

ФОРМИРОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНО-ВОДОРОСЛЕВОЙ БИОМАССЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРУДОВ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО ОЧИСТКЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ СТОЧНЫХ ВОД

***А.Я. Самуйленко, академик РАСХН, академик НААН Украины,
доктор ветеринарных наук, профессор
А.А. Денисов, доктор биологических наук, профессор
В.И. Еремец, доктор биологических наук, профессор
Всероссийский научно-исследовательский и технологический
институт биологической промышленности (ВНИТИБП РАСХН)
Е.А. Денисова, кандидат биологических наук, Всероссийский
научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии,
гигиены и экологии (ВНИИВСГЭ РАСХН)****

Проведены микробиологические исследования структуры, основных закономерностей функционирования популяций активного ила и соотношение основных микробных сообществ в процессах аммонификации, нитрификации, денитрификации при очистке сточных вод животноводческих комплексов биологическими методами. Исследована кинетика развития смены доминирующих форм микроорганизмов, связанных с изменяющимися условиями питания на разных этапах очистки.

Сточные воды, биологическая очистка, активный ил, биоценоз, нитрификация, денитрификация.

Цель исследований – определение условий, вызывающих размножение (нарастание) доминирующих видов водорослей в аэротенке с таким расчетом, чтобы можно было рекомендовать корректирующие мероприятия для их формирования в необходимом количестве для эффективного функционирования фитопланктона в биологических прудах доочистки.

Анализ образцов активного ила показали, что в активных илах аэротенков имеет место три различных вида наращивания водорослевой массы, при этом вид наращивания зависит от физиологических способностей и потребностей доминирующих нитчатых организмов в общей массе активного ила аэротенков.

Обобщенные данные испытаний позволяют систематизировать различные виды увеличения объема нитчатых, индуцируемых сточными водами аэротенков, и выявить основные условия формирования бактериально-водорослевой биомассы [1, 2, 3, 5].

Sphaerotilu – увеличение объема имело место в реакторах полного смешения, работающих при отношениях F:M от 1,2 до 1,8 г ХПК/г ВВ.сут (время пребывания от 2 до 20 суток) с концентрациями растворенного кислорода более 5,0 мг/л и при температуре 22 °С, увеличение объема имело место также в реакторе полного смешения, питаемого синтетическими крахмальными водами при высоких концентрациях растворенного кислорода.

Beggiatoa – увеличение объема имело место в реакторах с поршневым потоком при отношениях F:M 0,5 г ХПК/г ВВ.сут с концентрациями растворенного кислорода ниже 0,5 мг/л и при температуре около 21 °С.

Schizothrix – увеличение объема имело место в реакторах с поршневым потоком при отношениях F:M от 0,45 до 0,7 г ХПК/г ВВ.сут при температурах от 20 до 30 °С. При этом входные сточные воды содержали значительные количества летучих жирных кислот, по крайней мере уксусную и, возможно, пропионовую кислоты. Уровень концентраций растворенного кислорода изменяется вдоль аэротенка, при этом аэротенк должен находиться от 1 до 4 часов при концентрациях растворенного кислорода ниже 0,5 мг/л с последующим пребыванием в течение от 4 до 7 часов при концентрациях растворенного кислорода более 5,0 мг/л.

Schizothrix – увеличение объема имело также место в реакторах с поршневым потоком, работающих на сырой (необработанной) сточной воде при отношениях F:M от 0,3 до 0,9 г ХПК/г ВВ.сут с концентрациями растворенного кислорода от 1,6 до 4,6 мг/л и концентрациями сульфидов на входе от 0,06 до 1,9 мг/л. Рост *Schizothrix* был соответственно ингибирован или стимулирован удалением или добавлением сульфидов.

Корреляции, наблюдаемые между присутствующими видами нитчатых организмов и условиями, налагаемыми на реакторы, не противоречат известным физиологическим особенностям микробов. *Sphaerotilus* является строгим аэробным микробом и размножается на спиртах, органических кислотах и простых сахарах. *Beggiatoa* является аэробным по отношению к микроаэрофильным и растет на сульфидах, ацетате, сукцинате, глюкозе и других веществах. *Schizothrix* является строгим аэробным и автотрофным микробом, использующим сульфид как донор электронов. Строгий автотрофизм и недостаток подвижности являются диагностическими ключами, отличающими *Schizothrix* от *Beggiatoa*. Условия гетеротрофного роста *Schizothrix* неясны, но водоросли являются аэробными по отношению к микроаэрофильным или коротко-цепочным жирным кислотам.

Конкуренция нитчатых водорослево-микробиальных организмов, накладываемая кинетическими ограничениями субстратов.

Нитчатые организмы многих видов представлены в различных количествах почти во всех нормальных активных илах. Увеличение их объема (наращивание биомассы) имеет место, когда нитчатые

достигнут конкурентного преимущества над более общими зооглейными видами и займут доминирующее положение в микробиальном сообществе. Необходимо отметить, что растущие илы содержат, как правило, значительные количества зооглей и в некоторых случаях зооглеи могут иметь основное значение в приросте биомассы.

