

PATENTE DE MODELO DE UTILIDAD

TÍTULO: EQUIPO MEDIDOR FOTOACÚSTICO PORTÁTIL DE RAZÓN DE EVOLUCIÓN DE OXÍGENO.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

CAMPO DE LA INVENCION

Esta invención se refiere a un equipo medidor fotoacústico portátil de razón de evolución de oxígeno.

El campo tecnológico de la invención se relaciona con un equipo medidor fotoacústico para la medición de parámetros relacionados con la actividad fotosintética de plantas, basado en la ubicación de la hoja de la planta sobre la cavidad externa de una celda fotoacústica cerrada y en la incidencia directa de luz proveniente de una fuente que emite pulsos de radiación a una frecuencia fija sobre su haz y de luz proveniente de una fuente que emite continuamente radiación sobre su envés, durante un período de tiempo en el proceso de medida. La presente invención utiliza una celda fotoacústica cerrada, que incluye un detector acústico que registra las variaciones de presión en el interior de la cámara cilíndrica externa de la celda, que se tapa herméticamente con la hoja. La señal es amplificada y adquirida a través de una tarjeta de adquisición de datos. La eficacia de la invención se basa en que no utiliza actuadores o elementos móviles y no depende de la red eléctrica, dado que su energía es tomada a partir de baterías recargables. Esto permite la toma de mediciones *in situ* e *in vivo* con un dispositivo portátil.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Es bien conocido que en el proceso de fotosíntesis se presentan dos fases, una relacionada con la reacción a la luz y la otra que no necesita de ésta y se le llama fase oscura. En la fase fotoquímica o de reacción a la luz, suceden procesos bioquímicos para la síntesis de glucosa. La energía luminosa absorbida se utiliza para dividir las moléculas de agua, se producen protones y moléculas de oxígeno. Los electrones se transfieren entre una serie de moléculas que forman un tren de transferencia de electrones. Con la translocación de protones, se forman moléculas de alta energía para energizar la reacción oscura que consume moléculas de dióxido de carbono y protones para sintetizar azúcares. Después de que la luz es absorbida por las hojas, la mayor parte de la energía de la luz absorbida se convierte en calor; al mismo tiempo, el proceso de fotosíntesis utiliza la mayor parte de la luz absorbida restante. Una parte de la luz absorbida se vuelve a irradiar a través de un proceso de fluorescencia. Las mediciones de gas carbónico (CO_2) consumido, oxígeno (O_2) evolucionado y fluorescencia (re-irradiado) son tres métodos principales utilizados en el estudio de fotosíntesis de hojas *in vivo*. Las técnicas de intercambio gaseoso (CO_2 - O_2) y de fluorescencia se han convertido en métodos tradicionales para la investigación de la fotosíntesis.

Los sistemas fotoacústicos de medición de la Razón de Evolución de Oxígeno (REO) de plantas, normalmente requieren de una fuente de energía eléctrica alterna para el equipo amplificador de instrumentación, que es de gran tamaño y limitado a mediciones en laboratorio. Ya que la aplicación más importante es la evaluación y tecnificación de procesos agrícolas, se hace necesario un dispositivo portátil que pueda ser trasladado al campo para llevar a cabo mediciones *in situ*.

Ahora bien, la principal ventaja de la técnica fotoacústica (FA) es que puede detectar la señal generada por efectos fototérmicos o fotobáricos. Si una muestra fotosintéticamente activa se ilumina periódicamente con pulsos de luz, tanto la

evolución de oxígeno como los cambios de presión por calentamiento se modularán a la misma frecuencia de la incidencia de luz. La variación de la presión en la cámara externa de la celda fotoacústica puede ser detectada por un micrófono y la señal resultante amplificada a través de un circuito electrónico. Así, la evolución del oxígeno proveniente de la muestra se puede distinguir del oxígeno ambiental existente dentro de una cámara.

