مروری بر منابع، روش‌های استخراج، ویژگی‌ها و کاربردهای پلی ساکارید آلژینات استخراج شده از ماکروجلبک‌های قهوه‌ای

مهدی آل‌بوفتیله[1*]، سمیرا جدی[1]

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

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۱

چکیده

ماکروجلبک‌ها در ساختار خود دارای ترکیبات زیست فعال متعددی از جمله پلی ساکاریدها می‌باشند. آلژینات یکی از پلی ساکاریدهای استخراج شده از ماکروجلبک‌های قهوه‌ای بوده که به صورت متداول با استفاده از روش قلیایی استخراج می‌گردد. علاوه بر این تاکنون روش‌های دیگری همچون آنزیمی، فراصوت، ماکروویو، آنزیمی-فراصوت، اکستروژن و تخمیر نیز برای استخراج آلژینات استفاده شده است. آلژینات دارای ویژگی‌های متعددی مانند ویژگی‌های ضداکسایشی، ضدتوموری، ضدالتهابی، تنظیم سیستم ایمنی، پری بیوتیکی و امولسیون کنندگی می‌باشد. بر اساس این ویژگی‌ها، پلی ساکارید آلژینات در صنایع مختلفی همچون صنایع غذایی، محصولات آرایشی-بهداشتی، پزشکی، صنایع رنگ و چاپ، نساجی، کاغذسازی، آبزی-پروری، کشاورزی و جوشکاری مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعه حاضر مروری بر منابع، فرآیند و روش‌های استخراج، ساختار، ویژگی‌های زیست فعالی و عملکردی و همچنین کاربردهای پلی ساکارید آلژینات در صنایع مختلف می‌باشد.

کلمات کلیدی: ماکروجلبک‌ها، ترکیبات زیست فعال، روش‌های استخراج، آلژینات، ویژگی‌های زیست فعالی

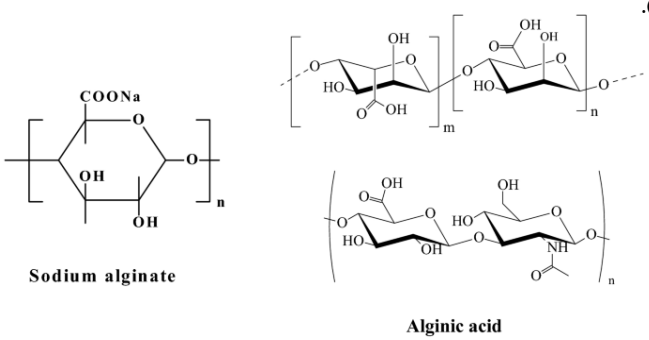
* نویسنده مسئول: alboofetileh@areeo.ac.ir

مقدمه

جلبک‌های دریایی ۸۵ درصد از کل تولید جهانی گیاهان آبزی را تشکیل می‌دهند از این رو به منزله یکی از بزرگترین تولید کنندگان دریا محسوب می‌شوند (Meillisa *et al.*, 2015). از نظر تغذیه ای، جلبک‌ها منابع غذایی کم کالری، همراه با مقادیر بالای مواد معدنی، فیبرهای غذایی، ویتامین‌ها، پروتئین‌ها، رنگدانه‌ها و پلی فنول‌ها بوده (Athukorala *et al.*, 2006) و به همین دلیل در قرن ۲۱ آنها را غذای دارویی و شفا بخش نام نهادند (Khan and Stam, 2003). بر این اساس جلبک‌ها مدت زمان زیادی است که در رژیم غذایی مردمان نواحی مختلف کره زمین به ویژه در کشورهای آسیایی مانند چین، ژاپن و کره استفاده می‌شوند (Wang *et al.*, 2007). در ساختار جلبک‌ها ترکیبات مختلفی همچون پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها، ترکیبات فنولی، رنگدانه‌ها وجود دارد. از این بین، پلی ساکاریدها به علت کاربرد گسترده در صنایع مختلف از اهمیت بالایی برخودار می‌باشند. پلی ساکاریدها به میزان زیادی در دیواره سلولی جلبک‌ها یافت می‌شوند. ساختار شیمیایی پلی ساکاریدها با توجه به نوع گونه تفاوت‌هایی با هم داشته و هر یک از گونه‌ها پلی ساکاریدهای مخصوص به خود را دارند. تفاوت در ساختار پلی ساکاریدها در نهایت می‌تواند باعث تفاوت در میزان فعالیت زیست فعالی و عملکردی آنها شود (Mulloy, 2005). آگار، آلژینات و کاراژینان از جمله نخستین پلی‌ساکاریدهایی بودند که از جلبک‌ها استخراج شدند (آل‌بوفتیله و همکاران، ۱۳۹۷).

