

· 专题——我国水生耐盐中药资源调查与沿海区域特色资源产业发展 ·

【编者按】水生、耐盐中药资源是我国中药资源的重要组成部分，因其具有独特的药用价值、经济价值和生态价值，近年来广受关注。长期以来，我国水生、耐盐中药资源家底不清、物种生态特性不明，特别是随着相关生态区域社会、经济的快速发展，水生耐盐药用生物资源的生存环境受到很大的影响，无序利用现象严重，已成为制约中药资源可持续利用的瓶颈。由南京中医药大学牵头的国家中医药行业专项“我国水生、耐盐中药资源的合理利用研究”已于2018年顺利通过验收，随着第四次全国中药资源普查的全面实施，相关技术方法得到进一步推广应用。在此基础上，由段金廛教授领衔的“适宜于我国东部沿海地区的水生、耐盐药用生物资源调查技术和方法体系的创建和应用”项目于2020年获中国中医科学院中药资源普查科学技术奖一等奖。本刊特邀江苏、辽宁、山东、福建、广东等省专家撰文，对我国东部沿海地区水生、耐盐药用植物资源的生态特征、种群分析、资源保护和开发利用现状等方面成果进行梳理总结，并进一步针对水生、耐盐中药资源的保护、管理、开发利用提出相关建议和发展策略，为相关区域合理规划和布局水生、耐盐特色中药材生产，保持区域特色资源优势，推动中药资源经济产业的可持续发展，服务乡村振兴国家战略提供科学依据和必要支撑。

【策划专家】段金廛（1956—），南京中医药大学教授，博士生导师，国际欧亚科学院院士。全国中医药杰出贡献奖获得者，全国优秀科技工作者，入选全国首届“岐黄学者”中医药领军人才工程，入选“全国高校黄大年式教师团队”。现任中药资源产业化与方剂创新药物国家地方联合工程中心主任、国家中医药管理局中药资源循环利用重点研究室主任、江苏省中药资源产业化过程协同创新中心主任，兼任国家中医药管理局中药材产业扶贫行动技术指导专家组组长、中国自然资源学会中药及天然药物资源研究专业委员会主任委员、中国中药协会中药资源循环利用专业委员会主任委员等。



长期致力于中药资源化学及资源循环利用、方剂功效物质及中药配伍关系研究，作为国家“973”计划项目首席科学家，先后承担国家“973”计划、国家科技支撑计划、国家自然科学基金及省重大基础研究项目等20余项；在国内外发表学术论文560余篇，其中SCI收录260余篇；近年来8次入选Elsevier中国高被引学者榜单。作为第一获奖人荣获国家科学技术进步二等奖2项，部、省级科学技术一等奖6项。

我国水生药用动物资源调查与产业发展策略探讨[△]

戴仕林，李秋娟，石遵睿，张琳，段金廛，吴啟南*

南京中医药大学 药学院/江苏省中药资源产业化过程协同创新中心/中药资源产业化与方剂创新药物
国家地方联合工程研究中心，江苏 南京 210023

【摘要】在第四次全国中药资源普查药用动物专项调研基础上，针对具有多样性的水体生态环境及种类丰富的水生药用动物资源，结合现代生物学技术与传统调查方法，开展了水生药用动物野生资源和养殖资源调查，为水生药用动物资源普查技术规范的制定和完善提供参考。针对我国水生药用动物养殖过程中存在的种质退化、饲料供应短缺、养殖环境污染等问题及形成原因进行分析，提出以野生资源保护为基础、水生药用动物研究为核心、生态化养殖为方向的产业可持续发展策略。

[△]【基金项目】国家中医药管理局全国中药资源普查项目（GZY-KJS-2018-004）；中央本级重大增减支项目（2060302）

*【通信作者】吴啟南，教授，研究方向：中药品质评价；Tel: 025-85811511，E-mail: Wuqn@njucm.com.cn

[关键词] 中药资源普查; 水生药用动物; 产业发展

[中图分类号] R282 [文献标识码] A [文章编号] 1673-4890(2023)02-0227-08

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20220527004

Discussion on the Survey of Aquatic Medicinal Animal Resources and the Industrial Development Strategy in China

DAI Shi-lin, LI Qiu-juan, SHI Zun-rui, ZHANG Lin, DUAN Jin-ao, WU Qi-nan*

School of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine/Jiangsu Collaborative Innovation Center of Chinese

Medicinal Resources Industrialization/Local Collaborative Engineering Center of Chinese Medicinal Resources

Industrialization and Formulae Innovative Medicine, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China

[Abstract] On the basis of the special survey of medicinal animals in the Fourth National Survey of Chinese Materia Medica Resources, according to the diverse ecological types of water bodies and the abundant aquatic medicinal animal resources, combining modern biological technology with traditional survey methods, a survey on the wild resources and aquaculture resources of aquatic medicinal animals was conducted, so as to provide a reference for the formulation and improvement of technical specifications for the general survey of aquatic medicinal animal resources. The problems and formation of germplasm degradation, feed supply shortage, aquaculture environmental pollution in the aquaculture process of aquatic medicinal animals in China were analyzed, and a sustainable development strategy based on the protection of wild resources, with the research of aquatic medicinal animals as the core and ecological aquaculture as the direction was proposed.

