

ULO 저장에서의 사과 Fuji의 호흡속도

강 준 수 · 이 호 재 · 최 종 욱*

동의공업전문대학 식품공업과, 경북대학교 식품공학과*

Respiration rate of the Fuji apple according to the ULO storage conditions

Jun-Soo Kang, Ho-Jae Lee, Jong-Uck Choi*

Department of Food Technology, Donggeui Technical Junior College

**Department of Food Science and Technology,
Kyungpook National University*

Abstract

For the measurement of the change of respiration rate caused by the gas content of storage atmosphere which furnishes important data for the interpretation of ULO storage, GC was used.

It has been shown that the respiration rate and respiratory heat generation rate of Fuji apple is more than doubled in normal low temperature storage when compared with ULO storage, and that in ULO storage the respiration rate and respiratory heat generation rate directly proportional to the concentration of O₂ in storage atmosphere as well as inversely proportional to that of CO₂. It was possible to establish a functional formula for the respiratory heat generation rate of Fuji apple in all the storage conditions in terms of $u = -0.7638 + 0.0003 O_2 - 0.0007 \log(CO_2) + 0.1369 \log(T_s)$ concerning temperature and the concentration of O₂ and CO₂.

Key words : Ultra low oxygen storage, apple, respiration rate

서 론

CA 저장이 과채류의 저장성을 높인다는 것은 주지의 사실이나 CA 저장의 효과를 최대로 높이기 위해서는 과채류를 적절한 시기에 수확해야하며, 수확한 과채류는 급속한 예냉을 거쳐서 가능한 한 빨리 저장고에 넣어져야 한다. 또한 저장고내의 환경기체 조성도 빨리 원하는 적정 저장수준으로 낮추어야 하며(pull down) 저장기간 동안의 세심한 관리도 필수적으로 요구된다¹⁻³⁾ CA 저장의 효과를 높이기 위해서 환경기체를 조성하는 기술을 중점으로 하여 CA

저장설비가 계속적으로 갱신, 강화되어 왔다. 1960년대에 처음으로 기계식 CA 설비가 도입된 이래 액체 질소를 이용하는 nitrogen purge system, inert gas generator를 이용하는 Tectrol식, recirculatory catalytic oxygen burner를 이용하는 Arcat식, open flame burner, internal combustion engine, ammonia cracking 등을 이용하는 방법을 거쳐서, 지금은 1986년에 처음으로 도입된 New CA system으로 불리는 pressure swing adsorption air separator와 hollow fiber membrane air separator를 이용하는 단계에 까지 와 있다.^{2,4,5)} 또 CA 저장고내의 환경기체를 조합하는 방법에

따라서 CA 저장은 ULO(ultra low oxygen), HLO(hyper low oxygen), LECA(low ethylene controlled atmosphere), RCA(rapid controlled atmosphere), Dynamic CA, IOS(initial oxygen stress) 등으로 다양하게 분류되는데 이 중 ULO, LECA, RCA가 매우 좋은 방법으로 알려져 있다.⁶⁾

본 연구자 등은 기 제작한⁷⁾ 마이크로컴퓨터 제어 CA 저장고내에서 사과 Fuji 품종을 ULO조건으로 저장하면서 이들의 저장조건에 따른 호흡속도에 관한 연구를 수행하였기에 그 결과를 보고한다.

재료 및 방법

재료

경북 영천군 청통면 소재 학산농원에서 10월 24일 수확한 Fuji사과 중 외관이 건전한 중과를 선별하여 대형 CA 저장고에서 30일간 저장한 후 실험의 공시 재료로 사용하였다.

실험장치

본 실험에 사용한 ULO 저장고는 강 등⁷⁾의 방법과 같이 gas control system, ULO storage chamber 및 마이크로컴퓨터 시스템으로 구성하였는데 이 때 사용한 ULO storage chamber는 Fig. 1과 같다.

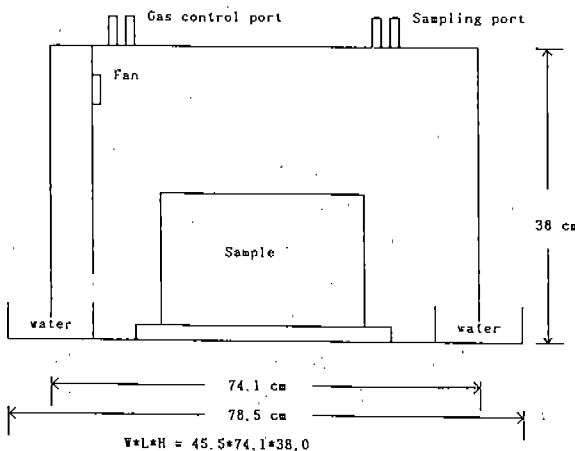


Fig. 1. Dimensional diagram of CA storage chamber.

