

FOTOBIORREACTOR INFLABLE CON CONTROL HIDRÁULICO DE LA INTERFASE GAS LÍQUIDO

CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se relaciona con el campo de los fotobiorreactores para procesos de cultivo y producción de algas. Particularmente, la presente invención se relaciona con el campo de la disposición y el diseño de fotobiorreactores, con el fin de simplificar su operación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0002] Las microalgas (definidas ampliamente en este documento para incluir algas eucariotas unicelulares fotosintéticas y cianobacterias) tienen un potencial de crecimiento muy alto; más de diez veces la productividad por unidad de área en comparación con los cultivos terrestres. Las microalgas son materias primas potencialmente apropiadas para producir biocombustibles de bajo costo, alimentos para animales y otros productos. Diversas razones han impedido alcanzar este potencial; los impedimentos biológicos del uso de organismos no domesticados están siendo superados por la ingeniería genética de las microalgas (Gressel 2013). El impedimento del alto costo de la recolección de algas (deshidratación) por centrifugación de alta velocidad (intensiva en energía) ha sido superado por una nueva tecnología de floculación que depende del cultivo de cultivos densos de microalgas (US2011/081706).

[0003] Los principales impedimentos restantes están en el cultivo; tanto en el gasto de las estructuras utilizadas, como en los altos costos de funcionamiento de las mismas. Los estanques de canales abiertos y sus derivados son baratos de construir, pero deben tener una profundidad máxima de 40 cm para permitir una

mezcla y disolución adecuadas de dióxido de carbono burbujeado (escaso). Incluso entonces, una cantidad considerable de dióxido de carbono se pierde en la atmósfera. Las algas deben mantenerse relativamente diluidas para permitir la penetración de la luz, e incluso entonces todos los fotones se absorben típicamente en los 5-10 cm superiores, y el material debajo respira el oxígeno producido por fotosíntesis, disminuyendo el rendimiento potencial.

[0004] Hay un alto costo en la esterilización de los grandes volúmenes de agua utilizados, en los compresores necesarios para el burbujeo, en las ruedas de paletas para la mezcla, para el dióxido de carbono no utilizado perdido. El enfriamiento de las pistas de rodadura abiertas es barato en climas secos, es decir, es evaporativo, lo que requiere su reemplazo con agua dulce, incluso con algas marinas, para evitar la salinización excesiva. Los sistemas abiertos se contaminan fácilmente con otras especies no deseadas, incluidas otras algas, microbios y protozoos y herbívoros metazoarios que comen algas, y por lo tanto se han diseñado varios sistemas cerrados, pero el enfriamiento es especialmente costoso para los sistemas cerrados, porque adsorben la radiación infrarroja que causa el calentamiento, que no pueden disipar por enfriamiento evaporativo..

[0005] El desarrollo de un biocombustible viable para los productos petroquímicos plantea al menos tres desafíos. El primer desafío es identificar una materia prima que pueda producir biocombustibles completamente compatibles con los motores que actualmente funcionan con productos petroquímicos sin necesidad de conversión. El segundo desafío es desarrollar una tecnología de cultivo que pueda producir esta materia prima a un costo competitivo en el volumen necesario para soportar la demanda actual de los consumidores de diesel, gasolina y combustible para aviones. El tercer desafío es crear una industria de biocombustibles que pueda eliminar el impacto ambiental y económico negativo del uso de energía petroquímica sin crear una serie de resultados diferentes pero igualmente negativos, como la competencia por los cultivos alimentarios, la competencia por la tierra cultivable y la creación de subproductos tóxicos. Los

1426-P

cultivos de azúcar y / o almidón, como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, el sorgo dulce y el maíz, para producir etanol se han investigado como una fuente viable de biocombustible. Los opositores de los combustibles exploratorios actuales afirman que, por ejemplo, la producción de etanol de maíz no resulta en una ganancia neta de energía o que las consecuencias de la producción de etanol a gran escala para la industria alimentaria y el medio ambiente compensan cualquier ganancia potencial del etanol. También se han explorado las plantas que producen aceite de forma natural, como la palma aceitera, la soja, las algas y la jatrofa, para producir biodiesel.

