Hans Journal of Agricultural Sciences 农业科学, 2020, 10(12), 982-996
Published Online December 2020 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/hjas
https://doi.org/10.12677/hjas.2020.1012149

Hans汉斯

杭州萧山南美白对虾生育期高温灾害时空分布特征

朱永杰，袁淑杰，张　碧，刘若岚

成都信息工程大学大气科学学院，四川　成都
Email: 1023257786@qq.com

收稿日期：2020年11月20日；录用日期：2020年12月2日；发布日期：2020年12月9日

摘　要

本文采用杭州萧山区21个区域自动站建站至2020年6月逐时平均气温资料，利用Python进行数据筛选和绘图，ArcGis进行空间插值分析。对21个站点在南美白对虾生育期的高温轻、中、重度灾害进行时间和空间分布特征分析。选取了21个站点中的两个典型区域自动站：对虾基地站(白对虾集中养殖区)和十七工段站(建站时间最长的站点)，分析这两个站点进行高温轻、中、重度灾害年和日的变化特征。综合分析得到以下几点主要结论：1) 高温轻度灾害仅发生在5~9月，轻度灾害集中发生在7、8月份；高温中度灾害仅发生在5~8月，中度灾害集中发生在7、8月份；高温重度灾害仅发生在7~8月。2) 从空间分布来看，高温灾害集中出现在离江边较远的中心地区，其中党山村站和南翔村站高温灾害最为严重，靠近江边站点高温灾害发生次数明显偏少，其中临江海港站高温灾害最轻。3) 对虾基地站高温轻度灾害仅出现在一天中09:00~20:00时段，灾害集中出现在正午至傍晚时段，灾害发生次数随时间总体呈先增后减单峰分布特点，峰值出现在14:00~15:00时段，对应多年平均年总灾害次数达14.50次。高温中度灾害仅出现在一天中的10:00~19:00时段，灾害集中分布在午后至傍晚时段，其中13:00~14:00时段高温中度灾害发生次数最多，对应多年平均年总灾害次数达8.83次。高温重度灾害仅出现在一天中的12:00~18:00时段，灾害发生次数随时间呈先增后减单峰分布特点，峰值出现在15:00~16:00时段，对应多年平均年总灾害次数达4.17次。4) 十七工段站站高温轻、中、重度灾害多年平均年总灾害次数随时间分布均呈先增后减的单峰分布特点，峰值均出现在14:00~15:00时段，对应值分别为16.94、8.22和1.72次。十七工段站高温轻度灾害仅出现在一天中的08:00~19:00时段，灾害集中发生在11:00~17:00时段。高温中度灾害仅出现在一天中的09:00~19:00时段，灾害集中发生在12:00~17:00时段。高温重度灾害仅出现在一天中的11:00~18:00时段，灾害集中发生在13:00~16:00之间。

关键词

杭州萧山，南美白对虾，高温灾害，时空分布

文章引用: 朱永杰, 袁淑杰, 张碧, 刘若岚. 杭州萧山南美白对虾生育期高温灾害时空分布特征[J]. 农业科学, 2020, 10(12): 982-996. DOI: 10.12677/hjas.2020.1012149

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of High Temperature Disasters during Growth Period of *Penaeus vannamei* in Xiaoshan, Hangzhou

Yongjie Zhu, Shujie Yuan, Bi Zhang, Ruolan Liu

Atmospheric Science College, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 1023257786@qq.com

Received: Nov. 20th, 2020; accepted: Dec. 2nd, 2020; published: Dec. 9th, 2020

Abstract

This paper uses the hourly average temperature data from 21 regional automatic stations in Xiaoshan District, Hangzhou until June 2020, uses Python for data screening and mapping, and ArcGis for spatial interpolation analysis. The temporal and spatial distribution characteristics of light, moderate and severe high temperature disasters during the growth period of *P. vannamei* at 21 sites were analyzed. Two typical regional automatic stations out of 21 stations were selected: the shrimp base station (white prawn intensive breeding area) and the seventeen working section station (the station with the longest construction time), and these two stations were analyzed for light, moderate and severe high temperature change characteristics of disaster year and day. Comprehensive analysis has obtained the following main conclusions: 1) High temperature and mild disasters only occur from May to September, and mild disasters mainly occur in July and August; high temperature and moderate disasters only occur from May to August, and moderate disasters mainly occur in July and August; severe disasters only occur from July to August. 2) From the perspective of spatial distribution, high temperature disasters are concentrated in central areas far away from the river. Among them, Dangshancun Station and Nanxiangcun Station have the most serious high temperature disasters, and the number of high temperature disasters near the riverside station is obviously less. The high temperature disaster at Linjiang Seaport Station is the least. 3) High temperature and mild disasters at shrimp base station only occur during the day from 09:00 to 20:00. Disasters are concentrated from noon to evening. The number of disasters generally increases with time and then decreases with a single peak distribution. The peak occurs at 14:00~15:00, corresponding to the multi-year average annual total number of disasters up to 14.50 times. High temperature and moderate disasters only occur in the day from 10:00 to 19:00, and the disasters are concentrated in the afternoon to evening. Among them, the number of high temperature and moderate disasters occurs most frequently during the period from 13:00 to 14:00, corresponding to the average annual total number of 8.83 disasters. Severe high-temperature disasters only occur during the period of 12:00~18:00 during the day. The number of disasters first increases and then decreases with time. The peak value appears in the period of 15:00~16:00, corresponding to the multi-year average annual total. The number of disasters reached 4.17. 4) The multi-year average annual total number of disasters of light, moderate and severe high temperature disasters in the seventeen section of the station showed a single peak distribution with time. The peaks all appeared in the period of 14:00~15:00, and the corresponding values were respectively 16.94, 8.22 and 1.72 times. The high temperature and mild disasters of the seventeenth station only occur in the day from 08:00 to 19:00, and the disasters occur mainly in the time of 11:00 to 17:00. High temperature and moderate disasters only occur during the day from

09:00 to 19:00, and disasters occur in the period of 12:00~17:00. Severe high-temperature disasters only occur during 11:00~18:00 of the day, and disasters mainly occur between 13:00~16:00.

Keywords

Xiaoshan, Hangzhou, *Penaeus vannamei*, High Temperature Disaster, Temporal and Spatial Distribution

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

南美白对虾也称为凡纳美对虾。最初产生于美洲太平洋沿岸的水域。因其具有很强的抗压力、低营养需求、生长快、生殖周期短、产量和经济效益高等优势，被广泛养殖在不同的地区。在南美白对虾养殖过程中，其产量受水质、水温、盐度等因子影响。而灾害天气会对这些因子产生不同程度的影响，所以对于南美白对虾养殖期间气象灾害的研究与分析具有一定意义。

