

# 褐藻膳食纤维对机体代谢及其肠道菌群 调节作用的研究进展

黄娟<sup>1</sup>, 黄金莉<sup>1</sup>, 李瑶<sup>1</sup>, 邱霞<sup>2</sup>, 孙占一<sup>2</sup>, 李华军<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 大连医科大学微生物学教研室, 辽宁大连 116044;

<sup>2</sup> 青岛明月海藻集团有限公司海藻活性物质国家重点实验室, 山东青岛 266400)

**摘要:** 褐藻膳食纤维(海藻酸盐, Alg)是存在于海洋食用藻类中的一种酸性多糖,具有多种生物活性作用。研究表明,褐藻膳食纤维可有效地改善肠道菌群的组成结构,通过菌群代谢膳食纤维发酵产物调节宿主机体的代谢水平,从而改善肥胖、糖尿病等代谢相关性疾病。从作为食品添加剂的角度出发,对褐藻膳食纤维作用于人和动物模型体重、血糖、脂代谢以及肠道菌群的效果加以综述,并探讨其潜在机制,为海洋功能性产品的开发和应用提供科学依据。

**关键词:** 褐藻膳食纤维; 机体代谢; 肠道菌群; 代谢性疾病

DOI:10.19870/j.cnki.11-3716/ts.2021.01.011

研究表明,膳食纤维可有效地改善肠道菌群的组成结构,通过菌群代谢膳食纤维发酵产物调节宿主机体的代谢水平<sup>[1-3]</sup>。近年来,褐藻膳食纤维因安全无毒且具有多种生物活性,尤其在控制食欲调节体重、调节血糖和脂质代谢以及调节肠道菌群方面表现出色,进入了广大研究人员的视野。

## 1 褐藻膳食纤维的来源和主要生物活性

褐藻膳食纤维是一种从深色海藻中提取的活性物质,以水不溶性盐的形式存在于褐藻细胞壁中,是一种酸性凝胶多糖<sup>[4]</sup>。近年来,褐藻膳食纤维作为绿色健康的食品,被广泛添加于面包、代餐品等食品行业中,并且因其水溶液和凝胶特性,被广泛应用于3D生物打印材料、缓释材料、纳米粒、医用敷料等领域<sup>[5]</sup>。研究表明,褐藻膳食纤维还具有抗肿瘤、抗氧化、免疫调节、消炎抗菌、调节血脂、调节血糖以及控制体重等生物学功效<sup>[6]</sup>。

## 2 褐藻膳食纤维对机体代谢的调节作用

### 2.1 褐藻膳食纤维对食欲、体重的调节作用

多项研究发现,在日常饮食中添加褐藻膳食纤维具有负能量平衡的效果,可以降低食欲,减少能量摄入,从而达到控制体重的目的<sup>[7-8]</sup>。褐藻膳食纤维是由 $\beta$ -D-甘露糖醛酸和 $\alpha$ -L-古洛糖醛酸构成的聚合物, M与G比例的

不同可影响褐藻膳食纤维的凝胶强度<sup>[9]</sup>。Ohta等<sup>[10]</sup>研究了不同M:G比例的褐藻膳食纤维对SD大鼠摄食量和体重的影响。饲喂2周后,高G组总摄食量和体重增量明显低于其他饲料组;4周后与对照组相比,高G和高M褐藻膳食纤维饮食组大鼠的腹部和背部脂肪组织的总重量均显著降低,高G组体重减轻最为明显。Kuda等<sup>[11]</sup>分别用0.4%、2%、10%低分子量(50 kDa)解聚的褐藻膳食纤维干预雄性SD大鼠,1周后他们发现高剂量(10%)褐藻膳食纤维可显著降低大鼠的体重增量。值得注意的是,随后他们用2%高分子量(780 kDa)和相同浓度低分子量(49 kDa)的褐藻膳食纤维干预大鼠2周,但并未发现高低分子量在降低体重上有显著性差异<sup>[12]</sup>。

