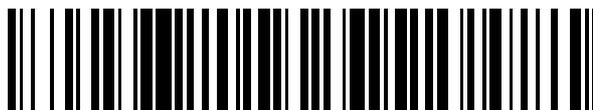


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 557 300**

51 Int. Cl.:

G01N 21/64 (2006.01)

G01J 3/44 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.08.2008 E 08827617 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 2183574**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para determinar la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo en un tejido vegetal sin medir independientemente dicho contenido**

30 Prioridad:

13.08.2007 FR 0757056

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

25.01.2016

73 Titular/es:

**FORCE-A (33.3%)
Centre Universitaire Paris-Sud Bâtiment 503
91400 Orsay, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (33.3%) y
UNIVERSITÉ PARIS SUD (33.3%)**

72 Inventor/es:

**CEROVIC, ZORAN;
GOULAS, YVES;
LATOUCHE, GWENDAL y
MOISE, NICOLAE**

74 Agente/Representante:

DÍAZ NUÑEZ, Joaquín

ES 2 557 300 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para determinar la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo en un tejido vegetal sin medir independientemente dicho contenido.

5 [0001] La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación óptica de la proporción del contenido de un compuesto cromóforo y de clorofila de un tejido vegetal. También se refiere a un sistema que implementa dicho procedimiento.

[0002] La invención se refiere más particularmente a la determinación óptica, no destructiva e *in situ* de la proporción del contenido de un compuesto cromóforo y de clorofila en un tejido vegetal.

10 [0003] Actualmente, se están realizando cada vez más trabajos para caracterizar un tejido vegetal por el contenido de los diferentes compuestos que contiene este tejido vegetal y por la proporción del contenido de ciertos compuestos. Por ejemplo, varios trabajos han mostrado la ventaja, para el control de la nutrición de nitrógeno, de la proporción del contenido de polifenoles y de clorofila de las hojas. Véase, sobre este tema, el artículo de Cartelat y col. publicado en 2005 en Field Crops Research (91: 35-49) titulado "Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.)". En efecto, estos trabajos muestran que los polifenoles o la clorofila, tomados aisladamente, varían tanto a lo largo de la hoja y en función de la dosis de nitrógeno suministrada. En cambio, la proporción (contenido de clorofila)/(contenido de polifenoles) se caracteriza por zonas de estabilidad a lo largo de la hoja. Estos trabajos muestran que esta proporción permite un mejor poder de discriminación de la necesidad de nitrógeno de una hoja de planta que el contenido en clorofila o el contenido en polifenoles. Lo que lo hace un indicador interesante para la gestión de los cultivos.

[0004] Actualmente la determinación óptica de la proporción (contenido en clorofila)/(contenido en polifenoles) se realiza de la siguiente manera: por un lado, se determina el contenido en clorofila, y por otra parte el contenido en polifenoles, después se calcula la proporción de estos contenidos.

25 Se conocen diversos procedimientos para medir, por un lado, el contenido en polifenoles, y por otro lado, el contenido en clorofila. Para medir los polifenoles, el artículo de Bilger y col. titulado "Measurement of leaf epidermal transmittance of UV radiation by chlorophyll fluorescence" que se publicó en Physiologia Plantarum (vol. 101, págs. 754-763) describe un procedimiento de medición que usa el efecto de pantalla de los polifenoles de la epidermis sobre la inducción de la fluorescencia de la clorofila. Este procedimiento consiste en medir la fluorescencia de la clorofila de una hoja excitada en el rango ultravioleta, con respecto a la fluorescencia de la misma hoja excitada en el rango visible. Ya que los polifenoles absorben la luz ultravioleta pero no la luz visible, se deduce el contenido de polifenoles de la epidermis de la hoja a partir de la proporción de ambas fluorescencias. Se describe un procedimiento similar en el artículo de Ounis y col. titulado "Dual Excitación FLIDAR for the estimation of epidermal UV absorpion in leaves and canopies" publicado en Remote Sensing of Environment (vol.) 76, págs. 33-48, 2001).

35 [0005] El documento FR 2 830 325 (Goulas, Cerovic y col. 2001) describe un instrumento (Duaalex) que aprovecha este método con un bucle de retroalimentación que permite eliminar los efectos perturbadores de la fluorescencia variable de la clorofila.

40 [0006] Por otra parte, ya han sido descritos varios procedimientos para la medición óptica de la clorofila basándose en la absorción, o en la fluorescencia. Para un procedimiento basado en la fluorescencia, puede hacerse referencia al artículo de Lichtenthaler y Rinderle publicado en 1988 en la revista "CRC Crit Rev Anal Chem" (vol.) 19 páginas 29-85) titulado "The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants".

[0007] Sin embargo, en todos los casos, el resultado es un número significativo de fuentes, por lo tanto, un aumento de la complejidad y un aumento del volumen y el coste de un sistema que implementa estos procedimientos de medición.

45 [0008] Un fin de la invención es proponer un procedimiento y un sistema para determinar la proporción del contenido de clorofila y en un componente cromóforo no fluorescente en la banda de fluorescencia de la clorofila, que son más simples que los procedimientos y los sistemas existentes.

[0009] La invención propone conseguir este fin y superar los problemas que se han mencionado anteriormente con un procedimiento para determinar la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo en un tejido

vegetal, siendo el compuesto cromóforo no fluorescente en la banda de fluorescencia de la clorofila. El procedimiento de acuerdo con la invención comprende las siguientes operaciones:

- 5
- Emisión, por un primer emisor en la dirección del tejido vegetal, de una radiación óptica, denominada primera radiación de excitación, seleccionada para absorberse parcialmente por el compuesto cromóforo y para inducir una primera radiación de fluorescencia de la clorofila,
- 10
- Detección, por un primer detector, de una parte de una primera radiación de fluorescencia que se encuentra sustancialmente fuera del espectro de absorción de la clorofila,
 - Emisión, por un segundo emisor en la dirección del tejido vegetal, de una radiación óptica, denominada segunda radiación de excitación, seleccionada para no absorberse por el compuesto cromóforo y para inducir una segunda radiación de fluorescencia de la clorofila,
 - Detección, por un segundo detector, de una parte de una segunda radiación de fluorescencia que se encuentra en el espectro de absorción de la clorofila, y
 - determinación de la proporción del contenido a partir de la proporción de las radiaciones de fluorescencia detectadas.

15 [0010] Por lo tanto, el procedimiento de acuerdo con la invención permite determinar de manera rápida, no destructiva e *in situ* la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo no fluorescente de un tejido vegetal. Por otro lado, el procedimiento de acuerdo con la invención permite determinar la proporción de los contenidos sin tener que determinar cada uno de los contenidos de clorofila y de un compuesto cromóforo en el tejido vegetal.

20 [0011] Además, gracias al procedimiento de acuerdo con la invención, la determinación de la proporción del contenido de un compuesto cromóforo fluorescente y de un compuesto cromóforo no fluorescente en un tejido vegetal se realiza con menos emisores o fuentes. Esto hace que la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención sea más sencilla que la implementación de los procedimientos existentes.

25 [0012] Ventajosamente, cada detector proporciona una señal eléctrica. El procedimiento de acuerdo con la invención puede comprender un muestreo, por medios de muestreo, de la señal eléctrica proporcionada por cada uno de los primeros y segundos detectores.

[0013] En una primera versión particular del procedimiento de acuerdo con la invención, la primera y segunda radiaciones de excitación pueden emitirse en forma de impulsos de manera no simultánea.

30 [0014] En esta primera versión, el procedimiento de acuerdo con la invención puede comprender una sincronización de los emisores y de los medios de muestreo de tal manera que el muestreo de la señal eléctrica proporcionada por el primero y/o el segundo detector se realiza cuando el primer y/o el segundo emisor emite un impulso.

[0015] En una segunda versión particular del procedimiento de acuerdo con la invención, la primera y segunda radiaciones de fluorescencia pueden emitirse en forma de señales moduladas a dos frecuencias diferentes. Estas señales pueden ser sinusoidales, señales de onda cuadradas, o cualquier otra forma.

35 [0016] En esta segunda versión, el procedimiento de acuerdo con la invención puede comprender adicionalmente una filtración, en la frecuencia de modulación de la primera radiación de excitación, de la señal eléctrica generada por el primer detector que detecta la primera radiación de fluorescencia y la filtración, a la frecuencia de modulación de la segunda radiación de excitación, de la señal eléctrica generada por el segundo detector que detecta la segunda radiación de fluorescencia. Por lo tanto, las señales eléctricas generadas por el primer detector por un lado, y por el segundo detector por otro lado, pueden separarse por una filtración adecuada en las frecuencias de modulación respectivamente de la primera y segunda radiaciones de excitación.

40

[0017] El procedimiento de acuerdo con la invención puede aplicarse ventajosamente directamente en una entidad vegetal seleccionada entre la siguiente lista:

- Una hoja de planta,

- Un tejido de una planta,
- Una parte de una planta, y
- Un conjunto de plantas.

