

فرآیند استخراج پلی ساکارید سولفات فوکوئیدان از ماکرو جلبک‌های قهوه‌ای

مهدی آل بوفتیله*، سمیرا جدی

مرکز ملی تحقیقات فرآوری آبزیان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرانزلی، ایران

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

جداسازی ترکیبات زیست فعال از منابع دریایی توجه بسیاری از پژوهشگران را در دهه‌های اخیر به خود جلب کرده است. جلبک‌ها یکی از منابع دریایی می‌باشند که حاوی ترکیبات زیست فعال متعددی همچون پلی ساکاریدها، ترکیبات فنولی، رنگدانه‌ها، اسیدهای چرب امگا-۳، پروتئین و پپتیدها بوده و بر این اساس تاکنون در صنایع مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. فوکوئیدان، پلی ساکارید سولفات استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای می‌باشد. این پلی ساکارید به علت ویژگی‌های زیست فعالی و عملکردی مناسب خود می‌تواند در فرمولاسیون غذاهای فراسودمند و مکمل‌های غذا-دارویی به عنوان جزء فعال مورد استفاده قرار گیرد. برای استخراج فوکوئیدان می‌توان از روش‌های متداول آب داغ، اسیدی و قلیایی و همچنین روش‌های نوینی همچون فراصوت، میکروویو، آنزیمی، سیال فوق بحرانی و آب زیر بحرانی استفاده کرد. مطالعه حاضر مروری بر مراحل مختلف استخراج پلی ساکارید سولفات فوکوئیدان، کاربردها، مزایا و اثربخشی آن می‌باشد.

کلمات کلیدی: جلبک‌های قهوه‌ای، ترکیبات زیست فعال، پلی ساکاریدهای سولفات، فوکوئیدان، روش‌های استخراج

* نویسنده مسئول: mehdi.alboofetileh@gmail.com

مقدمه

جلبک‌ها به دلیل داشتن ترکیبات زیست فعال مختلف و همچنین ویژگی‌هایی نظیر پرورش آسان، رشد سریع و امکان تولید برخی متابولیت‌های خاص از طریق دستکاری در محیط کشت، منبع بالقوه مناسبی جهت استحصال ترکیبات فعال زیستی به شمار می‌آیند (Kuda et al., 2002). در همین رابطه تاکنون ترکیبات مختلفی از جلبک‌ها استخراج شده و در صنایع مختلفی استفاده شده‌اند. یکی از این ترکیبات، پلی ساکارید فوکوئیدان می‌باشد. فوکوئیدان پلی ساکارید سولفات ه استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای می‌باشد (Vo and Kim, 2013). علاوه بر این، فوکوئیدان در بی‌مهرگان دریایی نظیر خیار دریایی نیز وجود دارد اما جلبک‌های قهوه‌ای منبع اصلی جهت استخراج فوکوئیدان به حساب می‌آیند (Morya et al., 2012). فوکوئیدان بواسطه ویژگی‌های زیست فعالی (ضداکسایشی، ضد میکروبی، ضد ویروسی، ضد سرطانی، ضد التهابی، ضد دیابتی، ضد انعقادی، تنظیم سیستم ایمنی، پری بیوتیکی) و عملکردی (امولسیون کنندگی) خود، پتانسیل کاربرد در فرمولاسیون غذاهای فراسودمند و مکمل‌های غذایی/دارویی را دارا می‌باشد (Alboofetileh et al., 2019). در حال حاضر کپسول‌های فوکوئیدان در بازار موجود بوده و قیمت آنها برای هر بسته ۶۰ کپسولی از ۱۰ تا ۳۰ دلار براساس میزان خلوص و همچنین مقدار فوکوئیدان استفاده شده متغیر می‌باشد (Amazon.com). همچنین فرآورده‌های دیگری نیز از ترکیب فوکوئیدان با عصاره قارچ‌ها موجود بوده که قیمت این محصول برای هر بسته ۶۰-۱۲۰ کپسولی از ۱۵۰ تا ۳۰۰ دلار متغیر است. علاوه بر اینها، نوعی نوشیدنی فراسودمند حاوی فوکوئیدان نیز تولید و به بازار عرضه شده است (Amazon.com). همانطور که مشاهده می‌شود تولید محصولات با ارزش افزوده نظیر فوکوئیدان از منابع جلبکی پتانسیل بالایی جهت افزایش بهره‌وری از منابع شیلاتی، افزایش درآمد و افزایش اشتغال در بخش شیلات دارا می‌باشد.