[Keywords] survey of traditional Chinese medicine resources; aquatic medicinal animals; industrial development

作为传统中医药学的重要组成部分,动物类中药有着悠久的应用历史,因其具有疗效好、活性强、应用广、潜力大的特点,越来越受到国内外学者的关注。水生药用动物是指生活史的全部或大部分时间生活在水体环境中的药用动物,包括内陆淡水药用动物和海洋药用动物^[1]。《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)2020年版收载动物类药材51种,其中水生动物类药材14种,来源于39种水生药用动物^[2]。除用于中医临床外,水生动物类药材也是中成药生产的重要原料,如芪蛭胶囊和清开灵注射液中使用的水蛭、珍珠等^[3-4]。

我国药用动物资源调查和研究始于20世纪60年代,在全国中草药运动的基础上,由中国中医科学院、长春中医药大学、重庆市中药研究院等10余家单位经过多年调研和整理,编写出版了《中国药用动物志》,为药用动物资源的保护和利用打下坚实基础^[5]。距第三次全国中药资源普查已有30多年,国内的中药材野生资源、种养殖产区及市场供求等情况均发生巨大变化^[6]。为摸清中药资源家底、加强中药资源监管和信息网络建设、保证资源的可持续利用,国家行业主管部门于2011年组织并开展了第四次全国中药资源普查工作^[7]。为全面摸清药用动物资源状况,在江苏省中药资源普查中设立药用动物资源普查专项,探索

药用动物资源普查技术和方法。在完成江苏省药用动物资源普查基础上,本课题组又承担了全国药用动物资源普查-水生药用动物资源专项调查。本文根据全国药用动物资源普查的总体要求,在传统动物药资源调查的基础上,结合现代生物技术,探索水生药用动物资源调查的技术和方法,保证调查工作的质量,为后续水生药用动物资源保护和利用提供科学支撑。

1 我国水资源概况

作为海洋大国,我国拥有渤海、黄海、东海及南海,自北向南呈弧状分布,跨温带、亚热带和热带,海域总面积约470万km²,海岸线总长3.2万km²^[8]。大陆地域宽广,地形、气候差异大,形成了松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江及珠江七大水系,流域面积为437.29万km²^[9]。另外,湖泊、湿地资源分布广阔,形成了以东部平原、蒙新高原、云贵高原、青藏高原及东北平原与山区的五大湖区,总湖泊流域面积约为9.1万km²^[10],丰富的海洋和内陆水资源为水生药用动物的生长和繁衍提供了必要条件。

2 水生药用动物资源调查

伴随着社会经济发展和城市化进程,工业及城市生活污水排放,化肥、农药的广泛使用造成近海

及内陆水环境污染,水生动物赖以生存的栖息地环境遭到破坏,野生种群数量减少,严重影响了水生药用动物资源供给^[10-11]。

本次调查对沿海、江河、湖泊等水域中水生药用动物资源的种类、数量分布、栖息地环境、种群结构、受威胁现状(如水环境污染、栖息地破坏、滥捕等)等进行调查和记录,掌握水生药用动物资源现状;分析在社会经济发展和生态环境变化的背景下水生药用动物资源的变化规律,为其栖息地筛选和野生资源保护提供科学依据。

3 调查技术和方法

3.1 文献整理与挖掘

查阅历代本草著作,梳理和总结水生动物类中药的应用历史和变革情况,对现代药用动物专著及相关文献中记载的水生药用动物种类、资源分布等情况进行整理,为野外调查方案的制定和工作开展提供了参考。

3.2 水生药用动物野生资源调查

野生资源调查是中药资源调查的重要方式之一,是资源学理论必要的实践手段^[12]。根据水生药用动物栖息地生态的特殊性、种类和分布的空间差异性,采取不同方法开展水生药用动物野生资源调查。

3.2.1 捕捞法 捕捞法主要适用于药用鱼类资源的调查。通过文献梳理和统计,药用鱼类在水生药用动物资源种类的占比超过40%且生活习性多样,在水环境中处于多个生态位。因此,在调查时需针对不同的调查对象及生活习性,选择合适的调查时间;参考历史数据和水文条件,合理设置样点并分析附近水域的生态环境,选择合适的捕捞工具进行调查,记录种类、数量等信息。鲢鱼、鳙鱼等生活在水体中上层鱼种可采用拉网捕捞法;鲤鱼、鳊鱼等生活在水体底层鱼类宜采用卡钩捕捞法^[13]。捕捞法对禁止捕捞天然渔业资源的水域不适用。

3.2.2 底质采样法 底质采样法常用于底栖类药用动物资源的调查。底栖动物指生活史的全部或大部分时间聚集在水体底部的水生动物群,是水生药用动物资源的重要组成部分,常见的底栖动物包括软体动物、环节动物等,如三角帆蚌、珍珠贝、田螺、水蛭等。调查前需对调查水域进行全面了解,包括面积、深度、底质等,根据生境选择具有代表性的

