

冷空气影响期间海水水温和溶解氧特征分析及预报

何彩芬¹ 金 靛² 徐 彬² 倪永森² 何成芳^{3*}

(¹ 浙江省宁波市镇海区气象局, 浙江宁波 315202; ² 象山县气象局; ³ 安徽省农业科学院农产品加工研究所)

摘要 研究旨在建立冷空气影响期间海水水温和溶解氧的预报方程, 以期为海水养殖户做好防灾减灾气象服务。通过分析近5年宁波西沪港0.5、2.5 m深海水水温、溶解氧在11月至翌年3月的日逐时平均变化特征以及较强冷空气影响期间的变化特征, 采用数理统计方法建立相应的预报方程。结果表明, 溶解氧、水温的日均变化与气温的变化具有较好的相似性, 前两者的变化幅度较气温平缓, 日极值出现时间较气温平均滞后1~3 h。较强冷空气影响期间, 水温的降温时间和最低值出现时间较气温有1~3 d的滞后性, 其降幅与相对湿度、冷空气强度和过程极大风速有关, 而最低值滞后时间与相对湿度和冷空气强度有关。水温与气温、相对湿度成正相关, 与极大风速成负相关。伴有低温阴雨的冷空气过程易导致2.5 m溶解氧的下降, 其降幅与同期气温的降幅、水汽压的增幅及前期气压的降幅有关。溶解氧与气温及本站气压成线性相关, 与水汽压呈二次多项式相关。建立0.5、2.5 m深平均、最低水温预报方程以及2.5 m深平均、最低溶解氧浓度的预报方程, 方程均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。0.5、2.5 m水温预报最大误差在1℃以内, 平均误差在0.3℃以内。2.5 m的平均、最低溶解氧最大误差分别为0.40、0.97 mg/kg, 平均误差分别为0.10、0.25 mg/kg。

关键词 冷空气; 海水养殖; 水温; 溶解氧; 特征分析; 预报方程

中图分类号 P731 文献标识码 A 文章编号 1007-5739(2017)22-0144-05

Analysis and Forecast of Sea-water Temperature and Dissolved Oxygen During Cold Air Affecting Period

HE Cai-fen¹ JIN Liang² XU Bin² NI Yong-sen² HE Cheng-fang^{3*}

(¹ Zhenhai Meteorological Bureau of Ningbo City in Zhejiang Province, Ningbo Zhejiang 315202; ² Xiangshan Meteorological Bureau;

³ Institute of Agricultural Products Processing, Anhui Academy of Agricultural Sciences)

Abstract The aim of this study was to establish the forecast equation of sea-water temperature and dissolved oxygen during the cold air affecting period, so as to provide better meteorological services of disaster prevention and reduction for the mariculture households. The diurnal variation characteristics of the 0.5 m-depth and 2.5 m-depth sea water temperature, and dissolved oxygen in Xihu Port of Ningbo City from November to next March in recent 5 years, as well as that during the cold air affecting periods were analyzed. By using mathematical statistics methods, the corresponding forecast equations were established. The results showed that the diurnal variation of dissolved oxygen and water temperature were similar to the change of air temperature. The variation ranges of the former two indexes were gentler than that of air temperature. The time of diurnal extremums of dissolved oxygen and water temperature lagged by 1~3 h on average, compared with that of air temperature. During the cold air affecting periods, the time of the water temperature decline and the minimum value lagged by 1~3 days, compared with that of air temperature, while the decline degree was related to the relative humidity, cold air intensity and the maximum wind speed. The lag time of minimum value appearing was related to the relative humidity and cold air intensity. Water temperature was positively correlated with air temperature and relative humidity, and negatively correlated with maximum wind speed. Cold air process accompanied by low temperature and rain was easy to cause the decrease of 2.5 m dissolved oxygen, and its decline was correlated to the temperature decline and the vapor pressure increase in the same time period, as well as the decline of atmospheric pressure in the early stage. Dissolved oxygen was linearly correlated with air temperature and local air pressure, and had quadratic polynomial relationship with water vapor pressure. On the basis of correlation analysis and stepwise regression analysis, the forecast equations of the 0.5 m/2.5 m mean water temperature and the minimum water temperature, as well as the 2.5 m mean dissolved oxygen concentration and the minimum dissolved oxygen concentration were established, which passed the test of significance by $\alpha=0.01$. The maximum error of 0.5 m/2.5 m water temperature prediction was less than 1℃, and the average error was less than 0.3℃. The maximum error of the 2.5 m average and minimum dissolved oxygen was 0.40 mg/kg and 0.97 mg/kg respectively, and the average error was 0.10 mg/kg and 0.25 mg/kg respectively.

