

# 淡水水体渔业碳移出之估算

解绶启<sup>1,2</sup> 刘家寿<sup>1</sup> 李钟杰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

(<sup>2</sup> 碳汇渔业实验室, 青岛 266071)

**摘要** 鱼类和甲壳类等水产品是淡水生态系统碳移出的主要方式。2009年, 全国淡水鲢产量348万t, 鳙产量243万t, 草鱼408万t, 鲫206万t, 鲤246万t。鲢、鳙的食物主要是天然饵料, 鳊鱼摄食鱼类, 其饵料鱼则摄食天然饵料, 假设草鱼、鲫鱼、鲤鱼、团头鲂等产量的20%来自天然饵料(如不计算施肥等碳输入), 通过计算, 淡水水产每年总的碳移出约155万t, 另外通过粪便等形式沉积的碳约186万t。如按淡水捕捞产量214万t计算, 则移出碳27.8万t/yr。

比较了不同湖泊的碳移出和沉积力, 鄱阳湖为大型浅水湖泊, 从20世纪50年代~90年代, 其通过渔业移出的碳为11.8~27.6 kg/hm<sup>2</sup>·yr, 总移出碳为3 890~9 061 t/yr, 总固定的碳为8 558~19 935 t/yr。梁子湖为中型浅水湖泊, 渔业碳移出为24~38 t/hm<sup>2</sup>·yr, 总移出碳约700~1 100 t/yr。武汉东湖为典型的富营养化湖泊, 其渔业的碳移出约为78 kg/hm<sup>2</sup>·yr, 通过渔业输出的碳约260 t/yr, 总固定碳约600 t/yr。长江中下游湖泊面积1971年为1.67万km<sup>2</sup>, 2000年为1.3万km<sup>2</sup>, 如果平均碳移出按10~30 kg/hm<sup>2</sup>·yr计算, 总碳移出分别为1.67~1.3万t/yr和5.01~3.9万t/yr。

淡水渔业不仅可以移出水体的碳, 而且还可以为人类提供大量的优质食物。各种计算方法之间存在一定差异。

**关键词** 淡水 渔业 碳移出

**中图分类号** S917 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)01-0082-08

## Evaluation of the carbon removal by fisheries and aquaculture in freshwater bodies

XIE Shou-qi<sup>1,2</sup> LIU Jia-shou<sup>1</sup> LI Zhong-jie<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

(<sup>2</sup>Carbon-Sink Fisheries Laboratory, Qingdao 266071)

**ABSTRACT** Fish and crustaceans are the main ways removing carbon from freshwater ecosystems. In 2009, the total fishery and aquaculture production in China was 3.45 million tonnes for silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*, 2.43 million tonnes for bighead carp *Aristichthys nobilis*, 4.08 million tonnes for grass carp *Ctenopharyngodon idella*, 2.06 million tonnes for crucian carp *Carassius auratus* and 2.46 million tonnes for common carp *Cyprinus carpio*. Silver and bighead carp are filtering fish and live on natural food. Mandarin fish *Siniperca chuatsi* is piscivorous fish and lives on natural fishes that feed on natural food. Assuming that

20% of the total production of grass carp, crucian carp, common carp and blunthead bream *Megalobrama amblycephala* from aquaculture feeding on the natural food, the carbon removal by freshwater aquaculture is around 1.55 million tonnes and about 1.86 million tonnes of carbon is deposited in feces (the carbon input was not calculated). There are also 0.278 million tonnes of carbon removed from natural capture fisheries as the production is around 2.14 million tonnes.