样点与合适的采样器具。对于螺、蚌等大型底栖动物,可以选择三角拖网进行采集;水蛭等底埋型动物由于身体能够伸缩并钻入底泥生活,需采用彼得生采集器采取底质样品,经淘洗、编号分装后带回室内进行鉴定、统计和分析。对于小型底栖生物,亦可采用扰动较小的多管采样器,又被称为采芯样法,从取样器中采芯样,进行记录分析^[13-14]。

3.2.3 地笼捕捞法 地笼捕捞法适用于节肢类药用动物(如虾、蟹等自由移动的底栖动物)调查。根据水文条件、种群密度等背景信息或预实验结果,确定作业时间、地笼规格和投放数量并制定实施方案。根据方案要求按时回收地笼,对水生药用动物种类进行统计鉴定^[15]。

3.2.4 环境DNA条形码(eDNA metabarcoding)技术 环境DNA于20世纪80年代被提出,最早用于环境样品(水样、沉积物、土壤等)中微生物DNA的提取^[16]。环境中动物脱落的细胞或排泄过程中脱落的皮肤、尿液及粪便均能作为环境DNA的来源,用以证明物种在环境中的存在^[17]。由于动物的皮毛、排泄物、黏液、细胞组织等可以在环境中存留一段时间,因此可以通过eDNA metabarcoding进行遗传检测来确定物种^[18]。eDNA metabarcoding技术是在DNA条形码技术的基础上演化而来,用于监测环境中的不同生物^[19]。DNA条形码技术已被成功用于中药基原鉴定,其中基于线粒体细胞色素C氧化酶I亚基(CO I)序列的DNA条形码技术被《中国药典》2020年版收录,用于蕲蛇等动物药材的鉴定^[2]。

3.3 水生药用动物养殖资源调查

我国水生药用动物驯化养殖的历史悠久,通过人工养殖提高了动物药材的产量,解决了供需矛盾。例如,龟板、鳖甲、珍珠等品种的养殖规模已经能够满足中医临床需求。通过养殖资源调查,对水生药用动物的养殖品种、规模、技术及养殖过程中存在的问题等进行整理和总结,为水生药用动物资源区划及规范化生产提供参考。

3.3.1 基于互联环境的养殖资源调查 随着互联网、大数据、云平台为代表的信息技术的发展,以及5G技术的成熟和普及,企业网站、微信公众号、直播平台已渗透到各行各业,填补了行业间的信息洼地,成为地方政府部门、养殖企业和养殖户新的宣传窗口。通过平台与养殖行业的参与者、管理者进行交流,获取区域内水生药用动物养殖的品种、历史、规

模及产量等方面的信息,为实地走访提供参考。

3.3.2 实地走访调查 在网络信息调查的基础上,针对养殖过程中存在的问题,深入到某一地区或某一种药用动物养殖场开展深入调查,详细记录药用动物养殖的品种、生物学特性、生长环境等信息,在验证网络信息准确性的同时,获取栖息地环境、病害等信息。将有条件的养殖企业纳入中药材生产统计平台,对养殖情况开展持续跟踪。

4 调查结果

4.1 文献调查

4.1.1 水生动物药的本草考证 通过对《神农本草经》《证类本草》《本草纲目》等7部本草著作中收录的动物类中药考证和分析,共梳理出珍珠、牡蛎、水蛭、田螺、文蛤等水生动物药158种(表1)。

4.1.2 水生药用动物资源及分布状况 在对7本现代动物药专著及《中华本草》中水生药用动物种类进行整理后发现,随着动物药的研究范围由陆地逐步向海洋延伸,水生药用动物种类明显增加(表2)。据统计,2019年有49个来自海洋生物的活性物质或衍生物被批准上市或进入临床试验阶段,其中38个来自海洋动物。

根据陆栖脊椎动物地理分布,中国大陆动物区系可分为东北、华北、蒙新、青藏、西南、华中及华南7个区,分属古北界和东洋界^[34]。由于水生动物生存环境的特殊性,其分布区按照水系划分更为合理,以第三次全国中药资源普查数据为基础,将水生药用动物资源种类按7大内陆水域和4个海洋水域系进行整理归纳(表3)。

4.2 水生药用动物野生资源调查

4.2.1 常规方法调查 江苏省内平原辽阔、水系发达,主要有淮河水系、沂沭泗水系、长江干流水系及

太湖水系,水域面积占省域面积的16.9%,既有太湖、洪泽湖等淡水湖,又有众多的河流和湿地。丰富的水资源和多样的生态环境为水生药用动物的繁衍、栖息提供了条件。在前期文献调查基础上,根据水体种类及分布,选择南京市浦口区三岔水库、淮安市淮安区灌溉渠及扬州市高邮湖作为试点,对水生药用动物野外资源进行调查,结果见表4。

