

Екология на Черно море: от молекулата до екосистемата

Нешо Чупев, Албена Александрова

Развитието на човечеството винаги е било свързано с необходимостта да се търсят и използват нови или неизползвани досега ресурси. Океаните и крайбрежните морета покриват 71% от земната повърхност (приблизително 360 милиона квадратни километра) и винаги са осигурявали на хората храна, жизненоважни ресурси и услуги. Това обаче неизменно е било съпътствано от въздействието на различни антропогенни и природни фактори като замърсяване, свръхексплоатация на живи ресурси, климатични промени и т.н. Според някои учени последиствията от тези въздействия вече са на път да доведат до сериозни нарушения и дори до деградация на екосистемите на регионалните морета.

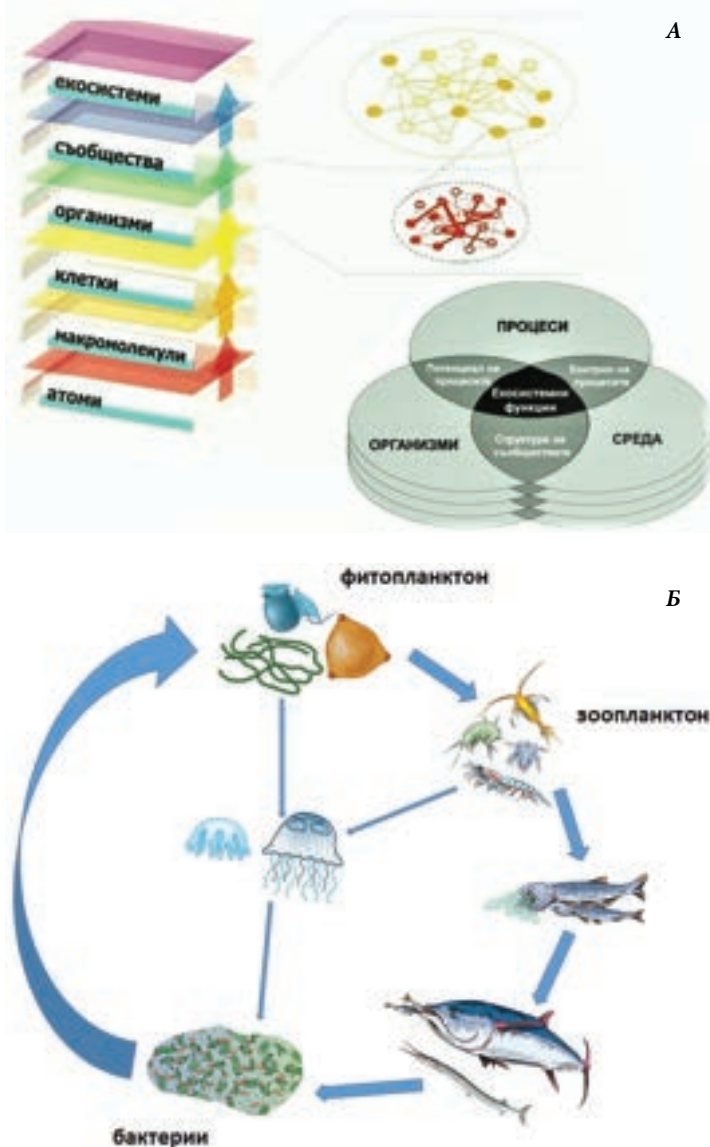
Черно море не е изключение. Антропогенните въздействия все по-силно засягат състоянието и функционалността на черноморската екосистема, нейния потенциал да доставя екосистемни услуги от жизненоважно значение. Едни от най-големите екологични проблеми са химическото замърсяване и тежката евтрофикация (органично замърсяване) на северозападния шelf, както и все по-осезателните климатични промени. Черно море приема големи количества речни води, носещи най-различни замърсители от територията на повече от 20 страни от Европа и Мала

Азия, които се прибавят към немалките местни източници на замърсяване на българското крайбрежие. Особено актуално напоследък става замърсяването с пластмаси. Големите реки (Дунав и Днестър) носят в морето от 6 до 50 броя пластмасови отпазъци на час. Оценката на екологичния риск от замърсяването и промените в черноморската екосистема са основен приоритет на научните изследвания и управлението на българската част на Черно море.

