

doi: 10.7541/2020.110

襟江带湖 碧水丹心

——纪念中国科学院水生生物研究所成立90周年

殷 战

(中国科学院水生生物研究所)

我们生存的星球, 广袤的水面覆盖着70%以上的地表。水孕育了生命, 也是人类赖以生存的必需条件之一。成立于90年前的南京, 最终扎根于千湖之省、东湖之滨的中国科学院水生生物研究所(以下简称水生所), 是我国、乃至世界认识水中生命奥秘、探究人类发展与水生态系统和谐共处的一支重要科研机构。世事沧桑, 社会经济发展经历了巨大变化, 经历90年历程的水生所人, 始终在为合理利用水中生物资源, 维护人类赖以生存的淡水生态系统的健康和安, 不断探索、砥砺前行。

一、初创水生生物研究

1911年辛亥革命推翻了两千多年的封建帝制, 思想的解放, 使现代生物学开始在中国逐渐扎根生长。1922年8月, 动物学家秉志和植物学家胡先骕等人在南京创建了我国第一个生物研究机构——中国科学社生物研究所。随后, 中国学术界关于创办国家最高学术机构的呼声也日益高涨, 1927年4月, 国民政府建都南京, 5月政府便决议设立中央研究院(以下简称中研院)筹备处, 1928年6月中央研究院正式在上海成立。随着中研院派遣的科学调查团工作, 以及自国外购回的标本增多, 中研院开始酝酿成立自然历史博物馆。1930年1月, 自然历史博物馆成立, 农学家钱天鹤为馆长, 李四光、秉志、钱崇澍、李济、王家楫为顾问。博物馆主要工作为陈列从全国各地报送来的动、植物标本, 同时开展动、植物分类工作。馆址设在南京市成贤街46号, 博物馆内分设动物、植物二组, 植物部分负责人秦仁昌、动物部分负责人为伍献文、方炳文。博物馆成立之后, 曾派员至广西、贵州、云南、江西、安徽、福建及渤海、黄海、南海等地开展生物调查。也曾参与科学社生物所等发起的“海南生物采集团”的工作。1934年7月, 自然历史博物馆被改组为中央研究院动植物研究所(以下简称动植物所), 聘在科学社生物所工作的原生动物学家王家楫前来担任动植物所所长。1937年7月因日本侵华, 动植物所开始迁往内地, 辗转衡阳、阳朔, 于1938年底抵达重庆北碚。动植物所在1944年3月, 分拆成为动物研究所和植物研究所, 分别由王家楫、罗宗洛任所长。抗战胜利后, 1945年9月, 动物所、植物所搬回上海岳阳路320号, 直到全国解放。

研究人员在当时的阶段, 主要工作是开展资源调查, 以维护祖国主权。期间, 相关的水生生物资源的调查工作, 是较为侧重的领域。如王家楫、倪达书等开展的对南京、南海等地的各类原生动物的调查和鉴定工作, 其中在对纤毛虫、甲藻等的分类学工作和新种的描述工作较为突出。伍献文、方炳文等鱼类学家则对渤海、南海、漓江等鱼类生态、形态学和水产渔业资源等进行了较多的调查。饶钦止等针对各地的藻类资源分布, 新藻种类的鉴定与记录等, 开展了大量的工作, 涉及绿藻、褐藻、红藻等多个门类的藻类分类研究。后续随着抗战爆发的西迁, 研究人员进行大规模资源调查, 尤其是海洋生物的调查工作不得不停止, 但一些小范围的野外工作还在继续, 例如西迁途中开展的对湖南、岭南地区的水生生物调查, 以及到四川之后对长江上游、嘉陵江流域的水生生物, 包括鱼类、甲壳类、蛙类、原生动物、藻类的资源调查研究。尤其难能可贵的是, 战时工作出行困难, 小区域调查、驻点甚至室内的工作随之开展, 促生了针对水生生物研究的新特点, 例如, 针对动物寄生虫、着生藻等方面开展了研究, 为后来的鱼病学研究铺垫了一定的基础。这期间, 突出的工作是来自一批对包括鱼类在内的动物生理和繁殖方面的研究, 包括对四川省食用鱼天然食料调查、嘉陵江鲤鱼产卵场水质分析、鲤鱼孵化率研究、饲料鱼类的增产、经济鱼苗阶段的鉴别, 甚至还开展了鲫和鲤的杂交研究。其中, 最突出的体现在刘建康针对黄鳝表皮呼吸和性别逆转的观察研究,

其有关硫酸钠因子诱导斗鱼泌氯细胞的发育研究工作发表在1944年的《自然》杂志。这些工作开创了鱼类性别发育与调控、鱼类渗透压调控研究的新领域,其机制在70多年后依然未得到清晰地解析。该阶段刘建康、黎尚豪、倪达书、尹文英等相对年轻的学者已展现出开展水生生物研究的优秀潜质。在抗战胜利后,研究所搬回上海,在继续开展各类水生生物的调查和沿海各省渔业调查研究的同时,继续着鱼类分类、形态、生理学等方面的研究工作。

从自然历史博物馆到动物所、植物所,作为国立研究所,生物资源调查研究关乎国计民生,受到政府重视,经费较有保障,使研究所具有较好的稳定环境和吸引力,尤其在抗战前较好地体现了研究所章程所规定的“以实行动物植物学上之各项学理及应用问题,促全国动物学植物学之进步为任务”。抗战期间,研究人员在尽力开展调查工作之时,也注重应用研究,结合水产动物资源等开展了鱼类生理学等研究,到访的英国近代生物化学家、科学技术史专家李约瑟(Joseph Terence Montgomery Needham)“深觉其具有世界上最优良的试验室之研究空气”。当然,在抗战期间,受战时困难影响,研究所已面对来自政府“扩充纯理研究之外,加强国防建设以及复员准备之工作,且研究结果决不可仅止于发表,必须推及于实用以取得研究与行政上之联系”的要求,因此,一些研究工作已开始侧重于向水产、种植等具应用潜力方向的探索研究。但总体而言,当时受早期教育及经费所限,该阶段的研究仍以分类学和资源调查工作为主,后期才开始注重在动物生理学、实验胚胎学等方面开展工作。