4.2.2 eDNA metabarcoding 技术检测调查 eDNA metabarcoding 技术在生态学领域的多个方面被广泛使用^[35-36]。底栖动物是生态环境监测和评估的主要目标生物类群之一,金珂等^[35]利用eDNA metabarcoding 技术,对太湖底栖动物进行了监测,共鉴定出底栖动物107种,包括软体动物、环节动物和节肢动物,其中69种通过形态学鉴定得到验证,确认了eDNA metabarcoding 技术的可靠性,并依此对太湖的生态环境健康状况进行评估。濒危物种监测以目视观察法为主,但容易受到天气、观察时间等因素影响,吴昀晟等^[37]利用eDNA metabarcoding 技术,对濒危动物长江江豚进行监测,结果表明,eDNA metabarcoding 技术不仅具有较高的准确性,还具有更高的灵敏性,可作为江豚等濒危物种种群调查的有效辅助检测手段。此外,eDNA metabarcoding 技术在渔业资源评估、入侵物种监测等方面也有应用^[38-39]。

目前,可用eDNA metabarcoding 技术进行监测的水生生物种类包括刺胞动物门、软体动物、环节动物、节肢动物及脊索动物的鱼类、两栖类,基本涵盖了水生药用动物种类。虽然eDNA metabarcoding 技术也存在DNA富集难度大、易降解及聚合酶链式反应(PCR)的偏向性导致的假阳性等问题^[40],但随着采样和测序技术的进步,eDNA metabarcoding 技术将在水生药用动物资源调查及动态监测方面有更广阔的应用前景。

表1 不同历史时期本草著作中记载水生动物药种类

历史时期	著作	代表品种	水生动物药种类/个	动物药种类/个	水生动物药种类占比/%
秦汉	《神农本草经》 ^[20]	水蛭、牡蛎、乌贼鱼骨、文蛤、蚌、海蛤、龟、鳖	19	67	28.36
唐代	《新修本草》 ^[21]	甲香、石决明、石花、鲤鱼、紫贝齿、珊瑚	31	128	24.22
	《本草拾遗》 ^[22]	海马、文鳐鱼、海螺、鲎、鼈、海鳐鱼、海螺、海月、疟龟	17	111	15.32
宋代	《证类本草》 ^[23]	紫梢花、柔鱼、车渠、蟻、鲤鱼、鲔鱼、海鳗、鲙鱼、鳊鱼	10	67	14.93
明代	《本草纲目》 ^[24]	海燕、鲛鱼、鼈、淡菜、章鱼、蛭、黄鲠鱼、海镜、贡龟、金鱼	42	461	9.11
	《本草品汇精要》 ^[25]	珍珠、鲈鱼、虾、田中螺	73	306	23.86
清代	《本草纲目拾遗》 ^[26]	龙虱、水虿、牛鱼、虾姑、西楞鱼、鲃鱼	43	160	26.87

表 2 现代文献中记载的水生药用动物种类

著作	水生药用动物种类/个	药用动物种类/个	水生药用动物种类占比/%
《中国动物药》 ^[27]	128	510	25.10
《中国海洋湖沼药理学》 ^[28]	295	760	38.82
《中国动物药志》 ^[29]	319	1500	21.27
《动物本草》 ^[30]	766	1731	44.25
《中国动物药资源》 ^[31]	775	2215	34.98
《中华海洋本草》 ^[32]	1479	1479	100.00
《中国药用动物志》 ^[5]	1311	2341	56.00
《中华本草》 ^[33]	361	667	54.12

4.3 水生药用动物养殖资源调查

本课题组在对江苏省常见水生药用动物养殖资源信息收集整理后,以《中国药典》2020年版收载的品种为重点,进行了实地走访调查,记录养殖品种、分布区域、规模、流向及存在的问题,结果见表5。

