

# 海藻酸盐的健康功效

秦益民<sup>1,2,3</sup>, 朱长俊<sup>3</sup>, 邱霞<sup>1,4</sup>, 刘书英<sup>1,2</sup>, 耿志刚<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>青岛明月海藻集团有限公司, 山东 青岛

<sup>2</sup>农业农村部海藻类肥料重点实验室, 山东 青岛

<sup>3</sup>嘉兴学院生物与化学工程学院, 浙江 嘉兴

<sup>4</sup>青岛明月海藻生物健康科技集团有限公司, 山东 青岛

<sup>5</sup>青岛明月蓝海生物科技有限公司, 山东 青岛

收稿日期: 2023年2月28日; 录用日期: 2023年3月16日; 发布日期: 2023年3月29日

## 摘要

海藻酸是从海洋褐藻中提取的一种天然高分子, 其分子结构中的羧酸与钾、钠、钙等金属离子形成的海藻酸盐及其大量衍生制品在食品、医疗卫生、生物技术、纺织工业、美容护肤品、废水处理、生物刺激剂等领域有广泛应用, 在新时代健康产业有重要的应用价值。本文总结了各种海藻酸盐生物制品在改善胃肠道、抑制胃食管反流、吸附重金属离子、膨化大便、缓解便秘、减肥、降血糖、降血脂、止血、抑菌、促进伤口愈合、美容护肤等各种应用中的健康功效。

## 关键词

海藻, 海藻酸盐, 生物活性, 海藻生物制品, 健康功效

# Health Benefits of Alginate

Yimin Qin<sup>1,2,3</sup>, Changjun Zhu<sup>3</sup>, Xia Qiu<sup>1,4</sup>, Shuying Liu<sup>1,2</sup>, Zhigang Geng<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>Qingdao Bright Moon Seaweed Group Ltd., Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Key Laboratory of Seaweed Fertilizers, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao Shandong

<sup>3</sup>College of Biological and Chemical Engineering, Jiaxing College, Jiaxing Zhejiang

<sup>4</sup>Qingdao Bright Moon Seaweed Bio-Health Technology Group Co Ltd, Qingdao Shandong

<sup>5</sup>Qingdao Bright Moon Blue Ocean BioTech Ltd., Qingdao Shandong

Received: Feb. 28<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 16<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Alginate is a natural polymer extracted from marine brown seaweeds. When the carboxylic acid groups in its structure are combined with potassium, sodium, calcium and other metal ions, its

salts and many other derivatives are widely used in many industries such as food, health, biotechnology, textile, cosmetics, wastewater treatment, biostimulant and many others, which are highly valuable in health industries of the new era. This paper summarized the health benefits of various alginate derived bio-products in improving gastrointestinal tract, inhibiting gastroesophageal reflux, absorbing heavy metal ions, bulking stool, relieving constipation, reducing weight, lowering blood sugar and blood lipid, hemostasis, bacteriostasis, promoting wound healing, skin care and other applications.

## Keywords

Seaweed, Alginate, Bioactivity, Algal Bio-Products, Health Benefit

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

海藻酸盐及其各种衍生物在食品、医药、保健、生物医用材料、临床护理等健康产品领域有广泛应用，具有优良的健康功效[1] [2]。例如以海藻酸盐为主要原料制备的防逆流剂被用于治疗胃食管反流病，在与胃中的酸性介质接触后形成凝胶筏而抑制反流[3]。海藻酸盐在载药系统中被用于药物的可控持续释放，其中海藻酸盐复合物在与胃酸接触后水化，在药物表面膨胀后形成一层粘稠的胶状物，在限制药物释放的同时限制水分进入以保持其不受分解。在伤口护理领域，海藻酸盐医用敷料是慢性创面护理中的一种常用产品，具有原位形成亲水性凝胶的独特性能，可为创面愈合提供湿润的环境。在牙科印模的制备中，利用海藻酸钠与硫酸钙等微溶性钙盐之间的反应可以制备齿科海藻酸盐印模材料，在室温下可以很快成型且有很好的性价比。作为一种组织工程材料，海藻酸盐在固定细胞后应用于人体器官移植，可治疗低血钙、帕金森病、肝功能衰竭、糖尿病等疾患[4]。在功能食品领域，海藻酸盐不被人体消化，是一种性能优良的膳食纤维，可抑制肠道中营养成分的吸收、增加饱感，有益于糖尿病和偏食患者的治疗[5]。