二、引领淡水生物资源高效利用

1949年11月中国科学院成立后便开始整合调整下属研究单元。决定以原中央研究院动物所的主体,接受北平研究院动物研究所部分人员,和原中研院植物研究所的从事藻类研究的科研人员,研究对象扩大至动植物,并以水生生物为主,研究所更名为水生所,所址上海。1950年5月19日,由王家楫、伍献文分别任水生所所长、副所长。1950年6月20日,在中国科学院第一次扩大院务会议上,竺可桢副院长宣布首批15个研究机构成立。水生所的研究方向为有关水生生物的基本学理,以配合水生动植物生产的需要。其主要任务包括水生生物资源调查,水生生物与环境的关系,养殖与育种实验。水生所下设太湖淡水生物研究室(以下简称太湖室),室址江苏无锡蠡园,主任为伍献文;青岛海洋生物研究室,室址山东青岛,主任为童第周。1951年2月,增设厦门海洋生物研究室,主任沈嘉瑞,后部分归入太湖室。1952年农业部水产总局根据我国渔业和水产养殖业发展状况,与中国科学院会商,建议水生所从上海迁至千湖之省的湖北省省会武汉。1952年,中国科学院第42次院长会议同意水生所及太湖室迁武汉。1954年1月,青岛海洋生物研究室独立,更名为中国科学院海洋生物研究室(现中国科学院海洋研究所)。1954年9月,水生所及太湖室迁往湖北武汉。此番人员调整和更名,在一定程度上对水生所后续70年的研究方向,产生了深远影响,使原创立时自然历史博物馆涵盖动植物研究的方向,调整至仅针对水生生物的研究。但当时新组建的水生所的确体现出原中研院动植物所较为集中而突出的针对水体原生动物、鱼类、藻类等研究的主要研究力量,并且还整合了来自其他机构的人员,这其中包括针对从事实验胚胎学、藻类、鱼类和甲壳类相关方向的杰出人员童第周、曾呈奎、张玺、沈嘉瑞、成庆泰、齐忠彦、刘瑞玉等,尤其是中国近代生物学的推进者,中国动物学主要奠基人的秉志。一时间秉志、王家楫、伍献文、童第周等4位曾在1948年当选中研院院士的专家,聚首在水生所,使当时的水生所无疑成为我国水生生物学研究的翘楚。随着水生所搬迁至内地,海洋生物和内陆水体生物研究机构的分置,使当年为时3年多的壮观阵容难以再现。但作为当年中研院期间动植物所的主要专任研究员王家楫、伍献文、饶钦止为主体的研究力量来到了武汉。由于定位于水生生物,原中研院期间的陈世骧、邓叔群分别调入中科院实验生物所和沈阳农学院。朱树屏1951年调任农业部水产实验所(即今黄海水产研究所)任所长,秉志于1955年调入中科院动物所任职。

建国伊始,百废待兴。新政府的科学工作一改此前偏重基础的研究取向,转而强调生产中的实际应用。1950年6月14日,中央人民政府政务院文化教育委员会郭沫若主任颁布了《关于中国科学院基本任务的指示》。这份指示明确强调学术研究与实际需要的密切配合,要求科学能真正服务于国家的工业、农业、国防建设、保健和人民的文化生活。按照科学院要求,于1950年8月水生所太湖室正式成立,其工作具体为:“进行鱼类及其他生物研究,并与食品工业部门配合”。更为具体地提出太湖室的工作内容:“工作范围将大为扩充,诸如湖水的物理性与化学性,湖底沉淀物之性质,与滋养物料释放的性能,硅藻及其他高等

藻类、原生动物、水生昆虫,及其他浮游生物的种类及季节变化,鱼类及其他食用动物之生态,水生植物之分布等问题,均在研究之列。一待太湖的水质和生物环境相当了解之后,当进而研究太湖生产力改进的方法,如施肥、沉淀物之适当处理,以及幼鱼的繁殖与保护等问题。”还包括“淡水鱼的养殖试验,亦为太湖室主要工作之一,其中包括养鱼的生殖力研究与人工繁殖试验”。当时选定的主要工作开展地为太湖北部的一个湖湾——五里湖。结合国家在第一个五年计划中确定的湖泊放养作为淡水养殖的主要措施之一的战略,太湖淡水生物实验室便将五里湖的全面调查作为工作重点,由太湖室主任伍献文领导相关团队开展了包括各类水生生物种群数量及分布、水体理化指标、水文、气候、湖底沉积物、鱼类繁育特征等全面调查分析的周年调查工作,该次调查还邀请来自中科院地理所(筹备处)专家负责水体地图测绘,在此次较大体量水体的规模性调查组织中,科学的确定采样点、频次、采样方式的规范,从而实现对水体生物生产力评估和管理。该项工作的开展,以及该阶段在长江中下游、淮河等流域湖泊开展的湖泊调查工作,为我国后续湖泊资源调查的理论和技術奠定了基础,为厘清水体淡水生物资源状况起到了引领和规范的作用。在此基础上,由饶钦止主持编写出版的《湖泊调查基础知识》一书,成为我国后续湖泊调查的综合性、指导性参考书。

