

# 不同饲料对冬棚养殖凡纳滨对虾生长及全虾营养成分的影响

胡 园<sup>1,2</sup> 陈 琛<sup>1,2\*</sup> 曾国权<sup>1,2</sup> 於俊琦<sup>1,2</sup> 陈劲飞<sup>1</sup> 李 敏<sup>1,2</sup>

1.浙江省海洋水产养殖研究所,浙江温州 325005;

2.浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室,浙江温州 325005

**摘要** 以初始体重(0.60±0.24) g 的凡纳滨对虾幼虾为研究对象,通过 10 周的生长实验,研究不同品牌商品饲料(F1、F2、F3)对凡纳滨对虾的生长性能及虾体生化组成的影响。结果表明,摄食 F1 的凡纳滨对虾增重率和特定生长率显著高于 F2 和 F3 组( $P<0.05$ )。凡纳滨对虾全虾的粗蛋白以 SF1 组最高(41.42%±0.51%),粗脂肪以 SF2 组最高(0.59%±0.01%)。饲料 F1 和 F3 组的总氨基酸含量显著高于 F2 组( $P<0.05$ ),但对凡纳滨对虾全虾的总氨基酸含量影响不显著( $P>0.05$ )。摄食 F3 组的凡纳滨对虾全虾 EPA 和 DHA 含量显著高于 F1 和 F2 组( $P<0.05$ )。从总体上可以看出,投喂 F1 能够获得较好的生长性能和营养价值。

**关键词** 凡纳滨对虾;冬棚养殖;生长;营养成分

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)具有生长快、抗逆性强和食性杂等特征,对盐度和温度适应范围较宽,肉质鲜美,在我国对虾养殖业中属于主要品种<sup>[1]</sup>。同时,凡纳滨对虾的养殖逐渐向集约化、高密度和高产量方向迅速发展。在集约化高密度的水产养殖模式下,配合饲料成本占总养殖成本的 50%~60%<sup>[2]</sup>,同时作为维持机体生长发育及器官所需的主要营养来源,为确保虾体的抵抗能力及环境适应能力,对对虾配合饲料提出了更高的要求<sup>[3-4]</sup>。然而,目前市场上对虾配合饲料的质量良莠不齐,养殖者往往通过养殖效果(如虾生长速率、体型均匀和饵料系数)判断饲料质量好坏。因此,进一步完善凡纳滨对虾系列配合饲料配方和投喂策略,提高饲料效率、对虾商品价值和养殖效益迫在眉睫。

凡纳滨对虾属于变温动物,环境温度影响机体的摄食、生长和免疫<sup>[5-7]</sup>。凡纳滨对虾生长的最适温度为 28~32℃。然而,冬春季的对虾价格高,吸引不少养殖者搭建冬棚养虾,取得了良好的经济效益,促发冬棚养虾热潮<sup>[8]</sup>。冬季养虾光照弱、水

温低、饵料生物生长差,天然饵料少,凡纳滨对虾主要依赖人工配合饲料,对虾的摄食量比正常季节要少<sup>[9]</sup>。因此,科学投喂和选择水中稳定好、营养全面的对虾饲料既能满足凡纳滨对虾快速生长的要求,又不致于影响水体环境。本研究在集约化冬棚养殖条件下,通过投喂 3 种不同品牌商品对虾饲料对凡纳滨对虾的生长和全虾营养成分的影响,进一步分析探讨了饲料的营养组成和全虾的营养成分之间的差异及其影响因子,以期从营养学角度评价生产一线所使用的商品饲料品质,为养殖户在凡纳滨对虾系列配合饲料选择和投喂策略方面提供科学性借鉴。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验饲料

通过 70 d 的投喂实验,对不同品牌对虾商品饲料(F1、F2、F3)对养殖凡纳滨对虾全虾(SF1、SF2、SF3)营养指标进行分析评价,饲料营养成分分析结果见表 1。

收稿日期:2016-04-29

基金项目:南美白对虾细菌性肝胰腺坏死症的病原分析及早期诊断(2015F0008)

\* 通讯作者:陈 琛,男,1980 年生,工程师。

胡 园,女,1988 年生,硕士,工程师。

表 1 试验饲料基本营养成分 %

基本营养成分	饲料		
	F1	F2	F3
水分	8.95 ± 0.10c	10.33 ± 0.03a	10.06 ± 0.07b
粗蛋白	41.42 ± 0.51a	38.53 ± 0.21b	41.19 ± 0.47a
粗脂肪	5.93 ± 0.08b	9.19 ± 0.39a	5.06 ± 0.33c
碳水化合物	14.56 ± 0.12a	13.79 ± 0.33b	15.10 ± 0.85a
灰分	12.56 ± 0.02a	11.79 ± 0.05b	10.56 ± 0.10c

