

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20220411001

http://www.yykxjz.cn/

王馨熠, 刘宝良, 高小强, 王茜, 王贵明, 赵奎峰, 黄滨. UVA 补光时间对凡纳滨对虾肌肉主要营养成分影响研究. 渔业科学进展, 2023, 44(5): 153–161

WANG X Y, LIU B L, GAO X Q, WANG X, WANG G M, ZHAO K F, HUANG B. The effect of UVA supplementation time on the main nutrients of the muscle of *Penaeus vannamei*. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(5): 153–161

# UVA 补光时间对凡纳滨对虾肌肉 主要营养成分影响研究\*

王馨熠<sup>1,2</sup> 刘宝良<sup>2①</sup> 高小强<sup>2</sup> 王茜<sup>1,2</sup> 王贵明<sup>3</sup> 赵奎峰<sup>3</sup> 黄滨<sup>2</sup>

(1. 水产科学国家级实验教学示范中心 上海海洋大学 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室

青岛海洋鱼类养殖与生物技术重点实验室 山东 青岛 266071;

3. 日照禹海红旗水产有限公司 山东 日照 276800)

**摘要** 紫外光 A 波段(Ultraviolet A, UVA)是自然光的重要组成部分,具有一定的生态功能。本研究选取 450 尾体重为(9.56±0.10) g 的凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)以光周期为 12L:12D 的全光谱 LED 灯[光强(1.00±0.02) W/m<sup>2</sup>]作为背景光源,在不同 UVA [光强(1.00±0.02) W/m<sup>2</sup>]补光时间(0 h, T<sub>0h</sub>; 2 h, T<sub>2h</sub>; 4 h, T<sub>4h</sub>; 8 h, T<sub>8h</sub>; 12 h, T<sub>12h</sub>)下进行为期 28 d 的养殖实验。结果显示,在不同 UVA 补光时长下,对虾肌肉中水分和粗灰分含量无显著差异, T<sub>2h</sub>和 T<sub>4h</sub>组的粗脂肪含量显著增加, T<sub>2h</sub>组的粗蛋白显著高于 T<sub>4h</sub>组外的其他组(P<0.05), T<sub>8h</sub>和 T<sub>12h</sub>组的粗脂肪显著低于其他各组(P<0.05),但两组间差异不显著; T<sub>2h</sub>和 T<sub>4h</sub>组氨基酸总量、必需氨基酸含量和赖氨酸含量均显著高于其他组(P<0.05); 凡纳滨对虾饱和脂肪酸(SFA)含量为 27.85%~40.70%, 单不饱和脂肪酸(MUFA)含量为 10.63%~16.31%, 多不饱和脂肪酸(PUFA)含量为 38.81%~49.61%, 其在 T<sub>2h</sub>和 T<sub>4h</sub>组显著高于其他各组(P<0.05), 且在两组间无显著差异。综上所述, 2~4 h 的 UVA 补光时间能够改善凡纳滨对虾肌肉的营养成分。

**关键词** 凡纳滨对虾; UVA 补光时间; 营养成分

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2023)05-0153-09

凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)为广温、广盐、杂食性底栖虾类。其原产于南美太平洋沿岸,主要分布在美国西部太平洋沿岸热带水域,从墨西哥湾至秘鲁中部都有分布,以厄瓜多尔附近的海域更为集中,是世界范围内养殖产量最高的三大优良虾种之一(艾红等, 2008)。在中国,凡纳滨对虾的产量在 2020 年达到 186.50 万 t, 其中,海水养殖 119.77 万 t,淡水

养殖 66.52 万 t, 分别占甲壳类海水养殖产量和淡水养殖产量总量的 67.48%和 15.62% (农业农村部渔业渔政管理局等, 2021)。凡纳滨对虾具有生长迅速、抗病力强、肉质鲜美、产肉率高等优点,适宜进行工厂化养殖。工厂化养殖模式近年来在我国发展迅速,并具有广阔的发展前景,但与传统的池塘养殖模式相比,工厂化养殖隔绝了大部分自然光线,造成厂内昏暗,

\* 中央公益性科研机构基础研究基金(2021XT0604; 2020TD49)资助。王馨熠, E-mail: wangxinyi961@163.com

① 通信作者: 刘宝良, 副研究员, E-mail: liubl@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2022-04-11, 收修改稿日期: 2022-05-12

目前,已有研究表明,对虾对光非常敏感,其个体发育、生存、摄食和生长都直接或间接地受到光的影响(Coyle *et al.*, 2011, You *et al.*, 2006),因此,在养殖过程中进行补光成为目前的重要议题。

紫外光是自然光谱的组成部分,具有重要的生态功能。紫外光按波长分为 UVA (320~400 nm)、UVB (280~320 nm) 和 UVC (200~280 nm) 3 个波段(Madronich *et al.*, 1995),其中 UVA 和 UVB 可以穿透水面到达水体。UVC 虽然对生物有害,但在臭氧层就会被吸收,因此几乎不会到达地球表面。近年来,光环境对动物肌肉品质影响的应用研究逐渐开展,有研究表明,蓝光和绿光灯共同转换能够有效提高罗斯 308 肉鸡的肌肉品质(Karakaya *et al.*, 2009);不同光谱组成下欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)的肌肉营养组成和比例有所不同,相比较下绿光环境更适合其养殖(费凡等, 2019)。研究人员也经常关注生物体暴露在紫外光下的影响:UVB 增强会导致海洋中浮游生物多样性减少、群落结构变化以及生产力下降(Worrest *et al.*, 1978);紫外光会使潮间带鱼光鲷(*Girella laevis*)耗氧量增加、体重增长缓慢,并使其行为上更偏向于寻求岩石庇护,会影响鱼类的能量平衡和生境选择(Pulgar *et al.*, 2017);大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼具有对 UVA 敏感的视网膜感光细胞,UVA 偏振光能够提高其摄食和生长效率(Browman *et al.*, 2006);与暴露在自然太阳光条件下的个体相比,三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)每天照射 4 h UVB 光照会导致其生长速度减缓,脾体指数下降并具有更高的粒细胞/淋巴细胞比率,说明其生长和身体状况均受到了负面影响(Vitt *et al.*, 2017);紫外光能够有效调节鱼类的免疫防御系统,调整其血液中粒细胞和淋巴细胞数量,增加其皮质醇浓度(Salo *et al.*, 2000);此外,人工添加 UVA 和 UVB 照射下会导致北极扇贝(*Pseudocardium sachalinense*)氧化应激显著增强(Dahms *et al.*, 2010)。UVA 和 UVB 能促使禽类皮肤中特别是腿和脚皮肤中的 7-羟基胆固醇合成  $VD_3$ ,这种功能对维持禽类生长、降低胫骨软骨发育不良(Tibial dyschondroplasia, TDP)和佝偻病发病率以及对饲喂缺乏  $VD_3$  饲料时维持禽类正常的骨灰分具有有益的作用(王星果等, 2010)。但紫外光对对虾养殖中的有益影响仍有待探究。Fei 等(2020)研究发现,添加紫外光可以影响凡纳滨对虾的生长和氧化应激生理状态,其中全光谱+UVA 的光环境最适合对虾的生长;在此基础上,Wang 等(2022)研究结果表明,在全光谱的基础上添加 2~4 h 的 UVA 光照对凡纳滨

