

我国微藻产业标准化现状及展望

周浩媛¹, 刘翔², 高政权², 孟春晓², 李斌³, 向文洲⁴

(1. 山东工商学院 公共管理学院, 山东 烟台 264005; 2. 滨州医学院 药学院, 山东 烟台 264003; 3. 山东省畜产品质量安全中心, 山东 济南 250022; 4. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

摘要: 微藻应用前景广阔, 是国际生物技术领域新资源物种和新资源产品开发的热点方向。我国的微藻开发应用已超过半个世纪, 养殖产量已达全球的三分之二, 微藻受到越来越多的关注。但微藻产业在我国发展还不规范, 其产业标准体系亟待完善。本文介绍了我国微藻产业发展历史、现状及发展趋势, 并阐述了微藻产业标准化体系构建的重要性。针对微藻种质资源评价、生产养殖技术规范、产品质量安全标准体系等方面, 较为全面地分析了我国微藻产业标准化存在的问题。结合微藻产业标准化现状, 围绕种质资源分类的基础类标准, 规范产品生产技术工艺的技术规程类标准, 产品营养成分或活性物质的检测方法类标准以及反映产品质量和安全的产品类标准四个维度, 提出了关于构建微藻产业标准化体系的思考, 并对加强我国微藻产业标准化工作提出对策建议。

关键词: 微藻产业; 标准化; 现状; 问题; 对策

中图分类号: Q949.2 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2023)6-0144-08

DOI: 10.11759/hyhx20220617002

微藻是指个体微小、在显微镜下才能识别其形态特征的藻类, 按传统生物分类观念, 也是最低等、光合效率最高的植物, 具有生长快、适应性强、可高产蛋白、油脂和碳水化合物, 并富含极为丰富的生物活性物质等生理特性^[1]。与传统农作物相比, 微藻作为新型生物资源开发具有不占用耕地、节约淡水、生长代谢易定向调控、高效资源化利用 CO₂ 以及有效避免传统作物种植中的土壤排放温室气体等优点^[1]。微藻是新型/战略生物资源开发的宝库, 长期以来均是国际生物技术产业的热点研发方向。微藻产业通过大规模商业化培养生产和加工利用微藻生物物质, 在医药保健、食品、饲料、新材料、可再生能源、污染治理、碳减排等领域得到了一定程度的应用, 并具有不断创新发展的广阔前景^[2-3]。

与传统的农业作物相比, 微藻产业是一个正在快速培育和发展中的产业, 产业链条涵盖藻种选育、培养、加工、产品应用等复杂环节, 并交织着传统农业和现代工业的一些共同的技术特征, 我国微藻产业标准化工作起步较晚, 基础薄弱, 伴随着新资源藻种及新资源产品开发呈现逐步加快的趋势, 相关技术与产品标准或规范已经跟不上技术开发和产品研制进程的需求。近年来虽然开展了一些标准的制修订工作, 但至今尚未形成较为完整的标准化体系, 一定程度上制约了微藻新产品的大规模商业化应用

推广和相关产业健康可持续发展。如何构建微藻产业标准化体系, 有力推动微藻原料生产行业发展及其与下游应用行业的深度融合, 加速微藻研发生产要素向食品营养品、水产饲料、生态农业、环保产业等领域拓展, 推动微藻产业绿色转型和高质高值化升级及健康可持续发展, 是一个值得关注和深入探讨的问题。

1 我国微藻产业发展现状

我国微藻资源开发起源于 20 世纪 60 年代初饥荒年代的小球藻生产及水产育苗中的微藻饵料培养, 但真正的产业化起步始于 20 世纪 80 年代中期螺旋藻和盐生杜氏藻规模培养的形成。20 世纪 70 年代, 中国科学院水生生物研究所、南京大学和中国科学

收稿日期: 2022-06-17; 修回日期: 2022-08-21

基金项目: 山东工商学院博士启动基金(BS202118); 农业农村部农业标准制定和修订项目(NYB-22267); 广东省海洋经济发展(海洋六大产业)专项资金项目(GDNRC[2023]38)

[Foundation: Doctoral Foundation of Shandong Technology and Business University, No. BS202118; Agricultural Standard Formulation and Revision Project of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, No. NYB-22267; The Marine Economic Development Project, No. GDNPC[2023]38]

作者简介: 周浩媛(1991—), 女, 山东东营人, 汉族, 博士, 讲师, 主要研究领域为微藻的资源化利用及标准化研究, E-mail: zhouhaoyuan2009@hotmail.com; 向文洲(1967—), 通信作者, 男, 湖北鹤峰人, 博士, 研究员, 从事海藻生理生化、海藻天然产物、保健食品及可再生资源的开发利用研究, E-mail: xwz@scesio.ac.cn.

