

Thiobacillus denitrificans y varias especies de Clostridium, reducen los nitratos a nitrito, a nitrógeno gaseoso, y a amoníaco, en la desnitrificación.

La fijación simbólica del nitrógeno, en que el gas nitrógeno se combina químicamente con otros elementos, la realizan Azotobacter y Rhizobium.

Otros microorganismos que fija el nitrógeno sin simbiosis son Beijerinckia, Pseudomonas, Spirillum, Aerobacter y Achromobacter, bacterias heterotrofas y los hongos Rhodotorula y Pullularia. También las bacterias autotrofas Metanobacterium, Desulfovibrio, Rhodospirillum, Chromatium, Chlorobium y Rhodospseudomonas.

CICLO DEL CARBONO

El ciclo biogeoquímico del carbono ocurre en lagos, ríos, océanos y otros lugares acuáticos. Una importante característica de muchos habitats acuáticos es que poseen una zona aeróbica en las capas superficiales y una zona anaeróbica en las aguas profundas y en el fondo. La materia orgánica que desciende a la zona anaeróbica es fermentada principalmente por las bacterias con la producción de ácidos orgánicos, CH_4 , H_2 y CO_2 . La acumulación de ácidos y otros productos inhibidores conducen a una inhibición de la acción bacteriana y la descomposición de material orgánico se detiene; el material orgánico se acumula lentamente y será enterrado en el fango donde sufre mineralización.

En la zona aeróbica del agua, la descomposición generalmente procede a la conversión completa de los materiales orgánicos a CO_2 , tales como celulosa, almidón y quitina, por una amplia variedad de bacterias y hongos; diferentes tipos de compuestos orgánicos son descompuestos por diferentes especies.

La precipitación de carbonato cálcico para formar depósitos en el medio ambiente acuático es de considerable significado geológico, como conduce a la formación última de piedra caliza. La extensión del proceso es mostrado por el hecho de que sobre el 50% de las rocas sedimentarias de la tierra son piedra caliza.

El carbonato cálcico está siendo precipitado actualmente en grandes cantidades en los océanos tropicales, también como en lagos de agua dulce y el papel que los organismos vivientes juegan en el proceso está bien establecido. Para entender el papel de los microorganismos en la precipitación de carbonato de calcio, uno debe apreciar que muchas aguas naturales están sobresaturadas con iones de calcio que se mantienen en solución como bicarbonato de calcio y sulfato de calcio. Por alteración del pH o por cambio en la concentración de iones bicarbonato, los microorganismos pueden causar la precipitación de carbonato de calcio. El equilibrio entre el bicarbonato de calcio está influido por el contenido de CO_2 del agua, y las algas pueden causar la precipitación de carbonato de calcio por separación de CO_2 durante la fotosíntesis, logrando un equilibrio. Por su acción en el sulfato de calcio, las bacterias sulforeductoras son responsables de la precipitación de carbonato cálcico en medio ambientes anaeróbicos.

El metano es el componente principal del gas natural, incluyendo el de las ciénagas y de los pantanos, produciendo por especies como el Mathanobacterium, Methanococcus y algunos Clostridium.

Algunas bacterias raras que oxidan metano como fuente de energía son Pseudomonas y Methanomonas methanica. Ciertas bacterias son totalmente dependientes del grupo metilo, como el metano o el metanol, por ejemplo: Methylococcus capsulatus.

El monóxido de carbono es un gas relativamente raro bajo condiciones ordinarias, se utiliza como fuente de energía y carbono, por una especie de bacteria autotrofa, Carboxydomonas oligocarbophila, que oxida el CO a CO_2 .

CICLO DEL SULFURO

El sulfuro y los compuestos del azufre, sufren en el agua las mismas transformaciones que se describen en el ciclo del azufre. Las reacciones del ciclo logran la disponibilidad del azufre para su utilización por las plantas

y animales acuáticos, donde es de considerable importancia. El azufre puede existir en un gran número de estados de oxidación, pero solamente 3 de alguna importancia ocurre en la naturaleza: sulfhidrilo y H_2S , S y Sulfato. Los otros estados de oxidación son de significado bioquímico en el metabolismo intermedio del azufre, pero no son de significado ecológico directo. El sulfato es uno de los aniones más comunes en el agua, y está presente especialmente en grandes cantidades en el agua marina. La mayoría de los microorganismos y plantas pueden usar sulfato como su fuente principal de azufre, convirtiendo los compuestos sulfhidrilos orgánicos al estado oxidado. Muchos microorganismos pueden producir H_2S el cual es de considerable importancia porque es tóxico a la mayoría de los aerobios, y porque reacciona y precipita muchos iones metálicos. Sin embargo, el H_2S es inestable aerobicamente y será oxidado a azufre y sulfatos tanto espontáneamente como a través de procesos bioquímicos. Con todo esto, solamente en medio ambiente anaerobio se acumula el H_2S . El sulfuro de hidrógeno es producido microbiológicamente en dos formas diferentes: por la descomposición de compuestos orgánicos que contengan azufre y por reducción de sulfato. La producción de sulfuro de hidrógeno de compuestos orgánicos es de más importancia en los medios ambientales acuáticos dulces, donde la concentración del ion sulfato es generalmente baja; la reducción del sulfato, por otro lado, es probablemente el medio más importante de formación de H_2S en el mar. Los microorganismos responsables para la reducción del sulfato son anaerobios estrictos, generalmente miembros del género Desulfovibrio, que usan el sulfato como un aceptor de electrones en vez de O_2 . Los donadores de electrones usados en el proceso son compuestos orgánicos o hidrógeno molecular y de aquí que esos organismos sean generalmente encontrados donde las concentraciones orgánicas sean relativamente altas, tales como en la riberas de áreas marinas o en cuencas oceánicas cerradas.