Different lakes are varied in ecosystem characteristics and show different ability of carbon removal. The Poyang Lake is a large shallow lake. The carbon removal from Poyang Lake by fisheries was  $11.8 \sim 27.6 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{yr}$  and its total removal was  $3\,890 \sim 9\,061 \text{ t/yr}$ , and its total carbon sequestration was  $8\,558 \sim 19\,935 \text{ t/yr}$  during 1950s to 1990s. The Liangzi Lake is a medium shallow lake. Carbon removal by fisheries from Liangzi Lake is around  $24 \sim 38 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{yr}$  and total removal is  $700 \sim 1\,100 \text{ t/yr}$ . The Donghu Lake is a eutrophic lake and its fisheries carbon removal is  $78 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{yr}$  and total carbon removal is  $260 \text{ t/yr}$ . The total lake area in the middle and lower reaches of Yangzi River is  $16\,700 \text{ km}^2$  in 1971 and  $13\,000 \text{ km}^2$  in 2000, of which average carbon removal by fisheries is  $10 \sim 30 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{yr}$  and the total carbon removal by fisheries from all these lakes is  $16\,700 \sim 13\,000 \text{ t/yr}$  and  $50\,100 \sim 39\,000 \text{ t/yr}$ .

Freshwater fisheries and aquaculture could remove carbon from freshwater, but also provide food for the human beings. There are still some differences in carbon removal via different calculations.

**KEY WORDS** Freshwater Fisheries and aquaculture Carbon removal

随着社会的进步和科学技术的发展,人类改造自然和利用自然的能力逐渐增加。然而,随着人类对自然的索取加大,造成地球的负荷也越来越重。其中,全球温室气体引起的温室效应引起了各方面的关注(李 龙 2010;汪建君 2010;Xie *et al.* 2010)。如何减少温室气体的排放为 2009 年哥本哈根联合国气候变化大会的主题。温室气体(Greenhouse gases)是指在地球大气中,能让太阳短波辐射自由通过,同时吸收地面和空气放出的长波辐射(红外线),从而造成近地层增温的微量气体。包括二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氯氟烃等 30 余种。 $\text{CO}_2$ 是大气中最重要的温室气体,在对温室效应和全球气候变暖的贡献中,占 70%(于洪贤等 2010)。降低大气中的温室气体是主要的途径,一方面是节能减排,发展低碳排放的产业,减少向大气排放温室气体;另一方面,大力发展高碳汇产业,增加对大气中的温室气体的固定。

碳汇与碳源是两个相对的概念,《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)将“碳汇”定义为从大气中清除二氧化碳的过程、活动或机制,将“碳源”定义为向大气中释放二氧化碳的过程、活动或机制。碳汇通常按区域分为海洋生态系统碳汇和陆地生态系统碳汇,又可以按载体分为森林碳汇、湿地碳汇和水生生物碳汇(于洪贤等 2010)。通常认为,森林和湿地植物的碳汇功能较强,然而,目前对水生生物的碳汇作用认识不够。

## 1 淡水生态系统在碳汇中的重要作用

淡水水域面积仅占全球海洋面积的 0.8%和陆地面积的 2%,但其在全球碳循环中却占有重要的地位(Einsele *et al.* 2001;Cole *et al.* 2007)。淡水生态系统包括水生微生物、水生低等植物和高等植物、鱼类、两栖类、爬行类、鸟类、哺乳类等复杂的系统(图 1),在太阳能的作用下,大气中的二氧化碳被固定在低等植物(浮游植物、固着藻类等)、高等水生植物等,浮游植物可被浮游动物摄食,这些微型生物又可以被鱼虾贝等水生动物摄食,低等的水生动物被高营养级的鱼类、鸟类或者哺乳类摄食,构成食物链。而水生动物的排泄物(粪便和氮排泄物等)又可被低等生物或者鱼类利用。通过这种方式,一方面,一部分碳被固定进入底泥,另一部分被

作为产出(如鱼虾蟹等各类水产动物、莲等水生植物)移出水体,如武汉东湖每年通过渔业移出的碳近 1 000t(倪乐意等 2008)。而这些生物均有较高的碳含量,据测算,小球藻、栅藻和水华鱼腥藻的含碳量分别达到 46.38%、51.28%和 68.76%(于洪贤等 2010)。因此,藻类被公认为提高碳汇的重要载体。英国就曾有人提出建立种植藻类的人造树,英国环境和气候变化大臣说:“人造树在外形上有些像树,也有点像插在棍子上的一个散热器。在设计上,它们会

