

文章编号:1005-8737(2001)03-0054-05

人工配合饲料与天然饵料 对中国对虾生长贡献的研究

张 硕¹,董双林²,王 芳²

(1. 大连水产学院,农业部海水增养殖生态学重点开放实验室,辽宁 大连 116023;

2. 青岛海洋大学,国家教委水产养殖开放实验室,山东 青岛 266003)

摘要:利用稳定同位素碳比率 $\delta^{13}\text{C}$ ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) 作为天然示踪物,对池塘养殖生态系(室内和围隔)中人工投喂配合饲料和天然饵料提供的能源物质对养殖中国对虾生长的贡献比例进行研究。室内分别以 $\delta^{13}\text{C}$ 值不同的配合饲料和日本刺沙蚕喂饲中国对虾(0.961 ± 0.012) g 的实验结果表明,虾体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值受到食物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响;在等量(干重)混合喂食的情况下,中国对虾生长能量的 61.67% 来源于投喂的沙蚕,而配合饲料只贡献了 38.33%。池塘围隔养殖的中国对虾虾体、有机肥(鸡粪)和投喂配合饲料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值测定表明,以有机肥为碳源的天然饵料对中国对虾生长的贡献随生长逐渐减小,配合饲料的作用增大。养殖初期的幼虾(0.06 ± 0.01) g,配合饲料只提供了生长能量的 23.9%,而收获时(9.56 ± 1.04) g,配合饲料对中国对虾生长的贡献率可达到 61.6%。

关键词:中国对虾;稳定同位素碳;配合饲料;天然饵料;贡献率**中图分类号:**S968.226.31**文献标识码:**A

池塘养殖依靠人工投喂配合饲料作为对虾生长的主要能量来源,但天然饵料在中国对虾(*Penaeus chinensis*)生长中也相当重要^[1]。水域生态系中的生物组成复杂,且对虾对食物的咀嚼、消化和吸收等因素的影响,使得依靠分析胃肠中的生物组成方法难以准确定量判断对虾的食性。虽然应用放射性同位素方式 ^{14}C 和 ^{32}P 可以较精确地示踪某种物质被动物的利用情况,但由于自身的局限限制了这种方法的应用范围。近年来利用稳定性同位素碳比率 $\delta^{13}\text{C}$ ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) 做为动物体内的天然示踪物分析动物的食性已被逐渐应用^[2],特别是在水域生态系中测定食物网内不同营养级间碳转移和流动过程,该

方法被认为是行之有效的^[2-6]。

随着养殖业的发展,池塘养殖生态系中天然饵料的作用越来越受到人们的重视。Schroeder^[8,9]首先在淡水鱼虾混养池塘中,利用 δC 分析了配合饲料和肥料中的碳对罗非鱼和罗氏沼虾生长的贡献比例。国内郭贤桢^[10]利用此方法对传统淡水施肥养鱼池塘中鱼类的生长能源进行了初步研究。Ye^[11]首先间接将此方法应用于海水养殖中,他利用 $\delta^{13}\text{C}$ 值对海水网箱养殖大麻哈鱼残饵和粪便中有机碳对养殖海区底部的污染情况进行了监测。而关于此方法在对虾池塘养殖中的报道还很少,只有 Anderson^[12]测定了南美白对虾(*P. vannamei*)对配合饲料的利用情况,Nunes^[13]分析了半精养海水池塘中的人工配合饲料和天然食物对小褐对虾(*P. subtilis*)生长的贡献比例。

我国海水对虾养殖也广泛采用施肥和投饵相结合的方法,池塘中的天然食物非常丰富,但人工投喂

收稿日期:2000-03-06**基金项目:**国家杰出青年科学基金资助项目(39725023);国家自然科学基金重点资助项目(39430150);山东省自然科学基金资助项目(Q65D0732)**作者简介:**张 硕(1962-),男,博士,副教授,从事海水养殖和生态学研究。