Key words cold air; mariculture; water temperature; dissolved oxygen; characteristic analysis; forecast equation

宁波市位于我国海岸线中段, 拥有漫长的海岸线, 其间港湾曲折, 岛屿星罗棋布。广阔的海域面积, 丰富的水产养殖基础, 使宁波拥有丰富的渔业资源, 海水养殖也成为宁波市重要的经济产业。海水养殖对海水环境都有一定的要求, 如大黄鱼的生长对溶解氧、水温等就有很高要求^[1-2], 海水温度的异常偏低、海水温度的超常变化会对该海域海洋生物造成危害^[3]。影响宁波市的台风、暴雨、高温、寒潮等灾害性天气, 在改变海水环境的同时也会严重影响海水养殖, 其中以冷空气造成的低温和浮头泛塘最为严重, 如2016年1月下旬宁波西沪港遭受了强寒潮的影响, 日最低水温连续4日均在8℃或以下, 导致大黄鱼大批冻死, 损失惨重, 而2013年

2月初的雨雪冰冻天气使溶解氧持续走低, 造成大黄鱼浮头和冻伤。目前, 对于海水养殖环境中水温及溶解氧与其他环境要素的相互关系国内外已有较多研究, 如王小平等^[4]通过对广东省红海湾海水养殖水域环境因子的调查阐述了海水中溶解氧、盐度、pH值和营养盐的分布特征及其变化规律, 并讨论了它们之间的相互关系。张智瀛^[5]对夏季雷州半岛海域海水中溶解氧的分布进行了详细的调查和研究。薛彬等^[6]对嵊泗海域溶解氧与营养盐分布特征及其相关性开展了研究, 认为溶解氧与各营养盐无论表底层均成明显的负相关关系。对于水温预报, 研究人员^[7-9]以气温作为单一线性预报因子, 进行简单回归。对于溶解氧预报, 黄永平等^[10]、何永坤等^[11]总结了一些鱼类泛塘发生的天气模型及气象指标, 胡蓉等^[12]通过对大鹏湾2次溶解氧骤降事件的对比与分析发现, 台风导致的大风会将海水沉积物带到表层, 沉积物中的有机物快速消耗表层的溶解氧, 致使溶解氧骤降, 甘居利等^[13-14]对大鹏湾及柘林湾网箱养殖海域表层海

基金项目 浙江省气象局科技项目(2016YB01); 宁波市气象局项目(NBQX2014009B); 象山县科技局项目(2014C6019); 象山县科技局项目(2016C6012)。

作者简介 何彩芬(1974-), 女, 浙江宁海人, 硕士, 副研级高级工程师。研究方向: 天气气候及相关预报技术。

* 通信作者

收稿日期 2017-08-11

水溶解氧的分布、浓度变化特点及与其他环境因子的关系进行了探讨。为了解决溶解氧浓度变化存在滞后性的预测问题, Liu Y 等^[15]近年提出了一种基于模糊神经网络的溶解氧预测模型。Csabragi A 等^[16]以 pH 值、水温、电导率及径流量作为预报因子,采用 4 种预报模型对溶解氧浓度进行了预报,并通过敏感性分析显示 pH 值对溶解氧的预报具有最大的影响作用。Yu H H 等^[17]采用一种混合 RBFNN-IPSO-LSSVM 的预报模型对蟹塘溶解氧含量进行预报,并与传统预报模型对比验证了该混合模型的有效性和准确性。但上述研究多数停留在相关性分析或定性预报上,对海水养殖影响较大的较强冷空气天气专题研究专题较少。本文着重研究较强冷空气影响时宁波西沪港区的水温和溶解氧的变化特征,并引入更多的预报因子建立相应的预报模型,以期更好地为海水养殖户做好防灾减灾气象服务。

1 资料与方法

宁波市自 2011 年就在西沪港建立监测海温、盐度、溶解氧、pH 值等要素的特种温盐观测站,本文选取数据质量较为稳定的 2012 年 1 月至 2016 年 3 月的资料作为研究对象,剔除异常数据,取其中 11 月至翌年 3 月的数据(0.5 m 和 2.5 m 深的水温和溶解氧)研究冷空气影响期间对海水环境的影响,同时选取同时段近海岸的外高泥自动气象站和大徐自动气象站的气象资料(包括气温、风速、气压、相对湿度等)进行对比分析,采用数理统计的方法,研制海水水温与溶解氧的气象预报方程。

2 结果与分析

2.1 冷空气过程的水温预报

2.1.1 水温的变化特征。水温日变化主要受太阳辐射影响^[18]。一般来说,水温的日变化与气温类似,即最高值出现在午后,最低值则出现在凌晨^[19]。由图 1 可知,2.5 m 水温全天都要高