注:同行标注不同字母的平均值之间差异显著( $P < 0.05$ ) ( $n \geq 3$ ),下同。

### 1.2 试验对象及试验管理

试验虾苗来自浙江省海洋水产养殖研究所清江基地同一批孵化的虾苗,挑选健壮、个体整齐的健康凡纳滨对虾进行养殖试验,试验在浙江省海洋水产养殖研究所永兴基地进行。正式试验前饥饿 24 h,试验虾平均初始体重为(0.60 ± 0.24) g,初始体长为(3.87 ± 0.27) cm,试验设 3 个组,分别饲喂 3 种不同品牌的对虾商品饲料,每个组均设 3 个重复,每个组养殖池(5 m × 6 m × 1.4 m)放养凡纳滨对虾 6 000 尾。

养殖试验从 2014 年 9 月 28 日-12 月 5 日,周期为 70 d。整个试验期间,养殖水盐度为 1‰,每周记录养殖水温(见图 1),水温从 28 °C 降至 19.2 °C。养殖池内放置饵料台,采用定时表观饱食法进行投喂,投喂量为虾体质量的 4%~8%。试验期间,每周随机选取养殖池内凡纳滨对虾进行体重、体长测定,并每周测氨氮和亚硝氮。

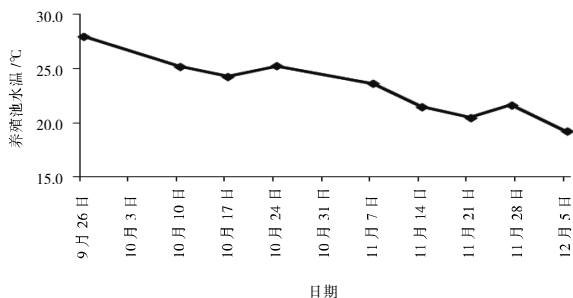


图 1 冬棚养殖凡纳滨对虾养殖池水温

当试验进行到第 70 天时对虾饥饿 24 h 后称质量(精确到 0.01 g),计算增重率、特殊增重增长率、肥满度。

$$\text{增重率 (Weight gain, WG, \%)} = 100 \times (W_t - W_0) / W_0$$

$$\text{特殊增重增长率 (Specific growth rate, SGR, \% / d)} = 100 \times [(\ln W_t - \ln W_0) / t]$$

$$\text{肥满度 (condition factor, CF, g/cm}^3\text{)} = \text{体重} / \text{体长}^3$$

其中  $W_t$  为试验结束时对虾平均质量(g),  $W_0$  为试验开始时对虾平均质量(g),  $t$  为养殖时间(d)。

### 1.3 试验方法

1)样品处理。将采集的凡纳滨对虾 20 尾,去壳,取肌肉,用高速捣碎机将肉绞碎混匀,采用真空冷冻干燥机进行干燥,干燥处理的样品置于 -20 °C 冰箱保存,用于营养成分分析。

2)基本营养成分测定。水分测定采用恒温常压干燥法(GB 5009.3-2010);粗蛋白测定采用微量凯氏定氮法(GB 5009.5-2010);粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T 14772-2008);灰分测定采用马弗炉灼烧法(GB 5009.4-2010)。

3)氨基酸的测定。样品经酸(6 mol/L HCl)水解后,依据 GB/T 5009.124-2003 方法在日立 L-8900 高速氨基酸分析仪对凡纳滨对虾进行 17 种氨基酸含量的测定。

4)脂肪酸的测定。样品中脂肪酸的提取参照卜俊芝<sup>[10]</sup>的方法并略有改进,使用气相色谱仪测定脂肪酸组成,各脂肪酸相对含量的确定采用面积归一化法。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 SAS 9.1 软件进行统计分析,先对数据进行单因素元素分析(ANOVA),处理若有显著差异,再进行 Duncan's 多重比较,  $P < 0.05$  表示差异显著,所有数值用平均数 ± 标准差(mean ± SD)表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾生长性能的影响

凡纳滨对虾特定生长率、增重率和肥满度是衡量其生长性能常用的指标,不同品牌商品饲料投喂对凡纳滨对虾生长性能的影响见表 2。凡纳滨对虾的特定生长率、增重率均在摄食 F1 饲料时最高,且显著高于 F2 和 F3 组( $P < 0.05$ ),而其肥满度并未发现显著性差异( $P > 0.05$ )。综合以上说明 F1 饲料能够使凡纳滨对虾获得较优的生长性能。

### 2.2 不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾全虾基本营养成分的影响

表 1 和表 3 分别给出了 3 种商品饲料及其养殖凡纳滨对虾全虾的基本营养成分。从表中可以看出,凡纳滨对虾虾体水分含量以 SF1 组最低(77.20%);粗蛋白含量则以 SF1 组最高(20.12%);饲料 F2 组脂肪含量(9.19%)显著高于 F1(5.93%)

