

CA저장 기체조성에 따른 사과 Fuji의 증산속도

강준수 · 정헌식* · 최종욱**

동의공업대학 식품생명과학과, *경북대학교 농산물가공저장유통기술연구소, **경북대학교 식품공학과

Effects of Storage Gas Concentrations on the Transpiration Rate of Fuji Apple during CA Storage

Junsoo Kang, Hun-Sik Chung and Jong-Uck Choi**

Department of Food and Biotechnology, Dongeui Institute of Technology(DIT), Busan 614-715, Korea

*Postharvest Technology Institute, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

**Department of Food Science & Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

A transpiration model was selected and tested experimentally to predict transpiration rate of Fuji apple stored in a normal air and controlled atmospheres (1~3% O₂ + 1~3% CO₂) at 0°C and 98% RH for 6weeks. CA storage decreased the respiration rate of Fuji apple by 50% when compared with normal air storage. The transpiration rates of apple showed 50~70% higher in normal air storage than those in CA storage and were decreased by increasing CO₂ concentration under same concentration of O₂. The transpiration rates estimated by the selected model were in good agreement with experimental data for Fuji apples under controlled atmosphere conditions and normal air. When the respiratory heat generation rate u of Fuji apple increased with storage conditions, the evaporating surface temperature and transpiration rate also increased. But since some portion of respiratory heat was used as latent heat in the evaporating surface, the change of u value had a little effect on the determination of the evaporation temperature and the transpiration rate.

Key words : Fuji apple, CA storage, transpiration rate, gas concentration

서 론

사과의 CA저장에 관한 연구는 저장조건, 저장 중 온도, 산도, 관능적 품질의 변화, 내부갈변, 과육의 연화, scald, off flavor 등 저장조건과 저장 중 화학적 품질변화에 대하여 주로 진행되어 왔다(1-6). 그러나 CA저장 중 사과 품질열화의 중요한 원인인 증산에 관한 연구는 많이 수행되지 않고 있는 실정이다.

대부분의 과실과 채소는 증산작용에 의해서 가식중량이 줄어들 뿐만 아니라 시들고 외관이 나빠지며, flavor 및 texture가 저하되는 등 심한 품질의 열화가 일어난다(7-8). 따라서 저장 중 과실과 채소의 증산에 의한 감량을 줄이는 것은 매우 중요하며 이를 위해서 증산에 관련된 제반지식을 이해하는 것이 필수적으로 요구된다. 또한 증산 기작의 정확한 이해는 새로운 저장 및 수송장치를 개발하고 기존의

설비를 향상시키는 데에도 크게 도움을 준다.

증산속도에 영향을 미치는 인자인 저장실내의 온도, 습도, 풍속, 과실과 채소 표면의 구조, 호흡속도, 속도 등에 관한 연구는 Sastry 등(8)과 Gaffney 등(9)에 의해서, 증산속도에 대한 껍질의 생물리학적 특성(biophysical properties)의 영향에 관한 연구는 Pieniazek(10) 와 Fockens 등(11)에 의해서 수행되었다. 또한 저장 중 증산속도를 예측하기 위하여 몇몇 사람들이 모델을 제시하였다. Hayakawa(12)는 예냉 중 이상적인 과채류의 증산속도를 예측하였으며, Chau 등(13)은 증산에 의해서 야기되는 증발냉각 효과와 복사전열 및 호흡열을 고려한 상태에서 과채류의 물질 및 열전달현상을 예측하는 모델을 개발하였다. Sastry와 Buffington(7)은 토마토의 증산속도를 예측할 수 있는 식을 제시하였다. 또한 강 등(22)은 농산물과 저장 대기의 열 및 물질 수지를 이용하여 간단하게 저장 중 증산 속도를 예측할 수 있는 모델을 제안하였다.

본 연구에서는 CA저장조건에서 사과 Fuji의 증산속도를 예측할 수 있는 수학적 모델을 설정하고 이를 확인하기 위한 실험을 수행하여 CA저장 기체조성이 증산속도에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였다.

