

XÂY DỰNG MÔ HÌNH DỰ ĐOÁN NỒNG ĐỘ KHÍ O₂ VÀ CO₂ TRONG MÔI TRƯỜNG KHÍ CẢI BIẾN TRÊN CƠ SỞ NGUYÊN LÝ ĐỘNG HỌC ENZIM

HỒ HỮU PHÙNG, NGUYỄN VIỆT DŨNG - Viện KH & CN Nhiệt - Lạnh, Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài: 02/5/2020

Ngày nhận bài được sửa theo ý kiến phản biện: 10/5/2020

Ngày bài được duyệt đăng: 21/5/2020

Tóm tắt: Trên cơ sở áp dụng nguyên lý động học enzyme với 4 dạng mô hình cường độ hô hấp kiểu kim hãm và phương pháp thí nghiệm trong hệ kín, đã phát triển thành công mô hình dự đoán nồng độ không khí bên trong bao gói khí cải biến (MAP). Mô hình dự đoán nồng độ khí trong bao gói được kiểm chứng bằng thí nghiệm với các loại bao gói LDPE, PEMP SX, OTR cho bảo quản quả đu đủ Hưng Yên và quả xoài Mộc Châu. Kết quả tính toán dựa trên mô hình dự đoán cho kết quả phù hợp với các thử nghiệm kiểm chứng.

Keywords: respiration model, predicting, MAP, enzyme kinetic, Michaelis - Menten

KÝ HIỆU

MM : Mô hình Michaelis-Menten;
MMC : Mô hình kiểu competitive;
MMU : Mô hình kiểu noncompetitive;
MMN : Mô hình kiểu noncompetitive;
MMNC: Mô hình kiểu combination;
[CO₂] : Nồng độ CO₂ trong bình kín (%);
[O₂] : Nồng độ O₂ trong bình kín (%);
K_{mCO₂} : Hằng số MM - CO₂ phát thải;
K_{mO₂} : Hằng số MM - O₂ tiêu thụ;
K_{mc} : Hằng số kim hãm theo mô hình MMC;
K_{mu} : Hằng số kim hãm theo mô hình MMU;
K_{mn} : Hằng số kim hãm theo mô hình MMN;
L : Độ dày màng bao gói (μm);
P_{CO₂} : Độ thấm khí CO₂ (ml.μm.m⁻².h⁻¹.atm⁻¹);
P_{O₂} : Độ thấm khí O₂ (ml.μm.m⁻².h⁻¹.atm⁻¹);
P_{atm} : Áp suất khí quyển (atm);
R : Hằng số chất khí (8.314 J.mol⁻¹.K⁻¹);
R_{O₂} : Cường độ hô hấp theo O₂ (ml.kg⁻¹.h⁻¹);
R_{CO₂} : Cường độ hô hấp theo CO₂ (ml.kg⁻¹.h⁻¹);
T : Nhiệt độ bảo quản (°C);
t : Thời gian (h);
V : Thể tích tự do của bao gói (ml);
V_{mO₂} : Cường độ hô hấp cực đại theo O₂ (ml.kg⁻¹.h⁻¹);
V_{mCO₂} : Cường độ hô hấp cực đại theo CO₂ (ml.kg⁻¹.h⁻¹);
W_S : Khối lượng mẫu (kg).

Sandhya 2010; Caleb và cộng sự. 2012a, c). Các ứng dụng thành công của MAP trong rau quả tươi đã được báo cáo rộng rãi trong tài liệu (Farber et al. 2003; Sandhya 2010) [1].

Tuy nhiên để đảm bảo áp dụng công nghệ MAP một cách có hiệu quả, cần thiết phải xây dựng mô hình cường độ hô hấp (RR) cho quả vải trong môi trường MAP như hàm số phụ thuộc vào nồng độ khí O₂, CO₂ và nhiệt độ [2]. Nồng độ O₂ quá thấp, dưới 1% có thể dẫn đến hô hấp yếm khí dẫn đến suy giảm mô cũng như tạo ra mùi và vị như cái nghiên cứu của Lee et al. 1995; Austin et al. 1998; Ares et al. 2007. Trong khi đó, ảnh hưởng của CO₂ đến cường độ hô hấp chưa được làm rõ vì có nhiều lý thuyết khác nhau về vấn đề này, như Fonseca cho rằng CO₂ là sản phẩm của quá trình hô hấp sẽ gây ức chế phản hồi; hay CO₂ tăng cao có thể ảnh hưởng đến các enzyme và chất trung gian của chu trình Krebs, trong khi một ý kiến khác cho rằng CO₂ có thể ức chế sản xuất ethylene thay vì ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình hô hấp theo nghiên cứu của Mathooko [1].

