

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. doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0056

海水养殖水温对冷空气的响应及水温预报

曹美兰¹, 李仁忠², 杨再强³, 何月², 朱凯³

(1. 浙江省舟山市气象局, 浙江 舟山 316021; 2. 浙江省气候中心, 浙江 杭州 310017;

3. 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要:开展冷空气对海水养殖水温的影响及水温预测预报, 可为水产养殖灾害监测预警提供科学依据。该文以东沙海水养殖场为试验基地, 对2010~2011年整个冬季冷空气活动期间水温气温变化进行了对比分析, 并对不同强度、伴随不同天气现象的冷空气影响下水温的变化情况进行讨论。结果表明: 该冬季共有9次冷空气影响, 水温变化趋势与气温相似, 但变幅小于气温, 而且有明显的滞后性; 冷空气对水温有显著的影响, 影响程度与冷空气强度、伴随的天气现象及水的深度有关, 冷空气越强, 水温下降幅度就越大; 不同天气条件对水温的影响不一样, 晴天时水温下降较小, 阴天水温降幅增大, 寒潮影响时水温大幅度下降, 冷空气影响结束后1~2 d, 水温降到最低值; 采用逐步回归分析方法, 建立了冬季养殖塘水下0.5 m和1 m的水温预报模式, 经独立样本检验, 准确率高, 可以应用于业务服务。

关键词:冷空气; 海水养殖; 气温; 水温; 预报模式

文章编号:1006-7639(2013)-01-0056-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0056

中图分类号:P423.3

文献标识码:A

引言

养殖水产品的摄食量、生长速度、疾病、死亡等与气象条件(及水温)有密切的关系^[1-7]。露天围塘海水养殖极易受到低温冻害、台风、暴雨、高温等气象灾害的影响^[8-10]。其中以冷空气造成的低温对海水养殖的影响最为严重, 如2005年、2008年、2010年、2011年浙江舟山市都遭受了强冷空气的影响, 导致大量养殖水产品冻死, 损失惨重。冷空气已成为制约舟山市海水养殖业持续发展的瓶颈。目前, 关于冷空气对养殖水产品的影响已有较多的研究, 李色东等^[11]研究了低温雨雪造成养殖水产品死亡的原因, 江河等^[12]研究了春季冷空气对养殖水产品产卵繁殖造成的危害, 李秀存等^[13]研究了不同季节水产养殖发生的低温冷害。前人的研究大多侧重于冷空气(低温)对水产品产生影响的后果。在实际生产中, 养殖户一般凭主观判断冷空气是否会造成冷害, 常常由于判断失误而错失防范时机, 造成低

温冻害, 损失惨重。很显然, 养殖户最需要的是有关的预报产品, 而现今预报产品都是天气信息的预报^[14-15], 没有针对海水养殖的水温预报。因此, 本文拟分析冷空气影响下海水养殖场水温的变化特征, 并建立冬季养殖塘水下0.5 m和1 m的水温预报模式, 对于水产养殖的防灾减灾有重要意义。

1 资料和方法

1.1 资料

试验基地位于舟山市岱山县东沙镇围塘海水养殖场(北纬30°18'52", 东经122°07'52", 海拔高度3.0 m)内, 总面积46.67 hm², 单个养殖塘面积2 hm², 水深1.5 m。观测要素为气温和水下0.5 m、1.0 m水温。气温观测仪器为ZQZ-BH型, 水温观测传感器型号为WUSH-TW80, 数据自动记录, 密度为1 h, 采用无线和有线数据传输。温度测量范围为-10~+60℃, 探测精度为0.2℃。试验时间为2010年12月至2011年2月, 记录养殖场逐日气温

收稿日期:2012-05-17; 改回日期:2012-12-17

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY(QX)200906023和GYHY(QX)201006028)及江苏省科技支撑项目(社会发展)(BE2010734)共同资助

