

# 伊乐藻—草鱼圈养人工复合 生态系统建设的研究

朱松泉 刘正文

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**摘要** 十多年来,在长江中下游浅水湖泊,特别是城郊湖泊,围栏圈养草食性鱼类发展迅速,产量大幅度提高,经济效益明显增长。养鱼过程中,由于大量投喂商品饲料和过量利用天然水草资源,加之湖滨人口不断增加等多种原因,导致不少草型湖泊水生植被退化,水草流失,加速了湖泊富营养化进程,湖泊整体功能下降。

伊乐藻是1986年从国外引种东太湖的高等沉水植物,已在东太湖归化,并被广大渔民用作为草食性养殖鱼类的饲料。本研究是充分利用伊乐藻的生物学和生态学特性,以及易种植、生物量大、可利用程度高等特点,研究了在浅水湖泊人工种植、采收时间和刈割方法,提高其单位面积产量;测定了草鱼对伊乐藻的消化吸收和饲料系数;研究了伊乐藻在水生态系统中的功能等,从而在浅水湖泊中设计和建设伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统。即以种植伊乐藻为中心,并以它作为草食性鱼类饲料和在水界物质循环的中介,在湖泊大系统内建立的草—鱼平衡系统,以提高湖泊养鱼产量和其他水产品产量,改善渔业水质和优化湖泊生态环境为主要目的。

**关键词** 伊乐藻—草鱼 圈养 人工复合生态系统

## 1 当前湖泊及湖泊围栏养鱼存在的主要问题与伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统建设的提出

### 1.1 三种湖泊类型与渔业生产的关系

长江中下游一些湖泊,特别是城郊湖泊,由于人类活动的加剧,输入的外源性营养物质增多,正加速湖泊的富营养化进程。不少湖泊原来就是草型湖泊,如武昌东湖、无锡五里湖等,或因为对水草的刈割强度过大,或过量放流草食性鱼类,使湖中水生高等植物急剧减少,引起湖中氮、磷等营养元素由原来是向水生高等植物和藻类传输的营养链,转变为仅向浮游植物传输为主。由于营养物质的不断输入,藻类数量发展,透明度下降,严重制约沉水高等植物的生长,生物量减少,最后导致全湖沉水植物的消亡,遂使草型湖泊演变为藻型湖泊。

从湖泊的初级生产力角度看,水生高等植物和藻类都属湖泊初级生产者(还可包括某些光能和化学能微生物,有色原生物等),它们利用太阳能和化学能,把简单的无机物(N、P、C、H、O等)合成自身复杂的有机体。如果水中无机物不断增多,就引起湖泊生物生产力增大的过程,即所谓“湖泊富营养化现象”。它是以“引起生产力增加的营养盐生物富集”为其最基本特征。就是说,可以引起水生高等植物生产力的增加,也可引起浮游植物生产力的增加。它们即受到湖泊生物生产中内因和外因的制约,又必然伴随由于生物生产量增大引起的湖泊

在其形态特征、水体质量和水生态结构等方面的变化。

由此可见,湖泊富营养化过程的主要因素有营养因素、环境因素和生态因素。而湖泊水生高等植物的种类和生物量是水生态因素的核心。藻型湖泊、草型湖泊和草—藻混合型湖泊正是按照生物生产力及其对营养盐的响应关系区分的三种湖泊生态类型<sup>[1]</sup>。

(1) 藻型湖泊 (Algae-type Lake): 以浮游植物的异常增殖为主要特征, 以叶绿素 a 作为其生产量的表征, 是富营养化湖泊的代表型。透明度低, 沉水高等植物已绝迹, 6—9 月出现浮游植物生长高峰或出现水花, 使水质恶化。底栖动物种类和数量明显减少, 鱼的多样性降低。渔业利用主要以放流食浮游生物鱼类, 如花鲢和白鲢, 常能获得较高产量。

(2) 草型湖泊 (Macrophyte-type Lake): 以大型高等植物为主并有巨大生物量为主要特征, 以“生物量”为表征。高等植物以沿岸向湖心方向的空间分布, 依次出现有挺水、漂浮、浮叶和沉水植物所组成的生态系列。沉水植物的分布和数量随水深增加而递减。演替时序通常以漂浮、浮叶植物为主, 进而为沉水植物, 最后为挺水植物占主要地位。

草型湖泊中大型植物迅速地吸收水中氮、磷, 因此, 水质较好, 透明度高。但在水生植物非生长期 (尤其是冬天), 会释放出大量氮、磷, 为它们的夏季生长高峰准备了高含量的营养物质, 同样能表现出富营养化过程的典型征状, 所以氮、磷仍是其控制指标之一。也由于水生高等植物过盛生长, 促使湖泊沉积加速。

草型湖泊有较好的水质, 对于发展湖泊渔业是有利的。首先, 沉水植物是喜草繁殖鱼类受精卵的附着基质, 如鲤、鲫、鲂、红鲃等经济鱼类繁殖即是, 乌鳢也是在水草繁茂的静水处营巢产卵; 第二, 水生高等植物的分布区是不少无脊椎动物的栖息地, 如螺、蚌、虾、蟹、水蚯蚓和昆虫幼虫等, 这些无脊椎动物又是不少鱼类的食料, 因此, 是鱼类的肥育区; 第三, 青虾和中华绒毛蟹等现在属名优水产品, 经济价值很高, 它们就是喜草栖息的种类; 第四, 湖内的“三网”养鱼和湖滨地区的池塘养鱼主要对象是草食性鱼类, 水生高等植物不仅提供了廉价的鱼饲料, 而且可以通过人工有序地刈割水草, 用水草喂鱼, 鱼被捕捞等措施, 会大大减轻水草对湖体的不利影响, 对保护湖泊的生态环境有利。

(3) 草—藻混合型湖泊 (Macrophyte-algae Mixed Type Lake): 是兼有草型湖泊和藻型湖泊特征的过渡型湖泊, 反映出大型植物和浮游植物的竞争关系, 在一定条件和一定时段内, 可以向其中一种形态过渡。其表征指标以水柱生产力为宜。

这类湖泊如果继续大量刈割水草作为鱼饲料, 而不注意水草的恢复和保护, 外源性有机物继续侵入, 会很快演变为藻型湖泊, 其速度之快, 出人意料。

## 1.2 湖泊围栏养鱼存在的主要问题

湖泊中采用围栏养鱼是利用湖泊优越的水环境条件与我国悠久的池塘养鱼高产技术相结合的养鱼方法。由于成本较池塘养鱼低, 单位面积产量可达到或超过池塘养鱼水准, 又可缓解对天然渔业资源的捕捞压力等诸多优点, 所以很快被人们接受而加以推广。以苏州东太湖为例, 1984 年, 中国科学院南京地理与湖泊研究所科技人员, 在苏州市水产局和太湖渔业生产管理委员会的支持下, 开展网栏养鱼试验起, 至今圈养面积已发展到 800hm<sup>2</sup>, 产量达到 2 923.3t (1994 年), 其历史仅 10 年左右。

就全国而言, 利用大中型水域发展水产养殖业是实现水产品产量第二个翻番的潜力和希望所在。特别是长江中下游大中型水域面积占到全国的 44.2%; 1990 年的养殖面积占全

国的 48.8%；1980—1990 年间，全国大中型水域养殖面积增加近  $34 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，其中长江中下游就增加了  $20 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，占全国增加量的 64%，产量占增加量的 63.4%。

围栏养鱼不断发展的同时，也不能不看到潜在的一些问题。必须指出，国家计划在“九五”期间水产生产还要有个大发展，其增加的产量主要由湖泊等大中型水域来完成。因此，只有因势利导，采取积极的措施解决问题，才能继续提高湖泊的水产品产量，使湖泊渔业生产向良性发展。当前的主要问题是：