浙江北部、太湖南岸的菱湖地区池塘养鱼的历史十分悠久。20世纪50年代初,菱湖镇是华东地区最大的淡水养鱼区,当地直接从事养鱼者约有20万人之多。1950年6—9月间,菱湖鱼塘爆发大规模鱼瘟,塘鱼大量死亡。应当地鱼农、浙江省水产局和浙江省吴兴县人民政府请求,水生所组成调查团先后2次前往菱湖协助鱼农防治鱼瘟。调查团成员拟出了防治方法指导当地渔民试验,效果良好。调查人员将这两次赴菱湖治鱼瘟的过程和研究结果写成了总结报告,发表在当年的《科学通报》,供全国各地养鱼区参考。水生所专家此次赴菱湖治鱼瘟的工作,不但帮助当地解决了问题,而且引起了各方面的重视。《光明日报》专门对此进行了报道。中科院院长郭沫若在政务院第70次会议上报告的《中国科学院1950年工作总结和1951年工作计划要点》中也提及了这项工作。由此,在1951—1952年,结合各地养殖调查及需求,数位过去从事水体原生动物,并有一定寄生虫研究背景的学者表示愿意结合鱼病开展研究,于是,在1953年,鱼病防治成为水生所年度计划中的三大工作之一。并确定了“采取防与治相结合的原则,改进养殖技术,研究药物治疗的方法”的工作方针。1953年,水生所决定在浙江菱湖建立鱼病工作站。以倪达书为站长的菱湖鱼病工作站,在上级部门的有效指导及各方的积极支持下,该站曾建有大小鱼池181个开展研究,他们的研究有效遏制了菱湖当地及周边地区的鱼瘟泛滥,并针对草鱼、青鱼的肠炎、青鱼赤皮病开展较为系统的研究,确立了中国鱼病防治的良好传统,开创了中国的鱼病学科。随着水生所迁往武汉,以及全国其他区域对鱼病防治需求,菱湖站工作人员于1956年迁至武汉。水生所在建国初期开展的鱼病工作,体现出水生所从事基础研究工作者,面向产业需求所进行的卓有成效的研究方向调整。后续水生所也建立了相关鱼病研究室,含多个学科组,全面针对鱼类病毒病、细菌病、寄生虫病等开展研究,自养殖技术优化、病原学、免疫学、病理与药理学等多方面开展研究,在草鱼烂鳃病、草鱼出血病等方面,均作出了出色的工作。水生所科研人员及时总结编撰的《鱼病手册》、《湖北省鱼病病原区系图志》、《鱼病防治手册》、《养殖鱼类疾病及其防治》、《水生病毒及病毒病图鉴》等的出版,也及时为产业和科技人员提供了有价值的参考。1985年,由水生所鱼病工作者发起的中国水产学会鱼病研究会会在武汉成立,之后该会一直挂靠于水生所。水生所的鱼病研究也为国内培养了众多鱼病防治人才。

在水生所迁至武汉之后,大批人员便立即开始针对武汉附近的梁子湖进行全面的水生生物调查,相比于前期五里湖的调查,针对梁子湖的调查研究开展了更多鱼类生物学的研究,如团头鲂(平胸鲊)发现、湖沼学数据分析、鲤、鲃、鲫、鳊、密鲮等鱼类的生长特征、食性、繁殖、行为、成熟时间等均进行了较为全面观察,按照不同特性,对其养殖应用、放养和保护,甚至未来生产价值均加以探讨。另一方面,水生所人员还高度关注养殖鱼类的繁殖问题。1953年刘建康等利用成熟的鲢、鳊进行人工授精,获得鱼苗。1954年朱宁生等在宜昌用鲤的脑下垂体注射成熟的青鱼和鳊鱼,都取得了提前产卵的效果。不过这些是利用的江中成熟的亲鱼开展的催熟试验,可惜由于向武汉的搬迁工作和接受去梁子湖进行调查工作的影响,1956—1957年水生所人员的催亲工作受到延误,1958年6月水产部南海水产研究所率先以池塘中培育出性成熟的鲢、鳊,并用脑下垂体注射,获得鱼苗。至1960年,水生所等单位也在鳊的人工繁殖上取得成功。由于前期已发现团头鲂具有生长较快和草食特点,能在静水中繁育,使团头鲂驯化受到关注,1964年团头鲂的人工繁殖与饲养获得成功,至1975年,以倪达书、柯鸿文为首的团队基本完成团头鲂的驯化工作,目前团头

鲂已成为我国淡水鱼类养殖产量较大的品种。基于早期对鱼类资源调查,70年代初,也对以水底腐植质、水生高等植物枝叶、硅藻和丝状藻类等为主的细鳞斜颌鲂也进行了成功的驯化养殖。这些工作都为增加我国淡水养殖种类,为综合利用水体不同饵料资源,提供了新颖的途径。同时,50年代中期的开展的各类鱼类特性的观察,丰富了对养殖鱼类中性别二态性的认识,如在梁子湖鲤研究中发现成年雌鲤个体大于雄性个体,为后续的全雌鲤性控和单性群体获得技术提供了基础和方向。随着对鱼类资源的调查继续开展,对养殖品种基础生理、驯化、育种的研究,便顺理成章成为研究所日益重要的研究方向。