5 [0018] En efecto, el procedimiento de acuerdo con la invención puede aplicarse directamente sobre un tejido de una entidad vegetal, tal como una planta, sin tener que retirar dicho tejido. Además, el procedimiento de acuerdo con la invención puede aplicarse a una distancia fija o variable del tejido vegetal.

[0019] Dentro del alcance de un ejemplo no limitante:

- 10
- El compuesto cromóforo es un compuesto de la familia de los polifenoles, o un grupo de compuestos de esta familia, y la longitud de onda de una primera radiación de excitación está comprendida entre 300 y 500 nm. La longitud de onda de esta primera radiación de excitación puede ser más particularmente 375 nm, y
 - la longitud de onda de la segunda radiación de excitación está comprendida entre 500 y 700 nm. La longitud de onda de esta segunda radiación de excitación puede ser más particularmente de 530 nm.

15 [0020] El procedimiento de acuerdo con la invención puede implementarse para determinar la necesidad de nutrición de nitrógeno del tejido a partir de la proporción determinada de los contenidos. Más generalmente, el procedimiento de acuerdo con la invención puede implementarse para controlar la nutrición nitrogenada de las plantas.

[0021] De acuerdo con otro aspecto de la invención, se propone un sistema para determinar la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo en un tejido vegetal, no siendo el compuesto cromóforo fluorescente en la banda de fluorescencia de la clorofila. El sistema de acuerdo con la invención comprende:

- 20
- Un primer emisor que emite, en la dirección del tejido, una radiación óptica, denominada la primera radiación de excitación, seleccionada para absorberse parcialmente por el compuesto cromóforo y para inducir una primera radiación de fluorescencia de la clorofila,
 - Un primer detector que realiza la detección de una parte de una primera radiación de fluorescencia que se encuentra sustancialmente fuera del espectro de absorción de la clorofila,
- 25
- Un segundo emisor que emite, en la dirección del tejido, una radiación óptica, denominada la segunda radiación de excitación, seleccionada para no absorberse por el compuesto cromóforo y para inducir una segunda radiación de fluorescencia de la clorofila,
 - Un segundo detector que realiza la detección de una parte de una segunda radiación de fluorescencia que se encuentra en el espectro de absorción de la clorofila, y
- 30
- Medios de cálculo para determinar la proporción del contenido a partir de la proporción de las radiaciones de fluorescencia detectadas.

35 [0022] El sistema de acuerdo con la invención permite determinar la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo no fluorescente en la banda de fluorescencia de la clorofila, usando únicamente dos emisores (o fuentes) y, por lo tanto, con menos fuentes que los sistemas actuales. El sistema de acuerdo con la invención es menos complejo en ejecución y, además, es menos voluminoso y más fácil de utilizar.

[0023] Esta sencillez surge del hecho de que el sistema de acuerdo con la invención no tiene por objeto determinar cada uno del contenido de clorofila y de compuesto cromóforo en el tejido vegetal, sino solamente la proporción de dicho contenido.

40 [0024] En el sistema de acuerdo con la invención, los emisores y los detectores pueden disponerse en el mismo lado del tejido vegetal.

[0025] Ventajosamente, el sistema de acuerdo con la invención puede comprender una óptica de colimación que realiza la colimación del primer y el segundo emisor hacia el tejido vegetal, y la colimación de la primera radiación de

fluorescencia hacia el primer detector, y la colimación de la segunda radiación de fluorescencia hacia el segundo detector.

5 [0026] En una realización, la óptica de colimación puede comprender al menos, un reflector parabólico o casi-parabólico situado delante de este emisor y que realiza la colimación de este emisor de tal manera que la radiación emitida por este emisor se centra en el tejido vegetal.

[0027] De acuerdo con otra realización, la óptica de colimación puede comprender:

- Un primer espejo dicroico que recibe la primera y la segunda radiación de excitación, emitida respectivamente por el primer y el segundo emisor, en dos direcciones aproximadamente perpendiculares y haciendo la primera y segunda radiaciones de excitación colineales,
- 10 - Un segundo espejo dicroico que recibe la primera y la segunda radiación de fluorescencia procedente del tejido vegetal de manera colineal y dirige la primera y la segunda radiación de fluorescencia respectivamente sobre el primer y el segundo detector en dos direcciones aproximadamente perpendiculares, y
- 15 - lentes ópticas que realizan la colimación de las radiaciones de excitación y la colimación de las radiaciones de fluorescencia procedentes del tejido.

[0028] En esta realización, las radiaciones de excitación y las radiaciones de fluorescencia no son colineales. La óptica de colimación comprende una primera serie de lentes ópticas dispuestas delante de los emisores y que realizan la colimación de las radiaciones de excitación y una segunda serie de lentes ópticas dispuestas delante de los detectores y que realizan la colimación de las radiaciones de fluorescencia.

20 [0029] De acuerdo con otra realización más, la óptica de colimación puede comprender un tercer espejo dicroico que realiza:

- La reflexión, hacia el tejido vegetal, de las radiaciones de excitación colineales procedentes del primer espejo dicroico, y
- 25 - la transmisión, hacia el segundo espejo dicroico, de las radiaciones de fluorescencia colineales procedentes del tejido vegetal.

En esta realización, las radiaciones de excitación y las radiaciones de fluorescencia son colineales entre el tercer espejo dicroico y el tejido vegetal, y la colimación de las radiaciones de excitación y de las radiaciones de fluorescencia se realiza por las mismas lentes ópticas. La óptica de colimación comprende una única serie de lentes ópticas que realizan la colimación de tanto las radiaciones de excitación como de las radiaciones de fluorescencia.

30 Las radiaciones de fluorescencia y las radiaciones de excitación son colineales entre el tercer espejo dicroico y el tejido. Es el tercer espejo dicroico el que tiene el papel de dirigir:

- Las radiaciones de excitación que provienen del primer espejo dicroico hacia la serie de lentes, y
- las radiaciones de fluorescencia que provienen del tejido hacia los detectores correspondientes.

35 [0030] Además, cada emisor puede comprender un filtro situado delante de este emisor. Este filtro tiene como papel limpiar la radiación de excitación emitida por dicho emisor y eliminar las longitudes de onda no deseadas.

[0031] Además, cada detector también puede comprender un filtro situado delante de este detector, teniendo este filtro el papel de limpiar la radiación de fluorescencia que llega a este detector y eliminar las longitudes no deseadas de onda de las radiaciones de fluorescencia, así como los componentes residuales de las radiaciones de excitación.

40 [0032] Ventajosamente, cada uno de los primeros y segundos detectores proporciona una señal eléctrica, el sistema comprende al menos un amplificador que amplía esta señal eléctrica.

[0033] Además, cuando las radiaciones de excitación se emiten en forma de impulsos desfasados en el tiempo, el sistema de acuerdo con la invención puede comprender al menos un muestreador controlado por al menos por una señal de sincronización para realizar el muestreo de la señal eléctrica proporcionada por el primero y/o el segundo

detector cuando se emite la primera y/o la segunda radiación de excitación. La señal de sincronización puede corresponder a una señal de dirección de las fuentes de emisión de las radiaciones de excitación. Por lo tanto, cuando un emisor emite un brillo de excitación, los medios de muestreo asociados a este emisor muestrean la señal eléctrica proporcionada por el detector asociado a dicho emisor.

5 [0034] Cada uno de los primeros y segundos emisores puede comprender una matriz de diodos emisores de luz o láseres que emiten la radiación de excitación.

[0035] Ventajosamente, el sistema de acuerdo con la invención puede situarse en contacto o a distancia del tejido vegetal que se va a caracterizar. Por otro lado, la distancia entre el sistema de acuerdo con la invención y el tejido vegetal puede ser fija o variable.

10 [0036] Además, el sistema de acuerdo con la invención puede montarse en una máquina móvil para caracterizar *ad hoc* una pluralidad de plantas vegetales, y más particularmente la necesidad de nitrógeno y/o la necesidad de nutrición nitrogenada de las plantas.

15 [0037] De acuerdo con una realización ventajosa, el sistema de acuerdo con la invención puede comprender o puede conectarse a medios de geolocalización que permite realizar una cartografía de las plantas, caracterizado de acuerdo con uno o más criterios predeterminados. Estos criterios pueden comprender la necesidad de nitrógeno de las plantas, la nutrición nitrogenada de las plantas, etc.