Corresponding author : Junsoo Kang, Faculty of Dongeui Institute of Technology, San 72, yangjung-dong, Busanjin-gu, Busan 614-715, Korea
E-mail : jskang@dit.ac.kr

이론

CA저장 중 사과 Fuji의 증산속도를 예측하기 위한 모델은 토마토의 증산속도를 예측하기 위하여 제시한 모델을 근거로 수립하였다. 사과 내부의 수분은 호흡열 등에 의해서 사과 껍질 아래에 있는 증발표면에서 증발한 후 사과 껍질에 있는 기공을 통하여 Fig. 1과 같이 외부로 이동되어 증산되며, 이 때 열전달과 물질전달은 모두 정상상태로 일어난다고 가정하였다. 증발표면에서 증발된 수증기는 확산에 의해서 길이 τ 인 기공을 통해서 증산되므로 기공의 단위 면적당 사과의 증산속도 m_p 는 식(1)과 같이 쓸 수 있게 된다. 또한 기공 양단의 수증기압 구배를 구동력으로 기공을 통하여 사과 껍질의 표면에 도달한 수증기는 대류에 의하여 저장대기로 이동되므로 증산속도 식과 수증기에 대한 물질수지 식을 조합하면 식(2)와 같이 된다. 이 식(2)를 이용하여 CA저장 중 사과 Fuji의 증산속도를 예측하였다(7).

$$m_p = - \frac{D_{AB} dP(\tau)}{R T d\tau} \dots\dots\dots (1)$$

$$m_p = \frac{(P_s - P_e)}{R T (\tau / D_{AB} + \phi / h_d)} \dots\dots\dots (2)$$

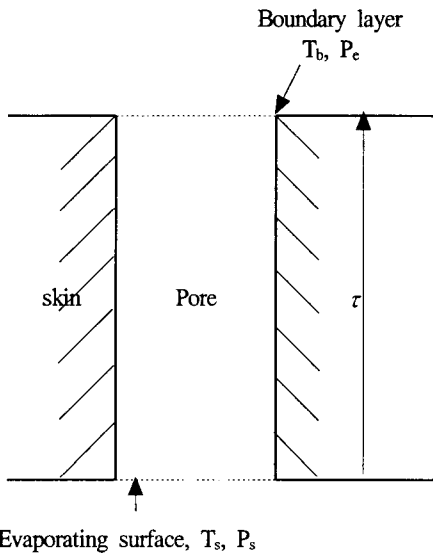


Fig. 1. Model of the idealized pore region in apple

그런데 식 (2)에서 증산속도 m_p 를 구하기 위해서는 저장 환경의 수증기압 P_e , 증발표면의 수증기압 P_s , 사과 전체 표면적에 대한 기공 면적의 비인 ϕ , 그리고 저장대기온도 T , 공기 중 수증기의 확산계수 D_{AB} , 이상기체상수 R 및 대류 물질전달계수 h_d 를 알아야 한다. 저장환경의 수증기압과 증발표면의 수증기압은 저장환경의 온도와 증발표면의 온도를 알면 습윤도표 식으로부터 구할 수 있다(14). 또한 저장대기 및 수증기의 특성값 역시 쉽게 구할 수 있으나, 증발표면은

과육과 껍질 사이의 경계면에 해당하므로 실제로 증발표면의 온도를 측정하기는 불가능하므로 이론적으로 예측하였다. 사과내부에서 공급되는 호흡열량 u 와 기공(열전도도 k_s)을 통해서 온도 T_b 인 저장대기로부터 유입되는 열량이 증발표면에서 증발잠열 L 로 소비되므로 증발표면에 대해서 식 (3)과 같이 에너지수지 식을 세울 수 있다.

$$k_s \frac{d^2T}{d\tau^2} - C_p m_p \frac{dT}{d\tau} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

B. C. 1 : $T(\tau) = T_b$

B. C. 2 : $k_s dT(0) / d\tau = L m_p - u R / 3\phi$

그러나 식(3)에서 T_s 와 m_p 및 ϕ 는 서로 상호의 함수이므로 수치해석적 방법을 사용하여 각 값을 구하였다.

재료 및 방법

재료

경북 안동군 소재 농원에서 수확한 Fuji사과 중 외관이 건전한 중과를 선별하여 0℃의 저장고에서 30일간 저장한 후 실험의 공시재료로 사용하였다.

실험 조건

본 연구에서는 일반적으로 사과 Fuji의 CA저장조건인 O₂ 농도 1.3%, CO₂ 농도 1.3% 범위와 온도 0℃, 상대습도 98%, 저장고 내부 공기유속 0.25 m/s를 실험조건으로 설정하였다.

