

DOI: 10.3969/j.issn2095-9869.20250526001

http://www.yykxjz.cn/

郭莹莹, 于凡, 王联珠, 李娜, 朱文嘉, 徐东, 李杰, 江艳华, 姚琳. 大食物观背景下藻类产业高质量发展路径与对策. 渔业科学进展, 2026, 47(2): 01-12

GUO Y Y, YU F, WANG L Z, LI N, ZHU W J, XU D, LI J, JIANG Y H, YAO L. Paths and countermeasures for high-quality development of algae industry under the background of "All-Encompassing Approach to Food". Progress in Fishery Sciences, 2026, 47(2): 01-12

大食物观背景下藻类产业高质量发展路径与对策*

郭莹莹^{1,2} 于凡¹ 王联珠^{1,2} 李娜^{1,2} 朱文嘉^{1,2}
徐东¹ 李杰¹ 江艳华^{1,2} 姚琳^{1,2①}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东 青岛 266071;

2. 农业农村部水产品质量安全检测与评价重点实验室 山东 青岛 266071)

摘要 藻类因其高效的生物合成能力、丰富的营养价值及生态调节作用,在优化食物供给体系、推动碳汇渔业发展和提升海洋经济竞争力等方面具有重要战略意义。本文基于“大食物观”视角,分析我国藻类产业的发展现状、面临的主要挑战,并提出促进产业高质量发展的路径与对策建议。目前,我国藻类产业总体呈稳步增长态势,形成了规模化、集约化生产模式,在良种创制、养殖规模、产品升级以及市场拓展等方面取得显著成效,但仍存在抗逆种质创新不足、病害防控体系缺失、养殖机械化与智能化水平低、产业链条短、科研投入有限、精深加工技术滞后及质量安全监管体系不完善等问题。为发展壮大藻类产业,需进一步加强政策扶持力度、突破核心关键技术、促进产业链协同发展、推动绿色低碳转型、提升品牌建设和积极拓展国际市场。

关键词 大食物观;藻类产业;技术创新;产业链升级;提升路径

中图分类号 S968.4 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2026)02-0001-12

进入 21 世纪以来,全球人口的迅速增长、耕地资源的日益紧张以及气候变化的不断加剧,使传统农业供给体系面临巨大的挑战。联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)和经济合作与发展组织(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)的《2024—2033 年农业展望报告》指出,全球粮食需求预计将以每年 1.2% 的速度增长(FAO *et al.*, 2024),但由于受到土地和淡水资源的限制,加之农业生产资源过度消耗,传统粮食生产面临扩展瓶颈。为此,我国提出了“大食物观”战略,倡导利用海洋、草原、森林等多种资源,构建多元化、智能化的食

物供给体系,从而确保国家粮食安全、优化食物结构,并推动生态环境保护(共产党员网, 2015; 国务院办公厅, 2024)。

藻类是大食物观范畴的重要组成部分,主要包括大型海藻、淡水微藻和海洋微藻。目前,可供人类食用的藻类约有 70 余种,其中大型经济海藻包括褐藻[如海带属(*Saccharina/Laminaria* Lamouroux)、裙带菜属(*Undaria* Suringar)、马尾藻属(*Sargassum* Agardh)等]、红藻[如紫菜属(*Porphyra* Agardh)、石花菜属(*Gelidium* Lamouroux)、江蓠属(*Gracilaria* Greville)等]、绿藻[如浒苔属(*Enteromorpha* Agardh)、石莼属(*Ulva* Linnaeus)、礁膜属(*Monostroma* Thuret)等]。已

* 国家藻类产业技术体系(CARS-50)和中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2023TD76)共同资助。郭莹莹, 副研究员, Email: guoyy@ysfri.ac.cn

① 通信作者: 姚琳, 研究员, Email: yaolin@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2025-05-26, 收修改稿日期: 2025-06-21

实现产业化的微藻包括螺旋藻属(*Spirulina Turpin*)、小球藻属(*Chlorella Beij.*)、雨生红球藻(*Haematococcus pluvialis*)、微拟球藻(*Nannochloropsis*)等。由于藻类具有高效的生物合成能力和显著的生态调节功能,不仅在食物供给体系中发挥着举足轻重的作用,还在减轻海水富营养化、生物固碳、生态修复和减缓全球暖化及海洋酸化等方面具有显著的生态环境效益,为实现“双碳”目标、建设海洋强国提供了源动力(高金伟等, 2024; 魏延丽等, 2023; Alazaiza *et al.*, 2022)。

我国藻类产业发展具有得天独厚的资源优势 and 区位优势,藻类养殖产量和加工规模多年来稳居世界首位。近年来,在国家政策扶持下,藻类产业规模不断壮大,技术水平稳步提升,但仍面临藻类养殖机械化程度低、病害频发、产品附加值低、核心技术创新不足等瓶颈问题。本文旨在从践行“大食物观”的视角,对发展藻类产业的重要意义、产业发展现状与面临的挑战进行全面梳理,并提出切实可行的发展路径与对策,以期为促进我国藻类产业高质量发展和构建绿色、可持续的食物供给体系提供理论支撑。

1 新形势下发展藻类产业的重要意义

1.1 经济价值:以食品为核心,拓展多元化应用领域

藻类具有生长周期短、生物量产出高及营养价值优等特点,富含优质蛋白、功能性多糖、不饱和脂肪酸、膳食纤维、矿物质和维生素等多种营养成分,可作为人类补充蛋白质、膳食纤维和微量营养素的优质来源(Wu *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023)。FAO 统计数据显示,2022 年全球水产养殖和捕捞总产量为 2.232 亿 t,其中藻类总产量为 3 780 万 t(以湿重计),占全球渔业总产量的 16.9%。2022 年全球藻类养殖产量为 3 650 万 t(以湿重计),占全球藻类总产量的 96.6%(FAO, 2025)。我国是世界上最大的藻类生产、消费和贸易国,2022 年我国藻类产量为 2 270 万 t(以湿重计),约占全球总产量的 60%,我国藻类产品的进出口贸易量为 888.2 万 t,占全球藻类产品贸易总量的 25.6%(FAO, 2025)。在我国居民膳食结构中,藻类食品作为传统食材被广泛用作普通食品、佐餐食品、调味汤品、休闲食品等。据不完全统计,以海带、紫菜、裙带菜为代表的食用海藻消费量超 500 万 t/年(以湿重计),构成我国食用海藻产业的主体。因此,藻类产业担负着增加优质食物供给和增强食物安全保障能力的重要任务,是全方位、多途径开发食物资源的重要产业。

除传统食用价值外,藻类活性成分在医药与健康产业中的应用也日益广泛。例如,岩藻多糖、岩藻黄

素、微藻蛋白等活性物质具有免疫调节、抗炎、抗肿瘤等功能,被广泛用于功能性食品、保健品和护肤产品中(Jester *et al.*, 2022; 周小叶等, 2024; Chadwick *et al.*, 2025)。褐藻胶、卡拉胶等天然胶体在食品增稠剂、医药控释载体等方面不可替代。在农业领域,海藻提取物可作为天然的植物生长刺激素和饲料添加剂,提高作物的抗逆性及畜禽、水产动物的免疫水平(Ali *et al.*, 2021; 汤伟等, 2024)。同时,微藻是第三代生物柴油的潜力原料,其单位产油效率远超陆生油料作物(Wang *et al.*, 2024)。藻类产业正由“食用+医药”双轮驱动,向“农业+能源”等多元场景拓展,形成多业态融合发展的新格局。

