



微藻种质资源库——藻类科学的研究和产业发展的重要平台

宋立荣 张琪 郑凌凌 李天丽 杜帆

## MICROALGAL CULTURE COLLECTION: FUNDAMENTAL PLATFORM FOR ALGAL RESEARCH AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT

SONG Li-Rong, ZHANG Qi, ZHENG Ling-Ling, LI Tian-Li, DU Fan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2020.118>

---

您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 金属尾矿库生物土壤结皮的类型及物种组成

TYPES AND SPECIES COMPOSITION OF BIOLOGICAL SOIL CRUST IN METAL TAILINGS PONDS

水生生物学报. 2020, 44(3): 622–630 <https://doi.org/10.7541/2020.076>

#### 洱海微囊藻水华的水生态风险评估研究

ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT OF MICROCYSTIS BLOOMS IN ERHAI LAKE

水生生物学报. 2018, 42(5): 1066–1074 <https://doi.org/10.7541/2018.131>

#### 微囊藻与水体细菌相互关系的研究进展

PROGRESS IN THE RELATIONSHIPS BETWEEN *MICROCYSTIS* AND AQUATIC BACTERIA

水生生物学报. 2019, 43(2): 448–456 <https://doi.org/10.7541/2019.055>

#### 珠江水系四大家鱼资源现状及空间分布特征研究

RESOURCE STATUS AND SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF FOUR MAJOR CHINESE CARPS IN THE PEARL RIVER

水生生物学报. 2017, 41(6): 1336–1344 <https://doi.org/10.7541/2017.165>

#### 湛江沿海海洋微藻及其多糖、脂类和蛋白藻株多样性研究

STUDIES ON THE DIVERSITY OF MARINE MICROALGAE AND THE STRAINS WITH HIGH POLYSACCHARIDES, LIPIDS AND PROTEINS ALONG ZHANJIANG COASTAL AREAS

水生生物学报. 2017, 41(5): 1080–1090 <https://doi.org/10.7541/2017.135>

#### 藻类挥发性有机化合物研究进展

The REVIEW OF RESEARCH ADVANCES IN ALGAL VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

水生生物学报. 2017, 41(6): 1369–1379 <https://doi.org/10.7541/2017.169>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

综述

doi: 10.7541/2020.118

## 微藻种质资源库——藻类科学的研究和产业发展的重要平台

宋立荣<sup>1</sup> 张琪<sup>1</sup> 郑凌凌<sup>2</sup> 李天丽<sup>2</sup> 杜帆<sup>2</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所中国科学院藻类生物学重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

**摘要:** 微藻是指一类形态微小, 能够进行光合作用, 以单细胞或简单多细胞形式存在的藻类。作为一类重要的生物资源, 活体微藻的保藏和共享服务是开展藻类科学的研究和藻类产业发展的必要平台和基础。坐落于中国科学院水生生物研究所的淡水藻种库(FACHB-Collection)正式成立于1973年, 1996年作为创会成员加入中国科学院典型培养物保藏委员会; 2019年成为国家水生生物种质资源库的核心成员。该库保藏逾3400株微藻, 隶属于9门169属。年均为国内外用户提供2500株藻株, 并提供藻种鉴定、分离纯化和培养技术等方面的服务和咨询。文章回顾了国际微藻种质资源库的发展历史和现状, 介绍了国内微藻种质资源保藏情况, 着重介绍国家水生生物种质资源库——淡水藻种库在库藏藻株多样性、共享服务、藻株无菌化、超低温保藏技术及优良品种选育与应用等方面进展, 瞄准提升我国在藻类学研究和藻类产业研发的竞争力, 提出了藻种资源库未来发展的建议。

**关键词:** 微藻; 种质资源; 淡水藻种库; 国家水生生物种质资源库

中图分类号: Q-34; Q948.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)05-1020-08

微藻是指一类形态微小(通常需要显微镜观察), 能够进行光合作用, 主要为单细胞或者简单多细胞形式的藻类。微藻分布十分广泛, 不仅广泛分布于海洋和淡水生境中, 在极端环境中也能生存, 如高山雪地、裸露岩石中与地衣共生、荒漠沙土或温泉。微藻具有丰富的生物多样性, 目前发现的微藻种类约有5万种<sup>[1]</sup>。微藻是生态系统中重要的初级生产者, 对于维持地球生态系统的平衡和稳定起到至关重要的作用。同时, 由于微藻具有个体小、种类繁多、生长速度快、适应性强、培养容易和活性物质丰富等特点, 被认为是一个巨大的资源宝库。随着对微藻研究的逐步深入, 微藻在许多领域均展现出广阔的应用前景<sup>[2, 3]</sup>。许多微藻具有较高的蛋白质和油脂含量, 富含多糖、多不饱和脂肪酸(如DHA、EPA)、类胡萝卜素及其衍生物(如虾青素、叶黄素)等生物活性成分, 具有极高的营养和药学价值, 被广泛运用于食品、药品、化妆品、水产饲料和生物能源等领域<sup>[4, 5]</sup>。