表 2 不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾生长性能的影响

种类	SF1	SF2	SF3
初均质量 /g	0.64 ± 0.17	0.67 ± 0.07	0.78 ± 0.17
末均质量 /g	7.03 ± 0.01a	4.45 ± 0.05b	4.08 ± 0.38c
初均体长 /cm	3.77 ± 0.47	3.83 ± 0.15	4.00 ± 0.1
末均体长 /cm	8.36 ± 0.07a	7.29 ± 0.07b	7.06 ± 0.12c
特定生长率 /(%/d)	3.45 ± 0.36a	2.70 ± 0.16b	2.39 ± 0.38b
增重率 /%	1047.49 ± 272.40a	566.25 ± 74.96b	444.29 ± 131.58b
肥满度 / (g/cm <sup>3</sup> )	1.20 ± 0.03a	1.15 ± 0.02a	1.16 ± 0.06a

和 F3(5.06%)组,凡纳滨对虾全虾的 SF2 脂肪含量(0.59%)显著高于 SF1(0.29%)和 SF3(0.21%)组。

表 3 不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾全虾基本营养成分的影响

基本营养成分	凡纳滨对虾全虾		
	SF1	SF2	SF3
水分	77.20 ± 0.03c	78.62 ± 0.06b	78.35 ± 0.07a
粗蛋白	20.12 ± 0.17a	18.27 ± 0.20c	18.95 ± 0.10b
粗脂肪	0.29 ± 0.01b	0.59 ± 0.01a	0.21 ± 0.01c
糖原	0.85 ± 0.04a	0.66 ± 0.01b	0.76 ± 0.07a
灰分	1.67 ± 0.02b	1.53 ± 0.01c	1.73 ± 0.03a

注:所有数值以湿重计,为平均值 ± 标准差(n=3),同行数据上标不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 4 不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾肌肉氨基酸组成及含量的影响

g/100g

氨基酸类别	氨基酸种类	饲料			凡纳滨对虾全虾		
		F1	F2	F3	SF1	SF2	SF3
必需氨基酸	亮氨酸(Leu)	3.54 ± 0.04a	3.11 ± 0.09c	3.42 ± 0.03b	6.19 ± 0.02a	6.13 ± 0.11a	6.11 ± 0.03a
	异亮氨酸(Ile)	1.85 ± 0.02a	1.62 ± 0.04b	1.88 ± 0.01a	3.41 ± 0.03a	3.45 ± 0.07a	3.42 ± 0.02a
	甲硫氨酸(Met)	0.72 ± 0.11a	0.73 ± 0.04a	0.66 ± 0.01a	1.94 ± 0.03b	2.03 ± 0.06a	1.91 ± 0.01b
	苯丙氨酸(Phe)	2.08 ± 0.06a	1.91 ± 0.06b	2.04 ± 0.02a	3.37 ± 0.00a	3.38 ± 0.07a	3.36 ± 0.01a
	苏氨酸(Thr)	1.70 ± 0.07a	1.48 ± 0.05c	1.59 ± 0.01b	2.86 ± 0.01a	2.88 ± 0.05a	2.86 ± 0.01a
	缬氨酸(Val)	2.43 ± 0.17a	1.95 ± 0.05b	2.15 ± 0.02b	3.49 ± 0.01a	3.47 ± 0.05a	3.45 ± 0.03a
	赖氨酸(Lys)	2.44 ± 0.04b	1.95 ± 0.06c	2.63 ± 0.01a	6.38 ± 0.01a	6.17 ± 0.12b	6.34 ± 0.02a
半必需氨基酸	组氨酸(His)	0.95 ± 0.02b	0.91 ± 0.03c	1.03 ± 0.01a	1.64 ± 0.01a	1.68 ± 0.03a	1.68 ± 0.01a
	精氨酸(Arg)	2.56 ± 0.03a	2.39 ± 0.07b	2.38 ± 0.02b	6.59 ± 0.02b	6.92 ± 0.12a	6.55 ± 0.01b
	谷氨酸(Glu)	6.43 ± 0.42b	6.47 ± 0.20b	7.87 ± 0.03a	12.80 ± 0.03a	12.58 ± 0.27a	12.72 ± 0.07a
	天冬氨酸(Asp)	3.77 ± 0.06ab	3.72 ± 0.11b	3.91 ± 0.01a	7.97 ± 0.01a	8.00 ± 0.16a	8.04 ± 0.01a
	丝氨酸(Ser)	2.10 ± 0.11a	1.58 ± 0.05b	1.72 ± 0.00b	2.73 ± 0.01ab	2.76 ± 0.05a	2.70 ± 0.01b
	甘氨酸(Gly)	2.60 ± 0.03a	2.14 ± 0.07b	2.05 ± 0.01c	6.07 ± 0.01c	7.26 ± 0.11a	7.02 ± 0.02b
	丙氨酸(Ala)	2.39 ± 0.03a	2.17 ± 0.07b	2.23 ± 0.02b	4.97 ± 0.02b	4.91 ± 0.07b	5.16 ± 0.05a
非必需氨基酸	胱氨酸(Cys)	0.51 ± 0.17a	0.32 ± 0.01a	0.36 ± 0.01a	0.63 ± 0.02b	0.69 ± 0.00a	0.57 ± 0.03c
	酪氨酸(Tyr)	1.42 ± 0.04a	1.10 ± 0.02c	1.19 ± 0.01b	2.51 ± 0.07b	2.66 ± 0.08a	2.47 ± 0.01b
	脯氨酸(Pro)	3.03 ± 0.41ab	2.58 ± 0.00b	3.21 ± 0.05a	6.95 ± 0.19a	5.16 ± 0.03c	5.81 ± 0.23b
	总氨基酸(TAA)	40.52 ± 0.67a	36.10 ± 1.03b	40.33 ± 0.19a	80.49 ± 0.15a	80.12 ± 1.29a	80.15 ± 0.56a
	总必需氨基酸(EAA)	14.76	12.75	14.37	27.64	27.51	27.45
	EAA/TAA/%	36.42	35.32	35.63	34.34	34.34	34.24
	EAA/NEAA/%	57.30	54.60	55.35	52.30	52.30	52.09