آلژینات

آلژینات‌ها مشتقاتی از اسیدهای آلژینیک هستند که در دیواره سلولی جلبک های دریایی قهوه‌ای قرار دارند. اسیدهای آلژینیک به صورت صنعتی از جلبک‌های دریایی قهوه‌ای به شکل نمک آنها، یعنی آلژینات‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم استخراج می‌شوند. آلژینیک اسید و آلژینات کلسیم در آب نامحلول هستند در حالی که آلژینات سدیم، آلژینات پتاسیم و آلژینات آمونیوم محلول در آب هستند. رایج‌ترین شکل استفاده شده آلژین، آلژینات سدیم بوده و این ترکیب قابلیت جذب آب بالایی داشته که هم در آب سرد و هم در آب گرم محلول می‌باشد (Morris, 1977). از نظر ساختاری، آلژینات‌ها کوپلیمرهای خطی β-D-مانورونیک اسید (M) و α-L-گولورونیک اسید (G) بوده که با پیوندهای ۴ ⟶ ۱ به هم متصل شده‌اند. آرایش این اسیدها در آلژینات‌های مختلف به صورت هموپلیمری (MM و GG) یا هتروپلیمری (MG) بوده و نسبت آنها نیز ممکن است بسته به عواملی مانند نوع گونه جلبک، فصل برداشت، موقعیت جغرافیایی، عوامل اقلیمی و روش/شرایط استخراج متفاوت باشد. آرایش این مونوساکاریدها در زنجیره پلیمری بر میزان ویژگی‌ها و عملکرد محصول نهایی تاثیر فراوانی دارد (Okolie *et al.*, 2020). ساختار آلژینیک اسید و سدیم آلژینات در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار آلژینیک اسید و سدیم آلژینات

منابع آلژینات

منابع عمده استخراج آلژینات جلبک‌های قهوه‌ای می-باشند. تاکنون پلی ساکارید آلژینات از جلبک‌های قهوه‌ای گونه‌های *Laminaria hyperborean*، *Laminaria japonica*، *Ascophyllum nodosum*، *Macrocystis pyrifera* (Venkatesan *et al.*, 2015)، *Sargassum muticum* (Mazumder *et al.*, 2016)، *Sargassum latiffolium* (Fawzy *et al.*, 2017)، *Cystoseira vulgare* (Torres *et al.*, 2007)، *Cystoseira trinode*، *Cystoseira myrica*، *Sargassum dentifolium* و *Sargassum asperifolium* (Larsen *et al.*, 2003) استخراج شده است. همچنین برخی باکتری‌های گرم منفی مثل *Azotobacter vinelandi* و چند گونه از جنس Pseudomonas، آلژینات را به عنوان پلی ساکارید خارج سلولی تولید می‌کنند (Lee and Mooney, 2010). در مناطق معتدله، آلژینات‌ها عمدتاً از جلبک‌هایی همچون *Ascophyllum nodosum*، *Macrocyctis pyrifera* و *Laminaria sp.* استخراج می‌شوند. حال آنکه در مناطق استوایی عمدتاً گونه‌های مربوط به جنس‌های Padina، Turbinaria و Sargassum به عنوان منبع اصلی استخراج آلژینات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل ۲: چند نمونه از جلبک‌های قهوه‌ای

