

螺旋藻营养保健作用及脱腥味的研究进展

刘灵杰¹, 陈卫卫^{1,2*}, 梁迪¹, 莫丽萍¹, 黄俊善¹

(1. 广西中医药大学, 南宁 530001; 2. 南京中医药大学, 南京 210023)

[摘要] 随着生活水平的提高及保健意识的增强,螺旋藻作为一种高蛋白、全天然的藻类生物,越来越受到人们的关注。近些年,以螺旋藻为原料的大众食品也逐渐普及,逐渐走进了人们的生活。同时,螺旋藻中丰富而多样的生物活性物质及其营养保健作用也愈发受到重视和青睐。本文详细概述了螺旋藻在抗氧化、增强免疫、降血糖、保肝、降血脂等营养保健作用方面的国内外最新研究成果,指出了营养保健成分的研究主要集中于螺旋藻多糖与藻蓝蛋白,并建议将保健作用的研究更多放到临床研究上来;同时简要介绍了包括酶解法、包埋法和发酵法等在内的常见螺旋藻腥味脱除方法,分析了螺旋藻腥味脱除方面的研究存在的可提升空间,为螺旋藻及其保健产品的研究与开发提供参考。

[关键词] 螺旋藻; 营养保健; 脱腥味; 抗氧化; 降血糖; 保肝

[中图分类号] G353.11; R283.6; S963.16 + 1; TS218 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2017)02-0213-07

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2017020213

[网络出版地址] <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20160928.1614.010.html>

[网络出版时间] 2016-09-28 16:14

Review on Removing Algae Smell, Nutrition and Health Action of *Spirulina*

LIU Ling-jie¹, CHEN Wei-wei^{1,2*}, LIANG Di¹, MO Li-ping¹, HUANG Jun-shan¹

(1. Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530001, China;

2. Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China)

[Abstract] With the improvement of living condition and enhancement of health consciousness, *Spirulina*, as a high-protein and all-natural algae, is focused more and more people's attention. During the latest several years, these foods with *Spirulina* ingredient have become more popular in daily life. At the same time, abundant and various bioactivators in *Spirulina* existed and its nutrition or health care functions also have been be attached great importance to more researchers. In this paper, it discussed that the newest research progress of the main roles of *Spirulina*, such as antioxidant, enhance of immunity, prevention from cancer, hepatoprotective effect and so on. Meanwhile, it reported that these common methods of removing algae smell in *Spirulina*, included enzymolysis, covering, fermentation and so on, in order to understand the research development of methods of removing algae smell at present. Above all, it provided a guideline for the further studying and application of *Spirulina*.

[Key words] *Spirulina*; nutrition and health; removing algae smell; antioxidant; hypoglycemic; protecting liver

螺旋藻为蓝藻门颤藻科植物,常指个体较大的钝顶螺旋藻和极大螺旋藻,根据含有藻红素和藻蓝

素含量的不同,藻体可呈蓝绿色、黄绿色和紫红色^[1]。螺旋藻含蛋白质60%,还含多种维生素、肌

[收稿日期] 20160401(006)

[基金项目] 广西壮瑶药协同创新中心基金项目(zylt[2015]-02);广西壮瑶药重点实验室项目(桂科基字[2014]32号);广西壮瑶药协同创新中心项目(桂教科研[2013]20号);广西重点学科(壮药学)项目(桂教科研[2014]14号);“中药创新理论与药效研究”八桂学者项目(广西第二批八桂学者项目)

[第一作者] 刘灵杰,在读硕士,从事药物新剂型、新制剂的研究与开发,Tel:15578115096,E-mail:844458257@qq.com

[通讯作者] * 陈卫卫,硕士,教授,从事药物新剂型、新制剂的研究与开发,Tel:18978906076,E-mail:weiweichen2012@sina.com

酸、藻青素、脂肪等。能抗辐射损伤、抗肿瘤、抗菌，还能提高免疫功能、降低血清胆固醇、提高铁的生物有效性和调理贫血症。可作为保健食品。现多制成片剂、丸剂和口服液内服^[2]。本文就螺旋藻在抗氧化、增强免疫、降血糖、保肝、降血脂等方面的营养保健作用的国内外最新研究状况进行了概述，并介绍了酶解法、包埋法和发酵法等常见的螺旋藻腥味脱除方法，为螺旋藻及其产品的进一步研究与开发提供参考。