像树一样吸收二氧化碳(人类活动产生的最主要温室气体)并储存起来。它们看上去像挂着百叶窗的门桩,功能则与植物光合作用一样。人造树吸收碳的效果比真实树木好上千倍,据统计,10 万棵人造树即可捕捉整个英国家庭、运输和轻工业的碳排量,而 500 万棵即可应对全世界的碳排量。”([http://paper.people.com.cn/jnsb/html/2009-09/01/content\\_331379.htm](http://paper.people.com.cn/jnsb/html/2009-09/01/content_331379.htm))。澳大利亚昆士兰州詹姆斯·库克大学的研究中心的研究人员试图将发电站排放出的废气注入到巨大的罐式光合生物反应器中,这种反应器其实就是一个装满了藻类植物的大罐子。藻类能把绝大部分二氧化碳当作养料吸收,从而茁壮生长。而这些藻类从罐子取出后,可以埋在海底,二氧化碳就将永远被储存起来。另外,藻类经过处理后还能用来制造生物燃料和家畜饲料(<http://space.tv.cctv.com/article/ART11252648176667273>)。美国 Citylab 拟建浮桥藻类公园来提高碳汇(<http://gardens.m6699.com/content-18028-3.htm>)。此外,淡水水域细菌代谢率高,碳沉积速度快,是全球碳沉积的重要区域。湖泊每年其碳的矿化量可达 7000 万吨,是全球海洋矿化总量的 25%~42%(Einsele *et al.* 2001; Dean *et al.* 1998),青海湖每年的碳沉积可达 3.4t(Einsele *et al.* 2001)。

Cole 等(2007)研究认为,湖泊、水库、池塘等水体在全球和局部地区碳循环中具有重要地位。淡水水体不仅可以通过渔获物等移出碳,而且可以沉积碳,此外,还可以通过水流将一部分碳带入海洋。湖泊每年碳沉积量可达海洋总沉积量的 25%~42%(Einsele *et al.* 2001; Dean *et al.* 1998)。Dean 等(1998)发现,全球大湖泊的碳沉积速率为  $5\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{yr}$ ,小湖泊为  $72\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{yr}$ 。森林中贮存的碳可能在数百年之内大部分要返回到大气中,而贮存在湖泊中的碳则几乎很少返回到大气中。而作为养殖的池塘,固碳量可达  $5\text{g 碳}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ (Schroeder 1987)。此外,淡水水体还是连接陆地和海洋两大碳库的纽带,在维持全球和地区碳平衡具有重要意义(Cole *et al.* 2007)。

## 2 淡水渔业的碳移出功能

大部分淡水鱼类的碳含量占干重超过 50%(陈少莲 1993),最高可以达到 64.89%,淡水虾类在 43%左右,贝类在 40%左右。通过淡水水产品可有效地移出大量的碳。美国著名生态经济学家莱斯特·布朗认为“中国对世界的贡献是计划生育和淡水渔业”(引自 2008 年 6 月 20 日《环球时报》),而淡水渔业的贡献不仅是食物,还有碳等营养盐的移出!

淡水渔业是我国渔业的主要形式,产量逐年增加,1950 年仅 40 多万 t,2009 年全国淡水水产品总产量已经达到 2 434.85 万 t,其中淡水养殖产量 2 216.46 万 t,淡水捕捞产量 218.39 万 t。而养殖产量中草鱼最高,其次是鲢鳙(表 1)。淡水养殖总面积 542 万  $\text{hm}^2$ ,其中湖泊近 100 万  $\text{hm}^2$ ,水库 170 多万  $\text{hm}^2$ 。《中华人民共和国水污染防治法释义:第 50 条》提出:养殖 500 g 鳙鱼可从水中吸收 14.5 g 氮、0.5 g 磷、57.85 g 碳;养殖 500 g 白鲢可从水中吸收 14.9 g 氮、0.85 g 磷、60.75 g 碳。据估算,淡水养殖的滤食性和草食性鱼类产量及其氮、磷、碳含量计算,淡水养殖每年约可从内陆水体中消除氮 18 万 t、磷 0.9 万 t、碳 73 万 t,其净化水质的生态功能效果明显(陈毅德 2009. <http://www.farmer.com.cn/wlb/yyb/yy1/200903240235.htm>)。

