

ساختار شیمیایی و خواص بیولوژیک پلی ساکاریدهای سولفات شده از جلبک‌های دریایی سبز

زینب رستمی^۱، مهدی طبرسا^{۲*}، مسعود رضایی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فرآوری آبزیان، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲- استادیار، گروه فرآوری آبزیان، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳- استاد، گروه فرآوری آبزیان، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

دریافت: ۹۴/۰۴/۰۷ پذیرش: ۹۴/۰۸/۱۶

*نویسنده مسئول مقاله: m.tabarsa@modares.ac.ir

چکیده:

پلی ساکاریدهای استخراج شده از جلبک‌های سبز از نظر ویژگی‌های ساختاری و مولکولی بسیار ناهمگن می‌باشند. به طور کلی پلی ساکاریدهای سولفات شده جلبک‌های سبز حاوی مقادیر متفاوتی از رامنوز (۱۶۷۵-۴۵۰٪)، زایلوز (۲۱-۱۲٪)، گلوکز (۵-۶٪)، یورونیک اسید (۷۵-۱۹٪) و سولفات (۱۶۷۰-۲۳٪) هستند و واحدهای ساختاری آن‌ها عمدتاً از β -D-GlcpA-(1 \rightarrow 4) α -L- هستند. وزن مولکولی در پلی ساکاریدهای سولفات شده از $10^3 \times 93/4$ تا $10^3 \times 1690$ گرم/مول متغیر می‌باشد. اثرات بیولوژیکی پلی ساکاریدهای سولفات شده جلبک‌های دریایی عبارتند از: به تنظیم‌کنندگی سیستم ایمنی، سرکوب‌کنندگی رشد سلول‌های سرطانی، ضد اکسیدانی، کاهندگی چربی خون، ضد ویروسی و ضد انعقادی. اثرات بیولوژیکی پلی ساکاریدهای سولفات شده می‌تواند با توجه به تغییر ویژگی‌های مولکولی و ساختار شیمیایی آن‌ها از یک گونه به گونه دیگر متفاوت باشد. نهایتاً، با توجه به این موضوع که محیط بسیار متغیر دریایی نیز می‌تواند به میزان قابل توجهی در افزایش تفاوت‌های ساختاری پلی ساکاریدهای سولفات شده تأثیر گذار باشد، لذا انجام مطالعات بیشتر بر روی گونه‌های مختلف به منظور درک بهتر عملکرد و کاربردهای آن ضروری است.

کلید واژگان: جلبک‌های دریایی، اولون، غذاهای عملکردی، ساختار شیمیایی، فعالیت بیولوژیک

مقدمه

شیوه زندگی مردم جهان در قرن بیستم میلادی با تغییرات اساسی‌ای مواجه بوده که روند آن با عواملی نظیر انقلاب دیجیتال، افزایش رفاه اجتماعی، افزایش قدرت خرید مردم و کاهش فعالیت‌های فیزیکی روزانه تشدید شده است. شاید اولین نقطه‌ای که این دگرگونی‌ها در زندگی بشر به‌وضوح دیده شد، تغییر در الگوی غذایی جوامع انسانی باشد. به‌تدریج مصرف غذاهای با کالری بالا که حاوی مقادیر فراوان شکر و چربی‌های اشباع هستند افزایش یافت و اثرهای مخرب آنها بر سلامتی انسان با افزایش سریع آمارهای جهانی در خصوص بیماری‌های مزمن از قبیل چاقی، اختلالات عروق کرونری قلب، فشار خون، دیابت، روماتیسم، سرطان و غیره آشکار شد. آمار سازمان بهداشت جهانی بیانگر آن است که از مجموع ۵۸ میلیون مرگ و میر سالانه، سهم بیماری‌های مزمن عدد قابل توجه ۳۵ میلیون نفر است (WHO, 2011). با این اوصاف بار دیگر نظرها به این سخن معروف از بقراط در ۴۰۰ سال پیش از میلاد جلب شد که بیان می‌دارد: «اجازه دهید غذا داروی شما و دارو غذای شما باشد». این تغییر نگرش در اهمیت تغذیه سبب افزایش تقاضای جهانی برای استفاده از غذاهای عملکردی^۱ و ترکیبات غذا-دارو شد. این امر سبب شد که صنایع غذایی نیز الگوی تولید خود را از تمرکز صرف بر روی نگهداری، بهبود کیفیت و افزایش ارزش تغذیه‌ای به‌سوی محصولات غذایی با قابلیت حفظ سلامت مصرف‌کنندگان تغییر دهند. در حقیقت این محصولات غذایی حاوی ترکیباتی هستند که علاوه بر داشتن ویژگی‌های تغذیه‌ای می‌توانند در هر دو سطح پیشگیری و درمان بیماری‌ها نیز سودمند واقع شوند.

چنانچه منابع غذایی به دو بخش خشکی و دریایی تقسیم شود، پهنه‌های آبی به‌دلیل وسعت زیاد، اهمیت فوق‌العاده‌ای در جلب توجه جوامع انسانی به‌عنوان منبع قابل اتکا برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای ایفا می‌کنند. بیش از ۷۰ درصد سطح کره زمین را محیط‌های آبی با تنوع زیستی گسترده پوشانده است که در سال‌های اخیر توجه محققان بی‌شماری را برای جستجوی ترکیبات غذا-دارو به خود جلب کرده است (Qi et al., 2005). در میان موجودات آبی، جلبک‌های دریایی به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر به‌صورت پرورشی و یا وحشی مدت زمان زیادی است که در رژیم‌های غذایی نواحی مختلف کره زمین به‌ویژه در کشورهای آسیایی مانند چین، ژاپن و کره استفاده می‌شوند (Wang et al., 2009; Nahas et al., 2007). طبع آمارهای سازمان خواروبار جهانی، میزان تولید جهانی جلبک‌های دریایی پرورشی در سال ۲۰۱۱ بیش از ۲۱ میلیون تن بوده است (FAO, 2013). جلبک‌های دریایی به‌دلیل مقادیر پایین چربی‌های اشباع، کالری کم، میزان فراوان کربوهیدرات‌ها و نیز ویژگی‌های زیستی مانند خواص ضد باکتریایی، ضد اکسیداسیونی، ضد ویروسی و ضد قارچی، به مواد طبیعی پرکاربردی در صنایع غذایی و دارویی تبدیل شده‌اند (Quiros et al., 2010; Ruberto et al., 2001; Holdt et al., 2011). همچنین جلبک‌های دریایی دارای مقادیر بالای مواد معدنی، فیبرهای رژیمی، ویتامین‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای چرب چند غیراشباع هستند (Kuda et al., 2005; Souza; Quiros et al., 2010; et al., 2011).

تاکنون انواع متنوعی از جلبک‌های دریایی شناسایی شده‌اند که در سه گروه جلبک‌های سبز (Chlorophyta)، قهوه‌ای (Pheophyta) و قرمز (Rhodophyta) طبقه‌بندی می‌شوند (Chandini et al., 2008). جلبک‌های دریایی

1 Functional foods
2 Nutraceuticals

از میان پلی ساکاریدهای منابع دریایی، پلی ساکاریدهای استخراج شده از جلبک‌های سبز با وجود پراکنش گسترده و تنوع گونه‌ای فراوان کمتر بررسی شده‌اند (Cho et al., 2010). مطالعات نشان می‌دهد که پلی ساکاریدهای جلبک‌های سبز علاوه بر ویژگی‌های خاص رئولوژیکی، از نظر بیولوژیکی نیز حائز اهمیت بوده و توانایی قابل توجهی در جلوگیری از انعقاد خون، کاهش تکثیر و پراکندگی سلول‌های سرطانی، کنترل فرایند التهاب، کاهش کلسترول خون، کنترل واکنش‌های اکسیداسیونی، از بین بردن ویروس‌ها، ترمیم زخم و محافظت پوست در برابر اشعه فرابنفش دارند (Gurgel Rodrigues et al., 2011; Zubia et al., 2009).

بخش اول: بررسی ساختار پلی ساکاریدهای سولفات‌ها در

جلبک‌های دریایی سبز

جلبک‌های سبز واجد طیفی گسترده از پلی ساکاریدهای سولفات‌ها هستند که از جمله آنها می‌توان به اولون‌های جنس‌های *Enteromorpha* و *Ulva*، رامانان‌های جنس *Monostroma*، منان‌های جنس *Codium* و گالاکتان‌های جنس *Caulerpa* اشاره کرد (جدول ۱) (Wang et al., 2014).

حاوی ترکیبات مغذی شامل لیپیدها، پروتئین‌ها، پتیدها، پلی ساکاریدها، رنگ‌دانه‌ها و متابولیت‌های ثانویه نظیر ترکیبات فنولیک هستند (Wang et al., 2014). دسته‌ای از ماکرومولکول‌ها که به تازگی توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است، پلی ساکاریدهای سولفات‌ها می‌باشند. پلی ساکاریدهای سولفات‌ها در دیواره سلولی جلبک‌ها وجود دارد و ساختار شیمیایی آنها با توجه به نوع گونه جلبکی متفاوت است (Burtin et al., 2003). این ترکیبات در صنایع غذایی، دارویی، بهداشتی - آرایشی، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی کاربرد فراوانی دارند (Chandini et al., 2008). پلی ساکاریدهای سولفات‌ها دارای کاربردهای تجاری متنوعی هستند و در صنعت به‌عنوان تثبیت‌کننده، قوام‌دهنده، امولسیفایر و همچنین در مواد غذایی و نوشیدنی‌ها نیز استفاده می‌شوند (Tseng, 2001). از این‌رو، در طی سال‌های اخیر، استخراج پلی ساکاریدها از جلبک‌های دریایی و تعیین ویژگی‌های شیمیایی و خواص بیولوژیکی آنها توجه دانشمندان زیادی را به خود جلب کرده است. عمده‌ترین پلی ساکاریدهای استخراج شده از جلبک‌های دریایی عبارتند از: فوکوئیدان و لامینارن از جلبک‌های قهوه‌ای، کاراژینان‌ها از جلبک‌های قرمز و اولون از جلبک‌های سبز (Wijesekara et al., 2011).