1 营养成分

螺旋藻常见的营养成分主要有蛋白质(藻胆蛋白、藻胆蛋白),多糖(藻多糖),脂肪酸(γ -亚麻酸),色素(β -胡萝卜素),维生素和矿物质等^[3],见表 1。

表 1 螺旋藻中主要营养成分的含量

Table 1 Contents of main nutrients in *Spirulina*

营养成分	数值	营养成分	数值
蛋白质/%	68.21	钾/mg·kg ⁻¹	1 456
碳水化合物/%	15.41	钠/mg·kg ⁻¹	741
藻蓝素/mg·g ⁻¹	94.62	镁/mg·kg ⁻¹	498
叶绿素/mg·g ⁻¹	20.11	钙/mg·kg ⁻¹	403
类胡萝卜素/mg·g ⁻¹	4.03	硒/mg·kg ⁻¹	402
β -胡萝卜素/mg·g ⁻¹	1.79	铁/mg·kg ⁻¹	117
维生素 B ₆ /mg·g ⁻¹	4.11	棕榈酸/mg·kg ⁻¹	16 854
维生素 B ₁₂ /mg·g ⁻¹	2.10	γ -亚麻酸/mg·kg ⁻¹	10 108
维生素 E/mg·g ⁻¹	2.06	超氧化物歧化酶/ μ g·g ⁻¹	1 598
维生素 C/mg·g ⁻¹	0.05	藻多糖/%	2.05

2 保健功能

2.1 抗氧化作用 研究表明螺旋藻含有丰富的抗氧化活性成分,包括螺旋藻多糖、藻蓝蛋白、活性多肽、亚麻酸、硒等。有研究者发现螺旋藻与螺旋藻多糖清除自由基的特性类似,据此推测螺旋藻多糖是其抗氧化活性的主要成分^[4]。李雪斌^[5]报道了从螺旋藻粗糖中精提得到的 4 种高纯度多糖组分,分别为螺旋藻硫酸多糖 I, II, III, IV, 标记为 SPS-I, SPS-II, SPS-III 和 SPS-IV。其中,SPS-IV 抗氧化能力最强,对羟自由基、超氧阴离子和单线态氧的半抑制浓度(IC₅₀)依次为 48.7, 22.1, 66.7 mg·L⁻¹,分别为螺旋藻脱蛋白总多糖的 3.36, 33.1, 2.76 倍。研究结果表明 SPS-IV 可能是螺旋藻多糖中最主要的抗氧化组分。此外,螺旋藻多糖的抗氧化活性在许多动物实验中也得到了较好的验证,例如万顺康等^[6]的肉仔鸡试验、吕子君等^[7]的长臀鲢试验、林春榕等^[8]的幼兔试验等。蒋洁^[9]用

富硒培养螺旋藻,将得到的含硒藻蓝蛋白和含硒别藻蓝蛋白进行试验,发现含硒藻蓝蛋白比普通的藻蓝蛋白抗氧化活性更强。这一结论随后也被 YANG 等^[10]所验证。由藻蓝蛋白或藻胆蛋白酶解得到的抗氧化活性肽,有更高的抗氧化活性^[6],且更易为人体所吸收^[11]。近年来,许多研究者将研究方向转移到对抗氧化活性肽的制备和开发上^[9,12-13]。有关亚麻酸^[14]、硒^[15-16]的抗氧化活性研究的报道也屡见不鲜。

国外许多相关实验研究也客观验证了螺旋藻的抗氧化生物活性。Ali 等^[17]在由弗氏完全佐剂引起的关节炎小鼠身上试验,发现螺旋藻的抗氧化活性可抑制与风湿性关节炎相关的病理变化的发展。Ibrahim 等^[18]发现螺旋藻通过其自由基清除作用和抗氧化活性,可降低由替米考星引起的小鼠心脏毒性。Argüelles-Velázquez 等^[19]通过实验得出螺旋藻的抗氧化作用可减少由于母体暴露于含镉环境而导致的胎儿先天畸形发生率及遗传毒性。

2.2 增强免疫作用 螺旋藻中含有多种可增强机体免疫功能的活性成分,如类胡萝卜素、藻蓝蛋白、螺旋藻多糖和 γ -亚麻酸等^[20]。吕小华等^[21]报道螺旋藻多糖能增强慢性乙型肝炎患者外周血单核细胞的增殖能力,产生免疫调节作用。刘永举等^[22]报道以螺旋藻多糖和银杏叶提取物按 1:1 比例制成的复合螺旋藻多糖对 S180 荷瘤小鼠单核巨噬细胞的吞噬能力和淋巴 T 细胞的增殖转化能力有明显促进作用,并能明显降低白介素-6(IL-6)的水平。

正常的机体免疫能力是保持身体健康及预防疾病的前提条件。大多数多糖可通过对机体免疫系统的保护和调节来实现抗肿瘤作用^[23]。刘永举等^[22]报道螺旋藻多糖可通过提高单核巨噬细胞的吞噬能力和淋巴 T 细胞的增殖转化能力,从而使 IL-6 的含量下降。Ngo-Matip 等^[24]也报道在日常饮食中补充螺旋藻可增加免疫 CD 细胞的数量,同时减少人类免疫缺陷病毒(HIV)病毒载量。推测可能是螺旋藻增强了免疫系统的功效,从而对 HIV 产生抑制。此外,有研究报道螺旋藻对乳腺癌化疗患者的免疫功能也有一定调节和保护作用^[25]。

