

ماکروجلبک‌های دریایی ایران؛

ویژگی‌ها و کاربردها

تألیف:

دکتر مرتضی یوسف‌زادی و مریم کوکبی

سرشناسه	یوسف‌زادی، مرتضی، ۱۳۵۷-
عنوان و نام پدید آور	ماکرو جلیک‌های دریایی ایران: ویژگی‌ها و کاربردها / تألیف مرتضی یوسف‌زادی، مریم کوکی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه هرمزگان، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۲۵۸ ص: مصور، رنگی
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۷۲۷۹-۳۱-۱
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	واژه‌نامه.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	جلیک‌های دریایی - - خلیج فارس.
موضوع	Marine algae - Persian Gulf :
موضوع	جلیک‌های دریایی - - دریای عمان.
موضوع	Marine algae - Oman Sea :
شناسه افزوده	وکبی، مریم، ۱۳۵۹-
شناسه افزوده	دانشگاه هرمزگان .
رده‌بندی کنگره	۵۷۹. ۱۷۷ - ۲ ۱۳ ی ۹ / ۲ QK۵۷۰
رده بندی دیویی	۵۷۹. ۱۷۷
شماره کتابشناسی ملی	۴۴۷۷۱۰۸ :

نام کتاب:	ماکرو جلیک‌های دریایی ایران: ویژگی‌ها و کاربردها
ناشر:	دانشگاه هرمزگان
مؤلف:	دکتر مرتضی یوسف‌زادی و مریم کوکی
ویراستار ادبی:	عاطفه نیک‌خو
چاپ و صحافی:	مارال
نوبت چاپ:	اول / زمستان ۱۳۹۵
تیراژ:	۵۰۰ نسخه
قیمت:	۱۶۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-7279-31-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۲۷۹-۳۱-۱

تهران- خیابان انقلاب- رویروی درب اصلی دانشگاه تهران - مجتمع تجاری اداری فروزنده - طبقه همکف

فروشگاه دانشگاه هرمزگان

تلفن: ۶۶۹۰۷۷۱۴ (۰۲۱) - ۶۶۹۵۰۵۵۳ (۰۲۱)

فروش اینترنتی در تارنمای دانشگاه هرمزگان (مرکز نشر) WWW.hormozgan.ac.ir

۵	پیشگفتار
۷	مقدمه
۳۳	فصل اول
۳۳	جلبک‌های سبز
۳۳	معرفی
۳۳	ویژگی‌های شاخ Chlorophyta
۳۴	چرخه حیاتی در جلبک‌های سبز
۳۴	وضعیت جلبک‌های سبز در ایران
۳۷	راسته Bryopsidales
۵۵	راسته Cladophorales
۷۰	راسته Dasycladales
۷۳	راسته Ulotrichales
۷۴	راسته Ulvales
۸۷	فصل دوم
۸۷	جلبک‌های قهوه‌ای
۸۸	معرفی
۸۸	ویژگی‌های رده Phaeophyceae
۸۸	چرخه حیاتی در جلبک‌های قهوه‌ای
۸۹	وضعیت جلبک‌های قهوه‌ای در ایران
۹۲	راسته Dictyotales
۱۰۷	راسته Ectocarpales
۱۱۳	راسته Fucales
۱۳۰	راسته Sphacelariales

۱۳۱	فصل سوم
۱۳۱	جلبک‌های قرمز
۱۳۲	معرفی
۱۳۲	ویژگی‌های شاخه Rhodophyta
۱۳۳	چرخه حیاتی در جلبک‌های قرمز
۱۳۳	استفاده‌های اقتصادی از جلبک‌های قرمز
۱۳۴	وضعیت جلبک‌های قرمز در ایران
۱۳۷	راسته Acrochaetales
۱۳۸	راسته Geliales
۱۳۹	راسته Bonneriales
۱۳۹	راسته Ceramiales
۱۴۲	راسته Corallinales
۱۴۵	راسته Gelidiales
۱۷۰	راسته Gigartinales
۱۸۱	راسته Gracilariales
۱۹۲	راسته Halymeniales
۱۹۴	راسته Nemaliales
۲۰۱	راسته Rhodymeniales
۲۰۵	راسته Sebdeniales
۲۰۶	راسته Stylonematales
۲۰۹	منابع
۲۲۳	واژه نامه
۲۲۷	تصاویر

