

doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2020.05.006

刘瑞娜,杨太明,陈金龙,等.安徽河蟹养殖高温热害天气指数模型设计与实践[J].中国农业气象,2020,41(5):320-327

安徽河蟹养殖高温热害天气指数模型设计与实践*

刘瑞娜¹, 杨太明^{1**}, 陈金龙², 陈金华¹, 孙喜波³

(1. 安徽省农业气象中心/安徽省农业生态大数据工程实验室, 合肥 230031; 2. 马鞍山市气象局, 马鞍山 243000; 3. 国元农业保险公司, 合肥 230031)

摘要: 基于安徽省当涂县 2012–2016 年 3 个河蟹养殖池塘的物联网水温观测数据和河蟹产量数据、死亡率数据, 以及 1985–2016 年当涂县逐日气象数据, 分析不同深度水温与河蟹产量的相关性, 确定池塘河蟹高温热害关键致灾因子和致灾临界值。通过构建关键致灾因子与气温的关系模型, 推算池塘养殖河蟹的高温热害致灾临界气象条件, 定义高温热害天气指数。在此基础上, 结合河蟹高温热害死亡率样本, 利用 K-均值聚类分析方法, 建立高温热害等级指标, 设计池塘养殖河蟹高温热害天气指数保险产品, 并试点应用。结果表明: 池塘养殖河蟹高温热害关键致灾因子为 60cm 深度日平均水温, 其致灾临界值为 31℃。60cm 深度日平均水温与前一日平均气温相关性最高, 根据其关系模型可知, 发生高温热害的临界气象条件为日平均气温 $\geq 30.5^{\circ}\text{C}$ 。因此, 池塘养殖河蟹高温热害指数(S)定义为: 6 月 21 日–9 月 10 日, 日平均气温 $\geq 30.5^{\circ}\text{C}$ 的天数。池塘养殖河蟹高温热害等级指标为: 轻度死亡率 0~1% (0<S<14)、中度 1%~3% (14≤S<21)、重度 3%~5% (21≤S<30) 和特重 5%~10% (S≥30)。检验结果表明, 该等级指标可以有效评估高温对河蟹的影响。以指数 21 作为赔付触发值, 确定赔付标准; 基于当涂县历史灾害平均损失率厘定河蟹高温热害天气指数纯保险费率为 5.0%, 保费为 100 元·667m⁻²。试点应用表明该天气指数产品基本合理, 可为同类地区的池塘养殖河蟹高温热害保险提供参考。

关键词: 池养河蟹; 高温热害; 致灾因子; 等级指标; 天气指数保险

Design and Application on Weather Indices Model for High Temperature Disaster of Chinese Hairy Crab in Anhui

LIU Rui-na¹, YANG Tai-ming¹, CHEN Jin-long², CHEN Jin-hua¹, SUN Xi-bo³

(1. Anhui Agricultural Meteorological Center/Anhui Engineering Laboratory of Agro-Ecological Big Data, Hefei 230031, China; 2. Ma Anshan Meteorological Bureau, Ma'anshan 243000; 3. Guoyuan Agricultural Insurance Company, Hefei 230031)

Abstract: Weather index agricultural insurance is an important way of avoiding agricultural production risk and improving recovery capabilities. Based on the water temperature observation data from internet of things and Chinese hairy crab yield data in three intensive culture ponds from 2012 to 2016, mortality data from 2001 to 2016 and daily surface meteorological observation data from 1985 to 2016 in Dangtu of Anhui province, the correlations between water temperatures at different depths and the yield of Chinese hairy crab (*Eriocheir Sinensis*) were analyzed, the key disaster-inducing factor of high temperature disaster and its critical value were determined. Then, the correlations between key disaster-inducing factor and air temperatures were analyzed and their relationship model was built. Based on the relationship model, the critical value of air temperature was calculated and the heat damage weather index of China hairy crab was defined. Based on this, combined with the Chinese hairy crab

* 收稿日期: 2019–12–04

** 通讯作者杨太明, E-mail: ytm0305@126.com

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71473127); 安徽省重点研究和开发计划面上攻关项目 (1804a07020124)