于 0.5 m 水温;在 17:00 至次日 8:00,气温都低于 2 层水温;8:00 开始气温迅速升高,并开始高于 2 层水温,至 14:00 到峰值,2.5、0.5 m 水温则随之在 16:00—17:00 先后到峰值。气温在 5:00 降至最低,水温最低值出现在 7:00 左右。即 2 层水温较气温的日变化平缓滞后,日极值出现时间滞后 2~3 h,这与水的容积热容量比空气大有关^[8]。

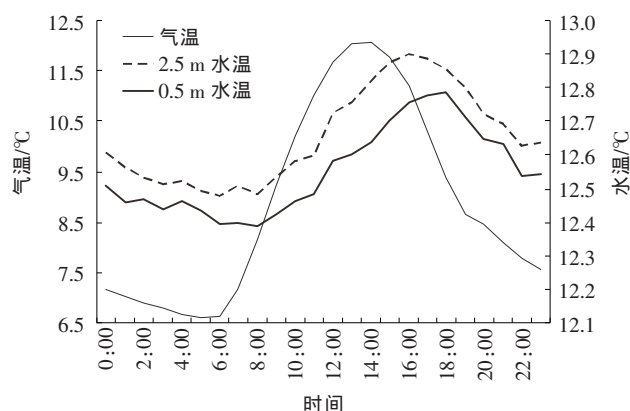


图 1 2012—2016 年 11 月至翌年 3 月水温与气温逐时变化曲线

进一步研究发现,水温的平缓变化及其滞后性不仅表现在逐时温度上,也表现在冷空气影响期间的日际变化上。以 2016 年 1 月下旬的“世纪寒潮”为例(图 2):冷空气影响前(1 月 20—21 日)气温有明显的回升过程,但水温一直稳定在 10℃ 上下;随着冷空气的扩散影响,气温从 22 日夜间断明显下降,直至 25 日白天降至最低,但水温从 23 日夜间断才开始呈阶梯式下降,其最低值出现在 26 日白天;冷空气影响结束后,气温从 26 日下午起明显回升,但异常水温(水温<8℃ 不适宜大黄鱼生长)从 25 日一直持续了 4 d,直至 28 日下午才开始缓慢回升。

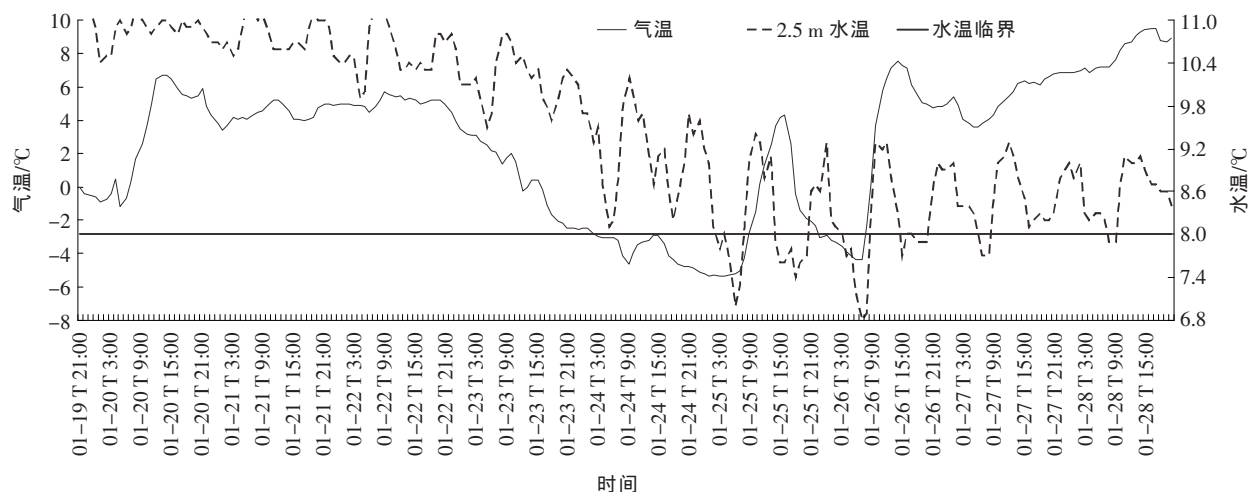


图 2 2016 年 1 月 20—28 日水温及气温变化曲线

综上所述,水温的日变化及日际变化较气温平缓。无冷空气的情况下,水温的日极值较气温平均滞后 2~3 h。但在此次强冷空气影响期间,水温的降温时间和最低值出现时间较气温滞后 1 d 以上。

