

即墨市对虾养殖适宜性区划

宋丙欣¹ 张丽娟²

(1 即墨市气象局, 即墨 266200;

2 哈尔滨师范大学黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 哈尔滨 150025)

摘要: 基于山东省即墨市1961—2012年气温、降水、日照、风速等气象资料及地形、土壤、河流等数据, 采用标准化方法、层次分析法、加权综合评价法, 选取对虾养殖评估指标, 结合GIS空间分析技术, 对山东省即墨市对虾养殖的适宜性进行区划。结果表明: 即墨市对虾陆地养殖最适宜区主要分布在王村中心社区南部、温泉街道大部、鳌山卫街道北部、田横岛省级旅游度假区中部及金口中心社区局部, 面积大约占养殖区总面积的34.20%; 适宜区较大, 主要分布在金口中心社区、丰城中心社区、鳌山卫街道等, 占总面积的48.23%; 一般适宜区较小, 金口中心社区及丰城中心社区北部、鳌山卫街道东南部有小面积分布, 仅占17.57%。总体表现为距海近、地势低平及气候适宜性较好的地区对虾养殖适宜性高。

关键词: 对虾养殖, 气候适宜性, 区划

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.04.008

Climate Suitability Zoning for Shrimp Farming in Jimo City

Song Bingxin¹, Zhang Lijuan²

(1 Jimo Meteorology Office, Jimo 266200 2 Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, Harbin Normal University, Harbin 150025)

Abstract: Based on meteorological data (temperature, precipitation, sunshine, wind) during the period from 1961 to 2012, the terrain, soil, rivers, and so on in Jimo City, Shandong Province, it was zoned in Jimo City for the suitability of shrimp farming by using standardized method, weighting comprehensive evaluation method, selecting indexes of shrimp farming suitability and combined with the GIS spatial analysis technology. Results show that the most suitable areas are mainly located in the southern Wangcun Center Community, the most parts in the Wenquan street, the northern Aoshanwei street, the central of Tianheng provincial tourism resort in Jimo land shrimp farming areas, accounting to 37.35% of the total area farmed. The suitable areas are larger, mainly located in Jinkou Center Community, Fengcheng Center Community, Aoshanwei street, and some small areas in other towns, accounting upto 48.25% of the total areas farmed. The generally suitable areas are less, including the northern Jinkou and Fengcheng Center Community, and a small area in the southeastern Aoshanwei street, accounting only 14.40%. In overall, the high suitable areas are nearby the sea, low-lying and better climatic suitable regions, the climatic suitable areas for the ocean farming are nearby the ocean.

Keywords: shrimp farming, climate suitability, Zoning

0 引言

随着全球经济的发展和人民生活水平的普遍提高, 世界市场对水产品消费的需求日益旺盛, 20世纪80年代末, “养虾热”席卷全球^[1]。对虾养殖过程受气候、水文、地理等环境因素影响强烈, 特别是气候, 更是对虾养殖不可忽视的重要因素^[2]。不过, 已有研究主要集中在对虾养殖技术^[3-5]、养虾池的设计^[6-7]、对虾养殖的疾病防治^[8-10]、虾苗育种^[11-13]等方面, 只有较少的学者^[14-17]对气候因子对对虾养殖影响进行研究。

由于气象条件对对虾养殖影响较大, 常因气象条件不适宜而造成重大经济损失^[17], 因此, 开展对虾养殖适宜性区划的研究具有重要意义。而目前, 尚未有针对水产品进行适宜性区划的研究。山东省即墨市港湾中有适于对虾养殖的水面约1300hm², 有6个沿海乡镇都有对虾养殖, 对虾养殖业是即墨市海水养殖的支柱产业之一。本文选择山东省即墨市为研究区, 选择影响对虾养殖的关键气候因子, 并结合地形、土壤等自然要素, 对即墨市对虾养殖区域进行适宜性区划, 为开展水产品养殖适宜性区划提供尝试性研究案例。