روش‌های استخراج آلژینات

رایج‌ترین روش استخراج آلژینات، روش قلیایی می‌باشد. در این روش از محلول ۲-۳ درصد سدیم کربنات در آب داغ استفاده می‌گردد (Khajouei *et al.*, 2018). این روش، روشی ساده و آسان بوده اما دارای اشکالاتی همچون زمان طولانی استخراج، صرف انرژی زیاد و بازده کم دارد (Herrero *et al.*, 2006). با توجه به این معایب روش و همچنین با توجه به کاربرد گسترده، قیمت بالا و حساس بودن ترکیبات زیست فعال طبیعی نظیر آلژینات نسبت به شرایط استخراج، در سال‌های اخیر میل به پیدا کردن روش‌های کارآمدتر منجر به پیدایش و گسترش روش‌های نوین استخراج گردیده است. از روش‌های نوین استخراج می‌توان به روش‌های سیال فوق بحرانی، فرآیندهای فشار بالا، استخراج به کمک مایکروویو، فراصوت، آنزیمی و استخراج بر پایه تخمیر اشاره کرد. حفظ خصوصیات کیفی ترکیبات زیست فعال، کاهش میزان مصرف انرژی، کاهش زمان فرایند استخراج، گرادیان حرارتی کمتر، کاهش اندازه تجهیزات، کاهش مصرف تجهیزات، کاهش مصرف حلال‌های شیمیایی و سمی و زیست سازگار بودن از مزایای مهم این روش‌ها در مقایسه با روش‌های متداول محسوب می‌شوند (آل‌بوفتیله و همکاران، ۱۳۹۷). از بین روش‌های نوین استخراج، روش-های آنزیمی (Borazjani *et al.*, 2017؛ Rostami *et al.*, 2017)، فراصوت (Flórez-Fernández *et al.*, 2019)، مایکروویو (Okolie *et al.*, 2020)، ترکیب آنزیمی-فراصوت (جدی و همکاران، ۱۴۰۰)، تخمیر (Hifney *et al.*, 2018) و اکستروژن[1] (Vauchel *et al.*, 2008؛ Sugiono *et al.*, 2016) برای استخراج آلژینات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جدول ۱ بازده استخراج آلژینات از برخی گونه‌های جلبک‌های قهوه‌ای را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های آلژینات

مطالعات پیشین بیانگر این است که آلژینات‌های استخراج شده از گونه‌های مختلف جلبکی دارای فعالیت‌های زیست فعالی متعددی از قبیل خواص ضداکسایشی، ضدتوموری، ضدالتهابی و تنظیم سیستم ایمنی باشند. همچنین آلژینات نسبت به تخریب توسط آنزیم‌های آندروژنی انسانی نیز مقاوم بوده و بر این اساس می‌تواند بعنوان ماده پری‌بیوتیکی استفاده گردد (کیانی و همکاران، ۱۳۹۵). علاوه بر اینها، آلژینات‌ها دارای ویژگی‌های رئولوژیکی و امولسیفایری (Hifney *et al.*, 2018؛ جدی و همکاران، ۱۳۹۹) مناسبی نیز هستند (جدول ۱).

