

ENCUENTROS EN LA BIOLOGÍA

ISSN 1134-8496

Editor: Salvador Guirado. Comité editorial: Ramón Muñoz-Chápuli, Antonio de Vicente, José Carlos Dávila, Francisco Cánovas, Francisca Sánchez Jiménez, Luis Javier Palomo, Antonio Flores, Félix L. Figueroa, Juan A. García Galindo. Editado con la colaboración del I.C.E. de la Universidad de Málaga.

MICROBIOLOGÍA

LAS BACTERIAS METANOGÉNICAS Y SU APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO

Las bacterias metanogénicas son un grupo bacteriano ubicuo que produce elevadas cantidades de metano como consecuencia de su metabolismo energético. Son anaerobias estrictas, miembros del dominio *Archaeobacteria*. Están distribuidas en un gran número de hábitats anaerobios participando en la descomposición de la materia orgánica como estadio terminal en la cadena trófica anaerobia. Así, están presentes en sedimentos marinos y de aguas continentales, lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales, suelos, fuentes termales y zonas volcánicas, tracto intestinal del hombre y de animales, madera, placa dental, y como endosimbiontes de protozoos. El rango de temperaturas de crecimiento va desde la mesofilia (25°C) hasta la termofilia extrema (97°C o incluso por encima de los 100°C). Las metanobacterias crecen mejor bajo condiciones de pH neutro (6,5-7,5) [Ferry, J.G., Ed., *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*, New York, London, (1992)]. Este grupo bacteriano posee unas características diferenciales únicas, incluyendo la posesión de lípidos de membrana con compuestos de éteres isoprenoides unidos a glicerol (archaeol y caldarchaeol) [Koga et al., *Microbiol. Rev.*, **57**: 164, (1993)], diferentes tipos de pared bacteriana [König, H., *Can. J. Microbiol.*, **34**: 395, (1988)]. Las metanobacterias contienen una gran cantidad de nuevos coenzimas que están asociados con la bioquímica de la síntesis de metano: metanofurano, metanopterina, coenzima F420, coenzima M, factor F430, factor mobile, corrinoide (factor III y pseudovitamina B12). Filogenéticamente difieren de eucariotas y de eubacterias. De las 68 especies conocidas hasta el momento, el 77% son hidrogenotrofas, el 14% acetotrofas y el 28% metilotrofas, siendo

10 especies metilotrofas obligadas. Sólo un 3% de especies utilizan hidrógeno para reducir metanol a metano. Así, un número todavía indeterminado de alcoholotrofas pueden producir metano a partir de dióxido de carbono utilizando alcoholes como donadores de hidrógeno; 2-propanol es oxidado a acetona, y el 2-butanol a 2-butanona. El monóxido de carbono puede ser también transformado a metano; la mayoría de las especies hidrogenotrofas (60%) pueden también utilizar formiato. Algunas especies acetoclásticas son incapaces de oxidar hidrógeno [Ferry, J.G., Ed., *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*, New York, London, (1992)]. Las especies acetoclásticas del género *Methanosarcina* constituyen el más diverso de las metanobacterias, mientras que el género acetoclástico *Methanosaeta* (*Methanothrix*) sólo puede utilizar acetato [Balows, A., Trüper, H.G., Dworkin, M., Harder, W. y Schleifer, K.H., Eds., *The Prokaryotes*, New York, (1992)].

Las metanobacterias están dentro del reino *Euryarchaeota* que junto con el *Crenarchaeota* constituyen el dominio *Archaea* [Woese et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **87**: 4576, (1990)]. Se distinguen tres órdenes de metanobacterias: *Methanobacteriales* (familias *Methanobacteriaceae* y *Methanothermaceae*), *Methanococcales* (familia *Methanococcaceae*) y orden *Methanomicrobiales* (familias *Methanomicrobiaceae*, *Methanocorpusculaceae*, *Methano-*