本文总结了海藻酸盐及其各种衍生制品对人体的健康功效。

## 2. 海藻酸盐的健康功效

### 2.1. 改善胃肠道

在人体的消化系统中，肠道微生物通过在肠黏膜局部以及人体全身与宿主的互动产生免疫和代谢作用，对维护人体健康和预防疾病起到重要的作用[6]。食物中的营养成分在直接影响人体的同时，也可以通过肠道微生物的作用影响人体健康[7]。海藻酸盐是一种从海洋褐藻中提取的膳食纤维，其不被人体消化吸收，可以对肠道健康产生积极影响[8]，尤其是低分子量的海藻酸盐寡糖有促进益生菌的活性[9]。以海藻酸盐为原料制备的微胶囊可以通过提供物理保护作用增加益生菌在消化系统中的成活率[10] [11]。

### 2.2. 抑制胃食管反流

海藻酸钠等海藻酸与一价金属离子结合后形成的水溶性海藻酸盐在与胃酸接触后转换成不溶于水的海藻酸，在胃的上部沉淀析出后形成凝胶筏，这层凝胶筏可以在胃中滞留约 3 小时，在此期间形成的物理障碍可以阻止胃液反流到食管。当凝胶通过消化系统进入肠道后，海藻酸在肠道内被转换成海藻酸钠，

其在溶解后成为亲水性很强的膳食纤维。

### 2.3. 吸附重金属离子

海藻酸对金属离子的结合力按以下顺序递减[12]:  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Co^{2+} = Ni^{2+} = Zn^{2+} > Mn^{2+}$ , 其对各种重金属离子有很强的结合力, 可以防治放射性碘的吸收和沉积, 还可以排除  $Pb^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 、 $Ba^{2+}$  等重金属离子, 利用海藻酸与铅离子很强的结合力可以开发具有排铅功能的特医食品。管华诗等[13]的研究结果显示, 触铅作业工人每天服用一定量的海藻酸钠制剂后, 其粪便中铅的含量明显上升, 说明海藻酸钠可以延缓或阻止铅从消化系统进入人体, 具有良好的排铅功效。

钍(Th)是一种自然存在的放射性元素, 在民用尤其是核工业有应用。在含钍的矿山加工过程中, 其可以通过吸入、摄入和皮肤渗透等渠道进入人体, 对健康造成危害。Rezk [14]把成年雄性白化鼠分成5组, 其中的4个测试组在用钍处理后再用海藻酸钠治疗。按照每公斤体重13.6 mg腹腔注射硝酸钍后钍在小脑、大脑皮层、脑干等部位积聚并引起  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  离子以及丙二醛浓度的显著上升。每天口服5%的海藻酸盐可以显著降低钍在大脑不同部位的积聚、减轻其危害, 其中  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  离子以及丙二醛浓度随着海藻酸盐的应用而下降, 由此改善硝酸钍带来的危害。

### 2.4. 膨化大便、缓解便秘

与木聚糖、卡拉胶、纤维素等膳食纤维相比, 海藻酸盐具有一系列独特的性能, 其很强的亲水性和良好的凝胶性能使其在胃肠道中能通过膨化作用使有害物质得到稀释, 同时通过亲水作用缓解便秘[15][16]。研究显示, 每天服用175 mg/kg的海藻酸钠后粪便的湿重和干重都有明显增加。图1显示海藻酸钠进入消化系统后的作用机理。

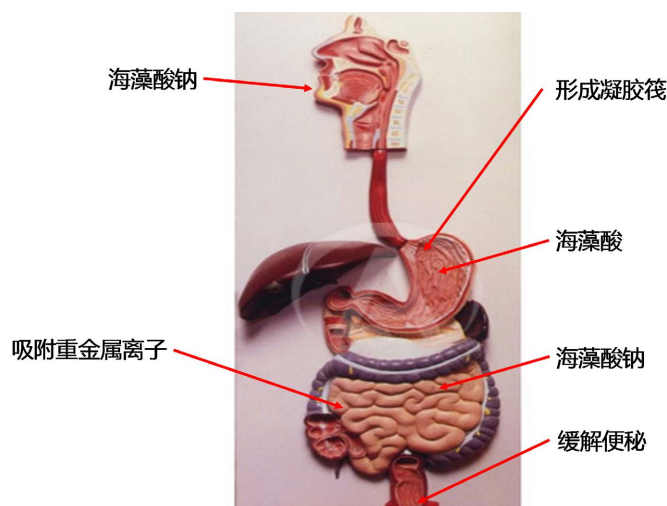


Figure 1. Mechanism of action for sodium alginate after its entry into the digestion system

