

doi:10.7633/j.issn.1003-6202.2016.06.013

小球藻在水产动物饲料中的应用研究进展

罗柳茵,李家泳,陈卓,刘晖,明彩兵,刘锐,王琴

(仲恺农业工程学院,广东广州 510225)

摘要:小球藻是一类普生性单细胞绿藻,含有丰富的蛋白质、脂质、多糖、维生素、叶绿素、微量元素和一些生物活性代谢产物,具有多种生物功能,可作为优质蛋白源应用于饲料工业。综述了小球藻在饲料领域开发利用的进展,着重从小球藻的营养价值、保健功能、饲料工业中的具体应用以及安全性等方面进行阐述。

关键词:小球藻;水产动物;饲料工业;安全性

中图分类号:S816.35 文献标志码:A 文章编号:1003-6202(2016)06-0055-04

Research progress in the application of aquatic animal feed of chlorella

LUO Liuying, LI Jiayong, CHEN Zhuo, LIU Hui, MING Caibing, LIU Rui, WANG Qin

(Journal of Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou 510225, China)

ABSTRACT: Chlorella is a kind of single cell alga containing plentiful proteins, polysaccharides, lipid, chlorophyll, vitamins, minerals and some bioactive metabolites. Therefore, chlorella has many healthcare functions and can be used in feed industry as high-quality protein source. The research progress in exploitation and utilization, especially for nutritional value, healthcare functions, applications of chlorella in feed industry and security were reviewed.

KEYWORDS: chlorella; nutritional value; feed industry; application

小球藻(chlorella)是绿藻门小球藻属普生性单细胞绿藻,是一种球形单细胞淡水藻类,直径3~8 μm,是地球上最早的生命之一,出现在20多亿年前,是一种高效的光合植物,并且是以光合自养而生长繁殖的。小球藻分布极广,以淡水水域种类尤为最多;而且易于培养,它不仅可以利用光能自养,还可以在异养条件下利用有机碳源进行生长、繁殖;它的生长繁殖速度极快,是动植物中唯一能在20 h增长4倍的生物,所以其应用价值非常高。目前,小球藻(如蛋白核小球藻、椭圆小球藻等)在医药、食品、化学、有机肥料、饲料等方面得到了应用^[1-2],具有广泛的应用前景^[3-4]。我们主要对小球藻在水产养殖中的应用及其研究进展做出较为详细的介绍。

近几年来,世界水产总量每年保持在1亿t左右。无论是鱼粉加工过程中产生的废水或是直接丢弃的低值水产品,把它们直接排放到环境中都会给环境造成严重的污染。利用小球藻作为水产养殖的饲料,不仅可大大节约养殖成本,还在一定程度上改善水产品品质及养殖水域的水质^[5]。

1 小球藻粉作为水产饲料的有效成分

美国、日本、以色列等国家和我国台湾地区将小球藻粉作为健康食品和优良饲料添加剂已经有30多年的历史^[6],在20世纪60年代,我国曾开展过小球藻的培养和开发研究,但最终未形成产业。小球藻的细胞壁主要由蛋白质构成,当中的纤维素含量很低,极易消化吸收,故可直接或间接作为饲养动物的添加剂。细胞壁中的蛋白质含有较丰富的亮氨酸、精氨酸和赖氨酸,而这正是谷物类蛋白质所缺乏的氨基酸。除此之外,还含有降压效果的昆布氨酸^[7-8],红藻甘紫菜中牛磺酸含量高达480 mg/100 g^[9]。因此将小球藻用在复合型饲料中,可以达到“氨基酸的互补作用”的目的,解决植物蛋白质营养价值低的问题。

小球藻所特有的促生长因子能促进生物的生长,提高生产性能,增加机体免疫力,降低饲料消耗^[10]。另外研究发现小球藻是人类迄今为止在自然界中发现的碱性生长量最高的植物,它能够调节生物体酸性体质,快速将酸性体质转变为碱性体质,使生物体减少疾病的危害^[11]。小球藻细胞中含有

