Введение

Организмы, обитающие в сообществе, связаны между собой разнообразными связями, в том числе трофическими взаимоотношениями (++). Частный случай трофический взаимоотношений - взаимодействия хищника и жертвы. При этом считается, что поведение хищника подчиняется модели оптимального фуражирования (+++). Эта модель утверждает, что животное стремится максимизировать за единицу времени количество энергии, которую оно получает из пищи (++). Ключевой параметр для этой модели, время обработки пищи, во многом зависит от наличия у жертвы защитных приспособлений. Если такие приспособления присутствуют, то это увеличивает время обработки и, следовательно, уменьшает количество энергии, полученной за единицу времени (+++). Таким образом, чем меньше защитных приспособлений вырабатывает жертва, тем выше вероятность быть съеденной. Одним из хорошо исследованных примеров взаимодействия хищника и жертвы является система, где хищником оказываются морские звезды, а жертвами - двустворчатые моллюски мидии (+++). Известно, что звезды активно поедают мидий, уничтожая достаточно большие поселения, вплоть до обширных мидиевых банок. ++++.

В ответ на присутствие хищника мидии развивают различные защитные механизмы. Так моллюски могут утолщать раковину, и изменять ее размерные характеристики, увеличивать массу мускула замыкателя, повышать выделение биссусных нитей (Smith et Jennings, 2000; Fässler et Kaiser, 2008; Lowen et al. 20++). При этом было показано, что морским звездам сложнее питаться в поселениях тех поселених мидий, где моллюски скрепляясь друг с другом, формируют плотные агрегации (Dolmer, 1998). В таких агрегациях связи между мидиями затрудняют добычу и обработку жертвы, в то время как в поселениях, где эти соединения или ориентация мидий нарушены, шансы упешной атаки хищника возрастают (Dolmer, 1998).

Взаимоотношения мидий и морских звезд становятся более сложными в тех случаях, когда в одном поселении представлены два (или более) криптических вида жертв, которые могут иметь разные защитные механизмы. Так, например, в морях Северной Атлантики совместно обитают два криптических вида рода Mytilus: M.edulis ++ и M.trossulus ++ (Väinölä, Strelkov, 2011). Мидии живут либо в моноспецифичных поселениях, например во внутренней части Балтики (Väinölä et Strelkov, 2011), либо в смешанных, с разными долями того или иного вида, как например в Северном, Белом и Баренцево морях (Väinölä et Strelkov, 2011), а также на Атлантическом побережье Северной Америки (Riginos, Cunnigham, ++). В таких смешанных поселениях морские звезды Asterias rubens ++ охотнее нападают на M. trossulus (Макарычева, 2015; Lowen et al., 2013; Khaitov et al. 2021). Этот выбор может объясняется тем, что в ответ на присутствие морской звезды M. edulis лучше способны обороне, чем M.trossulus, за счет увеличения толщины стенки раковины, усиления мышцы-аддуктора, повышенного выделения биссуса или уплотнения агрегаций (Lowen et al., 2013). Однако, следует отметить, что все эти реакции требуют от мидий долговременного (более месяца) контакта с хищником (Lowen et al., 2013), что в природныз условиях практически нереалистично. Поэтому более вероятным являтся другое объяснение, которое заключается в том, что у двух видов мидий створки раковины имеют разную толщину, а, следовательно, и разную гибкость (Beaumond ++; Кириллов +++). Раковины M. trossulus более тонкие и более гибкие, а поэтому звездам легче их вскрывать, растягивая створки (Khaitov et al., 2021). Однако, вне зависимости от того какой механизм лежит в основе неравнозначных предпочтений со стороны морских звезд двух разных видов жертв, можно утверждать, что M.edulis лучше приспособлены к влиянию хищников, чем M.trossulus.

Учитывая наблюдаемую асимметрию, мы можем ожидать, что максимальная вероятность атаки морскими звездами будет в моноспецифичных поселениях M. trossulus, а минимальной - в моноспецифичных поселениях M. eudlis. В смешанных поселениях можно ожидать, что морские звезды будут выедать примущественно M. trossulus. То есть вероятность атаки морских звезд на поселение должна возрастать с увеличением в нем доли M. trossulus (Макарычева, 2017).

