

底栖硅藻悬浮培养条件及活性物质研究进展

曲青梅, 邹宁 (鲁东大学生命科学学院, 山东烟台 264025)

摘要 底栖硅藻作为鲍鱼和海参的主要饵料, 对鲍苗和海参的生长、变形和发育有极其重要的作用。从藻体中提取的活性成分具有独特的营养和药用价值, 被广泛应用于许多领域。综述了悬浮培养条件对海洋底栖硅藻的生长和营养成分的影响, 旨在为大规模悬浮培养底栖硅藻及其活性物质研究提供依据。

关键词 海洋微藻; 底栖硅藻; 悬浮培养; 营养成分; 应用

中图分类号 S932.7 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)33-13090-04

Research Progress on Suspension Culture Conditions and Compositions of Benthic Diatoms

QU Qing-mei et al (College of Life Science, Ludong University, Yantai, Shandong 264025)

Abstract Benthic diatoms are mainly used as the main bait of abalone and sea cucumber, and are important to the growth, deformation and development. The active ingredients extracted from algae have a unique nutritional and medicinal value, and are widely used in many fields. The suspension culture conditions on the growth and nutrients of marine benthic diatoms were reviewed, which provides basis for large-scale suspension culture of benthic diatoms and the research of active substance.

Key words Marine microalgae; Benthic diatom; Suspension culture; Compositions; Application

海洋微藻是海洋生态系统中最主要的初级生产者, 也是海洋生物资源的重要组成部分, 具有种类多、数量大、繁殖快等特点, 在海洋生态系统的物质循环和能量流动中起着极其重要的作用^[1]。它们的盛衰直接或间接地影响着整个海洋生态系统的生产力, 因此与渔业资源、水产养殖、环保、地质等密切相关。根据不同的生活方式, 可以将海洋微藻分为浮游微藻和底栖微藻^[2]。基于此, 笔者综述了悬浮培养条件对海洋底栖硅藻的生长和营养成分的影响, 旨在为大规模悬浮培养底栖硅藻及其活性物质研究提供依据。

1 底栖硅藻的生物学特征

目前已知硅藻有 285 属, 共计 10 000 ~ 12 000 种^[3]。硅藻是能进行光合作用的自养生物, 与其他微藻相比, 硅藻含有硅质外壳, 能有效地防御其他生物的摄食。硅藻主要进行无性分裂生殖, 但是不断分裂形成的较小下壳会使细胞变得越来越小, 当其大小仅为原来的 1/2 或 1/3 时, 硅藻会进行有性结合生殖^[4]。底栖硅藻可以分泌具有粘附作用的胞外多糖 EPS, 因此是一类营固着和附着生活的微藻, 由于对生长条件要求较高, 因此很难进行大规模培养, 因此目前水产养殖和育苗产业主要采用浮游种类的硅藻作为生物饵料, 而底栖硅藻仅在海参和鲍鱼等海珍品的育苗时使用。

Roberts 等^[5]根据对鲍鱼幼体变形发育的诱导效果将底栖硅藻分为 3 种类型: 能在短时间内诱导幼虫附着的底栖硅藻、诱导效果较差的底栖硅藻、诱导效果最差的底栖硅藻。海洋硅藻的繁殖具有明显的季节性, 一般集中在春季和秋季, 这 2 个季节温度、光强、白昼长度、营养条件等较为适宜, 可以使硅藻的光合效率达到最大值^[6]。

陈世杰等^[7]对东山海域的 3 种底栖硅藻(阔舟形藻(*Navicula latissima* Gregory)、舟形藻(*Navicula* sp.)、东方弯杆藻(*Achnanthes orientalis* Hustedt)、月形藻(*Amphora* sp.))进行研

究发现, 底栖硅藻属于低温藻种, 主要在冬春季繁殖, 而东山海区的鲍鱼繁殖期在 4 ~ 6 月, 因此底栖硅藻比较适宜作为鲍苗的饵料, 另外底栖硅藻也能适应高达 30 ℃ 的水温, 此外, 底栖硅藻具有附着性强、个体小、易被舔食的特点。

