

# 환경기체조성하에서 생버섯의 호흡특성 모델링

## Respiration Characteristics Modeling of fresh mushroom under CA(Controlled Atmosphere)

이현동\* 윤홍선\* 이원욱\* 정 훈\* 조광환\*

정희원 정희원 정희원 정희원 정희원

H.D.Lee H.S.Yun W.O.Lee H.Chung K.H. Cho

### 1. 서 론

버섯의 경우 수확 후 호흡과 대사작용이 일반 과일, 채소류보다 왕성하여 중량감소가 빠르고 외관이 수축되며 호흡열로 인한 품온 상승으로 변색 및 미생물의 번식 등 품질저하가 급속하게 일어난다. 따라서 다른 신선 농산물에 비하여 저장기간이 짧고 유통 중 부패율 및 품질저하가 높은 편이다.

저장고 또는 포장내의 기체조성을 변화시켜 신선 농산물의 호흡속도를 조절하여 저장하는 CA(Controlled Atmosphere)저장법이나, MAP(Modified Atmosphere Packaging)저장에 관한 선행된 연구에서 버섯류의 환경기체조성을 통한 유통기간 연장과 품질유지에 효과가 있음이 보고되고 있다.

본 연구에서는 신선 농산물의 중요한 생리적 지표인 호흡특성치(산소소비속도, 이산화탄소 발생속도)를 저장기체 농도에 대하여 회귀하는 반응표면 회귀 분석법(RSREG)을 통하여 각 환경기체조성의 조합에서 호흡 특성치를 모델링 하고 생버섯의 CA 및 MAP저장 적정 기체조성을 예측하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 공시재료

본 실험에 사용된 공시재료는 팽이버섯(*Flammulina velutipes*)과 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*)을 시중에서 구입하여 외관이 건전한 것을 선별하여 실험재료로 사용하였다.

#### 나. 호흡속도 모델링을 위한 실험계획 및 측정 조건

##### (1) 호흡속도 측정 구간 설계

실험계획은 중심합성 계획법에 의하여 설계하였고 반응표면 회귀분석을 위해서는 SAS(statistical analysis system) program을 사용하였다. 중심합성 계획에서 호흡속도 측정

---

\* 농업기계화연구소 농산가공기계과

을 위한 반응조건은 환경기체 조성에서 O<sub>2</sub> (X<sub>1</sub>)와 CO<sub>2</sub> (X<sub>2</sub>) 농도이며, 각 반응조건은 -2, -1, 0, 1, 2 세 단계로 부호화하여 실험값을 Table 1에 나타내었다. 또 반응표면분석에 필요한 실험조건은 식(2)에 의해 계산되었는데 여기서 독립변수는 2개이므로 K=2으로 두면 요인점 4개(2<sup>2</sup>), 축점 4개(2\*2), 중심점(n<sub>0</sub>) 1개로서 총 9개의 실험조건에서 자료를 추출하였다.

$$n = 2^K + 2K + n_0 \quad (1)$$

Table 1. Gas combination of respiration rate measurement in experimental design.

X <sub>i</sub>	Experimental conditions	Levels				
		-2	-1	0	1	2
X <sub>1</sub>	O <sub>2</sub> concentration(%)	0.6	5.6	10.6	15.6	20.6
X <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> concentration(%)	0	4	8	12	16

식 (1)에서 결정된 반응조건으로서의 환경기체조성하에서 버섯의 산소소비속도 및 이산화탄소 발생속도를 반응변수(Y)로 하였다. 이 때 두 가지의 반응조건에 따른 2차 회귀 모형식은 식(2)와 같다.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1 \cdot X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (2)$$