ایران با داشتن بیشترین خط ساحلی در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان و بهره‌مندی از جزایر متعدد و زیستگاه‌های متنوع، دارای بیشترین تعداد گونه‌های گزارش شده از ماکرو جلبک‌های دریایی، در مقایسه با همسایگان جنوبی خود می‌باشد. متأسفانه، با وجود استفاده‌های متعدد از ماکرو جلبک‌ها به عنوان افزودنی‌های غذایی، دارویی، بهداشتی و ... در سطح جهان، در کشور ما شناخت چندانی از این گیاهان با ارزش وجود نداشته و برنامه ریزی اصولی برای استفاده و بهره‌برداری از آن‌ها انجام نگرفته است. یکی از دلایل اصلی نادیده گرفتن ماکرو جلبک‌ها، عدم شناخت آن‌ها و مشکل شناسایی این گیاهان است. در دهه‌های اخیر، فواید ماکرو جلبک‌ها و تأثیر آن‌ها بر سلامتی انسان بسیار مورد توجه قرار گرفته که برخی از این فواید از لحاظ علمی نیز به اثبات رسیده‌اند. اما اغلب، اثرات مثبت آن‌ها تنها به صورت تجربی و سنتی مورد تائید است. بنابراین نیاز جدی برای تحقیق در این زمینه وجود دارد.

پس از تلاش بی‌وقفه برای تجمیع و انتشار چک‌لیست کامل گونه‌های ماکرو جلبک‌های دریایی ایران در معتبرترین پایگاه بین‌المللی جلبک‌شناسی (<http://www.algaebase.org>)، این کتاب، به منظور برطرف کردن خلاء اطلاعاتی موجود در شناسایی و براکنش ماکرو جلبک‌های سواحل جنوب ایران و تسهیل در به کارگیری این گیاهان ارزشمند در زمینه‌های تحقیقاتی و سایر زمینه‌های کاربردی آن‌ها، به جامعه علمی کشور ارائه می‌شود. بنابراین، ضمن راج نهادن به تمام تلاش‌های ارزشمند پژوهشگران عزیز کشورمان در حوزه جلبک‌شناسی که بدون شک راه‌های ما در نگارش این کتاب بوده است؛ امید آن داریم که این اثر مورد استفاده پژوهشگران، دانشجویان و علاقه‌مندان علوم زیستی و دریایی قرار گیرد و توجه آن‌ها را هرچه بیشتر به این موجودات زیبا، ارزشمند و با اهمیت از لحاظ اکولوژیکی، صنعتی و دارویی جلب نماید.

جهت سهولت استفاده از مطالب، در بخش شرح گونه‌ها، جدیدترین اسامی گونه که از نظر تاکسونومیک پذیرفته شده است در ابتدا نوشته شده و مترادف یا اسم سابق آن گونه پس از علامت مساوی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که تصاویر رنگی انتهای کتاب از سایت [algaebase](http://www.algaebase.org) اقتباس شده‌اند.

مرتضی یوسف‌زادی- مریم کوکی

زمستان ۱۳۹۵

کشور ایران دارای حدود ۵۰۰۰ کیلومتر خط ساحلی در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد (Dibajnia *et al.*, 2012). خلیج فارس دریایی حاشیه‌ای و نیمه بسته، دارای جزایر متعدد با عمق متوسط ۳۵ متر است. این در حالی است که دریای عمان (دریای مَکْران) که از طریق تنگه هرمز به خلیج فارس متصل می‌شود، به اقیانوس هند و آب‌های آزاد ارتباط دارد (Hassanzadeh *et al.*, 2011; Pak and Farajzadeh, 2007). در آب‌های کم عمق ساحلی و ناحیه بین جزر و مدی (میان کشندی) این پیکره آبی با ویژه در امتداد جزایر آن، فون و فلور متنوعی به چشم می‌خورد. در میان فلور نواحی ساحلی می‌توان به مانگروها^۱، علف‌های دریایی^۲ و ماکرو جلبک‌ها^۳ اشاره کرد.

اصطلاح آلگ^۴ یا جلبک یک نام عمومی برای تمام فتوسنتزکنندگان گیاه مانند است که با گیاهان عالی متفاوتند و گروهی ناهمگرا^۵ نظر به کسونومیکی را تشکیل داده و طبق نظر اکثر کارشناسان حداقل به ۴ سلسله مختلف تعلق دارند. به عنوان مثال، سیانوباکتری‌ها از نظر تکاملی، در مقایسه با سایر انواع جلبک‌ها بیشتر به باکتری‌ها (سلسله مونرا^۶) نزدیک هستند. به طور کلی جلبک‌ها را می‌توان به دو گروه عمده تفکیک کرد: ماکرو جلبک‌ها که ناحیه بین جزر و مدی^۵ و نواحی کم عمق ساحلی را اشغال می‌کنند و میکرو جلبک‌ها که به صورت چسبیده یا شناور آزاد در آب‌های ساحلی و اقیانوسی یافت و به عنوان فیتوپلانکتون شناخته می‌شوند (Lee, 2008; Braune, 2011; El-Ghazal, 2012).