2 底栖硅藻的生长影响因素

影响微藻生长的因素许多, 如光、温度、营养源、盐度、酸碱度、碳源、有机营养物质和生物因子等^[8]。

2.1 光 光照作为一个复杂的生态因子, 作用因素包括光源、光质、光照强度、光照周期和光谱等, 主要对微藻的生长、繁殖、藻体颜色、细胞形态及胞外多糖积聚有重要影响^[9]。总体而言, 光对微藻生长的影响大多偏重于光强和光周期, 而光谱也是一个重要参量, 在相同的光强下, 不同光谱结构的光照射下微藻的生长速率并不相同^[10]。荷兰瓦格宁根大学的 Rene H. Wijffels 教授对 1 d 内光照循环微藻光合效率的光生物反应器进行了系统研究, 通过模拟户外光线评估不同的光线条件对光生物反应器内微藻的生长的影响^[11]。

Couteau P^[12]分析了光照强度对微藻生长的影响, 小型三角瓶培养时的适宜光强为 8.5×10^{12} quantacm⁻²s⁻¹, 更大体积培养的适宜光强为 $4.3 \times 10^{13} \sim 8.5 \times 10^{13}$ quantacm⁻²s⁻¹, 若采用人工照明, 持续时间不少于 18 h, 对于不同光谱, 首选红光或蓝光发射的光谱。

硅藻最适宜光照范围大约在 1 000 ~ 4 500 lx, 底栖硅藻也因不同种类而存在差异, 例如阔舟形藻适宜较强的光照环境(1 500 ~ 3 500 lx), 而月形藻和东方弯杆藻则适宜较弱的光照环境(500 ~ 1 500 lx)^[13]。底栖硅藻接种后的最适光照强度约为 1 500 ~ 2 500 lx, 要避免直射阳光和强散射光, 另外底栖硅藻的细胞对不同光质的敏感程度也不同。

2.2 温度 祁秋霞试验表明不同温度影响微藻(扁藻和骨条藻)的生物量及多糖含量, 20 ~ 25 ℃ 有利于微藻的生长, 10 ~ 15 ℃ 则有利于微藻多糖的积累^[14]。张青田等^[15]通过对 1 种常见的水华蓝藻(*Microcystis aeruginosa*) 研究发现其对光强的要求不是很高, 但其生长受温度的影响较大, 30 ℃ 下

可达到最大细胞密度,生长的最适范围为 30 ~ 35 °C,低温对微藻的抑制作用大于高温产生的抑制作用,因此可通过监测和控制温度为治理水华提供数据支持。薛凌展等^[16]对 *Microcystis aeruginosa* 进行研究也发现 15 °C 的低温会抑制其生长,而 30 °C 的高温条件下生长状况良好。这说明低温使 *Microcystis aeruginosa* 处于休眠状态,降低了细胞的生理活性,从而影响其对营养的吸收及光合作用,加速了细胞的衰亡速率^[17]。

郭兵等^[18]对球等鞭金藻 (*Isochrysis sphaerica*) 进行研究发现其最适温度为 20 ~ 25 °C,低温有利于 PUFAs 的积累,如 DHA。郑亚君等^[19]对盐生杜氏藻 (*Dunaliella salina*) 进行研究发现在 20 ~ 32 °C 范围内随着温度的升高,盐生杜氏藻细胞的比生长速率逐渐提高,饱和脂肪酸所占比例逐渐增加,多不饱和脂肪酸所占比例逐渐降低。

温度除了对微藻的生长产生影响外,还是饵料保存效果的非常关键的因子之一。朱葆华等^[20]研究了不同温度 (25 ± 2)、4、-5、-22 °C) 对绿色巴夫藻 (*Pavlova viridis*) 和球等鞭金藻 (*Isochrysis galbana*) 的影响,发现 -22 °C 适合较长期的保存 (45 d 以上),且保存效果较好。