5 分析与讨论

作为地球上最大的生态系统,水环境在全球气候调节及保持生物多样性等方面发挥了重要的作用,

表 3 内陆水系及海域水生药用动物资源分布

水系或海域	面积/km ²	分布区域	代表性水生药用动物
松花江	545 800	黑龙江、吉林	鳊鱼、鲢鱼、乌鳢、珍珠蚌、东北蜊蛄、日本七鳃鳗、史氏鲟、大麻哈鱼、贝氏鲶
辽河	229 400	河北、内蒙古、吉林、辽宁	花鳅、华北蟾蜍、大银鱼、贝氏鲶、长吻鲢、黑龙江鲢鳊
海河	318 000	天津、北京、河北、山西、山东、河南、内蒙古、辽宁	黄边大龙虱、脆针海绵、黑斑侧褶蛙、居氏银鱼、有明银鱼、香鱼、松江鲈鱼
黄河	752 400	青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东	鱼怪、中华鲟、大银鱼、厚唇裸重唇鱼、花斑裸鲤、黄河裸裂尻鱼、蒙古鮠、翘嘴、红鮠、宽鳍鱲、高体鲂、彩石鲂、大鳍鱮、越南鲃、兴凯鲃、短须鲃、黄河鲤
淮河	274 700	河南、安徽、江苏	中华圆田螺、梨形环棱螺、铜锈环棱螺、大鲃、蚌形无齿蚌、圆顶珠蚌、锯齿华溪蟹、东方蝾螈、中国雨蛙、乌龟、黄缘闭壳龟、乌梢蛇、三角帆蚌、褶纹冠蚌、宽体金线蛭、巨首楔蚌、圆头楔蚌、扭蚌、中华大蟾蜍、平胸龟、黄喉拟水龟
长江	1 800 000	青海、四川、西藏、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海	背瘤丽蚌、刻纹蚬、曼氏无针海蛭、龟足、中华鲟、白鲟、鲟、刀鲚、花鳊、尖头鮠、拟尖头鮠、翘嘴红鮠、银鮠、黄尾鮠、方氏鮠、宽鳍鱲、鮠、泉水鱼、华鲮、野鲮鱼、鲃、唇鲮、中华鲂、大鳍鱮、墨头鱼、大鳞鲂、长吻鲢、鳊、花姬蛙、黄鳝、虎纹蛙、平胸龟、鼋、白暨豚、伪虎鲸、江豚、中华纹胸鮡、太湖新银鱼
珠江	452 600	云南、贵州、广西、广东、湖南、江西	花刀蛭、蒙古鮠、银鮠、宽鳍鱲、鮠、泉水鱼、华鲮、野鲮鱼、鲮、长吻鲢、彩石鲂、大鳍鱮、越南鲃、短须鲃、鮠、鲢、黄颡鱼、黄鳝、中华白海豚
渤海	77 300	辽宁、河北、天津、山东	毛蚶、曼氏无针海蛭、黄海葵、厚壳贻贝、四角蛤蜊、长蛸、短蛸、马粪海胆、小黄鱼、蓝点马鲛、黄鲛、异足索沙蚕、缢蛭、长竹蛭、大竹蛭、中国对虾、三疣梭子蟹、鲎、海鳗、真燕蛭、鲢、黄姑鱼、马面鲀、罗氏海盘车
黄海	381 200	辽宁、山东、江苏	针乌贼、厚壳贻贝、四角蛤蜊、长蛸、短蛸、紫海胆、小黄鱼、大黄鱼、蓝点马鲛、黄鲛、异足索沙蚕、缢蛭、长竹蛭、大竹蛭、三疣梭子蟹、鲎、海鳗、真燕蛭、鲢、黄姑鱼、马面鲀、小须鲸、长须鲸、瓶鼻海豚、伪虎鲸
东海	770 000	江苏、上海、浙江、福建、台湾	杂毛蚶、曼氏无针海蛭、大海马、刺海马、厚壳贻贝、短蛸、卵蛸、锦绣龙虾、粗吻海龙、舒海龙、棘冠海龙、小黄鱼、蓝点马鲛、银鲳、燕尾鲳、中国鲳、黄鲛、长螯活额寄居蟹、直螯活额寄居蟹、三疣梭子蟹、褐黄扁魮、鲎、海鳗、真燕蛭、鲢、黄姑鱼、马面鲀、北太平洋露脊鲸、灰鲸、大翅鲸、小须鲸、长须鲸、蓝鲸、抹香鲸、热带点斑原海豚、条纹原海豚、短喙真海豚
南海	3 500 000	广东、广西、香港、澳门、海南、台湾	杂色鲍、羊鲍、耳鲍、曼氏无针海蛭、刁海龙、拟海龙、大海马、刺海马、合浦珠母贝、珠母贝、大珠母贝、长耳珠母贝、美丽珍珠贝、长蛸、锦绣龙虾、银鲳、中国鲳、环纹货贝、大蛤蜊、长螯活额寄居蟹、直螯活额寄居蟹、日本蛸、海鳗、鲢、黄鲢、马面鲀、刺额短刺鲀、灰鲸、小须鲸、长须鲸

表 4 江苏省代表性区域水生药用动物野生资源

方法	调查水域	水生药用动物
捕捞法	南京市三岔水库	鲤、鲫、青鱼、草鱼、鳊、鲢、中华鲂、翘嘴鲃、鳊、团头鲂、黄颡鱼、三星龙虱、水龟、中华大蟾蜍
底质采样法	淮安市淮安灌溉渠	宽体金线蛭、三角帆蚌、背角无齿蚌、短皱矛蚌、中国圆田螺、中华圆田螺、梨形环棱螺、铜锈环棱螺、泥鳅、三星龙虱
地笼捕捞法	扬州市高邮湖	日本沼虾、中华绒螯蟹、锯齿华溪蟹、黄鳝、乌鳢、中华鲂、麦穗鱼、泥鳅

表5 江苏省重点水生药用动物养殖资源

养殖品种	养殖规模	地域分布	存在问题	流向
宽体金线蛭、柳叶蚂蟥	27 hm ²	扬州、南通、苏州、南京、淮安	病害（水肿）、饲料短缺	企业、药材市场
中华大蟾蜍	中等	苏州、盐城、南通、常州	饲料喂食问题	药材市场
中华草龟	中等	无锡、南京	产品推广困难、病害多发	水产市场、食品企业、药材市场
鳖	中等	扬州	病害（歪脖病、红底板）	水产市场、食品企业、药材市场
三角帆蚌	近年行业萎缩	无锡、南京、泰州	养殖过程中环境污染	水产市场、珠宝市场、化工企业、药材市场
大连湾牡蛎、近江牡蛎	25 hm ²	连云港、南通	大量贝壳资源的浪费	水产市场、食品企业、化工企业、药材市场
文蛤、青蛤	700 hm ²	南通、连云港	大量贝壳资源的浪费	水产市场、食品企业、化工企业、药材市场
毛蚶	30 hm ²	南通、连云港	大量贝壳资源的浪费	水产市场、食品企业、化工企业、药材市场
杂色鲍	40 hm ²	南通、连云港	大量贝壳资源的浪费	水产市场、食品企业、化工企业、药材市场