注:饲料的氨基酸以湿重计,凡纳滨对虾全虾的氨基酸以干重计,为平均值 ± 标准差(n=3),同行数据上标不同字母表示差异显著(P<0.05)。

糖原含量则以 SF2 组最低(0.66%)(P<0.05), SF1 组和 SF3 组的糖原含量差异不显著(P>0.05); SF3 组灰分含量显著高于 SF1 和 SF2 组(P<0.05)。

### 2.3 不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾全虾氨基酸组成的影响

表 4 分别列出了饲料和凡纳滨对虾全虾 17 种常见氨基酸组成和含量。饲料 F1 和 F3 组的总氨基酸含量(40.52%、40.33%)显著高于 F2 组(36.10%)(P<0.05),其中总的必需氨基酸含量均高于 F2 组。除甲硫氨酸、赖氨酸、组氨酸、谷氨酸、天冬氨酸外,饲料 F1 组其他 12 种氨基酸的含量均显著高于 F2 或 F3 组(P<0.05)。凡纳滨对虾全虾氨基酸组成的

EAA/TAA 为 34.24% ~ 34.34% ,EAA/NEAA 为 52.09% ~ 52.30%,摄食 3 种不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾全虾的总氨基酸含量影响不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.4 不同品牌商品饲料对凡纳滨对虾肌肉脂肪酸组成的影响

3 种不同品牌商品饲料及养殖的凡纳滨对虾全虾脂肪酸种类分别为 20 种和 19 种(见表 5)。饲料和凡纳滨对虾全虾的脂肪酸含量关系均为  $\Sigma$ PUFA  $>$   $\Sigma$ SFA  $>$   $\Sigma$ MUFA,说明饲料和全虾中不饱和脂肪酸占大多数。SFA 中主要以 C14 : 0、C16 : 0 和 C18 : 0 为主,饲料的三者含量在 3.06% ~ 24.23%,全虾的三者含量在 0.94% ~ 24.99%; 饲料 F1 和 F3 组的 C14 : 0、C16 : 0 和 C18 : 0 含量显著高于 F2 组( $P < 0.05$ );全虾 SF1 组的 C14 : 0、C16 : 0 含量显著高于

SF2 和 SF3 组 ( $P < 0.05$ ),C18 : 0 含量差异不显著 ( $P > 0.05$ )。MUFA 中主要为 C16 : 1 和 C18 : 1n9,饲料的两者含量在 3.94% ~ 20.03%,全虾的两者含量在 1.87% ~ 19.42%;饲料 F2 组的 C18 : 1n9 含量显著高于 F1 和 F3 组( $P < 0.05$ ),而 C16 : 1 含量显著低于 F1 和 F3 组( $P < 0.05$ );全虾 SF3 组的 C16 : 1 含量显著低于 SF1 和 SF2 组 ( $P < 0.05$ ),而 C18 : 1n9 含量显著高于 SF1 和 SF2 组( $P < 0.05$ )。PUFA 主要为 C22 : 6n3、C20 : 5n3 和 C18 : 2n6,饲料的三者含量在 4.50% ~ 31.82%,全虾的三者含量在 8.72% ~ 17.30%;F1 和 F3 组饲料中 EPA 和 DHA 含量显著高于 F2 组( $P < 0.05$ ),而 LOA 和 LNA 含量显著低于 F2 组( $P < 0.05$ ),SF3 全虾的 EPA 和 DHA 含量显著高于 SF1 和 SF2( $P < 0.05$ )。