关于温度对底栖硅藻理化成分的研究很少,而温度也是影响海产经济动物的重要因素。因此,探究底栖硅藻理化成分随着温度的变化规律,并结合实际生产中的育苗温度,将有利于生产高质量底栖硅藻,为海产经济动物提供优质饵料^[21]。

2.3 盐度 虽然盐度会在一定程度上影响底栖硅藻的悬浮性、对营养盐的吸收及其自身的渗透压^[22],但国外学者对高盐海区的底栖硅藻进行盐度耐受性试验发现大部分种类对高盐具有耐受性。底栖硅藻也有生长的最适盐度,若超出最适范围,盐度若过高和过低对藻细胞会产生伤害作用^[23],底栖硅藻的最适盐度在 25‰ ~ 32‰。

钱振明等^[24]研究了 8 种底栖硅藻发现其盐度范围在 25‰ ~ 40‰。除菱形藻以外,盐度过高或过低均不利于硅藻营养成分的积累,例如当盐度高于 40‰ 时,总脂肪含量急剧下降。

2.4 pH 底栖硅藻生长的最适 pH 为 7.8 ~ 8.2,而天然海水的 pH 大约为 8.1 ~ 8.3,一般比较稳定。适当提高 pH 有利于增加 CO₂ 的利用率,但不能过高,若 pH 过高会限制 CO₂ 的利用。

2.5 其他因子 微藻通过释放自抑物质或其抑物质来调节种群数量组成及种群的交替^[25]。

3 营养物质对底栖硅藻生长的影响

藻类生长需要吸收营养物质,在底栖硅藻的培养中,根据其营养的需求,采用理想的营养配方,以提高培养效率是十分重要的^[23]。河口海岸的底栖硅藻可以通过分泌 EPS 来满足对营养盐等营养物质的需求,以适应贫营养的环境^[26]。氮、磷、铁、硅是影响硅藻生长的重要营养盐,常用的浓度比为 10:1:0:1:1 (mg/L)^[7]。郑维发等^[27]对 *Navicula* BT001 研究发现 N、P、Fe、Si 4 种营养盐的正交组合水平为

KNO₃ 150 mg/L、Na₂HPO₄ · H₂O 40 mg/L、FeCl₃ 4 mg/L、Na-SiO₃ · 9H₂O 200 mg/L。除大量元素以外,植物激素也对藻类的生长有影响。

3.1 不同氮源对底栖硅藻生长的影响 作为微藻利用的氮源有许多种,如尿素、亚硝酸盐、硝酸盐、铵盐等^[28]。关于氮素对底栖硅藻蛋白积累的影响存在不同的观点:试验结果表明,氮浓度的增加有利于促进细胞蛋白质的积累。Daume 等^[29]发现 f/2 培养基中不同剂量的硝酸盐含量会影响硅藻本身的营养价值。Ker Uriarte^[30]提出培养基中氮浓度的增加可以促进 *N. incerta* 中蛋白质的积累,从而显著提高鲍鱼幼苗的生长率。另一些试验表明,提高培养基内氮元素的含量并不是促进底栖硅藻蛋白积累的有效方法^[29-30]。董金利等^[31]研究表明当硝酸氮浓度适宜时 (75 mg/L),底栖硅藻细胞内蛋白可有效积累,而进一步提高氮素浓度并不能再促进细胞蛋白质的产生。试验结果出现如此截然不同的差异,可能是由于不同的底栖硅藻对氮素浓度的反应不同。这说明氮素是影响底栖硅藻蛋白质成分的重要因素之一。Chell^[32]研究表明氮素是影响中性脂肪积累的重要因素。

Wen 等^[33]对硅藻 (*Nitzschia laevis*) 进行不同氮源的培养研究发现,与尿素和铵盐相比,硝酸盐作为氮源可以获得更高水平的 EPA。马志珍^[34]等分别用 NO₃⁻ - N, NH₄⁺ - N, CO(NH₂)₂ - N 培养舟形藻 (*Nacicula* sp.) 发现其最佳浓度依次为 5.20 和 80 mg/L。Wang^[35]同样用这 3 种状态的 N 培养咖啡形双眉藻 (*Amphora coffeaeformis*) 发现其最佳浓度依次为 1.54、7.00 和 2.50 mg/L。