جدول ۱ توالی ساختاری پلی ساکاریدهای سولفات‌های جلبک‌های سبز

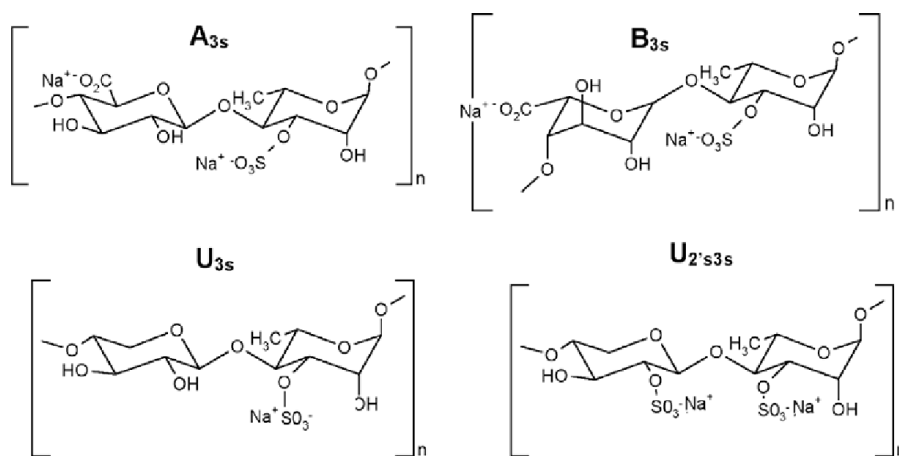
گونه	توالی ساختاری	نویسنده	سال
<i>U. pertusa</i>	$[\beta\text{-D-GlcpA-(1} \rightarrow 4)\alpha\text{-L-Rhap3s}]$ and $[\alpha\text{-L-IdopA-(1} \rightarrow 4)\alpha\text{-L-Rhap3s}]$	Qi et al.	۲۰۱۲
<i>M. latissimum</i>	$(\rightarrow 3)\alpha\text{-L-Rhap(2SO}_4\text{)-(1} \rightarrow 3)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap-(1} \rightarrow \text{)}, [\rightarrow 3)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap(2SO}_4\text{)-(1} \rightarrow 2)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap-(1} \rightarrow \text{)}, [\rightarrow 3)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap-(1} \rightarrow 2)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap(3SO}_4\text{)-(1} \rightarrow \text{)},$ and $[\rightarrow 3)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap(2SO}_4\text{)-(1} \rightarrow 2,3)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap-(1} \rightarrow \text{]}$	Li et al.	۲۰۱۱
<i>U. clathrata</i>	4-O- β -Dglucuronosyl- α -L-rhamnose and 1,4-linked β -D-xylose	Hernandez-Garibay et al.	۲۰۱۱
<i>M. nitidum</i>	$\alpha\text{-L-Rhap-(1} \rightarrow 4)\text{-D-Xyl}$ and $(\rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-GlcpA-(1} \rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap}$	Karnjanapratum et al.	۲۰۱۱
<i>E. prolifera</i>	$\alpha\text{-L-Rhap(1} \rightarrow 4)\text{-D-Xyl}$ and $(\rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-GlcpA-(1} \rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-L-Rhap}$	Cho et al.	۲۰۱۰

<i>U. pertusa</i>	(β -D-GlcA-(1 \rightarrow 4)- α -L-Rhap 3S) and (α -L-IdopA-(1 \rightarrow 4)- α -L-Rhap 3S)	Yu et al.	۲۰۰۳
-------------------	---	-----------	------

ساختار اولونها

L-Rha یافت می‌شوند (شکل ۱). همچنین، گزارش‌های منتشر شده بر روی پلی‌ساکاریدهای به دست آمده از جلبک‌های سبز *U. lactuca*، *Enteromorpha compressa*، *U. rigida* و *U. arasaki* نشان می‌دهد که این گونه‌ها نیز حاوی مقادیر متفاوتی از رامنوز (۱۶/۵-۴۵/۰ درصد)، زایلوز (۲/۱-۱۲/۰ درصد)، گلوکز (۰/۵-۶/۴ درصد)، یورونیک اسید (۶/۵-۱۹/۰ درصد) و سولفات (۱۶/۰-۲۳/۲ درصد) هستند (Lahaye and Robic, 2007; Li et al., 1994; Reviere and Leproux 1993).

اولون یک پلی‌ساکارید اسیدی محلول در آب است که در جلبک‌های خانواده *Ulvaceae* یافت می‌شود. مطالعات اولیه انجام شده بر روی پلی‌ساکارید جلبک *Ulva lactuca* نشان داد که این پلیمر از ترکیبات اصلی شامل رامنوز، زایلوز، گلوکرونیک اسید و سولفات تشکیل شده است (Brading et al., 1954). نتایج بیانگر آن است که در این گونه، گلوکرونیک اسید و رامنوز به صورت آلدوبیورونیک اسید (aldobiouronic acid) و 4-O- α -D-glucuronosyl- و



شکل ۱. ساختار واحدهای تکرار شونده آلدوبیورونیک اسید و آلدوبیوز پلی‌ساکارید اولون (Robic et al., 2009)



همچنین روش های مختلف استخراج تشدید می شود (Lahaye and Robic, 2007).

ساختار رامانانها

این دسته از پلی ساکاریدها که در جلبک های سبز جنس *Monostroma* یافت می شوند، دارای ساختاری متفاوت تر نسبت به اولون ها هستند. این پلی ساکاریدها حاوی مقادیر فراوانی رامنوز هستند که از طریق پیوندهای α -(1→3) و α -(1→2) با نسبت مولی ۲:۳ با یکدیگر متصل می شوند (Wang et al., 2014). یافته ها نشان می دهد که استرهای سولفات از طریق یکی از کربن های شماره ۲، ۳ و ۴ مونومرهای رامنوز با زنجیره اصلی پلیمر اتصال دارند (Mao et al., 2009). پلی ساکاریدهای استخراج شده از گونه *Monostrom nitidum* متشکل از اتصالات α -(3→1) رامنوز بوده و گروه های سولفات در موقعیت کربن شماره ۲ واقع شده اند (Harard, et al., 1998). رامانان به دست آمده از *M. latissimum* از نظر ساختاری با رامانان های استخراج شده از گونه های مشابه کمی متفاوت بوده و متشکل از واحدهای α -(1→2)، α -(1→3) ، و α -(1→2,3) رامنوز است. همچنین گروه های سولفات بر روی کربن شماره ۲ واحدهای α -(1→3) و کربن شماره ۳ واحدهای α -(1→2) رامنوز جایگزین شده اند (Li et al., 2011).

ساختار منانها

منانها، از اجزای اصلی فیبریلار دیواره سلولی جلبک های جنس *Codium* هستند. کربوهیدرات های به دست آمده از دیواره سلولی *Codium vermilara*، نشان داده اند که در حقیقت منان های سولفات خنثی با پیوندهای β -(1→4) می باشند. به علاوه، در مولکول های منان، گروه

بعدها حضور مقادیر کمی از آیدورونیک اسید (iduronic acid) به میزان ۱/۱-۹/۱ درصد در ساختار پلی ساکاریدهای اولون تأیید شد (Quemener et al., 1997). به علاوه، به تازگی مقادیری از مانوز، گالاکتوز و آرابینوز نیز در جلبک های *U. conglobata* و *E. clathrata* مشاهده شده است که بررسی ها نشان می دهد این مونوساکاریدها در ساختار اولون شرکت نداشته و تنها به عنوان یک پلی ساکارید مجزا وجود دارد (Mao et al., 2006; Qi et al., 2012). براساس مطالعات انجام شده پلی ساکاریدهای استخراج شده از جنس *Enteromorpha* از واحدهای α -(1→3)- α -(1→4)- α -(1→3,4) و β -(1→4)- β -(1→3,4) و α -(1→2,3,4) رامنوز تشکیل شده اند (Wang et al., 2014).

یافته های حاصل از آنالیز پلی ساکارید به دست آمده از جلبک *U. lactuca* نشان می دهد که واحدهای α -(1→4) رامنوز بخش اصلی ساختار این پلی ساکارید را تشکیل داده و گروه آنیونی سولفات بر روی کربن شماره ۳ قرار گرفته است. جدای از ساختار شیمیایی، پلی ساکاریدهای استخراج شده از جلبک های سبز از نظر ویژگی های مولکولی نیز منحصر به فرد هستند. گزارش ها حاکی از دامنه ای وسیع از وزن مولکولی برای اولون ها است که در محدوده ای بین ۱۵۰ تا ۲۰۰۰ کیلو دالتون متغیر بوده و نشان دهنده ناهمگونی مولکولی شدید در این دسته از پلی ساکاریدها است (Lahaye and Robic, 2007). این ناهمگونی در وزن مولکولی اولون ها با عواملی نظیر تمایل پلیمرها برای تشکیل مولکول های بزرگ تر، حضور پلی ساکاریدهای غیرهدف، تفاوت های گونه ای و در نتیجه محتوای مونوساکاریدی متفاوت و

سولفات بر روی کربن شماره ۲ بیش از ۲۳ درصد از مونوساکاریدهای مانوز قرار گرفته‌اند که سطوح بالای گروه‌های سولفات، سبب حلالیت بیشتر این پلیمرها در مقایسه با منان‌های غیرسولفات می‌شود (Fernandez et al., 2012). مطالعات بیشتر نشان داد که نوع اتصالات مونومرهای منان بسته به نوع گونه می‌تواند متفاوت باشد و برای مثال پیوندهای گلیکوزیدی در گونه *Codium fragile* (۳→۱)- β است (Tabarsa et al., 2013).