실험조건 설정

본 연구에서는 일반적으로 사과 Fuji의 ULO 저장 조건인 O₂ 농도 1~3%, CO₂ 농도 1~3%와 온도 0℃ 상대습도 95%, 공기 유속 0.25m/s를 실험조건으로 설정하였다.

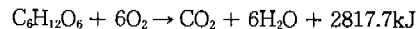
사과의 호흡특성

ULO storage 중 사과 Fuji의 CO₂ 방출량은 chamber에 사과 1 상자(20kg)를 넣고 저장조건을 설정한 다음 24시간이 경과한 후 chamber내의 기체 3mℓ을 취하여 Table 1과 같은 조건하에서 GC로 분석하여 구했다.

Table 1. The operating conditions of GC for CO₂ analysis

Items	Conditions
Instrument	Pye Unicam 304
Column	4mm × 2.7m glass column with 80~100 mesh of Porapak Q
Detector	T. C. D.
Column temperature	115℃
Injector temperature	120℃
Detector temperature	152℃
Carrier gas	He, 30mℓ/min

호흡열량은 사과내부의 6단당이 완전히 H₂O와 CO₂로 분해된다고 가정하고 GC로 구한 사과의 CO₂ 방출량과 아래의 일반적인 호흡식으로 부터 구했다.



부피

사과의 부피는 사과를 물에 담구었을 때 넘치는 물의 양으로 부터 환산하였으며 사과의 부피와 중량과의 상관관계를 구했다.

통계 처리

SAS(Statistical Analysis System)를 사용하여 자료를 분석하였다.

결과 및 고찰

호흡속도

ULO chamber내의 저장조건을 달리했을 때 저장조건에 따른 사과 Fuji의 호흡속도는 Table 2와 같았다.

Table 2. Respiration rates of Fuji apple at various ULO storage conditions.

Gas content		Respiration rate(kgCO ₂ /kgs)	
O ₂ (%)	CO ₂ (%)	0°C	5°C
1	1	4.237 × 10 ⁻¹⁰	8.190 × 10 ⁻¹⁰
1	2	3.347 × 10 ⁻¹⁰	7.651 × 10 ⁻¹⁰
1	3	2.944 × 10 ⁻¹⁰	6.565 × 10 ⁻¹⁰
2	1	5.709 × 10 ⁻¹⁰	6.608 × 10 ⁻¹⁰
2	2	4.103 × 10 ⁻¹⁰	5.683 × 10 ⁻¹⁰
2	3	4.006 × 10 ⁻¹⁰	7.548 × 10 ⁻¹⁰
3	1	5.281 × 10 ⁻¹⁰	7.161 × 10 ⁻¹⁰
3	2	5.531 × 10 ⁻¹⁰	7.292 × 10 ⁻¹⁰
3	3	5.049 × 10 ⁻¹⁰	6.590 × 10 ⁻¹⁰
21	.03	1.256 × 10 ⁻⁰⁹	1.514 × 10 ⁻⁰⁹

호흡속도는 온도 5°C의 ULO 저장에서는 5.683 × 10⁻¹⁰ ~ 8.190 × 10⁻¹⁰ kgCO₂/kgs의 범위로 나타났으며, 같은 온도의 일반저온저장에서는 이 값보다 훨씬 높은 1.514 × 10⁻⁹ kgCO₂/kgs이었다. 이 값은 2°C, RH 98%, O₂ 3%, CO₂ 2%에서와 O₂ 3%, CO₂ 5%의 조건에서 사과의 호흡 속도는 각각 1.342 × 10⁻⁹ kgCO₂/kgs 및 7.292 × 10⁻¹⁰ kgCO₂/kgs라고 보고한 Alique와 Plaza⁹⁾의 결과와도 비슷한 결과로 볼 수 있다. 이 표에서 알 수 있듯이, 저장온도 0°C와 5°C에서 모두 ULO 저장에서의 호흡속도는 일반저온저장에서의 호흡속도에 비하여 50% 이하로 낮게 나타났으며, 예상했던대로 모든 대기조성에서 온도가 상승함에 따라 호흡속도는 증가하였다. 이 결과는 이와 비슷한 조건에서 사과의 품종별 호흡속도를 연구한 Bohling과 Hansen⁹⁾의 보고와 일치하고 있다. 이들은 O₂ 1~4%, CO₂ 2~5%에서 온도는 1.0°C, 2.5°C, 3.5°C로 변화시켰을 때 사과의 호흡속도는 CA 저장에 의해서 60~70%까지 감소되며 같은 품종의 사과에서는 온도가 상승함에 따라 높아진다고 보고하였다.