关于外界环境对南美白对虾的影响研究，杨群超等[1]通过对南美白对虾养殖期间气象条件的观测与分析，利用统计方法研究建立池塘温度变化特征与水温预报模型，确定平定湖地区放苗期与捕捞期的气温指标以及放苗和捕捞最佳时期。黄凯等[2]在室内不同盐度条件下进行了南美白对虾幼虾饲养试验，就盐度对南美白对虾生长、成活率及生化成分的影响进行了研究。结果表明，盐度对南美白对虾体质量增长率、成活率、饲料系数有显著影响。沈文英等[3]采用双因子交互的方法研究了不同温度和 pH 值对南美白对虾淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活性的影响。刘非等[4]通过对南美白对虾生长期间气象条件的分析，尤其温度对其生长的影响，确定了黄河三角洲地区南美白对虾的最佳放苗期和最佳捕捞期。并分析了台风大风、暴雨连阴雨、高温等灾害性天气对南美白对虾养殖的影响，提出了相应的预防措施。叶键等[5]做了杭州市历年南美白对虾病原检测、疾病流行及分析。王立超等[6]根据浙江省宁海县鸡笼山 2013~2014 年气象资料与温盐特种站资料，利用统计检验结果，结合气象因子与南美白对虾海水养殖直接影响因子(水温、盐度等)的影响关系，根据影响对虾生长发育的关系大小对因子进行权重叠加，得到南美白对虾养殖气象指数。最后利用 2015~2016 年数据进行验证，对养殖气象指数进行修正改进，最终得到南美白对虾养殖气象指数。蔡激扬等[7]做了杭州地区南美白对虾饲养条件初探。Leo J. Fleckenstein 等[8]研究了人工基质和放养密度对南美白对虾生物膜系统性能和水质动态的影响。冯伟业等[9]首次在内蒙古地区利用盐碱水域进行南美白对虾养殖试验，试验的成功为后续利用盐碱水养殖南美白对虾提供了科学依据，进一步为当地盐碱水域渔业开发利用提供了思路。陈昌生等[10]探究了南美白对虾摄食、生长及存活与温度的关系，得出不同水温及水温渐变、突变对南美白对虾的摄食、生长、存活以及胃蛋白酶的活力有一定的影响。

萧山区东部靠近杭州湾，这是华东南美白虾的主要产区。南美白对虾是杭州萧山特色农产品之一，也是农民增收农业增效的主要渠道。2000 年南美白对虾养殖面积达到 300 亩，此后基本逐年递增。2018 年养殖面积达 5.1 万亩，产量高达 17,366 吨，产值 7.92 亿元，占水产养殖总产值的 68%左右。萧山位于浙江省的北部，地处 29˚50'54"N~30˚23'47"N，120˚04'22"E~120˚43'46"E 亚热带季风气候区南缘。夏季平

均气温为25.90℃，易形成高温灾害。南美白对虾产量与气温密切相关，高温灾害天气会造成白对虾明显减产，甚至绝收。

本文结合萧山区轻、中、重三种程度高温灾害的时空分布特征，为萧山区合理利用地形和气候资源，在不利于南美白对虾生长的情况下提前采取措施，建立合理的养殖体系，实现资源的最优配置，减少气象灾害造成的经济损失，增加收入提供一定依据。

2. 资料来源与分析方法

2.1. 资料来源

本文所使用的气象资料来自杭州萧山区气象局，21 个区域自动气象站：十七工段站，外六工段站，外二十工段站，东江闸站，丰乐村站，新围大队站，临江海港站，对虾基地站，舒兰农业站，南翔村站，东沙村站，新北桥社区站，南沙村站，党山村站，龙虎村站，河庄村站，幸福村站，群围村站，长兴村站，益民村站，三联村站从建站开始到2020年6月的逐小时平均气温，根据南美白对虾养殖放苗、出塘时间截取2~11月数据。各自动站在萧山区分布如图1所示。

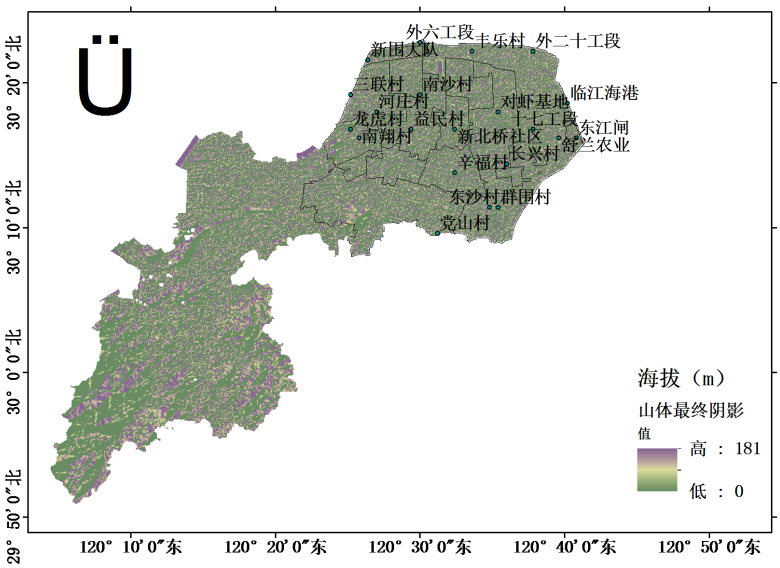


Figure 1. Distribution map of the selected 21 sites
图 1. 选取21个站点分布图

2.2. 白对虾养殖概况

南美白对虾养殖一般一年两茬，分为大棚养殖和外塘养殖两种模式。大棚养殖第一茬放苗时间一般在3月中旬到4月初，5月5到20日出塘，养殖周期为45到56天；第二茬放苗时间一般在6月中旬到7月份初，9月中旬到10月初出塘，养殖周期为3个月左右。外塘养殖即南美白对虾幼苗在外塘露天养殖，第一茬放苗时间一般在3月底到4月中旬，5月20日到6月5日出塘，繁殖周期约为56天。第二次幼苗时间通常是从6月底到7月中旬。9月25日到10月中旬出塘，养殖周期为3到4个月。为了分析高温对南美白对虾的影响，本文研究时段选取2~11月份。

2.3. 分析方法

1) 根据白对虾生长发育情况确定了高温灾害指标如下：

高温轻度灾害：35.0℃ ≤T < 37.0℃

高温中度灾害：37.0℃ ≤T < 39.0℃

高温重度灾害：39.0℃ ≤T

2) 根据南美白对虾的生长周期截取 2~11 月数据，并根据需要对缺测数据进行插值或剔除。

3) 筛选并统计各站从建站到 2020 年 6 月期间月灾害次数(满足灾害指标的一小时数据为一次灾害)以及一天 24 个时段所对应年总灾害次数，然后对上述统计结果求多年平均。

4) 应用反距离权重插值分析各站点灾害空间分布特征，时间分布特征本文选取两个具有代表性特征站点：对虾基地站(白对虾集中养殖区)和十七工段站(建站时间最长的站点)展开分析。