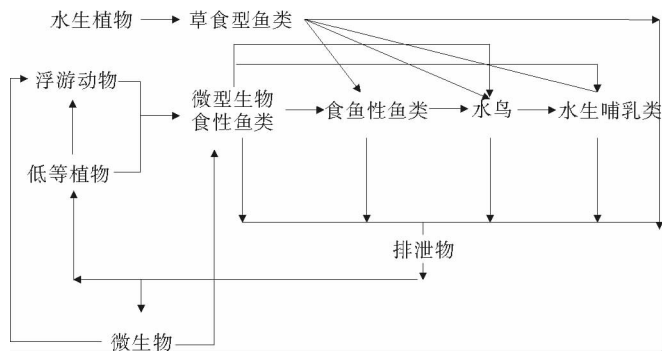


图 1 淡水生态系统食物网

Fig. 1 Diagram of food web of freshwater ecosystem

表 1 2009 年淡水养殖产量(自 2010 中国渔业统计年鉴)

Table 1 Freshwater aquaculture production in 2009 (cited from China Fishery Yearbook)

品种 Species	产量 Production(t)	品种 Species	产量 Production(t)
青鱼	387623	鳊鲂	625789
草鱼	4081520	鳊	325268
鲢	3484442	黄颡鱼	163556
鳙	2434555	鳊	235514
鲤	2462346	黄鳝	237034
鲫	2055478	罗非鱼	1257978

淡水水产捕捞产量均是来自天然饵料,而在淡水养殖产量中,鲢鳙鱼是滤食性鱼类,主要摄食浮游生物,而这些浮游生物的产量均来自天然饵料(如果不考虑部分地区施肥养鱼的碳输入),假设草鱼、鲫鱼、鲤鱼、鳊鲂等 20% 产量来自天然饵料(如浮游生物、水草等),而河蟹的产量 50% 来自天然饵料。捕捞鱼类的碳含量按平均值计算。

天然水体的碳移出和固定可以按以下方法计算:

$$\text{碳移出} = \text{渔产量} \times \text{碳含量}$$

从碳收支角度,摄入的碳 = 粪便排出的碳 + 代谢排出的碳 + 排泄排出的碳 + 生长的碳

根据碳收支,约 10% 的碳通过粪便进入底泥或者水体中,被其他生物吸收或者沉积(康 斌等 2010)。在摄食饲料的养殖条件下,鱼体的碳沉积也在 10% 左右(刘昊昆等,未发表)。

死亡鱼的躯体碳进入水体。天然水体中,假定现存量中死亡率为 20%,因此,捕捞出一份水产品的碳,则沉积 1.4 份碳(粪便 + 死亡的鱼)。因此:

$$\text{某种渔业产品碳移出} = \text{渔产量} \times \text{干物质含量} \times \text{碳含量}$$

$$\text{水体总碳移出} = \sum \text{某种渔业产品碳移出} \times \text{该种渔业产量比例}$$

这样,可以得出 2009 年淡水水产品总移出碳量约为 158 万 t(养殖移出 130 万 t、捕捞移出 28 万 t)(表 2),

表 2 淡水水产碳移出量

Table 2 Carbon removal by freshwater fishery

	干物质含量 Dry matter (%)	碳含量 Carbon content (% in wet weight)	全国年产量 <sup>1</sup> Annual production in China(t)	移出的碳 Carbon removal (t)	移出的碳(扣除饲料养殖部分) Carbon removal (free of production from pellets)(t)
淡水养殖					
鲢	26.955	16.19	3 484 442	564 149	564 149
鳙	24.28	13.40	2 434 555	326 204	326 204
草鱼 <sup>2</sup>		12.81	4 081 520	522 990	104 598
鲫 <sup>2</sup>	21.98	14.22	2 055 478	292 356	58 471
鲤 <sup>2</sup>	26	11.36	2 462 346	279 708	55 942
团头鲂 <sup>2</sup>	26	16.87	625 789	105 579	21 116
鳊	23.6	12.73	235 514	29 975	29 975
虾		11.08	833 242	92 368	92 368
河蚌		8.90	88 984	7 920	7 920
螺		7.93	99 080	7 860	7 860
蚬		11.06	20 125	2 226	2 226
河蟹 <sup>3</sup>		11.10	574 235	63 656	31 828
淡水捕捞					
鱼类		14	1 526 285		213 680
甲壳类		11	327 813		36 059
贝类		10	284 331		28 433

注: <sup>1</sup> 为 2009 年渔业产量(2010 中国渔业统计年鉴); <sup>2</sup> 按 20% 养殖产量来自天然饵料(如浮游生物、水草等); <sup>3</sup> 按 50% 养殖产量来自天然饵料

而计算碳沉积为 221.2 万 t。根据研究,湖泊天然鱼类周年死亡率为 71.7%(张堂林 1997),因此,实际碳沉积率可能更高。这个值高于陈毅德(2009)报道我国淡水养殖每年约可从内陆水体中消除的碳量(73 万 t)。据陈中祥等(2011)的计算,仅鲢鳙鱼的养殖,每年碳移出的量就可达 68.1 万 t。而滤食性鱼类的摄食可以加速浮游生物的周转,提高其固碳总量。

### 3 不同水体碳移出的估算

我国淡水水体种类多样,有湖泊、水库、池塘等,湖泊的营养状况不同,渔业模式也不一样,因此,其在碳汇贡献方面也存在着一一定的差异。

鄱阳湖是我国第一大淡水湖,平均湖水面积为 3 283 km<sup>2</sup>,其渔业产量在 20 世纪 60 年代以前约 88 kg/hm<sup>2</sup>,至 90 年代高达 198 kg/hm<sup>2</sup>,同时年产虾 5~10 kg/亩(张堂林 2005)。根据其产量比例(表 3),计算出平均碳含量占湿重的 13.94%,因此,年碳移出量为 2 837.4~9 061.5 t。在鱼类作为体重移出碳同时,代谢中还有一部分碳以粪便形式固定起来,根据多数鱼类能量收支比例估计,假设这部分碳为 20%(多数情况下为 20%~40%),那粪便固定的碳为生长碳的 70%~200%,取 120%为计算依据,那么每年鄱阳湖通过渔业活动总固定的碳为 6 242~19 935 t。单位面积碳移出为 8.6~27.6 t/hm<sup>2</sup>·yr(表 4)。

表 3 鄱阳湖湖口水域刺网渔获物比例及其碳含量

Table 3 Proportion and carbon contents of different fishes by gill nets at Hukou area of the Poyang Lake

	平均 C 含量(%湿重) <sup>1</sup> Carbon content(% in wet weight)	产量比例(%) <sup>2</sup> Proportion of the catch	碳含量比例 Proportion of carbon in the catch(%)
鲢、鳙	16.19	32.6	4.823
草鱼	12.81	36.6	4.690
鲤	11.36	9.1	1.034
团头鲂	16.87	1.6	0.270
鳊	12.73	2.3	0.293
其他	16.25	17.4	2.827
合计			13.936

注:<sup>1</sup>根据陈少莲(1990)结果计算;<sup>2</sup>自张堂林(2005)