실험 장치

본 실험에 사용한 CA저장 system은 Fig. 2와 같이 gas control system, data acquisition system, 그리고 CA storage chamber로 구성하였다. Gas control system은 nitrogen generator(Bonomi System, Fruit Control Co., Italy), paramagnetic O₂ analyzer(Model 655, Fruit control Co., Italy)와 infrared CO₂ analyzer(Model SS305, Fruitcontrol Co., Italy)로 구성하였다. CA storage chamber(0.75m×0.45m×0.38m)는 두께 3 mm의 아크릴 판으로 제작하여 온도가 조절되는 walk-in room내에 두었다. 저장고 내부의 온, 습도는 k type 열전대 온도계와 습도센서(PQ653JA1, Shinyoung, Japan)를 이용하여 각각 측정하였으며, 저장 중 사과의 증량감소는 miniature load cell(LM-A-L, Kyowa, Japan)로 무게변환기를 제작하여 data acquisition system을 통하여 측정하였다.

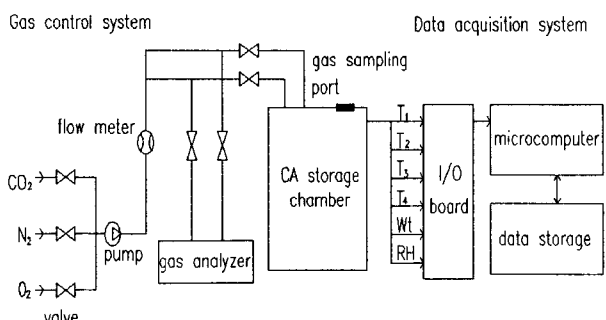


Fig. 2. Schematic diagram of measuring transpiration rate for Fuji apples stored in normal air and controlled atmosphere.

사과의 특성값

CA storage chamber내에 설치한 무게측정용 변환기의 tray 위에 6 개의 사과를 서로 접촉하지 않도록 얹고 마이크로컴퓨터 시스템을 이용하여 1 시간 간격으로 자동 측정하여 4 회 평균한 값을 저장 중 사과 Fuji의 증량감소의 자료로 이용하였다. CO₂ 방출량은 사과를 저장한 CA storage chamber의 기체를 일정한 간격으로 3 mL씩 취하여 GC(Pyecom 304, UK)를 이용하여 구했다. 이 때 사용한 칼럼은 Porapak Q, 검출기는 TCD, 그리고 칼럼과 검출기 온도는 각각 115°C와 152°C이었다. 호흡열은 사과내부의 6탄당이 완전히 H₂O와 CO₂로 분해된다고 가정하고 사과의 CO₂ 방출량으로부터 구했다. 사과 껍질의 두께는 현미경(Olympus CH20-BIM, Japan)으로 직접 측정하였다. 증산속도는 단위표면적 당 수분손실속도로 정의되므로 증량감소량과 표면적으로부터 구했다.

저장대기의 특성값

저장환경의 수증기압은 저장환경의 온·습도와 습윤도표 관계식으로부터 구했다(14). 저장온도 T_b에서 과일의 증발표면에서 물이 증발될 때 필요한 증발잠열 L은 아래의 식으로 계산했다(15). 수증기의 비열 C_p는 이상기체에 대해 제시된 값을 본 연구에 맞도록 변형시켜 사용하였다(16). 공기 중 수증기의 확산계수 D_{AB}는 Fuller 등이 제안한 식으로부터 구했다(17). 사과표면 부위의 대류 물질전달계수 h_d는 Geankoplis가 제안한 식으로 구했다(18). 기공의 열전도도와 저장대기의 기타 특성값은 문헌의 값을 인용하였다(7,19).