在人体干预实验中,给正常成年人服用高粘度(86 cP)褐藻膳食纤维饮料3~4 h后,与低粘度(28.5 cP)相比,受试者的饥饿评分和饥饿曲线下面积(AuC)显著降低,且只需要在250 mL饮料中加入0.25 g褐藻膳食纤维即可达到此效果<sup>[13]</sup>。Peters等<sup>[14]</sup>调查了25名受试者服用褐藻膳食纤维后的饱足感,发现与弱凝胶褐藻膳食纤维相比,服用强凝胶褐藻膳食纤维饮料(6 g/325 mL)后,饱腹感明显增加。Georg Jensen等<sup>[15]</sup>观察20名受试者,分别让其摄入低剂量(9.9 g/330 mL)、高剂量(15.0 g/500 mL)褐藻膳食纤维饮料及等体积安慰剂饮料,结果发现,高剂量的Alg可显著增加饱腹感,减少受试者对食物的摄入。Appleton等<sup>[16]</sup>研究显

作者简介:黄娟(1996—),女,硕士,研究方向:肠道微生态、肠道菌群。

通信作者:李华军(1977—),男,副教授,硕士生导师,研究方向:肠道微生态与代谢性疾病。

示, 30名超重受试者饮用含有0.4%和0.8%褐藻膳食纤维的代餐饮料, 与对照组和0.4%的Alg饮料相比, 0.8%的Alg饮料更能抑制饥饿感, 但并不影响受试者食物摄入量。Georg Jensen等<sup>[17]</sup>随后用3%褐藻膳食纤维(50 000 kDa, 15 g/500 mL)和500 mg CaCO<sub>3</sub>改进之前的饮料配方, 并招募了96名肥胖受试者, 连续12周, 1 d 3次于每顿主餐前分别给予他们褐藻膳食纤维和对照剂补充剂饮料, 同时限制每天的能量摄入(2 300 kcal/d)。12周后发现, 两组间体重和脂肪减少无显著性差异, 但是褐藻膳食纤维组的体重下降要比安慰剂组多, 有显著差异。

## 2.2 褐藻膳食纤维对血糖的调节作用

由于褐藻膳食纤维的高粘度和胶凝性, 可能对餐后血糖和胰岛素的调节有着有益影响<sup>[18]</sup>。Kimura等<sup>[19]</sup>通过口服葡萄糖耐量试验(OGTT)检测天然褐藻膳食纤维(2 700 kDa, AG-270)和平均分子量为10(AG-1)、50(AG-5)和100(AG-10) kDa的褐藻膳食纤维对大鼠(50 mg/只)餐后血糖和胰岛素水平的影响, 结果显示, AG-270和AG-10可抑制给药30 min后血糖和胰岛素水平的升高; AG-5可抑制给药30和60 min后血糖水平的升高, 但不影响胰岛素水平; AG-1对胆固醇排泄和糖耐量无影响。除了褐藻膳食纤维本身的凝胶性质, 饮食中钙的存在对于褐藻膳食纤维调节餐后血糖反应也十分重要。Ohta等<sup>[10]</sup>在实验性糖尿病大鼠饲料中添加2.5%不同M:G比(0.5、1.3、2.1)的褐藻膳食纤维, 结果发现, 无论M:G比例如何, 在饮食中联合使用褐藻膳食纤维和钙都能显著降低餐后血糖反应, 而单独使用褐藻膳食纤维和钙均没有显著效果。Murray等<sup>[20]</sup>用加钙的褐藻膳食纤维配方的液体喂养的成年雌性猎狗11 d, 与其他肠内配方相比, 食用加钙的褐藻膳食纤维对营养物质的消化没有负面影响, 且能有效地降低淀粉消化和葡萄糖吸收速率, 从而在不降低血清胰岛素浓度的情况下维持血糖浓度。

相关人体试验, Paxman等<sup>[21]</sup>报道了在含100 mg CaCO<sub>3</sub>饮料中加入粘性褐藻膳食纤维(1.5 g/100 mL, 320 cP)可使BMI > 25 kg/m<sup>2</sup>的受试者的餐后血糖降低<sup>[21]</sup>。Wolf等<sup>[22]</sup>让30名健康的非糖尿病成年人服用含有强凝胶褐藻膳食纤维、柠檬酸盐和钙的纤维复合物饮料, 3 h内监测血糖和胰岛素变化。与安慰剂组相比, 摄入褐藻膳食纤维复合饮料后, 受试者血糖基线AUC在180 min时减少了75%, 血清胰岛素平均峰值增量的变化更高。另一项对40名健康男性血糖预负荷干预的研究发现, 与对照组相比, 服用离子胶褐藻膳食纤维饮料后会使个体血糖基线AUC的平均变化显著降低