#### 다. 호흡특성치 측정

##### (1) 산소소비속도 및 이산화탄소 발생속도 측정

환경기체조성하에서 정확한 시료의 호흡속도 측정을 위하여 시료의 온도평형과 환경기체조성에 대하여 시료의 호흡이 적응하여 안정된 후 실험을 실시하여야 하므로 실험온도 (20℃)에서 환경기체 조성 후 24시간이 경과한 후 호흡속도를 측정하였다. 시료의 호흡속도 측정은 continuous flow system을 사용하여 실험조건 농도로 조정된 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub>의 혼합기체를 흘려보내 호흡속도 측정 용기내의 공기를 실험조건 농도로 치환시킨 후 기체 주입구와 배출구의 농도를 G.C로 측정하여 (1)과 (2)에 대입하여 산소소비속도와 이산화탄소발생 속도로 환산하였다.

$$\text{Oxygen consumption rate} = \frac{(\%O_{2inlet} - \%O_{2outlet}) \times \text{Flow rate}(ml)}{\text{Sample weight}(kg)} \quad \text{식(3)}$$

$$\text{Carbon dioxide evolution rate} = \frac{(\%CO_{2outlet} - \%CO_{2inlet}) \times \text{Flow rate}(ml)}{\text{Sample weight}(kg)} \quad \text{식(4)}$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 산소 소비 속도

팽이버섯의 산소소비속도는 20℃에서 기체조성에 따라 31.8 ~ 374.14mgO<sub>2</sub>/kg · hr로 나타났다. 기체조성에 따른 호흡속도의 변화는 산소농도가 낮고 이산화탄소농도가 높을수록 산소소비속도가 감소하였으며 Fig. 1에서와 같이 동일한 산소농도에서 이산화탄소 농도가 높을수록 산소소비속도가 줄어드는 것으로 나타났다. 느타리버섯의 경우 20℃에서 산소소비속도는 31.8 ~ 161.4mgO<sub>2</sub>/kg · hr로 팽이버섯에 비하여 낮은 호흡속도를 가지는 것으로 나타났다. 기체조성에 따른 느타리버섯의 산소소비속도 경향은 산소농도의 변화에 대해서는 팽이버섯과 유사한 경향을 나타내었으나 이산화탄소에 대해서는 농도가 증가할수록 산소소비속도가 늘어나는 경향을 나타내었다(Fig. 2).

#### 나. 이산화탄소 방출 속도

기체조성에 따른 팽이버섯의 이산화탄소 방출속도는 Fig. 3과 같이 나타났는데 산소농도가 높을수록 팽이버섯 이산화탄소방출속도는 증가하였으며 이산화탄소농도가 높을수록 감소하는 것으로 나타났다. 팽이버섯의 호흡속도는 20℃에서 30.0 ~ 421.4mgO<sub>2</sub>/kg · hr로 나타났으며 산소농도 10%이상 이산화탄소농도 8%이하에서 가장 높은 호흡속도를 나타내었다. 느타리버섯의 이산화탄소방출 속도는 산소농도가 감소할수록 감소하는 것으로 나타났으며 그 형태가 부메랑과 같이 산소농도 10.6%를 축으로 대칭 관계에 있음을 알 수 있었다(Fig. 4). 이상의 결과에서 환경기체조성을 이용하여 버섯의 이산화탄소 방출속도를 감소시켜 버섯의 저장기간을 연장 할 수 있을 것으로 판단되었다.

#### 다. 호흡속도 측정치의 모델화

생버섯의 환경기체조절저장 영역을 예측하기 위하여 반응표면 회귀분석을 통하여 얻어 회귀방정식과 회귀방정식의 변수를 Table 2에 나타내었으며 호흡특성치에 대한 각 회귀 방정식의 R<sup>2</sup> 는 산소소비속도에 대한 회귀분석에서는 0.9이상의 값을 나타내었으며 팽이버섯의 이산화탄소방출속도에 대해서는 0.9이상의 결정계수 값을 나타내었으나 느타리 버섯의 이산화탄소 방출속도의 경우 0.75로 다른 호흡특성치에 비하여 낮은 결정계수 값을 나타내었다.