收稿日期:2015-04-16;修回日期:2016-05-19

基金项目:广东省省级科技计划对外合作项目(项目编号2013B051000083)。

作者简介:罗柳茵(1993-),女,从事食品加工与应用的研究。

通讯作者:王琴(1973-),女,博士,教授,从事天然产物提取与应用研究。

的“酸性多糖体”可诱使生物体产生大量的干扰素,干扰素会刺激机体免疫功能,大大增强抗病能力。

小球藻粉蛋白质含量丰富,营养价值非常高,是优良的单细胞饲料蛋白来源。有关研究表明,在蛋鸡日粮中添加10%的小球藻粉,就可以使蛋黄颜色加深,这大大提高其商品价值^[12]。另外,在水产动物饲料应用上,因为小球藻型体甚微而且是由单细胞构成,直径与长度都很小,故可直接用其活体或者干粉作为水产养殖的开口料或幼苗饵料,其诱食效果较好,并且制成的颗粒饵料投入水中不会凝集、不易下沉、不易败坏水质,达到良好的养殖效果^[13-14]。

小球藻粉干物质95.5%,成分组成见表1。

表1 小球藻粉干物质成分组成^[15]

名称	质量分数	名称	质量分数
粗蛋白质/%	44.8	无氮浸出物/%	24.0
粗纤维/%	8.7	钙/%	N/A
灰分/%	14.2	磷/%	N/A
醚浸出物/%	8.3		

2 小球藻在水产饲料方面的应用

小球藻可以作为天然饵料和其他饲料原料进行复合使用,同时将小球藻接种在养殖水禽的水域中还可以调节优化浮游生物的群落结构,增加溶解氧,降低水体中磷、氮的浓度,改善水体的化学环境条件,防止水禽生物患病^[16-17]。已有研究表明,给轮虫喂养小球藻,能够增加轮虫体内的EPA和DHA的含量,再将轮虫作为饵料饲喂鱼、虾、贝类,可显著改善此类水生生物的生长发育相关指标^[18]。

刘文娟等^[19]利用小球藻作壶状臂尾轮虫的饵料,分别探讨了自然环境和黑暗环境中轮虫的摄食情况及投喂效果。试验结果表明,轮虫投入到藻液中,在自然条件下,144 h内轮虫可以使小球藻的密度从0.175 g/L降为0.002 g/L。在黑暗条件下,小球藻的生长受到抑制,经轮虫的摄食可将小球藻的密度由0.175 g/L降为0.006 g/L。光照会更有利于轮虫的生长繁殖,而且小球藻的饵料效果优于其它微藻。

杜涛等^[14]分别采用以小球藻、螺旋藻粉强化培育5 h的酵母轮虫和酵母轮虫为饵料,投喂尖吻鲈、卵形鲳鲀、美国红鱼仔鱼,比较其成活率。结果表明,投喂酵母轮虫仔鱼成活率达到0~4.3%,而投喂小球藻和螺旋藻粉强化的轮虫仔鱼的成活率会显著提高,分别为85.3%~97.3%和79.3%~94.3%,这也说明小球藻作为水生生物饵料优势更大。

周蔚等^[20]对用小球藻饲喂银鲫鱼的应用效果

进行了研究。结果表明,经过81 d试验,试验组的鱼平均增重都大于对照组,试验组(添加1%预混料+0.1%小球藻粉)的鱼增重最多达1330 g,差异极显著($P<0.01$)。而且,从平均每尾增重分析,试验组最高增重可以达到140.9%,对照组仅为100%。

3 小球藻作为饲料应用的安全性

食品安全是近年来一直受各国关注的热点话题,藻类食品作为21世纪理想的食品营养源,其安全性可以通过水生生物食物链对水产品的质量和安全产生影响,进而关系到人类健康。此外,藻类中含有的天然成分种类有很多,且成分复杂,就小球藻用作饲料的安全性这一点上,不少学者也在不断探索^[21]。