تعریف واژه جلبک از نظر علمی عبارت است از: ساده‌ترین موجودات فتوسنتزکننده دارای کلروفیل a که فاقد آوند و سلول‌های محافظ در اطراف ساختارهای زایشی خود هستند. با جلافت گیاهان گلدار، در جلبک‌ها پس از تشکیل تخم^۶ تقسیمات جنینی صورت نمی‌گیرد؛ بلکه تخم مستقیماً رشد کرده و

¹ Mangroves

² Seagrasses

³ Macroalgae

⁴ Alga

⁵ Intertidal zone

⁶ Zygote

تبدیل به گیاه جدید می‌شود. علاوه بر این، غیر از موارد استثنائی (بعضی از جلبک‌های قهوه‌ای)، جلبک‌ها تمایز بافتی ندارند (ریاحی، ۱۳۸۱).

در تعریف ماکرو جلبک‌های دریایی (که معمولاً با نام seaweed شناخته می‌شوند)، باید توجه داشت که عبارت «جلبک‌های دریایی بزرگ» یا «ماکرو جلبک» اگرچه در اغلب موارد مناسب به نظر می‌رسد (مثلاً برخی جلبک‌های قهوه‌ای ممکن است به ۵۰ متر برسند)، اما انواعی نیز وجود دارند که اندازه آن‌ها به چند میلی‌متر می‌رسد و تنها با ذره‌بین یا میکروسکوپ قابل مشاهده هستند. علاوه بر این، اگرچه بیشتر ماکرو جلبک‌های دریایی چسبیده به بستر و در نواحی ساحلی یافت می‌شوند؛ اما تعدادی نیز مانند برخی از گونه‌های سارگاسوم به صورت شناور وجود دارند (Braune, 2011). ماکرو جلبک‌های دریایی در مقایسه با علف‌های دریایی (Seagrasses) از نظر جایگاه تکاملی بسیار متفاوت هستند. در منابع فارسی گاهی به هر دو عبارت Seagrass و Seaweed، علف دریایی گفته می‌شود؛ در صورتی که این دو گروه از نظر جایگاه تکاملی با یکدیگر بسیار متفاوت اند. علف‌های دریایی (Seagrasses) با داشتن ریشه، ساقه و برگ واقع جزء گیاهان نهاندانه تک‌لپه‌ای می‌باشند؛ در صورتی که جلبک‌های ماکروسکوپی دارای ساختارهای ریشه و ساقه نیستند و از آناتومی بسیار ساده‌ای برخوردارند.

شواهد فسیلی نشان می‌دهند که ماکرو جلبک‌ها شکلی از حیات هستند که حداقل به ۵۰۰ میلیون سال پیش بازمی‌گردند و سیانوباکتری‌ها حدود ۳ میلیارد سال است که بر روی زمین وجود داشته‌اند (Mouritsen et al., 2013).

ماکرو جلبک‌های دریایی شکل ماکروبنتیک (بزرگ و چسبیده به سطح) جلبک‌های دریایی هستند که در کنار گیاهان دریایی، مانگروها و فیتوپلانکتون‌ها از مهسرب تمام کنندگان اولیه دریاها به ویژه در ناحیه بین جزر و مدی محسوب می‌شوند. این گیاهان با آنکه از ناحیه بین جزر و مدی تا اعماق بیش از ۱۰۰ متر یافت می‌شوند اما بالاترین تنوع گونه‌ای و فراوانی آن‌ها متعلق به ناحیه ابتدای زیر جزر و مدی^۱ است. حداکثر عمق رشد جلبک‌ها توسط میزان نور مورد نیاز آن‌ها تعیین می‌شود (Koch et al., 2013).

^۱ Infra littoral fringe

ماکروجلبک‌ها فاقد تمایز بافتی هستند و در ساختمان رویشی آنها، ریشه، ساقه و برگ واقعی دیده نمی‌شود. به چنین ساختمان رویشی، ریشه یا تالوس^۱ می‌گویند. تالوس دارای سه قسمت اصلی است (بلالی علی‌آبادی، ۱۳۸۵):

- نگهدارنده (Holdfast): ساختار ریزوئیدی یا دیسکی شکل است که باعث چسبیدن ماکروجلبک به بستر می‌شود.
- پایه (Stipe): کوتاه یا بلند است و در برخی نمونه‌ها وجود ندارد.
- پهنک (Blade): بخش برافراشته و برگ مانند تالوس است.