图1. 海藻酸钠进入消化系统后的作用机理

### 2.5. 减肥活性

Dettmar 等[17]的研究显示海藻酸盐可以调节食欲和能量的吸收。这个作用主要是由于在胃酸的作用下海藻酸盐形成凝胶, 从而延缓胃的清空, 通过刺激胃牵张感受器降低肠道对营养成分的吸收, 从而降低血糖水平。Wolf 等[18]测试了分别喝海藻酸钠和阿拉伯胶饮料后的正餐后血糖指数。结果显示含海藻

酸钠的饮料弱化了正餐后血糖指数。Hoad 等[19]研究了海藻酸钠对进食习惯的影响，他们测试了喝含 1% w/v 海藻酸钠的牛奶后的饥饿及饱感。总的来说，喝了含海藻酸钠的牛奶后饱感有所增加，饥饿感有所下降，而这种影响在 G 含量高的海藻酸中更大。采用磁共振成像术后显示海藻酸在胃中形成凝胶，而凝胶的容量与海藻酸的 G 含量有关。研究显示，海藻酸的成胶性能对其控制食欲的功能起重要作用[20]。

Chater 等[21]研究了三种褐藻提取物对脂肪酶的活性，用浊度计脂肪酶活性测定法分别测试了褐藻的酒精提取物、碳酸钠提取物以及褐藻匀浆的活性。结果显示三种提取物对脂肪酶均有很强的抑制作用，说明海藻中的岩藻多糖、海藻酸盐、褐藻多酚等生物活性物质可以通过抑制脂肪酶的活性降低食物中能量的消化吸收，产生减肥功效。

海藻酸盐的减肥功效在应对肥胖症的过程中具有重要的应用价值[22]，在全球各地，肥胖使高血压、血脂异常、2 型糖尿病等疾患的风险增加，也与冠心病和骨关节炎的发病相关。通过提高饱感等机理，海藻酸盐等膳食纤维可以降低进食量，起到减肥功效[23] [24] [25]。在一项涉及肥胖患者的试验中，Georg Jensen 等[26]在受试者的饮料中加入海藻酸盐后通过提供饱感达到降低能量摄入的目的，在试验 12 周后能观察到体重明显下降。

## 2.6. 降血糖

在食物中加入海藻酸盐可以产生降血糖功效[27]。研究显示，在糖尿病患者的食物中添加 5 克海藻酸盐后，其血浆胰岛素的上升和血液中葡萄糖峰值分别降低 42%和 31%。与此相似，在饮料中加入海藻酸钠对胰岛素升高和餐后血浆葡萄糖上升也产生同样的效果。食物中含有海藻酸盐时，葡萄糖的吸收速度呈现下降趋势[15]。

## 2.7. 降血脂

人体的脂代谢异常造成高脂血症，表现在血液中总甘油三酯、总胆固醇水平和低密度脂蛋白胆固醇的升高，而高密度脂蛋白胆固醇含量下降。研究显示海藻酸盐在小肠腔中的存在可以降低血浆胆固醇、减少脂肪的吸收，其作用机理可能与胆固醇和粪便胆汁排泄量的增加相关。在一项研究中发现[28]，每克燕麦产品、果胶、车前子和瓜尔胶可以分别使血浆总胆固醇含量降低 37、70、28 和 26  $\text{mM}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在另一项试验中，6 个回肠造口术患者的饮食中每天加入 7.5 克海藻酸盐后，脂肪酸排泄增加了一倍。在脂肪含量和总胆固醇较高的食物中加入海藻酸钠可以起到与紫菜胶、硫酸酯多糖等海藻多糖相似的降低总胆固醇的功效[29]。