配合饲料和天然饵料的碳对中国对虾生长的贡献比例还不十分清楚。这一现状妨碍了对养虾池塘生态系统功能的了解和养殖技术的提高。为此,本研究利用质谱分析($\delta^{13}\text{C}$)的方法^[9,13]来测定池塘围隔养殖和实验室内喂养的中国对虾虾体、饵料和粪肥等有机物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,以追踪碳元素的流向,查明天然饵料在池塘养殖中国对虾生长中的能量贡献。

1 材料和方法

1.1 实验材料

室内实验虾取自青岛市郊的养虾池塘,围隔实验虾取自海阳县养虾池塘围隔中养殖的中国对虾,鸡粪为养殖围隔施用的有机肥,配合饲料为海马牌商品饲料,日本刺沙蚕(*Neathes japonica*)购于青岛市场。

1.2 实验方法

室内实验虾设投喂沙蚕、配合饲料及沙蚕与配合饲料混合3个实验组,每组3个重复。放养在14 L的水族箱内,每个水族箱放10尾。每天投喂2次,混合组两种饵料交替使用,实验持续喂养20 d。围隔实验虾按照不同养殖阶段,分3次取样,同时采集投喂的配合饲料和施用的鸡粪等样品。

实验虾、配合饲料、沙蚕和鸡粪在70℃下烘干后,每份随机取5~10 mg,放入石英小舟内,通入氧气在850℃的密闭电炉中灼烧。样品所产生的 CO_2 等气体,在低真空系统中流经-50℃的冷凝管和-196℃液氮冷凝分离器,使 CO_2 凝固,而与其他气体分开,接着在高真空系统中,使 CO_2 温度回升到-50℃,成为气态,进一步与其他可能残留的凝点较高的杂质分离。 CO_2 得到净化后于收集器内又经过-196℃冷却成固态。在室温下即成纯净的 CO_2 气体,经MAT-251型同位素质谱仪测定其 $\delta^{13}\text{C}$ ^[13]。

1.3 配合饲料对对虾生长贡献比例的计算

根据下列模型可以计算出 $\delta^{13}\text{C}$ 值不同的2种食物混合喂养时对中国对虾生长的贡献比例^[12]:

$$R_a = \left(\frac{\delta^{13}\text{C}_c - \delta^{13}\text{C}_n}{\delta^{13}\text{C}_a - \delta^{13}\text{C}_n} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

式中, R_a —配合饲料提供碳源的比例(%);

$\delta^{13}\text{C}_n$ —天然饵料(这里为沙蚕)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(‰); $\delta^{13}\text{C}_a$ —配合饲料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(‰); $\delta^{13}\text{C}_c$ —校正的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(‰); $\delta^{13}\text{C}_i$ —混合喂养虾体的 $\delta^{13}\text{C}_g - \delta^{13}\text{C}_{CF}$; $\delta^{13}\text{C}_g$ —实验结束时理论计算虾体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(‰)。

$\delta^{13}\text{C}_{CF}$ 为校正值(correction factor),由室内配合饲料喂养的实验虾确定, $\delta^{13}\text{C}_{CF} = \delta^{13}\text{C}_g - \delta^{13}\text{C}_a$ 。

$\delta^{13}\text{C}_g$ 值由下式求出:

$$\delta^{13}\text{C}_g = \frac{(\delta^{13}\text{C}_f \times W_f) - (\delta^{13}\text{C}_i \times W_i)}{W_g} \quad (2)$$

式中, $\delta^{13}\text{C}_f$ —实验结束时实测虾体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(‰); $\delta^{13}\text{C}_i$ —实验起始时虾体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(‰); W_f —实验结束时的虾体重(g); W_i —实验起始的虾体重(g); W_g —实验期间虾体的增重量(g)。

2 结果

2.1 $\delta^{13}\text{C}$ 值

室内实验虾的生长和摄食情况见表1。室内实验虾、沙蚕和配合饲料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值见表2。由表2可以看出,实验结束时,投喂沙蚕、配合饲料和混合投喂3组实验虾的 $\delta^{13}\text{C}$ 值明显小于实验起始的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。方差分析表明,3者之间的差异显著($F = 8.28, P < 0.05$),表明实验虾的 $\delta^{13}\text{C}$ 值受饵料的影响显著。沙蚕组和混合组的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与沙蚕的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别相差1.64‰和1.30‰,而配合饲料组的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与配合饲料的相差3.38‰。实验虾 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化随所食饵料 $\delta^{13}\text{C}$ 值的减小而降低。

