

저장상대습도와 온도에 따른 통고추의 변색 및 흡습특성

김현구 · 박무현 · 신동화 · 민병용

농어촌개발공사 식품연구소

Color Changes and Sorption Characteristics of Whole Red Pepper with Relative Humidity and Temperature

Hyun Ku Kim, Mu Hyun Park, Dong Hwa Shin and Byong Yong Min

Food Research Institute / AFDC, Hwasung-Gun, Gyunggi-Do

Abstract

The color changes and sorption characteristics of dried whole red pepper stored at various relative humidity and temperature were studied. Dried whole red pepper was browned at relative humidity above 67%, and was molded at relative humidity above 84%, and was decolorated at relative humidity below 32%. Therefore, about 50% RH condition was suitable for the preservation of dried whole red pepper and the safe moisture content levels for storage to prevent decolorization were ranging from 15.65% to 19.62% dry basis (DB) with varying temperatures. The moisture contents of monolayer value for the dried whole red pepper were ranging from 7.52% to 9.23% (DB) with varying temperatures. The third order regression equation for the equilibrium moisture content prediction with relative humidity was determined.

서 론

고추는 대부분 건조후 분말형태로 가공하여 식용하고 있으나 고추를 수확한 후 소비자까지 이르는 저장기간 동안은 주로 통고추로 저장하다가 필요에 따라서 분말형태로 가공하여 소비하고 있다⁽¹⁾.

그러므로 고추는 주로 통고추로 저장되고 있기 때문에 고추저장에 대한 연구도 통고추 형태의 저장방법에 대하여 보다 깊은 연구가 수행될 필요가 있다. 그러나 현재까지 이루어진 연구는 주로 분말고추에 대하여 연구되어 왔다. 즉, 분말고추 저장중 변색 및 탈색을 방지하기 위하여 수분 및 포장조건^(2,3), 항산화제^(3,4), 광선^(5,6), 산소^(5,6,7), 흡습특성^(2,8-12), 변색^(6,13), 분쇄방법⁽¹⁴⁾, 품질특정⁽¹⁵⁾, 및 방사선 처리⁽¹⁶⁾ 등에 대해서 비교적 많은 연구가 보고되고 있으나 통고추에 대해서는 등온흡습곡선^(11,16), 포장조건⁽¹¹⁾ 및 선택 보존성⁽¹⁷⁾ 등이 밝혀져 있을 뿐이다.

따라서 본 연구는 저장상대습도 및 온도가 저장중 건조통고추의 흡습에 미치는 특성을 구명하여 통고추 형태로서 이상적인 적정 저장조건을 설정하고자 수행된 몇가지 실험결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 건조통고추는 1982년도 수원산 개량종으로서 수분평형이 이루어진 후 사용하였다.

평형수분함량의 측정

Rockland, Wink 等⁽¹⁸⁾ 및 Houston⁽²⁰⁾의 방법에 준하였다. 즉, 플라스틱제 접시에 약 25g의 건조통고추를 담아 상대습도 11~91%의 범위에 있는 각종 염용액으로 포화된 데시케이터에 넣고 5°C, 15°C, 25°C 및 35°C의 항온기에서 더 이상 흡습하지 않는 상태까지

방치하였고 이 무게를 달아 최초의 수분함량을 기준으로 무게의 증감량에서 평형수분함량을 구하였다.

단분자층 수분함량의 결정

단분자층 수분함량을 산출하기 위하여 다음과 같은 Brunauer-Emmett-Teller 식(BET식)⁽²¹⁾을 이용하였다.

$$\frac{a}{m(1-a)} = \frac{1}{m_1c} + \frac{c-1}{m_1c} a \dots\dots\dots(1)$$

여기서

a = 수분활성도, % ERH/100

m = 평형수분함량(Dry basis, %)

c = 상수

m₁ = 단분자층 수분함량(Dry basis, %)

흡습엔탈피의 결정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피 ΔHw는 Gibbs 식⁽²²⁾을 이용하였다.

$$-\ln\psi = \Delta Hw/RT \dots\dots\dots(2)$$

여기서

-lnψ = 평형상태에서의 수증기 부분압의 자연대수

ΔHw = 흡습엔탈피(KJ/kg)

R = 기체상수(8.314 J·K⁻¹·mol⁻¹)

T = 절대온도

초기수분함량

건조통고추의 초기수분함량은 105℃ 상압 건조법에 의하여 측정하였다.

실험결과의 분석

상대습도에 따른 평형수분함량의 변화를 추정하기 위하여 각 온도에서 상대습도에 대하여 회귀분석을 실시하여 모델 방정식을 도출하였다.

