的概率为 20.1%。传统养殖模式下养殖户根据经验启动增氧机,会因为环境突变、经验不足等因素导致增氧机开启不及时,鱼塘中溶解氧含量低,从而影响鳊鱼的生长发育,严重时会导致鳊鱼浮头^[14],对养殖效益造成一定影响。

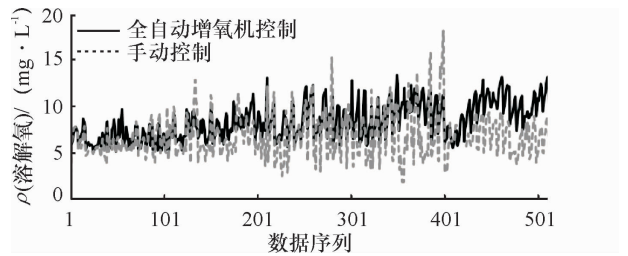


图 4 全自动增氧机对鱼塘溶解氧含量的影响

Fig. 4 Effect of the automatic aerator on dissolved oxygen content in fishpond

2.1.2 对 pH 的影响 图 5 所示为试验塘 1 和对照

塘2在养殖期间测试的pH均值变化趋势。从图5可以看出,养殖期间,试验塘1的pH保持为8.0~8.4,较为稳定;对照塘2的pH为8.0~8.6,相对试验塘1的pH波动较为剧烈,且一直高于试验塘1。pH异常易使水产品正常生理活动受到影响,生长速度缓慢甚至死亡。一般鳊鱼养殖鱼塘pH控制为6.5~8.5^[14-15],全自动增氧机控制养殖模式可以为鳊鱼养殖提供一个合适的pH环境。

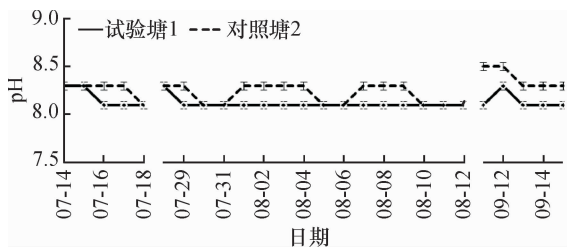


图5 全自动增氧机对鱼塘pH值的影响

Fig. 5 Effect of the automatic aerator on pH in fishpond

2.1.3 对氨氮含量的影响 图6所示为试验塘1和对照塘2氨氮含量变化曲线。从图6中可知,养殖期间,试验塘1氨氮含量低于对照塘2,试验塘1氨氮含量养殖初期处于下降趋势,随后保持稳定,而对照塘2氨氮含量先上升后下降,波动较大。在高密度养殖水体中,由于废料使用不当、水产动物排泄物的积累等易造成养殖水体中氨氮含量过高,从而引起水体缺氧、水质恶化^[16],致使水产品出现中毒、死亡等现象。相比手动控制增氧机,全自动增氧机能够较好地改善养殖水体环境,合理增氧的同时能够促进养殖水体上、下层交流,降低氨氮的含量。

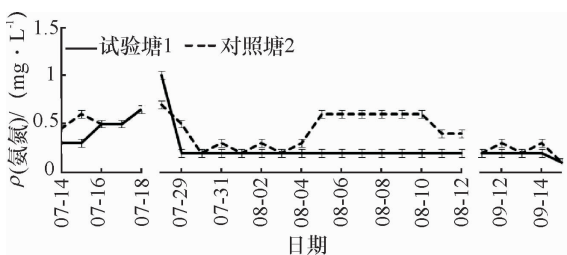


图6 全自动增氧机对鱼塘氨氮含量的影响

Fig. 6 Effect of the automatic aerator on ammonia nitrogen content in fishpond

2.1.4 对亚硝酸盐含量的影响 图7为试验塘1和对照塘2亚硝酸盐含量变化曲线,结果表明:养殖初期,试验塘1和对照塘2的亚硝酸盐均较低,原因可能是试验初期鳊鱼苗较小,且天气多为阴雨天,投饵次数较少,饲料投喂较为合理;直至7月28日,试验塘1和对照塘2的亚硝酸盐含量升高,分别达到0.19和0.37 mg·L⁻¹,随后试验塘1亚硝酸盐含量下降并稳定在0.10~0.20 mg·L⁻¹,而对照塘2亚