Изследвания на състоянието на черноморската среда. Оценките на със-

тоянието на морската среда традиционно са се основавали на изследвания на физикохимичния състав на проби от вода и седименти. Едва по-късно започва да се оценява съдържанието на замърсители и в организмите. Относително неотдавна започват да навлизат и специфични подходи за оценка на въздействието на замърсителите върху самите организми и техните реакции. Резултатите от тези изследвания в световен мащаб показаха, че никак не е просто да се изучават множествените въздействия върху морските организми и еднозначно да се определя поведението на морските екосистеми с цел управление и опазване. Екосистемите имат сложна йерархична структура и функциониране и изследването им, както и въздействието на множеството фактори (природни и антропогенни) върху тях изисква съществена промяна в подхода – от фокусиране върху средата и отделни организми към холистичен (екосистемен) подход. Екосистемният подход към изследването и управлението на моретата и океаните получава все по-голямо международно внимание (напр. международния проект

Оценка на екосистемите на хилядолетието, 2003 г.). Крайно време е екосистемният подход да стане водещ в изследванията, мониторинга и управлението и на екосистемите в българската част на Черно море.



Структурно-функционална организация на екосистема (А) и основни компоненти и връзки в екосистемата на Черно море (Б)



А

токсикологични изследвания имат дълга история и са имали отношение към някои други научни дисциплини. Подобни изследвания са били провеждани отдавна и в Черно море. Този консервативен токсикологичен подход се оказва ограничен поради невъзможността експериментално да се изучи огромния и все по-нарастващ брой на отделните видове химични замърсители. От друга страна, става крайно необходимо да се свърже замърсяването с екологичните му ефекти и да се разработят по-адекватни критерии за оценка.



Б

Обхват и отношения с други направления на токсикологията (А) и екотоксикологията (Б)

През 1970-те години нарастващият интерес към състоянието на околната среда води до формирането на едно ново научно направление – екотоксикологията. Първоначално основните подходи на това направление са били, в общи линии, същите като тези на токсикологията. По-съществена интеграция на токсикологията и

Токсикология и екотоксикология. Оценката на замърсяването на морската среда, видовете замърсители и последствията от тях традиционно се е фокусирала главно върху анализирането на така наречените приоритетни замърсители в проби от вода или седимент (инертни матрици), както и в лабораторни експерименти за влияние върху организмите, т.е. оценка на т.нар. „зависимости доза – ефект“. Тези

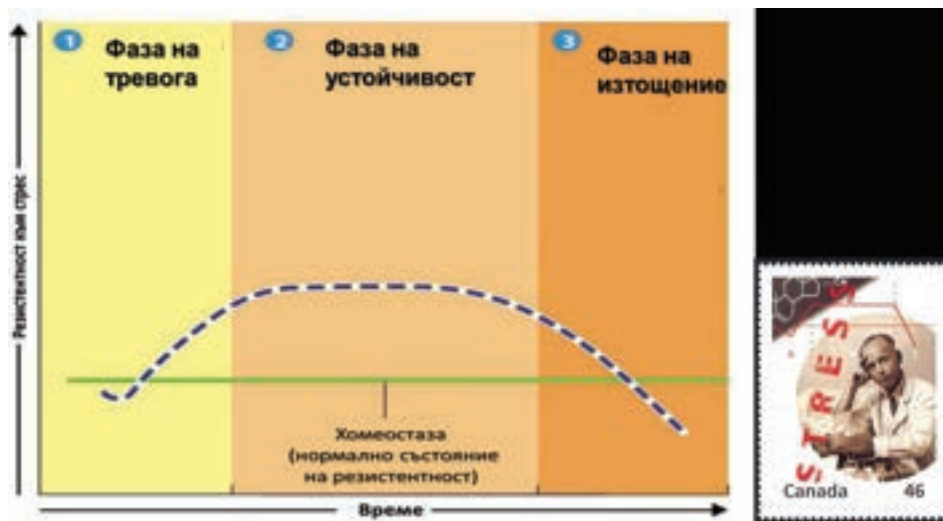
екологията е постигната в началото на 1990-те години. В резултат на това екотоксикологията е интердисциплинарна по характер и има отношение към различни научни области.