1 资料来源

区划中涉及的即墨市1961—2012年温度、降水、日照、风速等气象要素, 来自于中国气象科学数据

收稿日期: 2014年12月9日; 修回日期: 2015年9月2日
第一作者: 宋丙欣(1977—), Email: long7258@sina.com

共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)；高程数据来自地球科学数据平台 (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>)；坡度由高程数据提取；土壤资料数据为土壤质地和腐殖质层厚度，数据均来自于山东省气象局；土地利用数据、河流矢量数据来自地球系统科学数据共享平台 (www.geodata.cn)。

2 研究方法

2.1 因子标准化

由于所选气象因子的量纲不同，进行计算时需要对其进行标准化。对于因子与结果成正比关系的采用极大值标准化，成反比关系的采用极差标准化。其表达式为：

$$\text{极大值标准化: } X'_i = \frac{X_i}{X_{\max}} \quad (1)$$

$$\text{极差标准化: } X'_i = \frac{|X_i - X_{\max}|}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中， X'_i 为去量纲后的第*i*项指标； X_i 为第*i*项指标； X_{\min} 、 X_{\max} 分别为该指标的最小值和最大值。

2.2 层次分析法

层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 是一种定量与定性相结合的决策分析方法，将复杂问题分解为若干层次及若干因素，在各因素之间进行简单的比较和计算，构建判断矩阵，经过一致性检验后，得出不同要素的重要性程度的权重，为最佳方案的选择提供依据。

以本文中对虾养殖适宜性综合区划为例，将气象、地形、土壤及水源各指标因子成对进行简单比较，构建判断矩阵 (表1)，其一致性指标 $CI=0.0040$ ， $CR=0.0039 < 0.1$ ，通过一致性检验。

表1 敏感性各指标判断矩阵

Table1 The matrix of comparison among sensitivity factors

A	C1	C2	C3	C4
C1	1	2	3	3
C2	1/2	1	2	2
C3	1/3	1/2	1	1
C4	1/3	1/2	1	1

注：A为对虾养殖适宜性，C1、C2、C3、C4分别为水源因子、气象因子、地形因子、土壤因子。

2.3 加权综合评价法

对虾养殖风险由气候、地形、土壤、水源四个主要因子构成。每个因子又由一系列子因子组成。其表达式为：

适宜性区划指数= f (气候区划因子、地形区划因子、土壤区划因子、水源因子) (3)

气候区划因子、地形区划因子、土壤区划因子、

水源因子及综合适宜性指数的表达式为：

$$C = \sum_{i=1}^m C_i W_i \quad (4)$$

式中， C 为适宜性指数， C_i 为各区划因子 ($C_i \geq 0$)， W_i 为因子*i*的权重值 ($0 \leq W_i \leq 1$)， m 是评价因子个数。

如此，对虾养殖综合适宜性区划的计算公式为：

$$\text{综合适宜性指数} = C_1 \times W_1 + C_2 \times W_2 + C_3 \times W_3 + C_4 \times W_4 \quad (5)$$

式中， C_1 为气候区划因子， C_2 为地形区划因子， C_3 为土壤区划因子， C_4 为水源因子； W_1 为气候区划因子权重， W_2 为地形区划因子权重， W_3 为土壤区划因子权重， W_4 为水源因子权重。

2.4 ArcGIS 空间分析

本文涉及的空间分析方法包括Kriging插值、空间栅格计算、坡度提取等，栅格分辨率为90m×90m。

3 结果与分析

3.1 即墨市对虾可养殖时段

由于不同种类的对虾对水温的适应能力不同，本文通过实地考察收集资料及查阅文献^[17-18]，综合得出即墨市不同虾种适宜生长的水温条件，水温稳定通过20℃ (南美白对虾)、16℃ (中国对虾)、18℃ (斑节对虾)以上时为可养殖期^[18]，即墨市对虾品种主要以南美白对虾和中国对虾为主。由于本文缺乏即墨市养虾场的水温实测资料，因此参考以往研究成果^[14]。宋丽莉^[14]根据山东省乳山县对虾养殖场的池水要素资料及气温资料，对比即墨市养虾场气象站的水温观测资料，用逐步回归方法建立日平均气温与日平均水温的关系，得到对虾养殖期各月回归方程 (式6~10)。由于乳山县与即墨市距离较近、气候相似，且对比了两市的实测温度资料，与即墨市实际情况相符。