(1) 围栏养鱼面积不断扩大，宜养面积不断减少。

湖泊围栏养鱼的养殖对象主要是草食性的草鱼、团头鲂，宜养湖区是长有水草的草型湖泊或湖区。除了养殖草食性鱼类外，还围栏养殖中华绒毛蟹等，都是离不开水草的。全国从 1978—1990 的十二年间，在湖泊中的围养面积平均每年增长 1.3%，产量平均增长 11.6%，单位面积产量平均增长 10.1%<sup>①</sup>。按照国家计划，今后还将继续发展。另一方面，由于湖周及流域的工业发展和乡镇工业的崛起，农田施肥量的增多，人口的增长，大量工农业废水和生活污水入湖；草食性鱼类的大量放流和养殖，加速水生高等植物的急剧减少和消亡；湖泊围垦将长有丰美水草的沿岸浅水带围垦成陆。凡此种种，加速草型湖泊演变成无水草的藻型湖泊，湖泊的宜养面积不断缩小。如太湖，水草分布面积不断缩小，围栏养鱼集中在水草覆盖度 70% 的东太湖，面积约  $1.5 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，仅及太湖的 6%。

(2) 围栏养鱼使用的商品饲料占相当份额，鱼—草—环境的矛盾仍很突出。

这是因为：第一，湖区水草资源不足，求大于供，需要用商品饲料作补充；第二，水草生长淡季，在没有水草或水草量不足时，需用商品饲料作主饲料；第三，突发灾害性天气，如刮大风，下大暴雨等无法在湖面进行割草作业时，需要用商品饲料。另外需要指出的是目前市售的颗粒饲料不乏混入大量伪劣产品，渔民不愿买颗粒饲料而直接买粮食喂鱼，加大了商品饲料的用量，更重要的是用部分商品饲料实行精养，提高单产，以取得高的经济效益。

王友良等<sup>[2]</sup>总结长荡湖的“精养型”和“粗养型”两种养鱼类型时指出：同样的鱼产量，粗养型要比精养型多占水面 50—166 倍。就是说，粗养型是采用稀养和占有更大的水面实现的，除了耗尽大片水草生长区的水草外，还要增加管理和基础设施的投资，在经济效益、社会效益和环境效益等均不如精养型，这是从实践中得出的经验，在东太湖也有类似的情况。

众所周知，商品饲料的大量投入会对湖泊生态系统带来影响。据测算<sup>②</sup>，常州溇湖围栏养鱼面积  $3067 \text{hm}^2$ ，占全湖面积的 18.7%，投放商品饲料的氮、磷占全年入湖氮、磷量的 12.38% 和 29.85%，围栏区底泥释放磷量在全湖磷负荷中占 61.1%—67.8%，对水环境的影响较大。

(3) 为降低养鱼成本，加大了对水草资源的利用压力。

如上所述，在太湖流域，大中型水域围栏养鱼都有“精养型”和“粗养型”之分。精养型采用两头“精”中间“青”的养殖措施。即在一年的养殖周期中，6—9 月湖区水草产量高，主要用水草饲料，搭配一些商品饲料；年初和年末主要用商品饲料，用以“抓肥”。长荡湖精养型每公顷净产量 2250kg，每产 1kg 鱼用商品饲料 2.8kg，水草 31.74kg；粗养型每公顷净产量

① 依农业部水产司渔业统计。

② 舒金华，溇湖磷迁移过程研究，1995 年。

450kg,用商品饲料0.095kg,水草95.8kg<sup>[2]</sup>。溧湖围栏养鱼与东太湖一样,都是精养型,每公顷净产4500—15000kg,每生产1kg鱼用商品饲料3.02—3.92kg,水草18.5—26.15kg<sup>①</sup>。近年,商品饲料价格每年提增13%—20%,而养殖的商品鱼由于上市集中,反而价格平抑。养鱼户为降低养鱼成本,有效的办法是降低商品饲料的消耗,增加水草用量,因此,加大了对水草资源的利用强度。据李文朝报道<sup>[3]</sup>,1988年东太湖沉水植物分布面积8667hm<sup>2</sup>,年生产量27.32×10<sup>4</sup>t,其中优质鱼饲草为23.33×10<sup>4</sup>t。那时,东太湖还未大规模发展围栏养鱼,主要为周边池塘养鱼提供饲草。1994年,围栏养鱼3698t(其中蟹产量40t)。如生产1t鱼耗草50t计,则每年在湖区捞取水草182900t,湖周边池塘养鱼户到湖中捞取水草仍有增无减。这样,首先围栏就占据了大片水草区;第二,围栏区集中在风浪小,水草生长最好的沿岸带,因围栏过分集中,会造成局部水域藻型富营养化,影响水草生长,出现小面积无草区;第三,如果每生产1kg鱼降低商品饲料1kg,比较效益平均可提高1.5元,水草用量要增加20%;第四,刈割水草有明显的选择性,去优留劣,促使沉水植被类型劣质化、小型化。一蟹说来,收获量大,鱼适口性好的沉水植物首先被刈割,如伊乐藻、菹草、苦草、黑藻和马来眼子菜等。对于适口性差,收获量小的植物,如荇、沼针蔺、金鱼藻、荇菜等,则很少被刈割,助长了这些植物的进一步发展,导致整个湖泊的高草植被退化,资源价值下降。

### 1.3 “伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统建设”的目的

长期以来,人们对湖泊水生高等植物,尤其是沉水高等植物具有陆地生态系统中森林相似的功能认识不足,只是片面认为它有加速湖泊沉积和增加湖泊有机质的一面,以至于在六、七十年代,在不少草型湖泊大量放流草鱼“开荒”及农业方面的大量围垦,导致水草大量消耗和水草生长区的急剧减少。随着湖滨人口不断增加,入湖有机物的增多,加速了藻型富营养化进程,使原来的草型湖泊成为无水草生长的藻型湖泊。如果说草型湖泊因水草沉积加快使湖泊消亡是多少个世纪的事,那么由草型湖泊演变成藻型湖泊只要几十年乃至十几年即能实现。目前幸存的一些草型湖泊,由于湖区和周边池塘大量养殖草食性鱼类,也由草型湖泊向藻型湖泊过渡。

吃一堑,长一智,人们对于水草在湖泊生态系统中的功能的认识正在不断提高,东太湖渔民已经深深感受到围栏养鱼迅速发展与水草资源严重不足的矛盾,种草养鱼,种草养蟹已在有的养鱼户中实施。通常自己种一块或围一块长有水草的区域(常是伊乐藻),以备在公共湖区水草不足时使用。种草养蟹更是提高产量和成色的途径之一。种草可有目的地淘汰劣质水草,提高水草的利用价值。

我们于1992年在东太湖第三网栏养鱼区进行了种植伊乐藻养草食性鱼类的初步试验。网栏设计共有三道网:一道是外圈两层网,间隔5m,圈围面积5hm<sup>2</sup>;二道也是两层网,间隔2.5m,与第一道网相距约20m,其间面积1.3hm<sup>2</sup>,是伊乐藻种植区;三道只有一层网的养鱼网栏,分成14只小围栏,总面积2.7hm<sup>2</sup>,主养草鱼、团头鲂,搭配青鱼和鲫鱼。共放养鱼种10243kg,起捕鱼44150kg,净产33907kg,每公顷净产12720kg。每生产1kg鱼用颗粒饲料5.7kg和伊乐藻等水草19kg。在种植区还放养了加州鲈和鳊等肉食性鱼类。

试验表明,种植区提供了大量饲草,也削减了养殖区的氮、磷负荷。经测定,有机质、有机

① 江苏省淡水水产研究所。溧湖网栏养鱼工程技术的研究报告,1990。

碳、总氮、有机氮等含量从养殖区—种植区—围网区外—一线明显地呈递减趋势。

试验又表明,由于种植区伊乐藻等水草生长过密,影响湖区和养殖区的水体交换;加之种植区植物呼吸作用又消耗大量氧气,造成养殖区溶解氧过低,于8月1日临晨死鱼4300kg。长期低溶氧造成鱼类生长缓慢,饲料系数过高。另外,采收种植区的伊乐藻是用渔民的方法,用两根竹竿插入伊乐藻丛中连根绞起,几乎无再生能力,产量不高。