ساختار گالاکتان‌ها

گالاکتان‌ها، پلی‌ساکاریدهای سولفات مشتق شده از جنس *Caulerpa* هستند که از پیچیدگی ساختاری و مولکولی قابل توجهی برخوردارند. پلی‌ساکاریدهای محلول در آب این جنس از جلبک‌ها بیشتر از گلوکان و پلی‌ساکاریدهای سولفات تشکیل شده‌اند (Wang et al., 2014). به‌طورکلی این پلی‌ساکاریدهای سولفات، گالاکتان‌های سولفات هستند (Chattopadhyay et al., 2013; Gurgel Rodrigues et al., 2007). در مجموع پلی‌ساکاریدهای سولفات *Caulerpa* از گالاکتان‌های سولفات همگن و ناهمگن تشکیل شده‌اند. با این حال، ترکیب شیمیایی و برخی از شاخص‌های ساختاری محصولات آنها ممکن است متناسب با گونه،

روش استخراج، فصل برداشت و شرایط آب و هوایی محلی متفاوت باشد (Shevchenko, et al., 2009). به‌طورکلی، پلی‌ساکاریدهای سولفات این جنس از جلبک‌های دریایی هتروپلی‌ساکارید و شامل مونوساکاریدهای مختلفی هستند. در این پلی‌ساکاریدها، گالاکتوز قند اصلی است، در حالی‌که زایلوز، گلوکز، و مانوز در مقادیر کمتری یافت می‌شوند (Wang et al., 2014). Ghosh و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که پلی‌ساکارید به‌دست آمده از حلال آب گرم *Caulerpa racemosa* از قندهای گلوکز، آرابینوز، زایلوز و گالاکتوز تشکیل شده است. آزمایش‌های بیشتر بیانگر این بود که پلی‌ساکارید به‌دست آمده به‌طور عمده حاوی اتصالات (۱→۳) و (۱→۶،۳) گالاکتوز، (۱→۴،۳) آرابینوز، (۱→۴) گلوکز و (۱→۴) زایلوز انتهایی است.

بخش دوم: فعالیت‌های بیولوژیکی پلی‌ساکاریدهای سولفات جلبک‌های سبز

در جدول ۲، برخی از مطالعاتی که در سال‌های اخیر بر روی فعالیت بیولوژیکی پلی‌ساکاریدهای سولفات جلبک‌های سبز انجام شده، نشان داده شده است.

جدول ۲ فعالیت‌های بیولوژیکی جلبک‌های سبز

سال	نویسنده	نتایج بیولوژیکی	فعالیت بیولوژیکی	گونه
۲۰۱۳	Teng et al.,	افزایش وزن بدن، TG پلاسما، TC، سطح LDL پلاسما، TG کبد و وزن کبد کاهش یافت.	فعالیت ضد چربی خون	<i>E. prolifera</i>
۲۰۱۳	Gurgel Rodrigues et al.,	SPI سبب اختلالات کبدی و کلیوی نشد اما روی طحال اثر گذاشت و دارای اثر ضدردی با مقاومت بالاروی حیوانات	فعالیت ضد ردی	<i>C. cupressoides</i> var. <i>lycopodium</i>
۲۰۱۲	Qi et al.	سبب کاهش TG و LDL-C و افزایش HDL-C	فعالیت ضد چربی خون	<i>U. pertusa</i>

<i>U. lactuca</i>	فعالیت ضد ویروسی	جلوگیری از جذب ویروس در نتیجه ویروس نمی‌تواند وارد سلول شود.	Chiu et al.,	۲۰۱۲
<i>M. latissimum</i>	فعالیت ضد انعقادی	سبب افزایش TT و APTT و کاهش PT شد.	Li et al.	۲۰۱۱
<i>Haematococcus lacustris</i>	محرک فعالیت‌های دستگاه ایمنی	تحریک سلول‌های ماکروفاژ برای ترشح سایتوکین‌های پیش التهابی، TNF- α و افزایش بیان ژن COX-2 و iNOS	Park et al.,	۲۰۱۱
<i>E. intestinalis</i>	فعالیت آنتی توموری و تنظیم سیستم ایمنی	مهار رشد سلول‌های توموری، افزایش نسبی وزن طحال و تیموس، و افزایش بیان فاکتور نکروز کننده تومور- α (TNF- α) در سرم خون	Jiao et al.	۲۰۱۰
<i>E. prolifera</i>	تحریک سیستم عصبی و ایمنی	تحریک اولیه سلول‌ها برای تولید مقدار قابل توجه اکسید نیتریک و اثر روی سلول‌های سرطانی	Cho et al.	۲۰۱۰
<i>C. fulvescens</i>	تحریک سیستم ایمنی	انتشار سایتوکاین‌های پیش التهابی، TNF- α و IL-6	Na et al.	۲۰۱۰
<i>C. fragile</i>	اثر ضد ویروسی	به‌طور مستقیم نرخ عفونت ویروسی را کاهش داد و تکثیر گونه ویروسی تب خال را مهار کرد.	Ohta et al.	۲۰۰۹
<i>C. racemosa</i>	فعالیت ضد تومور	اثر مهارکنندگی بالایی بر روی سلول‌های سرطانی داشتند	Ji et al.	۲۰۰۸

فعالیت تنظیم‌کنندگی سیستم ایمنی و ضدسرطانی

سیستم ایمنی بخشی از بدن است که وظیفه شناسایی سلول‌ها و مولکول‌های خودی از بیگانه و در نتیجه از بین بردن و یا بی‌خطر کردن آنها را بر عهده دارد. ایمنی ذاتی، اولین خط ایمنی است که مانند سد در مقابل عوامل بیماری‌زا عمل کرده و انسان را در برابر هجوم مستمر میکروآگانیسم‌هایی که بر روی پوست و یا درون بدن قرار دارند، محافظت می‌کند (Hoffmann et al., 2011). ایمنی ذاتی، در بخش سلولی از یک طرف می‌تواند از طریق سلول‌های کشنده به‌صورت مستقیم سلول‌های غیرخودی را شناسایی و سپس از پای درآورد و از طرف دیگر می‌تواند از طریق سلول‌های دندریتیک و با فراهم کردن آنتی‌ژن برای سلول‌های T سبب آغاز پاسخ ایمنی اکتسابی شود (Medzhitov and Janeway, 2002). همچنین، سلول‌های فاگوسیت‌کننده نظیر ماکروفاژها و نوتروفیل‌ها بخش دیگری از پاسخ ایمنی ذاتی هستند که به

میکروآگانیسم‌های مهاجم حمله کرده و آنها را از بین می‌برند (Medzhitov and Janeway, 2002).

ماکروفاژها علاوه بر نقشی که در بیگانه‌خواری عوامل خارجی ایفا می‌کنند، اگر تحریک شوند ترکیبات التهابی شامل نیتریک اکسید (NO)، ایتنرلوکین‌ها، فاکتور نکروز توموری (TNF) و پروستاگلاندین را تولید و به محیط اطراف خود رهاسازی می‌کنند (Mosser and Edwards, 2008). این ترکیبات که بخش همورال سیستم ایمنی ذاتی را شکل می‌دهند، می‌توانند هم به‌طور مستقیم روی پاتوژن‌ها اثر کنند و هم به‌عنوان واسطه‌گرهای بین سلولی عمل نمایند (Mosser and Edwards, 2008). همچنین، ماکروفاژها پس از تحریک می‌توانند سبب جلوگیری از رشد سلول‌های سرطانی شوند که در این فرایند نیتریک اکسید رها شده به سبب داشتن ویژگی سیتوتوتیک نقش اساسی دارد (Palmer et al., 1988).

پلی‌ساکاریدهای گیاهی از ترکیبات مهمی هستند که در آزمایش‌های بالینی اثرهای امیدوارکننده‌ای را نشان داده و

لیتر) به‌عنوان محرک تأیید شده بود. در پایان، با توجه به نتایج به‌دست آمده، نویسندگان بیان داشتند که پلی‌ساکارید سولفات به‌دست آمده از جلبک *U. pertusa* به‌سبب قابلیت در فعال‌سازی سلول‌های ماکروفاژ و رهاسازی ترکیبات التهابی می‌تواند به‌عنوان یک محرک سیستم ایمنی مورد مطالعات بیشتر قرار گیرد. همچنین، پژوهشگران در مطالعات بعدی نشان دادند که این پلی‌ساکارید از واحدهای β -(1→4)-D- α -(1→4)-L-rhamnopyranosyl glucuronosyl و β -(1→2)-L-rhamnopyranosyl (Tabarsa et al., 2012) تشکیل شده است (al., 2012).

در ارتباط با درمان سرطان باید به این نکته توجه داشت که علاوه بر هزینه‌های گزافی که دوره درمان می‌تواند بر بیمار و سیستم درمانی تحمیل کند، شیوه‌های متداول درمان نظیر جراحی، شیمی‌درمانی، رادیودرمانی و هورمون‌درمانی همیشه همراه با عوارض جانبی شدیدی نظیر ریزش مو، ناباروری، التهاب مزمن، بیماری‌های قلبی و غیره هستند (Tang et al. 2012). این در صورتی است که پلی‌ساکاریدهای جلبکی در عین حال که فاقد اثرهای جانبی هستند، دارای قابلیت مبارزه با سلول‌های سرطانی به‌صورت مستقیم نیز می‌باشند. براساس یافته‌های به‌دست آمده، این پلی‌ساکاریدها نه تنها می‌توانند با رادیکال‌های آزاد واکنش داده و با غیرفعال کردن آنها از بروز سرطان پیشگیری کنند، بلکه این ظرفیت را نیز دارند که مقابله با سرطان را از سه طریق آپوپتوز یا مرگ برنامه‌ریزی شده سلول، جلوگیری از متاستاز یا عدم اتصال سلول به غشای پایه و آنژیوژنز یا عدم شکل‌گیری رگ‌های خونی در تومورهای سرطانی انجام دهند (Wijesekara et al., 2011; Kwon and Nam, 2006; Rocha et al., 2005). البته، در

به‌عنوان محرک سیستم ایمنی شناخته می‌شوند (Block and Mead, 2003). به‌تازگی علاوه بر پلی‌ساکاریدهای منشأ گیاهان دارویی و قارچ‌ها، توجه پژوهشگران به جلبک‌های سبز نیز برای دستیابی به پلیمرهایی با قابلیت فعال‌سازی سلول‌های ماکروفاژ جلب شده است (Tabarsa et al., 2012; 2013). در این راستا، می‌توان از مطالعه‌ای که Leiro و همکاران (2007) بر روی پلی‌ساکاریدهای استخراج شده از جلبک *U. rigida* انجام دادند، نام برد. پلی‌ساکارید به‌دست آمده در این بررسی دارای دی‌ساکاریدهای گلوکرونیک اسید و رامنوز بوده و نشان دادند که در صورت تماس با سلول‌های ماکروفاژ موش (RAW264.7) می‌تواند سبب تحریک سلولی و در نتیجه رهاسازی نیتریک اکسید و پروستاگلاندین E_2 شوند. به‌علاوه، حذف شیمیایی گروه‌های سولفات از زنجیره پلی‌ساکاریدی سبب از دست رفتن قابلیت آنها در تحریک سلولی می‌شود.