متأسفانه در کشور ما عمده فعالیت‌ها در زمینه جلبک‌ها هنوز وارد مرحله تولید انبوه و تجارت نشده است. علاوه بر

این مهم‌ترین بحث در استفاده از جلبک‌ها که فرآوری آنها می‌باشد در کشور ما مغفول مانده و در مقادیر بسیار کمی انجام می‌شود. این در حالی است که تقاضای بازار برای محصولات فرآوری شده جلبک‌ها در کشور بسیار زیاد بوده و آمارها نشان می‌دهد که سالانه ده‌ها تن جلبک فرآوری شده و محصولات آنها در کشور به مصرف می‌رسد که این میزان عمدتاً از طریق واردات تامین می‌شود (۲۴۴ میلیارد تومان معادل ۵۸ میلیون دلار واردات، و سهم تولید داخل از این بازار ۱۵ میلیارد و ۲۰۰ میلیون تومان معادل ۶/۳ میلیون دلار، گزارش اداره ارتباطات و اطلاع رسانی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، ۱۳۹۹). بر این اساس بایستی توجه ویژه‌ای جهت فراهم نمودن بستر فعالیت‌های تولید و فرآوری جلبک‌ها صورت پذیرد. در صورتی که واحدهای فرآوری جلبک در کشور توسعه پیدا کنند می‌توانند منجر به افزایش تولید در واحدهای کشت و پرورش جلبک‌ها، اشتغالزایی، افزایش درآمد و ارزآوری بخش شیلات و تامین نیاز جلبکی کشور شده و همچنین از خروج ارز جلوگیری کند. در حال حاضر تجاری سازی و تولید انبوه فعالیت‌های جلبکی در کشور با مشکلات و موانعی همراه می‌باشد. این موانع شامل عدم شناخت کافی در مورد میزان، ماهیت و ویژگی‌های مختلف ترکیبات موجود در جلبک‌های بومی کشور، عدم دسترسی به آمارهای دقیق از میزان حجم تولیدات طبیعی جلبک‌ها در کشور، عدم ارزیابی حداکثر میزان برداشت ماکرو جلبک‌ها از منابع آبی بدون آسیب رساندن به محیط زیست و همچنین عدم پرورش مصنوعی جلبک‌ها در کشور برای تهیه مواد اولیه برای تهیه فرآورده‌های نهایی می‌باشد. بر این اساس لازم است در ابتدا بایستی اقداماتی جهت رفع این مشکلات و موانع اجرا گردد تا تولید انبوه و تجاری سازی فعالیت‌های جلبکی تسهیل گردد. اما در کنار اینها، عوامل مختلفی از قبیل دارا بودن تعداد زیاد گونه‌های ماکرو جلبک‌ها در کشور (۳۴۷ گونه ماکرو در سواحل جنوب کشور، سهرابی پور و ربیعی، ۱۳۹۶)، قابلیت پرورش برخی از این گونه‌ها به صورت مصنوعی، موجود بودن مواد شیمیایی و سایر

معرفی دستورالعمل

مراحل عمومی استخراج پلی ساکارید سولفات فوکوئیدان از ماکرو جلبک‌های قهوه‌ای به صورت زیر می‌باشد:

۱- آماده سازی اولیه جلبک‌ها:

نمونه‌های جلبک جمع آوری شده از مناطق ساحلی یا مراکز پرورشی، ابتدا با آب دریا و سپس با آب مقطر شستشو شده و گل و لای و همچنین اپی‌فیت‌های متصل به آنها زدوده می‌شود. سپس نمونه‌ها در دمای محیط زیر سایه و یا در آون با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک می‌شوند. در ادامه نمونه‌های جلبک خشک شده توسط دستگاه خردکن به صورت پودر درآمده و تا زمان انجام عمل استخراج در کیسه‌های پلاستیکی زیپ کیپ در فریزر (۱۸- درجه سانتیگراد) نگهداری می‌شوند.