[0038] Otras ventajas y características se harán evidentes a partir del examen de la descripción detallada de una realización que no es de ningún modo limitativa, y los dibujos adjuntos, en los que:

20 - La figura 1 es una representación esquemática del principio de medición de la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo en un tejido vegetal;

- la figura 2 es una representación de los espectros de absorción y de emisión de fluorescencia de la clorofila;

- la figura 3 es una representación esquemática de una primera versión de la primera realización del sistema de acuerdo con la invención;

25 - la figura 4 es una representación esquemática de una segunda versión de la primera realización del sistema de acuerdo con la invención;

- la figura 5 es una representación esquemática de una tercera versión de la primera realización del sistema de acuerdo con la invención;

- la figura 6 es una representación esquemática de una realización del sistema de acuerdo con la invención;

30 - la figura 7 es una representación esquemática de una tercera realización del sistema de acuerdo con la invención;

- La figura 8 es una representación esquemática de la cuarta realización del sistema de acuerdo con la invención;

35 - la figura 9 es una representación esquemática de la quinta realización del sistema de acuerdo con la invención;

- la figura 10 es una representación esquemática de una estructura móvil que lleva un sistema de acuerdo con la invención para medir *ad hoc* una gran superficie de vegetación; y

40 - las figuras 11 y 12 ilustran un ejemplo de aplicación de la invención para determinar la proporción del contenido de clorofila y polifenoles en una planta con el fin de controlar el estado de nutrición nitrogenada de un cultivo.

[0039] La figura 1 es una representación esquemática del principio de medición de la proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo en un tejido vegetal. Una primera fuente (o emisor) 11 emite una primera radiación de excitación 111 y una segunda fuente (o emisor) 12 emite una segunda radiación 121. Estos emisores

11 y 12 se disponen de tal manera que el tejido vegetal T recibe las radiaciones 111 y 121. El compuesto cromóforo 13 no es fluorescente en la banda de fluorescencia de la clorofila 14.

5 [0040] La primera radiación de excitación 111 se selecciona para que se absorba parcialmente por el compuesto cromóforo 13. La primera radiación de excitación 111 penetra en el tejido T. Una parte de esta radiación 111 se absorbe por el compuesto cromóforo 13. La parte no absorbida de la radiación 111 se absorbe por la clorofila 14 e induce una primera radiación de fluorescencia 112 de la clorofila 14.

10 [0041] La segunda radiación de excitación 121 se selecciona para no absorberse (o muy ligeramente) por el compuesto cromóforo 13. La segunda radiación de excitación 121 penetra en el tejido, atraviesa casi totalmente la parte del tejido ocupada por el compuesto cromóforo 13 y alcanza la clorofila 14. Después, la segunda radiación 121 se absorbe por la clorofila 14 e induce una segunda radiación de fluorescencia 122 de la clorofila.

[0042] Las radiaciones de fluorescencia 112 y 122 son espectralmente idénticas. Estas radiaciones de fluorescencia 112 y 122 presentan un espectro cuya parte se encuentra fuera del espectro de absorción de la clorofila 14 y otra en el espectro de absorción de la clorofila. La parte de las radiaciones de fluorescencia 112 y 122 que se encuentra en el espectro de absorción de la fluorescencia 14 se reabsorbe parcialmente por la clorofila 14.

15 [0043] Se proporciona un detector 15 para detectar únicamente una parte de una primera radiación de fluorescencia 112 que se encuentra fuera del espectro de absorción de la clorofila y se proporciona un detector 16 para detectar únicamente una parte de una segunda radiación de fluorescencia 122 que se encuentra en el espectro de absorción de la clorofila.

20 [0044] La figura 2 da una representación del espectro de absorción 21 de la clorofila 14 y del espectro de fluorescencia 22 de la clorofila 14, por lo tanto, del espectro de las radiaciones de fluorescencia 112 y 122. Como puede observarse a partir de la figura 2, los espectros de absorción 21 y de fluorescencia de la clorofila 14 se solapan. Para cada radiación de fluorescencia 112 y 122 de la clorofila 14, las longitudes de onda que se encuentran en la banda espectral 23 se absorben de nuevo parcialmente por la clorofila y las longitudes de onda que se encuentran en la banda 24 espectral no se reabsorben por la clorofila. Por lo tanto, el detector 15 se proporciona para detectar una parte de la radiación de fluorescencia 112 que se encuentra en la banda espectral 24 y el detector 25 para detectar una parte de la radiación de fluorescencia 122 que se encuentra en la banda espectral 23.

30 [0045] Además, las radiaciones de fluorescencia 112 y 122 son por supuesto isótropas. Desde un punto de vista espacial, los detectores 15 y 16 reciben sólo una única parte de estas radiaciones 112 y 122. Con fines de facilitar la descripción y la representación, no se tendrá en cuenta el aspecto isótropo de las radiaciones de fluorescencia 112 y 122. En el resto de la descripción, únicamente interesará la parte de cada radiación de fluorescencia detectada por el detector 15 o 16.

35 [0046] Además, en el resto de la descripción, las bandas espectrales 23 y 24 se denominarán respectivamente la banda RF para "fluorescencia roja" y FRF para "fluorescencia roja lejana. Por lo tanto, la parte de la primera radiación de fluorescencia 112 detectada por el detector 15 se denominará fluorescencia FRF y la parte de una segunda radiación de fluorescencia 122 detectada por el detector 16 se denominará fluorescencia RF.

40 [0047] Las figuras 3 a 9 son representaciones esquemáticas de varias realizaciones de un sistema de acuerdo con la invención. Independientemente de la realización, el sistema de acuerdo con la invención comprende la primera fuente (o emisor) 11 que emite la primera radiación de excitación 111, y la segunda fuente (o emisor) 12 que emite la segunda radiación de excitación 121.

[0048] El sistema comprende adicionalmente el primer detector 15 proporcionado para detectar la fluorescencia FRF inducida por la primera radiación 111 y el segundo detector 16 proporcionado para detectar la fluorescencia RF inducida por la segunda radiación de excitación 121.

45 [0049] En el presente ejemplo, las radiaciones de excitación 111 y 121 se emiten en forma de impulsos. Las fuentes 11 y 12 se suministran por las alimentaciones 31 y 32 controladas por un módulo de control y de sincronización 33 que proporciona, a la entrada de cada una de las alimentaciones 31 y 32, una señal de control y de sincronización, respectivamente 331 y 332. Cada una de las alimentaciones 31 y 32 proporciona una corriente, respectivamente 311 y 321, en las fuentes 11 y 12 en función al estado de su entrada. Cuando la entrada de una alimentación está en el estado lógico alto, se envía un impulso de corriente a la fuente. Cuando la entrada de una alimentación está en el

estado lógico bajo, la fuente se apaga y no se envía ningún impulso de corriente. Las señales 331 y 332, proporcionadas por el módulo de control y de sincronización 33 y presentes en la entrada de control de las alimentaciones 31 y 32 son impulsos de tal forma que las fuentes 11 y 12 se activen de manera alterna y no simultáneamente.

5 [0050] Delante de cada detector 15 y 16 se coloca un filtro 151 y 161, que deja pasar únicamente la parte deseada de las radiaciones de fluorescencia 112 y 122. En efecto, el filtro 151, situado delante del detector 15, deja pasar sólo la parte FRF de la primera radiación de fluorescencia 112 y el filtro 161, situado delante del detector 16, deja pasar sólo la parte RF de la segunda radiación de fluorescencia 122. Por supuesto, estos filtros 151 y 161 pueden seleccionarse de manera que únicamente permitan pasar una parte de la fluorescencia FRF o RF hacia los
10 detectores 15 y 16 y/o rechazar las longitudes de onda de excitación.

[0051] Los detectores 15 y 16, proporcionados para detectar la fluorescencia deseada, proporcionan cada uno una magnitud eléctrica, respectivamente 152 y 162. Estas magnitudes eléctricas 152, 162 son representativas de las emisiones de fluorescencia del tejido T que se analiza, es decir, las radiaciones de fluorescencia 112 medidas en la banda 24 y 122 medidas en la banda 23. El tejido T puede ser una hoja, una planta o una parte de una planta, o un
15 conjunto de plantas. Las señales eléctricas 152 y 162 se amplifican mediante amplificadores, 153 y 163 respectivamente, que proporcionan dos señales ampliadas, 154 y 164 respectivamente. Las señales amplificadas 154 y 164 se muestrean por muestreadores-bloqueadores 155 y 165. Los muestreadores-bloqueadores 155 y 165 se controlan por dos señales de sincronización, que, en el presente ejemplo, son las señales 331 y 332, que también están presentes en la entrada de las alimentaciones 31 y 32. El muestreador-bloqueador 155 muestrea, y pone en
20 una memoria analógica, la señal 154 procedente del detector 15 únicamente durante la puesta en marcha de la fuente 11 y el muestreador-bloqueador 165 muestrea, y pone en una memoria analógica, la señal 164 procedente del detector 16 únicamente durante la puesta en marcha de la fuente 12. Por lo tanto, los muestreadores-bloqueadores 155 y 165 proporcionan magnitudes continuas 156 y 166 representativas de las fluorescencias inducidas respectivamente por las radiaciones de excitación 111 y 121 respectivamente, en las bandas de emisión
25 24 (FRF) y 23 (RF).