对虾生长、摄食、免疫及抗氧化系统均会产生有益影响,其死亡率也显著低于其他各组。根据以上实验结果,推测紫外光可能对其营养代谢产生影响,肌肉的营养组成能够在一定程度对其进行验证。基于此,本研究将搭建补光养殖系统,检测 5 个不同 UVA 补光时长(0、2、4、8 和 12 h)对凡纳滨对虾肌肉营养成分构成的影响,预期结果将为凡纳滨对虾养殖产业的技术提升提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验用凡纳滨对虾源自江苏宝源生物科技有限公司。对虾运输到实验室后,养殖在大型水族桶中(直径为 80 cm,内高为 100 cm,有效水体体积为 400 L),进行为期 1 周的驯化,以使其适应养殖新环境。驯化期间,采用商业饲料进行投喂,每日 07:00、13:00 和 19:00 各饱食投喂 1 次。1 周后,选取 450 尾体质匀称健康的凡纳滨对虾进行实验。

### 1.2 实验方法

设置 5 个不同 UVA 补光时长的实验组(0 h,  $T_{0h}$ ; 2 h,  $T_{2h}$ ; 4 h,  $T_{4h}$ ; 8 h,  $T_{8h}$ ; 12 h,  $T_{12h}$ ),每组内设置 3 个重复。方形玻璃养殖缸(长:48 cm,宽:45 cm,高:48 cm,有效水体体积:70 L)。实验开始时,每个养殖缸内放入 30 尾经过驯化的凡纳滨对虾,体重( $9.56 \pm 0.10$ ) g,实验周期为 28 d。实验期间,每个养殖桶均使用曝气泵进行不间断曝气。每日 07:00, 13:00 和 19:00 饱食投喂 1 次,每日投喂饲料的重量按每养殖桶内对虾总质量的 3%进行计算,每天投喂时,均需要称量饲料,投喂后 1 h 收集剩余残饵,烘干称重。

实验在遮光隔间内进行,不同处理组间采用遮光布进行遮盖,以避免处理组之间光源的交叉污染,确保各组光照条件的稳定。光源为 LED 灯(由中国科学院半导体研究所提供设计,无锡华兆泓科技有限公司生产),灯具共有 2 种光色,分别为全光谱(波长 400~800 nm)和 UVA (波长 380~420 nm),光源安装在水面正上方 50 cm 处。在养殖当地(山东日照)06:00—18:00 每 2 h 进行 1 次 UVA 光强测量,所得数值相加后取平均值的 50%作为实验光强。2 种灯具光强均为  $(1.00 \pm 0.02)$  W/m<sup>2</sup>,全光谱灯光周期设置为 12L : 12D。每周用 PLA-20 植物光照分析仪(杭州远方光电信息股份有限公司)在水面上方 2 cm 处测定光照强度并校准。

实验结束后,每个实验缸随机选取 3 只对虾,每

个实验组共取 9 尾对虾,用麻醉剂(丁香酚)进行麻醉,将实验虾放置于冰盘上,取其背部适量肌肉,置于 15 mL 冻存管中,保存在 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱用于营养成分、氨基酸含量和脂肪酸含量的测定。

### 1.3 测定方法

**1.3.1 常规营养成分的测定** 水分测定参照 GB 5009.3-2016 采用  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  干燥法;粗蛋白含量测定参照 GB 5009.5-2016 采用凯氏定氮法;粗脂肪含量测定参照 GB 5009.168-2016 采用索氏抽提法;粗灰分含量测定参照 GB 5009.3-2016 采用  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  灼烧法。

**1.3.2 脂肪酸的测定** 脂肪酸的含量采用气相色谱法测定。称取均匀试样适量,使用焦性没食子酸和 95%乙醇对试样进行水解。95%乙醇和乙醚石油醚混合液作为提取剂对水解后的试样进行前处理,使用气相色谱仪(Agilent 7890A, Agilent, 美国)进行脂肪酸的甲酯化,并用脂肪酸标准样品制作峰面积-浓度的标准曲线,对照标准曲线计算各脂肪酸在样品中的浓度及其相对百分含量。

**1.3.3 氨基酸的测定** 氨基酸的测定采用盐酸水解法。称取均匀试样适量,将其在  $6\text{ mol/L}$  的盐酸中

$110\text{ }^{\circ}\text{C}$  水解 22~24 h,利用氨基酸分析仪(Hitachi L-8900, Hitachi, 日本)测定。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 26.0 软件对实验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),利用 Duncan 多重比较分析不同处理组之间差异;以  $P<0.05$  作为差异显著的标准。所有数据采用平均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ SD)的方式进行表示。

## 2 结果

### 2.1 常规营养成分

不同 UVA 补光时长对凡纳滨对虾肌肉营养成分的影响结果见表 1。如表 1 所示,不同 UVA 补光时长下  $T_{2\text{ h}}$  和  $T_{4\text{ h}}$  组的粗脂肪含量显著增加,高于其他各组; $T_{2\text{ h}}$  组的粗蛋白含量最高,其次为  $T_{4\text{ h}}$  组和  $T_{0\text{ h}}$  组,但 3 组间差异不显著( $P<0.05$ )。 $T_{8\text{ h}}$  和  $T_{12\text{ h}}$  组的粗脂肪显著低于其他各组( $P<0.05$ ),但两组间差异不显著; $T_{12\text{ h}}$  组的粗蛋白含量显著低于除  $T_{8\text{ h}}$  组外的其他各组( $P<0.05$ )。各组间水分和粗灰分含量受 UVA 补光时长影响不显著。

表 1 不同 UVA 光周期下凡纳滨对虾的常规营养成分含量(湿重,%)  
Tab.1 Common nutritional component contents of *P. vannamei* under different UVA light filling duration (wet weight, %)