$$Y_6 = 3.22 + 0.94\bar{T} \quad (6)$$

$$Y_7 = 3.85 + 0.42T_{\max} + 0.48\bar{T} \quad (7)$$

$$Y_8 = 1.53 + 1.02\bar{T} \quad (8)$$

$$Y_9 = 0.72 + 0.52T_{\max} + 0.47\bar{T} \quad (9)$$

$$Y_{10} = 5.56 + 0.79\bar{T} \quad (10)$$

式中， Y 为日平均池水温度，下标表示月份； \bar{T} 为日平均气温； T_{\max} 为日最高气温；公式通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

水温20℃、16℃、18℃时，月份为4、5、10月，由式 (6) (4、5月气温方程参照6月)和式 (10) 计算得出对应气温约17.9℃、13.6℃、15.7℃及23.1℃、16.7℃、19.9℃。利用即墨市1961—2012年的资料，分别查出各年份日平均气温稳定通过以上温度的初日

及终日，即为不同虾类的放苗、收获日期和可养殖时间等情况（表2）。

表2 不同虾类的放苗、收获日期和可养殖时间
Table 2 The date of breeding, harvest and farming duration for different kinds of shrimps

	放苗			收获			养殖时间/d
	最早	最迟	平均	最早	最迟	平均	
南美白虾	5月1日	5月9日	5月5日	9月29日	10月7日	10月3日	144~160
中国对虾	4月16日	4月24日	4月20日	10月30日	11月4日	11月1日	190~203
斑节对虾	4月22日	4月30日	4月26日	10月13日	10月20日	10月16日	167~182

3.2 对虾养殖适宜性区划评估指标

3.2.1 气象因子区划指标

1) 温度灾害因子

考虑到灾害因子较为宏观，因此综合不同虾类生存适宜水温范围，将即墨市对虾适宜温度范围界定为16~35℃，并考虑池水温度11℃为最佳收虾温度，低于此温度，对对虾收获不利。因此分别选择4月下旬—9月水温≤16℃日数、10月水温≤11℃日数（低温日数）及4月下旬—10月水温≥35℃日数（高温日数）作为影响对虾生长的温度灾害因子。根据对虾生长发育的水温界限，代入式（6）~（10），反推出气温界限，得出各月气温值，并统计其分布日数，即为温度灾害因子，其日数越多，对对虾生长越不利，因此采用极差标准化方法对此因子进行标准化。

2) 日照灾害因子

日照是对虾养殖中不可缺少的气象因子之一。对虾是节肢甲壳动物，甲壳的形成与生长以及周期性蜕皮是依赖日照提供的能量来完成的，同时日光的照射还有助于虾体的消毒，以及虾塘中各种微生物、浮游生物进行光合作用^[16]。根据实际观测资料显示，5d或以上的无日照天气就可诱发虾病的爆发或流行。本文选取4月下旬—10月5d以上连阴天日数作为日照灾害因子，采用极差标准化方法进行标准化。

3) 风力因子

风对对虾的影响有利有弊，中级风和大风对对虾生长的影响较大。风带来的波浪会增加虾塘的溶氧量。一般2级以下的风对对虾塘影响较小，3~5级的风使海水和空气充分的交融，有利于溶氧量的增多，虾农称其为天然增氧机。但6级或以上的风会产生负面影响，虽然其增氧效果稍好，但较大的风速会搅乱虾塘水体的垂直结构，使塘底的杂质或毒素向上传送，从而危害到对虾的生存。本文选取对虾生育期风力在3~5级（极大值标准化）及6级（极差标准化）以上的日数作为对对虾养殖的风力因子。