[0052] Estas magnitudes 156 y 166 se convierten entonces, por medio de un convertidor analógico-digital 34, en datos numéricos 341 transmitidos a un módulo de cálculo y de comunicación 35 que comprende un microcontrolador, una memoria numérica, una pantalla, un medio de comunicación digital, tal como una interfaz en serie y un teclado. El módulo de cálculo y de comunicación 35 calcula la proporción entre la magnitud 156 y la
30 magnitud 166, representativa de la proporción del contenido de clorofila y del compuesto cromóforo del tejido T.

[0053] Por lo tanto, la invención permite determinar directamente la proporción de los contenidos sin determinar por separado el contenido en clorofila y el contenido en compuesto cromóforo en el tejido T.

[0054] Independientemente de la realización, las fuentes 11 y 12 y los detectores 15 y 16 se orientan adecuadamente y se coliman.

35 [0055] En la primera realización, mostrada esquemáticamente en la figura 3, las radiaciones de excitación 111 y 121 se emiten por las fuentes 11 y 12, asociadas a dos filtros 114 y 124 respectivamente, en dos direcciones aproximadamente perpendiculares. Los filtros 114 y 124 son capaces de eliminar los componentes no deseados de las radiaciones 111 y 121. Estas radiaciones 111 y 121 llegan a un espejo dicróico 36 situado a aproximadamente
40 45° con relación a las direcciones de emisión de las radiaciones de excitación 111 y 121. El espejo dicróico 36 hace las radiaciones 111 y 121 colineales, dejando pasar una de estas radiaciones, aquí la segunda radiación de excitación 121, y reflejando la otra de estas radiaciones, aquí una primera radiación de excitación 111. Después, las radiaciones de excitación colineales 111 y 121 llegan al segundo espejo dicróico 37, que refleja las radiaciones de excitación hacia el tejido T. Las radiaciones de excitación 111 y 121 reflejadas por el espejo dicróico hacia el tejido T después se coliman sobre el tejido T por dos lentes L1 y L2. Las radiaciones de excitación 111 y 121 aún son
45 colineales. Las radiaciones de fluorescencia 112 y 122 inducidas por las radiaciones de excitación 111 y 121 se coliman por las lentes L2 y L1 en el espejo dicróico 37. Este último deja pasar estas radiaciones 112 y 122 hacia el tercer espejo dicróico 38 dispuesto aproximadamente a 45° con relación a los detectores 15 y 16. Este espejo dicróico deja pasar la parte FRF de la radiación 112 hacia el detector 15 y refleja la parte RF de la radiación de fluorescencia 122 hacia el detector 16.

[0056] La figura 4 presenta una segunda versión de la primera realización representada en la figura 3. En esta segunda versión, los detectores 15 y 16 y los emisores 11 y 12 se sitúan de acuerdo con una disposición que es diferente de la primera versión.

5 [0057] La figura 5 es la tercera versión de la primera realización mostrada en las figuras 3 y 4. En esta versión, las radiaciones de excitación 111 y 121 se emiten de manera colineal y ventajosamente por la misma fuente 51, que puede emitir tanto la primera radiación de excitación 111 como la segunda radiación de excitación 121, tal como una matriz de diodos que pueden emitir varias radiaciones de longitudes de onda diferentes. Tal fuente puede ser, por ejemplo, una matriz de diodos de tres colores RGB (Rojo-Verde-Azul (*Red-Green-Blue*)). Puesto que las radiaciones de excitación 111 y 121 se emiten de manera colineal por la fuente 51, el espejo dicróico 36 no es necesario en esta
10 tercera versión de la primera realización. Uno o varios filtros 511 pueden situarse delante de la fuente 51 para eliminar los componentes no deseados de las radiaciones de excitación 111 y 121 emitidas por la fuente 51.

[0058] En la primera realización, cuyas tres versiones se muestran en las figuras 3, 4 y 5, las radiaciones de excitación 111 y 121 son colineales a las radiaciones de fluorescencia 112 y 122 entre el espejo dicróico 37 y el tejido T. Además, la colimación de las radiaciones de excitación 111 y 121 en el tejido T y la colimación de las
15 radiaciones de fluorescencia sobre el espejo dicróico 37 se realizan por las mismas lentes L1 y L2.

[0059] La figura 6 es una representación esquemática de una segunda realización del sistema de acuerdo con la invención. En esta realización, el emisor 11 y el detector 15 forman un primer conjunto 61 que comprende además los filtros 114 y 151, así como dos lentes L3 y L4 que realizan la colimación de la primera radiación de excitación 111 sobre el tejido T y la colimación de la primera radiación de fluorescencia 112 hacia un espejo dicróico 611. La radiación de excitación 111, emitida por el emisor 11, se refleja por el espejo dicróico 611 hacia el tejido T. Las lentes L3 y L4 realizan entonces la colimación de la primera radiación de excitación 111 sobre el tejido T. La primera radiación de fluorescencia 112, inducida por la primera radiación de excitación 111, se colima por las lentes L3 y L4 hacia el espejo dicróico 611. Este espejo dicróico deja pasar una primera radiación de fluorescencia 112 hacia el detector 15 delante del cual está situado el filtro 151. El emisor 12 y el detector 16 forman un segundo conjunto 62 que comprende además los filtros 124 y 161, así como dos lentes L5 y L6 que realizan la colimación de la segunda radiación de excitación 121 sobre el tejido T y la colimación de la segunda radiación de fluorescencia 122 hacia un espejo dicróico 621. La radiación de excitación 121, emitida por el emisor 12, se refleja por el espejo dicróico 621 hacia el tejido T. Las lentes L5 y L6 realizan entonces la colimación de la segunda radiación de excitación 121 sobre el tejido T. La segunda radiación de fluorescencia 122, inducida por la segunda radiación de excitación 121, se colima por las lentes L5 y L6 hacia el espejo dicróico 621. Este espejo dicróico 621 deja pasar la segunda radiación de fluorescencia 122 hacia el detector 16 delante del cual se sitúa el filtro 161.
20
25
30

[0060] Los conjuntos 61 y 62 son móviles y se siguen. En efecto, en el momento t el conjunto 61 se sitúa hacia una superficie S1 del tejido T y el conjunto 62 se sitúa hacia una superficie S0 del tejido T. Se realiza una primera medición. Después, en el momento $t+1$, el conjunto 61 se desplaza y se sitúa hacia una superficie S2 del tejido T y el conjunto 62 se sitúa hacia la superficie S1. Se realiza una segunda medición. La proporción del contenido de clorofila y de un compuesto cromóforo de la superficie S1 se determina usando la medición realizada por el conjunto 61 en el momento t y la medición realizada por el conjunto 62 en el momento $t+1$.
35

[0061] La figura 7 es una representación esquemática de una tercera realización en la que los emisores 11 y 12 forman el primer conjunto 71 que comprende además los filtros 114 y 124, un espejo dicróico 73, así como las lentes de colimación L7 y L8. Los detectores 15 y 16 forman un segundo conjunto 72 que comprende además los filtros 151 y 161, un espejo dicróico 74, así como dos lentes de colimación L9 y L10. En esta realización, las fuentes 11 y 12 se disponen aproximadamente perpendicularmente. Las radiaciones de excitación 111 y 121 se emiten por las fuentes 11 y 12 en dos direcciones aproximadamente perpendiculares. Estas radiaciones 111 y 121 llegan sobre un espejo dicróico 73 situado a aproximadamente 45° con respecto a las direcciones de emisión de las radiaciones de excitación 111 y 121. El espejo dicróico 73 hace las radiaciones 111 y 121 colineales, dejando pasar una de estas radiaciones, aquí la radiación 121, y reflejando la otra de estas radiaciones, aquí la radiación 111. Estas radiaciones colineales después se coliman sobre el tejido T por las lentes L7 y L8.
40
45

[0062] Las radiaciones de fluorescencia 112 y 122, inducidas por las radiaciones 111 y 121, se coliman hacia un espejo dicróico 74 por una segunda serie de dos lentes L9 y L10. El espejo dicróico 74 refleja la parte RF de la segunda radiación de fluorescencia 122, y transmite la parte FRF de la primera radiación de fluorescencia 112.
50

[0063] Los espejos dicróicos usados en las realizaciones que se han descrito anteriormente son espejos dicróicos de paso alto (con respecto a la longitud de onda) seleccionados adecuadamente de acuerdo con las longitudes de onda de las diferentes radiaciones de excitación y de fluorescencia.

5 [0064] La figura 8 es una representación esquemática de una cuarta realización del sistema de acuerdo con la invención sin espejos dicróicos. En esta cuarta realización, la colimación de los emisores 11 y 12 se realiza por reflectores parabólicos o casi-parabólicos 81 y 82 dispuestos delante de los emisores 11 y 12. Los filtros 83 y 84 se disponen delante de los reflectores para eliminar los componentes no deseados de las radiaciones de excitación 111 y 121.