第一作者联系方式: 刘瑞娜, E-mail: naxybz@sina.com

mortality data caused by high temperature disaster, the grade indices of high temperature disaster were established by K-means clustering analysis method. The insurance claim schemes based on the grade indices were designed preliminarily and was applied in Dangtu. The results showed that the key disaster-inducing factor of high temperature disaster was daily average water temperature at 60cm depth and its critical value was 31°C . The key disaster-inducing factor had the most correlation with daily average air temperature of the previous day. Based on their relationship model, the critical value of daily average temperature was calculated to be 30.5°C , the value of cumulative days when daily average temperature equal or greater than 30.5°C from June 21 to September 10 were defined as the high temperature disaster weather index of Chinese hairy crab (S). The damage could be defined as slight when the mortality was between 0–1%($0 < S < 14$), moderate when the mortality was between 1%–3%($14 \leq S < 21$), severe when the mortality was between 3%–5%($21 \leq S < 30$), extra severe when the mortality was between 5%–10%($S \geq 30$). The testing results indicated that the accurate rate of severe indices was 100%. The payment standard of weather index with different levels was determined by using weather index of 21 as payment trigger value. Considering the average loss rate of historical disasters in Dangtu, the premium rate based on the weather index of high temperature disaster was defined as 5.0%, and the corresponding premium was 100 yuan·667m². Application in Dangtu showed that the insurance claim schemes is reasonable, which could provide some reference for weather index insurance of high temperature disaster of Chinese hairy crab in similar areas.

Key words: Chinese hairy crab; High temperature disaster; Key disaster-inducing factor; Grade indices; Weather index insurance

安徽是中国淡水水产大省, 省内淡水面积约 120 万 hm², 居全国第 2 位, 年水产品总产 160 多万 t。池塘养殖河蟹由于产量较高, 经济效益好, 目前是安徽农村专业养蟹的主要方式之一, 近年来养殖规模和产量持续增长。每年夏季, 河蟹个体增长最快, 是影响其品质好坏的关键阶段, 而此期也是高温天气的高发时期, 往往导致池养河蟹出现不同程度的应激反应, 引起蜕壳不遂和死亡, 对养殖产量和效益造成一定影响^[1]。

天气指数农业保险是规避农业生产风险, 提高防灾减灾及灾后恢复能力的有效手段^[2]。20 世纪 90 年代, 国外已开始天气指数方面的研究^[3-4]。国内主要针对种植业开展了天气指数保险研究。刘映宁等^[5-6]研究了苹果花期冻害保险指数, 姜伟平等^[7]探讨了浙江茶叶霜冻气象指数, 毛裕定等^[8]设计了浙江柑橘天气指数, 任义方等^[9]开展了江苏水稻高温热害气象指数保险风险区划研究。栾庆祖等^[10]提出了一种基于动量方程的冰雹灾害损失评估方法, 以期为水果冰雹灾害气象指数保险产品开发提供一种新的思路和方法。杨太明等^[11-13]针对安徽省主要粮食作物, 先后推出分作物、分灾种、分时段系列天气指数保险产品。这些种植业天气指数保险产品已得到推广应用, 并取得了较好的服务效果。但目前国内

关于水产养殖的天气指数保险研究相对较少, 已有研究主要局限在基于风力指数的水产养殖保险^[14-15], 针对气温指数的水产养殖天气指数保险较少, 针对高温热害的水产养殖天气指数产品更是少见。因此, 本研究拟在借鉴国内外天气指数保险的理论和方法研究的基础上, 基于 2012–2016 年安徽省当涂县河蟹养殖池塘水体物联网数据, 通过分析不同深度水温与河蟹产量相关性, 建立高温热害等级指标, 并初步设计池塘养殖河蟹高温热害天气指数保险产品, 以期为实现水产养殖高温热害风险转移提供有效途径。

1 资料与方法

1.1 池塘条件

安徽省当涂县地处长江下游的江南水网地带, 渔业资源丰富, 其中河蟹池塘养殖发展迅速, 在安徽省河蟹养殖中占有十分重要的地位。为此, 选择代表安徽省平均养殖水平和环境条件的 3 个河蟹养殖池塘作为研究对象, 3 个池塘分别位于大陇乡水产养殖场、苦菜圩水产养殖示范区和绿野生态农业示范区。池塘水源为天然水源, 进排水口分开, 进水口用密网过滤, 池塘规格整齐, 四周均有高 0.6m 的防逃围栏, 夏季平均水深均为 1.2m。塘口种植水草, 品种主要为苦草, 占池塘面积 60%~70%。

1.2 物联网观测系统

3 个河蟹养殖池塘自 2012 年均安装“农企通”物联网精确农业信息化系统。该物联网监测系统主要包括溶解氧、水温、pH、电导率和浊度等传感器,可实现多指标实时监测。其中温度传感器选用安徽产 SSL3900 型水温水位一体化传感器,感应范围-30~80℃,探测精度为 0.2℃,测温点在池塘水面中心,距离岸边 10m,温度感应探头安装在水面下 10cm、60cm 和 100cm 深处,以实现不同深处水温变化的实时监测。气温数据取自池塘岸边约 5m 处自动气象观测站。系统每小时进行数据采集,并自动存储。

