

저장감귤에서의 과피 두께와 품질변화간의 상관관계

한규홍 · 김병용[†]

경희대학교 식품공학과

The Correlation Between Quality Changes and Skin Thickness of the Stored Citrus Fruit

Gyu-Hong Han and Byung-Yong Kim[†]

Dept. of Food Science and Technology, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

Abstract

The storage time of citrus fruit at two different storage temperatures was predicted by quality changes such as weight loss, %Brix and skin thickness. The less weight loss of citrus fruits during storage at 3°C was observed, compared to those stored at 25°C, whereas %Brix of citrus fruits increased slightly without any difference between storage temperatures. Skin thickness of fruit, represented by pixel, also changed more rapidly at the higher storage temperature. Above parameters with a storage time followed the 0 order reaction pattern. The relationship of skin thickness and storage time of the citrus fruit were resolved to a simple linear equation, and storage time could be predicted using this equation.

Key words: citrus fruit, quality change and skin thickness

서 론

주로 제주도에서 동절기에 생산되고 있는 감귤류는 과실의 크기, 과실 중량 및 과피 두께와 같은 외적 품질 특성(1)과, 당, 산, 비타민 C 함량이나 관능적 특성과 같은 내적 품질 특성(2,3)으로 그 품질이 평가되고 있다. 그러나 감귤류의 불규칙한 외부구조와 heterogeneous한 내부구조로 인해 품질변화를 조절하고 예측하기가 어려운 까닭에, 저장 중의 감귤류의 품질변화와 그 저장기간 예측에 관한 연구는 많은 연구가 수행되고 있지 않은 실정이다.

최근 식품산업에서는 영상분석을 이용하여 식품의 선별, 등급판정 및 형상분석을 하고 있으며, 그 예로는 영상을 이용한 인삼이나 수삼의 등급판정(4,5), 사과 숙성 및 고기 등급 판정(6), 오이의 선별 및 등급판정(7), 계란 표면의 결함 검출(8) 등이 있다. 또한 압출성형된 다공질 식품의 물성특징(9), 액상식품의 공정 중에 물성변화(10), 감자의 동결건조 중에 물성변화(11), 제조공정 중의 제빵이나 비스킷의 물성변화(12) 등과 같은 식품의 물성특징에도 영상연구기법이 적용되고 있다. 일반적인 영상분석 과정은 영상을 아날로그 카메라를 사용하여 촬영한 후 컴퓨터로 전송하여 컴퓨터 내의 영상보드를 이용하여 디지털화시킨 후에 영상분석 프로그램을 이용하여 분석을 한다(6).

본 연구에서는 저장동안 감귤류의 품질변화를 측정하고

영상을 이용하여 저장 중의 감귤류 외피의 두께변화를 측정하여 품질인자와 외피의 상호관계를 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 감귤류는 제주도에서 3월경에 재배한 감귤(*C. natsudaidai* Havata)로서, 구입한 시료들을 실온(25°C)과 저온(3°C)의 항온기에서 15일간 저장하였고 각각 3일 단위로 품질변화를 측정하였다.

당도 및 중량 특성 측정

서로 다른 저장온도의 항온기에 저장한 감귤들을 3일 단위로 중량변화를 측정하였고, 감귤에서 착즙한 시료(5 mL)의 당도변화(%Brix)는 당도계를 이용하여 측정하였다.

과피의 두께 측정

서로 다른 저장온도에서 저장한 시료를 절단한 후 그 단면을 digital 카메라(Nikon, COOLPIX 900, Japan)를 이용하여 촬영하였다. 촬영한 영상을 컴퓨터에 전송한 후 UTHSCA Image Tool을 사용해서 과피의 전단면의 두께변화를 구하였다(Fig. 1). Digital camera에서 image quality(해상도)를 결정하였고 일정한 normal mode(1280×960)와 확대배수(3X)에서 촬영을 하였다. 과피의 두께 측정은 한 시료 당 10번을

[†]Corresponding author. E-mail: bykim@khu.ac.kr
Phone: 82-31-201-2627, Fax: 82-31-202-0540

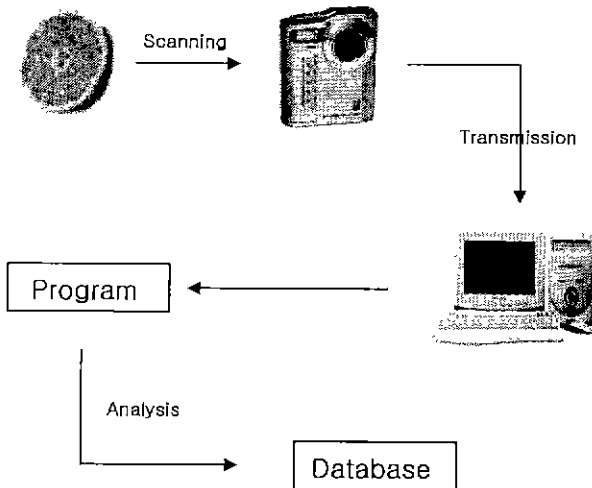


Fig. 1. The process of image analysis using a digital camera.