می‌توان نگهدارنده را معادل ریشه، پایه را معادل ساقه و پهنک را معادل برگ در گیاهان عالی دانست؛ با این تفاوت که کارایی این اجزا در ماکروجلبک‌ها با گیاهان عالی متفاوت است. به عنوان مثال نگهدارنده در ماکروجلبک‌ها اتصال به بستر است و در جذب آب یا مواد مغذی نقش ندارد. تمام ترکیبات مورد نیاز برای بقا ماکروجلبک‌ها محلول در آب هستند. ماکروجلبک‌ها برخلاف گیاهان، نیازی به ریشه، ساقه یا برگ ندارند. مراد مغزی و گازها به طور مستقیم به روش انتشار و انتقال فعال از سطح تالوس مبادله می‌شوند (Mouritsen *et al.*, 2013).

ماکروجلبک‌های دریایی بر اساس نوع رنگیزه و سایر ترکیبات شیمیایی خود به سه شاخه اصلی تقسیم می‌شوند: جلبک‌های سبز (Chlorophyta)، جلبک‌های قهوه‌ای (Phaeophyceae) و جلبک‌های قرمز (Rhodophyta) (Miyashita *et al.*, 2012). با وجود این، در برخی موارد، جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای به دلیل داشتن رنگیزه‌های مضاعف، نسبت اختلاط رنگیزه‌ها و عوامل ژنتیکی و محیطی به رنگ خاکستری یا حتی آبی نیز دیده می‌شوند؛ که شناسایی آن‌ها را با مشابره^۲ رو می‌کند (Braune, 2011). اگرچه هر سه گروه بیان شده به عنوان ماکروجلبک شناخته می‌شوند اما به عنوان مثال جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای متعلق به دو سلسله زیستی متفاوت هستند (شکل ۱ و ۲). به عبارت دیگر، ارتباط آن‌ها با یکدیگر کمتر از ارتباط یک ژله فیش با یک ماهی استخوانی است؛ جلبک‌های سبز و جلبک‌های قرمز ارتباط نزدیک‌تری با گیاهان عالی دارند و همراه با دیاتوم‌ها زودتر از جلبک‌های قهوه‌ای تکامل یافته‌اند (Mouritsen *et al.*, 2013). به هر سه گروه ذکر شده، در فصل‌های مختلف این کتاب پرداخته خواهد شد.

^۱ Thallus

پراکنش ماکرو جلبک‌ها در ناحیه بین جزر و مدی

مطالعات میدانی ثابت کرده است که موجودات زنده به تغییرات فصلی همراه با تغییر شرایط محیطی، واکنش نشان می‌دهند. جلبک‌ها نیز از این قاعده مستثنی نیستند و همواره برهم‌کنش پیچیده‌ای بین فراوانی جلبک‌ها با میزان مواد مغذی، میزان نور در دسترس و درجه اختلاط در ستون آب وجود دارد. در مقیاس جهانی، پراکنش جغرافیایی ماکرو جلبک‌ها وابسته به رژیم‌های دمایی هر منطقه است. اما در مقیاس محلی، عواملی چون شدت نور، شوری، مواد مغذی و جریان‌های آبی (به خصوص جزر و مد) بر تولید و پراکنش جلبک‌ها تأثیر می‌گذارند. ناحیه بین جزر و مدی جزء پُر تنش‌ترین محیط‌های زیستی است و پراکنش جلبک‌ها در این ناحیه تحت تأثیر عوامل بیشتری قرار دارد. جزرهای روزانه باعث نوسان در شرایط محیطی از جمله دما، شوری، رطوبت، نور، اشعه فرابنفش و دسترسی به مواد مغذی می‌شود که خود بر پراکنش ماکرو جلبک‌ها تأثیر می‌گذارد. برهم‌کنش این فاکتورهای فیزیکی با سایر عوامل زیستی و فیزیولوژیک جلبک‌ها در پراکنش عمودی آن‌ها در این ناحیه مؤثر است. پراکنش و تراکم جلبک‌ها ممکن است به طور فصلی نیز تغییر کند؛ زیرا فشار چرا توسط آبزیان گیاه‌خوار، بنا به فصل تغییر می‌کند. علاوه بر این میزان تابش نور در تابستان افزایش و در زمستان کاهش می‌یابد، غلظت مواد مغذی نیز در فصول مختلف سال متفاوت است که خود بر پراکنش فصلی ماکرو جلبک‌ها تأثیر می‌گذارد.