表 4 鄱阳湖按湖口水域刺网渔获物比例计算碳汇

Table 4 Carbon removal by fishery calculated from gill net catch at Hukou area of the Poyang Lake

年代 Decade	鱼产量 <sup>1</sup> Fish production(kg/hm <sup>2</sup> )	单产移出 Fisher production per hectare(kgC/hm <sup>2</sup> )	碳移出量 Carbon removal(t)	总固定碳量 Carbon sequestration(t)
1950	85	11.849	3 890	8 558
1960	88	12.267 2	4 027	8 860
1970	62	8.642 8	2 837	6 242
1980	100	13.94	4 576	10 068
1990	198	27.601 2	9 061	19 935

注:<sup>1</sup>自张堂林(2005)

从鄱阳湖的渔获物组成看,1959~1997 年,作为顶级消费者的食鱼性鱼类鳊鱼所占比例下降,草、青、鲢鳙鱼比例上升(表 5),而且从渔获物年龄上看,1997 年 4<sup>+</sup>龄以上的鱼比例几乎为 0(表 6)(秦海明等 2005)。因营养层的能量和物质传递从低营养层到高营养层会逐渐降低(Tang *et al.* 2007),低营养层鱼类比例的上升,说明移出的碳汇量增加。

梁子湖位于湖北东部长江南岸,属浅水草型湖泊,湖泊主体湖面积 18 600 hm<sup>2</sup>(秦海明等 2005)。有鱼类 75 种,其中鲤科鱼类 43 种,渔获物中鲈类占 25.8%,草鱼占 16.67%,鲢鳙鱼占 13.84%(秦海明等 2005),通

过计算,得出其平均碳含量为湿重的 13.965%(表 7)。其年产鱼 5 000~8 000 t,其碳移出为 698~1 117t/yr,单位面积碳移出为 24~38t/hm<sup>2</sup>·yr。

表 5 鄱阳湖渔获物组成的变化(%) (自秦海明等 2005)

Table 5 Fish species proportion in the Poyang Lake in different years(%)

渔获物 Species	1959	1974	1984	1995	1997
鲤、鲫	40~45	40~45	43.9	45	32.7
草、青、鲢、鳙	10~15	5~10	0.4	10	32.8
鲮	10~12	5~8	0.4		
鲚	2~3	10~15	0.9		4.5
鳊、鲂	5	4~5	5.7		
鲇	5	4~5	1.1		
鱼	3~5	3~5	1.0		
鳊	3~5	2~3	6.3		1.3
鲚、黄颡鱼等				35	
其他	5~10	10~15	40.3	10	29.7
合计	100	100	100		100

表 6 鄱阳湖渔获物中鲤的年龄结构变化(%) (自秦海明等 2005)

Table 6 Age variation of common carp in the catch of the Poyang Lake (%)

年份 Year	0 <sup>+</sup>	I <sup>+</sup>	II <sup>+</sup>	III <sup>+</sup>	IV <sup>+</sup>	V <sup>+</sup>	VI <sup>+</sup>	VII <sup>+</sup>	VIII <sup>+</sup>
1963			66.6	20.1	8.3	3.4	1.2	0.2	0.2
1974	1.1	14.6	59.7	15.9	5.7	1.4	1.6		
1984	25.3	37.6	24.5	9.4	2.1	1.1			
1997	30.0	67.5		2.5					

表 7 梁子湖渔获物的比例及其碳含量

Table 7 Fish species proportion and carbon contents of the catch in the Liangzi Lake

	碳含量 <sup>1</sup> Carbon content (% of wet weight)	产量比例 <sup>2</sup> Proportion of the catch(%)	C 含量比例 Proportion of carbon in the catch(%)
鲢	16.19	10.57	1.711
鳙	13.40	3.27	0.438
草鱼	12.81	16.67	2.136
鲫	14.22	3.27	0.465
鲤	11.36	7.36	0.836
团头鲂	16.87	0.9	0.152
鳊	12.73	6.2	0.789
蒙古红鲌	16.25	25.8	4.192
虾	11.08	6.87	0.761
其他	13.0	19.11	2.484
合计			13.965