[1] Extrusion

جدول ۱: منابع، روش‌های استخراج، بازده و ویژگی‌های آلژینات از جلبک‌های قهوه‌ای

ردیف	منبع استخراج	روش استخراج	بازده استخراج (٪)	ویژگی‌ها	منبع تحقیق
۱	*Sargassum vulgare*	قلیایی	---	ضدتوموری	de Sousa et al., 2007
۲	*Laminaria digitata*	قلیایی	۳۳	---	et al., Vauchel 2008
		اکستروژن	۳۹		
۳	*Sargassum binderi*	قلیایی	۲۸	---	Youssouf et al., 2017
	Turbinaria ornata	فراصوت	۵۴		
۴	*Sargassum latifolium*	قلیایی	۴۰/۴۵	ضداکسایشی	Hifney et al., 2017
				امولسیون کنندگی	
۵	*Sargassum angustifolium*	آب داغ	۳/۳	ضداکسایشی	Borazjani et al., 2017
		اسیدی	۳/۴	تنظیم سیستم	
		آنزیم سلولاز	۳/۴۷	ایمنی	
		آنزیم آلکالاز	۳/۵		
۶	*Colpomenia peregrina*	آب داغ	۳/۸	ضداکسایشی	Rostami et al., 2017
		اسیدی	۴/۸	تنظیم سیستم	
		آنزیم سلولاز	۶/۶	ایمنی	
		آنزیم آلکالاز	۳/۸		
۷	*Cystoseira compressa*	قلیایی	۲۱/۶۵	ضداکسایشی	Hentati et al., 2018
۸	*Cystoseira trinodis*	تخمیر با استفاده از گونه‌های مختلف باکتری	۲۱/۸۲ -۱۷/۴۲	ضداکسایشی	Hifney et al., 2018
۹	*Laminaria digitata*	قلیایی	۲۴	ضداکسایشی	Khajouei et al., 2018
۱۰	*Sargassum cristaefolium*	اکستروژن	۳۴/۹۶	---	Sugiono et al., 2019
۱۱	*Sargassum muticum*	فراصوت	۱۵-۵/۷	ضدتوموری	Flórez-Fernández et al., 2019
۱۲	*Ascophyllum nodosum*	قلیایی	۷۲	پری بیوتیکی	Okolie et al., 2020
		مایکروویو	۵۶		
		فراصوت	۷۰		
		آنزیمی-قلیایی	۹۰		
۱۳	*Sargassum ilicifolium*	قلیایی	۲۰/۸۴	ضداکسایشی	جدی و همکاران، ۱۴۰۰
		آب داغ	۱۹/۵۱	امولسیون کنندگی	
		اسیدی	۲۳/۹۴		
		آنزیم آلکالاز	۱۷/۲۲		
		فراصوت	۱۸/۷۴		
		آنزیمی-فراصوت	۲۴/۰۷		

کاربردهای آلژینات در صنایع مختلف:

آلژینات در محصولات غذایی مختلفی بعنوان عامل ژل کننده، تثبیت کننده، قوام دهنده و امولسیون کننده استفاده شده است. علاوه بر اینها تاکنون مطالعات متعددی در زمینه تهیه و استفاده از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی ساخته شده از آلژینات جهت افزایش مدت زمان نگهداری و جلوگیری از کاهش کیفیت طیف وسیعی از محصولات غذایی همچون گوشت گاو، مرغ، آبزیان، انواع میوه‌ها و سبزیجات گزارش شده است (Puscaselu *et al.*, 2020). آلژینات همچنین در صنایع دیگری همچون محصولات آرایشی-بهداشتی، پزشکی، صنایع رنگ و چاپ، نساجی، کاغذسازی، آبزی‌پروری، کشاورزی و جوشکاری نیز کاربرد دارد. جدول ۲ خلاصه‌ای از کاربردهای آلژینات در صنایع مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲: کاربرد آلژینات در صنایع مختلف