نیازهای عمده ماکرو جلبک‌های دریایی عبارت‌اند از: ۱- وجود آب دریا (یا حداقل آب لب شور) ۲- وجود نور کافی برای فتوسنتز ۳- وجود یک بستر سخت برای اتکال. در نتیجه این جلبک‌ها به طور عمده در سواحل صخره‌ای دیده می‌شوند. در این منطقه جلبک‌ها سه گروه بالای جزر و مدی^۱، بین جزر و مدی^۲ و زیر جزر و مدی^۳ تقسیم می‌شوند؛ که گروه آخر جلبک‌های عمیق در پایین‌ترین نقطه جزر تا عمق حدود ۲۰۰ متر را در بر می‌گیرد. عامل محدودکننده در این مورد شفافیت آب و دسترسی به نور می‌باشد (Nybakken, 1993; Dubois and Iken, 2012).

عوامل محیطی مؤثر بر زیست ماکرو جلبک‌های دریایی

^۱ Supralittoral^۲ Intertidal^۳ Sublittoral

تأثیر نور بر ماکرو جلبک‌های دریایی

بخش ساحلی دریاها همواره در معرض تغییرات روزانه تابش خورشیدی و به خصوص جزر و مد قرار دارد. با توجه به این، تغییرات مقطعی در محیط ساحلی می‌تواند بسیار شدیدتر از زیستگاه‌های خشکی باشد. جلبک‌های منطقه بالای جزر و مدی که در معرض هوا هستند، انرژی تابشی کافی و یا حتی اضافی دریافت می‌کنند؛ اما در بخش‌های عمیق‌تر منطقه یوفوتیک^۱، عدم دسترسی به نور عامل محدود کننده رشد جلبک‌ها به شمار می‌رود. به همین دلیل در نواحی گرمسیری، جلبک‌ها معمولاً در منطقه فلات قاره (و بخش اپی پلاژیک^۲) و حداکثر تا عمقی که میزان نور ۰/۰۵ یا ۰/۰۱ درصد تابش سطح آب باشد، رشد می‌کنند. برخلاف شرایطی که در اعماق وجود دارد، ارگانسیم‌های فتوسنتز کننده در سطح آب و در ناحیه بین جزر و مدی در معرض تابش‌های شدید خورشیدی قرار دارند که ممکن است حتی بیش از انرژی نوری در نواحی آنها برای فتوسنتز باشد. این ارگانسیم‌ها مشکل کمبود انرژی ندارند؛ اما در عوض ناچار به تولید پوتنسیال‌ها و ترکیبات سلولی خاصی هستند که آنها را در برابر آسیب‌های ناشی از انرژی مازاد محافظت کند. در نتیجه، ممکن است کاهش در فعالیت فتوسنتزی روی دهد که بازدارندگی نوری نامیده می‌شود (Wilhelm and Selmar, 2011).

شرایط در مناطق ساحلی تا حدودی از منطقه اپی پلاژیک متفاوت است. در مناطق ساحلی معمولاً جریان‌های آب شیرین با رسوبات فراوان وجود دارد. نور در پیکره آبی، شدیداً وابسته به جذب و انتشار آن توسط مواد آلی و غیرآلی موجود در آب است که در مناطق ساحلی تراکم بیشتری دارند. غلظت مواد محلول و معلق در آب‌های ساحلی تغییرات مکانی و زمانی قابل توجهی نشان می‌دهد؛ که خود بر میزان نفوذ نور تأثیر می‌گذارد. با توجه به این نوسانات در ناحیه ساحلی، بسیاری از جلبک‌ها، الگوی روزانه فتوسنتزی نشان می‌دهند به طوری که میزان فتوسنتز در صبح‌ها کاهش و در عصر مجدداً در عصر افزایش می‌یابد. کاهش میزان فتوسنتز در ظهر نشان دهنده‌ی اشباع بازدارندگی نوری و افزایش میزان فتوسنتز در عصر به دلیل بهبود اثرات بازدارندگی نوری می‌باشد.

ماکرو جلبک‌های دریایی در ناحیه‌ی بین جزر و مدی باید با تشعشعات نور مرئی (تشعشعات فعال نوری با طول موج‌هایی بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر که در فتوسنتز نقش دارند) و تشعشعات فرابنفش (UV)، به ویژه UVB (۲۸۰ - ۳۲۰ نانومتر)، مقابله نمایند؛ چراکه تشعشعات فرابنفش به DNA و پروتئین‌های سلولی موجود در فتوسیستم II کلروپلاست که نقش حیاتی در فتوسنتز دارند، آسیب