[0006] La algacultura es una forma de acuicultura que implica el cultivo de especies de algas. Al cultivar algas, se deben considerar varios factores, y diferentes algas tienen diferentes requisitos. El agua debe estar en un rango de temperatura que soporte las especies de algas específicas que se cultivan. Los nutrientes deben ser controlados para que las algas no se "mueran de hambre" y para que los nutrientes no se desperdicien. La luz no debe ser demasiado fuerte ni demasiado débil. Las algas se pueden cultivar en estanques abiertos o foto-biorreactores.

[0007] Los estanques abiertos, como su nombre lo indica, son grandes cuerpos de agua expuestos en los que se cultivan algas. Son mucho más vulnerables a la contaminación por otros microorganismos, como especies de algas invasoras o bacterias. Debido a estos factores, el número de especies cultivadas con éxito en un sistema de estanque abierto para un propósito específico es relativamente limitado. En sistemas abiertos, uno no tiene control sobre la temperatura del agua y las condiciones de iluminación. La temporada de crecimiento depende en gran medida de la ubicación y, aparte de las áreas tropicales, se limita a los meses más cálidos.

[0008] Las algas también se pueden cultivar en un foto-biorreactor (PBR). Un PBR es un biorreactor que puede incorporar algún tipo de fuente de luz.

Prácticamente cualquier contenedor translúcido podría llamarse PBR, sin embargo, el término se usa más comúnmente para definir un sistema cerrado, en lugar de un tanque o estanque abierto. Debido a que estos sistemas están cerrados, todos los nutrientes esenciales deben introducirse en el sistema para permitir que las algas crezcan y se cultiven. Los nutrientes esenciales incluyen dióxido de carbono, agua, minerales y luz. Algunos PBR operan en un "modo por lotes" donde un recipiente (por ejemplo, una bolsa) se llena con agua, se inocula con una pequeña cantidad de algas, se deja crecer durante un período de tiempo complementado con nutrientes, luego se drena del recipiente para la cosecha de todo el cultivo. Otros PBR operan en un "modo continuo" donde el contenedor es en realidad un circuito extendido a través del cual el medio de algas circula indefinidamente, complementado con nutrientes, y una vez que el cultivo alcanza la densidad celular óptima, el exceso de cultivo posterior se desvía del PBR para mantener la densidad celular del cultivo. Las algas pueden ser desviadas por una serie de mecanismos; el mecanismo más eficiente es una cosechadora continua incorporada al circuito que extrae algas del medio sin interrumpir su flujo continuo a través del circuito. Si bien un sistema cerrado que opera en modo continuo puede producir más algas, si no se tiene suficiente cuidado, los cultivos de algas en biorreactores continuos cerrados pueden colapsar muy rápidamente.

[0009] Se han intentado varios diseños para abordar algunos de estos problemas: la Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 2010/0068779, la cual se incorpora acá en su totalidad a modo de referencia, está dirigida a un sistema de algacultura para la producción de biocombustibles que incluye un foto-biorreactor (PBR) que incluye el ensamblaje de bomba / tanque en comunicación con una parte de entrada de un colector solar. El conjunto bomba/tanque puede actuar como depósito y/o agitador para una mezcla de algas, agua y nutrientes cuya mezcla puede ser bombeada al colector solar. El colector solar puede comprender una pluralidad de tubos interconectados (en varias configuraciones) con una pluralidad de generadores de flujo de vórtice axial colocados en una porción de admisión de cada tubo. Los sensores, los puertos para la entrada de nutrientes y gases, y los

1426-P

puertos para la eliminación de gases pueden estar ubicados en accesorios entre secciones de tuberías. Una porción de salida del colector solar puede estar en comunicación fluida con una cosechadora continua que puede redirigir las algas maduras para su procesamiento.

