

一种发酵源岩藻多糖在化妆品中功效性能的研究

何俊杰¹, 陈国庆², 汪春风², 牛雪彬², 刘希望², 张大存^{2*}, 王妍¹, 邹祥³, 吴丹青³

(1. 华南理工大学, 广东广州, 510641;

2. 广州华瑞智汇生物技术有限公司, 广东广州, 510000;

3. 东莞巨微新材料科技有限公司, 广东东莞, 523000)

摘 要: 岩藻多糖是一类具有多种生物活性的多糖, 其品质容易受到原料来源、提取方法和纯化工艺等因素的影响, 但是, 通过发酵制备可以有效控制岩藻多糖的品质。本文利用 *Kosakonia sp.* 菌株的补糖分批发酵工艺在 2 L 小型发酵罐制备岩藻多糖精华水溶液, 然后, 通过体外测试方法 (人成纤维细胞) 对岩藻多糖的抗炎、修护、抗氧化的效果进行研究。结果表明, 分批补糖发酵的岩藻多糖产量显著高于一次性补糖发酵工艺。此外, 与空白对照组相比, 4% 岩藻多糖精华水溶液使得促炎因子 IL-6 基因的 mRNA 相对表达量显著下调 65%, 对沉默信息调节因子 SIRT1 的 mRNA 相对表达量显著上调 135%, 说明岩藻多糖具有明显修护效果; 最后, 发现岩藻多糖在添加量大于 3% 具有较好的抗氧化效果, 具有化妆品护肤领域的市场价值。

关 键 词: 岩藻多糖; 发酵; 补糖; 抗炎; 修护

作者简介: 何俊杰, 华南理工大学环境与能源学院, 博士, 从事微生物发酵源功能活性因子研究。

E-mail: junjie5910@163.com。



岩藻多糖, 是一类从褐藻中提取的、具有生物活性的水溶性多糖, 具有 L-岩藻糖、半乳糖、葡萄糖、葡萄糖醛酸残基等成分结合组成的多种结构^[1-2], 具有抗氧化、抗炎、提高免疫力、减少皮肤受损或延缓皮肤老化等多种生物活性, 被广泛应用于美容护肤品、医药、食品等领域中^[3-6]。岩藻多糖的结构及其生物学功能容易受原料来源 (采集地点、成熟度和季节等)、提取方法和纯化工艺等多种因素的影响^[7-9]。但是, 通过微生物发酵工艺获得岩藻多糖, 能显著地摆脱原料来源对岩藻多糖生成的制约, 极大地便于对生产条件的精细调控。从而更加契合岩藻多糖规模化生产的需求^[10-12]。此外, 相较于植物, 作为原料的微生物展现出更为优越的生长特性, 如存活率高和增殖迅猛。在本文中, 利用 2 L 小型发酵罐, 采用补糖发酵策略, 对工程菌 *Kosakonia sp.* 进行代谢改造, 进而提升发酵液中岩藻多糖的产量; 其次, 通过人成纤维细胞在体外对岩藻多糖的抗炎、修护、抗氧化的效果进行研究, 以展示岩藻多糖在化妆品护肤领域应用的市场价值。

1. 材料与仪器

1.1 主要材料

Kosakonia sp., 由本实验室保存; 活化培养基: 40 g/L 葡萄糖, 10 g/L 蛋白胨; 种子培养基: 6.36 g/L 酵母浸粉, 5 g/L 轻质碳酸钙, 25 g/L 葡萄糖; 发酵培养基: 5 g/L 酵母

浸粉, 5 g/L 轻质碳酸钙, 25 g/L 葡萄糖, 0.01% 消泡剂, 调节 pH 为 6.8-7.2。以上培养基均采用 115℃, 30 min 灭菌。DMEM 培养基 (赛默飞)、人成纤维细胞 (普诺赛)、胎牛血清 (FSP500, 依科赛)、H₂O₂ (分析纯)、1, 2-己二醇 (分析纯)、1, 2-戊二醇 (分析纯) 均购于麦克林化学试剂有限公司。RNA 提取试剂盒、反转录试剂盒、荧光定量 PCR 试剂盒、CCK-8 试剂盒均购于赛默飞世尔科技公司。葡萄糖 (分析纯)、蛋白胨 (分析纯)、轻质碳酸钙 (食品级) 均购于自天津市大茂化学试剂厂, 水系微孔滤膜 (0.22 μm, 津腾) 等。