管华诗等[13]在饲料中不掺杂胆固醇和植物油，以同法饲养大白鼠后测试粪便中脂肪和胆固醇的含量，研究结果显示随着饲料中海藻酸钠含量的提高，排出的脂肪、胆固醇明显升高。用 100%麦麸和 93%麦麸 + 7%海藻酸钠喂养大白鼠 2 个月后，血浆中胆固醇含量分别为 180 和 115  $\text{mg}/100\text{g}$ ，海藻酸钠对血浆中胆固醇含量有明显影响。表 1 显示海藻酸钠阻吸脂肪、胆固醇的功效。

**Table 1.** Efficacy of the inhibition of the absorption of fat and cholesterol by sodium alginate

**表 1.** 海藻酸钠阻吸脂肪、胆固醇的功效

饲料中海藻酸钠含量 (%)	粪便中脂肪的含量 (g/100g)	粪便中胆固醇的含量 (mg/100g)
0	2.67	532.00
1	3.20	693.00

Continued

2	5.43	937.00
3	5.03	732.00
5	5.67	1109.32
7	10.23	1635.73
10	10.94	2146.45
15	10.85	2100.17

表 2 显示含有海藻酸钠的降糖乐产品在对 59 例患有糖尿病同时又有高血脂症的患者治疗中, 均可观察到血脂的明显变化[13]。

**Table 2.** Effect of sodium alginate on human blood lipid  
**表 2.** 海藻酸钠对人体血脂的影响

分类	指标	服用前(mg%)	服用后(mg%)	降低率(%)
高血脂者	胆固醇	282.5	233.1	17.49
	甘油三酯	255.9	162.3	38.58
	$\beta$ -脂蛋白	661.8	532.8	19.49
正常血脂者	胆固醇	195.5	185.2	5.26
	甘油三酯	125.0	122.7	1.84
	$\beta$ -脂蛋白	398.0	345.7	12.70

## 2.8. 海藻酸盐的止血性能

大量临床试验证实了海藻酸盐纤维和医用敷料优良的止血性能。Groves 等[30]把海藻酸盐敷料应用于供皮区创面, 在应用后的 5 min 内就观察到良好的止血效果。在一项临床试验中发现[31], 使用海藻酸盐敷料后的血液流失为(96.6 ± 11.7) mL, 而使用普通纱布手术后的血液流失为(158.4 ± 17.3) mL。Segal 等[32]的研究显示从敷料中释放出的钙离子对血小板的激化作用及其产生的凝血效应是海藻酸盐纤维具有止血性能的主要原因。

## 2.9. 海藻酸盐的抑菌功效

海藻酸盐纤维独特的理化性能赋予其良好的抑菌功效。当敷贴在创面上后, 通过纤维的吸湿溶胀, 海藻酸盐敷料中纤维与纤维之间的毛细空间受到挤压, 通过伤口渗出液进入敷料的细菌被固定在纤维与纤维之间, 其繁殖能力得到抑制, 因此降低临床感染的风险。Bowler 等[33]在把含有细菌的溶液与海藻酸盐敷料接触后发现纤维的凝胶膨胀可以抑制细菌增长。

## 2.10. 海藻酸盐的促愈性能

海藻酸盐医用敷料可以通过敷料中的海藻酸钙纤维与创面渗出液中钠离子之间离子交换后形成的纤维状水凝胶在创面上原位形成一个湿润的愈合环境, 通过促进上皮细胞迁移加快伤口愈合[34]。这种凝胶

特性有利于生长因子等细胞因子在创面修复中发挥促愈功效,有效改善创面愈合[35] [36]。Sayag 等[37]用棉纱布和海藻酸盐敷料分别护理 92 个压疮患者,结果显示在棉纱布组中,只有 42%的伤口面积缩小 40%,而在敷贴海藻酸盐敷料的病人中,伤口面积缩小 40%的占 74%,海藻酸盐医用敷料具有促进伤口愈合的药理功效[38]。

### 2.11. 海藻酸盐的美容护肤功效

海藻酸盐可以通过对铜离子的吸附性能产生独特的美白功效[34]。图 2 显示皮肤中黑色素的形成过程,其中酪氨酸酶起关键的催化作用。酪氨酸酶是一种含铜酶,其中的铜离子在与海藻酸盐接触后被海藻酸盐吸附,导致酪氨酸酶的催化活性得到抑制,因此降低了黑色素的形成,产生美白功效。图 3 显示海藻酸钠对实验体系中和黑素细胞内酪氨酸酶活性的抑制效果[39] [40]。