Hiện nay, việc phát triển các mô hình dự đoán nồng độ khí O₂ và CO₂ vẫn còn nhiều hạn chế, đó là các thử nghiệm cho sai số lớn và tốn thời gian để xác định tốc độ hô hấp cho thiết kế MAP, cũng như tính chất phức tạp của quy trình thí nghiệm. Do đó, cường độ hô hấp đôi khi được xem là không đổi trong mô hình MAP trong các nghiên cứu của Emond và cộng sự (1991); Fonseca và cộng sự (1999). Tuy nhiên, cách tiếp cận này chỉ có thể được chấp nhận như một mô hình đơn giản hóa, vì trên thực tế, MAP dựa vào khả năng kiểm soát tốc độ hô hấp bằng cách thay đổi thành phần khí quyển. Sự phát triển của các kỹ thuật và thiết bị phân tích chính xác hơn cũng như sự tinh vi của các công cụ tính

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ bảo quản tươi điều biến khí quyển (MAP) phụ thuộc vào sự biến đổi khí quyển bên trong bao bì, đạt được nhờ sự tương tác tự nhiên giữa hai quá trình, hô hấp của sản phẩm và chuyển khí qua bao bì, dẫn đến không khí trong bao bì giàu CO₂ hơn và nghèo O₂ hơn. Không khí này có khả năng làm giảm cường độ hô hấp, độ nhạy ethylene và các quá trình sản xuất, phân rã và thay đổi sinh lý của rau quả tươi, cụ thể là quá trình oxy hóa. Một thiết kế MAP hiệu quả phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như khối lượng sản phẩm, nhiệt độ và đặc tính của vật liệu bao gói (ví dụ: độ dày màng, độ thấm, số lượng đục lỗ và diện tích bề mặt; Charles và cộng sự. 2003;

toán để phù hợp với dữ liệu và tích hợp số, đã dẫn đến vài thập kỷ qua các nghiên cứu khác nhau về xác định mô hình hô hấp dự đoán [3].

Hầu hết các mô hình hô hấp đã được định hướng theo hàm của một hoặc hai trong ba biến của thời gian, nhiệt độ và thành phần khí. Các phương trình loại Michael-Menten dựa trên hiệu ứng ức chế CO₂ (Lee et al. 1991; Peppelenbos và Leven 1996; Del Nobile et al. 2006; Rocculi et al. 2006; 2008) và các phương trình kiểu Arrhenius, mô tả cường độ hô hấp là hàm của nhiệt độ (Jacxsens và cộng sự 2000; Kaur và cộng sự 2010; Uchino et al. 2004; Torrieri et al. 2010), đã được báo cáo rộng rãi về cường độ hô hấp của rau quả tươi như là một hàm của cả nhiệt độ và thành phần khí. Một hạn chế lớn của mô hình hô hấp là thiếu thông tin dữ liệu hô hấp. Thông thường, dữ liệu có sẵn dựa trên mức tiêu thụ O₂ hoặc tốc độ phát thải CO₂, dựa trên giả định rằng hệ số hô hấp (RQ) = 1. Nhược điểm của điều này là nếu RQ > 1, mô hình đánh giá kém chính xác lượng CO₂ phát thải và nếu RQ < 1, dự đoán sẽ đánh giá thấp tương tự (Fonseca et al. 2002).

Ở nước ta phương pháp bảo quản rau quả trong MAP nói chung và cho quả vải nói riêng, mới được nghiên cứu từ đầu những năm 2000 trên cơ sở thực nghiệm. Diễn hình như nghiên cứu cường độ hô hấp, xác định khí điều chỉnh (CA) và đo độ thấm khí màng bao gói [4]; nghiên cứu, chế tạo màng bao gói MAP của Đinh Văn Thành (2010), Trần Thị Thu Hà (2012); xây dựng mô hình cường độ hô hấp theo phương trình Michaelis-Menten và theo Arrhenius [2], [5], [6]. Tất cả các mô hình đều mới chỉ xây dựng đến bước tính toán cường độ hô hấp và kiểm chứng, tuy nhiên, hạn chế của các nghiên cứu trên là không kiểm soát được nồng độ khí trong bao gói MAP gần với nồng độ khí tối ưu của quả (được xác định bằng các thí nghiệm CA).

Nội dung chính của bài báo này là xây dựng mô hình dự đoán nồng độ khí trong bao gói dựa trên phương trình Michaelis-Menten có tính đến các yếu tố kim hãm hô hấp. Dựa trên các thông số nồng độ khí dự đoán từ mô hình và so sánh với nồng độ khí tối ưu của loại quả tương ứng, sẽ cho phép đánh giá loại bao gói phù hợp nhất hiện có sẵn trên thị trường Việt Nam.

