

Actividad respiratoria de tallos de borraja (*Borago officinalis* L.) mínimamente procesados.

D. Naval, J. González-Buesa y M.L. Salvador

Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal, Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2-(Universidad de Zaragoza-CITA), Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza. E-mail: mlsalva@unizar.es (M.L. Salvador)

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar experimentalmente la actividad respiratoria, en sistema cerrado, de tallos de borraja mínimamente procesados utilizando un respirómetro portátil, de bajo coste, completamente configurable, flexible, basado en software de código abierto y diseñado por los autores. El dispositivo es modular de manera que los sensores están situados fuera de la cámara de respiración del producto, conectados por un circuito cerrado y permite la medida en continuo de la concentración de O₂ y de CO₂, así como de la presión diferencial. A partir de estas medidas se determinó la velocidad de respiración a 4 °C de los tallos de borraja en aire (20 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ y 22 mL O₂ kg⁻¹h⁻¹) y su evolución con la concentración de O₂. Los resultados indican que un envase que reduzca la concentración de O₂ por debajo del 14 % es suficiente para ralentizar la actividad metabólica de los tallos de borraja al 35-38 % del valor inicial en aire. La concordancia entre el coeficiente respiratorio y la presión diferencial ofrece la posibilidad de utilizar esta medida como indicativa de cambios metabólicos.

Palabras clave: Arduino, coeficiente respiratorio, microcontrolador, respirómetro, velocidad de respiración.

INTRODUCCIÓN

La borraja, por su alto valor nutricional (Alcusón, Remón y Salvador, 2017) y tiempo que requiere su preparación, es un vegetal adecuado para comercializarse como mínimamente procesado, necesitando un envasado en atmósfera modificada. Para diseñar adecuadamente el envase de este producto es clave conocer su actividad respiratoria. La metodología para su determinación está experimentando cambios muy importantes. Aunque el método de sistema cerrado sigue siendo el más utilizado, existe un amplio abanico de opciones para la monitorización de la composición gaseosa de la cámara de respiración mediante sensores electroquímicos infrarrojos, ultrasónicos u ópticos. Estos sensores requieren de un microcontrolador que permita canalizar y controlar y registrar la información que nos proporcionan (González-Buesa y Salvador, 2019). En este trabajo se utilizó un respirómetro diseñado por los autores para minimizar los inconvenientes de los existentes, y con él se determinó la actividad respiratoria de tallos de borraja mínimamente procesados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizó borraja (*Borago officinalis* L.) de flor blanca, cv Movera, cultivada en invernadero. Los tallos se cortaron en trozos de 5 cm mediante un cuchillo cerámico que se bañó en una disolución de ác. ascórbico al 2 % para reducir el pardeamiento enzimático. Se lavaron en agua fría a 4 °C con una disolución de hipoclorito sódico de 100 ppm durante 5 min, se aclararon y se centrifugaron manualmente. Los tallos (300 g) se introdujeron en la cámara de respiración para la medida de su actividad respiratoria a 4 °C. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Respirómetro

El sistema está formado por una cámara de respiración conectada al módulo donde están ubicados los sensores mediante un sistema cerrado. En la Fig. 1 se muestra un esquema general del dispositivo. La cámara de respiración se compone de un frasco de vidrio hermético. Mediante una bomba de diafragma (Gardner Denver Thomas GmbH, 2002VD / 0.5 / E / DC, Puchheim, Alemania) y un microcontrolador de motor (Arduino motor shield rev3, Arduino SRL, Strambino, Italia) se bombea el gas de la cámara hacia el módulo de los sensores, de donde retorna de nuevo a la cámara de respiración.