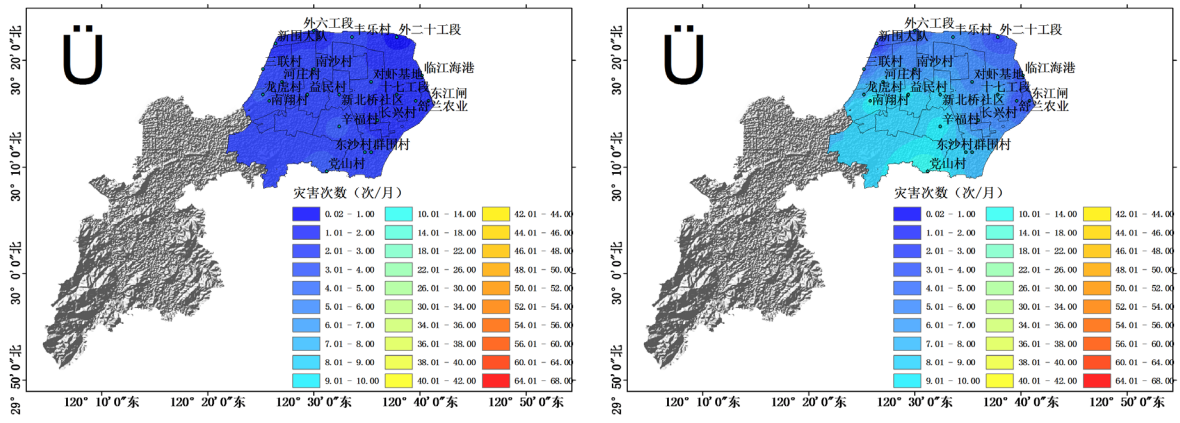
3. 萧山区高温灾害时空分布

利用 21 个区域自动站建站到 2020 年 6 月的逐时平均气温资料，分别研究每月的高温的轻、中、重度灾害在 2020 年 2~11 月的时间变化规律和在 21 个区域自动站的空间分布特征。21 个研究站点为：十七工段站、外六工段站、外二十工段站、东江闸站、丰乐村站、新围大队站、临江海港站、对虾基地站、舒兰农业站、新北桥社区站、南沙村站、党山村站、龙虎村站、幸福村站、河庄村站、群围村站、长兴村站、益民村站、三联村站、南翔村站和东沙村站。色彩覆盖区域为本次研究所选取的地区，灰色部分则为萧山区内本次研究未涉及的地区。

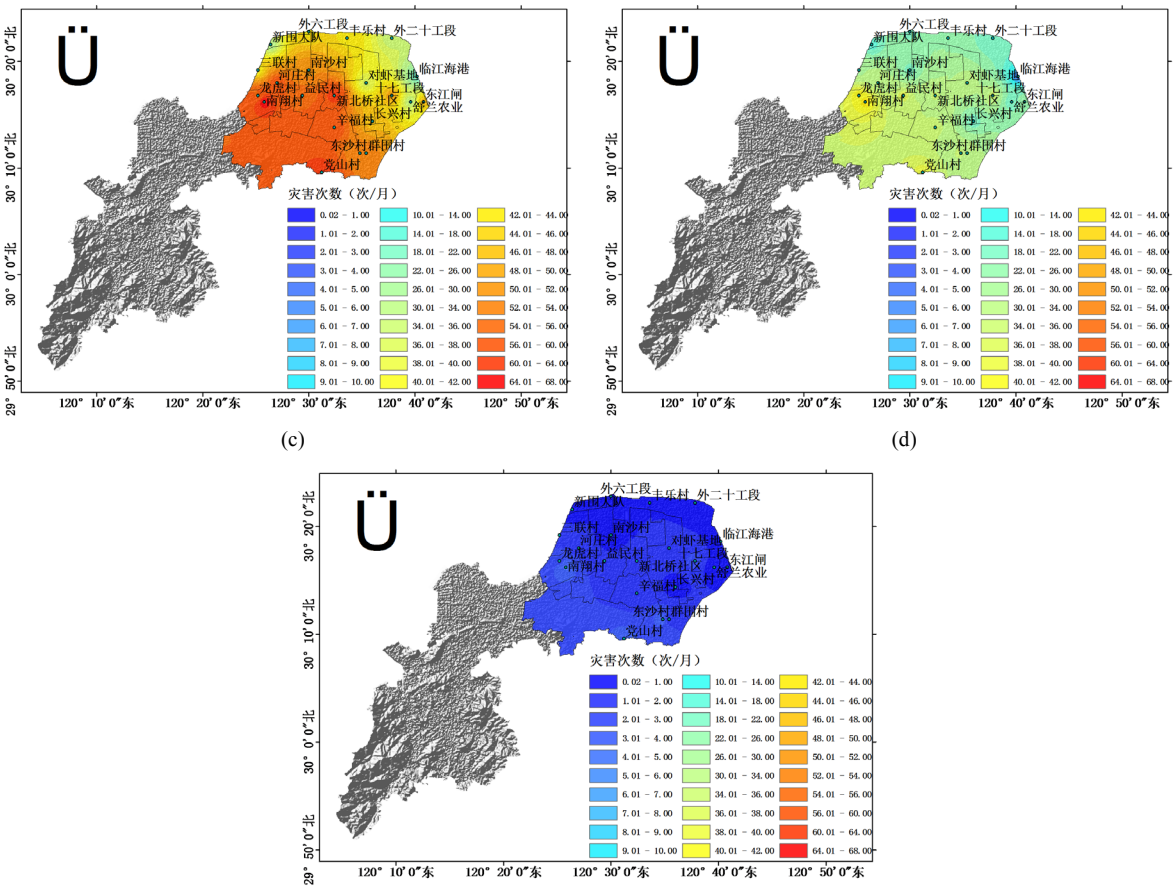
3.1. 萧山区高温轻度灾害时空分布特征

将萧山区 21 个区域自动站建站至 2020 年 6 月高温轻度灾害次数进行分类划分，灾害次数为 4.00 次以下的区域约占总数的 72%，用深蓝色色带表示，灾害次数为 54.00 次以上的约占总数的 4%，用深红色色带表示，其余灾害发生次数用蓝红渐变中间色带表示。

图 2 为萧山区 21 个站点高温轻度灾害空间分布，图 2(a)~(e)分别为 5~9 月高温轻度灾害空间分布，2、3、4、10、11 月份无高温轻度灾害发生。由图 2(a)可见，5 月各站受灾次数在 0.44~3.55 次之间，党山村最为严重(为 3.55 次)，其次为龙虎村站(为 3.45 次)，最小灾害次数发生在外二十工段站(为 0.44 次)。由图 2(b)可见，6 月各站受灾次数在 2.00~11.92 次之间，党山村站最为严重(为 11.92 次)，其次为南翔村站(为 10.67 次)，最小灾害次数发生在新围大队站(为 2.00 次)。由图 2(c)可见，7 月各站受灾次数在 19.14~67.39 次之间，南翔村站最为严重(为 67.39 次)，其次为党山村站(为 63.58 次)，最小灾害次数发生在临江海港站(为 19.14 次)。由图 2(d)可见，8 月各站受灾次数在 4.86~43.33 次之间，南翔村站最为严重(为 43.33 次)，其次为龙虎村站(41.42 次)，最小灾害次数发生在临江海港站(为 4.86 次)。由图 2(e)可见，9 月各站受灾次



(a) (b)



(c) (d)

(e)

Figure 2. Spatial distribution of high temperature and mild disasters in Xiaoshan District. (a) Disaster distribution in May; (b) Disaster distribution in June; (c) Disaster distribution in July; (d) Disaster distribution in August; (e) Disaster distribution in September

图 2. 萧山区高温轻度灾害空间分布。(a) 5 月灾害分布；(b) 6 月灾害分布；(c) 7 月灾害分布；(d) 8 月灾害分布；(e) 9 月灾害分布

数在 0.00~4.17 次之间，南翔村站最为严重(为 4.17 次)，其次为东沙村站(4.00 次)，最小受灾次数发生在舒兰农业站(为 0.00 次)。结合图 2(a)~(e)可见，高温轻度灾害主要发生在 7、8 月份，5、6、9 月份高温轻度灾害发生次数都较少，这三个月各站灾害次数都低于 12.00 次。再从灾害空间分布来看，高温轻度灾害集中出现在离江边较远的中心地区，其中党山村站和南翔村站高温轻度灾害最为严重，靠近江边站点高温轻度灾害发生次数明显偏少，其中临江海港站高温轻度灾害最轻。