1.3 数据来源

2012–2016 年 3 个池塘不同深度水温(10cm、60cm、100cm)观测数据和气温观测数据分别来源于河蟹养殖池塘物联网观测系统和池塘自动气象观测站。2012–2016 年 3 个池塘河蟹产量数据和 2017 年河蟹死亡率数据来源于当地养殖户养殖日志,2001–2016 年当涂县河蟹高温热害死亡率数据来源于当涂县水产局灾情记载。1985–2016 年当涂县气象观测站逐日气象资料来源于安徽省气象局。

其中,河蟹高温热害死亡率(P)为

$$P = \frac{D}{D_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中,P 为河蟹高温热害死亡率(%), D_0 为蟹苗投放量(只),D 为高温热害导致的河蟹死亡量(只)。

1.4 天气指数模型构建

1.4.1 关键致灾因子选取

高温热害主要由水温过高引起,造成河蟹死亡率上升,产量减少。因此,构建灾害指标首先考虑分析不同深度水温与河蟹产量的相关性。把 2012–2016 年 3 个池塘不同深度水温(10cm、60cm、100cm)分别与河蟹历年产量进行相关分析,按照引入因子对产量的影响最大,且因子之间相关性较低的原则^[16],确定某一深度水温作为高温热害关键因子。

1.4.2 关键致灾因子临界值的确定

对已经确定的高温热害关键因子给予不同的连续界限值,分别统计 2012–2016 年 3 个河蟹养殖池塘关键因子大于等于该设定界限值天数的样本序列,并与 2012–2016 年河蟹产量进行相关普查,选择相关系数最大值所对应的关键因子界限值作为判定河蟹养殖高温热害的水温临界值^[16]。

1.4.3 天气指数选取

作为随机变量,一个合适的天气指数应满足以下标准:可观测或可测量、客观性、清晰明确、独立可验证性、及时性以及时间上的稳定性和可持续性^[2]。考虑到水温数据的可获取性和天气指数农业保险产品的简便、易懂和可操作性,基于水温和气温关系模型,选择目前使用较多的气温变量作为高温热害天气指数。

1.4.4 灾害等级划分标准

利用 SPSS 软件中 K-均值聚类分析方法,通过给定需要的聚类数目,用有限次逼近法,按照聚类最优原则确定高温热害指数和高温热害死亡率的聚类中心,以相邻聚类中心的平均值为界限,确定池塘养殖河蟹高温热害等级指标。

2 结果与分析

2.1 河蟹高温热害致灾临界值分析

2.1.1 关键致灾因子选取

分析 2012–2016 年河蟹生长关键期(6–9 月)当涂县 3 个河蟹养殖池塘 10cm、60cm、100cm 深度日平均水温与河蟹产量(Y)的相关系数,由表 1 可见,60cm 深度日平均水温与河蟹产量呈极显著相关关系($P<0.01$),10cm 深度日平均水温与河蟹产量呈显著相关关系($P<0.05$),100cm 深度日平均水温未通过显著性检验。进一步分析不同深度日平均水温之间的相关系数可见,不同深度日平均水温之间均呈极显著相关($P<0.01$)。按照引入因子对产量的影响最大且因子之间相关性较低的原则,选取 60cm 深度日平均水温作为高温热害致灾关键因子。

表 1 2012–2016 年 3 个池塘不同深处水温(T_{10} 、 T_{60} 、 T_{100})间及其与河蟹产量(Y)的相关分析($n=45$)

Table 1 Correlation coefficients between water temperatures at different pond depths(10cm, 60cm, 100cm) and yield of Chinese hairy crab from 2012 to 2016 ($n=45$)

	Y	T_{10}	T_{60}
T_{10}	0.531*		
T_{60}	0.647**	0.835**	
T_{100}	-0.474	0.861**	0.896**

注: T_{10} 、 T_{60} 、 T_{100} 分别为 10cm、60cm 和 100cm 深度日平均水温(℃),Y 为河蟹产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。*、**分别表示相关系数通过 0.05、0.01 水平的显著性检验。下同。

Note: T_{10} , T_{60} , T_{100} is the daily average water temperature at 10cm, 60cm, and 100cm depth(℃), Y is yield of Chinese hairy crab($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). * is $P<0.05$, ** is $P<0.01$. The same as below.