国外有学者指出,在“卫星细菌”的存在时底栖硅藻的生物量和多糖的分泌会显著提高^[36]。董金利等^[31]研究表明在无菌环境中,随着氮浓度的增加,胞外多糖的分泌有逐渐增加的趋势。

3.2 不同碳源对底栖硅藻生长的影响 底栖硅藻可以直接利用 CO₂ 作为碳源,但许多因素会影响到 CO₂ 的溶解度 (如培养基的 pH、水温、水压、含盐量)^[13]。海水是弱碱性的,CO₂ 也会与碱性物质化合生成碳酸盐类,减少 CO₂ 的溶解量,因此培养底栖硅藻时在适宜的生长条件下给予 1% ~ 5% 的 CO₂,生长较好^[37]。除了水中溶解的 CO₂ 外,培养过程中还需要添加其他无机碳源,如添加 NaHCO₃。Angelstein^[38]首次提出了可以将 HCO₃⁻ 作为水生植物的无机碳源。梁英^[39]通过对 1 种浮游硅藻 (新月菱形藻) 研究发现添加 400 mg/L 的 NaHCO₃ 可以对细胞生长起到一定的促进作用。

3.3 不同磷源对底栖硅藻生长的影响 磷是构成细胞膜的重要成分之一,对底栖硅藻的生长起到重要作用,另外还对培养液的 pH 也起到一定的缓冲作用^[40]。董金利等^[31]通过对自然海域分离的野生底栖硅藻 (*Nitzschia constricta*) 的研究发现,当磷浓度为 4.4 mg/L 时,可得到最大比增长速率 0.31。马美荣等^[41]发现低浓度磷可以促进底栖硅藻胞外多糖的积累,与董金利等的研究结果相一致。

通过对多种底栖硅藻组成的种群进行研究发现,培养基中的氮磷浓度影响底栖硅藻的生长,同样氮磷浓度比也会影

响底栖硅藻的种群密度^[42]。王渊源培养小型舟形藻试验中,合适的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度为 $0.2\sim 1.1\text{ mg/L}$,最适的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度为 0.279 mg/L ,最佳氮磷比为 $65:1$,在此条件下细胞数量增加最为明显^[43]。Austin^[44]通过研究发现当氮磷比为 $1.15:0.16$ 提高到 $4.45:0.16$ 时,附生物(主要是以底栖硅藻为主)的总生物量有明显增加,其蛋白质含量也有显著提高。

3.4 铁离子对底栖硅藻生长的影响 李雅娟等^[43]发现单因子铁盐试验中 *Amphora coffeaeformis* (Ag.) Kutzing 的最适铁浓度为 $0.1\sim 0.5\text{ mg/L}$, *Cocconeis scutellum* var. *parva* Grunow 和 *Navicula mollis* (W. Sm.) Cleve 最适铁浓度为 0.5 mg/L 。

3.5 硅对底栖硅藻生长的影响 由于底栖硅藻细胞壁中特有的成分是硅,因此硅是底栖硅藻生长必不可少的营养元素,另外硅还参与藻类的生长过程和代谢过程,例如细胞分裂、合成DNA、合成蛋白质、合成色素等^[45]。大贝政治^[46]等用人工海水培养基培养卵形藻时,发现不加硅的情况下这种藻仍能良好生长,抑制作用很小。研究表明,对硅浓度的需求与底栖硅藻的种类有关,也与其分布的海区有关,通常近岸及河口处的底栖硅藻对硅浓度的需求要远大于海洋内的底栖硅藻,因此,底栖硅藻生长的最适硅浓度及硅元素对底栖硅藻生长的影响是不同的^[47-48]。