10 [0065] La figura 9 es una representación esquemática de una quinta realización del sistema de acuerdo con la invención. En esta quinta realización, el sistema de acuerdo con la invención comprende un dispositivo 90 para guiar las radiaciones ópticas, por ejemplo, un conjunto de fibras ópticas. Las fibras ópticas se distribuyen desde cuatro aberturas 91-94 hasta una pluralidad de extremos 95. Los emisores 11 y 12 y los detectores 15 y 16 junto con sus filtros, 114, 124, 151 y 161 respectivamente, se disponen delante de las aberturas 91, 92, 93 y 94 respectivamente. Las radiaciones de excitación 111 y 121 se transportan por las fibras ópticas desde las aberturas 91 y 92 hasta los
15 extremos 95 del dispositivo 90 a través de una pluralidad de ramas 96. En cada extremo 95, las radiaciones de excitación 111 y 121 se envían al tejido T. Las radiaciones de fluorescencia inducidas 112 y 122 se recogen por las fibras ópticas y se transportan a los detectores 15 y 16 dispuestos delante de las aberturas 93 y 94. Cada extremo 95 del dispositivo 90 comprende una óptica de recogida 97.

20 [0066] Esta realización presenta la ventaja de que es posible mover los emisores 11 y 12, así como los detectores 15 y 16. Además, las radiaciones de excitación 111, 121 y las radiaciones de fluorescencia 112 y 122 son colineales. El sistema de acuerdo con la invención es más robusto. Los extremos 95 del dispositivo 90 permiten realizar mediciones multipunto sobre tejidos de longitud considerable.

25 [0067] Como se muestra esquemáticamente en la figura 10, el sistema de acuerdo con la invención puede ser de un tamaño y forma deseados para montarse en una estructura 1000. La estructura 1000 mostrada en la figura 10 comprende cuatro sistemas de acuerdo con la invención 1001. La estructura 1000 puede tener una forma y dimensiones destinadas a remolcarse por un vehículo a lo largo de una gran superficie importante de plantas, por ejemplo para controlar y analizar continuamente una hilera de vides 1002, en varios niveles y por ambos lados.

30 [0068] Los sistemas de acuerdo con la invención 1001 pueden incorporar, o comunicar con, uno o varios medios informatizados, tales como medios de geolocalización 1003, que permiten realizar una cartografía de acuerdo con los resultados de medición o de acuerdo con el tratamiento particular realizado en la superficie vegetal o los medios de control de las mediciones 1004, o medios de control 1005 para un procesamiento realizado como y cuando sea necesario, o medios de comunicación 1006 con uno o más sistemas diferentes.

35 [0069] Pueden producirse otras realizaciones basándose en diferentes tipos de vehículos que se usan para recorrer la zona que se va a tratar o valorar, por ejemplo sobre un cortacésped, o sobre un carrito individual para transportar palos de golf.

[0070] Ahora se describirá un ejemplo de aplicación de la invención, con referencia a las figuras 11 y 12. En el ejemplo de aplicación que se va a describir, el compuesto cromóforo es un polifenol. En este ejemplo, la proporción requerida NBI (índice de equilibrio de nitrógeno, *Nitrogen Balance Index*) es la proporción:

$$NBI = \frac{\text{Chlorophylle(CHL)}}{\text{Polyphénols(PHEN)}}$$

40 de una planta. Como se ha descrito anteriormente, esta proporción es un indicador muy bueno de la nutrición de nitrógeno de una planta. Puede usarse para controlar el estado de la nutrición nitrogenada de las plantas sobre una gran superficie. Puede constituir un criterio para realizar, por medio del sistema de acuerdo con la invención, una cartografía de la nutrición de nitrógeno de las plantas. Además, puede usarse para tratar las plantas, por ejemplo, para aportar un complemento nitrogenado a las plantas.

[0071] La figura 11 muestra la evolución del contenido en clorofila Chl, del contenido en polifenoles Phen y de la proporción de estos contenidos en función a la nutrición de nitrógeno N. Cada uno de estos contenidos puede medirse independientemente por la medición de la fluorescencia usando una primera radiación de excitación en el rango ultravioleta (UV), absorbida por los polifenoles, y una segunda radiación de excitación en el rango visible (VI), no absorbido por los polifenoles. Esto dará:

$$Chl = \frac{FRF(VIS)}{RF(VIS)} ; Phen = \log \left[\frac{FRF(VIS)}{FRF(UV)} \right] ; \frac{Chl}{Phen} = \frac{FRF(UV)}{RF(VIS)}$$

El sistema usando dentro del alcance de este ejemplo particular de aplicación puede ser un sistema implementado de acuerdo con una cualquiera de las realizaciones que se han descrito anteriormente. Incluso puede implementarse de acuerdo con cualquier combinación de las realizaciones que se han descrito anteriormente.

[0072] La primera radiación de excitación 111 emitida por la fuente 11 es radiación ultravioleta (UV), a una longitud de onda, o un conjunto de longitudes de onda absorbidas por los polifenoles de la hoja, por ejemplo, de 375 nm. Un ejemplo de dicha fuente 11 es una matriz de diodos emisores de luz, tal como OTLH-0280-UV (Opto Technology, II, Estados Unidos) combinada preferiblemente con un filtro óptico 114, tal como DUG11 (Schott, Alemania) que bloquea las longitudes de onda visibles y deja pasar las longitudes de onda ultravioleta. Esta radiación ultravioleta de 375 nm induce una primera radiación de fluorescencia 112, únicamente una porción de la cual, situada en el rojo lejano, FRF (UV), centrada aproximadamente 740 nm, y no absorbida por la clorofila, se medirá. El detector 15 combinado con el filtro 151 únicamente es sensible a las grandes longitudes de onda del espectro de emisión de la fluorescencia de la clorofila, es decir, las longitudes de onda mayores de 700 nm. Un ejemplo de tal detector 15 es un fotodiodo de silicio, tal como PDB-C618 (Advanced Photonix Inc, Estados Unidos) combinado con un filtro óptico 151, tal como RG9 de Schott (Alemania).

[0073] La segunda radiación de excitación 121 emitida por la fuente 12 es una radiación en el rango visible (VI), a una longitud de onda, o un conjunto de longitudes de onda no absorbidas por los polifenoles, por ejemplo, a 530 nm. Un ejemplo de tal fuente 12 es la matriz de diodos emisores de luz OTLH-0020-GN (Opto Technology, Inc, II, Estados Unidos) que emiten a 530 nm, preferiblemente combinada con un filtro óptico 124 con el fin de cortar toda emisión parásita que coincidiría con la banda espectral de sensibilidad del detector 16. La radiación visible (VIS) induce una segunda radiación de fluorescencia 122 de la clorofila. Esta segunda radiación de fluorescencia 122 tiene una banda de emisión 23 en el rojo, RF (VI), en el espectro de absorción de la clorofila y, por lo tanto, se absorberá de nuevo parcialmente por la clorofila. La parte no reabsorbida de la radiación de fluorescencia en la banda 23 se medirá por el detector 16 combinado con el filtro 161. Corresponde a las longitudes de onda cortas del espectro de emisión de fluorescencia de la clorofila, es decir, las longitudes de onda cercanas al pico de emisión a 685 nm. Por lo tanto, el detector 16 combinado con el filtro 161 es únicamente sensible a las longitudes de onda cortas del espectro de emisión de la fluorescencia de la clorofila. Tal detector 16 puede ser un fotodiodo de silicio, delante del cual se coloca un filtro adecuado 161, tal como un filtro de interferencia centrado en 685 nm. La figura 12 muestra una representación del espectro 1201 de la primera radiación de excitación 111, del espectro 1202 de la segunda radiación de excitación 121, el espectro 1203 de fluorescencia de la clorofila, el espectro 1205 de la fluorescencia FRF (UV) medida por el detector 15 y el espectro 1204 de la fluorescencia RF (VI) medida por el detector 16.

[0074] La proporción NBI se calcula entonces de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$NBI = \frac{FRF(UV)}{RF(VIS)}$$

[0075] Pueden contemplarse otros modos de modulación de las radiaciones de excitación 111 y 121. Las radiaciones 111 y 121 pueden modularse, por ejemplo, sinusoidalmente a frecuencias diferentes, modulándose la radiación 111 a una frecuencia f1 y la radiación 121 a una frecuencia f2. La señal 132 procedente del detector 13 se filtrará a la frecuencia f1 de modulación de la radiación 111 mientras que la señal 142 del detector 14 se filtrará a la frecuencia f2 de modulación de la radiación 121.

