

Превращение веществ в природе

1. Круговорот азота

Микроорганизмам принадлежит исключительно важная роль в круговороте веществ в природе. Наиболее отчетливо биогеохимическая деятельность микроорганизмов проявляется в реакциях разложения органических веществ, в окислении водорода, метана, серы, в восстановлении сульфатов и во многих других процессах, обеспечивающих круговорот биогенных элементов.

Азот (N) — важнейший биогенный элемент, входящий в состав белковой молекулы каждого живого существа. Запасы газообразного азота в атмосфере огромны. Столб воздуха над гектаром почвы содержит до 80 тыс. тонн азота. Однако ни растениям, ни животным он не доступен, так как растения могут использовать для питания азот минеральных соединений, а животные потребляют азот в форме органических соединений. Только специфическая группа микроорганизмов обладает способностью фиксировать и строит из него все разнообразие азотсодержащих органических соединений своей клетки.

Цикл превращений азота в природе с участием микроорганизмов состоит из четырех этапов: фиксации атмосферного азота, аммонификации, нитрификации и денитрификации.

1. Фиксация атмосферного азота. Способностью фиксировать атмосферный азот и строить из него тело своей клетки обладают микроорганизмы, получившие название азотфиксирующих. Они обуславливают значительное повышение плодородия почвы.

Биологическая фиксация азота в природе осуществляется двумя группами микроорганизмов: свободноживущими (несимбиотическими) и микроорганизмами, существующими в сообществе с растениями (симбиотическими или клубеньковыми).

К наиболее важным свободноживущим азотфиксаторам относятся *Azotobacter chroococcum*, *Clostridium pasteurianum*, *Pseudomonas fluorescens*. Азотобактерии в течение года на площади 1 га фиксируют от 20 до 50 кг газообразного азота, особенно интенсивно процесс фиксации происходит при хорошей аэрации почвы. Рисовые поля обогащаются азотом в основном за счет *Cl. pasteurianum*.

К симбиотическим азотфиксаторам относятся цианобактерии (сине-зеленые водоросли), и бактерии рода *Rhizobium* (клубеньковые бактерии). Клубеньковые бактерии способны внедряться в корневые волоски бобовых растений и развиваться в них с образованием на корнях клубеньков, где и происходит фиксация азота. Таким образом, между бактериями и растениями устанавливаются симбиотические отношения. Бактерии питаются органическими соединениями, синтезированными растениями, а растения получают из клубеньков связанные соединения азота. При достаточной аэрации почвы, влажности и температуре клубеньковые бактерии в течение года на 1 га могут зафиксировать до 200 кг атмосферного азота, что значительно повышает плодородие почвы.

2. Аммонификация белков. Значительные запасы органического азота сохраняются в растительных и животных тканях. Когда гибнут растения и животные, компоненты их тела подвергаются действию микроорганизмов, и азотистые соединения разрушаются с образованием аммиака. Этот процесс называют аммонификацией или минерализацией азота. Процесс аммонификации может происходить как в аэробных, так и анаэробных условиях при участии разнообразных микроорганизмов: бактерий-, бацилл, клостридий, актиномицетов, плесневых грибов.

Расщепление белковых веществ происходит за счет протео-литических ферментов, выделяемых микроорганизмами, получивших название гнилостных. Глубина расщепления белковых веществ зависит от вида микробов и условий их жизнедеятельности.

· Аэробная гнилостная микрофлора • совершает глубокий распад белка, конечными продуктами которого являются: аммиак, CO_2 , сульфаты и вода.

· При распаде белка в анаэробных условиях образуется аммиак, CO_2 , органические кислоты, меркаптаны, а также индол, скатол, обладающие неприятным запахом.

К аэробным аммонификаторам относятся: *Bac. mycoides* — широко распространенная в природе, подвижная палочка, грамположительная, образует споры; *Bac. subtilis* — палочка, подвижная, образует споры, грамположительная; *Bac. megaterium* — палочка, подвижная, грамположительная. Из анаэробных микроорганизмов наиболее активны: *Clostridium putrificum* — подвижная палочка, грамположительная, обнаруживается в кишечнике, почве, навозе; *O. sporogenes* — палочка, подвижная, грамположительная, обнаруживается в почве, кишечнике.

