

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.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.006

# 温度对虾蟹生长发育影响的研究进展

李 青,陈永祥

(贵州工程应用技术学院生态工程学院,贵州毕节 551700)

**摘要:**虾、蟹等甲壳动物作为变温动物,环境温度(特别是水温)的变化对其健康状况、生理机能(包括存活、生长、生殖和免疫应答等)及行为影响很大。本文总结温度对虾蟹生长发育、免疫和生殖等方面影响的研究进展,以期在今后的相关研究提供参考。

**关键词:**温度;虾蟹;生长发育;免疫能力;生殖

**中图分类号:**S966.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)10-0026-06

虾蟹作为我国水产养殖业中的重要品种,属于甲壳动物中体温调节能力极弱的变温动物。20 世纪 80 年代以来,各种疾病给我国日益壮大的水产养殖业带来了巨大的损失。流行病学调查结果显示,虾蟹病害主要发生在春、夏季,病害的高峰期常常出现在环境条件的剧烈变化后。已有研究表明,环境因子变化是导致养殖生物免疫抗病能力降低的主要原因<sup>[1]</sup>。其中,水温作为影响虾蟹等水生甲壳动物生存最重要的环境因子之一,不仅直接影响虾蟹类的代谢、生长、蜕壳和存活等<sup>[2-4]</sup>,而且还会影响盐度、溶氧量等环境因子。因此,温度成为制约虾蟹养殖的重要因素,研究虾蟹在温度应激状态下的生理及行为特征,不仅可以完善虾蟹相关的基础生理研究,而且可以为指导虾蟹人工养殖和防治病害提供科学依据。有关温度对虾蟹在生长、存活、生理生化 and 能量代谢等方面的影响,人们已经进行了大量研究<sup>[5-11]</sup>,并取得了一系列成果。本文综述了温度变化对虾蟹生长、发育和免疫等方面影响的研究进展,丰富虾蟹的基础生理学资料,对虾蟹的人工养殖具有指导作用,以期今后相关的研究提供参考。

## 1 温度对虾蟹生长发育的影响

### 1.1 虾蟹对温度的耐受性

Tettelbach 等认为,许多环境因子会对生物体的适应能力产生影响,特别是温度<sup>[12-13]</sup>。虾蟹作为变温动物,本身缺少调节体温的能力,其体温和代谢随着环境温度的变化而变化。观察虾蟹对低温和高温的耐受程度,掌握其生长发育与温度的关系,可以为进一步开展人工育苗工作提供重要的理论指导。不同种类虾蟹对温度的耐受情况如表 1 所示。

收稿日期:2018-01-25

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合 LH 字[2017]7003 号);贵州省教育厅青年科技人才成长项目(编号:黔教合 KY 字[2017]291);贵州工程应用技术学院高层次人才科学研究项目(编号:院科合字 G2017005 号);贵州省重点学科“生态学”(编号:黔学位合字 ZDXK[2013]11 号);贵州省普通高等学校生物资源开发与生态修复特色重点实验室(编号:黔教科合 KY 字[2012]012);贵州高原湿地生态工程协同创新中心(编号:2015XT003)。

作者简介:李 青(1989—),女,山西临汾人,博士,主要从事水生动物生殖发育方面的研究。E-mail:liqingdream@163.com。

### 1.2 温度对虾蟹幼体生长发育的影响

虾蟹属于变温动物,环境温度会显著影响其代谢水平和生理调节机制,因此,环境温度对虾蟹类幼体生长发育和存活率有很大的影响。在一定温度范围内,虾蟹类幼体发育速率和生长速度随着温度的升高而加快。栗治国等发现,脊尾白虾在 16~32℃ 范围内,温度越高,幼体体长增长率和变态存活率越高<sup>[28]</sup>;此现象在青虾<sup>[25]</sup>、太平洋白对虾<sup>[29]</sup>、中华原钩虾<sup>[30]</sup>、克氏原螯虾<sup>[24]</sup>和日本囊对虾<sup>[23]</sup>等的研究中也报道。Neuparth 等认为,温度是影响钩虾(*Gammarus locusta*)生活史的最显著因子,在适宜温度条件下,高温缩短了 *G. locusta* 的世代时间,提高了个体生长率,提早性成熟和增加种群密度<sup>[31]</sup>。

但当环境温度超过虾蟹自身的调节能力时,过高或过低都会导致其生长速率减慢<sup>[24-25,32-33]</sup>。水温高于适温时,虾蟹营养物质的代谢率大于同化率,不能积累足够的能量用于生长;同时,高温可能会影响虾蟹正常的生理机能,导致其生长受限,死亡率升高。朱小明等发现,中华绒螯蟹和斑节对虾幼体的大小和蜕皮存活率随温度的升高而降低<sup>[34]</sup>;栗治国等报道,脊尾白虾幼体在水温升高至 36℃ 时,M2 期幼体出现活力下降、死亡增多、生长缓慢等现象,M5 期幼体无法正常变态为仔虾<sup>[28]</sup>;马盛群等在对日本沼虾的研究中发现,31℃ 高温时幼体不规则游动速度加快,垂直跳跃频率明显增加,变态死亡率高达 88%<sup>[35]</sup>。这表明在高温处理下,虾蟹的幼体处于热应激状态中,加快的新陈代谢消耗了大量营养物质,导致幼体变态发育没有足够的物质能量,无法进入正常的蜕皮变态生理阶段,最后死亡。虾蟹幼体发育每个阶段经历 1 次蜕皮,体质量随着甲壳长度和宽度的增加而增加<sup>[36-37]</sup>。蜕皮过程不仅受内分泌激素如蜕皮激素的调控,而且是一个消耗物质能量的过程<sup>[38]</sup>。Anger 等认为,幼体是否积累了足够的营养物质和能量是幼体能否进入蜕皮周期的关键节点<sup>[39]</sup>。而营养物质的吸收利用与各种消化酶密切相关,消化酶活性的高低决定着幼体对营养物质的消化吸收能力,从而影响幼体生长发育速度<sup>[40]</sup>,这些酶活性又直接与温度有关。