2.3 降血糖作用 多年来,有关螺旋藻降血糖的研究报道屡见不鲜。螺旋藻中富含 β -胡萝卜素,后者具有许多重要的生物学活性。MA 等^[26]通过响应面法研究用超声辅助提取和纯化螺旋藻中的 β -胡萝卜素,确定了其体外抗氧化活性,并探索了其对糖尿病小鼠的降血糖作用。齐清华^[27]在采用盐酸沉

降法分离螺旋藻多糖和蛋白时,此工艺获得的螺旋藻多糖对四氧嘧啶所致糖尿病小鼠的高血糖有明显的保健作用,且无明显的剂量效应,可被开发为功能性食品等,对防治糖尿病具有一定价值。AbouZid 等^[28]对一些埃及植物和藻类的抗高血糖作用进行比较,发现螺旋藻的抗高血糖活性在所考察的几种藻类中表现最强,但并未检测到他们有促胰岛素作用。

研究者们对螺旋藻降血糖作用的关注,其原因在于:与一般的降血糖药物相比,螺旋藻作为一种天然的植物,不仅具有较为理想的降糖效果,且毒副作用小。房明^[29]通过建立糖尿病模型小鼠探索螺旋藻 β -胡萝卜素的降血糖生物活性,结果发现模型组给药后血糖水平下降明显,而且正常给药组的血糖值与正常对照组相似,始终处于正常范围。初步推断 β -胡萝卜素具有一定的降血糖效果,且对正常者的血糖水平不产生影响。罗光宏等^[30]研究复方苦荞螺旋藻片的降血糖作用时,其安全性试验显示小鼠的最大耐受量相当于人体推荐量的 360 倍,且主要脏器均未见异常。表明复方苦荞螺旋藻片毒性低,推荐用量安全。

当前,螺旋藻降血糖作用的研究热点主要是对其作用机制的探讨,大致可分为以下几类:①通过提高抗氧化活性产生降糖作用,王苏仪等^[31]腹腔注射链尿佐菌素制备糖尿病模型大鼠,研究螺旋藻多糖的降糖作用,结果显示螺旋藻多糖高、低剂量组与模型组相比,大鼠体重明显增加,血糖显著下降,同时血清中超氧化物歧化酶(SOD)活力均有提高,丙二醛(MDA)含量显著下降。表明螺旋藻多糖可能通过提高抗氧化酶活力,加强自由基清除,从而保护胰岛细胞免受自由基损害,维持其正常表达,产生降糖效果。②促进糖原的合成,OU 等^[32]在研究螺旋藻中藻蓝蛋白对四氧嘧啶损伤小鼠的预防作用时,发现空腹血糖和糖化血清蛋白(GSP)都有所减少,而葡糖激酶(GK)的表达基本维持不变。分析血糖水平降低可能是由于葡糖激酶表达促进肝糖原的合成所造成的。陈雷等^[33]、史坤等^[34]也有类似的研究报道。③分子水平调控机制的探索,OU 等^[35]研究了螺旋藻中藻蓝蛋白对四氧嘧啶诱导糖尿病模型小鼠的保健作用及其相关分子机制。结果表明藻蓝蛋白可通过激活肝脏和胰腺中胰岛素信号转导通路和蛋白激酶的表达来降低血糖水平,改善糖尿病模型小鼠的相关症状。LI 等^[36]发现富硒螺旋藻可通过避免活性氧(ROS)的过度产生以及线粒体功能障

碍,调节胞内磷脂酰肌醇 3-激酶/蛋白激酶 B(PI3K/AKT)信号通路来保护胰岛 β 细胞株 INS-1E 细胞。

2.4 保护肝脏作用 Ferreira-Hermosillo 等^[37]在研究非酒精脂肪肝系列疾病时,发现极大螺旋藻能产生抗高血脂作用。Moura 等^[38]也发现糖尿病小鼠服用螺旋藻同时结合一定量锻炼,可有效降低其低密度脂蛋白胆固醇和肝脂总循环水平,控制非酒精性脂肪肝病。Pak 等^[39]在探索非酒精性脂肪肝炎(NASH)的机制时,发现服用过螺旋藻或藻蓝蛋白的 NASH 小鼠其炎症反应有所减轻,机制可能是通过抗氧化作用和抗炎作用干扰了氧化应激反应和炎症反应过程,从而有效地阻断了 NASH 的进一步恶化。Mazokopakis 等^[40]对 15 个平均年龄在 48 岁的成年克里特岛人进行实验观察,这些志愿者都患有非酒精脂肪肝。志愿者们每天补充螺旋藻 6 g,连续服用 6 个月。结果发现血液中甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇、总胆固醇、总胆固醇与低密度脂蛋白胆固醇的比例分别减少了 24.8%,9.6%,9.1%,13.5%,而高密度脂蛋白胆固醇和血红蛋白分别增加了 4.2%和 4.1%;病人的生活质量大为改善。说明螺旋藻在防治非酒精性脂肪肝病时,可通过调节血脂水平并结合抗氧化、抗炎作用来保护肝脏。