En el módulo de los sensores dispone de un sensor de CO₂ que utiliza una tecnología de ondas infrarrojas no dispersiva (NDIR) (ABC Engine Engine BLG, Senseair AB, Delsbo, Suecia). Para la medida de la concentración de O₂ cuenta con un sensor de extinción de fluorescencia LuminOx (Flujo UV 25 %, CO2meter Inc., Florida, EE.UU). La medida de la presión diferencial se realiza mediante un sensor de presión bidireccional (AMS 5915-0100-D-B, Analog Microelectronics GmbH, Mainz, Alemania). La presión barométrica se mide con un sensor AMS 5915-1200-B (Analog Microelectronics GmbH, Mainz, Alemania). Todos los sensores y dispositivos se alimentan y se controlan directamente a través de un Arduino UNO (Arduino SRL, Strambino, Italia).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previamente al cálculo de la tasa respiratoria, los valores de la concentración de CO₂ y de O₂ que suministran los sensores se corrigieron siguiendo las instrucciones de los fabricantes para tener en cuenta su dependencia con la presión. La velocidad de producción de CO₂, R_{CO_2} , y de consumo de O₂, R_{O_2} , se calcularon utilizando las siguientes expresiones (Fonseca, Oliveira y Brecht, 2002):

$$R_{CO_2} = \frac{1}{W} \frac{([CO_2]_{t_2} - [CO_2]_{t_1})}{t_2 - t_1} \frac{1}{100 \cdot V} \quad (1)$$

$$R_{O_2} = \frac{1}{W} \frac{([O_2]_{t_1} - [O_2]_{t_2})}{t_2 - t_1} \frac{1}{100 \cdot V} \quad (2)$$

donde, $[CO_2]_{t_2}$ y $[CO_2]_{t_1}$ son las concentraciones de dióxido de carbono (%) a los tiempos t_2 y t_1 (h), respectivamente; de forma análoga $[O_2]_{t_2}$ y $[O_2]_{t_1}$ las concentraciones de oxígeno (%) a esos mismos tiempos; W (kg) la masa de tallos de borraja y V (mL) el volumen libre de la cámara de respiración.

Las velocidades de respiración obtenidas como medias de las réplicas se muestran en la Fig. 2 en función de la concentración de O₂. En aire, la velocidad de respiración es de 20 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 22 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹. Estos valores son superiores a los de otros productos mínimamente procesados como judías verdes cortadas (15 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 5 °C), pero inferiores a los de la lechuga iceberg cortada (35 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 6 °C), (Deza-

Durand et al., 2011). Cuando la concentración de O₂ en el interior de la cámara de respiración se reduce, desde un 21 hasta un 14 %, se produce un rápido descenso de la velocidad de respiración hasta 7 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 8,5 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹.

El coeficiente respiratorio, RQ , se determinó como cociente entre la velocidad de producción de CO₂ y la de consumo de O₂. En la Fig. 3 se muestra su evolución y la de la presión diferencial. RQ es menor que 1 en prácticamente todo el intervalo de concentraciones de O₂. Este hecho es el responsable de que la presión diferencial tome valores negativos disminuyendo de forma lineal con la concentración de O₂. A concentraciones de oxígeno en torno al 1 %, RQ comienza a tomar valores mayores de 1 y simultáneamente la presión diferencial deja de disminuir, lo que podría indicar cambios metabólicos y la iniciación de rutas metabólicas.

CONCLUSIONES

Mediante un respirómetro novedoso, de bajo coste, modular, totalmente configurable, flexible y basado en software de código abierto, se ha determinado la actividad respiratoria de un producto poco estudiado como son los tallos borraja mínimamente procesados. Los resultados indican que velocidad de respiración de este producto se frena considerablemente a concentraciones de O₂ por debajo del 14 %. Los resultados muestran el potencial de la medida de la presión diferencial como indicador de cambios en el coeficiente respiratorio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Unión Europea a través del séptimo programa marco (FP7/2007-2013) (People Programme, Marie Curie Actions, REA grant agreement n° 332201).