1961年水生所研究室的设置发生了一点细微的变化,第一实验室由水产资源研究室更名为鱼类学研究室,而同时增设了第二研究室为鱼类生理研究室,下设:组织胚胎生理组、生殖生化组、生态生理-神经生理组。而在第三研究室鱼类养殖研究室中设有鱼类育种组。1963年第二、第三室合并成立了鱼类生殖生理研究室,其中除了设置有养殖营养生理组,育种方面的学科组更加细化,如引种驯化组、家鱼研究小组、鲤鱼研究小组、多倍体小组等。60年代后期的文革使科研建制被打乱,至1972年,当时的湖北省水生所在重新构建所内建制时,将育种方面的研究设置为鱼类遗传育种研究室,下设鱼类生化组、体细胞组、鲫鱼育种组、鲤鱼育种组、甲壳动物育种组,反映出在当时已对鱼类育种研究的高度重视。在60—80年代的鱼类育种研究开始重视鱼类遗传方向的研究,由于在当时无法获得鱼类基因组信息,因此育种方向多体现在种间、种内品系间的杂交育种,或是通过倍体改变,以图获得性状的改良。在此方面水生所科研人员开展了鳙草间杂交、鲤的不同品种间杂交、利用理化方式诱导草鱼和团头鲂杂交、草鱼多倍体、鲢鱼品种间、鲫鱼品种间杂交等研究,这些研究是在对鱼类繁殖技术突破后,进一步对鱼类育种工作的推动。1980年,在童第周领导完成世界上鱼类第一例胚胎细胞克隆的基础上,由我所体细胞组陈宏溪等通过核移植技术,将鲫体细胞核移植到鲤去核受精卵内,获得了鲫鲤核质配合杂种成鱼,并繁殖了子代。这一成果实际是利用了已分化的体细胞的细胞核,转移至去核的异种去核受精卵中,实现由核遗传物质导致的克隆鱼(论文发表于1984年)。当时是希望以此方式获得杂种鱼,用以品种改良,但却是世界领先的动物体细胞克隆成果,比1996年采用类似概念的英国多利羊的诞生早了16年。1982年,水生所吴清江团队成功研发了人工杂交全雌鲤的技术,即利用人工雌核发育成单倍体,加倍成雌性二倍体,饲喂甲基睾丸酮使其转为“生理雄性”散鳞镜鲤,用此作“父本”,纯系兴国红鲤作母本,生产全雌鲤,该技术运用了先进的雌核生殖、激素转性培育伪雄鱼、品种间杂交等集成育种技术。1981—1982年我所也发现了鲤、鲫的人工雌核生殖,并以此建立近交系的技术,该技术的突破为鱼类育种提供了一种新的快速选育方式。1982年蒋一珪团队便成功培育异育银鲫新品种,该品种是由黑龙江省方正县银鲫为母本,兴国红鲤雄鱼为父本,经人工授精和异精雌核生殖的子代。异育银鲫既保持了银鲫的性状,又有明显生长优势。1983—1985年进一步发现了异源精子刺激银鲫雌核生殖子代以及精子在子代中的生物学效应,1987年又开发完善了应用于选种银鲫种内遗传标记。1988年异育银鲫第二代新品种——高背异育银鲫选育成功。1989年,水生所吴清江团队成功培育了由兴国红鲤(♀)和散鳞镜鲤(♂)的杂交而成的子一代的“丰鲤”新品种。而随着对异育银鲫的雌核生殖机制研究的进一步深入,以及不断的培育改良,桂建芳团队于2008年培育成功异育银鲫第三代产品——中科3号,并得到大规模推广应用,在全国新增渔业产值数百亿。至此,水生所40年3代育种工作者先后推出数代新品种,使鲫鱼品种的生长率得到成倍增加,鲫鱼由野生、套养、变成主养品种,我国鲫鱼养殖产量因此自20世纪50年代时的数万吨增加到2010年的200万吨以上,现居我国淡水主养品种产量的第四位。异育银鲫新品种的推出工作还在持续,2019年由水生所推出的第四代新品种——中科5号又已通过国家水产新品种审定委员会认定。随着对遗传物质基础的深入认识,水生所朱作言团队在1983年成功研制出世界上第一批转基因泥鳅,开创鱼类基因工程育种研究先河,相关研究一直处于国际前列。培育出快速生长的冠鲤和具有养殖推广潜力的不育性三倍体吉鲤,冠鲤生态安全评价与生殖控制对策及养殖模式等研究比美国的相关研究更超前,实验更充分,数据更详尽,为国际同行所公认。21世纪以来,水生所继续在鱼类基础生物学和遗传育种方面持续发挥引领,成功解析草鱼的全基因组,并构建鳙、鲢、鲫等全基因组精细图谱,利用鲤科模式和养殖鱼类,成功构建了世界首例促进全鱼生长、耐低氧、抗病等性状的单基因突变鱼类模式,针对鱼类主要经济性状改良和驯化的分子机制解析、优异等位变异发掘等开展研究,获得可用于分子设计育种的关键功能基因或分子标记60余个;建立了鲤、鳙性别特异分子标记和鉴定技术、鲤单性养殖群体获得技术;研发黄鳝、鲟等基因组编辑等前沿育种技术;并参与创制包括斑马鱼一号染色体单基因敲除突变等突变系,为进一步开展鱼类的基础生物学和代谢调控研究奠定了基础。

解放以来, 为服务水产养殖产业, 从50年代的太湖室及菱湖鱼病工作站的工作开始, 已强调对我国淡水渔业养殖技术加以系统整理和总结, 开始在健康养殖方法、鱼类食性认识、饵料生物学、营养饲料等方面开展了大量的观察研究工作。牵头组成中国淡水养鱼经验总结委员会, 于1961年、1973年和1992年编撰、修编并出版了《中国淡水鱼类养殖学》。至第三版, 该书已系统地总结了我国淡水养鱼的经验, 包括中国淡水渔业的历史、中国的淡水鱼类资源、饲养鱼类的繁殖、饵料与施肥、鱼苗的张捕和运输、鱼苗鱼种的饲养、鱼类育种与引种驯化、池塘养鱼、湖泊河道养鱼、水库养鱼、网箱养鱼、稻田养鱼、鱼病防治、成鱼捕捞、淡水鱼类的加工利用等。着重介绍了中国特有的传统养殖鱼类青鱼、草鱼、鲢、鳙的人工繁殖方法, 以及鱼苗的张捕、鉴别、计数和除害方法。总结了中华人民共和国成立以来的养鱼经验, 即“八字精养法”——水(水深水活)、种(良种体健)、饵(饵料精量足)、密(合理密放)、混(多种混养)、轮(轮捕轮放)、防(防除病害)、管(精心管理)。并在书末增添了《水生生物的定量调查方法》和《用鱼类和溞类进行污水急性毒性试验的方法》两个附录。至第三版的完成, 已反映了80年代中国淡水养鱼科学研究与生产技术的先进水平。随着该书的编撰过程, 适时将我所在解放以来, 对于淡水鱼类养殖技术和模式的主要成果, 以及当时先进的其他科研成果, 包括养殖模式发展等均归纳、规范, 系统地加以总结。后续, 水生所崔奕波等还对鱼类生长变异的生物能量学机制开展了较为系统地研究, 通过代表性鱼类在不同阶段、不同内外源因素影响下的能量摄入与生长间的能量平衡研究, 寻找养殖鱼类的能量代谢特征, 为实现未来精准营养养殖模式奠定基础。随着水生所在渔业资源调查、养殖模式调查和总结、健康养殖模式和规范制定、新养殖品种的驯化、培育与配套推广, 引领中国淡水养殖业自20世纪80年代末起, 成为世界第一大国, 而水生所所在的湖北省则自20世纪90年代中期后成为全国淡水养殖产量第一省。我国养殖业也正因为许多养殖鱼种的人工繁殖技术的突破, 使我国淡水养殖鱼种苗供应未受到河流大量水利工程开发的影响, 始终保持了稳定地增长。