硝酸盐含量增加至0.40 mg·L⁻¹,原因是鳊鱼生长期饲料投喂过量使得水体中动物粪便增多,氨氮含量增加,致使亚硝酸盐也增加,造成水质污染。使用全自动增氧机能有效降低养殖环境中亚硝酸盐含量,避免过高浓度的亚硝酸盐对鳊鱼的毒害作用及对其生长发育造成的负面影响^[17]。

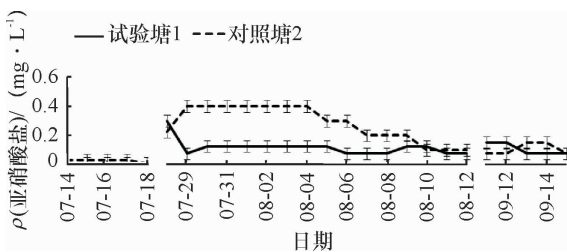


图7 全自动增氧机对鱼塘亚硝酸盐含量的影响

Fig. 7 Effect of the automatic aerator on nitrite content in fishpond

2.1.5 对TDS的影响 总溶解性固体TDS,又称为总含盐量,TDS值越高,表示水中的杂质含量越多。图8为全自动增氧机控制的试验塘1和手动控制的对照塘2在养殖期间测试的TDS值变化图。在换水周期相同的情况下,对照塘2的TDS值总体高于试验塘1。试验结果表明,全自动增氧机养殖模式下的鱼塘水体中的杂质较少,但是总体的变化趋势不明显。

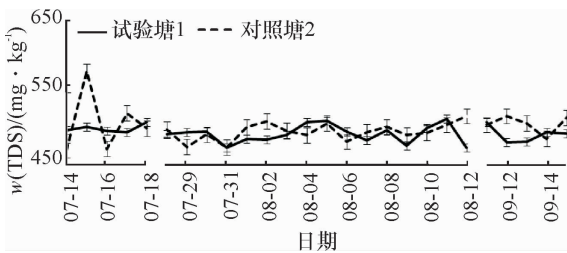


图8 全自动增氧机对鱼塘TDS的影响

Fig. 8 Effect of the automatic aerator on total dissolved solid value in fishpond

2.1.6 对用电量的影响 在用电量上,试验塘1共耗电1122.15 kW·h,对照塘2共耗电1591.1 kW·h,试验塘1比对照塘2节约用电29.5%,这是因为全自动增氧机控制的养殖模式下是依据鱼塘当下的环境来启动增氧机,手动养殖则根据养殖经验启动增氧机,会造成盲目开启增氧机、开启时间过长等问题,从而形成资源的浪费。试验结果表明,全自动增氧机能够节约用电。

2.2 全自动增氧机传感器测试试验

2.2.1 清洗周期 在鳊鱼整个养殖周期中,全自动增氧机的溶解氧传感器清洗统计次数见表1。从表1可以看出,溶解氧传感器在不同的养殖月份,清洗

次数是不同的。水温升高时,鱼塘耗氧率加快,养殖鱼类的排泄物增加,浮游植物生长速率加快,从而可在一定程度上增加全自动增氧机的溶解氧传感器清洗次数。与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪的溶解氧传感器相比,全自动增氧机的溶解氧传感器在 7—8 月水温升高时清洗次数多 2 次,9—11 月水温降低时的清洗周期基本一致。说明全自动增氧机的溶解氧

传感器的清洗周期与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪的溶解氧传感器相差不大;与国内浮筒式溶解氧传感器(清洗周期 7 d)^[18]相比,清洗周期较长,而且清洗方便,直接拿抹布擦洗即可,不需要拆装浮筒,维护方便。但是在清洗溶解氧传感器时,存在溶解氧传感器内部电解液的渗漏。

表 1 溶解氧传感器清洗次数
Tab.1 The cleaning time of the dissolved oxygen sensor

仪器	07-07—08-31	09-01—09-30	10-01—11-30
全自动增氧机	8 次(5 d/次)	3 次(7~10 d/次)	4 次(15 d/次)
丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪	6 次(7 d/次)	4 次(7 d/次)	4 次(15 d/次)