此外,研究报道螺旋藻对其他类型肝脏病变也有保护作用。Ponce-Canchihuamán 等^[41]根据铅中毒的机制可能就是氧化性损伤所造成这一前提进行研究,评估螺旋藻对由肝脏与肾脏铅中毒引起的氧化应激与血脂过高的保护作用。结果表明极大螺旋藻可明显减缓甚至阻断乙酸铅引起的血液与肝脏中的血脂水平及肝脏与肾脏中的抗氧化状态的大幅波动,有效改善肝脏与肾脏的生化指标。Yakoot 等^[42]利用螺旋藻和水飞蓟开展治疗慢性丙肝病毒感染的随机对照试验。60 名患有慢性丙肝病毒感染的病人被随即分成螺旋藻治疗组和水飞蓟治疗组,治疗 6 个月。在第 3 个月和第 6 个月时,分别对两组进行随访和盲法比较,观察其治疗病毒学反应。结果发现螺旋藻治疗组有 20% 的病人有明显的治疗病毒学反应,而水飞蓟治疗组效果不明显。表明螺旋藻对慢性丙肝病毒感染有较显著的保健与预防潜力,值得进一步研究。

2.5 降血脂作用 Serban 等^[43]就螺旋藻对血脂浓度的影响进行 Meta 分析,搜集了 PubMed 和 Scopus 数据库中截至 2015 年 7 月 3 号的随机对照试验(RCTs),结果表明螺旋藻能显著降低血液中总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇及甘油三酯的浓度,同时增

加了高密度脂蛋白胆固醇的浓度。YANG 等^[44]在 C57BL/6J 模型小鼠身上进行实验,发现服用螺旋藻和念珠藻 6 个月后,小鼠血液中的胆固醇及甘油三酯的浓度都明显减少,而肝脏中两者都有所增加;表明螺旋藻和念珠藻具有调节血脂的作用,可用于治疗与血脂有关的慢性疾病。

已知血脂代谢与艾滋病病人的健康状况息息相关,Ngo-Matip 等^[45]招募 169 名艾滋病病人进行了 1 次随机单盲多中心试验,结果表明螺旋藻可通过调节病人的血脂代谢,延迟血脂异常的发生,改善了病人的生活质量。此外,Mazokopakis 等^[46]报道了螺旋藻对希腊克里特岛的血脂异常病人的降血脂作用。Ku 等^[47]报道了螺旋藻通过调节血脂来改善动脉粥样硬化。

2.6 其他 刘永举等^[48]报道了复合螺旋藻多糖对 X 射线辐射损伤小鼠的保护作用。王书全等^[49]研究发现螺旋藻多糖能明显延长小鼠爬杆与游泳时间,提高运动耐力。隋璐等^[50-51]探讨了螺旋藻多糖对胃溃疡小鼠的保健作用及其机制。笔者查阅了知网和 PubMed 近 5 年有关螺旋藻主要营养保健作用的非临床研究和临床研究实验论文 147 篇,见表 2。

表 2 近 5 年螺旋藻主要营养保健作用的研究情况

Table 2 Research situation on main nutrition and health function of *Spirulina* in recent 5 years

营养保健作用	主要功能成分	文献数 / 篇	非临床研究篇数 / 临床研究篇数
抗氧化	螺旋藻多糖、藻蓝蛋白、小分子多肽、硒和 γ -亚麻酸	38	35/3
增强免疫	螺旋藻多糖、藻蓝蛋白	21	17/4
降血糖	螺旋藻多糖、藻蓝蛋白	25	24/1
保护肝脏	螺旋藻多糖、藻蓝蛋白、硒	30	25/5
降血脂	螺旋藻多糖和 γ -亚麻酸	14	10/4
其他	螺旋藻多糖、藻蓝蛋白	19	17/2

3 腥味脱除方法的研究进展

螺旋藻是一种不可多得的可开发保健食品的资源,但因具有腥味,从而严重限制了其推广。因此,开发相应的脱腥味技术和方法,成为螺旋藻推广和应用的重要任务。

3.1 腥味的来源 当前对螺旋藻主要功能成分的研究较多,但有关其腥味来源成分的研究报道却很少。郇延军等^[52]分别对发酵脱味前及脱味后的藻液进行风味成分的分析,经计算机谱库检索,明确其主要风味成分为六氢吡啶衍生物、吡啶衍生物、胺类

和萜类物质。张丽君等^[53]采用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术,以钝顶螺旋藻为原料,分析其腥味物质,结果表明螺旋藻的主要挥发成分为十七烷、十五烷、二氢猕猴桃内酯、十六烷和 β -紫罗兰酮。丁洁^[54]运用热脱附-气质联用仪进行腥味物质分析,初步确定了螺旋藻主要腥味物质为三甲胺,3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮,2-甲基四氢呋喃,甲苯,1,3-二氯苯和 1-辛烯-3-醇。张艳艳等^[55]先用五通桥毛霉对螺旋藻进行发酵处理,然后通过直接热脱附-气质联用技术检测螺旋藻发酵前后样品挥发性风味物质。认为螺旋藻的藻腥味是以醇类、酮类、烷烃类和芳香族化合物为主,包括萜类、酸酯类和吡嗪类化合物等在内的挥发性物质综合表现的结果。上述研究大多只是就腥味物质的范围进行了界定,还需要更多的定性定量研究,来进一步明确具体的腥味物质。

