

환경기체조성에 따른 후지 사과의 호흡특성 모델링 Respiration Characteristics Modeling of 'Fuji' apples under the controlled atmosphere)

이현동* 윤홍선* 정 훈* 김영근*

정희원 정희원 정희원 정희원

H.D.Lee H.S.Yun H.Chung Y.K.Kim

1. 서 론

CA(Controlled Atmosphere)저장은 일반 대기보다 산소농도를 낮추고 이산화탄소 농도를 높게 하여 식물체의 생리대사인 호흡속도를 조절하여 신선도를 유지시키는 저장법이다. 신선 원예 산물의 경우 산소가 풍부한 조건에서는 호기 호흡을 하여 생화학적 반응 생성물로 이산화탄소와 물을 배출하나 산소가 부족할 경우에는 혐기 호흡이 발생하여 이산화탄소와 에탄올을 배출하게 된다. 호기 호흡을 할 경우에는 선도유지 효과를 얻을 수 있으나 혐기 호흡을 할 경우에는 과실의 내부 갈변, 이취발생, 표면 반점 등의 생리 장애 현상이 발생하여 경제적 손실을 가져오게 된다. 따라서 CA저장을 할 때 산소와 이산화탄소의 농도 조합은 저장물의 선도 유지와 생리적 장애 현상 방지에 중요한 요인이다.

본 연구에서는 신선 농산물의 CA 저장에 필요한 생리적 지표인 호흡특성치(산소소비속도, 이산화탄소 및 기체상 에탄올 발생속도)를 측정하여 효소 반응 속도식에 대하여 모델링하고 사과의 CA 저장 임계농도를 결정할 수 있는 기체상 에탄올농도를 예측하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 공시재료는 'Fuji'사과로서 과중 $250 \pm 10g$ 이고 외관이 건전한 것을 선별하여 실험재료로 사용하였다.

나. 호흡속도 측정 및 모델링

(1) 호흡속도 측정

기체 기밀 챔버내 초기 기체 농도를 $7.73\%O_2 + 0.92\%CO_2$, $16.49\%O_2 + 0.98\%CO_2$ 의 세 가지로 치환한 후 방치 시간 간격에 따라 챔버내 기체 $500\mu l$ 를 기밀 syringe로 샘플링 하여 gas chromatography(DS 6200, Donam, Korea)로 분석하였다. 이때 G.C의 분석 조건은 detector, TCD; column, CTR-1(Alltech Co., USA); column temperature, $40^\circ C$; detector temperature, $40^\circ C$; carrier gas, He($50ml/min$)이었다.

* 농업공학연구소 수확후처리공학과

(2) 기체상 에탄올 측정

호흡속도 측정과 동일한 조건에서 수행 하였으며 광음과 분석기(Photo acoustic multi-gas monitor, Inova Co., Denmark)를 이용하여 챔버내 기체를 샘플링 하여 기체상 에탄올 농도를 측정 한후 다시 챔버로 돌려보내는 순환식 방법으로 측정 하였다.

(3) 호흡속도 모델링

방치시간에 따라 측정된 산소, 이산화탄소 및 기체상 에탄올농도를 식 (1)과 같이 시간의 함수로 만들어 회귀계수를 a,b를 구한 후 식 (2)를 이용하여 기체조성에 따른 호흡 특성치를 환산하였다.

- 폐쇄계 호흡속도 회귀 모델

$$[O_2] = at^2 + bt + c, \quad [CO_2] = a't^2 + b't + c' \text{ ----- 식 (1)}$$

$$R_{(O_2,CO_2)} = [-d(O_2)/dt \cdot V] / [W \cdot 100] \rightarrow R_{(O_2,CO_2)} = [-(2at+b) \cdot V] / [W \cdot 100] \text{ ----- 식 (2)}$$

식 (4)에서 얻어진 호흡속도를 효소반응 속도식인 식 (3),(4)에 대입하여 호흡계수 V_m, K_m K_i 를 구하였다.

