

# 论我国海水鱼类网箱养殖的可持续发展

## ON THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MARINE FISH CULTURING IN NET - CAGE IN CHINA

张雅芝<sup>1</sup> 苏永全<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>集美大学水产学院 厦门 361021)

(<sup>2</sup>厦门大学海洋与环境学院 361005)

关键词 海水鱼类,网箱养殖,可持续发展

我国的海水鱼类养殖是 80 年代以来迅速发展起来的新兴水产养殖产业,被称为我国海水养殖的第 4 次浪潮,发展前景十分诱人。我国目前的海水鱼类养殖方式主要有网箱养殖、池塘养殖和陆上工厂化养殖。本文拟就海水鱼类网箱养殖的可持续性发展问题进行初步探讨。

### 1 90 年代海水鱼类网箱养殖的新进展

我国海水鱼类网箱养殖始于 80 年代初,80 年代基本上处于起步和技术积累阶段。进入 90 年代以来,随着多种鱼类人工繁殖、苗种培育技术以及养成技术的日臻成熟,网箱养殖呈快速发展。1994 年全国的海水鱼养殖网箱约 160 000 只,至 2000 年,全国预计可达 700 000 只以上,养殖的种类近 40 种,产量预计 140 000 t 左右。其中福建省网箱数约占全国一半以上,达 400 000

只左右,闽东(宁德市)的大黄鱼养殖网箱发展尤为迅速,1998 年仅 70 000 只,1999 年就达 150 000 只,2000 年达到 340 000 只,3 a 连续翻番增长,速度惊人,使大黄鱼成为福建省乃至全国最大宗的海水养殖种类,并逐渐向全国各沿海地区幅射。除大黄鱼外,福建网箱养殖鱼类约 20 种左右,主要包括眼斑拟石首鱼(美国红鱼)、鲩状黄姑鱼、鲆鱼、鲷科、花鲈、卵形鲳鲹等。广东省的网箱数量 1990 年为 20 000 只,2000 年发展到 130 000 只,居全国第 2 位,主要养殖石斑鱼、笛鲷、眼斑拟石首鱼、真鲷、卵形鲳鲹、裸颊鲷、鲆鱼等。浙江省近年网箱养殖发展很快,90 年代初全省仅有数千只网箱,到 2000 年已发展到约 50 000 只,主要分布在宁波和舟山,主养大黄鱼、花鲈、鲩状黄姑鱼、眼斑拟石首鱼、石斑鱼、真鲷等。海南省的网箱主要集中在三亚,约 40 000 只,主养军曹鱼、紫红笛鲷、卵

形鲳鲹、石斑鱼、眼斑拟石首鱼等。广西、山东各有 10 000 ~ 20 000 只左右。其余沿海省份网箱养殖发展较慢,数量不多。

90 年代以来,我国主要海水鱼类人工繁殖和育苗技术已日臻成熟,开始进入种苗规模化生产阶段。迄今为止,我国海水鱼类育苗成功的种类至少 45 种,其中闽东大黄鱼 2000 年的育苗量高达  $13 \times 10^8$  尾;真鲷(春季生殖群体)、眼斑拟石首鱼、花鲈、鲩状黄姑鱼、花尾胡椒鲷等种类的年育苗量也达千万尾;年育苗量百万尾的种类有牙鲆、黑鲷、尖吻鲈、勒氏笛鲷、断斑石鲈、鲆鱼和斜带髯鲷等。此外,海南、广东等省还从境外引进军曹鱼、紫红笛鲷、布氏(卵形)鲳鲹等苗种进行网箱养殖。国内外鱼类育苗技术的日臻成熟和苗种的规模化生产,使我国网箱养殖的海水鱼苗种来源得到较好的解决,基本上改变了以往主要依赖捕捞天然苗的局面,既促进了网箱养殖的迅速发展,也有利于野生资源的保护。

90 年代以来,我国鱼用配合饲料研制与开发也有新的进展。广东东南亚海洋渔业开发中心从 11 种配方中筛选出适于尖吻鲈的配合饲料,经试用效果良好。宁波与青岛海洋大学合作研制的全价配合饲料喂养大黄鱼,比投喂冰鲜杂鱼增重 17% 以上。中国科学院海洋研究所与河北黄骅海水养殖公司以自行研制的人工配合饲料(50%)和冰鲜杂鱼(50%)混合投喂黑鲷,比单独投喂冰鲜杂鱼增重 41%,成活率提高 50%,而饲料系数降低 27%。国家海洋局第三海洋研究所提取和克隆鲈鱼等多种海水鱼类的生长激素基因,通过生物技术转移到微生物体内得到表达,并用转鱼类生长激素基因的工程菌作为饲料添加剂进行鱼苗饲养实验,体重比对照组增加 35% ~ 135%。福