3.1 小球藻自身安全性

王冉等^[22]通过试验测定小球藻粉的氨基酸、蛋白质、矿物质及维生素等各种营养成分含量和重金属、微生物等卫生指标,并用NIH小白鼠测定了小球藻粉的毒理性,评定了小球藻粉作为饲料添加剂的安全性和营养价值。结果表明,小球藻粉是一种高蛋白、低脂、低糖、营养全面均衡的绿色营养源,并且是安全无毒级物质,对体细胞无诱变作用,对生殖细胞无诱变畸形作用,是一种非常具有开发前景的优良饲料蛋白源。

3.2 外部环境对小球藻安全性的影响

藻类生长、加工、储藏、运输等环节和消费方式,也会对产品质量安全产生一定的影响。目前影响藻类食品的食用安全性因素包括天然毒素、加工污染、药物残留、环境污染物及掺杂使假等^[23]。

重金属污染会对藻类的生长及藻类食品安全性产生一定的影响。重金属的毒性与藻类种类、金属离子的种类及离子活度有关^[24]。一般情况下,重金属对藻类的致毒效应主要表现在:抑制光合作用、影响藻类的生长代谢、减少细胞色素、导致细胞畸变以及改变天然环境中藻类的种类组成,可以对藻类的DNA、RNA、蛋白质合成及酶活性等方面造成影响,从而对藻类的生理生化造成一定的影响^[25]。藻类首先将重金属吸附在细胞壁上,吸附速度快,并且不需要能量,随后通过细胞的主动运输过程将重金属运送到细胞内,并沿着食物链形成生物累积,最终造成食物中毒事件^[24-25]。

砷的化合物具有很强烈的毒性,可引起血管肉瘤、肺癌、鳞片细胞和真皮基部细胞的癌变。藻类中砷的含量分布特征不仅与藻类的种类有关,也与藻

体部位、生长季节等都有着一定的关系^[26]。因此,在藻类的加工和利用过程中必须及时检测并有效地控制砷的含量^[27]。以藻类的部位为例,从叶部到茎部,砷遍布于藻体的各个部位^[28]。但一般来说,叶部砷含量会高于茎部。藻类中的其它无机离子同样也可以影响藻类对砷的累积作用。磷酸盐与砷酸盐在吸收过程中会相互竞争,酸盐会抑制藻类对砷酸盐的吸收。

多氯联苯(PCBs),也称氯化联苯,是由一些氯置换联苯分子中的氢原子而形成的化合物,它在工业上有广泛的应用。PCBs主要随城市污水和工业废水进入水体,在水环境中稳定存在,因而易通过水生生物摄取进入食物链系统或附着在颗粒物上沉积于底质中,具有生物富集作用。迄今为止,还未曾报道过PCBs污染水体直接对人体的健康产生有害作用。PCBs的危害多数是通过食物链或食物网产生生物富集作用,而藻类的富集能力在1000倍左右。PCBs可通过食品渠道进入人体,从而蓄积在各种组织中,其中以脂肪组织含量尤为最高。最广泛的案例有:日本因PCBs污染米糠油而引起的公害病——“油症”^[29]。