1.2 生态作用:赋能碳汇渔业,促进环境友好型产业发展

藻类产业是发展碳汇渔业的主力军,属于低能耗、低污染、低排放的绿色产业。藻类是整个海洋生态系统能量流动和物质循环的起点和重要支撑,藻类作为一种典型的光合生物,可以吸收水体中的 CO₂ 和营养盐,实现减碳、固碳的效果,其年固碳量可远超部分陆生植被,为发展低碳经济和实现碳中和提供了新路径(何培民等, 2015; Chandrani *et al.*, 2025)。

研究表明,藻类养殖能够有效降低海域中无机氮、磷含量,减少赤潮发生(季仲强, 2011; 刘子烁等, 2024)。近年来,我国多个沿海地区探索“藻-贝-鱼”立体生态养殖模式,构建多营养层次复合系统,不仅提高了单位产出效益,也增强了生态系统稳定性。此外,天然藻床和人工藻场还为海洋动物提供栖息与繁育场所,维护生物多样性。在绿色材料领域,藻类可用来生产易降解的海藻膜包装材料,可有效代替塑料,从而减少塑料垃圾排放(张晨宇, 2021; Boonprab *et al.*, 2024)。海藻加工过程中产生的副产物,如海藻提取藻胶后的藻渣,可用于制备生物肥料和有机饲料,不仅可提高农业生产综合效益,还可提高海藻资源利用率、减少环境污染。藻类产业在“固碳减排—水体净化—生态修复—生物多样性保护”多维层面发挥了重要的生态作用,对推动渔业绿色转型和构建生态循环经济体系具有重要意义。

1.3 社会效益:促进渔民增产增收,助力乡村全面振兴

作为沿海地区特色产业,我国藻类产业历经 70 余年的发展,在推动渔民增收、促进农村经济稳定与社会可持续发展方面发挥了积极作用,已成为助力乡村全面振兴的重要抓手。据不完全统计,藻类一二三产业集群已覆盖全国 500 余家藻类育苗、养殖、加工

与销售企业, 带动了 30 多万劳动力就业, 年产值超过 300 多亿元, 逐步构建了从育苗、养殖到加工、销售全链条的现代化产业体系。藻类养殖不依赖耕地, 适合在近海空间高效布局, 尤其在“耕地红线”约束与传统捕捞限产的背景下, 为沿海地区提供了产业转型与经济增长的新路径。

随着产业链整合延伸和品牌化建设, 藻类产业正逐渐向“绿色养殖+精深加工+高端服务”的现代化海洋产业转型, 尤其是向功能食品、生物医药和海藻农用制品等方向发展。在国家“蓝色经济”、“乡村振兴”等战略推动下, 部分地区通过“藻业+文旅”等模式发展休闲农业与文化产业, 如如东紫菜节、连江海带节等, 不仅拓展了渔民增收渠道, 而且宣传了海藻科普知识。藻类产业逐渐成为沿海地区新兴支柱产业, 为乡村区域经济结构优化和产业高质量发展带来新机遇。

2 新时代下藻类产业发展面临的宏观政策机遇

在我国经济转型、农业现代化和绿色可持续发展的大背景下, 藻类产业已成为国家战略布局的重要组成部分。中央和地方政府相继出台一系列政策, 从宏观战略到具体扶持措施, 全方位推动产业蓬勃发展。

2015 年中央农村工作会议首次提出“树立大农业、大食物观”(共产党员网, 2015), 我国逐步构建多元化食物供给体系, 强调拓展食物来源, 通过耕地、草原、森林、海洋等多途径开发食物资源。2016 年和 2022 年, “树立大食物观”两次被写入中央一号文件(中共中央等, 2016、2022)。党的二十大报告进一步明确“树立大食物观”、“构建多元化食物供给体系”的重要地位(新华社, 2022)。在此背景下, 2023 年中央一号文件首次提出“培育壮大藻类产业”(中共中央等, 2023), 标志着藻类产业提升至国家发展战略的层面。同年, 农业农村部及山东、福建、辽宁等藻类主产省份围绕藻类产业科技创新、技术升级、延伸价值链与生态链、构建全产业链标准体系、技术推广与典型示范等全面布局。《“十四五”生物经济发展规划》中提出支持藻类产业的技术研发, 为产业创新和可持续发展提供政策保障(国家发展和改革委员会, 2021)。《农业农村减排固碳实施方案》明确提出: 提升贝类藻类固碳能力, 增加渔业碳汇, 助力碳达峰、碳中和目标实现(农业农村部等, 2022)。2024 年, 国务院办公厅发布了《关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见》, 提出要“加快藻类食物开发”, 特别是“发展海带、裙

带菜等食用海藻”(国务院办公厅, 2024)。农业农村部也在同年强调, 要积极发展贝藻类养殖, 助力乡村振兴(农业农村部, 2024)。2025 年中央一号文件再次指出要“促进藻类食物开发”(中共中央等, 2025), 进一步明确了藻类产业的发展路径。

近 30 年来, 我国相关部委制定了多项具体措施, 以促进藻类资源在普通食品、食品添加剂、保健品和饲料领域的产业化应用。在食品与保健品领域, 原卫生部早在 1996 年发布的 GB 2760-1996《食品添加剂使用卫生标准》中规定海藻酸钠、海藻酸钾、卡拉胶、琼脂、海藻酸丙二醇酯等作为增稠剂, 允许在各类食品中按生产需要适量使用。2004 年, 原卫生部明确将螺旋藻列为普通食品原料, 此后螺旋藻产品逐步实现商业化扩展(卫生部, 2004); 2020 年, 国家市场监督管理总局等部门联合发文, 将螺旋藻纳入保健食品原料目录, 进一步拓展其在功能食品领域的应用(国家市场监督管理总局等, 2020)。此外, 雨生红球藻和蛋白核小球藻分别在 2010 年和 2012 年获批新资源食品, 用于食品和保健品的开发与使用(卫生部, 2010、2012)。在饲料领域, 原农业部于 2011 年批准褐藻酸寡糖作为饲料添加剂, 用于改善动物肠道健康和增强抗应激能力(农业部, 2011)。2023 年, 农业农村部颁布的《饲料原料目录》中, 收录了海带粉、螺旋藻粉、等鞭金藻(*Isochrysis Parke*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum Bohlin*)等多种藻类产品, 作为反刍动物、禽类和水产动物的营养补充来源(农业农村部, 2023)。以上宏观政策与具体措施协同发力, 不仅提升了藻类产业在国家农业与食品安全战略中的地位, 而且为推动产业绿色高质量发展注入不竭动力。

3 我国藻类产业发展现状

3.1 藻类产业发展态势向好

近年来, 在国家政策扶持及市场需求推动下, 我国藻类产业总体呈稳步增长态势, 形成了规模化、集约化生产模式, 在良种创制、规模提升、产品升级以及市场拓展等方面取得显著成效。

3.1.1 藻类良种创制与扩繁技术取得了重要突破

藻类种质资源是保障藻类产品稳定供给的战略资源。近 30 年来, 我国在海带、紫菜、裙带菜、江蓠等藻类育种、种质扩繁、良种推广应用及产业化方面取得重要突破。基因工程和诱变育种技术的突破, 加速了藻类优良品种的选育和规模化培养, 不仅提高了藻类生物质产量, 而且提升了藻种的抗病、抗逆及环境适应性。科研人员充分利用我国独

特的海域环境和丰富的物种资源,采用传统育种技术与现代生物技术相结合的方法,成功构建藻类遗传育种技术体系。培育出“901”、“荣福”、“爱伦湾”、“黄官1号”、“三海”、“205”、“中宝1号”、“海农1号”、“东方系列”等12个海带新品种,“海宝1号”和“海宝2号”裙带菜新品种,“981”、“2007”和“鲁龙1号”龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)新品种,“申福1号”、“申福2号”、“闽丰1号”、“闽丰2号”、“浙东1号”坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)新品种,以及“苏通1号”、“苏通2号”条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)新品种等共计24个通过国家审定的海藻新品种(王文磊等,2023)。这些新品种具有产量高、品质好、生长快、抗逆性强等显著优势,为我国藻类产业可持续发展提供了有力的种质保障。