院植物研究所等单位分别引进螺旋藻藻种,开展了培养及光合产氢试验研究。1984年,原国家农牧渔业部科技司成立了科研协作组,组织多家单位开展了螺旋藻蛋白质资源开发可行性研究试验,并提交了“关于螺旋藻研究开发的一个建议”^[4]。1985年,原国家经委立项,组织了微藻开发协作攻关,并把螺旋藻蛋白质的开发利用列入国家第七个五年计划。在著名藻类学家曾呈奎院士和黎尚豪院士的领导下,藻类科研工作者进行了螺旋藻生理、生态、优良品系选育、养殖、加工及应用等多方面的研究,为我国螺旋藻产业发展奠定了坚实基础,也标志着我国微藻产业发展进入快车道^[5]。

经过几十年的探索,目前我国微藻培养面积和产量已具有相当的规模。已实现规模化养殖的微藻品种主要包括螺旋藻、蛋白核小球藻、雨生红球藻和盐生杜氏藻等,总生物量已超过 1×10^4 t,成为世界上最大的微藻生产国家,基于微藻养殖用于营养与保健食品、生物饵料、动物饲料、化妆品、生物质能源生产以及二氧化碳的富集与利用、污水处理等也呈现蓬勃发展趋势。螺旋藻和小球藻是目前养殖生产规模最大的藻种,其中我国螺旋藻产量已达 9 000 t 以上,占世界螺旋藻总产量的 80%^[6]。受微藻生长特性和产区气候条件影响,不同微藻的主产地分布也有所不同。螺旋藻产地主要分布在内蒙古、广西、海南、江西、江苏、福建、山东等地区,包括开放式跑道池和封闭式大棚等养殖方式^[7]。小球藻养殖主要分布在福建、广东、江西、山东等地区,养殖方式包括开放式跑道池、封闭式光生物反应器和异养发酵等^[8]。当前小球藻年产量已超 2 000 t,国际市场的年需求量约为 8 000~10 000 t,小球藻的开发和应用前景十分广阔^[9]。2012年,原卫生部颁布《关于批准蛋白核小球藻等 4 种新资源食品的公告(2012年第 19 号)》,正式批准小球藻为新资源食品。雨生红球藻养殖则是以南方地区为主,主要分布在云南、海南、广东等,近年来山东等地也开始尝试养殖。盐生杜氏藻养殖分布在盐场或盐湖资源丰富地区,主要集中在天津、新疆、山东、内蒙古等北方地区^[10]。盐藻中含有大量的类胡萝卜素等多种生物活性物质和人体所需的矿物质,具有抗辐射、清除人体内自由基、提高人体免疫力等作用^[11]。原卫生部 2009 年第 18 号规定将盐藻及其提取物列入“新资源食品”,现广泛应用于食品和保健品行业。目

前市场上流通的微藻产品是通过养殖、采收、干燥等环节生产的初级加工物,产品形式以干粉、片剂和胶囊为主^[12-13]。近年来,也有一些微藻提取物产品开始流行,主要用于食品添加剂或天然色素等,包括从螺旋藻来源的藻蓝蛋白和雨生红球藻来源的虾青素等^[14-15]。

随着我国经济社会持续稳定发展和居民生活水平的不断提高,对不同品种和产品类型的微藻需求日益增加,微藻产业转型升级需求十分迫切,这些不断增加的需求提升了行业对微藻从藻种选育、原料生产到产品制造标准化的巨大需求。2012年3月我国螺旋藻产业“铅超标事件”,实际上是以该藻为原料的片剂中铅含量限量缺少明确规定,导致标准执行时出现偏差,引起检验结果误读,最终使螺旋藻产业陷入严重的信任危机,产品价格和市场销量均出现明显下滑^[16]。经此事件,微藻产业标准化体系成为藻类行业和标准化领域工作者共同关注的热点。同时,微藻产业也面临着藻种资源家底不清、产品种类少、产品形式过于单一、产品的营养价值和精准功能有待阐明、工业化大规模养殖模式尚未形成等问题^[13]。标准是经济活动和社会发展的技术支撑,也是推动产业高质量发展的基础保障。构建微藻产业标准化体系将对于提高微藻产品质量,推动技术进步、结构调整、产业升级等方面都具有重要作用。