[0076] La invención no se limita a los ejemplos de aplicación que se han descrito anteriormente. La disposición de las fuentes y los detectores, el tipo de fuente y detector usados, la óptica de colimación, y la modulación de las diferentes radiaciones pueden cambiarse permaneciendo al mismo tiempo dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la proporción del contenido de clorofila (14) y de un compuesto cromóforo (13) en un tejido vegetal (T), no siendo dicho compuesto cromóforo (13) fluorescente en la banda de fluorescencia (22) de la clorofila (14), comprendiendo dicho procedimiento las siguientes operaciones:

- 5 - Emisión, por un primer emisor (11) en la dirección de dicho tejido vegetal (T), de una radiación óptica, denominada la primera radiación de excitación (111), seleccionada para absorberse parcialmente por el compuesto cromóforo (13) y para inducir una primera radiación de fluorescencia (112) de la clorofila (14),
- Detección, por un primer detector (15), de una parte de una primera radiación de fluorescencia (112) que se encuentra fuera del espectro de absorción (21) de la clorofila (14),
- 10 - Emisión, por un segundo emisor (12) en la dirección de dicho tejido vegetal (T), de una radiación óptica, denominada segunda radiación de excitación (121), seleccionada para no absorberse por el compuesto cromóforo (13) y para inducir una segunda radiación de fluorescencia (122) de la clorofila (14),
- Detección, por un segundo detector (16), de una parte de la segunda radiación de fluorescencia (122) que se encuentra en el espectro de absorción (21) de la clorofila (14), y
- 15 - Determinación de dicha proporción a partir de la proporción de dichas radiaciones de fluorescencia que se detectaron.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** cada uno de los detectores (15, 16) proporciona una señal eléctrica (152, 162), comprendiendo dicho procedimiento además un muestreo, por medios de muestreo (155,165), de la señal eléctrica (152, 162) proporcionada por cada detector (15, 16).

20 3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la primera y segunda radiaciones de excitación (111, 121) se emiten en forma de impulsos de manera no simultánea, comprendiendo dicho procedimiento adicionalmente una sincronización de los emisores (11, 12) y los medios de muestreo (155, 165) de tal manera que el muestreo de la señal eléctrica (152, 162) proporcionada por el primero y/o el segundo detector (15, 16) se realiza cuando el primer y/o el segundo emisor (11, 12) emite un impulso.

25 4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la primera y segunda radiaciones de excitación (111, 121) se modulan a dos frecuencias diferentes.

5. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se aplica sobre una entidad vegetal seleccionada entre la siguiente lista:

- Una hoja de planta,
- 30 - Un tejido de una planta,
- Una parte de una planta, y
- Un conjunto de plantas.

6. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**:

- 35 - El compuesto cromóforo es un polifenol y la longitud de onda de la primera radiación de excitación (111) está comprendida entre 300 y 500 nm; y
- la longitud de onda de la segunda radiación de excitación (121) está comprendida entre 500 y 700 nm.

7. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6, **caracterizado por que** comprende la determinación de la necesidad de nutrición de nitrógeno de dicho tejido (T) a partir de la proporción de las radiaciones de fluorescencia detectadas.

8. Sistema para determinar la proporción del contenido de clorofila (14) y de un compuesto cromóforo (13) en un tejido vegetal (T), no siendo dicho compuesto cromóforo (13) fluorescente en la banda de fluorescencia (22) de la clorofila (14), comprendiendo dicho sistema:

- 5 - Un primer emisor (11) que emite, en la dirección de dicho tejido (T), una radiación óptica, denominada primera radiación de excitación (111), seleccionada para absorberse parcialmente por el compuesto cromóforo (13) y para inducir una primera radiación de fluorescencia (112) de la clorofila (14),
- Un primer detector (15) que realiza la detección de una parte de dicha primera radiación de fluorescencia (112) que se encuentra fuera del espectro de absorción (21) de la clorofila (14)
- 10 - Un segundo emisor (12) que emite, en la dirección de dicho tejido (T), la radiación óptica, denominada segunda radiación de excitación (121), seleccionada para no absorberse por el compuesto cromóforo (13) y para inducir una segunda radiación de fluorescencia (122) de la clorofila (14),
- Un segundo detector (16) que realiza la detección de una parte de dicha segunda radiación de fluorescencia (122) que se encuentra en el espectro de absorción (21) de la clorofila (14), y
- 15 - Medios de cálculo (18, 19) para determinar dicha proporción a partir de la proporción de dichas radiaciones de fluorescencia detectadas.

9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** comprende una óptica de colimación que realiza la colimación de la primera y la segunda radiación de excitación (111, 121) hacia el tejido (T) y la colimación de la primera radiación de fluorescencia (112) hacia el primer detector (15) y la colimación de una segunda radiación de fluorescencia (122) hacia el segundo detector (16).

20 10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** la óptica de colimación comprende:

- Un primer espejo dicróico (36) que recibe la primera y la segunda radiación de excitación (111, 121), emitidas respectivamente por el primer y el segundo emisor (11, 12), en dos direcciones aproximadamente perpendiculares y haciendo dichas primera y segunda radiaciones de excitación (111, 121) colineales,
- 25 - Un segundo espejo dicróico (38) que recibe la primera y segunda radiación de fluorescencia (112, 122) que proviene del tejido vegetal (T) de manera colineales y dirigiendo la primera y la segunda radiación de fluorescencia (112, 122) respectivamente sobre el primer detector (15) y el segundo detector (16) en dos direcciones aproximadamente perpendiculares, y
- Lentes ópticas (L7, L8; L9, L10) que realizan la colimación de las radiaciones de excitación (111, 121) y la colimación de las radiaciones de fluorescencia (112, 122) procedentes del tejido (T).

30 11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** la óptica de colimación comprende un tercer espejo dicróico (37) que realiza

- La reflexión, hacia el tejido vegetal (T), de las radiaciones de excitación colineales (111, 121) que proceden del primer espejo dicróico (36), y
 - 35 - la transmisión, hacia el segundo espejo dicróico (38), de las radiaciones de fluorescencia colineales (112, 122) procedentes del tejido vegetal (T);
- siendo dichas radiaciones de excitación (111, 121) y dichas radiaciones de fluorescencia (112, 122) colineales entre dicho tercer espejo dicróico (37) y dicho tejido vegetal (T), y realizándose la colimación de dichas radiaciones de excitación (111, 121) y dichas radiaciones de fluorescencia (112, 122) por las mismas lentes ópticas (L1, L2).

40 12. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizado por que:**

- cada emisor (11, 12) comprende un filtro (114, 124) situado delante de dicho emisor (11, 12), dicho filtro (114, 124) limpia la radiación de excitación (111, 121) emitida por dicho emisor (11, 12), y/o

- cada detector (15, 16) comprende un filtro (151, 161) situado delante de dicho detector (15, 16), dicho filtro (151, 161) elimina los componentes no deseados de la radiación de fluorescencia (112,122) que llega a dicho detector (15, 16).

5 13. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, **caracterizado por que** cada uno de los primeros y segundos detectores (15, 16) proporciona una señal eléctrica (152, 162), comprendiendo dicho sistema al menos un amplificador (153, 163) que amplifica dicha señal eléctrica (152, 162), comprendiendo además dicho sistema al menos un muestreador (155, 165) controlado por una señal de sincronización (331, 332) para realizar el muestreo de la señal eléctrica (154, 164) proporcionada por el primer y/o el segundo detector (15, 16) cuando la primera y/o la segunda radiación de excitación (111, 121) se emite.

10 14. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, **caracterizado por que** el primer emisor (11) y/o el segundo emisor (12) comprende una matriz de diodos emisores de luz.

15. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, **caracterizado por que** se monta sobre una máquina móvil (1000) para caracterizar una pluralidad de plantas de manera *ad hoc*, comprendiendo además dicho sistema medios de geolocalización (1003).