[0010] La Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 2012/0214198, la cual se incorpora acá en su totalidad a modo de referencia, está dirigida a métodos de ingeniería de bioprocesos en los que las fases acuosas de suspensiones orgánicas anaeróbicas tratadas biológicamente se suministran a cultivos de algas como componentes de medios. La presente invención también se refiere al uso de fases acuosas de suspensiones orgánicas anaeróbicas tratadas biológicamente como componentes medios de cultivos de algas. Adicionalmente, la presente invención se refiere al uso de fases acuosas de suspensiones orgánicas anaeróbicas tratadas biológicamente para mejorar las condiciones de crecimiento de las algas en fotobiorreactores. Además, la presente invención se refiere al uso de algas para el tratamiento de fases acuosas de suspensiones orgánicas anaeróbicas tratadas biológicamente, en particular de filtrado de aguas residuales anaeróbicas tratadas biológicamente. La presente invención también se refiere a dispositivos de ingeniería de bioprocesos que comprenden un biorreactor, en particular una torre de fermentación y un fotobiorreactor.

[0011] La solicitud de patente estadounidense No. 2010/0255569, la cual se incorpora acá en su totalidad a modo de referencia, está dirigida a un fotobiorreactor transparente cerrado que tiene una cúpula y una columna escalonada en la que la cúpula se utiliza como cámara de crecimiento para proporcionar un gran volumen de cultivo al área de tierra utilizada y un patrón de flujo dentro de la cúpula permite la distribución uniforme de la energía de la luz, negando así la tasa de crecimiento inhibiendo las "zonas oscuras". Una bomba suministra cultivo desde la parte inferior de la columna hasta una parte inferior de la cúpula e impulsa la circulación entre los dos componentes y un aumento de la masa en la cúpula da como resultado un derrame desde la parte superior de la cúpula hacia la columna. Una vez en la

1426-P

columna, la algacultura se aireará en cada etapa antes de regresar a la cúpula. La columna escalonada también proporciona la cosecha semicontinua de algas a través de la aplicación de flotación de espuma y varios otros procesos de separación.

[0012] La solicitud de patente estadounidense No. 2013/0263501, la cual se incorpora acá en su totalidad a modo de referencia, está dirigida a un sistema y método para la producción de combustible de biomasa y la producción integrada de biomasa y biocombustibles que incluye un sistema de lixiviación configurado para recibir biomasa y enjuagar la biomasa en una solución ácida de tal manera que los componentes químicos no amigables de combustión solubles en agua en la biomasa se lixivian en un efluente. El sistema puede incluir además un reactor de torrefacción configurado para recibir la biomasa y calentar la biomasa para generar biomasa torreficada.

[0013] La patente de Estados Unidos No. 8,507,233, la cual se incorpora acá en su totalidad a modo de referencia, está dirigida a métodos, sistemas, dispositivos y materiales para producir biocombustibles bajo control a nanoescala ("nanobiocombustibles"). En un aspecto, la invención proporciona un método para producir un biocombustible, incluido el suministro de un organismo productor de hidrocarburos; exponer al organismo biológico productor de hidrocarburos a condiciones eficaces para provocar la liberación sustancial del hidrocarburo del organismo biológico productor de hidrocarburos; y aislar al menos una porción del hidrocarburo. Al menos una de las acciones de proporcionar, exponer y aislar se realiza utilizando un control a nanoescala correspondiente.

[0014] Es un objetivo de la presente invención proporcionar un sistema de algacultura que pueda capturar el dióxido de carbono presente en una corriente gaseosa (puede ser incluso aire) mediante un PBR inflable de fácil construcción. Es un objetivo adicional proporcionar tales sistemas que puedan funcionar con alimentación continua de gas y líquido, de manera económica y usando cepas de

algas fácilmente disponibles. Es un objetivo aún más de la invención proporcionar sistemas que tengan un efecto adverso mínimo en el medio ambiente. Es un objetivo más que pueda ser fácilmente operado y mantenido, con requerimientos mínimos de control automático. Finalmente, es un objetivo de la presente invención proporcionar sistemas que puedan operar con una variedad de materias primas de algas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Es una vista en perspectiva del sistema de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Figura 2. Es una vista lateral en corte transversal del sistema de acuerdo con una modalidad del sistema.