以现代生物技术为基础的生物资源的保护和开发将是未来全球生物资源竞争的一个战略重点, 是生物经济的引擎。在此背景下, 生物资源有效利用将是国民经济可持续发展不可或缺的条件之一, 直接影响国家的未来经济发展潜力, 无疑已成为一个国家重要的战略资源<sup>[6]</sup>。微藻种质资源是我国战略生物资源的重要组成部分之一。种类齐全、稳定保藏和运行的微藻资源库, 是开展藻类基础生物学和应用研究的重要平台, 也是相关环境科学和工程、生态学、资源保护生物学等学科领域的重要平台。种质资源是微藻产业化的基础, 通过筛选和培育系列优良微藻种质资源, 方能提高微藻的规模化高密度的培养, 增加商业化品种的多样性。建设微藻种质资源库, 挖掘特色藻种的应用, 不仅可满足我国藻类科学等研究领域对高质量微藻种质资源的需求, 也将保障并促进我国微藻产业化的健康高效发展和产业升级, 为我国藻类基础和应用研究及产业化提供科技支撑。

收稿日期: 2020-08-14; 修订日期: 2020-09-03

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-50); 国家重点研发计划蓝色粮仓科技创新专项(2018YFD0901505); 湖北省科技创新创业服务能力提升专项(2018BEC471)资助 [Supported by the China Agriculture Research System (CARS-50); National Key Research and Development Project (2018YFD0901505); Hubei Province Scientific and Technological Innovation Project (2018BEC471)]

通信作者: 宋立荣(1961—), 男, 博士, 研究员; 主要从事藻类资源和生物学研究。E-mail: lrsong@ihb.ac.cn

## 1 国际主要藻类资源库的保藏和共享利用

20世纪50年代, 藻类学研究由传统的分类和形态学, 开始扩展到藻类生态和生理等研究领域, 研究的范围和学科领域不断扩大。同时, 德国等藻类研究者开始研发藻类大量培养技术, 其出发点是将微藻作为单细胞蛋白的来源, 为解决食品匮乏和蛋白质来源提供新的技术途径。伴随着藻类学科研究领域的扩展和微藻生物技术研发的兴起, 对活体微藻资源的需求呈现出明显的上升, 进而直接或间接地推动了藻类保藏机构的兴起和成长。如德国哥廷根SAG-collection、英国CCAP藻种和原生动物保藏库及美国UTEX-collection, 均是在20世纪50年代发展起来的: 前二个藻类保藏库的创始人是著名的德国藻类学家Ernst-Georg Pringsheim(1881—1970); UTEX藻种库的前身位于美国Indiana大学, 创始人Starr教授也保藏了来自Pringsheim馈赠的藻种<sup>[7—10]</sup>。Mollenhauer<sup>[11]</sup>在介绍Pringsheim生平的文章中提出, 在藻类学研究由“结构和生殖”阶段转换为从生理生态视角认识不同类型藻类生活特性的阶段的进程中, Pringsheim是他同时代藻类学家中的杰出代表。

20世纪70年代以来, 位于日本国立环境研究所的NIES-collection、澳大利亚CSIRO海洋研究所的ANACC和法国巴斯德研究所的PCC藻种库也逐渐发展成为国际知名的藻类保藏机构。这些藻种库在藻种的保藏量、保藏特色和客户服务各有特点(表1)。

韩国和日本将生物资源保护作为国家战略, 在组织结构上进行了整合, 以便于统一管理, 推进资源保藏和资源的深入挖掘。1995年, 韩国教育科学技术部成立了韩国国家研究资源中心(Korea National Research Resources Center, KNRRC)。该中心现有31个研究资源库(RRC), 分别归类于5个核心中心, 由总中心(Headquarter)统一管理。海洋微藻资

源库也被纳入到KNRRC资源库的管理中。日本文部科学省从全面推进生命科学的立场出发, 自2002年起开始实施“国家生物资源项目(National BioResource Project, NBRP)”, 旨在“作为生命科学研究基础的生物资源进行收集、保存和提供的同时, 以提高生物资源品质为目标, 通过开发保存技术和分析基因组等技术提高生物资源的附加价值, 并以此来完善生物资源以适应时代的需求”, 并将藻类作为33个核心生物资源之一。

在促进藻类研究和产业进步的同时, 藻种资源库也得益于各国政府对微藻生物质资源研发的重视, 通过与研发部门合作, 增加了微藻种质资源的库存数量和品种类型, 提升了保藏库的能力建设和服务水准。美国在1978—1996年由国家可再生能源实验室领衔并联合多个单位进行的“水生物种计划—藻类生物柴油”, 筛选出300余株产油藻种, 重点开发适于微藻生物柴油生产的培养系统和制备工艺; 1990—2000年, 日本国际贸易和工业部耗资近3亿美元资助了一项名为“地球研究更新技术计划”的项目筛选出多株耐受高CO<sub>2</sub>浓度、高温、生长速度快和能形成高细胞密度的藻种<sup>[12]</sup>。近年来, 欧盟、印度、巴西、南非和韩国等国政府大力支持微藻种质资源的收集与保存, 意图促进微藻资源的研发和产业化进程。最近几年, 许多国际能源巨头公司, 包括壳牌石油公司、通用电气公司及一些著名的航空公司都纷纷投入了大量资金, 加入到微藻种质资源的收集与保存研究行列中, 以争取到微藻资源生产行业的一席之位<sup>[13]</sup>。藻类作为实验材料, 不仅在传统的生物学研究、资源开发和环境科学等领域发挥了重要的支撑作用, 而且也支撑了法医学、物理学和新型材料等领域的研究和应用。

2019年在第七届欧洲藻类学大会上, 专门设立了藻种资源库分会场。来自全球20多个藻种保藏库的代表(包括我国淡水藻种库)介绍了各自保藏库的情况。从会议交流的情况可以看出, 在世界范围