2.1.2 关键致灾因子与气温的关系

选取日平均气温、日最高气温、前 1 日平均气温和前 1 日最高气温序列，与 60cm 深度日平均水温进行相关分析。由表 2 可见，池塘内 60cm 深处日平均水温与各气温因子间均呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)，其中，与前一日平均气温的相关性最高，相关系数达 0.944。因此，选择前一日平均气温作为

60cm 深度日平均水温的决定因子，并将前一日平均气温与 60cm 深度日平均水温进行回归分析，得到二者关系模型，即

$$T_{60}=0.8612T_{-1d}+4.8014$$

(2)

式中， T_{60} 为池塘内 60cm 深度日平均水温 ($^{\circ}\text{C}$)， T_{-1d} 为前一日平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)。

表 2 2012–2016 年 3 个河蟹养殖池塘 60cm 深处逐日日平均水温与气温的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between T_{60} in the three intensive culture ponds of Chinese hairy crab and air temperatures from 2012 to 2016

	日平均气温 Daily ave. air temperature ($^{\circ}\text{C}$)	日最高气温 Daily max. air temperature ($^{\circ}\text{C}$)	前 1 日平均气温 Daily ave. temperature of the previous day($^{\circ}\text{C}$)	前 1 日最高气温 Daily max. temperature of the previous day ($^{\circ}\text{C}$)
T_{60} ($^{\circ}\text{C}$)	0.924**	0.890**	0.944**	0.910**

2.1.3 致灾临界值确定

根据关键因子临界值的定义，对已经确定的关键致灾因子 (T_{60}) 给予不同的连续界限值，分别统计 2012–2016 年 3 个河蟹养殖池塘 60cm 深处日平均水温大于等于该界限值天数的样本序列，并与 2012–2016 年河蟹产量进行相关普查，普查结果可用图 1 的皮尔逊相关系数变化曲线表示。选择相关系数最大值所对应的关键因子界限值作为判定河蟹养殖高温热害的水温临界值。已有研究^[17]表明，河蟹生长适宜水温的上限为 28°C ，因此，60cm 深度日平均水温界限值以 28°C 为起始，以 0.5°C 为间隔，最高为 34°C 。

由图 1 可知，当界限值为 31°C 时，60cm 深处日

平均水温大于等于该界限值的天数与当年河蟹产量相关性最大，在该界限值两侧，相关系数下降较快。说明 60cm 深处日平均水温临界值等于 31°C ，即 60cm 日平均水温超过 31°C ，会对当年河蟹生长和产量产生不利影响。根据式 (2)，60cm 深处日平均水温为 31°C 时，其对应的前一日平均气温为 30.5°C 。据此确定池塘养殖河蟹发生高温热害的临界气象条件为日平均气温 $\geq 30.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 河蟹高温热害评估模型建立

2.2.1 高温热害指数设计

对 2001–2016 年当涂县气象观测站逐日气温数据汇总排序表明，在 90% 保证率下，日平均气温 $\geq 30.5^{\circ}\text{C}$ 高温天气主要出现在 6 月 21 日–9 月 10 日，此时也是河蟹生长的关键时期，因此，选定 6 月 21 日–9 月 10 日作为池塘河蟹高温热害指数的计算时段。根据天气指数设计原则，结合上述确定的池塘养殖河蟹高温热害气温临界值，将池塘河蟹养殖高温热害指数(S)定义为：6 月 21 日–9 月 10 日，日平均气温 $\geq 30.5^{\circ}\text{C}$ 的天数。日平均气温以参保蟹塘附近的自动气象站观测数据为准。

2.2.2 高温热害等级指标建立

根据高温热害天气指数的定义，统计得到 2001–2016 年当涂县历年高温热害指数时间序列。应用 SPSS 软件对历年高温热害指数和对应年份的河蟹高温热害死亡率进行 K-均值聚类分析，设定聚类数为 4 类，按照聚类最优原则，得到高温热害指数和高温热害死亡率的 4 个聚类中心，以高温热害指数和高温热害死亡率相邻聚类中心平均值为界限，把

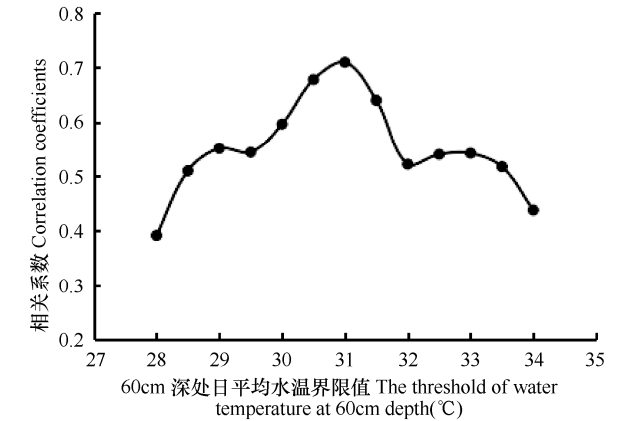


图 1 关键因子 (T_{60}) 大于等于界限值的天数与河蟹产量的相关系数

Fig.1 Correlation coefficients between the value of cumulative days when T_{60} equal or more than thresholds and the yield of Chinese hairy crab