UVA 补光时长 UVA light filling duration/h	水分 Moisture	粗灰分 Crude ash	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid
0	78.31 $\pm$ 1.12 <sup>a</sup>	2.64 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	16.91 $\pm$ 0.81 <sup>ab</sup>	1.69 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>
2	78.61 $\pm$ 1.31 <sup>a</sup>	2.66 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	17.18 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	1.79 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
4	77.43 $\pm$ 0.57 <sup>a</sup>	2.73 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	17.02 $\pm$ 0.36 <sup>ab</sup>	1.83 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>
8	76.94 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	2.76 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	16.19 $\pm$ 0.15 <sup>bc</sup>	1.60 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>
12	78.28 $\pm$ 1.57 <sup>a</sup>	2.68 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	15.77 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	1.51 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>

注:同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercases in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

### 2.2 脂肪酸组成

不同 UVA 补光时长下凡纳滨对虾肌肉脂肪酸组成结果见表 2。凡纳滨对虾肌肉含有的脂肪酸主要有棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1n-9)、亚油酸(C18:2n-6)、EPA(C20:5n-3)和 DHA(C22:6n-3)等 18 种。凡纳滨对虾肌肉的饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)中, C16:0 占比较高,含量为 17.19%~27.03%,其次为 C18:0,含量为 7.82%~10.99%,二者均在  $T_{2\text{ h}}$  和  $T_{4\text{ h}}$  组显著高于其他各组( $P<0.05$ );单不饱和脂肪

酸以 C18:1n-9 为主,含量为 8.46%~14.21%,其在  $T_{2\text{ h}}$  和  $T_{4\text{ h}}$  组显著高于其他各组( $P<0.05$ );亚油酸、EPA 和 DHA 的含量在在  $T_{2\text{ h}}$  和  $T_{4\text{ h}}$  组显著高于其他各组( $P<0.05$ )。SFA 含量为 27.85%~40.70%, MUFA 含量为 10.63%~16.31%, PUFA 含量为 38.81%~49.61%,其在  $T_{2\text{ h}}$  和  $T_{4\text{ h}}$  组显著高于其他各组( $P<0.05$ ),且在 2 组间无显著差异。n-3 和 n-6 系列多不饱和脂肪酸的总含量在  $T_{2\text{ h}}$  和  $T_{4\text{ h}}$  组显著高于其他各组( $P<0.05$ ),在  $T_{12\text{ h}}$  组含量最低,其次为  $T_{8\text{ h}}$  组,但 2 组间差异不显著( $P>0.05$ )。

表 2 不同 UVA 补光时长下凡纳滨对虾肌肉的脂肪酸组成及含量  
 Tab.2 The composition and content of fatty acids in the muscles of  
*P. vannamei* under different UVA light filling duration/%

脂肪酸 Fatty acid	UVA 补光时长 UVA light filling duration/h				
	0	2	4	8	12
C12:0	0.46±0.02 <sup>a</sup>	0.44±0.04 <sup>b</sup>	0.39±0.01 <sup>b</sup>	0.40±0.03 <sup>b</sup>	0.43±0.02 <sup>b</sup>
C14:0	0.45±0.04 <sup>b</sup>	0.45±0.03 <sup>b</sup>	0.46±0.02 <sup>b</sup>	0.42±0.01 <sup>b</sup>	0.54±0.02 <sup>a</sup>
C15:0	0.45±0.02 <sup>a</sup>	0.41±0.01 <sup>a</sup>	0.41±0.03 <sup>a</sup>	0.43±0.02 <sup>a</sup>	0.42±0.04 <sup>a</sup>
C16:0	20.09±0.48 <sup>b</sup>	27.03±1.46 <sup>a</sup>	27.00±3.62 <sup>a</sup>	18.26±1.99 <sup>b</sup>	17.19±0.08 <sup>b</sup>
C17:0	0.46±0.02 <sup>a</sup>	0.44±0.03 <sup>ab</sup>	0.43±0.05 <sup>ab</sup>	0.40±0.02 <sup>b</sup>	0.40±0.01 <sup>b</sup>
C18:0	8.56±0.64 <sup>b</sup>	10.26±0.10 <sup>a</sup>	10.99±1.69 <sup>a</sup>	8.74±0.10 <sup>b</sup>	7.82±0.06 <sup>b</sup>
C20:0	0.54±0.01 <sup>a</sup>	0.51±0.02 <sup>a</sup>	0.52±0.04 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>	0.51±0.01 <sup>a</sup>
C24:0	0.53±0.02 <sup>a</sup>	0.51±0.02 <sup>a</sup>	0.50±0.02 <sup>a</sup>	0.50±0.01 <sup>a</sup>	0.53±0.04 <sup>a</sup>
∑SFA	31.54±1.11 <sup>b</sup>	40.05±1.46 <sup>a</sup>	40.70±4.67 <sup>a</sup>	29.64±1.95 <sup>b</sup>	27.85±0.06 <sup>b</sup>
C16:1	0.16±0.01 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	0.14±0.02 <sup>a</sup>	0.14±0.02 <sup>a</sup>	0.13±0.03 <sup>a</sup>
C20:1	0.43±0.04 <sup>a</sup>	0.44±0.03 <sup>a</sup>	0.46±0.01 <sup>a</sup>	0.45±0.02 <sup>a</sup>	0.44±0.02 <sup>a</sup>
C22:1	0.57±0.02 <sup>a</sup>	0.55±0.03 <sup>ab</sup>	0.52±0.01 <sup>b</sup>	0.55±0.03 <sup>ab</sup>	0.55±0.03 <sup>ab</sup>
C18:1n-9	10.57±0.68 <sup>b</sup>	14.21±1.45 <sup>a</sup>	14.13±2.06 <sup>a</sup>	10.50±0.15 <sup>b</sup>	8.46±1.22 <sup>b</sup>
C20:1n-9	0.96±0.03 <sup>a</sup>	0.98±0.06 <sup>a</sup>	1.04±0.03 <sup>a</sup>	1.05±0.02 <sup>a</sup>	1.05±0.10 <sup>a</sup>
∑MUFA	12.69±0.67 <sup>b</sup>	16.31±1.45 <sup>a</sup>	16.28±2.08 <sup>a</sup>	12.68±0.18 <sup>b</sup>	10.63±1.31 <sup>b</sup>
C18:2n-6	12.28±0.38 <sup>b</sup>	14.31±1.50 <sup>a</sup>	15.51±1.53 <sup>a</sup>	10.86±0.52 <sup>b</sup>	10.44±0.35 <sup>b</sup>
C18:3n-3	1.29±0.05 <sup>b</sup>	1.15±0.07 <sup>c</sup>	1.22±0.08 <sup>bc</sup>	1.62±0.05 <sup>a</sup>	1.15±0.03 <sup>c</sup>
C20:4n-6	0.96±0.01 <sup>a</sup>	0.94±0.03 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	0.98±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.14 <sup>b</sup>
C20:5n-3	13.62±0.53 <sup>b</sup>	15.20±0.48 <sup>a</sup>	15.41±0.97 <sup>a</sup>	13.88±0.11 <sup>b</sup>	13.75±0.51 <sup>b</sup>
C22:6n-3	14.56±0.27 <sup>b</sup>	16.67±0.05 <sup>a</sup>	16.57±0.11 <sup>a</sup>	13.33±0.09 <sup>c</sup>	13.08±0.07 <sup>c</sup>
∑PUFA	42.71±0.88 <sup>b</sup>	48.27±1.83 <sup>a</sup>	49.61±2.11 <sup>a</sup>	40.65±0.35 <sup>bc</sup>	38.81±0.59 <sup>c</sup>
∑UFA	55.40±0.34 <sup>b</sup>	64.58±2.94 <sup>a</sup>	65.89±4.06 <sup>a</sup>	53.33±0.47 <sup>bc</sup>	49.44±0.78 <sup>c</sup>
∑n-3	29.47±0.68 <sup>b</sup>	33.02±0.58 <sup>a</sup>	33.20±0.94 <sup>a</sup>	28.82±0.25 <sup>bc</sup>	27.99±0.49 <sup>c</sup>
∑n-6	13.24±0.38 <sup>b</sup>	15.25±1.53 <sup>a</sup>	16.41±1.54 <sup>a</sup>	11.84±0.53 <sup>bc</sup>	10.82±0.29 <sup>c</sup>