¹ Euphotic zone

² Epipelagic

می‌رساند. ماکرو جلبک‌های دریایی در معرض تغییرات روزانه قابل توجه از جمله تغییر در نرخ تماس با فوتون‌ها بر حسب موقعیت خورشید، ابری بودن و به خصوص جزر و مد قرار دارند. به این ترتیب جلبک‌های کفزی^۱ که معمولاً در زیر آب و در شرایط کم نور رشد می‌کنند ممکن است در روزهای آفتابی و در هنگام جزر در معرض تشعشعات شدید خورشیدی قرار گیرند؛ که نتیجه آن جذب بیش از حد انرژی توسط دستگاه فتوسنتزی و آسیب نوری است. یکی از این آسیب‌ها تولید رادیکال بسیار فعال اکسیژن است که با مولکول‌های مهمی چون پروتئین‌های فعال در فتوسنتز، کلروفیل‌ها و اسیدهای چرب اشباع اکشن می‌دهد و باعث تخریب آن‌ها می‌شود. علاوه بر این، رادیکال H_2O_2 حتی در مقادیر کم می‌تواند با اکسید کردن آنزیم‌های چرخه کالوین، تثبیت CO_2 را تا ۵۰ درصد کاهش دهد (Wiencke and Biscof, 2012).

ماکرو جلبک‌های دریایی برای رشد و تولید مثل نیاز به نرخ خاصی از فتوسنتز خالص در یک زمان معین دارند. علاوه بر این، فتوسنتز باید به اندازه‌ای بالا باشد که جلبک بتواند برای دوره کاهش نور و نیز در طول زمستان انرژی کمی ذخیره کند. در شرایط کمبود نور، تراکم رنگیزه‌ها در پیکره جلبک، بیش از زمانی است که در معرض نور شدید قرار دارد؛ چراکه با افزایش گیرنده‌های فتوسنتزی شانس جذب فوتون‌ها نیز افزایش می‌یابد. بررسی شبکه‌هایی که از اعماق مختلف جمع‌آوری و یا به طور آزمایشی به اعماق مختلف منتقل شده‌اند نشان داده است که در شرایط کمبود نور در آب‌های عمیق، رنگیزه‌های کمکی افزایش می‌یابند. مثلاً در جلبک‌های سبز نسبت کلروفیل a:b کاهش و میزان گیرنده‌های کمکی فتوسنتزی افزایش می‌یابد. همانطور که جزایر گیرنده‌های فتوسنتزی در آب‌های عمیق و در شرایط محدودیت نور باعث افزایش ظرفیت جذب نور می‌شود؛ کاهش این گیرنده‌ها نیز مانع بازدارندگی نوری و آسیب‌های ناشی از نور شدید در آب‌های سطحی و در هنگام جزر می‌شود. گیاهان در هنگام کمبود نور باید انرژی بیشتری را برای تولید رنگیزه‌های جذب نور صرف کنند. این در حالی است که در شرایط نور شدید بیشتر انرژی گیاه صرف تولید آنزیم‌های فتوسنتزی، ترکیبات مربوط به زنجیره انتقال الکترون، ساختارهای حفاظت نوری و مکانیسم‌های مصرف انرژی می‌شود. بر این اساس، پراکنش ماکرو جلبک‌های دریایی در اعماق زیاد کاملاً وابسته به حداقل انرژی ورودی است؛ که خود تابعی از تغییرات سالانه و یا حداقل نوری است که به اعماق مختلف می‌رسد. بخشی از این انرژی صرف نگهداری توده‌ی گیاهی و بخش اضافی آن به مصرف رشد و تولید مثل می‌رسد. بنابراین،

^۱ Benthic

حداقل نور دریافتی در اعماق مختلف باید کمی بیش از انرژی مورد نیاز برای نگهداری گیاهان باشد تا صرف رشد و تولیدمثل شود. به دلیل تغییرات فصلی، جلبک‌ها در زیستگاه‌های کم نور باید مدت زیادی از سال را در شرایطی به سر ببرند که نور مورد نیاز برای تأمین انرژی آن‌ها وجود ندارد. بنابراین فعالیت فتوسنتزی در روزهای آفتابی سال (مثلاً در تابستان) باید به اندازه‌ای بالا باشد که بتواند ذخیره کافی برای دوره کم نور فراهم کند. این انرژی مازاد، طی فصول آفتابی به صورت شیمیایی ذخیره می‌شود. از آنجایی که نور اشباع برای رشد، کمتر از نور اشباع فتوسنتزی است؛ جلبک‌های آب‌های عمیق قادر به ذخیره مواد کافی در شرایط مناسب نوری هستند. این در حالی است که در سطح آب، ممکن است جلبک‌ها به دلیل تأثیرهای شدید خورشیدی، به ناچار، مقداری از انرژی خود را به منظور محافظت، صرف تولید پروتئین‌ها، ترکیبات سلولی نمایند. این جلبک‌ها قابلیت بالایی برای تنظیم سریع فتوسنتز داشته، دارای مکانیسم‌های تنظیم نوری مانند اتلاف گرمایی می‌باشند. فرآیند اتلاف انرژی اضافی جذب شده توسط کاروتنوئیدها صورت می‌گیرد. به عنوان مثال آن‌ها با حذف گروه هیدروکسیل (OH) از ویلوزانتین و تبدیل آن به زیرانتین انرژی اضافه را مصرف می‌کنند.