2 我国微藻产业标准化建设现状及存在的问题

我国已发布实施的与藻类相关的标准共计 167 项,包括强制性国家标准 24 项,推荐性国家标准 23 项,行业标准 61 项,地方标准 59 项。其中,微藻领域相关标准包括国家标准 4 项,行业标准 10 项,地方标准 34 项。

相比大型海藻产业,微藻产业标准化工作存在标准整体数量偏少,覆盖面偏窄,部分领域标准缺失,标准技术水平有待提升,标准化人员、队伍和技术机构积累不足,体系构建缺少顶层设计和系统考虑等问题。通过系统分析已经实现规模化养殖的螺旋藻、小球藻、雨生红球藻和盐生杜氏藻等产业,发现微藻产业仍然存在着种质资源评价缺乏标准、生产养殖技术缺乏规范、产品质量安全标准体系不够完善等诸多问题。主要标准如图 1 所示。

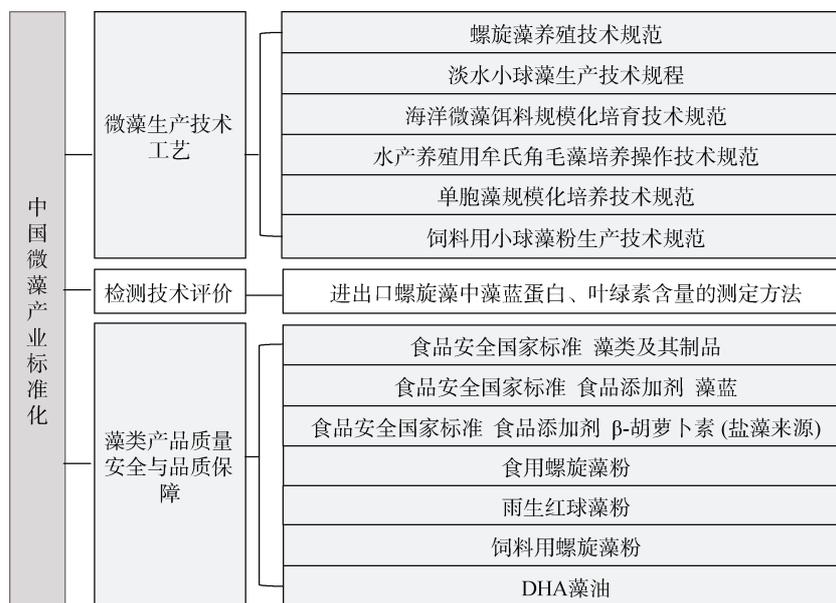


图 1 中国微藻产业标准化体系现行标准

Fig. 1 Current standards of the microalgae industry standardization system in China

2.1 微藻种质资源标准化涵盖范围过小

微藻种质资源是微藻产业的“芯片”，通过筛选和培育系列优良微藻种质资源，能够提高微藻的规模化高密度培养，保障并促进我国微藻产业健康高效发展^[17]。微藻个体小，难分离，单细胞纯种易随环境变化发生变异，易丧失细胞生理活性和遗传特性，使得开展微藻种质资源分离、选育、鉴定、保存工作显得尤为重要^[18]。目前与微藻种质资源相关的技术标准仅有农业农村部发布实施的《水产养殖用海洋微藻保种操作技术规范》(SC/T 2047—2006)，该规范对水产养殖用微藻保种的术语和定义、设施设备和条件、基本操作与日常管理、藻种来源和分离纯化、藻种保存培养、室内小型扩增培养及藻种种质库的建立与管理办法等进行了限定。但该标准仅规定了用于水产养殖动物苗种培育、动物性饵料生物、经济双壳类成体的饵料、净化水质的海洋单胞藻类，对于目前已规模化生产且应用广泛的螺旋藻、雨生红球藻等藻类均未涵盖。

2.2 微藻生产技术标准化跟不上技术发展，缺乏统一技术规程

微藻生产技术工艺主要包括养殖、采收、杀菌、干燥等环节。已实施的相关标准有福建省地方标准《螺旋藻养殖技术规范》(DB35/T 1095—2011)、天津市地方标准《淡水小球藻生产技术规程》(DB12/T