При съвременното развитие на изследванията на морската среда важна роля започва да придобива използването на различни подходящи показатели (индикатори), които могат да предоставят обективна информация за изследвания

проблем. Такива индикатори е прието да се определят по следния начин: **„биомаркер“** е всеки биологичен отговор по отношение на някое химическо съединение в околната среда, измерен вътре в даден организъм или в неговите продукти (урина, фекалии, косми, пера и др.), показващ отклонение от нормалното състояние; **„биоиндикатор“** се определя като организъм, даващ информация за условията на околната среда на неговото местообитание, чрез присъствието или отсъствието на този организъм, или чрез неговото поведение; **„екологичен индикатор“** е екосистемен параметър, описващ структурата и функционирането на екосистемата. Търсенето и прилагането на такива индикатори започва да се превръща във важна и неразделна част от изследванията и оценката на морските екосистеми. Такъв интегративен подход вече официално се прероръчва и от европейски документи като Рамковата директива за морска стратегия (MSFD, 2008/56/EC).

Как теорията на стреса навлезе в екологията? Понастоящем понятието „стрес“ добива все по-широка популярност. Всъщност стресът е общ адаптационен синдром, теоретичната основа на който е разработена от унгарско-канадския ендокринолог Х. Селие (**János Hugo Bruno „Hans“ Selye**). Той предлага добре познатата класическа форма на стрес модела (1936 г.).

Х. Селие доказва, че реакцията на стрес като отговор на въздействието на различни фактори всъщност е универсална, т.е. не зависи от това какво е въздействието и включва три фази: фаза на тревога, фаза на устойчивост и фаза на изтощение. Фазата на тревога съответства на модификации на биохимични и генетични параметри на организма, но без последствия върху растежа и жизнената му дейност. Във фазата на устойчивост се активират защитни механизми като например антиоксигантна защита, възстановяване на протеини и ДНК, и се проявяват първите



Класическата форма на стрес модела на Х. Селие



Типове биомаркери на стрес за различни нива на биологичната йерархия

признаци на намалена жизнена активност. Фазата на изтощение се характеризира със сериозна витална клетъчна дисфункция, водеща до хронично увреждане и накрая до смърт. Обикновено се приема, че стресът има само неблагоприятни въздействия, но се оказва, че това невинаги е вярно. Стресът може да доведе и до положителни екологични адаптации и вероятно това е изиграло важна роля в еволюцията. В екологията най-подходящото определение на стрес все още се обсъжда, но вече е доказано, че стресът е универсален интегративен отговор на организмите спрямо натиск на околната среда. Днес е общоприето, че има разграничение между стресор (външен фактор), стрес (вътрешно състояние, предизвикано от стресор) и реакция на стрес (каскада от промени, предизвикани от стреса). Стресът от околната среда може да засегне индивиди, популации и съобщества, пряко и непряко. В този смисъл стресорите (и стресът) са предизвикателство за

целостта на екосистемите и за качеството на околната среда. Виговите организми (а също и самите екосистеми) имат известна способност да понасят промени в интензивността на стресорите от околната среда, което е известно като резистентност, и да се възстановяват след прекратяване на натиска (известно като еластичност). Тази способност обаче си има граници, което формира определени прагове на поносимост (толерантност). При по-нататъшното

нарастване на интензивността на натиска се стига до стрес, надвишаващ праговете и резултатът е значителни екологични промени. В днешно време изследванията на стреса се фокусират върху две отделни нива: изследване на молекулярния, биологичен и биохимичен стрес и изследване на стреса на по-високи екологични нива (популации, съобщества). В крайна сметка обаче, и едните и другите изследвания изискват нови, интегративни научни подходи, придружени с разработването и използването на нови маркери на стрес.

Изследванията на въздействието на големия и непрекъснато нарастващ брой на замърсителите в морската среда поотделно вече е непосилно предизвикателство. Освен това, те имат не само индивидуални, но и наслагващи се (кумулятивни), и взаимозависими (синергични) ефекти. Общият извод е, че става крайно необходимо да се премине към един цялостен (интегративен) подход, който да комбинира химичните

измервания с биологични инструменти, за да се получи важна допълнителна и по-точна информация за разнопосочните въздействия на множеството стресори върху морските организми и съответно, техните специфични биологични отговори (реакции). Само така би могло обективно да се оценява и предвижда състоянието на черноморската екосистема, както и да се постигат поставените нови управленски цели, свързани с устойчивост.