收稿日期:2001-01-02

建一些饲料生产厂家开发的鲈鱼配合饲料饲养效果基本上达到了冰鲜杂鱼饲喂的效果,在鲈鱼和大黄鱼养殖中已得到较好的推广,尤其在夏季高温季节,很多养殖户选用人工配合饲料替代冰鲜杂鱼,以防鲜饵污染水质引发疾病。2000年人工配合饲料在福建闽东的销售使用量已有2 000 t多,约占总需要量(总投喂量)的5%左右。广东、海南等地的养殖户在夏季高温以及冰鲜杂鱼不足时,也使用一定比例的配合饲料,使用人工配合饲料已逐渐为养殖业者所接受。在网箱结构和养殖方式上,有的地方也在积极进行新的探索和尝试。海南瑞发东方海洋产业有限公司与挪威 REFA 公司合作在海南临高县开发大型深海潜网养鱼项目,网深8 m,周长60 m,网箱框架由海底锚和钢钎固定,可抗12级台风,适于在水深10~200 m的外海区养殖。共投放卵形鲳鲅和军曹鱼苗92 000尾,养殖成活率高达98%。青岛1999年从挪威、日本引进6组抗风浪网箱和浮沉式网箱设备与技术,将网箱养殖向30 m等深线扩展,主养卵形鲳鲅、大黄鱼和眼斑拟石首鱼。福建也正在积极筹划从挪威、日本引进浮沉式深水网箱进行试点。广东省台山市1997年建成6个钢筋混凝土结构的沉箱,规格为7 m×3.5 m×3 m,投石斑鱼15 000尾,能抗台风、防寒潮、御高温,取得较好效果。这些新的尝试,为今后网箱养殖向海外发展积累了宝贵的经验。

## 2 存在问题

### 2.1 无序发展、布局不合理

90年代以来,我国海水鱼网箱养殖可谓突飞猛进,其中福建闽东大黄鱼的网箱养殖1998年以来的大发展最具代表性,每年以翻番的速度发展。340 000只网箱(占全国近50%)集中分布在连江至福鼎的300 km海岸线的内湾浅海,设置过于密集,极具隐患,养殖区的中心地带已出现水流不畅、水质恶化、病害流行、养殖鱼类大量死亡的现象。养殖网箱过于集中分布在内湾10 m等深线以浅的现象在全国具有普遍性。而10~50 m的浅海部分则几乎未被利用。

### 2.2 主要养殖种类出现种质退化

我国海水养殖的鱼类几乎全为野生种,未经人工定向选育,经累代养殖,出现杂合度降低、遗传力减弱、抗逆性差、性状严重退化等问题。如闽东海域网箱养殖的大黄鱼,由于全人工育苗,累代近亲交配,已出现个体小型化、性早熟,种群结构低龄化,产卵量下降,抗病力减弱等严重退化现象。对其群体遗传多样性的同工酶测定表明,大黄鱼养殖群体遗传多样性背景较单一,遗传多样性匮乏,已处于遗传多样性水平较低状态。

### 2.3 养殖水环境继续恶化,病害严重

作为主要养殖区的内湾,正在受到外源性的工业污染、农业污染和生活污水日益严重的污染。据不完全统计,广东每年入海的污水高达近 $37 \times 10^8$  t,渤海每年接纳的污水量也达约 $28 \times 10^8$  t。1998年渤海湾、莱州湾和辽东湾三大湾同时发生赤潮,面积达5 000 km<sup>2</sup>多。广东、香港也相继发生多次赤潮,网箱养殖的鱼类损失达 $3.5 \times 10^8$ 元以上。加上养殖的自身污染,使已十分脆弱的养殖水环境雪上加霜,频频引发多种疾病。现已查明的病害数十种,仅大黄鱼的病害就20多种,严重危及海水鱼类网箱养殖的健康发展。

### 2.4 人工配合饲料推广力度不够

目前我国海水鱼类网箱养殖使用的饲料,95%左右仍是冰鲜小杂鱼,人工配合饲料的使用比例不到5%。之所以造成配合饲料推广使用步伐缓慢,一方面是目前市场上销售的配合饲料与冰鲜小杂鱼相比,价格仍偏高,养殖户难以完全接受,另一方面,许多养殖种类的人工配合饲料质量未能达到要求,如真鲷、石斑鱼等使用配合饲料的饲养效果尚不及冰鲜杂鱼。