Однако, такая модель не соответствует наблюдениям. Так, однозначной положительной корреляции между вероятностью гибели мидий и долей M. trossulus в поселении, как предсказывает модель, описанная выше, найдено не было (Khaitov et al., 2023). Более того, было показано, что звезды чаще атакуют тот вид жертв, относительное количество которого в агрегации меньше, будь то M.trossulus или M.edulis (Макарычева, 2016; Khaitov et al., 2023). То есть атакам подвергаются в первую очередь мидии «аутсайдеры». Авторы этих наблюдений предполагают, что в основе выбора звездами жертвы лежит то, как мидии агрегируются друг с другом (Khaitov et al., 2023). Два вида мидий заметно отличаются в своей стратегии формирования агрегаций: M.trossulus предпочитает покрепче прикрепиться к донному субстрату, в то время как M.edulis имеет тенденцию к формированию многослойных поселений, в которых моллюски крепятся друг к другу (Хайтов и др., 2024). Особенно ярко эти различия проявляются при наличии химических сигналов, исходящих от хищников (Кириллов, +++). Если эта модель верна, то из нее можно вывести проверяемое следствие. Наиболее высокая смертность от влияния хищника должна быть в смешанных поселениях, с Таким образом, мидии, живущие в моноспецифичных поселениях, должны быть наименее подвержены атакам,

(Khaitov et al., 2023).

. Цель данной работы – проверить эту гипотезу.

, и, что вероятность

Ранее была высказана гипотеза о том, что вероятность быть убитой у мидии с уменьшением количества в поселении ее конспецификов .

Материалы и методика

Сбор животных для эксперимента

Материал для проведения эксперимента был собран в августе 2024 года. Мидии морфотипа T были собраны в Северной губе острова Ряжкова, где по результатам исследований наблюдается высокая доля T-морфотипа. Вторая точка сбора-мидиевая банка на остове Большой Ломнишный, на ней были собраны мидии E-морфотипа, которые, по ранее сделанным исследованиям, преобладают в этой точке. В связи с нехваткой мидий E-морфотипа была проведена повторная сборка в точке 3-Южной губе, где преобладают литоральные мидиевые друзы E-морфотипа.

Для увеличения вероятности нахождения мидии нужного морфотипа, моллюски были отобраны с помощью теста, предложенного в работе Э.Бюмона с соавторами (Beaumont et al. 2008). Мидии подвергались сжатию в спинно-брюшном направлении: у M. trossulus, обладающих более тонкой раковиной, при этом появляется широкая щель между створками раковины, у M. edulis, обладающих более толстыми створками, такая щель не образуется.

До эксперимента мидии были выдержаны в сетках, свешанных в морскую воду, не менее 2-3 дней. Для эксперимента были отобраны мидии размером 15-30 мм.

Проведение эксперимента

Для эксперимента были подготовлены 33 садка из керамической плитки 25х25 см и пластикового бортика высотой 3 см. На каждом садке был подписан тип, соответствующий соотношению разных морфотипов в садке, и индивидуальный номер. В каждый садок было высажено по 80 мидий в разных соотношениях. В 11 садков было высажено по 80 мидий с точки сбора №1, в следующие 11 садков мы посадили по 40 мидий с точки сбор №1 и по 40 мидий с точки сбора №2, в последние 11 садков было высажено по 80 мидий с точки сбора №2.

Перед началом эксперимента садки были закреплены с помощью деревянных колышков в литоральной луже о. Ряжкова и оставлены там на 3 дня. Несмотря на то, что лужа находится в затишных условиях, в дни нахождения там садков был сильный ветер и волны, возможна частичная утеря не успевших закрепиться биссусом мидий. За время нахождения в луже мидии успели закрепиться биссусом и сформировать друзы. После садки были изъяты с литорали и перевезены на место постановки эксперимента.

Эксперимент был поставлен в окрестностях островов Девичья Луда и Первая Поперечная Луда. Садки с привязанными к ним поплавками были опущены на дно, на глубину около 2 м. По наблюдениям водолаза в месте постановки садков находилось скопление звезд Asterias rubens. Эксперимент был оставлен на 3 дня, после чего поднят вместе со звездами и подвергнут дальнейшему анализу.

Моллюски и звезды были извлечены из садков. У звезд был измерен вес и диаметр (от центра звезды до конца противоположного луча), после чего они были выпущены в море.

Створки съеденных мидий были высушены, живых мидий мы сварили и очистили от мягких тканей, после чего они также были высушены. Далее в обработке материала участвовали только правые створки (исключение-правая створка была повреждена и определить морфотип по ней не представлялось возможным, в таком случае использовалась левая створка). У каждой раковины мы измерили длину(L) и определили морфотип с использованием бинокуляра и штангенциркуля.

Для надежного определения вида моллюска необходимо проведение генотипирования, однако, как было показано в работе В.М.Хайтова и соавторов (Khaitov et al. 2021) генетически определенный вид коррелирует с так называемым морфотипом мидии. M. edulis и M. trossulus в Белом море различаются по следующему конхологическому признаку: наличием или отсутствием непрерывной полосы призматического слоя под нимфой лигамента на внутренней стороне раковины. В следствие этого мы обозначаем как T-морфотип мидий, имеющий данную полоску, и как E-морфотип моллюсков без полоски.

Статистическая обработка

Обработка проводилась с помощью языка статистического программирования R. В качестве зависимой переменной выступала доля мертвых мидий в садке. В качестве факторов в анализе мы использовали долю T-морфотипа и размер мидии(L).