总之,种草养鱼在提供饲草和改善水质方面有明显作用,存在的一些可以克服的问题为“伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统”设计提供经验。

“伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统建设”就是在充分认识水草在水生态系统中的作用,利用伊乐藻易种植、生物量大、可利用程度高的特点,以伊乐藻种植为中心,并以它作为草食性鱼类饲料和在水界物质循环的中介,在湖泊大系统内建立的草—鱼平衡系统,其基本原理和作用如图1。

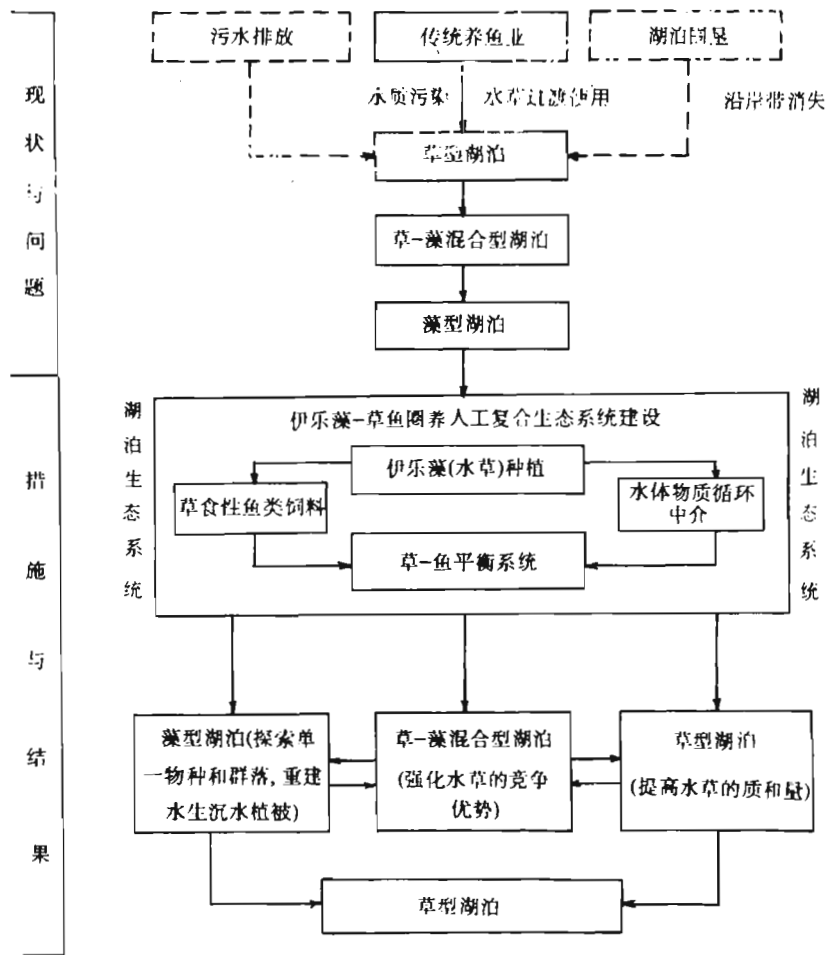


图 1 伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统建设的原理

Fig. 1 Principle of establishing an artificial compound ecosystem of *Elodea*-grass carp pen farming

在湖泊大系统内植入的该“人工复合系统”,不仅可以为在藻型湖泊探索单一水草或伊乐藻为主的群落重建水生高等植被的可能性,而且在草-藻混合型湖泊中,强化水草对于藻类的竞争优势,促进混合型湖泊向草型湖泊转化。在草型湖泊,可以利用来稳定湖泊的植被动态,改善水草的质和量,提高水草资源的利用价值。这种可称之为“种草养鱼”的人工复合生态系统本身是一净化系统,可以实现没有多余的有机物质存留水中,还可以携出湖泊大系统内的一些有机物质。这种草-鱼平衡系统改变了传统的湖泊养鱼方式,有利于湖泊天然水产资源的增殖和草食性鱼类圈养业的发展,最终能解决目前湖泊围栏养鱼面临的一些问题,实现经济效益、社会效益和生态效益的同步增长,具有广阔的应用前景。

## 2 主要研究结果

### 2.1 伊乐藻及其生物量和生产量测定

#### 2.1.1 伊乐藻简介

伊乐藻 *Elodea Nuttallii* (Planch.) St. John, 属水鳖科 Hydrocharitaceae。一年生沉水草本植物。原产地美洲,1986年由中国科学院南京地理与湖泊研究所引种东太湖,现已在东太湖归化。近年已被渔民大量刈割喂草食性鱼类,形成生产能力。1994年春调查,分布面积达1334hm<sup>2</sup>。有关伊乐藻引种东太湖后的生物学和生态学特性曾作过一些初步研究<sup>[4-6]</sup>,结合这次研究结果,现将要介绍如下:

形态:伊乐藻植株鲜绿,茎柔嫩,在茎节的叶腋内萌生新株,有时伴有白色线状不定根,根能植入泥中,起固着和吸收营养的功能。叶片披针形,三枚轮生。叶无柄,长10-15mm,常向一个方向卷曲。植株外形与我国产的黑藻 *Hydrilla verticillata* 相似,但后者的叶片5-7枚轮生,以示区别。雌雄异株,因引种植株均是雄株,所以东太湖的都是营养体繁殖的后代。

生长要素:水温5-30℃都能处于正常的营养生长状态,最适温度25℃左右,30℃以上对其生长有抑制。要求水深小于2-2.2倍水体透明度。6月下旬或7月上旬达到最大生物量。试验条件下最大密度生物量达到15kg/m<sup>2</sup>,内禀增长率全年平均0.06/天。在试验地实测,1995年5月13日收割,至6月24日测定,平均每天增长1.51cm,其间水温16-24℃。

伊乐藻植丛呈倒圆锥形生物量分布,这一特性使其与其他植物在时间和空间竞争上有明显的优势。据实测,在水深70cm水泥池种植的伊乐藻,基部一根植株的上面有7-11个分枝;在水深103cm的东太湖,每根植株上面有20-28分枝,越往上分枝越多。但这种“头重脚轻”的植丛形态,限制了它在风大浪急的湖心区分面(一般能抗御波高0.5m的风浪);也便于收割,加大了渔民对它的刈割强度,影响其分布区的进一步扩大。

#### 2.1.2 伊乐藻种植

用肥泥(围栏养鱼区底泥)、湖底淤泥、砂质泥和粗沙做基质,装入塑料盆内10cm厚,栽植切成15cm枝长的伊乐藻,将盆悬于1m水深处,两个月后均能生长出营养体。但以肥泥和淤泥为基质的生长最好。

种植简易。将伊乐藻营养体理好切成15-20cm长的段,用段枝插入泥中,或在近根端裹泥团沉入水底,或将切成段、不切成段的整个植株成团用竹竿插入、用脚踩入水底泥面下,均能成活。在东太湖地区,四季均可种植,但以冬季或早春栽种的成活率最高。

自1992年起,分别在池塘、铺泥的水泥池、浅水湖湾,甚至在藻型湖泊的五里湖(用围

隔设施)种植伊东藻,均成活并形成大的生物量。

在湖区大面积种植前的清基是提高成活率的关键。特别是对原有的浮叶植物、金鱼藻、微齿眼子菜等务必清理干净,最好是利用没有沉水植物的湖区或围栏养鱼迹地种植。植枝的用量  $100-200\text{g}/\text{m}^2$ 。

### 2.1.3 伊东藻的生物量和生产量测定

本所张雁秋等<sup>①</sup>和杨清心等<sup>[5]</sup>在东太湖实测的伊乐藻最大种群密度分别达  $15\text{kg}/\text{m}^2$  和  $11.7\text{kg}/\text{m}^2$ ,后者是水深  $123\text{cm}$ 、透明度见底时的生物量鲜重,这些都是在试验条件下小范围的最高生物量,大面积种植时很难达到这样的水准。