表 5 不同商品饲料对凡纳滨对虾肌肉脂肪酸组成的影响

%

脂肪酸种类	饲料			凡纳滨对虾全虾		
	F1	F2	F3	SF1	SF2	SF3
肉豆蔻酸(C14 : 0)	4.072 ± 0.269b	3.06 ± 0.092c	4.92 ± 0.004a	1.378 ± 0.222a	0.962 ± 0.135b	0.943 ± 0.048b
十五碳酸(C15 : 0)	0.543 ± 0.023b	0.335 ± 0.006c	0.61 ± 0.016a	0.413 ± 0.017b	0.335 ± 0.035c	0.469 ± 0.021a
棕榈酸(C16 : 0)	24.232 ± 0.378a	19.192 ± 0.104b	24.160 ± 0.095a	26.366 ± 0.997a	23.552 ± 0.906b	24.999 ± 0.623ab
十七碳酸(C17 : 0)	0.453 ± 0.010b	0.241 ± 0.006c	0.691 ± 0.005a	0.889 ± 0.019b	0.872 ± 0.021b	1.174 ± 0.077a
硬脂酸(C18 : 0)	5.638 ± 0.149a	3.908 ± 0.078b	5.472 ± 0.207a	9.560 ± 0.223a	9.580 ± 0.090a	9.869 ± 0.640a
花生酸(C20 : 0)	0.467 ± 0.019b	0.294 ± 0.002c	0.875 ± 0.008a	0.256 ± 0.009ab	0.227 ± 0.006b	0.278 ± 0.026a
山嵛酸(C24 : 0)	0.172 ± 0.006b	0.102 ± 0.010c	0.209 ± 0.006a	—	—	—
饱和脂肪酸 $\Sigma$ SFA	35.58	27.13	36.94	38.86	35.53	37.73
棕榈油酸(C16 : 1)	4.322 ± 0.127b	3.943 ± 0.056c	5.366 ± 0.205a	2.317 ± 0.053b	1.869 ± 0.186c	2.642 ± 0.111a
十七碳烯酸(C17 : 1)	0.274 ± 0.006a	0.178 ± 0.003c	0.252 ± 0.001b	0.573 ± 0.114a	0.724 ± 0.082a	0.646 ± 0.103a
顺反油酸(C18 : 1n9)	19.150 ± 0.100b	20.031 ± 0.243a	14.074 ± 0.462c	18.236 ± 0.038a	19.419 ± 0.837a	15.394 ± 0.677b
二十碳烯酸(C20 : 1n9)	1.102 ± 0.030b	0.822 ± 0.014c	1.243 ± 0.012a	1.324 ± 0.159ab	1.198 ± 0.105b	1.489 ± 0.044a
芥酸(C22 : 1n9)	0.170 ± 0.020b	0.137 ± 0.002c	0.223 ± 0.012a	—	—	—
单不饱和脂肪酸 $\Sigma$ MUFA	25.02	25.11	21.16	22.43	23.21	20.17
顺反亚油酸(C18 : 2n6, LOA)	22.478 ± 0.108b	31.819 ± 0.283a	21.994 ± 0.324b	16.167 ± 0.058b	17.304 ± 0.697a	15.437 ± 0.662b
$\gamma$ - 亚麻酸(C18 : 3n6)	0.082 ± 0.015a	0.040 ± 0.001b	0.081 ± 0.011a	0.351 ± 0.008a	0.144 ± 0.028b	0.156 ± 0.012b
$\alpha$ - 亚麻酸(C18 : 3n3, LNA)	2.931 ± 0.022b	4.809 ± 0.053a	2.741 ± 0.050c	1.092 ± 0.024a	1.133 ± 0.053a	0.986 ± 0.047b
二十碳二烯酸(C20 : 2)	0.186 ± 0.008a	0.133 ± 0.003b	0.193 ± 0.004a	1.052 ± 0.037b	1.293 ± 0.026a	1.075 ± 0.157b
二十碳三烯酸(C20 : 3n3)	0.866 ± 0.051a	0.450 ± 0.034b	0.781 ± 0.049a	1.911 ± 0.114b	2.346 ± 0.080a	2.169 ± 0.092a
花生四烯酸(C20 : 4n6, AA)	0.112 ± 0.010a	0.093 ± 0.003b	0.120 ± 0.007a	0.146 ± 0.005a	0.133 ± 0.007a	0.147 ± 0.004a
二十碳五烯酸(C20 : 5n3, EPA)	5.551 ± 0.399a	4.500 ± 0.114b	5.951 ± 0.027a	9.174 ± 0.179c	10.066 ± 0.341b	11.783 ± 0.567a
二十二碳二烯酸(C22 : 1)	—	—	—	0.149 ± 0.002ab	0.118 ± 0.009b	0.236 ± 0.094a
二十二碳六烯酸(C22 : 6n3, DHA)	7.112 ± 0.108b	5.853 ± 0.175c	9.797 ± 0.074a	8.988 ± 0.376b	8.724 ± 0.178b	10.210 ± 0.441a
多不饱和脂肪酸 $\Sigma$ PUFA	39.32	47.70	41.66	39.03	41.26	42.20
n-3 多不饱和脂肪酸	16.46	15.61	19.27	21.17	22.27	25.15
n-6 多不饱和脂肪酸	22.67	31.95	22.20	16.66	17.58	15.74
n-3/n-6	0.73	0.49	0.87	1.27	1.27	1.60
EPA+DHA	12.663	10.353	15.748	18.162	18.79	21.993