近年来,我国藻类苗种繁育技术不断取得新进展,通过改善育苗环境条件和工厂化栽培技术,实现温度、光照和营养盐的精准调控,显著提高了藻类苗种的繁育效率和产品质量。例如,山东省、福建省以海带定向杂交选育为主,辅以配子体克隆技术和室内低温育苗技术,不仅缩短了育苗时间,还大大降低了生产成本。辽宁省采用配子体预发育技术、全人工常温育苗技术和双高光种苗培育技术,有效解决了传统育苗周期长、生产成本高和受季节限制等问题,繁育出优良的海带、裙带菜苗种并进行产业推广(单体锋等,2016;冷晓飞等,2024)。江苏省采用壳孢子采苗技术,提高了条斑紫菜种苗培育及采苗效率,进一步推动紫菜育苗产业技术升级(朱赞杰等,2023)。此外,江蓠、铜藻(*Sargassum horneri*)、羊栖菜(*Sargassum fusiforme*)等经济海藻苗种规模化人工繁育技术也取得阶段性进展(许丰杰等,2024;张鹏等,2018;李生尧等,2010)。以上技术进步有效推动了我国藻类苗种繁育的科学化和产业化进程。

3.1.2 养殖规模提升促进了养殖技术的革新 近年来,全球对健康饮食和可持续食品的需求不断增长,藻类产业作为蓝色经济的重要组成部分,迎来快速发展的黄金时期。如图1所示,近5年来,我国藻类产量总体呈平稳增长态势,2023年,我国藻类总产量达到290.5万t(以干重计),同比增长5.9%,其中养殖产量为288.3万t,占比99.3%(农业农村部,2024)。由图2可以看出,海带、江蓠、裙带菜、紫菜和羊栖菜是我国主要的海藻养殖品种,2023年五大藻种的养殖产量之和为278.3万t,占海藻养殖总产量的96.5%,其中海带养殖产量高达178万t,占海藻养殖总产量的61.74%,稳居各品种之首(农业农村部,2024)。

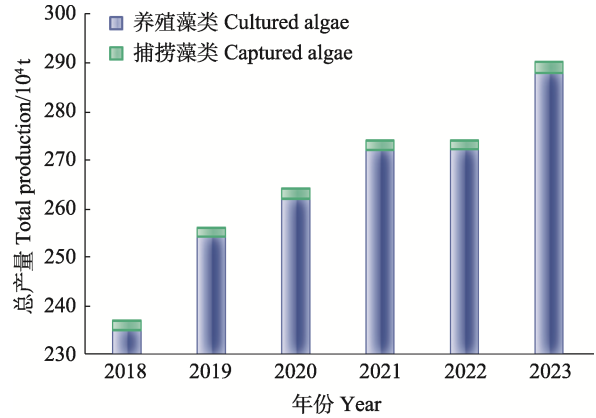


图1 2018—2023年中国养殖藻类和捕捞藻类的产量
Fig.1 China's aquaculture and capture production of algae, 2018—2023

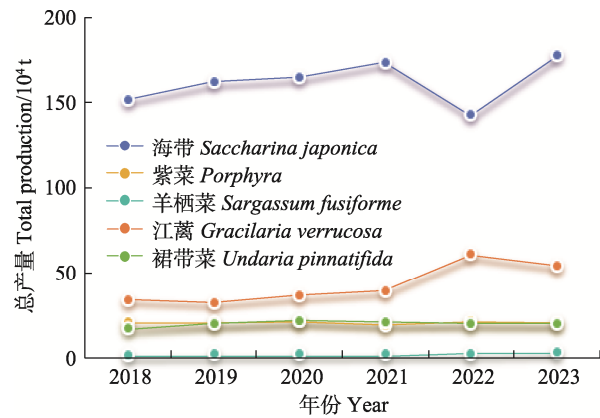


图2 2018—2023年中国主要藻类养殖品种产量
Fig.2 Production of major cultured algae species in China, 2018—2023

在区域分布上,我国藻类养殖主要集中在福建、山东、辽宁等沿海地区。2023年,福建、山东、辽宁的藻类养殖产量分别为139.56、73.22、50.78万t,占全国养殖海藻总产量的48.59%、25.49%、17.68%(农业农村部,2024)(图3)。藻类养殖产业布局区域相对集中,有利于形成集约化、规模化的藻类生产模式和产业发展格局。例如,福建省依托独特的地理优势和适宜的气候条件,成为海带、坛紫菜、江蓠养殖与加工的核心区域;山东、辽宁则分别是海带、裙带菜的重要生产基地;内蒙古、云南等省份因地制宜,发展出以微藻为特色的产业集群。

近年来,受传统养殖空间萎缩和近岸生态环境治理的双重因素影响,近岸筏式养殖模式正逐步向机械化和离岸式养殖模式发展转型(刘福利等,2019)。新的养殖技术如海带自动夹苗机、机械化采收船、智能监控系统和远程管理技术正在加快研发进程,并在主产区进行试验推广,未来有望提高海藻的养殖和采收效

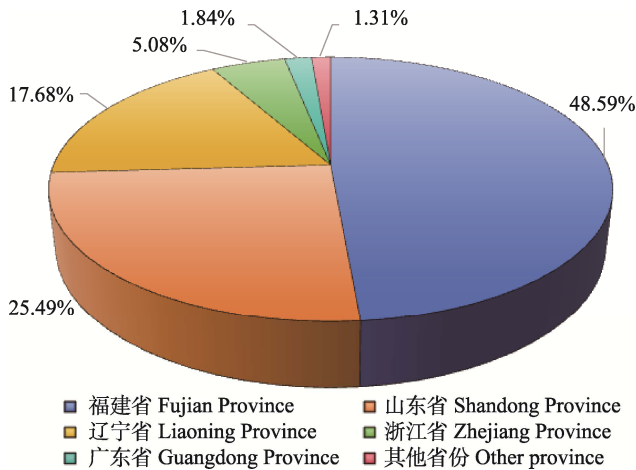


图 3 2023 年中国各省份养殖藻类的总产量占比 (农业农村部, 2024)

Fig.3 Percentage of cultured algae production by province in China in 2023

率,降低劳动强度和生产成本。同时,通过升级改造养殖浮筏、调控养殖水层和优化密度管理,实现了不同藻类的协同生产与互补效应;通过发展鱼藻、贝藻、参藻等多营养层次综合养殖(integrated multi-trophic aquaculture, IMTA)模式,进一步提升了水产养殖系统的整体效益和资源利用效率(吴陈阳等, 2025)。这些新技术和新模式的应用,为未来藻类产业的健康可持续发展奠定了坚实基础。

3.1.3 加工优势凸显进一步提升了产品附加值

近年来,围绕海洋新质生产力方向,我国着力布局藻类生物制品、藻类功能性食品等产品研发与规模化生产。我国藻类加工业正从传统的干制、盐渍等初级加工逐步向深加工、高附加值方向转型,不断扩展产品种类和应用领域,涉及普通食品、食品添加剂、保健品、海洋药物、化妆品、海藻饲料、海藻肥、农业投入品、海藻纤维、生物能源等多个领域。以海带为例,利用现代生化技术和生物酶解技术高效提取褐藻胶、岩藻聚糖硫酸酯、褐藻寡糖、岩藻黄素、褐藻多酚等活性成分,不仅使其在医药、保健品和功能性食品中得到广泛应用,也推动了海藻提取物向高端市场延伸(毕可海等, 2020; 黄文喜, 2022; 聂小伟等, 2023)。