صنعت	کاربرد
صنایع غذایی	عامل ژل کننده، تثبیت کننده، قوام دهنده، امولسیون کننده و همچنین تهیه پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی
محصولات آرایشی-بهداشتی	عامل تغلیظ کننده و آبرسان
پزشکی	تهیه قالب اولیه دندان
صنایع رنگ و چاپ	تثبیت کننده و قوام دهنده رنگ‌ها
نساجی	قوام خمیر چاپ و تثبیت رنگ‌ها روی پارچه
کاغذسازی	افزایش درجه صافی سطح کاغذ، تنظیم جذب جوهر چاپ روی کاغذ و بهبود مقاومت در برابر مچاله شدن کاغذ
آبزی‌پروری	غلیظ کننده و همبند غذای آبزیان
کشاورزی	افزایش محصول
جوشکاری	پوشش میله‌های جوش

فرآیند بازیابی آلژینات از جلبک‌های قهوه‌ای:

مراحل عمومی استخراج پلی ساکارید آلژینات از ماکروجلبک‌های 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 شرب 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 در آمده و تا زمان انجام عمل استخراج در کیسه‌های پلاستیکی زیپ کیپ در فریزر (۱۸- درجه سانتیگراد) نگهداری می‌شوند.

۲- پیش تیمار اولیه جلبک‌ها:

بدین منظور جلبک‌های خشک و پودر شده به نسبت ۱ به ۱۰ (گرم به میلی لیتر) با اتانول ۸۵ درصد مخلوط و به مدت یک شبانه‌روز در دمای محیط روی همزن مکانیکی (۲۰۰۰ دور در دقیقه) قرار داده می‌شوند. بعد از این زمان، قسمت جامد با استفاده از سانتریفیوژ (۹۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) جدا شده و چندین نوبت با استون شستشو می‌شود. در نهایت نمونه‌ها جهت خروج حلال و خشک شدن به مدت یک شبانه‌روز در دمای محیط قرار داده می‌شوند.

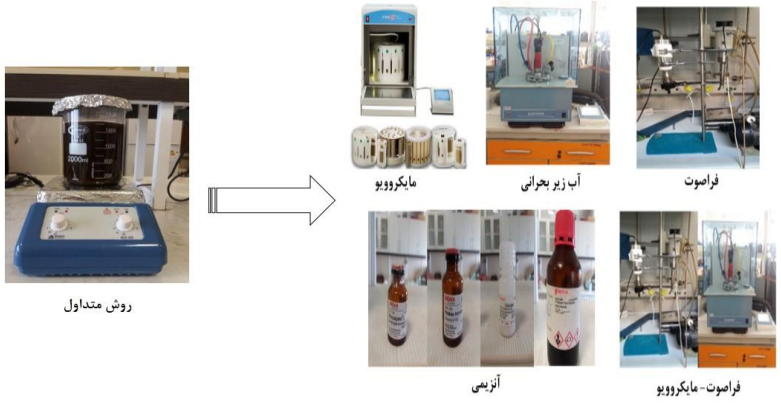
شکل ۳: مراحل آماده سازی و پیش تیمار اولیه جلبک‌ها

۳- پیش تیمار اسیدی جلبک‌ها:

پودر جلبک بدست آمده از مرحله قبل در محلول ۰/۱ مولار اسید هیدروکلریدریک (pH= ۲) به مدت یک شبانه روز قرار داده می‌شود. بعد از اتمام مرحله، فاز جامد از فاز مایع جدا شده و چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده می‌شود تا اینکه pH نمونه‌ها خنثی گردد.

۴- تیمار کردن جلبک‌ها:

بدین منظور در روش متداول (روش قلیایی) نمونه‌های جلبک با محلول ۲-۳ درصد کربنات سدیم به نسبت ۱ به ۲۰ (گرم به میلی لیتر) مخلوط شده و به مدت چندین ساعت در دمای بین ۶۵-۹۰ درجه سانتیگراد روی همزن مغناطیسی قرار داده می‌شوند. همانطور که در قسمت روش‌های استخراج عنوان شد بجای روش قلیایی روش-های نوینِ فراصوت، مایکروویو، آنزیمی، اکستروژن، آنزیمی-فراصوت و تخمیر نیز برای استخراج آلژینات استفاده شده‌اند. در این روش‌ها قبل از استفاده از محلول کربنات سدیم، نمونه‌های جلبک تحت تیمار آنزیم، امواج فراصوت، اشعه مایکروویو، اکستروژن و میکروب‌ها قرار می‌گیرند.