表1 国际主要藻类保藏机构情况

Tab. 1 Main international algal culture collections

保藏机构Algal culture collection	英文名称和缩写English name and abbreviation	资源数量The number of resources	国家Country
德州大学藻种库	Culture Collection of Algae at the University of Texas at Austin (UTEX)	超过500属3000株	美国
哥廷根大学藻种库	Culture Collection of algae at Georg-August-University Göttingen (SAG)	约500属2400株	德国
日本国立环境研究所藻种库	Microbial Culture Collection at the National Institute for Environmental Studies(NIES)	457属906种3002株	日本
藻类和原生动物保藏库	Culture Collection of Algae and Protozoa (CCAP)	超过2500株藻类和原生动物	英国
澳大利亚国立藻种库	Australian National Algae Culture Collection (ANACC)	超过300种1000株	澳大利亚
巴斯德蓝藻库	Pasteur Culture Collection of Cyanobacteria (PCC)	超过750株蓝藻	法国

内,藻种保藏机构较之前有所增多,多国政府将藻类生物资源提升到国家战略生物资源或生物多样性保护的高度加以持续的支持。从一个侧面反映了藻类资源库在藻类学科进步和藻类产业发展的重要性和不可替代性。

## 2 我国藻类资源保藏现状

自1996年开始,中国科学院成立了典型培养物保藏委员会,以收集、保藏和利用活体生物资源为主要目标,下辖8个生物资源保藏库成员;2015年更名为中国科学院生物遗传资源库,成员增加到10个,并纳入由财政部专项支持的中国科学院战略生物资源体系。中国科学院水生生物研究所(以下简称水生所)“淡水藻种库”和中国科学院海洋研究所“海藻种质库”为最早的一批成员单位。

进入21世纪以来,我国将生物资源上升到战略生物资源的高度。2006年起,科技部陆续支持建立了国家微生物资源平台、水产种质资源平台和国家农作物种质资源等6个生物资源活体保藏平台,成为科技基础条件平台的重要组成部分。2019年,经优化调整形成了国家重要野生植物种质资源库、国家菌种资源库和国家水生生物种质资源库等30个国家生物种质与实验材料资源库。淡水藻种库成为国家水生生物种质资源库的重要组成部分。挂靠在水生所的淡水藻种库致力于丰富库藏藻种多样性,同时注重水华微藻、经济微藻和荒漠微藻的保藏,长期开展藻种资源服务和信息共享。从20世纪50年代开始,以水生所黎尚豪先生为首,积极倡导藻类实验室生物学的研究。他是推动经典藻类学向近代藻类生物学发展的主要推动者和带头人。自此,中国藻类实验生物学的研究队伍不断壮大;进入21世纪,藻类研究工作者深度介入淡水水华和海洋赤潮环境生物学研究,不仅扩大了藻类学的研究范围和影响,也丰富了藻类资源保藏类型。在微藻产业化方面,以螺旋藻为代表的微藻产业化从20世纪90年代开始在我国快速发展,并由此带动了其他经济微藻的规模化培养,我国微藻产业的规模已远远领先国际。在过去的半个世纪中,一些大学和研究机构建立了各自的微藻种质库,某些从事水产饵料和微藻活性物质开发的微藻企业也建立了经济藻种保存室。据不完全统计,这些微藻种质主要集中在中国科学院下属的水生所、海洋研究所、南海海洋研究所、烟台海岸带研究所、武汉植物园及中国海洋大学、宁波大学、厦门大学、暨南大学等研究机构与大学中。水生所以不同种类和生境的微藻保藏为主,注重保藏水华微

藻、经济微藻和荒漠微藻,海洋研究所以大型海藻保藏为主,同时保藏大量海洋微藻,南海海洋研究所以经济微藻的保藏和筛选为主,烟台海岸带研究所以经济藻类为特色的海岸带微藻保藏为主,武汉植物园以经济和能源微藻保藏和筛选为主;中国海洋大学和宁波大学以海洋饵料微藻保藏和筛选为主;厦门大学和暨南大学以我国海洋赤潮种类保藏为主。

近十年来,国家大力支持微藻生物能源研发,并带动大型企业共同投资,这波研发热潮,直接或间接地带动了我国微藻种质资源库的能力建设。国家层面支持的重点项目包括:973项目“微藻能源规模化制备的科学基础”、863项目“CO<sub>2</sub>-油藻-生物柴油关键技术的研究”和“微藻生物固碳关键技术与产品开发”、国家科技支撑计划“微藻二氧化碳减排技术研发及示范”和“能源微藻育种与高效生产关键技术研究与示范”、科技部基础性专项“中国产油微藻调查”、国家重点研发计划“二氧化碳烟气微藻减排技术”等<sup>[14]</sup>。上述国家项目,都涉及优良藻种的筛选和评价内容。在项目完成后,部分藻种已经进入或寄存在有关藻种资源库保藏。新近启动的国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项支持开展优良饵料微藻的筛选评价、育种和养殖技术研究,实现优质饵料微藻高效扩繁技术。这些项目的实施也将进一步支持和促进国内微藻种质资源的保藏、筛选、研究和开发利用工作。

