Agric. Sci. Innov. J. 55 : 2 (Suppl.) : 182 – 185 (2024) ว. วิทย. นวัต. กษ. 55 : 2 (พิเศษ) : 182 - 185 (2567)

อุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของผักและผลไม้แบบเรียลไทม์
Real-Time Respirometer Equipment for Fruits and Vegetables

พงษ์รวี นามวงศ์[1,2] ณัฐวุฒิ เนียมสอน[1,3] และ วิบูลย์ ช่างเรือ[1,3]
Pongrawee Namwong,[1,2] Nuttawut Neamsorn[1,3] and Viboon Changrue[1,3]

Abstract

A real-time respirometer equipment of agricultural products was developed for determine the respiration rate of agricultural products using the dynamic method. The equipment comprises a 1 2 V diaphragm pump, an acrylic product vessel, CO_2 sensors (K30-FR, CO_2meter, USA), a temperature data logger (TM-305U, Tenmars, Taiwan), and a personal computer. During measurement, air was pumped through the product vessel continuously at the flow rate of 100 l/h. The CO_2 concentration in the air was measured at the inlet and outlet of the vessel, and the personal computer recorded the received data. The change in CO_2 concentration was calculated to determine the respiration rate of the agricultural products. The experiment placed 180 grams of fresh strawberries in the vessel. The strawberries appeared greenish-red at the start and turned dark-red at the end of the experiment over a period of 5 days. The CO_2 concentration data was recorded every 10 seconds. The results showed that the respiration rate of the strawberries was 65.26 ml CO_2/kg·hr at 26.7 °C.

Keywords: respiration rate, respirometer, strawberry

บทคัดย่อ

อุปกรณ์วัดอัตราการหายใจถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการวัดอัตราการหายใจของผลผลิตเกษตรแบบพลวัต ชุดอุปกรณ์นี้ประกอบด้วย ปั๊มลมแบบไดอะแฟรมขนาด 12 โวลต์ ภาชนะบรรจุผลผลิตเกษตรทำด้วยอะคริลิกใส เซ็นเซอร์ตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ (K30-FR, CO2meter, USA) เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (TM-305U, Tenmars, Taiwan) และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ขณะตรวจวัดปั๊มลมจะส่งอากาศให้ไหลผ่านผลผลิตเกษตรอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 100 ลิตร/ชั่วโมง ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจะถูกวัดทั้งที่ทางเข้าและทางออกของภาชนะบรรจุผลผลิตเกษตรซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้ถูกบันทึกไว้ด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่เพิ่มขึ้นถูกนำไปคำนวณเป็นอัตราการหายใจของผลิตเกษตร จากการทดสอบวัดอัตราการหายใจระหว่างการเก็บรักษาตัวอย่างผลสตรอว์เบอร์รี่สดน้ำหนัก 180 กรัม จากลักษณะปรากฏภายนอกที่ผลมีสีเขียวอมแดงจนกระทั่งผลมีสีแดงเข้มทั้งผลรวมระยะเวลา 5 วัน โดยมีการเก็บข้อมูลการทดสอบทุกๆ 10 วินาที พบว่าค่าอัตราการหายใจที่วัดได้มีค่า 65.26 ml CO_2/kg.hr ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 26.7 °C และอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของผักและผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาแบบเรียลไทม์ได้

คำสำคัญ: อัตราการหายใจ อุปกรณ์วัดอัตราการหายใจ สตรอว์เบอร์รี

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,จังหวัดเชียงใหม่,50200
[1] Post-Harvest Technology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiangmai, 50200
[2] ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, จังหวัดเชียงใหม่, 50100
[2] Chiangmai Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Chiangmai, 50100
[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ,จังหวัดเชียงใหม่, 50200
[3] Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiangmai, 50200

คำนำ

ผลผลิตเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี โดยเฉพาะกระบวนการหายใจนั้นจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง มีการสลายโมเลกุลของสารอาหารและปล่อยก๊าซ CO_2 และน้ำจากกระบวนการหายใจ จากสมการการหายใจของวัสดุเกษตร (จริงแท้, 2541)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_20 \longrightarrow 6CO_2 + 12H_2O + Energy(1)$$