2.2.2 测量准确性 根据独立样本 *t* 检验分析得出全自动增氧机氧传感器测量的平均溶解氧含量为 5.44 mg · L⁻¹、平均温度为 25.93 ℃,丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪测量的平均溶解氧含量为 5.65 mg · L⁻¹、平均温度为 26.11 ℃,2 组数据的方差齐性检验结果均是不显著的,2 组数据的差异也不显著。图 9 为全自动增氧机与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪每日平均溶解氧含量变化以及温度变化趋势图(限于篇幅,只选用了 8 月 12 日至 8 月 20 日时间段的数据进行分析)。在长期使用中,全自动增氧机与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪每日平均溶解氧含量变化趋势一致,所测溶解氧含量相差 ± 0.6

mg · L⁻¹;全自动增氧机与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪的每日平均温度变化差异不大,所测温度相差 ± 0.8 ℃。因此,在长时间使用过程中,全自动增氧机测量的溶解氧含量、温度较准确。

2.2.3 控制稳定性 全自动增氧机的最终目的是长期、可靠、稳定的控制增氧机的开启关闭。图 10 给出的是每隔 10 min 采集 1 次溶解氧含量数据的连续 1 个月的趋势变化图。初期设定的溶解氧的上限值为 5 mg · L⁻¹,下限值为 4 mg · L⁻¹,在长期使用过程中,可以看出溶解氧含量始终高于 4 mg · L⁻¹,表明全自动增氧机能够长期、可靠、稳定地运行。

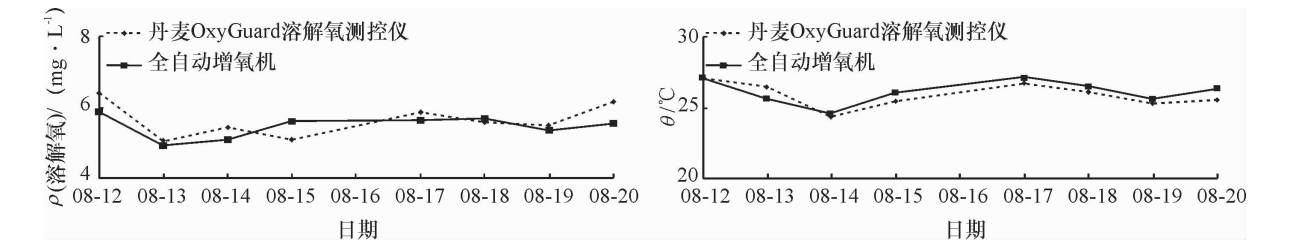


图 9 鱼塘中溶解氧含量和温度变化
Fig. 9 Changes of average daily dissolved oxygen content and temperature in fishpond

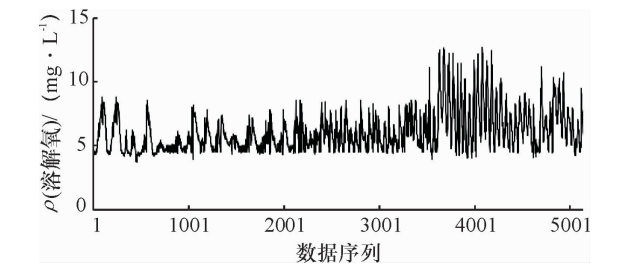


图 10 全自动增氧机溶解氧含量连续变化
Fig. 10 Continual change in the dissolved oxygen content controlled by the automatic aerator

2.3 全自动增氧机溶解氧传感器改进试验

为了验证溶解氧传感器结构改进前、后的区别,2016 年 5 月 13 日至 6 月 24 日于鱼塘内进行了现场试验。改进前的溶解氧传感器的渗漏一般在 10 d 内,而改进后的溶解氧传感器从图 11 可以看出,在测试长达 43 d 后,测试数据无异常,表明没有发生渗漏现象。此外改进后的溶解氧传感器的透氧膜以及上、下盖安装方便,没有出现因安装而损坏透氧膜以及上、下盖干涉导致测量电压时有时无的现象。试验结果表明,改进后的溶解氧传感器密封性增强,安装方便。

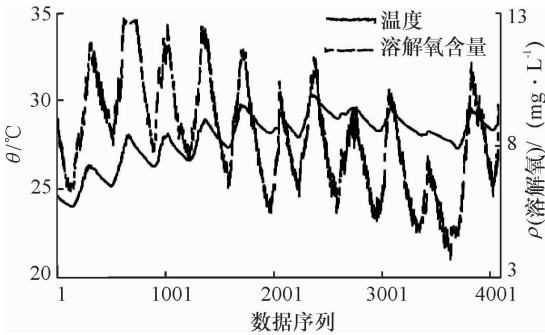


图 11 溶解氧传感器改进后鱼塘中的温度和溶解氧含量变化

Fig. 11 Changes of temperature and dissolved oxygen content in fishpond after improving the dissolved oxygen sensor