3.2. 萧山区高温中度灾害时空分布特征

将萧山区 21 个区域自动站建站至 2020 年 6 月高温中度灾害次数进行分类划分，灾害次数为 0.80 次以下的区域约占总数的 75%，用深蓝色色带表示，灾害次数为 34.00 次以上的约占总数的 1%，用深红色色带表示，其余灾害发生次数用蓝红渐变中间色带表示。

图 3 为萧山区 21 个站点高温中度灾害空间分布图，图 3(a)~(d)分别为 5~8 月高温中度灾害空间分布，2、3、4、9、10、11 月份无高温中度灾害发生。由图 3(a)可见，5 月各站受灾次数在 0.00~0.88 次之间，益民村最为严重(为 0.88 次)，其次为对虾基地站(为 0.86 次)，最小灾害次数发生在新围大队站、外六工段站、临江海港站、东江闸站和三联村站(均为 0.00 次)。由图 3(b)可见，6 月各站受灾次数在 0.00~1.88

次之间，丰乐村站最为严重(为 1.88 次)，其次为党山村站(为 1.83 次)，最小灾害次数发生在新围大队站和临江海港站(均为 0.00 次)。由图 3(c)可见，7 月各站受灾次数在 0.86~37.00 次之间，党山村站最为严重(为 37.00 次)，其次为幸福村站(为 36.00 次)，最小灾害次数发生在临江海港站(为 0.86 次)。由图 3(d)可见，8 月各站受灾次数在 0.00~16.83 次之间，党山村站最为严重(为 16.83 次)，其次为南翔村站(为 15.33 次)最小灾害次数发生在临江海港站(为 0.00 次)。结合图 3(a)~(d)可见，高温中度灾害主要发生在 7、8 月份，5、6 月份高温中度灾害发生次数都极少，这两个月各站灾害次数都低于 2.00 次。再从灾害空间分布来看，高温中度灾害集中出现在离江边较远的中心地区，其中党山村站高温中度灾害最为严重，靠近江边站点高温中度灾害发生次数明显偏少，其中临江海港站高温中度灾害最轻。

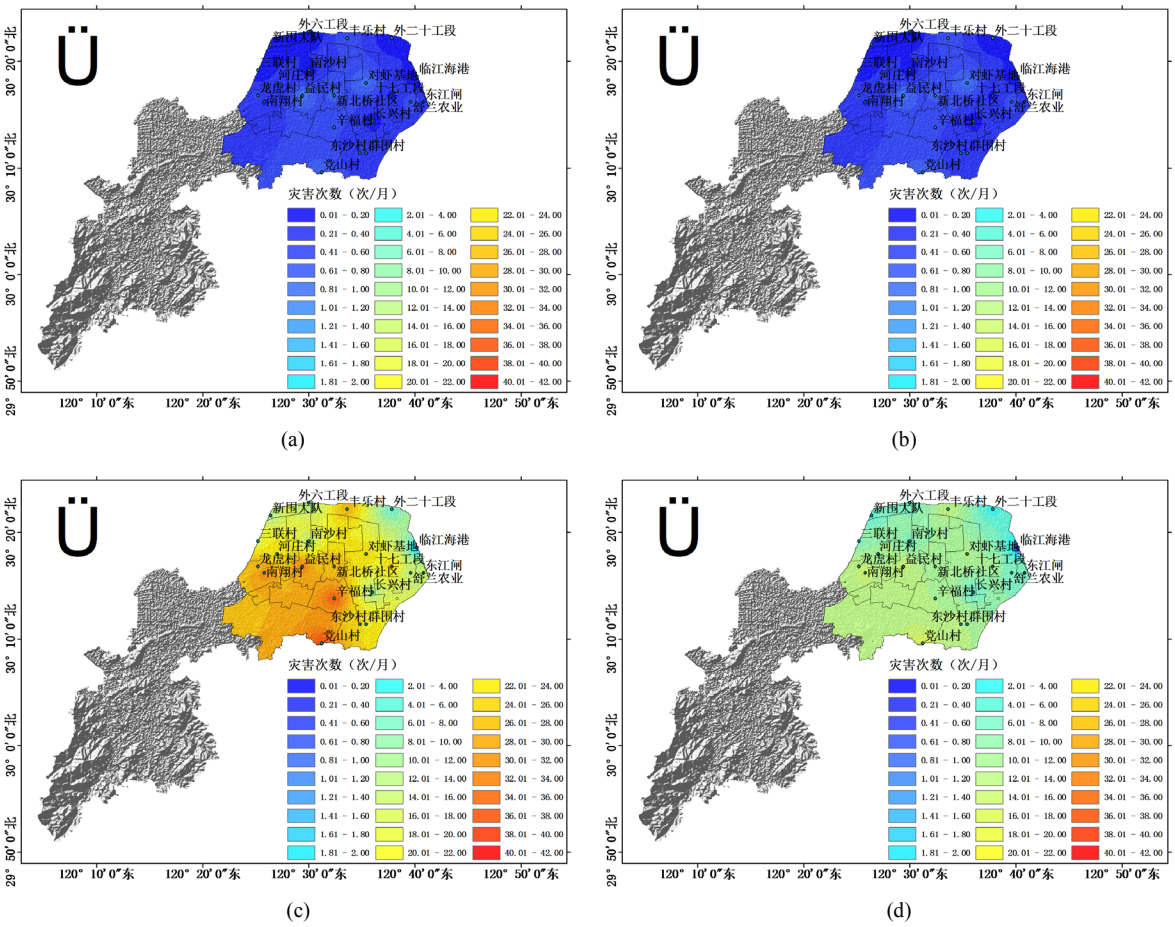


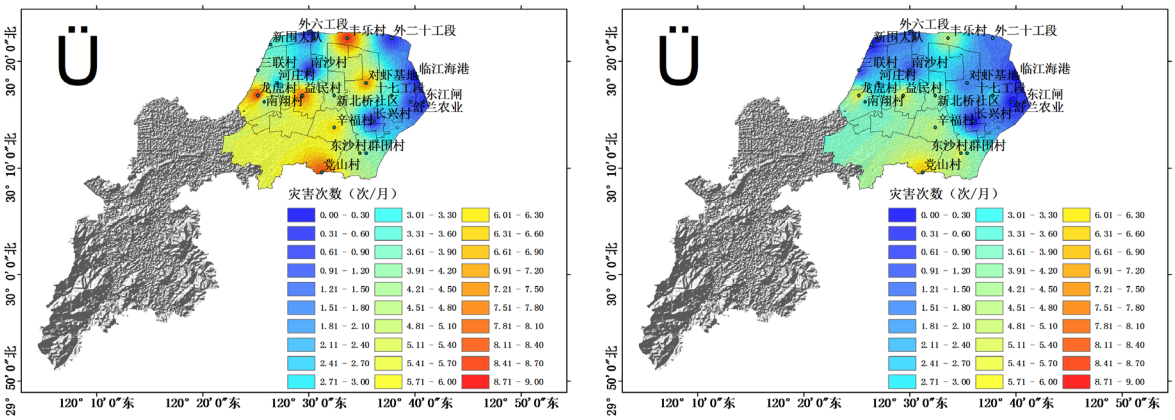
Figure 3. Spatial distribution of high temperature and moderate disasters in Xiaoshan District (a)Disaster distribution in May; (b) Disaster distribution in June; (c) Disaster distribution in July; (d) Disaster distribution in August
图 3. 萧山区高温中度灾害空间分布。(a) 5 月灾害分布；(b) 6 月灾害分布；(c) 7 月灾害分布；(d) 8 月灾害分布