表1 室内不同饵料喂养实验虾的生长和摄食

实验组 Group	虾始重 $W_i/(g \cdot \text{尾}^{-1})$		虾终重 $W_f/(g \cdot \text{尾}^{-1})$		虾摄食量/ $(g \cdot \text{尾}^{-1})$		虾体增重/倍 Weight gain
	Initial weight		Final weight		Food consumption		
	湿重 W_w	干重 W_D	湿重 W_w	干重 W_D	沙蚕干重 W_C	配合饲料 W_D	
沙蚕 <i>N. japonica</i>	0.96	0.23	2.91 ± 0.06	0.69 ± 0.02	2.13 ± 0.02	~	3.01 ± 0.07
配合饲料 Formulated diet	0.96	0.23	1.98 ± 0.11	0.48 ± 0.04	~	1.37 ± 0.01	2.10 ± 0.16
混合饲料 Mixed diet	0.96	0.23	2.36 ± 0.13	0.57 ± 0.02	0.84 ± 0.02	0.82 ± 0.02	2.50 ± 0.08

表2 室内实验虾、沙蚕和配合饲料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

样品 Sample	虾本底 Initial shrimp	沙蚕 <i>N. japonica</i>	配合饲料 Formulated diet	沙蚕组 Feeding <i>N. japonica</i>	配合饲料组 Feeding formulated diet	混合投喂组 Feeding mixed diet
$\delta^{13}\text{C}$	-13.62	-18.92	-21.19	-17.28 \pm 0.02*	-17.81 \pm 0.07*	-17.62 \pm 0.03*

池塘围隔养殖中,3种不同规格的虾体配合饲料与鸡类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值见表3。随着虾的生长, $\delta^{13}\text{C}$ 值减小。小虾与配合饲料、鸡粪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别相差4.05‰和0.04‰,中虾与配合饲料、鸡粪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别相差3.51‰和0.60‰,大虾配合饲料、鸡粪的

$\delta^{13}\text{C}$ 值分别相差3.14‰和1.57‰。小虾与鸡粪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相近,证明鸡粪中的碳源可以转化到对虾体中,随着生长,对虾的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与配合饲料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值逐渐接近,而与鸡粪 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差距增大。

表3 池塘围隔实验虾、配合饲料和鸡粪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

样品 Sample	规格/g			配合饲料 Formulated diet	鸡粪 Manure
	小虾(0.06 \pm 0.01) Small shrimp	中虾(4.27 \pm 0.42) Middle shrimp	大虾(9.56 \pm 1.04) Big shrimp		
$\delta^{13}\text{C}$	-17.14	-17.68	-18.65	-21.19	-17.08

2.2 不同饵料对中国对虾生长的贡献

2.2.1 配合饲料和沙蚕对室内实验虾生长的贡献

通过对室内实验虾(混合投喂组)和池塘围隔虾与饵料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分析,了解到养殖对虾的食物往往由2种以上的饵料组成,可以根据不同的 $\delta^{13}\text{C}$,运用(1)和(2)式计算出混合喂养中配合饲料在对虾生长过程中所提供的碳源及其作用贡献。

(1) 单一投喂配合饲料

$W_i = 0.96 \text{ g}$, $\delta^{13}\text{C}_i = -13.62\text{‰}$, $W_f = 1.98 \text{ g}$,
 $\delta^{13}\text{C}_f = -17.81\text{‰}$, $W_g = 1.02 \text{ g}$, $\delta^{13}\text{C}_g =$
 -21.19‰ 。

代入(2)式,即:

$-17.81\text{‰} \times 1.98 = (-13.62\text{‰} \times 0.96) +$
 $(\delta^{13}\text{C}_g \times 1.02)$ 得: $\delta^{13}\text{C}_g = -21.76\text{‰}$;

