

文章编号: 1674-5566(2019)04-0491-10

DOI:10.12024/jsou.20180902392

## 大棚养殖和露天养殖模式下不同生长阶段凡纳滨对虾肌肉营养成分比较

吴丹<sup>1</sup>, 江敏<sup>1,2</sup>, 吴昊<sup>2,3</sup>, 戴习林<sup>2,3</sup>, 余苗苗<sup>1</sup>, 金若晨<sup>1</sup>, 孙世玉<sup>1</sup>,  
王旭娜<sup>1</sup>, 姚丹<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 2. 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

**摘要:** 分析凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 在大棚养殖(40、60、74、94 d)和露天养殖(40、60、80、95 d)模式下相近生长阶段肌肉中水解氨基酸和脂肪酸的组成和含量, 并对其营养价值进行评价。结果表明: (1) 在大棚养殖和露天养殖模式下, 凡纳滨对虾肌肉中粗蛋白、粗脂肪和粗灰分的含量在其相近生长阶段间无显著性差异。(2) 大棚养殖模式下, 凡纳滨对虾生长至 40、60、74、94 d 时的不饱和脂肪酸分别占脂肪酸总量的 64.46%、60.97%、62.47%、63.16%; 露天养殖模式下, 凡纳滨对虾生长至 40、60、80、95 d 时的不饱和脂肪酸含量分别占脂肪酸总量的 67.69%、64.74%、65.35%、65.63%。两种养殖模式下凡纳滨对虾肌肉均含丰富的不饱和脂肪酸, 且大棚养殖模式下凡纳滨对虾在其相近生长阶段的多不饱和脂肪酸显著 ( $P < 0.05$ ) 低于露天养殖。(3) 大棚养殖和露天养殖模式下相近生长阶段凡纳滨对虾肌肉氨基酸组成基本一致, 均包含 17 种氨基酸。大棚养殖模式下, 凡纳滨对虾生长至 40、60、80、95 d 时必需氨基酸占总氨基酸的比值分别为 29.36%、30.71%、33.28%、32.91%, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值分别为 50.04%、55.63%、63.14%、60.56%; 露天养殖模式下, 凡纳滨对虾生长至 40、60、80、95 d 时必需氨基酸占总氨基酸的比值分别为 34.70%、33.69%、32.93%、34.11%, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值分别为 64.44%、63.72%、62.66%、66.76%, 基本符合 FAO/WHO 理想模式, 露天养殖的凡纳滨对虾氨基酸总量、必需氨基酸总量、鲜味氨基酸总量均显著高于大棚养殖。大棚养殖和露天养殖模式下凡纳滨对虾是一种高蛋白低脂肪, 具有较高营养保健价值的虾类资源; 露天养殖凡纳滨对虾肌肉营养品质总体优于大棚养殖的凡纳滨对虾。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 大棚养殖; 露天养殖; 营养成分; 品质

**中图分类号:** S 968.22<sup>+</sup>9 **文献标志码:** A

凡纳滨对虾, 又称南美白对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 属于对虾科 (Penaeidae)、对虾属 (*Penaeus*), 是世界上公认的优良虾种之一<sup>[1]</sup>。因其含肉率高、肉质鲜美, 广受消费者喜爱。自 1988 年张伟权引入我国后, 其养殖在沿海和内陆地区得到迅速发展<sup>[2]</sup>, 至 2015 年, 我国的产量已达到了  $8.931\ 82 \times 10^9\ t$ <sup>[3]</sup>。目前, 关于在不同养殖模式下凡纳滨对虾品质分析的研究很多, 但多侧重于同一规格的虾体, 如段亚飞等<sup>[4]</sup>对深水网

箱[体质量( $5.65 \pm 0.34$ )g]和池塘养殖[体质量( $5.63 \pm 0.44$ )g]凡纳滨对虾肌肉进行了常规营养成分、氨基酸和脂肪酸质量分数的比较分析; 彭永兴等<sup>[5]</sup>比较了海水养殖[体长( $10.68 \pm 0.42$ )cm、体质量( $11.24 \pm 0.95$ )g]和淡水养殖[体长( $10.22 \pm 0.36$ )g、体质量( $10.85 \pm 0.78$ )g]凡纳滨对虾肌肉营养成分的差异。席丽萍等<sup>[6]</sup>对池塘养殖凡纳滨对虾幼虾到成虾阶段的生长差异情况进行了研究。对于不同养殖模式下不

收稿日期: 2018-09-03 修回日期: 2019-01-28

基金项目: 上海市产业技术体系建设项目(沪农科产字[2014]第 5 号); 上海市教委重点学科建设项目(J50701); 上海市高校知识服务平台项目(ZF1206)

作者简介: 吴丹(1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为环境化学。E-mail: 799969725@qq.com

通信作者: 江敏, E-mail: mjiang@shou.edu.cn

同生长阶段凡纳滨对虾品质的研究尚未见报道。因此,本研究在大棚养殖和露天养殖两种不同模式下,就凡纳滨对虾不同生长期间肌肉中一般营养成分及氨基酸和脂肪酸种类和含量进行对比分析,探究其不同生长阶段肌肉的营养成分变化,旨在为养殖户在饲养期间合理改善饲料、提高凡纳滨对虾食用品质提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本研究于2017年3—9月在上海奉贤区海峰水产养殖专业合作社进行,基于气候的考虑,主要采取大棚养殖和露天养殖两种养殖模式,虾塘的饲料投喂历史状况及饲料成分见表1。

表1 饲料投喂历史及饲料成分表

Tab.1 Feed feeding history and feed ingredient list

生长天数 Growing days/d	饲料名称 Feed name	饲料成分分析保证值 Guaranteed value of feed composition analysis/%
0~5	虾片	-
5~25	南美白对虾配合饲料幼虾宝 G6210X1	粗蛋白质 $\geq$ 41, 粗纤维 $\leq$ 5.0, 粗灰分 $\leq$ 16.0, 粗脂肪 $\geq$ 4 钙1.0~4.0, 总磷 $\geq$ 1.0, 赖氨酸 $\geq$ 2.2, 水分 $\leq$ 11
26~35	南美白对虾配合饲料1#破碎 G6210X1	粗蛋白质 $\geq$ 41, 粗纤维 $\leq$ 5.0, 粗灰分 $\leq$ 15.0, 粗脂肪 $\geq$ 6 钙1.0~4.0, 总磷 $\geq$ 1.0, 赖氨酸 $\geq$ 2.2, 水分 $\leq$ 12
36~50	南美白对虾配合饲料1#颗粒 G6210X1	粗蛋白质 $\geq$ 41, 粗纤维 $\leq$ 5.0, 粗灰分 $\leq$ 15.0, 粗脂肪 $\geq$ 6 钙1.0~4.0, 总磷 $\geq$ 1.0, 赖氨酸 $\geq$ 2.2, 水分 $\leq$ 12
50之后	南美白对虾配合饲料2#料颗粒 G6210X1	粗蛋白质 $\geq$ 42, 粗纤维 $\leq$ 5.0, 粗灰分 $\leq$ 15.0, 粗脂肪 $\geq$ 6 钙 $\leq$ 3.0, 总磷 $\geq$ 1.0, 赖氨酸 $\geq$ 2.3, 水分 $\leq$ 12