1.2 主要仪器

发酵罐 (BIOTECH, 上海保兴)、多功能酶标仪 (HBS-1096A, 德铁)、pH 计 (PHS-3, 雷磁)、电导率测定仪 (DDBJ-350, 雷磁)、分析天平 (BSA224S, 德国赛多利斯)、显微镜 (SG-300, 萨伽)、恒温箱 (ZXDP-B2270, 上海智城)、PCR 扩增仪 (BIO-RAD, 伯乐)、离心机 (3K15, 德国西格玛)。

2. 实验方法

2.1 种子培养

从 -80℃ 冰箱中取出保藏的甘油管菌株。待菌株恢复至常温, 沾取少量甘油管中的菌悬液划线于灭菌平板, 然后放置在 30℃ 的恒温培养箱中培养 24 h。培养 24 h 后, 挑取单菌落于灭菌活化培养基中, 置于 30℃ 的恒温摇床中培

养12 h。将活化后的菌液按1%接种量接种于种子培养基中，接着放置在30℃的恒温摇床中培养12 h。

2.2 一次性补糖发酵

在5%的接种量下，将种子液接种至含有发酵培养基的2 L发酵罐中。控制发酵条件为：培养温度30℃、pH 6.8~7.2和溶氧含量30%以上（通过搅拌和通风控制实现）。若溶氧无法大于30%时，保持最大转速和通风继续发酵，培养16~20 h。当pH上升到7.0后一次性投料策略进行补糖。发酵过程中，每隔8 h测样、记录数据。

2.3 流加补糖分批发酵

当pH上升到7.0后采取流加补糖策略进行补糖。其他操作同2.3。

2.4 残糖的测定

采用二硝基水杨酸方法^[13]进行测定。

2.5 菌体浓度的测定

采用参考文献^[14]的测定方法进行测定。

2.6 岩藻多糖含量的测定

采用《中国药典》（2020版）四部9101分析方法^[15-16]进行测定。

2.7 岩藻多糖后处理和溶液制备

往岩藻多糖发酵液中加入2.5~3倍体积的70%乙醇水溶液，搅拌均匀，放置4℃过夜（12~14 h），收集漂浮在上层的絮凝物。往絮凝物中继续加入5~10倍70%乙醇水溶液，搅拌均匀，放置4℃条件下5~8 h，收集漂浮在上层的絮凝物，继续往絮凝物中加入5~10倍的无水乙醇，放置4℃条件下5~8 h，收集漂浮在上层的絮凝物，低温离心，收集沉淀，冷冻干燥磨成粉末。称取0.5%粉末加入用去离子水搅拌溶解，加入3% 1, 2-己二醇和3% 1, 2-戊二醇搅拌60 min，过滤获得岩藻多糖精华水溶液备用。

2.8 自由基清除的测定

采用1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼（1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH）方法作为自由基测定指标。吸取岩藻多糖原液，加入一定体积的去离子水，依次稀释为1%、3%、5%、10%工作液作为样品。同时，使用去离子水将维生素C（Vitamin C, VC）溶液配制为1.0 μg/mL、2.0 μg/mL、4.0 μg/mL、6.0 μg/mL、8.0 μg/mL、10.0 μg/mL、20.0 μg/mL和50.0 μg/mL的工作液（作为阳性对照组），置于棕色瓶中备用。然后，按照表1依次进行加入不同的溶液。将各支试管的反应溶液

混匀后，避光常温反应30 min，吸取200 μL移入96孔板中，在517 nm波长下检测各组吸光度，记录数据。

DPPH清除率计算公式为：

$$P = (1 - \frac{T - T_0}{C - C_0}) \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T—样品的吸光值，即样品与DPPH反应后溶液吸光值；

T₀—样品的本底吸光值；

C—DPPH的吸光值，即未加样品时DPPH溶液吸光值；

C₀—溶剂的本底吸光值。

表1 样品加液参数

试剂	T (样品)	T ₀ (样品空白)	C (DPPH或VC)	C ₀ (空白)
样品溶液（mL）	2	2	—	—
95%乙醇溶剂（mL）	—	2	2	2
0.2mM/L DPPH乙醇溶液（mL）	2	—	2	—
95%乙醇（mL）	—	—	—	2