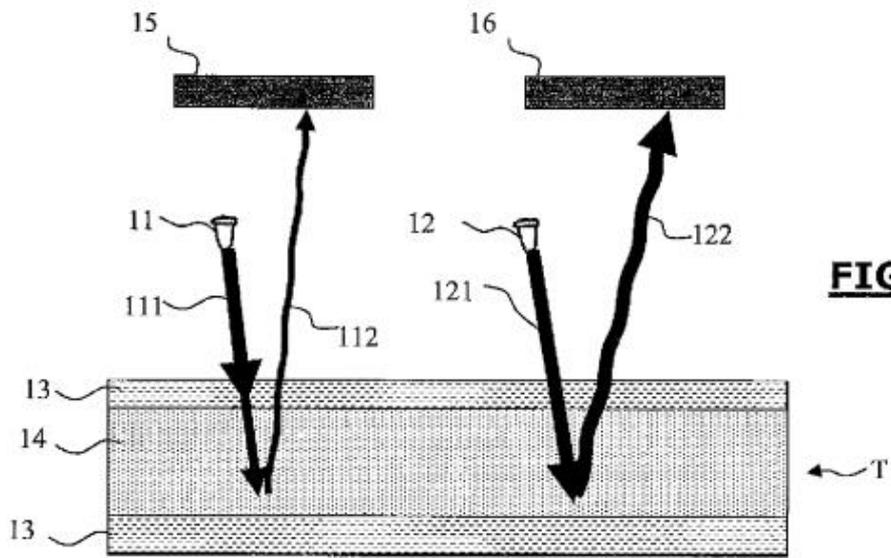


FIG. 1

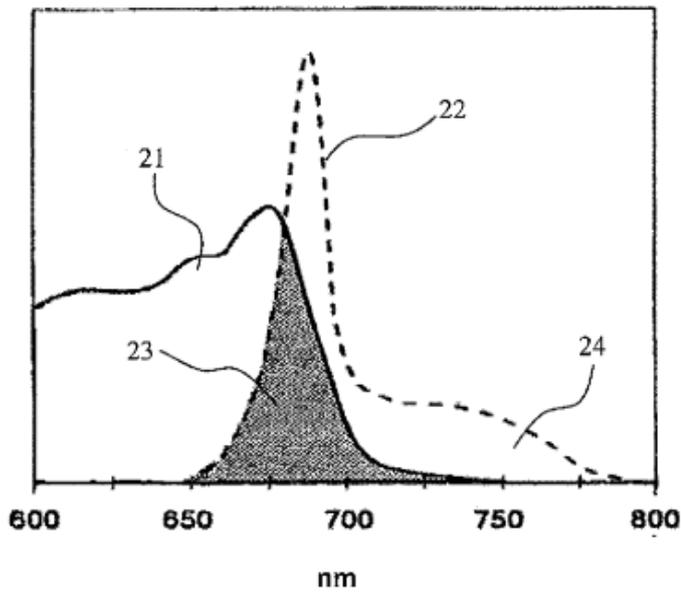


FIG. 2

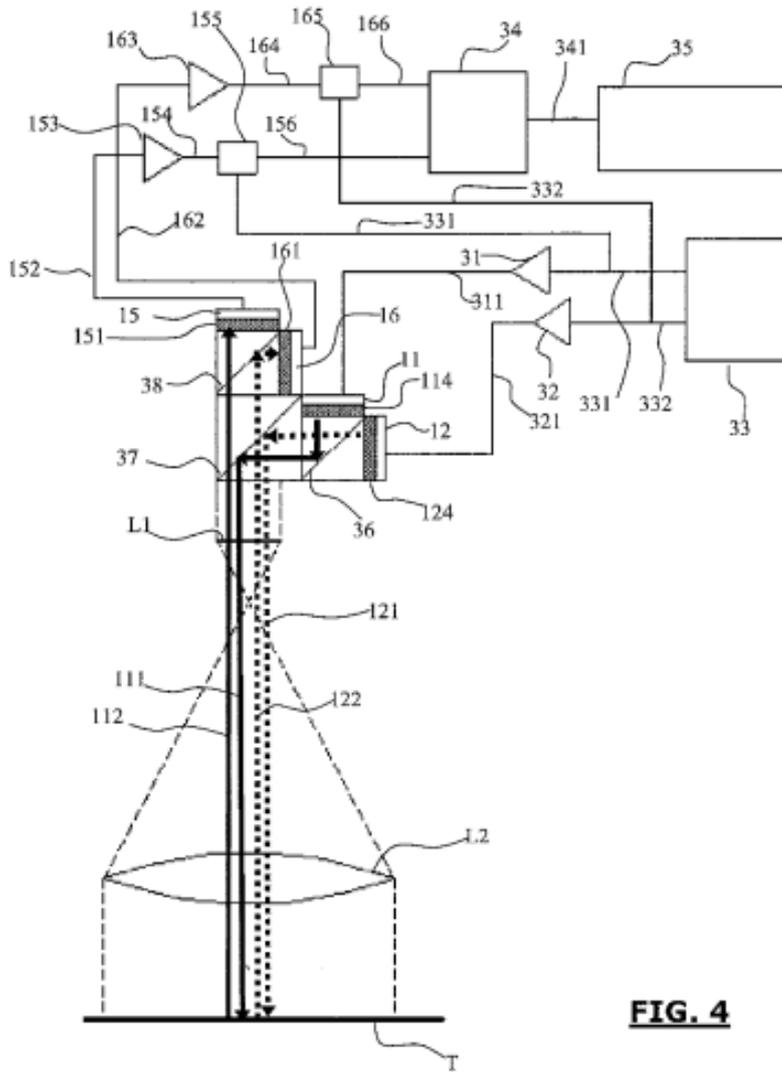


FIG. 4

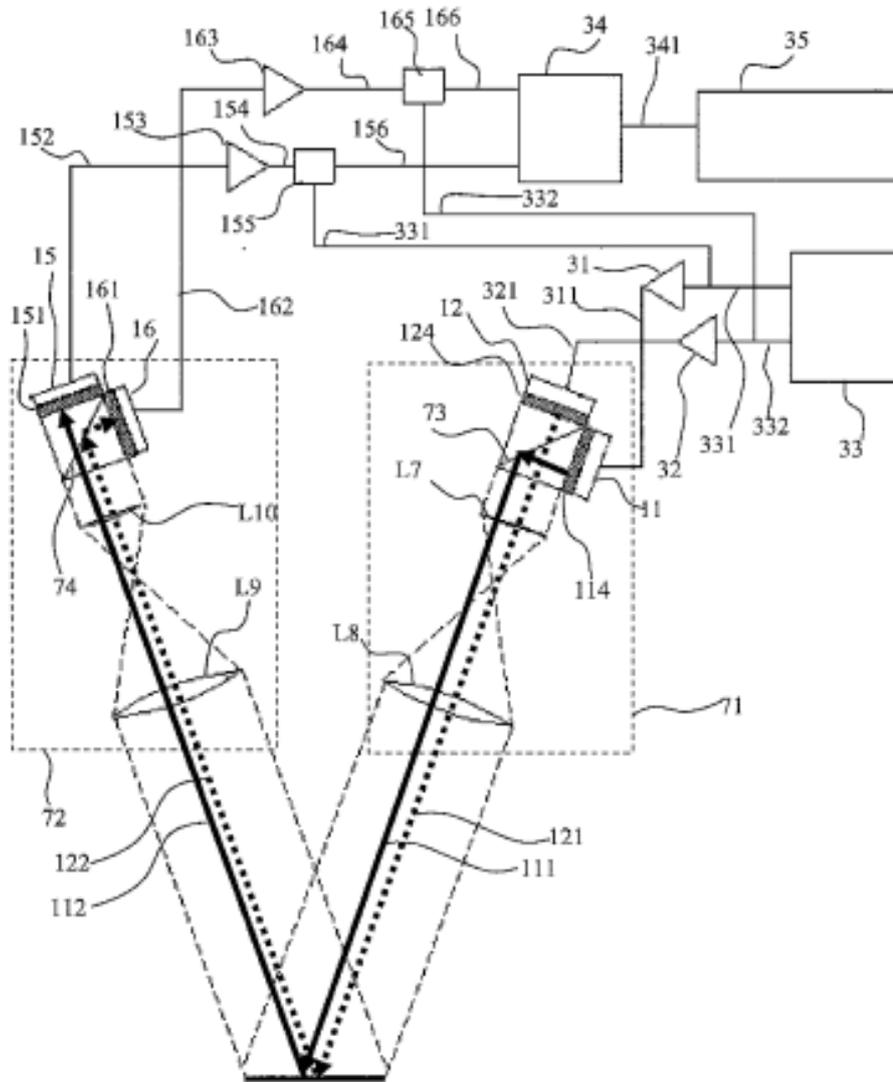


FIG. 7

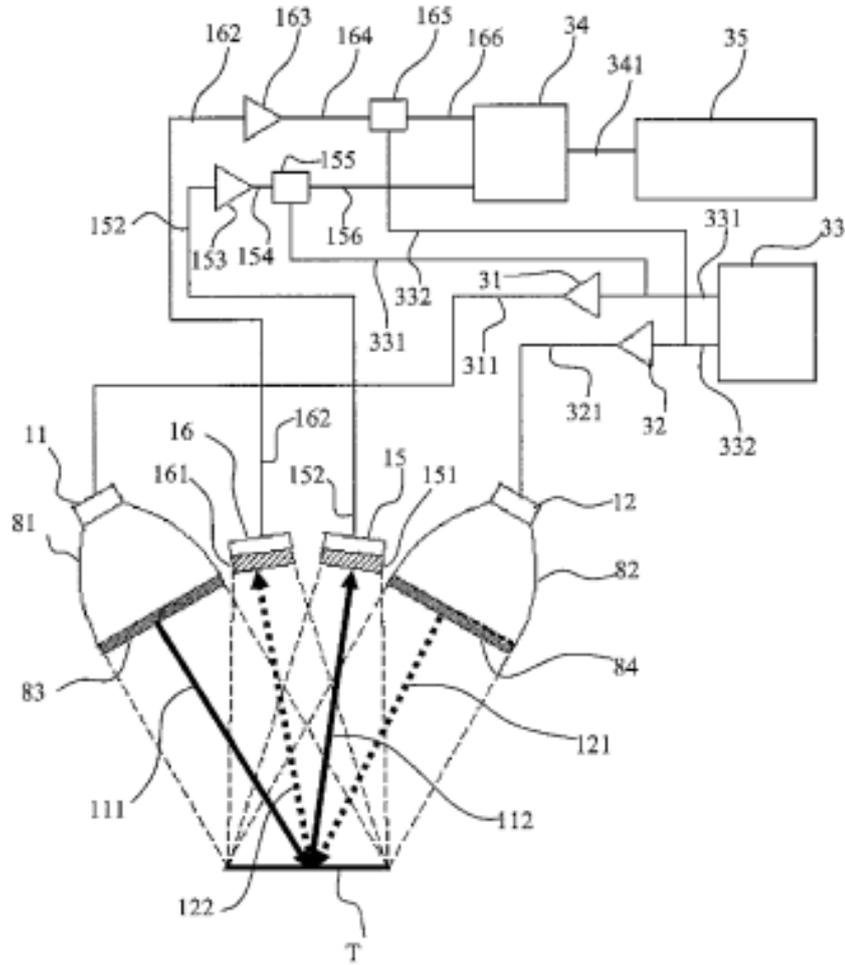


FIG. 8

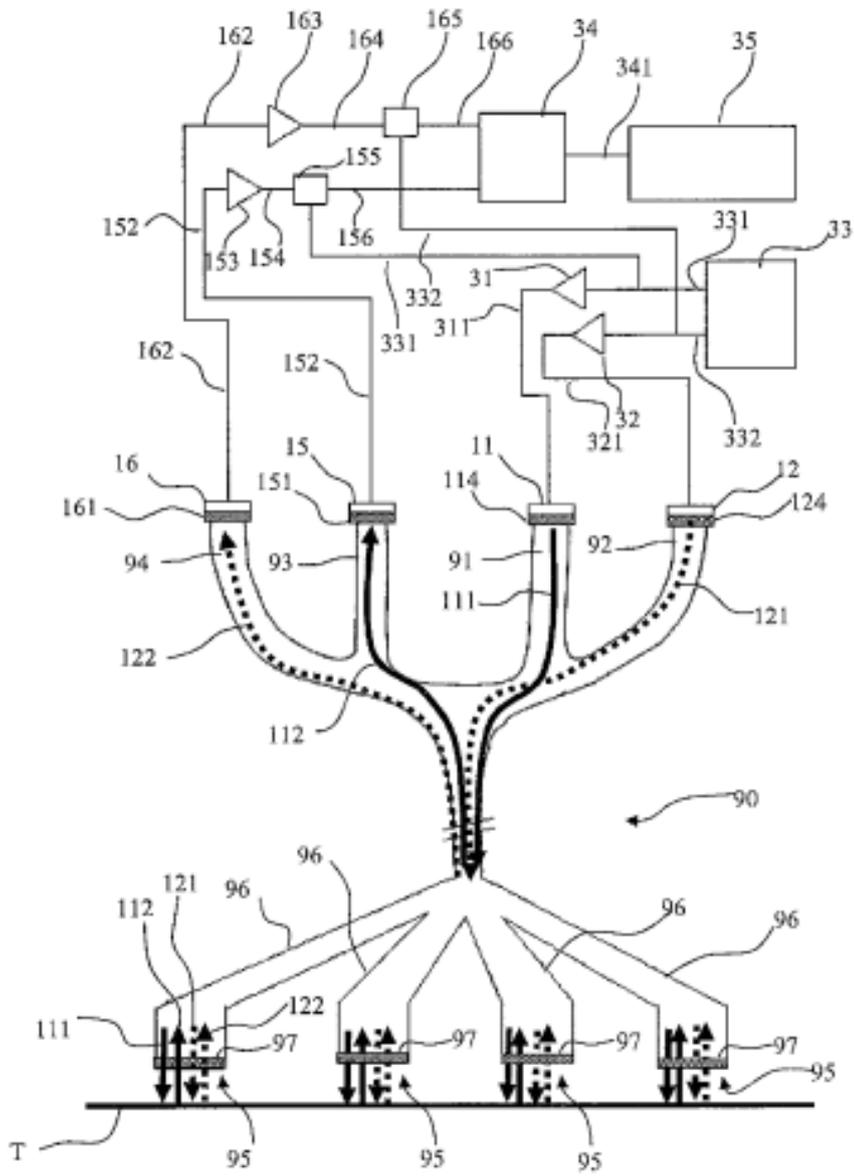