4) 暴雨灾害因子

影响对虾生长的重要气象因子还包括降水。由于降雨直接影响露天养虾池水体的盐度、温度和水质（降雨冲刷塘坝使水变质变浊），但是实际观测资料显示，一般的小雨、中雨甚至大雨对虾塘水体的影响都不明显，但一天内降雨量达到100mm或以上的大暴雨，或连续2d以上的暴雨天气对对虾养殖有明显的不良影响。因此，本文采用对虾生育期内的暴雨日数作为暴雨灾害因子，并对其进行极差标准化。

将影响对虾生长的主要气象因子标准化后按等权重相加，得到对虾养殖气象因子适宜性区划，其值越高，越适宜对虾生长，因此采用拉伸方法，相对高值区为最适宜区，相对低值区为一般适宜区（图1）。

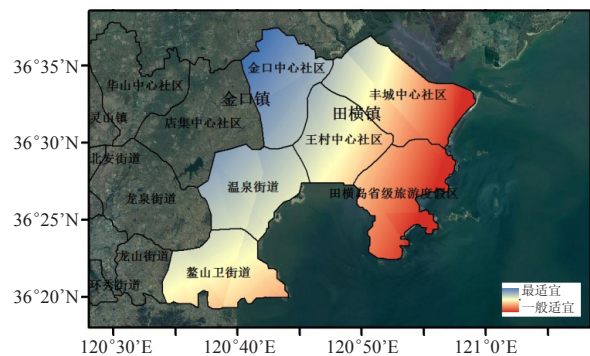


图1 山东省即墨市对虾养殖气象因子适宜性区划
Fig. 1 The suitability zoning for shrimp farming in Jimo based upon meteorological factors

在气象因子适宜性方面，即墨市养殖区呈现由西部向东部逐渐递减的趋势，金口镇金口中心社区、温泉街道及田横镇西部适宜性最好，其次为田横镇西北部及鳌山卫街道，田横岛省级旅游度假区及丰城中心社区东部适宜性稍差。

3.2.2 地形因子区划指标

养殖场是生产对虾的主要场所，海拔和坡度作为重要的地形因子，对对虾养殖场的建设有着重要的影响，一般适宜在海拔较低、坡度较小、地势平坦的地区，根据即墨市海拔和坡度实际情况，将海拔、坡度分级，并赋予分值（表3）。将影响对虾生长的主要地形因子等权重相加，得到对虾养殖地形因子适宜性区划（图2）。

在地形因子适宜性方面，即墨市养殖区大部分地

表3 地形因子分级及分值
Table 3 The grade and score of terrain factor

分值	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
海拔高度	0~15m	15~50m	50~100m	100~150m	150~200m	>200m
坡度	0~1°	1~5°	5~10°	10~15°	15~20°	>20°
腐殖质厚度	0cm	0~3cm	3~5cm	5~10cm	10~15cm	>15cm

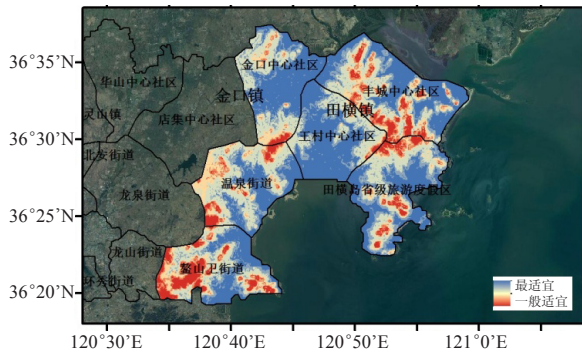


图2 同图1, 但为地形因子
Fig. 2 Same as Fig. 1, but for terrain factor

区对虾养殖适宜性较好, 只有即墨市东北部由黄山、围子山及笔架山组成的山区, 田横岛省级旅游度假区南部的马山、金口镇与温泉街道接壤处的四舍山及鳌山卫街道西部的鹤山等地, 由于地形原因不适宜养虾池的建设, 对虾养殖适宜性较低。