실험으로 구한 호흡속도의 자료로 호흡열량으로 환산한 값을 Table 3에 나타내었다. 이 자료로 호흡열량과 호흡열량에 영향을 미치는 인자인 저장온도와 대기 중 O₂ 및 CO₂ 함량에 대하여 모델식을 만들기 위해서 각 영향인자를 다양하게 변화시켜서 상관분석을 수행한 결과를 Table 4에 나타내었다. $u=f(O_2, \log CO_2, \log T)$ 의 형태로 나타내는 것이 가장 높은 상관관계를 보였으므로 이 형태로 SAS의 regression procedure를 사용하여 다중 회귀분석을 수행하였다. 그 결과 모델식에 대한 분산분석과 각 변수의 parameter 값을 구하여 Table 5에 나타내었다. 분산분석표에서 F-value는 95.202, Prob>F는 0.0001이었으며 r²값도 0.9370으로 나타나 호흡열량을 예측하기 위하여 제시한 본 모델이 적합함을 알 수 있었다. 여기서 구한 parameters로 모델식을 표시하면 아래의 식과 같았다.

$$u = B_0 + B_1O_2 + B_2\log(CO_2) + B_3\log(T_b)$$

실험으로 구한 호흡열량과 위의 식으로 예측한 값을 Table 3에 나타내었다. 호흡속도와 실험치와는 약간의 오차를 나타내었으나 전체의 실험구간에서 비슷한 경향으로 변화하였다.

실제로 사과는 저장기간 중 호흡속도가 계속해서 변한다. Smith¹⁰⁾에 따르면 사과는 일반 상온 저장에서는 80일만에 climacteric rise에 진입하고 90일만에 climacteric maximum에 도달한다고 하였으나, Alique와 Plaza⁹⁾에 의하면 사과는 일반저온저장에서는 저장 120일만에 호흡속도 9.60mgCO₂/kg/h로 climacteric maximum에 도달하나, ULO 저장조건에서는 평균 호흡속도가 4.83mgCO₂/kg/h로 저장 중 호흡속도의 증가는 거의 관찰할 수 없었다고 보고하고 있다. 따라서 저온의 ULO 조건하에서 사과를 저장한 본 연구에서는 위의 모델 식으로 예측한 사과의 호흡열량을 무리없이 전체의 저장기간에 대하여 적용할 수 있었다.

ULO 조건하에서의 호흡속도와 일반저온저장에서의 호흡속도와의 비를 상대호흡속도(relative respiratory activity)로 정의하고 이를 이용하여 ULO 저장의 대기조성 중 어느 것이 호흡에 더 큰 영향을 미치는지를 알아 보았다. Fig. 2와 Fig. 3은 같은 저장조건에서의 상대호흡속도를 O₂ 농도와 CO₂ 농도에 대해서 비교한 것인데, 전반적으로 같은 O₂ 농도에

서는 CO₂ 농도가 높을수록, 같은 CO₂ 농도에서는 O₂ 농도가 낮을수록 상대호흡속도는 낮게 나타났다. 그림에서와 상관분석의 결과에서 알 수 있듯이 O₂ 농도가 CO₂ 농도보다 호흡속도에 보다 유의적으로 영

향을 미쳤다. 사과와 호흡속도가 저장대기 중의 O₂ 분압에 의해서 크게 영향을 받는다는 Andrich¹¹⁾ 등의 보고내용과 일치하고 있다.

Table 3. Respiratory heat generation rates of the Fuji apple at various ULO storage conditions