注:饲料的脂肪酸以湿重计,凡纳滨对虾全虾的脂肪酸以干重计,为平均值  $\pm$  标准差(n=3),同行数据上标不同字母表示有显著差异( $P < 0.05$ )。

### 3 讨 论

本试验开展 70 d 养殖试验,养殖池塘的水温以平均每周降 1 °C 的速率从 28 °C 降至 19.2 °C,凡纳滨对虾从 4 cm 左右长至 8 cm 左右,特定生长率在 2.39 ~ 3.45 %/d,增重率在 444.29% ~ 1 047.49%,基本反映了在秋冬季节(光照弱、水温逐渐下降、天然饵料少)凡纳滨对虾的生长特性,因此在此养殖期能够较好地体现对虾人工配合饲料的重要性。3 种不同品牌对虾饲料均能满足对虾生长需要,但摄食营养价值较高的 F1 组饲料,凡纳滨对虾增重率显著高出摄食 F2 和 F3 组饲料约 2 倍( $P < 0.05$ ),凡纳滨对虾表现出了较好的生长性能。张加润等<sup>[11]</sup>比较分析 6 种不同品牌斑节对虾商品饲料均能满足对斑节对虾(*Penaeus mondon*)生长需要,其中 3 种饲料能使对虾获得较优生长性能和减少养殖水质的污染程度。

蛋白质是饲料中最主要和昂贵的营养成分。凡纳滨对虾最适蛋白质需要量为 26.7% ~ 44.12%<sup>[12-13,18]</sup>,对虾最适蛋白质需要量的研究结果存在较大的差异,其主要原因是蛋白质的需要量受饲料蛋白质必需氨基酸构成<sup>[12-13]</sup>、对虾发育阶段<sup>[14-15]</sup>、养殖环境<sup>[16-17]</sup>、饲料配方<sup>[18]</sup>等因素影响。本试验结果表明 F1 组饲料的蛋白含量(43.31%)和 F3 组饲料的蛋白含量(43.07%)显著高于 F2 组(20.28%)( $P < 0.05$ ),摄食 F1 组饲料的凡纳滨对虾全虾(SF1)蛋白含量(20.12%)显著高于 SF2(18.27%)和 SF3(18.95%)组( $P < 0.05$ ),摄食 F1 和 F3 组饲料的凡纳滨对虾全虾灰分含量(1.67%和 1.73%)显著高于 F2 组(1.53%)( $P < 0.05$ )。该结果与 Ye 等<sup>[19]</sup>和林建伟等<sup>[20]</sup>报道的结果一致,说明饲料蛋白质水平影响虾体成分,饲料高蛋白水平促进凡纳滨对虾体蛋白和粗灰分的沉积。

实际上蛋白质的结构、性质和评价蛋白质营养价值高低是由氨基酸的种类、数量和组成比例决定的。Fox 等<sup>[21]</sup>研究认为饲料中 3 种限制性氨基酸对凡纳滨对虾影响程度依次为赖氨酸 > 蛋氨酸 > 精氨酸。同时,在蛋白质含量分别为 35%和 45%的饲料中,赖氨酸最低需要量分别为 1.82%和 2.10%。本研究发现 3 种不同品牌商品饲料中赖氨酸含量为 1.95% ~ 2.63%,F3 组饲料中的赖氨酸含量显著高于 F1 和 F2 组( $P < 0.05$ )。

脂类是虾类生长发育过程中所必需的主要营养物质之一,凡纳滨对虾饲料中粗脂肪需要量受虾

体规格、养殖条件等因素的影响,最适水平的推荐范围(6% ~ 8%)较为粗糙<sup>[22]</sup>,王猛强等<sup>[23]</sup>研究表明凡纳滨对虾幼虾阶段和大规格阶段粗脂肪的适宜需要量为 4.83% ~ 5.98%和 5.57% ~ 7.86%。本试验研究发现,饲料 F1 和 F3 的脂肪含量在适宜范围内,F2 组较高。摄食饲料 F2(脂肪含量 9.8%)的幼虾组全虾粗脂肪含量高出摄食饲料 F1 和 F3 的幼虾组约 2 倍,说明饲料粗脂肪水平显著影响凡纳滨对虾全虾的脂肪含量。Gonzalez-Felix 等<sup>[24]</sup>投喂不同脂肪含量的饲料发现肌肉中脂肪有富集现象。