52.5%, 餐后90 min的血糖平均峰值降低14%, 表明离子胶褐藻膳食纤维可减弱进餐后的血糖反应, 降低餐后血糖峰值<sup>[23]</sup>。

## 2.3 褐藻膳食纤维在调节脂质代谢方面的作用

研究表明, 褐藻膳食纤维对胰腺脂肪酶活性的调节具有重要作用, 对改善高血脂、调节脂质代谢有积极的效果<sup>[24-26]</sup>。Wilcox等<sup>[24]</sup>通过酶法测定了在合成底物和天然底物存在下, 褐藻膳食纤维对胰腺脂肪酶的最大抑制率分别为72.2%和58.0%, 高G褐藻膳食纤维对胰脂酶的抑制作用明显高于高M褐藻膳食纤维, 表明抑制作用与其结构有关, 提出高G褐藻膳食纤维是胰腺脂肪酶的有效抑制剂。Nakazono等<sup>[25]</sup>通过体外实验研究发现, 由酶解法得到的褐藻膳食纤维不仅可抑制胰腺脂肪酶的活性, 还能抑制分化的3T3-L1脂肪细胞中的脂质蓄积, 对脂肪细胞有直接作用。Chater等<sup>[26]</sup>通过比浊脂肪酶活性测定法发现三种褐藻[结缔藻(*A. nodosum*)、泡囊藻(*F. vesiculosus*)、小管藻(*P. canaliculata*)]的匀浆物、碳酸钠提取物和乙醇提取物均对脂肪酶有着显著的抑制作用。

Xiong Wang等<sup>[27]</sup>连续4周给C57BL/6J雄性小鼠肥胖模型灌胃褐藻膳食纤维(50 mg/kg)溶液后, 与对照组相比, 模型组小鼠的体重、血糖、血清中甘油三酯和总胆固醇以及脂多糖的含量均显著下降。另一研究也发现, 连续4周给昆明小鼠肥胖模型灌胃酶促降解的褐藻膳食纤维(UAOS, 20~50 kDa, M:G=1.66), 可显著降低模型组小鼠的体重、血脂(包括甘油三酯、总胆固醇和游离脂肪酸)、肝脏重量、血清丙氨酸氨基转移酶和天冬氨酸转氨酶的水平, 以及减少活性氧的生成和蓄积<sup>[28]</sup>。

褐藻膳食纤维在调节人体血脂水平方面, Paxman等<sup>[21]</sup>的实验报告表明, 血液中葡萄糖、甘油三酯和胆固醇的水平会随着体内脂肪的增加而增加, 但给超重和正常体重受试者食用强凝胶褐藻膳食纤维(1.5 g/100 mL)饮料后, 即可消除胆固醇和体脂百分比之间的强相关性, 但对餐后血胆固醇峰值和甘油三酯浓度没有影响。回肠造瘘患者在每天食用含有7.5 g褐藻膳食纤维的低纤维餐2周后, 脂肪排泄增加140%, 回肠脂肪吸收显著减少, 然而胆汁酸排泄减少12%, 重吸收略有增加<sup>[29]</sup>, 但在Georg Jensen等<sup>[17]</sup>的研究中受试者补充以褐藻膳食纤维为基础的饮料12周后, 没有发现褐藻膳食纤维对受试者血浆胆固醇或甘油三酯水平有显著影响<sup>[17]</sup>。