我国藻类加工产业呈现出区域化产业集群特点。例如,山东省建立了海带食品精深加工示范基地,涵盖盐渍、烘干、速食、即食等多种产品,满足了市场对多元化海藻食品的需求;山东省还是全球最大的褐藻胶生产基地,随着生物技术的发展,褐藻胶的提取率和纯度不断提高,拓宽了新型褐藻胶产品在食品添加剂、医药、环保和化妆品等领域的应用。福建省的海藻加工产业依托区域优势,建成了全国最大的坛紫

菜、海带和琼胶、卡拉胶等红藻胶加工制品产业基地,不仅提升了藻类产品的附加值,还推动了产业链的纵向延伸。辽宁省将裙带菜列为特色优势海洋食品产业,形成了裙带菜育苗、养殖、加工、销售及国际贸易的全产业链,进一步巩固了我国在全球藻类产业中的领先地位。

3.1.4 藻类应用领域的拓展引领市场需求不断扩大

藻类产品因其高蛋白、低脂肪、高膳食纤维的特点,在植物基食品和功能性健康产品市场中占据重要地位,成为素食主义者和健康消费群体的优选。全球消费者对藻类产品的接受度不断提升,市场需求持续扩大,应用领域趋于多元化。如调味烤紫菜、盐渍海带苗、即食调味海带、速食海藻产品等备受消费者青睐,螺旋藻粉、小球藻粉、雨生红球藻油等微藻产品被广泛用于蛋白粉、营养补充剂和保健食品(Lafarga *et al.*, 2020),而褐藻胶、琼胶、卡拉胶等海藻提取物,具有增稠、乳化、凝胶等功能,已广泛应用于食品加工、医药制剂和化妆品等多个领域(欧阳茜茜等, 2016; Bi *et al.*, 2022; Pradhan *et al.*, 2023)。

近年来,我国藻类产品的国际贸易规模不断扩大。从《中国水产品进出口贸易统计年鉴》及《中华人民共和国海关总署数据》可知,2019—2023年,我国藻类产品年平均出口量达到7.5万t,出口额为4.9亿美元,主要出口到日本、韩国、美国及俄罗斯等国家和中国台湾地区,出口额排前五位的藻类产品包括烤紫菜、未列名制作或保藏的藻类制品、调味紫菜、盐渍裙带菜、盐渍海带,藻类产品出口情况统计见表1(海关总署, 2023)。中国、日本、韩国是传统藻类食品的主要消费市场,欧美国家对DHA藻油、螺旋藻粉等藻类保健品和海藻基生物塑料、微藻生物燃料等技术密集型产品的需求增速较快,东南亚、拉丁美洲、中东等地区也逐渐成为藻类产品的新兴市场。与此同时,随着国内藻类产业政策扶持力度加大、加工技术革新及品牌化建设,藻类产品的市场覆盖面和应用领域不断拓宽,为全球食品供应及健康产业提供优质原料及产品。

3.2 我国藻类产业发展存在的主要问题

尽管我国藻类产业在养殖规模、加工种类及国际贸易方面处于全球领先地位,但是仍存在养殖病害频发、机械化程度低、产业链和价值链分散、创新能力不足等瓶颈问题,影响了我国藻类产业的健康可持续发展。

3.2.1 抗逆种质选育技术与病害防控机制缺失,良种推广应用不足 全球气候变化对藻类种质资源的

表1 2019—2023年中国不同类型藻类产品出口情况统计
Tab.1 Export statistics of algae product categories in China from 2019 to 2023

产品类型 Product type	2019年		2020年		2021年		2022年		2023年	
	出口额 Export value/ 10 000 USD	出口量 Export volume/t	出口额 Export value/ 10 000 USD	出口量 Export volume/t	出口额 Export value/ 10 000 USD	出口量 Export volume/t	出口额 Export value/ 10 000 USD	出口量 Export volume/t	出口额 Export value/ 10 000 USD	出口量 Export volume/t
海带 Kelp	1 777.1	5 062.2	1 697.0	4 515.3	1 511.3	3 163.6	802.0	1 330.6	1 616.6	2 595.6
盐渍海带 Salted kelp	4 246.8	11 358.7	4 698.9	10 641.3	4 077.6	8 763.9	4 732.2	8 465.5	4 382.8	7 857.7
干紫菜 Dried laver	2 086.0	1 148.2	2 339.5	1 361.8	2 350.4	1 360.5	2 625.9	1 345.9	1 930.1	1 085.2
调味紫菜 Seasoned laver	5 454.3	2 404.3	5 590.5	2 311.6	8 153.2	2 932.3	7 450.6	2 461.0	9 012.8	3 038.9
烤紫菜 Roasted laver	14 408.8	5 737.2	12 785.9	5 398.1	16 685.0	6 786.9	14 447.0	5 640.5	15 151.6	6 004.9
干裙带菜 Dried wakame	6.2	7.0	6.0	13.6	9.8	14.4	5.3	5.7	3.0	5.9
盐渍裙带菜 Salted wakame	3 925.1	17 224.6	3 674.7	16 926.2	4 767.8	17 257.5	5 086.0	14 353.4	4 800.1	13 899.4
其他裙带菜 Other wakame	939.8	9 362.2	696.6	7 322.0	662.8	6 465.9	707.9	6 512.2	699.8	6 494.3
干麒麟菜 Dried <i>Euचेuma</i>	1.5	3.3	/	/	87.8	572.0	/	/	/	/
干江蓠 Dried <i>Gracilaria</i>	29.4	212.1	11.1	66.5	26.9	378.1	25.6	301.3	53.1	408.8
未列名适合供人食用的藻类 Edible algae not elsewhere specified	332.8	648.7	302.5	590.8	332.3	766.5	377.0	782.5	303.5	777.5
其他不适合供人食用的藻类 Other non-edible algae	303.7	1 992.3	203.0	1 052.2	338.7	1 354.1	374.3	1 685.2	353.7	1 262.0
未列名制作或保藏的藻类制品 Prepared or preserved algae products, not elsewhere specified	11 344.1	24 654.1	10 512.7	22 650.5	13 848.3	30 240.9	14 523.2	25 824.6	14 042.5	28 155.7
海藻酸盐及其酯类 Alginate and its esters	41.9	36.6	48.0	48.2	54.63	55.0	41.8	35.0	78.5	64.3
合计 Total	44 897.5	79 851.5	42 566.4	72 898.1	52 906.5	80 111.6	51 198.7	68 743.4	52 428.0	71 650.2

注：“/”表示数据缺失。

Note: / indicates missing data.