กล่าวได้ว่าอัตราหายใจของผลผลิตเกษตรเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาหรือระยะเวลาวางขายผลผลิตเกษตร โดยเฉพาะผักและผลไม้ซึ่งเป็นผลผลิตเกษตรที่เน่าเสียได้ง่าย ผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น การวัดอัตราการหายใจของผลผลิตเกษตรนั้น สามารถทำได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1.ระบบปิด (static) โดยวัสดุเกษตรจะถูกเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท โดยจะวัดอัตราการหายใจที่เกิดจากเกิดการสะสมของ ก๊าซ CO_2 หรือการสูญเสียก๊าซ O_2 ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง 2.ระบบพลวัต(dynamic) หรือระบบไหลผ่าน (flow-through) โดยวัสดุเกษตรจะเก็บไว้ในภาชนะที่มีอากาศไหลผ่านที่อัตราการไหลคงที่ อัตราการหายใจจะสามารถถูกคำนวณได้เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซที่ต้องการวัด (Yahia and Carrillo-Lopez, 2018) เหมาะสำหรับการวัดอัตราการหายใจแบบต่อเนื่อง (Salviet, 2003) โดยในปัจจุบันระบบวัดอัตราการหายใจยังไม่สามารถบอกถึงอัตราหายหายใจของผักและผลไม้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบวัดอัตราการหายใจที่สามารถวัดอัตราการหายใจได้ในระยะเวลาสั้น โดยใช้วิธีการตรวจวัดก๊าซ CO_2 ซึ่งจะสามารถช่วยให้นักวิจัย สามารถตรวจสอบและติดตามอัตราการหายใจของผักและผลไม้ภายในระยะเวลาอันสั้นได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการหายใจของผักและผลไม้โดยใช้การตรวจวัด CO_2 ที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ปั๊มลมแบบไดอะแฟรมขนาด 12 โวลต์ วาล์วควบคุมอัตราการไหล (LZB-3WB,qf-meter,China) ภาชนะบรรจุผลผลิตเกษตรทำด้วยอะคริลิกใส ปริมาตร 4 ลิตร เซ็นเซอร์ตรวจวัด CO_2 (K30-FR, CO2meter, USA) ความละเอียดการวัด 0-10,000 ppm จำนวน 2 ตัว ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัด CO_2 เพื่อทำการวัดปริมาณความเข้มข้นทั้งก่อนเข้าและทางออกของภาชนะบรรจุผลผลิตเกษตร เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (TM-305U, Tenmars, Taiwan) และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับบันทึกข้อมูล (Figure 1)

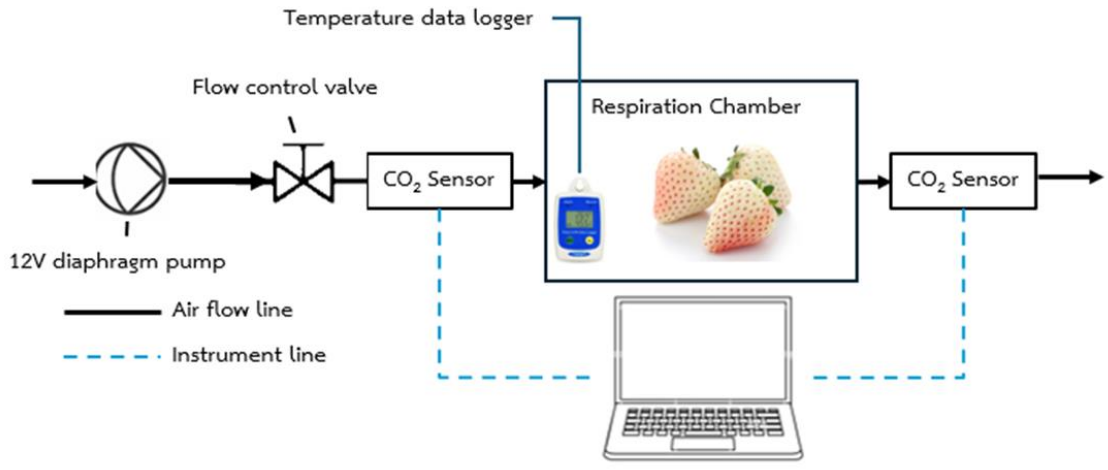

Figure 1 Respiration rate measure diagram for agricultural products.

การตรวจวัดอัตราการหายใจโดยการวัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในการทดลองนี้ เลือกใช้ระบบพลวัต (dynamic method) ซึ่งจะดูดอากาศจากภายนอก ไหลเข้าสู่ภาชนะบรรจุผลผลิตเกษตรและออกไปที่ท่อทางออก ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ (Lopez *et al*., 2020) มีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศขาเข้าโดย ปรับตั้งค่าอัตราการไหลที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิไว้ภายในภาชนะบรรจุผลผลิตเกษตร ในการทดสอบใช้สตรอว์เบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ตัวอย่างปริมาณ 180 กรัม จากลักษณะปรากฏภายนอกที่ผลมีสีเขียวอมแดงจนกระทั่งผลมีสีแดงเข้มทั้งผลรวมระยะเวลา 5 วัน (Figure 2) โดยมีการเก็บข้อมูลการทดสอบทุกๆ 10 วินาที