II. MÔ HÌNH HÔ HẤP

Mô hình toán học của quá trình hô hấp-bay hơi trong bao gói MAP được xây dựng trên cơ sở hệ phương trình vi phân của dòng khí cân bằng giữa trong và ngoài bao gói, mô hình hô hấp, phương trình sai phân hữu hạn của lượng hơi nước ngưng tụ trong bao gói. Hệ phương trình vi phân của dòng khí trao đổi giữa môi trường MAP và không khí bên ngoài được biểu diễn như sau [7]:

$$\frac{d[O_2]}{d\tau} = \frac{100}{V} \cdot \left\{ \frac{A_p \cdot P_{O_2} \cdot P_{atm}}{L} \cdot \left(\frac{[O_2]_o - [O_2]_i}{100} \right) - W_s \cdot R_{O_2} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{d[CO_2]}{d\tau} = \frac{100}{V} \cdot \left\{ \frac{A_p \cdot P_{CO_2} \cdot P_{atm}}{L} \cdot \left(\frac{[CO_2]_o - [CO_2]_i}{100} \right) + W_s \cdot R_{CO_2} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{d[N_2]}{d\tau} = \frac{100}{V} \cdot \left\{ \frac{A_p \cdot P_{N_2} \cdot P_{atm}}{L} \cdot \left(\frac{[N_2]_o - [N_2]_i}{100} \right) \right\} \quad (3)$$

$$\frac{d[Ar]}{d\tau} = \frac{100}{V} \cdot \left\{ \frac{A_p \cdot P_{Ar} \cdot P_{atm}}{L} \cdot \left(\frac{[Ar]_o - [Ar]_i}{100} \right) \right\} \quad (4)$$

Trong các phương trình (1-4) áp suất khí quyển được coi là không đổi $P_{atm} = \text{const}$, thể tích V, khối lượng khí trong bao gói MAP, nồng độ thể tích của các khí trong bao gói là các biến theo thời gian. Ngoài ra tại thời điểm ban đầu ($t = 0$), hỗn hợp không khí trong bao gói có nồng độ $[O_2]_i = 20,9$ và $[CO_2]_i = 0,03$ và bằng giá trị nồng độ của lớp không khí bên ngoài bao gói $[O_2]_o = 20,9$ và $[CO_2]_o = 0,03$ tại mọi thời điểm.

Đối với một số loại quả tươi, cả nồng độ O₂ và CO₂ đều có tác động kim hãm phản ứng hô hấp, ảnh hưởng đến chất lượng và thời gian sống của rau quả tươi. Chang (1991) đã đề xuất ba kiểu kim hãm tốc độ phản ứng của enzyme, phân biệt như sau: Kiểu kim hãm cạnh tranh (competitive inhibition), kiểu kim hãm phi cạnh tranh (uncompetitive inhibition) và kiểu kim hãm không hoàn toàn cạnh tranh (non-competitive inhibition).

Dựa trên ba kiểu kim hãm tốc độ phản ứng ở trên, Peppelenbos và Leven (1996) đã đưa ra bốn kiểu mô hình kim hãm hô hấp của rau quả tươi như sau: MMC, MMU, MMN và MMNC lần lượt theo các phương trình từ (1) đến (4) như sau [2]:

$$R_{O_2} = \frac{V_{mO_2} \times [O_2]}{[O_2] + K_{mO_2} \times \left(1 + \frac{[CO_2]}{K_{mCO_2}} \right)} \quad (5)$$

$$R_{O_2} = \frac{V_{mO_2} \times [O_2]}{K_{mO_2} + [O_2] \times \left(1 + \frac{[CO_2]}{K_{muO_2}} \right)} \quad (6)$$

$$R_{O_2} = \frac{V_{mO_2} \times [O_2]}{(K_{mO_2} + [O_2]) \times \left(1 + \frac{[CO_2]}{K_{mnO_2}} \right)} \quad (7)$$

$$R_{O_2} = \frac{V_{mO_2} \times [O_2]}{K_{mO_2} \left(1 + \frac{[CO_2]}{K_{mCO_2}} \right) + [O_2] \times \left(1 + \frac{[CO_2]}{K_{muO_2}} \right)} \quad (8)$$

Kết hợp các phương trình (1-4) và các mô hình cường độ hô hấp nhận dạng từ (3-6), ta có hệ phương trình vi phân phi tuyến hoàn chỉnh phục vụ cho việc dự đoán nồng độ khí O₂, CO₂, N₂, Ar trong bao gói. Đây là dạng bài toán Cosi, có thể giải bằng phương pháp số Runge Kutta với

sai số bậc 4, kết hợp với thuật toán “dự đoán-hiệu chỉnh” để tăng tính hội tụ của lời giải.