3.2.3 土壤因子区划指标

土壤质地是根据土壤的颗粒组成划分的土壤类型。土壤质地一般分为砂土、壤土和黏土三类, 是土壤物理性质之一, 由于不同质地的土壤养分、透水性和土壤理化性质不同, 因而不同土壤质地对对虾的生长发育有一定的影响。池底土以黏土带腐殖质为最好, 不宜使用砂质底。根据即墨市土壤质地的实际情况, 对土壤质地进行综合评分(表4)。将影响对虾生长的主要土壤因子等权重相加, 得到对虾养殖土壤因子适宜性区划(图3)。

表4 山东省即墨市对虾养殖土壤质地综合评分
Table 4 Soil texture composite score for shrimp farming in Jimo

土壤质地	综合评分	土壤质地	综合评分
黏土	1.0	壤土	0.6
粉黏土	0.9	粉砂壤土	0.5
黏壤土	0.8	砂壤土	0.4
砂质黏壤土	0.7	壤质砂土	0.3

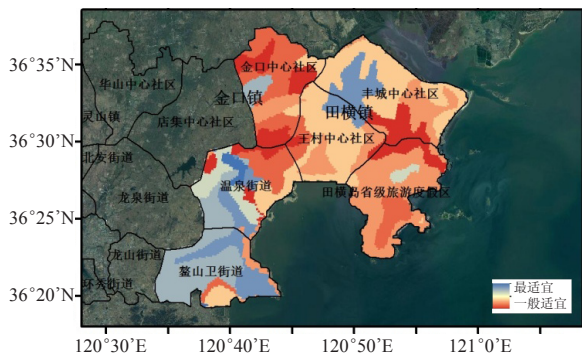


图3 同图1, 但为土壤因子
Fig. 3 Same as Fig. 1, but for soil factor

在土壤因子适宜性方面, 即墨市养殖区对虾养殖适宜性较好, 但即墨市东部丰城中心社区与田横岛旅游度假区接壤的山区、金口镇金口中心社区等地对虾养殖适宜性较低。

3.2.4 水源因子区划指标

由于对虾的特殊性, 它既可以在海水中养殖, 也可以在咸淡水中养殖, 经过人工淡化苗种后, 又可以在纯淡水中养殖。因此养殖场所应水源充足, 排水方便, 能自灌自排, 水质清新良好。将距河距离和距海距离进行极差标准化后按等权重相加, 得到即墨市对虾养殖河流因子适宜性区划(图4)。

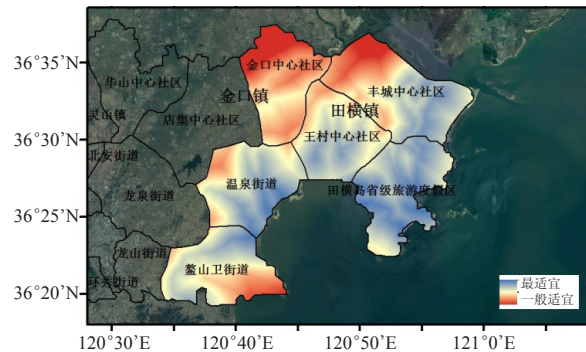


图4 同图1, 但为水源因子
Fig. 4 Same as Fig. 1, but for water factor

即墨市养殖区内水源因子适宜性呈现南部高于北部的趋势, 温泉街道、田横岛省级旅游度假区、田横镇王村中心社区南部、丰城中心社区东部及鳌山卫街道北部河流密集, 距海较近, 适宜性较好。