#### 라. 생버섯의 환경기체조절저장 농도 예측

일반 대기조건에서 호기적인 호흡을 할 경우 팽이버섯의 RQ(Respiration quotient)값은 약 0.8정도의 값을 가지는 것으로 실험결과 나타났다. 따라서 호흡속도를 최소화하면서 rq값은 호기적 조건과 같이 0.8에 근사하는 기체조성은 1~2.5% O<sub>2</sub> 와 10.5-11.5% CO<sub>2</sub> 농도에서 만족되는 것으로 예측되었다. 느타리버섯의 경우에도 호기적 조건에서 rq값은 약 0.8정도를 가지는 것으로 나타났으며 이를 만족하는 기체조성은 2.5~4.5% O<sub>2</sub>와 11.5~13%CO<sub>2</sub> 조

건인 것으로 예측되었다. 예측된 기체조성은 Kader와 Moris가 요약한 바 있던 버섯류의 정상적인 호기호흡을 유지하는데 필요한 최저 산소농도를 만족하는 수준이었으며 일반적으로 갖의 개산과 줄기의 신장을 억제 할 수 있다고 보고되고 있는 이산화탄소 농도 10%~15% 수준에 포함되는 농도였다.

#### 4. 요약 및 결론

생버섯의 환경기체조절저장을 위한 적정 기체조성을 예측하기 위하여 팽이버섯과 느타리버섯을 대상으로 호흡특성치를 측정 및 모델링한 결과 두 버섯의 호흡속도는 환경기체조성에 영향을 받는 것으로 나타났다. 버섯의 산소소비속도와 이산화탄소발생속도를 반응표면분석한 결과 느타리버섯의 이산화탄소발생속도를 제외하고는  $R^2=0.9$ 이상의 높은 상관관계를 나타내었다. 반응표면 분석결과를 이용하여 두 버섯의 적정 기체조성은 팽이버섯의 경우 1~2.5%  $O_2$  와 10.5~11.5%  $CO_2$ , 느타리 버섯의 경우에는 2.5~4.5%  $O_2$ 와 11.5~13% $CO_2$  가 적정 기체조성 것으로 예측되었으며 일반적인 생버섯의 저장기체조건에 포함되는 농도였다. 따라서 예측된 조건에서 생버섯의 환경기체조절 저장이 가능 할 것으로 판단되었다.

#### 5. 참고문헌

1. 김준한, 김종국, 문광덕, 손태화, 최종욱, 1995. 양송이 버섯의 MAP및 CA저장 효과, 농산물저장유통학회지, V. 2, No. 2, pp. 225~232.
2. 한대석, 안병학, 신현경, 1992. 환경가스조절 저장법을 이용한 느타리버섯과 표고버섯의 유통기간 연장, 한국식품과학회지, Vol. 24, No. 4, pp. 376~381.
3. Myers, R. H., 1976. Response Surface Methodology. pp. 126~175
4. Kader, A.A. and Moris, L.L, 1957. Relative tolerance of fruits and vegetables to elevated  $CO_2$  and reduced  $O_2$  levels, Michigan State Univ. Hort. Rep., 28. 260.
5. 이승구의 7인, 1996. 원예작물의 수확후 생리. 성균사.

Table 2. Polynomial equations calculated by RSREG program in mushroom.

Comodity	Temp. ( $^{\circ}C$ )	Model equations	$R^2$
<i>Flammulina velutipes</i> Oxygen consumption rate	20	$RR-O_2 = 30.91+35.76O_2 - 1.33CO_2 - 1.01O_2^2 - 0.26CO_2 \cdot O_2 + 0.14CO_2^2$	0.9541
<i>Flammulina velutipes</i> Carbon dioxide evolution rate	20	$RR-CO_2 = 40.14+40.58O_2 + 8.35CO_2 - 1.33O_2^2 - 0.02CO_2 \cdot O_2 - 0.78CO_2^2$	0.9792
<i>Pleurotus ostreatus</i> Oxygen consumption rate	20	$RR-O_2 = 23.31+11.22O_2 - 1.40CO_2 - 0.26O_2^2 - 0.11CO_2 \cdot O_2 + 0.04CO_2^2$	0.9353
<i>Pleurotus ostreatus</i> Carbon dioxide evolution rate	20	$RR-CO_2 = 91.28+5.79O_2 - 0.68CO_2 - 0.31O_2^2 + 0.25CO_2 \cdot O_2 - 0.06CO_2^2$	0.7125