## 3 褐藻膳食纤维对肠道菌群的调节作用

Xiong Wang等<sup>[27]</sup>用褐藻膳食纤维干预小鼠4周后,

检测粪便中短链脂肪酸含量,发现经褐藻膳食纤维干预后,粪便中短链脂肪酸水平显著提高,且乙酸和丁酸水平变化较大,表明褐藻膳食纤维能重塑肠道菌群结构,促进膳食纤维发酵。Moemi等<sup>[30]</sup>通过肠道菌群16S rRNA基因高通量分析了连续2周服用2%低分子量(50 kDa)褐藻膳食纤维的ICR小鼠的盲肠微生物群,发现在门类水平的丰度上拟杆菌属较高。从肠道中分离出的酸性拟杆菌PS-4 (*Bacteroides acidifaciens* PS-4)可使褐藻膳食纤维和海带多糖发酵产生琥珀酸盐,因而将酸性拟杆菌看作是对褐藻膳食纤维敏感的固有菌群。Hoebler等<sup>[31]</sup>用含褐藻膳食纤维的基础日粮连续饲喂公猪5 d后处死,取胃、小肠、盲肠和结肠进行分析,发现日粮中添加的褐藻膳食纤维在胃中以不溶性盐的形式存在,在回肠和结肠中部分溶解,通过结肠中微生物的发酵作用显著增加了该部位短链脂肪酸和短链羧酸的浓度,使消化液pH值下降。

Bai等<sup>[32]</sup>通过转座子诱导,从一株高产藻酸盐的铜绿假单胞菌PAO1突变体中获得了实验所用的细菌源性褐藻膳食纤维。收集正常人新鲜粪便,利用体外发酵系统发酵(海藻组、细菌组、可溶性淀粉组),在24、48、72 h时采集样品,分析褐藻膳食纤维对细菌群落构成及短链脂肪酸产生的影响;同时,用10倍稀释法将72 h的发酵样品涂抹在琼脂平板(+5 g/L海藻酸)上,用薄层色谱分析粪便微生物对褐藻膳食纤维的降解情况。结果发现,细菌源性褐藻膳食纤维能被所有粪便标本中的微生物群降解,能显著提高肠道中类杆菌、克雷伯氏菌和普氏杆菌的构成比;此外,72 h发酵后海藻组和细菌组中的乙酸、丙酸、丁酸及总SCFA的产量无差异,但浓度均高于可溶性淀粉组。Miaomiao Li等<sup>[33]</sup>的研究从人粪便样品中分离出了具有显著降解褐藻膳食纤维能力的细菌,经鉴定为卵形拟杆菌、木聚糖拟杆菌和太古拟杆菌。同时也发现,服用褐藻膳食纤维可以提高短链脂肪酸的生产水平<sup>[33]</sup>。

相关人体试验, Terada等<sup>[34]</sup>让8名健康男性志愿者每天1次连续2周食用含10 g褐藻膳食纤维的饮食,发现志愿者粪便中双歧杆菌数量显著增加,肠杆菌科细菌数量和卵磷脂酶阴性梭状芽孢杆菌的出现频率呈下降趋势,其他微生物的水平没有发生显著变化。2周后,粪便中氨和粪臭素的浓度显著降低,粪便气味明显改善,而乙酸和丙酸的浓度显著升高。另有对11名营养不良和口服摄入不足需要肠内喂养的老年患者的研究表明,持续4周给予患者含褐藻膳食纤维(1.1 g/100 mL)配方的液体,4周后收集并检测粪便标本,显示粪便pH值明显降低,粪便中短链脂肪酸的浓度没有明显变化,但血液样品中的乙酸和丙酸含量则显著增加。此外,粪

便微生物群中的梭状芽孢杆菌的比例也显著增加,间接反映了饮食结构的变化<sup>[35]</sup>。

#### 4 褐藻膳食纤维调节机体代谢和肠道菌群的作用机制

通常认为,褐藻膳食纤维在改善肥胖和调节餐后血糖作用与其凝胶性质有关。Kimura等<sup>[19]</sup>用褐藻膳食纤维直接灌流大鼠空肠,发现并不影响葡萄糖的吸收,因此认为褐藻膳食纤维对胆固醇排泄和葡萄糖耐量的影响可能是由于褐藻膳食纤维在胃中的凝胶化作用抑制了胆固醇和葡萄糖在小肠中的吸收。Liping Guo等<sup>[36]</sup>用含褐藻膳食纤维的营养液(0.2% Ca<sup>2+</sup>, 0.7% Alg)每周3次灌胃雄性SD大鼠3周,最后一次灌胃4 h后,在大鼠胃中观察到清晰的凝胶团,提示这可能影响胃的扩张并延长胃排空时间,从而导致食物摄入量减少。Kristensen等<sup>[18]</sup>提出了胃排空的延迟、消化物的粘度增加以及褐藻膳食纤维凝胶形成后小肠中营养物质的吸收的减慢可能是影响食欲从而改善治疗肥胖和糖尿病的潜在机制<sup>[18]</sup>。除了胃排空延迟外,褐藻膳食纤维还可增加消化液的粘度而干扰小肠对营养物质的吸收,进而影响机体糖脂代谢<sup>[37]</sup>。另外,褐藻膳食纤维本身的浓度和粘度以及钙的存在对降低餐后血糖也有影响<sup>[10, 19-21, 23]</sup>。