2.1.2 冷空气对水温的影响。为研究冷空气影响期间水温的变化特征,本文专门选取 2012 年 1 月至 2016 年 3 月期间

的 14 次较强冷空气及寒潮过程(分别编号为 1—14)进行分析研究(表 1)。可以发现,最低水温出现时间滞后于气温超过 10 h 的个例有 9 次,其中超过 30 h 的有 6 次,过程 6 为干冷空气影响,其滞后时间达到 72 h;过程 1、3 有降雪出现,分别滞后 52、47 h;过程 4、9、12 均伴有明显降水或雨夹雪,滞后 30~34 h。另外,还有 5 次过程水温滞后气温 1~5 h,其

表1 水温与气温的变化特征对比

过程 编号	时间	天气状况	过程降温 ℃	最低气温 ℃	极大风速 m·s ⁻¹	水温变化/℃		低值滞后时间 h
						0.5 m	2.5 m	
1	2012-11-08—26	雨,24—25日雪	6.9	-1.3	12.9	1.57	1.46	52
2	2012-03-16—21	雨	7.5	3.4	8.5	0.50	0.85	2
3	2013-02-04—10	晴,8—9日雪	12.1	-0.9	12.2	1.44	1.47	47
4	2013-03-22—27	雨	7.5	4.5	8.8	0.57	0.72	30
5	2013-04-16—21	有时有雨	11.8	8.5	13.0	0.57	0.82	1
6	2013-11-23—12-03	晴	10.6	0	15.5	2.83	2.71	72
7	2013-12-15—23	晴	7.6	0.8	13.8	2.35	2.37	11
8	2014-02-01—06	晴	9.5	4.4	10.9	0.56	0.63	16
9	2015-03-03—06	雨	6.1	3.9	13.6	—	0.37	34
10	2015-12-01—09	晴	7.5	4.2	11.9	—	2.40	3
11	2016-01-04—10	先晴后雨	8.7	1.3	10.0	—	0.80	1
12	2016-01-20—26	雨夹雪	8.8	-5.5	21.0	—	2.72	31
13	2016-02-13—16	晴	12.3	-0.5	16.5	—	0.72	13
14	2016-03-07—11	雨	9.9	0.7	12.7	—	1.16	1

注:“—”表示没有数据。

中有4次过程伴有20~40 mm的降水。可以认为,冷空气越干,水温最低值滞后于气温的现象越明显,降水越明显,滞后现象越不明显。

海气之间的热交换主要包括感热交换和潜热交换^[20]。前者主要受气温影响,后者主要受蒸发影响,而蒸发又与风速及天况即相对湿度有关。不同的风速易造成海水上翻程度的不同,风速越大,热交换越多,气温与水温之间温差越小,而不同的相对湿度代表不同的天况,湿度越大,云系越多,气温与水温之间的温差越小。分析这14次过程,最低气温接近或低于0℃的冷空气过程中,水温降幅大多超过了1℃(过程13除外),下雨且气温≥1℃的冷空气过程水温降幅均低于1℃,说明气温低于或接近冰点,水温下降幅度更大。另外,比较过程4、10,发现在过程降温与最低气温相近的情况下,晴天、极大风速大的过程10的水温降幅要比雨天、极大风速小的过程4大很多,过程7与过程14对比,也有相同结论。进一步计算水温与气温、相对湿度、极大风速这3个气象要素之间的相关系数,发现水温与气温的正相关性最好,达到0.91,与相对湿度也成正相关,而与极大风速则成负相关。

以上分析表明,水温的降幅与相对湿度、冷空气强度和过程极大风速有关,而最低值滞后2 d左右。以上结论与曹美兰等^[21]的研究结果较一致。

2.1.3 冷空气影响下的水温预报模式研究。由上述水温与气温的讨论中可知,水温对气温的变化有2 d左右的滞后效应。因此,对不同深度的日平均/最低水温与当日、前1日、前2日、前3日的日平均/最低气温进行交叉相关分析,发现,2.5 m平均水温、最低水温及0.5 m最低水温均与当日、前1日和前2日的气温有明显的相关性,其中2.5 m的相关性达到0.5,而0.5 m平均水温与当日和前1日的气温相关性较好。

因此,以当日的极大风速、相对湿度,前1日、前2日及当日的平均气温或最低气温以及前1日、前2日的平均水温或最低水温作为预报因子,利用14个冷空气过程共44组试验数据,应用逐步回归方法可分别建立0.5 m和2.5 m的平均水温、最低水温的多元回归方程:

0.5 m 平均水温 Y_1 预报模型:

$$Y_1 = -0.006 22X_1 + 0.002 4X_2 - 0.013X_3 + 0.004 3X_4 + 0.036 2X_5 -$$

$$0.035X_6 + X_7 - 0.179$$

2.5 m 平均水温 Y_2 预报模型:

$$Y_2 = -0.002 2X_1 + 0.002 5X_2 - 0.021 6X_3 + 0.015X_4 + 0.046 85X_5 +$$

$$0.162X_8 + 0.8X_9 - 0.25$$

0.5 m 最低水温 Y_3 预报模型:

$$Y_3 = -0.002 7X_1 + 0.001 8X_2 + 0.014X_{10} - 0.014X_{11} + 0.026 4X_{12} -$$

$$0.306X_{13} + 1.292X_{14} - 0.03$$

2.5 m 最低水温 Y_4 预报模型:

$$Y_4 = -0.032X_1 + 0.000 8X_2 + 0.012 4X_{10} - 0.010 6X_{11} + 0.026 7X_{12} -$$

$$0.304X_{15} + 1.29X_{16} + 0.09$$

式中, X_1 为当日极大风速, X_2 为当日平均相对湿度, X_3 为前2日的日平均气温, X_4 为前1日的日平均气温, X_5 为当日的日平均气温, X_6 为前2日的0.5 m日平均水温, X_7 为前1日的0.5 m日平均水温, X_8 为前2日的2.5 m日平均水温, X_9 为前1日的2.5 m日平均水温, X_{10} 为前2日的最低气温, X_{11} 为前1日的最低气温, X_{12} 为当日的最低气温, X_{13} 为前2日的0.5 m最低水温, X_{14} 为前1日的0.5 m最低水温, X_{15} 为前2日的2.5 m最低水温, X_{16} 为前1日的2.5 m最低水温。

对上述方程进行误差分析,发现除0.5 m最低水温外,其他方程的最大误差均在0.6℃左右,平均误差0.2℃左右。说明模拟效果较好,其中平均水温的模拟效果优于最低水温。上述方程均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验(表2)。

表2 水温的回归模型特征量

指标	r	最大误差/℃	平均误差/℃
0.5 m 平均水温	0.998 3	0.570 6	0.156 2
2.5 m 平均水温	0.998 3	0.602 9	0.141 1
0.5 m 最低水温	0.997 5	0.905 9	0.243 5
2.5 m 最低水温	0.997 6	0.675 1	0.152 3

2.2 冷空气过程的溶解氧预报

2.2.1 溶解氧的变化特征。由图3可知,2.5 m与0.5 m的溶解氧最低值分别出现7:00、9:00,最高值出现在15:00前后,而气温最低、最高极值分别出现在5:00、14:00,溶解氧的变化趋势接近气温又比气温滞后。溶解氧主要与温度及气压有关,由于气压一年内变化较小,故温度是影响溶解氧的重要因素^[22]。