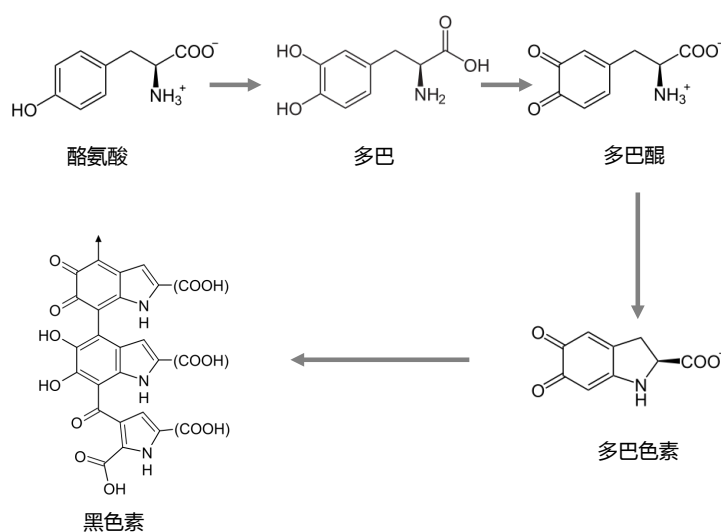


Figure 2. The formation of melanin catalyzed by tyrosinase  
图 2. 酪氨酸酶催化下黑色素的形成过程

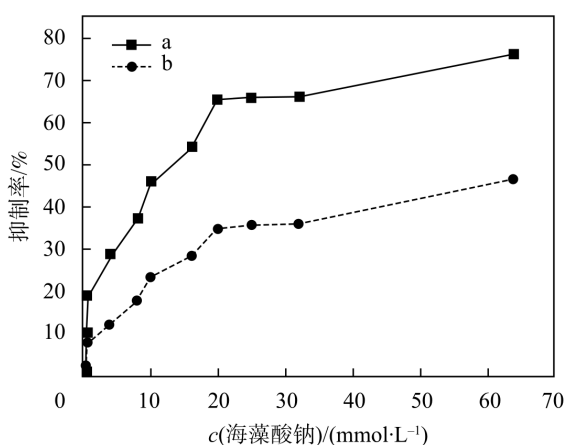


Figure 3. Inhibitory effect of sodium alginate on tyrosinase activity in experimental system (a) and in melanocyte (b)

图 3. 海藻酸钠对实验体系中(a)和黑素细胞内(b)酪氨酸酶活性的抑制效果



### 3. 结论

作为一种源自海洋的生物材料,海藻酸盐在具有良好理化性能的同时具有亲水性强、生物相容性好以及一系列独特的生物活性,通过功能性食品、药物、保健品、医用敷料、美容护肤品等产品的应用为人体提供改善胃肠道、减肥、降血糖、降血脂、止血、抑菌、促愈、美白等健康功效。