4 底栖硅藻的营养和应用价值

由于底栖硅藻不能像浮游藻类一样悬浮在水中,充分高效率地利用水体,因此很难进行大规模培养,而从自然海区收获的底栖硅藻,质量得不到保证,以这种底栖硅藻作为饵料会直接影响鲍鱼苗的成活率及变态发育。国内对底栖硅藻的研究工作集中在优化培养条件上^[43,49],有关其营养成分(如不饱和脂肪酸、金属离子、胞外多糖等)的研究近年来才有所发展^[50]。国外对底栖硅藻有较深入的研究,有些已经应用于工业化生产,如对其理化成分及应用价值等方面的研究。

作为生物饵料是底栖硅藻最为广泛的用途,根据水产经济动物的不同种类及不同发育阶段,需选用不同的饵料,如培养鲍、钳、刺参等底栖水产动物的幼虫时,通常选用舟形藻、阔舟形藻、卵形藻、东方弯杆藻等底栖硅藻^[51]。硅藻的营养价值主要取决于鲍幼苗对其消化效率,而消化效率又与硅藻形态大小、附着强度、细胞膜(壳)强度及鲍幼苗年龄和大小等有关^[52]。国内外对单一饵料的报道很少^[35,43]。Hahn^[53]认为作为鲍鱼幼苗优质饵料的硅藻应该具有能分泌大量胶质、可以形成片状薄膜和藻细胞小于 $10\ \mu\text{m}$ 等特点。底栖硅藻(*Navicula lenzi*)具有极易成片状的特点,因此它是一种很有发展前景的生物饵料。

底栖硅藻中常见的营养成分包括氨基酸、不饱和脂肪酸、蛋白、活性多糖、色素、金属离子等。多糖是海洋微藻胞外多聚物(EPS)的主要成分^[54],在水产养殖特别是鲍鱼育苗过程中具有非常重要的作用^[4]。微藻中的多糖具有药物及药物中间体的潜在功能,表现出一定的抗病毒活性、抗肿瘤活性、抗凝血活性^[55]。岩藻黄素是金藻、硅藻、褐藻等产生的类胡萝卜素中叶黄素类色素,具有减肥、抗炎、抗癌等生物

活性^[56]。Dimitri Moreau 等^[57]认为 *Odontella aurita* 产生的岩藻黄素具有一定的药效,对上皮细胞系和支气管细胞系具有一定的抗增殖活性。

我国海洋微藻资源丰富(已记录的有近2000种),近年来随着陆地资源的衰竭,丰富的海洋微藻资源成为人们关注的热点^[1]。因此,海洋微藻中的底栖硅藻具有非常广泛的应用前景,例如用于环境保护和生物修复,用于考古及地质的研究^[58],获取特殊的活性物质,工业上用于生产生物柴油,获得用途广泛的工业硅藻土^[59],硅藻特有的硅质外壳可用于生产计算机芯片及清洁剂,产生的胞外代谢产物具有重要作用,如产生色素、抗生素以及在心血管疾病及关节病的防治方面有重要作用的软骨酸等。