实验中,3—6月为大棚养殖时间,取4口塘作为采样池塘,采样日期分别为4月7日、4月27日、5月11日和5月31日,对应的对虾生长天数及平均体质量为40 d、(1.53 $\pm$ 0.08)g,60 d、(2.71 $\pm$ 0.31)g,74 d、(7.58 $\pm$ 0.26)g和94 d、(7.73 $\pm$ 4.32)g。7—9月为露天养殖时间,取5口塘作为采样池塘,采样日期分别为7月29日、8月19日、9月8日以及9月23日,其对应的对虾生长天数及平均体质量为40 d、(2.19 $\pm$ 1.86)g,60 d、(2.85 $\pm$ 1.26)g,80 d、(6.92 $\pm$ 2.98)g和95 d、(8.02 $\pm$ 1.88)g。每次从塘中随机采集3尾体型完整、健康有活力的凡纳滨对虾,用滤纸轻轻擦拭干净虾体体表水分后,测定其体质量,随后除去虾头、虾尾以及虾壳,装入样品袋于-20℃冰箱冷冻保存,分析时取出解冻。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 营养成分测定方法

水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分的含量分别按照GB/T 5009.3—2016《食品中水分的测定》、GB/T 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》、GB/T 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》和GB/T 5009.4—2016《食品中灰分的测定》进行。

水解氨基酸的测定按照GB/T 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》进行。从-20℃冰

箱内取出实验样品(以一尾虾作为一个样品,每个塘共3个实验样品,结果取平均值),解冻后将样品剪碎、捣烂并准确称取0.05g,放入消解瓶中,加入10mL浓度为6mol/L的盐酸溶液,在消解瓶中充满氮气后旋紧螺旋盖,于110℃石墨消解炉内消解24h,消解结束后取出将其冷却至室温。用1mL一次性注射器将消解液经0.22 $\mu$ m微孔滤膜过滤至2mL离心管中。从离心管中移取100 $\mu$ L消解液至2mL安瓿瓶中,氮气吹干后加入500 $\mu$ L样品稀释液,过0.22 $\mu$ m微孔滤膜装入2mL进样瓶中,上氨基酸分析仪进行检测。

脂肪酸的测定根据GB 5009.168—2016《食品中脂肪酸的测定》进行。称取0.5g样品(干重)于安瓿瓶中,加入5mL10%的乙酰氯甲醇溶液,充氮气后旋紧螺旋盖,振荡混合后于80℃的水浴锅内水浴2h,其间每20min取出震荡一次。水浴结束后冷却至室温,将反应液转移至10mL离心管中,5000r/min离心5min后取200 $\mu$ L上清液于2mL进样瓶中,上气相色谱质谱联用仪进行检测。

#### 1.2.2 营养品质评价方法

将实验测得的必需氨基酸含量与联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WFO)建议的必需氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白模式进行比

较,并分别参照以下公式计算氨基酸评分( $S_{AA}$ )、化学评分( $S_C$ )以及必需氨基酸指数( $I_{EAA}$ )<sup>[7-10]</sup>。

$$S_{AA} = \frac{aa}{AA_{(FAO/WHO)}} \quad (1)$$

$$S_C = \frac{aa}{AA_{(Egg)}} \quad (2)$$

$$I_{EAA} = \sqrt[n]{\frac{100A}{A_{Egg}} \times \frac{100B}{B_{Egg}} \times \frac{100C}{C_{Egg}} \times \dots \times \frac{100J}{J_{Egg}}} \quad (3)$$

式中: $aa$ 为实验样品蛋白质中某种氨基酸含量,mg/g N; $AA_{(FAO/WHO)}$ 为FAO/WHO标准模式下同种氨基酸含量,mg/g N; $AA_{(Egg)}$ 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量,mg/g N; $n$ 为比较的必需氨基酸个数; $A、B、C、\dots、J$ 为实验蛋白质的必需氨基酸含量,mg/g N; $A_{Egg}、B_{Egg}、C_{Egg}、\dots、J_{Egg}$ 为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量,mg/g N。

### 1.3 数据处理

实验所得数据使用SPSS Statistics 19.0软件进行分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

表2 大棚和露天养殖模式下凡纳滨对虾不同生长阶段肌肉中一般营养成分的组成(%湿重)

Tab.2 Common nutrient composition in muscles of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in different growth stages(% ,fresh weight)

养殖模式 Cultivation mode	生长天数 Growing days/d	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Crude ash
大棚养殖 Greenhouse culture	40	23.85 ± 1.63 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.03 <sup>a</sup>
	60	23.74 ± 1.60 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.00 ± 0.01 <sup>a</sup>
	74	22.81 ± 4.58 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.00 <sup>a</sup>
	94	20.03 ± 3.73 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.02 <sup>a</sup>
露天养殖 Outdoor culture	40	23.10 ± 3.20 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.57 ± 0.01 <sup>a</sup>
	60	21.71 ± 1.62 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.63 ± 0.02 <sup>a</sup>
	80	20.78 ± 1.05 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.02 <sup>a</sup>
	95	20.07 ± 1.00 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.46 ± 0.04 <sup>a</sup>

注:每一列相近时间点标有相同小写字母的数值之间差异不显著( $P > 0.05$ )

Notes: Mean values within a column at similar time were not significantly different at  $P > 0.05$

### 2.2 肌肉中脂肪酸的组成

实验中共检测出22种脂肪酸(表3),大棚养殖的凡纳滨对虾肌肉脂肪酸中未检测出顺-8,11,14-二十碳三烯酸(C20:3, cis-8,11,14),而露天养殖则未检测出顺-6,9,12-十八碳三烯酸(C18:3, cis-6,9,12)。

大棚养殖的凡纳滨对虾在其生长40、60和94 d的肌肉中检测出了21种脂肪酸,在其生长74 d的肌肉中检测出了20种脂肪酸,顺-6,9,12-十八碳三烯酸(C18:3, cis-6,9,12)未被检测出。露天养殖的凡纳滨对虾在其生长60、80、95 d的肌肉中检测出21种脂肪酸,在其生长40 d的肌

## 2 结果与分析

### 2.1 一般营养成分

由表2可知:大棚养殖模式下,凡纳滨对虾生长至40、60、74及94 d时,肌肉中粗蛋白含量分别为23.85%、23.74%、22.81%和20.03%,粗脂肪含量分别为1.10%、0.41%、0.51%和0.66%,粗灰分含量分别为1.50%、2.00%、1.49%和1.73%;露天养殖模式下,凡纳滨对虾生长至40、60、80和95 d时,肌肉中粗蛋白含量分别为23.10%、21.71%、20.78%和20.07%,粗脂肪含量分别为0.72%、0.51%、0.62%和0.47%,粗灰分含量分别为1.57%、1.63%、1.54%和1.46%。大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾在其相近生长阶段粗蛋白、粗脂肪及粗灰分含量间无显著性差异。

肉中检测出20种脂肪酸,二十一烷酸(C21:0)未被检测出。

在饱和脂肪酸中,棕榈酸均为大棚和露天养殖凡纳滨对虾肌肉的主要成分,含量分别占脂肪总量的21.45%~23.17%和17.75%~20.99%。在不饱和脂肪酸中,大棚和露天养殖的凡纳滨对虾均是EPA的含量最高,分别占脂肪总量的12.62%~18.17%和13.43%~16.62%,造成该研究结果的原因可能与对虾摄食的饲料相关。凡纳滨对虾体内不能自身合成EPA,需要通过食物链的富集作用才能在体内积聚起来,凡纳滨对虾主要以投喂的饲料为食,由此推测饲料

中可能含有较高含量的 EPA,使得凡纳滨对虾肌肉的不饱和脂肪酸中 EPA 含量均最高<sup>[4]</sup>。

大棚养殖模式下凡纳滨对虾在其相近生长阶段的多不饱和脂肪酸显著低于露天养殖,在饲料投喂、养殖密度、养殖规格相近的情况下,多考虑为养殖环境及摄食背景的差异导致该实验结果。露天养殖模式下凡纳滨对虾生活在露天开放的环境中,易受自然天气影响,如降雨、台风等,对虾除摄取投喂的饲料之外,还摄食浮游动物、底栖生物幼体、小型软体动物和硅藻等,在开放的自然环境下上述饵料丰富多样。大棚养殖的养殖环境相对稳定,对虾除摄食投喂的饲料外,其他摄食饵料相对较少。因此,露天养殖模