Una de las consecuencias de la producción de H_2S es la formación de sulfuros metálicos tales como FeS y CuS . El hierro es principalmente común en todos los sedimentos, y la producción de H_2S casi siempre es acompañada por la formación de FeS . El sulfuro de hierro es responsable del color negro de los fondos anaerobios. El sulfuro de hidrógeno se oxida espontáneamente en el aire en azufre elemental y agua. Así que las bacterias que oxidan azufre que realizan el mismo proceso viven principalmente en la región donde se origina H_2S de las áreas anaerobias donde el O_2 se encuentra descendiendo de las áreas aerobias. Si hay luz disponible, el H_2S puede también ser oxidado anaerobicamente por bacterias fotosintéticas, las cuales son encontradas con más frecuencia en las capas a profundidad donde la luz aun penetra y donde el H_2S del fondo esta disponible.

El papel de las bacterias sulfooxidantes en la formación de depósitos de azufre económicamente importante ha sido bien establecido. Esta conclusión está basada en un estudio de la fraccionación de isotopos estables de azufre (esto es no radiactivos). El azufre tiene dos principales isotopos estables, ^{32}S , el isotopo normal, que comprende el 95% del total de sulfato en el agua marina, y el ^{34}S , que comprende el 4%. Cuando las bacterias reductoras de sulfato convierten sulfato a sulfuro de hidrógeno, muestran una ligera preferencia para el isotopo ligero ^{32}S , y de ahí que el H_2S formado tenga menos ^{34}S que el concentrado en el sulfato. Cuando H_2S es oxidado a S, se muestra una preferencia posterior para el isotopo ligero. Durante la oxidación y reducción química (esto es no biológica), nosse muestra tal preferencia para el isotopo ligero.

Cuando los organismos sulfooxidantes convierten H_2S en acido sulfurico, resulta un marcado descenso en el pH, a menudo tal bajo como pH a 2. En regiones productoras de carbón el FeS está presente con frecuencia en la sobrecarga del jirón de las minas, y su oxidación, generalmente por microorganismos conduce a la formación de acido sulfurico, el cual se disuelve en los

alrededores de corrientes. Estos ácidos en las aguas son tóxicos para los peces y otras formas superiores de vida, y son por esto indeseables. En el presente, no hay medios adecuados disponibles para la prevención de la producción de ácidos en éstas aguas; por lo tanto, las investigaciones microbiológicas del ciclo del azufre, tal vez sugeriran indicios para el control adecuado.

Algunas bacterias que intervienen en el ciclo del azufre, son las Thiobacteriaceas, que viven en el fango, agua de mar y residuales, lugares pantanosos, avenamiento de las minas de carbón, manantiales sulfurosos y en todos los lugares donde el azufre y sus compuestos reducidos se presentan de modo natural debido al metabolismo microbiano.

Thiobacillus thiooxidans, oxida aeróbicamente el azufre elevándolo al estado de ácido sulfúrico.

Thiobacillus intermedius, para crecer precisa tanto azufre orgánico como inorgánico reducido.

Ferrobacillus sulfooxidans, oxida el azufre y el hierro.

CICLO DEL FOSFORO

El fósforo, elemento constitutivo importante y necesario del protoplasma, tiende a circular a través de la descomposición de compuestos orgánicos hasta terminar en fosfatos disponibles. El gran depósito de fósforo son las rocas y otros depósitos que se han formado durante edades geológicas pasadas. Estos van siendo erosionados lentamente y liberan fosfatos hacia los ecosistemas, pero una gran parte de fosfato va al mar, en donde una parte se deposita en las aguas someras, entanto que otra parte se pierde en los sedimentos profundos. Los mecanismos para devolver el fosfato de ciclo son inadecuados y no compensan la pérdida. La acción de las aves marinas y de los peces (que son llevados a tierra por animales y por el hombre) no es adecuada. Las bacterias que también ejercen una función indispensable en el ciclo del fósforo, descomponiendo los compuestos orgánicos del fósforo con regeneración del fosfato inorgánico y produciendo ácidos

que solubilizan los fosfatos, no logran sin embargo transformaciones en cantidades adecuadas para restituirlo. Además, de que los fosfatos no son reducidos totalmente, sino que el radical fosfato es liberado intacto durante la descomposición.

Hay la creencia de que no existe causa alguna de preocupación inmediata, puesto que las reservas conocidas de roca fosfatada son grandes, sin embargo, el hombre debe acabar por completo el ciclo del fosfato en gran escala, para evitar su agotamiento evitando la polución que lo está acelerando.

Poco se conoce respecto a los microorganismos que intervienen en este ciclo.