## 3 淡水藻种库建设与发展

淡水藻种库(Freshwater Algae Culture Collection at the Institute of Hydrobiology, FACHB, 网站主页: <http://algae.ihb.ac.cn>)是我国淡水藻种资源保藏、利用和管理的专门机构,设在水生所,为独立的科技支撑平台。淡水藻种库致力于我国淡水藻种的收集、保藏和功能挖掘,同时为国内外提供高质量、多样化的藻种资源及相关的特色服务,推进资源共享和国际合作。主要工作内容和职责为:(1)藻种分离、纯化和保藏;(2)藻种培养和保藏技术研究;(3)资源共享和对外服务;(4)藻种筛选评价方法和标准化建设;(5)为科学和产业部门提供支持和服务<sup>[15]</sup>。

### 3.1 沿革与发展

淡水藻种库前身是水生所藻类研究室藻种保藏室,始建于20世纪50年代后期,正式成立于1973年。学部委员黎尚豪(1917—1993年)和前任淡水藻种库主任俞敏娟(至1995年)为藻种库的建立和

发展奠定了基础, 现任主任(1996年至今)为宋立荣研究员<sup>[16]</sup>。1996年, 淡水藻种库作为首批成员单位, 加入新成立的中国科学院典型培养物保藏委员会。2010年典型培养物保藏委员会更名为中国科学院野生生物资源库。2004年藻种库加入世界微生物数据中心(WDCM)。2008年代表中国成为亚太藻种保藏库网络发起成员(AOACC)。2014年加入科技部科技基础条件平台地球系统科学数据共享平台。2016年中国科学院野生生物资源库更名为中国科学院生物遗传资源库。2018年通过了ISO9001质量管理体系认证, 并获得湖北省科技基础条件平台支持, 建设“湖北省特色微藻自然科技资源库”。2019年成为新获批成立的国家水生生物种质资源库的核心成员。

### 3.2 资源现状

淡水藻种库以保藏淡水藻种为主, 包括了部分海洋和咸水藻种, 现存藻种3400余株, 隶属于169属, 包括了蓝藻门、绿藻门、硅藻门、裸藻门、红藻门、甲藻门、隐藻门、金藻门和黄藻门9个门类(表2)。近年来, 针对日益严重的环境和能源问题, 藻种库聚焦目标, 着重采集并大量分离保藏我国典型区域和典型生境的淡水水华藻类、荒漠藻类和能源藻类等。分离并保藏来自淡水、咸水、土壤、空气、高原和温泉等多种不同生境的藻种。20世纪80年代, 藻种库曾引进了一批美国UTEX藻种资源。目前, 库藏藻株85%以上是国内来源。已编制了五版藻种名录。保藏了分离自太湖、滇池、巢湖、博斯腾湖和阳澄湖等二十余个水体的微囊藻、鱼腥藻和束丝藻等水华种类300余株以及分离自国内不同产地的小球藻、红球藻和螺旋藻等经济微藻400余株。发现多个藻类新种, 如蓝藻陕西变异球藻(*Aliterella shaanxiensis*)、水华甲藻

表2 淡水藻种库库藏藻种资源的数量和多样性

Tab. 2 Diversity and distribution of the 3427 strains currently available in the FACHB

类群	Taxonomic groups	属数	No. of genera	藻株数	No. of strains
蓝藻门	Cyanobacteria	44	937		
绿藻门	Chlorophyta	82	2152		
硅藻门	Bacillariophyta	20	225		
金藻门	Chrysophyta	8	35		
甲藻门	Dinophyta	6	16		
裸藻门	Euglenophyta	4	44		
隐藻门	Cryptophyta	2	9		
红藻门	Rhodophyta	2	6		
黄藻门	Xanthophyta	1	3		
合计	Total	169	3427		

叠溪托韦甲藻(*Tovellia diexiensis*)、微小拟多甲藻(*Peridiniopsis minima*)、水华绿藻湖北浮球藻(*Planctosphaeria hubeiensis*)和形成贡嘎山红石滩景观的橘色藻新变种约利橘色藻雅家梗变种(*Trentepohlia jolithus* var. *yajiagengensis*)等<sup>[17—21]</sup>, 以及大量的中国新记录种类, 并将其保藏至藻种库, 丰富库藏藻种的多样性。

### 3.3 共享与服务

在进行藻种资源保藏和整理的同时, 藻种库积极开展对外服务和共享, 主要的常规服务项目包括: (1)藻株对外提供; (2)藻种寄存服务; (3)藻种鉴定; (4)人员培训。随着对藻种资源需求的不断提高, 近年来藻种库对外提供藻种的数量也不断增多。以2019年为例, 累计为316家单位提供所需藻株总数达2500余株, 利用藻种库藻种发表的各类学术文章达120多篇。其中对外提供最多的是微囊藻属*Microcystis*的藻种, 其次是小球藻属*Chlorella*、栅藻属*Scenedesmus*和鱼腥藻属*Anabaena*的藻种。所提供的藻种应用的领域包括环境、毒理、生理、生态及应用开发等。为近90家企业提供450余株螺旋藻、小球藻和红球藻等微藻种质资源及相关技术服务。铜绿微囊藻*Microcystis aeruginosa* FACHB-905是多年来对外提供最多的藻株(图1)。铜绿微囊藻FACHB-905藻株是1998年藻种库分离于昆明滇池, 具有易培养、高产微囊藻毒素和遗传背景清晰等一系列特点, 是国内开展水华蓝藻生理生态学研究的首选藻株。自2012年以来, 藻种库每年举办1—2期培训课程, 累计为来自全国各地高校、科研院所、公司企业、环境监测中心、水务集团、环保企业和社会团体的600多人次提供藻种鉴定、培养和监测等内容的培训。