ملزمات استفاده شده در فرآیندهای استخراج محصولات از جلبک‌ها در کشور، موجود بودن دانش فنی تولید محصولات مختلف از جلبک‌ها مثل پلی ساکارید فوکوئیدان در کشور، نیاز بالای کشور به محصولات جلبکی و وجود تقاضا در بازار برای محصولات تولید شده، می‌توانند به عنوان مشوق جهت سرمایه‌گذاری در زمینه تولید و فرآوری جلبک‌ها مدنظر قرار گیرند. از این رو معرفی پتانسیل‌های فنی، تخصصی و اقتصادی حوزه فرآوری جلبک‌ها به صاحبان صنعت، بهره‌برداران و سایر ذینفعان، امری بسیار ضروری می‌باشد. در همین راستا در مقاله حاضر که به صورت علمی-ترویجی نگاشته شده، فرآیند استخراج فوکوئیدان از جلبک‌های قهوه‌ای، کاربردها، مزایا و اثربخشی آن ارائه شده است.



شکل ۱: مراحل آماده سازی اولیه جلبک‌ها

بعد از این زمان، قسمت مایع با استفاده از سانتریفیوژ (۹۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) جدا شده و قسمت جامد به منظور خشک شدن در چندین نوبت با استون شستشو شده و در نهایت به مدت یک شبانه روز در دمای محیط قرار داده می شود.

۲- پیش تیمار اولیه جلبک ها:

قبل از انجام عمل استخراج بایستی رنگدانه ها و چربی های جلبک ها حذف گردد. بدین منظور جلبک های خشک و پودر شده به نسبت ۱ به ۱۰ (گرم به میلی لیتر) با اتانول ۸۵ درصد مخلوط و به مدت یک شبانه روز روی همزن مکانیکی با دور ۲۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده می شوند.



شکل ۲: پیش تیمار اولیه جلبک ها

۳- تیمار کردن جلبک ها:

این روش ها بایستی شرایط استخراج از قبیل زمان، درجه حرارت، قدرت، نسبت آب مقطر به ماده خشک، pH و غیره تنظیم گردند. خلاصه ای از شرایط استخراج فوکوئیدان از گونه *Nizimudinia zanardinii* به روش های مختلف در جدول شماره ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است که روش آب داغ به نسبت بقیه روش ها روش ارزان تری می باشد. بعد از این روش، استفاده از آنزیم ها به نسبت بقیه روش ها که دستگاهی محور هستند، ارزان قیمت تر می باشد.

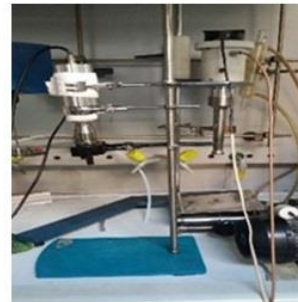
ابتدا نمونه های جلبک پیش تیمار شده با آب مقطر به نسبت ۱ به ۲۰ (گرم به میلی لیتر) مخلوط می شوند. در ادامه برای استخراج پلی ساکاریدهای سولفات ه فوکوئیدان، می توان از روش های مختلفی استفاده کرد. روش های متداول استخراج فوکوئیدان، روش های آب داغ، اسیدی و قلیایی هستند. به جای این روش ها، می توان از روش های نوینی همچون فراصوت، مایکروویو، آنزیمی، سیال فوق بحرانی، آب زیر بحرانی و غیره نیز استفاده کرد. در همه



مایکروویو



آنزیمی



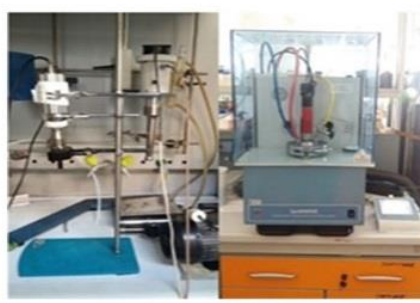
فراصوت



آب داغ / اسیدی



آب زیر بحرانی



مایکروویو-فراصوت

شکل ۳: روش‌های تیمار کردن جلبک‌ها

جدول ۱: شرایط استخراج پلی ساکارید فوکوئیدان استخراج شده از گونه *Nizimudinia zanardinii* به روش‌های مختلف، برگرفته از *Alboofetileh et al., 2019*.