$\delta^{13}\text{C}_{CF} = \delta^{13}\text{C}_g - \delta^{13}\text{C}_i = (-21.76\text{‰}) -$
 $(-13.62\text{‰}) = -8.14\text{‰}$ 。

(2) 混合投喂(沙蚕和配合饲料)

$W_i = 0.96 \text{ g}$, $\delta^{13}\text{C}_i = -13.62\text{‰}$, $W_f = 2.36 \text{ g}$,
 $\delta^{13}\text{C}_f = -17.62\text{‰}$, $W_g = 1.4 \text{ g}$, $\delta^{13}\text{C}_g = -18.92\text{‰}$ 。

代入(2)式,即:

$-17.62\text{‰} \times 2.36 = (-13.62\text{‰} \times 0.96) +$
 $(\delta^{13}\text{C}_g \times 1.4)$ 得: $\delta^{13}\text{C}_g = -20.36\text{‰}$;

$\delta^{13}\text{C}_C = \delta^{13}\text{C}_g - \delta^{13}\text{C}_{CF} = -20.36\text{‰} -$
 $(-8.14\text{‰}) = -12.22\text{‰}$ 。

$$R_a = \left(\frac{-19.79\text{‰} + 18.92\text{‰}}{-21.19\text{‰} + 18.92\text{‰}} \right) \times 100 = 38.33\%$$

2.2.2 配合饲料对池塘围隔虾生长的贡献 如果食物由2种不同 $\delta^{13}\text{C}$ 值的饵料组成,池塘围隔虾的碳源根据下列方程式求出。设 $\delta^{13}\text{C}$ 值较大的为 X , $\delta^{13}\text{C}$ 值较小的 $(1-X)$, 可以列出如下方程式^[10]:

$$X(\delta^{13}\text{C}_k) + (1-X)(\delta^{13}\text{C}_j) = (\delta^{13}\text{C}_{CF} - 1) \quad (3)$$

已知:围隔虾(小虾)的 $\delta^{13}\text{C} = -17.14\text{‰}$, 配合饲料 $\delta^{13}\text{C} = -21.19\text{‰}$, 鸡粪和以鸡粪为基础营养物质的饵料(假定其 $\delta^{13}\text{C}$ 值与鸡粪的相同)的 $\delta^{13}\text{C} = -17.08\text{‰}$, 代入(3)式,得:

$$X(-17.08) + (1-X)(-21.19) = (-17.14 - 1), X = 0.761$$

依此类推,计算出的各实验组饲料对对虾生长的贡献率见表4。

由表4可见,室内混合饵料喂养的实验虾,在2种饵料摄食量相同时(表1),配合饲料对中国对虾生长的贡献率为38.33%,小于沙蚕的贡献比例。池塘围隔内,以鸡粪为碳源的天然饵料食物对养殖虾生长的贡献随对虾的生长而逐渐减小。

3 讨论

3.1 配合饲料在对虾生长中的贡献

本研究中,沙蚕和配合饲料混合投喂的室内实验虾,在2种饵料摄食量基本相等的情况下(表1),

中国对虾生长的 61.67% 是由沙蚕提供的,而人工投喂的配合饲料只占了 38.33%。这一结果反映了动物性饵料的较高饵料效率。

表 4 不同饵料碳源对中国对虾生长的贡献率

实验虾组 Group of shrimp	虾规格/g Shrimp size	配合饲料 Formulated diet	沙蚕 <i>N. japonica</i>	鸡粪 Chicken excrement
室内混合投喂组 Indoor fed mixed diets	0.961 ± 0.012	38.33	61.67	-
	0.06 ± 0.01 (小 Small)	23.9	-	76.1
围隔 Enclosure	4.27 ± 0.42 (中 Medium)	37.4	-	62.6
	9.56 ± 1.04 (大 Large)	61.6	-	38.4