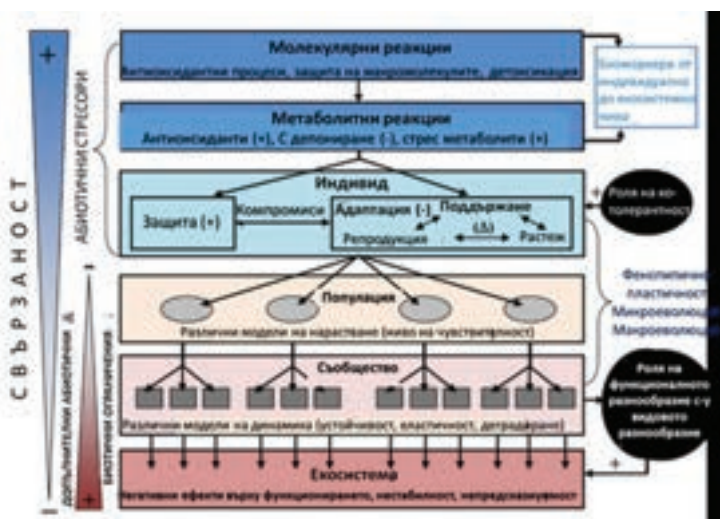
Оксидативен стрес. Общите реакции на организмите към въздействията на стресорите от околната среда могат да бъдат изразени чрез промени в клетъчния баланс между прооксидантните (предизвикани окислителни процеси) и антиоксидантните (компенсиране на окислителните процеси) процеси. Във всички аеробни организми, включително и морските, се генерират реактивни форми на кислород (РФК), които предизвикват верига от окислителни реакции, способни да увреждат всички биомолекули в клетките. До голяма степен това е цената, която аеробите плащат за осигуряването на енергия, която се получава чрез окислението на високоергични (богати на енергия) вещества. За своя защита клетките са развили в еволюцията универсална антиоксидантна система, която може да неутрализира РФК. Въздействието на цялото множество стресори на

морската среда (абиотични, биотични и антропогенни) предизвиква генериране на РФК, които в умерени концентрации изграят ролята на сигнални молекули за стартиране на адаптационни реакции в организма. Обаче, една продължителна или остра експозиция на стресор (стресори), води до свръхгенериране на РФК в клетката, които вече не могат да бъдат неутрализирани от антиоксидантната система. Резултатът е оксидативен стрес (ОС), който предизвиква различни увреждания на клетките, вкл. и върху генома и в крайна сметка може да доведе до смърт на организма.

Всичко изложено по-горе е доказателство, че ефектите на ОС могат да достигнат от клетката до най-високите екологични нива – отделния органи-



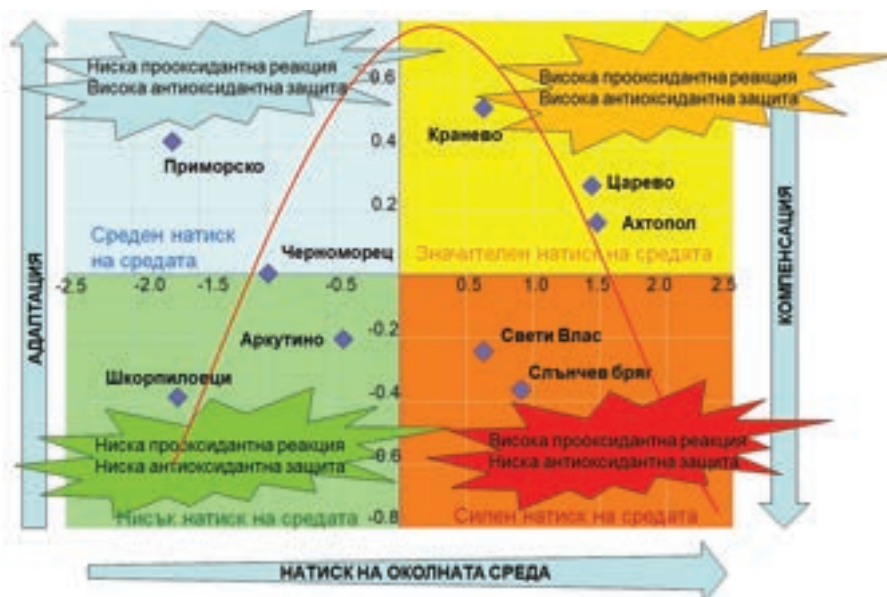
Баланс на прооксидантните и антиоксидантните процеси в клетката (А) и ефекти на оксидативния стрес върху ДНК (Б)



Пътища на разпространение на ефектите на оксидативния стрес от клетката до екосистемата

зъм, популацията, съобществото и екосистемата. На практика изследванията на ОС, заедно с други подходи, хвърлят мост между двете нива на изследване на стрес ефектите – молекулярно-биохимичното и екологичното.