如前所述, 早在中研院动植物所期间, 科研人员便已在国内开展了较大规模的浮游植物资源调查。建国以后, 藻类学研究依然是水生所特长, 无论在水体生物资源调查、水体生态状态整体测评和天然生物生产力等研究方面, 都发挥着必不可少的作用。同时, 还积极开展了藻类光合作用和固氮作用的机制研究, 针对有关不同藻类的生态特征和光合作用关键藻胆蛋白的关联、不同藻类固氮酶提取与互补作用、固氮蓝藻细胞中除氧保护固氮酶机制等开展了研究, 为了解蓝藻固氮机理的实质及固氮蓝藻在农业上的应用, 也为化学模拟生物固氮, 提供了有价值的资料。同时为促进农业发展, 解放后水生所藻类学科也积极开展其专长研究, 为提供替代氮肥, 自50年代开始, 黎尚豪等开发了固氮蓝藻资源作为水稻田肥源, 针对我国高效固氮蓝藻的筛选、培养、生态生理学开展了研究, 并进行了水稻的肥效实验。为促进藻类资源利用, 还开展了藻种培养选育、螺旋藻规模生产、藻蛋白作为饲料蛋白源利用、沙漠藻结皮形成机理及应用等研究。近十年来, 与国家投资集团合作共建的藻类生物技术研究中心, 研发利用三角褐指藻生产岩藻黄素工艺包等成套规模化培养与收集纯化技术。

三、发展淡水生态理论与生态渔业

自20世纪50年代始, 水生所团队开始的五里湖、梁子湖、长江等全面调查, 不仅是为了摸清我国渔业资源现状, 以满足湖泊等渔业增产的产业需求, 而且发表的众多研究包括特定水体中各类水生生物的分布、食性关系、繁育特性、种群消长及其与水体理化因素互作的观察与分析等, 也实际上成为我国针对淡水生态系统结构与功能研究的开创性工作, 为我国淡水生态学理论的发展奠定了基础。1962年集中发表在《水生生物学集刊》的5篇在当年的太湖站开展的《五里湖1951年湖泊学调查》论文, 便是这方面开创性工作的经典代表之一。水生所团队的这些工作既开创了我国淡水生态学理论研究, 也为科学指导湖泊、水库等大水面渔业提供了依据。自70—80年代始, 水生所刘健康、曹文宣、梁彦龄、李钟杰等团队的科研人员在长江流域的众多湖泊、水库开展了大水面生态养殖模式研究及推广, 如武汉东湖、麻城浮桥河水库、沉湖、保安湖、洪湖、梁子湖群、三峡水库等, 还包括黄淮海地区的封丘地区曹岗湖等水体。其中始于刘健康等1955年对东湖的生态学研究, 最具代表性。他们通过深入探讨了东湖生态系统结构、功能及演变规律, 在世界上首次对亚热带地区浅水湖泊生态系统进行了综合性和系统性研究, 并结合武汉东湖生态系统结构功能和生物生产力的关联研究, 指导东湖渔业管理。这些研究工作产生的主要成果包括水体生物生产

力评价、鱼类种群管理理论、非经典生物调控理论等, 以及其支撑的水面养殖管理区划管理、种群增养殖放养规划、捕捞规格及强度规划、鱼种天然生态养殖网箱、生态围网养殖等系统集成技术, 整体基于水体天然生物生产力决定增养殖规模, 通过养殖种群结构调整, 构建优质高效特色渔业发展模式。水生所基于生态理念的养殖模式, 更已在20世纪80年代就明确提出了大水面渔业必须以维护水质为前提, 对长江流域的许多湖泊群、水库的生态养殖的良性发展, 起着重要的指导和示范作用。90年代中期, 水生所崔奕波等用严格的生物能量学方法分析湖泊群生物资源与渔业利用的关系, 建立了我国湖泊底栖动物、小型鱼类、食鱼性鱼类生产力估算方法, 进一步完善了草鱼放养管理的生物能量学模型, 建立用水草生长量评估河蟹养殖容量的方法, 既优化湖泊优质水产品结构, 又保护了生态环境, 使我国湖泊渔业管理基础理论水平及应用达到国际领先地位, 为湖泊资源的量化管理奠定了理论和技术基础。针对大水面的投饵网箱养殖对造成养殖水体富营养化的问题, 早在20世纪90年代, 水生所科研人员就已针对性地开展了网箱养殖容量科学评估的专门研究。这方面的研究也奠定了水生所近期作为农业农村部渔业渔政管理局“大水面生态渔业领导小组”的核心成员的工作基础, 2019年水生所牵头制定了水产行业标准《大水面增养殖容量计算方法》, 并获颁布, 参与完成了三部委文件《关于加快大水面生态渔业发展的指导意见》的发布; 参与组建了“大水面生态渔业科技创新联盟”并制定“大水面生态渔业科技创新规划”。水生所科研人员还自70年代开始, 积极参与我国渔业水体水质标准、主要水产动物饲料标准及检测等行业标准的研究工作和颁布, 县域、省域渔业发展规划的制定等。在养殖模式的总结与研究方面, 研究所科研人员在70年代初以“以渔支农, 以鱼促稻”为指导思想, 开展稻田养草鱼的试验, 获得了稻鱼双收的良好效果。随后又在实践中认识到稻鱼之间在稻田生态系统中存在互利共生的关系, 具有良好的生态功能。探索了这一功能的作用, 并应用于指导生产实践, 使其发挥更大的经济和社会效益。这方面的工作也已成为现代渔稻模式发展的基础。