Để giải quyết các phương trình toán học trên, tác giả đã sử dụng phần mềm Matlab để tính toán và mô phỏng. Chương trình này đã mô phỏng tức thời nồng độ khí bên trong mô hình bao gói chứa xoài và đu đủ dưới các điều kiện bảo quản khác nhau. Các kết quả sẽ được kiểm chứng bằng một số loại bao bì có sẵn trên thị trường Việt Nam.

III. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

3.1. Vật liệu và thiết bị thí nghiệm

1. Đu đủ (*Carica papaya*) trồng tại Hưng Yên với nhiệt độ bảo quản 11°C.



Hình 1: Mẫu thí nghiệm đu đủ Hưng Yên

2. Xoài (*Mangifera indica*): Xoài Mộc Châu trồng tại Mộc Châu, Sơn La với nhiệt độ bảo quản 11°C và 27°C.



Hình 2: Mẫu thí nghiệm xoài Mộc Châu

Thí nghiệm được tiến hành với xoài, đu đủ tươi chưa xử lý hóa chất, thời gian từ khi thu hoạch đến khi thí nghiệm < 24 h trong hệ kín. Các mẫu thí nghiệm được thí nghiệm ở độ chín 2 khi quả bắt đầu có vết vàng vỏ quả [4].

Quả được xử lý trước khi tiến hành bảo quản: Loại bỏ quả không đúng độ chín, dập nát, xây xước, sâu thối do bệnh lí, sinh lí. Chọn quả đồng đều nhau cho từng lô thí nghiệm. Làm sạch các tạp chất cơ học bám trên bề mặt quả, cắt cuống còn lại 1 cm. Để tối thiểu 12 h, tối đa 24 h ở nơi thoáng mát mới đem thí nghiệm.

Phương pháp đo cường độ hô hấp là đo trong hệ kín. Để đảm bảo độ tin cậy kết quả đo, các thí nghiệm được lặp lại 3 lần, kết quả đo được quy hoạch bằng phương pháp kế hoạch hóa tập trung hợp thành trực giao.

Hệ thống thí nghiệm được thiết kế để thực hiện đo cường độ hô hấp của rau quả tươi trong hệ kín

và thí nghiệm đo cường độ hô hấp rau quả tươi trong bao gói:

- Máy phân tích khí: GS6600
- Bộ đo nhiệt độ, độ ẩm: HIOKI 2300 Series
- Tủ lạnh thí nghiệm: FOC225E
- Các dụng cụ thí nghiệm: bình chứa thủy tinh, bình chứa nhựa, bình đông thể tích, các mẫu màng bao gói, cân tiểu li điện tử.

3.2. Phương pháp thí nghiệm

Các bước tiến hành xác định: Cân mẫu nguyên liệu (W); xác định thể tích không khí tự do (V) bằng nguyên tắc đổ nước chảy tràn; các giá trị đo ban đầu và cuối được hiển thị trực tiếp trên màn hình máy GS6600 (O₂, CO₂), nguyên liệu được đo trong vòng 24h, sau 2h đo 1 lần.

Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả đo, các thí nghiệm được lặp lại 3 lần, kết quả đo được quy hoạch bằng phương pháp kế hoạch hóa tập trung hợp thành trực giao. Quy trình xử lý số liệu thí nghiệm để xác định cường độ hô hấp được thực hiện theo [2].

3.3. Lựa chọn màng bao gói

Khi nồng độ khí trong bao gói đạt trạng thái cân bằng:

$$\frac{d[O_2]_i}{dt} = 0; \quad \frac{d[CO_2]_i}{dt} = 0$$

Theo phương trình (1) và (2), ta có:

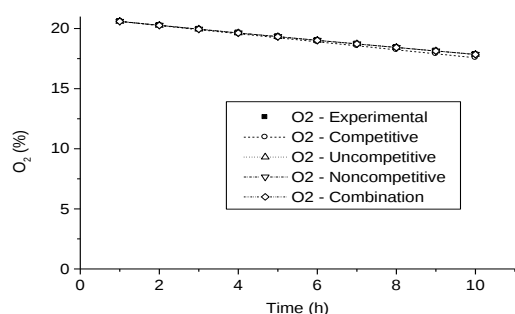
$$\begin{cases} \frac{A_p \cdot P_{O_2} \cdot P_{atm}}{L} \left[\frac{[O_2]_0}{100} - \frac{[O_2]_i}{100} \right] = W_s \cdot R_{O_2} \\ \frac{A_p \cdot P_{CO_2} \cdot P_{atm}}{L} \left[\frac{[CO_2]_0}{100} - \frac{[CO_2]_i}{100} \right] = W_s \cdot R_{CO_2} \end{cases} \quad (9)$$

Để xác định được màng bao gói (loại màng, độ dày và diện tích bề mặt), khi đã biết cường độ hô hấp, khối lượng, nhiệt độ bảo quản và nồng độ khí tối ưu ở trạng thái cân bằng, nhằm bảo quản một loại quả theo phương pháp MAP, tiến hành giải hệ phương trình (9). Trong thực tế sản xuất, diện tích bao gói thường là tham số đã có đối với một đơn vị khối lượng quả, giải bài toán tìm màng bao gói thực chất là tìm mối quan hệ (P_{O₂}, P_{CO₂}, L) sao cho nồng độ trong bao gói đạt tối ưu [8].

