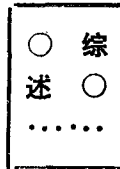


## 南极磷虾和氟

相建海

(中国科学院海洋研究所)



众所周知,南极具有丰富的磷虾资源,年可捕量为几千万吨至一亿吨,相当于或甚至超过了世界目前的年总渔获量(七千万吨左右)。由于人类对于蛋白质需求的增长,苏联、日本、联邦德国、波兰和南朝鲜等十多个国家竞相开发南极磷虾。据FAO估计,1980年世界南极磷虾产量已达42万吨,其中苏联就捕获了38.8万吨。

栖息在南极海中的磷虾约十来种,主要开发的对象是*Euphausia superba*,俗称的“南极磷虾”就是指这个种。该磷虾个体体长40—60毫米,最长可达90毫米。其营养价值高于一般的鱼、虾、贝类。味道可与日本对虾媲美,

被加工成磷虾干、速冻虾肉、磷虾膏和磷虾酱,也有的被制作为虾粉,用作家畜、渔业养殖中的高蛋白饵料。南极磷虾的开发利用向人们展现出一片光明前景。

### 一、南极磷虾的高含氟量

然而,事物的发展不总是顺情遂意的。1979年,挪威科学家首次用氟化物选择性电极法对超型南极磷虾及北极磷虾(*Meganycitophanes norvegica*)体中的氟化物含量进行了测定。结果使人瞠目结舌:被人们寄予厚望的未来蛋白质重要来源的磷虾,氟化物含量竟远

南极磷虾 (*Euphausia superba*) 氟化物含量表 (ppm, 干物质)

分析者, 时间, 国名	整 虾	外 壳	头胸甲	尾部肌肉(贮藏标本)	尾部肌肉(新鲜标本)
Soevis and Braekkan, 1979, 挪威	2400	3300	4260	570	
Schneppenheim, 1980, 联邦德国	1950		2840	325	
Christines and Leinemenn 1980, 联邦德国	1111—1900 $\bar{x}$ 1532 s 239 n 15	9000—14000		80—360	
Christines et al., 1981, 联邦德国					5—10(立即剥制标本)
Szewielow, 1981, 波兰	780	1290		60	
Buchholz et al., 1983, 联邦德国	1149	1330—4011 $\bar{x}$ 2646 s 604 n 78			133—506(蜕皮间期) $\bar{x}$ 274 s 89 n 61

远超过了人体所能允许摄入的最大安全限量！为慎重起见，联邦德国、波兰等国生物学家重复并深入进行了实验，结果基本一致，磷虾的几丁质外壳氟化物的含量更是大大高于肌肉中的含量。（见表）。一般的海洋动物，如哲水蚤以及深海的长额虾，用同样方法测定氟化物含量，则大约是10—91mg/kg（去脂干物质）。

氟是动物牙齿骨骼的成分，摄入量过少，可引起龋齿，摄入量过多又会引起氟害，其最突出的影响是对骨骼和生长中牙齿的损害。有氟病的动物或人，常因骨质疏松、骨体膨大等而出现跛行，严重者不能站立，丧失劳动能力。牙的外在表现是门齿出现斑釉，牙表面粗糙、无光泽，发育差，易于磨损和脱落。美国卫生当局对食品和药物规定：按NaF计，最高限量不得超过100mg/kg。而南极磷虾的氟化物含量超过上述标准的十倍甚至几十倍。

## 二、南极磷虾氟化物的富集途径

南极磷虾的高氟含量引起了科学家们的关注和兴趣。目前，主要是联邦德国，其次是波兰在进一步深入探讨与此有关的理论和应用问题。

当然，海洋中富集氟的生物绝不止是磷虾，如某种裸鳃类的氟含量高达3%（干重），一种硅海绵（*Halichondrina moorei*）氟含量甚至高达11.5%（干重）。但由于南极磷虾资源量如此富，按总生物量2—5亿吨计算，活南极磷虾就可富集0.4—100万吨氟，对整个海洋生态系统的氟循环来讲，具有举足轻重的影响。

南极海水中溶解氟化物含量大约是1.3ppm，这与世界海洋大多数地区基本一致。海洋沉积物中氟化物含量一般为540—550ppm。南极磷虾基本上生活在100米以上的水层，因而不存在直接从沉积物中获得氟化物的可能。那末，南极磷虾的高氟量究竟是通过什么途径富集的呢？

研究表明，夏季时，南极磷虾大约每10—14天蜕皮一次，蜕皮前24—48小时，外壳中氟

含量就可下降不少，蜕皮时，氟化物的86%随皮蜕而抛入大海。此时，新生的角质层氟化物仅约400ppm，但在以后的36小时内，角质层的氟化物迅速增加到2300ppm左右。因为南极磷虾蜕皮后8小时内，捕捉器和口器均未硬化，不能摄食，而后一段时间也相当程度地处于休止状态，这就基本排除了经由食物链大量获得氟的可能。进一步研究发现，磷虾肌肉中氟化物含量一直比较稳定，血淋巴中氟化物始终为4ppm上下，体内又找不到任何贮藏氟化物的器官，因而排除了蜕皮前由旧角质层向新角质层发生转移的可能（相反，蜕皮时旧角质层中的蛋白质和几丁质却被大量重新吸收），氟化物唯一可能的富集途径是从海水直接获得。