式下的对虾有较大的活力和较丰富的多不饱和脂肪酸,具有较高的营养价值。

## 2.3 氨基酸组成与营养品质评价

### 2.3.1 氨基酸组成分析

由表4可知:大棚及露天养殖凡纳滨对虾肌肉中均检测出17种水解氨基酸(色氨酸未被检出),其中包括7种人体必需氨基酸、2种半必需氨基酸、8种非必需氨基酸;大棚养殖40、60、74和94d时凡纳滨对虾肌肉中的氨基酸总量分别为21.01、19.69、22.60和35.64 g/100 g;露天养殖40、60、80和95d时分别为32.07、33.60、33.55和37.35 g/100 g。

表3 不同生长阶段大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾肌肉脂肪酸组成及含量

Tab.3 The composition and content of fatty acids in the muscles of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in different growth stages

脂肪酸 Fatty acid	大棚养殖 Greenhouse culture			
	40 d	60 d	74 d	94 d
肉豆蔻酸 C14:0	0.65 ± 0.07	0.95 ± 0.33	0.49 ± 0.09	0.58 ± 0.26
十五烷酸 C15:0	0.58 ± 0.03	0.76 ± 0.13	0.56 ± 0.01	0.70 ± 0.18
棕榈酸 C16:0	21.86 ± 0.97	22.12 ± 1.79	23.17 ± 0.97	21.45 ± 0.05
十六碳烯酸甘油三酯 C16:1, cis-9	4.44 ± 1.99	4.59 ± 1.78	4.49 ± 0.17	5.07 ± 1.10
十七烷酸 C17:0	1.11 ± 0.11	1.42 ± 0.28	1.26 ± 0.15	1.50 ± 0.29
硬脂酸 C18:0	9.06 ± 0.21	10.94 ± 0.29	9.69 ± 0.29	10.05 ± 0.08
十八碳烯酸甘油三酯 C18:1T, trans-9	7.27 ± 1.19	7.55 ± 1.75	8.48 ± 0.34	7.86 ± 0.33
十八碳烯酸甘油三酯 C18:1, cis-9	7.69 ± 1.34	8.07 ± 1.66	8.18 ± 0.36	7.98 ± 0.08
十八碳二烯酸甘油三酯 C18:2, cis-2,12	9.01 ± 1.39	9.78 ± 3.38	13.93 ± 0.02	11.73 ± 0.08
花生酸 C20:0	0.56 ± 0.06	0.67 ± 0.02	0.59 ± 0.08	0.69 ± 0.20
十八碳三烯酸甘油三酯 C18:3, cis-6,9,12	0.17 ± 0.09	0.28 ± 0.15	-	0.14 ± 0.10
二十碳烯酸甘油三酯 C20:1, cis-11	0.48 ± 0.05	0.66 ± 0.04	0.52 ± 0.01	0.65 ± 0.09
亚麻酸甘油三酯 C18:3, cis-9,12,15	3.54 ± 0.05	2.89 ± 0.69	3.40 ± 0.08	3.26 ± 0.27
二十一烷酸 C21:0	0.11 ± 0.07	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.12	0.18 ± 0.05
二十碳二烯酸甲酯 C20:2, cis-11,14	0.71 ± 0.07	0.75 ± 0.18	0.91 ± 0.05	0.74 ± 0.13
二十二烷酸甲酯 C22:0	0.74 ± 0.08	1.15 ± 0.18	0.75 ± 0.03	0.86 ± 0.10
二十碳三烯酸甘油三酯 C20:3, cis-8,11,14	-	-	-	-
二十碳三烯酸甲酯 C20:3, cis-11,14,17	0.49 ± 0.04	1.21 ± 0.16	0.84 ± 0.06	1.16 ± 0.39
二十碳四烯酸甲酯 C20:4, cis-5,8,11,14	3.18 ± 0.48	5.00 ± 0.74	3.27 ± 0.01	3.68 ± 0.25
二十四碳烯酸 C24:0	0.97 ± 0.09	0.82 ± 0.07	0.84 ± 0.05	0.83 ± 0.01
二十碳五烯酸甘油三酯(EPA) C20:5, cis-5,8,11,14,17	18.17 ± 1.24	15.85 ± 0.39	18.17 ± 0.10	12.62 ± 1.34
二十二碳六烯酸甘油三酯(DHA) C22:6, cis-4,7,10,13,11...	9.30 ± 0.53	8.28 ± 2.17	9.94 ± 0.60	8.50 ± 0.71
饱和脂肪酸总量(ΣSFA) Total saturated fatty acids	35.63 ± 1.69 <sup>a</sup>	39.03 ± 3.10 <sup>a</sup>	37.53 ± 1.79 <sup>a</sup>	36.84 ± 1.22 <sup>a</sup>
不饱和脂肪酸总量(ΣUFA) Total unsaturated fatty acids	64.46 ± 8.75 <sup>a</sup>	60.97 ± 13.09 <sup>a</sup>	62.47 ± 3.59 <sup>a</sup>	63.16 ± 4.87 <sup>a</sup>
单不饱和脂肪酸总量(ΣMUFA) Total mono-unsaturated fatty acids	19.89 ± 4.36 <sup>a</sup>	20.89 ± 5.23 <sup>a</sup>	21.67 ± 0.88 <sup>a</sup>	21.56 ± 1.60 <sup>a</sup>
多不饱和脂肪酸总量(ΣPUFA) Total poly-unsaturated fatty acids	44.57 ± 4.39 <sup>a</sup>	40.08 ± 7.86 <sup>a</sup>	40.80 ± 2.71 <sup>a</sup>	41.60 ± 3.27 <sup>a</sup>