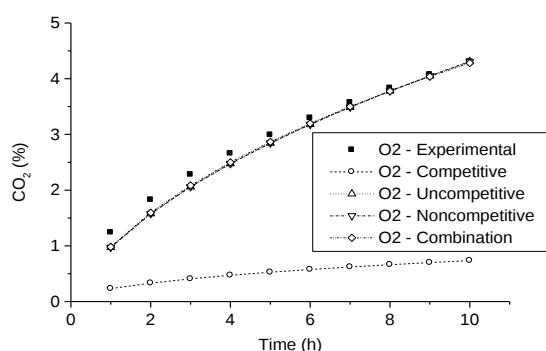
Lựa chọn đu đủ Hưng Yên ở nhiệt độ 11°C và xoài Mộc Châu bảo quản ở nhiệt độ 11°C và 27°C làm đối tượng để dự đoán các thông số trong bao gói MAP. Chọn khối lượng quả cần bao gói là 2kg/gói theo đề xuất [4].

Bảng 1: Thông số màng bao gói

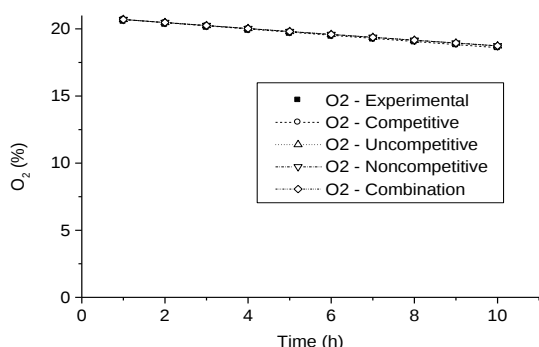
Đối tượng	Màng bao gói	Nhiệt độ	Diện tích	Độ dày	Độ thấm khí (ml.m ⁻² .h ⁻¹ .atm ⁻¹)	
		°C	m ²	μm	P _{O₂}	P _{CO₂}
Đu đủ	LDPE	11.2	0.14	30	748	2307
Xoài	PEmpSX	11	0.14	30	1198	2195
Xoài	OTR	27	0.12	30	2879	3618



Hình 3: Kiểm chứng nồng độ O₂ đối với đu đủ



Hình 4: Kiểm chứng nồng độ CO₂ đối với đu đủ



Hình 5: Kiểm chứng nồng độ O₂ đối với xoài

Kết hợp với các bộ tham số của mô hình cường độ hô hấp (5)–(8) và nồng độ khí tối ưu trong bảng 1 của xoài và đu đủ, và hệ số thẩm khí của màng bao gói [9], có các thông số như sau:

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Xác định mô hình hô hấp

Nồng độ O₂ và CO₂ theo thời gian, khối lượng quả, thể tích không khí tự do trong hệ kín được xác định theo các thí nghiệm ở nhiệt độ 11°C. Các giá trị này được sử dụng nhận dạng mô hình hô hấp theo 4 phương trình (3–6). Bộ phần mềm lập trình trên nền chương trình Matlab đã được thiết lập để nhận dạng các tham số mô hình hô hấp, kết quả tính toán được thể hiện trong bảng 2 và bảng 3.

Nhận xét:

Độ chính xác của các mô hình gần như tương đương nhau, trong đó mô hình MMNC cho độ chính xác cao nhất.

Sai số tương đối của các mô hình (2÷5) đối với cường độ hô hấp tính theo O₂ thường < 1%. Sai số cường độ hô hấp tính theo CO₂ tương đối lớn ở giai đoạn đầu (10÷15%) là do hạn chế hạn chế về độ nhạy của thiết bị đo.

Để đánh giá mô hình hô hấp phù hợp, ta cần phải kiểm chứng mô hình trong điều kiện thí nghiệm.