측정한 후 평균값으로 계산하였다.

반응속도와 통계처리

온도별로 과피의 두께, 당도, 중량변화를 지표로 하여 감귤의 품질 변화에 따른 저장기간을 결정하고자 하였다. 즉, 서로 다른 저장온도에서 저장한 감귤류 과피의 저장시간에 따른 두께, 당도, 중량변화를 각각 0차, 1차, 2차 반응에 적용하였고, 상관계수를 통하여 반응속도식을 검증하였다. 측정된 결과에 대한 통계처리는 Statistica(Statsoft Inc., Tulsa)를 이용하였다. 통계방법으로는 저장기간을 종속변수(dependent variable), 과피의 두께를 독립변수(independent variable)로 설정한 단순 선형 회귀법(simple linear regression)과 과피의 두께를 종속변수로 당도와 중량변화를 독립변수로 설정한 다중 선형 회귀법(multiple linear regression)을 사용하였다

결과 및 고찰

저장 중의 감귤류의 중량 및 당도 변화

저장온도에 따른 감귤류의 중량 감소변화는 Fig. 2에 나타내었다. 저온(3°C)에서의 중량변화는 초기 중량이 166.1 g에서 15일 경과 후에 중량이 162.6 g로 감소하였고, 25°C에서는 초기중량이 166.7 g에서 15일 경과 후에 154.4 g으로 감소하여 낮은 온도에서 저장하는 감귤류의 중량감소가 실온에서 저장하는 것보다 적게 일어남을 알 수 있었다. 이러한 중량감소는 감귤류의 호흡작용에 의한 성분의 변화와 과피로부터 수분이 증발하여 나타나는 현상으로, 상온저장에 비해 저온저장 감귤의 중량감소가 10% 이내 수준을 보인다고 보고한 Koh 등(1)과 본 실험은 유사하였다.

감귤류에 있어서 중요한 품질인자 중 하나인 당도변화는 Fig. 3에 나타내었다. 3°C의 저온저장에서는 초기의 10.7% Brix에서 15일 경과 후에는 11.0% Brix로 증가하였고, 25°C

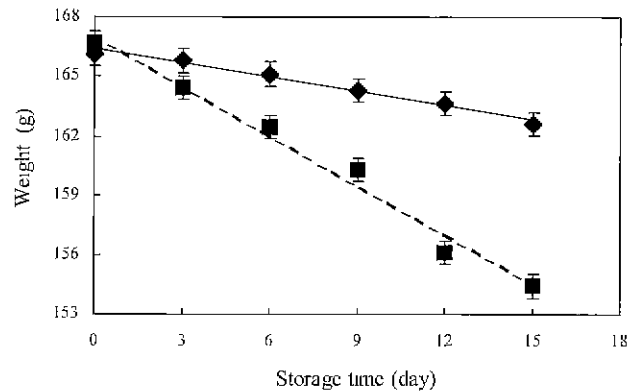


Fig. 2. Change in weight of citric fruit during 15 days at 3°C and 25°C. ◆ — 3°C, ■ ··· 25°C

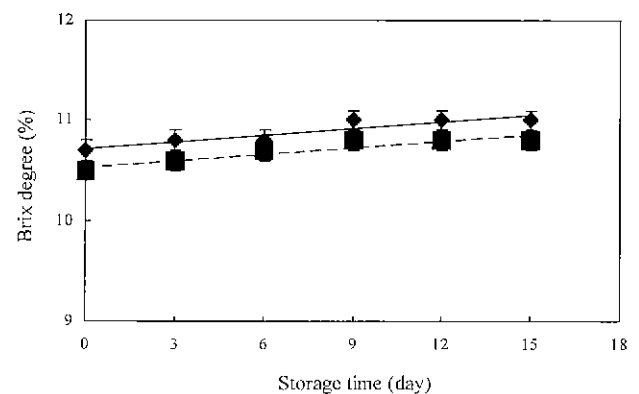


Fig. 3. Change in Brix degree of citric fruit during 15 days at 3°C and 25°C. ◆ — 3°C, ■ ··· 25°C