3 结论

与手动控制增氧机养殖模式相比,全自动增氧机能够有效地控制地养殖水体中溶解氧含量,使水体 pH 值稳定在适合鳊鱼养殖的范围内,降低水体中氨氮含量和亚硝酸盐含量,能根据水中含氧量变化自动开启或关闭增氧机,有效减少电能消耗。

在鳊鱼的整个养殖周期中,全自动增氧机的溶解氧传感器平均清洗周期为 $9\text{ d}\cdot\text{次}^{-1}$,与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪的溶解氧传感器平均清洗周期 $10\text{ d}\cdot\text{次}^{-1}$ 相差不大;该溶解氧传感器与丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪相比,所测溶解氧含量相差 $\pm 0.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,温度相差 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$,能达到鱼塘养殖中的溶解氧与温度的测量精度要求;设定限值后,全自动增氧机控制器能稳定控制增氧机的开启以满足养殖鱼类所需溶解氧含量。

针对长期测试过程中发现的溶解氧传感器密封性以及安装问题,进行了结构改进,改进后的溶解氧传感器密封性较好,安装方便。此外,传感器与控制器价格仅为丹麦 OxyGuard 溶解氧测控仪 $1/4\sim 1/3$,在大面积推广中具有优势。

参考文献:

[1] SUBASINGHE R P. Epidemiological approach to aquatic animal health management: Opportunities and challenges for developing countries to increase aquatic production through aquaculture[J]. Prev Vet Med, 2005, 67(2): 117-124.

[2] ARVANITOYANNIS I S, TSITSIKA E V, PANAGIOTAKI P. Implementation of quality control methods (physicochemical, microbiological and sensory) in conjunction

with multivariate analysis towards fish authenticity[J]. Int J Food Sci Tech, 2005, 40(3): 237-263.

[3] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[G]. 北京: 中国农业出版社, 2014.

[4] 刘朝阳, 孙晓庆. 生物控制法在水产养殖水质净化中的综合应用[J]. 南方水产, 2007, 3(1): 69-74.

[5] BOYD C E. Water quality in ponds for aquaculture[M]. Alabama USA: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 1990: 482.

[6] 张广成. 增氧机的常见类型及安全使用[J]. 现代农机, 2013(1): 37-38.

[7] 韩世成, 曹广斌, 陈中祥. 增氧测控装置的设计与研究[J]. 黑龙江水产, 2009(5): 33-36.

[8] ROSS B, STEINER G, KIESSHAUER M, et al. Instrument with integrated sensors for a rapod determination of inorganic ions[J]. Sensor Actuat B: Chem, 1995, 27(1/2/3): 380-383.

[9] CHEN L, YANG S, XI Y. Based on ZigBee wireless sensor network the monitoring system design for chemical production process toxic and harmful gas [C]//Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010 International Conference. IEEE, 2010: 425-428.

[10] 邱发强, 舒迪, 祁欣, 等. 数字式微量溶解氧传感器的研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2012, 39(3): 109-113.

[11] 沈杜海. 高精度智能溶氧传感器的研制[J]. 电子技术与软件工程, 2014, 11: 108-109.

[12] 赵三琴, 刘昊一, 丁为民, 等. 鱼塘增氧控制系统的研制与试验[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(4): 682-688.

[13] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

[14] 高银爱, 夏小平, 朱思华. 主养鳊鱼池塘适宜水质及其管理措施[J]. 内陆水产, 2000(4): 29-30.

[15] 蔡继哈, 李凯, 等. 水产养殖对环境的影响及其防治对策分析[J]. 水产养殖, 2010, 31(5): 32-38.

[16] 吴自飞, 韩克清. 氨氮及亚硝酸盐的危害和防治措施[J]. 水产养殖, 2013(2): 18-19.

[17] 高杰. 鱼塘亚硝酸盐过高的危害及解救措施[J]. 内蒙古农业科技, 2011(2): 106.

[18] 杨东方, 陈生涛, 胡均, 等. 光照、水温 and 营养盐对浮游植物生长重要影响大小的顺序[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(3): 201-207.

[19] 徐志进, 袁久尧. 基于物联网的水产养殖水质监控系统应用试验[J]. 养殖与饲料, 2013(3): 21-22.

【责任编辑 霍 欢】