1067—2021)以及应用于饵料领域的浙江省地方标准《单胞藻规模化培养技术规范》(DB33/T 2300—2020)、浙江省宁波市地方标准《海洋微藻饵料规模化培育技术规范》(DB3302/T 162—2018)、全国城市工业品贸易中心联合会团体标准《水产养殖用牟氏角毛藻培养操作技术规程》(T/QGCML 044—2020)和应用于饲料领域的江苏省地方标准《饲料用小球藻粉生产技术规范》(DB32/T 565—2010)。特别是随着目前微藻养殖技术的发展，一些新培养方法、培养技术与培养装备不断在微藻生产中得到应用，并极大地提升了微藻养殖的技术水平与效率，目前我国微藻生产技术相关的标准基本上仍以地方标准为主体，且规模化养殖仍然主要集中于跑道池培养、管道式培养、CO₂补碳技术、异养发酵等新技术、新工艺均未制定或纳入新的生产规程和技术标准中，既缺少统一的国家标准或行业标准，也缺少下游生产工序环节的技术规范。

2.3 微藻产品检测技术标准化亟待更新

系统科学的检测技术评价体系是反映微藻营养品质和生物学功能的关键。现行实施的微藻检测技术相关标准仅包括《进出口螺旋藻中藻蓝蛋白、叶绿素含量的测定方法》(SN/T 1113—2002)和《红球藻中虾青素的测定—液相色谱法》(GB/T31520—2015)。例如，虾青素是目前发现的天然抗氧化能力

最强的物质之一,在预防和治疗眼睛疲劳^[19-22]、心脑血管疾病^[23]等方面具有良好的生理治疗效果,市场前景广阔^[24]。研究表明,虾青素发挥功能与其独特的手性分子结构有关,不同立体构型虾青素抗脂质过氧化活性存在差异,其中左旋虾青素活性明显高于右旋和混合型虾青素^[25-26]。然而,GB/T 31520—2015《红球藻中虾青素的测定 液相色谱法》仅对雨生红球藻来源的虾青素顺、反式结构进行检测,并未对旋光特异性检测进行规定^[27]。此外,螺旋藻含有丰富的活性物质,研究表明藻蓝蛋白和类胡萝卜素含量不能完整的反映螺旋藻的营养品质,亟需建立包括螺旋藻多糖、 γ -亚麻酸、DHA、叶绿素 *a*、 β -胡萝卜素以及 SOD 等理化指标在内的产品标准^[28]。但现行标准只有关于螺旋藻藻蓝蛋白、叶绿素等的检测方法,尚缺少统一的螺旋藻多糖等其他营养成分检测技术标准。其次,小球藻热水提取物,即商业上宣称的“小球藻生长因子(CGF)”,是小球藻不同于其他微藻的主要生物活性物质,在促进生长、调节免疫等方面具有良好功效^[29-31],且市场售价较高^[32]。贾敬等^[33]确立了小球藻热水提取物主要功能成分的活性筛选手段,并获得 3 种新型功能成分。但目前尚无检测技术标准,影响了该产品的开发应用。

2.4 微藻产品质量安全标准化不完善,相关法规制定落后于行业发展

微藻产品质量安全标准化方面,目前已有多部食品安全国家标准、产品质量标准、绿色食品标准和地理标志产品标准。已实施的食品安全国家标准包括《食品安全国家标准 藻类及其制品》(GB 19643—2016)、《食品安全国家标准 食品添加剂 藻蓝》(GB 1886.309—2020)和《食品安全国家标准 食品添加剂 β -胡萝卜素(盐藻来源)》(GB 1886.317—2021)。其中,《食品安全国家标准 藻类及其制品》(GB 19643—2016)适用于海带、紫菜、裙带菜、羊栖菜等海水藻类和螺旋藻等淡水藻类,为藻类及藻类制品开展食品安全评价提供了基础依据。在品质保障方面,《食用螺旋藻粉》(GB 16919—1997)、《饲料用螺旋藻粉》(GB/T 17243—1998)、《雨生红球藻粉》(GB/T 30893—2014)和《DHA 藻油》(LS/T 3243—2015)相继实施,基本满足螺旋藻、雨生红球藻和微藻源 DHA 产业发展需求。但是,小球藻和盐藻产业尚无统一标准。目前针对蛋白核小球藻产品的质量安全控制主要参照新资源食品公告中规定“蛋白质含量必须不低于 58%”的要求,