为了确保藻类食品的安全性,必须开展藻类安全状况评价和风险分析工作。从源头抓起,加强对藻类食品的生产监管;实施藻类生产环境控制与监测;推行市场准入制。

4 展望

随着世界人口的不断增多,土地荒漠化加速,耕地面积逐渐减少,人类将面临赖以生存的粮食等农产品不能满足自身需求的潜在危机,而藻类的大规模生产将会开发出一片广阔的领域。随着小球藻光生物反应器等各种培养技术的不断提高,小球藻的产量将会急剧增加,然后会增长研发各种小球藻产品的趋势。目前,永聚源生物技术有限公司、百诺生物科技有限公司以及嘉兴泽元生物制品有限责任公司等已经分别工业化生产出小球藻种浓缩液、小球藻源以及小球藻高密度藻液(淡水型)等产品并成功应用于水产养殖中,当中包括了水库养殖场、虾苗孵化场、高位池养殖场、土塘养殖场等。由于小球藻的生存条件比较苛刻,运输销售时需要0~4℃的低温保存,而低温小球藻的适宜生长温度在25~30℃,所以大多数小球藻水产饲料在南方销售而且一般可以进行3~5d的长途运输^[30]。应充分利用我国现有的小球藻资源以及南方、西北等地区日照充足、气

温高等优势条件,利用各种先进的生物技术,大力开发小球藻中潜在的有用物质,使其在食品、医药、环保和能源等各个方面均得到充分应用,创造更大的经济效益和社会效益。同时,如何使北方的水产养殖场也能使用到小球藻饲料,这也是一个亟需解决的问题。

[参考文献]

- [1] SHI X M, CHEN F. *Chlorella and Production of Carotenoid* [M]. Beijing: Light Industry Press of China, 1999.
- [2] AKIBA, NOUTOSHI A Y, MAKI S, et al. Molecular characterization of chlorella chromosomes; screening of bent DNAs [J]. *Nucleic Acide Symp Set*, 1995, 34: 73-74.
- [3] 陈颖, 李文彬. 小球藻生物技术研究应用现状及展望[J]. *生物工程进展*, 1998, 18(6): 12-15.
- [4] 刘学铭, 梁世中. 小球藻在食品工业中的应用及小球藻食品的研制[J]. *武汉工业学院学报*, 1999(1): 47-52.
- [5] 杨鹭生, 李国平, 陈林水. 蛋白核小球藻粉的蛋白质、氨基酸含量及营养价值评价[J]. *亚热带植物科学*, 2003, 32(1): 36-38.
- [6] 梅帅, 赵凤敏, 曹有福, 等. 三种小球藻的蛋白质营养价值评价[J]. *营养学报*, 2014, 36(5): 505-507.
- [7] 范晓, 严小军, 韩丽君. 藻类加工利用研究进展 [J]. *海洋科学*, 1995(4): 14-15.
- [8] 许启望, 刘秀芬. 关于我国海洋产业发展的若干建议 [J]. *海洋技术*, 1995(4): 12-17.
- [9] 西泽一俊, 刘长发. 海藻中的生理活性物质 [J]. *中国海洋药物*, 1993(1): 41.
- [10] DALMO R A, GWALD J, INGEBRIGTSEN K. The immunomodulatory effect of laminaran [$\beta(1,3)$ -D-glucan] on Atlantic salmon, *Salmo salar* L. anterior kidney leucocytes after intraperitoneal, peroral and peranal administration [J]. *J Fish Dis*, 1996, 19: 449-457.
- [11] DALMO R A, MARTINSEN B, HORSBERG T E, et al. Prophylactic effect of [$\beta(1,3)$ -D-glucan] (laminaran) against experimental *Aeromonas salmonicida* and *Vibrio salmonicida* infections [J]. *Fish Dis*, 1998, 21: 459-462.
- [12] SAMUEL M, LAM T J, SIN Y M. Effect of laminaran [$\beta(1,3)$ -D-glucan] on the protective immunity of blue gourami, *Trichogaster trichopterus* against *Aeromonas hydrophila* [J]. *Fish Shellf Immunol*, 1996(6): 443-454.
- [13] 李神州, 李岳, 陶明方. 浅谈螺旋藻的开发价值及应用 [J]. *科技资讯*, 2008(14): 202.
- [14] 杜涛, 黄洋, 罗杰. 酵母轮虫和以小球藻、螺旋藻强化的轮虫对3种仔鱼人工育苗效果的影响 [J]. *大连水产学院学报*, 2010, 25(2): 158-161.
- [15] 中国饲料数据库情报网中心. 中国饲料成分及营养价值表 2012年第23版 [J]. *中国饲料*, 2012, 22: 30-45.
- [16] 张振华, 韩士群. 虾池接种小球藻对水体浮游生物及化学环境的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2000(2): 127-128.
- [17] 陈晓清, 郑怡, 林雄平. 海水小球藻抗菌蛋白的分离纯化及性质研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2008, 16(5): 442-445.