注: SFA: 饱和脂肪酸; MUFA: 单不饱和脂肪酸; PUFA: 多不饱和脂肪酸; 同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 下同。

Note: SFA: Saturated fatty acid, MUFA: Monounsaturated fatty acid, PUFA: Polyunsaturated fatty acid. Different lowercases in the same row indicate significant differences ( $P<0.05$ ), the same below.

### 2.3 氨基酸组成

由表 3 可知, 在凡纳滨对虾肌肉中检测出 17 种常见氨基酸(色氨酸未检出)。其中, 包括 7 种必需氨基酸(EAA)、2 种半必需氨基酸(HEAA)和 8 种非必需氨基酸(NEAA)。方差分析结果显示, 17 种氨基酸在不同 UVA 补光时长下部分存在显著差异, 其中,  $T_{2h}$  和  $T_{4h}$  组中 3 种必需氨基酸(蛋氨酸、亮氨酸和赖氨酸)、1 种半必需氨基酸(精氨酸)、3 种非必需氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸和甘氨酸)以及总氨基酸、必需氨基酸、半必需氨基酸和非必需氨基酸含量均显著高于其他各组( $P<0.05$ ), 2 组间差异不显著( $P>0.05$ ); 3 种必

需氨基酸(苏氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸)的含量在不同 UVA 补光时长下差异不显著( $P>0.05$ )。从对虾肌肉氨基酸组成中可以得出, 不同 UVA 补光时长下对虾肌肉的 17 种氨基酸中均为谷氨酸含量最高,  $T_{0h}$ 、 $T_{2h}$ 、 $T_{4h}$ 、 $T_{8h}$  和  $T_{12h}$  组肌肉中谷氨酸含量分别为 2.02%、2.72%、2.71%、1.95%和 1.93%, 而后依次为甘氨酸、天冬氨酸、精氨酸、亮氨酸和赖氨酸, 胱氨酸含量最低,  $T_{0h}$ 、 $T_{2h}$ 、 $T_{4h}$ 、 $T_{8h}$  和  $T_{12h}$  组肌肉中胱氨酸含量分别为 0.02%、0.03%、0.04%、0.03%和 0.04%。不同 UVA 补光时长下对虾肌肉的 EAA/TAA 为 0.36~0.38, EAA/NEAA 在 0.68~0.73 之间, 组间差异均不显著( $P>0.05$ )。

表 3 不同 UVA 补光时长下凡纳滨对虾肌肉的氨基酸组成及含量(湿重, g/100 g)  
Tab.3 The composition and content of amino acids in the muscles of *P. vannamei* under different UVA light filling duration (wet weight, g/100 g)