稳定性和栽培产业健康发展带来了严峻挑战,特别是全球暖化对海带、裙带菜等冷温性海藻养殖的影响尤为明显,导致生长抑制,生理紊乱和病害发生,进而影响产量和品质。紫菜、江蓠等藻类受高温影响,也频繁出现病害问题。目前部分高产品种虽已实现产业化推广,但是耐高温、耐高光及抗病害的种质选育技术仍有待突破,特定种质的精准筛选、分子育种及基因编辑等技术尚不成熟。此外,针对不同品种的适宜养殖参数,如种苗投放时间、养殖水层、密度管理等,

尚未形成标准化模式,导致良种应用比例低于预期,从而影响了良种的稳定推广和养殖效益的提升。

2021年11月至2022年4月,山东荣成海域由北向南陆续出现海带苗生长停滞,部分海带白化、溃烂等病害现象,受灾面积超9 300 hm²,直接经济损失20亿元(李晓东等,2023)。研究表明,海水透明度增加、光照强度大、微生态环境失衡及养殖密度过高是藻类病害发生的主要诱因,但是尚未完全阐明环境因子与养殖模式对病害暴发的影响机制(杨慧超等,

2019; 李晶晶等, 2020; 张继红等, 2021)。同时, 种质资源退化、栽培环境恶化、养殖密度不合理、管理规范化程度低等多重因素加剧了藻类病害传播风险。因此, 亟需建立藻类病害监测体系, 通过长期的环境因子与藻类病原分布数据积累, 查找病害诱因, 建立基于大数据的生态预警与病害防控平台, 为养殖生产和病害防控提供科学的数据支持。

3.2.2 藻类养殖机械化和智能化水平低, 劳动力成本高 目前, 我国藻类养殖和采收仍以人工方式为主, 机械化、智能化程度较低, 导致劳动强度大、生产效率低, 且面临劳动力短缺与成本上升的双重压力。藻类养殖具有明显的季节性特征, 尤其在采收季节, 劳动力需求激增, 普遍面临“招工难、用工贵、老龄化严重”等问题, 人力成本不断攀升, 甚至占到总成本的70%以上, 严重削弱了产业竞争力。此外, 人工操作受天气和海浪等环境因素影响较大, 增加了生产过程的不确定性, 制约了藻类养殖的规模化发展(李涵等, 2021)。

随着养殖向深水区扩展, 劳动强度和作业风险进一步加大, 亟需研发和推广自动化、智能化的养殖和采收设备, 降低对人工的依赖, 提高生产效率和安全性。目前, 我国部分地区已尝试引入机械化挂苗、自动化收割及智能监测设备, 但是由于设备成本高、适配性不足、技术体系不完善, 导致全面推广受限。与之相比, 日本和韩国在藻类养殖机械化方面已有显著进展, 研发了高效自动收割机、智能投苗装置及水下环境监测系统, 大幅降低了生产成本, 提高了作业精准度。因此, 加快我国藻类养殖装备的研发和推广, 构建适应不同养殖模式的智能化作业体系, 是推动藻类养殖业高效可持续发展的关键。

3.2.3 藻类原料结构性依赖进口, 高值化加工技术薄弱 当前我国食用和饲用的海藻原料资源相对丰富, 但用于加工海藻胶、海藻肥的巨藻属(*Maerocystis*)、泡叶藻属(*Ascophyllum nodosum*)、马尾藻属、江蓠属、麒麟菜属(*Eucheuma*)等原料主要从南美、澳大利亚和一些东南亚国家进口, 其藻胶含量高、提取效率优、价格相对低廉, 国产原料短期内难以有效替代, 对进口原料的依赖程度较高, 使得原料供应链稳定性面临潜在风险。与此同时, 受海域空间限制、养殖环境变化、劳动力短缺等多重因素影响, 藻类养殖产能增长变缓, 且呈现明显的季节性和地域性差异, 导致每年原料产量和价格波动较大, 进一步加剧了养殖收益和加工环节原料的稳定供应。我国藻类加工业长期局限于干海藻、盐渍海藻等初级农产品和海藻胶食品添加

剂等产品结构, 缺乏对藻类资源的高值化、高质化和多元化加工利用方面的研究, 科技创新能力不足, 技术装备研发滞后, 导致产业经济效益低、市场竞争力弱、产品同质化严重, 难以满足当前追求便捷、即食、营养、健康的新消费群体的需求。此外, 海藻胶和盐渍海藻加工过程中淡水、煤炭等资源消耗较大, 使用大量酸、碱、盐等加工助剂, 节能减排压力较大。因此, 亟需加快推进本地优质藻种的选育与规模化养殖, 提升藻类原料的保障水平, 促进藻类加工业转型升级和新旧动能转换, 研发加工尾水生物处理技术, 提高藻类资源综合利用率和精深加工能力, 拓宽藻类产品应用领域, 促进产业提质增效。

3.2.4 藻类产品品质评价、质量安全风险评估和可追溯体系研究滞后 藻类产品的质量安全状况受海域环境多变性、生产过程可追溯性和行业管理规范性等多重因素的影响。目前, 我国藻类养殖与加工主体多呈现“小、杂、散”的特点, 加之藻类产品营养品质评价技术不完善, 质量安全风险评估研究和可追溯体系建立明显滞后, 导致藻类产品质量分级、安全追溯与风险管控等方面存在技术瓶颈。围绕藻类产品质量安全提升、营养品质功效评价和全产业链追溯三大方向, 亟需开展藻类中重金属、农残等潜在风险因子的含量监测、形态分析及食用风险评估研究, 建立藻类质量安全风险预警、监控和溯源的防控机制。重点研发藻类产品营养品质与功效评价的关键技术, 构建藻类产品质量分级标准体系。结合藻类食品特点和居民膳食消费量, 制定科学合理的藻类中污染物和微生物限量的食品安全国家标准, 强化对藻类加工质量控制体系的管理, 涵盖原料验收、生产加工、包装标识、仓储物流、质量评价和追溯管理等各环节。建立藻类产品质量安全追溯数字化管理系统, 实现从生产源头到销售终端全产业链的动态监管和闭环追溯(王联珠等, 2021)。

4 我国藻类产业高质量发展路径与对策建议

针对藻类产业发展存在的主要问题, 从政策支持、技术创新、产业链延伸、绿色低碳、市场推广、品牌建设与国际合作等多个角度提出发展路径与对策建议, 以期助力藻类产业的高质量发展与转型升级。

4.1 强化政策扶持, 优化藻类产业发展环境

藻类产业的高质量发展离不开政府的引导与政策支持。各级政府应加大财政投入, 设立藻类专项研发资金, 推动藻类良种选育保护、病害防控、养殖机

械化、加工精深化等领域的关键技术攻关与设备升级。完善税收优惠、财政补贴、科研资助等政策支持,并将海藻基生物塑料、藻类碳汇等新兴领域纳入绿色税收优惠范围。建立以企业为主体的产学研合作机制,鼓励企业增加研发投入,通过联合研发、技术转让等形式,提升产业链的协同创新能力,形成具有国际竞争力的产业体系。同时,要借助区域示范园区和产业联盟,利用大数据、物联网及区块链等新技术,构建藻类产业的数据共享平台,整合藻种基因库、生产监测数据、市场供需信息、标准法规信息等,推动“育种—养殖—加工—销售”全产业链的协同发展,为产业发展提供持续有效的信息和政策支撑。此外,应引入金融资本,构建多元化融资模式,加大对技术研发、设备升级及市场推广的支持力度,为产业链延伸提供资金保障。

4.2 推动核心技术创新,提升产业竞争力

技术创新是促进藻类产业高质量发展的核心驱动力。首先,应加快藻类种质资源的保护与创新,构建国家级藻类种质资源库,系统收集全国优势藻类种群,开展基因测序和性状评价,筛选高产、抗逆、富含功能成分的优良种质。整合高通量测序、基因编辑、分子标记辅助育种等技术,提高抗病、抗逆、抗风浪等优良品种精准选育效率,推动精准育种技术的产业化应用。推广智能化室内苗种繁育管理系统,建设“藻类苗种智慧工厂”,构建水环境实时监测系统,动态调控水温、盐度、光照、营养盐等,筛选适宜的附着基,实现幼苗精准繁育,研制藻种亲本培育、苗种繁育和高效养殖技术规程,在全国范围内进行示范推广。