作者简介:曹美兰(1962-), 女, 高级工程师, 研究方向为天气气候、农业气象服务. E-mail:163meilan@163.com

通讯作者:杨再强(1967-), 男, 博士, 教授, 主要从事设施农业气象灾害预警研究. E-mail:yzq@nuist.edu.cn

和水温资料,同时选用岱山站气温、日照等资料。

1.2 方法

1.2.1 冷空气分级

根据强弱程度,我国将冷空气分为5个等级:弱冷空气、中等强度冷空气、较强冷空气、强冷空气和寒潮,表1为冷空气强弱等级分级标准。

表1 冷空气强弱等级分级标准

Tab.1 The grade standards of cold air strength

等级	现象
弱	日最低气温48 h内降温幅度<6℃的冷空气
中等	日最低气温48 h内降温幅度≥6℃,但<8℃的冷空气
较强	日最低气温48 h内降温幅度≥8℃,但未能使该地日最低气温下降到8℃或以下的冷空气
强	日最低气温48 h内降温幅度≥8℃,而且使该地日最低气温下降到8℃或以下的冷空气
寒潮	日最低气温24 h内降温幅度≥8℃,或48 h内降温幅度≥10℃,或72 h内降温幅度≥12℃,而且使该地日最低气温下降到4℃或以下的冷空气

1.2.2 建模方法

本文应用数理统计方法^[16]建立了基于气象要素为主的水温预报多元回归模型。即:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \cdots + b_nX_n + \varepsilon \quad (1)$$

式中, b_0 是常数, $X_1, \cdots, X_n$ 为逐步回归中入选模型的变量, n 为变量的个数, $b_1, \cdots, b_n$ 为变量的回归系数, ε 为随机误差。气象因子对水温有着直接或间接的影响,因此选取前一日及当日的气温、降水、最大风速、日照时数等气象要素和前一天自身的水温作为自变量,当天的水温作为因变量,应用数理统计方法建立冬季水温预报模型。

通过回归估计标准误差(Root Mean Squared Error, RMSE)对模拟值和观测值之间的拟合度进行统计分析,以验证模型的精确度。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{n}} \quad (2)$$

式中, OBS_i 为实际观测值, SIM_i 为模型模拟值, n 为样本数。

2 结果与分析

2.1 冷空气活动

2010~2011年冬季(2010年12月至2011年2

月)影响该地的冷空气过程见表2,整个冬季影响冷空气共有9次。其中弱冷空气2次、强冷空气有5次、寒潮2次。期间还出现13个降雪日,特别是2010年12月15日受寒潮影响,出现了大到暴雪。冷空气主要出现在2010年12月,共5次;2011年1月、2月各2次。受多次强冷空气的连续影响,气温不断降低。根据岱山站气温资料,2010~2011年冬季平均气温为5.6℃,比历年同期偏低0.7℃。特别是2011年1月平均气温只有2.5℃(历年同期5.6℃),创自1962年有气象记录以来的最低值。

表2 2010~2011年冬季冷空气过程

Tab.2 Cold air influence processes from Dec 2010 to Feb 2011

日期	48 h 降温幅度/℃	最低气温/℃	冷空气等级
2010年12月3~4日	5.5	8.6	弱
2010年12月6~8日	9.0	6.4	强
2010年12月14~16日	10.7	-1.6	寒潮
2010年12月24~26日	8.4	1.8	强
2010年12月30~31日	8.3	-1.0	强
2011年1月9~10日	3.9	-0.1	弱
2011年1月14~16日	8.0	-2.8	强
2011年2月9~10日	7.3	2.3	强
2011年2月28~3月1日	10.0	2.3	寒潮

2.2 冷空气对养殖场水温的影响

2.2.1 水温与气温变化特征的对比

图1为2010~2011年冬季东沙养殖场逐日最

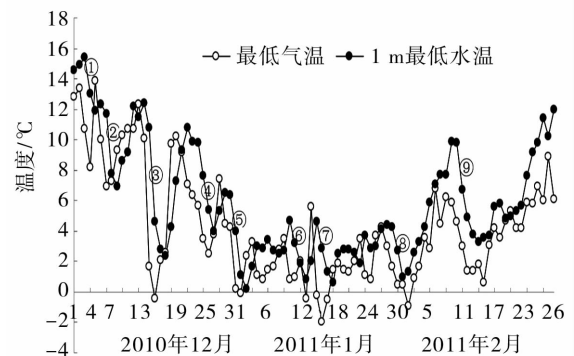


图1 2010~2011年冬季逐日最低气温、水下1 m最低水温变化

Fig.1 The changes of minimum air temperature and minimum water temperature underwater 1 m day by day in winter from 2010 to 2011