$$R_{O_2} = \{V_{mO_2} \cdot [O_2]\} / \{K_{mO_2} + [O_2][1+(CO_2/K_{iO_2})]\} \text{ ----- 식(3)}$$

$$R_{CO_2} = \{V_{mCO_2} \cdot [O_2]\} / \{K_{mCO_2} + [O_2][1+(CO_2/K_{iCO_2})]\} \text{ ----- 식(4)}$$

3. 결과 및 고찰

가. 폐쇄계 호흡속도 측정을 이용한 호흡 특성 모델

사과의 호흡특성치(산소소비량, 이산화탄소발생량, 에틸렌발생량, 기체상에탄올발생량)을 0°C에서 측정하여 시간함수로 회귀분석한 결과는 그림 1, 표 1과 같은데 결정계수 0.9이상의 높은 적합성을 나타내었다.

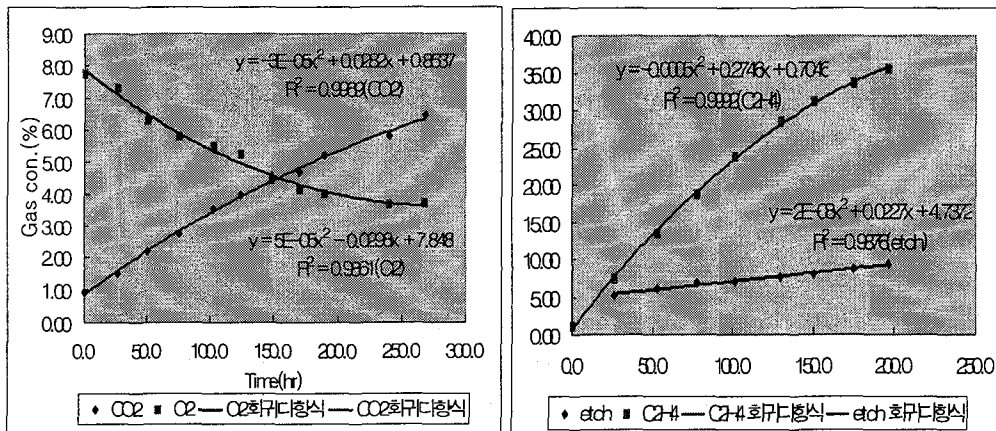


그림 1. 시간에 따른 'Fuji'사과 호흡특성치의 수식화 (0°C)

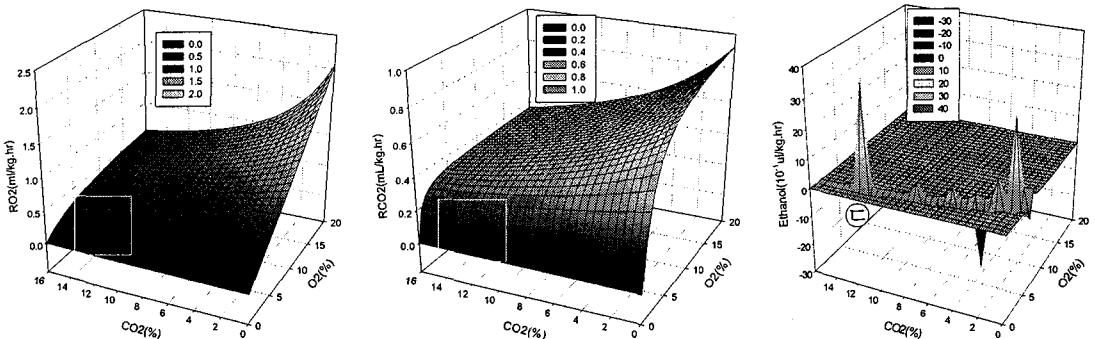
표 1. 시간에 따른 호흡특성치 변화 수식화를 위한 회귀 계수 추정

구분	초기 기체 조성 (%O ₂ + %CO ₂)	온도(°C)	A1	B1	C1	R2
산소	7.73+0.92	0	0.00005	-0.0298	7.848	0.9861
	16.49+0.98	0	0.00005	-0.0470	16.507	0.9812
	21.8+0.00	0	0.00004	-0.045	22.051	0.9812
이산화탄소	7.73+0.92	0	-0.00003	0.0282	0.8537	0.9969
	16.49+0.98	0	-0.00001	0.0263	1.0071	0.9911
	21.8+0.00	0	-0.00003	0.032	0.0354	0.9998
기체상 에탄올	7.73+0.92	0	0.00005	0.0091	5.566	0.9953
	16.49+0.98	0	-0.000008	0.0117	4.993	0.9433
	21.8+0.00	0	-0.00002	0.0118	4.6017	0.9040