باید توجه داشت که تغییر در شفافیت آب ممکن است عمق نفوذ نور را تغییر دهد. به همین دلیل فعالیت‌های انسانی که انتقال نور در پیکره آب را تغییر می‌دهند؛ می‌توانند بر الگوی پراکنش جلبک‌ها اثر بگذارند (Wieneke and Bischof, 2012). نور سنتتیک جمع انرژی برای ارگانیسم‌های فتوسنتزکننده است؛ بلکه یک سیگنال محیطی برای تنظیم و راه‌اندازی فعالیت‌های حیاتی مانند فرآیندهای نورگرایی، تبدیل پلاست‌ها، سایه‌گریزی، ریتم‌های شبانه‌روزی و غیره نیز به شمار می‌رود. ویژگی سیگنال نوری، استفاده اندکی از نور برای تحریک گیرنده و ایجاد واکنش است. گیرنده‌ی نوری خاص، تنها به عنوان حسگر در زنجیره انتقال سیگنال عمل می‌کنند؛ درحالی‌که انرژی مورد نیاز برای ایجاد واکنش‌های مختلف، اغلب در طی فتوسنتز و از طریق انرژی جذب شده توسط رنگیزه‌های فتوسنتزی دریافت و تأمین می‌شود. به نظر می‌رسد که تنوع حس‌گرها و واکنش‌های آن‌ها در جلبک بسیار بیشتر از گیاهان گلدار است.

گیاهان با استفاده از سه گروه اصلی گیرنده‌های نوری قادرند تقریباً تمام اشکال و ویژگی‌های نور، از جمله جهت نور، مدت نور و طول موج آن را شناسایی کنند. این گیرنده‌ها عبارت‌اند از: فیتوکروم‌های جاذب نور قرمز/مادون قرمز، کریپتوکروم‌ها^۱ و فتوتروپین‌های جاذب نور آبی/UV-A و گیرنده‌ها و

^۱ Cryptochromes

حسگرهای UV-B. پروتئینی شبیه به فیتوکروم^۱ در رنگیزه‌های ماکروجلبک‌ها دیده شده است؛ هرچند شکل‌های قرمز/ مادون قرمز، فقط از جلبک‌های سبز استخراج شده‌اند. به نظر می‌رسد که کریپتوکروم‌ها در بین جلبک‌های قهوه‌ای فراوان هستند. گیرنده‌های نوری قادر به شناسایی سیگنال‌های نوری و مسیرهای سیگنال‌دهی درون سلولی اولیه برای تنظیم رشد و توسعه گیاه می‌باشند. فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز^۲ در جلبک‌های سبز و تجمع بیلی پروتئین‌ها در بعضی از جلبک‌های قرمز، می‌تواند توسط نور سبز یا آبی تحریک شود. نور آبی باعث افزایش تعداد رنگیزه‌ها در زنجیره انتقال الکترون در جلبک‌های سبز می‌شود؛ در حالی که نور قرمز مانع سنتز کلروفیل شده، منجر به کاهش جذب نور می‌شود. همچنین، تعداد مراکز واکنش در زنجیره انتقال الکترون را نیز افزایش می‌دهد. ریشه‌های متضاد جلبک‌ها و گیاهان عالی به نور قرمز یا آبی مطابق با شرایط مختلف طیف نور در زیستگاه‌های آنها می‌رسند. جلبک‌ها در آب‌های عمیق در شرایط فراوانی نور آبی رشد می‌کنند؛ در حالی که گیاهان عالی بیشتر در معرض نور قرمز قرار دارند.

ریتم‌های شبانه‌روزی و فصلیانه جلبک‌ها نیز توسط نور کنترل می‌شود؛ تا فعالیت‌های متابولیکی، فیزیولوژیکی و رفتاری در مناسب‌ترین شرایط روز یا سال روی دهند. دیرزمانی است که جلبک‌های یوکاریوت به عنوان سیستم‌های مدل برای مطالعه ریتم‌های روزانه استفاده می‌شوند. به عنوان مثال اشعه UV بیشترین اثر تخریبی خود را هنگام غروب و اوایل شب نشان می‌دهد (زمانی که سطح UV به طور طبیعی کم است). از این رو سیستم کنترلی ریتم‌ها با سازگاری با سطح بالاتر UV در طول روز را افزایش می‌دهد. سنجش دوره‌های نوری به معنی درک طول روز یا شب، قابلیت تشخیص فصل را به گیاه می‌دهد تا بتواند به محیط پاسخ مناسبی بدهد و با تغییرات فصلی سازگار شود (Kleine *et al.*, 2007; Wiencke and Bischof, 2012).