为水生动物的繁衍、生长和栖息提供了必要条件，孕育有水蛭、蟾蜍、乌龟、牡蛎、乌贼等各类水生药用动物1311种，占药用动物总数的56%，其中软体动物425种、鱼类428种^[5]；作为底栖生物，河蚌、螺蛳等软体类药用动物能够有效减少水中有机碎屑和无机颗粒，起到净化和稳定水环境的作用^[41-42]。但随着水环境污染的加剧，污染物总量超出了水体的自我净化能力，水生动物也面临生存危机，其中69%的淡水软体类动物存在灭绝风险^[36]。

5.1 水生药用动物养殖存在的问题

5.1.1 养殖过程中的种质退化 种质是药用动物产业发展的基础，我国在药用动物驯化与种质繁育方面取得了显著成果，如林麝的成功驯化及采用人工授精技术培育出茸鹿新品种^[43-44]。由于水生药用动物生殖行为和生长环境的特殊性，驯化和繁育技术瓶颈问题尚未得到有效解决。中华大蟾蜍是常用中药蟾酥的来源动物，人工驯化养殖始于20世纪80年代，随着养殖的迭代及水环境污染等影响，种质退化明显，主要表现为变态发育阶段幼体成活率低、生长缓慢，成年个体蟾酥产量下降，种苗长期依赖于野外捕获^[45]。此外在《国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物名录》中规范了中华大蟾蜍等药用动物养殖的来源及资质，一定程度上也影响了其种质的驯化和养殖^[46-47]。

5.1.2 饲料供应短缺 充足的饲料供应是药用动物养殖的必要条件。目前，国内已研发出鱼类、龟、鳖等专用饲料，但尚无宽体金线蛭、海马、蟾蜍等的专用饲料，限制了养殖的规模和药材产量。宽体金线蛭是中药水蛭的来源之一，也是主要的养殖品种，不同于以动物血液为食的日本医蛭和柳叶蚂蟥，

宽体金线蛭养殖过程中是以活体螺类为饲料，活体螺类以方形环棱螺 *Bellamya quadrata*（俗称螺蛳）为主。由于城镇化和工业化的高速发展给环境带来巨大影响，如水污染加剧、湿地功能退化等^[48]，螺蛳等底栖生物的物种数量也在减少。2013年起，为保护水生态、推进生态文明建设，国家和地方政府出台了一系列的法律法规，如《中国水污染防治法》《江苏省水域保护法》，对重点淡水湖和河道实施禁捕，并规定了捕捞螺蛳等底栖生物的违法行为。饲料供应的短缺，限制了水蛭产业的可持续发展。

5.1.3 养殖污染 稳定的水生生物群落是维持水环境健康的基础，健康的水环境又是水生药用动物养殖的必要条件。传统的集约化养殖过程中，肥料、农药和抗生素的大量使用超出了水体的承载能力，导致群落结构发生变化，进而引起水体富营养化等一系列污染问题，一定程度上限制了产业发展。例如，在珍珠蚌养殖过程中，需施加大量的有机肥来育肥蚌体，残留的有机质造成水体富营养化，严重破坏水体生态环境^[49]。2017年起，江苏、浙江、湖北等地陆续禁止了开放水域的珍珠蚌养殖。

5.2 水生药用动物资源产业发展策略

5.2.1 保护水生药用动物野生资源 野生资源在保护生物多样性、维护生态平衡方面有着重要作用，是实现产业可持续发展的必要条件^[50]。切实执行有关野生动物资源保护的法律法规，利用eDNA metabarcoding技术适时开展野生动物资源调查，对资源种类、分布区域、生长环境及药材的市场供求等信息进行整理和分析，对濒危野生动物资源品种建立动态监测体系，加强栖息地生态建设，保护种质资源。

5.2.2 加强水生药用动物的基础研究,完善人工驯化养殖 驯化养殖是解决动物药供给不足的主要途径,并且依赖于对动物生活习性、生理特征及繁殖条件的研究和掌握^[44,51]。由于水生药用动物生理结构和生活环境的特殊性,其研究基础较为薄弱。需要加强水生药用动物生理特性、生殖特性及生活特性的研究,有计划地开展品种选育和改良;对水蛭、蚌等底栖环节动物和软体动物的食性、行为生态学及水生食物链开展研究,解决养殖过程中饲料短缺的问题;在品种、药效学等研究基础上,寻找和发现新的药源或替代药源。在系统开展水生药用动物研究的基础上,积极开展动物药人工替代资源创新研究。

5.2.3 践行环保理念,发展生态养殖 现阶段,水生药用动物的养殖以片面追求产量的高密度、集约化养殖为主,如龟、鳖及珍珠蚌的养殖。这种粗放的养殖模式不但容易使动物感染疾病而影响药材质量,还会造成水环境污染。通过建立以水生动物、植物、浮游动物、植物和微生物为主的健康的生物群落,发展生态养殖,有条件地开展种质繁育和动物药生产规范化基地建设,保障市场供给,提升中药质量,确保临床疗效,实现水生动物类药材的高质量健康可持续发展。