Bảng 2: Tham số mô hình hô hấp của đu đủ ở 10°C

Mô hình		V _m	K _m	K _{mc}	K _{mu}	K _{mn}
MMC	O ₂	25.81	1.97	2.18	-	-
	CO ₂	100.0	0.04	0.02	-	-
MMU	O ₂	47.26	21.52	-	18.79	-
	CO ₂	99.80	0.01	-	0.89	-
MMN	O ₂	45.80	20.33	-	-	41.39
	CO ₂	99.99	0.01	-	-	0.89
MMNC	O ₂	24.94	0.95	2.30	33.95	-
	CO ₂	100.0	0.42	0.02	40.29	-

Bảng 3: Tham số mô hình hô hấp của xoài ở 10°C

Mô hình		V _m	K _m	K _{mc}	K _{mu}	K _{mn}
MMC	O ₂	18.90	5.07	8.11	-	-
	CO ₂	100.0	0.01	0.01	-	-
MMU	O ₂	24.32	12.53	-	28.97	-
	CO ₂	99.95	0.01	-	0.80	-
MMN	O ₂	23.54	11.49	-	-	47.35
	CO ₂	99.94	0.01	-	-	0.80
MMNC	O ₂	18.64	4.64	15.88	54.16	-
	CO ₂	100.0	0.28	0.01	31.95	100.0

Bảng 4: Tham số mô hình hô hấp của xoài ở 27°C

Mô hình		V _m	K _m	K _{mc}	K _{mu}	K _{mn}
MMC	O ₂	100.0	0.58	0.49	-	-
	CO ₂	100.0	12.97	42.15	-	-
MMU	O ₂	100.0	11.10	-	100.0	-
	CO ₂	100.0	2.89	-	6.12	-
MMN	O ₂	100.0	5.64	-	-	21.36
	CO ₂	100.0	1.30	-	-	6.39
MMNC	O ₂	100.0	0.94	0.89	100.0	-
	CO ₂	100.0	0.32	1.0861	6.36	-

4.2. Kiểm chứng các dạng mô hình hô hấp trong hệ kín

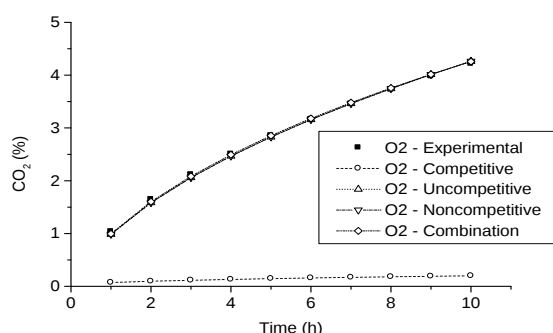
Kết quả kiểm chứng mô hình cho thấy:

Mô hình MMC cho kết quả nhận dạng CO₂ rất kém với sai số tương đối $\delta > 74\%$, do đó không nên sử dụng mô hình này để nhận dạng các thông số còn lại của mô hình hô hấp - bay hơi.

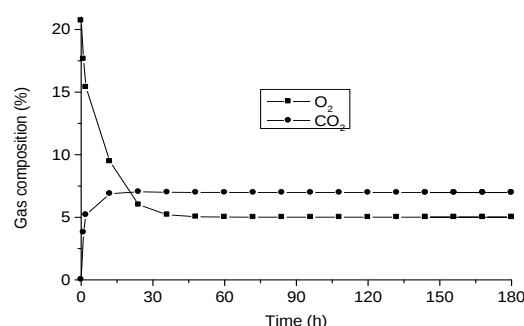
Các mô hình MMU, MMN, MMNC cho kết quả xấp xỉ nồng độ cả O₂ và CO₂ tương đối tốt với hệ số tương quan dao động từ 0.84 đến 0.99, điều này cho thấy khả năng ứng dụng mô hình hô hấp cho các đối tượng kể trên đã được kiểm chứng thành công trong hệ kín.

Mô hình MMNC cho kết quả nhận dạng hơn các mô hình còn lại, tuy nhiên sai lệch không đáng kể. Mặt khác, mô hình này có nhiều tham số cần xác định hơn các mô hình còn lại, gây khó khăn khi xây dựng mô hình và ứng dụng sau này, vì vậy mô hình này ít được sử dụng trong thực tế.