池塘养殖河蟹高温热害指标等级划分为轻度、中度、重度和特重共 4 个等级如表 3。

表 3 安徽省当涂县池养河蟹高温热害指标等级划分标准

Table 3 Grading standard of high temperature disaster indices of Chinese hairy crab in Dangtu of Anhui province

等级 Grades	高温热害指数 High temperature disaster index (S_d)	高温热害死亡率 High temperature disaster mortality (%)
轻度 Slight	$0 < S < 14$	0~1
中度 Moderate	$14 \leq S < 21$	1~3
重度 Severe	$21 \leq S < 30$	3~5
特重 Extra severe	$S \geq 30$	5~10

注：高温热害指数(S)为 6 月 21 日-9 月 10 日日平均气温 $\geq 30.5^\circ\text{C}$ 的天数。下同。

Note: The value of cumulative days when daily average temperature $\geq 30.5^\circ\text{C}$ from June 21 to September 10 were defined as the high temperature disaster index of Chinese hairy crab(S). The same as below.

2.2.3 高温热害等级指标检验

2017 年 7 月安徽省出现持续高温天气，此时正值池塘河蟹生长关键时期，由于极端最高气温高，高温日数多，造成当涂县河蟹出现死亡现象。实地调查发现，高温导致大陇乡水产养殖场和绿野生态农业示范区河蟹死亡率分别为 4.2% 和 4.1%。利用高温热害等级指标对该年高温热害程度进行评估，其结果与实际灾损等级见表 4。由表可知，2 个池塘高温热害评估等级和实际灾损等级均为重度，准确率为 100%。由于样本数量有限，轻度、中度和特重灾害等级未得到检验。

2.3 高温热害天气指数保险产品

2.3.1 产品设计

当涂县池塘河蟹高温热害天气指数保险赔付可表示为^[18]

$$I = M_s \times Q \quad S > S_0 \quad (3)$$

式中，I 是单位面积保险赔偿金额（元·667m⁻²）；

M_s 为天气指数 S 对应的河蟹死亡率（%），Q 是正常年份河蟹养殖平均产值（元·667m⁻²）， S_0 为赔付触发值。当天气指数 S 超过 S_0 时，开始赔付，最高天气指数等级对应的赔付金额为保险金额（ I_0 ）。

据调研，在不发生灾害情况下，安徽省当涂县正常年份河蟹养殖平均产值在 20000 元·667m⁻²。由表 3 可知，高温热害最高可导致的河蟹死亡率为 10%，根据式（3），则高温热害保险金额为 2000 元·667m⁻²。

根据当涂县池塘养殖河蟹高温热害指标等级和天气指数赔款水平逐渐递增原则，根据式（3）计算保险赔付金额，不同天气指数值对应的赔付比例和单位面积赔付金额见表 5。由表可以看出，当高温热害天气指数 $\geq 21d$ 时，启动赔付，赔付金额为 100~2000 元·667m⁻²。

基于当涂县 1985-2016 年气象资料，统计当涂县池塘河蟹养殖高温热害指数（图 2），根据表 5 中赔付标准测算每年的应赔付金额。可以看出，1985-2016 年有 1990、1994、1995、1998、2001、2003、2006、2013 和 2016 年共 9 个年份触发了起赔点，平均赔付金额为 109 元·667m⁻²。根据式（4）计算获得当涂县池塘养殖河蟹高温热害天气指数纯保险费率为 5%，保费为 100 元·667m⁻²。

$$P_v = \frac{P_0}{I_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中， P_v 为保险费率（%）， P_0 为平均赔付金额（元·667m⁻²）， I_0 为保险金额（元·667m⁻²）。

2.3.2 应用案例

根据池塘河蟹养殖高温热害天气指数产品，2017 年 7 月安徽国元农业保险公司当涂支公司与当涂县苦菜圩水产养殖有限公司签订了第一笔池塘河蟹养殖高温热害天气指数保单，参保蟹塘共 7 个，面积共计 16.67hm²。2017 年当涂县苦菜圩水产养殖厂出现持续高温天气，导致河蟹死亡率达 2.7%，

表 4 2017 年 2 个河蟹养殖池塘高温热害灾害样本检验结果

Table 4 Test results of evaluation based on these indices in the two intensive culture ponds in 2017

养殖场 Aquaculture farm	高温热害指数 High temperature disaster index(d)	高温热害等级 High temperature disaster grade	高温热害死亡率 High temperature disaster mortality(%)	实际灾损等级 Actual grade
大陇乡水产养殖场 Dalongxiang	29	重度 Severe	4.2	重度 Severe
绿野生态农业示范区 Lvye	29	重度 Severe	4.1	重度 Severe