El método de fluorescencia e intercambio de gases es uno de los más utilizados, emplea sensores infrarrojos y necesita un tiempo considerable para las mediciones de gas carbónico (CO_2) consumido. Un ejemplo de ello, se revela en la patente de EE.UU. 6,006,585 de Forester que se incorpora aquí como referencia y que define un sensor de gas optoacústico que tiene un cuerpo sensor, una fuente de luz, una celda de medición que incluye una membrana permeable a los gases y un micrófono, un filtro óptico que se coloca entre la fuente de luz y la celda de medición y un dispositivo electrónico para hacer la medida. El cuerpo sensor contiene una celda de referencia, separada de la de medición, que tiene una membrana permeable a los gases y un micrófono de referencia, que está protegido contra señales optoacústicas del gas a detectar, a través de un filtro óptico que no permite el paso de luz a la celda de referencia. La señal, que indica la concentración de gas, se obtiene restando los voltajes que provienen de los dos micrófonos. No obstante, este equipo corresponde a una configuración pesada que requiere conexión permanente y que contiene numerosos elementos, que lo hacen costoso y de difícil fabricación.

En general, estas técnicas son caras y no permiten hallar varios parámetros a la vez. Por tanto, se ha generado la necesidad de mejorar los equipos correspondientes al anterior estado del arte.

OBJETO DE LA INVENCION

Por consiguiente, un primer objeto de la presente invención es evitar las desventajas del arte previo. Más particularmente, un objeto de la presente

invención es crear un equipo medidor fotoacústico portátil de razón de evolución de oxígeno.

Otro objeto importante de la invención consiste en crear un equipo eficiente, no invasivo y de bajo costo para evitar problemas relacionados con los tiempos de medición.

Otro objeto no menos importante es superar los inconvenientes del arte anterior, relacionados con el uso de métodos no efectivos para hacer este tipo de mediciones, tales como los manométricos o basados en sensores electroquímicos, isotopos de dióxido de carbón, fluorescencia o intercambio de gases.

Así las cosas, el medidor fotoacústico portátil de la presente invención permite en un corto tiempo hacer mediciones *in situ* e *in vivo* de manera directa, sin usar reactivos ni dañar la planta.

Las características novedosas que se consideran como fundamento de la invención son expuestas, en particular, en las reivindicaciones adjuntas y las ventajas adicionales de la misma se entenderán mejor con la siguiente descripción detallada, que incluye las modalidades preferidas y la debida referencia a los dibujos que la acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para aclarar los detalles de la invención y sus ventajas con respecto al arte conocido, se describen a continuación con la ayuda de los dibujos anexos, las posibles formas de construcciones ilustrativas y no limitativas de la aplicación de dichos principios.

FIG. 1. Muestra una vista esquemática del equipo medidor fotoacústico portátil de razón de evolución de oxígeno según la presente invención.

FIG. 2. Muestra una vista de la celda fotoacústica según la presente invención.

FIG. 3. Muestra una vista en isométrico del cuerpo central de la celda fotoacústica según la presente invención.

FIG. 4. Muestra una vista trasera del cuerpo central de la celda fotoacústica según la presente invención.

FIG. 5. Muestra una vista en isométrico del cabezal de la celda fotoacústica según la presente invención.

FIG. 6. Muestra una vista trasera del cabezal de la celda fotoacústica según la presente invención.

FIG. 7. Muestra una vista en isométrico de la placa de la celda fotoacústica según la presente invención.

FIG. 8. Muestra una vista trasera de la placa de la celda fotoacústica según la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Esta invención se refiere a un equipo medidor fotoacústico portátil de razón de evolución de oxígeno. Particularmente, el equipo portátil utiliza la técnica fotoacústica para llevar a cabo las correspondientes mediciones de la razón de evolución de oxígeno de plantas en el campo; se trata de un sistema liviano y pequeño, con el que se puede medir *in situ* la actividad fotosintética de las plantas de un cultivo para diagnosticar posibles deficiencias nutricionales o para medir la eficiencia de un agroinsumo. La medición según la invención no es invasiva, es fácil de efectuar y puede ser transmitida remotamente a laboratorios especializados para su análisis y diagnóstico.

La invención reside en un arreglo de equipo medidor fotoacústico según la figura 1, que comprende un celda fotoacústica 1 para la toma de medidas, soportada por una base 2 con conexión directa 3 a un módulo controlador 4. Dicha

celda fotoacústica 1 está preparada para colocar una hoja 5 de una planta para la medición *in situ* de su razón de evolución de oxígeno.

Por su parte, la base 2 de soporte puede comprender en modalidades preferidas y no limitativas, de un poste extensible para ajustar la altura y en otras modalidades puede comprender un trípode. En modalidades alternativas, la base 2 puede comprender un módulo controlador 4 y por encima del mismo es posible posicionar la celda fotoacústica 1 para recibir la hoja 5.