20世纪90年代以来, 随着我国水体富营养化的出现, 水体藻华频发, 以水生所藻类科研人员为主的团队, 在浅水湖群生源要素的生物地球化学循环、富营养化过程以及蓝藻水华暴发与成灾机理、藻毒素的危害与机理等方面开展了系统深入的研究, 提出了浅水湖泊生态修复的原理, 发展了浅水湖泊富营养化控制的理论, 为我国浅水湖泊富营养化控制关键技术与管理奠定了基础。

四、开创水环境生物学研究

内陆水体地势低洼, 注定成为陆上产业活动废弃物的收纳处, 因此经济社会发展必然会对周边内陆水体的生态环境带来影响。实际上, 为论证三峡工程建设可能对水体生态环境的影响, 水生所早在1958年便进行了工业废水可能出现的80余种包含重金属、有机磷、有机氯等常见毒物对四大家鱼鱼苗和白鲢鱼种的毒性影响试验, 该数据支撑了国家渔业水质标准的制定。在1959年也针对23余种工业废水对鱼类毒性开展了研究, 后续还开展了主要农药在鱼体中的吸收和代谢动力学研究, 以对相应的水质标准制定提供依据。随着经济建设的发展, 水生所科研人员在长期对水生生物与环境互作的观察研究以及应邀参加其他相关工作的基础上, 日益认识到集中开展水环境生物学工作的重要性 and 迫切性。因此, 在1973年3月, 组建成立了水污染生物化学研究室, 结合水生所工作特色, 主要从事环境与生态毒理学、环境生物监测、废水生物净化和化学生态学等四个方向的研究。建室以来, 张甬元为首的团队在对农药废水污染的鸭儿湖进行生态学调查的基础上, 通过污染治理及农药在氧化塘中的生化研究, 提出了鸭儿湖区域污染治理规划, 兴建氧化塘作为废水的三级处理设施, 保护鸭儿湖和长江免受污染。研究室对官厅水系水源保护、采用抑制剂直接浮选磷矿选矿试验研究等均获得好评。研究室改进建立了多种涉水样品采集的方法和装置、检测方法, 并以此开展了青海湖、长江、湘江、嘉陵江、汉江等区域的水生生物元素值和水环境背景值调查; 水生所曾经建立第一个通过国家计量认证的国内首家二噁英检测实验室; 采用多种生物处理方式, 对石化、造纸、铜矿磷矿选矿、纺织印染等产业废水的处理改进以及采用生物塘技术处理生活污水等研究获得好评。结合对水生生物特性的了解, 以水生生物为对象开展的水环境毒理学研究, 一直是该室的研究长项, 包括对各类重金属、有机化合物农药、持久性污染物的毒理学效应, 以及后续针对毒性效应机制的研究。沈韞芬团队提出的采用微型生物群落变化的监测方法, 以反映水体生态环境质量, 评价生态净水效率, 也曾是水环境生物学研究的一个亮点。自21世纪初以来, 吴振斌等不断研发改进人工湿地系列技术, 获得授权专利60余项, 其中发明专利37项, 形成了关键技术具有完全自主知识产权且拥有专利群保护的核心竞争力。研发的

人工湿地系列专利技术已应用在北京奥林匹克森林公园人工湿地、杭州西湖水质改善与水生植被重建、海口美舍河凤翔湿地公园等不同生态环境条件的工程中。设计、建设的人工湿地生态工程达数百项,覆盖22个省市自治区,引领并推动了人工湿地在我国的广泛深入研究和大规模工程应用。水环境改善正与水体的生态修复相融合。正是基于生态系统理念,水生所在近期将水体环境的治理与生态修复有机结合研究,采取学科交叉、生物处理为主的系统调整和干预的方式,在西湖、滇池草海、洱海、巢湖等地开展了水体修复或生态岸带的示范研究工作,有效改善了区域水生态环境质量,为杭州西湖申遗、G20峰会及武汉世界军人运动会等国家重要活动的水环境保障做出了贡献,取得了显著的环境和社会效益。水生所水污染生物学研究室是国内第一个专门从事水环境生物学研究单元,负责编撰《中国环境大百科全书·环境科学·环境生物学》,1978年成立的中国环境生物学会,也一直挂靠于水生所。