에서 저장한 감귤류의 경우, 초기 10.5% Brix에서 15일 경과 후에는 10.8% Brix로 증가하여 저장온도에 상관없이 당도가 약간 증가함을 보여주었고, 저장 9일 이후에는 더 이상 당도 변화가 없는 것으로 나타났다. Kang 등(13)은 귤을 10°C와 4°C에서 10일간 저장한 결과, 당도가 온도에 상관없이 10~11.5% Brix로 증가한다고 하였고, 이것은 품종, 수확기, 일조량, 저장방법 등에 따라서 달리 나타난다고 보고하였다.

과피 두께 변화와 반응속도식

감귤류의 저장 중에 과피변화의 측정된 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 3°C에서는 과피의 두께가 초기 53.33 pixel에서 15일 경과 후에는 48.24 pixel로 감소하였고, 25°C에서 저장시 초기 50.10 pixel에서 15일 경과 후에는 41.62 pixel로 감소하여, 고온에서 저장시 과피 두께의 감소가 저온에서 저장보다 급격히 일어남을 알 수 있었다.

저장 온도와 저장 기간에 따라 감귤류는 당도, 중량, 과피변화가 일정한 속도로 증가 혹은 감소하여 반응속도론적 분석이 가능하였다(14) 그리하여 중량, 당도, 과피변화를 0차, 1차, 2차 반응속도식에 적용하고, 구한 값들을 Table 1에 나타내었다.

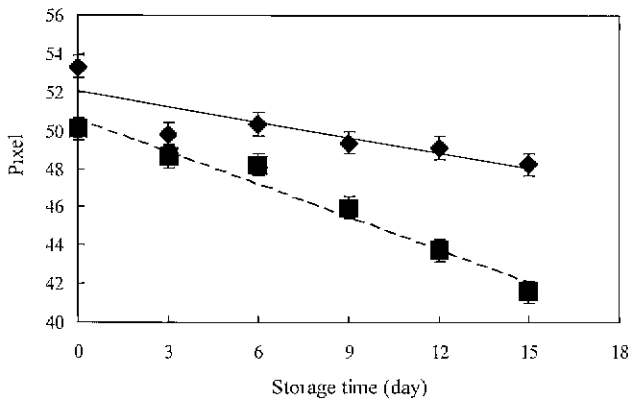


Fig. 4. Change in pixel of citric fruit during 15 days at 3°C and 25°C.

◆ — 3°C, ■ ··· 25°C

25°C에서 감귤류의 저장시의 중량변화에 있어서 상관계수를 비교해 본 결과, 0차 반응속도의 경우 상관계수가 0.9843, 1차 반응식의 경우 상관계수가 0.9826, 2차 반응식의 경우 상관계수가 0.9807을 나타내어 모든 반응식이 높은 상관계수 값을 나타내었다. 이에 분석하기 쉬운 0차 반응식을 이용하여 분석한 결과 속도상수(t)는 3°C에서 0.2358, 25°C 0.8436으로 계산되어 높은 저장온도에서 저장시 감귤류의 중량변화

Table 1. Calculated kinetic parameters of image analysis and general quality using zero, first and second order reaction rate

Quality factor	Temp.	Zero order ¹⁾	First order ²⁾	Second order ³⁾
		k	k	k
Pixel	3°C	0.2714 (0.7682) ⁴⁾	0.0054 (0.7592)	0.0001 (0.7524)
	25°C	0.5666 (0.9651)	0.0123 (0.9578)	0.0003 (0.9495)
Brix degree	3°C	-0.02 (0.8429)	-0.0018 (0.8417)	-0.0002 (0.8409)
	25°C	-0.021 (0.8643)	-0.002 (0.8634)	-0.0002 (0.8624)
Weight	3°C	0.2358 (0.9824)	0.0014 (0.9818)	8.71 × 10 ⁻⁶ (0.9811)
	25°C	0.8436 (0.9843)	0.0053 (0.9826)	3.27 × 10 ⁻⁵ (0.9807)

¹⁾Co-C = kt, ²⁾ln(-C/C₀) = -kt, ³⁾(1/C - 1/C₀) = kt

⁴⁾Parenthesis represented the r² values from linear regression analysis.