以上逐时平均溶解氧与气温变化趋势比较一致,为探究冷空气影响时是否也是如此,本文以2013年2月初的强寒潮过程为例进行分析。由图4可知,4日夜间气温开始下降,

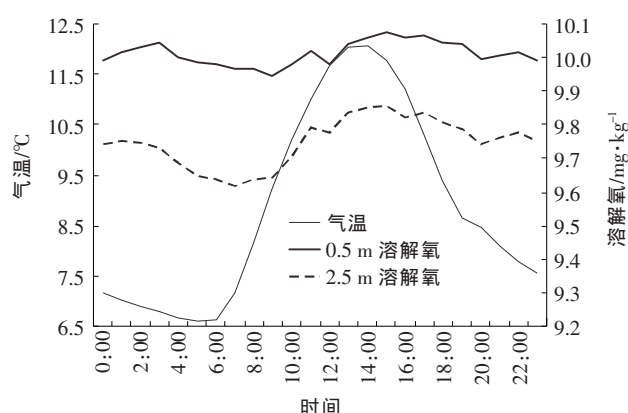


图3 2012—2016年11月至翌年3月逐时平均溶解氧与气温变化曲线

2.5 m 溶解氧也随之明显下降;5 日夜间起气温又进一步急剧下降,并在 10 日达到最低值,而 2.5 m 溶解氧也波动下

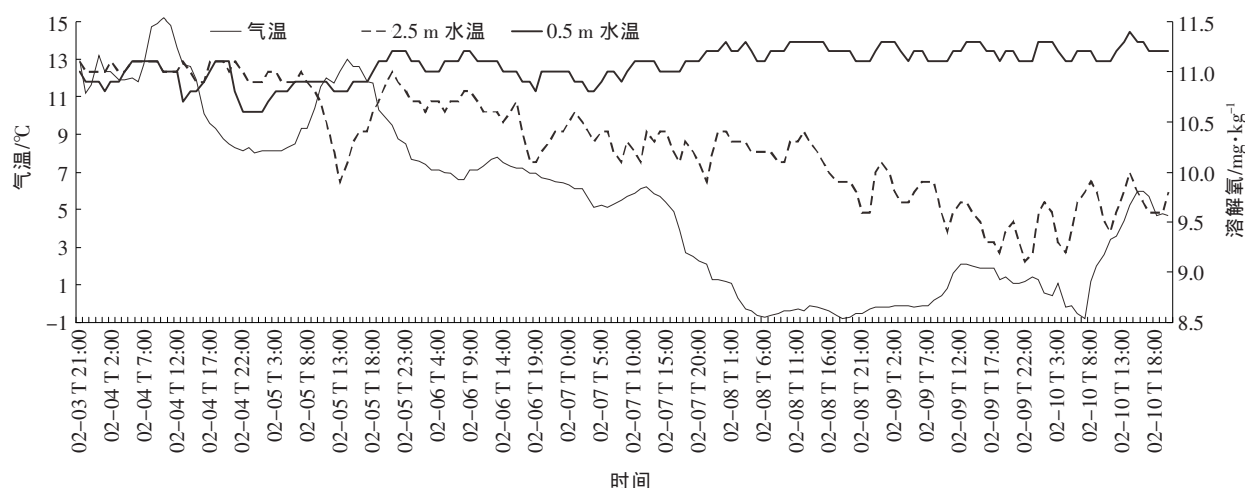


图4 2013年2月4—10日溶解氧及气温的变化

为晴天外,其他个例都为降雨或降雪的天气。另外,这些个例平均气压都是降低 6 hPa 以上,48 h 内平均溶解氧和最低溶解氧均减小,且变化最大的个例是 48 h 内平均气温降幅较大及最低水汽压增值最大的个例。说明溶解氧的变化与降温幅度、平均气压以及水汽压都有密切的联系。这与何永

降,也于 10 日前后降至最低;寒潮过后(10 日白天)气温迅速回升,2.5 m 溶解氧也于当日逐步回升。另外,在本次过程中,0.5 m 溶解氧基本稳定在 11 mg/kg 或以上。说明,冷空气过境时易导致深层溶解氧的减少,对表层水体影响相对较小。这与张清良等^[23]提出的“当气温急剧下降时,易引起池水上下对流,使池底腐殖质翻起,加速分解,消耗大量氧气”的观点较为一致。

以上分析表明,溶解氧的日变化及日际变化均与气温变化较相似,在冷空气影响期间,2.5 m 深的溶解氧较表层 0.5 m 数据变化更明显。

2.2.2 冷空气对 2.5 m 溶解氧的影响。分析 2012 年 1 月至 2016 年 3 月期间 11 月至翌年 3 月的数据发现,降温不明显或降温过程比较缓慢的冷空气过程,溶解氧的变化并不明显。因此,本文选取 48 h 平均气温降低 5℃ 以上的 9 个个例(编号为 1~9)作进一步的分析。如表 3 所示,发现除过程 6

坤等提出的“气压的降低不利于空气中的氧气溶于水”“水汽压的增大可使空气中的氧密度减小,进而造成水体溶解氧的减少有关”的观点较为一致。

2.2.3 冷空气影响下的 2.5 m 溶解氧预报模式研究。进一步分析 2.5 m 溶解氧与水汽压、本站气压之间的相关系数,可

表3 冷空气过境时 2.5 m 48 h 平均溶解氧、最低溶解氧、平均气温、最低水汽压及 72 h 平均气压的变化

过程编号	时间	天空状况	Δ48 h 平均溶解氧 mg·kg ⁻¹	Δ48 h 最低溶解氧 mg·kg ⁻¹	Δ48 h 平均气温 ℃	Δ72 h 平均气压 hPa	Δ48 h 最低水汽压 hPa
1	2012-02-22 T 24:00	雨	-0.12	-0.2	-5.1	-13.2	-3.1
2	2012-03-18 T 20:00	雨	-0.07	-0.1	-5.1	-8.9	-3.0
3	2013-02-04 T 10:00	晴,8—9 日雪	-0.46	-0.4	-7.4	-8.7	2.0
4	2013-02-28 T 3:32	有时有雨	-0.06	-0.1	-8.0	-6.8	-2.1
5	2013-03-09 T 11:00	有时有雨	-0.33	-0.6	-8.7	-14.4	2.9
6	2015-02-16 T 18:00	晴	-0.11	-0.2	-6.4	-4.1	-5.2
7	2015-03-03 T 5:00	雨	-0.08	-0.2	-6.0	-10.5	-1.6
8	2015-03-18 T 20:00	雨	-0.28	-0.4	-6.0	-14.1	-0.7
9	2016-03-08 T 10:00	雨	-0.19	-0.1	-8.1	-5.8	-2.4