$$L = 3145.648 - 2.3647 T_b \dots \dots \dots (4)$$

$$C_p = 1.79 + 1.07 \times 10^{-4} T_b + 5.85 \times 10^{-7} T_b^2 - 1.99 \times 10^{-10} T_b^3 \dots \dots \dots (5)$$

$$D_{AB} = \frac{1.00 \times 10^{-7} T_b^{1.75} (1 / M_A + 1 / M_b)^{1/2}}{P [(\Delta V_A)^{1/3} + (\Delta V_B)^{1/3}]^2} \dots \dots \dots (6)$$

$$h_d = (2 + 0.371 Re^{0.6} Sc^{0.33}) D / D_{AB} \dots \dots \dots (7)$$

결과 및 고찰

사과의 특성값

본 연구를 위하여 구한 사과의 부피(Vol, cm³)와 증량(Wt, g)과의 관계식은 Vol = 1.991x Wt^{0.8935}으로 나타났으며, 표면적(S,cm²)과 증량과의 관계는 S = 128.501 + 0.415xWt (r²=0.9926)으로 나타났다. 사과의 표면적을 측정하기 위해서는 사과의 껍질을 얇게 깎아서 각각의 면적을 직접 구해야 하는 어려움이 있다. 그러나 이 연구 결과에서 얻은 식을 이용하면 사과의 증량을 측정하여 부피로 쉽게 환산할 수 있게 된다. 또한 본 연구에서 시료로 사용한 사과의 평균직경(횡축)은 9.08±0.37 cm이었으며 사과껍질의 평균 두께는 57.5±12.7 μm이었다.

저장대기의 특성값

온도 0°C, 상대습도 98%, 공기 유속 0.25 m/s의 CA저장고에 사과 Fuji를 저장할 때 저장고 내부 공기 및 수증기의 특성값과 사과 기공의 특성값은 Table 1에 나타난 것과 같았다.

Table 1. Air and water vapor properties at T_b= 0°C, V = 0.25m/s, RH = 98%

	Property	Symbol	Unit	Value
Air	Density	ρ	kg/m ³	1.301
	Thermal conductivity	k _a	kW/mK	2.380×10 ⁻⁵
	Viscosity	μ	kg/ms	1.721×10 ⁻⁵
	Reynolds number	Re		1.600×10 ³
	Schmidt number	Sc		0.590
Water vapor	Convective mass transfer coefficient	h _d	m/s	6.727×10 ⁻³
	Environmental vapor pressure	P _e	kPa	0.585
	Latent heat of vaporization	L	kJ/kg	2.499×10 ³
	Molecular diffusivity	D _{AB}	m ² /s	2.249×10 ⁻⁵
	Specific heat	C _p	kJ/kgK	1.859
	Thermal conductivity in pore	k _s	kW/mK	1.927×10 ⁻⁴

호흡열량

CA 및 일반대기저장 중 사과 Fuji의 호흡속도와 호흡열량 값을 Table 2에 나타내었다. CA저장에서의 호흡속도는 0°C 및 5°C에서 각각 1.44~2.06와 2.05~2.95 mgCO₂/kg/h이었으며 일반대기저장에서는 4.52 및 5.45 mgCO₂/kg/h로 나타나 CA저장을 하면 사과의 호흡속도를 일반저장에 비하여 50% 이하로 저하됨을 알 수 있었다. 일반적으로 같은 대기 조성에서는 저장온도가 높아지면 호흡속도도 따라서 증가하

였으며, 호흡열량 역시 호흡속도와 같은 경향으로 변화하였다. 이 결과는 사과와 호흡속도는 저장환경과 품종에 따라서 차이를 보이거나 사과를 5°C에서 저장하면 호흡속도는 대개 5~10 mgCO₂/kg/h로 다른 과채류에 비해서 낮은 값을 나타낸다는 연구 결과와 일치하고 있다(23). 또한 이 결과는 사과를 O₂ 1~4 %, CO₂ 2~5 %의 CA저장조건과 1~3.5 °C에서 저장하면 CA저장한 사과와 호흡속도는 품종에 관계없이 일반 대기에서 저온 저장한 것에 비해서 60~70% 정도 감소하며, 같은 품종의 사과인 경우는 저장온도가 높아질수록 호흡속도 역시 높아진다는 기존의 연구보고 내용(21)과도 일치하였다. 따라서 CA저장 중 사과와 호흡속도에 대한 본 연구 결과를 CA저장 중 사과의 증산속도를 예측하는데 사용할 수 있었다. 또한 이 결과에서 CA저장 중 사과와 호흡속도는 일반적으로 저장대기 중 산소 농도가 일정하면 이산화탄소의 농도에 반비례하며, 이산화탄소 농도가 일정할 경우는 산소 농도에 비례함을 알 수 있었다.