参考文献

- [1] 高亚辉. 海洋微藻分类生态及生物活性物质研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(2): 566-573.
- [2] 陈峰, 姜悦. 微藻生物技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [3] ROUND F E, CRAWFORD R M, MANN D G. The diatoms [M]. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge, 1990.
- [4] 徐力文, 刘广峰, 王江勇. 鲍育苗生物学中饵料硅藻的相关研究进展[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 611-617.
- [5] ROBERTS R, KAWAMURAT T, TAKAMI H. Diatom for abalone culture: A workshop for abalone farmers (Gawthron Report No. 547) [M]. Nelson: Gawthron Institute, 2000.
- [6] FALCIATORE A, BOWLER C. Revealing the molecular secrets of marine diatoms [J]. Annu Rev Plant Biol, 2002, 53: 109-130.
- [7] 陈世杰, 陈木, 卢豪魁. 鲍苗的饵料——底栖硅藻培养试验初报[J]. 动物学报, 1977, 23(1): 47-52.
- [8] 成永旭. 生物饵料培养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [9] 尤珊, 郑必胜, 郭沁远. 光照对螺旋藻生长和形态的影响[J]. 微生物学杂志, 2002, 22(6): 58-59.
- [10] 毛安君. LED光源促进微藻生长的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [11] MARIA CUARESMA, MARCEL JANSSEN, EVERT JAN VAN DEN END, et al. Luminostat operation: A tool to maximize microalgae photosynthetic efficiency in photobioreactors during the daily light cycle? [J]. Biore-source Technology, 2011, 102(17): 7871-7878.
- [12] COUTEAU P. Manual on the production and use of live food for aquaculture: Microalgae [R]. (FAO fisheries technical paper 361) FAO, Rome, 1996.
- [13] 邹宁, 孙东红, 郭小燕. 培养条件对底栖硅藻生长的影响[J]. 水产养殖, 2005, 26(5): 11-13.
- [14] 祁秋霞. 温度对两种海洋微藻生长与多糖含量的影响[J]. 水产养殖, 2011, 32(1): 20-23.
- [15] 张青田, 王新华, 林超, 等. 温度和光照对铜绿微囊藻生长的影响[J]. 天津科技大学学报, 2011, 26(2): 24-27.
- [16] 薛凌展, 陈小晨, 黄种特, 等. 温度和磷交互作用对铜绿微囊藻和小球藻生长的影响[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(13): 23-25.
- [17] 史小丽, 王凤平, 蒋丽娟, 等. 温度对外源性³²P在水、铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)和底泥中迁移的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1967-1970.
- [18] 郭兵, 龚阳敏, 万霞, 等. 光强和温度对球等鞭金藻(*Isochrysis sphaerica*)生长及其脂肪酸的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(3): 295-301.
- [19] 郑亚君, 王翠红, 许萌萌, 等. 温度对杜氏藻生长和脂肪酸组成的影响[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2011, 34(S2): 123-126.
- [20] 朱葆华, 潘克厚, 林黎明. 温度对2种饵料金藻保存效果的影响[J]. 海洋科学, 2006, 30(10): 70-74.
- [21] 钱振明, 邢荣莲, 吴春雪, 等. 温度对8种底栖硅藻生长及其理化成分的影响[J]. 烟台大学学报, 2009, 22(1): 30-34.
- [22] DARLEY W M. Algal biology: a physiological approach [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1982: 45.
- [23] 湛江水产专科学校. 海洋饵料生物培养[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 83-92, 127-134.
- [24] 钱振明, 邢荣莲, 汤宁, 等. 光照和盐度对8种底栖硅藻生长及其生理生化成分的影响[J]. 烟台大学学报, 2008(1): 46-52.