3.2 腥味脱除方法 当前,常通过 3 种途径进行腥味脱除:①破坏产生腥味的物质,有酶解法、加热法、真空法等。②将腥味物质与有效成分分离,有萃取法、吸附法等。③将腥味物质包裹或加入矫味剂掩盖其味道,包括包埋法、掩蔽法等。上述方法有单独使用,也有联合应用。

3.2.1 酶解法 魏振承等^[56]利用木瓜蛋白酶酶解螺旋藻浆液,发现在一定时间和温度范围内,随着时间的延长或温度的升高,螺旋藻的腥味会逐渐变淡,得最佳条件为酶解时间 2 h,酶解温度 50 $^{\circ}\text{C}$ 。张丽君等^[53]研究发现,当中性蛋白酶质量分数为 3.0% 时,在 55 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下作用 2 h,螺旋藻脱腥效果较为理想。王辰等^[57]用细菌型中性蛋白酶和木瓜蛋白酶酶解螺旋藻破壁滤液,用 6 mol·L⁻¹ 盐酸调 pH 至 6.0~7.0,获得较佳的工艺条件为酶解温度 50 $^{\circ}\text{C}$,酶解时间 5 h。虽然酶解法对腥味的祛除有一定效果,但从过往的研究中发现,单独使用酶解法祛腥味效果并不理想,并且酶解可能会对蛋白质类功能成分造成破坏。

3.2.2 包埋法 丁洁^[54]利用微胶囊技术对螺旋藻进行包埋以达到脱腥的效果,结果发现阿拉伯胶、麦芽糊精和 β -环糊精按 1:1:1 混合为壁材,螺旋藻粉为芯材,按芯材-壁材(10:1)混合,制备的乳化液口感较好。付桂明等^[58]在研制以螺旋藻和小球藻为原料的蓝绿藻营养口服液时,对添加葡萄糖矫味、活性炭吸附、酵母发酵和 β -环状糊精包埋这 4 种脱腥方法进行比较,结果发现添加 β -环糊精为最佳。根据氯化钙与海藻酸钠能形成海藻酸钙膜的原理,林

松毅^[59]以含有螺旋藻的藻液为芯液,氯化钙溶液为壁材,将螺旋藻包裹起来制粒,研制螺旋藻酸奶。

3.2.3 发酵法 魏玉翠等^[60]在用螺旋藻研制营养强化米粉过程中,采用发酵法对螺旋藻进行脱腥味处理;以腥味成分藻蓝蛋白的吸光值为脱腥味指标,用响应面法分析得出其最佳脱腥味工艺条件为:39℃水浴加热30 min,酵母添加量为0.84%。王海平等^[61]用破壁发酵脱腥技术研究螺旋藻的脱腥工艺,得到发酵的最佳条件为:接种高活性干酵母量为0.5%,发酵时间1 h,发酵温度29℃。张丽君等^[53]、付桂明等^[58]也有类似的报道。利用酵母发酵法除腥味的机制可能在于:一方面是酵母本身疏松的结构对腥味物质具有类似活性炭的吸附作用,另一方面酵母中含有的某些酶对腥味物质有一定的酶解作用;发酵法脱腥味正是这2种作用综合的结果^[62]。

3.2.4 其他方法 胡秋辉等^[63]报道了利用超临界CO₂萃取技术进行螺旋藻脱腥味处理。丁洁^[54]在研究螺旋藻的主要腥味物质和脱腥技术时,首次尝试利用臭氧氧化技术,得脱腥工艺为螺旋藻液的料液比1:25,温度50℃,臭氧通入时间10 min。

3.2.5 多种方法的联合运用 上述各种方法单独使用时,脱腥味效果并不太理想。在实际情况中,多种方法的联合运用一般更为常见。鲁玉侠等^[64]对螺旋藻进行风味改良,将蜂蜜调配、美拉德反应及巧克力掩盖3种方法综合起来利用,得到的螺旋藻巧克力果冻不仅营养丰富而且风味别致。魏振承等^[56]采用木瓜蛋白酶酶解和β-环糊精掩蔽相结合的方法祛除腥味,以琼脂进行饮料的稳定性研究,确定了螺旋藻清汁饮料的最佳加工工艺与配方。

4 讨论

与传统食物相比,螺旋藻作为一种新的食品原料^[65]应用时间并不长,但其潜力较大。这与其本身具有的巨大食用和保健价值密不可分。一方面,螺旋藻作为一种全天然的藻类植物,拥有丰富而均衡的营养成分,其蛋白质含量高且全面,是不可多得的新型食品来源;另一方面,螺旋藻含有大量的生物活性物质,具有抗氧化、增强免疫、降血糖、保肝、降血脂等功效。