تأثیر تابش‌های فرابنفش بر زون‌بندی ماکروجلبک‌های دریایی

در اغلب مطالعات صورت گرفته بر روی جلبک‌های ماکروسکوپی دریایی این اتفاق نظر وجود دارد که حساسیت فتوسنتز به تابش‌های فرابنفش (UVR)^۳ عامل منطقه‌بندی عمودی گونه‌هاست. به عنوان مثال، اشعه فرابنفش را مهمترین عامل در تعیین حد بالایی پراکنش ماکروجلبک‌های قرمز در ساحل

¹ Phytochrome-like protein

² Nitrate reductase

³ Ultraviolet radiation

اعلام کرده‌اند. تشعشعات UV-B جزء لاینفک نور خورشید بوده و به سهولت به درون آب منتقل می‌شوند. تأثیر مخرب اشعه UV بر فتوسنتز بسیار مستقیم است. این اشعه با انرژی بالای خود توسط بیومولکول‌های آروماتیک و حاوی سولفیدریل جذب شده، باعث آسیب مستقیم به آن‌ها می‌شود. طیف نوری UV-B، بیش از آن که مشابه طیف‌های جذبی توسط رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد به طیف قابل جذب توسط DNA و پروتئین‌ها شبیه است. هنگام تماس DNA با UV-B، ممکن است دایمرهای تیمین تشکیل شوند که این پدیده باعث اشتباه در رونویسی DNA می‌شود و اگر فرآیندهای اصلاحی بر روی آن‌ها صورت نگیرد، باعث بروز جهش‌های موروثی خواهد شد. برخی جلبک‌ها در برابر اشعه فرابنفش ترکیبات محافظتی تولید می‌کنند که بتا-کاروتن و اسیدهای آمینه آروماتیک نمونه‌ای از این ترکیبات می‌باشد. اگرچه جلبک‌ها دارای مکانیسم‌های ترمیم DNA هستند؛ اما در سطوح بالای UV-B، ممکن است میزان آسیب وارد شده به DNA قابل ترمیم نباشد؛ چرا که پروتئین‌های آسیب دیده باید مجدداً سنتز شود که این فرآیند مستلزم صرف زمان و انرژی است.

عوامل مختلفی مانند عمق رشد، فصل، وضعیت داخلی و تاج پوشش، بخش‌ها و اندازه‌های مختلف تالوس و مرحله‌ای از چرخه حیاتی که جلبک در آن قرار دارد بر حساسیت جلبک‌ها به تابش‌های خورشیدی اثر می‌گذارند. سازگاری به تابش‌ها به معنای نقش مهمی را در عملکرد فتوسنتزی ماکروجلبک‌های دریایی ایفا می‌کند. به طور کلی، جلبک‌های منطقه بین جزر و مدی در مقایسه با گونه‌های زیر جزر و مدی، نسبت به تابش‌های UV-B مقاومت هستند. به نظر می‌رسد که جلبک‌های ناحیه بالای جزر و مدی قادر به سازگاری سریع با تغییرات مداوم تابش‌های خورشیدی هستند که نتیجه آن نه تنها کاهش اثرات مخرب تشعشعات فرابنفش (UVR) است بلکه حتی نیاز به UV-B برای القاء فرآیند ترمیم نیز وجود دارد. جلبک‌های نواحی عمیق شدیداً به UVR حساس هستند، اما با توجه به جذب آن در ستون آب، UV-B به طور طبیعی در اعماق زیاد وجود ندارد. این حال لازم به ذکر است که UVR ممکن است اثرات مخرب دیگری مثل کاهش نرخ رشد یا کاهش موفقیت تولیدمثلی نیز بر جلبک‌ها داشته باشد که در فعالیت کاهش یافته فتوسنتز منعکس نمی‌شود. همان طور که بارها تأکید شده است تخریب لایه ازون باعث افزایش UV-B می‌شود. تخریب لایه ازون به دلایل جوی و جغرافیایی، عمدتاً در ناحیه قطبی و در فصل بهار روی می‌دهد؛ بنابراین گونه‌های قطبی بیش از همه تحت تأثیر افزایش تابش‌های UV-B ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشند (Wiencke and Bischof, 2012).