续表 3

脂肪酸 Fatty acid	露天养殖 Outdoor culture			
	40 d	60 d	80 d	95 d
肉豆蔻酸 C14:0	0.73 ± 0.27	0.69 ± 0.15	0.41 ± 0.08	0.47 ± 0.09
十五烷酸 C15:0	0.47 ± 0.09	0.58 ± 0.10	0.47 ± 0.07	0.50 ± 0.06
棕榈酸 C16:0	18.13 ± 3.85	20.99 ± 2.61	18.52 ± 1.75	17.75 ± 0.34
十六碳烯酸甘油三酯 C16:1, cis-9	2.64 ± 1.39	3.32 ± 1.47	1.37 ± 0.21	1.83 ± 0.30
十七烷酸 C17:0	1.39 ± 0.02	1.20 ± 0.12	1.38 ± 0.31	1.36 ± 0.24
硬脂酸 C18:0	9.51 ± 0.38	9.74 ± 1.49	11.33 ± 1.20	11.89 ± 0.58
十八碳烯酸甘油三酯 C18:1T, trans-9	7.37 ± 1.09	8.09 ± 0.79	8.90 ± 0.24	9.07 ± 0.18
十八碳烯酸甘油三酯 C18:1, cis-9	4.88 ± 2.13	4.55 ± 2.42	7.34 ± 2.64	7.68 ± 2.63
十八碳二烯酸甘油三酯 C18:2, cis-2, 12	10.35 ± 1.60	13.77 ± 2.95	14.55 ± 1.48	14.91 ± 0.53
花生酸 C20:0	0.63 ± 0.07	0.53 ± 0.15	0.70 ± 0.11	0.67 ± 0.04
十八碳三烯酸甘油三酯 C18:3, cis-6, 9, 12	-	-	-	-
二十碳烯酸甘油三酯 C20:1, cis-11	0.48 ± 0.06	0.56 ± 0.10	0.58 ± 0.14	0.66 ± 0.08
亚麻酸甘油三酯 C18:3, cis-9, 12, 15	2.02 ± 0.19	2.10 ± 0.69	1.80 ± 0.46	2.25 ± 0.57
二十一烷酸 C21:0	-	0.13 ± 0.06	0.18 ± 0.08	0.17 ± 0.02
二十碳二烯酸甲酯 C20:2, cis-11, 14	0.46 ± 0.04	0.81 ± 0.18	0.95 ± 0.23	1.04 ± 0.11
二十二烷酸甲酯 C22:0	0.74 ± 0.18	0.54 ± 0.23	0.86 ± 0.21	0.82 ± 0.08
二十碳三烯酸甘油三酯 C20:3, cis-8, 11, 14	0.26 ± 0.04	0.21 ± 0.10	0.37 ± 0.24	0.22 ± 0.13
二十碳三烯酸甲酯 C20:3, cis-11, 14, 17	1.17 ± 0.01	0.56 ± 0.39	1.06 ± 0.18	0.59 ± 0.15
二十碳四烯酸甲酯 C20:4, cis-5, 8, 11, 14	4.78 ± 0.12	3.97 ± 0.44	3.24 ± 1.12	4.13 ± 0.41
二十四碳烯酸 C24:0	0.71 ± 0.01	0.88 ± 0.11	0.78 ± 0.03	0.74 ± 0.03
二十碳五烯酸甘油三酯 (EPA) C20:5, cis-5, 8, 11, 14, 17	13.43 ± 0.06	16.62 ± 1.73	14.14 ± 1.10	13.68 ± 0.55
二十二碳六烯酸甘油三酯 (DHA) C22:6, cis-4, 7, 10, 13, 11...	6.95 ± 0.04	10.22 ± 0.98	11.15 ± 1.07	10.00 ± 0.79
饱和脂肪酸总量(ΣSFA) Total saturated fatty acids	32.31 ± 4.87 <sup>a</sup>	35.26 ± 5.03 <sup>a</sup>	34.65 ± 3.85 <sup>a</sup>	34.37 ± 1.47 <sup>a</sup>
不饱和脂肪酸总量(ΣUFA) Total unsaturated fatty acids	67.69 ± 6.77 <sup>a</sup>	64.74 ± 12.24 <sup>a</sup>	65.35 ± 9.18 <sup>a</sup>	65.63 ± 6.43 <sup>a</sup>
单不饱和脂肪酸总量(ΣMUFA) Total mono-unsaturated fatty acids	15.37 ± 4.66 <sup>a</sup>	16.52 ± 4.77 <sup>a</sup>	18.19 ± 3.22 <sup>a</sup>	19.24 ± 3.19 <sup>a</sup>
多不饱和脂肪酸总量(ΣPUFA) Total poly-unsaturated fatty acids	52.32 ± 2.11 <sup>b</sup>	48.22 ± 7.47 <sup>b</sup>	47.16 ± 5.96 <sup>b</sup>	46.39 ± 2.94 <sup>b</sup>

注:每一行相近时间点标有相同上标字母的数值之间差异不显著( $P > 0.05$ )

Notes: Values with the same letters at similar time are not significantly different at  $P > 0.05$

相近生长阶段大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾的肌肉氨基酸组成一致,均以谷氨酸含量最高,其次为天门冬氨酸和精氨酸,而酪氨酸含量最低。在40、60 d以及最后收虾时,大棚养殖凡纳滨对虾肌肉中的氨基酸总量( $\Sigma AA$ )、必需氨基酸总量( $\Sigma EAA$ )、半必需氨基酸总量( $\Sigma HEAA$ )、鲜味氨基酸总量( $\Sigma DAA$ )以及非必需氨基酸总量( $\Sigma NEAA$ )均低于露天养殖。大棚养殖对虾在生长40、60、74以及94 d时必需氨基酸占总氨基酸的比值分别为29.36%、30.71%、33.28%和32.91%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值分别为50.04%、55.63%、63.14%和60.56%;露天养殖对虾在生长40、60、80以及95 d时必需氨基酸占总氨基酸的比值分别为34.70%、33.69%、32.93%、34.11%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值分别为64.44%、63.72%、62.66%、66.76%。

两种模式下的凡纳滨对虾肌肉氨基酸总量、必需氨基酸总量以及鲜味氨基酸总量均随虾体

的生长基本呈上升趋势;在大棚养殖对虾40、60、74 d和露天养殖对虾40、60、80 d时,大棚养殖对虾肌肉的上述各总量均显著低于露天养殖,最后收虾时(即大棚养殖94 d,露天养殖95 d),各总量间无显著差异。

### 2.3.2 营养品质评价

按照氨基酸评分AAS评价标准,由表5可知:大棚养殖的凡纳滨对虾在其生长40 d时的第一限制氨基酸为赖氨酸,第二限制氨基酸为异亮氨酸;而在其余生长阶段第一限制氨基酸为异亮氨酸,第二限制氨基酸为苏氨酸;露天养殖模式下的凡纳滨对虾在其生长95 d时的第一限制氨基酸为苏氨酸和异亮氨酸,第二限制氨基酸为胱氨酸+蛋氨酸;而其余生长阶段第一限制氨基酸为异亮氨酸,第二限制氨基酸为苏氨酸。露天养殖模式下的凡纳滨对虾在其生长40、60 d以及最后收虾时的氨基酸评分AAS都高于大棚养殖的凡纳滨对虾。

表4 不同生长阶段大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾肌肉氨基酸组成及含量(湿重)  
Tab.4 Amino acid composition and content in the muscles of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in different growth stages (fresh weight) g/100g