Table 2. Respiration rate and respiratory heat generation rate of Fuji apple in normal air and controlled atmosphere

Gas concentration (O ₂ +CO ₂ %)	Respiration rate (mgCO ₂ /kg/h)		Respiratory heat generation rate(X10 ³) (kJ/cm ³ /h)	
	0°C	5°C	0°C	5°C
1 + 1	1.53	2.95	1.49	2.88
1 + 2	1.20	2.75	1.17	2.70
1 + 3	1.06	2.36	1.04	2.31
2 + 1	2.06	2.38	2.01	2.33
2 + 2	1.48	2.05	1.44	2.00
2 + 3	1.44	2.72	1.05	2.59
3 + 1	1.90	2.58	1.86	2.52
3 + 2	1.99	2.63	1.95	2.57
3 + 3	1.82	2.37	1.78	2.32
Air	4.52	5.45	4.43	5.33

저장 기체조성에 따른 사과 Fuji의 증산속도

사과 Fuji를 0°C, 상대습도 98%, 공기유속 0.25 m/s의 저장고에서 6주 동안 CA 및 일반저온 저장했을 때 저장기체조성에 따른 증산속도의 평균 측정값과 본 연구에서 채택한 모델 식 (1)~(3)을 수치해석적 방법으로 풀어서 예측한 값을 Fig. 3에 나타내었다. 사과 Fuji의 증산속도 측정값은 O₂ 농도 2 %, CO₂ 농도 1~3 %의 CA저장조건에서는 8.4~10.0×10³ mgH₂O/cm²/h이었으며 일반 저온저장의 경우는 14.7×10³ mgH₂O/cm²/h으로 나타나, 같은 저장온도에서 일반저온 저장에서의 증산속도가 CA저장에 비해서 약 50~70% 정도 높았다. 또한 일정한 산소농도의 CA저장에서는 저장대기 중 이산화탄소 농도가 높아질수록 증산속도는 낮게 나타났다. 같은 저장조건에서 본 연구에서 채택한 수학적 모델로 예측한 증산속도는 CA저장의 경우는 9.2~10.0×10³ mgH₂O/cm²/h, 일반저온저장에서는 13.9×10³ mgH₂O/cm²/h로 각각 나타나

측정한 증산속도와 유사한 값을 나타내 본 연구에서 설정한 모델로 CA저장 중 저장기체 조성에 따른 사과 Fuji의 증산속도를 잘 예측할 수 있었다. Lentz와 Rooke(20)의 보고에 따르면 사과를 0 °C에서 저장했을 때 품종에 따른 사과의 증산속도는 Bramley's seedling 8.23×10³ mgH₂O/cm²/h, Golden Delicious 22.3×10³ mgH₂O/cm²/h, Yellow bellflower 4.94×10³ mgH₂O/cm²/h의 값을 나타낸다. 이 결과는 본 연구에서 측정하고 예측한 결과와 유사했으며, 약간의 차이를 보이는 것은 품종, 저장온도 및 습도, 저장환경의 기체조성 등 실험 조건의 차이에서 기인하는 것으로 볼 수 있다.

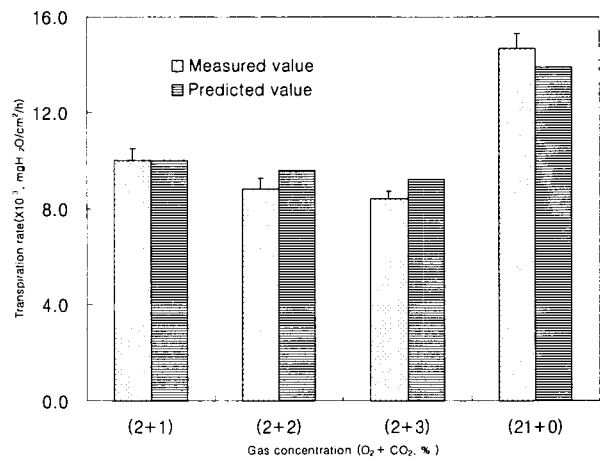


Fig. 3. Comparison between experimental and predicted transpiration rate for Fuji apples stored in normal air and controlled atmosphere at 0°C and relative humidity of 98%.