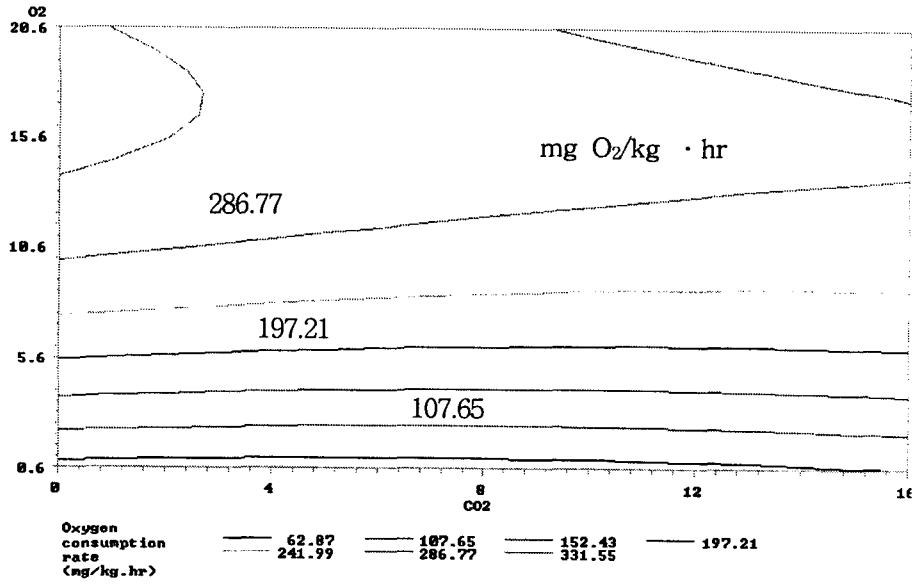


Fig. 1. Oxygen consumption rate of winter mushroom (*Flammulina velutipes*) in various gas compositions at 20°C.

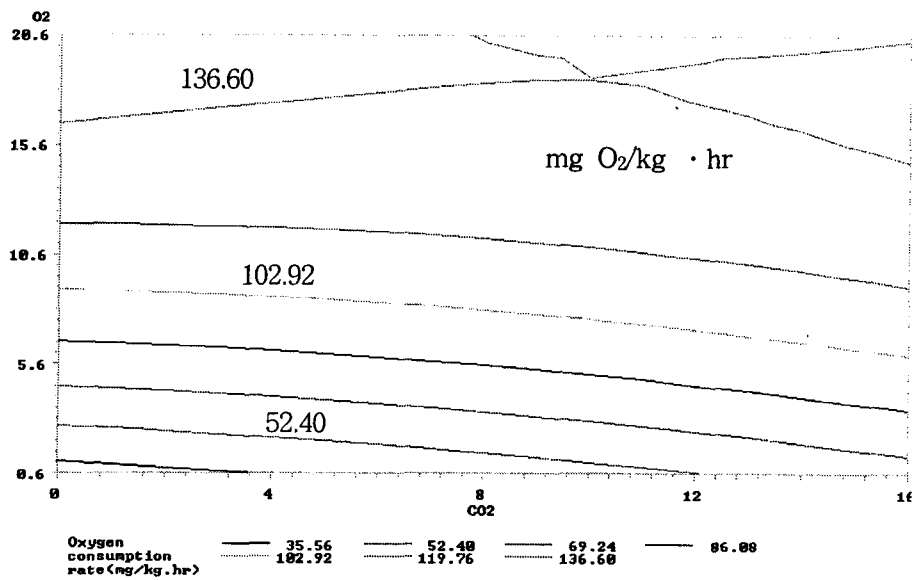


Fig. 2. Oxygen consumption rate of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in various gas compositions at 20°C.