低气温、水下 1 m 最低水温的变化趋势。气温、水温总体变化趋势相一致:12 月逐渐下降,1 月持续走低,2 月逐渐升高。整个冬季期间,水温高于气温共有 70 d,占 77.8%。气温的极高值为 13.9℃,极低值为 -2.0℃;水温的极高值为 15.4℃,极低值为 -0.1℃。可见,在大多数情况下,养殖塘水体比其上方的空气相对暖和一些。气温、水温变化由许多大小不等的波动组成,两者波动走势极相似。降温幅度较大的共有 9 个波(依次标为①②……⑨)。

表 3 为 9 个波水温与气温变化特征对比分析。可见,水温和气温在回升过程中,到达最高值的日

期:水温滞后 1 d 的有 8 次,占 88.9%;滞后 2 d 的 1 次,占 11.1%。在降温过程中,到达最低值的日期:水温提前 1 d 和同时到达的各 1 次,各占 11.1%;水温滞后 1~2 d 的有 7 次,占 77.8%。冷空气影响结束后,水温还在继续下降,水温最低值大多出现在冷空气影响结束后的 1~2 d。从表 3 还可以看出,在降温过程中,水温降幅小于气温的有 7 次,占 77.8%;水温降幅大于气温及两者降幅相等的各 1 次。与气温相比,水温变化具有明显的滞后性,水温降幅大多小于气温,两者差值在 0.9~3.6℃之间。

表 3 水温与气温变化特征对比
Tab. 3 Comparison between the water and air temperature change

序号	要素	上升到最高值 日期	最高温度 /℃	下降到最低值 日期	最低温度 /℃	降温幅度 /℃	降温幅度 对比/℃
①	气温	12 月 2 日	13.4	12 月 4 日	8.2	5.2	1.7
	水温	12 月 3 日	15.4	12 月 5 日	11.9	3.5	
②	气温	12 月 5 日	13.9	12 月 7 日	6.9	7.0	1.6
	水温	12 月 6 日	12.3	12 月 9 日	6.9	5.4	
③	气温	12 月 13 日	12.3	12 月 16 日	-0.4	12.7	2.7
	水温	12 月 14 日	12.4	12 月 18 日	2.4	10.0	
④	气温	12 月 20 日	10.2	12 月 26 日	2.5	7.7	0.9
	水温	12 月 22 日	10.8	12 月 27 日	4.0	6.8	
⑤	气温	12 月 28 日	7.4	1 月 1 日	-0.1	7.5	1.2
	水温	12 月 29 日	6.5	1 月 2 日	0.2	6.3	
⑥	气温	1 月 9 日	3.5	1 月 13 日	-0.4	3.9	0
	水温	1 月 10 日	4.7	1 月 13 日	0.8	3.9	
⑦	气温	1 月 14 日	5.6	1 月 16 日	-2.0	7.6	3.6
	水温	1 月 15 日	4.6	1 月 18 日	0.6	4.0	
⑧	气温	1 月 27 日	4.3	2 月 1 日	-0.9	5.2	1.8
	水温	1 月 28 日	4.4	1 月 31 日	1.0	3.4	
⑨	气温	2 月 8 日	6.9	2 月 12 日	1.4	5.5	-1.1
	水温	2 月 9 日	9.9	2 月 14 日	3.3	6.6	

2.2.2 不同强度、伴随不同天气现象的冷空气对养殖塘水温的影响

对照表 2、表 3 可知,除了波⑧外,其它 8 个波都对应 1 次冷空气影响过程。冷空气越强,气温、水温下降幅度就越大。其中,波③下降幅度最大,气温下降了 12.7℃,水温下降了 10.0℃,是由寒潮影响所致。在波⑧处,气温、水温下降幅度也比较大,温差分别达 5.2℃、3.4℃,与波①相当。考察波⑧相应时段

的气象条件:2011 年 1 月 27~29 日气温降幅 2.6℃,达不到冷空气等级的标准。但从当时的天气图上可以看到北方有弱冷平流扩散到本地,并伴有降雪、冰粒等天气现象,沿海海面还出现 9 级偏北大风。可见,弱的冷平流如果伴随降雪、冰粒、大风等天气时,对水温的影响相当于 1 次中等冷空气。