而一般蛋白核小球藻蛋白质含量大多在 53%~55%,该标准反而成为限制行业发展的瓶颈^[34]。

3 关于构建我国微藻产业标准化体系的思考

根据我国微藻产业标准的现状及国家标准、行业标准、地方标准,以及团体标准的定位,按照标准体系的结构要素与层次,充分考虑标准之间逻辑属性和合理构架,我国微藻产业标准可以分为两大类:一类为横向的基础通用标准,另一类是按行业应用分类体系的标准。建立我国微藻产业标准体系可以从四个维度入手,具体包括涉及种质资源分类的基础类标准,规范产品生产生产工艺的技术规程类标准,产品营养成分或活性物质等的检测方法类标准以及反映产品质量和安全的产品类标准(图 2),形成科学合理、协调统一的微藻产业标准体系。

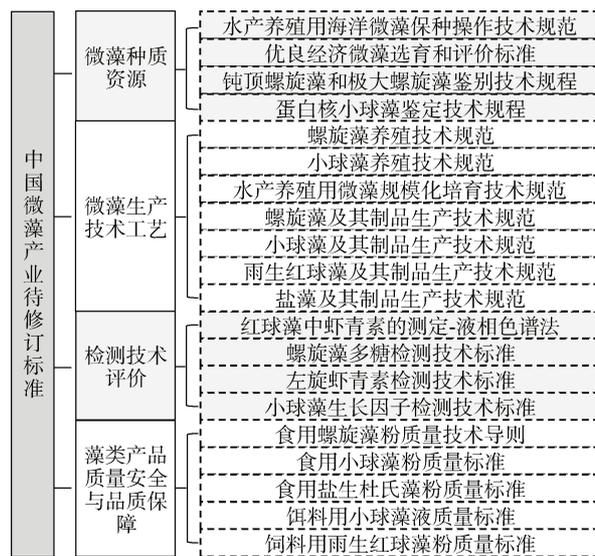


图 2 中国微藻产业构建标准体系待制定标准

Fig. 2 Standards to be formulated for setting the microalgae industry standardization system in China

建立种质资源分类的基础类标准方面,为更广泛地指导微藻企业和科研机构开展保种工作,建议以《水产养殖用海洋微藻保种操作技术规范》(SC/T 2047—2006)为参考,分别制定食用微藻、水产养殖用饵料微藻以及药用微藻等在内的微藻保种操作技术规范。此外,我国尚无统一的微藻种质评价、审定标准和规范,导致缺乏国家认可的微藻优良品种,严重影响优质微藻种质资源的普及推广,因此制定一套完整的优良经济微藻选育和评价标准及技术体

系显得尤为重要。同时,针对一些特定的藻类还要制定专门的技术标准,包括钝顶螺旋藻和极大螺旋藻鉴别技术规程以及蛋白核小球藻鉴定技术规程。

微藻生产技术标准化方面,首先需要推动整合现有的相关地方标准升级为国家标准或行业标准。在现有微藻养殖技术规范及规程的基础上,推动制定《螺旋藻养殖技术规范》《蛋白核小球藻养殖技术规范》《水产养殖用微藻规模化培育技术规范》。其次需要结合产业发展实际需求,起草制定新标准新规程。尽快制定《螺旋藻及其制品生产技术规范》《蛋白核小球藻及其制品生产技术规范》《雨生红球藻及其制品生产技术规范》《盐藻及其制品生产技术规范》,填补微藻生产过程中采收、加工等工序环节的标准空白。需要注意的是,由于受我国南北方地区光照、温度等因素影响,不同地区微藻养殖工艺不尽相同,例如北方地区螺旋藻养殖一般以封闭式大棚为主,而南方地区则以开放式跑道池为主。从适用全国范围的角度制修订微藻养殖规范或者产品生产技术标准时需要统筹兼顾考虑微藻藻种的不同生长特性和微藻养殖的不同工艺特点等。

产品营养成分或活性物质检测方法类标准方面,为了更好地反映微藻的营养品质,亟需制定《螺旋藻多糖检测技术标准》《左旋虾青素检测技术标准》和《小球藻生长因子检测技术标准》。反映产品质量和安全的产品类标准方面,目前螺旋藻和雨生红球藻产品质量安全标准相对比较健全。《食用螺旋藻粉》虽然仍处于有效期,但受标准内容相对产业明显滞后等因素影响,中国水产科学院黄海水产研究所也正在组织制定《食用螺旋藻粉质量技术导则》。同时,为适应雨生红球藻产业发展需求,2021年修订实施的《绿色食品藻类及其制品》(NY/T 1709—2021)相比于原2011年标准文本增加了雨生红球藻粉制品等内容,对绿色食品可食用藻类及其制品进一步规范。综合考虑小球藻、雨生红球藻和盐藻产业发展现状以及下游应用行业实际需求,建议加快制定《食用小球藻粉质量标准》《食用盐生杜氏藻粉质量标准》以及《饵料用小球藻液质量标准》和《饲料用雨生红球藻粉质量标准》,以期加快推动产品规模化应用和技术迭代进步。