پلیمری ناهمگن با دامنه وزن مولکولی $10^3 \times 93/4$ تا $10^3 \times 1690$ گرم/مول از دیگر پلی‌ساکاریدهایی بود که از گونه *U. pertusa* ابتدا استخراج و سپس توسط رزین DEAE Sepharose تخلیص شد (Tabarsa et al., 2012). این پلی‌ساکارید با داشتن $14/4$ درصد سولفات و $16/1$ درصد یورونیک اسید در ساختار خود، دارای زنجیره‌ای حاوی مونوساکاریدهای رامنوز ($80/7$ درصد)، گلوکز ($16/4$ درصد) و زایلوز ($2/80$ درصد) بود. آزمایش‌های سلولی نشان داد که این پلی‌ساکارید در غلظت $12/5$ میکروگرم بر میلی‌لیتر می‌تواند سلول‌های RAW264.7 را وادار به ترشح نیتریک اکسید (۲۹ میکرومول/میلی‌لیتر) کند که قابل مقایسه با میزان به‌دست آمده برای لیپوبلی‌ساکارید باکتریایی (۳۰ میکرومول/میلی

Kim et al., ; Cho et al., 2010) اشاره کرد *prolifera* از پلی ساکارید استخراج شده از *E. proliferata* واجد زنجیره‌ای متشکل از واحدهای رامنوز حاوی سولفات (۵.۱۴ درصد) و یورونیک اسید (۸.۱۳ درصد) در ساختار خود است. آزمایش‌های انجام شده بر روی رده‌های سلولی نشان داد که این پلی ساکارید دارای آثار بازدارندگی ضعیفی بر روی سلول‌های سرطانی AGS است. در مقابل، این پلیمرها دارای پتانسیل قوی در تحریک رشد و فعال‌سازی سلول‌های ماکروفاژ موش هستند (Cho et al., 2010). در آزمایش‌های درون تنی با استفاده از موش‌های BALB/c نیز پلی ساکاریدهای *E. proliferata* منجر به رهاسازی مولکول‌های IFN- λ و IL-2 می‌شوند و می‌توانند سلول‌های T را فعال کنند (Kim et al., 2011).

فعالیت ضد اکسیدانی

اثر رادیکال‌های آزاد فعال مانند $\text{OH}\cdot$ ، COO^- ، O_2^- بر سیستم‌های زنده همواره موضوع تحقیقات فراوانی بوده است (Ruberto et al., 2001). این ترکیبات بسیار ناپایدار و فعال هستند و از طریق واکنش‌های زنجیره‌ای آثار مخربی بر سلول‌های زنده، DNA و غشاهای سلولی دارند که از آن جمله می‌توان به جهش‌های منجر به مرگ سلولی یا سرطان، دیابت، عملکرد غیرعادی ریوی، دیستروفی عضلانی، آب مروارید، ورم مفاصل، تصلب شرائین، آسیب‌های بافتی و بعضی عوارض و اختلالات عصبی مانند آلزایمر اشاره کرد (Kumar ; Ruberto et al., 2001 ; Chew et al., ; Rastian et al., 2007 ; et al., 2008 ; Ganesan et al., 2008 ; 2008).

پلی ساکاریدهای جلبکی، اگرچه تا چندی پیش به‌عنوان یک منبع بالقوه برای مقابله با واکنش‌های اکسیداسیونی مطرح نبودند، اما مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر

این میان برخی از پلی ساکاریدها نشان داده‌اند که فاقد هرگونه فعالیت در توقف رشد سلول‌های سرطانی در محیط آزمایشگاهی هستند، درحالی‌که در مدل‌های حیوانی توانسته‌اند سبب توقف و سرکوب تومورهای سرطانی در موش‌های آلوده شوند (Jiao et al., 2009). این قبیل مشاهدات سبب شد که فرضیه مقابله با تومورهای سرطانی در موش‌ها توسط سیستم ایمنی بدن تقویت گردد که خود انجام مطالعات گوناگون بر روی قابلیت پلی ساکاریدها در تحریک و تنظیم سیستم را در پی داشته است (Perez-Tabarsa et al., ; Kim et al., 2011 ; Recalde et al., 2014 ; al., 2013). بررسی‌ها بر روی جنس‌های دیگر جلبکی نیز حاکی از حضور پلی ساکاریدهای تحریک‌کننده سیستم ایمنی، اما با ساختار شیمیایی متفاوت است. برای مثال، جلبک *Capsosiphon fulvescens* حاوی پلی ساکاریدی با ساختار رامنومانان (Rhamnomannan) است که با وزن مولکولی $10^3 \times 1222$ گرم/مول، باوجود عدم بازدارندگی در رشد سلول‌های سرطانی دهانه رحم (HeLa)، می‌تواند سلول‌های RAW264.7 را به میزان قابل توجهی تحریک کند. همچنین، این پلی ساکارید فاقد هر گونه اثر سیتولیتیک بر روی سلول‌های سالم است (Karnjanapratum et al., 2012). همان‌طور که در بالا نیز اشاره شد، اختلاف در ساختار سبب ایجاد تفاوت در نوع و میزان فعالیت بیولوژیک پلی ساکاریدهای استخراج شده می‌شود. برای مثال، گلوکورامنان (Glucorhamnan) به‌دست آمده از جلبک *M. nitidium* علاوه بر قابلیت تحریک سلول‌های RAW264.7 می‌تواند از رشد سلول‌های سرطانی معده (AGS) و دهانه رحم (HeLa) به ترتیب به میزان ۸۰ و ۴۰ درصد نیز جلوگیری کند (Karnjanapratum et al., 2011). درباره پلی ساکاریدهای جنس *Enteromorpha* نیز می‌توان به گزارش‌های منتشر شده بر روی جلبک *E.*

دارای چگالی کم (LDL)، TG کبد و وزن کبد را کاهش دادند. این در حالی است که میزان چربی مدفوع، کلسترول و لیپوپروتئین‌های دارای چگالی بالا (HDL) در پلازما در طی شش هفته آزمون تغذیه افزایش یافت. (Teng et al., 2013). همچنین در تغذیه موش‌های با رژیم غذایی کلسترول بالا که به مدت سه هفته با اولون‌های *U. pertusa* تیمار شدند، کاهش کلسترول کل و LDL سرم، بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای در تری‌گلیسرید سرم مشاهده شد. اولون‌های هیدرولیز شده با وزن مولکولی پایین نشان دادند که توانایی کاهش کلسترول سرم خون را نداشته، درحالی‌که می‌توانند سطح تری‌گلیسرید خون را پایین نگه دارند (Yu et al., 2003).

فعالیت ضد ویروسی

مشاهدات اولیه بر روی فعالیت ویروسی ترکیبات جلبک‌های دریایی به بیش از نیم قرن پیش برمی‌گردد که در طی آن مشاهده شد که عصاره جلبک‌های دریایی از جنین مرغ در برابر آنفلوآنزای نوع B و اوربون محافظت می‌کند (Gerber, et al., 1958). تاکون نیز توانایی پلی‌ساکاریدهای جلبک‌های دریایی برای مهار تکثیر ویروس‌های تب‌خال (HSV)، نقص ایمنی انسانی یا ویروس ایدز (HIV)، سیتومگالوویروس انسانی (CMV)، تب دانک، سینسیتیشیال تنفسی مورد مطالعه قرار گرفته است (Luescher-Mattli et al.; Witvrouw et al., 1997). Ghosh et al., 2003 و همکاران (2004) گزارش کردند که بخش پلی‌ساکاریدی *C. racemosa* دارای فعالیت ضد ویروسی است و این پلی‌ساکارید یک پلیمر شاخه‌دار هترو-گالاکتوزآرابان با وزن مولکولی متوسط حدود ۷۰ کیلو دالتون است. در بررسی‌ای دیگر مشاهده شد که رامانان‌های سولفات جدا شده از *M. latissimum* اثر مهارکنندگی

توانسته‌اند توجه بسیاری از دانشمندان را به این دسته از ماکرومولکول‌های طبیعی جلب کند (Wang et al., 2009; Qi et al., 2006; Costa et al., 2010). از میان جلبک‌های دریایی سبز، پلی‌ساکاریدهای سولفات استخراچ شده از *Enteromorpha*، *Ulva*، *Bryopsis*، *Caulerpa*، *Codium* اثرهای ضد اکسیدانی قابل توجهی را نشان دادند که از جمله می‌توان به مهار کردن رادیکال سوپر اکسید، رادیکال هیدروکسیل، رادیکال (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) توانایی قدرت احیاکنندگی و توانایی شلاته کردن ترکیبات آهن‌دار اشاره کرد (Zhang et al., 2010; Costa et al., 2010; et al., 2010). Qi و همکارانش در سال ۲۰۰۵ نشان دادند که خواص ضد اکسیدانی اولون‌ها مربوط به محتوای سولفات آنها است. برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی پلی‌ساکاریدهای سولفات می‌تواند از طریق کاهش دادن وزن مولکولی آنها افزایش یابد. برای مثال، محصولات با وزن مولکولی پایین که از هیدرولیز پلی‌ساکاریدهای *E. prolifera* و *U. pertusa* به‌دست آمده‌اند و دارای محدوده وزن مولکولی ۷/۱۵۱-۲/۲۸ و ۱/۳-۵/۴۴۶ کیلودالتون هستند، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به پلی‌ساکاریدهای سولفات هیدرولیز نشده نشان دادند (Li et al., 2013; Qi et al., 2005).