就整个冬季而言,下层水温降幅大多小于上层(图略)。不同强度的冷空气以及伴随不同天气现

象时,水温的变化有明显的差异。2010年12月3次冷空气强度依次是中等、强、寒潮,伴随风力一次比一次大,天气状况也截然不同(表4)。表4显示,随着冷空气强度的增强,水温下降幅度明显增大。

对比0.5 m和1 m不同深度水温降幅:12月3日中等冷空气影响,0.5 m降幅略小于1 m;12月6日强冷空气影响,0.5 m降幅大于1 m;12月15日寒潮影响,降温都达到6.0℃。

表4 3次不同强度冷空气影响时各要素的变化

Tab.4 The variation of meteorological factors during three different intensity cold air processes

日期	冷空气强度	天气状况	24 h 气温降幅 /℃	平均风速 /(m/s)	24 h 水温降幅/℃	
					0.5 m	1 m
12月3日	中等	晴天	6.8	4.7	2.3	2.6
12月6日	强	阴天	8.1	5.6	5.1	4.4
12月15日	寒潮	大一暴雪	9.6	7.2	6.0	6.0

从天气状况来看,12月3日为晴天,上层水吸收太阳辐射比下层多,上层水的太阳辐射增温削弱了由冷空气引起的降温幅度。12月6日为阴天,太阳辐射增温作用可以忽略不计,上层水由于直接与强冷空气接触而出现较大的降温。12月15日寒潮伴随着降雪,冰冷的雪水直接下到养殖塘里,加剧了水温下降幅度;同时由于风速增大,养殖塘水体出现了明显的波浪,水体垂直对流扰动加剧,导致水下1 m和0.5 m水温趋于同步下降。由此可见,养殖围塘水温下降幅度与冷空气强度及伴随的天气现象以及水的深度有关。寒潮影响时,上、下层水温可以同时大幅下降。

2.3 水温预报模式研究

考虑到影响水温变化的物理机制是比较复杂的,因此在上述分析和前人研究^[17-18]的基础上,引入了气温、风速、日照等多个气象因子,以及水温因子,利用2010~2011年冬季的试验数据,应用逐步回归方法分别建立冬季水下0.5 m和1 m的平均水温和最低气温的多元回归模型。

0.5 m 平均水温 Y_1 预报模型:

$$Y_1 = 0.119 X_1 + 0.084 X_2 + 0.529 X_3 - 0.187 X_4 + 0.208 X_5 - 0.069 X_6 + 2.567 \quad (3)$$

0.5 m 最低水温 Y_2 预报模型:

$$Y_2 = -0.191 X_4 - 0.112 X_6 + 0.09 X_8 + 0.377 X_{10} + 0.585 X_{11} + 2.927 \quad (4)$$

1 m 平均水温 Y_3 预报模型:

$$Y_3 = -0.231 X_4 + 0.26 X_5 + 0.512 X_7 + 0.068 X_8 + 0.164 X_9 + 2.703 \quad (5)$$

1 m 最低水温 Y_4 预报模型:

$$Y_4 = -0.19 X_4 - 0.089 X_6 + 0.069 X_8 + 0.384 X_{10} + 0.57 X_{12} + 2.945 \quad (6)$$

式中, X_1 为前一天平均气温, X_2 为当天最高气温, X_3 为前一天0.5 m平均水温, X_4 为前一天平均风速, X_5 为当天平均气温, X_6 为当天平均风速, X_7 为前一天1 m平均水温, X_8 为前一天日照, X_9 为前一天最低气温, X_{10} 为当天最低气温, X_{11} 为前一天0.5 m最低水温, X_{12} 为前一天1 m最低水温。模型显示,水温变量与气温、日照及前期水温有较好的正相关,而与风速呈负相关,表5为回归模型特征量。

表5 回归模型特征量

Tab.5 The character quantities of the regress model

	标准误差 RMSE	R^2	F
0.5 m 平均水温	0.67	0.980	861.044
0.5 m 最低水温	0.75	0.974	752.04
1 m 平均水温	0.59	0.984	1 059.089
1 m 最低水温	0.67	0.978	906.594

以2012年冬季数据对模型进行验证,水下0.5 m平均水温、0.5 m最低水温、1 m平均水温、1 m最低水温的均方根误差分别为:0.553℃、1.086℃、0.899℃、1.046℃。最大误差分别为1.25、2.99、2.37、2.91。图2为模拟结果,模拟结果准确率比较高,平均水温模拟效果好于最低水温。