氨基酸 Amino acid	UVA 补光时长 UVA light filling duration/h				
	0	2	4	8	12
天冬氨酸 Asp	1.31±0.02 <sup>b</sup>	2.01±0.09 <sup>a</sup>	2.15±0.16 <sup>a</sup>	1.31±0.04 <sup>b</sup>	1.28±0.09 <sup>b</sup>
苏氨酸 Thr*	0.53±0.02 <sup>a</sup>	0.51±0.03 <sup>a</sup>	0.55±0.02 <sup>a</sup>	0.55±0.03 <sup>a</sup>	0.56±0.04 <sup>a</sup>
丝氨酸 Ser	0.56±0.04 <sup>a</sup>	0.49±0.01 <sup>b</sup>	0.55±0.02 <sup>a</sup>	0.53±0.02 <sup>ab</sup>	0.52±0.04 <sup>ab</sup>
谷氨酸 Glu	2.02±0.13 <sup>b</sup>	2.72±0.24 <sup>a</sup>	2.71±0.32 <sup>a</sup>	1.95±0.14 <sup>b</sup>	1.93±0.21 <sup>b</sup>
甘氨酸 Gly	1.54±0.09 <sup>b</sup>	2.41±0.22 <sup>a</sup>	2.38±0.10 <sup>a</sup>	1.53±0.17 <sup>b</sup>	1.55±0.18 <sup>b</sup>
丙氨酸 Ala	0.82±0.09 <sup>b</sup>	0.91±0.02 <sup>ab</sup>	0.94±0.03 <sup>a</sup>	0.84±0.01 <sup>b</sup>	0.85±0.03 <sup>b</sup>
胱氨酸 Cys	0.02±0.00 <sup>c</sup>	0.03±0.00 <sup>ab</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.03±0.00 <sup>b</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>
缬氨酸 Val*	0.58±0.03 <sup>b</sup>	0.61±0.01 <sup>b</sup>	0.65±0.02 <sup>a</sup>	0.58±0.03 <sup>b</sup>	0.61±0.03 <sup>b</sup>
蛋氨酸 Met*	0.55±0.00 <sup>b</sup>	0.63±0.03 <sup>a</sup>	0.65±0.01 <sup>a</sup>	0.53±0.01 <sup>b</sup>	0.56±0.01 <sup>b</sup>
异亮氨酸 Ile*	0.57±0.06 <sup>a</sup>	0.52±0.03 <sup>a</sup>	0.57±0.03 <sup>a</sup>	0.55±0.01 <sup>a</sup>	0.54±0.02 <sup>a</sup>
亮氨酸 Leu*	1.08±0.13 <sup>b</sup>	1.95±0.01 <sup>a</sup>	2.03±0.05 <sup>a</sup>	0.95±0.02 <sup>c</sup>	1.03±0.04 <sup>bc</sup>
酪氨酸 Tyr	0.46±0.01 <sup>ab</sup>	0.48±0.01 <sup>ab</sup>	0.49±0.04 <sup>a</sup>	0.45±0.01 <sup>b</sup>	0.45±0.01 <sup>b</sup>
苯丙氨酸 Phe*	0.65±0.04 <sup>a</sup>	0.64±0.02 <sup>a</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>	0.67±0.02 <sup>a</sup>	0.69±0.04 <sup>a</sup>
赖氨酸 Lys*	1.33±0.23 <sup>b</sup>	1.90±0.19 <sup>a</sup>	1.94±0.37 <sup>a</sup>	1.12±0.15 <sup>b</sup>	1.11±0.05 <sup>b</sup>
组氨酸 His	0.29±0.02 <sup>b</sup>	0.29±0.02 <sup>b</sup>	0.34±0.02 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>ab</sup>	0.31±0.03 <sup>ab</sup>
精氨酸 Arg	1.15±0.19 <sup>b</sup>	2.29±0.45 <sup>a</sup>	2.12±0.31 <sup>a</sup>	1.11±0.18 <sup>b</sup>	1.30±0.03 <sup>b</sup>
脯氨酸 Pro	0.47±0.03 <sup>d</sup>	0.60±0.02 <sup>b</sup>	0.66±0.03 <sup>a</sup>	0.61±0.02 <sup>b</sup>	0.54±0.03 <sup>c</sup>
总氨基酸 TAA	13.93±0.31 <sup>b</sup>	19.00±0.38 <sup>a</sup>	19.44±0.14 <sup>a</sup>	13.62±0.28 <sup>b</sup>	13.86±0.31 <sup>b</sup>
必需氨基酸 EAA	5.27±0.32 <sup>b</sup>	6.77±0.11 <sup>a</sup>	7.07±0.38 <sup>a</sup>	4.94±0.15 <sup>b</sup>	5.09±0.04 <sup>b</sup>
非必需氨基酸 NEAA	7.21±0.27 <sup>b</sup>	9.65±0.48 <sup>a</sup>	9.91±0.52 <sup>a</sup>	7.24±0.30 <sup>b</sup>	7.16±0.32 <sup>b</sup>
半必需氨基酸 HEAA	1.44±0.17 <sup>b</sup>	2.58±0.44 <sup>a</sup>	2.46±0.31 <sup>a</sup>	1.44±0.17 <sup>b</sup>	1.61±0.04 <sup>b</sup>
EAA/TAA	0.38±0.02 <sup>a</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	0.36±0.03 <sup>a</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	0.37±0.01 <sup>a</sup>
EAA/NEAA	0.73±0.05 <sup>a</sup>	0.70±0.04 <sup>a</sup>	0.72±0.07 <sup>a</sup>	0.68±0.03 <sup>a</sup>	0.71±0.03 <sup>a</sup>

注: \*表示必需氨基酸。

Note: \* represent the essential amino acid.

### 3 讨论

#### 3.1 不同 UVA 补光时长对凡纳滨对虾肌肉常规营养成分的影响

肌肉营养成分是评价肉类品质的重要指标,而凡纳滨对虾具有低脂肪高蛋白的特点,是一种高营养价值的经济品种(王杏等, 2017)。物种、养殖环境和饵料摄取是决定水生动物肌肉品质的主要因素,不同的养殖环境以及食物的组成都会影响水产动物肌肉的品质。水生动物的营养成分也会受到光环境变化的影响(狄正凯等, 2021)。有研究表明,蓝光环境能大幅度降低虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)肝脏的粗脂肪含量,表明蓝光环境对其存在一定程度的胁迫,导致其消耗大量能量以应对环境胁迫(Karakatsouli *et al.*, 2007);本研究中, T<sub>8h</sub>和 T<sub>12h</sub>组也产生了类似的现象,

说明,长时间的 UVA 补光对凡纳滨对虾造成了一定程度的胁迫;而短时间的 UVA 补光(T<sub>2h</sub>和 T<sub>4h</sub>)并没有导致凡纳滨对虾肌肉粗脂肪含量的降低,说明短时间的 UVA 补光对其不存在胁迫或产生的胁迫较小。另外, Karakatsouli 等(2010)研究表明,低强度的红光照射可以显著增加镜鲤(*Cyprinus carpio*)鱼体肌肉蛋白质的含量;在本研究中, T<sub>2h</sub>组蛋白质含量最高,其次为 T<sub>4h</sub>和 T<sub>0h</sub>组,但 3 组间差异不显著,说明, 2~4 h 的 UVA 照射不足以对凡纳滨对虾的蛋白质含量造成显著的影响;而 T<sub>8h</sub>和 T<sub>12h</sub>组蛋白质含量较低,其中, T<sub>8h</sub>组与对照组 T<sub>0h</sub>差异不显著。这可能是过量 UVA 辐照压力使凡纳滨对虾产生了应激行为,间接影响其机体代谢活动造成的。王彦波等(2013)研究认为,当对虾产生应激胁迫时,对虾自身的调控机制会发生变化,使机体代谢活动增强,进而导致能量重新分配,最终对对虾机体的营养组成产生影响。目前,