得溶解氧与水汽压、本站气压之间的相关系数分别为-0.72 和 0.58,置信水平达到 0.01;Δ24 h 平均溶解氧与 Δ24 h 平均气温的相关性系数达到 0.74。也就是说,溶解氧与水汽压成显著的负相关关系,与本站气压成正相关,溶解氧的变化与同类型气温的变化成正相关。进一步通过方程拟合可得,溶解氧与气温及本站气压分别成线性相关,与水汽压成二次

多项式相关,并均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

因此,以当日及前 1 日的气压、气温,当日水汽压及前 1 日的溶解氧作为预报因子,利用 9 次冷空气过程共 22 组试验数据,应用逐步回归方法建立 2.5 m 平均、最低溶解氧预报方程。

2.5 m 平均溶解氧 Y_1 预报模型:

$$Y_1 = -0.1341 + 0.0154(X_2 - X_1) + 0.0044(X_4 - X_3) - 0.0399 \exp(-0.02X_5) + 0.9996X_6$$

2.5 m 最低溶解氧 Y_2 预报模型:

$$Y_2 = 6.8193 + 0.0263X_7 - 0.0325X_8 - 0.03X_9 + 0.0086X_{10} + 0.0129 \exp(-0.02X_{11}) + 0.94X_{12}$$

其中 X_1 、 X_2 分别表示前 1 日和当日的平均气压, X_3 、 X_4 分别表示前 1 日和当日的平均气温, X_5 表示当日的平均水汽压, X_6 表示前 1 日的平均溶解氧, X_7 、 X_8 分别表示前 1 日和当日的最低气温, X_9 、 X_{10} 分别表示前 1 日和当日的最低气温, X_{11} 表示当日的最低水汽压, X_{12} 表示前 1 日的最低溶解氧。

对试验样本进行方程检验和误差分析, 2 个方程均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 其中 Y_1 的最大误差为 0.4 mg/kg, 平均误差为 0.1 mg/kg, 而 Y_2 的最大误差为 0.97 mg/kg, 平均误差为 0.25 mg/kg。说明模拟效果较好, 且平均溶解氧的模拟效果优于最低溶解氧。

3 结论与讨论

(1) 通过分析 2012 年 1 月至 2016 年 3 月期间 11 月至翌年 3 月的逐时 0.5、2.5 m 的数据资料, 发现 2 层的溶解氧、水温的日变化与气温的变化具有较好的相似性, 前两者的变化幅度较气温的平缓, 日极值的出现时间较气温滞后 1~3 h。冷空气影响期间, 水温和 2.5 m 溶解氧的日际变化与气温类似, 并较气温变化平缓。水温的降温时间和最低值出现时间较气温有明显的滞后性, 其降幅与相对湿度、冷空气强度和过程极大风速有关, 而最低值滞后时间与相对湿度和冷空气强度有关。伴有低温阴雨的冷空气过程易导致 2.5 m 溶解氧的下降, 其降幅与同期气温的降幅、水汽压的增幅及前期气压的降幅有关。

(2) 水温与前 1 日、前 2 日的同类型水温及气温均具有显著的相关性。以当日的极大风速、相对湿度, 前 1 日、前 2 日及当日的平均/最低气温, 以及前 1 日、前 2 日的平均水温/最低气温分别建立 2.5 m 和 0.5 m 的平均/最低水温预报方程, 其平均误差和最大误差分别在 0.3 °C 和 1 °C 以内, 精度较高, 其中平均水温的模拟效果优于最低水温。0.5、2.5 m 水温预报最大误差在 1 °C 以内, 平均误差 0.3 °C 以内。

(3) 2.5 m 溶解氧与水汽压成负相关, 与本站气压成正相关, 与气温的变化成正相关。以当日及前 1 日的气压、气温, 当日水汽压及前 1 日的溶解氧建立 2.5 m 的平均、最低溶解氧预报方程, 最大误差分别为 0.40、0.97 mg/kg, 平均误差分别为 0.10、0.25 mg/kg, 且平均溶解氧的模拟效果优于最低溶解氧。

(上接第 143 页)

试验条件和气候等因素的影响, 试验结论还有待进一步研究和探讨^[5-8]。

4 参考文献

- [1] 刘冰, 周春辉, 张文. 一种高效生物土壤修复剂的探索与研究[J]. 农村实用科技信息, 2014(11): 30.
- [2] 张振波. “土壤修复剂”在小麦上的肥效试验报告[J]. 河南农业, 2013(1): 16.
- [3] 李燕婷, 李秀英, 肖艳, 等. 叶面肥的营养机理及应用研究进展[J]. 中

(4) 由于海水的腐蚀性, 海水监测仪器容易损坏, 数据质量的可靠性相对气象要素要差一些。经过严格质控后, 用于建立研究的样本数还不够多, 用于业务运行尚需进一步验证。