### 基金项目

山东省泰山学者蓝色产业计划项目(20130009)。

### 参考文献

- [1] Onsoyen, E. (1996) Commercial Applications of Alginates. *Carbohydrates in Europe*, **14**, 26-31.
- [2] 谢平. 海藻酸及其盐的食用和药用价值[J]. 开封医专学报, 1997, 16(4): 28-31.
- [3] Hampson, F.C., Fardale, A., Strugala, V., Sykes, J., Jolliffe, I.G. and Dettmar, P.W. (2005) Alginate Rafts and Their Characterization. *International Journal of Pharmaceutics*, **294**, 137-147. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2005.01.036>
- [4] Skjak-Braek, G. and Espevik, T. (1996) Application of Alginate Gels in Biotechnology and Biomedicine. *Carbohydrates in Europe*, **14**, 19-25.
- [5] Brownlee, I.A., Allen, A., Pearson, J.P., Dettmar, P., WHavler, M., EAterton, M.R. and Onsoyen, E. (2005) Alginate as a Source of Dietary Fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **45**, 497-510. <https://doi.org/10.1080/10408390500285673>
- [6] Tuohy, K.M., Probert, H.M., Smejkal, C.W. and Gibson, G.R. (2003) Using Probiotics and Prebiotics to Improve Gut Health. *Drug Discovery Today*, **8**, 692-700. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(03\)02746-6](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(03)02746-6)
- [7] Rastall, R.A., Gibson, G.R. and Gill, H.S. (2005) Modulation of the Microbial Ecology of the Human Colon by Probiotics, Prebiotics and Synbiotics to Enhance Human Health: An Overview of Enabling Science and Potential Applications. *FEMS Microbiology Ecology*, **52**, 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2005.01.003>
- [8] 秦益民. 海藻源膳食纤维[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2021: 30-46.
- [9] Ramnani, P., Chitarrari, R., Tuohy, K., Grant, J., Hotchkiss, S., Philp, K., Campbell, R., Gill, C. and Rowland, I. (2012) *In Vitro* Fermentation and Prebiotic Potential of Novel Low Molecular Weight Polysaccharides Derived from Agar and Alginate Seaweeds. *Anaerobe*, **18**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2011.08.003>
- [10] O'Sullivan, L., Murphy, B., McLoughlin, P., Duggan, P. and Lawlor, P.G. (2010) Prebiotics from Marine Macroalgae for Human and Animal Health Applications. *Marine Drugs*, **8**, 2038-2064. <https://doi.org/10.3390/md8072038>
- [11] Chavarri, M., Maranon, I. and Ares, R. (2010) Microencapsulation of a Probiotic and Prebiotic in Alginate-Chitosan Capsules Improves Survival in Simulated Gastrointestinal Conditions. *International Journal of Food Microbiology*, **142**, 185-189. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.022>
- [12] Smidsrod, O. and Haug, A. (1972) Dependence upon the Gel-Sol State of the Ion-Exchange Properties of Alginates. *Acta Chemica Scandinavica*, **26**, 2063-2074. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.26-2063>
- [13] 管华诗, 兰进, 田学琳. 褐藻酸钠在人体健康中的作用[J]. 山东海洋学院学报, 1986, 16(4): 1-6.
- [14] Rezk, M.M. (2018) A Neuro-Comparative Study between Single/Successive Thorium Dose Intoxication and Alginate Treatment. *Biological Trace Element Research*, **185**, 414-423. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1262-9>
- [15] Zhang, C., Li, X. and Kim, S.K. (2012) Application of Marine Biomaterials for Nutraceuticals and Functional Foods. *Food Science and Biotechnology*, **21**, 625-631. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0081-6>
- [16] Qin, Y. (2018) Bioactive Seaweeds for Food Applications. Academic Press, San Diego, 180-195.
- [17] Dettmar, P.W., Strugala, V. and Richardson, J.C. (2011) The Key Role Alginates Play in Health. *Food Hydrocolloids*, **25**, 263-266. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.09.009>
- [18] Wolf, B.W., Lai, C.S., Kipnes, M.S., Ataya, D.G., Wheeler, K.B., Zinker, B.A., Garleb, K.A. and Firkins, J.L. (2002) Glycemic and Insulinemic Responses of Nondiabetic Healthy Adult Subjects to An Experimental Acid-Induced Viscosity Complex Incorporated into a Glucose Beverage. *Nutrition*, **18**, 621-626. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(02\)00750-5](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(02)00750-5)
- [19] Hoad, C.L., Rayment, P. and Spiller, R.C. (2004) *In Vivo* Imaging of Intragastric Gelation and Its Effect on Satiety in Humans. *Journal of Nutrition*, **134**, 2293-2300. <https://doi.org/10.1093/jn/134.9.2293>
- [20] Ohta, A., Taguchi, A., Takizawa, T., Adachi, T., Kimura, S. and Hashizume, N. (1997) The Alginate Reduce the Post-