2.7 细胞存活率的测定

常规培养细胞，将细胞悬液接种于96孔细胞培养板，返回培养箱培养（24±2）h。弃去孔中原培养液，每孔加入100 μL不同浓度的测试样品、空白对照。培养箱孵育（24±2）h。倒置相差显微镜下观察细胞形态和特性，弃去孔中样液，参照CCK-8试剂盒使用说明，避光条件下加入CCK-8溶液，避光孵育2 h。酶标仪测定OD410的吸收值。

2.9 实时荧光PCR测定

分别将炎症因子白介素-6（interleukin-6, IL-6）和沉默信息调节因子-2同源蛋白-1（silent mating type information regulation 2 homolog-1, SIRT1）的mRNA表达量作为细胞抗炎和修复测试的指标。将细胞悬液接种于6孔细胞培养板，置于培养箱培养18~24 h（37℃，5%二氧化碳）。取出培养板，弃去原有的培养基，往样品组和模型组加入含有1 μg/mL脂多糖（lipopolysaccharide, LPS）或1 μg/mL H₂O₂的培养液，培养6 h（细胞抗炎实验）或1 h（细胞修复实验），随后弃去含有LPS或H₂O₂的培养

基。同时,设立空白对照组(不加入LPS或H₂O₂,仅加入完全培养基)。弃去原有培养基,往样品组加入含有一定浓度岩藻多糖的培养基(2 mL/孔),往模型组和空白对照组加入完全培养基(2 mL/孔),培养24 h。将各组细胞破碎收集RNA,反转录成cDNA,然后进行荧光定量PCR测定。

基因表达量以空白对照组(Control)基因表达量为100%,计算各组相对基因表达量(mRNA expression)。利用以下公式计算基因表达倍数(n):

$$n = 2^{-z} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$$z = x - y;$$

$x = C_t$ (样品组或模型组目的基因) - C_t (样品组或模型组管家基因);

$y = C_t$ (空白对照组目的基因) - C_t (空白对照组管家基因)。

表2 实时荧光PCR的引物序列

基因名称	正向序列(3'-5')	反向序列(3'-5')
GAPDH		
IL-6		
SIRT1		

注: GAPDH, 甘油醛-3-磷酸脱氢酶(glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase); IL-6, 白介素-6(interleukin-6); SIRT1, 沉默信息调节因子-2同源蛋白-1(silent mating type information regulation 2 homolog-1)

2.10 数据统计与分析

使用Origin软件进行数据分析,并以均值±标准差表示,如果 $P < 0.05$ 考虑差异具有统计学意义。

3. 结果与讨论

3.1 一次性补糖发酵对岩藻多糖生成的影响

在分批发酵过程中,菌体浓度、产物含量和残糖含量的变化,对于确定发酵条件下合理的补糖策略是十分重要的。分批发酵结果表明,在发酵0~24 h,岩藻多糖积累和菌体的增殖量是呈现正相关变化的。在*Kosakonia sp.*菌株消耗葡萄糖的时候,岩藻多糖开始迅速积累。在发酵16 h时发现残糖含量迅速降低,进行一次性投料。残糖含量迅速升高,菌体数量迅速增加,并在发酵40 h后,菌体增殖氯降低,逐渐达到平台期。从图1中可以发现,在发酵

24~40 h内,岩藻多糖含量有所下降;随后,在发酵40 h后,岩藻多糖含量逐渐增加。主要原因为*Kosakonia sp.*菌株在迅速增殖期间(16~40 h)消耗大量葡萄糖,产生大量的酸,导致pH下降;在酸性条件下,岩藻多糖会发生轻微水解。随着残糖浓度降低,*Kosakonia sp.*菌株对葡萄糖的总消耗速率减慢,菌体生长速率相应放缓,产酸减少,岩藻多糖含量逐步上升,表明一次性投入过多的葡萄糖不利于岩藻多糖的积累,对碳源的利用率较低,因此有必要进行补糖分批发酵。