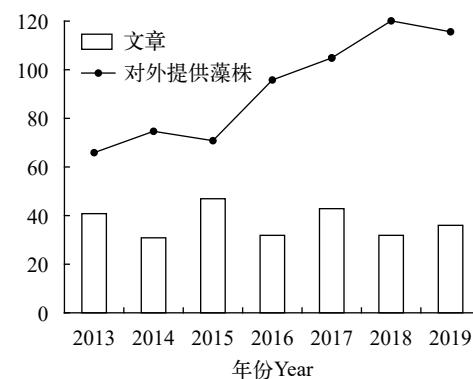


图1 铜绿微囊藻FACHB-905对外提供数量及其支撑发表文章篇数情况

Fig. 1 Numbers of *Microcystis aeruginosa* FACHB-905 cultures dispatched from FACHB and published articles refer to FACHB-905

### 3.4 无菌化和超低温保藏

随着微藻产业的蓬勃发展, 微藻作为具有重要经济价值的资源受到人们越来越多的关注, 其多糖和蛋白的开发已被应用于多个领域。为了更深入清晰地挖掘藻类的特性和功能, 研究者首先需获得无菌的纯种藻株, 这是深入开展藻类生理生化、遗传和毒性等研究的基础<sup>[22]</sup>。藻种的无菌化程度也是衡量藻株质量的标准之一, 为了提高保藏藻株的质量, 淡水藻种库近年来在藻种无菌化方面努力探索, 根据藻株的不同特性设计不同的纯化方案, 通过氨苄青霉素、头孢青霉素、卡纳霉素、多菌灵和放线菌酮等多种抗生素优化组合和联合处理, 得到30余株绿藻完全无菌株<sup>[23]</sup>。

藻类种质资源是生物种质库中重要的组成部分, 其种类丰富, 蕴藏了许多具有应用开发价值以及理论研究价值的物种, 藻类种质资源的长期保存是开展藻类理论和应用研究的重要基础。大多数的藻类采用连续传代保藏法, 这种传统的继代保藏藻类种质的方法存在费时、费力、容易污染、后续成本高及形态、基因信息改变和生理生化特性退化等弊病。超低温保藏技术是指将活的藻类细胞保藏在超低温环境中(通常指保藏在液氮中), 最低温度接近于-196℃。该技术不仅具有省时、省力、省空间和维持费用低的特点, 还可以克服常规传代保藏的上述缺点。藻种库对收集保藏的17种130个品系的经济微藻(囊括了目前可开发利用的多种经济微藻), 进行了系统地超低温保藏条件(保护剂、降温速率和预冻存温度等)的筛选, 使60%的藻株复苏存活率达到50%以上, 对藻种冻存前后的生长速率、油脂含量和光合活性进行测定, 并建立相应的超低温保藏技术参数数据库<sup>[24]</sup>。目前, 藻种库已对库藏的1200余株藻种进行了低温保藏。

### 3.5 蓝藻基因组研究

为解决重点生境高质量蓝藻基因组缺乏的问题, 同时为蓝藻系统发生学研究提供坚实的数据支持, 藻种库与华南师范大学和暨南大学等多家单位联合, 开展了库存蓝藻基因组测序与分析工作。目前, 本项目已完成163株库存蓝藻的基因组测序, 基于上述数据并结合数据库蓝藻基因组, 团队成员对蓝藻门的系统发生及其对不同生境的基因组适应性开展研究<sup>[25]</sup>, 研究基于650株蓝藻基因组数据构建的蓝藻门系统发育树, 较好地支持了新近提出蓝藻门8个纲的分类方法与生氧光细菌(*Oxyphotobacteria*)的系统发育历史<sup>[26, 27]</sup>。此外, 对海洋、淡水与陆地等三种生境蓝藻的基因组适应性的分析表明,

陆生蓝藻主要依靠基因组扩张策略以应对多变的环境, 而海洋蓝藻多采取基因组收缩策略以适应海水的低营养; 同时, 光照感应与吸收、趋化性、营养运输和渗透胁迫响应等功能相关基因在蓝藻中的分布呈现极显著的生境特异性, 表明上述基因在蓝藻生物在特定生境生存与适应中发挥重要作用。

### 3.6 优良藻株的选育与应用

藻种筛选和评价是淡水藻种库重要的工作内容, 也是微藻产业化持续稳定发展的基础之一。近年来, 开展了针对藻类生长、固碳等生理特性和目标产物特性的高通量筛选和评价, 建立室内/外评价技术、活性产物评价技术, 运用层次分析法选取优良藻株进行中试规模培养, 形成拥有自主产权的优质固碳藻种选育技术体系与藻种信息数据库<sup>[28]</sup>。从这些藻种中, 已选育出一批生长等性能适应户外规模培养的优良微藻, 如极大螺旋藻FACHB-438、钝顶螺旋藻FACHB-439、红球藻FACHB-712和葛仙米FACHB-599等, 得到产业界的肯定和推广。针对制约微藻固碳产业化应用的技术瓶颈和产业瓶颈问题, 突破微藻固碳、高值产品开发及其资源综合利用的关键技术, 藻种库在科技部863计划支持下开展固碳藻种的品种选育, 获得一批拥有重要应用价值的优良藻种和微藻高值产品。利用生物质电厂产生的烟道气开展微藻固碳研究, 将微藻的高效固碳性能耦联烟道气二氧化碳的生物固碳减排, 筛选出能利用烟道气CO<sub>2</sub>的螺旋藻和小球藻等藻株, 优化了户外养殖工艺, 从而构建了利用烟道气进行微藻高效和低成本养殖的新的技术模式。新养殖模式的推广, 在突破藻类产业升级瓶颈的同时, 也将实现固碳减排的环境效益, 为国家碳减排的宏观决策提供科学和技术支撑<sup>[29]</sup>。