Аммонификация остатков растений, трупов, других органических субстратов ведет к обогащению почвы азотистыми продуктами. Одновременно гнилостные микробы выполняют огромную санитарную роль, очищая почву и гидросферу от разлагающего органического субстрата.

Бактерии, разлагающие мочевины, называются уробактериями (*urea* — моча). Под действием фермента уреазы, вырабатываемого уробактериями, мочевина превращается в аммиак и углекислый газ. К уробактериям относят: *Bac. probatus* — крупная палочка, подвижная, грамположительная, образует споры; *Sporosarcina* — образует крупные шарообразные клетки, соединенные в пакеты, имеет жгутики.

3. Нитрификация. Это следующий за аммонификацией этап превращения азота микроорганизмами. Аммиак, образующийся в почве, навозе и воде при разложении органических веществ, довольно быстро окисляется сначала в азотистую, а затем в азотную кислоту. Протекает процесс нитрификации в две фазы.

Первую фазу — окисление солей аммония до нитритов — осуществляют микроорганизмы родов *Nitrosomonas*, *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*.

Вторую фазу — окисление азотистой кислоты до нитратов — осуществляют бактерии из родов *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*.

Образовавшаяся азотная кислота в почве вступает в соединение с щелочами, в результате чего образуется селитра. Селитра хорошо растворяется в воде и усваивается растениями, в результате чего повышается плодородие почвы.

4. Денитрификация. Это процесс, обратный нитрификации. Различают прямую и косвенную денитрификацию.

Прямая денитрификация вызывается бактериями, широко распространенными в почве, навозе, водоемах. Среди них наибольшее значение имеют: *Thiobacillus denitrificans* — палочка, не образующая спор, факультативный анаэроб; *Pseudomonas fluorescens* — подвижная палочка, грамотрицательная, образует зеленоватый пигмент; *Ps. stutzeri* — палочка, образующая цепочки; *Paracoccus denitrificans* — имеет форму кокков.

Денитрифицирующие бактерии восстанавливают нитраты до молекулярного азота. В почве развиваются без доступа воздуха и в щелочной среде.

Косвенная денитрификация осуществляется чисто химическим путем при взаимодействии азотистой кислоты с аминными соединениями. Роль микробов в этих процессах косвенная и сводится к образованию нитритов, главным образом из нитратов. Косвенной денитрификации способствуют самые разнообразные виды микробов, которые не только восстанавливают нитраты, но и разлагают белковые вещества с образованием аминокислот.

2. круговорот углерода

Спиртовое брожение. При спиртовом брожении микроорганизмы превращают углеводы (сахара) с образованием этилового спирта как основного продукта и углекислоты: К возбудителям спиртового брожения относятся некоторые дрожжи, главным образом из рода *Saccharomyces* (*S. cerevisiae*, *S. globosus*, *S. vini* и др.). В промышленности используются культуральные дрожжи. В зависимости от того, в каких условиях происходит процесс (аэробный или анаэробный), дрожжи делят на дрожжи верхового и низового брожения. Дрожжи верхового брожения (*S. cerevisiae*) находятся в верхних слоях сусла, куда они поднимаются образующейся углекислотой и пеной. Брожение идет с незначительным повышением температуры (20—28 °С). Через 5—7 дней верховое брожение заканчивается, а дрожжи за 1—2 дня до окончания брожения образуют хлопья и оседают на дно бродильных емкостей. Дрожжи низового брожения (*S. vini*) развиваются в анаэробных условиях и при более низкой температуре (6—12 °С), поэтому процесс протекает медленно (8—10 дней). Дрожжи также оседают на дно и образуют хлопьевидный осадок. Значение спиртового брожения очень велико. Этот процесс лежит в основе виноделия, пивоварения, производства спирта, хлеба- и печения. Дрожжи используют и для приготовления кормового белка.

Молочнокислородное брожение. При молочнокислородном брожении происходит распад углеводов, а также многоатомных спиртов и белков до молочной кислоты. В зависимости от того,

какие продукты образуются при сбраживании глюкозы молочнокислые бактерии принято подразделять на гомоферментативные и гетеро-ферментативные.