- prandial Glycaemic Response by Forming a Gel with Dietary Calcium in the Stomach of the Rat. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, **67**, 55-61.
- [21] Chater, P.I., Wilcox, M., Cherry, P., Herford, A., Mustar, S., Wheater, H., Brownlee, I., Seal, C. and Pearson, J. (2016) Inhibitory Activity of Extracts of Hebridean Brown Seaweeds on Lipase Activity. *Journal of Applied Phycology*, **28**, 1303-1313. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0619-0>
- [22] Selassie, M. and Sinha, A.C. (2011) The Epidemiology and Aetiology of Obesity: A Global Challenge. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, **25**, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2011.01.002>
- [23] Kristensen, M. and Jensen, M.G. (2011) Dietary Fibres in the Regulation of Appetite and Food Intake. Importance of Viscosity. *Appetite*, **56**, 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.11.147>
- [24] Hall, A.C., Fairclough, A.C. and Mahadevan, K. (2012) Ascophyllum Nodosum Enriched Bread Reduces Subsequent Energy Intake with No Effect on Post-Prandial Glucose and Cholesterol in Healthy, Overweight Males: A Pilot Study. *Appetite*, **58**, 379-386. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.11.002>
- [25] Pelkman, C.L., Navia, J.L., Miller, A.E. and Pohle, R.J. (2007) Novel Calcium-Gelled, Alginate Pectin Beverage Reduced Energy Intake in Non Dieting Overweight and Obese Women: Interactions with Dietary Restraint Status. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **86**, 1595-1602. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.5.1595>
- [26] Georg Jensen, M., Kristensen, M. and Astrup, A. (2012) Effect of Alginate Supplementation on Weight Loss in Obese Subjects Completing a 12-wk Energy-Restricted Diet: A Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **96**, 5-13. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.025312>
- [27] 焦广玲. 几种大西洋来源海藻多糖及其衍生物抗 2 型糖尿病活性的比较研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [28] Rehm, B.H.A. (2009) Alginates: Biology and Applications. Springer-Verlag, Berlin, 45-68. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92679-5>
- [29] Wei, Y., Xu, C., Zhao, A., Liu, L. and Ai, G. (2009) Research Advances in Antilipemic Activity of Substances from Marine Creatures. *Chinese Journal of Biochemical Pharmaceutics*, **30**, 356-358.
- [30] Groves, A.R. and Lawrence, J.C. (1986) Alginate Dressing as a Donor Site Haemostat. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, **68**, 27-28.
- [31] Davies, M.S., Flannery, M.C. and McCollum, C.N. (1997) Calcium Alginate as Haemostatic Swabs in Hip Fracture Surgery. *Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh*, **42**, 31-32.
- [32] Segal, H.C., Hunt, B.J. and Gilding, K. (1998) The Effects of Alginate and Non-Alginate Wound Dressings on Blood Coagulation and Platelet Activation. *Journal of Biomaterials Applications*, **12**, 249-257. <https://doi.org/10.1177/088532829801200305>
- [33] Bowler, P.G., Jones, S.A., Davies, B.J. and Coyle, E. (1999) Infection Control Properties of Some Wound Dressings. *Journal of Wound Care*, **8**, 499-502. <https://doi.org/10.12968/jowc.1999.8.10.26356>
- [34] 秦益民. 海藻酸盐纤维的生物活性和应用功效[J]. 纺织学报, 2018, 39(4): 175-180.
- [35] 秦益民, 宁宁, 刘春娟. 海藻酸盐医用敷料的临床应用[M]. 北京: 知识出版社, 2017: 46-54.
- [36] Lansdown, A.B.G., Sampson, B. and Rowe, A. (1999) Sequential Changes in Trace Metal, Metallothionein and Calmodulin Concentrations in Healing Skin Wounds. *Journal of Anatomy*, **195**, 375-386. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1999.19530375.x>
- [37] Sayag, J., Meaume, S. and Bohbot, S. (1996) Healing Properties of Calcium Alginate Dressings. *Journal of Wound Care*, **5**, 357-362. <https://doi.org/10.12968/jowc.1996.5.8.357>
- [38] Attwood, A.I. (1989) Calcium Alginate Dressing Accelerate Split Graft Donor Site Healing. *British Journal of Plastic Surgery*, **42**, 373-379. [https://doi.org/10.1016/0007-1226\(89\)90001-5](https://doi.org/10.1016/0007-1226(89)90001-5)
- [39] 郑曦, 陈智多, 张德蒙. 海藻酸钠对酪氨酸酶的抑制作用[J]. 日用化学工业, 2019, 49(6): 388-392.
- [40] 秦益民. 海洋源生物活性纤维[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2019: 109-115.