فعالیت کاهندگی چربی خون

پلی‌ساکاریدهای جلبک‌های سبز نشان داده‌اند که می‌توانند به‌عنوان کاهنده چربی در مدل‌های حیوانی با چربی خون بالا عمل کنند (Huang et al.; Vizquez-Freire et al., 1996). پلی‌ساکاریدهای خام استخراچ شده از *E. prolifera* به‌طور مؤثری وزن بدن، تری‌آسیل گلیسرول پلازما (TG)، کلسترول کل (TC)، سطوح لیپوپروتئین‌های

اولین بار در جلبک‌های دریایی، فعالیت ضد انعقادی فوکوئیدان‌های استخراج شده از *Fucus vesiculosus* در مهار تشکیل لخته فیبرینی و فعالیت آنتی ترومبین گزارش گردید (Springer et al., 1957)؛ مشاهده شد که پلی ساکارید سولفات استخراج شده از *U. conglobate* با محتوای رامنوز بالا و استر سولفات می‌تواند زمان لخته شدن را از طریق مهار مستقیم ترومبین و تنظیم کوفاکتور II هپارین طولانی کند (Mao et al., 2006).

در پژوهشی گسترده، طی آزمایش‌هایی که در آن پلی ساکاریدهای ۲۳ گونه از جلبک‌های سبز برای فعالیت ضد انعقادی ارزیابی شدند، پلی ساکارید سولفات با محتوای رامنوز بالا که از *M. nitidum* به دست آمده بود، واجد فعالیتی قوی‌تر از هپارین بود (Hayakawa et al., 2000). پلی ساکاریدهای استخراج شده از *M. nitidum* نشان دادند که ویژگی منحصر به فردی در مهارکنندگی ترومبین خون به کمک کوفاکتور II هپارین دارند (Mao et al., 2008). نتایج مشابهی نیز بر روی پلی ساکاریدهای سولفات گونه‌های *U. conglobate* و *M. latissium* به دست آمد (Mao et al., 2006 ; Zhang et al., 2008).

بخش سوم: استخراج پلی ساکاریدهای سولفات

همان‌طور که پیش از این نیز بیان شد، پلی ساکاریدهای سولفات در دیواره سلولی جلبک‌های دریایی قرار گرفته‌اند و با توجه به نوع گونه جلبکی می‌توانند ساختار شیمیایی و به دنبال آن ویژگی‌های بیولوژیکی متفاوتی را داشته باشند. به علاوه، انتخاب شیوه استخراج نیز می‌تواند ماهیت شیمیایی پلی ساکاریدهای استخراج شده را تحت تأثیر قرار دهد (Chirinos و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طور کلی این دسته از پلی ساکاریدها به دلیل ویژگی‌های آبدوستی فوق‌العاده

قوی‌ای بر روی تکثیر ویروس تب‌خال، ویروس سیتومگالوویروس انسانی و ویروس نقص ایمنی انسانی در شرایط آزمایشگاهی دارند. این پلی ساکاریدها و ترکیب 3-azido-3-deoxythymidine فعالیت هم‌افزایی بر ضد ویروس ایدز نوع ۱ را نشان دادند (Lee et al., 1999). رامنن سولفات به دست آمده از جلبک *M. nitidum* که حاوی مقادیر قابل توجهی رامنوز و میزان کمتر گلوکز هستند، فعالیت ضد ویروسی قابل ملاحظه‌ای را در برابر ویروس تب‌خال نشان دادند در حالی که فاقد هر گونه اثر بر روی ویروس آنفلوانزا بودند. گمان می‌رود که رامنن سولفات از طریق جذب ویروس‌ها سبب غیر فعال کردن آنها می‌گردد (Lee et al., 2010).

فعالیت ضد انعقادی

یافتن جایگزین‌های جدید هپارین با فعالیت ضد انعقادی قوی که به راحتی بتواند در درمان بیماری‌های قلبی عروقی و عروق مغزی استفاده شود، همچنان موضوع مطالعات بسیاری است (Gurgel Rodrigues et al., 2011). هپارین به‌طور گسترده برای پیشگیری از ترومبوز وریدی و درمان اختلالات دیگر ترومبوآمبولی به دلیل مهارشان از ترومبین آنزیم‌های دیگر در سیستم انعقادی استفاده می‌شود (Anderson et al., 2001 ; Mourao et al., 1999).

فعالیت‌های ضد انعقادی شبه هپارین پلی ساکاریدهای سولفات از جلبک‌های دریایی شناخته شده است (Gurgel Rodrigues et al., 2011). پایه و اساس این فعالیت‌ها به‌طور کامل درک نشده است، اما شماری از تحقیقات نشان می‌دهند که بیش از یک مکانیسم عمل از جمله مهار مستقیم و غیرمستقیم ترومبین از طریق فعال‌سازی مهارکننده‌های ترومبین (برای مثال آنتی ترومبین و کوفاکتور II هپارین) دخیل هستند (Mauray et al., 1995) ;

در استخراج ترکیبات ضد اکسیدانی از جلبک قرمز *Hypnea hamulosa* (Garmsiri et al., 2014) و استفاده از امواج مایکروویو برای دستیابی به ترکیبات ضد اکسیداسیونی از جلبک قهوه‌ای *Sargassum angustifolium* (Babakhani et al., 2012a; Babakhani et al., 2012b). گفتنی است که تنها مطالعه قابل دسترس بر روی پلی‌ساکاریدهای جلبک‌های دریایی مربوط به ویژگی‌های ساختاری یک گالاکتان سولفات از جلبک قرمز *Gracilaria persica* (Salehi et al., 2011). این توجه اندک پژوهشگران به ترکیبات زیستی، به‌ویژه پلی‌ساکاریدها، در مغایرت با گستره وسیع سواحل آبی در شمال و جنوب کشور و تنوع فراوان جلبک‌های سبز از جنس‌هایی نظیر *Chaetomorpha*، *Codium*، *Caulerpa*، *Enteromorpha* و *Ulva* است. اگرچه، محدود بودن مطالعات درباره‌ی میزان ذخایر گونه‌های جلبکی ایران، نبود کشت صنعتی جلبک‌ها و عدم مصرف جلبک‌های دریایی به‌صورت خوراکی از جمله چالش‌های پیش‌رو در زمینه معرفی و توسعه مصرف جلبک‌های دریایی در ایران است، در عین حال، امکان دستیابی به پلی‌ساکاریدهای سولفات از جلبک‌های دریایی و عرضه آن به‌صورت ماده‌ای مؤثر و امکان بروز بسیار محدود آثار جانبی در نتیجه مصرف، از جمله نکات امیدبخش در روی آوردن به انجام تحقیقات بیشتر بر روی این دسته از ماکرومولکول‌های زیستی ارزشمند است.

در مجموع با توجه به بررسی انجام شده در مطالعه حاضر می‌توان بیان کرد که جلبک‌های دریایی به‌دلیل داشتن ترکیبات زیستی با قابلیت درمانی از دیرباز به میزان گسترده‌ای مورد مصرف انسان‌ها بوده‌اند. در میان این ترکیبات، پلی‌ساکاریدهای سولفات استخراج شده از جلبک‌های دریایی سبز به سبب داشتن ویژگی‌های

بالایی که دارند با استفاده از حلال‌های با پایه آب استخراج می‌شوند (Albuquerque و همکاران، ۲۰۰۴). قرارگیری در سطوح مختلف pH و به‌کارگیری نمک‌های چند ظرفیتی نیز می‌تواند در دستیابی به انواع مختلف این پلی‌ساکاریدها مؤثر باشد. همچنین به‌کارگیری دماهای بالا در طی فرایند استخراج می‌تواند در جداسازی پلی‌ساکاریدها از ماتریکس بین سلولی بسیار تسهیل‌کننده باشد. در طی سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های بیولوژیک نظیر آنزیم‌های alginate lyase، cellulase، laminarinase و amyloclucosidase و viscozyme نیز مورد توجه قرار گرفته است. به‌کارگیری این آنزیم‌ها در تهیه پلی‌ساکاریدهایی با خواص آنتی‌اکسیدانی قوی مؤثرند و این امیدآوری را ایجاد می‌کنند که بتوان با اعمال شرایط مناسب در دماهای پایین اقدام به حفظ ویژگی‌های مولکولی پلیمرها کرد (Athukorala و همکاران، ۲۰۰۹; Ahn و همکاران، ۲۰۰۴). بی‌شک حضور ناخالصی‌ها، خواص بیولوژیکی پلی‌ساکاریدهای سولفات استخراج شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مانع درک کامل و درست از فعالیت بیولوژیکی پلی‌ساکاریدهای هدف می‌گردد. از این‌رو روش‌های جداسازی تکمیلی نیز برای دستیابی به پلیمرهایی همگن‌تر و خالص‌تر پیشنهاد می‌شود.