Figura 3. Es una vista en detalle de un corte de la zona de entrada de líquido y salida de gas del sistema de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Figura 4. Es una vista en detalle de un corte de la zona de salida de líquido y entrada de gas del sistema de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALADA DE LA INVENCION

[0015] El cultivo de microorganismos fotosintéticos en biorreactores requiere de recipientes o contenedores transparentes que permitan el paso de la luz pero que al mismo tiempo permitan el contacto entre una fase gaseosa que contenga CO₂ y el medio líquido donde están los microorganismos. Debido a que el proceso de fotosíntesis que llevan a cabo los microorganismos requiere que el CO₂ se disuelva en el agua, entre mayor sea el área de contacto entre las fases líquida y gaseosa, mayor será la velocidad de disolución y la eficiencia del proceso. Una forma común y eficiente de lograr esto es burbujeando el gas en el líquido, lo cual

1426-P

permite que entre mayor sea el número de burbujas, mayor será el área de contacto; sin embargo, hay ocasiones en que el burbujeo no es fácil de implementar, como por ejemplo cuando no hay electricidad disponible cerca del sitio de instalación del fotobiorreactor.

[0016] Por otra parte, existen numerosos materiales que permiten construir recipientes para su uso como fotobiorreactores. Posiblemente el más económico es la manguera de polietileno transparente, la cual se sella en sus extremos y usualmente se cuelga para formar una columna.

[0017] Usualmente se usa manguera de polietileno translúcida orientada verticalmente de manera que el fotobiorreactor resultante es una columna con una altura considerablemente mayor al diámetro de la sección transversal. Esta columna vertical opera con un dispositivo que permite burbujear gas al fondo del líquido para que el CO_2 se disuelva eficientemente; no obstante, el tiempo de contacto entre las burbujas y el líquido es limitado a unos cuantos segundos debido a que las burbujas flotan y escapan rápidamente. En el caso en que no se cuente con un compresor para el burbujeo, la única área de contacto entre el líquido y el gas sería la superficie libre del líquido en la parte superior de la columna, la cual es apenas equivalente al área del disco correspondiente a la sección transversal de la columna. La solución que se propone para la situación donde no se puede burbujear el gas, es aumentar el área de la superficie libre del líquido en contacto con el gas. Eso se logra moviendo la columna a una posición horizontal y así el área máxima que se puede lograr se multiplica y es aproximadamente equivalente al producto del diámetro por la longitud de la manguera de polietileno usada para el fotobiorreactor.

[0018] El fotobiorreactor es inflable, con alimentación continua de líquido y gas. De hecho, es indispensable que la manguera de polietileno se mantenga inflada para que mantenga una rigidez suficiente y conserve su geometría cercana a la de una tubería. Esto es lo que permite mantener un área de contacto amplia entre el gas y el líquido.

[0019] Todo el control de nivel y presión es hidráulico: normalmente, los fotobiorreactores requieren de una serie de bombas, compresores y válvulas para mantener el control sobre la entrada y salida de líquido y gas. En este caso introducimos una nueva forma de controlar el nivel del líquido y mantener inflado el fotobiorreactor casi exclusivamente mediante dispositivos hidráulicos. El primer dispositivo es el sifón de salida de líquido que mantiene el nivel del agua constante en todos los componentes del sistema. El segundo es el dispositivo de entrada de líquido que, a su vez, actúa como dispositivo de recolección del gas que sale del sistema y actúa como sello hidráulico para mantener el fotobiorreactor siempre inflado. En este dispositivo el sello hidráulico depende de la misma agua que alimenta al fotobiorreactor, por lo que no requiere monitoreo adicional, sino que depende exclusivamente de que se esté alimentando continuamente líquido al fotobiorreactor. Aparte de los 2 dispositivos hidráulicos mencionados, solo se requiere que la entrada de gas se encuentre a presión para mantener el biorreactor siempre inflado.