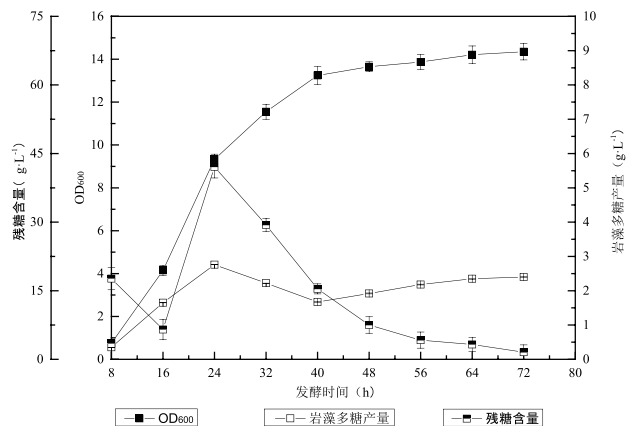


图1 一次性补糖发酵对岩藻多糖生成的影响

3.2 流加补糖发酵对岩藻多糖生成的影响

在发酵中,根据菌体的生长代谢、产物合成规律,利用分批补糖的措施,使得发酵菌株在产物合成阶段具有足够的养料,从而促进其合成产物和维持正常代谢。由于该*Kosakonia sp.*菌株发酵是一个强好氧过程,因此,培养液的溶氧浓度是影响菌体生长和岩藻多糖合成的重要因素。将溶氧作为补糖依据来进行分批补糖,将pH值恒定控制在7.0,保持搅拌转速和通气量不变,通过添加糖液来控制溶氧不低于30%,发酵结果如图2所示。在以溶氧为补糖依据进行补糖时,较高的溶氧量使*Kosakonia sp.*菌株充分利用发酵液中的残糖,使残糖含量维持在较低水平,提高

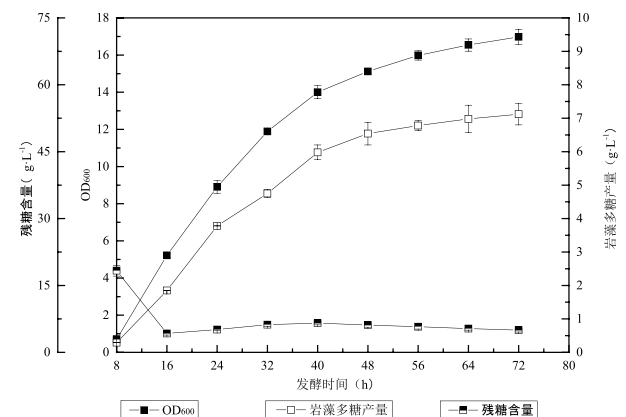


图2 分批补糖发酵对岩藻多糖生成的影响

了残糖的利用率，从而促进了 *Kosakonia sp.* 菌株的生长和提高岩藻多糖的产量，最高达 7.12 g/L。与上述一次性补糖的发酵工艺相比，该分批补糖的发酵方式更符合 *Kosakonia sp.* 菌株的好氧特性、生长代谢性能和多糖积累规律，使其在生长和产物合成阶段具有有足够的糖，以便为其合成产物和正常代谢提供需要。

3.3 岩藻多糖对自由基清除的影响

DPPH 乙醇溶液褪色程度与其接受的电子数呈线性关系，由此可评判试验样品清除自由基的能力，即抗氧化活性的大小。岩藻多糖对 DPPH 自由基清除率的影响如图 3 所示。从图中可看出，岩在 3~10% 的含量中，藻多糖溶液具有较强 DPPH 清除率，且该清除率随着浓度的增加而升高，因此判定岩藻多糖在大于 3% 的添加量下具有较强的抗氧化效果。

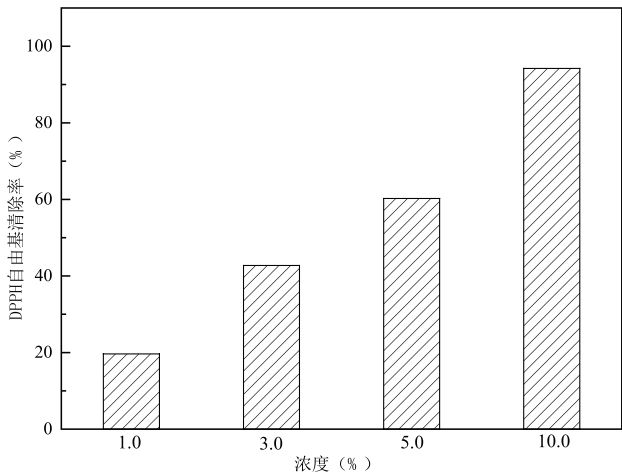


图3 岩藻多糖对 DPPH 清除率的影响

3.4 岩藻多糖对细胞存活率的影响

人成纤维细胞是人体皮肤细胞，是检测化妆品功效的常规使用细胞，因而采用作为验证岩藻多糖在皮肤方面的功效。从表3可发现，当岩藻多糖精华水溶液添加量低于4%时，菌株具有大于97.15%的存活率。因此，后续使用 4% 岩藻多糖精华水溶液作为功效测试限值。