## 3 关于可持续发展若干问题的探讨

### 3.1 重视和加强海区养殖容量研究

养殖容量是指单位水体内有保护环境、节约资源,保证应有效益等各方面都符合可持续发展要求的最大养殖数量。它是养殖数量宏观控制的量化指标,可为政府和养殖户的决策提供科学依据。根据海区的生态容纳量进行养殖布局,优化组合,使养殖、生态与环境效益协调发展,是当前海水规模化养殖研究的一个重大课题。《联合国21世纪议程》强调指出,容纳量的研究将成为海洋可持续发展研究的一个基本内容。有人甚至认为养殖容量的研究与最终解决,将是我国海水养殖的第三次飞跃。80年代以来,欧、美学者从营养动力学和水动力学的角度研究养殖容纳量,根据水域的能量收支交换和个体营养需求等建立模型,估算某特定海域某养殖种类的容纳量。国内的养殖容量研究可以说处于起步阶段。90年代以来,以叶绿素a作为有机碳供应指标,对局部海域进行研究,如山东桑沟湾养殖容量估算、浙江象山港对虾增殖放流量估算以及福建厦门海域贝类养殖容量研究等。但内湾海水网箱养鱼的养殖容量尚未见研究报道。为了科学地调整布局,优化组合,实现其可持续发展,养殖容量研究势在必行。应研究养殖海域的营养动力学与营养循环、生态系统对养殖对象的支持能力、养殖对象对生态系统的影响、初级生产力及其动态变化规律、养殖区海水交换特征以及养殖种类摄食生理及生长过程能量收支等,建立海域养殖容量估算和预

测模型,最终建立起养殖容量数据库和信息系统。由于环境的不稳定性,特定海域的养殖容量往往不是一个常数,因此有时要确定某一特定海域养殖容量的绝对值较困难,在生产实际中,可根据某些指标,如理化因子、初级生产力、食物链营养级等来观察海区容量的相对变化,采取合理养殖密度,以保持产量稳定,减少病害及死亡,提高养殖的经济效益和生态效益。

### 3.2 开发优良品种、保护种质资源

我国南方海水网箱养殖的鱼类种类比较多样化,其中不乏优良品种。如石首鱼科的大黄鱼、眼斑拟石首鱼、状黄姑鱼,由于大批量育苗技术的突破,年育苗量达到千万尾至十几亿尾,极大地推动了其网箱养殖的迅速发展,使这3种鱼的养殖量占据全国的“半壁江山”以上。其他如网箱养殖的石斑鱼类、笛鲷、裸颊鲷、军曹鱼、鲷鱼、卵形鲳鲹、鱼、褐毛鲷和浅色黄姑鱼,虽已人工育苗获得成功,但育苗量还远不能满足网箱养殖需求,应突破批量育苗关。珍稀品种驼背鲂、黄唇鱼的人工育苗技术研究尚未开展。星斑裸颊鲷、斑石鲷、点带石斑鱼、龙胆石斑鱼、巨石斑鱼和四指马鲛等优良品种的人工育苗也尚未解决,网箱养殖用的种苗大量从境外引进或捕自自然海区。应加强上述种类的人工繁殖和育苗技术研究,突破批量育苗,以满足南方海水网箱养殖的需求。在指导思想,应改变片面强调上“拳头产品”的观念,重视养殖种类的多样化,增加市场供应的花色品种,减少单品种产量过高的市场风险。

适于北方网箱养殖的优良品种目前仍很少。这几年北方陆上工厂化养殖牙鲆、大菱鲆等开发力度较大,海上网箱养殖优良品种的开发力度相对不足。星鲈和石鲈都是较适于北方海上网箱养殖的高档优质鱼类,耐低温能力和生长速度优于牙鲆,可直接在海上越冬。石鲈苗种培育在山东荣成已获成功,育出稚鱼15000尾,今后应进一步扩大育苗量,推广养殖。眼斑拟石首鱼也是一种广适性、速生长的优良品种,商品鱼可出口韩国,山东荣成已试养成功,在进一步解决当年养成主要技术的基础上,可望成为花鲈养殖的替代品种。美洲条纹狼鲈及其杂交种,是世界公认的优良养殖种类,具有广温、广盐、生长快、抗病和抗逆性较强等优良性状,经驯养,可望在北方海区网箱落户。大西洋鲑是世界上海水鱼类选择育种最成功的种类,鱼苗经2a养殖可达5kg,国内已有引进和养殖成功的例子,是北方海水网箱很有潜力的养殖种类。