伊乐藻的最大生物量受到水位变化、底质及风浪等的影响。如果水位变化不大,每年6月中下旬达到最大生物量。天然种群在最大生物量出现之前就被渔民大量刈割,一般很难测定。为了更接近应用实践,我们在东太湖湖湾用网片围出  $0.27\text{hm}^2$  水面,水深  $62-110\text{cm}$ ,种植伊乐藻,进行单丛和单位面积生物量测定。

1992年12月22日-24日将采集的连根营养体,枝长约  $6-14\text{cm}$ ,洗净,用脱脂纱布吸去水份后称重,取每团约  $50\text{g}$ ,用端部锯有凹口的竹竿将其插入湖底表泥下,每平方米插入  $1-3$  团,形成连片种植区  $1.63\text{hm}^2$ 。在另一区作单丛种植,每一丛的初始量(连根)  $100\text{g}$ ,使其在形成最大生物量时不与其他植丛连成片。翌年6月15日,水深  $104\text{cm}$ ,伊乐藻顶部长到水面。在生长成片区取样  $4\text{m}^2$ ,取泥面以上部分,洗净,在洗衣机脱水筒内转动1分钟,称重,平均为  $235\text{g}/\text{m}^2$ ;与其他水草(菱、金鱼藻、菹草、黑藻等伴生的植被区,也取样  $4\text{m}^2$  称重,平均  $6321\text{g}/\text{m}^2$ ,其中伊乐藻  $4275\text{g}/\text{m}^2$ )。单丛取4丛,平均每丛生物量  $4850\text{g}$ 。

根据 Logistic 方程,张雁秋等计算了伊乐藻在东太湖单位空间所能生长的最大生物量约  $16\text{kg}$ 。种群密度处在容量一半的情况下,即  $8\text{kg}$  左右,单位面积产量最高。试验表明,在良好的管理条件下,大面积种植区生物量  $6\text{kg}/\text{m}^2$  是完全可以达到的。

在东太湖渔民采割其他沉水植物时用一种牛头刀沿泥面推动,刀口与泥面保持几公分距离,被割植物体根部尚能保留,可继续生长。唯采收伊乐藻是用两根竹竿插入植丛,同时转动两根竹竿,将植物体连根绞起,这种毁灭性的采割方式,虽然操作简单,劳动强度小,收获量大,但植物体大多失去再生能力,限制了天然伊乐藻的生产量至多等于最大生物量。因此,如何采割和提高伊东藻的单位面积产量是伊乐藻-草鱼圈养人工复合生态系统建设的重要内容。

为便于操作,选用湖边  $0.17\text{hm}^2$  的池塘,用拉丁方 A、B、C、D、E 五级方分组,每一方面积为  $8.96\text{m}^2$ ,对伊乐藻进行生产量测定,以选定生产量较高的采割方法。结果是:

用两根竹竿绞收,年内可收获两次,  $1.8\text{kg}/\text{m}^2$  和  $0.54\text{kg}/\text{m}^2$ ,合计  $2.34\text{kg}/\text{m}^2$ ,不及最大生物量的  $3.46\text{kg}/\text{m}^2$ 。沿泥面剪枝留根,年内可收获两次,  $2.04\text{kg}/\text{m}^2$  和  $1.71\text{kg}/\text{m}^2$ ,合计  $3.75\text{kg}/\text{m}^2$ ,略超过最大生物量。中位收割(剪枝长的一半),年内可收获四次,合计  $5.88\text{kg}/\text{m}^2$ ,是最大生物量的  $1.70$  倍。可见,中位收割是竹竿绞收生产量的  $2.51$  倍。

又选用面积  $30\text{m}^2$ 、水深  $70\text{cm}$  的水泥池两只作生产量的重复试验,与池塘试验不同的是提早栽插时间,以提高第一次收割时间。每只池等分四个区:进行最大生物量测定、冠层收

<sup>①</sup> 张雁秋等. 伊乐藻的引种与利用, 1989.

割、中位收割和剪枝留根(适当留长泥面上方的枝长,是剪枝留根的改进)四种操作。以伊乐藻生长正常的一只池子的收获情况如下:1995年元月17日插枝,5月13日、6月24日、7月14日、8月25日四次收割(剪枝留根只收获三次),都有一定产量。冠层收割每次收获量小,化的劳力多;剪枝留根收割次数少,产量不低,但即使水泥池收割也要放水后才能操作,更不适湖区的生产实际,还是以中位收割较合适,产量也高。中位收割平均产量 $5639.2\text{g}/\text{m}^2$ ,是最大生物量 $3430.7\text{g}/\text{m}^2$ 的1.64倍;剪枝留根平均产量 $6114.2\text{g}/\text{m}^2$ ,是最大生物量1.78倍。这与上述池塘的中位收割产量是最大生物量的1.70倍接近。8月25日收割以后,生长速度降低,一年也是收割四次,与池塘中的试验一致。

中位收割法除了产量较高外,还有如下优点:第一,保持植物体鲜嫩,纤维素降低,蛋白质含量以中位收割的最高,鱼的适口性好;第二,一年四季都可生产;第三,适时削减植物体上部生物量,有利于种植区的水体交换,改善溶氧条件,也可避免因水位升高使倒圆锥形植物体连根上浮而产量降低乃至死亡;第四,保持植物体在合适的水层,可避免夏季阳光曝晒冠层灼伤生长点。

## 2.2 伊乐藻营养成分及草鱼对伊乐藻的消化吸收和饲料系数测定

伊乐藻全枝营养成份含量:干物质10.20%、粗蛋白质2.34%、粗脂肪0.29%、无氮浸出物3.58%、粗纤维2.19%、灰分1.30%。伊乐藻冠层收获物的粗蛋白和粗脂肪含量与东太湖的苦草、黑藻和微齿眼子菜比较,均高于后面几种水草(表1)。

表1 几种水草的营养成份比较\*

Tab.1 Comparison of chemical components of *Elodea Nuttallii* and several other aquatic macrophytes

种类	伊乐藻	苦草	黑藻	微齿眼子菜
粗蛋白质(%)	2.08	1.80	2.04	1.59
粗脂肪(%)	0.35	0.18	0.07	0.25

\* 除微齿眼子菜外,均依文献[4]。

17种氨基酸(色氨酸未分析)中,9种必须氨基酸占氨基酸总量的44.7%。草鱼对伊乐藻氨基酸总量的消化率为77%。

草鱼和团头鲂对伊乐藻的消化率都较高(表2)。随着水温升高,消化率有增强的趋势。

表2 草鱼、团头鲂对伊乐藻的消化率(%)

Tab.2 Comparison of digestibility of chemical components of *Elodea Nuttallii* by grass carp and Chinese bream

鱼名	平均水温(°C)	干物质	粗蛋白质	粗脂肪	碳水化合物	灰分
草鱼	18.6	50.77	78.89	77.37	71.92	36.45
	20.4	56.02	79.05	73.96	74.06	58.46
团头鲂	18.6	49.76	71.12	72.98	69.00	43.36
	20.4	54.97	74.96	64.63	74.72	51.36

草鱼对伊乐藻饲料系数测定用两种方法在湖区进行。

### 2.2.1 网箱试验

用长×宽×高=100cm×50cm×40cm的有盖网箱7只,各养1尾鱼;用100cm×100cm



×40cm 的有盖网箱 3 只,各养 5 尾鱼。试验用常规方法,不同之处是伊乐藻称量之前均用洗衣机脱水筒转动 3 分钟。饲养(4—6 月)65 天。

试验结果:草鱼平均日增重 3.47g,日量 157.9g,摄食率 66.5%,粗蛋白利用率 18.5%,饲料系数 45.6。5 尾鱼合养比 1 尾鱼单养的饲料系数低。

### 2.2.2 网栏试验

为接近生产实际,用 5m×10m 的网栏两只,分别设置在伊乐藻种植区和无水草区,养殖草鱼。鱼种放养按产量 9600kg/hm<sup>2</sup>、净增重 2 倍的比例设计。试验时间为 1993 年 4 月 22 日—7 月 21 日,共 91 天。伊乐藻称重前未经洗衣机脱水筒旋转,而用脱脂纱布吸去附着水。结果如表 3。