- [25] BULL A L, SLATER J H. Microbial Interactions and Communities [M]. London: Academic Press, 1982: 567.
- [26] STAATS N, LUCAS J S, LUUC R M. Exopolysaccharide production by the epipelagic diatom *Cylindrotheca closterium*: effects of nutrient conditions [J]. J Exp Mar Bio Eco, 2000, 249: 13 - 27.
- [27] 郑维发, 王雪梅, 王义琴, 等. 四种营养盐对舟形藻 (*Navicula*) BT001 生长速率的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(2): 157 - 162.
- [28] BAKER E W. Microalgae: biotechnology and microbiology [M]. London: Cambridge University Press, 1994: 18 - 24.
- [29] DAUME S, LONG B M, CROUCH P. Changes in amino acid content of an algal feed species (*Navicula* sp.) and their effect on growth and survival of juvenile abalone (*Haliotis rubra*) [J]. Applied Phycology, 2003, 15: 201 - 207.
- [30] IKER URIARTE, RODNEY ROBERTS, FARIAS A N A. The effect of nitrate supplementation on the biochemical composition of benthic diatoms and the growth and survival of post - larval abalone [J]. Aquaculture, 2006, 261: 423 - 429.
- [31] 董金利, 庄惠如, 占美玲, 等. 氮、磷营养盐对底栖硅藻的生长及生化组成影响 [J]. 生物技术, 2011(2): 31 - 64.
- [32] CHELF P. Environmental control of lipid and biomass production in two diatom species [J]. Journal of Applied Phycology, 1990, 2: 121 - 130.
- [33] WEN Z Y, CHEN F. Optimization of nitrogen sources for heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by the diatom *Nitzschia laevis* [J]. Enzyme Microb Tech, 2001, 29: 341 - 347.
- [34] 马志珍, 季梅芳, 陈汇远. 一种可作饱和海參饵料的底栖舟形藻的培养条件的研究 [J]. 海洋通报, 1985, 4(4): 36 - 39.
- [35] WANG Q H, LI M, WANG S H. Studies on culture conditions of benthic diatoms for feeding abalone: Effects of salinity, PH, nitrogenous and phosphate nutrients on growth rate [J]. Chin J Oceanol Limnol, 1998, 16(1): 78 - 83.
- [36] BRUCKNER C G, BAHULIKAR R, RAHALKAR M, et al. Bacteria Associated with Benthic Diatoms from Lake Constance: Phylogeny and Influences on Diatom Growth and Secretion of Extracellular Polymeric Substances [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74(24): 7740 - 7749.
- [37] 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 70 - 181.
- [38] JIMENEZ C, NIELL F X. Influence of temperature and nitrogen concentration on photosynthesis of *Dunaliella viridis* Teodoresco [J]. Journal of Applied Phycology, 1990, 2: 309 - 317.
- [39] 梁英, 麦康森, 孙世春, 等. NaHCO₃ 浓度对塔胞藻、小球藻和新月菱形藻生长的影响 [J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(2): 71 - 76.
- [40] 王渊源, 姜庆国, 江航宇. 培养小形舟形藻的氮、磷肥料量 [J]. 海洋科学, 1986, 10(5): 35 - 37.
- [41] 马美荣, 李朋富, 陈丽. 盐度和营养限制对盐田底栖硅藻被针舟形藻生长及胞外多糖产率的影响 [J]. 海洋湖沼通报, 2009, 95(1): 95 - 102.
- [42] FAIRCHILD G W, LOWE R L, RICHARDSON W B. Algal periphyton growth on nutrient - diffusing substrates: An in situ bioassay [J]. Ecology, 1985, 66(2): 465 - 472.
- [43] 李雅娟, 王起华. 氮、磷、铁、硅营养盐对底栖硅藻生长速率的影响 [J]. 大连水产学院学报, 1998, 13(4): 7 - 14.
- [44] AUSTIN A P, RIDLEY THOMAS C I, LUCEY W P, et al. Effects of nutrient enrichment on marine periphyton: Implications for abalone culture [J]. Botanica Marina, 1990, 33(3): 235 - 239.
- [45] WERNER D. Silicate metabolism - The Biology of Diatoms [M]. London: Black Well Scientific Publications, 1977: 110 - 149.
- [46] 大贝政治, 松井敏夫, 高木博之. 附着硅藻 *Cocconeis* sp. 增殖及环境诸要因的影响 [J]. 水产养殖, 1992, 40(2): 241 - 246.
- [47] GULLARD R R L, KILHAM P, JACKSON T A. Kinetics of silicon - limited growth in the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* Hasle and Heimdal [J]. J Phycol, 1973, 9: 233 - 237.
- [48] EPPLEY R W. The growth and culture of diatoms [M] WERNER D. The biology of Diatoms [M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1977: 24 - 64.
- [49] 郭峰, 朱凌俊, 柯才焕, 等. 两种海洋底栖硅藻的培养条件研究 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2005, 44(6): 831 - 835.
- [50] 邢荣莲. 海洋底栖硅藻的筛选、培养和应用研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [51] 钱振明. 海洋底栖硅藻生长条件及其理化成分的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [52] KAWAMURA T, ROBERTS R D, TAKAMI H. A review of the feeding and growth of postlarval abalone [J]. J Shellfish Res, 1998, 17(3): 615 - 625.
- [53] HAHN K O. Nutrition and growth of abalone [M] // Handbook of culture of abalone and other marine gastropods. Florida: CRC Press Inc., 1989: 135 - 137.
- [54] 王大志, 黄世玉, 程兆第. 三种海洋硅藻胞外多聚物形态、微细结构及组成的初步研究 [J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(3): 273 - 278.
- [55] SIDDHANTA A K. Marine algal polysaccharides - functions and utilisation. Trends Carbohydr Chem [C]. India: Surya International Publications, 1995: 125 - 131.
- [56] 陈国栋, 燕燕, 宋晶. 岩藻黄素的生物活性及应用研究进展 [J]. 河北渔业, 2009(8): 50 - 52.
- [57] MOREAU D, TOMASONI C, JACQUOT C, et al. Cultivated microalgae and the carotenoid fucoxanthin from *Odontella aurita* as potent anti - proliferative agents in bronchopulmonary and epithelial cell lines [J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2006, 22(1): 97 - 103.
- [58] 王伟. 硅藻 [J]. 生物学杂志, 1997, 14(1): 20.
- [59] PARKINSON J, GORDON R. Beyond micromatching: the potential of diatoms [J]. Trends Biotechnol, 1999, 17: 190 - 196.