藻种库不仅保藏了大量的具有经济价值的藻株, 还积极与微藻产业部门合作, 以解决产业部门的实际问题出发, 开展藻种的筛选、评价、培养及生产性能测试, 以支持和服务微藻产业部门。例如, 与企业开展合作, 为企业分离、纯化和筛选出了具备适合当地条件、高产虾青素和抗逆性强等优良特点的雨生红球藻, 已建成红球藻培养扩培实验室300 m<sup>2</sup>, 室外生产基地20000 m<sup>2</sup>(包括平板反应器和管道反应器); 利用研究建立的“一种生物酶催化破壁提取微藻油脂的方法(专利申请号: 201510663965.3)”和“一种从雨生红球藻提取虾青素的方法(专利申请号: 201610763156.4)”, 改进了虾青素提取工艺流程, 提高了效率。运用代谢组和酶学等手段, 明晰了雨生红球藻对胞外碳氮素配比的响应规律, 据规范建立了连续梯度补料技术, 提高了该藻

细胞生产和物料利用效率;发现添加 $\alpha$ -酮戊二酸二钠显著促进胞内碳重分配,定向提高了红球藻虾青素生产效率<sup>[30, 31]</sup>。藻种库收集不同品系的螺旋藻株,构建螺旋藻资源库,建立筛选评价体系分离和筛选了若干株具有生长快、生物量高和抗逆性强等优良特点的螺旋藻,为螺旋藻生产企业提供支持和服务。

30多年来,我国微藻资源开发的产业体系从无到有,经历摸索与缓慢起步阶段,目前正走向快速发展期。在国内市场上,微藻产品日益增多(从生产水产饲料和营养添加与强化剂,到生产功能性食品、健字甚至准字号微藻产品)并逐渐成为市场中的新生成员<sup>[32]</sup>。随着微藻产业的发展壮大,国家将微藻纳入到2017年正式启动的现代农业产业藻类技术体系,并以微藻的优良种质培育作为产业体系建设的重要任务之一。借助藻种库的藻种资源和技术优势,系统开展微藻种质资源收集与育种工作,选育优良种质推动微藻产业发展。

#### 4 问题与挑战

近年来,发达国家除了大力收集和保藏生物资源加大建设生物资源保藏机构外,提出了生物资源中心(Biological Resource Center, BRC)的概念。2001年经济合作与发展组织(OECD)特别工作组提出了题为“生物资源中心——支撑生命科学和生物技术之未来”的报告,给出了生物资源中心的定义:生物资源中心是支撑生命科学及生物技术的基础设施的一个必要组成部分。BRCs包括对可培养有机体(如微生物、植物、动物及人类细胞)及其可复制部分(如基因组、质粒、病毒和cDNA)、有生命但不可培养的有机体、细胞和组织的保藏,以及与这些保藏物有关的分子、生理、结构信息和相关生物信息数据库<sup>[6]</sup>。生物资源中心概念的提出使以物种资源收集保藏为主要目的保藏中心开始向资源保藏、评价、开发和利用的转变,满足社会和人类新需求。

近年来我国的微藻种质资源的建设取得了长足的进步。相对而言,我国保藏的藻种资源特色仍不明显,藻种保藏的软硬件设施尚需改善,功能挖掘能力有限,藻种的信息资源和数据库资源有待完备,资源和信息生产者与使用者的共享方式及资源成果转化的利益分享机制尚待明确。随着国际上BRC概念的兴起,在规模、质量控制、管理水平和人员训练上均有了更高的要求,推动微藻保藏中心向以“资源保藏、评价和持续利用”为目标的微藻生物资源中心的转变。

#### 5 展望

在新形势下,在继续加大微藻种质资源保藏力度的基础上,对藻种资源中心提出了分类、鉴定、功能评价及数据信息库建设的要求。发掘、收集、筛选和培养出新型微藻种质资源,同时使一些具应用价值的稀有或濒危微藻种质资源得以长期保存,提升我国在微藻种质资源采集与保存领域的技术地位。系统性地开展微藻特别是经济微藻的良种化,选育优良种质和培育良种可为微藻产业发展提供动能,也将是该产业发展的重要方向<sup>[32]</sup>。由于目前还没有统一的微藻种质评价、审定标准和规范,缺乏国家认可的微藻优良品种,因此在开展微藻选育工作的同时,制定一套完整的优良经济微藻选育和评价标准及技术体系也是产业发展的重要需求。面向国家在水环境保护、渔业可持续发展和微藻生物能源利用等方面的重大战略需求,建设包括分类、遗传、生理生化、生态、资源分布和生产性能等信息在内的藻种资源与藻类环境数据库,以服务于水体生命过程、生态环境保护与生物资源利用领域的基础性、战略性和前瞻性重大科技问题。在坚持微藻资源的长期收集保藏、保质保量并担当好国家战略生物资源储备库的前提下,将藻种资源优势转化为新功能和新品种创制的优势,将是藻种资源库未来发展和提升的保障。