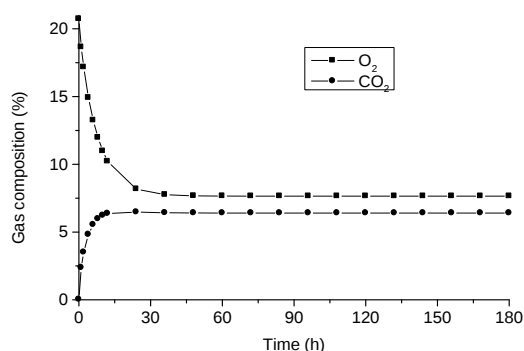
Mô hình MMU được áp dụng rộng rãi nhất trong các nghiên cứu về MAP và có thể sử dụng để mô hình hóa cường độ hô hấp cho nhiều loại quả khác nhau. Do đó, mô hình MMU được lựa



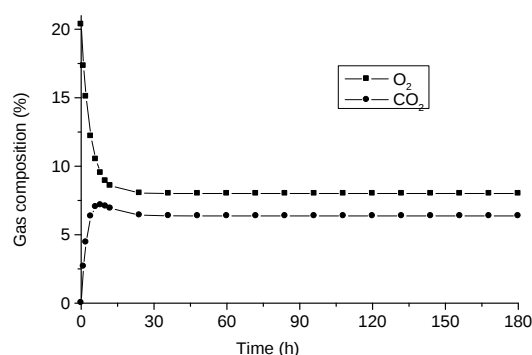
Hình 6: Kiểm chứng nồng độ CO_2 đối với xoài



Hình 7: Dự đoán nồng độ O_2 và CO_2 trong bao gói (LDPE) bảo quản đu đủ ở 11°C .



Hình 8: Dự đoán nồng độ O_2 và CO_2 trong bao gói (PEmpSX) bảo quản xoài Mộc Châu ở 11°C .



Hình 9: Dự đoán nồng độ O_2 và CO_2 trong bao gói (OTR) bảo quản xoài Mộc Châu ở 27°C

chọn để tính toán, kiểm chứng và dự đoán trường nồng độ khí trong bao gói của đu đủ Hưng Yên và xoài Mộc Châu

4.3 Kiểm chứng mô hình dự đoán nồng độ khí trong bao gói

Kết quả dự đoán từ mô hình hô hấp trong bao gói được mô phỏng trong các hình 7, 8 và 9.

Đồ thị 7 cho thấy nồng độ khí O_2 giảm dần và CO_2 tăng dần ở bên trong bao gói đu đủ. Sự tăng và giảm nồng độ các khí trên đến giá trị yêu cầu có sự khác nhau không lớn. Nồng độ O_2 và CO_2 đạt đến giá trị yêu cầu trong 36 h. Tại thời gian đó trở đi, môi trường khí trong bao gói đu đủ đã được thiết lập ở trạng thái cân bằng (EMA - Equilibrium Modifier Atmosphere Package). Bao gói đu đủ bằng màng LDPE đã tạo ra môi trường 5% O_2 và 7% CO_2 , kết quả này nằm trong dải nồng độ khí tối ưu của môi trường khí điều chỉnh yêu cầu [4], điều này chứng tỏ màng LDPE dùng bao gói đu đủ Hưng Yên là phù hợp.

Hình 8 cũng thể hiện kết quả tương tự khi bảo quản xoài Mộc Châu bằng màng bao gói PEmpSX ở nhiệt độ 11°C . Nồng độ khí O_2 và CO_2 trong bao gói đạt đến trạng thái yêu cầu sau 60h. Từ thời điểm đó trở đi, môi trường trong bao gói xoài Mộc Châu đã được thiết lập ở trạng thái cân bằng EMA với mức lệch nồng độ khí O_2 và CO_2 trong

phạm vi cho phép [4]. Nồng độ khí O_2 và CO_2 cân bằng lần lượt là 7,65% và CO_2 là 6,4%.

Kết quả dự đoán nồng độ khí khi bảo quản xoài Mộc Châu ở nhiệt độ 27°C bằng màng OTR cũng cho kết quả khá tốt, thể hiện trên đồ thị 9. Nồng độ O_2 và CO_2 đạt đến giá trị ổn định sau 24h. Bắt đầu từ thời điểm đó, môi trường trong bao gói đã được thiết lập cân bằng (EMA) với mức lệch nồng độ khí O_2 và CO_2 trong phạm vi cho phép. Kết quả dự đoán từ mô hình hô hấp-bay hơi ở trạng thái cân bằng là: 8.0% O_2 và 6.37% CO_2 , kết quả này phù hợp với dải nồng độ tối ưu [4].

Nhận xét: Nồng độ khí dự đoán từ mô hình hô hấp-bay hơi cho 3 đối tượng trên ở trạng thái cân bằng đều nằm trong khoảng dao động cho phép $\pm 3\%$ đối với O_2 và $\pm 5\%$ đối với CO_2 theo đề xuất của Sharples và Stow (1986).

V. KẾT LUẬN

Cường độ hô hấp của đu đủ Hưng Yên và xoài Mộc Châu phụ thuộc vào nồng độ khí và nhiệt độ được mô phỏng theo dạng nghiệm của phương trình Michaelis-Menten, tốc độ của hệ phản ứng men-xúc tác cho kết quả rất thuyết phục với hệ số R^2 dao động từ 0,87 tới 0,99.