3.3. 萧山区高温重度灾害时空分布特征

将萧山区 21 个区域自动站建站至 2020 年 6 月高温重度灾害次数进行分类划分，灾害次数为 1.20 次以下的区域约占总数的 87%，用深蓝色色带表示，灾害次数为 7.80 次以上的约占总数的 2%，用深红色色带表示，其余灾害发生次数用蓝红渐变中间色带表示。

图 4 为萧山区 21 个站点高温重度灾害空间分布图，图 4(a)、图 4(b)分别为 7~8 月高温重度灾害空间分布，2、3、4、5、6、9、10、11 月份无高温重度灾害发生。由图 4(a)可见，7 月各站受灾次数在 0.00~8.75

次之间，丰乐村站最为严重(为 8.75 次)，其次为龙虎村站(为 8.67 次)，最小灾害次数发生在临江海港站(为 0.00 次)。由图 4(b)可见，8 月各站受灾次数在 0.00~6.67 次之间，党山村站最为严重(为 6.67 次)，其次为龙虎村站(为 8.67 次)，最小灾害次数发生在临江海港站、舒兰农业站和长兴村站(均为 0.00 次)。结合图 4(a)、图 4(b)可见，高温重度灾害集中出现在离江边较远的中心地区，其中党山村站和龙虎村站高温重度灾害最为严重，靠近江边站点高温重度灾害发生次数明显偏少，其中临江海港站从建站至 2020 年 6 月期间无高温重度灾害发生。



(a) (b)

Figure 4. Spatial distribution of high temperature and severe disasters in Xiaoshan District. (a) Disaster distribution in July; (b) Disaster distribution in August

图 4. 萧山区高温中度灾害空间分布。(a) 7 月灾害分布；(b) 8 月灾害分布

4. 对虾基地站、十七工段站高温灾害时间变化规律

利用两个典型区域自动站：对虾基地站(白对虾集中养殖区)和十七工段站(建站时间最长的站点)从建站至 2020 年 6 月的逐时平均气温资料，分别研究对虾基地站和十七工段站高温轻、中、重度灾害随时间的变化规律。

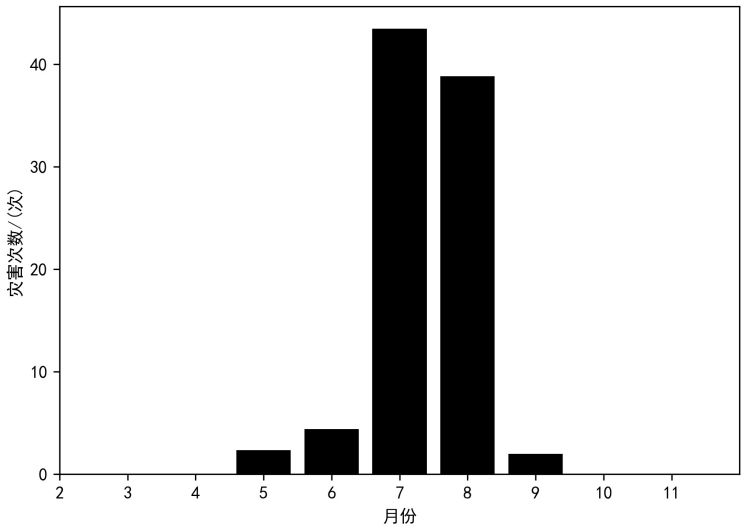
4.1. 对虾基地站高温灾害时间变化规律

利用对虾基地站从建站以来至 2020 年 6 月的逐时平均气温资料，运用数理统计方法计算出逐月的多年平均月灾害次数与一天 24 个时段所对应多年平均年总灾害次数，分析对虾基地站 2~11 月高温轻、中、重度灾害月灾害次数随月份变化规律以及各时段对应年灾害总次数随时段变化规律。

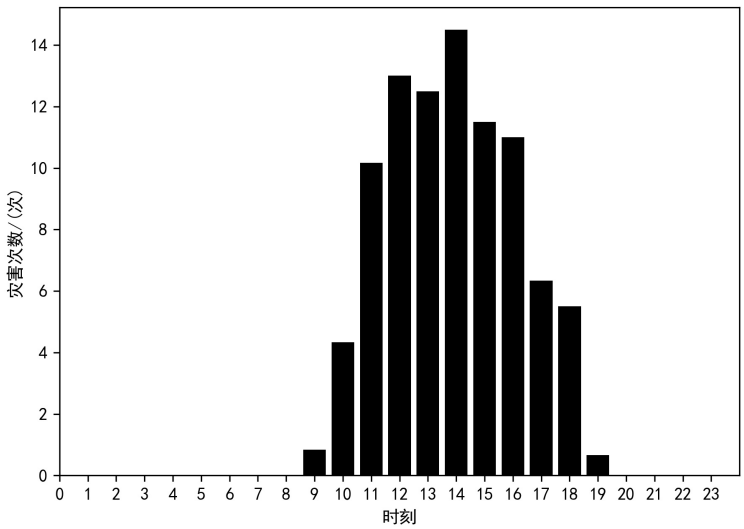
图 5 为对虾基地站高温轻度灾害时间分布图，图 5(a)、图 5(b)分别为高温轻度灾害月灾害次数随月份变化和年总灾害次数日变化图。由图 5(a)可见，对虾基地站高温轻度灾害仅在 5~9 月发生，其余月份均无高温轻度灾害发生。高温轻度灾害集中发生在 7、8 月份，5、6、9 月多年平均月灾害次数都在 5.00 次以下，7 月份高温轻度灾害发生次数最多，多年平均月灾害次数达 43.50 次。由图 5(b)可见，对虾基地站高温轻度灾害仅出现在一天中的 09:00~20:00 这一时段，其余时段均无高温轻度灾害发生。高温轻度灾害集中发生在 11:00~17:00 这一时段，其中 14:00~15:00 时段高温轻度灾害发生次数最多，该时段对应多年平均年总灾害次数达 14.50 次。

图 6 为对虾基地站高温中度灾害时间分布图，图 6(a)、图 6(b)分别为高温中度灾害月灾害次数随月份变化和年总灾害次数日变化图。由图 6(a)可见，对虾基地站高温中度灾害仅在 5~8 月发生，其余月份均无高温中度灾害发生。高温中度灾害集中发生在 7、8 月份，5、6 月多年平均月灾害次数均为 1.00 次，

7 月份高温中度灾害发生次数最多，多年平均月灾害次数达 27.67 次。由图 6(b)可见，对虾基地站高温中度灾害仅出现在一天中的 10:00~19:00 这一时段，其余时段均无高温中度灾害发生。高温中度灾害集中发生在 13:00~17:00 这一时段，其中 13:00~14:00 时段高温中度灾害发生次数最多，该时段对应多年平均年总灾害次数达 8.83 次。



(a)