(下转第61页)

自由基清除,提高血清中 GSH-PX 活性,降低血清中 MDA 含量^[11]。在本试验中,Alcalase 酶水解蛋清 3 h 组小鼠肝脏的 T-SOD 活性最高,MDA 含量最低,说明其抗氧化能力较强。杜勒^[12] 研究发现,3 h 的鸡蛋清蛋白水解物抗氧化能力高于 2 h 水解物。在本试验中,各酶解 3 h 的蛋清蛋白肽抗氧化能力较 6 h 的强。说明蛋清水解时间的长短影响其抗氧化功能,时间过长,抗氧化能力有降低的趋势。有研究表明,采用中性蛋白酶和碱性蛋白酶复合水解蛋白水解度高于单一酶^[13]。本实验的结果是三种酶复合水解鸡蛋蛋清的水解度高于其他单一酶。然而,多种酶复合水解的蛋清肽改善小鼠的血清生化指标和肝脏抗氧化能力效果较差,可能是水解的蛋清肽种类存在差异造成的,具体情况需要进一步研究探讨。

从本试验结果来看,蛋清 Alcalase 酶水解物改善小鼠血清生化指标和肝脏抗氧化能力的效果最好,其中水解 3 h 优于 6 h。

【参考文献】

- [1] 车科,麻成金,黄群,等. 鹌鹑蛋清多肽饮料的研制[J]. 中国食物与营养,2008(11):39-41.
- [2] REN Y, WU H, LI X F, et al. Purification and characterization of high antioxidant peptides from duck egg white protein hydrolysates[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2014, 452: 888-894.
- [18] MORRIS H J, CARRILLO O, ALMARALES A, et al. Immunostimulant activity of an enzymatic protein hydrolysate from green microalga *Chlorella vulgaris* on undernourished mice [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2007, 40 (3): 456-460.
- [19] 刘文娟, 邹宁, 孙东红. 不同微藻对壶状臂尾轮虫生长及摄食量的影响[J]. 内陆水产, 2008(12): 54-57.
- [20] 周蔚, 樊磊, 李保金, 等. 小球藻在水产饲料上应用的研究[J]. 科学养鱼, 2006(3): 65.
- [21] 周德庆, 管华诗. 藻类功能食品的物质基础与研究开发现状[J]. 青岛海洋大学学报, 1995(12): 145-150.
- [22] 王冉, 孙展兵, 商庆凯. 小球藻粉作为饲料添加剂的营养价值及安全性研究[J]. 饲料博览, 2005(4): 4-7.
- [23] 郭莹莹. 海藻中砷化合物检测技术研究及食用安全性评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [24] 赵素达. 海洋重金属污染及其对海藻的毒害作用[J]. 青岛教育学院学报, 1999(1): 40-42.