#### 致谢:

淡水藻种库的发展,凝聚了几代藻类学人的心血。在此,我们真诚地感谢为藻种库建立和发展作出贡献的前辈、同事和学生们;感谢美国藻种库前主任Jerry Brand教授、日本NIES-collection前主任渡边信教授、澳大利亚海藻藻种库前主任Susan Blackburn教授和韩国Inha大学郑坪林教授的支持和关心;特别感谢俞敏娟先生、刘永定先生和赵进东院士的业务指导和关怀。

#### 参考文献:

- [1] Richmond A, Hu Q. *Handbook of Microalgal Culture* [M]. West Sussex: Wiley Blackwell, 2013: 1-6.
- [2] Zou N, Li Y, Sun D H. Several species of economic microalgae and their application [J]. *Yantai Normal University Journal* (Natural Science), 2005, 21(1): 59-63. [邹宁, 李艳, 孙东红. 几种有经济价值的微藻及其应用 [J]. 烟台师范学院学报(自然科学版), 2005, 21(1): 59-63.]
- [3] Fan Y, Hu G R, Wang L J, et al. Research progress on microalgae breeding [J]. *Journal of Biology*, 2017, 34(2):

- 3-8. [范勇, 胡光荣, 王丽娟, 等. 微藻育种研究进展 [J]. 生物学杂志, 2017, **34**(2): 3-8.]
- [4] Pulz O, Gross W. Valuable products from biotechnology of microalgae [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2004, **65**(6): 635-648.
- [5] Michalak I, Chojnacka K. Algae as production systems of bioactive compounds [J]. *Engineering in Life Sciences*, 2015, **15**(2): 160-176.
- [6] Duan Z Y, Huang H W, Liu J, et al. Considerations and measures on conservation of national strategic bio-resources [J]. *Strategy & Policy Decision Research*, 2007, **22**(4): 284-291. [段子渊, 黄宏文, 刘杰, 等. 保存国家战略生物资源的科学思考与举措 [J]. 战略与决策研究, 2007, **22**(4): 284-291.]
- [7] Starr R C, Zeikus J A. UTEX – The culture collection of algae at the University of Texas at Austin 1993 list of cultures [J]. *Journal of Phycology*, 1993, **29**(1): 1-106.
- [8] Andersen R A. Algal Culturing Techniques [M]. Burlington: Academic, 2005: 572-578.
- [9] Gachon C M M, Day J G, Campbell C, et al. The Culture Collection of Algae and Protozoa (CCAP): a biological resource for protistan genomics [J]. *Gene*, 2007, **406**(1): 51-57.
- [10] Friedl T, Lorenz M. The culture collection of algae at Göttingen University (SAG): a biological resource for biotechnological and biodiversity research [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012(15): 110-117.
- [11] Mollenhauer D. The protistologist Ernst Georg Pringsheim and his four lives [J]. *Protist*, 2003, **154**(1): 157-171.
- [12] Li J, Wang G C. Microalgae research advances towards CO<sub>2</sub> reduction and biodiesel production [J]. *Marine Sciences*, 2011, **35**(7): 122-129. [李健, 王广策. 微藻生物技术在二氧化碳减排和生物柴油生产中的应用研究进展 [J]. 海洋科学, 2011, **35**(7): 122-129.]
- [13] Cai Z P, Li Y X, Duan S S, et al. Collection and conservation of microalgal germplasm resources [J]. *Ecological Science*, 2014, **33**(2): 396-400. [蔡卓平, 李燕璇, 段舜山, 等. 微藻种质资源的采集及保存现状 [J]. 生态科学, 2014, **33**(2): 396-400.]
- [14] Wang L, Zhu Z Q, Xu C B, et al. Analysis of CO<sub>2</sub> consolidation and bioenergy production via microalgae [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, **17**(6): 247-252. [王琳, 朱振旗, 徐春保, 等. 微藻固碳与生物能源技术发展分析 [J]. 中国农业大学学报, 2012, **17**(6): 247-252.]
- [15] Song L R, Zhang Q, Zheng L L, et al. The freshwater algae culture collection at the Institute of Hydrobiology (FACHB): algal resources for fundamental and applied research [J]. *Algological Studies*, 2014(145/146): 5-14.
- [16] Song L R, Liu Y D, Gan X N, et al. FACHB-collection: general introduction and the strain list [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(5): 537-546.
- [17] Liu G X, Zhang Q, Zhu H, et al. Massive *Trentepohlia*-bloom in a glacier valley of Mt. Gongga, China, and a new variety of *Trentepohlia* (Chlorophyta) [J]. *PLoS One*, 2012, **7**(7): e37725.
- [18] Zhang Q, Liu G X, Hu Z Y. Description of a new freshwater bloom-forming dinoflagellate with a diatom endosymbiont, *Peridiniopsis minima* sp. nov. (Peridiniales, Dinophyceae) from China [J]. *Algological Studies*, 2014(145/146): 1190-133.
- [19] Zhang Q, Zhu H, Hu Z, et al. Blooms of the woloszynskiod dinoflagellate *Tovellia diexiensis* sp. nov. (Dinophyceae) in Baishihai Lake at the eastern edge of Tibetan Plateau [J]. *Algae*, 2016, **31**(3): 205-217.
- [20] Zhang Q, Zheng LL, Li TL, et al. Morphology and phylogeny of three planktonic Radiococcaceae *sensu lato* species (Sphaeropleales, Chlorophyceae) from China, including the description of a new species *Planktosphaeria hubeiensis* sp. nov [J]. *Fottea, Olomouc*, 2018, **18**(2): 243-255.
- [21] Zhang Q, Zheng L L, Li T L, et al. *Aliterella shaanxiensis* (Aliterellaceae), a new coccoid cyanobacterial species from China [J]. *Phytotaxa*, 2018, **374**(3): 211-220.
- [22] Li T L, Zheng L L, Zhang Q, et al. Progress of aseptic purification technique of cyanobacteria [J]. *Current Biotechnology*, 2015, **5**(5): 329-334. [李天丽, 郑凌凌, 张琪, 等. 蓝藻无菌化方法研究进展 [J]. 生物技术进展, 2015, **5**(5): 329-334.]
- [23] Zheng L L, Zhang Q, Li T L, et al. Axenation of *Haematococcus pluvialis* and the effects of axenic cultivation on the growth and physiology of the strain [J]. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2017, **33**(1): 44-50. [郑凌凌, 张琪, 李天丽, 等. 雨生红球藻无菌化处理及其对生长和生理的影响 [J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2017, **33**(1): 44-50.]
- [24] Zheng L L, Lu Z, Zhang Q, et al. A fluorescence ratio-based method to determine microalgal viability and its application to rapid optimization of cryopreservation [J]. *Cryobiology*, 2018(81): 27-33.
- [25] Chen M Y, Teng W K, Zhao L, et al. Comparative genomics reveals insights into cyanobacterial evolution and habitat adaptation [J]. *The ISME Journal*, 2020: 1-17.
- [26] Komárek J. A polyphasic approach for the taxonomy of cyanobacteria: principles and applications [J]. *European Journal of Phycology*, 2016, **51**(3): 346-353.
- [27] Sánchez-Baracaldo P, Raven J A, Pisani D, et al. Early photosynthetic eukaryotes inhabited low-salinity habitats [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, **114**(37): E7737-E7745.
- [28] Wei Q, Zheng LL, Lu Z, et al. The growth and physiological responses of two green algae to the change of CO<sub>2</sub> concentration [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(1): 182-189. [卫晴, 郑凌凌, 卢哲, 等. 两株绿藻响应