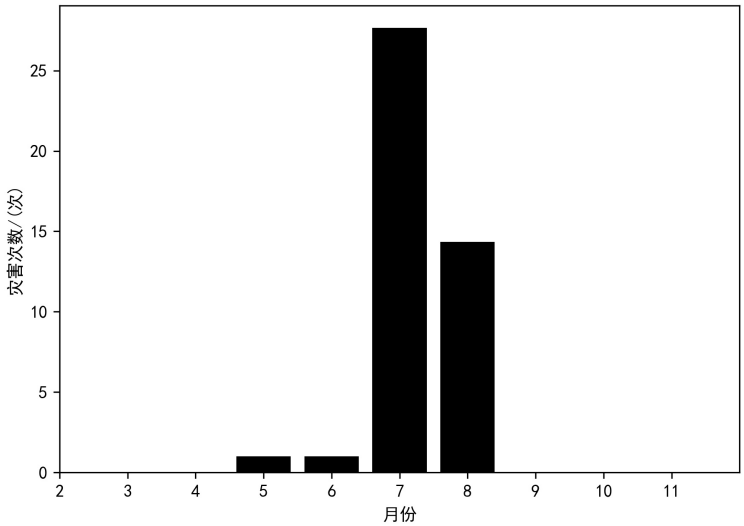
(b)

Figure 5. Time distribution of high temperature and mild disaster in prawn base station. (a) The number of monthly disasters varies by month; (b) Daily change in the total number of disasters per year

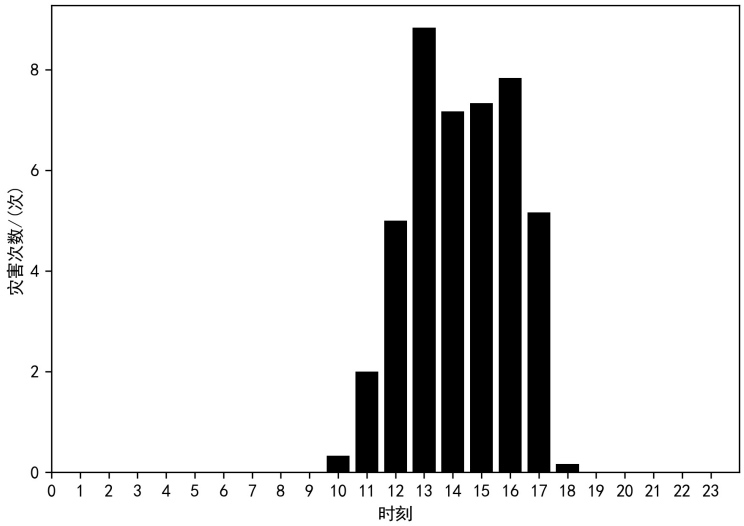
图 5. 对虾基地站高温轻度灾害时间分布。(a) 月灾害次数随月份变化；(b) 年总灾害次数日变化

图 7 为对虾基地站高温重度灾害时间分布图，图 7(a)、图 7(b)分别为高温重度灾害月灾害次数随月份变化和年总灾害次数日变化图。由图 7(a)可见，对虾基地站高温重度灾害仅在 7~8 月发生，其余月份均无高温重度灾害发生。7 月份高温重度灾害发生次数最多，多年平均月灾害次数达 8.50 次。由图 7(b)

可见，对虾基地站高温重度灾害仅出现在一天中的 12:00~18:00 这一时段，其余时段均无高温重度灾害发生。高温重度灾害集中发生在 14:00~16:00 这一时段，其中 15:00~16:00 时段高温重度灾害发生次数最多，该时段对应多年平均年总灾害次数达 4.17 次。



(a)

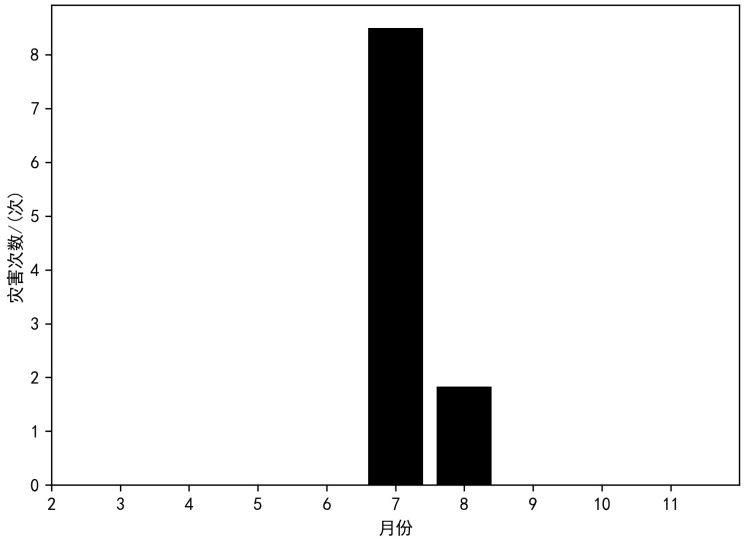


(b)

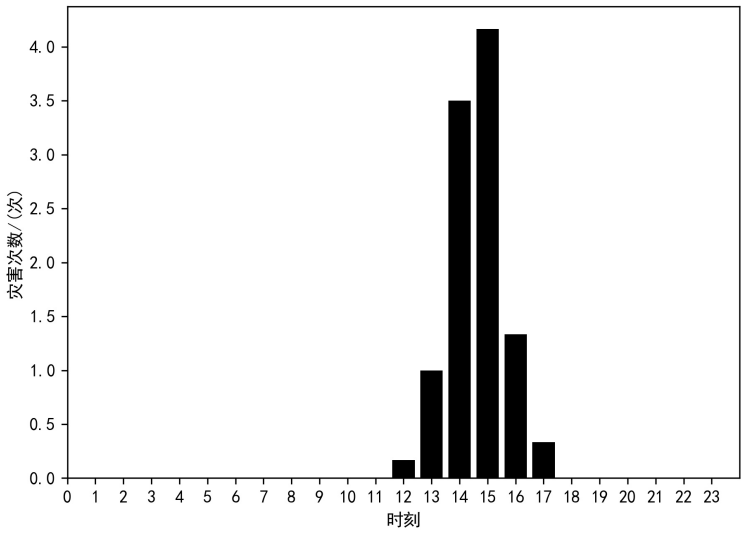
Figure 6. Time distribution of high temperature and moderate disasters in shrimp base station. (a) The number of monthly disasters varies by month; (b) Daily change in the total number of disasters per year
图 6. 对虾基地站高温中度灾害时间分布。(a) 月灾害次数随月份变化；(b) 年总灾害次数日变化

4.2. 十七工段站高温灾害时间变化规律

利用十七工段站从建站以来至 2020 年 6 月的逐时平均气温资料，运用数理统计方法计算出逐月的多年平均月灾害次数与一天 24 个时段所对应多年平均年总灾害次数，分析对虾基地站 2~11 月高温轻、中、重度灾害月灾害次数随月份变化规律以及各时段对应年灾害总次数随时段变化规律。



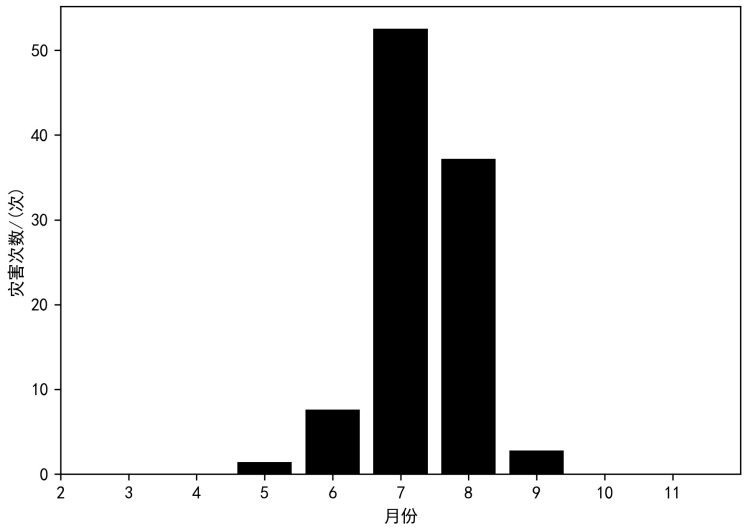
(a)