此外,宜应用生物技术选育速生长、抗病毒、抗逆性好的优良新品种。日、美、加等国应用生物技术培育出一些鱼类新品种,生长速度可提高30%,有的甚至好几倍,对促进鱼类养殖的快速发展显示出极

端重要性。我国这方面工作相对滞后,建国以来,淡水养殖动物选育的良种,在全国较有影响,产生较大经济效益(比普通种增产30%以上)的仅有20多种,经国家认定注册的只有10多种,远远落后于农作物新品种的选育(近5000个)。海水鱼类的良种选育则更少,迄今仅全雌牙鲆、虹鳟的雌核发育、转基因真鲷等获得一些成果,海水鱼类的多倍体诱导被列入国家海洋863计划。到目前为止,全国还没有专门的海水鱼类良种选育设施和良种场,也没有一个经国家认定注册的优良新品种。今后应进一步加强海水鱼类良种选育的基础理论研究和应用开发研究,建立良种选育中心,应用基因工程、细胞工程等海洋高新技术,加速培育适合我国海区网箱养殖的优良鱼类新品种,促进海水鱼类网箱养殖良种化进程。

对目前一些已养殖种类由于近亲交配、累代养殖出现的杂合度降低、遗传力减弱、抗逆性差和性状严重退化等问题,要引起足够重视。应采取“复壮”措施,建立优良种类原种场,构建和保持遗传多样性高水平的种质资源库,重点开发国内原产良种,适当而适时地引进国外优良养殖品种,但要严格进口审批手续,并做好引进前、中、后的跟踪管理。人工繁殖和育苗应重视群体的遗传保护,选择足够数量(应50对以上)的优良性状亲本,并定期更换亲鱼群体,定期引入野生群体,使优质种苗的供应得以保证。我国引进的大菱鲆、尖吻鲈等,因引进的数量不够多,也应采取种质资源保护措施。

### 3.3 建立环境管理体系,加强养殖水环境保护

水环境质量是水产养殖业三大主要物质基础之一。目前我国养殖海区受工业污染、农业污染和生活污染以及养殖自身污染的共同影响,养殖水环境条件日益恶化,情况十分严重,养殖水环境的治理和保护已是刻不容缓。政府应严格控制“三废”的治理标准和排放量,使养殖海区的外源性污染减少到最低限度。90年代以来,国内外工业企业都在逐步应用和推广“国际环境管理体系”(ISO14000),但全世界的水产行业对此未予足够重视,只有英国等少数发达国家在水产养殖、水产品加工业开始推行。如建立了海水网箱养殖和淡水池塘养殖的环境管理程序,对投饵的各个环节规定严格的程序,定期检查水体及底质的残饵和固体废物,科学制定投饵量和投饵时间。我国为了统一领导ISO14000的认证工作,于1997年成立了中国环境管理体系认证指导委员会,标志着我国推行ISO14000系列标准工作迈出了重要一步。我国的海水鱼类网箱养殖要实现可持续发展,也必须重视养殖水环境的管理和保护工作,要关注ISO14000的发展与应用,尝试建立自己的环境管理体系,最终应与ISO14000接轨。

应发展我国的海水养殖水环境生物监测技术,包括养殖水环境的生化标记指标研究和赤潮监测技术,建立水环境污染预警系统;应发展我国海水养殖对环境污染的评价技术,建立定量评价指标,摸清海水养殖对水环境的影响程度,并掌握其变化规律,为海水养殖环境优化和调控提供科学依据;应发展我国海水养殖水域生态环境调节技术,建立海水鱼类养殖清洁生产环境保障技术、生物降解菌大规模培养技术、养殖水域有机污染物生物降解技术以及退化生态系统的生物修复技术,提出网箱养鱼清洁养殖模式、养鱼网箱残饵收集方法和清除网箱底部沉积物的方法,建立养殖生态环境调控理论体系,为海水鱼网箱养殖提供环境保障。