FIG. 9

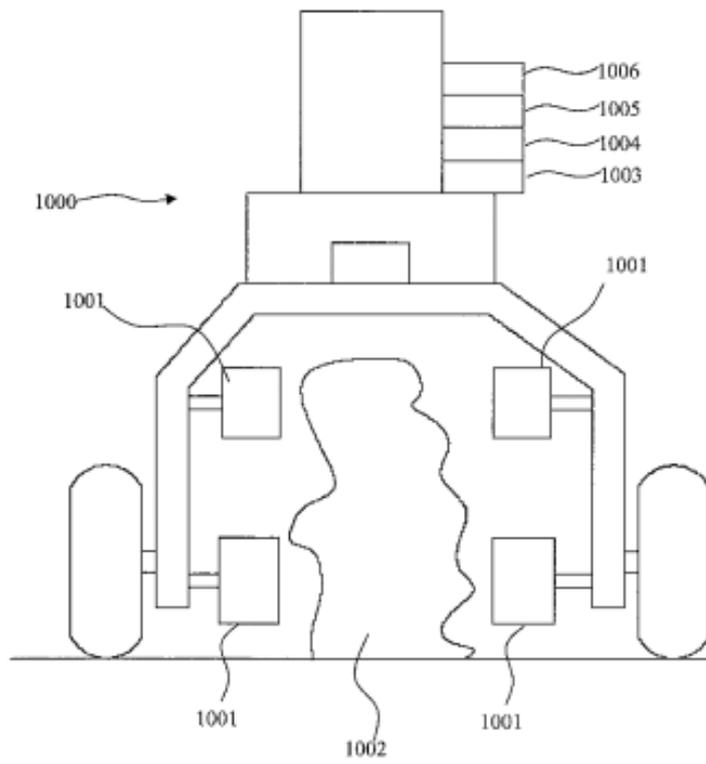


FIG. 10

$$Chl = \frac{FRF(VIS)}{RF(VIS)} ; Phen = \log \left[\frac{FRF(VIS)}{FRF(UV)} \right] ; \frac{Chl}{Phen} = \frac{FRF(UV)}{RF(VIS)}$$

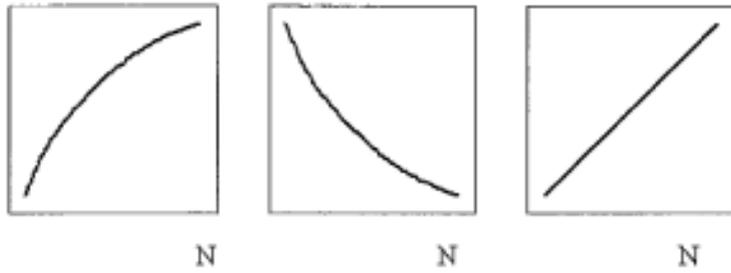


FIG. 11

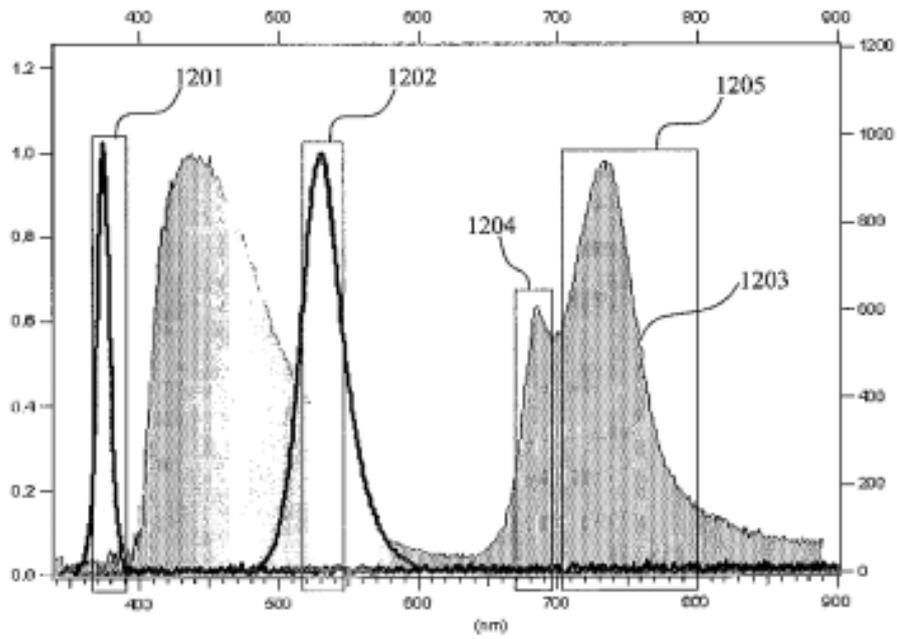


FIG. 12