注: <sup>1</sup> 根据陈少莲(1990)结果计算; <sup>2</sup> 自秦海明等 2005

武汉东湖是典型的超富营养型湖泊,其鱼产量中鲢鳙鱼占95%以上。2003年渔业产量1750t,通过计算,其通过渔获物输出的碳每年为260t,单位面积输出 $78.4\text{ t/hm}^2 \cdot \text{yr}$ ,明显高于草型湖泊的碳输出。但倪乐意等(1993)计算出的东湖碳输出总量为993.1t,而1993年东湖渔产量1570t,计算得到的渔获物碳输出量应为232t,可见不同的计算方法之间存在一定的差异。

长江中下游湖泊面积1971年为1.67万 $\text{km}^2$ ,2000年为1.3万 $\text{km}^2$ ,如果平均碳移出按 $10\sim 30\text{ kg/hm}^2 \cdot \text{yr}$ 计算,总碳移出分别为 $1.67\sim 1.3\text{ 万 t/yr}$ 和 $5.01\sim 3.9\text{ 万 t/yr}$ ,碳沉积量 $2.3\sim 1.8\text{ 万 t/yr}$ 和 $7.0\sim 5.5\text{ 万 t/yr}$ 。

崔奕波等(2005)列出了长江中下游湖群的渔产潜力,根据其结果,可以计算出主要湖泊的碳移出量。

保安湖草食性鱼类渔产潜力: $62\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $7.96\text{ kg/hm}^2$ 。

滤食性鱼类:鄱阳湖渔产潜力 $236.19\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $34.94\text{ kg/hm}^2$ ;梁子湖渔产潜力 $375.08\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $55.49\text{ kg/hm}^2$ ;东汤孙湖渔产潜力 $282.02\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $41.72\text{ kg/hm}^2$ ;龙感湖渔产潜力 $345.14\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $51.06\text{ kg/hm}^2$ ;黄湖渔产潜力 $325.43\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $48.15\text{ kg/hm}^2$ ;东湖渔产潜力: $1141\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $168.81\text{ kg/hm}^2$ 。

梁子湖食鱼性鱼类渔产潜力:

$79\text{ kg/hm}^2$ ,碳移出 $10.06\text{ kg/hm}^2$ 。

表8 3个湖泊滤食性鱼类碳移出的估算比较

Table 8 Comparison of carbon removal by filtering fishes in three lakes

		渔产潜力估算 Calculated by fishery capacity	渔业产量估算 Calculated by fishery production
鄱阳湖	Poyang Lake	34.94	8.6~27.6
梁子湖	Liangzi Lake	55.49	37.5~60.0
东湖	Donghu Lake	168.81	78.8

表8的比较可以发现,通过渔产潜力计算的碳移出的量要高于目前渔业产量计算的碳移出量,对于富营养化程度较高的东湖,该差异更大。由此可以看出,富营养湖泊藻类水华的发生对碳的固定和移出有一定的积极意义。

鱼类在碳循环中的作用越来越受到重视,甚至被称为“Fish: The guts of the carbon cycle”,海洋3%~15%的碳酸盐态碳来自鱼类(Wilson *et al.* 2009)。生态系统必须具有其本身的多样性和健康性,缺失某些种类甚至是某一个种类,均会影响其生态系统的健康及其碳移出的能力(Taylor *et al.* 2006)。

叶少文(2007)以湖北牛山湖为基础,系统地建立了其生态系统营养网络模型,得出其各营养级之间的传递效率分别是12.8%、13.6%、14.2%、16.2%、14.8%,模型计算平均传递效率13.5%。通过模型预测可以预测不同的渔业方式会对湖泊生态系统的鱼类群落结构产生明显影响。这些影响,均会导致其碳移出能力的改变。