planaceae y *Methanosarcinaceae*); aunque debido al descubrimiento de un nuevo microorganismo (*Methanopyrus kandleri*) se ha propuesto un nuevo orden para su inclusión, *Methanopyrales* [Burggraf et al., *Syst. Appl. Microbiol.*, **14**: 346, (1991)]. El DNA genómico de las metanobacterias varía entre 26 y 68 mol% de G+C; aunque algunas regiones intergénicas son frecuentemente más ricas en A+T que el valor del DNA genómico [Reeve, J.N., *Annu. Rev. Microbiol.* **46**: 165, (1992)]. Los ribosomas de las metanobacterias tienen un tamaño intermedio entre el bacteriano y el de eucariotas, es 70S y se disocia en dos subunidades 30S y 50S. La subunidad 30S contiene 16S rRNA, y la subunidad 50S contiene 5S y 23S rRNAs (posee r-proteínas adicionales). Las proteínas ribosomales de las metanobacterias son inusualmente ácidas, en contraposición a las de eubacterias y eucariotas que son básicas. Existen pocos elementos extracromosómicos descritos en metanobacterias, siendo crípticos, principalmente se encuentran en *Methanobacteriales*, *Methanococcales* y *Methanomicrobiales* [Sebald, M., Ed., *Genetics and Molecular Biology of Anaerobic Bacteria*, New York, (1993)].

La concentración atmosférica de metano es de 1,7 ppm, siendo el segundo gas más abundante compuesto por carbono, incrementándose su tasa por año a razón del 1% [Cicerone y Oreland, *Global Biogeochem. Cycles*, **2**: 299, (1988)]. Cada año alrededor de 400-640 x 10¹² g de metano se liberan a la atmósfera, siendo el 74% procedente de actividad microbiana. La contribución del metano liberado a partir del medio marino es mucho menor que la obtenida en otros hábitats, debido a la competencia

| | |
|--|----------|
| Las bacterias metanogénicas y su aprovechamiento biotecnológico | 1 |
| Sistemas de autoincompatibilidad reproductora en plantas con flores (I) | 2 |
| Fibrosis quística y cólera. Las ventajas de una mutación letal | 3 |
| Otros "trabajadores" del cerebro | 4 |
| Bioturbación en la interfase sedimento-agua: ¿Eutrofización? | 5 |
| Noticias | 6 |
| El aprendizaje de las ciencias y el contexto | 7 |

ejercida por las sulfatorreductoras y los organismos oxidadores de metano que limitan su producción y liberación [Balows, A., Trüper, H.G., Dworkin, M., Harder, W. y Schleifer, K-H., Eds., *The Prokaryotes*, New York, (1992)].

El incremento de los problemas causados por los polucionantes orgánicos junto con la crisis energética, y la necesidad de búsqueda de fuentes alternativas de energía han hecho resurgir el interés por la digestión anaerobia. La producción de metano es un importante proceso que se realiza en la naturaleza y que puede ser empleado en biotecnología para la depuración de las aguas residuales industriales, agrícolas y domésticas. La primera evidencia de la producción de un gas combustible a partir de residuos orgánicos se debe a Robert Boyle y Stephen Hall en el siglo XVII, posteriormente Alexandro Volta en 1776 comprueba la liberación de un gas combustible a partir de residuos vegetales en sedimentos de lagos. El proceso de la digestión anaerobia ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales desde hace ya más de 100 años, en 1881 se utilizó por primera vez y 1895 Cameron creó el primer tanque capaz de producir metano en Exeter (Inglaterra) y utilizó este gas para el alumbrado público de esta población. Recientemente se han producido grandes avances sobre el diseño y la microbiología de este proceso, utilizándose de forma habitual en las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas.

Los estadios metabólicos implicados en la producción de metano a partir de la digestión anaerobia de las aguas residuales son los siguientes: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis [Kosaric, N. y Blaszczyk, R., *Advances Biochem. Engr. Biotechnol.*, **42**: 27, (1990)].

Las ventajas del tratamiento anaerobio son las siguientes:

- No se requiere aireación.

- No es necesario suplementar con nutrientes para mantener una adecuada relación materia orgánica-nitrógeno-fósforo.

- Elimina del 80-90% de los lodos excedentes de otros procesos biológicos.

- Reducción de malos olores por realizarse en digestores cerrados.

- Destruye gran parte de los microorganismos patógenos.

- El residuo sólido contiene 25% de nitrógeno proteico (bacteriano), 3% de nitrógeno en forma de amonio, 9% de lípidos, 6% de fosfato en forma de P_2O_5 y 1,4% de potasio como K_2O . Por tanto se le puede considerar como un buen acondicionador de suelos y fertilizante.