[0020] El recipiente principal del dispositivo fotobiorreactor es una manguera de polietileno (1) que está sellada en sus 2 extremos, por ejemplo, usando nudos. La manguera de polietileno reposa sobre un soporte (14) que la mantiene elevada sobre el suelo de manera que haya espacio para ubicar las tuberías de entrada y salida de líquido. El nivel del líquido en el interior de fotobiorreactor (manguera de polietileno) se mantiene aproximadamente a la mitad de la altura, de manera que la otra mitad del volumen del fotobiorreactor está llena de gas. El nivel del líquido es controlado hidráulicamente mediante un sifón de control de nivel de líquido (9) a través del cual sale el líquido del fotobiorreactor. Cerca de la salida del líquido (6) se ubica una manguera de entrada de gas (5) que entra al fotobiorreactor por la parte superior a través de una junta sellada y se encuentra parcialmente sumergida en el líquido, de manera que el gas que entra al fotobiorreactor genera burbujas y luego ocupa la parte superior del mismo. La transferencia de gas (CO_2) desde el gas al líquido sucede a través de la interfase gas-líquido (15) que se ubica dentro del fotobiorreactor.

[0021] A medida que el gas avanza a través del tubo formado por la manguera de polietileno (1), éste se acerca a la manguera de salida de gas del fotobiorreactor (7). A través de esta manguera (7), que no se encuentra sumergida y que atraviesa la parte superior del fotobiorreactor usando una junta sellada, sale el gas despojado de CO₂ y es burbujeado en la parte baja del tubo vertical de recolección de gas (11). Gracias a la acción del sifón de control del nivel de líquido (9), la altura del líquido en el tubo vertical de recolección de gas (11) se mantiene igual a la altura del líquido en el fotobiorreactor (1) y a la altura del líquido en el tubo vertical de entrada de líquido (13). Este último también actúa como sello hidráulico para forzar al gas a salir a través de la manguera de salida de gas del sistema (8). Debido a que el gas que sale del biorreactor es burbujeado en la parte baja de una columna de líquido, éste gas debe superar la presión hidrostática en ese punto para generar las burbujas. Esa presión que se requiere en el gas para poder escapar del sistema permite mantener el fotobiorreactor siempre inflado gracias al sello hidráulico.

[0022] El líquido ingresa al sistema, por gravedad, a través de la entrada de líquido (4) ubicada en la parte alta del tubo vertical de entrada de líquido al sistema (13). Ese líquido ingresa parcialmente al tubo vertical de recolección de gas (11) y también ingresa al fotobiorreactor (manguera de polietileno) (1). El líquido avanza por la manguera de polietileno (1) y al final del recorrido encuentra una salida de líquido (6) por donde ingresa al sifón de control del nivel del líquido (9). Antes de que el líquido pueda llenar el sifón, éste es obligado a llenar parcialmente el fotobiorreactor (1) y los tubos verticales de recolección de gas (11) y de entrada de líquido (13). La altura del sifón determina la altura del líquido en todos los componentes del sistema, gracias al efecto de vasos comunicantes, y de esta manera evita que se inunde el fotobiorreactor (que se llene totalmente de líquido) al tiempo que mantiene un nivel mínimo y fijo de líquido en el sistema. Cuando el líquido supera el nivel del sifón, éste escapa del sistema.

1426-P

[0023] De acuerdo con esta configuración, cuando se suministra gas y líquido al sistema continuamente; el líquido no podrá superar una altura determinada por el sifón mientras que el gas no podrá escapar del sistema hasta que la manguera de polietileno (1) esté completamente inflada. Los dos fluidos circulan por el sistema en contracorriente. Finalmente, el tubo vertical de recolección de gas (11) cuenta con un tapón para evitar que el gas que sale del fotobiorreactor escape y, más bien, sea conducido por la manguera de salida de gas (8) hacia algún reservorio no especificado en los diagramas.

[0024] Si bien hasta ahora se ha hecho una descripción de una modalidad preferida de la invención, la misma no es de carácter limitante y el técnico medio con habilidad en la materia podrá apreciar que es posible hacer modificaciones o variaciones sobre el objeto descrito, sin apartarse significativamente del espíritu de la invención.

[0025] Se le recuerda amablemente al examinador que el alcance de la presente invención está definido al tenor de las reivindicaciones que se anexan.