증산속도에 대한 호흡열량의 영향

사과 Fuji를 CA 및 일반저온에서 저장하였을 때 사과와 호흡열량에 따른 증산속도의 측정값과 예측치를 Fig. 4에 나타내었다. 사과와 증산속도는 호흡열량에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었으며, 본 연구에서 채택한 모델로 예측한 값과 실측치가 거의 같은 값을 나타내었다. 일반적으로 일정한 저장조건에서 호흡에 의해서 사과내부에서 호흡열이 발생하게 되면 사과내부에서 수분이 증발되는 증발표면의 온도가 상승하게 되고, 이에 따라서 증발된 수증기의 이동 통로인 사과와 기공양단의 수증기압 차이와 증산속도는 증가하게 된다.

그러나 CA저장 중 사과 Fuji의 호흡열량의 증가에 대한 증산속도의 증가폭은 그다지 크지 않게 나타났다. 본 연구에서 사과 Fuji의 증발표면의 온도는 식 (3)을 수치해석적으로 풀어서 구하였는데, 이 때 증발표면의 온도는 $T_s = T - \beta (Lm_p - uR/3\phi) / \Delta \tau / C_p / T_b$ 의 식으로 나타내어지게 된다. 이 식에서 호흡열량 u 가 증가하면 증발표면의 온도가 증가하게 되고 이에 따라서 증발표면의 수증기압이 커지게 되어 증산의 구동력인 기공양단의 수증기압 차이가 커지게 된다. 따라서

기공의 단위면적 당 증산속도 및 전체의 증산속도가 증가하게 된다. 그런데 호흡열량이 증가하게 되면 이에 따라서 증발표면의 온도가 상승하여 사과내부에서의 수분증발속도가 증가하게 되는데, 이 결과로 증발잠열 L 역시 많이 소요되게 되므로 증발속도 계산식에서 u 값의 변화는 T_s 값의 결정에 크게는 영향을 주지 못하게 된다. 따라서 CA저장 중 사과 Fuji의 증산속도의 증가는 호흡열량의 증가폭에 미치지 못하는 결과가 된다. 이와 같은 현상은 예냉 과정 중 과채류를 이상적인 구형으로 가정하고, 과채류에서 열 및 물질전달현상을 simulation한 연구 결과와도 일치한다(12).

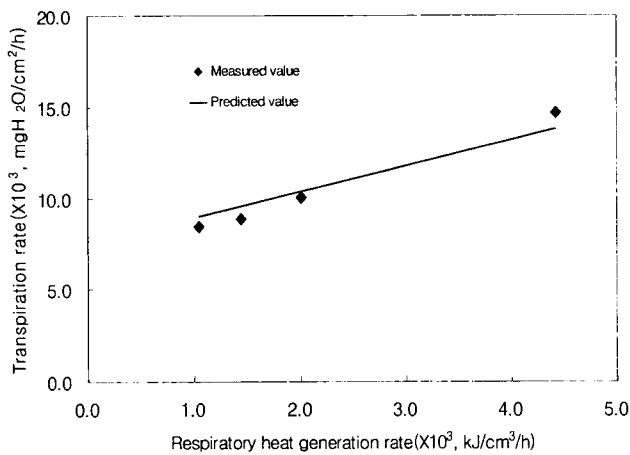


Fig. 3. Effect of respiratory heat generation rate on transpiration rate for Fuji apples stored in normal air and controlled atmosphere at 0°C and relative humidity of 98%.

요 약

CA저장 중 저장기체 조성에 따른 사과 Fuji의 증산속도를 측정하고, 같은 조건에서 증산속도를 예측하기 위한 수학적 모델을 설정하여 증산속도를 예측하였다. 온도 0°C, 상대습도 98%, 공기 유속 0.25 m/s의 저장조건에서 6주 동안 CA저장하였을 때 사과 Fuji의 호흡속도는 일반저온저장에 비하여 50%이하로 낮출 수 있었다. 같은 저장조건에서 일반저온저장에서의 사과의 증산속도가 CA저장에 비하여 50~70% 높았으며, 일정한 산소농도의 CA저장에서는 저장기체 중 이산화탄소농도가 높을수록 증산속도는 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 채택한 모델로 예측한 증산속도는 실측치와 유사한 값을 나타내어 본 연구에서 채택한 모델로 CA저장 중 저장기체 조성에 따른 사과 Fuji의 증산속도를 잘 예측할 수 있었다. 사과의 증산속도는 호흡열량에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었으나 증산속도의 증가폭은 호흡열량의 증가폭에 미치지 못하였다. 이는 호흡열량이 증가하면 사과의 증발표면의 온도가 높아져서 증산속도가 커질 수 있

게 되지만, 증산속도의 증가에 따른 증발잠열의 증가가 증발표면의 온도를 미세하게 낮추어 주므로 일어나는 현상으로 볼 수 있다.