分类 Classification	名称 Name	大棚养殖 Greenhouse culture				露天养殖 Outdoor culture			
		40 d	60 d	74 d	94 d	40 d	60 d	80 d	95 d
必需氨基酸 Essential amino acids	苏氨酸(Thr)	0.79 ± 0.09	0.61 ± 0.09	0.68 ± 0.12	1.25 ± 0.16	1.11 ± 0.04	1.11 ± 0.11	0.97 ± 0.09	0.93 ± 0.18
	缬氨酸(Val)	0.77 ± 0.08	0.62 ± 0.07	0.77 ± 0.13	1.12 ± 0.15	1.04 ± 0.06	1.04 ± 0.05	1.01 ± 0.09	1.24 ± 0.15
	蛋氨酸(Met)	0.55 ± 0.15	0.57 ± 0.08	0.58 ± 0.09	0.83 ± 0.06	0.87 ± 0.08	0.91 ± 0.02	0.84 ± 0.08	1.04 ± 0.31
	异亮氨酸(Ile)	0.57 ± 0.07	0.43 ± 0.08	0.55 ± 0.15	0.84 ± 0.14	0.86 ± 0.09	0.83 ± 0.05	0.74 ± 0.08	0.95 ± 0.13
	亮氨酸(Leu)	1.69 ± 0.37	1.68 ± 0.15	1.92 ± 0.23	2.94 ± 0.30	2.70 ± 0.13	2.82 ± 0.13	2.76 ± 0.09	3.15 ± 0.29
	苯丙氨酸(Phe)	1.13 ± 0.08	1.00 ± 0.06	1.15 ± 0.09	1.78 ± 0.14	1.70 ± 0.12	1.65 ± 0.07	1.63 ± 0.04	1.99 ± 0.22
	赖氨酸(Lys)	0.66 ± 0.88	1.22 ± 0.69	1.86 ± 0.65	2.97 ± 0.28	2.85 ± 0.15	2.97 ± 0.11	3.10 ± 0.23	3.45 ± 0.32
半必需氨基酸 Semiessential amino acids	组氨酸(His)	0.82 ± 0.04	0.81 ± 0.06	0.87 ± 0.18	0.98 ± 0.41	1.01 ± 0.02	1.10 ± 0.06	1.25 ± 0.13	1.24 ± 0.06
	精氨酸(Arg)	1.70 ± 0.43	1.99 ± 0.16	2.29 ± 0.29	3.55 ± 0.32	2.66 ± 0.13	3.41 ± 0.08	3.60 ± 0.37	4.29 ± 0.39
非必需氨基酸 Nonessential amino acids	谷氨酸(Glu)	3.86 ± 0.27	3.55 ± 0.34	4.02 ± 0.50	6.08 ± 0.63	5.92 ± 0.31	5.80 ± 0.17	5.95 ± 0.21	6.67 ± 0.54
	甘氨酸(Gly)	2.06 ± 0.16	2.01 ± 0.20	1.52 ± 0.12	2.92 ± 0.26	2.69 ± 0.15	2.94 ± 0.28	2.71 ± 0.52	2.71 ± 0.14
	丙氨酸(Ala)	1.41 ± 0.16	1.23 ± 0.17	1.48 ± 0.10	2.63 ± 0.48	2.24 ± 0.14	2.16 ± 0.38	1.83 ± 0.11	1.99 ± 0.14
	天门冬氨酸(Asp)	2.80 ± 0.11	2.52 ± 0.17	2.91 ± 0.30	4.19 ± 0.32	3.67 ± 0.12	3.91 ± 0.10	4.12 ± 0.14	4.23 ± 0.62
	丝氨酸(Ser)	1.20 ± 0.08	1.07 ± 0.07	1.20 ± 0.07	1.79 ± 0.14	1.69 ± 0.05	1.64 ± 0.11	1.60 ± 0.06	1.64 ± 0.13
	脯氨酸(Pro)	0.90 ± 0.16	0.52 ± 0.08	0.65 ± 0.04	1.54 ± 0.28	0.88 ± 0.11	1.09 ± 0.25	1.18 ± 0.29	1.61 ± 0.55
	胱氨酸(Cys)	0.06 ± 0.03	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.12 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.13 ± 0.04	0.17 ± 0.02
	酪氨酸(Tyr)	0.05 ± 0.00	0.07 ± 0.02	0.08 ± 0.03	0.09 ± 0.01	0.06 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.11 ± 0.03	0.07 ± 0.02
	ΣAA	21.01 <sup>a</sup>	19.69 <sup>a</sup>	22.60 <sup>a</sup>	35.64 <sup>a</sup>	32.07 <sup>b</sup>	33.60 <sup>b</sup>	33.55 <sup>b</sup>	37.35 <sup>a</sup>
	ΣEAA	6.17 <sup>a</sup>	6.13 <sup>a</sup>	7.52 <sup>a</sup>	11.73 <sup>a</sup>	11.13 <sup>b</sup>	11.32 <sup>b</sup>	11.05 <sup>b</sup>	12.74 <sup>a</sup>
ΣHEAA	2.52 <sup>a</sup>	2.81 <sup>a</sup>	3.16 <sup>a</sup>	4.54 <sup>a</sup>	3.67 <sup>a</sup>	4.51 <sup>b</sup>	4.85 <sup>a</sup>	5.53 <sup>a</sup>	
ΣDAA	11.31 <sup>a</sup>	10.38 <sup>a</sup>	11.16 <sup>a</sup>	17.69 <sup>a</sup>	16.28 <sup>b</sup>	16.53 <sup>b</sup>	16.36 <sup>b</sup>	17.66 <sup>a</sup>	
ΣNEAA	12.33 <sup>a</sup>	11.02 <sup>a</sup>	11.91 <sup>a</sup>	19.37 <sup>a</sup>	17.17 <sup>b</sup>	17.76 <sup>b</sup>	17.64 <sup>b</sup>	19.02 <sup>a</sup>	
ΣEAA/ΣAA/%	29.36 <sup>a</sup>	30.71 <sup>a</sup>	33.28 <sup>a</sup>	32.91 <sup>a</sup>	34.70 <sup>b</sup>	33.69 <sup>a</sup>	32.93 <sup>a</sup>	34.11 <sup>a</sup>	
ΣEAA/ΣNEAA/%	50.04 <sup>a</sup>	55.63 <sup>a</sup>	63.14 <sup>a</sup>	60.56 <sup>a</sup>	64.44 <sup>b</sup>	63.72 <sup>b</sup>	62.66 <sup>a</sup>	66.76 <sup>b</sup>	

注:每一行相近时间点标有相同小写字母的数值之间差异不显著(P>0.05)  
Notes: Mean values with the same letters at similar time were not significantly different at P>0.05

表5 不同生长阶段大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾肌肉必需氨基酸组成评价  
Tab.5 Composition and evaluation of essential amino acids in the muscles of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in different growth stages

养殖模式 Cultivation mode	养殖时间 Breeding time/d	氨基酸评分 AAS							必需氨基酸指数 EAAI
		苏氨酸 Threonine (Thr)	缬氨酸 Valine (Val)	赖氨酸 Lysine (Lys)	亮氨酸 Leucine (Leu)	异亮氨酸 Isoleucine (Ile)	苯丙氨酸+酪氨酸 Phenylalanine + tyrosine (Phe + Tyr)	胱氨酸+蛋氨酸 Cystine + methionine (Cys + Met)	
大棚养殖 Greenhouse culture	40	0.44 ± 0.05	0.50 ± 0.05	0.28 ± 0.03	0.54 ± 0.12	0.32 ± 0.04	0.48 ± 0.04	0.39 ± 0.12	
	60	0.34 ± 0.05	0.40 ± 0.05	0.50 ± 0.08	0.53 ± 0.05	0.24 ± 0.04	0.42 ± 0.03	0.40 ± 0.06	
	74	0.38 ± 0.07	0.49 ± 0.08	0.77 ± 0.11	0.61 ± 0.10	0.31 ± 0.08	0.49 ± 0.03	0.40 ± 0.06	
	94	0.70 ± 0.09	0.72 ± 0.10	1.22 ± 0.09	0.94 ± 0.13	0.47 ± 0.08	0.75 ± 0.06	0.61 ± 0.03	
露天养殖 Outdoor culture	40	0.62 ± 0.02	0.66 ± 0.04	1.17 ± 0.06	0.86 ± 0.04	0.48 ± 0.05	0.75 ± 0.06	0.63 ± 0.05	
	60	0.62 ± 0.06	0.67 ± 0.03	1.22 ± 0.04	0.90 ± 0.04	0.46 ± 0.03	0.73 ± 0.04	0.68 ± 0.02	
	80	0.54 ± 0.05	0.65 ± 0.06	1.28 ± 0.09	0.88 ± 0.03	0.41 ± 0.04	0.74 ± 0.03	0.62 ± 0.06	
	95	0.52 ± 0.10	0.79 ± 0.10	1.42 ± 0.13	1.00 ± 0.09	0.53 ± 0.07	0.87 ± 0.09	0.77 ± 0.20	
养殖模式 Cultivation mode	养殖时间 Breeding time/d	化学评分 CS							必需氨基酸指数 EAAI
		苏氨酸 Threonine (Thr)	缬氨酸 Valine (Val)	赖氨酸 Lysine (Lys)	亮氨酸 Leucine (Leu)	异亮氨酸 Isoleucine (Ile)	苯丙氨酸+酪氨酸 Phenylalanine + tyrosine (Phe + Tyr)	胱氨酸+蛋氨酸 Cystine + methionine (Cys + Met)	
大棚养殖 Greenhouse culture	40	0.38 ± 0.04	0.31 ± 0.03	0.16 ± 0.21	0.47 ± 0.10	0.28 ± 0.04	0.35 ± 0.03	0.31 ± 0.09	30.90
	60	0.29 ± 0.04	0.25 ± 0.03	0.29 ± 0.05	0.46 ± 0.04	0.21 ± 0.04	0.31 ± 0.02	0.32 ± 0.05	29.65
	74	0.33 ± 0.06	0.31 ± 0.05	0.44 ± 0.15	0.53 ± 0.06	0.27 ± 0.07	0.36 ± 0.02	0.32 ± 0.05	35.72
	94	0.60 ± 0.08	0.46 ± 0.06	0.70 ± 0.07	0.81 ± 0.08	0.41 ± 0.07	0.55 ± 0.04	0.49 ± 0.03	56.01
露天养殖 Outdoor culture	40	0.54 ± 0.02	0.42 ± 0.02	0.68 ± 0.04	0.75 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.54 ± 0.04	0.51 ± 0.04	53.99
	60	0.53 ± 0.05	0.42 ± 0.02	0.70 ± 0.03	0.78 ± 0.04	0.40 ± 0.03	0.53 ± 0.03	0.55 ± 0.02	54.44
	80	0.47 ± 0.04	0.41 ± 0.04	0.74 ± 0.05	0.76 ± 0.03	0.36 ± 0.04	0.54 ± 0.02	0.49 ± 0.05	52.03
	95	0.45 ± 0.09	0.50 ± 0.06	0.82 ± 0.08	0.87 ± 0.08	0.46 ± 0.06	0.64 ± 0.07	0.61 ± 0.16	60.25