脂肪源的营养价值在很大程度上取决于脂肪酸的不饱和程度及各种脂肪酸的比例。研究表明,甲壳类缺乏合成 n-3 和 n-6 系列多不饱和脂肪酸和高不饱和脂肪酸的能力<sup>[25-26]</sup>。因此,甲壳类脂肪需求不但要考虑脂肪的绝对添加量,而且要考虑各种必需脂肪酸的适宜比例,如 n-3/n-6 和 EPA/DHA 的比例等。本试验研究发现 F3 饲料组的 n-3 含量(19.27%)高于 F1(16.46%)和 F2(15.61%)组,摄食 F3 饲料的凡纳滨对虾全虾 n-3 含量(25.15%)含量高于摄食 F1(21.17%)和 F2(22.27%)组,其中 SF3 全虾的 EPA 和 DHA 含量显著高于 SF1 和 SF2 组( $P < 0.05$ )。Lim 等<sup>[20]</sup>认为 n-3 和 n-6 系列脂肪酸对凡纳滨对虾生长、发育是必需的,特别是 n-3 系列 HUFA 是对虾最易缺乏的。Wouters 等<sup>[27]</sup>研究表明 DHA/EPA 比值会影响幼体 n-3 HUFA 的含量。同时,本研究表明饲料 F2 组的多不饱和脂肪酸含量(47.70%)高于 F1(39.32%)和 F3(41.66%)组,其中主要表现在亚油酸和亚麻酸的含量显著高于 F1 和 F3 组( $P < 0.05$ )。田晶晶<sup>[28]</sup>等研究表明亚油酸含量的偏高可能是饲料中大量使用豆油、菜油或玉米油等高 LA 含量植物油脂的结果。

此外,本研究发现凡纳滨对虾全虾脂肪酸组成和相对应的饲料中脂肪酸组成表现出了较高的相关性。Lim 等<sup>[31]</sup>对凡纳滨对虾脂肪源研究表明,虾体脂肪酸的组成反映了饲料油脂中脂肪酸的组成,尤其是不饱和脂肪酸。高淳仁等<sup>[32]</sup>通过在基础饲料中添加 4 种含有不同脂肪酸的脂肪源投喂斑节对虾幼虾试验,虾体内脂肪含量接近,但脂肪酸含量差异显著。

### 4 结 论

1)冬棚养虾模式下,凡纳滨对虾能够适应水温

的缓慢下降,水温基本稳定在 20 ℃以上能正常生长和摄食。

2) 3 种商品对虾饲料的价格均在 8 000 元/t 左右,F1 与 F3 饲料的营养成分基本相同,但摄食 F1 饲料的凡纳滨对虾表现出了较好的生长性能以及虾体营养成分差异。说明作为商品饲料,其配方设计、原料组成以及添加剂等方面都可能影响凡纳滨对虾生长和品质。因此,在完善凡纳滨对虾系列配合饲料、提高饲料效率和充分体现对虾商品饲料价值有待深入研究。