在养殖技术方面,结合现代渔业技术和智能化装备,优化藻类养殖密度、水层、周期及水体流速等关键参数,开发安全、高效的离岸式海藻浮筏养殖设施,规范养殖筏架的结构和布局,提高养殖设施的安全性、稳定性和使用效率,构建与优良种质相匹配的养殖模式,提高养殖综合效益。加快推进藻类养殖、采收设备机械化、自动化进程,全面推广智能海带分苗机、自动收割机、紫菜翻网装置等(刘福利等,2020),降低人工成本,提高生产效率。同时,建立病害预警与防控体系,推广生防菌筛选及应用技术,减少化学药剂使用,增强藻类抗病性和环境适应性。

在藻类精深加工领域,构建高效联产工程化新技术体系,优化藻类功能成分的提取、纯化和结构修饰工艺。建立藻类生物活性物质的结构、性能和应用的综合数据库,推动海藻多糖、岩藻黄素、藻胆蛋白等功能性成分在食品、医药、美容护肤、生物材料、农

业、环保等高端领域的应用,提高藻类资源的综合利用率,实现高值化、多元化发展。

总之,要以科技创新为支撑,以全产业链为载体,以精深加工为核心,向前拓展到良种创制、生态养殖、病害防控和装备制造,向后延伸至质量控制、品牌建设和市场流通等环节,不断提升产业链的韧性和供应链的稳定性。

4.3 促进绿色低碳发展,实现可持续利用

绿色低碳发展是藻类产业长期可持续发展的重要保障。首先,应根据海域生态承载力和资源分布情况,科学划分养殖区与禁养区,推广区域轮作养殖、低密度分散养殖及离岸深水养殖模式。其次,构建“蓝色碳汇”产业体系,加强藻类碳汇功能研究,建立藻类养殖与加工过程碳源汇的科学计量范式,推动其在碳减排、碳中和、生态修复等方面的应用。第三,针对加工过程中产生的高盐废水、固体废弃物等污染问题,采用生物降解技术、膜分离处理等手段,实现废弃物的资源化利用,提高生产过程的环保水平。第四,在“双碳战略”指引下构建可持续标准体系,推动“健康养殖标签”、“藻类碳足迹追踪”等生态认证机制,并积极加入无添加、无残留等国际清洁标签标准,以提升产品环保价值。

4.4 提升消费者认知度,推动跨界合作与品牌建设

市场推广与品牌建设是提升藻类产品附加值和国际竞争力的重要手段。首先,要加强公众对藻类的科学认知,开展“海藻入膳”健康推广活动,宣传藻类的营养价值和健康功效,提高消费者的接受度。同时,依托地方资源,发展藻类健康旅游产业,打造藻类文化体验基地,推动藻类产业与健康、旅游、食品等领域的融合发展。在品牌建设方面,企业应着力提高产品质量,提升品牌价值,强化质量认证,利用“互联网+”和跨境电商平台,推广地理标志产品和区域特色品牌,增强品牌的公信力;构建以“健康+生态”为核心的绿色标签体系和“可持续+可追溯”质量信任体系,提升品牌的国际影响力。

4.5 拓展国际市场,增强全球竞争力

全球健康食品和可持续能源市场的快速增长,为我国藻类产业带来了巨大的国际化发展机遇。我国藻类产业需要加快市场多元化步伐,减少对传统市场的依赖,积极开拓东南亚、欧美、中东等新兴市场,提高全球市场份额;同时,拓展跨境电商业务,布局海外仓和外贸综合服务模式,优化供应链效率,提升国际市场竞争能力。其次,应加强与先进国家在智能化养

殖、深加工技术及标准体系建设方面的合作,通过技术引进与联合研发,实现产品升级和标准互认,提升藻类产品在国际市场中的竞争优势。此外,借助“一带一路”倡议及多边合作平台,推动国际标准对接与全球供应链整合,构建跨国经营模式和全球资源配置网络,促进我国藻类产业的全球布局。

5 结论与展望

藻类产业作为蓝色粮食的重要组成部分,在保障国家粮食安全、优化食物结构、促进碳中和目标实现、助力乡村全面振兴等方面具有重要作用。近年来,在政策支持和市场需求的推动下,我国藻类产业规模不断扩大,在种质创新、智能化养殖、深加工技术等方面取得了一定进展,但仍面临诸多挑战,如优良抗逆种质培育不足、病害防控体系滞后、机械化养殖水平低、深加工技术创新乏力以及质量标准体系尚待完善等。

随着全球对健康食品、绿色农业和碳减排的关注度不断增加,藻类产业迎来了重要的发展机遇。我国应继续加强对藻类产业的政策支持力度,加快构建现代化藻类育种体系,推动智能化、绿色养殖模式的普及,提高产业机械化水平,完善藻类产品质量安全监管体系。同时,应积极拓展国际交流合作,推动藻类制品在食品、医药、农业、环保等领域的广泛应用。总之,通过政策扶持、技术创新、品牌建设、市场推广和人才培养的协同推进,藻类产业将有望成为推动蓝色经济增长的重要引擎,不仅为深入践行“大食物观”提供良好的范例,而且为全球食物安全与产业可持续发展贡献中国智慧。

参 考 文 献

- 毕可海, 张玉莹, 孙玉奉, 等. 超声辅助酶法提取海带岩藻黄素工艺条件研究. *食品研究与开发*, 2020, 41(16): 88–93 [BI K H, ZHANG Y Y, SUN Y F, *et al.* Study on process conditions of ultrasonic assisted enzymatic extraction of fucoxanthin from kelp. *Food Research and Development*, 2020, 41(16): 88–93]
- 高金伟, 姜青青, 张芮, 等. 微藻生物固碳技术研究进展. *黑龙江水产*, 2024, 43(5): 540–545 [GAO J W, JIANG Q Q, ZHANG R, *et al.* Research progress of biological carbon sequestration technology by microalgae. *Northern Chinese Fisheries*, 2024, 43(5): 540–545]
- 共产党员网. 中央农村工作会议. (2015-12-25). <https://news.12371.cn/2015/12/25/ARTI1451041415467171.shtml> [Communist Party Member Network. Central rural work conference. (2015-12-25). Available from <https://news.12371.cn/2015/12/25/ARTI1451041415467171.shtml>]
- 国家发展和改革委员会. “十四五”生物经济发展规划. 2021 [National Development and Reform Commission. 14th Five-Year Plan for the development of the bioeconomy. 2021]
- 国家市场监督管理总局等. 关于发布辅酶 Q10 等五种保健食品原料目录的公告: 2020 年第 23 号公告. 北京: 国家市场监督管理总局, 2020 [National Administration for Market Regulation. Announcement on the release of the directory of five types of health food raw materials including coenzyme Q10: Announcement No.23 of 2020. Beijing: National Administration for Market Regulation, 2020]
- 国务院办公厅. 关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见. 北京: 国务院办公厅, 2024 [General Office of the State Council. Opinions on practicing a broad food view and building a diversified food supply system. Beijing: General Office of the State Council, 2024]
- 何培民, 刘媛媛, 张建伟, 等. 大型海藻碳汇效应研究进展. *中国水产科学*, 2015, 22(3): 588–595 [HE P M, LIU Y Y, ZHANG J W, *et al.* Research progress on the effects of macroalgae on carbon sink. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(3): 588–595]
- 黄文喜. 微生物降解海带渣制备海藻提取物及其对番茄生长的影响. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2022 [HUANG W X. Preparation of algal extracts from kelp residue by microbial degradation and their effects on tomato growth. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2022]
- 季仲强. 近岸海域氮磷污染生态修复与大型海藻生物能源提取研究. 浙江大学博士研究生学位论文, 2011 [JI Z Q. Study on nearshore ecological remediation of nitrogen and phosphorous pollution and bioenergy extraction from macroalgae. Doctoral Dissertation of Zhejiang University, 2011]
- 冷晓飞, 张喜昌, 齐筱莹, 等. 配子体预发育技术在海带配子体育苗生产中的应用效果研究. *渔业研究*, 2024, 46(3): 248–253 [LENG X F, ZHANG X C, QI X Y, *et al.* Studying on the application effect of gametophyte predevelopment technology in the production of sporophyte seedling of *Saccharina japonica*. *Journal of Fisheries Research*, 2024, 46(3): 248–253]
- 李涵, 青平, 张晓恒, 等. 我国藻类产业发展现状、问题及对策建议. *中国农业科技导报*, 2021, 23(1): 12–20 [LI H, QING P, ZHANG X H, *et al.* Current status, problems and countermeasures of algae industry development in China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(1): 12–20]
- 李晶晶, 秦松, 刘福利, 等. 全球变化下的海藻学术和应用新趋势. *科学通报*, 2020, 65(5): 334–338 [LI J J, QIN S, LIU F L, *et al.* New trends in the research and applications of seaweed in response to global change. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(5): 334–338]
- 李生尧, 许曹鲁, 李建榜, 等. 羊栖菜“鹿丰 1 号”人工选育