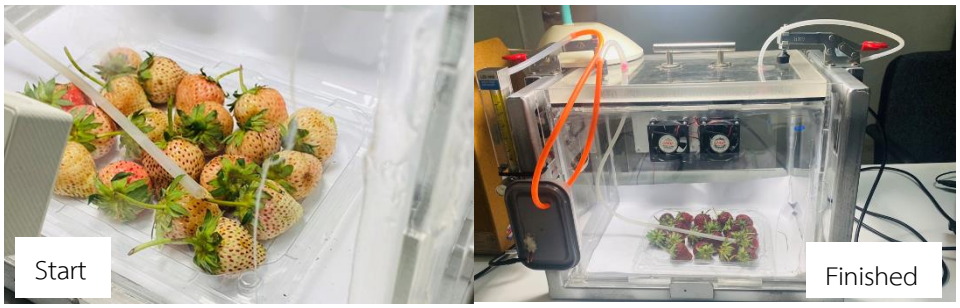

Figure 2 Respiration measurement experiment setup.

ผล

ระบบตรวจวัดอัตราการหายใจแบบพลวัต โดยใช้วิธีการวัดความเข้มข้นของ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นหลังจากอากาศไหลผ่านภาชนะบรรจุผลผลิตเกษตรที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที ค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของ CO_2 ขาออกจากภาชนะบรรจุเปรียบเทียบกับก่อนเข้าภาชนะบรรจุ และค่าอุณหภูมิในภาชนะบรรจุ แสดงใน Figure 3 ซึ่งเป็นไปตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจแบบพลวัต คือจะเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ระดับคงที่ พบว่ามีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 19.58 ppm ที่อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลอง 26.7 ℃

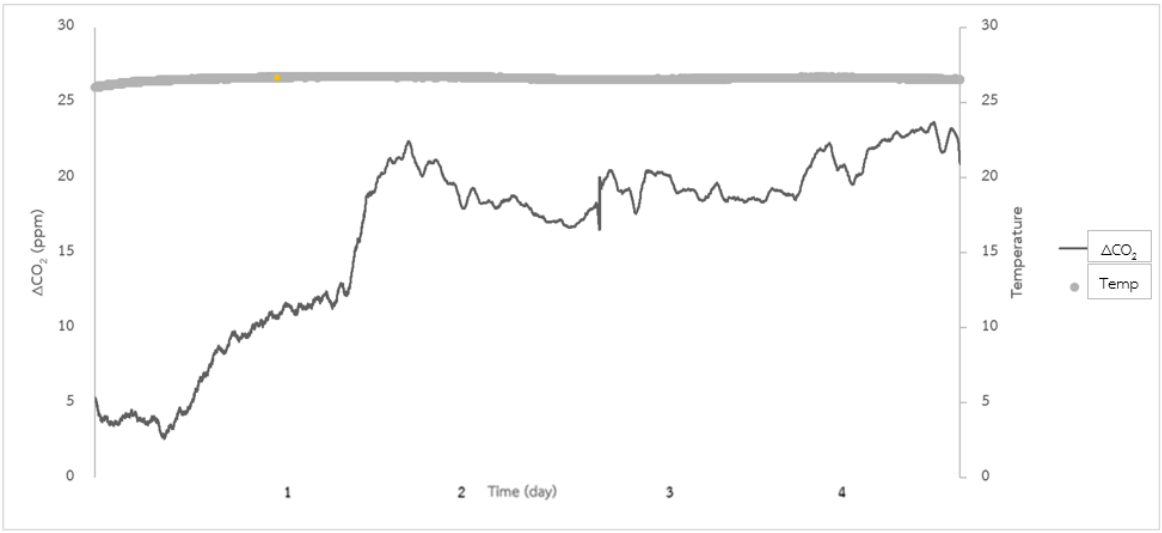

Figure 3 Difference of CO_2 and temperature during experiment.

โดยนำค่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของก๊าซ CO_2 ที่ตรวจวัดได้มาคำนวณอัตราการหายใจของสตรอว์เบอร์รี่ได้ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\text{The amount of } CO_2 \text{ produced per hour} = CO_2 \text{ increases (\%)} \times \text{Flow rate (ml/min)} \times 60 \text{ min/hr} \quad (2)$$

$$\text{Respiration rate} = \text{The amount of } CO_2 \text{ produced per hour/mass (kg)} \quad (3)$$