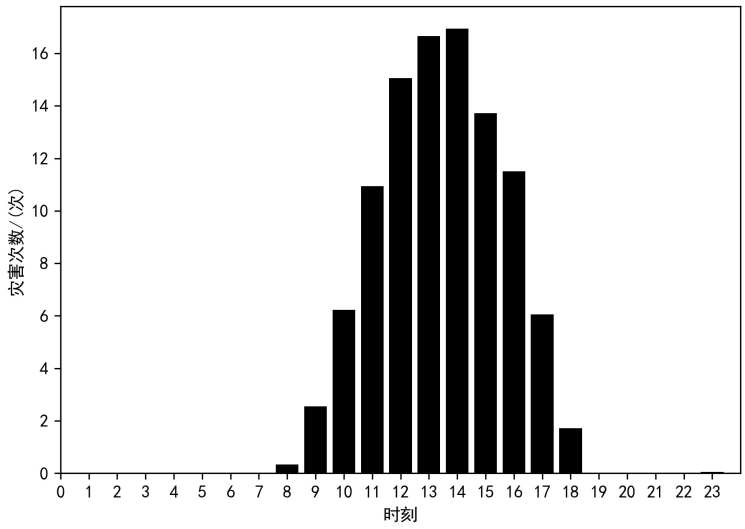
(b)

Figure 7. Time distribution of severe high temperature disasters in shrimp base station. (a) The number of monthly disasters varies by month; (b) Daily change in the total number of disasters per year
图 7. 对虾基地站高温重度灾害时间分布。(a) 月灾害次数随月份变化；(b) 年总灾害次数日变化

图 8 为十七工段站高温轻度灾害时间分布图，图 8(a)、图 8(b)分别为高温轻度灾害月灾害次数随月份变化和年总灾害次数日变化图。由图 8(a)可见，十七工段站高温轻度灾害仅在 5~9 月发生，其余月份均无高温轻度灾害发生。高温轻度灾害集中发生在 7、8 月份，5、6、9 月多年平均月灾害次数都在 10.00 次以下，7 月份高温轻度灾害发生次数最多，多年平均月灾害次数达 52.56 次。由图 8(b)可见，十七工段站高温轻度灾害仅出现在一天中的 08:00~19:00 这一时段，其余时段均无高温轻度灾害发生。高温轻度灾害集中发生在 11:00~17:00 这一时段，其中 14:00~15:00 时段高温轻度灾害发生次数最多，该时段对应多年平均年总灾害次数达 16.94 次。



(a)

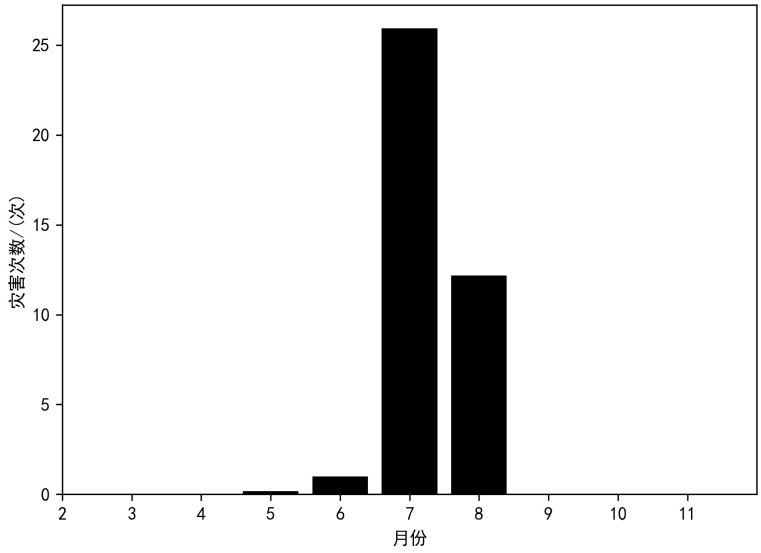


(b)

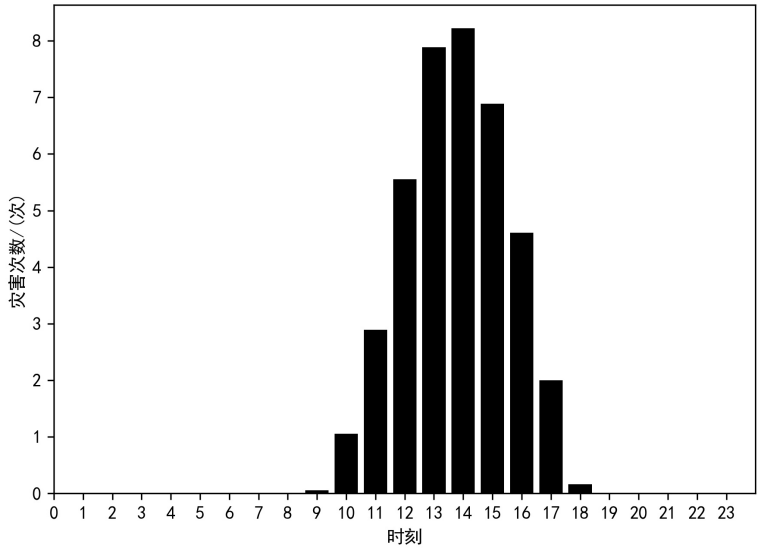
Figure 8. Time distribution of high temperature and mild disasters in the seventeenth station. (a) The number of monthly disasters varies by month; (b) Daily change in the total number of disasters per year

图 8. 十七工段站高温轻度灾害时间分布。(a) 月灾害次数随月份变化；(b) 年总灾害次数日变化

图 9 为十七工段站高温中度灾害时间分布图，图 9(a)、图 9(b)分别为高温中度灾害月灾害次数随月份变化和年总灾害次数日变化图。由图 9(a)可见，十七工段站高温中度灾害仅在 5~8 月发生，其余月份均无高温中度灾害发生。高温中度灾害集中发生在 7、8 月份，5、6 月多年平均月灾害次数均在 1.00 次以下，7 月份高温中度灾害发生次数最多，多年平均月灾害次数达 25.94 次。由图 9(b)可见，十七工段站高温中度灾害仅出现在一天中的 09:00~19:00 这一时段，其余时段均无高温中度灾害发生。高温中度灾害集中发生在 12:00~17:00 这一时段，其中 14:00~15:00 时段高温中度灾害发生次数最多，该时段对应多年平均年总灾害次数达 8.22 次。



(a)



(b)

Figure 9. Time Distribution of High Temperature and Moderate Disasters at Seventeen Stations. (a) The number of monthly disasters varies by month; (b) Daily change in the total number of disasters per year
图 9. 十七工段站高温中度灾害时间分布。(a) 月灾害次数随月份变化；(b) 年总灾害次数日变化

