

ИЗУЧЕНИЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ (АССОЦИАТИВНОГО СИМБИОЗА) В МИКРОБИАЛЬНЫХ БИОЦЕНОЗАХ ВОДОЕМОВ

Рецензия на книгу О. В. Бухарина и Н. В. Немцовой

“Микробиология биоценозов природных водоемов” (Екатеринбург: УрО РАН, 2008, 156 с.)

С. В. Котелевцев, С. Н. Орлов, С. А. Остроумов –

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

В 2008 г. опубликована книга О. В. Бухарина и Н. В. Немцовой “Микробиология биоценозов природных водоемов” (Екатеринбург, издательство Уральского отделения РАН, 156 с.). Книга дает возможность более глубоко понять экологию водоемов и содержит большой объем новой информации, важной для формирования научных основ оценки экологического состояния водоемов, биоиндикации, для санитарной гидробиологии и прикладной микробиологии источников водоснабжения.

В книге представлены материалы по взаимоотношениям симбионтов в биоценозах природных водных экосистем.

Книга состоит из Введения, четырех глав и заключения.

Краткое Введение содержит очень важные сведения. Упомянут принцип, обозначенный Гамильтоном в 1843 г. как ассоциативность – образование ассоциаций микроорганизмов с различными типами связей. Даны определения важных терминов – эндоцитобиоза (расположение микроорганизмов в клетках своих хозяев – таких, как водоросли и простейшие) и ассоциативного симбиоза. Последний термин введен О.В. Бухариным.

В первой главе (с. 12–45) рассмотрены основные типы микробиоценозов водоемов. В отдельных разделах анализируются следующие ассоциации.

1. Ассоциации простейших с бактериями. Рассмотрено множество разнообразных примеров симбиозов простейших (родов *Chlamydomonas*, *Amoeba*, *Valoniopsis*, *Tetrahymena* и других) с бактериями родов *Vibrio*, *Aeromonas*, *Mycobacterium*, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Listeria*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Staphylococcus*, *Serratia* и других.

2. Ассоциации простейших с водорослями. Обсуждаются многие примеры симбиотических ассоциаций простейших родов *Amoeba*, *Majorella*, *Pleuronema* с ассоциированными с ними водорослями родов *Coelastrum*, *Chrysochromonas*, *Kephyrion* и др. Во многих случаях эндосимбиотические водоросли (зоохлореллы, зооксантеллы, цианеллы и др.) обеспечивают значительную часть энергетических потребностей простейших, создают возможность миксотрофии для гетеротрофных простейших.

3. Ассоциации водорослей с водорослями. В этом разделе авторы расширительно трактуют тер-

мин водоросли и включают в него сине-зеленые водоросли, которые, по более строгой терминологии, относятся к бактериям (цианобактерии). В данном разделе приведены интересные примеры того, как в слизи цианобактерий поселяются другие цианобактерии, диатомовые и зеленые водоросли. Есть и другие примеры, где точно определить характер ассоциации (симбиоз или паразитизм) затруднительно.

4. Ассоциации водоросли – бактерии. Как отмечают авторы, “ценозообразующая роль водорослей обусловлена, во-первых, способностью образовывать слизистые чехлы и колониальную слизь, во-вторых, наличием внеклеточных органических выделений” (с. 29). Это способствует образованию ассоциаций водорослей родов *Pandorina*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Spirulina*, *Dunaliella* с бактериями *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Sarcina*, *Vibrio*, *Micrococcus*, *Rhodococcus* и другими.

5. Бактерии – бактерии. Приведены интересные примеры ассоциаций бактерий. Так, установлены ассоциации бактерий, разлагающих целлюлозу, и азотфиксаторов. *Acinetobacter* часто ассоциирован с микрококком и дрожжами *Candida*. Синтрофной ассоциацией является *Methanobacterium omelianskii* – ранее это считалось чистой монокультурой метаногенов. Выявлен микробный биоценоз гиперсоленых озер, в который входят галофильные и галотолерантные бактерии, причем галофильные бактерии делятся со своими партнерами осмопротекторами.

Во второй главе “Модельные функциональные системы биоценозов” (с. 46) рассмотрены три защитных системы во взаимодействиях про- и эукариотических микроорганизмов, причем для всех трех защитных систем обнаружены механизмы их преодоления, которые присущи некоторым из водных микроорганизмов.