- 及养殖中试. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 88–94 [LI S Y, XU C L, LI J B, *et al.* Selection, artificial breeding and cultivation of *Hizikia* “Lu Feng No.1”. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(2): 88–94]
- 李晓东, 苏丽, 李晓捷, 等. 2021—2022 年山东荣成海带产区大规模溃烂灾害综合调查分析. 中国农业科技导报, 2023, 25(1): 206–222 [LI X D, SU L, LI X J, *et al.* Comprehensive analysis of large-scale *Saccharina japonica* damage in the principal farming area of Rongcheng in Shandong Province from 2021 to 2022. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2023, 25(1): 206–222]
- 刘福利, 梁洲瑞, 张朋艳, 等. 中国海带养殖向离岸深水区发展的初步探讨. 渔业科学进展, 2019, 40(1): 161–166 [LIU F L, LIANG Z R, ZHANG P Y, *et al.* Preliminary discussion on the development of *Saccharina japonica* offshore aquaculture in China. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(1): 161–166]
- 刘福利, 牛建峰, 隋正红, 等. 中国经济海藻养殖技术概况与展望. 中国农业科技导报, 2020, 22(12): 1–9 [LIU F L, NIU J F, SUI Z H, *et al.* Overview and prospects of China economic seaweed cultivation technology. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(12): 1–9]
- 刘子烁, 刘诗伟, 杨玉祥, 等. 藻类净水除杂系统对微塑料及氮、磷去除效果的影响. 渔业科学进展, 2024, 45(2): 114–122 [LIU Z S, LIU S W, YANG Y X, *et al.* An algae water purification and decontamination system that removes microplastics, nitrogen and phosphorus. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(2): 114–122]
- 聂小伟, 何粉霞, 毕可海, 等. 生物技术降解海带岩藻聚糖硫酸酯分子研究现状. 农产品加工, 2023(14): 67–70, 74 [NIE X W, HE F X, BI K H, *et al.* Research study on biodegradation of seaweed fucoglycan sulfate. *Farm Products Processing*, 2023(14): 67–70, 74]
- 农业部. 褐藻酸寡糖作为饲料添加剂的批准文件: 2011 年第 01 号新饲证. 北京: 农业部, 2011 [Ministry of Agriculture. Approval document of alginate oligosaccharide as a feed additive: Certificate No.2011–01. Beijing: Ministry of Agriculture, 2011]
- 农业农村部, 国家发展和改革委员会. 农业农村减排固碳实施方案. 2022 [Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission. Implementation plan for reducing emissions and increasing carbon sequestration in agriculture and rural areas. 2022]
- 农业农村部. 落实中共中央国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴工作部署的实施意见. 2024 [Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Implementation opinions on implementing the deployment of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on Learning from and applying the experience of the “Thousand Village Demonstration, Ten Thousand Village Improvement” Project to Promote Rural Revitalization. 2024]
- 农业农村部. 饲料原料目录(2023 年版). 北京: 农业农村部, 2023 [Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Feed raw material directory (2023 Edition). Beijing: Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2023]
- 欧阳茜茜, 陈法锦, 李思东, 等. 琼胶及琼胶寡糖的加工与应用研究进展. 山东化工, 2016, 45(23): 58–60, 62 [OUYANG Q Q, CHEN F J, LI S D, *et al.* Processing and application progress of agar and agaro-oligo saccharide. *Shandong Chemical Industry*, 2016, 45(23): 58–60, 62]
- 单体锋, 李静, 逢少军. 我国裙带菜育苗和育种技术的回顾和展望. 中国农业科技导报, 2016, 18(1): 164–170 [SHAN T F, LI J, PANG S J. Review and prospect on seedling production and breeding techniques of *Undaria pinnatifida* in China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2016, 18(1): 164–170]
- 汤伟, 王祺, 李佳欣, 等. 饲料中添加褐藻寡糖、红藻寡糖对虹鳟生长性能、肌肉营养成分及血清免疫功能的影响. 农业生物技术学报, 2024, 32(9): 2100–2111 [TANG W, WANG Q, LI J X, *et al.* Effects on dietary supplementation of algal oligosaccharides or red algal oligosaccharides on growth performance, muscle nutrient composition and serum immune function of *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2024, 32(9): 2100–2111]
- 王联珠, 赵艳芳, 李娜, 等. 海藻产品质量安全风险研究. 中国渔业质量与标准, 2021, 11(2): 1–12 [WANG L Z, ZHAO Y F, LI N, *et al.* Study on quality and safety risk of seaweed products. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2021, 11(2): 1–12]
- 王文磊, 徐燕, 纪德华, 等. 大型海藻育种技术研究进展及其应用. 水产学报, 2023, 47(11): 44–57 [WANG W L, XU Y, JI D H, *et al.* Advances in seaweed breeding technology and its applications. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(11): 44–57]
- 卫生部. 关于批准蛋白核小球藻为新资源食品的公告: 2012 年第 19 号公告. 北京: 卫生部, 2012 [Ministry of Health. Announcement on the approval of *Chlorella pyrenoidosa* as a new resource food: Announcement No. 19 of 2012. Beijing: Ministry of Health, 2012]
- 卫生部. 关于批准钝顶螺旋藻、极大螺旋藻为普通食品等有关问题的通知: 2004 年第 17 号公告. 北京: 卫生部, 2004 [Ministry of Health. Announcement on the approval of *Spirulina platensis* and *Spirulina maxima* as ordinary food and related issues: Announcement No.17 of 2004. Beijing: Ministry of Health, 2004]
- 卫生部. 关于批准雨生红球藻为新资源食品的公告: 2010 年第 17 号公告. 北京: 卫生部, 2010 [Ministry of Health. Announcement on the approval of *Haematococcus pluvialis* as a new resource food: Announcement No.17 of 2010. Beijing: Ministry of Health, 2010]
- 魏延丽, 王金虎, 李静, 等. 碳中和背景下微藻生物固碳技术的研究进展. 环境生态学, 2023, 5(5): 42–48 [WEI Y L, WANG J H, LI J, *et al.* Research on microalgae biological carbon sequestration technology in the context of carbon