- CO<sub>2</sub>浓度变化的生长和生理特性的研究 [J]. 水生生物学报, 2018, **42**(1): 182-189.]
- [29] Cui H, Yang Z, Lu Z, et al. Combination of utilization of CO<sub>2</sub> from flue gas of biomass power plant and medium recycling to enhance cost-effective *Spirulina* production [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2019, **31**(4): 2175-2185.
- [30] Lu Z, Zheng L, Liu J, et al. A novel fed-batch strategy to boost cyst cells production based on the understanding of intracellular carbon and nitrogen metabolism in *Haematococcus pluvialis* [J]. *Bioresource Technology*, 2019(289): 121744.
- [31] Lu Z, Dai J C, Zheng L L, et al. Disodium 2-oxoglutarate promotes carbon flux into astaxanthin and fatty acid biosynthesis pathways in *Haematococcus* [J]. *Bioresource Technology*, 2020(299): 122612.
- [32] Liu J G, Xu R. 30-year's footprint and process of microalgal development in China [J]. *Journal of Biology*, 2017, **34**(2): 9-15. [刘建国, 徐冉. 我国微藻资源开发30年变迁之路 [J]. 生物学杂志, 2017, **34**(2): 9-15.]

## MICROALGAL CULTURE COLLECTION: FUNDAMENTAL PLATFORM FOR ALGAL RESEARCH AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT

SONG Li-Rong<sup>1</sup>, ZHANG Qi<sup>1</sup>, ZHENG Ling-Ling<sup>2</sup>, LI Tian-Li<sup>2</sup> and DU Fan<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Algal Biology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Microalgae are unicellular photosynthetic micro-organisms, and are regarded as an important resource for scientific research and algal industry. The Freshwater Algae Culture Collection at the Institute of Hydrobiology (FACHB-Collection) is a professional platform for the reservation and service of living algae in China, mainly maintaining freshwater algal species, and a small number of marine and brackish species as well. It was formally established in 1973, and was merged into National Aquatic Biological Resource Center in 2019. The FACHB-Collection currently holds more than 3400 strains, belonging to 169 genera and 9 phyla. It dispatches over 2500 strains to domestic and foreign users every year, and offers the technical consultation for algal identification, isolation and culturing. In an era of ever-increasing demands for high quality and diversified living algal strains, algal culture collections are playing active and irreplaceable roles in the algal study and algal commercialization. The paper introduces the foundation and development of major algal culture collections in the world, and then briefly summarizes the history of algal culture collections in China, emphasizing the driving forces promoting the establishment and development of algal resources collections with diverse purposes. We detail the major scientific and technological progresses in FACHB-Collection in the context of new discovery of species, methodological improvement in axenic culture and cryopreservation, and breeding and application of economically important species. Finally, the roles and challenges of algal culture collections as BRC in the future are analyzed to better serve algal study and algal industries.

**Key words:** Microalgae; Germplasm resource; FACHB-Collection; National Aquatic Biological Resource Center