Концепция конкурентного сосуществования предпочтительнее, чем концепция конкурентного исключения.

Каждый вид кинетически ограничен субстратом, что предполагает наименьшую возможную концентрацию биомассы этого вида. В том случае, когда оба вида кинетически ограничены одинаковым субстратом, эти виды существовать не могут [6].

Выводом из этого анализа является то, что конкурирующие виды могут сосуществовать в хемостате только в том случае, если они кинетически ограничены разными субстратами. Если они лимитированы одним и тем же субстратом, то медленно растущие виды в конечном счете выводятся из системы. В случае сосуществования один из видов будет вырастать, чтобы стать доминирующим, если концентрация на входе лимитирующего субстрата увеличивается в достаточной степени. Большое увеличение концентрации на входе одного из видов лимитирующего субстрата приведет к исключению его конкурента. В конечном счете выходные концентрации 1-го и 2-го субстратов являются функциями скорости вымывания, налагаемой на систему. Из предыдущего анализа ясно, что идентичность каких-либо видов ограничивающих субстратов также зависит от скорости вымывания. Таким образом, виды, стимулируемые увеличением какого-либо из субстратов, могут измениться, когда изменится скорость вымывания.

Эти результаты можно объяснить, если предположить, что при высоких концентрациях субстрата зооглеи потребляют некоторые или все субстраты быстрее, чем водоросли, в то время как водоросли имеют более высокие скорости потребления некоторых, но не всех субстратов при их малых концентрациях. Таким образом, реакторы полного смешения, имеющие постоянно низкие концентрации субстратов, должны поддерживать водорослевую продукцию, а реакторы с поршневым потоком должны поддерживать зооглеи из-за высоких концентраций субстрата вблизи входа. Как показано выше, необходимо, чтобы микробная конкуренция была кинетически ограничена тем же самым субстратом до тех пор, пока каждый вид потребляет этот субстрат, ограничивающий его конкурента. Потребление лимитирующего субстрата конкурента должно уменьшить биомассу конкурента.

Потребление субстрата может быть вызвано или внутриклеточным метаболизмом или адсорбцией в клеточные капсулы. Внеклеточные полисахариды адсорбируют аммиак, глюкозу и аминокислоты. Более того, контактная стабилизация эффективно ингибирует нитчатое нарастание в стоках, имеющих в своем составе органические вещества и это осуществляется адсорбцией, т.к. рост метаболической активности имеет место в стабилизационном тенке. Таким образом, физико-

химическая адсорбция субстратов в зооглейных капсулах имеет важное значение в конкуренции между зооглеями и нитчатыми микробами.

Установлено, что и низкие входные концентрации растворенного кислорода и высокие входные концентрации ацетата необходимы, чтобы побуждать *Schizothrix*-увеличение объема в аэротенках с поршневым потоком. Ацетат необходим из-за метаболических ограничений водорослей. Однако даже с ацетатом высокие концентрации растворенного кислорода на входе предотвращают водорослевое размножение, преимущественно потому, что ацетат адсорбируется и метаболизируется зооглеями. При низких входных концентрациях растворенного кислорода скорости метаболизма зооглея являются низкими. Это также влияет на адсорбционную способность зооглейной капсулы, т.к. адсорбционные узлы капсул должны быть очищены метаболизмом. Таким образом, при малых концентрациях растворенного кислорода потребление зооглеями ацетата (как и всех веществ) уменьшается, оставляя ацетат доступным для водорослей и обеспечивая водорослевый рост.

Эта гипотеза предполагает, что на водорослевый метаболизм меньше влияют малые концентрации растворенного кислорода, чем зооглейный метаболизм. Это кажется, вполне разумным, учитывая, что водоросли являются диспергированными нитчатыми, в то время как зооглеи являются флокулирующими, и учитывая также, что большинство сине-зеленых водорослей являются микроаэрофилами. В терминах описанной выше теории водоросли и зооглеи конкурируют, когда питательные вещества ограничены ацетатом, а позднее и кислородом. Когда они оба лимитированы ацетатом медленно растущие водоросли автоматически вымываются из системы.

Обеззараживание сточных вод в биологических прудах.

Проведенными исследованиями установлены факторы, определяющие бактерицидную активность протококковых водорослей [2, 6].

В проявлении бактерицидных свойств фитопланктона главное значение имеет физиологическое его состояние, которое, в свою очередь, определяется рядом факторов окружающей среды. В случае достаточного количества питательных веществ развитие водорослей идет интенсивно и наблюдается непрерывный рост коли-титра, при этом даже повторное искусственное инфицирование водной среды кишечной палочкой не останавливало возрастание коли-титра до конца эксперимента. В случаях же истощения питательной среды и накопления вредных продуктов жизнедеятельности, водоросли начинают терять свою биологическую активность, размножение клеток прекращается и наступает их быстрое отмирание. Если в этой сточной воде еще будут оставшиеся бактерии, в частности *E.coli*, они могут начать усиленно размножаться.