关于 UVA 是如何影响对虾营养代谢的机制还不清楚,有待于进一步研究。

### 3.2 不同 UVA 补光时长对凡纳滨对虾肌肉脂肪酸含量的影响

水生动物生长和生存所需的必须脂肪酸除受自身物种影响外,还受其所处温度、盐度和投喂饲料等影响。张永珍等(2016)研究表明,半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)在受到外部环境刺激时,机体饱和脂肪酸发挥重要的分解功能,其中 C16:0 被优先用于能量消耗,且 C16:0 含量在饱和脂肪酸(SFA)中最高。在本研究中, T<sub>2h</sub> 和 T<sub>4h</sub> 组对虾肌肉 C16:0 含量显著高于其他 3 组,可能是由于 T<sub>0h</sub>、T<sub>8h</sub> 和 T<sub>12h</sub> 组消耗了大量的能量。评价肌肉营养品质高低的另一个重要指标是其多不饱和脂肪酸(PUFA)的含量(王广军等, 2008)。近年来, PUFA 在人类营养中的重要作用得到了广泛研究(NDA, 2014)。PUFA 在神经发生、传递和抗氧化应激等方面发挥一定作用(Innis, 2007)。此外,还能对各种人类疾病的发展产生有益影响,例如自身免疫和炎症(Liu *et al*, 2014)、心血管和神经退行性疾病(Zhang *et al*, 2019)等。二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)在肌肉组织中的积累与饮食中的摄入成正比(张德勇等, 2021)。人类饮食中 n-3 脂肪酸的主要来源是水产动物, EPA 和 DHA 的推荐每日摄入量为 250 mg (Lieshout *et al*, 2017)。本研究在所有处理组的对虾肌肉中共检测到 18 种脂肪酸,其中, T<sub>2h</sub> 和 T<sub>4h</sub> 的 PUFA 含量显著高于其他组。在 PUFA 中,最主要的是亚油酸、EPA 和 DHA, 分别占脂肪酸总量的 10.44%~15.51%、13.62%~15.41% 和 13.08%~16.67%。邹朝阳等(2019)研究认为,亚油酸在人体中可以降低血液和肝脏中的胆固醇水平,对糖尿病也能起到预防作用; EPA 和 DHA 则已被誉为人体生长发育所必需的脂肪酸,它们具有提高视力、增强免疫、健全大脑发育、降低血脂等多项生理功能(Brenna *et al*, 2014)。因此,可以说明在短时间 UVA 补光(2~4 h)下,凡纳滨对虾肌肉脂肪酸组成更符合食品健康要求,且具有较高的营养价值。

### 3.3 不同 UVA 补光时长对凡纳滨对虾肌肉氨基酸含量的影响

蛋白质在对虾的各项生命活动中均扮演着重要的角色,而氨基酸作为蛋白质的基本组成单元,在机体的蛋白质代谢过程中发挥着重要作用。蛋白质水平及其氨基酸构成是评价对虾营养价值的重要指标,而氨基酸中,人体必需氨基酸的含量又是评价蛋白质优

劣的主要参考指标(李晓等, 2018)。蛋白质是氨基酸通过肽键连接构成的生物大分子,食物蛋白中含有 20 余种氨基酸,其中,有 8 种氨基酸是人体不能自身合成的,需要从食物中摄取以满足机体的需要(胡芬, 2011)。氨基酸(TAA)含量和必需氨基酸(EAA)含量也是评价水产品营养价值的重要指标。在本研究中, T<sub>2h</sub> 和 T<sub>4h</sub> 组天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、赖氨酸和精氨酸均显著高于其他各组,其中,蛋氨酸、亮氨酸和赖氨酸为人体自身不能合成的 EAA,可作为评价食物蛋白营养价值的重要指标。氨基酸不仅可以作为合成蛋白质的原料,且具有特殊的生理功能,如赖氨酸不仅能促进钙在体内的吸收和累积,还对生长发育过程具有促进作用。这也可以从营养成分方面进一步证明 T<sub>2h</sub> 和 T<sub>4h</sub> 组凡纳滨对虾的生长性能与其他组相比更为优越。同时,在 T<sub>2h</sub> 和 T<sub>4h</sub> 组中 EAA、HEAA、NEAA 和 TAA 含量也显著高于其他组,说明在短时间 UVA 补光(T<sub>2h</sub> 和 T<sub>4h</sub> 组)下凡纳滨对虾的营养价值较高。根据 FAO/WHO 的理想模式,质量较好的蛋白质的氨基酸组成中 EAA/TAA 应为 40%左右, EAA/NEAA 应该在 60%以上(邴旭文等, 2005)。在本研究中,不同 UVA 补光时间下 EAA/TAA 为 36%~38%, EAA/NEAA 为 68%~73%,不同 UVA 补光时长并没有对凡纳滨对虾肌肉 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 产生显著影响,这也进一步说明凡纳滨对虾具有较好的蛋白质质量。

## 4 结论

综合凡纳滨对虾肌肉常规营养成分含量以及其脂肪酸和氨基酸组成,评价不同 UVA 补光时长下凡纳滨对虾营养成分后得出: T<sub>2h</sub> 和 T<sub>4h</sub> 组的对虾肌肉成分相较于其他组其粗蛋白和粗脂肪含量更高,其他营养成分与另外 3 组差异不显著;且其 EAA、HEAA、NEAA 和 TAA 含量以及 C16:0 和 PUFA 含量均高于其他各组,这表明 2 组对虾肌肉营养更丰富, 2~4 h 的 UVA 补光能够在一定程度上改善对虾营养组成,提高其营养品质,更符合凡纳滨对虾工厂化的养殖的实际需求。

## 参 考 文 献

- AI H, HUANG Q Z, XU Z Z, *et al*. World production and trade characteristics of shrimp. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(6): 113-119 [艾红, 黄巧珠, 徐泽智, 等. 世界对虾生产及其贸易特征分析. *南方水产科学*, 2008, 4(6): 113-119]