Por su parte, la celda fotoacústica 1, con base en la figura 2 comprende un cuerpo central 6 para la toma de medidas, que recibe por encima un cabezal 7 y por debajo una placa 8.

Según las figuras 3 y 4, dicho cuerpo central 6 comprende a su vez una columna 9 definida por paredes laterales, frontal y trasera que limitan por encima una cúspide y abajo una base formando así un polígono. A partir de dicha cúspide sobresalen primeros anillos de bisagra 10 dispuestos verticalmente para conexión por interrelación con el cabezal 7.

Hacia la zona media de la pared frontal, se proyecta horizontalmente una platina 11 porta muestra, que define agujeros pasantes 12 dispuestos cada uno en dirección vertical en cada esquina de la platina 11. Como se ilustra en la figura 3, se dispone en el centro de la platina 11 una cavidad cilíndrica 13 que forma un canal y rodea un agujero pasante centrado que conforma una cavidad acústica 14 que atraviesa dicha platina 11 y que forma una conexión acústica con un agujero horizontal pasante 15 que comunica la pared trasera del cuerpo 6 con una cavidad acústica 14, donde dicho agujero horizontal pasante 15 recibe un micrófono 16 dispuesto en un porta micrófono 17.

El porta micrófono 17 por su parte está compuesto por un manguito 18 del que se proyecta un sello acústico conformado por un cuerpo cilíndrico 19. A partir de dicho cuerpo cilíndrico 19 se proyecta un tubo 20 que recibe el micrófono 16 en su interior, dispuesto hacia el extremo opuesto al manguito 18. Dicho porta

micrófono 17 se introduce en el agujero 15, que a su vez comprende dos secciones de diferente diámetro para posicionar el cuerpo cilíndrico 19 y recibir en su interior, adyacente a la cavidad acústica 14, el tubo 20 que alberga el micrófono 16. En modalidades preferidas, el cuerpo cilíndrico 19 puede ser roscado en relación con la sección expuesta del agujero 15. De igual forma, para garantizar el sello acústico, el tubo 20 puede comprender anillos de caucho (o'ring) dispuestos diametralmente a lo largo del mismo y uno al frente.

El cabezal 7 se dispone sobre el cuerpo central 6 y comprende una cumbre 21 de proyección transversal hacia el frente y que termina en una placa base 22 del porta muestra cubriendo la platina 11. Hacia atrás, el cabezal 7 se proyecta hacia atrás formando una aleta trasera 23 que se dispone por encima de la columna 9 del cuerpo central 6 y debajo de dicha aleta 23 sobresalen segundos anillos de bisagra 24 dispuestos verticalmente para conexión con relación intercalada respecto a los primeros anillos de bisagra 10 del cuerpo central 6 mediante pasador 25 interpuesto por un resorte de torsión 26 para mantener la posición entre el cabezal 7 y el cuerpo principal 6.

En la placa base 22, centrada se dispone una segunda cavidad circular 27 que comprende un sello de caucho (o'ring) que rodea una primera recámara 28 que aloja una primer fuente de luz 29, tal como un led rojo tal y como se evidencia en la figura 6.

Por su parte, la placa 8 a su vez se dispone por debajo de platina 11 del cuerpo central 6 y comprende con base en las figuras 7 y 8, una forma poligonal de sección rectangular con paredes laterales de menor área respecto a su pared superior e inferior y que incluye orificios pasantes 30 para asido mediante pernos convencionales (no ilustrados) en relación con los orificios 12, dispuestos en la platina 11, conforme se ilustra en la figura 2. De igual forma comprende un canal central 31 de sección rectangular que se proyecta desde el frente hasta adyacente a la pared trasera y centrado comprende una perforación que define una segunda recámara 32 de proyección vertical y de sección cuadrada. Dicha segunda

recámara 32 está comunicada con una perforación 33 perpendicular que se proyecta horizontalmente desde la pared trasera de la platina 11, conforme se ilustra en la figura 8. Dicha segunda recámara 32 comprende una segunda fuente de luz 34, tal como un segundo led blanco. De igual forma, el canal 31 está cubierto por una ventana óptica que comprende un vidrio 35 que se ajusta cubriendo íntegramente dicho canal 31.