량이 4배정도 빠르게 진행됨을 보여주었다. 25°C에서 감귤류를 저장시 당도변화 역시 0차 반응곡선(상관계수=0.8643)으로 분석한 결과(Table 1), 25°C에서 저장한 감귤류의 속도상수는 -0.021, 3°C에서는 -0.02를 나타내어 유의차가 없음을 나타내었으며, 저장온도에 따른 차이가 없이 당도가 증가함을 보여주었다.

25°C 저장한 감귤류 과피의 두께변화 역시 0차 반응으로 분석한 결과(상관계수=0.9651), 속도상수는 25°C에서 0.5666, 3°C에서 0.2714으로 계산되었다. 이는 고온(25°C)에서 저장한 감귤류가 저온(3°C)에서 저장한 경우보다 더 큰 품질변화를 일으킨다는 사실을 확인하였다.

통계처리를 통한 예측모델

저장 기간동안 감귤류의 과피 두께를 측정하고, 측정된 과피 두께에 의하여 감귤류의 중량, 당도의 변화 및 저장기간을 예측하고자 저장기간, 중량, 당도를 독립변수(independent variable)로 설정하고 최적함수를 구하여 수립한 최적 함수 모델식과 상관계수 값(r²), F-value, probability를 Table 2에 나타내었다. 3°C에서 저장한 감귤류의 경우, 과피 두께와 저장기간과의 관계식이 simple linear 식으로 표현되었으며, 그 과피 두께에 따른 중량손실과 당도변화의 2차 simple linear 관계식이 제시되었다(Table 2). 따라서 image analyzer를 이용하여 측정된 과피 두께를 이용하여 그때의 중량이나 당도와 같은 과육의 quality를 알 수 있고 또한 그 과육의 저장기간도 예측할 수 있었다. 25°C에 저장한 감귤의 경우도 3°C에서 저장한 감귤류와 유사한 수학적인 식으로 표현될 수 있었으며 전반적으로 25°C에서 저장한 감귤류가 3°C에서 저장한 것 보다 높은 상관계수 값(0.965, 0.983)과 낮은 probability (0.0004, 0.002)를 가지어 예측 모델식에 대한 높은 타당성을 높여주었다(Table 2). 이러한 관계식을 기초로 하여 과피 두께에 대한 당도와 중량간의 관계를 Fig. 5과 6에 가시화 하였다. 3°C에서 저장한 감귤류의 경우 과피 두께와 당도, 두께와 중량변화에서 상관계수 값이 각각 0.736과 0.660로 나타났고, 25°C에서 저장한 감귤류의 경우 0.856과 0.990을 나타내었다.

이를 통하여 볼 때 저장 중 감귤류의 과피 두께와 그 변화량은 중량 및 당도에 상관관계가 있음을 알 수 있었다

요 약

서로 다른 온도(3°C와 25°C)에서 저장한 감귤류에서의 과

Table 2. Experimental formulation for predicting the thickness, weight, and brix degree during 15 days at 3°C, 25°C

Dependent variable		Regression	r ²	F-value	Prob.
3°C	Y ₁	-2.7632X + 145.768	0.750	12.00	0.025
	Y ₂	0.5713X ₁ - 6.0112X ₂ - 21.228	0.691	3.36	0.172
25°C	Y ₁	-1.7034X + 86.5199	0.965	110.686	0.0004
	Y ₂	0.7582X ₁ + 3.6879X ₂ - 114.954	0.983	88.91	0.002

Y₁: Storage time, X, Y₂ Thickness, X₁: Weight, X₂: Brix degree

문헌

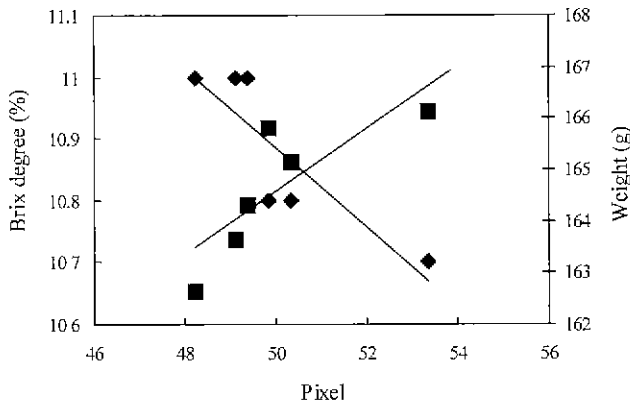


Fig. 5. Regression plot of weight loss, %Brix and Pixel of citrus fruit stored at 3°C.