五、奠基多样性水生生物研究和物种保护

开展综合水生生物资源调查,研究分析生物多样性的形成及其特征,并制定其生物多样性保护和物种保护,始终是水生所主要研究方向之一。在水生生物分类等学科基础方面,由王家楫、伍献文、饶钦止等老一辈水生生物研究的开创者,以及他们的传承者主持编撰的《中国淡水轮虫志》、《中国经济动物志·淡水鱼类》、《中国鲤科鱼类志》(上、下卷)、《四大家鱼的人工繁殖》、《中国鞘藻目专志》、《中国动物志节肢动物门甲壳纲·淡水枝角类》、《中国淡水鱼类原色图集》(第一集)、《中国淡水藻志·双星藻科》(第一卷)、《中国动物志·鲤形目》(中、下卷)、《中国淡水藻志·丝藻目、石莼目、胶毛藻目、桔色藻目、环藻目》(第五卷)、《高级水生生物学》、《原生动动物学》、《中国淡水藻志》(第六、七卷)、《鲢、鳙与藻类水华控制》、《长江流域湖泊的渔业资源与环境保护》、《中国淡水藻志·绿藻门》(第十七卷)、《长江流域的枝角类》等为开展水生生物多样性的研究方面,奠定了基础。自1955年以来,水生所科技人员,便对长江流域、黑龙江流域、汉江、雅砻江等进行了较大规模的水生生物调查,并针对其水生生物多样性保护与水利工程建设规划提出了宝贵的建议,包括对葛洲坝、三峡、丹江口等水利枢纽对产卵场影响等,进行了调查和科学预测。他们的研究及后续的水生生物多样性持续调研工作,也成为水利工程开展生态调度的科学依据。在1973—1976年进行西藏水生生物考察研究中,陈宜瑜、曹文宣等通过对青藏高原裂腹鱼类的起源和演化分析,探讨了青藏高原隆起的时代、幅度和形式,推断青藏高原在第三纪晚期以后曾经历过3次急剧上升和相对稳定的交替阶段,并推测了3次隆升的幅度,提出了可用于解释云贵高原某些湖泊区系起源的同域成种的演化模式。这些运用历史生物地理学的原理和方法,探讨了青藏高原鱼类物种分化与高原隆升和水系发育间的关系,丰富和发展了地学、生物学以及资源与环境科学的基础理论和应用实践。水生所对于长江珍稀保护动物白鱉豚、中华鲟、江豚、胭脂鱼等都积极开展了研究,白鱉豚“淇淇”在水生所白鱉豚馆生存的22年,成为白鱉豚与人类最后的一段绝唱式交流。在江豚的保护工作中,认真吸取教训,及时开展栖息地保护、迁地保护和室内外小规模人工繁育等多种方式并举的方式,已取得一定的效果。基于我所科研人员对长江鱼类资源的多年数据,为了推动对长江野生鱼类资源的保护,曹文宣等经过十年呼吁,得到相关部门的认同,2020年已全面启动在长江流域的“十年禁捕”行动。2005年,曹文宣等还建议并推动了赤水河“国家级长江上游珍稀鱼类自然保护区”的建立。2019年,水生所也在赤水河启动了“长江上游珍稀特有鱼类保护及赤水河流域生态观测试验站”的建设,希望能够加强对长江上游珍稀鱼类的保护,进一步推动赤水河流域生态文明区的建设,建立我国江河生态保护的示范。

多样性的水生生物也为众多生命科学的研究提供了独特的研究模式,其中最有影响力的莫过于斑马鱼,斑马鱼具有代时短、繁殖量大、卵生、遗传信息全面、遗传操作方便、饲养方便等优势,使其成为一种脊椎动物研究模式。自20世纪90年代斑马鱼引入中国以来,引起中国学者重视。作为鲤科鱼类的模式,斑马鱼在我所主要作为开展早期胚胎发育、代谢调控、性别发育、抗逆和繁育调控等经济性状调控基础性研究的模式材料,目前水生所科研人员已成为国内斑马鱼模式运用开展研究的最大群体。同时,利用斑马鱼和土著鱼类稀有鮡鲫特有的敏感性开展生态毒理学的研究工作,也取得了良好的成果,稀有鮡鲫也成为我国环保部指定的生态毒性检测的受试生物。单细胞原生动动物四膜虫作为真核单细胞动物,易于培养观察,也是许多生命科学中的重大问题的研究模式,水生所科研人员在过去对水生原生动动物研究的传统优势的基础上,近期以四膜虫的组学研究入手,发展其遗传操作体系,在动物性别等研究方面取得了良好的进展。而

许多藻类作为单细胞原核、真核生物的研究优势材料,水生所研究人员在光合作用机制、DNA及蛋白质修饰、鞭毛的形成与功能调节、原生与次生代谢过程及抗逆机制等方面均开展了较为深入研究,为回答解析重要的生命调控机制,包括解答光合作用、藻华形成分子机制等提供了有价值的见解,并探索藻类在空间飞行器中的应用基础。

六、促进研究所发展与成长

历经90年发展,从建立自然历史博物馆时不到十位专任研究人员的规模,至今水生所有正式编制职工330余人,项目聘用人员、特别研究助理(含博后)各近百人,在读研究生规模达600余人。我们在面对各种社会和产业需求的同时,始终维护学科发展为核心,以需求促进了水生生物学理论和技术体系、研究平台的建设和发展。研究所现拥有淡水生态与生物技术国家重点实验室;以及院部级重点实验室3个:中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室、中国科学院藻类生物学重点实验室、农业部淡水养殖病害防治重点实验室;另外还拥有国家、省部级工程中心:国家淡水渔业工程技术研究中心、农业部鲫鱼遗传育种中心、湖北省水体生态工程技术研究中心、湖北省稻田综合养殖工程技术研究中心、湖北省水生植物资源与利用工程技术研究中心、湖北省水产动物营养与饲料工程技术研究中心。研究所现也是国家水生生物种质资源库的依托单位,其中的国家斑马鱼种质资源中心现为国际第三大斑马鱼资源保藏中心,保藏有各类斑马鱼品系1600多种,冻存精子样品12000余份;其中近1/4为资源库自创,80%的斑马鱼品系资源为我国所有。下属的中科院藻种库现保藏9门180余属的3000余株藻类,为国际同类机构资源量第五位。水生生物种质资源库下属的白鱈豚馆现保有人工环境下饲养的江豚6头,自2005年突破长江江豚繁育技术,目前已实现全人工环境中繁育个体成功参与第二代长江江豚繁殖。研究所现拥有3个野外台站:东湖湖泊生态系统国家野外科学观测研究站(国家级)、三峡水库香溪河生态系统试验站(所级)、长江上游珍稀特有鱼类保护及赤水河流域生态观测试验站(所级)。研究所还设立有水生生物博物馆,以完整的鲤形目鲤科鱼类收藏为特色,具标本收藏与展示、科普教育功能。所图书馆现有藏书28万余册,在2200多种馆藏期刊中,最早的西文期刊*Annals of Natural History*可追溯至1838年。有不少期刊,如《水生生物学集刊》、《水生生物学报》、*Hydrobiologia*、*Journal of Phycology*、*Sinesia*等都是从第1期开始连续收藏的,是研究早期生物资源的宝贵资料。研究所科研工作平台还设有:分析测试中心,集中管理大型仪器设备,以集中管理、开放共享、网络化支撑和专业化服务的方式,为科研提供精准、高效、优质的服务;水生生物数据分析管理平台,下设水生生物物种鉴定服务中心、水生生物调查数据管理分析中心、超级计算中心,致力于提供水生生物数据资源汇聚、管理和深度应用于一体的科学数据平台;还有主要从事渔业和藻类培养的官桥实验基地、武汉梁子湖生态渔业研发基地等。研究所目前也是中国科学院大学现代农学院水产系依托单位,为中国科学院大学水产学科组织单位,中科院大学水产学科在2016年全国学科评估中为水产学科A+学科。研究所现有生物、环境科学与工程、水产三个一级学科中的水生生物学、遗传学、动物学、环境科学、水产学五个二级学科的博士学位培养授予点,以及生物、环境科学与工程两个博士后科研流动站。