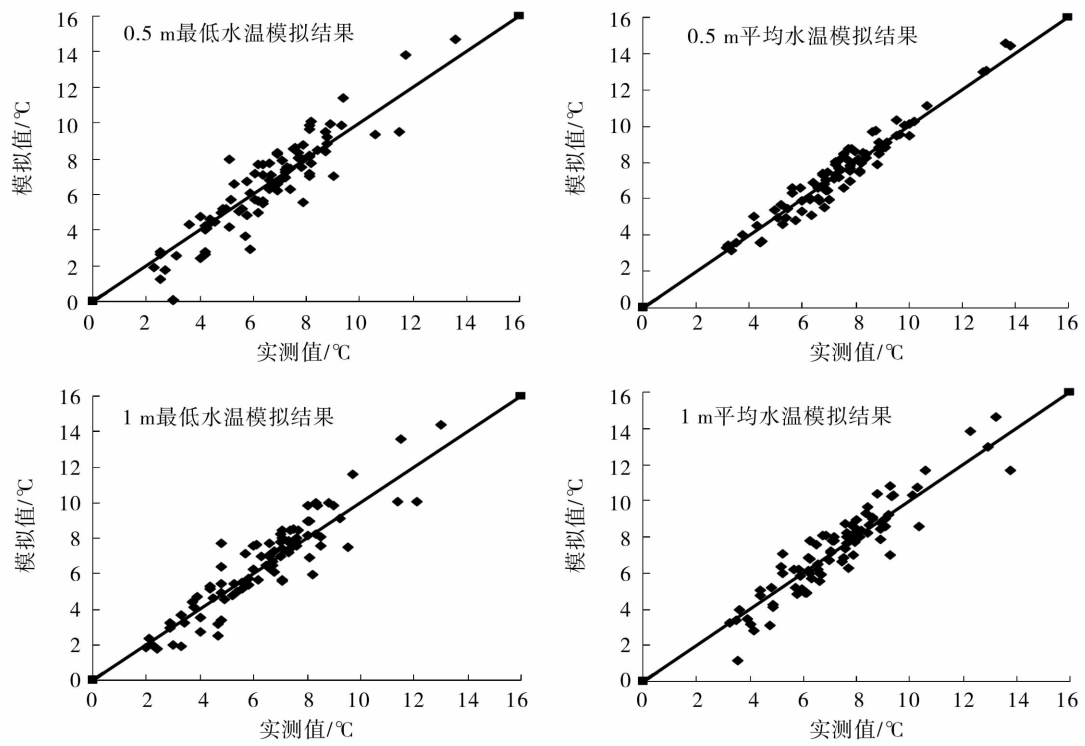


图2 实测水温和模拟水温对比

Fig.2 Contrast of observed and simulated values of averaged and minimum water temperature

3 结果与讨论

(1)水温变化趋势与气温基本相似,但降温幅度偏小。2010~2011年冬季,受多次强冷空气的连续影响,气温异常偏低。水温变化趋势与气温很相似:12月不断下降,1月持续走低,2月缓慢回升。极低气温 -2.0°C ,极低水温 -0.1°C 。在大多数情况下,水温下降幅度小于气温,两者降幅相差 $0.9\sim 3.6^{\circ}\text{C}$ 。

(2)与气温相比,水温变化具有明显的滞后性。在升温过程中,到最高值的日期大多滞后1 d;在降温过程中,到最低值的日期大多滞后1~2 d。水温最低值大多出现在冷空气影响结束后的1~2 d。

(3)水温下降幅度与冷空气强度、伴随的天气现象及水的深度有关。冷空气越强,水温下降幅度越大;晴天,水温降幅较小,上层水温降幅小于下层。阴天,水温降幅增大,上层水温降幅大于下层;寒潮伴随着强降温、雨雪、大风等天气,使不同深度的水温同时大幅度的下降;弱的冷平流如果伴随降雪、冰粒、大风等天气时,对水温的影响相当于1次中等冷空气。

(4)建立了基于气象要素的水温预报模型,经

独立样本检验,准确率较高,可作为开展水温预报业务的依据,在防御冷空气对海水养殖的影响时发挥作用。

(5)由于试验只进行了一个冬季,数据量还有待补充。另外,预报模式中,引入了多个天气预报的气象要素,限于现在天气预报的精准度,预报模型还得在以后的持续试验和业务应用中不断修正和完善。