بخش چهارم: مطالعات انجام شده در ایران

در ایران، پیش از این مطالعات مفیدی درباره‌ی جلبک‌های دریایی انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به ترکیبات مغذی جلبک‌های *Ulva pertusa* و *Gracilaria salicornia* (Tabarsa et al., 2012)، بررسی خواص ضد باکتریایی و ضد قارچی متابولیت‌های ثانویه جلبک *E. intestinalis* و تأثیر آن بر پاتوژن‌های مواد غذایی (Khezri Ahmadabad et al., 2012)، به‌کارگیری امواج مایکروویو

intrinsic tenase and prothrombinase. *Biological Chemistry*, 276(13): 9755–9761.

Athukorala, Y., Ahn, G. N., Jee, Y. H., Kim, G. Y., Kim, S. H., Ha, J. H., Kang, J. S, Lee, K. W.

and Jeon, Y. J. 2009. Antiproliferative activity of sulfated polysaccharide isolated from an enzymatic digest of *Ecklonia cava* on the U-937 cell line. *Journal of Applied Phycology*, 21(3): 307–314.

Babakhani Lashkan, A., Rezaei, M., Rezaei, K. and Seifabadi, S. J. 2012a. Optimization of extraction of antioxidant compounds in microwave-assisted extracts of brown algae *Sargassum angustifolium*. *Iranian Journal of Natural Resources*, 65: 243–255. (Abstract in English)

Babakhani Lashkan, A., Rezaei, M., Rezaei, K. and Seifabadi, S. J. 2012b. The application of *Sargassum (Sargassum angustifolium)* extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced kilka (*Cultiventris clupeonella*). *Iranian Journal of Natural Resources*. In Press. (Abstract in English)

Block, K. I. and Mead, M. N. 2003. Immune system effects of echinacea, ginseng, and astragalus: A review. *Integrative Cancer Therapies*, 2(3): 247–267.

Brading, W. E., Georg-Plant, M. M. T. and Hardy, M. 1954. The Polysaccharide from the alga *Ulva lactuca*. Purification, hydrolysis, and methylation of the Polysaccharide. *Journal of the Chemical Society*, 319–324.

Burtin, P. 2003. Nutritional value of seaweeds, electronic journal of environmental. *Agricultural and Food Chemistry*, 2(4): 498–503.

Chandini, S. K., Ganesan, P, and Bhaskar, N. 2008. In vitro antioxidant activities of three selected brown seaweeds of India. *Food Chemistry*, 107: 707–713.

Chattopadhyay, K., Adhikari, U., Lerouge, P. and Ray, B. 2007. Polysaccharides from *Caulerpa racemosa*: Purification and structural features. *Carbohydrate Polymers*, 68: 407–415.

بیولوژیکی منحصر به فرد، در طی سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. کنترل جذب چربی‌ها، مهار رشد ویروس‌ها، سرکوب سلول‌های سرطانی و تنظیم سیستم ایمنی از جمله خواص بیولوژیکی هستند که پلی‌ساکاریدهای به‌دست آمده از جلبک‌های سبز از خود بروز داده و به بازارهای جهانی به‌صورت ترکیب با مواد غذایی و یا مکمل‌های درمانی راه یافته‌اند. بنابراین با توجه به شواهد به‌دست آمده درباره اهمیت این دسته از پلیمرهای زیستی در بهبود سلامتی انسان و وجود منابع گسترده از جلبک‌های دریایی در سواحل شمالی و جنوبی کشور، اهمیت انجام پژوهش‌های بیشتر بر روی ویژگی‌های ساختاری، بیولوژیکی و کاربردهای پلی‌ساکاریدهای جلبکی بیش از پیش احساس می‌شود.

منابع

Ahn, C. B., Jeon, Y. J., Kang, D. S., Shin, T. S. and Jung, B. M. 2004. Free radical scavenging activity of enzymatic extracts from a brown seaweed *Scytosiphon lomentaria* by electron spin resonance spectrometry. *Food Research International*, 37: 253–258.

Albuquerque, I. R. L., Queiroz, K. C. S., Alves, L. G., Santos, E. A., Leite, E. L. and Rocha, H. A. O. 2004. Heterofucans from *Dictyota menstrualis* have anticoagulant activity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37: 167–171.

Alves, A., Sousa, R. A. and Reis, R. L. 2013. In vitro cytotoxicity assessment of ulvan, a polysaccharide extracted from green algae. *Phytotherapy Research*, 27(12): 1143–1148.

Anderson, J. A. M., Fredenburgh, J. C., Stafford, A. R., Guo, Y. S., Hirsh, J., Ghazarossian, V. and Weitz, J. I. 2001. Hypersulfated low molecular weight heparin with reduced affinity for antithrombin acts as an anticoagulant by inhibiting

- Garmsiri, E., Rezaei, M., Shaviklo, A. R., Babakhani, A. 2014.** Efficiency of microwave radiation on antioxidant compounds extracted from red algae "*Hypnea hamulosa*" and optimal extraction conditions using response surface methodology (RSM). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 10: 148–155.
- Gerber, P., Dutcher, J. D., Adams, E. V. and Sherman, J. H. 1958.** Protective effect of seaweed extracts for chicken embryos infected with influenza B or mumps virus. *Experimental Biology and Medicine*, 99: 590–593.
- Ghosh, P., Adhikari, U., Ghosal, P. K., Pujol, C. A., Carlucci, M. J., Damonte, E. B. and Ray, B. 2004.** In vitro anti-herpetic activity of sulfated polysaccharide fractions from *Caulerpa racemosa*. *Phytochemistry*, 65: 3151–3157.
- Gurgel Rodrigues, J. A., Lino de Queiroz I. N., Gomes Quindere A. L., Vairo, B. C., Mourao, P. A. S. and Barros Benevides, N. M. 2011.** An antithrombin-dependent sulfated polysaccharide isolated from the green alga *Caulerpa cupressoides* has in vivo anti- and prothrombotic effects. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 41(4): 634–639.
- Gurgel Rodrigues, J. A., Neto, É. M., Teixeira, L. A. C., Paula, R. C. M., Mourao, P. A. S. and Benevides, N. M. B. 2013.** Structural features and inactivation of coagulation proteases of a sulfated polysaccharidic fraction from *Caulerpa cupressoides* var. *lycopodium* (Caulerpaceae, Chlorophyta). *Acta Scientiarum. Technology*, 35(4): 611–619.
- Gurgel Rodrigues, J. A., Vanderlei, E. S. O., Araujo, I. W. F., Quindere, A. L. G., Coura, Ch. O. and Benevides, N. M. B. 2013.** In vivo toxicological evaluation of crude sulfated polysaccharide from the green seaweed *Caulerpa cupressoides* var. *lycopodium* in Swiss mice. *Acta Scientiarum Technology*, 35: 603–610.
- Chew, Y. L., Lim, Y. Y., Omar, M. and Khoo, K. S. 2008.** Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. *LWT - Food Science and Technology*, 41(6): 1067–1072.
- Chirinos R., Rogetz H., Campos D., Pedreschi, R. and Larondelle Y. (2007).** Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon) tuber, *Separation and Purification Technology*, 55: 217–225.
- Chiu, Y. H., Chan, Y. L., Li, T. L. and Wu, Ch. J. 2012.** Inhibition of Japanese encephalitis virus infection by the sulfated polysaccharide extracts from *Ulva lactuca*. *Marine Biotechnology*, 14: 468–478.
- Cho, M., Yang, C., Kim, S. M. and You, S. 2010.** Molecular Characterization and Biological Activities of Watersoluble Sulfated Polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*. *Food Science and Biotechnology*, 19(2): 525–533.
- Costa, E. V., Pinheiro, M. L. B., Barison, A., Campos, F. R., Salvador, M. J., Maia, B, H, L. N. S., Cabral, E. C. and Eberlin, M. N. 2010.** Alkaloids from the bark of *Guatteria hispida* and their evaluation as antioxidant and antimicrobial agents. *Natural Products*, 73: 1180–1183.
- FAO Fisheries and Aquaculture Department . 2013.** Global aquaculture production statistics for the year 2011 [online]. <ftp://ftp.fao.org/FI/news/GlobalAquacultureProductionStatistics2011.pdf>.
- Fernandez, P. V., Estevez, J. M., Cerezo, A. S. and Ciancia, M. 2012.** Sulfated D-mannan from green seaweed *Codium vermilara*. *Carbohydrate Polymers*, 87: 916–919.
- Ganesan, P., Kumar, Ch. S., and Bhaskar, N. 2008.** Antioxidant properties of methanol extract and its solvent fractions obtained from selected Indian red seaweeds. *Bioresource Technology*, 99: 2717–2723.