表 3 草鱼摄食伊乐藻的生长和饲料利用率

Tab. 3 Growth and efficiency of food utilization of grass carp fed by *Elodea Nuttallii* for 91 days

网栏设置区	放养尾数	每尾鱼始重(平均,g)	每尾鱼末重(平均,g)	饲养天数	日增重(g)	日食量(g)	摄食率	伊乐藻(g)	粗蛋白质利用率(%)	饲料系数
伊乐藻种植区	30	499.4	975.0	91	5.23	352.2	67.6	972.500	12.2	67.4
无水草区	30	534.0	1121.3	91	6.45	388.3	68.8	1046.450	13.9	59.4

由表 3 看出,位于种植区的草鱼饲料系数高于无水草区的,主要原因是种植区的伊乐藻密度大,影响与网栏间的水体交换,溶氧较无水草区的低;大量水生植物白天光合作用和晚上呼吸作用,溶氧量昼夜变化显著(表 4),一旦气候变化,会造成水中溶氧过低使鱼缺氧乃至死亡。无水草区的溶氧状况比种植区的稳定,浮头现象较少。因此,种植区的鱼由于经常浮头消耗能量,造成饲料系数较无水草区为高。

表 4 溶氧量的昼夜变化

Tab. 4 Diel dissolved oxygen changes in different aeras

时 间	种 植 区		无 水 草 区	
	溶解氧(mg/L)	水温(°C)	溶解氧(mg/L)	水温(°C)
8:00	7.24	20.2	7.56	20.0
10:00	10.85	20.6	8.12	20.4
12:00	12.54	21.2	9.35	20.8
14:00	12.77	24.8	9.85	23.1
16:00	13.33	26.0	9.12	25.0
18:00	11.82	24.8	9.39	24.5
20:00	10.15	22.8	9.24	23.0
0:00	7.15	22.8	9.24	23.0
4:00	6.67	21.0	7.15	21.0
6:00	5.27	20.9	6.85	20.9

### 2.3 围隔试验

为了解伊乐藻种植区对于围栏养鱼、理化状况及其他生物等的影响,用双面喷塑的蛇皮编织布在湖区围隔成面积 25×10m<sup>2</sup> 两个区<sup>①</sup>:伊乐藻种植区(以下称种植区)和无水草区。

<sup>①</sup> 图参见本专集第 80 页(图 1)。

在这两个区各用网片围出  $5 \times 10 \text{m}^2$  的草鱼养鱼围栏(以下分别称草区养鱼栏和无草区养鱼栏),各养草鱼 30 尾,测定草鱼对伊乐藻的饲料系数(表 3)。在围隔外的湖区设一对照点(以下称湖区)。蛇皮布上缘用泡沫塑料浮起,高出水面 20cm,可随水位一起涨落;下缘悬石笼将蛇皮布踩入泥面下 20cm,成为半隔离围隔区。养鱼栏网上缘高出水面 50cm,下缘也用石笼踩入泥面下,与所在的种植区和无水草区仅有一层网片隔开,水可以相通。种植区于 1992 年 12 月下旬种植伊乐藻,无水草区作为对照,均设在有水草的东太湖湖湾。1993 年 4 月 17 日进行本底调查,4 月 22 日养鱼栏放养草鱼,投喂伊乐藻,每隔半月左右定点在几个区进行采样。在种植区和无水草区的一些操作尽可能同步。本底调查时种植区的伊乐藻生长连片并接近水面。水位变动较大,4 月 17 日水深 1m,7 月 17 日达 1.79m。

### 2.3.1 理化状况(4 月 22 日—7 月 21 日其间)

**水温:**围隔内与湖区基本一致。但种植区水草密度大,天晴无风午后表层水温比无水草区略高,表层 0.1m 深的水温比底部高出  $0.6-1.0^\circ\text{C}$ ,而无水草区只高出  $0.2-0.4^\circ\text{C}$ 。

**透明度:**试验期间种植区和湖区均清澈见底。无水草区 4—6 月间一般也清澈见底,大风后暂时混浊,透明度 60—90cm。6 月 28 日起水深达 1.40—1.79m,透明度 1.28—1.55m。两养鱼栏由于鱼的活动,一直比较混浊,6 月底以前在 50—80cm。涨水以后在 1.2m 左右。

**pH 值:**种植区变动在 8.54—9.48,平均 9.04;无水草区在 7.76—8.31,平均 7.98;草区和无水草区养鱼栏分别在 7.42—9.15 和 7.54—8.34,平均分别是 7.67 和 7.87。湖区 7.05—9.88,平均 9.91,与种植区接近。种植区和湖区大量水草和藻类白天进行强烈光合作用,消耗大量二氧化碳,使水中的  $\text{HCO}_3^-$  分解,pH 值比其他区高。

**溶解氧:**种植区变动在 4.81—10.04mg/L,平均 6.96mg/L;无水草区 3.97—8.00mg/L,平均 6.00mg/L;草区和无水草区养鱼栏分别为 1.68—5.58mg/L 和 3.93—7.91mg/L,平均分别为 3.47 和 5.93mg/L。湖区 5.76—12.12mg/L,平均 7.88mg/L。种植区和湖区白天大量植物光合作用,溶氧丰富,但昼夜变化显著。草区养鱼栏由于夜间植物呼吸作用可导致严重缺氧。

**化学耗氧量:**种植区变幅在 5.41—6.17mg/L,平均 5.78mg/L;无水草区 5.06—6.48mg/L,平均 5.75mg/L;草区和无水草区养鱼栏分别是 4.79—5.75mg/L 和 5.20—7.38mg/L,平均分别是 5.35 和 6.13mg/L;湖区为 4.50—6.50mg/L,平均 5.39mg/L。本底调查时,种植区和无水草区的化学耗氧量都是 4.11mg/L,湖区是 4.74mg/L,随着时间的增多有逐渐增长的趋势。

**氮化合物:**测定了氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和总氮。这里将总氮作一介绍。种植区总氮变动在 0.71(0.60—0.82)mg/L;无水草区 0.83(0.54—1.22)mg/L;草区和无水草区养鱼栏分别是 0.77(0.56—1.11)mg/L 和 0.92(0.61—1.28)mg/L;湖区为 0.65(0.36—0.86)mg/L,在围隔内是种植区最低,无水草区次之,无水草区养鱼栏最高。

**磷化合物:**磷酸盐含量较低,种植区变动在 0.016(0.005—0.026)mg/L;无水草区为 0.014(0.004—0.020)mg/L。

**总磷:**在种植区为 0.053(0.017—0.084)mg/L;无水草区为 0.055(0.012—0.101)mg/L;草区和无水草区养鱼栏分别是 0.050(0.016—0.079)和 0.060(0.010—0.113)mg/L;湖区为 0.046(0.010—0.099)mg/L。与总氮相似,总磷在围隔内也是种植区和草区养鱼栏较低。

综上所述,种植区与之对照的无水草区相比较,在理化性质方面有不同,表现出水草在水环境中的重要作用。

### 2.3.2 水草动态

1992年冬围隔设置好以后,清除其中的杂草和鱼类。

(1) 种植区:冬天在 $20 \times 10\text{m}^2$ 的范围内种植伊乐藻,种植量平均 $250\text{g}/\text{m}^2$ 。1993年6月18日取样方 $6.6\text{m}^2$ ,计生物量 $6990.2\text{g}/\text{m}^2$ ,其中伊乐藻 $5750\text{g}/\text{m}^2$ 、菱 $1210\text{g}/\text{m}^2$ 、水鳖 $24.2\text{g}/\text{m}^2$ 、金鱼藻 $1.81\text{g}/\text{m}^2$ 、荇 $3.6\text{g}/\text{m}^2$ 、芡实 $0.3\text{g}/\text{m}^2$ 、荇菜 $0.3\text{g}/\text{m}^2$ 。伊乐藻的密度较高。取生物量样方处又补栽入伊乐藻。