图 10 为十七工段站高温重度灾害时间分布图，图 10(a)、图 10(b)分别为高温重度灾害月灾害次数随月份变化和年总灾害次数日变化图。由图 10(a)可见，十七工段站高温重度灾害仅在 7~8 月发生，其余月份均无高温重度灾害发生。7 月份高温重度灾害发生次数最多，多年平均月灾害次数达 3.72 次。由图 10(b)可见，对十七工段站高温重度灾害仅出现在一天中的 11:00~18:00 这一时段，其余时段均无高温重度灾害发生。高温重度灾害集中发生在 13:00~16:00 这一时段，其中 14:00~15:00 时段高温重度灾害发生次数最多，该时段对应多年平均年总灾害次数达 1.72 次。

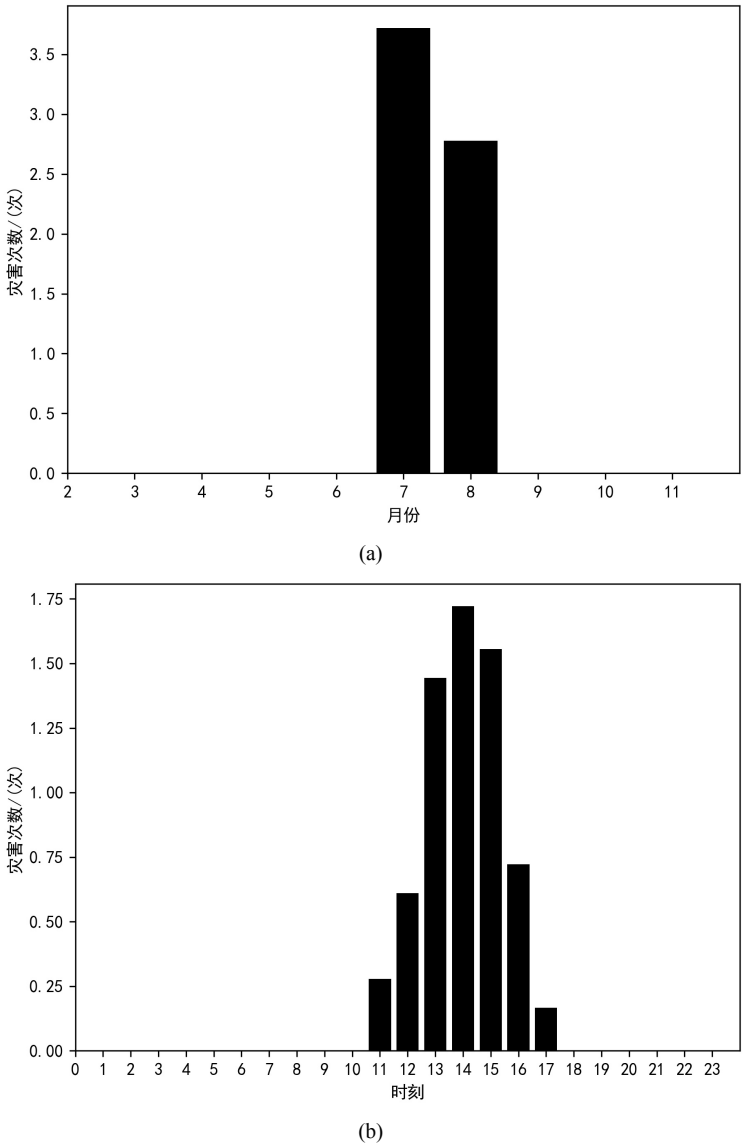


Figure 10. Time distribution of severe high temperature disasters at the seventeenth station. (a) The number of monthly disasters varies by month; (b) Daily change in the total number of disasters per year
图 10. 十七工段站高温重度灾害时间分布。(a) 月灾害次数随月份变化；(b) 年总灾害次数日变化

5. 结论

1) 萧山区 21 个站点南美白对虾生育期高温轻度灾害仅发生在 5~9 月，轻度灾害集中发生在 7、8 月份；高温中度灾害仅发生在 5~8 月，中度灾害集中发生在 7、8 月份；高温重度灾害仅发生在 7~8 月。

2) 从站点灾害空间分布来看，南美白对虾生育期高温灾害集中出现在离江边较远的中心地区，其中党山村站和南翔村站高温灾害最为严重，靠近江边站点高温灾害发生次数明显偏少，其中临江海港站高温灾害最轻。

3) 对虾基地站高温轻度灾害仅出现在一天中 09:00~20:00 时段，灾害集中出现在正午至傍晚时段，灾害发生次数随时间总体呈先增后减单峰分布特点，峰值出现在 14:00~15:00 时段，对应多年平均年总灾

害次数达 14.50 次。高温中度灾害仅出现在一天中的 10:00~19:00 时段，灾害集中分布在午后至傍晚时段，其中 13:00~14:00 时段高温中度灾害发生次数最多，对应多年平均年总灾害次数达 8.83 次。高温重度灾害仅出现在一天中的 12:00~18:00 时段，灾害发生次数随时间呈先增后减单峰分布特点，峰值出现在 15:00~16:00 时段，对应多年平均年总灾害次数达 4.17 次。

4) 十七工段站高温轻、中、重度灾害多年平均年总灾害次数随时间分布均呈先增后减的单峰分布特点，峰值均出现在 14:00~15:00 时段，对应值分别为 16.94、8.22 和 1.72 次。十七工段站高温轻度灾害仅出现在一天中的 08:00~19:00 时段，灾害集中发生在 11:00~17:00 时段。高温中度灾害仅出现在一天中的 09:00~19:00 时段，灾害集中发生在 12:00~17:00 时段。高温重度灾害仅出现在一天中的 11:00~18:00 时段，灾害集中发生在 13:00~16:00 之间。

参考文献

[1] 杨群超, 陈雄飞, 沈强明. 气象条件对南美白对虾养殖的影响[J]. 地球, 2013(5): 232-233.

[2] 黄凯, 王武, 卢洁, 等. 盐度对南美白对虾的生长及生化成分的影响[J]. 海洋科学, 2004, 28(9): 20-25.

[3] 沈文英, 胡洪国, 潘雅娟. 温度和 PH 值对南美白对虾(*Penaeus vannmei*)消化酶活性的影响[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(6): 543-548.

[4] 刘非, 李金枝. 黄河三角洲地区气象条件对南美白对虾生长的综合分析[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(14): 102-104.

[5] 叶键, 姜路辛, 蒋静, 施礼科, 王力, 陈凡, 章晓栋, 葛楚天, 郭水荣. 杭州市历年南美白对虾病原检测、疾病流行及分析[J]. 科学养鱼, 2014(7): 54-57.

[6] 王立超, 申子彬, 周溥佳. 南美白对虾养殖气象指数预报方法[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(7): 1254-1256.

[7] 蔡激扬, 朱兰娟, 华正江. 杭州地区南美白对虾饲养条件初探[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(11): 2100-2102.

[8] Fleckenstein, L.J., Kring, N.A., Tierney, T.W., Fisk, J.C., Lawson, B.C. and Ray, A.J. (2020) The Effects of Artificial Substrate and Stocking Density on Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Performance and Water Quality Dynamics in High Tunnel-Based Biofloc Systems. *Aquacultural Engineering*, **90**, Article ID: 102093. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102093

[9] 冯伟业, 姚静, 赵悦, 丁守河, 李振林, 王鹏. 利用盐碱水养殖南美白对虾试验[J]. 现代农业, 2020(4): 13-14.

[10] 陈昌生, 叶兆弘, 纪德华, 等. 南美白对虾摄食、生长及存活与温度的关系[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2001, 6(4): 296-300.