表3 在细胞模型抗炎测试中，不同浓度的岩藻多糖精华水溶液对细胞的影响

岩藻多糖精华水溶液浓度 (%)	0	4.0	10.0	20.0	40.0
细胞存活率 (%)	100.00	97.15	85.36	68.12	40.50
	± 3.15	± 3.12	± 2.83	± 1.64	± 3.12

3.5 岩藻多糖对细胞抗炎的影响

炎症是临床中最常见的病症之一，是为了去除有害刺激和修复受损组织的一种防御反应。IL-6 是炎症反应中重

要的细胞活性因子，刺激肝细胞合成急性期蛋白，参与炎症反应^[17]。通过分批补糖发酵制备岩藻多糖精华水溶液，该溶液的细胞抗炎结果如图 4 所示。在抗炎测试中，与空白对照组相比，模型对照组对 IL-6 基因的 mRNA 相对含量显著下调 ($P<0.05$)，表明细胞的抗炎模型建立成功 (图 3)。与模型对照组相比，4% 岩藻多糖精华水溶液的 IL-6 基因的 mRNA 相对表达量显著下调了 65% ($P<0.001$, 图 4)，由此说明，岩藻多糖精华水溶液能显著下调促炎因子 IL-6，具有明显体外修护效果。

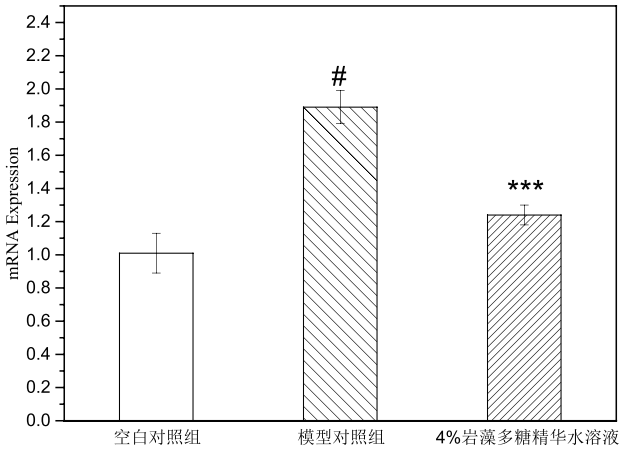


图4 岩藻多糖精华水溶液对炎症因子 IL-6 基因的表达量

注：#表示与空白对照组 (NT) 进行对比，差异具有统计学意义 ($P<0.05$)；***表示与模型对照组 (M) 进行对比，差异具有统计学意义 ($P<0.001$)。

3.6 岩藻多糖对细胞修护的影响

SIRT1，是一组 III 型的蛋白脱乙酰酶，参与细胞衰老和炎症调节的抗衰老蛋白。在氧化应激引起的肺部炎症衰老中，SIRT1 水平及其生物活性均会降低。SIRT1 介导的炎症性衰老机制与炎症、细胞早衰、端粒损耗和 DNA 损伤反应等有关^[18]。通过减缓氧化应激介导的细胞衰老，SIRT1 可以减弱细胞炎症衰老。本实验通过 2.4 制备岩藻多糖精华水溶液，使用 H_2O_2 诱导的角质细胞 HaCaT 作为体外氧化损伤细胞模型，评估待测样本的修护作用。

表 3 说明当岩藻多糖精华水溶液添加量低于 4% 时，细胞毒性均有优异的存活量。进一步地，使用 4% 岩藻多糖精华水溶液作为功效测试限值。在本次试验条件下，与空白对照组相比，模型组的 SIRT1 相对表达量显著下调 ($P<0.05$)，表明细胞的修护模型建立成功 (图 5)。与模型对照组相比，4% 岩藻多糖精华水溶液对沉默信息调节因子 SIRT1 基因的表达量上调了 135%，具有极显著的差异 ($P<0.001$)，由此说明，岩藻多糖精华水溶液能够显著上调沉默信息调节因子 SIRT1，具有明显体外修护效果。