3.3 山东省即墨市对虾养殖适宜性区划结果

综合考虑气象、地形、土壤、水源四大因子的区划基础上, 并优先考虑水源的作用, 利用层次分析方法分别赋予气象、地形、土壤、水源四大因子的权重为0.263、0.141、0.141、0.455, 通过加权综合评价法计算, 将计算结果进行自然分级, 即通过计算每类的方差, 再计算这些方差之和, 其值最小的就是最优的分类结果(表5), 最终得到山东省即墨市对虾养殖适宜性区划结果(图5)。

综合来看, 山东省即墨市对虾养殖适宜性北部大于南部、距海近的地区大于距海远的地区、地势低平的地区大于山区。最适宜区主要分布在东南部沿海, 包括温泉街道东南部大部、鳌山卫街道北部、田横镇王村中心社区、田横岛省级旅游度假区中部地区,

表5 区划结果分级
Table 5 The classification of the zoning result

分区	一般适宜区	适宜区	最适宜区
分级	0.475~0.645	0.645~0.733	0.733~0.884

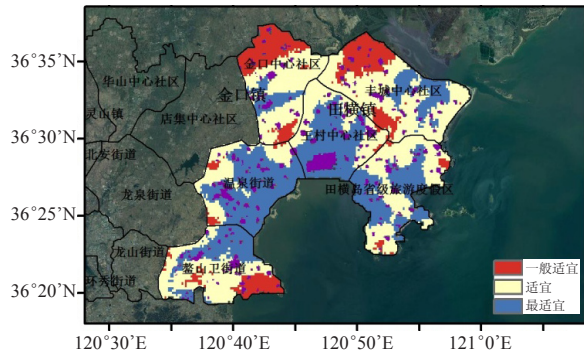


图5 山东省即墨市对虾养殖适宜性区划结果

Fig. 5 Results of the suitability zoning in Jimo for shrimp farming

占沿海养殖区总面积的34.20%，面积约为24.23km²；适宜区较大，分布在最适宜区外围，主要分布在金口中心社区、丰城中心社区、鳌山卫街道等，其他乡镇也有零星分布，占总面积的48.23%，面积约为34.16km²；一般适宜区较少，主要分布在金口镇金口中心社区北部及南部四舍山地区、田横镇丰城中心社区北部小部及西南部黄山等地区以及鳌山卫街道东南部，占沿海养殖区总面积的17.57%，面积约为12.45km²。

3.4 山东省即墨市对虾养殖适宜性区划结果检验

为了验证本文区划结果准确性，采用实地考察对即墨市对虾养殖区划结果进行检验，如图6。图中绿色圆点为7个实地养殖对虾集中区域，对比表明，7个对虾养殖集中区全部分布在本文区划成果中的最适宜区及适宜区，说明本文区划结果与实际情况吻合较好。

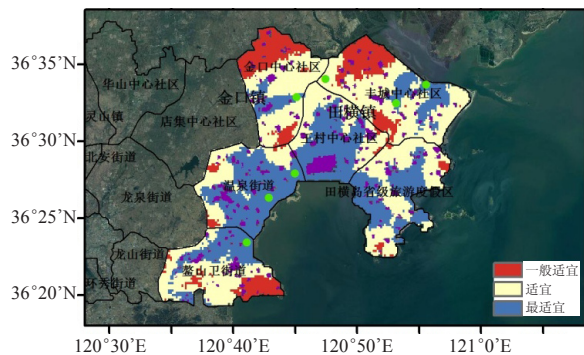


图6 山东省即墨市对虾养殖适宜性区划结果检验

Fig. 6 Test of the zoning results for shrimp farming suitability in Jimo

4 结论与讨论

1) 本文采用标准化方法及加权综合评价法，选择对对虾生长影响较大的气温、降水、日照、风速等气象要素，对山东省即墨市陆地及沿海对虾养殖区进行区划。主要将区划结果分为最适宜区、适宜区及一