6月,伊乐藻端部长到水面,达到最大生物量。

4月22日养鱼栏投喂伊乐藻养鱼,一个月以后,由于养鱼区“肥水”作用,在草区养鱼栏离栏网2m宽的范围内,水草密度更高,除伊乐藻外,要数水鳖最茂盛,使栏内草鱼严重缺氧浮头,不得不沿栏网 $2 \times 10\text{m}^2$ 的范围内拔除水鳖,生物量达到 $775\text{g}/\text{m}^2$ ,在种植区其他区域( $18 \times 10\text{m}^2$ )水鳖的生物量是 $94\text{g}/\text{m}^2$ 。

7月水温渐高,中旬,表层水温在中午可达 $30^\circ\text{C}$ 以上,伊乐藻端部有灼伤,呈浅红色。7月15日至18日暴雨,水位逐渐上涨,下旬,部分伊乐藻上浮;8月上旬大部上浮;9月,逐渐萎缩、消沉;其他植物增多。1994年6月7日采样未见有伊乐藻,其他水草有菱 $907.4\text{g}/\text{m}^2$ 、荇菜 $1417.6\text{g}/\text{m}^2$ 、荇 $830.2\text{g}/\text{m}^2$ 、水鳖 $7.7\text{g}/\text{m}^2$ 、金鱼藻 $308.6\text{g}/\text{m}^2$ 、黑藻 $15.4\text{g}/\text{m}^2$ ,种类与湖区的一致。

(2) 无水草区:这是与种植区相对而言的。试验开始前曾数次拔除水草。但在5月25日又拔出苦草 $20.5\text{kg}$ 、菱 $16.5\text{kg}$ 、金鱼藻 $4.5\text{kg}$ 、荇 $28\text{kg}$ 、伊乐藻 $5.6\text{kg}$ 、菹草 $20\text{g}$ 、黑藻 $35\text{g}$ 、荇菜 $20\text{g}$ ,折合生物量 $377.5\text{g}/\text{m}^2$ 。6月2日拔出全部苦草 $32.15\text{kg}$ 、荇 $2.45\text{kg}$ 、菱 $10\text{g}$ 、金鱼藻 $53\text{g}$ ,折合生物量 $173\text{g}/\text{m}^2$ 。显然与种植区相比生物量低得多。经两次除草,当年水草生长季节已基本无水草生长。至1994年6月7日测定,计有菹草 $567.9\text{g}/\text{m}^2$ 、金鱼藻 $61.7\text{g}/\text{m}^2$ 、荇 $30.9\text{g}/\text{m}^2$ 、菱 $15.4\text{g}/\text{m}^2$ 、芡实 $15.4\text{g}/\text{m}^2$ 。种类恢复与湖区的基本一致,生物量仍比种植区的低。

(3) 养鱼栏:养鱼期间除可数的几株菱外,没有任何水草。10月22日鱼全部捕出后水草渐恢复。1994年6月7日拔出全部水草测定生物量,其中有草区养鱼栏迹地有菱 $275.8\text{g}/\text{m}^2$ 、荇 $21.8\text{g}/\text{m}^2$ 、菹草 $265.8\text{g}/\text{m}^2$ 、水鳖 $4\text{g}/\text{m}^2$ 、金鱼藻 $0.4\text{g}/\text{m}^2$ ;无草区养鱼栏迹地有菱 $864.2\text{g}/\text{m}^2$ 、菹草 $466.1\text{g}/\text{m}^2$ 、苦草 $15.4\text{g}/\text{m}^2$ 、金鱼藻 $3.1\text{g}/\text{m}^2$ 。种类与湖区的一致。

(4) 湖区:5月23日取样方 $4\text{m}^2$ ,有荇 $4735\text{g}$ 、菱 $3450\text{g}$ 、金鱼藻 $320\text{g}$ 、伊乐藻 $120\text{g}$ 、苦草 $35\text{g}$ 、菹草 $40\text{g}$ ,折合生物量 $2172.5\text{g}/\text{m}^2$ 。

从水草动态分析,首先,有草养鱼栏沿栏网水草特别茂盛,直观地表明养鱼区的“肥水”对水草的影响;第二,伊乐藻如不合理收割,生长点易受夏季高温灼伤,生命力降低,整片植物群随水位猛涨而上浮,上浮的植物体如不能适时着泥,则全部死亡腐烂,最后造成伊乐藻种植区无伊乐藻;第三,种植区如不加入人为干预任其发展,植物种类会恢复到与湖区的一致,无水草区和养鱼栏迹地等亦然。

### 2.3.3 浮游植物动态

种植区、无水草区和湖区共有浮游藻类7门49属,其中绿藻门22属、硅藻门11属、蓝

藻门 10 属,其余门只 1—2 属。

种植区有藻类 40 属,数量和生物量平均为  $4612.187 \times 10^4$  个/L 和  $7.1776 \text{mg/L}$ ;无草区有 39 属,数量和生物量平均为  $6070.853 \times 10^4$  个/L 和  $8.3108 \text{mg/L}$ ;湖区则分别为 30 属、 $581.544 \times 10^4$  个/L 和  $4.5362 \text{mg/L}$ 。

由于养鱼栏的影响,种植区和无水草区的富营养型种类(主要是蓝藻门中的色球藻、微胞藻、颤藻、空球藻等)的出现频率和数量均高于湖区。随时间的增加,围隔内的藻类数量和生物量呈现上升趋势,但种植区对藻类生长有明显的抑制作用,湖区则变动最小。

#### 2.3.4 浮游动物动态

种植区(不包括原生动物)有 92 种,数量和生物量分别为  $4752 \text{ind./L}$  和  $4.868 \text{mg/L}$ 。由于水草密度高,对养鱼栏的“肥水”有阻拦、吸附和吸收作用,浮游动物群落结构较无水草区稳定,多样化优于无水草区,变化规律接近湖区。

无水草区有 60 种,数量和生物量平均分别为  $6749 \text{ind./L}$  和  $3.9407 \text{mg/L}$ 。由于小型原生动物和轮虫数量较多,所以数量较种植区的高而生物量较种植区的低。

湖区有 72 种,数量  $1814 \text{ind./L}$ ,生物量  $1.1166 \text{mg/L}$ 。

#### 2.3.5 底栖动物动态

共采得 21 种,其中环节动物 5 种、软体动物 7 种、节肢动物 9 种。

种植区有 19 种,无水草区 14 种,草区和无草区养鱼栏分别是 13 种和 12 种,湖区 12 种。平均密度和生物量以无草区养鱼栏最高,为  $269 \text{ind./m}^2$  和  $70.769 \text{mg/m}^2$ ;草区养鱼栏最低,分别为  $182 \text{ind./m}^2$  和  $10.909 \text{mg/m}^2$ ;种植区和无水草区分别为  $217 \text{ind./m}^2$ 、 $36.070 \text{mg/m}^2$  和  $217 \text{ind./m}^2$ 、 $14.206 \text{mg/m}^2$ ,种植区的生物量高于无水草区。

动物类别中,环节动物以无草区养鱼栏最高,为  $113 \text{ind./m}^2$  和  $2.390 \text{mg/m}^2$ ;种植区最低,为  $59 \text{ind./m}^2$  和  $0.575 \text{mg/m}^2$ ;软体动物也是无草区养鱼栏最高,为  $104 \text{ind./m}^2$  和  $68.209 \text{mg/m}^2$ ,数量和生物量最低分别是无水草区 ( $29 \text{ind./m}^2$ ) 和草区养鱼栏 ( $9.773 \text{mg/m}^2$ );节肢动物以无水草区最多,为  $115 \text{ind./m}^2$  和  $0.688 \text{mg/m}^2$ ,无草区养鱼栏最低,分别为  $52 \text{ind./m}^2$  和  $0.170 \text{mg/m}^2$ 。