按照化学评分 CS 评价标准,大棚养殖 40 d 时的凡纳滨对虾第一限制氨基酸为赖氨酸,第二限制氨基酸为异亮氨酸;其余生长阶段第一限制氨基酸为异亮氨酸,第二限制氨基酸为缬氨酸。露天养殖 40 d 时的凡纳滨对虾第一限制氨基酸为缬氨酸和异亮氨酸,第二限制氨基酸为胱氨酸+蛋氨酸;养殖 60 d 及 80 d 时的凡纳滨对虾均以异亮氨酸为第一限制氨基酸,缬氨酸为第二限制氨基酸;而在养殖 95 d 时的凡纳滨对虾则以苏氨酸为第一限制氨基酸,异亮氨酸为第二限制氨基酸。露天养殖模式下生长 40、60 以及 95 d 时的凡纳滨对虾必需氨基酸化学评分 CS 都高于大棚养殖的凡纳滨对虾,并且其必需氨基酸指数 EAAI 也都高于大棚养殖的凡纳滨对虾。因此,露天养殖凡纳滨对虾的蛋白质品质略高。

### 3 讨论

#### 3.1 大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾的一般营养成分比较

在本实验周期内,大棚养殖和露天养殖模式

下凡纳滨对虾肌肉均富含多种营养成分。本实验结果与彭永兴等<sup>[5]</sup>、段亚飞等<sup>[4]</sup>、李晓等<sup>[10]</sup>的结果相比,粗蛋白含量比较接近,粗脂肪含量低于网箱养殖凡纳滨对虾<sup>[4]</sup>,粗灰分含量高于淡水养殖凡纳滨对虾<sup>[5]</sup>,这可能是由于对虾养殖模式、活动范围以及养殖密度不同,对虾能量消耗不同造成的。

与其他虾类肌肉含量相比,粗蛋白含量远高于南极拟扇虾<sup>[11]</sup>,高于罗氏沼虾<sup>[12]</sup>、巢湖秀丽白虾<sup>[13]</sup>以及克氏原螯虾<sup>[14]</sup>,粗脂肪含量低于克氏原螯虾<sup>[14]</sup>、巢湖秀丽白虾<sup>[13]</sup>以及南极拟扇虾<sup>[11]</sup>,表明凡纳滨对虾是一种高蛋白低脂肪的优质虾种。

科学评价在大棚养殖和露天养殖模式下不同生长阶段凡纳滨对虾的营养价值,为实际养殖生产活动中养殖户合理调配饲料、调控养殖环境提供理论依据。大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾主要营养成分含量间无显著性差异,这可能是由于养殖户能够根据对虾生长期投喂相应的同种饲料所致。

表 6 大棚和露天养殖模式下凡纳滨对虾主要营养成分与其他研究比较(%湿重)

Tab. 6 Main comparison of nutritional components of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* and other studies(% fresh weight)

样品 Sample	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Crude ash
淡水养殖凡纳滨对虾 <sup>[5]</sup> Freshwater cultured <i>Litopenaeus vannamei</i>	20.97	0.69	0.43
网箱养殖凡纳滨对虾 <sup>[4]</sup> Cage cultured <i>Litopenaeus vannamei</i>	21.56	1.33	1.36
凡纳滨对虾 <sup>[10]</sup> <i>Litopenaeus vannamei</i>	22.37	0.90	1.66
罗氏沼虾 <sup>[11]</sup> <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	17.42 ~ 18.14	1.01 ~ 2.47	1.19 ~ 1.28
巢湖秀丽白虾 <sup>[12]</sup> Chaohu <i>Exopalaemon modestus</i>	18.34	1.87	1.12
克氏原螯虾 <sup>[13]</sup> <i>Cambarus clarkii</i>	17.03	1.69	1.21
南极拟扇虾 <sup>[14]</sup> <i>Parribacausant arctcus</i>	15.52	1.85	2.32
本实验-大棚养殖凡纳滨对虾 This experiment-greenhouse cultured <i>Litopenaeus vannamei</i>	20.03 ~ 23.85	0.41 ~ 1.10	1.49 ~ 2.00
本实验-露天养殖凡纳滨对虾 This experiment-outdoor cultured <i>Litopenaeus vannamei</i>	20.07 ~ 23.10	0.47 ~ 0.72	1.46 ~ 1.63

#### 3.2 肌肉中脂肪酸组成和含量比较

大棚养殖模式下凡纳滨对虾生长 40、60、74、94 d 以及露天养殖模式下凡纳滨对虾生长 40、60、80、95 d 的不饱和脂肪酸(UFA)含量均丰富,分别占脂肪酸总量的 64.46%、60.97%、62.47%、63.16% 和 67.69%、64.74%、65.35%、65.63%,其中多不饱和脂肪酸(PUFA)占脂肪酸总量的 44.57%、40.08%、40.80%、41.60% 和 52.32%、48.22%、47.16%、46.39%,高于日本对虾(27.36%)<sup>[15]</sup>、日本沼虾(30.49%)<sup>[16]</sup>和南美

白对虾(35.35%)<sup>[17]</sup>。不饱和脂肪酸具有降低血脂、防止心血管疾病、促进生长发育的重要作用<sup>[10]</sup>,而丰富的多不饱和脂肪酸(PUFA)更是具有明显降低血脂、血压以及抗肿瘤的功能<sup>[15]</sup>。饱和脂肪酸中,两种养殖模式下的凡纳滨对虾脂肪酸均以棕榈酸为主,棕榈酸能够提高血脂,使胆固醇升高,但本实验中的凡纳滨对虾粗脂肪含量较低,并不会引起健康问题<sup>[17]</sup>;不饱和脂肪酸中以 EPA、亚油酸以及 DHA 为主,其中 EPA 和 DHA 是人体的必需脂肪酸,具有很强的生理活