水温低于适温时,虾蟹摄食量减少,幼体发育持续时间长、生长缓慢,甚至会出现幼体相残现象<sup>[41,28]</sup>。廖永岩等报道,三疣梭子蟹幼体在 21℃ 时发育相当慢,18℃ 以下时幼体

表 1 虾蟹对温度的耐受性和行为特征

品种	耐受温度 (℃)	表现特征	参考文献
中华虎头蟹( <i>Orithytia sinica</i> ) 仔蟹	30	成活率不断下降,仔蟹爬行、游动、钻沙能力不断减弱	[14]
中华虎头蟹( <i>O. sinica</i> ) 成蟹	5~30	存活的最适温度	[15]
	20~30	摄饵量最大	[15]
	<5, >35	死亡	[15]
中华绒螯蟹( <i>Eriocheir sinensis</i> )	<5	蛰伏不动,不进食	[16]
	6~19	低频率的爬行活动,少量进食	[16]
	20~26	摄食最旺盛	[16]
	28	发生病害,大批死亡	[17]
	19~25	正常蜕壳生长	[18]
	>30, <10	停止生长和蜕壳	[18]
	>35	死亡率增高	[18]
锯缘青蟹( <i>Scylla serrata</i> )	4~5	Z <sub>5</sub> 阶段幼体的存活率提高	[19]
	20~27	幼体变态成功率高	[20]
	18~20	幼体趋光及运动能力正常,体色明显变淡	[20]
	25	蚤 1 期幼体存活率最高	[20]
	>25~30	幼体均能发育变态进入大眼幼体期	[20]
	>30, <20	幼体不能正常发育变态	[20]
	35	大眼幼体存活率较高	[20]
红螯螯虾( <i>Cherax quadricarinatus</i> )	5	幼虾存活 4 d	[21]
	8	15 d 幼虾存活 20%	[21]
	10	幼苗存活 8 d,幼虾 15 d 后存活 90%	[21]
	15	15 d 虾苗存活 63.3%,幼虾存活 100%	[21]
	25	虾苗和幼虾成活率分别为 93.3%、100.0%	[21]
	35	15 d 后虾苗存活 40%,幼虾存活 70%	[21]
	38	虾苗存活 4 d,幼虾存活 3 d	[21]
日本对虾( <i>Penaeus japonicus</i> )	<2	死亡率明显上升	[22]
	24	成活率最高	[23]
	27	幼体生长最快	[23]
克氏原螯虾( <i>Procambarus clarkii</i> )	<1	不能正常活动,不久死亡	[24]
	5~6	幼体不摄食,具逃逸反应	[24]
	25	最适生长温度	[24]
	>25	滋生微生物	[24]
凡纳滨对虾( <i>Penaeus vannamei</i> )	28~30	幼体生长最快且成活率最高	[25]
南美白对虾( <i>Litopenaeus vannamei</i> )	9	由俯游转为侧卧甚至仰卧	[26]
	<18	摄食量减少,存活率降低	[26]
	18~30	摄食正常,具较强活力	[26]
	>41, <4	死亡	[26]
黑斑口虾蛄( <i>Oratosquilla kemp</i> i)	8	仔虾蛄的下限温度	[27]
	10	第 3 相幼体的下限温度	[27]
	12	第 2 相幼体的下限温度	[27]
	18~30	仔虾的适宜温度	[27]
	20~28	第 2 相和第 3 相幼体适宜温度	[27]
	24~28	各期幼体成活率均达 100%	[27]
	8~18	仔虾蛄成活率>第 3 相幼体成活率>第 2 相幼体成活率	[27]
	30~34	仔虾蛄成活率>第 3 相幼体成活率>第 2 相幼体成活率	[27]
	36	各期幼体 48 h 的成活率为 0%	[27]

仅发育至幼体三期(Z<sub>3</sub>),5℃以下时仅能存活4h<sup>[42]</sup>;杨世平等发现,将墨吉明对虾幼虾直接转入19℃水中,幼虾的摄食量减少,在9℃和14℃的水中,幼虾停止摄食,24h后全部死亡<sup>[43]</sup>;魏国庆等报道,温度骤变显著影响中华虎头蟹蚤状Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期幼体存活率<sup>[44]</sup>;李铭等发现,克氏原螯虾2月龄