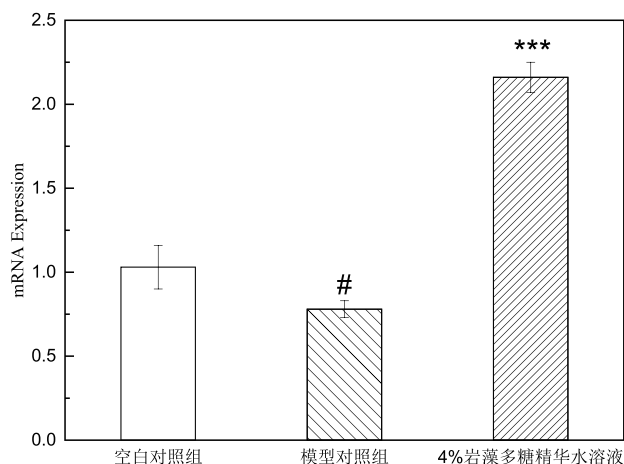


图5 岩藻多糖精华水溶液对沉默信息调节因子 SIRT1 基因的表达量

注: #表示与空白对照组 (NT) 进行对比, 差异具有统计学意义 ($P<0.05$); ***表示与模型对照组 (M) 进行对比, 差异具有统计学意义 ($P<0.001$)。

4. 结论与讨论

本文利用小型发酵罐研究了岩藻多糖的补糖分批发酵工艺, 发现在以溶氧为补糖依据进行补糖时, 能使 *Kosakonia sp.* 菌株充分利用发酵液中的残糖, 促进 *Kosakonia sp.* 菌株的生长和提高岩藻多糖的产量, 最高达 7.12 g/L, 是一次性补糖发酵工艺产量的 2.96 倍。这说明, 生物发酵法是规模化生产岩藻多糖的有效手段, 通过诱导人成纤维细胞 (L929 细胞) 作为体外细胞模型, 发现 4% 岩藻多糖精华水溶液同时具有细胞抗炎特性 (IL-6 的 mRNA 相对表达量下调了 65%) 和细胞修复特性 (SIRT1 的 mRNA 相对表达量上调了 135%)。此外, 还从生化方面对岩藻多糖的抗氧化性进行测试, 发现岩藻多糖精华水溶液在添加量大于 3% 具有较好的抗氧化效果。以上特性说明岩藻多糖非常具有应用在化妆品护肤领域的市场价值。然而对岩藻多糖的产生菌 *Kosakonia sp.* 菌株好氧生长的代谢特性和多糖积累规律还有待摸索, 其产生的岩藻多糖在其他功效应用和抗炎、修护与抗氧化功效的机理靶点均有有待进一步研究。

参考文献

- [1] 唐欢欢, 李琪, 周向东. 岩藻多糖的药理作用研究进展 [J]. 现代药物与临床, 2023, 38(7): 1786-1792.
- [2] 李源钊. 岩藻多糖的生理功能及其在食品领域中的应用 [J]. 现代食品, 2024: 46-19.
- [3] 宁兴燕, 张茂超, 孙占一, 等. 岩藻多糖在化妆品中的应用功

效研究进展 [J]. 中国洗涤用品工业, 2020(8): 73-80.

[4] 张文清, 左萍萍, 徐辰, 等. 海带中岩藻多糖的分离纯化与结构分析 [J]. 食品科学, 2012, 33(1): 68-71.

[5] 太敏瑞, 蔡泓滢, 李瑞, 等. 不同褐藻来源岩藻多糖理化性质及其免疫调节作用 [J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42 (3): 62-71.

[6] FODIL B I, BIZBIZ L, SCHOEVAE R T D, et al. Effect of L-fucose and fucose-rich oligo- and polysaccharides (FROP-s) on skin aging: Penetration, skin tissue production and fibrillogenesis [J]. Biomed Pharmacother, 2003, 57(5): 209-215.

[7] 马健, 郭广振, 尹福泉等. 岩藻多糖的理化性质、生物学功能及其在畜禽生产中的应用 [J]. 动物营养学报, 2023, 35(10): 6129-6136.