- and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23:543–597.
- Huang, L., Wen, K., Gao, X. and Liu, Y. 2010.** Hypolipidemic effect of fucoidan from *Laminaria japonica* in hyperlipidemic rats. *Phytotherapy Research*, 48(4): 422–426.
- Janeway, Ch. A. and Medzhitov, Ruslan. 2002.** Innate immune recognition. *Annual Review of Immunology*, 20:197–216.
- Ji, H., Shao, H., Zhang, Ch., Hong, P. and Xiong, H. 2008.** Separation of the polysaccharides in *Caulerpa racemosa* and their chemical composition and antitumor activity. *Polymer Science*, 110: 1435–1440.
- Jiao, L., Jiang, P., Zhang, L. and Wu, M. 2010.** Antitumor and immunomodulating activity of polysaccharides from *Enteromorpha intestinalis*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 15: 421–428.
- Jiao, L., Li, X., Li, T., Jiang, P., Zhang, L., Wu, M. and Zhang, L. 2009.** Characterization and antitumor activity of alkali-extracted polysaccharide from *Enteromorpha intestinalis*. *International Immunopharmacology*, 9: 324–329.
- Karnjanapratum, S. and You. S. G. 2011.** Molecular characteristics of sulfated polysaccharides from *Monostroma nitidum* and their in vitro anticancer and immunomodulatory activities. *Biological Macromolecules*, 48: 311–318.
- Karnjanapratum, S., Tabarsa, M., Cho, M. and You, S. G. 2012.** Characterization and immunomodulatory activities of sulfated polysaccharides from *Capsosiphon fulvescens*. *Biological Macromolecules*, 51: 720–729.
- Khezri Ahmadabad, M., Rezaei, M., Zolfaghari, M. 2012.** Study on using possibility of the extract of *Enteromorpha intestinalis* in order to control some food-borne pathogens. *Iranian Journal of Food Science & Technology*. In Press. (Abstract in English)
- Gurgel Rodrigues, J. A., Vanderlei, E. S. O., Bessa, E. F., Magalhaes, F. A., Monteiro de Paula, R. C., Lima, V and Barros Benevides, N. M. 2011.** Anticoagulant activity of a sulfated polysaccharide isolated from the green seaweed *Caulerpa cupressoides*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(4): 691–700.
- Gurgel Rodrigues, J. A., Vanderlei, E. S. O., Quindere, A. L. G., Monteiro, V. S., Vasconcelos, S. M. M. and Benevides., N. M. B. 2013.** Antinociceptive activity and acute toxicological study of a novel sulfated polysaccharide from *Caulerpa cupressoides* var. *lycopodium* (Chlorophyta) in Swiss mice. *Acta Scientiarum. Technology*, 35: 417–425.
- Harard, N. and Maeda, M. 1998.** Chemical Structure of antithrombin-active Rhamnan sulfate from *Monostrom nitidum*. *Bioscience, Biotechnology, Biochemistry* 62(9): 1642–1652.
- Hayakawa, Y., Hayashi, T., Lee, J. B., Srisomporn P., Maeda, M., Ozawa, T. and Sakuragawa, N. 2000.** Inhibition of thrombin by sulfated polysaccharides isolated from green algae. *Biochemistry Biophysics Acta*, 1543 (1): 86–94.
- Hernandez-Garibay, E., Zertuche-Gonzalez, J. A. and Pacheco-Ruiz, I. 2011.** Isolation and chemical characterization of algal polysaccharides from the green seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh. *Journal of Applied Phycology*, 23(3):537–542.
- Hoffmann, J. A., Kafatos, F. C., Janeway Jr, Ch. A. and Ezekowitz, R. A. B. 2011.** Phylogenetic perspectives in innate immunity. *Phylogenetic Perspectives in Innate Immunity*, 284: 1313–1317.
- Holdt, S. L., and Kraan, S. 2011.** Bioactive compounds in seaweed: functional food applications

- seaweed *Ulva rigida* C. Agardh. *International Immunopharmacology*, 7(7): 879–888.
- Li, B., Song Liu, S., Xing, R., Li, K., Li, R., Qin, Y., Wang, X., Wei, Z. and Li, P. 2013.** Degradation of sulfated polysaccharides from *Enteromorpha prolifera* and their antioxidant activities. *Carbohydrate Polymers*, 92(2): 1991–1996.
- Li, H., Mao, W., Zhang, X., Qi, X., Chen, Y., Chen, Y., Xu, J., Zhao, Ch., Hou, Y., Yang, Y., Li, N. and Wang, Ch. 2011.** Structural characterization of an anticoagulant-active sulfated polysaccharide isolated from green alga *Monostroma latissimum*. *Carbohydrate Polymers*, 85(2): 394–400.
- Luescher-Mattli, M. 2003.** Algae, a possible source for new drugs in the treatment of HIV and other viral diseases. *Current Medicinal Chemistry - Anti-Infective Agents*, 2(3): 219–25.
- M., Li, Ch. F. and Li, Ch. 1994.** Characterization and thermal behavior of six sulphated polysaccharides from seaweeds. *Food Hydrocolloids*, 8: 215-232.
- Mao, W. J., Fang, F., Li, H. Y., Qi, X. H., Sun, H. H., Chen, Y. and Guo, S. D. 2008.** Heparinoid-active two sulfated polysaccharides isolated from marine green algae *Monostroma nitidum*. *Carbohydrate Polymers*, 74: 834–839.
- Mao, W., Li, H., Li, Y., Zhang, H., Qi, X., Sun, H., Chen, Y. and Guo, Sh. 2009.** Chemical characteristic and anticoagulant activity of the sulfated polysaccharide isolated from *Monostroma latissimum* (Chlorophyta). *International Journal of Biological Macromolecules*, 44: 70–74.
- Mao, W., Zang, X., Li, Y. and Zhang, Huijuan. 2006.** Sulfated polysaccharides from marine green algae *Ulva conglobata* and their anticoagulant activity. *Journal of Applied Phycology*, 18: 9–14.
- Kim, J. K., Cho, M. L., Karnjanapratum, S., Shin, I. Sh. and You, S. G. 2011.** In vitro and in vivo immunomodulatory activity of sulfated polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49: 1051–1058
- Kuda, T., Tsunekawa, M., Gotoa, H., and Arakib, Y. 2005.** Antioxidant properties of four edible algae harvested in the Noto Peninsula, Japan. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18: 625–633.
- Kumar K. S., Ganesan K. and Rao P. V. S. 2008.** Antioxidant potential of solvent extracts of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty - An edible seaweed. *Food Chemistry*, 107(1): 289-295.
- Kuznetsova, T. A., Besednova, N. N., Mamaev, A. N., Momot, A. P., Shevchenko, N. M. and Zvyagintseva, T. N. 2003.** Anticoagulant activity of fucoidan from brown algae *fucus evanescens* of the Okhotsk Sea. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 136(11): 532-534.
- Kwon, M. J. and Nam, T. J. 2006.** Porphyran induces apoptosis related signal pathway in AGS gastric cancer cell lines. *Life Sciences*, 79: 1956–1962.
- Lahaye, M. and Robic, A. 2007.** Structure and functional properties of Ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. *Biomacromolecules*, 8(6): 24–30.
- Lee, J. B., Hayashi, K., Hayashi, T., Sankawa, U. and Maeda, M. 1999.** Antiviral activities against HSV-1, HCMV, and HIV-1 of rhamnan sulfate from *Monostroma latissimum*. *Planta Medica*, 65(5): 439–441.
- Lee, J. B., Koizumi, S., Hayashi, K. and Hayashi, T. 2010.** Structure of rhamnan sulfate from the green alga *Monostroma nitidum* and its anti-herpetic effect. *Carbohydrate Polymers*, 81: 572–577.
- Leiro, J. M., Castro, R., Arranz, J. A. and Lamas, J. 2007.** Immunomodulating activities of acidic sulphated polysaccharides obtained from the

- Pereira, M. S., Mulloy, B. and Mourao, P. A. S. 1999.** Structure and anticoagulant activity of sulfated fucans. *The Journal of Biological Chemistry*, 274(12): 7656–7667.
- Qi, H., Huang, L., Liu, X., Liu, D., Zhang, Q. and Liu, Sh. 2012.** Antihyperlipidemic activity of high sulfate content derivative of polysaccharide extracted from *Ulva pertusa* (Chlorophyta). *Carbohydrate Polymers*, 87: 1637–1640.
- Qi, H., Liu, X., Zhang, J., Duan, Y., Wang, X. and Zhang, Q. 2012.** Synthesis and antihyperlipidemic activity of acetylated derivative of ulvan from *Ulva pertusa*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50: 270–272.
- Qi, H., Zhang, Q., Zhao, T., Chen, R., Zhang, H., Niu, X. and Li, Z. 2005.** Antioxidant activity of different sulfate content derivatives of polysaccharide extracted from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, 37: 195–199.
- Qi, H., Zhang, Q., Zhao, T., Hu, R., Zhang, K. and Li, Z. 2006.** In vitro antioxidant activity of acetylated and benzoylated derivatives of polysaccharide extracted from *Ulva pertusa* (Chlorophyta). *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 16: 2441–2445.
- Qi, H., Zhao, T., Zhang, Q., Li, Z., Zhao, Z. and Xing, R. 2005.** Antioxidant activity of different molecular weight sulfated polysaccharides from *Ulva pertusa* Kjellm (Chlorophyta). *Journal of Applied Phycology*, 17: 527–534.
- Qi, X., Mao, W., Gao, Y., Chen, Y., Chen, Y., Zhao, Ch., Li, N., Wang, Ch., Yan, Me., Lin, C. and Shan, J. 2012.** Chemical characteristic of an anticoagulant-active sulfated polysaccharide from *Enteromorpha clathrata*. *Carbohydrate Polymers*, 90: 1804–1810.
- Quemener, B., Lahaye, M. and Bobin-Dubigeon, C. 1997.** Sugar determination in ulvans by a
- Mauray, S., Sternberg, C., Theveniaux, J., Millet, J., Siquin, C., Tapon-Breudiere, J. and Fischer, AM. 1995.** Venous antithrombotic and anticoagulant activities of a fucoidan fraction. *Thrombosis and Haemostasis*, 74(5):1280–1285.
- Medzhitov, Ruslan. and Janeway, Ch. A. 2002.** Decoding the patterns of self and nonself by the innate immune system. *Immunity and Beyond*, 296: 298–300.
- Mosser, D. M. and Edwards, J. P. 2008.** Exploring the full spectrum of macrophage activation. *Nature Reviews Immunology*, 8(12): 958–969.
- Mourao, P. A. S. and Pereira, M. S. 1999.** Searching for alternatives to heparin sulfated fucans from marine invertebrates. *Trends Cardiovasc Med*, 9: 225–232.
- Na, Y. S., Kim, W. J., Kim, S. M., Park, J. K., Lee, S. M., Kim, S. O., Synytsya, A. and Park, Y. I. 2010.** Purification, characterization and immunostimulating activity of water-soluble polysaccharide isolated from *Capsosiphon fulvescen*. *International Immunopharmacology*, 10: 364–370.
- Nahas, R., Abatis, D., Anagnostopoulou, M. A., Kefalas, P., Vagias, C. and Roussis, V. 2007.** Radical-scavenging activity of a green sea marine algae. *Food Chemistry*, 102: 577–581.
- Ohta, Y., Lee, J. B., Hayashi, K. and Hayashi, T. 2009.** Isolation of sulfated galactan from *Codium fragile* and its antiviral effect. *Biological & pharmaceutical bulletin*, 32 (5): 892–898.
- Palmer, R. M. J., Ashton, D. S. and Moncada, S. 1988.** Vascular endothelial cells synthesize nitric oxide from L-arginine. *Nature*, 333: 664–666.
- Park, J. K., Kim, Z. H., Lee, Ch. G., Synytsya, A., Jo, H. S., Kim, S. O., Park, J. W. and Park, Y. I. 2011.** Characterization and immunostimulating activity of a water-soluble polysaccharide isolated from *Haematococcus lacustris*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 16:1090–1098.