幼体在5~6℃水温时基本不摄食,但活动还比较正常,在1℃时不能正常活动,且不久就会死亡<sup>[24]</sup>。但杨世平等发现,当温度渐变时,墨吉明对虾幼虾仍能正常摄食<sup>[43]</sup>;贾旭颖等在凡纳滨对虾中也发现了类似的现象<sup>[45]</sup>。这表明虾蟹对低温的适应可能是一种被动、休眠性的适应,温度的剧烈变化

对其损伤较大,温度的渐变对其损伤较小。

## 2 温度对虾蟹免疫生理的影响

水体环境变化与水生动物机体的抗氧化效应密切相关,是水产经济动物养殖中常见的胁迫因子,其中温度是最重要的因子之一<sup>[46-50]</sup>。温度胁迫不仅可造成机体自由基代谢紊乱,损害机体细胞和组织正常的生理机能和免疫防御能力,直接影响水生动物体的新陈代谢,而且可对盐度、溶氧量等其他环境因子产生影响,进而导致水生动物对病原生物的易感性。

### 2.1 温度变化对虾蟹抗氧化能力的影响

在健康的生物体内,自由基的产生和消除处于动态平衡中;但在逆境中,生物体受到胁迫会使细胞内线粒体、微粒体和胞浆的酶系统和非酶系统发生反应,产生过多的活性氧和氧自由基,从而打破生物体内活性氧代谢的平衡,如不及时清除就会对生物体造成伤害<sup>[51]</sup>。

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,简称 SOD)和过氧化氢酶(catalase,简称 CAT)是生物体内清除自由基的关键酶<sup>[52]</sup>,可以反映机体清除自由基的能力<sup>[53]</sup>。其中,SOD 属于金属蛋白酶,是机体免疫调节网络的重要组成部分,能阻断脂质过氧化作用,其活性受 O<sub>2</sub> 的调控。在受到轻度胁迫时,生物体内 SOD 活性通常升高;在受到重度胁迫或者长时间胁迫时,生物体内 SOD 活性往往降低<sup>[54]</sup>。洪美玲等报道,水温从 20 ℃ 升至 32 ℃ 时,中华绒螯蟹血淋巴中的 SOD 活性在温度变化 6 h 后呈升高趋势,而后逐渐下降<sup>[55]</sup>;吴丹华等研究发现,温度骤变后,三疣梭子蟹血清中的 SOD 活性在 3 h 内迅速降低,且随着胁迫时间的延长,SOD 活性均保持在较低水平<sup>[56]</sup>;孙金辉等研究表明,当温度从 24 ℃ 骤然降低到 18 ℃ 时,南美白对虾仔虾肌肉中的 SOD 活性急剧下降<sup>[57]</sup>。这可能是因为温度骤变作为一种外源性刺激能促使虾蟹在短时间内产生过多的活性氧,诱导机体内 SOD 活性升高以清除超氧阴离子自由基、过氧化氢、单态氧和羟自由基等,但这种上升是暂时的,随着生物机体受胁迫时间的延长,SOD 活性会逐渐下降。

CAT 是一种酶类清除剂,普遍存在于能呼吸的生物体内,其主要作用就是清除过氧化氢,将 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解为 H<sub>2</sub>O 和 O<sub>2</sub>,从而使细胞免于遭受 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的毒害。CAT 活性会随着 pH 值和温度的变化而变化。孙金辉等研究表明,当温度从 24 ℃ 骤降到 18 ℃ 后,南美白对虾仔虾肌肉中 CAT 的活性急剧下降,在温度改变前后活性差异极大<sup>[57]</sup>;王天神等报道,克氏原螯虾 CAT 活性随着温度的升高呈下降趋势,水温超过 30 ℃ 时,其活性迅速降低<sup>[33]</sup>;宋林生等报道,当温度从 14 ℃ 骤升到 28 ℃ 时,中华绒螯蟹肝胰腺中的 CAT 活性急剧下降,6 h 后基本达到最低值并趋于稳定<sup>[17]</sup>。CAT 活性降低标志着生物机体内抗氧化系统受到了一定程度的影响,自由基会增加,进一步会损伤或破坏生物膜系统,从而损害细胞结构和功能<sup>[58]</sup>。

自由基过多会引起生物体氧化损伤,导致细胞膜中不饱和脂肪酸和磷脂的比例发生变化,进一步引起膜蛋白的破坏。丙二醛(malondialdehyde,简称 MDA)作为脂质过氧化的最终产物,可以反映机体内脂质的过氧化程度和受氧化损伤程度<sup>[59]</sup>。洪美玲等研究发现,中华绒螯蟹在经受温度骤变后,

MDA 的含量逐渐升高,到 7 d 时与应激前的水平差异不显著<sup>[55]</sup>;孙金辉等报道,南美白对虾仔虾在温度从 24 ℃ 骤降到 18 ℃ 后,肌肉中的 MDA 含量逐步增加<sup>[57]</sup>;宋林生等研究表明,温度逐渐升高后,中华绒螯蟹肝胰腺中的 MDA 含量逐渐增加<sup>[17]</sup>。这说明生物体受到温度胁迫后,机体抗氧化系统受损,引起脂质氧化代谢产物的含量上升,MDA 含量增加。