Гомоферментативное молочнокислое брожение. Гомоферментативные молочнокислые бактерии образуют практически только одну молочную кислоту, что обусловлено кокковыми и палочковыми молочнокислыми бактериями. Кокковые формы включены в род *Streptococcus*, к которому отнесены виды *Str. lactis*, *Str. cremoris*, *Str. diacetylactis*, *Str. thermophilus*.

Палочковые бактерии включены в род *Lactobacillus*, которые характеризуются значительным разнообразием форм — от короткой кокковидной до длинной нитевидной. Располагаются в виде единичных клеток, парами или цепочками. К ним относятся виды *Lact. delbrueckii*, *Lact. lactis*, *Lact. bulgaricus*, *Lact. acidophilus* и др.

Гетероферментативное молочнокислое брожение. Его осуществляют представители родов *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*. Антагонизм молочнокислых бактерий по отношению к условно-патогенным и патогенным микробам обуславливается действием молочной кислоты, которую они продуцируют, а также образованием антибиотиков.

Пропионово-кислое брожение. Пропионово-кислое брожение осуществляется бактериями рода *Propionibacterium*. Эти бактерии встречаются на растениях, почве, в желудочно-кишечном тракте жвачных животных. Источниками энергии для них служат углеводы, органические кислоты, спирты и другие вещества. Пропионовокислые бактерии способны сбраживать молочную кислоту, образовавшуюся в результате брожения, вызванного молочнокислыми бактериями. Конечные продукты пропионово-кислого брожения — пропио-новая и уксусная кислоты, CO₂ и вода. Пропионово-кислые бактерии используют для получения витамина B₁₂, который они образуют в значительных количествах.

Маслянокислое брожение. Маслянокислое брожение обуславливают некоторые бактерии из рода *Clostridium*. В качестве источника углерода используют моно- и дисахариды, некоторые полисахариды (декстрин, крахмал), молочную, пировиноградную кислоты, маннит, глицерин и др. соединения. Источником азота служат разнообразные вещества — аминокислоты, аммиачные соединения и др. Маслянокислые бактерии развиваются в анаэробных условиях.

Маслянокислое брожение ухудшает качество корма, происходит его прогоркание. Животные плохо поедают такой корм. Маслянокислое брожение часто является причиной прогоркания растительных масел и жиров животного происхождения, а также семян сои и подсолнечника.

Уксуснокислое окисление. Уксуснокислое окисление — микробиологический процесс, при котором этиловый спирт окисляется до уксусной кислоты под влиянием уксуснокислых бактерий.

Уксуснокислые бактерии объединены в род *Acetobacter*. На поверхности среды (пива, некрепленых спиртом сухих вин) образует пленку. Оптимальная температура роста 34 °С. Окрашивается йодом в желтый цвет. *A. pasteurianum* по форме напоминает *Acetobacter*

acetі. На поверхности среды образует сухую складчатую пленку. При соединении с йодом приобретает синюю окраску.

Уксуснокислые бактерии используют для производства пищевого уксуса из вина и спирта в промышленных условиях. Уксуснокислое брожение имеет важное значение при силосовании кормов

Роль микробов в разложении клетчатки. В состав клетчатки (целлюлозы) входит более 50 % всего органического углерода биосферы. Клетчатка — наиболее распространенный полисахарид растительного мира; высшие растения на 15—50 % состоят из целлюлозы. После гибели растений она подвергается разложению, в результате чего освобождается углерод. Разложение клетчатки происходит в аэробных и анаэробных условиях. В природе распад клетчатки происходит повседневно в почве, водоемах, навозе, пищеварительном тракте травоядных благодаря ферментам, которые выделяют различные микроорганизмы.

Аэробное разложение (брожение) клетчатки наиболее интенсивно происходит под влиянием следующих трех широко распространенных в природе родов микроорганизмов: *Cytophaga* — подвижные с заостренными концами палочки; *Cefaciscula* — короткие с заостренными концами палочки; *Seivirio* — длинные палочки, слегка изогнутые. Кроме того, в аэробных условиях клетчатку разлагают актиномицеты и грибы родов *Aspergillus* и *Penicillum*.