Авторы подробно изучили систему “лизоцим-антилизоцим”. Показано, что лизоцимной активностью обладает очень высокая для изолятов многих групп организмов – *Ciliophora*, *Sarcocystophora*, *Streptococcaceae*, *Micrococcaceae*, *Bacillaceae*, и другие. Этой активностью обладают более 40% изолятов *Chlorophyta* и более 20% изолятов *Cyanophyta* (с. 48). Вместе с тем у многих организмов выявлена антили-

зоцимная активность – прежде всего у патогенных, условно-патогенных и сапрофитных микроорганизмов, например у энтеробактерий, аэромонад, стафилококков. Антилизозимная активность найдена у почти 90 % изолятов Enterobacteriaceae, более 70 % изолятов Pseudomonaceae, около 50 % изолятов Cyanophyta, более 40 % Chlamidobacteriaceae, у многих других групп организмов (с. 50). В работах О.В. Бухарина разработано представление о том, что биологическая целесообразность антилизозимного фактора в условиях инфекционной патологии состоит в защите пептидогликанового полимера прокариот от воздействия лизоцима. Авторы детально изучили формы микроорганизмов, имеющие лизоцимную активность (ЛА) и обладающие антилизозимной активностью (АЛА). Ими получен большой экспериментальный материал о присутствии и численности ЛА- и АЛА-форм в ассоциациях “бактерия – бактерия”, “водоросль – водоросль”, “водоросль – бактерия”, “простейшие – водоросль”, “простейшие – бактерии”.

Авторы обнаружили, что лизоцим-антилизозимные взаимодействия важны для выживания бактерий не только в воде природных экосистем, но и в питьевой воде. Формирование симбиотических связей бактерий с простейшими и водорослями имеет большое значение для качества питьевой воды, поскольку бактерии могут успешно преодолевать барьер фильтрационных сооружений, находясь в слизистых чехлах водорослей или в фагосомах простейших (с. 74). Авторы сформулировали тезис о тройном значении системы “лизозим-антилизозим”: обеспечение жизнедеятельности биоценоза, механизм выживания, регуляция гетерогенности микробных популяций (с. 76).

Вторая система, важная для формирования ассоциативных связей – функциональная связь “гистоны эукариот – антигистоновая активность прокариот” (с. 77–90). В 1992 г. О.В. Бухарин описал способность бактерий инактивировать бактерицидный эффект гистонов эукариотических клеток. В книге на стр. 84–90 описаны опыты, доказывающие роль антигистоновой активности бактерий в формировании ассоциативных связей с простейшими.

Третья система – “перекись водорода водорослей – каталазная активность бактерий” (с. 90–97). Серия оригинальных опытов по сокультивированию водорослей с каталазными и безкаталазными штаммами кишечной палочки показала, что высокая жизнеспособность (выживаемость) была характерна для штаммов с высоким уровнем каталазной активности. На этой основе авторы полагают, что “штаммы бактерий-ассоциантов водорослей с высоким и средним уровнем исследуемого признака могут выступать в роли симбионтов (резидентных штаммов), тогда как остальные – рассматриваться как случайная (транзисторная) бактериофлора” (с. 94).

Следующая, третья глава посвящена регуляции межмикробных отношений симбионтов. Первый из двух разделов этой главы излагает новые интересные данные о влиянии аутоиндукторов анабиоза на симбиотические отношения гидробионтов (с. 98–105). Среди экзометаболитов водорослей идентифицировано более 300 веществ. Из них 10–40 % участвуют в регуляции микробных популяций, обитающих вокруг водорослевых клеток в их фикосфере. Выявлены конкретные вещества, участвующие в ауторегуляции роста и развития популяций микроорганизмов. К ним относятся аутоиндукторы анабиоза (алкилоксибензолы, АОБ, факторы d_1 , fd_1) и аутоиндукторы аутолиза (свободные ненасыщенные жирные кислоты, СНЖК, факторы d_2 , fd_2). Обе группы ауторегуляторов обладают мембранотропным действием. По некоторым данным, факторы первой группы увеличивают вязкость биомембран, а факторы второй группы, наоборот, повышают степень текучести липидной составляющей биомембран. По некоторым представлениям, кооперативное действие fd_1 и fd_2 (соотношение fd_1 и fd_2) представляет собой ауторегуляторный механизм и эндогенную причину смены стадий развития и метаболических превращений в популяциях микроорганизмов (обзор см. на с. 99). Авторы подробно изучили роль АОБ (на примере химического аналога ауторегуляторного фактора d_1 бактерий, С12-АОБ) в регуляции межмикробных взаимодействий в альгобактериальных ассоциациях хлорококковой водоросли *Coelastrum microgonum* и сопутствующих ей бактериальных симбионтов. Из проведенных опытов вытекает предположение, что бактерии-спутники оказывают защитный (протективный) эффект и способствуют устойчивости ассоциативной культуры водоросли к действию АОБ (с.100).