### 2.2 温度变化对虾蟹免疫能力的影响

与高等动物相比,甲壳类动物缺乏免疫球蛋白介导的特异性免疫,其防御功能主要靠血细胞的吞噬和包裹等来完成。血细胞密度(total hemocyte count,简称 THC)对甲壳动物的免疫能力至关重要,会随着生物体自身的状况和环境条件发生变化,因此,甲壳动物的健康状况可以用 THC 来评价<sup>[60]</sup>。通常,甲壳动物在最适环境条件下,THC 最高;在受到温度胁迫时,THC 会降低。Vargas - Albores 等报道,当温度从 18 ℃ 升高到 32 ℃ 时,黄腿虾的血细胞密度显著下降<sup>[61]</sup>;Truscott 等研究发现,当温度从 10 ℃ 升高到 20 ℃ 并持续 5 d 时,岸蟹的血细胞密度显著增加<sup>[62]</sup>;Gomez - Jimenez 等研究发现,龙虾(*Panulirus interruptus*)在水温从 19 ℃ 降到 4 ℃ 时,THC 降低 50%<sup>[63]</sup>;Le Moullac 等报道,红额角对虾在 24 h 内水温从 27 ℃ 降到 18 ℃ 时,血细胞数下降约 40%<sup>[1]</sup>。这些研究结果说明,甲壳动物的 THC 与温度密切相关。水温升高,会使虾蟹机体内的代谢加快,细胞活动变活跃,免疫学上表现为 THC 升高;但温度过高或过低,会抑制甲壳动物体内酶的活性,使代谢活动和细胞活动降低,THC 降低。

随着受胁迫时间的延长,甲壳动物 THC 的变化呈现出不规律的现象。洪美玲等报道,中华绒螯蟹在不同水温下 THC 的变化过程比较复杂,不是单一的增加或降低<sup>[55]</sup>;Pascual 等研究发现,白滨对虾在水温从 24 ℃ 升高到 33 ℃ 且持续 8 d 时,THC 表现出一种周期性波动过程<sup>[64]</sup>。这说明虾蟹在受到温度胁迫时会启动一系列复杂的反应来应对,温度胁迫可能会阻碍血细胞的生成,导致血细胞密度降低,但血细胞在组织细胞间的迁移又可能会引起循环系统中血细胞浓度的增加。

吞噬作用作为生物体最古老最基本的防御机制,是机体清除异物的重要途径,温度的升高对血细胞的吞噬能力有一定影响。吞噬作用过程中会消耗大量氧,引起呼吸暴发,导致活性氧和氧化代谢产物增加。这些活性氧和氧化代谢产物作为强氧化剂一方面可以杀死异物,对机体起到保护作用;另一方面也会损伤机体自身的组织和细胞,使机体免疫防御能力降低。溶菌酶(lysozyme,简称 LSZ)作为一种水解酶,是吞噬细胞杀菌的物质基础,广泛存在于各种生物体内的不同组织、体液和分泌物中,可以用来衡量生物体的非特异性免疫力<sup>[65]</sup>。温度变化对 LSZ 的活性有重要影响。姜令绪报道,温度变化能抑制凡纳滨对虾的溶菌酶(lysozyme,简称 LZM)活性,导致溶菌活性下降<sup>[66]</sup>;丁小丰等报道,锯缘青蟹在 25 ℃ 时血清中 LZM 活性最高,低于或高于 25 ℃ 时 LZM 活性均下降<sup>[67]</sup>。酚氧化酶(phenoloxidase,简称 PO)作为甲壳类动物中一种重要的非特异性免疫因子,一般以无活性酚氧化酶原(proPO)形式存在于虾蟹体内的血淋巴中,不同物种来源的 PO,分子量、最适温度、激活剂和抑制剂均不相同<sup>[68]</sup>。目前,有关 proPO 的激活因素还有待进一步研究。

### 3 温度对虾蟹生殖的影响

甲壳动物的蜕皮和生殖均受温度的影响,越是低等的种类,受温度的影响越大,因此,水温是调控甲壳动物生殖生理的重要因素<sup>[69]</sup>。

#### 3.1 温度对虾蟹胚胎发育的影响

虾蟹类的胚胎发育是一个动态变化的生理过程,除了受亲本的影响外,外界环境条件对其也有重要影响,特别是温度不仅影响胚胎发育的时间<sup>[20]</sup>,而且影响其发育的质量和速率<sup>[28,70-71]</sup>。

已有研究表明,生物体的温度只有在生物学零度以上时才能开始发育和生长<sup>[72]</sup>。不同物种由于生活环境不同,胚胎发育的生物学零度各不相同。梁俊平等报道,脊尾白虾胚胎发育的生物学零度为 12.18 ℃<sup>[70]</sup>;曾朝曙等认为,锯缘青蟹胚胎发育的生物学零度为 5.60 ℃<sup>[20]</sup>;吕佳等发现,克氏原螯虾胚胎发育的生物学零度为 11.70 ℃,二者略低于脊尾白虾<sup>[73]</sup>;拟穴青蟹和东方扁虾胚胎发育的生物学零度稍高于脊尾白虾,分别为 15.70 ℃<sup>[74]</sup>和 13.50 ℃<sup>[75]</sup>。