- [3] CHALAMAIAH M, HEMALATHA R, JYOTHIRMAYI T, et al. Immunomodulatory effects of protein hydrolysates from rohu (*Labeo rohita*) egg (roe) in BALB/c mice [J]. Food Research International, 2014, 62: 1 054-1 061.
- [4] YANG W G, WANG Z, XU S Y. A new method for determination of antithrombotic activity of egg white protein hydrolysate by microplate reader [J]. Chinese Chemical Letters, 2007, 18: 449-451.
- [5] LIU J B, YU Z P, ZHAO W Z, et al. Isolation and identification of angiotensin-converting enzyme inhibitory peptides from egg white protein hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2010, 122: 1 159-1 163.
- [6] 迟玉杰, 李冰, 程缘. 蛋清蛋白肽体外抗氧化作用模式的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(5): 1 543-1 549.
- [7] 张建林, 黄梅香, 吴琼, 等. 鸭蛋蛋清肽抗氧化性的研究[J]. 武汉工业学院学报, 2011, 30(2): 8-10.
- [8] 王莹, 刘静波, 林松毅, 等. 蛋清肽的体内生物活性评价[J]. 食品工业科技, 2009, 30(2): 286-288.
- [9] 翁丹丹, 陈有亮. 鸭蛋清酶水解及其水解物对免疫功能的影响[J]. 科技通报, 2009, 25(3): 271-275.
- [10] 金螺, 王晶, 李新华. Alcalase 碱性蛋白酶酶解蛋清制备抗氧化活性肽[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(6): 59-62.
- [11] MANSO M A, MIGUEL M, EVEN J, et al. Effect of the long-term intake of an egg white hydrolysate on the oxidative status and blood lipid profile of spontaneously hypertensive rats [J]. Food Chemistry, 2008, 109(2): 361-367.
- [12] 杜勒. 三种禽蛋蛋清水解物抗氧化活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [13] 隋玉杰, 何慧, 王进, 等. 中性蛋白酶及碱性蛋白酶制备玉米粗肽的醒酒活性比较[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 102-106.

(责任编辑:梅竹)

(上接第 57 页)

- [18] MORRIS H J, CARRILLO O, ALMARALES A, et al. Immunostimulant activity of an enzymatic protein hydrolysate from green microalga *Chlorella vulgaris* on undernourished mice [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2007, 40 (3): 456-460.
- [19] 刘文娟, 邹宁, 孙东红. 不同微藻对壶状臂尾轮虫生长及摄食量的影响[J]. 内陆水产, 2008(12): 54-57.
- [20] 周蔚, 樊磊, 李保金, 等. 小球藻在水产饲料上应用的研究[J]. 科学养鱼, 2006(3): 65.
- [21] 周德庆, 管华诗. 藻类功能食品的物质基础与研究开发现状[J]. 青岛海洋大学学报, 1995(12): 145-150.
- [22] 王冉, 孙展兵, 商庆凯. 小球藻粉作为饲料添加剂的营养价值及安全性研究[J]. 饲料博览, 2005(4): 4-7.
- [23] 郭莹莹. 海藻中砷化合物检测技术研究及食用安全性评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [24] 赵素达. 海洋重金属污染及其对海藻的毒害作用[J]. 青岛教育学院学报, 1999(1): 40-42.

- [25] 汪远丽. 重金属在小球藻-菲律宾蛤仔食物链上的累积与传递研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [26] WHYTE J N C, ENGLAR J R. Analysis of inorganic and organic bound arsenic in marine brown algae [J]. Botanica Marina, 1983, 26(4): 159-164.
- [27] SUAREZER, KRALOVEC J A, NOSEDA M D, et al. Isolation, characterization and structural determination of a unique type of arabinogalactan from an immunostimulatory extract of *Chlorella pyrenoidos* [J]. Carbohydrate Research, 2005, 340 (8): 1 489-1 498.
- [28] 孙飏, 范晓. 海藻中砷的含量分布特征 [J]. 海洋科学, 1996(5): 24-27.
- [29] FAN J H, CUI Y B, HUANG J K, et al. Suppression subtractive hybridization reveals transcript profiling of *Chlorella* under heterotrophy to transition [J]. PloS One, 2012(7): 504-514.
- [30] 陈焕林. 优质微藻(小球藻)在水产养殖中的需求及应用前景 12 问[J]. 当代水产, 2015(1): 75-76.

(责任编辑:梅竹)