Trên cơ sở tích hợp mô hình hô hấp, phương trình khuếch tán khí qua thành bao gói theo dạng định luật Fick, các phương trình cân bằng nhiệt và ẩm của môi trường khí trong bao gói MAP, tác giả

đã phát triển thành công mô hình toán học cho phép xác định nhiệt độ và độ ẩm, lượng nước ngưng tụ, độ hao hụt của rau quả trong bao gói bảo quản (MAP). Kết quả tính toán bằng mô hình của quá trình hô hấp cho sai số không quá lớn so với thực nghiệm.

Trên cơ sở mô hình hô hấp đã hoàn thiện, có thể kiểm soát được các thông số của môi trường khí bao quanh quả trong quá trình bảo quản, đồng thời cho phép đề xuất quy trình thiết kế bao gói bảo quản xoài và đu đủ tại mỗi mùa vụ thu hoạch

trong điều kiện khí quyển điều biến với khối lượng thực nghiệm tối thiểu ở phạm vi công nghiệp, dẫn đến tăng hiệu quả và tính khả thi của phương pháp bảo quản.

Áp dụng mô hình dự đoán các thông số của quá trình bảo quản, có thể rút ngắn thời gian và khối lượng thí nghiệm, cho phép tìm ra chế độ bảo quản tối ưu nhằm đảm bảo tối đa chất lượng sản phẩm và kéo dài thời gian bảo quản, giảm hao hụt trong điều kiện thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. O. J. Caleb, P. V. Mahajan, F. A. J. Al-Said, and U. L. Opara, "Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences-A Review," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 303–329, 2013, doi: 10.1007/s11947-012-0932-4.
2. N. V. D. Hồ Hữu Phùng, "Xây dựng mô hình cường độ hô hấp của vải thiều Hưng Yên tươi trong môi trường khí cải biến trên cơ sở nguyên lý động học Enzim," *Năng lượng nhiệt*, vol. 125, pp. 53–57, 2015.
3. S. C. Fonseca, F. A. R. Oliveira, and J. K. Brecht, "Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: A review," *J. Food Eng.*, vol. 52, no. 2, pp. 99–119, 2002, doi: 10.1016/S0260-8774(01)00106-6.
4. Cao Văn Hùng, "Nghiên cứu ứng dụng công nghệ bao gói điều biến khí (MAP) nhằm nâng cao giá trị một số loại rau quả xuất khẩu và tiêu dùng trong nước," Hà Nội, 2006.
5. N. K. V. Nguyen Thi Minh Nguyet, Tran Thi Mai, Nguyen Thi Nguyet, Le Anh Tuan, "Enzyme kinetics based modeling for respiration of Chili fruits," 2013.
6. N. T. H. Pham Anh Tuan, VuThi Nga, Nguyen Thi Minh Nguyet, Nguyen Manh Hieu, "Preservative technology for some Vietnamese fruits and vegetables by using controlled atmosphere (CA) and modified atmosphere packaging (MAP)," in *Gases in Agro-food Processes*, 2017, pp. 608–615.
7. C. V. H. Nguyễn Việt Dũng, Trumac I.G., Onhishenko V. P "Xây dựng mô hình hô hấp-bay hơi của xoài Cam Ranh bảo quản trong mô hình khí cải biến," *Tạp chí khoa học công nghệ các trường đại học kỹ thuật*, vol. 80, 2011.
8. Hồ Hữu Phùng "Hoàn thiện phương pháp bảo quản rau, quả tươi sau thu hoạch bằng công nghệ nhiệt độ thấp kết hợp với môi trường khí cải biến," 2012.
9. Cao Văn Hùng "Nghiên cứu độ thấm khí O₂ và CO₂ của một số plastic film Việt nam trong công nghệ bao gói khí điều biến (MAP) bảo quản rau quả," *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, vol. 21, pp. 59–66, 2006.

MODEL FOR PREDICTING O₂ AND CO₂ CONCENTRATION IN MODIFIED ATMOSPHERE BASED ON ENZYME KINETIC PRINCIPLE

Ho Huu Phung, Nguyen Viet Dung

School of heat engineering and refrigeration - Hanoi University of Science and Technology

Email: dung.nguyenviet@hust.edu.vn

Abstract: Based on enzyme kinetic principle of Michaelis - Menten with four types of inhibition respiration in an enzyme kinetics model and using closed system experiment, were developed model of predicting O₂ and CO₂ concentration in modified atmosphere packaging. Prediction model was tested by LDPE, PempSX and OTR membrane for Hung Yen papaya and Moc Chau mango. The applicability of the model to in predicting was successfully verified with the experiment data for these packaging membrane.