在胚胎发育过程中,卵黄物质作为主要营养来源,在各种消化酶的水解作用下,一方面为胚胎发育提供能量,另一方面为构建胚胎组织、器官提供必需的物质<sup>[76]</sup>。而温度会影响这一系列反应过程中各种酶的活性,进一步会影响孵化时间。在适宜的温度范围内,温度越高,胚胎发育速度越快;温度越低,胚胎发育速度越慢<sup>[77]</sup>。王桂忠等发现,东方扁虾在水温 22~31 ℃ 的条件下,随着温度的升高,胚胎发育时间从 43 d 缩短为 21 d<sup>[75]</sup>;邢克智等在青虾胚胎发育的研究中发现,在 22~32 ℃ 范围内,22 ℃ 时胚胎发育所需时间为 429.8 h,32 ℃ 时缩短为 220.4 h<sup>[78]</sup>;梁俊平等研究了不同温度对脊尾白虾胚胎发育的影响,发现受精卵在 15~28 ℃ 条件下,孵化时间从 41 d 缩短为 10 d<sup>[70]</sup>;韩晓磊等在对克氏原螯虾的研究中发现,温度在 20~30 ℃ 内时,胚胎孵化时间随着温度的升高而缩短<sup>[79]</sup>。在锯缘青蟹、红螯光壳螯虾和长毛对虾受精卵孵化所需时间与温度关系的研究中也得到了类似的结论。

虾蟹类的胚胎发育有一个温度耐受范围,当水体温度超过某一临界值(过高或过低)时,胚胎发育将会受到抑制,导致畸变甚至死亡。红螯螯虾胚胎在 22 ℃ 以下或 35 ℃ 以上时,均不能正常发育<sup>[80]</sup>;脊尾白虾在孵化温度超过 30 ℃ 时,不能顺利孵化出幼体<sup>[70]</sup>,温度超过 28 ℃ 时,幼体变态存活率大大降低,温度达到 36 ℃ 时,幼体将无法变态<sup>[28]</sup>;日本沼虾在 34 ℃ 时胚胎发育时间延长,温度达到 36 ℃ 时,胚胎则不能完成发育<sup>[78]</sup>;人工孵化东方扁虾时,温度在 34 ℃ 时,胚胎 1 周后就呈解体状,温度达到 37 ℃ 时,1~2 d 就呈解体状<sup>[75]</sup>。这可能是由于虾蟹类在胚胎发育过程中,温度超出胚胎耐受范围时,胚胎内某些酶的活性受到抑制甚至丧失,导致新陈代谢的紊乱<sup>[78]</sup>。

#### 3.2 温度对虾蟹性腺发育的影响

在生物进化的过程中,虾蟹类形成了较为完善的生殖调控系统,受神经肽、激素和神经递质等多种激素的调控,这些激素水平会随着温度、盐度等环境因子的变化而作出调整,使虾蟹类在最佳的环境条件下进行生殖。其中,温度通过调控激素合成与分泌水平,参与调控甲壳动物的蜕皮和性腺成熟

等生殖过程。

温度是诱导短沟对虾和桃花对虾成熟和排卵的主要因子,20~28 ℃ 可诱导短沟对虾成熟以及雌体在蜕皮周期内多次排卵。低温(<25 ℃)会对南美蓝对虾和斑节对虾的交配和成熟产生明显的消极影响。Pascual 等研究发现,24~27 ℃ 会推迟口对虾精原细胞的恶化和黑化作用,急性高温 33 ℃ 会明显影响其精子质量<sup>[64]</sup>。徐加元等对克氏原螯虾的研究发现,在 22~28 ℃ 之间,水温升高可以促进性腺成熟<sup>[81]</sup>。Carmona-Osalde 等研究发现,在 16~25 ℃ 范围内,温度升高可以促进美洲原螯虾(*Procambarus llamasir*)卵巢的发育<sup>[7]</sup>。水温在 15~25 ℃ 范围内,青蟹的抱卵率随着温度的升高而提高,超过 25 ℃ 时,抱卵率提高但抱卵质量下降<sup>[82]</sup>。这些都表明,水温是影响虾蟹性腺发育的重要因素。只有超过一定的温度,虾蟹才能完成性腺发育;在一定温度范围内,水温越高,虾蟹的性腺发育质量就越好。

综上所述,环境温度与虾蟹类的生长发育、免疫能力和生殖等有着密切的关系,开展虾蟹在温度应激状态下的生理及行为特征方面的研究具有重要的应用价值和理论价值。近年来,虾蟹养殖区屡次遭遇寒潮和倒春寒,导致虾蟹大批死亡,给虾蟹养殖业带来巨大的经济损失。相反,温度的骤然升高又容易导致虾蟹滋生一些微生物,诱导病害的发生。因此,加强这方面的研究具有重要的现实意义。但目前国内外有关虾蟹对温度变化应激相关机制研究的基础较为薄弱,对不同营养物质和养殖措施在缓解虾蟹温度应激中的作用效果、机制及应用研究缺乏理论依据,今后应在这方面加强研究。