ซึ่งจะพบว่าอัตราการหายใจเฉลี่ยในช่วง 12 ชั่วโมงแรกได้เท่ากับ 13.33 ml CO_2/kg hr จากนั้นอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ผลสตรอว์เบอร์รี่เปลี่ยนสีเป็นสีแดงทั้งลูก อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เป็น 65.26 ml CO_2/kg hr และกลับลดลง เป็น 57.06 ml CO_2/kg จนในช่วงท้ายของการทดลองค่าอัตราการหายใจจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

วิจารณ์ผล

การพัฒนาอุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการหายใจของผักและผลไม้แบบพลวัตซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับการออกแบบอุปกรณ์ในการทดลองนี้ ขณะเริ่มทำการทดสอบ ในช่วง 12 ชั่วโมงแรก ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ยังมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจเนื่องจากผลสตรอว์เบอร์รี่ที่ยังมีสีขาวเป็นส่วนมากจะมีการหายใจที่ต่ำ (Abeles and Takeda, 1990) ทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่วัดออกมาแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากนั้นเมื่ออัตราหายใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงที่ผลสตรอว์เบอรรี่อยู่ในช่วงที่สุกเต็มที่ (ripeness stage) สังเกตได้จากการที่มีสีแดงทั้งผล จะมีอัตราการหายใจสูงที่สุด แต่หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดต่ำลง และค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งเป็นลักษณะอัตราการหายใจของผลไม้ที่เป็น non-climacteric fruit ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจของผลสตรอว์เบอร์รี่ในการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับกับการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ของ (Ingle, 1970) ในช่วงท้ายการทดลองซึ่งผลสตรอว์เบอร์รี่อยู่ในระยะที่เกินสุกไปแล้ว ผลมีสีแดงคล้ำและเริ่มเน่าเปื่อย จะมีความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากมีเชื้อราเกิดขึ้นที่ผล (Rojas-Flores *et al*., 2019) ค่าอัตราการหายใจของผลสตรอว์เบอร์รี่เฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 65.26 ml CO_2/kg hr ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลอัตราการหายใจของสตรอวเบอร์รี่ จากรายงานของนิพนธ์ (2554) ที่มีค่าอัตราการหายใจอยู่ระหว่าง 50-100 ml CO_2/kg hr

สรุป

อุปกรณ์วัดอัตราการหายใจแบบพลวัตมีความแม่นยำสูงและสามารถวัดอัตราการหายใจได้ โดยการอาศัยการตอบสนองที่แม่นยำของเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ผลการทดสอบเบื้องต้น โดยใช้สตรอว์เบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ตัวอย่าง ปริมาณ 180 กรัม จากลักษณะปรากฏภายนอกที่ผลมีสีขาวอมแดงจนกระทั่งผลมีสีแดงคล้ำทั้งผล รวมระยะเวลา 5 วัน สามารถวัดอัตราการหายใจของผลสตรอว์เบอร์รี่ได้ที่ 65.26 ml CO_2/kg hr ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 26.7 °C โดยระบบการวัดนี้สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจของผักและผลไม้ได้ภายในระยะเวลาอันสั้น สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นต้นแบบระบบการวัดอัตราการหายใจและหาค่าอัตราส่วนของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจต่อปริมาณของก๊าซ O_2 ที่ใช้ (respiration quotient) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวิจัยและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตเกษตร

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396 น.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2554. สตรอว์เบอร์รี่. [ระบบออนไลน์]. แหล่งข้อมูล https://vegetweb.com/wp-content/download/strawberry.pdf (18 มิถุนายน 2567).

Abeles, F. B. and F. Takeda. 1990. Cellulase activity and ethylene in ripening strawberry and apple fruits. Scientia Horticulturae 42(4): 269-275.

Ingle, L. M. 1970. Studies on the post-harvest physiology and handling of strawberries. West Virginia Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletins. 596 p.

López, A.P., Martha, M.E.R. Guzman, T. Espinosa-Soares, E. Aguirre-Mandujano, Carlos and C.A.V. Perea. 2020. Postharvest respiration of fruits and environmental factors interaction: An approach by dynamic regression models. Scientia Agropecuaria 11(1): 23 – 29.

Rojas-Flores, C., R. I. Ventura-Aguilar, S. Bautista-Baños, S. Revah and J. O. Saucedo-Lucero. 2019. Estimating CO_2 and VOCs production of *Colletotrichum fragariae* and *Rhizopus stolonifer* grown in cold stored strawberry fruit. Microbiological research 228: 126327.

Saltviet, M.E. 2003. Measuring respiration. Environmental Science, Biology, Agricultural and Food Sciences. University of California, Davis. [Online]. Available Source: https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-20.pdf. (31 October 2567).

Yahia, E. M. and A. Carrillo-Lopez. 2018. Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables, Elsevier Science. 477 p.