REFERENCIAS

- Alcusón, G., Remón, S., Salvador, M.L. (2017). Quality related aspects of sous-vide processing of borage (*Borago officinalis* L.) stems. *LWT-Food Sci. Technol.* 85: 104-109.
- Deza-Durand, K.M., Petersen, M.A. (2011). The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.)". *Postharvest Biol. Technol.* 61: 83-90.
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R. and Brecht, J.K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *J. Food Eng.* 52: 99-119.
- González-Buesa, J. and Salvador, M.L. (2019). An Arduino-based low cost device for the measurement of the respiration rates of fruits and vegetables. *Comput. Electron. Agr.* 162: 14-20.

FIGURAS

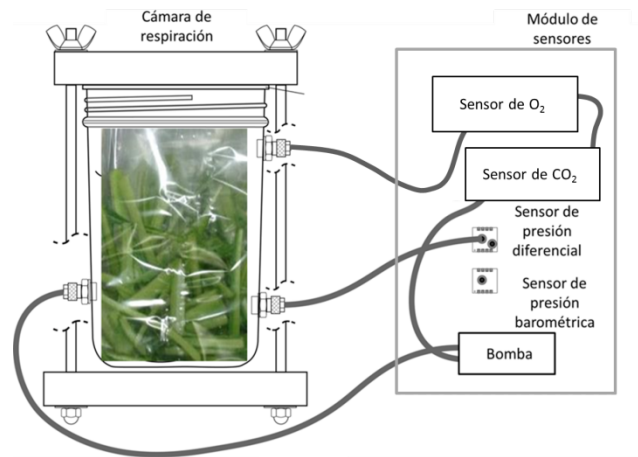


Fig. 1. Esquema del respirómetro.

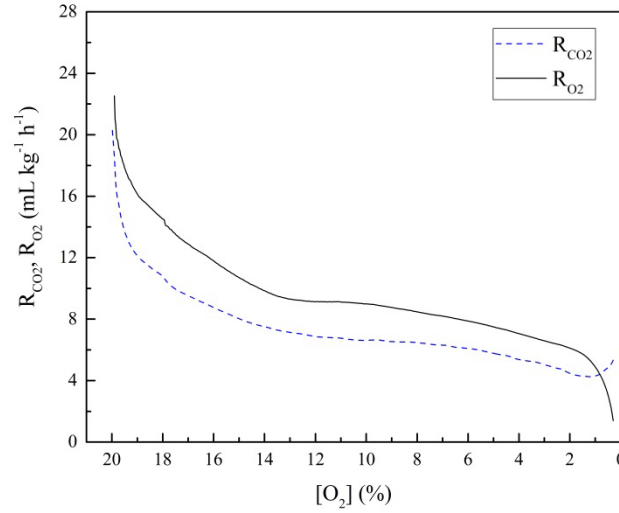


Fig. 2. Evolución de la velocidad de consumo de O₂, R_{O₂}, y de producción de CO₂, R_{CO₂}, con la concentración de oxígeno, [O₂].

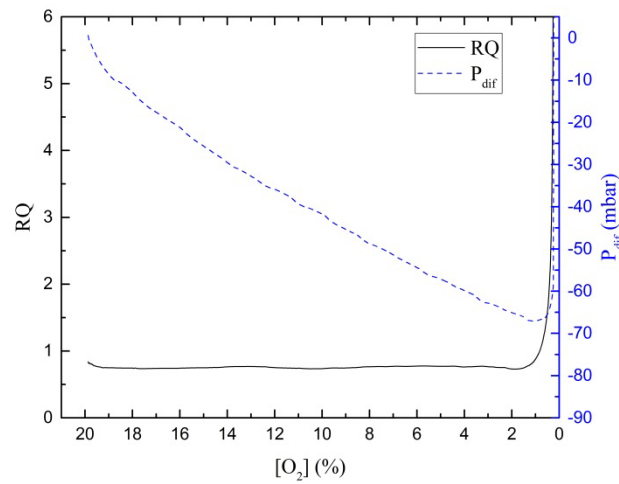


Fig. 3. Evolución del coeficiente respiratorio, RQ, y de la presión diferencial, P_{dif}, con la concentración de oxígeno, [O₂].