#### 参考文献:

- [1] le Moullac G, Haffner P. Environmental factors affecting immune responses in Crustacea[J]. Aquaculture, 2000, 191(1/2/3): 121-131.
- [2] Chen J C, Lin M N, Ting Y Y, et al. Survival, haemolymph osmolality and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles acclimated to different salinity and temperature levels[J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part A (Physiology), 1995, 110(3): 253-258.
- [3] Hennig O L, Andreatta E. Effect of temperature in an intensive nursery system for *Penaeus paulensis*[J]. Aquaculture, 1998, 164(1/2/3/4): 167-172.
- [4] Saucedo P E, Ocampo L, Monteforte M, et al. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856)[J]. Aquaculture, 2004, 229(1/2/3/4): 377-387.
- [5] Chen J C, Lai S H. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1993, 165(2): 161-170.
- [6] Wyban J, Walsh W A, Godin D M. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*)[J]. Aquaculture, 1995, 138(1/2/3/4): 267-279.
- [7] Carmona-Osalde C, Carmona-Osalde M, Olvera-Novoa M, et al. Gonadal development, spawning, growth and survival of the crayfish *Procambarus llamasir* at three different water temperatures[J]. Aquaculture, 2004, 232(1/2/3/4): 305-316.
- [8] Kumlu M, Eroldogan O T, Aktas M. Effects of temperature and