解放以来,水生所共获国家级科技成果奖励38项、中国科学院科技成果奖励100多项、省、部、委科技成果奖励100多项;发表研究论文9000多篇、主持编撰专著155部、授权专利400多项、国家标准和行业标准15项。目前年均发表SCI刊源文章约400余篇(其中1/4位JCR领域前15%刊物)、获批国家专利30项以上。自成果产出、项目承担、领域人才集中度等方面考量,研究所在水产学科中的水产基础生物学、鱼类遗传育种、淡水生态、藻类生物学等领域具有国内领先地位。今天,我们回想水生所组建初期的目标,以及科学院响应国家水产总局动议的预期任务,水生所在促进我国水产发展、保障我国人民动物蛋白的稳定供应方面,向国家和人民交上了令人满意的优秀答卷。

七、迎接健康淡水生态系统维护的新挑战

按照习近平总书记近期在科学技术座谈会讲话提出的科研工作应“坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康,不断向科学技术广度和深度进军”的要求,作为我国专门从事内陆水体生命过程研究的综合性研究机构和中国科学院“生态文明”特色所,水生所应面向国家在水环境保护、渔业可持续发展和微藻生物资源利用方面的重大战略需求,针对相关领域的基础性、战略性和前

瞻性关键科技问题,着力重大理论创新和核心技术突破,强化创新价值链的延伸,发挥在水生态环境、现代渔业及水生生物资源保护和可持续利用等领域不可替代的作用。

新时期生态文明建设和绿色发展的国策,使从事水体生态环境健康维护与水生生物资源可持续利用的我们迎来了新的机遇期,面对淡水生态环境的健康维护、水产绿色转型升级发展的迫切要求,我们需要充分发挥自身专长,鼓足干劲,传承过去近百年老一辈水生所科研人员在面对社会和科学发展需求转换时的应变和创新能力,在各自领域深化和提升自身开展创新研究的能力,同时注重采用先进的理念和科研方式,进一步增强承担和完成国家重大任务的能力。

首先,我们需要继续潜心深耕自身特色方向,充分发挥我们各自开展研究的独特资源和材料,从而提供特色化科研合作。正如近期我所研究人员在利用衣藻模式开展表观遗传学机制研究、斑马鱼模式在深海鱼类的生存机制研究等亮点成果,便是保持自身突出研究优势,协同研究的具体体现。因此,继续紧扣各自在水生生物学科基础研究的特色,无疑将是我们每一个学科单元安身立命,并谋求进一步发展的根本。

其次,也正如我们所面对的水体生态环境问题的系统复杂性,需要水生态、水环境以及渔、藻资源的利用与维护团队,在保持各学科自身独特研究专长的基础上,开展有机合作。新时期的研究使生理和遗传学研究需要许多组学分析手段的帮助,而宏观的生态环境研究也正进入大数据分析时代,水生所既往长期的、大规模团队式资源调查,历史沉淀下的数据为我们未来发展提供了得天独厚的优势,科技数据汇交和共享不仅是科研的制度管理要求,也是发挥团队协作、共享资源优势,提升传统研究所能力的一个重要手段。良好的运行、管理、共享的水生态数据分析平台,并与种质资源库的基因组和表型组数据相连通,整合开展数据分析管理,将使我们在水生生物的宏、微观生物学的研究能力如虎添翼。

当前,我国水体正面临较为严重的富营养化压力,生活污水和产业排放对水环境产生的危害问题突出。针对饮用水水源地环境保护、城市黑臭水体治理、长江生态保护与修复、农业农村污染治理和渤海综合治理等全面推进的碧水保卫战是国家和政府部门的标志性重大战役。国家战略对于我们是关键机遇,也是对水生态环境健康维护的国立专门研究机构的考验和挑战。水生所在过去的数十年曾圆满地引领并完成了国家“解决人民吃鱼难”的目标,我们需在现阶段为水产养殖业的绿色转型作出贡献,提供新型养殖模式、品种、精准饲养及尾水处理方案。我们也曾先期部署水生态、水环境方面的研究,我们应在现阶段为碧水保卫战和水生态服务价值体现,提供具有示范和引领作用的水生所方案。期待我们继续坚持学科发展科学理念,积极面对国家战略需求,发挥在水生态研究方向上学科门类齐全、历史积淀丰富的先发优势,施展聪明才智,积极建言献策,并致力于团结协作,担当敬业,不负国家、人民和前辈们对我们的期待,塑造水生所的百年辉煌。