经济损失约 540 元·667m⁻²。根据自动气象站观测的气温数据,2017 年当涂县苦菜圩水产养殖有限公司高温热害指数为 29d,按照赔付标准(表 5),理论上,保险应赔付 460 元·667m⁻²。高温热害损失金额与保险赔付金额较接近,表明设计的天气指数赔偿标准基本合理。

表 5 安徽省当涂县池塘养殖河蟹高温热害天气指数赔付标准

Table 5 Compensation standard of high temperature disaster weather indices of Chinese hairy crab in Dangtu of Anhui province					
高温热害指数 High temperature disaster index(d)	赔付比例 Compensation ratio (%)	赔付金额 Amount of compensation (Yuan·667m ⁻²)	高温热害指数 High temperature disaster index(d)	赔付比例 Compensation ratio (%)	赔付金额 Amount of compensation (Yuan·667m ⁻²)
21	5	100	31	33	650
22	6	110	32	38	760
23	7	130	33	44	880
24	8	160	34	51	1010
25	10	200	35	58	1150
26	13	250	36	65	1300
27	16	310	37	73	1460
28	19	380	38	82	1630
29	23	460	39	91	1810
30	28	550	≥40	100	2000

注:每亩(667m²)赔付金额=每亩(667m²)保险金额×赔付比例。保险金额确定为 2000 元·667m⁻²。下同。
Note: Premiums multiply by compensation ratio equals amount of compensation (Yuan·667m⁻²). Premiums equals 2000 yuan·667m⁻².The same as below.

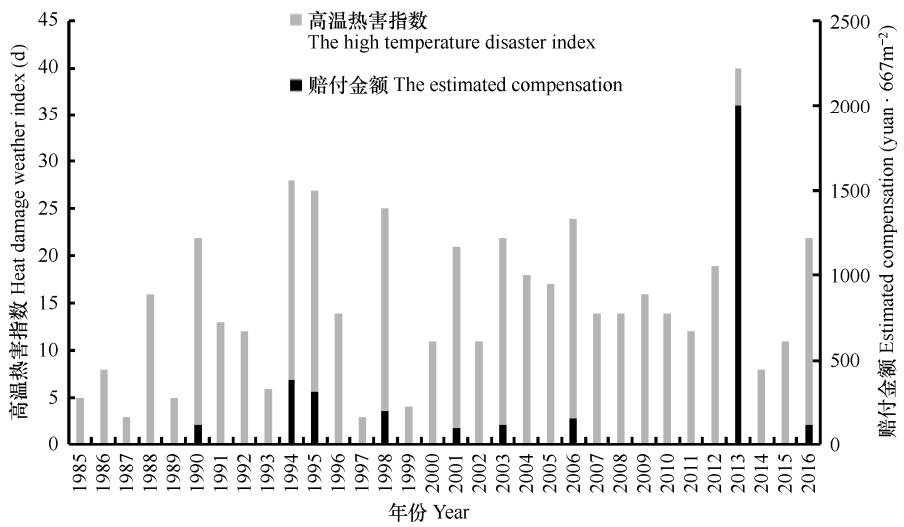


图 2 1985-2016 年当涂县河蟹高温热害指数值和应赔付金额测算

Fig.2 The high temperature disaster indices of Chinese hairy crab and estimated compensation from 1985 to 2016 in Dangtu of Anhui province

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 水温是影响水生动物生存最重要的环境因子。将不同深度水温分别与河蟹产量进行相关分析,筛选出池塘河蟹高温热害关键致灾因子为 60cm 深度日平均水温,其致灾临界值为 31℃。通过建立 60cm 深度日平均水温与气温的关系模型,确定池塘河蟹

养殖发生高温热害的临界气象条件为日平均气温 ≥ 30.5℃。

(2) 当涂县池养河蟹高温热害天气指数为 6 月 21 日-9 月 10 日期间日平均气温 ≥ 30.5℃的天数。当涂县池养河蟹轻度、中度、重度、特重高温热害等级对应的高温热害指数(S)分别为 0<S<14d、14d ≤S<21d、21d ≤S<30d、S ≥ 30d,对应河蟹死亡率(P)

分别为 $0 < P < 1\%$ 、 $1\% \leq P < 3\%$ 、 $3\% \leq P < 5\%$ 、 $5\% \leq P < 10\%$ 。