Así las cosas conforme la figura 2, la celda fotoacústica 7 incluye una primera recámara 28 para un primer led de luz roja 29 que proyecta un haz de luz roja 29' y una segunda recámara 32 para un segundo led de luz blanca 34 que proyecta una luz blanca 34' a través de una ventana óptica de vidrio 35 para sellar dicha segunda recámara 32. Igualmente incluye una cavidad acústica 14 en comunicación con un micrófono 16.

Durante el uso, la hoja 5 tapa la cavidad acústica 14 bajo presión del cabezal 7, de tal forma que la platina 11 conforma un portamuestras que recibe la hoja 5 de la planta *in situ*. Como se ilustra, dicha celda fotoacústica 1 es cerrada formando una pinza, entre el cabezal 1 y la platina 11 conectada al módulo controlador y que recibe la hoja 5 para sellar la cavidad acústica 14 que está en comunicación con el micrófono 16 a través del agujero horizontal pasante 15.

El módulo de control y adquisición 4 está adaptado para operar cada fuente de luz blanca 34' continua y roja 29' intermitente. Esta última, es modulada a 10, 17, 30 ó 70 Hz y filtra la señal de la frecuencia correspondiente para la adquisición de datos. La señal fotoacústica, detectada con el micrófono 16 tiene la misma frecuencia de modulación de la fuente de luz. Por esta razón, se toman los datos de la amplitud de la señal fotoacústica y para ello el módulo de control y adquisición 4 comprende un circuito de amplificación en cascada con amplificadores de instrumentación para obtener un factor de ganancia de 200 de la amplitud de la señal; lo que es manejable para la tarjeta de adquisición de datos (DAQ). Ésta se procesa con un software programado en la tarjeta de desarrollo, diseñado especialmente para obtener los datos de la señal fotoacústica en tiempo

real a través de la exclusión del ruido, usando una etapa de filtrado digital. Este filtro mejora la relación señal-ruido, separa la señal en múltiples ventanas frecuenciales, elimina la deriva de cero y evita la adición de ruido a la señal.

La medición de la razón de evolución de oxígeno en la actividad fotosintética de plantas se hace empleando la técnica fotoacústica en configuración resuelta en tiempo. En el montaje mostrado en la figura 1; se ilustra la celda fotoacústica 1 para posicionar la hoja de la planta viva 5 de tal forma que la selle por completo y que la luz roja 29' modulada, proveniente del diodo emisor de luz 29, incida sobre la parte superior de la hoja 5, mientras que la parte inferior de la hoja 5 se irradia con una luz blanca 34' continua proveniente de otro diodo emisor de luz 34 para inhibir el proceso fotosintético.

La absorción de luz por parte de la hoja de la planta y la fotólisis fotosintética del agua, que produce periódicamente oxígeno, dan lugar a cambios de presión en el interior de la celda fotoacústica 1, efectos llamados fototérmico y fotobárico, respectivamente. Esto lleva a la vibración de la membrana del micrófono 16 de electret, que se encuentra dentro de la celda fotoacústica 1. La fotoinhibición de la actividad fotosintética (saturación) mediante la incidencia de luz blanca continua, permite restar el efecto fotobárico para evaluar la Razón de Evolución de Oxígeno (REO) de plantas. El sonido captado por el micrófono 16 es amplificado mediante un circuito desarrollado para esta tarea. La señal resultante es enviada a una tarjeta de adquisición de datos que se encarga de filtrar de manera digital la señal para eliminar el ruido y registrar los datos de amplitud de la señal fotoacústica 1 en función del tiempo.

La variación de la frecuencia de modulación de la luz del led rojo 29' es a 10, 17, 30 ó 70 Hz y se hace para obtener el coeficiente de difusión de oxígeno y la difusividad térmica de la hoja 5, a través del ajuste de los datos con el modelo de *Rosencwaig- Gersho*.

Así las cosas, con base en la presente invención, se propone satisfacer la necesidad de un sistema no invasivo y la adquisición de datos para el cálculo de la

razón de evolución de oxígeno, que toma entre 1 y 2 minutos. Éstos pueden ser visualizados, almacenados o transmitidos para su posterior análisis mediante un módulo de control y adquisición 4.