◆ %Brix, ■ Weight

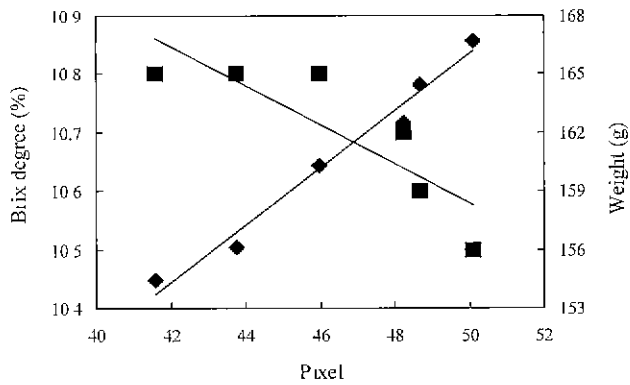


Fig. 6. Regression plot of weight loss, %Brix and Pixel of citrus fruit stored at 25°C.

◆ %Brix, ■ Weight

과 두께와 품질변화간의 상관관계를 살펴보았다. 3°C보다 25°C에서 저장한 감귤의 중량손실은 컸으나 당도(%Brix)는 저장온도에 상관없이 일정하게 증가함을 보였다. 픽셀로 표현되어지는 과육의 두께도 높은 저장온도에서 급격하게 변화됨을 보였다. 위와 같은 성분들은 시간에 따른 0차 반응속도로 분석한 결과 각 온도에서의 반응상수들이 구하여졌다. 과육의 두께를 회기선형모델에 적용한 결과, 저장기간을 예측할 수 있었고 그때의 중량감소나 당도변화가 과육 두께의 함수로 표현되어질 수 있었다.

1. Koh, J.S., Yang, Y.T., Kim, S.H. and Kim, J.Y. · Cold storage characteristics of early variety of citrus unshuu produced in Cheju with various treatments. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.*, **40**, 117-122 (1997)
2. Oh, Y.J., Hwang, I.J., Kim, C.S., Kang, S.S. and Koh, J.S. : Physicochemical characteristics and sensory evaluation of greenhouse satsuma mandarin. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.*, **40**, 313-317 (1997)
3. Yoon, C.H. : Studies on the controlled atmosphere storage of unshuu orange. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.*, **34**, 14-20 (1991)
4. Kim, C.S. and Lee, J.Y. · Computer vision system for automatic grading of ginseng-Development of image processing algorithms. *J. Korean Soc. Agric. Mach.*, **22**, 227-236 (1997)
5. Kang, J.Y., Lee, M.G. and Kim, Y.T. · Automatic decision-making on the grade of 6-year-old fresh ginseng (panax ginseng C.A. Meyer) by an image analyzer. *Korean J. Jin Sci.*, **20**, 65-71 (1996)
6. Kim, K.M., Seo, D. and Chun, J.G. : Image processing system for color analysis of food. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**, 786-789 (1996)
7. Sung, S.H. · Development of an image processing system for grading cucumber. *J. Korean Soc. Hort. Sci.*, **37**, 399-405 (1996)
8. Cho, H.G. and Kwon, Y. : Detection of surface defects in eggs using computer vision. *J. Korean Soc. Agric. Mach.*, **20**, 368-375 (1995)
9. Tan, J., Zhang, H. and Gao, X. : SEM image processing for food structure analysis. *J. Texture Studies*, **28**, 657-672 (1997)
10. McCarthy, K.L., Kerr, W.L., Kauten, R.J. and Walton, J.H. · Velocity profiles of fluid/particulate mixtures in pipe flow using MRI. *J. Food Process Eng.*, **20**, 165-177 (1997)
11. Rutledge, D.N., Rene, F., Hills, B.P. and Foucat, L. · Magnetic resonance image studies of the freeze-drying kinetics of potato. *J. Food Process Eng.*, **17**, 325-351 (1994)
12. Kim, S.C., Cho, S.I. and Chun, J.G. : Neural network modeling for bread baking process. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **27**, 525-531 (1995)
13. Kang, E.S., Kang, K.H., Cho, H.J., Choi, Y.H. and Song, E.Y. · Study on the extending of storage stability and enhancement of quality of citrus fruit. Ministry of Agriculture and Forestry Report, p1172-1177 (1996)
14. David, E. and Donald, C. : *Physical Chemistry*. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., San Francisco, p.239 (1979)

(2000년 10월 19일 접수)