Storage temp. Atmosphere composition		0°C		5°C	
		Respiratory heat generation rate(kJ/m ³ s)	Predicted respiratory heat generation rate(kJ/m ³ s)	Respiratory heat generation rate(kJ/m ³ s)	Predicted respiratory heat generation rate(kJ/m ³ s)
O ₂ (%)	CO ₂ (%)				
1	1	4.146 × 10 ⁻³	4.398 × 10 ⁻³	8.014 × 10 ⁻³	6.881 × 10 ⁻³
1	2	3.247 × 10 ⁻³	3.392 × 10 ⁻³	7.486 × 10 ⁻³	6.405 × 10 ⁻³
1	3	2.881 × 10 ⁻³	3.643 × 10 ⁻³	6.423 × 10 ⁻³	6.127 × 10 ⁻³
2	1	5.587 × 10 ⁻³	4.670 × 10 ⁻³	6.466 × 10 ⁻³	7.153 × 10 ⁻³
2	2	4.014 × 10 ⁻³	4.193 × 10 ⁻³	5.561 × 10 ⁻³	6.677 × 10 ⁻³
2	3	3.920 × 10 ⁻³	3.915 × 10 ⁻³	7.199 × 10 ⁻³	6.398 × 10 ⁻³
3	1	5.168 × 10 ⁻³	4.941 × 10 ⁻³	7.007 × 10 ⁻³	7.425 × 10 ⁻³
3	2	5.412 × 10 ⁻³	4.465 × 10 ⁻³	7.135 × 10 ⁻³	6.949 × 10 ⁻³
3	3	4.941 × 10 ⁻³	4.187 × 10 ⁻³	6.448 × 10 ⁻³	6.670 × 10 ⁻³
21	.03	1.230 × 10 ⁻²	1.224 × 10 ⁻²	1.481 × 10 ⁻²	1.472 × 10 ⁻²

Table 4. SAS correlation analysis for modelling of u.

Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under Ho : Rho = 0 / N = 20		O ₂	LO ₂ ¹⁾	EO ₂ ²⁾	SO ₂ ³⁾
U	r	0.8581	0.7785	0.8538	0.8432
	p	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
U	r	-0.6035	-0.8427	-0.3992	-0.7396
	p	0.0048	0.0001	0.0813	0.0002
U	r	0.4447	0.4447	0.4447	0.4447
	p	0.0494	0.0494	0.0494	0.0494

1) LO₂ means log(O₂)

2) EO₂ means exp(O₂)

3) SO₂ means sqrt(O₂)

Table 5. SAS analysis of variance for modelling of u.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Squares	F Value	Prob>F
Model	3	0.0002	0.0001	95.202	0.0001
Error	16	0.0000	0.0000		
C Total	19	0.0002			
	Root MSE	0.0007	R-square	0.9470	
	Dep Mean	0.0064	Adj R-sq	0.9370	
	C.V.	11.2232			

Parameter estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob> T
B0(INTE)	1	-0.7638	0.0996	-7.669	0.0001
B1(O2)	1	0.0003	0.0001	3.433	0.0034
B2(LCO2)	1	-0.0007	0.0003	-1.964	0.0672
B3(LTEMP)	1	0.1369	0.0177	7.724	0.0001

사과는 저장온도가 증가함에 따라 호흡의 절대량 (Table 2)도 증가하지만, Fig. 4에서 볼 수 있듯이 상대호흡속도 역시 같은 경향으로 증가하였다.

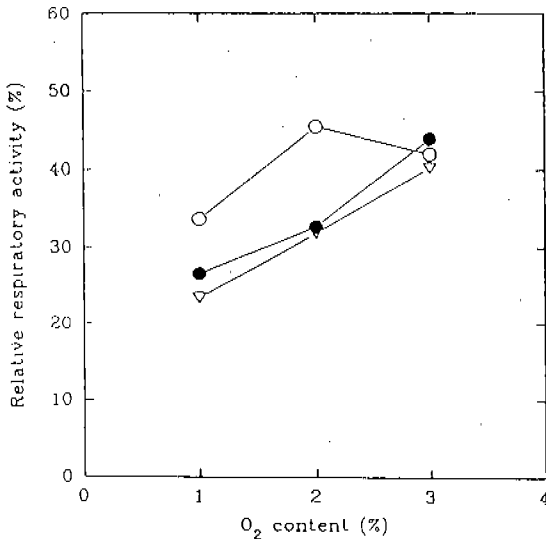


Fig. 2. Changes of relative respiratory activity with O₂ content.

- : CO₂ 1%
- : CO₂ 2%
- ▽ : CO₂ 3%

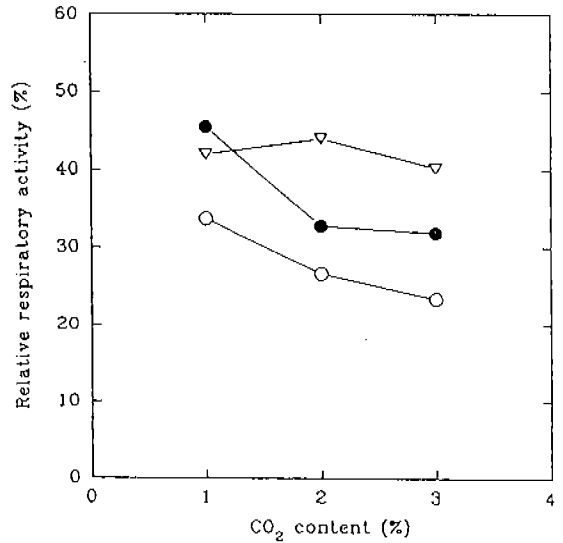


Fig. 3. Changes of relative respiratory activity with CO₂ content.