- Entre 10-15 Kg de materia orgánica podrían producir alrededor de 3 m³ de biogás conteniendo un 40-80% (p/v) de metano con un valor calorífico de 13.720-27.440 KJm⁻³. Esta energía sería suficiente para cubrir las necesidades energéticas diarias de una familia equivalentes a 7,5 horas de cocina de gas [Nyns, E-J., *Enzyme Microb. Technol.*, **12**: 151, (1990)].

La aplicación de la termofilia (55°C) al tratamiento de las aguas residuales ha recibido un creciente interés en los últimos años, aplicándose a las aguas residuales agrícolas y urbanas, permitiendo una eliminación de microorganismos patógenos más eficiente que en digestores mesófilos, además de una reducción de los tiempos de retención, debido a que las reacciones bioquímicas se realizan a mayor velocidad a altas temperaturas. La desventaja principal del proceso termófilo es la aplicación de una elevada energía para el mantenimiento de estas elevadas temperaturas, con el consiguiente elevado coste de mantenimiento. Otra desventaja la constituye la existencia en los procesos termófilos de una gran inestabilidad a cambios bruscos de temperatura. El tratamiento termófilo puede ser aplicado en

el tratamiento de aguas residuales de industrias cafeteras, destilerías de alcohol e industrias azucareras [Lowe et al., *Microbiol. Rev.*, **57**: 451, (1993)].

En los últimos años se está investigando la utilización de la digestión anaerobia junto con la creación de los denominados parques hidropónicos mediante la técnica de la película cargada de nutrientes (NFT: Nutrient Film Technique), que reciben y clarifican el agua que sale del tratamiento anaerobio, que en este caso es utilizado como primario, posibilitando un elevado rendimiento en el crecimiento de las plantas y con una producción de biomasa 10 veces superior a la natural. Sólo se requerirían unas pocas hectáreas de tierra para una población de 10.000 habitantes con un valor energético en biomasa de 30.000 a 50.000 dólares anuales [Jewell W.J., *American Scientist*, **82**: 366, (1994)].

Otra posible aplicación biotecnológica de las bacterias metanogénicas es la utilización de estas bacterias para el tratamiento de sustancias tóxicas o compuestos recalcitrantes denominados xenobióticos, bien por su degradación o mediante la modificación de su estructura transformándolos en compuestos no tóxicos. Este grupo incluye a metanobacterias que degradan compuestos halogenados como el pentacloroetileno, que es transformado a tricloroetileno por *Methanosarcina mazei* S6 y *Methanosarcina* DCM por dechloración reductiva, y esta última cepa de *Methanosarcina* es capaz también de reducir el tetracloroetano a tricloroetano. También el pentaclorofenol es degradado a H_2+CO_2 y acetato por *Methanobacterium ivanovii*, *Methanobacterium formicicum* T1N y *Methanosarcina barkeri* [Lowe et al., *Microbiol. Rev.*, **57**: 451, (1993)].

J.M. Sánchez García (Becario de Investigación).

BIOLOGÍA VEGETAL

SISTEMAS DE AUTOINCOMPATIBILIDAD REPRODUCTORA EN PLANTAS CON FLORES (I)

Los sistemas de autoincompatibilidad en la interacción polen-pistilos de plantas con flores, es uno de los mecanismos que se han desarrollado evolutivamente para impedir la endogamia y favorecer los cruzamientos entre gametos de dis-

tinta dotación genética. Esto contribuye a la generación de una mayor variabilidad y por tanto de posibilidades de adaptación que asegure la supervivencia de la especie. Los sistemas de auto-incompatibilidad se pueden definir como "la inca-

pacidad de una planta hermafrodita fértil de producir zigotos tras la autopolinización" [de Nettancourt, *Incompatibility in Angiosperms* (1977)].

Se trata de un fenómeno ampliamente distribuido entre las angiospermas, presente en más de la mitad de todas las especies de plantas con flores. Aunque se desconoce si tal sistema ha surgido una sola vez o varias de forma independiente a lo largo de la evolución vegetal, los estudios realizados parecen indicar que se trata de un fenómeno de aparición temprana en la historia de estos vegetales.