性,能防止动脉硬化,预防心血管疾病和老年痴呆,并且可以促进生长发育、增强高密度脂蛋白,此外还具有较好抑制癌症和抗衰老的效果<sup>[10,13,18-19]</sup>。在大棚养殖和露天养殖模式下相近生长阶段(即大棚养殖凡纳滨对虾40、60、74、94 d以及露天养殖凡纳滨对虾40、60、80、95 d时)凡纳滨对虾肌肉中的EPA+DHA占脂肪酸总量的27.47%、24.13%、28.11%、21.12%和20.38%、26.84%、25.29%、23.68%,远高于东北鳌虾(7.24%)、克氏原鳌虾(3.69%)和中国对虾(10.60%)<sup>[10]</sup>,因此可以判断凡纳滨对虾是一种具有较强保健功能和食用价值的虾类资源,露天养殖凡纳滨对虾脂肪营养价值优于大棚养殖。

### 3.3 肌肉氨基酸组成与品质评价

氨基酸的组成和含量在一定程度上决定了蛋白质的优劣。本实验研究结果表明,大棚养殖和露天养殖模式下收虾时的对虾肌肉氨基酸组成一致,并且均以谷氨酸含量最高,每100克肌肉分别为 $(4.38 \pm 0.89)$ g和 $(6.09 \pm 0.31)$ g,其次为天门冬氨酸和精氨酸,分别为 $(3.10 \pm 0.58)$ g、 $(2.38 \pm 0.63)$ g和 $(3.98 \pm 0.19)$ g、 $(3.49 \pm 0.52)$ g,这一分析结果与杨立等<sup>[13]</sup>研究结果一致。谷氨酸属于重要的鲜味氨基酸,与脑组织的生化代谢相关:当谷氨酸参与人体代谢时,易与血氨形成谷氨酰胺,从而在人体大脑、肌肉、肝脏等组织中发挥解毒作用,能够保护肝脏,此外谷氨酸对鱼类鲜美程度起到关键的作用<sup>[10,20-21]</sup>。精氨酸为重要的半必需氨基酸,在代谢过程中可生成一氧化氮,从而在抵御疾病感染、伤口愈合等免疫过程中发挥重要的作用<sup>[4]</sup>。本实验结果表明,露天养殖模式下每100克凡纳滨对虾鲜味氨基酸总量 $[(16.71 \pm 0.56)$ g]高于大棚养殖模式 $[(12.63 \pm 2.94)$ g],说明露天养殖模式下的凡纳滨对虾风味优于大棚养殖。

根据FAO/WHO的理想模式,质量较好的蛋白质其组成氨基酸的EAA/AA(必需氨基酸/氨基酸总量)为40%左右,EAA/NEAA(必需氨基酸/非必需氨基酸)在60%以上<sup>[10]</sup>。由表4可知:本实验中大棚养殖和露天养殖模式下最后一次采样取得的凡纳滨对虾EAA/AA分别为32.91%和34.11%,低于秀丽白虾(41.67%)<sup>[13]</sup>、克氏原鳌虾(48.84%)<sup>[11]</sup>、南极磷虾(43.96%)<sup>[14]</sup>、中国明对虾(45.29%)<sup>[11]</sup>和

太平洋磷虾(46.04%)<sup>[11]</sup>,接近于日本囊对虾(35.84%)<sup>[22]</sup>和哈氏仿对虾(34.66%~35.58%)<sup>[23]</sup>;而EAA/NEAA分别为60.56%和66.76%,与哈氏仿对虾(64.44%~68.10%)<sup>[22]</sup>相接近。因此,可判断大棚和露天养殖的凡纳滨对虾肌肉氨基酸基本符合FAO/WHO的理想模式,是质量比较好的蛋白质。

对比大棚养殖和露天养殖凡纳滨对虾必需氨基酸的AAS评分和CS评分可以发现:前者必需氨基酸的AAS均大于0.5(异亮氨酸除外),范围为0.47~1.22,后者必需氨基酸的AAS均大于0.5,范围为0.52~1.42;而CS评分值,前者CS(除异亮氨酸、缬氨酸外)均大于0.5,范围为0.41~0.81,后者CS(除异亮氨酸和苏氨酸外)均大于0.5,范围为0.45~0.87。必需氨基酸指数(EAAI)是评价食品营养价值的常用指标之一<sup>[15]</sup>。大棚养殖和露天养殖模式下凡纳滨对虾EAAI分别为56.01和60.25,高于安氏白虾(52.77)<sup>[24]</sup>、日本沼虾(52.67~53.98)<sup>[16]</sup>、刀额新对虾<sup>[24]</sup>、太平洋磷虾(55.11)<sup>[11]</sup>和南极磷虾(54.83)<sup>[14]</sup>,低于日本囊对虾(67.90~68.57)<sup>[22]</sup>、斑节对虾(63.21)<sup>[16]</sup>、克氏原鳌虾(82.54)<sup>[10]</sup>,接近于中国明对虾(57.73)<sup>[11]</sup>,表明凡纳滨对虾在大棚养殖和露天养殖模式下其必需氨基酸的满足率较高,同时也证明了凡纳滨对虾是一种营养价值较高的虾类,并且露天养殖的凡纳滨对虾要优于大棚养殖的凡纳滨对虾。

### 参考文献:

- [1] 张伟权. 世界重要养殖品种——南美白对虾生物学简介[J]. 海洋科学, 1990(3): 69-73.  
ZHANG W Q. Important breeding species in the world: Introduction to the biology of *Litopenaeus vannamei* [J]. Marine Science, 1990(3): 69-73.
- [2] 黄永春, 艾华水, 殷志新, 等. 第四代凡纳滨对虾抗WSSV选育家系的抗病及免疫特性研究[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1549-1558.  
HUANG Y C, AI H S, YIN Z X, et al. Studies on WSSV-resistant and immune characteristics of the 4th generation selective breeding families for resistance to the white spot syndrome virus (WSSV) of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(10): 1549-1558.
- [3] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 32.  
Department of Agriculture Fishery Administration. China fishery statistics yearbook [M]. Beijing: China Agricultural