شکل ۴: روش‌های تیمار کردن جلبک‌ها

۵- جداسازی و تغلیظ عصاره جلبک:
بعد از تیمار کردن جلبک‌ها، عصاره جلبک با استفاده از سانتریفیوژ (۹۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) جمع‌آوری شده و سپس توسط دستگاه روتاری در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد تغلیظ می‌گردد.
۶- جداسازی و شستشوی آلژینات:
قسمت مایع بدست آمده از مرحله قبل با اتانول سرد مخلوط شده و به مدت یک شبانه‌روز به منظور رسوب پلی‌ساکاریدهای آلژینات در یخچال قرار داده می‌شود. بعد از این زمان نمونه‌های آلژینات رسوب یافته توسط دستگاه سانتریفیوژ (۹۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) جدا و چندین مرتبه با اتانول و استون شستشو داده می‌شود.
۷- دیالیز آلژینات:
در این مرحله آلژینات حاوی مقداری ناخالصی و همچنین نمک‌های استفاده شده در پروسه استخراج می‌باشد که این ناخالصی‌ها بایستی حذف گردند. بدین منظور پلی ساکارید آلژینات در آب مقطر حل شده و با استفاده از غشاهای مختلف به مدت ۳ الی ۴ روز دیالیز می‌گردد. غشاهای دیالیز درون ظرف حاوی آب مقطر قرار داده شده و در این مدت آب مقطر ظرف چندین بار تعویض می‌گردد.
۸- خشک کردن آلژینات:
به منظور خشک کردن قسمت مایع حاوی آلژینات می‌توان از انواع دستگاههای خشک کن معمولی، خشک کن پاششی (اسپری درایر) و خشک کن انجمادی (فریزدرایر) استفاده کرد.

شکل ۵: جداسازی، دیالیز، خشک کردن و جمع آوری آلژینات

۹- نگهداری آلژینات:
بعد از خشک شدن قسمت مایع، پودر بدست آمده که همان آلژینات می‌باشد، برداشت می‌گردد. بعد از بسته بندی کردن آلژینات، می‌توان آنرا در یخچال و یا فریزر نگهداری کرد. نگهداری در فریزر باعث حفظ بیشتر ویژگی‌های فرآورده نهایی و افزایش مدت زمان نگهداری آن می‌شود.

جمع بندی و توصیه ترویجی

آلژینات یکی از پلی ساکاریدهای استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای بوده که دارای ویژگی‌های زیست فعالی و عملکردی متعددی می‌باشد. این ترکیب یکی از پرکاربردترین ترکیبات استفاده شده در صنایع مختلفی همچون صنایع غذایی، محصولات آرایشی-بهداشتی، پزشکی، صنایع رنگ و چاپ، نساجی، کاغذسازی، صنعت آبزی‌پروری، کشاورزی و جوشکاری بوده و هر ساله مقادیر زیادی ارز برای واردات آن از کشور خارج می‌شود. با توجه به اینکه در سواحل جنوبی کشور حدود ۸۰ گونه

ماکروجلبک قهوه‌ای وجود داشته و برخی از آنها نظیر جنس‌های Sargassum و Nizamuddinia دارای تولیدات طبیعی زیادی بوده و همچنین برخی از این گونه-ها پتانسیل کشت به صورت مصنوعی را دارند لذا پرداختن به فرآوری این جلبک‌ها و استحصال ترکیبات زیست فعال پرکاربردی همچون آلژینات از آنها امری ضروری و مهم می‌باشد. در رابطه با استخراج آلژینات پیشنهاد می‌شود که این فرآیند با استفاده از روش متداول که روشی ساده و ارزان قیمت بوده و در عین حال تولید پایلوت نیمه صنعتی و صنعتی آن راحت می‌باشد، انجام شود. برای برنامه‌های توسعه‌ای می‌توان روش‌های نوین استخراج را نیز مدنظر قرار داشت.