- BING X W, CAI B Y, WANG L P. Evaluation of nutritive quality and nutritional components in *Spinibarbus sinensis* muscle. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(2): 211–215 [邢旭文, 蔡宝玉, 王利平. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价. *中国水产科学*, 2005, 12(2): 211–215]
- BRENNAN J T, CARLSON S E. Docosahexaenoic acid and human brain development: Evidence that a dietary supply is needed for optimal development. *Journal of Human Evolution*, 2014, 77: 99–106
- BROWMAN H I, SKIFTESVIK A B, KUHN P, *et al.* The relationship between ultraviolet and polarized light and growth rate in the early larval stages of turbot (*Scophthalmus maximus*), Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic herring (*Clupea harengus*) reared in intensive culture conditions. *Aquaculture*, 2006, 256(1/2/3/4): 296–301
- Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. *China fishery statistical yearbook 2021*. Beijing: China Agriculture Press, 2021 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2021 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2021]
- COYLE S D, BRIGHT L A, WOOD D R, *et al.* Performance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in zero-exchange tank systems exposed to different light sources and intensities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2011, 42(5): 687–695
- DAHMS H U, LEE J S. UV radiation in marine ectotherms: Molecular effects and responses. *Aquatic Toxicology*, 2010, 97(1): 3–14
- DI Z K, LI K, LIU R C, *et al.* Effects of photoperiod and light intensity on the growth, muscle nutrition and economic performance of Murray cod (*Maccullochella peelii*) in the recirculating aquaculture system. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, 45(4): 781–789 [狄正凯, 李慷, 刘如聪, 等. 光照周期和光照强度对循环水系统中墨瑞鲈的生长、肌肉营养成分及养殖收益的影响. *水生生物学报*, 2021, 45(4): 781–789]
- FEI F, LIU B, GAO X, *et al.* Effects of supplemental ultraviolet light on growth, oxidative stress responses, and apoptosis-related gene expression of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 2020, 520: 735013
- FEI F, REN J L, DAI M Y, *et al.* Effects of five kinds of light color environments on nutritional quality of *Dicentrarchus labrax*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(5): 2431–2441 [费凡, 任纪龙, 代明允, 等. 5 种光色环境对欧洲舌齿鲈营养品质的影响. *动物营养学报*, 2019, 31(5): 2431–2441]
- HU F. Reserch progress in comprehensive nutritional evaluation of freshwater fish. Master's Thesis of Huazhong Agricultural University, 2011 [胡芬. 淡水鱼营养综合评价体系的建立. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2011]
- INNIS S M. Dietary (n-3) fatty acids and brain development. *Journal of Nutrition*, 2007, 137(4): 855–859
- KARAKATSOULI N, PAPOUTSOGLOU E S, SOTIROPOULOS N, *et al.* Effects of light spectrum, rearing density and light intensity on growth performance of scaled and mirror common carp *Cyprinus carpio* reared under recirculating system conditions. *Aquacultural Engineering* 2010, 42(3): 121–127
- KARAKATSOULI N, PAPOUTSOGLOU S E, PIZZONIA G, *et al.* Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilthead seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions. *Aquacultural Engineering*, 2007, 36(3): 302–309
- KARAKAYA M, PARLAT S S, YILMAZ M T, *et al.* Growth performance and quality properties of meat from broiler chickens reared under different monochromatic light sources. *British Poultry Science*, 2009, 50(1): 76–82
- LI X, WANG Y, LI H Y, *et al.* Analysis and assessment of nutrient composition in head and muscle of pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fisheries Science*, 2018, 37(1): 66–72 [李晓, 王颖, 李红艳, 等. 凡纳滨对虾虾头与肌肉营养成分分析与评价. *水产科学*, 2018, 37(1): 66–72]
- LIESHOUT L V, SIOEN I, EILANDER A, *et al.* Systematic review on N-3 and N-6 polyunsaturated fatty acid intake in European countries in light of the current recommendations-focus on specific population groups. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2017, 70(1): 39–50
- LIU J, MA D W L. The role of n-3 polyunsaturated fatty acids in the prevention and treatment of breast cancer. *Nutrients*, 2014, 6(11): 5184–5223
- MADRONICH S, MCKENZIE R L, CALDWELL M, *et al.* Changes in ultraviolet-radiation reaching the earth's surface. *Ambio*, 1995, 24: 143–152
- NDA. Scientific opinion on health benefits of seafood (fish and shellfish) consumption in relation to health risks associated with exposure to methylmercury. *EFSA Journal*, 2014, 12(7): 3761–3780
- PULGAR J, WALDISPERG M, GALBAN-MALAGON C, *et al.* UV radiation impacts body weight, oxygen consumption, and shelter selection in the intertidal vertebrate *Girella laevis*. *Science of the Total Environment*, 2017, 578(1): 317–322
- SALO H M, JOKINEN E I, MARKKULA S E, *et al.* Comparative effects of UVA and UVB irradiation on the immune system of fish. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 2000, 56(2/3): 154–162
- VITT S, RAHN A K, DROLSHAGEN L, *et al.* Enhanced ambient UVB light affects growth, body condition and the investment in innate and adaptive immunity in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Aquatic Ecology*, 2017, 51(4): 499–509
- WANG G J, GUAN S J, WU R Q, *et al.* Analysis and evaluation

- on nutritional composition in muscles of big mouth bass, *Micropterus salmoides*. *Marine Fisheries*, 2008, 30(3): 239–244 [王广军, 关胜军, 吴锐全, 等. 大口黑鲈肌肉营养成分分析及营养评价. *海洋渔业*, 2008, 30(3): 239–244]
- WANG X G, LEWIS R M G. Reaction of poultry to ultraviolet radiation. *China Poultry*, 2010, 32(21): 39–43 [王星果, LEWIS R M G. 家禽对紫外辐射的反应. *中国家禽*, 2010, 32(21): 39–43]
- WANG X, HUANG Z R, WANG Y L, *et al.* Effect of T-2 toxin on muscle protein content and composition of *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(11): 8 [王杏, 黄展锐, 王雅玲, 等. T-2 毒素对凡纳滨对虾肌肉蛋白质含量与组成的影响. *中国食品学报*, 2017, 17(11): 8]
- WANG X, LIU B, GAO X, *et al.* The Effects of different UVA photoperiods on the growth performance, immune responses, antioxidant status and apoptosis-related gene expression of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Antibiotics-Basel*, 2022, 11(1): 37
- WANG Y B, LI H J, WANG T Z, *et al.* Changes in the muscle quality and enzyme activity of white shrimp, *Penaeus vannamei*, induced by crowding. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013(4): 5 [王彦波, 李宏吉, 王特樟, 等. 拥挤应激对南美白对虾肌肉品质 and 酶的影响. *中国食品学报*, 2013(4): 5]
- WORREST R C, DYKE H V, THOMSON B E. Impact of enhances simulated solar ultraviolet radiation upon a marine community. *Photochemistry and Photobiology*, 1978, 27(4): 471–478
- YOU K, YANG H S, LIU Y, *et al.* Effects of different light sources and illumination methods on growth and body color of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 2006, 252(2/3/4): 557–565
- ZHANG D Y, XU X L. A review of indirect mechanism of EPA and DHA in improving nervous system. *Journal of The Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(3): 178–184 [张德勇, 许晓路. EPA、DHA 改善神经系统的几种间接机制研究进展. *中国粮油学报*, 2021, 36(3): 178–184]
- ZHANG X F, PANG S C, LIU C J, *et al.* A novel dietary source of EPA and DHA: Metabolic engineering of an important freshwater species-common carp by fat1-transgenesis. *Marine Biotechnology*, 2019, 21(2): 171–185
- ZHANG Y Z, YANG Y M, WANG L, *et al.* Comparative study of hte muscle fatty acid composition of different families of half smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(2): 417–424 [张永珍, 杨英明, 王磊, 等. 半滑舌鳎不同家系肌肉中脂肪酸含量的分析. *中国水产科学*, 2016, 23(2): 417–424]
- ZOU C Y, ZHAO F, WANG Z, *et al.* Analysis and evaluation of nutrition and texture quality in different parts of turbot (*Scophthalmus maximus*). *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(6): 186–195 [邹朝阳, 赵峰, 王志, 等. 大菱鲆不同部位营养与质构品质分析评价. *渔业科学进展*, 2019, 40(6): 186–195]