般适宜区。其中，地势低平的沿海区域为对虾养殖最适宜区，主要有田横镇王村中心社区南部、温泉街道大部、鳌山卫街道北部、田横岛省级旅游度假区中部及金口镇金口中心社区部分地区，面积大约占养殖区总面积的34.20%；适宜区较大，分布在最适宜区外围，各个乡镇均有较大面积分布，占48.23%；一般适宜区较小，金口及丰城中心社区北部、鳌山卫街道东南部有小面积分布。近海养殖区养殖对虾适宜性呈现由距海岸近的区域向距海岸远的区域逐渐递减的趋势。

2) 由于影响对虾养殖的因子众多，但能够获取的资料有限，本文只选取了气象、地形、土壤、水源等具有代表性且易于获得的指标进行分析，其他因子如水质、地方经济状况、环境污染状况、养殖人员专业素质等因素并未考虑在内，可能会导致区划结果的不确定性。

3) 由于即墨市气象站点稀疏，不能准确体现对虾养殖区的气候状况，本文利用Kriging插值法，将温度、日照、大风及降水等气象因子插值为覆盖即墨市对虾养殖区的栅格数据，其结果可能导致一定的误差，对区划结果产生一定的影响，将在以后的研究中逐渐完善资料。

参考文献

- [1] 余云军. 对虾养殖业的可持续发展研究. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [2] 郑进春. 根据气候状况安排对虾养殖生产. 河北渔业, 2007(05): 25.
- [3] 单洪伟. 底质改良及固定化微生物技术对对虾养殖环境的调控. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [4] 罗亮, 张家松, 李卓佳. 生物絮团技术特点及其在对虾养殖中的应用. 水生生态学杂志, 2011, 32(5): 129-133.
- [5] 黄永春, 林祥日, 蔡葆青, 等. 凡纳滨对虾高位池反季节健康养殖技术的研究. 中国农学通报, 2012, 28(17): 154-159.
- [6] 常济民, 曲广平, 张庆文, 等. 潮间带潜堤网栏养虾设施的设计. 水产学报, 1990, 14(1): 25-32.
- [7] 朱林, 车轩, 刘晃, 等. 气浮机对高位池养虾水质的调控效果. 农业工程学报, 2014, 30(3): 149-154.
- [8] 刘双印, 徐龙琴, 李道亮, 等. 基于物联网的南美白对虾疾病远程智能诊断系统. 中国农业大学学报, 2014, 19(2): 189-195.
- [9] 王芸, 李健, 陈萍, 等. 复方中草药对凡纳滨对虾生长及非特异性免疫功能的影响. 中国农学通报, 2012, 28(29): 109-114.
- [10] 李光, 樊景凤, 林凤翔, 等. 对虾的免疫机制及其疾病免疫预防的研究进展. 水产科学, 2007, 6(1): 56-60.
- [11] 李琴, 孙成波, 陈美领, 等. 湛江东海岛对虾育苗场水体细菌的抗生素耐药性. 热带生物学报, 2014, 5(1): 8-14.
- [12] 王慧. 稳定性二氧化氯改善斑节对虾育苗水环境效果的试验. 水产科学, 2008(5): 247-250.
- [13] 屈锐. 凡纳滨对虾育苗和养成水质的变化以及盐度对肌肉品质的影响. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [14] 宋丽莉. 影响对虾养殖的主要气象因子初探. 气象, 1988, 14(7): 46-48.
- [15] 杨爱琴, 陈曙. 水产养殖中几个气象影响因子研究. 科技资讯, 2011(28): 151-152.
- [16] 农成万, 张幸, 李斌喜, 等. 钦州对虾养殖灾害性天气分析和气象服务要领. 气象研究与应用, 2013, 34(1): 60-63.
- [17] 任健, 商兆堂, 蒋名淑. 江苏沿海对虾类养殖现状及气候适宜性分析. 安徽农业科学, 2008, 36(25): 10910-10915.
- [18] 占家智, 羊茜. 对虾高效养殖技术. 北京: 化学工业出版社, 2013.