人体肠道中产生短链脂肪酸的主要细菌有类杆菌、双歧杆菌、链球菌、真芽孢杆菌、梭状芽孢杆菌和乳杆菌,它们可以代谢发酵膳食纤维产生各种单链脂肪酸(甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、乳酸和琥珀酸)<sup>[38]</sup>。Terada等<sup>[34]</sup>发现,褐藻膳食纤维可促进双歧杆菌的生长,同时增加结肠中短链脂肪酸含量。短链脂肪酸和短链羧酸参与厌食性肠肽的释放过程,丁酸和丙酸直接与饱腹感胃肠激素的表达有关,如胰高血糖素样肽-1、肽YY、胆囊收缩素等<sup>[39]</sup>。胰高血糖素样肽-1和肽YY可以显著延长胃肠道转运时间,短链脂肪酸反过来又可以通过影响激素调节进而改变肠道微生物的组成结构,与肠道菌群相互作用相互影响<sup>[40]</sup>。因此短链脂肪酸是连接褐藻膳食纤维和机体代谢以及肠道菌群的桥梁,褐藻膳食纤维对食欲的影响、对血糖和脂质代谢以及对肠道菌群的调节,都直接或间接依托短链脂肪酸发挥着重要作用。

#### 5 结论与展望

褐藻膳食纤维作为不被人体直接消化吸收的膳食纤维,能在胃中形成凝胶、延长胃排空时间,进而降低食欲,减少对能量的摄取,有助于肥胖患者体重的减轻。此外,褐藻膳食纤维可增加消化液的粘度,调整小肠对营养物质的吸收,调节餐后血糖和胰岛素的水平,有助

于糖尿病患者稳定血糖。在脂质代谢以及调节肠道菌群方面,褐藻膳食纤维可以促进胆汁酸的分泌,通过微生物发酵作用增加肠道中短链脂肪酸的含量并调节肠道菌群的丰度和构成比,进而发挥一系列的生物活性作用。因此褐藻膳食纤维在代谢调节相关领域具有良好的应用前景。但褐藻膳食纤维改善机体代谢、调节肠道菌群二者之间的相关性还需要通过粪菌移植等实验研究方法进一步证明,探讨褐藻膳食纤维对机体代谢与肠道菌群的相关性将是褐藻膳食纤维功能开发的重要方向。◇