На тази основа се формира едно ново перспективно, мултидисциплинарно и интегративно научно направление „стрес екология“, което надгражда екомтоксикологията.



Различното съотношение на прооксидантните реакции и антиоксидантните реакции (СОС индекс) в бели миди показва състоянието на средата (нейната стресогенност)

Нашият опит. В нашето Черно море вече са правени отделни изследвания на биоиндикатори на ОС, напр. в някои риби. За първи път обаче задълбочени изследвания на стрес екологията на ключови биоиндикатори (миди и риби) в българската част на Черно море се провеждат от учениците от Лаборатория „Свободно радикални процеси“ (Институт по невробиология на БАН) и Института по океанология на БАН в рамките на 4 научни проекта. За по-точна и сравнима оценка на ефектите на околната среда върху оксигативния баланс в организмите е въведен индекс на Специфичен Оксигативен Стрес (СОС). Получените резултати недвусмислено доказват, че изследваните биоиндикатори (видове миди и риби) по различен начин се справят с ОС, предизвикан от множеството стресори на морската среда.

На схемата е представен СОС на бели миди от различни райони. Вижда се, че в относително по-чистите крайбрежни райони белите пясъчни миди нямат повишени нива на прооксигантните процеси (зелен и син квадрант). В други, по-замърсени райони, те активират антиоксигантната си защита за компенсиране на въздействието на замърсителите (жълт квадрант), но в районите, където има голямо замърсяване, защитните им антиоксигантни системи се изтощават (червен квадрант) и това е индикатор за намаляване на компенсаторните възможности на организмите. Практическото приложение на резултатите от това първо изследване у нас могат да се видят от данните на стр. 62.

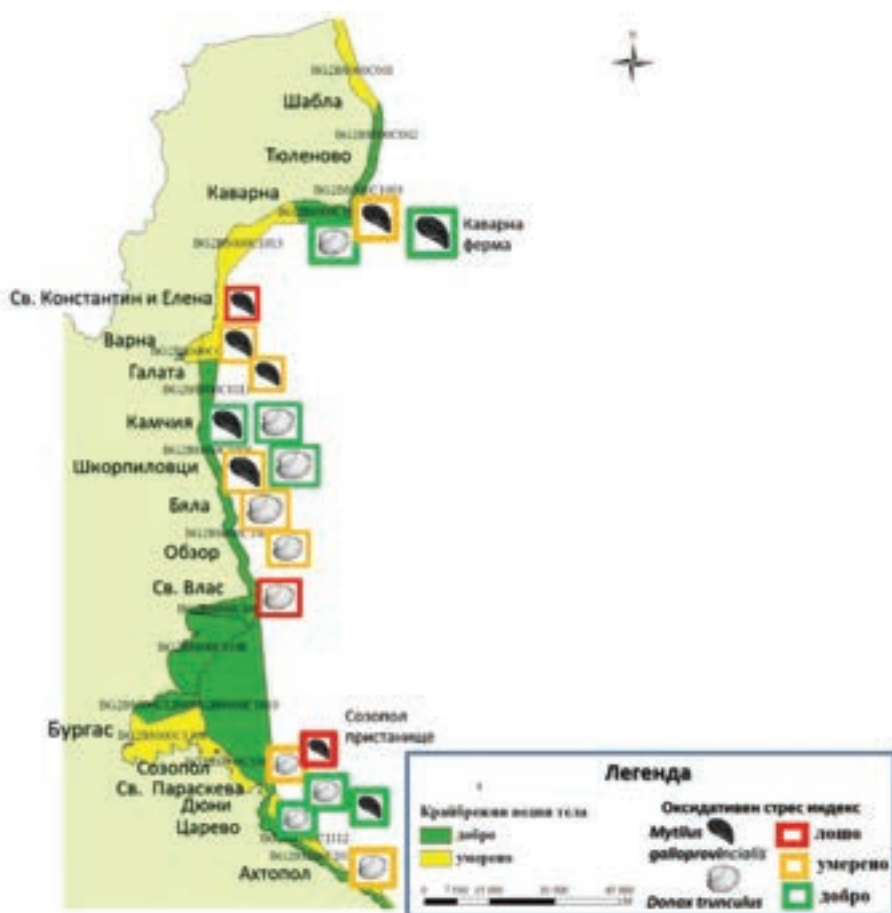
Схемата ясно показва наличието на разлики в категориите за екологично състояние на черноморските крайбрежни водни тела, присвоени от официалните отговорни органи у нас (Басейнова Дирекция за Черноморски район – Вар-