ردیف	پلی ساکارید استخراج شده به روش	دما (سانتیگراد)	زمان (ساعت)	pH	میزان آنزیم (درصد)	قدرت (وات)
۱	حلالی	۶۵	۶	NA*	-	-
۲	آلکالاز	۵۰	۲۴	۸	۵	-
۳	فلاورزایم	۵۰	۲۴	۷	۵	-
۴	سلولاز	۵۰	۲۴	۴/۵	۵	-
۵	ویسکوزایم	۵۰	۲۴	۴/۵	۵	-
۶	فراصوت	۵۵	۰/۶۷	NA*	-	۲۰۰
۷	آنزیمی-فراصوت	۵۰	۲۴	۸	۵	۲۰۰-۰
۸	مایکروویو	۹۰	۰/۶۷	NA*	-	۷۰۰
۹	فراصوت-مایکروویو	۹۰-۵۵	۰/۶۷	NA*	-	۷۰۰-۲۰۰
۱۰	آب زیر بحرانی	۱۵۰	۰/۳۳	NA*	-	۱۵۰۰

NA*: تنظیم نشده

شده و سپس توسط دستگاه روتاری در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد تغلیظ می گردد.

۴- جداسازی و تغلیظ عصاره جلبک: بعد از تیمار کردن جلبک ها، عصاره جلبک با استفاده از سانتریفیوژ (۹۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) جمع آوری



شکل ۴: جداسازی و تغلیظ عصاره جلبک

می شود. بعد از این زمان آلژینات رسوب یافته توسط دستگاه سانتریفیوژ (۹۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) جدا و حذف می گردد.

۵- حذف آلژینات: جهت حذف پلی ساکارید آلژینات، مایع تغلیظ شده با پودر کلسیم کلرید (۱ درصد) مخلوط شده و مخلوط بدست آمده به مدت یک شبانه روز در یخچال قرار داده



شکل ۵: مراحل حذف آلژینات

۶- جداسازی و شستشوی فوکوئیدان:

بعد از این زمان نمونه‌های فوکوئیدان رسوب یافته توسط دستگاه سانتریفیوژ (۹۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) جدا و چندین مرتبه با اتانول و استون شستشو داده می‌شود.

قسمت مایع بدست آمده از مرحله قبل با اتانول سرد مخلوط شده و به مدت یک شبانه‌روز به منظور رسوب پلی‌ساکاریدهای فوکوئیدان در یخچال قرار داده می‌شود.



شکل ۶: جداسازی و شستشوی فوکوئیدان

۷- دیالیز فوکوئیدان:

استفاده از غشاهای مختلف به مدت سه الی چهار روز دیالیز می‌گردد. غشاهای دیالیز درون ظرف حاوی آب مقطر قرار داده شده و در این مدت آب مقطر ظرف چندین بار تعویض می‌گردد.

در این مرحله فوکوئیدان حاوی مقداری ناخالصی و همچنین نمک‌های استفاده شده در پروسه استخراج می‌باشد که این ناخالصی‌ها بایستی حذف گردند. بدین منظور پلی‌ساکارید فوکوئیدان در آب مقطر حل شده و با



شکل ۷: دیالیز فوکوئیدان

کن پاششی (اسپری درایر) و خشک کن انجمادی (فریزدرایر) استفاده کرد.

۸- خشک کردن فوکوئیدان: به منظور خشک کردن قسمت مایع حاوی فوکوئیدان می توان از انواع دستگاههای خشک کن معمولی، خشک



شکل ۸: خشک کردن فوکوئیدان با استفاده از دستگاه خشک کن انجمادی (فریزدرایر)

ویژگی های فرآورده نهایی و افزایش مدت زمان نگهداری آن می شود.

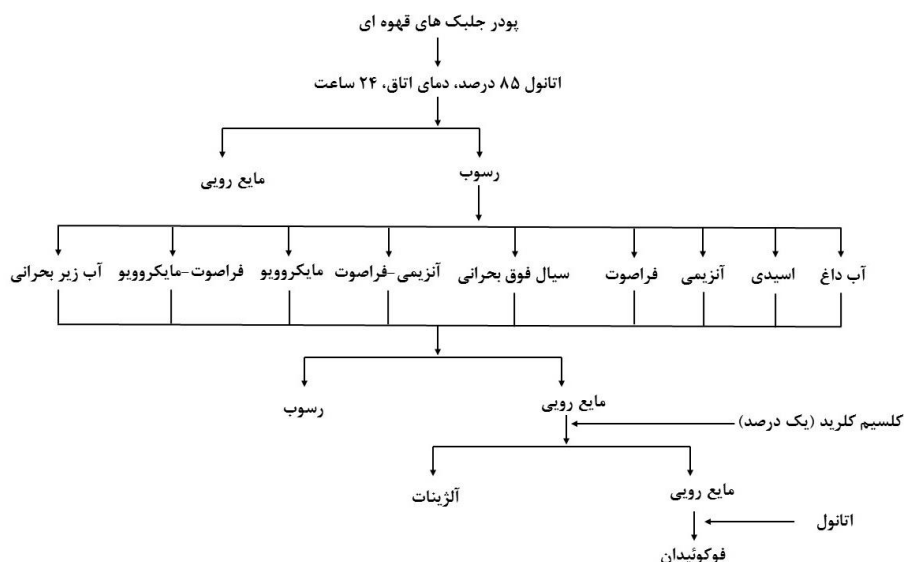
۹- جمع آوری و نگهداری فوکوئیدان:

بعد از خشک شدن قسمت مایع، پودر بدست آمده که همان فوکوئیدان می باشد، برداشت می گردد. بعد از بسته بندی کردن فوکوئیدان، می توان آنرا در یخچال و یا فریزر نگهداری کرد. نگهداری در فریزر باعث حفظ بیشتر



شکل ۹: پودر فوکوئیدان

در شکل ۱۰ نمای کلی مراحل استخراج فوکوئیدان نشان داده شده است:



شکل ۱۰: نمای کلی مراحل استخراج فوکوئیدان از جلبک های قهوه ای

استخراج شده از گونه *Nizimudinia zanardinii* با

استفاده از روش های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

مراحل فوق برگرفته از تحقیق انجام شده توسط *Albofetileh et al., 2019* می باشد. نتایج بازده

استخراج و ترکیب شیمیایی پلی ساکارید فوکوئیدان

جدول ۲: روش های استخراج، بازده استخراج و ترکیب شیمیایی پلی ساکارید فوکوئیدان استخراج شده از گونه *Nizimudinia zanardinii*، برگرفته از *Albofetileh et al., 2019*

ردیف	پلی ساکارید استخراج شده به روش	بازده (درصد)	کربوهیدرات کل (درصد)	پروتئین کل (درصد)	سولفات (درصد)	یورونیک اسید (درصد)
۱	حلالی	۵/۲	۵۸/۱۳	۸/۸۶	۱۸/۴۴	۱/۲
۲	آلکالاز	۵/۵۸	۵۳/۵۵	۶/۹۸	۲۹/۶۰	۰/۳۱
۳	فلوروزایم	۴/۳۶	۵۶/۱۹	۸/۴۲	۲۲/۲۰	۰/۷۲
۴	سلولاز	۴/۸	۶۲/۰۴	۸/۳۳	۲۰/۰۶	۰/۶۹
۵	ویسکوزایم	۴/۲۸	۴۷/۵۰	۷/۴۶	۲۴/۱۴	۰/۶۷
۶	فراصوت	۳/۶	۵۸/۶۵	۸/۵۳	۲۲/۹۷	۱/۰۸
۷	آنزیمی-فراصوت	۷/۸۷	۵۲/۷۸	۸/۹۱	۲۱/۷۸	۰/۷۳
۸	مایکروویو	۶/۱۷	۵۱/۲۷	۱۱/۱۷	۲۴/۰۹	۰/۵۶
۹	فراصوت-مایکروویو	۵/۵۳	۴۵/۸۷	۱۰/۵۸	۲۷/۱۶	۱/۱
۱۰	آب زیر بحرانی	۱۳/۱۵	۵۴/۶۳	۵/۱۴	۱۰/۳۴	۱/۹۲