#### 2.3.6 其他水生动物动态

按常规,湖泊沉水植物生长区域,鱼类、虾、蟹、螺、蚌等的数量和种类会比无沉水植物生长的区域多。由于围隔区隔离布阻挡,外面的鱼类等很难进入,加之围隔区水草茂密,范围较大,数量难以统计,现就在池塘和水泥池种植伊乐藻后统计的虾、螺数量记述如下,有一定参考价值。

池塘  $576 \text{m}^2$ ,1993 年 3 月干塘,注入太湖水,种植少量伊乐藻,12 月 16 日又栽植  $30 \text{kg}$  植枝,1994 年 4 月 16 日伊乐藻生物量  $1875 \text{g/m}^2$ ,干池捕获虾  $3200 \text{g}$ ,鲤、鲫鱼 8 尾,  $6.2 \text{kg}$ ,  $6 \text{cm}$  左右小鲤鱼  $4 \text{kg}$ (估)。

水泥池两只,面积各  $30 \text{m}^2$ ,底部铺泥  $10 \text{cm}$  厚,水深保持  $70 \text{cm}$ ,种植伊乐藻。1993 年 11 月 21 日干池曝晒 3 天至底泥干涸,注入太湖水,12 月种植伊乐藻,一直保持生物量  $2000—3000 \text{g/m}^2$ 。1995 年 6 月 25 日生物量  $2832 \text{g/m}^2$ ,全池计数螺类,计椭圆萝卜螺  $4824$  只,重  $402 \text{g}$ ,环棱螺  $561$  只,重  $102 \text{g}$ ,扁卷螺  $41$  只,重  $1.5 \text{g}$ ;另有青虾  $243 \text{g}$ 。

另一只水泥池 1994 年 5 月种植伊乐藻,一直未曾收割,任其自然老化。1995 年 6 月上

浮衰败,数量渐少,8月26日计数螺类,有环棱螺9382只,重1704g,椭圆萝卜螺912只,重76g。

椭圆萝卜螺主要栖息在植物体上,环棱螺主要栖息在池壁上。伊乐藻旺盛生长期,萝卜螺多于环棱螺;反之则是环棱螺多。出现这种现象可能是椭圆萝卜螺忍耐低溶氧能力较环棱螺强之故。

### 3 伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统设计

#### 3.1 草鱼产量7500kg/hm<sup>2</sup>伊乐藻饲料模式

##### 3.1.1 鱼种规格和成鱼产量

草鱼种2505kg/hm<sup>2</sup>,500g/尾;毛产量7500kg/hm<sup>2</sup>,净增重2倍,净产量5010kg/hm<sup>2</sup>,商品鱼规格1.5kg/尾,完全用伊乐藻喂养。

搭配鱼种232.5kg/hm<sup>2</sup>,其中鳊300尾,150g/尾,鲤450尾,150g/尾,鳊(或其他鲫)2400尾,50g/尾;商品鱼规格、鳊、鲤500g/尾,鲫150g/尾。净产量465kg/hm<sup>2</sup>。不投饲料。

##### 3.1.2 伊乐藻产量

大面积种植区生物量6kg/m<sup>2</sup>,取中位有序刈割至少增加产量50%,生产量达到9kg/m<sup>2</sup>,折合产量90t/hm<sup>2</sup>。

##### 3.1.3 草鱼摄食伊乐藻的饲料系数

网箱小型试验,饲料系数平均为45.6;放大试验(种植区和无水草区两处平均)为64,取64。草鱼净产量5010kg/hm<sup>2</sup>,消耗伊乐藻量5010kg×64=320.6t,需种植伊乐藻320.6t÷90(t/hm<sup>2</sup>)=3.56hm<sup>2</sup>,取4hm<sup>2</sup>。

##### 3.1.4 氮、磷投入与产出

草鱼实测氮含量2.78%,磷含量0.64%;其他鱼的氮含量2.78%、磷含量0.55%<sup>[2]</sup>。

伊乐藻氮含量0.38%,磷含量0.049%。

投入:伊乐藻氮量=320.6t×0.38%=1218.28kg,磷量=320.6t×0.049%=157.09kg。

产出:草鱼氮量=5010kg×2.78%=139.28kg,磷量=5010kg×0.64%=32.06kg。

搭配鱼氮量465kg×2.78%=12.93kg,磷量=465kg×0.55%=2.56kg。

$$\text{氮(磷)产投比(\%)} = \frac{\text{净产鱼氮(磷)量}}{\text{消耗饲料氮(磷)量}}$$

代入上式得氮产投比为12.49%,磷产投比为22.04%。

伊乐藻取自湖中,是湖泊内源饲料,不会给“人工复合生态系统”带来污染,反而每年以每公顷捕出的净产鱼中离开湖泊系统152.2kg氮和34.6kg磷。

#### 3.2 草鱼产量7500kg/hm<sup>2</sup>伊乐藻+商品饲料模式

“伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统建设”需要从伊乐藻种植到每天收割一定数量喂鱼等一系列细致有序的工作流程,如果在达到相当生产规模而未实现机械化之前,劳动强度比较大。养鱼的周期长,不可避免地会遇到括大风、下暴雨等恶劣天气,这时在湖面操作困难会更大。因此,以喂伊乐藻青饲料为主,搭配一定比例商品饲料,有助于克服这方面的困难。此外,搭配一定量的商品饲料,有利于稳定和提高养鱼产量。

投喂外源性商品饲料的氮量不能超过捕出养殖鱼总量中净鱼产量的含氮量,即不包括放养鱼种的氮量。草鱼的氮含量 2.78%,每生产 1kg 草鱼等于产出 0.0278kg 氮,在氮素平衡的条件下,外源性商品饲料的氮最多只能等于 0.0278kg。从网围养鱼总体水平上看,商品饵料 N 素转化率为 20%,水草饵料氮素转化率 10%<sup>[2]</sup>。所以 0.0278kg 氮乘以商品饲料氮素转化率 20%,即有 0.00556kg 的氮转化为鱼体的氮,这些氮仅相当于 0.2kg 的草鱼。就是说每生产 1kg 鱼,用外源性商品饲料仅能生产 0.2kg 鱼,余 0.8kg 鱼需用伊乐藻饲料。

伊乐藻氮含量为 0.38%,氮素转化率 10%,0.8kg 草鱼的伊乐藻用量为 X,则下列等式成立:

$$X \times 0.38\% \times 10\% = 0.8 \times 0.0278$$

$$X = 58.53(\text{kg})$$

常用商品饲料菜饼的氮含量 5.82%,小麦 1.93%,麸皮 2.30%,米糠 1.85%,混合粉 3.52%,颗粒饲料 3.52%。生产 0.2kg 草鱼的商品饲料用量用下式计算:

$$\text{商品饲料用量}(\text{kg}) \leq \frac{0.2 \times \text{每公斤草鱼氮含量}}{\text{商品饲料氮转化率} \times \text{商品饲料氮含量}}$$

1kg 草鱼氮含量为 0.0278kg,商品饵料氮转化率平均为 20%。再将上述商品饲料的氮含量分别代入上式,则饲喂 0.2kg 草鱼需用菜饼 0.48kg,小麦 1.44kg,麸皮 1.21kg,米糠 1.50kg,混合粉 0.79kg,颗粒饲料 0.79kg……。

由于投入的外源性商品饲料的氮量控制在相当于以后被捕出的草鱼的氮量,鱼被捕捞离开“复合生态系统”,投喂的伊乐藻是系统内的内源物质,最终没有多余的外源氮量留在“系统”内,实现投入和产出的氮平衡。

除了投饲料养殖草鱼外,搭配的养殖鱼属不投饲料的,这部分鱼的净增长量通过捕捞携出的氮量是属于“系统”之外湖泊生态系统的氮量。

以上是生产 1kg 草鱼的氮、磷平衡状况,生产中可依草鱼的净生产量进行换算,其他草食性鱼类饲养也同此法。

### 3.3 伊乐藻的投喂量和递增量

每天伊乐藻投喂量受到鱼体大小、健康状况、水温、气候条件、溶氧状况等的影响。试验表明,放养鱼种规格 500g 左右,4 月 22 日起始时每日净耗伊乐藻大约是体重的 8%—10%,以后大约每半月递增 70%;至 7 月,草鱼对伊乐藻的摄食量接近鱼的体重。对于有经验的渔民来说,只要掌握了当日鱼的吃食情况,就不难掌握次日饲料的用量。鱼类摄食受气候影响很大,保持养鱼水体足够的溶氧,可以提高鱼类对饲料的利用率,降低饲料系数。