参考文献:

- [1] Xie W K. Preliminary study of growth difference of varying sex in soft-shelled *Trionyx sinensis*. and its sex controlled by incubation temperature[J]. Water Fisheries, 1993(4):23-24.
- [2] 郭秀云,王胜,吴必文,等.环境温度对水产养殖量化影响的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(24):7498-7499.
- [3] Hou L. The study of embryonic growth of soft-shelled *Trionyx sinensis*[J]. J Hunan Norm Univ (Natural sci), 1984(4):27-31.
- [4] Petersen J H, Gadomski D M. Light-mediated predation by northern squawfish on juvenile chinook salmon[J]. Fish Biol, 1994, 45A:227-242.
- [5] 胡建华. 病害诊断不可忽视的气候因素[J]. 水产养殖, 2010, 31(3):40.
- [6] You W H, Lu B, Wang P C. The effect of ambient temperature and kinds of food on growth and digestion of juvenile turtle[J]. Chinensis Reevesii Zool Res, 1993, 14(2):136-142.

- [7] 陈平. 河蟹生长的气象条件与养殖技术[J]. 中国农业气象, 1998, 19(3): 23–25.
- [8] 卢峰本, 黄滢, 周启强, 等. 海水养殖的气象风险分析及预报[J]. 气象, 2006, 32(11): 113–117.
- [9] 何永坤, 阳作明. 导致网箱鱼猝死的气象因素初探[J]. 气象, 2002, 28(12): 53.
- [10] 刘利群. 基于GIS的湛江水产养殖台风灾害危险性评估研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 8032–8033, 8060.
- [11] 李色东, 何建国, 张存善, 等. 寒流对凡纳滨对虾养殖的影响及防范措施探讨[J]. 科学养鱼, 2010(1): 24–25.
- [12] 江河, 汪留全. 安徽水产业的主要灾害及减灾策略[J]. 中国渔业经济, 2010, 28(1): 53–59.
- [13] 李秀存, 覃维炳. 水产养殖的气象灾害分析[J]. 内陆水产, 1998, 23(7): 15–16.
- [14] 张秉祥, 王立荣, 杨荣珍, 等. 数值预报产品对寒潮天气过程的预报能力检验[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 96–101.
- [15] 李倩, 胡邦辉, 王学忠. 基于BP人工神经网络的区域温度多模式集成预报试验[J]. 干旱气象, 2011, 29(2): 232–235.
- [16] 薛琳. 中专气象统计教学方法初探[J]. 甘肃气象, 1997, 15(2): 51–52.
- [17] 许桂水, 王东方, 陈铁帅. 水温及其预报方法初探[J]. 工科数学, 2002, 18(1): 17–22.
- [18] 杜尧东, 刘锦銓, 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): 52–55.

The Response of Water Temperature to Cold Air and Its Prediction Model for Seawater Breeding Farm

CAO Meilan¹, LI Renzhong², YANG Zaiqiang³, HE Yue², ZHU Kai³

(1. Zhoushan Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China;
2. Climate Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310017, China; 3. Jiangsu Key
Laboratory of Agricultural Meteorology, College of Applied Meteorology, Nanjing
University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: We chose Dongsha seawater breeding farm as the experimental base, the air temperature and water temperature change caused by cold air activities in the whole winter of 2010–2011 was contrasted, and water temperature change trend under different intensity of cold air and different weather phenomena was discussed. The results show that water temperature change trend was similar to air temperature during nine cold air activities processes, but the changing range was less than that of air temperature and there was obvious lagging character. The influence of cold air on water temperature was remarkable, and the influencing degree related to cold air intensity, concomitant weather phenomena and water depth, if the cold air activity was more stronger, the water temperature would decrease more greater. Different weather conditions had different effect on water temperature, it descended less in fine day and more in cloudy day, and when cold wave occurred it dropped obviously at the same time, one to two days after cold air end, it dropped to minimum. Based on the method of stepwise regression analysis, the underwater 0.5 m and 1 m temperature prediction models in winter of seawater breeding farm were established. The test results of independent samples show that the accuracy was better, and they could be used in business service.

Key words: cold air; seawater breeding farm; air temperature; water temperature; prediction model