- salinity on larval growth, survival and development of *Penaeus semisulcatus* [J]. *Aquaculture*, 2000, 188 (1/2): 167–173.
- [9] Manush S M, Pal A K, Das T, et al. The influence of temperatures ranging from 25 to 36 °C on developmental rates, morphometrics and survival of freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) embryos [J]. *Aquaculture*, 2006, 256 (1/2/3/4): 529–536.
- [10] Sachlikidis N G, Jones C M, Seymour J E. The effect of temperature on the incubation of eggs of the tropical rock lobster *Panulirus ornatus* [J]. *Aquaculture*, 2010, 305 (1/2/3/4): 79–83.
- [11] Wang X Q, Sudha K, Mei C, et al. Effects of low salinity and low temperature on survival, growth, and energy budget of juvenile *Exopalaemon carinicauda* [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2010, 29 (4): 1035–1041.
- [12] Tettelbach S T, Rhodes E W. Combined effects of temperature and salinity on embryos and larvae of Northern bay scallop *Argopecten irradians irradians* [J]. *Marine Biology*, 1981, 63 (3): 249–256.
- [13] Castagna M. Culture of the bays callop *Argopecten irradians* in Virginia [J]. *Marine Fisheries Review*, 1975 (37): 19–24.
- [14] 蔡恒辉, 曹琛, 魏国庆, 等. 干露、盐度、温度变化对中华虎头蟹仔蟹的影响 [J]. *水产科学*, 2012, 31 (9): 560–563.
- [15] 廖永岩, 吴蕾, 蔡凯, 等. 盐度和温度对中华虎头蟹 (*Orithya sinica*) 存活和摄饵的影响 [J]. *生态学报*, 2007, 27 (2): 627–639.
- [16] 董艳, 江和文, 于永清, 等. 稻田养蟹“盘山模式”的水温特征分析 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (23): 12483–12485.
- [17] 宋林生, 季延宾, 蔡中华, 等. 温度骤升对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 几种免疫化学指标的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35 (1): 74–77.
- [18] 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.
- [19] 乔振国, 张虎, 归从时. 环境因子变化对锯缘青蟹后期幼体及仔蟹变态存活率的影响 [J]. *海洋渔业*, 2004, 26 (1): 40–43.
- [20] 曾朝晖, 王桂忠, 李少菁. 锯缘青蟹胚胎发育得观察及温度影响胚胎发育的研究 [J]. *福建水产*, 1991 (1): 45–50.
- [21] 吴志新, 陈孝煊, 李明. 红螯螯虾对温度耐受性的试验 [J]. *水利渔业*, 1997, 90 (3): 12–13.
- [22] 李凤晨, 宫春光, 苏利. 日本对虾耐低温试验 [J]. *水利渔业*, 2006, 26 (4): 35–48.
- [23] Coman G, Crocos P J, Preston N P, et al. The effects of temperature on the growth, survival and biomass of different families of juvenile, *Penaeus japonicus* Bate [J]. *Aquaculture*, 2002, 214 (1/2/3/4): 185–199.
- [24] 李铭, 董卫军, 邢迎春, 等. 温度对克氏原螯虾幼虾发育和存活的影响 [J]. *水利渔业*, 2006, 26 (2): 36–37.
- [25] Jesus P P, Carlos A, Lindsay G R. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile of white shrimp, *Penaeus vannamei* [J]. *Aquaculture*, 1997, 157 (1/2): 107–115.
- [26] 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.
- [27] 尹飞, 王春琳, 周帅, 等. 黑斑口虾蛄幼体不同发育阶段的温度、盐度耐受性研究 [J]. *水产科学*, 2005, 24 (11): 4–6.
- [28] 栗治国, 张成松, 张岩, 等. 温度对脊尾白虾胚胎及幼体发育的影响研究 [J]. *海洋科学*, 2013, 37 (10): 9–16.
- [29] 邢克智, 刘茂春, 王金华. 温度、盐度对青虾幼体生长发育的影响 [J]. *南开大学学报 (自然科学版)*, 1997, 30 (3): 88–93.
- [30] 薛素燕, 赵法箴, 方建光, 等. 温度和盐度对中华原钩虾幼体孵化、存活及生长的影响 [J]. *水产学报*, 2012, 36 (7): 1094–1101.
- [31] Neuparth T, Costa F O, Costa M H. Effects of temperature and salinity on Life history of the Marine amphipod *Gammarus locusta*. Implications for ecotoxicological testing [J]. *Ecotoxicology*, 2001, 11 (1): 61–73.
- [32] 李莹春, 朱国平, 孟涛, 等. 人工条件下南极磷虾的温度耐受性实验观察 [J]. *江苏农业科学*, 2012, 40 (9): 204–206.
- [33] 王天神, 周鑫, 赵朝阳, 等. 不同温度条件下克氏原螯虾免疫酶活性变化 [J]. *江苏农业科学*, 2012, 40 (12): 239–241.
- [34] 朱小明, 李少菁. 孵育温度对虾蟹幼体质量影响的初步研究 [J]. *应用生态学报*, 1998, 9 (1): 71–74.
- [35] 马盛群, 李爱顺, 郭建强, 等. 温度对日本沼虾末期幼体变态发育的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2014, 42 (8): 239–240.
- [36] Mashaii N, Rajabipour F, Shakouri A. Feeding habits of the scalloped spiny lobster, *Panulirus homarus* (Linnaeus, 1758) (Decapoda: Palinuridae) from the South East coast of Iran [J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2011, 11 (1): 45–54.
- [37] Berry P F. The biology of the spiny lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus) off the East coast of southern Africa [J]. *Invest Rep Oceanogr Res Inst*, 1971, 28: 1–75.
- [38] 朱小明, 李少菁. 甲壳动物幼体蜕皮的调控 [J]. *水产学报*, 2001, 25 (4): 379–384.
- [39] Anger K, Dawirs R R. Influence of starvation on the larval development of *Hyas araneus* (Decapod, Majidae) [J]. *Helgolander Marine Research*, 1981, 34 (3): 287–311.
- [40] 潘鲁青, 王克行. 温度对中国对虾幼体生长发育与消化酶活力的影响 [J]. *中国水产科学*, 1997, 4 (3): 18–23.
- [41] 张特, 孙成波, 关仁磊. 多因子对凡纳滨对虾仔虾能量代谢的影响 [J]. *热带生物学报*, 2012, 3 (1): 11–15.
- [42] 廖永岩, 肖展鹏, 袁耀阳. 三疣梭子蟹幼体和幼蟹的温度适应性 [J]. *水生生物学报*, 2008, 32 (4): 534–543.
- [43] 杨世平, 孙成波, 吴颖豪, 等. 墨吉明对虾幼虾对盐度和温度的适应性研究 [J]. *大连海洋大学学报*, 2015, 30 (3): 261–265.
- [44] 魏国庆, 李晓冬, 曹琛, 等. 盐度、温度对中华虎头蟹溞状幼体存活及变态的影响 [J]. *水产科学*, 2013, 32 (12): 706–712.
- [45] 贾旭颖, 王芳, 王春生, 等. 温度突变和非离子氨对海水和淡水养殖条件下凡纳滨对虾存活的影响 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 2013, 43 (10): 33–40.
- [46] Orbea A, Ortiz-Zarragoitia M, Sole M, et al. Antioxidant enzymes and peroxisome proliferation in relation to contaminant body burdens of PAHs and PCBs in bivalve molluscs, crabs and fish from the Urdaibai and *Plentzia estuaries* (Bay of Biscay) [J]. *Aquatic Toxicology*, 2002, 58 (1/2): 75–98.
- [47] Brouwer M, Brouwer T H. Biochemical defense mechanisms against copper-induced oxidative damage in the blue crab, *Callinectes sapidus* [J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1998, 351 (2): 257–264.
- [48] Gamble S C, Goldfarb P S, Porte C, et al. Glutathione peroxidase and other antioxidant enzyme function in marine invertebrates (*Mytilus edulis*, *Pecten maximus*, *Carcinus maenas*, and *Asterias rubens*) [J]. *Marine Environmental Research*, 1995, 39 (1/2/3/4):