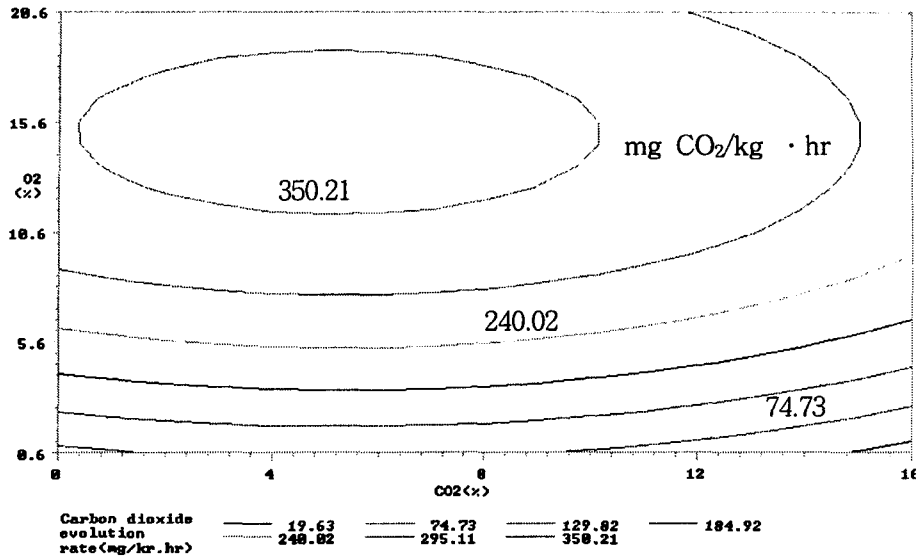


Fig. 3. Carbon dioxide evolution rate of winter mushroom (*Flammulina velutipes*) in various gas compositions at 20°C.

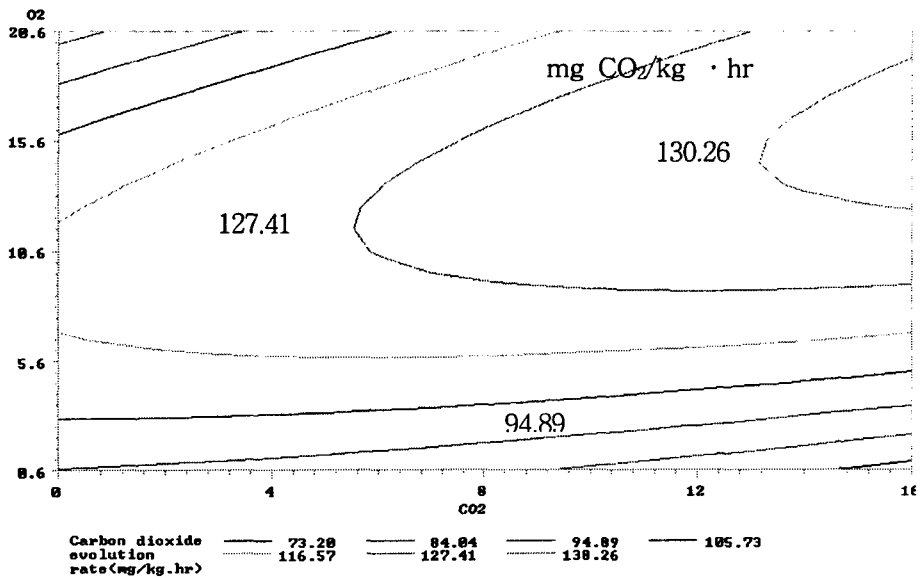


Fig. 4. Carbon dioxide evolution rate of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in various gas compositions at 20°C.