(3) 当涂县池塘养河蟹高温热害天气指数 21 为赔付触发值, 不同指数值赔付金额在 $100 \sim 2000$ 元· 667m^{-2} 。基于当涂县历史灾害平均损失率厘定的河蟹高温热害天气指数纯保险费率为 5.0%, 保费为 100 元· 667m^{-2} 。试点应用表明设计的天气指数赔偿标准基本合理。

3.2 讨论

水体环境是水产动物养殖中常见的胁迫因子, 其中水温是最重要的因子之一, 直接影响河蟹的代谢、生长、蜕壳和存活等^[19]。已有研究表明, 在一定温度范围内, 河蟹生长速度和存活率随着温度升高而升高, 但当环境温度过高, 超出河蟹自身的调节能力时, 会导致其生长速率减慢, 死亡率上升^[20]。本研究通过分析当涂县 6-9 月物联网观测数据与河蟹产量的关系, 确定了具有科学性、本地化的高温热害水温致灾临界值。在此基础上, 结合水温与气温的关系模型, 定义了池塘养殖河蟹高温热害天气指数, 为天气指数保险产品开发提供了精准可靠的理赔指数。此外, 本研究以当涂县 2001-2016 年长序列气象资料和河蟹死亡率资料为基础, 建立高温热害等级指标, 克服了物联网水温观测数据年代短, 数据支撑不足的问题。

当然, 本研究构建的天气指数产品也存在一定的局限性和不足。首先, 构建的天气指数产品是以高温热害天气指数等级和其对应的河蟹死亡率为基础。但河蟹死亡率受多因素复合影响^[20], 严重的高温热害往往会对盐度、溶氧量等其它环境因子产生影响, 进而导致河蟹对病原生物的易感性^[21-22]。这是本产品试点应用时基差风险的主要来源。其次, 本研究仅基于安徽省池塘养殖河蟹主产区代表站当涂县的历史资料建立天气指数模型, 后期在应用推广过程中还需根据各地的河蟹养殖管理水平和高温实际状况等对天气指数产品的相关参数进行本地化。

参考文献 References

- [1] 陈军伟, 马旭洲, 王武, 等. 中华绒螯蟹幼蟹生长和蜕壳与积温关系的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2016, (5): 675-683.
Chen J W, Ma X Z, Wang W, et al. The study of relationships between growth, molt and accumulated temperature of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of

- Shanghai Ocean University, 2016, (5): 675-683. (in Chinese)
- [2] 刘布春, 梅旭荣. 农业保险的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 230-262.
Liu B C, Mei X R. Theory and practice of agricultural insurance[M]. Beijing: Sciences Press, 2010: 230-260. (in Chinese)
- [3] Makki S S. Crop insurance: inherent problems and innovation solutions[A]. Agriculture Policy for the 21 Century[C]. Ames: Iowa State Press, 2002.
- [4] Wenner M, Arias D. Agriculture insurance in Latin American: where are we[R]. Paving the Way Forward for Rural Finance an International Conference on Best Practices, 2003.
- [5] 刘映宁, 贺文丽, 李艳丽, 等. 陕西果区苹果花期冻害农业保险风险指数设计[J]. 中国农业气象, 2010, 31(1): 125-129.
Liu Y N, He W L, Li Y L, et al. A study on the risk index design of agricultural insurance on apple florescence freezing injury in Shaanxi fruit zone[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(1): 125-129. (in Chinese)
- [6] 杨小利. 甘肃平凉市苹果花期冻害农业保险风险等级评估[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 281-285.
Yang X L. Risk assessment of agricultural insurance on apple freezing injury at blooming stage in Pingliang of Gansu province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(2): 281-285. (in Chinese)
- [7] 娄伟平, 吉宗伟, 邱新法, 等. 茶叶霜冻气象指数保险设计[J]. 自然资源学报, 2011, 26(12): 2050-2060.
Lou W P, Ji Z W, Qiu X F, et al. Design of weather index insurance contract for tea frost[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(12): 2050-2060. (in Chinese)
- [8] 毛裕定, 吴利红, 苗长明, 等. 浙江省柑桔冻害气象指数保险参考设计[J]. 中国农业气象, 2007, 28(2): 226-230.
Mao Y D, Wu L H, Miao C M, et al. A reference design for citrus freeze damage insurance by using meteorological index in Zhejiang province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(2): 226-230. (in Chinese)
- [9] 任义方, 赵艳霞, 张旭辉, 等. 江苏水稻高温热害气象指数保险风险综合区划[J]. 中国农业气象, 2019, 40 (6): 391-401.
Ren Y F, Zhao Y X, Zhang X H, et al. Comprehensive risk regionalization of meteorological index insurance for high temperature heat damage of rice in Jiangsu province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2019, 40(6): 391-401. (in Chinese)