### 参考文献

- [1] World Health Organization. Obesity and over-weight WHO <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/> (2018).
- [2] Gilbert J A, Blaser M J, Caporaso J G, et al. Current understanding of the human microbiome [J]. *Nature Medicine*, 2018, 24(4):392-400.
- [3] Liping Zhao, Feng Zhang, Xiaoying Ding, et al. Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes [J]. *Science*, 2018, 359(6380):1151-1156.
- [4] Draget K I, Bræk G S, Smidsrød O. Alginate gels: the effect of alginate chemical composition and molecular weight [J]. *Carbohydrate Polymers*, 1994, 25(1):31-38.
- [5] 叶思, 平其能, 孙敏捷. 海藻酸钠在生物医药领域的应用与研究进展 [J]. *药学与临床研究*, 2018, 26(2):120-124,129.
- [6] Maochen Xing, Qi Cao, Yu Wang, et al. Advances in research on the bioactivity of alginate oligosaccharides [J]. *Marine Drugs*, 2020, 18(3):144.
- [7] Gerald I, Shulman. Ectopic fat in insulin resistance, dyslipidemia, and cardiometabolic disease [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2014, 371(23):2237-2238.
- [8] Stinkens R, Goossens G H, Jocken J W E, et al. Targeting fatty acid metabolism to improve glucose metabolism [J]. *Obesity Reviews*, 2015, 16(9):715-757.
- [9] Brownlee I A, Allen A, Pearson J P, et al. Alginate as a source of dietary fiber [J]. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 2005, 45(6):497-510.
- [10] Ohta A, Taguchi A, Takizawa T, et al. The alginate reduce the postprandial glycaemic response by forming a gel with dietary calcium in the stomach of the rat [J]. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 1997, 67(1):55.
- [11] Kuda T, Goto H, Yokoyama M, et al. Effects of dietary concentration of laminaran and depolymerised alginate on rat cecal microflora and plasma Lipids [J]. *Fisheries Science*, 1998, 64(4):589-593.
- [12] Kuda T, Yano T, Matsuda N, et al. Inhibitory effects of laminaran and low molecular alginate against the putrefactive compounds produced by intestinal microflora in vitro and in rats [J]. *Food Chemistry*, 2005, 91(4):745-749.
- [13] Vicky A, Solah, Deborah A, Kerr, Cynthia D, Adikara, et al. Differences in satiety effects of alginate- and whey protein-based foods [J]. *Appetite*, 2010, 54(3):485-491.
- [14] Peters HPF, Haddeman E, Mela D J, et al. The effect of viscosifying and gelling fibres on satiety, fullness and gastric emptying of drinks [J]. *Obesity Reviews*, 2006(7):311.
- [15] Georg Jensen M, Kristensen M, Belza A, et al. Acute effect of alginate-based preload on satiety feelings, energy intake, and gastric emptying rate in healthy subjects [J]. *Obesity*, 2012, 20(9):1851-1858.
- [16] Appleton KM, Hill J, Haddeman E, et al. Addition of alginate fibre to liquid meal replacement: effect on appetite and food intake [J]. *Proc Nutr Soc*, 2004, 63:118.
- [17] Georg Jensen M, Kristensen M, Astrup Arne. Effect of alginate supplementation on weight loss in obese subjects completing a 12-wk energy-restricted diet: a randomized controlled trial [J]. *Am J Clin Nutr*, 2012, 96(1):5-13.
- [18] Kristensen M, Jensen M G. Dietary fibres in the regulation of appetite and food intake. Importance of viscosity [J]. *Appetite*, 2011, 56(1):1-70.
- [19] Kimura Y, et al. Effects of soluble sodium alginate on cholesterol excretion and glucose tolerance in rats [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 1996, 54(1):47-54.
- [20] Murray SM, Patil AR, Fahey Jr GC, et al. Apparent digestibility and glycaemic responses to an experimental induced viscosity dietary fibre incorporated into an enteral formula fed to dogs cannulated in the ileum [J]. *Food & Chemical Toxicology*, 1999, 37(1):1-56.
- [21] Paxman JR, et al. Alginate reduces the increased uptake of cholesterol and glucose in over-weight male subjects: a pilot study [J]. *Nutr Res*, 2008(28):501-505.
- [22] Wolf BW, Lai CS, Kipnes MS, et al. Glycemic and insulinemic responses of nondiabetic healthy adult subjects to an experimental acid-induced viscosity complex incorporated into a glucose beverage [J]. *Nutrition*, 2002(18):621.
- [23] Harden CJ, Richardson J, Dettmar PW, et al. An ionic-gelling alginate drink attenuates postprandial glycaemia in males [J]. *Funct Foods*, 2012(4):122-128.
- [24] Wilcox M D, Brownlee I A, Richardson J C, et al. The modulation of pancreatic lipase activity by alginates [J]. *Food Chemistry*, 2014, 146(mar. 1):479-484.
- [25] Nakazono S, Cho K, Isaka S, et al. Anti-obesity effects of enzymatically-digested alginate oligomer in mice model fed a