منابع

آل‌بوفتیله، **م.، رضائی، م.، طبرسا، م. ۱۳۹۷.** بررسی ویژگی‌های شیمیایی، عملکردی و زیست فعالی فوکوئیدان و متابولیت‌های ثانویه جلبک *Nizamuddinia zanardinii* استخراج شده به روش‌های حلالی و آنزیمی-فراصوت. رساله دکتری. دانشگاه تربیت مدرس.

جدی، س.، رضائی، م.، آل‌بوفتیله، م. ۱۳۹۹. استخراج و ارزیابی ویژگی‌های ضداکسایشی و امولسیون کنندگی آلژینات استخراجی از جلبک قهوه‌ای *Saragssum ilicifolium*. مجله علمی شیلات ایران. ۲۹(۶): ۱۶۷-۱۷۸.

کیانی، ف.، کلباسی، م.ر.م.ش.، عابدیان، ع.م. ۱۳۹۵. مقایسه تاثیر ارگوسان، آلژینات سدیم و نانو آلژینات سدیم جیره بر شاخص های رشد و سیستم ایمنی بچه ماهیان قزل آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.

Athukorala, Y., Kim, K.N., and Jeon, Y.J., 2006. Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, *Ecklonia cava*. Food and Chemical Toxicology, 44, pp1065–1074.

Borazjani, N. J., Tabarsa, M., You, S., and Rezaei, M., 2017. Effects of extraction methods on molecular characteristics, antioxidant properties and immunomodulation of alginates from *Sargassum angustifolium*. International Journal of Biological Macromolecules, 101, pp703–711.

Fawzy, M.A., Gomaa, M., Hifney, A.F., and Abdel-Gawad, K.M., 2017. Optimization of alginate alkaline extraction technology from *Sargassum latifolium* and its potential antioxidant and emulsifying properties. Carbohydrate Polymers, 157, pp1903-1912.

Flórez-Fernández, N., Domínguez, H., and Torres, M.D. 2019. A green approach for alginate extraction from *Sargassum muticum* brown seaweed using ultrasound-assisted technique. International Journal of Biological Macromolecules, 124, pp451–459.

Hentati, F., Delattre, C., Ursu, A.V., Desbrières, J., Cerf, D.L., Gardarin, C., Abdelkafi, S., Michaud, P., and Pierre, G., 2018. Structural characterization and antioxidant activity of water-soluble polysaccharides from the Tunisian brown seaweed *Cystoseira compressa*. Carbohydrate Polymers, 198, pp589-600.

Herrero, M., Cifuentes, A., and Ibanez, E., 2006. Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: plants, food-by-products, algae and microalgae: a review. Food Chemistry, 98(1), pp136-148.

Hifney, A.F., Fawzy, M.A., Abdel-Gawad, K.M., and Gomaa, M., 2018. Upgrading the antioxidant properties of fucoidan and alginate from *Cystoseira trinodis* by fungal fermentation or enzymatic pretreatment of the seaweed biomass. Food Chemistry, 269, pp387–395.

Khajouei, R.A., Keramat, J., Hamdami, N., Ursa, A.V., Delattre, C., Laroche, C., Cardarin, C., Lecerf, D., Desbrieres, J., Djelveh, G., and Michaud, P., 2018. Extraction and Characterization of an alginate from the Iranian brown seaweed *Nizimuddinia Zanardini*. International Journal of Biological Macromolecules, 118, pp1073-1081.

Khan, S.I., and Satam, S.B., 2003. Seaweed mariculture: Scope and Potential India. Aquaculture Asia, 8(4), pp26-29.