Проф. д-р Нешо Чипев е бил Директор на Централната лаборатория по обща екология на БАН, а след това е бил ръководител на Секция „Екосистемни изследвания“ в Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания на БАН. През последните пет години има четири научни проекта в областта на стрес екологията на черноморската биота, заедно с проф. Александрова.



Проф. д-р Албена Александрова завежда Лаборатория „Свободно радикални процеси“ към Научно направление „Биологични ефекти на природни и синтетични вещества“ към Института по невробиология – БАН и е ръководител на Център за научна и приложна дейност на Национална спортна академия „Васил Левски“.



Екологично състояние на крайбрежните водни тела по БДЧР (2019 г.) и екологично състояние по СОС индекса на местообитанията на черни и бели миди

на), и нашата оценка на екологичното състояние според СОС индекса на двата индикатора (черни и бели пясъчни миди). Логичният извод от тези провеждани за първи път у нас научни изследвания е, че въвеждането на СОС индекса на инди-

каторни видове (и сходни измерители) в мониторинговите програми на българската част на Черно море би направило оценката на екологичното състояние на морската среда по-обективна и по-прецизна. ■

Морски звезди – „санитари“ в океана?



„Рояк“ морски звезди, нападнали трупа на мъртъв Калифорнийски морски лъв

Морските звезди са клас древни безгръбначни от типа на Бодлокожите животни (*Echinodermata*), които обитават моретата и океаните с нормална соленост. Поради това те отсъстват от Черно море, чиято соленост е едва 15‰ – 18‰. В различните райони на Световния океан са открити и описани около 1500 вида, които живеят от крайбрежните зони на водоемите до около 7000 м дълбочина, където пълзят и търсят храната си по морското дъно. Всички морски звезди са хищници, а тяхната храна е твърде разнообразна – червеи, ларви и възрастни на ракообразни, гребни миги и охлюви и даже гребни риби. Поради това, че понякога навлизат в морските ферми и се хранят с изкуствено развъжданите миги, морските звезди са считани в много тихоокеански страни за вредни животни. Поради предпочитанията им към кораловите рифове те са обвинявани като вредители и на младите коралови образувания по морските крайбрежия.

През пролетта на 2022 г. в популярни американски списания се появиха съобщения и документални снимки показващи морските звезди и в ролата на „санитари“ за моретата и океаните, които участват в разграждането и усвояването на труповете на

по-едри морски животни, вкл. бозайници. Сътрудници на Калифорнийската академия на науките наблюдавали и заснели десетки морски звезди, които са се покатерили върху трупа на умрял (или убит от браконieri?) Калифорнийски морски лъв (*Zalophus californianus*) и започнали да разкъсват и поглъщат части от тялото му. Това се случило във водите на големия залив Монтерей бей, а морските звезди в случая се оказали от вида *Patiria minuate*, познати и с популярното име „морски прилепи“.

Морските звезди от този вид са сравнително гребни на големина, обикновено с 5 лъча и относително широк централен диск, който е дал основание да ги наричат и „морски прилепи“. Не са редки случаите когато броят на лъчите им е по-голям и достига до 9. Средните им размери са около 20 см в диаметър, но са добре забележими в морската среда поради ярките им цветове в широка гама – от зелено, синьо, оранжево до ярко червено. Обитават дъното на крайбрежния шелф от 0 до около 300 м дълбочина, но предпочитат зоната около 80 м дълбочина. Разпространени са по западното крайбрежие на американския континент от Аляска до Калифорнийския залив.

Досега бе известно, че морските звезди са хищници, които се хранят основно с живи гребни бентосни морски обитатели, главно морски червеи. Новите наблюдения обаче разкриват, че този вид морски звезди могат да участват също и в разграждането и очистването на морската среда от трупове на по-едри животни. А това вече се оценява положително и с надежда от екологично и природозащитно гледище.

По Live Science