目前,螺旋藻活性成分中研究较全面和深入的主要为螺旋藻多糖与藻蓝蛋白。螺旋藻多糖是一种从螺旋藻中提取的酸性杂多糖,具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、免疫增强、保肝等生物学活性。从螺旋藻被开发成新型食品以来,研究者们对螺旋藻多糖的营

养保健作用进行了大量研究,也取得了许多有意义的成果。当前,对螺旋藻多糖的初级结构已经具有了较为透彻的认识,但其高级结构却报道较少。螺旋藻多糖高级结构与其保健作用机制密切相关,加大在这方面的研究将有助于对螺旋藻多糖已知保健作用的进一步了解。藻蓝蛋白是藻胆蛋白中的1种,为螺旋藻蛋白的重要组成部分,其生物学活性与螺旋藻多糖有许多相似之处,尤其在抗肿瘤方面效果突出,有望开发成新的抗肿瘤药物。另外,有研究表明天然藻蓝蛋白口服无毒性,属于实际无毒物,其在保健食品和药品开发上潜力巨大^[66]。

螺旋藻已有保健功能虽有较多相关的实验性研究,但还需更多的临床研究和观察。以螺旋藻的抗氧化作用为例,螺旋藻在抗氧化、延缓衰老方面的研究较早,无论是其抗氧化成分,还是抗氧化机制,研究者们都有所涉及并取得了一定的进展和成果,但有关螺旋藻抗衰老的临床研究却鲜有报道。后续需加强螺旋藻抗氧化作用在临床疗效方面的研究,为螺旋藻保健食品或新药开发提供更有力量的证明。

此外,有关螺旋藻腥味脱除方面的研究还有待加强,应进一步探明其腥味物质的具体成分,采用定性与定量方法进行检测,同时在腥味脱除方法的联合运用上应有所创新和突破。

[参考文献]

- [1] 《农业大词典》编辑委员会. 农业大词典[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1024.
- [2] 李经纬, 余瀛鳌, 欧永欣, 等. 中医大辞典[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1995: 1966.
- [3] 包国良, 王茵. 螺旋藻中营养成分检测及其生物学活性研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(5): 1034-1036.
- [4] 李羚, 高云涛, 戴云, 等. 螺旋藻及螺旋藻多糖体外清除活性氧及抗氧化作用研究[J]. 化学与生物工程, 2007, 24(3): 55-57.
- [5] 李雪斌. 螺旋藻硫酸多糖(SPS)提纯工艺优化及体外抗氧化和抗稻瘟霉活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [6] 万顺康, 左绍远, 张翠香. 螺旋藻多糖对肉仔鸡生长性能、免疫功能及生化指标的影响[J]. 饲料研究, 2013(9): 70-73.
- [7] 吕子君, 陈平原, 李正光, 等. 螺旋藻对海南长臀鳃抗氧化和脂代谢指标的影响[J]. 饲料工业, 2015, 36(14): 24-27.
- [8] 林春榕, 左绍远, 张翠香. 螺旋藻对幼兔生长、免疫功能及血液生化指标的影响[J]. 饲料工业, 2013, 34(2): 14-18.