### 3.4 加强病害防治

病害问题依然是制约我国海水鱼类网箱养殖的最主要因素之一。随着网箱养殖的迅猛发展,养殖水环境的不断恶化,海水网箱养殖鱼类的病害有不断扩大、增多的趋势,几乎所有养殖种类都已受到病害的侵害和困扰。引起海水养殖鱼类病害的病原体主要有病毒、细菌和寄生虫三大类,此外还有真菌性、营养性及污染引起的疾病。目前对病毒性病害停留在病原学、病理学研究阶段,以电镜观察、疾病描述和病原初步分离确定为主,尚无有效药物和治疗方法。对细菌性疾病研究较多,包括病原学、病理组织学、流行病学,逐步开发出一些病原的快速检测技术,如ELISA、荧光抗体、SPA同凝集等。在防治方面多采用抗菌素、抗生素等进行药浴或制成药饵投喂,有时治疗效果尚可,有的效果不佳。在寄生虫病方面,多采用呋喃剂、福尔马林、硫酸铜或淡水浸浴,有一定疗效。总体看,我国海水鱼类病害防治技术水平较低,问题较多。现养殖生产中使用的渔药很多是原料药,且大部分由兽药、农药、化工产品移植而来,多属人兽共用药物,适合鱼类特点的专用渔药不多。渔药生产单位对药效学、毒理学、药代动力学及对养殖环境影响等基础性研究重视不够,影响产品质量的提高。养殖生产中施用药物缺乏针对性,施用剂量的确定缺少药理学依据。普遍存在滥用、误用现象,药物残留比较严重。

要进一步加强海水养殖鱼类主要疾病的病原生物学和流行病学研究,开发病原的商品化快速检测技术,如单克隆抗体、DNA探针、PCR诊断试剂盒等,建立养殖鱼类重大病害检测系统,逐步实现对重大病害的预测和跟踪。要加强鱼类免疫学及免疫技术研究,掌握主要养殖种类的免疫防疫特点,针对重大的鱼类疾病,研制生产相应的疫苗,推广应用,使之在养殖鱼类病害预防中发挥重要作用。要加强药效学、毒理学、药理学、药代动力学研究,开发广谱、高效、低

毒、无污染、无残留的绿色生物渔药,包括养殖环境改良剂,免疫增强剂,抗微生物制剂,生物制剂及中草药制剂。实行渔药归口行业管理,建立渔药行业标准(现只有企业标准),并加强质量检验和监管,制定渔药安全使用规范,建立渔药安全使用保障体系。在病害防治实践中,要强化以防为主的方针,注重科学管理和健康管理。渔业主管部门应组织“渔药手册”的学习和宣传,各地病害防治中心和渔用药物管理和试验站应加强对养殖从业人员的业务指导,掌握合理的养殖密度,科学的渔药使用方式,规范病鱼、死鱼的处理,以防造成重复污染,要定期对养殖鱼进行体表消毒处理,或投喂增强鱼类防病、抗病能力的药饵。通过上述种种措施和办法,使我国的海水鱼类养殖业逐步摆脱病害的困扰。

### 3.5 加强鱼类营养研究和渔用饲料开发技术研究

饲料也是水产养殖业三大主要物质基础之一,而营养研究则是饲料开发的基础。我国水产动物营养研究始于80年代初,起步较晚,与国外先进水平的差距较大。80年代以来,仅对淡水养殖的几种主要种类开展过较系统的营养需求研究,而海水养殖鱼类的营养研究则十分薄弱,研究缺乏系统性,对微量营养元素的营养作用及其需要量缺乏深入了解,对消化生理、营养生理等应用基础研究重视不够。与营养研究相比,近些年来,我国渔用饲料开发速度较快,目前全国渔用饲料厂600家左右,年产各类渔用饲料 $300 \times 10^4$  t,其中约60%左右产品质量较好。但海水鱼饲料仅20 000 t,比例很低。目前渔用配合饲料主要问题是产品不规范,没有统一的鱼类营养标准,添加剂的研究开发重视不够,对饲料原料的开发和质量监控也不够重视。应研究制定我国水产动物营养与饲料研究方法和操作规程,规范实验设计和营养试验技术,试验饲料配方技术和试验结果处理技术。应系统研究海水鱼主要养殖种类的营养需求,为饲料配方设计优化和筛选提供科学依据。加强饲料添加剂的研制开发与管理,着重开发具有诱食、促生长、抗菌防病功能的添加剂如中性植酸酶、复合酶、诱食剂、抗氧化剂、水中稳定维生素、微量元素及新型抗生素等。从绿色植物中提取生物活性添加剂对海、淡水鱼类的饲养试验显示出具有提高免疫、防病和促生长的功能。近几年利用中药饲料添加剂防治鱼病取得一些成功,应加强中药的药理研究,采取高新技术提取和精制一些中药的有效成分,加大中药饲料添加剂的开发力度。依照1999年5月国务院颁布的“饲料和饲料添加剂管理条例”,依法加强对饲料添加剂审定、生产和经营的管理。要