4 结语

近年来,标准化体系建设日益受到藻类产业相关从业者的重视,随着微藻产业技术水平的不断提

高,藻类生物产品应用得更加广泛,现有的标准已无法满足藻类产业快速发展的需要。同时,微藻还是新资源食品的开发创新热点,目前,已被列入新资源食品的微藻种类有钝顶螺旋藻、极大螺旋藻、纤细裸藻、杜氏盐藻、球状念珠藻(葛仙米)、雨生红球藻、蛋白核小球藻、拟微球藻与莱茵衣藻,但针对其原料及提取物的标准并不完善,标准体系的建立对微藻新资源食品的开发和产业发展不可或缺^[35]。微藻产业标准化体系对于提升微藻生物技术水平、保障产品质量与安全、加速产业新旧动能转换和提高国际竞争力等方面都具有十分重要的意义。构建微藻产业标准化体系仍需要重点关注以下五个方面:(1)加强藻类活性物质快速检测技术的研发,有利于为企业提供简便可靠的检测方法;(2)及时修订相关行业标准,满足微藻新品种新产品发展需求;(3)广泛开展微藻产业与食品保健品、水产养殖等下游应用行业的合作交流和人才培养,不断健全微藻行业标准化组织体系;(4)持续强化行业协会功能,突出团体标准的重要性,更好地激发市场主体的活力;(5)积极参与制定国际标准,推动国内国际标准化协同发展。

参考文献:

- [1] POTVIN G, ZHANG Z. Strategies for high-level recombinant protein expression in transgenic microalgae: A review[J]. *Biotechnology Advances*, 2010, 28(6): 910-918.
- [2] 秦松, 陈军, 吴克, 等. 面向“十三五”的中国微藻产业: 对接大健康, 融入大水产[J]. *生物学杂志*, 2017, 34(2): 1-2.
QIN Song, CHEN Jun, WU Ke, et al. Chinese microalgal industry in the thirteen fifth plan: Cope in a big healthy industry, fusion with a large aquatic industry[J]. *Journal of Biology*, 2017, 34(2): 1-2.
- [3] WILLIAMS P, LAURENS L. Microalgae as biodiesel & biomass feedstocks: Review & analysis of the biochemistry, energetics & economics[J]. *Energy & Environmental Science*, 2010, 3(5): 554-590.
- [4] 元健雄. 螺旋藻试养在惠来县获得成功[J]. *水产养殖*, 1990(2): 26.
YUAN Jianxiong. The trial breeding of *Spirulina* was successful in Huilai County[J]. *Aquaculture*, 1990(2): 26.
- [5] 刘建国, 徐冉. 我国微藻资源开发 30 年蜕变之路[J]. *生物学杂志*, 2017, 34(2): 9-15.
LIU Jianguo, XU Ran. 30-year's footprint and process of microalgal development in China[J]. *Journal of Biology*, 2017, 34(2): 9-15.
- [6] 许洪高, 周琪乐, 鲁隼, 等. 螺旋藻养殖加工和安全