- [9] 蒋洁. 含碲藻胆蛋白的纯化及藻蓝蛋白酶解多肽的抗氧化活性研究[D]. 广州:暨南大学,2011.
- [10] YANG F, Wong K H, YANG Y F, et al. Purification and *in vitro* antioxidant activities of tellurium-containing phycobiliproteins from tellurium-enriched *Spirulina platensis*[J]. Drug Des Devel Ther, 2014, doi: 10. 2147/ DDDT. S62530.
- [11] 余颀. 螺旋藻蛋白酶解工艺的优化及抗氧化肽的分离鉴定[D]. 武汉:华中农业大学,2015.
- [12] 张少斌,张春,童雅晴,等. 酶解螺旋藻藻胆蛋白制备抗氧化活性肽的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015 (13):150-153.
- [13] 陈兴才,李翔,刘杏珠,等. 螺旋藻蛋白质提取工艺研究[J]. 福州大学学报:自然科学版, 1999, 27(6): 107-110.
- [14] 王菲,余星星,孙冰洁,等. 螺旋藻 γ -亚麻酸的提取优化及体外抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19):68-72.
- [15] 黄峰,单雪风,张水妹,等. 螺旋藻富硒转化含硒蛋白质的鉴定及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7):99-104.
- [16] 黄峰,郭云飞,陈昱,等. 螺旋藻(*Spirulina platensis*)生物转化富硒形态对自由基的清除作用[J]. 暨南大学学报:自然科学与医学版, 2015, 36(3):202-207.
- [17] Ali E A, Barakat B M, Hassan R. Antioxidant and angiostatic effect of *Spirulina platensis* suspension in complete Freund's Adjuvant-induced arthritis in rats[J]. PLoS One, 2015, 10(4):e0121523.
- [18] Ibrahim A E, Abdel-Daim M M. Modulating effects of *Spirulina platensis* against tilmicosin-induced cardiotoxicity in mice [J]. Cell J, 2015, 17(1): 137-144.
- [19] Argüelles-Velázquez N, Alvarez-González I, Madrigal-Bujaidar E, et al. Amelioration of cadmium-produced teratogenicity and genotoxicity in mice given *Arthrospira maxima* (*Spirulina*) treatment [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2013, doi: 10. 1155/ 2013/604535.
- [20] 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.
- [21] 吕小华,陈文青,罗世英,等. 螺旋藻多糖对 CHB 患者 PBMC 免疫功能的影响[J]. 中国药理学通报, 2015, 31(8):1121-1125.
- [22] 刘永举,贾玉辉,唐超,等. 复合螺旋藻多糖对 S180 荷瘤小鼠免疫功能的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版, 2014, 31(1):27-30.
- [23] 宫丹,杜培革,崔新颖. 植物多糖的免疫调节及抗肿瘤活性研究[J]. 北华大学学报:自然科学版, 2004, 5 (4):326-330.
- [24] Ngo-Matip M E, Pieme C A, Azabji-Kenfack M, et al. Impact of daily supplementation of *Spirulina platensis* on the immune system of naïve HIV-1 patients in Cameroon; a 12-months single blind, randomized, multicenter trial [J]. Nutr J, 2015, doi: 10. 1186/ s12937-015-0058-4.
- [25] 刘明伟,徐明燕. 螺旋藻胶囊对乳腺癌化疗患者免疫机能的影响[J]. 中医实用医刊, 2012, 39(3):99-100.
- [26] MA Q Y, FANG M, ZHENG J H, et al. Optimised extraction of β -carotene from *Spirulina platensis* and hypoglycaemic effect in streptozotocin-induced diabetic mice[J]. J Sci Food Agric, 2016, 96(5):1783-1789.
- [27] 齐清华. 螺旋藻多糖与藻蓝蛋白分离纯化工艺及多糖生物活性的研究[D]. 福州:福建农林大学,2014.
- [28] AbouZid S F, Ahmed O M, Ahmed R R, et al. Antihyperglycemic effect of crude extracts of some Egyptian plants and algae [J]. J Med Food, 2014, 17 (3):400-406.
- [29] 房明. 螺旋藻 β -胡萝卜素的提取及降血糖活性研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [30] 罗光宏,祖廷勋,杨生辉,等. 复方苦荞螺旋藻片的降糖作用及安全性[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39 (11):187-192.
- [31] 王苏仪,常雪莹,赵帅,等. 螺旋藻多糖对糖尿病大鼠血糖及抗氧化作用的影响[J]. 职业与健康, 2015, 31 (23):3229-3231, 3235.
- [32] OU Y, LIN L, PAN Q, et al. Preventive effect of phycocyanin from *Spirulina platensis* on alloxan-injured mice [J]. Environ Toxicol Pharmacol, 2012, 34(3): 721-726.
- [33] 陈雷,郝言芝,王慧,等. 低剂量复合螺旋藻多糖降血糖作用研究[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版, 2011, 28(2):142-145.
- [34] 史坤,张旗,王娜,等. 小球藻和螺旋藻的营养成分及其降血糖活性比较[J]. 食品研究与开发, 2015, 36 (10):121-125.
- [35] OU Y, REN Z H, WANG J H, et al. Phycocyanin ameliorates alloxan-induced diabetes mellitus in mice: Involved in insulin signaling pathway and GK expression [J]. Chem Biol Interact, 2016, 247:49-54.
- [36] LI X L, WONG Y S, XU G, et al. Selenium-enriched *Spirulina* protects INS-1E pancreatic beta cells from human islet amyloid polypeptide-induced apoptosis through suppression of ROS-mediated mitochondrial dysfunction and PI3/AKT pathway [J]. Eur J Nutr, 2015, 54(4):509-522.
- [37] Ferreira-Hermosillo A, Torres-Duran P V, Juarez-Oropeza M A. Hepatoprotective effects of *Spirulina*