随着资源节约、环境友好的社会发展理念的普及,创新、绿色、高质量成为水生药用动物产业升级和发展的方向,实现这一目标需要从以下几个方面进行努力:首先,转变发展理念,坚持走绿色、可持续发展的产业道路。其次,优化产业链结构,提高资源利用率,以野生种质资源保护为基础、生态养殖为主体、多元化的产品开发为导向,综合高效的资源利用为目的,优化产业链结构,在中药资源化学及循环利用理论指导下,构建野生资源保护-生态养殖-产品加工-循环利用一体化的产业体系,实现资源的综合开发和循环利用^[52-53]。第三,充分利用大数据、物联网等现代科技成果,推动产业升级。传统的水生药用动物产业风险高、生产效率低、环保压力大,由于环境复杂、影响因素多,很难做到精准地监测与调控。将物联网、大数据与数学模型结合,通过数据分析为生产者提供决策支持,实现高效、精准、生态、智能的水生药用动物产业新模式^[54]。最后,加强基础研究,创新驱动发展。相较于植物类中药,动物类中药在药效物质基础、质量评价及来源动物的行为生态、驯化养殖等方面的研

究基础薄弱,制约了其产业发展。因此,要加强中药学、水生生物学、动物学及生态学等学科间的交叉,集成多学科技术和方法,为水生药用动物资源绿色可持续发展提供强有力的科技支撑。

参考文献

- [1] 李建平,林喆,邓明鲁. 中国动物药概况[J]. 中药研究与信息,2003,5(8):24-27.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020.
- [3] 蒋希成,鞠丽丽,段芳芳,等. 芪蛭胶囊对大鼠脑缺血再灌注损伤相关因子mTOR、P70S6K蛋白表达水平的影响[J]. 时珍国医国药,2021,32(6):1293-1296.
- [4] 杨珂璐,李缘媛,解进,等. 清开灵注射液的系统评价再评价[J]. 中国中药杂志,2021,46(13):3446-3454.
- [5] 李军德,黄璐琦,曲晓波. 中国药用动物志[M]. 2版. 福州:福建科学技术出版社,2012:1.
- [6] 黄璐琦,陆建伟,郭兰萍,等. 第四次全国中药资源普查方案设计与实施[J]. 中国中药杂志,2013,38(5):625-628.
- [7] 黄璐琦,孙丽英,张小波,等. 全国中药资源普查(试点)工作进展情况简介[J]. 中国中药杂志,2017,42(22):4256-4261.
- [8] 《中国百科大辞典》编委会. 中国百科大辞典[M]. 北京:华夏出版社,1990:778.
- [9] 张宝锋,陈峰,田晓庆,等. 2005—2017年中国七大水系水质变化趋势分析[J]. 人民长江,2020,51(7):33-39.
- [10] 管恩太,武强,安文静,等. 化肥、农药对水污染初探[J]. 河南化工,2000,17(9):32-33.
- [11] 马彪,袁冬,曹越. 松花江水污染对哈尔滨段底栖动物的影响调查[J]. 环境科学与管理,2010,35(5):43-45.
- [12] 严辉,周荣汉. 水生药材资源调查的理论和实践探讨[J]. 中国现代中药,2012,14(12):1-3.
- [13] 张觉民,何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京:农业出版社,1991.
- [14] 类彦立,徐奎栋. 海洋微型底栖生物调查方法与操作规程[J]. 海洋与湖沼,2011,42(1):157-164.
- [15] 张敏,蒋超,陈焕根,等. 3种青虾常用地笼网具的捕捞特性研究[J]. 科学养鱼,2020(11):71-72.
- [16] TABERLET P, COISSAC E, HAJIBABAEI M, et al. Environmental DNA [J]. Mol Ecol, 2012, 21 (8): 1789-1793.
- [17] HAILE J, FROESE D G, MACPHEE R D E, et al. Ancient DNA reveals late survival of mammoth and horse in interior Alaska [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2009, 106(52): 22352-22357.
- [18] FICETOLA G F, MIAUD C, POMPANON F, et al. Species detection using environmental DNA from water samples[J]. Biol Lett, 2008, 4(4): 423-425.