- Press, 2016; 32.
- [4] 段亚飞, 黄忠, 林黑着, 等. 深水网箱和池塘养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的比较分析[J]. 南方水产科学, 2017, 13(2): 93-100.  
DUAN Y F, HUANG Z, LIN H Z, et al. Comparative analysis of muscle nutrient composition between floating-cage cultured and pond-cultured Pacific white shrimps (*Litopenaeus vannamei*) [J]. South China Fisheries Science, 2017, 13(2): 93-100.
- [5] 彭永兴, 许祥, 程玉龙, 等. 海水和淡水养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的比较[J]. 水产科学, 2013, 32(8): 435-440.  
PENG Y X, XU X, CHENG Y L, et al. Comparative analysis of nutrients in muscles of pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured in seawater and freshwater [J]. Fisheries Science, 2013, 32(8): 435-440.
- [6] 席丽萍, 王居安, 邱雨燕, 等. 池塘养殖凡纳滨对虾幼虫到成虾阶段生长差异研究[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(5): 691-698.  
XI L P, WANG J A, QIU Y Y, et al. Investigation and analysis of the growth differences of larvae to adult stage of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(5): 691-698.
- [7] FAO/WHO. Energy and protein requirements [R]. Rome: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973: 40-72.
- [8] 桥本芳郎. 养鱼饲料学[M]. 蔡完其, 译. 北京: 中国农业出版社, 1980: 114-115.  
QIAO B F L. Fish and feed science [M]. CAI W Q, trans. Beijing: China Agriculture Press, 1980: 114-115.
- [9] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表(全国代表值) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991: 30-82.  
Institute of Nutrition and Food Hygiene, Chinese Academy of Preventive Medicine. Food ingredient list [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1991: 30-82.
- [10] 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[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 66-72.  
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* [J]. Fisheries Science, 2018, 37(1): 66-72.
- [11] 初庆柱, 刘书成, 范德炜, 等. 南极拟扇虾肌肉营养成分分析[J]. 水生生物学报, 2012, 36(1): 168-172.  
CHU Q Z, LIU S C, FAN D W, et al. Analysis on nutritional components of *Parribacusanantarctus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(1): 168-172.
- [12] 崔光艳, 姜增华, 王假真, 等. 2种养殖模式下罗氏沼虾肌肉营养成分的比较[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(9): 212-214.  
CUI G Y, JIANG Z H, WANG J Z, et al. Comparison of nutritional components in muscle of *Macrobrachium rosenbergii* under two models [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(9): 212-214.
- [13] 杨立, 张波涛, 许瑞红, 等. 巢湖秀丽白虾肌肉营养成分分析及营养评价[J]. 肉类工业, 2017(5): 36-39.  
YANG L, ZHANG B T, XU R H, et al. Analysis of nutritional components and nutritional evaluation of Chaohu *Exopalaemon modestus* muscle [J]. Meat Industry, 2017(5): 36-39.
- [14] 丁建英, 康璘, 徐建荣. 东北鳌虾和克氏原鳌虾肌肉营养成分比较[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 427-431.  
DING J Y, KANG J, XU J R. Comparison of nutritional compositions in muscle of *Cambaroides dauricus* and *Procambarus clarkii* [J]. Food Science, 2010, 31(24): 427-431.
- [15] 庄平, 宋超, 章龙珍. 长江口安氏白虾与日本沼虾营养成分比较[J]. 动物学报, 2008, 54(5): 822-829.  
ZHUANG P, SONG C, ZHANG L Z. Comparison of nutritive components of *Exopalaemon annandalei* and *Macrobrachium nipponensis* collected from the Yangtze Estuary [J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(5): 822-829.
- [16] 邴旭文, 王进波. 池养南美蓝对虾与南美白对虾肌肉营养品质的比较[J]. 水生生物学报, 2006, 30(4): 453-458.  
BING X W, WANG J B. A comparative study of nutritional quality in the muscle of *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vannamei* in the cultured-pond [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(4): 453-458.
- [17] 张高静, 韩丽萍, 孙剑锋, 等. 南美白对虾营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 254-260.  
ZHANG G J, HAN L P, SUN J F, et al. Analysis and evaluation of nutritive composition in *Penaeus vannamei* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(8): 254-260.
- [18] PEINADO I, MILES W, KOUTSIDIS G. Odour characteristics of seafood flavour formulations produced with fish by-products incorporating EPA, DHA and fish oil [J]. Food Chemistry, 2016, 212: 615-619.
- [19] DUNSTAN G A, SINCLAIR A J, O' DEA K. The lipid content and fatty acid composition of various marine species from Southern Australian coastal waters [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 1988, 91(1): 166-169.
- [20] COLLINGRIDGE G. The role of NMDA receptors in learning and memory [J]. Nature, 1987, 330(6149): 604-605.
- [21] 李红艳, 刘天红, 孙元芹, 等. 生态化池塘养殖模式下凡纳滨对虾与日本囊对虾营养成分的比较[J]. 海洋渔业, 2015, 37(2): 135-141.  
LI H Y, LIU T H, SUN Y Q, et al. A comparative study on nutritional quality in the muscle of *Litopenaeus vannamei* and *Marsupenaeus japonicus* in the marine ecological cultured-pond [J]. Marine Fisheries, 2015, 37(2): 135-141.
- [22] 施永海, 张根玉, 刘永士, 等. 野生及养殖哈氏仿对虾肌肉营养成分的分析与比较[J]. 水产学报, 2013, 37(5):

768-776.

SHI Y H, ZHANG G Y, LIU Y S, et al. Comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured sword prawn (*Parapenaeopsis hardwickii*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 768-776.

[23] 陈晓汉, 陈琴, 谢达祥. 南美白对虾含肉率及肌肉营养价值的评定[J]. 水产科技情报, 2001, 28(4): 165-168.

CHEN X H, CHEN Q, XIE D X. Assessment of meat

containing rates and muscle nutrition values in whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2001, 28(4): 165-168.

[24] 张彤晴, 林海, 葛家春, 等. 日本沼虾和秀丽白虾野生群体肌肉营养成分分析[J]. 饲料研究, 2008(1): 59-63.

ZHANG T Q, LIN H, GE J C, et al. Analysis of muscle nutrient in wild populations of *Macrobrachium nipponense* and *Exopalaemon* [J]. Feed Research, 2008(1): 59-63.

## Comparison of nutritional component of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in different growth stages

WU Dan<sup>1</sup>, JIANG Min<sup>1,2</sup>, WU Hao<sup>2,3</sup>, DAI Xilin<sup>2,3</sup>, YU Miaomiao<sup>1</sup>, JIN Ruochen<sup>1</sup>, SUN Shiyu<sup>1</sup>, WANG Xuna<sup>1</sup>, YAO Dan<sup>1</sup>

(1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Aquaculture Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The composition and contents of hydrolytic amino acids and fatty acids of greenhouse cultured (40, 60, 74, 94 d) and outdoor cultured (40, 60, 80, 95 d) *Litopenaeus vannamei* were analyzed during similar growth phases and the nutritional values were assessed. The results showed that: (1) Under the greenhouse culture and outdoor culture mode, the contents of crude protein, crude fat and ash in shrimp muscles showed no obvious difference among *Litopenaeus vannamei* in similar growth phases. (2) Under the greenhouse culture mode, the unsaturated fatty acids of *Litopenaeus vannamei* at 40, 60, 74 and 94 d accounted for 64.46%, 60.97%, 62.47% and 63.16% of the total fatty acid content, respectively. Under the outdoor culture mode, the unsaturated fatty acid contents of *Litopenaeus vannamei* at 40, 60, 80 and 95 d accounted for 67.69%, 64.74%, 65.35% and 65.63% of the total fatty acid content, respectively. The muscles of *Litopenaeus vannamei* were rich in unsaturated fatty acids under the two cultivation modes, and the polyunsaturated fatty acids of *Litopenaeus vannamei* in the similar growth stage under the greenhouse cultivation mode were significantly lower than that in the outdoor cultivation mode. (3) The amino acids composition in greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in similar growth stages were consistent, which contained 17 kinds of amino acids. When *Litopenaeus vannamei* grew to 40 d, 60 d, 80 d and 95 d in the greenhouse culture mode,  $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{AA}$  ratios were 29.36%, 30.71%, 33.28%, 32.91% and  $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{NEAA}$  ratios were 50.04%, 55.63%, 63.14%, 60.56%. When *Litopenaeus vannamei* grew to 40 d, 60 d, 80 d and 95 d in the outdoor culture mode,  $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{AA}$  ratios were 34.70%, 33.69%, 32.93%, 34.11%,  $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{NEAA}$  ratios were 64.44%, 63.72%, 62.66%, 66.76%, which basically conformed to the FAO/WHO ideal model. The total amount of amino acids, essential amino acids and delicious amino acids in outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* were higher than those cultured in greenhouse. Conclusions are as follows: Greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* was a kind of shrimp which had high protein, low fat and high nutritional value; The nutritional quality of muscles of outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* was better than that of greenhouse cultured *Litopenaeus vannamei*.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; greenhouse culture; outdoor culture; nutritional component; quality