(编辑 陈 辉)

## The Effect of UVA Supplementation Time on the Main Nutrients of the Muscle of *Penaeus vannamei*

WANG Xinyi<sup>1,2</sup>, LIU Baoliang<sup>2①</sup>, GAO Xiaoqiang<sup>2</sup>, WANG Xi<sup>1,2</sup>,  
WANG Guiming<sup>3</sup>, ZHAO Kuifeng<sup>3</sup>, HUANG Bin<sup>2</sup>

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Qingdao 266071, China; 3. Yuhai Hongqi Ocean Engineering Co. Ltd, Rizhao 276800, China)

**Abstract** UVA is an important component of natural light and has certain ecological functions. However, it remains unclear whether UVA affects the nutrient composition of *Penaeus vannamei*. We built a supplementary light culture system for *P. vannamei* and used classic nutrient composition analysis techniques to analyze the nutrient, fatty acid, and amino acid composition of the shrimp muscle tissue after different supplementary UVA light durations. Our results provide a theoretical reference for the

① Corresponding author: LIU Baoliang, E-mail: liubl@ysfri.ac.cn



technological improvement of *P. vannamei* culture. A total of 450 shrimps [weighing  $(9.56 \pm 0.10)$  g] were included in a 28-day culture experiment with background lighting of 12L:12D photoperiod with full spectrum LED light [light intensity  $(1.00 \pm 0.02)$  W/m<sup>2</sup>]. The experimental design randomly included different UVA [light intensity  $(1.00 \pm 0.02)$  W/m<sup>2</sup>] supplementation (0 h, T<sub>0h</sub>; 2 h, T<sub>2h</sub>; 4 h, T<sub>4h</sub>; 8 h, T<sub>8h</sub>; 12 h, T<sub>12h</sub>). The results revealed no significant variation in the water and crude ash content of the shrimp muscles after different UVA light durations. The crude fat content increased significantly in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups ( $P < 0.05$ ). The crude protein was significantly higher in the T<sub>2h</sub> group than that in the other groups ( $P < 0.05$ ), except the T<sub>4h</sub> group. The crude fat was significantly lower in the T<sub>8h</sub> and T<sub>12h</sub> groups than that in all other groups ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between the T<sub>8h</sub> and T<sub>12h</sub> groups. Among saturated fatty acids (SFA) in the shrimp muscle, C16:0 was highest (with 17.19%–27.03%), followed by C18:0 (with 7.82%–10.99%), and both were significantly higher in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups ( $P < 0.05$ ). The dominant monounsaturated fatty acids were C18:1n-9 (with 8.46%–14.21%), and were significantly higher in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups ( $P < 0.05$ ). Linoleic acid and EPA were significantly higher in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups ( $P < 0.05$ ). The SFA content was 27.85%–40.70%, MUFA was 10.63%–16.31% and PUFA was 16.31%. The total content of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids was significantly higher in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups than those in the other groups ( $P < 0.05$ ), and was significantly lower than those in the T<sub>12h</sub> group, and significantly low than those in the T<sub>8h</sub> group ( $P < 0.05$ ). However, the difference between the T<sub>12h</sub> and T<sub>8h</sub> groups was not significant ( $P > 0.05$ ). Seventeen common amino acids (excluding tryptophan, which was not detected) were detected in the muscle of *P. vannamei*. These included seven essential amino acids (EAA), two semi-essential amino acids (HEAA) and eight non-essential amino acids (NEAA). The results showed significant variation between the fraction of the 17 amino acids at different UVA light supplementation durations, with three essential amino acids (methionine, leucine, and lysine), one semi-essential amino acid (arginine), three non-essential amino acids (aspartic acid, glutamic acid, and glycine) and total, essential, semi-essential and non-essential amino acids in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups. The content of the three essential amino acids (threonine, isoleucine, and phenylalanine) did not differ significantly ( $P > 0.05$ ) with the different UVA light supplementation durations. The amino acid composition in the shrimp muscles showed that among the 17 amino acids at different UVA supplementation durations, the highest levels were glutamic acid with 2.02%, 2.72%, 2.71%, 1.95% and 1.93% in the T<sub>0h</sub>, T<sub>2h</sub>, T<sub>4h</sub>, T<sub>8h</sub>, and T<sub>12h</sub> groups respectively, followed by glycine, aspartic acid, arginine, leucine, and lysine. The cystine content was the lowest, at 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.03% and 0.04% in the T<sub>0h</sub>, T<sub>2h</sub>, T<sub>4h</sub>, T<sub>8h</sub>, and T<sub>12h</sub> groups, respectively. The EAA/TAA of shrimp muscle at different UVA supplementation durations ranged from 0.36 to 0.38 and EAA/NEAA from 0.68 to 0.73, with no components varying significantly between the treatments ( $P > 0.05$ ). The evaluation of the nutritional composition of the muscle of *P. vannamei* under different UVA light supplementation durations identified the muscle composition of shrimp in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups was high in protein and fat, while other nutritional components did not vary significantly from the other three groups. The EAA, HEAA, NEAA, and TAA contents, as well as the C16:0 and polyunsaturated fatty acids were higher in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups than those in the other groups. Therefore, shrimp in the T<sub>2h</sub> and T<sub>4h</sub> groups were more nutritious with a better nutritional status. In terms of the nutritional composition of the muscles of *P. vannamei*, 2–4 h of UVA supplementation can improve their nutritional quality and increase their nutritional value to a certain extent. In conclusion, the aquaculture light environment for *P. vannamei* requires further optimization.

**Key words** *Penaeus vannamei*; UVA supplementation time; Nutrient content