- [19] 李飞龙,杨江华,杨雅楠,等. 环境DNA宏条形码监测水生生态系统变化与健康状态[J]. 中国环境监测,2018,34(6):37-46.
- [20] 佚名. 神农本草经[M]. 北京:人民卫生出版社,1984.
- [21] 苏敬. 新修本草[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2005:153-154.
- [22] 陈藏器. 本草拾遗[M]. 芜湖:皖南医学院,1983:1.
- [23] 唐慎微. 证类本草[M]. 北京:华夏出版社,1993.
- [24] 李时珍. 本草纲目[M]. 北京:人民卫生出版社,1979:885.
- [25] 刘文泰. 本草品汇精要[M]. 北京:北京科学技术出版社,2019.
- [26] 赵学敏. 本草纲目拾遗[M]. 北京:中国中医药出版社,1998.
- [27] 邓明鲁,高士贤. 中国动物药[M]. 长春:吉林人民出版社,1981.
- [28] 贾玉海. 中国海洋湖沼药物学[M]. 北京:学苑出版社,1996.
- [29] 高士贤. 中国动物药志[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1996.
- [30] 杨仓良. 动物本草[M]. 北京:中医古籍出版社,2022.
- [31] 邓明鲁. 中国动物药资源[M]. 北京:中国中医药出版社,2007.
- [32] 管华诗,王曙光. 中华海洋本草[M]. 上海:上海科学技术出版社,2009.
- [33] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草:第9卷[M]. 上海:上海科学技术出版社,1999:7201.
- [34] 薛祥煦,张云翔. 中国第四纪哺乳动物地理区划[J]. 兽类学报,1994,14(1):15-23.
- [35] 金珂,张丽娟,张伟,等. 基于环境DNA宏条形码的太湖流域底栖动物监测与生态健康评价[J]. 中国环境监测,2022,38(1):175-188.
- [36] 杨江华. 太湖流域浮游动物物种多样性与环境污染群落生态效应研究[D]. 南京:南京大学,2017.
- [37] 吴昉晟,唐永凯,李建林,等. 环境DNA在长江江豚监测中的应用[J]. 中国水产科学,2019,26(1):124-132.
- [38] 林渊源,赵峥. 环境DNA技术在水生入侵生物监测中的应用[J]. 生态毒理学报,2021,16(6):1-12.
- [39] 李晓玲,刘洋,王丛丛,等. 基于环境DNA技术的夏季东海鱼类物种多样性研究[J]. 海洋学报,2022,44(4):74-84.
- [40] 钱塘毅,王伟继,李苗,等. 黄海中国对虾环境DNA(eDNA)的垂直分布规律及其影响因素初探[J]. 渔业科学进展,2021,42(2):1-9.
- [41] 高月香,陈桐,张毅敏,等. 不同生物联合净化富营养化水体的效果[J]. 环境工程学报,2017,11(6):3555-3563.
- [42] 刘飞,段登选,李敏,等. 菹草和螺蛳对养殖池塘水体及底泥氮、磷等净化效果研究[J]. 海洋湖沼通报,2016(6):107-112.
- [43] 张辉,邓明鲁. 药用动物生态多样性的恢复与重建(续)[J]. 吉林中医药,2010,30(2):160-162.
- [44] 赵润怀,贾海彬,周永红,等. 我国动物药资源供给现状及可持续发展的思考[J]. 中国现代中药,2020,22(6):835-839.
- [45] 和飞,朱永安,于振海,等. 中华蟾蜍资源现状及其保护对策[J]. 河北渔业,2021(9):23-26.
- [46] 邓海峰,陈馨平. CITES框架下濒危野生动物药用资源的保护与可持续利用[J]. 清华法治论衡,2016(1):293-310.
- [47] 唐溱. 我国动物相关法律法规对动物类中药材利用与发展的影响[J]. 中草药,2021,52(24):7718-7727.
- [48] 孙伟,陈雯,陈诚. 水环境协同约束分区与产业布局引导研究——以江苏省为例[J]. 地理学报,2010,65(7):819-827.
- [49] 刘晓军. 推动淡水珍珠养殖业转型升级的思考和建设[J]. 中国水产,2018(5):39-42.
- [50] 方冬冬,邹远超,危起伟. 多维视角下的水生野生动物保护与利用探析[J]. 中国水产科学,2020,27(8):980-1002.
- [51] 吴启南. 药用动物资源研究面临的问题与对策[J]. 江苏中医药,2008,40(1):21-22.
- [52] 段金康,宿树兰,钱大玮,等. 中药资源化学研究思路方法与进展[J]. 中国天然药物,2009,7(5):333-340.
- [53] 朱玉洁. 基于可持续发展的中药资源产业价值链与供应链融合创新研究[D]. 南京:南京中医药大学,2019.
- [54] 段青玲,刘怡然,张璐,等. 水产养殖大数据技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报,2018,49(6):1-16.

通信作者



吴启南(1963—),教授,博士生导师,全国优秀科技工作者,第二批“全国黄大年式教师团队”骨干,国家一流专业、国家一流课程负责人。第六届江苏省青年科技奖及江苏省“五一”劳动奖章获得者,江苏省高等学校中药资源化学科技创新团队带头人。兼任教育部高等学校中药类专业教学指导委员会委员、中国自然资源学会中药及天然药物资源研究专业委员会副主任兼秘书长、世界中医药学会联合会中药鉴定专业委员会副主任委员、中华中医药学会中药鉴定分会副主任委员等。

长期致力于中药资源生产、中药鉴定及药材品质形成机制等相关领域的教学与科研工作。主持国家科技支撑计划、国家自然科学基金等10余项国家级课题;在《Molecular Plant》等国内外学术期刊发表论文200余篇,其中SCI论文40余篇;授权专利11项;作为主要完成人获国家科学技术进步二等奖1项、省级科学技术进步奖3项。主编的专著《新编中国药材学》获第五届中国出版政府奖;获省级教学成果二等奖2项。

(收稿日期:2022-05-27 编辑:戴玮)