- 191 – 195.
- [49] Dandapat J, Chainy G, Rao K J. Dietary vitamin – E modulates antioxidant defense system in giant fresh water prawn, *Macrobrachium rosenbergii* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2000, 127(1): 101 – 115.
- [50] 孙舰军, 丁美丽. 氮氮对中国对虾抗病力的影响[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(3): 367 – 372.
- [51] Winston G W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C, Comparative Pharmacology and Toxicology, 1991, 100(1/2): 173 – 176.
- [52] 孙虎山, 李光友. 栉孔扇贝血淋巴中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性及其性质的研究[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(3): 259 – 265.
- [53] Frido V I. Superoxide radical and superoxide dismutases [J]. Annual Review of Biochemistry, 1995, 64(1): 97 – 112.
- [54] 唐学玺, 张培玉. 葱对黑鲷超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 217 – 220.
- [55] 洪美玲, 陈立侨, 顾顺樟. 不同温度胁迫方式对中华绒螯蟹免疫化学指标的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(6): 818 – 822.
- [56] 吴丹华, 郑萍萍, 张玉玉, 等. 温度胁迫对三疣梭子蟹血清中非特异性免疫因子的影响[J]. 大连水产学院学报, 2010, 25(4): 370 – 375.
- [57] 孙金辉, 徐赞霞, 季延滨, 等. 温度骤降对南美白对虾仔虾抗氧化机能的影响[J]. 天津农学院学报, 2008, 15(3): 7 – 10, 28.
- [58] 杨国光, 黄 雯. 血中过氧化脂质降解产物丙二醛(MDA)含量简易测定[J]. 广东卫生防疫, 2000, 26(2): 16 – 17.
- [59] Lepage G, Munoz G, Champagne J, et al. Preparative steps necessary for the accurate measurement of malondialdehyde by high – performance liquid chromatography [J]. Analytical Biochemistry, 1991, 197(2): 277 – 283.
- [60] 陈国福, 黄 健, 宋晓玲. 对虾免疫机能研究概况[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 209 – 215.
- [61] Vargas – Albores F, Baltazar P H, Clark G P, et al. Influence of temperature and salinity on the yellow leg shrimp, *Penaeus californiensis* Holmes, prophenoloxidase system [J]. Aquacult Res, 1998, 29(8): 549 – 553.
- [62] Truscott R, White K N. The influence of metal and temperature stress on the immune system of crabs [J]. Functional Ecology, 1990, 4(3): 455 – 461.
- [63] Gomez – Jimenez S, Uglow R F, Golla – Galvan T. The effects of cooling and emersion on total haemocyte count and phenoloxidase activity of the spiny lobster *Panulirus interruptus* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2000, 10(7): 631 – 635.
- [64] Pascual C, Sánchez A, Sánchez A, et al. Haemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of an extreme temperature [J]. Aquaculture, 2003, 218(1): 637 – 650.
- [65] Mock A, Peters G. Lysozyme activity in rainbow trout *Omorhynchus mykiss* (Walbaum), stressed by handling, transport and water pollution [J]. Journal of Fish Biology, 1990, 37(6): 873 – 885.
- [66] 姜令绪. 环境因子对甲壳动物免疫力和抗氧化酶活力的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [67] 丁小丰, 杨玉娇, 金 珊, 等. 温度变化对锯缘青蟹免疫因子的胁迫影响[J]. 水产科学, 2010, 29(1): 1 – 6.
- [68] 李国荣, 张士瑾, 李红岩, 等. 酚氧化酶研究概况 I ——特性、功能、分布和在胚胎发育中的变化[J]. 海洋科学, 2003, 27(4): 4 – 8.
- [69] 舒新亚, 龚路军, 陶忠虎, 等. 人工诱导克氏原螯虾同步产卵试验[J]. 淡水渔业, 2006, 36(5): 45 – 47.
- [70] 梁俊平, 李 健, 李吉涛, 等. 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1142 – 1152.
- [71] 邹盛希, 李永吉. 温度对青虾胚胎及幼体发育影响的初步观察 [J]. 内陆水产, 2002, 27(4): 15.
- [72] 沈国英, 施并章. 海洋生态学 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1990: 80.
- [73] 吕 佳, 宋胜磊, 唐建清, 等. 克氏原螯虾受精卵发育的温度因子数学模型分析[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2004, 40(2): 226 – 231.
- [74] Katsuyuki H. Effects of temperature on the egg incubation period, survival and developmental period of larvae of the mud crab *Scylla serrate* (Forsk.) (Brachyura: Portunidae) reared in the laboratory [J]. Aquaculture, 2003, 219(1/2/3/4): 561 – 572.
- [75] 王桂忠, 朱冬发, 李少菁. 东方扁虾胚胎发育温比率的初步研究 [J]. 海洋通报, 1998, 17(3): 39 – 44.
- [76] 姚俊杰, 赵云龙. 罗氏沼虾胚胎发育期主要消化酶和同工酶特性[J]. 水产科学, 2006, 25(12): 595 – 600.
- [77] 楼允东. 组织胚胎学 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1996: 218 – 219.
- [78] 邢克智, 刘茂春. 温度对青虾胚胎发育的影响[J]. 河北大学学报(自然科学版), 1996, 16(5): 22 – 26.
- [79] 韩晓磊, 李小蕊, 程东成, 等. 温度对克氏原螯虾交配、抱卵、孵化和幼体生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(10): 2078 – 2080.
- [80] 赵云龙, 孟凡丽, 陈立侨, 等. 不同水温对红螯螯虾胚胎发育的影响[J]. 湖泊科学, 2000, 12(1): 59 – 62.
- [81] 徐加元, 岳彩锋, 戴 颖, 等. 水温、光周期和饲料对克氏原螯虾雌虾成活和性腺发育的影响[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2008, 42(1): 97 – 101.
- [82] 姚海富, 史海东, 毛国民. 不同温度和盐度对锯缘青蟹抱卵的影响试验[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2005, 24(1): 41 – 43, 69.