[8] Bruhn A, Janicek T, Manns D, et al. Crude fucoidan content in two North Atlantic kelp species, *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata*-seasonal variation and impact of environmental factors [J]. Journal of Applied Phycology, 2017, 29(6): 3121-2137.

[9] Zueva A, Usoltaeva R, Malyarenko O, et al. Structure and chemopreventive activity of fucoidans from the brown alga *Alaria angusta* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 225: 648-657.

[10] 夏海钦. 岩藻多糖的结构解析及其在含纳米银抗菌膜制备中的应用 [D]. 重庆. 2020.

[11] Petra T Vanhooren, Erick J Vandamme. L - Fucose: occurrence, physiological role, chemical, enzymatic and microbial synthesis [J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 1999, 74(6): 479-497.

[12] José Moreno, M. Angeles Vargas, Héctor Olivares, Joaquín Rivas, Miguel G Guerrero.

Exopolysaccharide production by the cyanobacterium *Anabaena sp.* ATCC 33047 in batch and continuous culture [J]. Journal of Biotechnology, 1998, 60(3): 175-182.

[13] Tomia I, Mitsuhashi K, Endo T. Synthesis and radical polymerization of styrene derivative bearing kojic acid moieties [J]. Polym Sci A, 1996, 34: 271-276.

[14] 杨梦晨, 户红通, 蔡萌萌, 等. L-色氨酸清液发酵工艺研究 [J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(2): 29-33; 39.

[15] 张海毅, 丛大鹏, 李广生, 等. 岩藻多糖原料药多糖含量测定方法的研究 [J]. 生物化工, 2022. DOI: 10.3969/j.issn.2096-0387.2021.04.015.

[16] Li S, Xia H, Xie A, et al. Structure of a fucose-rich polysaccharide derived from EPS produced by *Kosakonia sp.* CCTCC M2018092 and its application in antibacterial film [J]. International Journal of Biological Macromolecules: Structure, Function and Interactions, 2020 (159-): 159.

[17] 高小力, 张倩, 霍会霞, 等. 沉香精油通过抑制 p-STAT3 和 IL-1 β /IL-6 产生抗炎作用 [J]. 中国药理学杂志, 2019, 54(23): 7. DOI: 10.11669/cpj.2019.23.008.

[18] 莫夏, 杨威, 陈宁, 等. Sirt1 在衰老性肌萎缩中的作用 [J]. 中国老年学杂志, 2024, 44(1): 242-249.

A Study on the Efficacy and Functional Properties of Fermentation-Derived Fucoidan in Cosmetics

He Jun-jie¹, Chen Guo-qing², Wang Chun-feng², Niu Xue-bin², Liu Xi-wang², Zhang Da-cun^{2*}, Wang Yan¹, Zou Xiang³, Wu Dan-qing³

(1. South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong, 510641;

2. Guangzhou Huarui Zhihui Biotechnology Co., Ltd, Guangzhou, Guangdong, 510000;

3. Dongguan Juwei New Materials Technology Co., Ltd, Dongguan, Guangdong, 523000)

Abstract : Fucoidan is a class of polysaccharides with various biological activities, of which the quality can be influenced by factors such as raw material source, extraction method, and purification process. However, quality control of fucoidan can be effectively achieved through fermentation preparation. In this study, fucopolysaccharide essence aqueous solution was prepared using a fed-batch fermentation process with the *Kosakonia* sp. strain in a 2 L small fermenter. The anti-inflammatory, reparative, and antioxidant effects of fucoidan were then investigated through in vitro tests (human fibroblast cells). The results showed that the yield of fucoidan from fed-batch fermentation was significantly higher than that from batch fermentation. Furthermore, compared to the blank control group, 4% fucopolysaccharide essence aqueous solution significantly downregulated the mRNA relative expression level of the pro-inflammatory factor IL-6 gene by 65%, while drastically upregulated the mRNA relative expression level of the silent information regulator SIRT1 gene by 135%, indicating that fucoidan has a notable reparative effect. Finally, it was found that fucoidan exhibited good antioxidant effects with the concentration above 3%, suggesting its market potential in the cosmetic skincare field.

Keywords : fucoidan; fermentation; carbohydrate supplement; anti inflammation; repair