池塘围隔养殖对虾的能量来源由人工投喂的饵料和池塘水域提供的天然饵料组成,二者之间的比例在不同的养殖方式下具有很大的差别。本研究中,池塘围隔是以投喂人工配合饲料为主、辅以施用有机肥(鸡粪)的半精养模式。结果表明,随对虾的生长,配合饲料对生长的贡献比例越来越大,收获时中国对虾大约有 61.6% 的能量来源于人工投喂的配合饲料(表 4)。在南美白对虾的池塘养殖中,大约有 77% 的生长碳来源于天然食物^[12]。Nunes^[13]报道在半精养池塘中,小褐对虾生长物质的 24.91% 来源于人工投喂的配合饲料,而池塘中天然食物的贡献比例可达 75.09%。池塘养殖的海鲈(*Notemigonus crysoleucas*),在人工投喂配合饲料的情况下,天然饵料对其生长的贡献达到 40%~83%^[14]。从本研究结果和上述文献报道也可以看出,天然饵料在半精养池塘养虾中也具有重要作用。

从 3 个规格对虾生长的分析结果看,养殖前期池塘天然饵料提供的生产量(76.1%)要远远大于人工投喂的配合饲料(23.9%),这一结果与中国对虾池塘围隔实验模拟的是封闭式池塘养殖的技术特点有关。放养前池塘施肥培育天然饵料生物,养殖初期对虾能够获得较多的天然饵料,对虾的摄食能力随生长而增强,池塘中可利用的大型天然饵料生物减少,又没有外源大型饵料生物的补充,所以对人工投喂配合饲料的利用率也就逐渐增大。

3.2 施肥的作用

池塘施用的鸡粪主要通过以下 3 种途径转化到养殖的虾体中:鸡粪→对虾;鸡粪(分解后)→浮游植物→浮游动物→对虾;鸡粪→底栖无脊椎动物(线虫、沙蚕幼体等)→对虾。养殖前期对虾可以同时通过这 3 种途径从鸡粪中获得碳。随对虾生长,第二途径的作用逐渐减小,第三途径中也转向较大的底

栖无脊椎动物。在对虾养殖后期,第一途径的贡献还不清楚。由于对虾逐渐选择较大的食物,池塘天然饵料减少以及人工投喂的配合饲料易于获得,使得养殖对虾生长中配合饲料碳源的贡献比例逐渐增大。池塘围隔虾 $\delta^{13}\text{C}$ 值随生长的变化趋势也证明了这一点。

在我国淡水鱼池塘养殖中,施肥是一种非常有效的提供鱼类生长物质和能量的方法,有机肥中的物质和能量通过池塘水域的自养和异养生物最终进入养殖生物。利用 $\delta^{13}\text{C}$ 值,对施用有机肥鱼池中饵料向鱼体传递物质和能量贡献的研究表明,鱼体生长物质的 40%~60% 来源于施用的有机肥^[10]。人工投喂的配合饲料除被对虾直接摄食的部分外,存于池塘中的残饵和对虾以粪便形式排出的部分实际上又以与鸡粪同样的途径重新被对虾利用,这部分饵料 $\delta^{13}\text{C}$ 值应与配合饲料的相同,即虾吃活饵料的的比例还要大(>38%)。根据王坤等^[15]的调查,我们所使用的用以模拟封闭式养殖的围隔生态系中早期底栖动物数量很多,达 152.083 m^{-2} (48.2 mg/m^2),但养殖不到 1 个月,其数量就锐减至原来的 1/27,中、后期一直维持在较低水平,这一结果说明养殖早期中国对虾对小型底栖动物的摄食量也很大。

本研究表明,在半精养条件下人工投喂的颗粒饲料对养殖中国对虾的生长贡献只在后期才达到 61.6%,其他多种途径的贡献是绝对不可忽略的。这不仅证明海水池塘施用有机肥的可行性,也为我们对虾养殖池塘实行综合、强化管理的必要性提供了理论依据。目前我们对中国对虾养殖池塘生态系的研究还很不够,为提高养殖水体的物质和能量利用率、改善水质条件、减少对相邻水域的污染,我们应该在系统生态学的高度加强养殖生态系统结构与功能的研究。

参考文献:

- [1] 周一兵, 谢祚祥. 虾池中日本刺沙蚕的次级生产力的研究[J]. 水产学报, 1995, 19(2): 140-150
- [2] 陈锦石, 陈文正. 碳同位素地质学概论[M]. 北京: 地质出版社, 1983: 54-64.
- [3] 和田英太郎. 稳定性核素在水域生态学研究中的应用和进展 [A]. 中国鱼池生态研究[M], 上海: 科学技术出版社, 1995: 201-214
- [4] Janet R Keough, Micheal E Sierszen, Cynthia A Hagley. Analysis of a lake superior coastal food web with stable isotope techniques [J]. Limnol Oceanogr, 1996, 41(1): 136-146.
- [5] Keith A Hobson, Don M Schell, Deane Renouf. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals[J]. Can J Fish Aqua Sci, 1996, 53: 528-533.
- [6] Micheal J Sullivan, Cynthia A Moncreiff. Edaphic algae are an important component of salt marsh food-webs: evidence from multiple stable isotope analyses[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1990, 62: 149-159.
- [7] Richard R Doucet, Geoffrey Power, David R Barton. Stable isotope analysis of nutrient pathways leading to Atlantic salmon[J]. Can J Fish Aqua Sci, 1996, 53: 2 058-2 066.
- [8] Schroeder Gerald L. Stable isotope ratios as naturally occurring tracers in the aquaculture food web[J]. Aquaculture, 1983, 30: 203-210.
- [9] Schroeder Gerald L. Sources of fish and prawn growth in polyculture ponds as indicated by C analysis[J]. Aquaculture, 1983, 35: 29-4.
- [10] 郭贤桢, 方映雪, 王继坤. 以 δC 分析有机粪肥养鱼池中鱼类生长能源的初步研究[J]. 水产学报, 1987, 11(1): 53-59
- [11] Ye Li - Xun, Ritz D A, Fenton G E. Tracing the influence on sediments of organic waste from a salmonid farm using stable isotope analysis[J]. J Exp Biol Mar Ecol, 1991, 145: 161-174.
- [12] Anderson P K, Parker P L, Lawrence A. A $^{13}C/^{12}C$ tracer study of the utilization of presented feed by a commercially important shrimp *Penaeus vannamei* in a pond growout system [J]. J World Aquacult Soc, 1987, 18(2): 148-155
- [13] Nunes A J P, Gesteira T C V, Goddard S. Food ingestion and assimilation by the southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil [J]. Aquaculture, 1997, 149: 121-136.
- [14] Lochmann R, Phillips H. Stable isotopic evaluation of the relative assimilation of natural and artificial foods by golden shiners *Notemigonus crysoleucas* in ponds[J]. J World Aqua Soc, 1996, 27(2): 168-177.
- [15] 王 坤, 卢敬让, 李德尚. 养虾池围隔生态系中海水线虫的数量变动[J]. 海洋科学, 1998, 1: 6-8.

Stable isotopic ($\delta^{13}C$) evaluation of the relative contribution of natural and artificial feed to *Penaeus chinensis*

ZHANG Shuo¹, DONG Shuang-lin², WANG Fang²

(1. Key Laboratory of Maricultural Ecology of Ministry of Agriculture, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. Aquaculture Research Laboratory, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

Abstract: Stable carbon isotope ratios ($\delta^{13}C$) were used to estimated the relative contributions of natural food and formulated diet to growth of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) cultured in enclosures set in pond and indoor aquarium. The results show that the $\delta^{13}C$ values of shrimp are affected by food with different $\delta^{13}C$ values. When the experimental shrimp, body weight (0.961 ± 0.012)g, were fed with food of polychaete worm and formulated diet mixed in equal quantity in the aquarium for 20 d, 38.33% of the carbon growth energy in the shrimp came from the fomulated diet and the remainder (61.67%) was attributed to polychaete worm (*Neathes japonicus*). The artificial feed only contributed 23.9% of growth energy in the initial growth stage, body weight (0.06 ± 0.01)g, and 61.6% in the harvest stage, body weight (9.56 ± 1.04)g, cultured in enclosures in pond.

Key words: *Penaeus chinensis*; carbon stable isotope; artificial feed; natural feed; contribution rate