南极磷虾蜕皮前一两天，角质层氟化物已大量减少，明显变软。新形成的角质层氟化物含量在36小时内迅速增加，并逐渐硬化。这一事实使不少科学家认为，南极磷虾的氟化物主要有助于保证角质层的机械强度。

## 三、磷虾的氟化物在食物链中的转移

磷虾在南极海洋食物链中是关键的一环，多数南极海中脊椎动物都大量摄取之。鱼（*Chaenocephalus aceratus*）、阿德里企鹅和食蟹海豹则几乎只取食南极磷虾。显然，磷虾以上营养层次的动物也摄入了大量的氟化物。

科学家分析食用南极磷虾的鱼类、鸟类和哺乳类体中的氟含量，发现在脑以外的软组织都相当低，肌肉中氟化物一般低于5ppm。但是它们骨骼中氟化物含量却相当高，鱼类一般为400—1200ppm，鸟类和哺乳类达5700—7350ppm。

对两种南极海豹进行了深入研究，一是前面提到的几乎单食磷虾的食蟹海豹，另一种是主要摄食鱼类，同时又摄取少量磷虾的威德尔海豹。两种海豹肌肉里氟化物含量都很低，并无统计学上的差异。相反，骨骼中氟化物含

量，前者几乎是后者的两倍。

科学家们发现，食蟹海豹尿及粪便中氟化物含量分别是威德尔海豹的尿及粪便中含量的 2 倍和 10 倍。这个结果暗示：食物相当迅速地通过消化道，磷虾外壳中仅有小部分的氟被吸收，其余的氟通过粪便排除，吸收的氟化物则进一步经由肾脏排出体外。留在体内的大多贮藏在骨骼中。

#### 四、如何利用南极磷虾

南极磷虾的氟在生态系统物质循环的研究中无疑具有重要的意义。但人们眼下更关切的则是：南极磷虾到底能不能直接或间接地作为食物资源加以利用？如何利用？

显然，整体磷虾由于含氟量远远超过人所允许的摄入量，是不宜直接食用的。那么直接食用剥皮的磷虾是否可行？联邦德国科学家发现：磷虾被捕死亡半小时后，外壳中的氟已有相当多的部份转移到软组织中去（这与蜕皮时的情况正好相反），即使在 2℃ 低温下，不去壳的死亡磷虾被捕后 5 小时，软组织氟含量已增加了一倍，高温时增加更快，看起来直接以磷虾作食品只存在一种可能，即磷虾一捕捞上来，马上剥壳，只有这种“剥皮虾”才符合食用标准。可惜的是，这种加工技术目前还很难达到。通常采用的滚动式去皮机，每小时仅能加工 50 公斤，经过改进也只能达到 250 公斤/小时，而磷虾的捕捞量却高达 10—20 吨/小时，以这样的加工能力来应付如此多的产品不啻是杯水车薪，无济于事。且加工中需用海水冲洗，其醇香物质和蛋白质损失难以避免。有的科学家试验用柠檬酸溶析法去除磷虾肉中的氟，没有达到理想的结果。利用倾析法对生磷虾肉进行加工被证明可使氟化物降到 100ppm 左右，基本达到食用标准，这种工艺的加工能力也尚令人满意。美中不足的是由于加工中蛋白质发生分解，加工产物味道变差。

那么磷虾是否可以作为鱼、家畜、禽等的饲料而被间接利用呢？科学家们用含磷虾粉的颗粒饲料饲喂虹鳟，同时用商品饲料做对照。

110 天后发现：用磷虾饲料喂的鱼骨骼中氟含量也高达 3100ppm，其累积程度与饲喂时间大致呈线性相关。唯其肌肉中氟含量却与对照组差不多，这种虹鳟去刺加工后的鱼肉片与野外捕捉的氟含量并无区别，看来，磷虾粉饲喂的鱼类、家禽等肌肉部份还可以食用而无“氟害”之虞。

为进一步研究磷虾氟化物被其他生物吸收的性能，科学家用老鼠作了实验。冷冻干燥处理的磷虾肉用来饲喂正在生长的老鼠，用鱼粉和虾粉作对照。90 天后发现：尽管几种饲料的生长效应相同，但用磷虾肉饲喂的老鼠的器官重量和原生质酶都发生异常变化，牙齿、大骨骼都观察到典型的氟反应。对人来说，若以 NaF 的吸收率为 100% 计算，则磷虾、鱼粉、骨粉中氟化物的吸收率分别为 80%、10%、40% 左右。

综上所述，南极磷虾的高含氟量已引起越来越多的注意。还有一系列的问题尚待揭晓。诸如，磷虾体内的氟究竟以何种化学形态存在？磷虾蜕壳和残体中的氟如何无机化？南极水中的氟化物何以能维持平衡？为什么磷虾、南极海豹、企鹅和鲸等能忍受高量的氟化物？等等。这些问题涉及面广，急需多学科联合研究。联邦德国科学家已决定每 2—3 年召开一次专题讨论会来协调他们的研究工作。耐人寻味的是作为当前主要磷虾捕捞国的苏联和日本对磷虾的高氟量一直保持缄默。它们的磷虾捕捞活动却有增无减。