- 性研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(6): 10.
XU Honggao, ZHOU Qile, LU Fei, et al. Research progress on breeding, processing and safety of *Spirulina*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(6): 10.
- [7] CHEN J, WANG Y, BENEMANN J R, et al. Microalgal industry in China: challenges and prospects[J]. Journal of Applied Phycology, 2016, 28(2): 715-725.
- [8] ALIYU A, LEE J, HARVEY A P. Microalgae for biofuels via thermochemical conversion processes: A review of cultivation, harvesting and drying processes, and the associated opportunities for integrated production[J]. Bioresource Technology Reports, 2021, 14(4): 100676.
- [9] 孔维宝, 李龙冈, 张继, 等. 小球藻的营养保健功能及其在食品工业中的应用[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 323-328.
KONG Weibao, LI Longnan, ZHANG Ji, et al. Healthcare functions and applications in food industry of *Chlorella*[J]. Food Science, 2010, 31(9): 323-328.
- [10] 尹卫强, 刘颖芬, 李炳乾, 等. 国内杜氏盐藻综合利用的现状与发展趋势[J]. 盐业与化工, 2013, 42(12): 1-3.
YIN Weiqiang, LIU Yingfen, LI Bingqian, et al. The status and prospects of comprehensive utilization of algae *Dunaliella Salina* in China[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2013, 42(12): 1-3.
- [11] MOHAMED M, ABDEL-DAIM, SAMEH M, et al. Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of *Spirulina platensis* in comparison to *Dunaliella salina* in acetic acid-induced rat experimental colitis[J]. Immunopharmacology and Immunotoxicology, 2015, 37(2): 126-139.
- [12] SAHNI P, AGGARWAL P, SHARMA S, et al. Nuances of microalgal technology in food and nutraceuticals: A review[J]. Nutrition & Food Science, 2019, 49(5): 866-885.
- [13] VUPPALADADIYAM A K, PRINSEN P, RAHEEM A, et al. Sustainability analysis of microalgae production systems - A review on resource with unexploited high-value reserves[J]. Environmental Science and Technology, 2018, 52(24): 14031-14049.
- [14] MILLEDGE J J. Commercial application of microalgae other than as biofuels: A brief review[J]. Reviews in Environmental Science & Bio/technology, 2011, 10(1): 31-41.
- [15] SIDDIKI S, MOFIJUR M, KUMAR P S, et al. Microalgae biomass as a sustainable source for biofuel, biochemical and biobased value-added products: An integrated biorefinery concept[J]. Fuel, 2022, 307: 121782.
- [16] 张晓燕, 刘楠, 周德庆. 螺旋藻食品质量安全现状与分析[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(4): 50-53.
ZHANG Xiaoyan, LIU Nan, ZHOU Deqing. The quality and safety situation and analysis of spire health food[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(4): 50-53.
- [17] 宋立荣, 张琪, 郑凌凌, 等. 微藻种质资源库—藻类科学研究和产业发展的重要平台[J]. 水生生物学报, 2020, 44(5): 1020-1027.
SONG Lirong, ZHANG Qi, ZHENG Lingling, et al. Microalgal culture collection: fundamental platform for algal research and industrial development[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(5): 1020-1027.
- [18] 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.
CAI Zhuoping, LI Yanxuan, DUAN Shunshan, et al. Collection and conservation of microalgal germplasm resources[J]. Ecological Science, 2014, 33(2): 396-400.
- [19] LI H, LI J, HOU C, et al. The effect of astaxanthin on inflammation in hyperosmolarity of experimental dry eye model in vitro and in vivo[J]. Experimental Eye Research, 2020, 197: 108113.
- [20] KIZAWA Y, SEKIKAWA T, KAGEYAMA M, et al. Effects of anthocyanin, astaxanthin, and lutein on eye functions: a randomized, double-blind, placebo-controlled study[J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 2021, 69(1): 1-14.
- [21] HASHIMOTO H, ARAI K, TAKAHASHI J, et al. Effects of astaxanthin on VEGF level and antioxidation in human aqueous humor: difference by sex[J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 2019, 65(1): 47-51.
- [22] IWASAKI T, TAWARA A. Effects of astaxanthin on eyestrain induced by accommodative dysfunction[J]. Journal of the Eye, 2006, 23.
- [23] GROSS G J, LOCKWOOD S F. Cardioprotection and myocardial salvage by a disodium disuccinate astaxanthin derivative (Cardax)[J]. Life Sciences, 2004, 75(2): 215-224.
- [24] 蔡明刚, 李峰. 水生红球藻规模化培养技术的研发进展[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2016, 55(5): 733-741.
CAI Minggang, LI Feng. Recent advances in *Haematococcus pluvialis* scale culture technology[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2016, 55(5): 733-741.
- [25] 姚康飞, 张瑞莲, 刘晓娟, 等. 不同立体构型的虾青素抗脂质过氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2018, 18(10): 86-94.
YAO Kangfei, ZHANG Ruilian, LIU Xiaojuan, et al. Studies on anti-lipid peroxidation activity of different stereoisomeric astaxanthin[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(10): 86-94.
- [26] LIU X, LUO Q, RAKARIYATHAM K, et al. Antioxidation and anti-ageing activities of different stereoi-