- : O₂ 1%
- : O₂ 2%
- ▽ : O₂ 3%

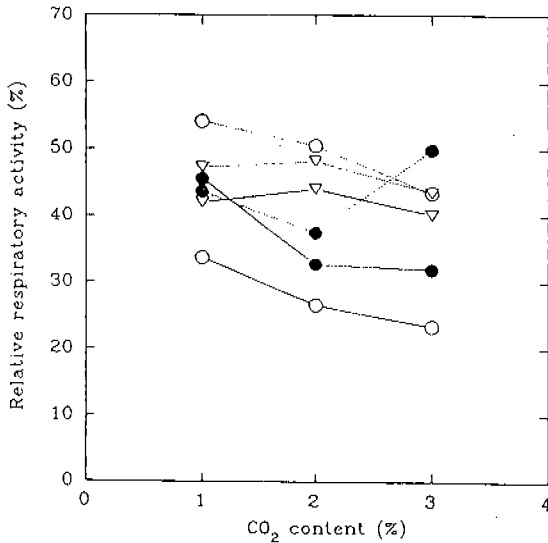


Fig. 4. Changes of relative respiratory activity with storage temperature.

- : O₂ 1%
- : O₂ 2%
- ▽ : O₂ 3%
- 273.15K
- - - - - 278.15K

사과의 기타 특성값

사과의 부피(Vol, cm³)와 중량(Wt, g)과의 관계식은 $Vol = 1.991 \times Wt^{0.895}$ 으로 나타나, 이 식을 이용하여 측정이 번거로운 사과의 부피를 중량으로부터 쉽게 환산할 수 있었다.

요 약

ULO 저장을 해석하는데 중요한 자료가 되는 저장 대기의 기체조성에 따른 호흡속도의 변화는 GC를 이용하여 측정하였다. 사과 Fuji의 호흡속도 및 호흡열량은 일반저온저장이 ULO 저장에 비하여 2배 이상으로 높게 나타났으며, ULO 저장에서는 저장대기 중 O₂ 농도가 높을 수록, CO₂ 농도는 낮을 수록 높았다. 전체의 저장조건에서 사과 Fuji의 호흡열량은 온도와 O₂ 및 CO₂ 농도에 대해서 $u = -0.7638 + 0.$

$0003 \times O_2 - 0.0007 \times \log(CO_2) + 0.1369 \times \log(T_s)$ 의 함수로 나타낼 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Adel, A. K. (1980) Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres, Food Technol., March, 51~54.
2. David, R. D. (1988) New CA storage equipment for atmosphere generation and carbon dioxide removal, New York state horticultural society annual meeting, pp.1~12.
3. 農村漁村 文化 協會 : 野菜 園藝 大百科-15, 共通技術 先端 技術, pp.290~292.
4. 加藤 薫 (1979) 가스저장(CA저장) 設備と方法, 冷凍空調技術, 30(347), 52~64.
5. 橘谷降之 (1979) CA저장の方法, 冷凍空調技術, 30(347), 65~76.
6. Gorini, F. : Development of controlled atmosphere storage of fruit and vegetables, Istituto Sperimentale Valorizzazione Prodotti Agricoli Milano Italia.
7. 강준수, 서명교, 박재호, 정신교, 정현식, 최종욱 (1994) 마이크로컴퓨터 시스템을 이용한 CA 저장 중 사과의 증산속도 측정, 한국농산물저장유통학회지, 1(1), 37.
8. Alique, R. and J. L. De La Plaza (1982) Dynamic controlled atmosphere for apple storage. I. I. F.-I. I. R.-Commissions B2, C2, and D1, 342~349.
9. Bohling, H. and H. Hansen (1983) Respiration of apples during storage as a function of different atmospheres and temperatures. Acta Hortic., 138, 93~105.
10. Smith, W. H. (1933) Evaporation of water from apples in relation to temperature and atmospheric humidity. Ann. Appl. Biol., 20, 220~235.
11. Andrich, G., R. Fiorentini, A. Zinnai and G. Sommovigo (1991) A tentative model to describe the respiration of stored apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 116(3), 478~481.