(上接第 13089 页)

清江洋鱼、清江鲴鱼、卯洞角角鱼、沿渡河沙泥鳅、恩施娃娃鱼、恩施螃蟹、利川莼菜、走马葛仙米等。

2.7 培育中国驰名商标 恩施州水产品中尚无中国驰名商标^[4]。应该加强水产大户、水产家庭农场、水产专业合作社、水产龙头企业等的商标权教育, 鼓励水产专业合作社注册公用商标, 争取湖北省著名商标的认定, 争取培育水产品的中国驰名商标。

2.8 争创中国农产品区域公用品牌 突出水产种质资源优势、水域绿色生态环境、水产品天然富硒等特点, 创建湖北名牌产品、湖北十大农产品品牌、湖北优秀农产品品牌, 加强培育水产专业合作社, 发挥合作经济作用, 争创争创中国农产品区域公用品牌。

参考文献

[1] 薛达元. 中国生物遗传资源现状与保护 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.

[2] 田树魁. 云南省水产种质资源保护与驯化现状 [J]. 现代农业科技, 2011(17): 297 - 299.

[3] 彭祚全, 黄剑锋. 世界砾都恩施砾资源研究概述 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.

[4] 孙志国, 熊晚珍, 刘之杨, 等. 武陵山片区特产的中国驰名商标与地理标志商标双重保护研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(36): 17873 - 17875, 17878.

[5] 孙志国, 钟儒刚, 刘之杨, 等. 武陵山片区旅游名镇名村打造与乡村旅游扶贫开发研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(35): 17181 - 17183.

[6] 孙志国, 钟儒刚, 刘之杨, 等. 武陵山片区特产资源的地理标志保护与特色产业扶贫对策 [J]. 山东农业科学, 2012, 44(12): 119 - 124.

[7] 谭联金, 赵爱平, 伍敏. 夯实渔业基础实施水产扶贫推进山区水产业可持续发展 [J]. 中国水产, 2006, 37(10): 7 - 8.

[8] 杨文波, 李继龙, 冯庚菲, 等. 国家级水产种质资源保护区划定状况研究 [J]. 中国渔业经济, 2011, 29(5): 165 - 171.

[9] 孙志国, 钟儒刚, 刘之杨, 等. 武陵山片区非物质文化遗产的保护与文化产业发展 [J]. 江西农业学报, 2012, 24(10): 160 - 165.

[10] 孙志国, 钟儒刚, 刘之杨, 等. 武陵山片区少数民族非物质文化遗产的保护与传承 [J]. 重庆与世界 (学术版), 2012, 29(9): 10 - 15.

[11] 孙志国, 王树婷, 黄莉敏, 等. 武陵山民族地区茶叶地理标志与茶文化遗产保护 [J]. 陕西农业科学, 2012, 58(2): 143 - 147, 152.

[12] 孙志国, 黄莉敏, 熊晚珍, 等. 武陵山区特产的地理标志与文化遗产 [J]. 资源开发与市场, 2012, 28(10): 930 - 933.