Larsen, B., Salem, D.M.S.A., Sallam, M.A.E., Mishrikey, M.M., and Beltagy, A., 2003. Characterization of the alginates from algae harvested at the Egyptian Red Sea coast. Carbohydrate Research, 338(22):2325-36.

Lee, K.Y., Mooney, D.J. 2012. Alginate: Properties and biomedical applications. Progress in Polymer Science, 37, pp106-126.

Mazumder, A., Holdt, S.L., Francisci, D.D., Morales, M.A., Mishra, H.N., and Angelidaki, I., 2016. Extraction of alginate from Sargassum muticum: process optimization and study of its functional activities. Journal of Applied Phycology, 28, pp3625-3634.

Meillisa, V., Woo, H.C. and Chun, B.C., 2015. Production of monosaccharides and bio-active compounds derived from marine polysaccharides using subcritical water hydrolysis. Food Chemistry, 171, pp70–77.

Morris, E.R., 1977. Order-disorder transition for a bacterial polysaccharide in solution. A role for polysaccharide conformation in recognition between Xanthomonas pathogen and its plant host. Journal of moloculare Biology, 110(1), pp1-16.

Mulloy, B., 2005. The specificity of interactions between proteins and sulfated polysaccharides. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 77, pp651–664.

Okolie, C.L., Mason, B., Mohan, A., Pitts, N., and Udenigwe, C.C., 2020. Extraction technology impacts on the structure-function relationship between sodium alginate extracts and their in vitro prebiotic activity. Food Bioscience, 37, p100672.

Rostami, Z., Tabarsa, M., You, S., and Rezaei, M., 2017. Relationship between molecular weights and biological properties of alginates extracted under different methods from *Colpomenia peregrine*. Process Biochemistry, 58, pp289–297.

Torres, M.R., Sousa, A.P.A., Filho, E.A.T.S., Melo, D.F., Feitosa, J.P.A., de Paula, .C.M., and Lima, M.G.S., 2007. Extraction and physicochemical characterization of *Sargassum vulgare* alginate from Brazil. Carbohydrate Research, 342, pp2067–2074.

Vauchel, P., Kaas, R., Arhaliass, A., Baron, R., and Legrand, J., 2008. A New Process for Extracting Alginates from *Laminaria digitata*: Reactive Extrusion. Food and Bioprocess Technology, 1, pp297–300.

Venkatesan, J., Bhatnagar, I., Manivasagan, P., Kang, H., and Rim, S.K., 2015. Alginate composites for bone tissue engineering: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 72, pp269-281.

Youssouf, L., Lallemand, L., Giraud, P., Soulé, F., Bhaw-Luximon, A., Meilhac, O., et al., 2017. Ultrasound-assisted extraction and structural characterization by NMR of alginates and carrageenans from seaweeds. Carbohydrate Polymers, 166, pp55–63.

A review on sources, extraction methods, properties and applications of alginate extracted from brown seaweeds

Mehdi Alboofetileh*; Samira Jeddi

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

Received: November 2022 Accepted: February 2022

Abstract

Seaweeds contain several biologically active compounds including polysaccharides. Alginate is one of the polysaccharides isolated from brown seaweeds, which conventionally extracted using the alkaline method. In addition, other methods such as enzyme, ultrasound, microwave, enzyme-ultrasound, extrusion and fermentation have been used to extracting alginate. Alginate possess properties such as antioxidant, antitumor, anti-inflammatory, immunomodulatory, prebiotic and emulsifying properties. Based on these properties the alginate is widely used in various industries like food, cosmetic, biomedical, pharmaceutical, dyeing and printing, textile, papermaking, aquaculture, agriculture and welding. The present study reviews sources, process and extraction methods, properties and applications of alginate in the different industries.

Keywords: Seaweeds, Bioactive compounds, Extraction methods, Alginate, Bioactivities

*Corresponding author: alboofetileh@areeo.ac.ir