4 参考文献

- [1] 张学舒, 王英. 大黄鱼鱼苗耗氧率和窒息点的研究[J]. 经济动物学报, 2007(3): 148-152.
- [2] 黄伟卿, 王楠楠. 大黄鱼三种寄生虫病爆发与同期水温关系的探讨[J]. 黑龙江农业科学, 2012(12): 71-72.
- [3] 赵迎春, 肖锐. 山东半岛东北部沿海 2000 年 1 月、2 月水温变化及对渔业的影响[J]. 海洋通报, 2000, 19(6): 83-87.
- [4] 王小平, 蔡文贵. 红海湾水域溶解氧, pH 值, 盐度和营养盐分布特征及相互关系研究[J]. 海洋通报, 1999, 18(5): 35-40.
- [5] 张智瀛. 浅析雷州半岛海域夏季溶解氧的分布特点[J]. 中国新技术新产品, 2014(13): 157-158.
- [6] 薛彬, 朱敬萍, 李铁军, 等. 嵊泗海域溶解氧与营养盐分布特征及其相关性研究[J]. 广州化工, 2016, 44(17): 150-151.
- [7] 许桂水, 王东方, 陈铁帅. 水温及其预报方程初探[J]. 工科学, 2002, 18(1): 17-22.
- [8] 杜尧东, 刘锦奎, 何健, 等. 广州地区冬季鱼塘水温特征及其预测预报[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 52-56.
- [9] 邓爱娟, 刘敏, 刘志雄, 等. 洪湖地区养殖鱼塘春夏季水温变化及预报研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(29): 61-68.
- [10] 黄永平, 刘可群, 苏荣瑞, 等. 淡水养殖水体溶解氧含量诊断分析及浮头泛塘气象预报[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(5): 638-643.
- [11] 何永坤, 阳作明, 王裕文. 导致网箱鱼猝死的气象因素初析[J]. 气象, 2002(12): 53-54.
- [12] 胡蓉, 魏艳, 马方方. 大鹏湾两次溶解氧骤降事件对比与分析[J]. 海洋技术学报, 2014, 33(2): 24-28.
- [13] 甘居利, 林钦, 黄洪辉, 等. 大鹏湾网箱养殖海域海水溶解氧浓度影响因素分析[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(3): 1-3.
- [14] 甘居利, 林钦, 李纯厚, 等. 柘林湾网箱养殖海域溶解氧分布及其影响因素[J]. 渔业科学进展, 2001, 22(1): 69-74.
- [15] LIU Y, WEI Y, CHEN Y. Dissolved oxygen prediction model which based on fuzzy neural network[J]. Ifip Advances in Information & Communication Technology, 2014, 420(1): 49-54.
- [16] CSÁBRÁGI A, MOLNÁR S, TANOS P, et al. Application of artificial neural networks to the forecasting of dissolved oxygen content in the Hungarian section of the river Danube[J]. Ecological Engineering, 2017, 100: 63-72.
- [17] YU Hui-hui, CHEN Ying-yi, HASSAN S, et al. Dissolved oxygen content prediction in crab culture using a hybrid intelligent method[J]. Scientific Reports, 2016(6): 27292.
- [18] 杨晓红, 郑俊, 常艳春, 等. 中型水库分层的影响及分层取水建议[J]. 城镇供水, 2014(5): 62-66.
- [19] 郭秀去, 王胜, 吴必文, 等. 环境温度对水产养殖定量化影响的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(24): 7498-7499.
- [20] 李磊, 楼晓平. 海洋水文气象[M]. 青岛: 海军潜艇学院, 1998: 83-105.
- [21] 曹美兰, 李仁忠, 杨再强, 等. 海水养殖水温对冷空气的响应及水温预报[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 56-61.
- [22] 杨晓红, 郑俊, 常艳春, 等. 中型水库分层的影响及分层取水建议[J]. 城镇供水, 2014(5): 62-66.
- [23] 张清良, 张永霞. 不利气象对池塘养殖的影响与应对措施[J]. 科学种养, 2014(9): 43-44.

国农业科学, 2009, 42(1): 162-172.

- [4] 王少鹏, 洪煜丞, 黄福先, 等. 叶面肥发展现状综述[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(4): 96-98.
- [5] 张敏. 叶面肥应用研究进展及营养机制[J]. 磷肥与复肥, 2014, 29(5): 25-27.
- [6] 周吉红, 曹海军, 朱青兰, 等. 不同类型叶面肥在不同时期喷施对小麦产量的影响[J]. 作物杂志, 2012(5): 140-145.
- [7] 听双. 土壤处理剂和茎叶处理剂简介[J]. 山东农药信息, 2008(2): 43.
- [8] 倪长春. 日本土壤处理剂的开发现状及其普及[J]. 世界农药, 2007(5): 11-16.