### 参 考 文 献

- [1] 王清印.我国对虾养殖和育种概况[J].科学养鱼,2008(4):1-3.
- [2] 胡毅.凡纳滨对虾饲料配方优化及几种饲料添加剂的应用[D].青岛:中国海洋大学,2007.
- [3] 李超春.凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)脂肪营养的研究[D].广东:广东海洋大学,2006.
- [4] 曾雯娉.凡纳滨对虾幼虾对赖氨酸、蛋氨酸、精氨酸和苯丙氨酸需要量的研究[D].广东:广东海洋大学,2012.
- [5] AMAYA E A,DAVIS D A,ROUSE D B.Replacement of fish meal in practical diets for the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)reared under pond conditions [J].Aquaculture, 2007(262):393-401.
- [6] 刘穗华,曹俊明,黄燕华,等.饲料中不同亚麻酸/亚油酸比对凡纳滨对虾幼虾生长性能和脂肪酸组成的影响[J].动物营养学报,2010,22(5):1413-1421.
- [7] 詹玉春.饲料中添加色素对南美白对虾着色效果、免疫性能和肌肉品质的影响[D].南京:南京农业大学,2005.
- [8] 姬红臣.饲料对凡纳滨对虾生长、生化成分及养殖水质的影响[D].厦门:厦门大学,2005.
- [9] 黄凯,黄玉玲,王武,等.海水和淡水养殖南美白对虾脂质分析与比较[J].广西科学院学报,2003,19(3):134-140.
- [10] 卜俊芝.三种海蟹营养和风味成分的研究[D].浙江:浙江工商大学,2012.
- [11] 张加润,江世贵,林黑着,等.不同品牌饲料对斑节对虾生长及水质影响的研究[J].南方水产养殖,2013,9(6):20-26.
- [12] KURESHY N,DAVIS D A.Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J].Aquaculture,2002(204):125-143.
- [13] 黄凯,王武,卢洁.南美白对虾幼虾饲料蛋白质的需要量[J].中国水产科学,2003,10(4):308-321.
- [14] 文国樑,李卓佳,林黑着,等.规格与盐度对凡纳滨对虾肌肉营养成分的影响[J].南方水产,2007,3(3):31-34.
- [15] 郑昌区.两种规格凡纳滨对虾对蛋白质和脂肪需要量的研究[D].广东:广东海洋大学,2012.
- [16] 李二超,曾峭,禹娜,等.两种盐度下凡纳滨对虾饲料中的最适动植物蛋白比[J].水产学报,2009,33(4):650-657.
- [17] 刘鹏.温度和盐度双因子交互作用多凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长、代谢的影响研究[D].青岛:中国海洋大学,2009.
- [18] BURFFOR M A,SMITH D M,TABRETT S J,et al. The effect of dietary protein on the growth and survival of the shrimp,*Penaeus monodon* in outdoors tanks.Aquaculture Nutrition,2004(10):15-23.
- [19] 林建伟,张春晓,孙云章,等.鸡肉粉完全替代鱼粉饲料中补充晶体氨基酸对凡纳滨对虾生长性能、体成分、血浆及肌肉游离氨基酸含量的影响[J].动物营养学报,2015,27(6):1709-1721.
- [20] YE J D,WANG K,LI F D,et al. Incorporation of a mixture of meat and bone meal,poultry by-product meal,blood meal and corn gluten meal as replacement for fish meal in practical diets of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at two dietary protein levels [J].Aquaculture Nutrition,2011,17(2):e337-e347.
- [21] FOX J M,LAWRENCE A L,LI C E. Dietary requirement for lysine by juvenile *Penaeus vannamei* using intact and free amino acid sources [J]. Jap Soc Fish,1995,55(1):91-98.
- [22] AKIYAMA D M, DOMINY W G, LAWRENCE A L. Penaeid shrimp nutrition [J].Developments in Aquaculture and Fisheries Science,1992(23):535-568.
- [23] 王猛强,郑昌区,金敏,等.粗脂肪水平对 2 种规格凡纳滨对虾生长性能、饲料利用和非特异性免疫的影响 [J]. 动物营养学报,2014,26(9):2687-2697.
- [24] GONZALEZ-FELIX M L,LAWRENCE A L,GATLIN D M,et al.Growth,survival and fatty acid composition of juveniles *Litopenaeus vannamei* fed different oils in the presence and absence of phospholipid[J].Aquaculture,2002,205(3/4):325-343.
- [25] 焦建刚,YUAN K,THABUIS C,et al.裂殖壶藻发酵粉对南美白对虾生长性能和肌肉营养成分的影响 [J]. 上海海洋大学学报,2014,23(4):523-527.
- [26] MONTANO M,NAVARRO J C.Fatty acid of wild and wild and culture *Penaeus vannamei* larvae from Ecuador [J].Aquaculture, 1996(142):259-268.
- [27] WOUTERS R, VANHAUWAERT A, NAESSENS E,et al. The effect of dietary n-3 HUFA and 22:6n-3/20:5n-3 ratio on white shrimp larvae and postlarvae [J].Aquaculture International, 1997,5(2):113-126.
- [28] 田晶晶,萧培珍,吉红,等.实用饲料对养殖草鱼体组织脂肪酸组成的影响[J].饲料工业,2013,34(20):22-27.
- [29] 季文娟.野生及人工养殖的中国对虾(*Penaeus chinensis*)的脂肪酸组成的分析及比较研究[J].中国水产科学,1996,3(1):16-20.
- [30] 黄凯,吴宏玉,朱定贵,等.饲料脂肪水平对凡纳滨对虾生长、肌肉和肝胰腺脂肪酸组成的影响[J].水产科学,2011,30(5):249-255.
- [31] LIM C,AKO H,BROWN C L,et al. Growth response and fatty acid composition of juvenile *Penaeus vannamei* fed different sources of dietary lipid [J].Aquaculture,1997,151:143-153.
- [32] 高淳仁,梁亚全,刘庆慧,等.饲料中不饱和脂肪酸对斑节对虾幼虾存活、蜕皮和生长的影响[J].中国水产科学,1997,4(1):75-79.