- high-fat-diet [J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 2016, 7(2): 1-8.
- [26] Chater PI, Wilcox M, Cherry P, et al. Inhibitory activity of extracts of Hebridean brown seaweeds on lipase activity [J]. *Appl Phycol*, 2016(28): 1303-1313.
- [27] Wang X, Liu F, Gao, et al. Transcriptome analysis revealed anti-obesity effects of the Sodium Alginate in high-fat diet-induced obese mice [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018(115): 861-870.
- [28] Shangyong Li, Ningning He, Linna Wang. Efficiently anti-obesity effects of unsaturated alginate oligosaccharides (UAOS) in high-fat diet (HFD)-fed mice [J]. *Marine Drugs*, 2019, 17(9): 540.
- [29] Sandberg A S, Andersson H, Bosaeus I, et al. Alginate, small bowel sterol excretion, and absorption of nutrients in ileostomy subjects [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1994, 60(5): 751-756.
- [30] Moemi Naito Takei, Takashi Kuda, Miyu Taniguchi, et al. Detection and isolation of low molecular weight alginate- and laminaran-susceptible gut indigenous bacteria from ICR mice [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020(238): 116-205.
- [31] Hoebler C, et al. Supplementation of pig diet with algal fibre changes the chemical and physicochemical characteristics of digesta [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2000, 80(9): 1357-1364.
- [32] Bai S, et al. Comparative study on the in vitro effects of *Pseudomonas aeruginosa* and seaweed alginates on human gut microbiota [J]. *PloS One*, 2017, 12(2): e0171576.
- [33] Miaomiao Li, et al. In vitro fermentation of alginate and its derivatives by human gut microbiota [J]. *Anaerobe*, 2016(39): 19-25.
- [34] Terada A, Hara H, Mitsuoka T. Effect of dietary alginate on the faecal microbiota and faecal metabolic activity in humans [J]. *Microbial Ecology in Health & Disease*, 1995, 8(6): 259-266.
- [35] Mizuno H, et al. Effects of an alginate-containing variable-viscosity enteral nutrition formula on defecation, intestinal microbiota, and short-chain fatty acid production [J]. *Journal of Functional Foods*, 2020(67): 103852.
- [36] Liping Guo, H. Douglas Goff, Feifei Xu, et al. The effect of sodium alginate on nutrient digestion and metabolic responses during both in vitro and in vivo digestion process [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 107: 105304.
- [37] Ann Högberg, Jan Lindberg, Thomas Leser, et al. Influence of cereal non-starch polysaccharides on ileo-caecal and rectal microbial populations in growing pigs [J]. *Acta vet. Scand*, 2004, 45: 87-98.
- [38] Pryde S E, Duncan S H, Hold G L, et al. The microbiology of butyrate formation in the human colon [J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2002, 217(2): 133-139.
- [39] Lin H V, Frassetto, A, Kowalik Jr, Edward J. et al. Butyrate and propionate protect against diet-induced obesity and regulate gut hormones via free fatty acid receptor 3-independent mechanisms [J]. *PloS One*, 2012, 7(4): e35240.
- [40] Velagapudi V R, et al. The gut microbiota modulates host energy and lipid metabolism in mice [J]. *Journal of Lipid Research*, 2010, 51(5): 1101-1112.

## Research Advancement on the Effect of Alginate Improving Body Metabolism and Altering Gut Microbiota

HUANG Juan<sup>1</sup>, HUANG Jin-li<sup>1</sup>, LI Yao<sup>1</sup>, QIU Xia<sup>2</sup>, SUN Zhan-yi<sup>2</sup>, LI Hua-jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Microecology, School of Basic Medicine, Dalian Medical University, Dalian 116044, China;

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Bioactive Seaweed Substances, Qingdao Brightmoon Seaweed Group Co., Ltd., Qingdao 266400, China)

**Abstract:** Alginate is a kind of acidic polysaccharide that exists in marine algae, which has a variety of biological activities. More and more studies have shown that alginate can be degraded and fermented by human gut microbiota and effectively adjust the gut microbiota ecology. In addition, alginate can regulate the metabolic level of host, thereby improving obesity, diabetes and other metabolic related diseases. As far as alginate was used as a food additive, it had obvious effects on body weight, blood glucose, lipid metabolism and intestinal microbes in human and animal models. Summarizing this effects and discussing the mechanism of action was meaningful to provide a new scientific direction for the development and application of marine functional products.

**Keywords:** alginate; body metabolism; gut microbiota; metabolic diseases