Анаэробное брожение клетчатки происходит в два этапа. На первом этапе клетчатка осахаривается, а затем сахар разлагается в зависимости от типа брожения на спирты, молочную, масляную кислоты, углекислоту, водород, метан и др. Известно, что в природе имеется два типа анаэробного брожения клетчатки — водородное и метановое, которые осуществляются двумя анаэробными бактериями-целлюлозоразрушителями: *Cl. omelianskii* и *Cl. celibiovarum*. Оба микроба образуют споры, обитают в почве и навозе. Водородное и метановое брожение клетчатки происходит в преджелудках крупного рогатого скота при поедании большого количества зеленой массы бобовых, особенно влажной от дождя или утренней росы, что обуславливает развитие острой тимпании рубца.

Следует особо отметить, что в рубце жвачных животных имеются специфические облигатные целлюлозоразлагающие бактерии. Они разлагают целлюлозу кормов до глюкозы, которая затем сбраживается с образованием органических кислот (уксусной, пропионовой, масляной, молочной, муравьиной, янтарной и др.), спиртов и газов (CO_2 и H_2). Разложение целлюлозы в рубце животных осуществляют кокковидные и палочковидные бактерии: *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus albus*, *Bacteroides succinogenes*, *Butyrovibrio fibrisolvens*, *Ruminobacter parvum*. Указанные бактерии имеют большое значение в питании жвачных животных.

3. превращение микроорганизмами фосфора, железа и серы

Фосфор. Имеет большое значение в жизнедеятельности организма. Без него не могут синтезироваться белки, входит в состав ядерного вещества и многих ферментов. В почве

содержится в основном в органической, не усвояемой растением форме и в виде трудноусвояемых минеральных соединений. Органические соединения фосфора попадают в почву вместе с растительными остатками, трупами животных и отмершими микроорганизмами. Они представлены нуклеопротеидами, нуклеиновыми кислотами и др. Роль микробов в превращении фосфора сводится к двум процессам: минерализации фосфора, входящего в состав органических веществ, и превращению фосфорнокислых солей из слаборастворимых в хорошо растворимые, доступные для растений.

Органические и неорганические соединения фосфора разлагаются бактериями родов *Pseudomonas*, *Bacillus* (*Bac. megaterium*), грибами из родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* и др.

Железо. Широко распространено в природе, встречается в виде органических и минеральных соединений, входит в состав животных и растительных организмов. Содержится в гемоглобине крови и дыхательных ферментах-цитохромах. При недостатке железа у животных развивается анемия, растения теряют зеленую окраску. Железо бывает в форме нерастворимого окисного Fe^{III} и растворимого закисного Fe^{II} . Перевод органического железа из окисного в закисное, и наоборот, осуществляется в основном микроорганизмами, получившими название железобактерий. К ним относятся нитчатые бактерии (*Leptothrix*, *Crenothrix*), бактерии рода *Gallionella* и др.

Железобактерии — аэробы, встречаются в болотах, прудах, железистых источниках. В таких водоемах они окисляют закиси железа. В процессе деятельности железобактерий образуется окись железа. Скопление отмерших железобактерий (гидрат окиси железа) образует на дне стоящих водоемов залежи болотной руды.

Сера. Содержится в организме животных и растений, входит в состав серосодержащих аминокислот (цистеин, цистин, метионин), витаминов группы В (биотин, тиамин), много ее в волосах и перьях. Органические соединения серы в почве представлены остатками животных и растений. При разложении в почве органических серосодержащих веществ, а также при восстановлении солей серной, сернистой и серноватистой кислот образуется сероводород, ядовитый для растений и животных. Сероводород окисляется серобактериями в безвредные, доступные для растений соединения. Серобактерии представлены несколькими различными группами: нитчатые, тионо-вые и фотосинтезирующие пурпурные и зеленые серобактерии.

Нитчатые серобактерии представлены несколькими родами: *Beggiatoa*, *Thiothrix* и др. Представляют собой длинные нити, которые состоят из множества клеток, аэробы, подвижные и неподвижные, окисляют сероводород до серной кислоты.

Тионовые бактерии относятся к роду *Thiobacillus*. Это грамотрицательные палочки, подвижные, спор не образуют, окисляют серу и ее соединения,

Фотосинтезирующие зеленые и пурпурные серобактерии представляют собой различные морфологические формы — кокки, палочки, спириллы, живут в строго анаэробных условиях и развиваются на свету при наличии в среде сероводорода или тиосульфата натрия.