В другом разделе этой главы авторы описывают новые интересные данные о ингибировании роста условно-патогенных бактерий под действием клеточных экстрактов ряда культур водорослей (в том числе *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella* sp., *Chlamydomonas reinhardtii*, представителей родов *Pediastrum*, *Chlorococcum* и др.). Было обнаружено ингибирование роста тест-штаммов *Escherichia coli*, *Klebsiella ozaenae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* (с. 108–109). Поэтому практическую пользу может принести использование исследованных культур микроводорослей для доочистки сточных и загрязненных вод.

В последней, четвертой главе (с. 111 и далее) проанализирован исключительно важный для практики вопрос об использовании микробных биоценозов для биоиндикации и мониторинга экологического состояния водоемов. Рассмотрены исключительно важные для практики методы микробиологической индикации состояния водоемов. Среди этих методов – определение общего

микробного числа (ОМЧ), анализ и оценка сапробности, метод сапробной валентности, биологическая оценка качества воды с использованием санитарно-показательных микроорганизмов (СПМ). Отдельный раздел посвящен микробным биоценозам как инструментам экологического мониторинга водной среды (с. 124–126). Предложено для выявления экологического неблагополучия в водоеме использовать анализ биоценологических связей гидробионтов на примере симбиотических взаимодействий. Авторы установили, что для улавливания изменений в водоемах информативным параметром является лизоцимная и антилизоцимная активность гидробионтов (микроводорослей). Персистентные показатели микрофлоры – антилизоцимная, антикомплементарная и антиинтерфероновая активности ЛКП (лактозопозитивных кишечных палочек) могут служить маркерами санитарного неблагополучия водоема, для выявления свежего фекального загрязнения, а также при оценке качества питьевых вод и выборе способа обеззараживания при водоподготовке. Этот подход может пригодиться при тестировании поллютантов, при расчете индексов сапробности для водорослей, оценке трофности водоема, что полезно для санитарной практики. В другом разделе сформулированы и обоснованы новые направления использования симбиотических взаимодействий водных микроорганизмов в лабораторной практике. Таковыми направлениями являются: разработка методов тестирования биологических свойств микроорганизмов, выделение чистых (аксенических) культур микроорганизмов, подбор методов культивирования микроорганизмов, отбор штаммов продуцентов биологически активных веществ.

В Заключение (с. 132–135) сделаны интересные выводы и обобщения. Отмечено, что “в микробном сообществе гидробионтов имеет место феномен ассоциативного симбиоза. При этом центровое значение отводится организму-хозяину, вступающему в различного рода взаимодействия как с постоян-

ными, так и с временными партнерами”. Отмечено также, что ассоциативный симбиоз природных водных микроорганизмов – это самоуправляющаяся и саморегулирующаяся система, включающая особь вида-хозяина и особи видов-симбионтов (с. 132). К категории макропартнера или организма-хозяина в микробиоценозе можно отнести водоросли или простейших, способных к эндоцитобиозу. Большое практическое значение имеет тот факт, что в природных водных биоценозах указанные симбиозы представлены как автохтонной, так и аллохтонной микрофлорой, в состав которой входят условно-патогенные и патогенные для человека и животных микроорганизмы. Результатом такого симбиоза является выживание патогена во внешней среде и сохранение его вирулентности.

Приведенные в книге материалы продолжают серию публикаций О.В. Бухарина и соавторов [1, 2] и закладывают базу для формирования нового научного направления – экспериментальной симбиологии, которая обогащает спектр современных биологических дисциплин.

Выявление новых сведений о связях и ассоциациях гидробионтов имеет большое экологическое значение, углубляет продуктивный синэкологический подход в биологии и экологии [2].

Книга содержит ценную обширную библиографию, прекрасно иллюстрирована оригинальными цветными фотографиями микроводорослей и других микроорганизмов. Безусловно, книга представляет ценный вклад в науку и принесет пользу гидробиологам, микробиологам, специалистам по экологии и санитарному состоянию водоемов и водотоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин О. В. Персистенция патогенных бактерий. – М.: Медицина, 1999. – 367 с.
2. Бухарин О.В., Лобакова Е.С., Немцева Н.В., Черкасов С.В. Ассоциативный симбиоз. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 264 с.