#### 4 淡水渔业碳汇估算存在的问题

精确的估算需要大量生态学基础数据支撑,首先需要对鱼类种群动态有较为精确的估算,如捕捞群体、死亡群体、现存群体、繁殖群体等的估算,另外需要有P/B、种群死亡率、捕捞强度、鱼体固定碳的归趋与周转速率等相关数据,还主要掌握不同营养级之间碳流传递的规律。

淡水水体的碳循环受到各种各样因素的影响,包括温度、水体营养水平、水文情况、生物群落结构、溶解有机质含量、季节和湖面冰层溶化等生物、物理和化学因子等,如何更好地发挥湖泊的碳汇功能而减少碳源效应,以及湖泊的富营养化治理与碳源、碳汇的关系等,均还需要进一步深入的研究。

#### 参 考 文 献

- 于洪贤,李友华.2001.生物碳汇类型的特性研究.经济研究导刊,5:244-245  
 叶少文.2005.长江中游典型浅水湖泊鱼类群落和系统营养网络模型的研究.见:中国科学院水生生物研究所博士研究生学位论文,177  
 李 龙.2010.全球变暖与二氧化碳政策的初步研究.中国高新技术,21:104-1,5

- 陈中祥, 牟振波. 2011. 滤食性鱼类在淡水渔业中的碳汇作用初探. 水产学杂志, 24:65-68
- 陈少莲. 1993. 鱼类及其在水体的物质循环中的作用. 载于: 刘建康主编《东湖生态学研究(一)》, 北京: 科学出版社, 292-378
- 张堂林. 1997. 保安湖麦穗鱼生物学、现存量和生产力研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所硕士研究生学位论文
- 张堂林. 2005. 大型通江湖泊(鄱阳湖)的资源环境特征. 载于崔奕波李钟杰主编《长江流域湖泊的渔业资源与环境保护》, 北京: 科学出版社, 117-192
- 汪建君. 2010. 气候变化的另面观——谨慎看待 CO<sub>2</sub> 和全球变暖. 中国科学院院刊, 25:438-447
- 秦海明, 张堂林, 洪一江. 2005. 湖泊鱼类和经济甲壳动物种群生物学及资源保护. 崔奕波, 李钟杰主编《长江流域湖泊的渔业资源与环境保护》, 北京: 科学出版社, 193-299
- 康 斌, 线薇薇, 武云飞. 2010. 两种饵料条件下鲮的碳收支研究. 海洋科学, 34:11-14
- 崔奕波, 李钟杰. 2005. 长江流域湖泊的渔业资源与环境保护, 北京: 科学出版社
- 倪乐意, 邢阳平, 杨 洪, 吴爱平. 2008. 武汉东湖的碳收支过程. 宋金明等主编《中国近海与湖泊碳的生物地球化学》, 北京: 科学出版社, 494-527
- Cole JJ, Prairie YT, Caraco N and 8 others. 2007. Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems* 10: 171-184
- Dean WE, Gorham E. 1998. Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands. *Geology* 26:535-538
- Einsele G, Yan J, Hinderer M. 2010. Atmospheric carbon burial in modern lake basin sand its significance for the global carbon budget. *Global and Planetary Change* 30:167-195
- Schroeder GL. 1987. Carbon and nitrogen budgets in manured fish ponds on Israel's coastal plain. *Aquaculture* 62: 259-279
- Taylor BD, Flecker AS, Hall Jr RO. 2006. Lossofa harvested fish species disrupts carbon flow in a diverse tropical river. *Science* 313:833-836
- Wilson RW, Millero FJ, Taylor JR and 4 others. 2009. Contribution of fish to the marine inorganic carbon cycle. *Science* 323:359-362
- Xie Z, Liu G, Bei Q and 6 others. 2010. CO<sub>2</sub> mitigation potential in farmland of China by altering current organic matter amendment pattern. *Science China (Earth Sciences)* 53:1351-1357