研究开发新型饲料蛋白源,可通过单细胞蛋白、植物蛋白的脱毒和改质,提高植物蛋白的消化率、利用率,以取代部分鱼粉。头足类内脏是鱼类很好的诱食剂原料,高度不饱和脂肪酸和脂溶性维生素的含量也较高,我国年消费头足类约 300 000t,有 30 000 t 的内脏粉加工前景,应合理开发利用。应重视鱼类营养免疫学和营养病理学研究,掌握营养素对鱼类免疫力的影响,通过营养学方法提高养殖鱼类的免疫力和抗病力,开发具有免疫功能的饲料,有可能解决鱼类性早熟、抗应激能力下降等可能与营养有关的问题。应开展环境营养学研究,掌握饲料组成与水环境相互作用关系,开发低污染的绿色环保饲料,适当降低饲料中氮和磷的含量,以减少饲料对养殖水环境的污染。

### 3.6 加强政府宏观调控和管理,保证海水鱼网箱养殖的可持续发展

必须强化政府和渔业主管部门的宏观调控与管理,坚持开发与养护并举,利用与保护并重的方针,加强海域的综合管理,做好海域功能区域的规划,实现海域的有序、有度利用。应在海区养殖容量研究基础上,合理调整养殖布局 and 结构,将沿海内湾过于密集网箱疏稀,推广 10~50 m 等深线的大型抗风浪和浮沉式网箱。这方面国外已有一些可资借鉴的法规,

如日本限定网箱养殖面积不能超过渔场面积的 1/5,建议网箱中每  $m^3$  水体最佳养殖密度为鲆鱼 1.6 kg,真鲷 3 kg;挪威规定每个网箱养殖场的间距须大于 1 km,养殖场和育苗场的最小间距为 3 km,每个养殖单位必须有 2~3 个养殖区,其中 1~2 个养殖区闲置备用,同一海域只能连续使用 2 a。我国也应借鉴国外的经验,制定适于我国国情的海域规划、使用的法律法规,尽快实行海域使用证和养殖许可证制度,依法管海。

应重视海水鱼类网箱养殖从业人员养殖技术、科学管理水平以及环境保护意识的提高,渔业主管部门应定期组织从业人员的业务培训,宣传有关用海管海的法律法规,推广科学的养殖模式和管理经验,要求从业人员持证上岗。可以组织成立病害防治网络和养殖技术协会之类的群众组织并加强业务指导。通过政府和渔业主管部门的宏观调控、管理和指导,规范养殖生产,提高业者素质,提高养殖的经济效益和生态效益,使海水鱼类网箱养殖顺利走上可持续发展的轨道。

参考文献(略)

(本文编辑:刘珊珊)

DEVELOPMENT OF  
KEY SCIENCES

(中国科学院海洋研究所)

沈志良:

## 长江和长江口 N 的生物地球化学研究 ——关于长江和长江口无机 N 的主要来源

由中国科学院 KZ952 - S1 - 421 号,国家自然科学基金资助项目 49876020 号和国家专项 SX(97) - 11 - 4 资助,根据 1997~1998 年长江和长江口河水和雨水的现场调查、历史资料以及相关文献,定

量分析长江流域无机 N 的主要来源、分配途径、分配比例和输送通量。估算表明:

(1) 长江和长江口无机 N 主要来源于降水、农业非点源化肥 N 和土壤 N 流失以及点源工业废水和

# 核心科学家

研究动态

生活污水排放等,三者分别占长江口无机 N 输出通量的 62.3%、18.5%和 14.4%,降水输入是长江口高含量无机 N 的主要来源。

(2) 降水中的无机 N 主要来源于化肥气态损失,动、植物过程和矿石燃料燃烧释放的 N。实际上,化肥 N 的气态损失和农业非点源流失大约占长江流域年化肥 N 使用量的 60%,这是控制长江口高含量无机 N 的关键因素。

(3) 降水中的无机 N 不可能全部进入长江,大部分将滞留在长江流域,这一比例大约为 63.2%,进入长江的 N 只占长江流域全部降水 N 的 36.8%,也可能还要少。