- neutrality. *Environmental Ecology*, 2023, 5(5): 42–48]
- 吴陈阳, 袁野, 陈晓鹏, 等. 多营养层级综合养殖模式的应用现状及展望. *中国农学通报*, 2025, 41(7): 154–164 [WU C Y, YUAN Y, CHEN X P, *et al.* Application status and prospect of integrated multi-trophic aquaculture model. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2025, 41(7): 154–164]
- 新华社. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告. 2022-10-25. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm [Xinhua News Agency. Hold high the great banner of socialism with Chinese characteristics and unite to strive for the comprehensive construction of a modern socialist country—Report at the 20th National Congress of the Communist Party of China. 2022-10-25. Available from https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm]
- 许丰杰, 周晓群, 赵运星, 等. 我国提升海洋牧场生态效益路径研究. *中国渔业经济*, 2024, 42(5): 118–126 [XU F J, ZHOU X Q, ZHAO Y X, *et al.* Research on the path to improve the ecological benefits of marine ranching in China. *Chinese Fisheries Economics*, 2024, 42(5): 118–126]
- 杨慧超, 李杰, 阎永伟, 等. 经济海藻病害及防控技术的研究进展. *海洋科学*, 2019, 43(1): 101–111 [YANG H C, LI J, YAN Y W, *et al.* Pathogens, virulence mechanism, and disease control in economic marine macroalgae. *Marine Sciences*, 2019, 43(1): 101–111]
- 张晨宇. 海藻酸钠基LDH-ZnO抗菌复合材料的制备及性能研究. 江南大学硕士研究生学位论文, 2021 [ZHANG C Y. Preparation and properties of LDH-ZnO antibacterial composite material based on sodium alginate. Master's Thesis of Jiangnan University, 2021]
- 张继红, 刘纪化, 张永雨, 等. 海水养殖践行“海洋负排放”的途径. *中国科学院院刊*, 2021, 36(3): 252–258 [ZHANG J H, LIU J H, ZHANG Y Y, *et al.* Strategic approach for mariculture to practice “ocean negative carbon emission”. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(3): 252–258]
- 张鹏, 王铁杆, 钟晨辉, 等. 铜藻苗种繁育研究. *水生生物学报*, 2018, 42(2): 428–438 [ZHANG P, WANG T G, ZHONG C H, *et al.* Study on seed breeding of *Sargassum horneri*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(2): 428–438]
- 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院关于加大改革创新力度加快农业现代化建设的若干意见. 2016 [CPC Central Committee, State Council. Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on promoting rural reform and development and accelerating the modernization of agriculture. 2016]
- 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院关于进一步深化农村改革 扎实推进乡村全面振兴的意见. 2025 [CPC Central Committee, State Council. Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on further deepening rural reform and promoting rural revitalization. 2025]
- 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院关于全面推进乡村振兴 加快农业农村现代化的意见. 2022 [CPC Central Committee, State Council. Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on comprehensively promoting rural revitalization and accelerating the modernization of agriculture and rural areas. 2022]
- 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院关于做好 2023 年全面推进乡村振兴重点工作的意见. 2023 [CPC Central Committee, State Council. Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on doing a good job in promoting rural revitalization in 2023. 2023]
- 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2024 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2024 [Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2024. Beijing: China Agriculture Press, 2024]
- 周小叶, 蔡路昀. 岩藻黄素产业化技术研究进展. *现代食品科技*, 2024, 40(3): 361–372 [ZHOU X Y, CAI L Y. Research progress on industrializable technologies for fucoxanthin. *Modern Food Science and Technology*, 2024, 40(3): 361–372]
- 朱赟杰, 杨信明. 条斑紫菜种苗高效培育试验. *水产养殖*, 2023, 44(6): 52–53 [ZHU Y J, YANG X M. Efficient seedling cultivation experiment of *Porphyra yezoensis*. *Journal of Aquaculture*, 2023, 44(6): 52–53]
- ALAZAIZA M Y D, ALBAHNASAWI A, AHMAD Z, *et al.* Potential use of algae for the bioremediation of different types of wastewater and contaminants: Production of bioproducts and biofuel for green circular economy. *Journal of Environmental Management*, 2022, 324: 116415
- ALI O, RAMSUBHAG A, JAYARAMAN J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 2021, 10(3): 531
- BI D, YANG X, YAO L, *et al.* Potential food and nutraceutical applications of alginate: A review. *Marine Drugs*, 2022, 20(9): 564
- BOONPRAB K, CHIRAPART A, EFFENDY W N A. Edible-algae base composite film containing gelatin for food packaging from macroalgae, Gracilaroid (*Gracilaria fisheri*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2024, 104(11): 6987–7001
- CHADWICK M, CARVALHO L G, VANEGAS C, *et al.* A comparative review of alternative fucoidan extraction techniques from seaweed. *Marine Drugs*, 2025, 23(1): 27
- CHANDRANI S, DRISHANU D, VAISHNAVI G, *et al.* Role of macroalgal blue carbon ecosystems in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 2025, 958: 177751

- FAO, OECD. Agricultural outlook 2024–2033. Rome and Paris: FAO and OECD, 2024. Available from https://www.oecd.org/en/publications/oecd-fao-agricultural-outlook-2024-2033_4c5d2cfb-en.html
- FAO. Fishery and aquaculture statistics-yearbook 2022. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome: FAO, 2025. Available from <https://doi.org/10.4060/cd4312en>
- JESTER B W, ZHAO H, GEWE M, *et al.* Development of *Spirulina* for the manufacture and oral delivery of protein therapeutics. *Nature Biotechnology*, 2022, 40(6): 956–964
- LAFARGA T, FERNÁNDEZ-SEVILLA J M, GONZÁLEZ-LÓPEZ C, *et al.* *Spirulina* for the food and functional food industries. *Food Research International*, 2020, 137: 109356
- PRADHAN B, KI J S. Biological activity of algal derived carrageenan: A comprehensive review in light of human health and disease. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 238: 124085
- WANG M, YE X X, BI H W, *et al.* Microalgae biofuels: Illuminating the path to a sustainable future amidst challenges and opportunities. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 2024, 17(1): 10
- WANG M, ZHOU J J, TAVARES J, *et al.* Applications of algae to obtain healthier meat products: A critical review on nutrients, acceptability and quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, 63(26): 8357–8374
- WU J Y, TSO R, TEO H S, *et al.* The utility of algae as sources of high value nutritional ingredients, particularly for alternative/complementary proteins to improve human health. *Frontiers in Nutrition*, 2023, 10: 1277343

(编辑 马璀璨)

Paths and Countermeasures for High-Quality Development of Algae Industry Under the Background of “All-Encompassing Approach to Food”

GUO Yingying^{1,2}, YU Fan¹, WANG Lianzhu^{1,2}, LI Na^{1,2}, ZHU Wenjia^{1,2}, XU Dong¹,
LI Jie¹, JIANG Yanhua^{1,2}, YAO Lin^{1,2}^①

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. Key Laboratory of Testing and Evaluation for Aquatic Product Safety and Quality,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao 266071, China)

Abstract Algae have important strategic significance in optimizing food supply systems, promoting carbon sink fishery development, and enhancing marine economic competitiveness owing to their efficient biosynthetic capability, rich nutritional value, and ecological regulatory role. This article analyzes the current development status and main challenges faced by China's algae industry from the perspective of the "All-Encompassing Approach to Food," and propose pathways and countermeasures to promote high-quality development of industry. Currently, China's algal industry has demonstrated steady overall growth, developing into a large-scale, intensive production system. Significant progress have been made in developing superior germplasm, expanding cultivation scales, upgrading products, and growing markets. However, some challenges still persist, such as limited innovation in stress-resistant germplasm, inadequate disease prevention and control systems, low levels of mechanization and automation in cultivation, short industrial chains, limited scientific research investment, outdated deep processing technology, and underdeveloped quality and safety supervision systems. To develop and expand the algal industry, it is necessary to strengthen policy support, accelerate breakthroughs in core and key technologies, and promote coordinated industry chains, green and low-carbon transformation, brand building, and global market integration.

Key words All-Encompassing Approach to Food; Algae industry; Technology innovation; Industrial chain upgrading; Promotion pathways

① Corresponding author: YAO Lin, Email: yaolin@ysfri.ac.cn