- [10] 栾庆祖,董鹏捷,叶彩华.面向气象指数保险的水果冰雹灾害损失评估方法[J].中国农业气象,2019,40(6):402-410.
Luan Q Z,Dong P J,Ye C H.A Weather-index-based insurance-oriented method for hail disaster assessment on fruits loss[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2019,40(6):402-410.(in Chinese)
- [11] 杨太明,许莹,孙喜波,等.安徽省夏玉米干旱天气指数保险产品设计与应用[J].气象,2016,42(4):450-455.
Yang T M,Xu Y,Sun X B,et al.Design and application of the drought weather index insurance of summer corn in Anhui province[J].Meteorological Monthly,2016,42(4):450-455.(in Chinese)
- [12] 杨太明,孙喜波,刘布春.安徽省水稻高温热害保险天气指数模型设计[J].中国农业气象,2015,36(2):220-226.
Yang T M,Sun X B,Liu B C.Design on weather indices model for insurance of rice heat damage in Anhui province[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2015,36(2):220-226.(in Chinese)
- [13] 杨太明,刘布春,孙喜波,等.安徽省冬小麦种植保险天气指数设计与应用[J].中国农业气象,2013,34(2):229-235.
Yang T M,Liu B C,Sun X B,et al.Design and application of the weather indices of winter wheat planting insurance in Anhui province[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2013,34(2):229-235.(in Chinese)
- [14] 王建国.气象指数型水产养殖保险研究[J].保险研究,2014,3:62-68.
Wang J G.A study on the weather index-based aquaculture insurance[J].Insurance Studies,2014,3:62-68.(in Chinese)
- [15] 李亚琦,韩兴勇,岳宗胜.海水养殖风力指数保险设计及费率厘定研究:以广东省为例[J].海洋经济,2016,6(3):3-9.
Li Y Q,Han X Y,Yue Z S.On the design of a wind speed index-based mariculture insurance and related premium rating:a case study of Guangdong province[J].Marine Economy,2016,6(3):3-9.(in Chinese)
- [16] 刘静,马力文,张晓煜,等.春小麦干热风灾害监测指标与损失评估模型方法探讨:以宁夏引黄灌区为例[J].应用气象学报,2004,15(2):217-224.
Liu J,Ma L W,Zhang X Y,et al.A method for monitoring dry-hot wind of spring wheat and estimating its yield losses:an example in irrigated areas of Ningxia[J].Quarterly Journal of Applied Meteorology,2004,15(2):217-224.(in Chinese)
- [17] 辜晓青,江国振.河蟹养殖生态、气象影响因子观测研究[J].江西农业学报,2015,(4):88-93.
Gu X Q,Jiang Q Z.Researches on ecological and meteorological factors affecting crab breeding[J].Acta Agriculturae Jiangxi,2015,(4):88-93.(in Chinese)
- [18] 曹雯,武万里,杨太明,等.宁夏枸杞炭疽病害天气指数保险研究[J].干旱气象,2019,37(5):857-865.
Cao W,Wu W L,Yang T M,et al.Study on weather index insurance of colletotrichum gloeosporioides penz of China wolfberry in Ningxi[J].Journal of Arid Meteorology,2019,37(5):857-865.(in Chinese)
- [19] 时冬头,许祥,陈贤明.中华绒螯蟹成蟹生长与主要气象因素的关系[J].江苏农业科学,2013,41(4):226-228.
Shi D T,Xu X,Chen X M.Research progress of effects of temperature on growth and development of shrimp and crab[J].Jiangsu Agricultural Sciences,2013,41(4):226-228.(in Chinese)
- [20] 王晓丽.高温指数型海水养殖保险产品研究:以山东省莱州市海参养殖为例[D].泰州:山东农业大学,2019:50-55.
Wang X L.Research on high temperature index mariculture insurance products:taking the cultivation of sea cucumber in Laizhou city[D].Taizhou:Shandong Agriculture University,2019:50-55.(in Chinese)
- [21] 李青,陈永祥.温度对虾蟹生长发育影响的研究进展[J].江苏农业科学,2019,47(10):26-31.
Li Q,Chen Y X.Research progress of effects of temperature on growth and development of shrimp and crab[J].Jiangsu Agricultural Sciences,2019,47(10):26-31.(in Chinese)
- [22] 黄永平,刘可群,苏荣瑞,等.淡水养殖水体溶解氧含量诊断及浮头泛塘气象预报[J].长江流域资源与环境,2014,23(5):638-643.
Huang Y P,Liu K Q,Su R R,et al.Meteorological influencing elements of dissolved oxygen concentration in fish ponds and new models to forecast fish floating head[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2014,23(5):638-643.(in Chinese)