- maxima in patients with non-alcoholic fatty liver disease; a case series [J]. *J Med Case Rep*, 2010, doi: 10.1186/1752-1947-4-103.
- [38] Moura L P, Puga G M, Beck W R, et al. Exercise and spirulina control non-alcoholic hepatic steatosis and lipid profile in diabetic Wistar rats [J]. *Lipids Health Dis*, 2011, doi:10.1186/1476-511X-10-77.
- [39] Pak W, Takayama F, Mine M, et al. Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of spirulina on rat model of non-alcoholic steatohepatitis [J]. *J Clin Biochem Nutr*, 2012, 51(3):227-234.
- [40] Mazokopakis E E, Papadomanolaki M G, Fousteris A A, et al. The hepatoprotective and hypolipidemic effects of *Spirulina (Arthrospira platensis)* supplementation in a Cretan population with non-alcoholic fatty liver disease: a prospective pilot study [J]. *Ann Gastroenterol*, 2014, 27(4):387-394.
- [41] Ponce-Canchihuamán J C, Pérez-Méndez O, Hernández-Muñoz R, et al. Protective effects of *Spirulina maxima* on hyperlipidemia and oxidative-stress induced by lead acetate in the liver and kidney [J]. *Lipids Health Dis*, 2010, doi:10.1186/1476-511X-9-35.
- [42] Yakoot M, Salem A. *Spirulina platensis* versus silymarin in the treatment of chronic hepatitis C virus infection. A pilot randomized, comparative clinical trial [J]. *BMC Gastroenterol*, 2012, doi:10.1186/1471-230X-12-32.
- [43] Serban M C, Sahebkar A, Dragan S, et al. A systematic review and meta-analysis of the impact of *Spirulina* supplementation on plasma lipid concentrations [J]. *Clin Nutr*, 2016, 35(4):842-851.
- [44] YANG Y, Kim B, Park Y K, et al. Effects of long-term supplementation of blue-green algae on lipid metabolism in C57BL/6J mice [J]. *J Nutrit Health Food Sci*, 2014, 1(1):6-20.
- [45] Ngo-Matip M E, Pieme C A, Azabji-Kenfack M, et al. Effects of *Spirulina platensis* supplementation on lipid profile in HIV-infected antiretroviral naïve patients in Yaounde-Cameroon; a randomized trial study [J]. *Lipids Health Dis*, 2014, doi:10.1186/1476-511X-13-191.
- [46] Mazokopakis E E, Starakis I K, Papadomanolaki M G, et al. The hypolipidaemic effects of *Spirulina (Arthrospira platensis)* supplementation in a Cretan population: a prospective study [J]. *J Sci Food Agric*, 2014, 94(3):432-437.
- [47] Ku C S, Kim B, Pham T X, et al. Blue-green algae inhibit the development of atherosclerotic lesions in apolipoprotein E knockout mice [J]. *J Med Food*, 2015, 18(12):1299-1306.
- [48] 刘永举,唐超,葛蔚,等.复合螺旋藻多糖对小鼠抗辐射损伤的作用机制研究[J].*安徽农业科学*,2014,42(22):7305-7306,7317.
- [49] 王书全,李丽.螺旋藻多糖抗疲劳作用研究[J].*食品工业科技*,2013,34(22):328-330,334.
- [50] 隋璐,刘坤,沈薇,等.螺旋藻多糖对胃溃疡大鼠胃黏膜的修复作用及对EGF和EGFR表达的影响[J].*中国实验方剂学杂志*,2013,19(20):162-165.
- [51] 隋璐,刘坤,沈薇,等.螺旋藻多糖对胃溃疡大鼠胃液分泌和前列腺素E₂的影响[J].*中国医药导报*,2013,10(25):7-9.
- [52] 郁延军,刘亦芳,冯锐.螺旋藻应用于乳饮料关键工艺的研究[J].*中国乳品工业*,1998,26(5):5-8.
- [53] 张丽君,刘冬,李世敏.螺旋藻脱腥工艺研究[J].*食品与发酵工业*,2008,34(6):95-97.
- [54] 丁洁.螺旋藻主要腥味物质与脱腥技术的研究[D].北京:北京林业大学,2010.
- [55] 张艳艳,张红霞,程妮,等.气相色谱-质谱联用分析发酵脱腥前后螺旋藻风味物质[J].*食品科学*,2012,33(22):181-185.
- [56] 魏振承,张雁,池建伟,等.螺旋藻清汁饮料工艺配方优化研究[J].*广东农业科学*,2006(11):94-95.
- [57] 王辰,刘芳.酶法水解螺旋藻蛋白研究[J].*安徽农业科学*,2008,36(31):13485-13487.
- [58] 付桂明,万茵,吕颖峰,等.蓝绿藻营养口服液的研制[J].*食品工业科技*,2008,29(4):165-168.
- [59] 林松毅.螺旋藻酸奶的研制[J].*冷饮与速冻食品工业*,2002,8(2):4-6.
- [60] 魏玉翠,谢定,刘永乐,等.螺旋藻脱腥工艺优化及其强化米粉的研制[J].*食品与机械*,2011,27(1):136-139.
- [61] 王海平,黄和升.螺旋藻破壁发酵脱腥技术研究[J].*江苏农业科学*,2012,40(12):276-277.
- [62] 阳晖,方遂,邹霞,等.螺旋藻脱腥工艺的筛选[J].*食品研究与开发*,2009,30(7):106-110.
- [63] 胡秋辉,王善荣.超临界CO₂萃取螺旋藻成分的研究[J].*南京农业大学学报*,1998,21(4):106-109.
- [64] 鲁玉侠,钟广泉,叶琼兴,等.螺旋藻巧克力果冻的研制[J].*食品工业科技*,2006,27(1):137-139.
- [65] 国家卫生和计划生育委员会.有关新食品原料、普通食品名单汇总[Z].2014-08-06.
- [66] 宋璐非,刘冰,赵勇,等.天然藻蓝蛋白对SD大鼠的长期毒性研究[J].*中国医药导报*,2012,9(33):15-17,21.

[责任编辑 刘德文]