Большое значение в бактерицидной активности водорослей имеет температурный фактор, что прослеживается и в лабораторных, и в природных условиях (прудах), где в летнее время благодаря более

интенсивному процессу фотосинтеза, бактериальное самоочищение идет с большей скоростью, нежели осенью и ранней весной.

Эксперименты, проведенные с культурами водорослей *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus quadricauda* на сточной воде в условиях политермостата (температура 3–5⁰, 10–12⁰, 20–25⁰) и при 12-часовом освещении в течение суток (мощность освещения - 3000 лк), показали, что при температуре 3–5⁰ прироста клеток в культурах обоих видов водорослей практически не было, а титр-коли повысился за 16 суток только на 1 знак, как и в контрольных образцах (сточная вода без водорослей). При температуре 10–12⁰ наблюдался некоторый прирост числа клеток водорослей и повышение коли-титра. К 16-м суткам в культуре *Chlorella vulgaris* он был равен 10⁻³ против исходного 10⁻⁵ (повышение в 100 раз), а в культуре *Scenedesmus quadricauda* – 10⁻² (повышение в 1000 раз). При температуре 20–25⁰С размножение обоих видов водорослей шло довольно энергично, что обеспечило повышение коли-титра к 16-м суткам до 100 мл. Интересно отметить, что при низкой температуре (3-5⁰С) и показатель активной реакции среды рН низкий (7,65 – 8,6), а при температуре 20–25⁰С он достигает 10–10,1. Следовательно, такой температурный режим является наиболее подходящим для нормального развития и проявления бактерицидной активности водорослей.

При испытаниях определялись также факторы, влияющие на скорость бактериального самоочищения прудов в присутствии протококковых водорослей. Скорость отмирания бактерий группы кишечной палочки изучалась в водах с различной степенью загрязненности при разных температурных режимах (5, 20, 37⁰С). Для той же цели в условиях, исключающих биологический антагонизм, параллельно ставились опыты на дважды дистиллированной воде с добавлением к ней в качестве питательного субстрата различных количеств пептона. Было установлено, что бактериальное самоочищение прудовой воды протекает более интенсивно в интервале температур 20 – 37⁰С. С понижением температуры этот процесс замедляется. Из полученных данных вытекает, что при высоком содержании в среде органических веществ значительно замедляется скорость отмирания БГКП. Сроки выживаемости бактерий существенно зависят от качества воды: при температуре среды 20⁰С в чистой воде *E.coli* выживают до 20 суток, а при наличии загрязняющих стоков – до более, чем 80 суток. Таким образом, более низкие температуры и повышенная загрязненность воды органическими веществами способствуют удлинению сроков выживаемости бактерий, а значит – ухудшают качество бактерицидной обработки воды в прудах.

Вывод

Результаты настоящих исследований являются экспериментальным материалом, позволяющим сформулировать оптимальные условия формирования бактериально-водорослевой массы, необходимой для реализации процесса доочистки и обеззараживания стоков фитопланктоном в биологических прудах, являющихся конечным

звеном в общей цепи биологической системы обработки органических и минералосодержащих сточных вод коммунального и промышленного происхождения.

Список литературы

1. Биотехнология. Принципы и применение /Хиггинс И., Бест Д., Джонс Дж. – М.: Мир, 1988. – 480 с.
2. Варфоломеев С.Д. Биотехнология преобразования солнечной энергии. Современное состояние, проблемы, перспективы / Панцхава Е.С. // Биотехнология. М.: Наука, 1984.
3. Методы культивирования клеток. Л.: Наука, 1988. – 313 с.
4. Павлова И.Б. и др. Применение компьютерной телевизионной морфоденситометрии в изучении микробного антагонизма/ И.Б. Павлова [и др.] Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1994. № 7. С. 63–66.
5. Печуркин Н.С. Популяционные аспекты биотехнологии./ А.В. Брильков, Т.В. Марченкова - Новосибирск: Наука, 1990. – 173 с.
6. Шлегель Г. Общая микробиология / Шлегель Г. - М.: Мир, 1987. – 566 с.

Проведені мікробіологічні дослідження структури основних закономірностей функціонування популяцій активного мулу і співвідношення основних мікробних популяцій у процесах амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації при очищенні стічних вод тваринницьких комплексів біологічними методами. Вивчена кінетика розвитку зміни домінуючих форм мікроорганізмів, пов'язаних із зміною умов живлення на різних етапах очистки.

Стічні води, біологічна очистка, активний мул, біоценоз, нітрифікація, денітрифікація.

Performed microbiological studies of the structure, the basic regularities of the activated sludge populations functioning and the ratio of the major microbial communities in the processes of ammonification, nitrification, denitrification in wastewater treatment plant breeding complexes by biological methods. Explored the kinetics of dominant forms change of microorganisms, associated with the changing conditions of food-ratio supply at different stages of treatment.

Wastewaters, biological treatment, activated sludge, biocenosis, nitrification, denitrification.