감사의 글

본 논문은 2001년 동의공업대학 학술연구비에 의하여 수행된 연구결과이며 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Dewey, D.H. (1983) Development in food preservation-2, Applied science publishers, p.1-24
2. Kader, A.A. (1981) Modified atmospheres and low pressure systems during transit and storage. U.C. Davis Plant science 196 Syllabus : 10-1-10-10.
3. Lau, O.L. and Looney, N.E.(1982) J. Amer. Soc. Hort. Sci., 107, 531-534
4. Lidster, P.D. McRae, K.B. and Sanford, K.A. (1981) Responses of "McIntosh" apples to low oxygen storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 106, 159-162
5. Kajiura, I. (1972) Effects of gas concentration on fruits. VI .Effects of carbon dioxide concentrations on 'Jonathan' and 'Ralls' apple fruits. Jap. J. Hort. Sci., 41, 301-311
6. Meheriuk, M. and Porritt, S.W. (1971) Controlled atmosphere storage behavior of a spur and standard type red delicious apple. Can. J. Plant Sci., 51, 246-248
7. Sastry, S.K. and Buffington, D.E. (1982) Transpiration rate of stored perishable commodities. (A mathematical model and experiments on Tomatoes.) ASHRAE Transactions, 88, 159
8. Sastry, S.K., Baird, C.D. and Buffington, D.E. (1978) Transpiration rates of certain fruits and vegetables. ASHRAE Transactions, 84, 237-255
9. Gaffney, J.J., Baird, C.D. and Chau, K.V. (1985) Influence of air flow rate, respiration, evaporating cooling, and other factors affecting weight loss calculations for fruits and vegetables. ASHRAE Transactions, 91, 690
10. Pieniazek, S.A. (1944) Physical characters of the skin in relation to apple fruit transpiration. Plant physiology, 19, 529-536
11. Fockens, F.H. and Meffert, H.F. (1972) Biophysical properties of horticultural products as related to loss of moisture during cooling down, J. Sci. Fd Agric., 23,

- 285-298
12. Hayakaya, K. I. (1978) Computerized simulation for heat transfer and moisture loss from an idealized fresh produce. Transactions of the ASAE, 1015-1024
 13. Chau, K.V., Gaffney, J.J. and Bellagha, S. (1984) Simulation of heat transfer in products with internal heat generation and transpiration. ASAE paper, 84-6513, 1-12.
 14. Oteh, U.U. and Zachariah, K.P. (1985) Psychrometry, a microcomputer approach, International J. of Refrig., 8, 246-248
 15. Lee, R.E. and Roger, E.G. (1981) Atmospheric pressure effect on vapor pressure deficit and potential moisture loss from horticultural commodities. Transactions of the ASAE, 24, 252
 16. Yunus, A.C. and Michael, A.B. (1989) Thermodynamics, McGraw-Hill book company, p.765
 17. Geankoplis, C.J. (1978) Transport processes and unit operations, Allyn and Bacon Inc., p275-276
 18. Geankoplis, C.J. (1972) Mass transport phenomena, Holt Rinehart and winston, Inc., p290
 19. Batty, J.C. and Steven, L.F. (1983) Food engineering fundamentals, John Wiley and Sons, p279-282
 20. Lentz, C.P. and Rooke, E.A. (1964) Rate of moisture loss of apples under refrigerated storage conditions. Food Technol., 18, 119-121
 21. Bohling, H. and Hansen, H. (1983) Respiration of apples during storage as a function of different atmospheres and temperatures. Acta Horticulure, 138, 93-105
 22. Kang, J.S. and Lee, D.S. (1998) A kinetic model for transpiration of fresh produce in a controlled atmosphere. J. of Food Engineering, 35, 65-73
 23. Kader, A.A. (1992) Postharvest technology of horticultural crops, University of California, p15

(접수 2002년 5월 30일)