جمع بندی و توصیه ترویجی

در سواحل جنوبی کشور ما تعداد ۳۴۷ گونه ماکرو جلبک وجود دارد که از این بین تعداد ۸۰ گونه متعلق به ماکرو جلبک‌های قهوه‌ای می‌باشد. این جلبک‌ها عمدتاً در سواحل سه استان جنوبی کشور شامل سیستان و بلوچستان، هرمزگان و بوشهر یافت می‌شوند. از بین جلبک‌های قهوه‌ای، گونه‌های جنس‌های *Sargassum* و *Nizamuddinina* تولیدات طبیعی بیشتری به نسبت بقیه گونه‌ها داشته و همچنین پتانسیل کشت و پرورش به صورت انبوه را دارا می‌باشند. از این رو می‌توانند به عنوان ماده اولیه برای تولید پلی ساکارید فوکوئیدان مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر مواد اولیه جلبکی، مابقی مواد اولیه استفاده شده در پروسه فرآیند استخراج پلی ساکارید سولفات فوکوئیدان شامل آب مقطر، اتانول، استون و کلسیم کلرید می‌باشند که این مواد همگی تولید داخل بوده و در رابطه با تأمین آنها مشکلی وجود ندارد. بر این اساس تولید فوکوئیدان در کشور مسیر می‌باشد. در این رابطه پیشنهاد می‌شود که فرآیند استخراج فوکوئیدان با استفاده از روش آب داغ که روشی ساده و ارزان قیمت بوده و در عین حال تولید پایلوت نیمه صنعتی و صنعتی آنها راحت‌تر می‌باشد، انجام شود. برای برنامه‌های توسعه‌ای نیز می‌توان روش‌های نوین استخراج را نیز مدنظر قرار داشت. علاوه بر این یکی دیگر از مزایای استخراج فوکوئیدان به روش‌های گفته شده این است که از رسوب جلبکی باقی مانده در این روش‌ها می‌توان برای تولید و استخراج پلی ساکارید آلژینات نیز استفاده کرد. در این صورت از یک ماده اولیه می‌توان دو پلی ساکارید متفاوت با ویژگی‌ها و کاربردهای مختلف تهیه نمود که از منظر اقتصادی بسیار به صرفه می‌باشد. لازم به ذکر است که در صورت استفاده از جلبک‌های برداشت شده از محیط‌های طبیعی برای تولید فرآورده فوکوئیدان، هم جلبک‌ها و هم فرآورده نهایی بایستی از نظر میزان محتوی فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند.

منابع

- سهرابی‌پور، ج.، ربیعی، ر. ۱۳۹۶. رویشگاه‌های ساحلی جلبک در جنوب ایران. جلد ۲، شماره ۱، صفحات ۶۲-۶۸.
- گزارش مرکز ارتباطات و اطلاع رسانی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری. ۲۹ شهریور ۱۳۹۹. بیش از ۱۵ میلیارد تومان سهم بازار داخلی جلبک؛ واردات برنده شد.
- Alboofetileh, M., Rezaei, M., Tabarsa, M., Ritta, M., Donalisio, M., Mariatti, F., You, S., Lembo, D., and Cravotto, G. 2019. Effect of different non-conventional extraction methods on the antibacterial and antiviral activity of fucoidans extracted from *Nizamuddinina zanardinii*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 131-137.
- Amazon.com: https://www.amazon.com/s?k=fucoidan&crd=A6KYMHBTF6C&prefix=fucoidan%2Caps%2C453&ref=nb_sb_noss_1.
- Kuda, T., Taniguchi, E., Nishizawa, M., and Araki, Y., 2002. Fate of Water-Soluble Polysaccharides in Dried chordafilum a Brown Alga during Water Washing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(1), pp.3-9.
- Morya, V.K., Kim, J., Kim, and E.K., 2012. Algal fucoidan: structural and size-dependent bioactivities and their perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93, pp.71-82.
- Vo, T.S., and Kim, S.K., 2013. Fucoidans as a natural bioactive ingredient for functional foods. *Journal of Functional Foods*, 5(1), pp.16-27.

Extraction process of sulfated polysaccharide (fucoidan) from brown seaweeds

Alboofetileh M. * ; Jeddi S.

Fish Processing Technology Research Center, Iranian Fisheries Science Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Iran

Received: June 2022

Accepted: August 2022

Abstract

In recent decades, the isolation of novel bioactive compounds from marine resources has attracted the great attention of many researchers. Seaweeds are a marine resource that contain various bioactive compounds such as polysaccharides, phenolic compounds, pigments, omega-3 fatty acids, proteins, and peptides. On these bases, they have been used in the different industries. Fucoidan is a sulfated polysaccharide extracted from brown seaweeds. Due to its bioactive and functional properties, this polysaccharide can be used as functional ingredient in the formulation of functional foods and nutraceutical supplements. Conventional extraction methods of fucoidan are hot water, acidic and alkaline, and it also can be extracted using novel methods such as ultrasound, microwave, enzymatic, supercritical fluid, subcritical water and etc. The present study overviews the different steps of fucoidan extraction and also its applications, benefits, and effectiveness.

Keywords: Brown seaweeds, Bioactive compounds, Sulfated polysaccharides, Fucoidan, Extraction methods.

*Corresponding author: mehdi.alboofetileh@gmail.com