- O. S., Zakharenko, A. M., Isakov, V. V., Linh, N. T., Hoa, N. X., Ly, B. M. and Huyen, P. V. 2009.** Polysaccharides and sterols from green algae. *Chemistry of Natural Compounds*, 45(1): 5–8.
- Soares, A. R., Robaina, M. C. S., Mendes, G. S., Silva, T. S. L., Gestinari, L. M. S., Odineia S. Pamplona, O. S., Yoneshigue-Valentin Y., Kaiser, C. R. and Romanos, M. T. V. 2012.** Antiviral activity of extracts from Brazilian seaweeds against herpes simplex virus. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 22(4): 714–723.
- Song, H., Zhang, Q., Zhang, Z. and Wang, J. 2010.** In vitro antioxidant activity of polysaccharides extracted from *Bryopsis plumose*. *Carbohydrate Polymers*, 80: 1057–1061.
- Souza, B. W. S., Cerqueira, M. A., Martins, J. T., Quintas, M. A. C., Ferreira, A. O. C. S., Teixeira, J. A. and Vicente, A. A. 2011.** Antioxidant potential of two red seaweeds from the Brazilian coasts. *Food Chemistry*, 59: 5589–5594.
- Salehi, P., Dashti, Y., Mazraati Tajabadi, F., Safidkon, F. and Rabei, R. 2011.** Structural and compositional characteristics of a sulfated galactan from the red alga *Gracilariopsis persica*. *Carbohydrate Polymers*, 83: 1570–1574.
- Springer, G. F., Wurzel, H. A., McNeal, G. M. J., Ansell, N. J. and Doughty, M. F. 1957.** Isolation of anticoagulant fractions from crude fucoidin. *Experimental Biology and Medicine*, 94 (2): 404–409.
- Tabarsa, M., Han, J. H., Kim, Ch. Y. and You, S. G. 2012.** Molecular characteristics and immunomodulatory activities of water-soluble sulfated polysaccharides from *Ulva pertusa*. *Medicinal Food*, 15 (2): 135–144.
- Tabarsa, M., Karnjanapratum, S., Cho, M., Kim, J. K. and You, S. 2013.** Molecular characteristics and biological activities of anionic macromolecules from *Codium fragile*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59: 1–12.
- chemical-enzymatic method coupled to high performance anion exchange chromatography. *Journal of Applied Phycology*, 9: 179–188.
- Quiros, R. B., A., Lage-Yusty, M. A. and Lopez-Hernandez, J. 2010.** Determination of phenolic compounds in macroalgae for human consumption. *Food Chemistry*, 121: 634–638.
- Rastian, Z., Mehranian, M., Vahabzadeh, F. and Sartavi, K. 2007.** Antioxidant activity of extract from a brown alga, *Sargassum boveanum*. *African Journal of Biotechnology*, 6 (24): 2740–2745.
- Reviere, B. and Leproux, A. 1993.** Characterization of polysaccharides from *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link, Chlorophyta. *Carbohydrate Polymers*, 22: 253–259.
- Rocha, H. A. O., Moraes, F. A., Trindade, E. S., Franco, C. R. C., Torquato, R. J. S., Veiga, S. S., Valente, A. P., Mourao, P. A. S., Leite, E. L., Nader, H. B. and Dietrich, C. P. 2005.** Structural and hemostatic activities of a Sulfated Galactofucan from the brown alga *Spatoglossum schroederi* an ideal antithrombotic agent?. *Journal of Biological Chemistry*, 280 (50): 41278–41288.
- Ruberto, G., Baratta, M. T., Biondi, D. M. and Amico, V. 2001.** Antioxidant activity of extracts of the marine algal genus *Cystoseira* in a micellar model system. *Journal of Applied Phycology*, 13: 403–407.
- Tang, S. N. Fu, J., Nall, D., Rodova, M., Shankar, Sh. and Srivastava, R. K. 2012.** Inhibition of sonic hedgehog pathway and pluripotency maintaining factors regulate human pancreatic cancer stem cell characteristics. *International Journal of Cancer*, 131: 30–40.
- Shevchenko, N. M., Burtseva, Y. V., Zvyagintseva, T. N., Makareva, T. N., Sergeeva,**

the global health situation. See: www.who.int/gho. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 12.

Witvrouw, M. and Clercq, E. D. 1997. Sulfated polysaccharides extracted from sea algae as potential antiviral drugs. *General Pharmacology*, 29: 497–511.

Ying, Z., Han, X., Li, J. 2011. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from *mulberry leaves*. *Food Chemistry*, 127(3): 1273–1279.

Yu, P., Li, N., Liu, X., Zhou, G., Zhang, Q. and Li P. 2003. Antihyperlipidemic effects of different molecular weight sulfated polysaccharides from *Ulva pertusa* (Chlorophyta). *Pharmacological Research*, 48: 543–549.

Yu, P., Zhang, Q., Li, N., Xu, Z., Wang, Y. and Li, Z. 2003. Polysaccharides from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) and preliminary studies on their antihyperlipidemia activity. *Journal of Applied Phycology*, 15: 21–27.

Zhang, H. J., Mao, W. J., Fang, F., Li, H. Y., Sun, H. H., Chen, Y. and Qi, X. H. 2008. Chemical characteristics and anticoagulant activities of a sulfated polysaccharide and its fragments from *Monostroma latissimum*. *Carbohydrate Polymers*, 71: 428–434.

Zhang, Z., Wang, F., Wang, X., Liu, X., Hou, Y. and Zhang, Q. 2010. Extraction of the polysaccharides from five algae and their potential antioxidant activity in vitro. *Carbohydrate Polymers*, 82: 118–121.

Zubia, M., Fabre, M. S., Kerjean, V., Le Lann, K., Stiger-Pouvreau, V., Fauchon, M. and Deslandes, E. 2009. Antioxidant and antitumoural activities of some phaeophyta from Brittany coasts. *Food Chemistry*, 116: 693–701.

Tabarsa, M., Lee, S. J. and You, S. G. 2012. Structural analysis of immunostimulating sulfated polysaccharides from *Ulva pertusa*. *Carbohydrate Research*, 361: 141–147.

Tabarsa, M., Rezaei, M., Ramezanzpour, Z. and Waaland, J. R. 2012. Chemical compositions of the marine algae *Gracilaria salicornia* (Rhodophyta) and *Ulva lactuca* (Chlorophyta) as a potential food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 2500–2506.

Teng, Z., Q. Li. and Zhou, Y. 2013. Hypolipidemic activity of the polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62: 254–256.

Tseng, C.K. 2001. Algal biotechnology industries and research activities in China. *Journal of Applied Phycology*, 13: 375–380.

Vizquez-Freire, M. J., Lamela, M. and Calleja, J. M. 1996. Hypolipidaemic activity of a polysaccharide extract from *Fucus vesiculosus* L. *Phytotherapy Research*, 10: 647–450.

Wang, B. G., Zhang, W. W., Duan, X. J. and Li, X. M. 2009. In vitro antioxidative activities of extract and semi-purified fractions of the marine red alga, *Rhodomela confervoides* (Rhodomelaceae). *Food Chemistry*, 113:1101–1105.

Wang, L., Wang, X., Wu, H. and Liu, R. 2014. Overview on biological activities and molecular characteristics of sulfated polysaccharides from marine green algae in recent years. *Marine Drugs*, 12: 4984–5020.

Wijesekara, I., Pangestuti, R. and Kim S. K. 2011. Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides derived from marine algae. *Carbohydrate Polymers*, 84: 14–21.

WHO World Health Organization. 2011. The Global Health Observatory (GHO) is WHO's portal providing access to data and analyses for monitoring

Chemical structure and biological effects of sulfated polysaccharides extracted from green seaweeds

Zeynab Rostami¹, Mehdi Tabarsa^{2*}, Masoud Rezaei³

1- M.Sc. Student, Department of Seafood Science and Technology, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor

2- Assistant Professor, Department of Seafood Science and Technology, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor

3- Professor, Department of Seafood Science and Technology, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor

Received: 28.06.2015 Accepted: 07.11.2015

*Corresponding author: m.tabarsa@modares.ac.ir

Abstract:

Extracted polysaccharides from green seaweeds are heterogeneous in structural and molecular properties. Basically, sulfated polysaccharides from green seaweeds contain various amounts of rhamnose (16.5-45.0%), xylose (2.1-12.0%), glucose (0.5-6.4%) and sulfate (16.0-23.2%), and their building blocks are chiefly comprised of β -D-GlcpA-(1 \rightarrow 4) α -L-Rhap3s. Molecular weight of sulfated polysaccharides varies from 93.4×10^3 to 1690×10^3 g/mol. The biological effects of seaweed sulfated polysaccharides are immunomodulation, cancer cell growth suppression, antioxidation, antihyperlipidemic, antiviral and anticoagulation. As the chemical structure and molecular properties of sulfated polysaccharides differ from one seaweed species to another, the biological properties varies subsequently. Overall, given the fact that highly variable marine environment can significantly incorporate into the existing discrepancies of sulfated polysaccharide structures due to seaweed phylogenetic differences, executing more comprehensive studies on various species is necessary to have a better understanding of their function and future applications

Keywords: Seaweeds, Ulvan, Functional foods, Chemical structure, Biological activity