- someric astaxanthin in vitro and in vivo[J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 25: 50-61.
- [27] 刘建国. 红球藻虾青素资源开发历程与趋势展望[J]. *海洋科学*, 2020, 44(8): 130-146.
LIU Jianguo. Development history and future prospects of culturing *Haematococcus pluvialis* for natural astaxanthin[J]. *Marine Sciences*, 2020, 44(8): 130-146.
- [28] 王文博, 孙建光, 徐晶. 螺旋藻产品活性物质检测与免疫功能研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2011, 23(1): 54-61.
WANG Wenbo, SUN Jianguang, XU Jing. Bioactive compounds in spirulina products and their immunological functions[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2011, 23(1): 54-61.
- [29] Noguchi N, Maruyama I, Yamada A, et al. The influence of *Chlorella* and its hot water extract supplementation on quality of life in patients with breast cancer[J]. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2014, 2014: 704619.
- [30] KONISHI F, TANAKA K, HIMENO K, et al. Antitumor effect induced by a hot water extract of *Chlorella vulgaris*: resistance to Meth-A tumor growth mediated by CE-induced polymorphonuclear leukocytes[J]. *Cancer Immunology Immunotherapy*, 1985, 19(2): 73-78.
- [31] MOHD Y, MD S S, SUZANA M, et al. Hot water extract of *Chlorella vulgaris* induced DNA damage and apoptosis[J]. *Clinics (São Paulo, Brazil)*, 2010, 65(12): 1371-1377.
- [32] 庄秀园, 黄英明, 张道敬, 等. 小球藻高附加值生物活性物质“小球藻热水提取物”的研究现状与展望[J]. *生物工程学报*, 2015, 31(1): 24-42.
ZHUANG Xiuyuan, HUANG Yingming, ZHANG Daojing, et al. Research status and prospect on hot water extract of *Chlorella*: the high value-added bioactive substance from *Chlorella*[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2015, 31(1): 24-42.
- [33] 贾敬, 徐殿胜, 庄秀园, 等. 小球藻热水提取物功能成分的活性跟踪分离[J]. *生物工程学报*, 2017, 33(5): 743-756.
JIA Jing, XU Diansheng, ZHUANG Xiuyuan, et al. Bioassay-guided isolation of functional components from hot water extract of *Chlorella pyrenoidosa*[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2017, 33(5): 743-756.
- [34] 陈兴麟, 吴黄铭, 汤熙翔. 中国海洋生物医药与制品产业发展建议—基于四个城市的调研分析[J]. *中国发展*, 2020, 20(4): 14-21.
CHEN Xinglin, WU Huangming, TANG Xixiang. Development suggestions of Chinese marine industry of biomedicine and products – based on research and analysis of four cities[J]. *China Development*, 2020, 20(4): 14-21.
- [35] 胡浩杰, 田双起, 赵仁勇, 等. 新资源可食用微藻的活性物质提取及其在食品中应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 390-396.
HU Haojie, TIAN Shuangqi, ZHAO Renyong, et al. Research progress on the extraction of active substances from new resource edible microalgae and its application in food[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 390-396.

Current circumstances, problems, and strategies of microalgal industry standardization in China

ZHOU Hao-yuan¹, LIU Xiang², GAO Zheng-quan², MENG Chun-xiao², LI Bin³, XIANG Wen-zhou⁴

(1. School of Public Administration, Shandong Technology and Business University, Yantai 264005, China; 2. School of Pharmacy, Binzhou Medical University, Yantai 264003, China; 3. Shandong Provincial Animal Product Quality and Safety Center, Jinan 250022, China; 4. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Received: Jun. 17, 2022

Key words: microalgae industry; standardization; current situation; problems; strategies

Abstract: Microalgae has broad application prospects and is a popular topic in biotechnology in terms of the potential development of new resources, including species and products. Microalgae technology has been extensively studied in China for over half a century, and China's production accounts for nearly two-thirds of all global microalgal biomass cultivation. While the microalgae industry has attracted increasing attention, China's industrial standardization system must be improved. This study summarizes the history, current status, and future prospects for the microalgae industry in China, emphasizing the importance of establishing a consistent modern standardization system. Related issues of microalgae industrialization in China were comprehensively analyzed to evaluate appropriate microalgae germplasm resources, cultivation specifications, and product quality and safety standards. Proposed strategies considered the current standardization status of the industry and four specific standards, including the basic standards in germplasm resources classification, technical standards of the production technology process, analytical methods and standards of determining product nutrients and isolating bioactive compounds, and standards for product quality and safety.

(本文编辑: 赵卫红)