나. 효소반응속도식에 따른 호흡계수 결정 및 반응표면 형성

시간의 함수로 분석된 회귀식을 이용하여 각 기체조성별 호흡특성치를 효소반응속도식으로 모델링하고 표 2와 같이 호흡계수를 구하였는데 결정계수는 기체상 에탄올을 제외하고는 0.8이상의 결정계수를 나타내었으며 기체상에탄올의 경우에도 7.73%O₂ +0.92%CO₂로 구간을 한정하였을때 R²=0.9이상의 높은 적합성을 나타내었다.

호흡계수	Vm	Km	Ki	R ²
O ₂	-43.2339	-438.148	-0.2659	0.8454
CO ₂	1.0076	1.808	9.6361	0.8427
Etoh	0.2331	-6.288	5.7040	0.6290
Etoh(7.73+0.92)	1.5715	54.810	-0.4021	0.9954
C ₂ H ₄	-689.655	-727.386	-0.0961	0.8037



㉠ 산소 소비 속도 ㉡ 이산화탄소 발생 속도 ㉢ 에탄올발생량

그림 2. 효소반응속도 모델식을 이용한 반응표면 형성

호흡특성치를 추정된 호흡계수를 이용하여 효소반응속도식에 따라 반응표면을 형성시킨 결과는 그림 2와 같은데 호기호흡을 할 경우기체상 에탄올의 임계점은 $1\mu\text{l}/\text{kg} \cdot \text{hr}$ 정도인 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

'Fuji'사과의 환경기체조절 저장 조건 설정에 중요한 요인인 기체상 에탄올 농도 발생량 임계치를 예측하기 위하여 호흡특성치를 수식화 하였다. 폐쇄계 호흡속도 측정방법을 이용하여 사과의 호흡속도를 측정하여 시간의 함수로 회귀분석한 결과 결정계수 0.9이상의 높은 적합성을 나타내었다. 시간의 함수식을 이용하여 환경기체조성별로 계산된 호흡 특성치를 이용하여 호흡계수를 구하고 효소반응 속도식 모델화한 결과 결정 계수값은 0.8이상이었으며 기체상 에탄올 임계점은 $1\mu\text{l}/\text{kg} \cdot \text{hr}$ 로 예측되었다.

5. 참고문헌

1. 이동선, 안덕순, 1998. 포장조건에 따른 생대추의 저장성, 한국식품과학회지, V. 30, No. 2, pp. 461~467.
2. Yang, C. C. and M. S. Chinnan. 1988. Computer Modeling of Gas Composition and Color Development of Tomatoes Stored in Polymeric Film. J. Food Sci. 53(3) : 869-872.
3. Lee, D. S., P. E. Hagger, J. Lee, and K. L. Yam. Model for Fresh Produce Respiration in Modified Atmospheres Based on Principles of Enzyme Kinetics. J. Food Sci. 56(6) : 1580-1585.
4. Hagger, P. E., D. S. Lee, and K. L. Yam. 1992. Application of an Enzyme Kinetics Based Respiration Model to Closed System Experiments for Fresh Produce. J. Food Process Engineering. 15 : 143-157.
5. Boamfa, E.I., M.M.L. Steeghs, S.M. Cristescu, F.J.M. Harren. 2004. Trace gas detection from fermentation process in apples; an intercomparison study between proton-transfer-reaction mass spectrometry and laser photoacoustics. Int. Journal of Mass Spectrometry 239: 193-201