### 3.4 围栏养鱼区的布设

前面已经提到围栏养鱼区不宜设置在伊乐藻种植区,而宜设置在沉水植物较少或没有植物的敞水湖区,至少要 and 种植区隔开一定距离。这样可避免由于沉水植物过密影响养鱼围栏内外水体交换,也可避免大量植物夜间呼吸作用造成养鱼水体的低溶氧环境。

### 3.5 伊乐藻种植区布设

伊乐藻种植区是不少经济水生动物和其他水生动物的栖息和繁殖场所,布设好种植区,增殖这些水生动物,能大幅度提高“人工复合生态系统”的经济效益,其中关键问题仍是要解决种植区的溶氧问题。

伊乐藻种得过密,晚间会出现溶氧过低,种得过稀会降低伊乐藻产量。为此,布设种植区时,面积宜大不宜小,这样可招引更多的水生动物栖息其间,肥育和繁衍后代,提高经济水生动物的产量;设施可以简化,无需坚固的防逃设施,只要在下层用网片(或旧网片拼接)和竹竿等布设的简易围栏即可,上层可保持种植区和湖区水流畅通;通过有序的中位收割法,使种植区内的伊乐藻呈高低错落疏密相间分布,有利水气、水体交换,改善溶氧状况。

曾在 1992 年三号网区的种植区内放养鳊和加州鲈的试验,效果并不好,反而要增设防逃设施,大大提高了种植区布设的成本。

除了要注意种植区的经济效益外,还要注意种植区的环境效益,通过种植能改善湖泊的水草种类,提高水草资源的利用价值。所以要布设在原有沉水植物衰退或无水草的湖区。在藻型湖泊要选择在水较浅的沿岸带,提高伊乐藻的成活率。

### 3.6 投入和产出概算

根据 1995 年苏州东太湖地区的水产品收购价格,鱼种、饲料和渔需物资的卖出价,以及本所在东太湖养鱼的劳动力价格和中试结果等,对“人工复合生态系统建设”进行投入产出概算(表 5)。概算的对象是用伊乐藻作饲料和用伊乐藻+商品饲料作饲料,草鱼产量 7500kg/hm<sup>2</sup> 模式。

表 5 投入与产出概算<sup>1),2)</sup>

Tab. 5 A budget estimate of the revenue and expenditure

项 目	面积 (hm <sup>2</sup> )	产 出						投 入									
		草鱼	鳊	鲤	鲫	青虾	其他 鱼	小计 (元)	草鱼 种	鳊种	鲤种	鲫种	设施 (元)	饲料	人工 (元)	其他 (元)	小计 (元)
伊乐藻 饲料	1	7500 57000	150 570	202 1296	360 3240			62160	2505 17034	45 162	68 270	120 1080	5000		14400	1000	38946
伊乐藻+ 商品饲料	1	9000 61200	150 1570	202 1296	360 3240			66306	2505 17034	45 162	68 270	120 1080	5000	2825 5202	14400	1000	44148
种植区	4					240 9600	2250 13500	23100					2500				2500
伊乐藻饲料 盈余(元)	1							85260									41446
伊乐藻+ 商品饲料 盈余(元)	1							89406									56648

1) 价格依 1995 年苏州东太湖地区;设施费按三年折旧;商品饲料依颗粒饲料、劳动力工资依半日制计算;种植区产出依伊乐藻种植池测定结果计算。

2) 单位除标定外,分数项分子为 kg,分母为元。

结果表明,“复合生态系统”用伊乐藻作饲料,不用或少用商品饲料,成本比较低。但是它又是劳动集约型的人工复合系统,较传统的养鱼需要较多的劳力和附加的设施,所以又提高了成本。曾测算,如果生产规模(围栏)一亩,有时会出现亏损。因此,适当的规模生产,劳动力和设施的成本相对降低,比较效益可以提高。在劳力富裕地区的渔民和农民间推广效益会更好。

“人工复合生态系统”是一个综合性的工程,不只要重视围养区的生产,提高效益,也要重视种植区的生产,提高效益。

## 4 小结

(1) 本研究充分利用伊乐藻的生物学、生态学特性,以及容易种植、生物量大和可利用程度高的特点,在浅水湖泊设计和建设的“伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统”。即以种植伊乐藻为中心,并以它作为草食性鱼类饲料和在水界物质循环的中介,在湖泊大系统内建立的草—鱼平衡系统,使湖泊养鱼在良性循环的状态下运作是其主要目的。

(2) 进行了伊乐藻的生物学、生态学特性研究和大面积种植试验;测定了伊乐藻的生物量和生产量及草鱼对伊乐藻的消化吸收和饲料系数,包括放大试验;在湖区进行了伊乐藻种植区和养鱼区的围隔试验,并以无水草区和养鱼区围隔作对照,了解伊乐藻种植区对围栏养鱼的影响及种植区内的理化性质和水生动、植物的动态等。在此基础上设计了伊乐藻种植—草鱼圈养的平衡系统。

(3) “伊乐藻—草鱼圈养人工复合生态系统”一改传统的湖区养鱼方式,种草养鱼,自成系统,适应于草型、藻型和草—藻混合型等不同类型的淡水湖泊。是一种不用或少用商品饲料,节粮低成本,既注重经济效益,又注重环境效益和生态效益的湖区养鱼新方法。

## 参 考 文 献

- 1 屠清瑛, 冯 宏·黄文钰. 我国主要湖泊富营养化的成因分析. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第 9 号. 北京: 科学出版社, 1992. 1—17
- 2 王友亮, 卞田福, 胡万源, 陆全平. 长荡湖网围养鱼有效利用面的研究. 河海大学学报, 1990, 18: 175—183
- 3 李文朝. 东太湖沉水植被的演替动态及生态对策. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第 9 号. 北京: 科学出版社, 1992. 83—93
- 4 杨清心. 伊乐藻的利用价值. 水产养殖, 1988, (3): 22—23
- 5 杨清心, 李文朝. 伊乐藻在东太湖的引种. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第 6 号. 北京: 科学出版社, 1989. 84—93



## STUDY ON ESTABLISHING AN ARTIFICIAL COMPOUND ECOSYSTEM OF *ELODEA*-GRASS CARP PEN FARMING

Zhu Songquan Liu Zhengwen

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

### Abstract

During the passed decade, in shallow lakes of the middle and down stream basin of the Yangtze River, especially in urban lakes, there has been an explosive development of pen fish farming, and a rapid increase in fish yield and economic benefit. However, due to the input of artificial food, over-exploitation of aquatic higher plants and increase in population, submerged vegetation have decreased and even disappeared, the process of eutrophication has been quickened and the total function of lakes has been weakened.

*Elodea Nuttallii* was introduced into the East Taihu Lake from abroad in 1986, and soon became established. It has been used as food of cultivated herbivorous fishes by the local fishermen. Based on the biological and ecological property of *Elodea*, in this project we studied:

- (1) the planting method, cutting time and mode of *Elodea* in shallow lakes in order to increase the yield per unit area;
- (2) the digestibility and food conversion efficiency of *Elodea* by grass carp so as to determine the ratio of fish yield to *Elodea* planting area;
- (3) the role of *Elodea* in the ecosystem.

Finally, we designed and established an artificial compound ecosystem of *Elodea*-grass carp pen farming, i. e. , on the basis of planting *Elodea* which is used for grass carp culture and functions as nutrient cycling medium, the grass-fish balance system is established within large lake ecosystems, which should lead to a better development of lakes.

**Key Words** Artificial compound ecosystem, *Elodea*-grass carp pen farming