Las ventajas que tiene este procedimiento frente al uso de otros métodos como los manométricos, de sensores electroquímicos, isotopos de dióxido de carbón, fluorescencia e intercambio de gases, radican principalmente en la generación de una señal, en tiempo real que proviene directamente de la muestra, relacionada con la generación de oxígeno durante el proceso fotosintético. Por ejemplo, el método de fluorescencia e intercambio de gases, que es uno de los más utilizados, emplea sensores infrarrojos y un sistema complejo para las mediciones de asimilación de CO₂. En contra parte, con base en la invención, se permite hacer mediciones de la razón de evolución de oxígeno, del coeficiente de difusión de oxígeno y de la difusividad térmica de la hoja de manera *in situ* e *in vivo*, de forma directa sin uso de reactivos y sin dañar la planta.

Este equipo portátil según la invención, utiliza el efecto fotoacústico para llevar a cabo las correspondientes mediciones de la razón de evolución de oxígeno de plantas en campo; tiene una celda fotoacústica 1 que forma una pinza entre el cabezal 1 y la platina 11 conectada al módulo controlador y de adquisición de datos, con base en el cual es posible medir la actividad fotosintética de las plantas de un cultivo *in situ* para diagnosticar posibles deficiencias nutricionales o para medir la eficiencia de un agroinsumo.

Por su parte, el módulo de control y adquisición 4, comprende una pantalla táctil que permite configurar los parámetros de medición, conectada a una tarjeta de adquisición de datos *Raspberry Pi 3 B+* en la que se programaron filtros digitales para eliminar el ruido en la señal fotoacústica. Ambos componentes electrónicos funcionan con la misma fuente de energía, mediante una batería recargable de 3.7 V-2500 mAh, que posibilita su uso continuo de 6 a 8 horas.

En una modalidad preferida de la invención, se dispone de una segunda batería recargable de 7.4 V-1300 mAh, que energiza el circuito de control de

encendido y apagado de las fuentes de luz de la primera y segunda recámaras y adicionalmente comprende una batería de 9 V-170 mAh para el circuito del micrófono.

De igual forma, el micrófono de electret, que comúnmente es llamado de condensador, comprende un electrodo (fluorocarbonato o policarbonato de fluor) y una lámina de plástico que al estar polarizada no necesita alimentación eléctrica.

De igual forma, el módulo de control y adquisición comprende un módulo de conversión ADC de 16 bits, preferiblemente de referencia comercial ADS1115, usado para la adquisición de la señal fotoacústica y un módulo de comunicación inalámbrica GSM/GPRS para la opción de envío de datos de cada medición a un terminal remoto, que puede ser un teléfono celular o una plataforma para el registro y análisis de los datos.

La parte externa, módulo de control y adquisición 4, comprende controles de encendido-apagado, puertos de carga para cada batería, compartimientos para las baterías, puerto de conexión USB para descargar los datos de las mediciones y puertos de conexión para la celda fotoacústica 1 y sus dos diodos de emisión de luz (rojo y blanco).

Una vez que se toman los datos, se registran diariamente por un periodo mayor o igual a 30 días, tomando plantas al azar del lote de cultivo con características específicas o sometidas a un tratamiento particular y de un grupo de control.

De cada curva obtenida se calcula la razón de evolución de oxígeno, que se estima como el porcentaje de caída o de subida de la señal cuando se satura la fotosíntesis, lo que corresponde al retiro de la componente fotobárica relacionada con la liberación periódica de oxígeno.

Los valores de razón de evolución de oxígeno se grafican en función del tiempo y se hace un análisis estadístico multivariado de componentes principales y

de mínimos cuadrados parciales. Esto permite determinar diferencias en la actividad fotosintética de las plantas de acuerdo con el tratamiento aplicado.

Así, con base en el equipo de la presente invención, es posible medir la razón de evolución de oxígeno de plantas en campo en un tiempo entre 1 y 2 minutos, con un error menor al 5 %, a través del efecto fotoacústico y del descuento del efecto fotoquímico, que genera el oxígeno durante la fotosíntesis, mediante saturación por incidencia con luz blanca intensa y continua.

Adicionalmente, por ser alimentado con tensión continua mediante baterías recargables, permiten autonomía de entre 6 y 8 horas para mediciones en campo.

Sólo se han ilustrado a manera de ejemplo algunas modalidades preferidas de la invención. En este respecto, se apreciará que la construcción del equipo medidor fotoacústico portátil de razón de evolución de oxígeno, así como los arreglos, se pueden escoger de una pluralidad de alternativas sin apartarse del espíritu de la invención según las siguientes reivindicaciones.