결과 및 고찰

저장상대습도에 따른 평형수분함량

건조식품의 안정성은 이의 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져있다⁽²³⁻²⁶⁾. 따라서 저장고내 환경 온습도 변화에 따라 흡습하는 정도를 알기 위하여 건조통고추의 평형수분함량을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 즉, 저장고내의 상대습도가 75% 이하의 조건에서는 비교적 단시간 내에 수분함량이 평형에 도달하였으나 상대습도 84% 이상에서는 평형수분에 이르는 시간이 길어졌고 평형수분함량도 급격히 증가하였다.

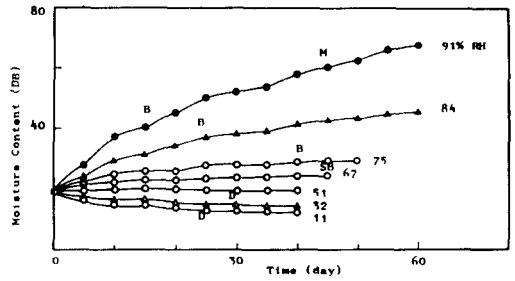


Fig. 1. Moisture contents of whole red pepper during storage under various humidities at 5℃
Abbreviations are: B, browning; SB, slight browning; M, mold; D, decolorization

그리고 우리나라의 기후조건에 따른 통고추 저장성에 대한 것을 검토해보면 연평균 온도와 습도는 13℃, 68% 내외이고 7월부터 9월의 3개월 간의 평균은 23.9℃, 84%이며 8월 한달 동안의 온도와 습도는 이보다 더욱 높다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 시료의 초기수분함량은 19.30% (DB)로서 5℃에서 건조통고추의 평형수분함량은 RH11%에서 40일후 12.37% (DB), 32%에서 14.37% (DB), 51%에서 19.62% (DB), 67%에서 45일후 24.51% (DB), 75%에서 50일후 29.63% (DB), 84%에서 60일후 45.33% (DB) 및 91%에서 67.53

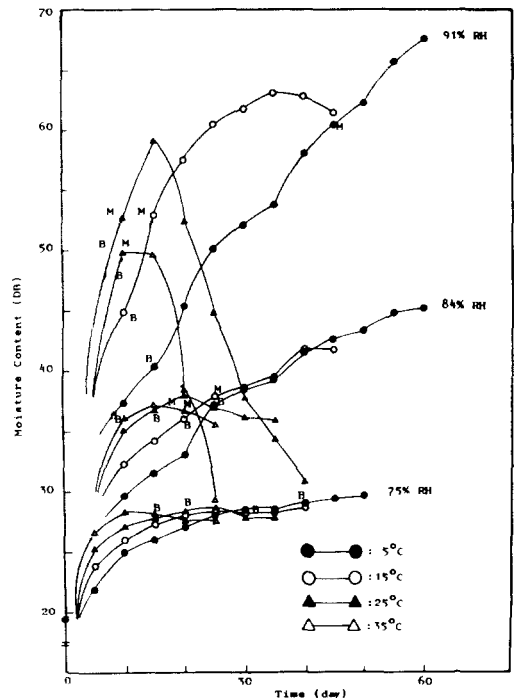


Fig. 2. Moisture contents of whole red pepper at different temperature and relative humidity
Abbreviations are the same as in Fig. 1

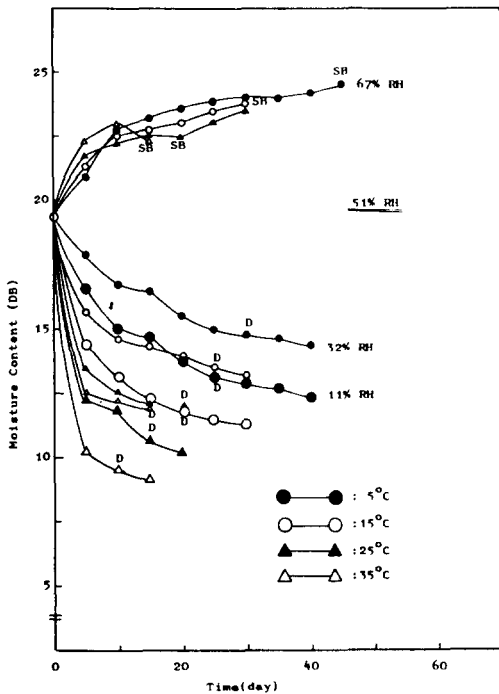


Fig. 3. Moisture contents of whole red pepper at different temperature and relative humidity. Abbreviations are the same as in Fig. 1

(DB)인것을 감안한다면 아무리 건조가 잘된 건조통고추라 하더라도 우리나라 하절기 기후 건조에서는 수분함량이 증가될 수 있기 때문에 곰팡이의 발생 및 갈변현상을 피할 수 없는데 RH91%에서 15일, RH84%에서 25일 및 RH75%에서 40일 만에 갈변현상이 발생하였으며 RH91%에서는 45일 만에 곰팡이가 발생하였고 RH67%에서는 약간의 갈변현상이 발생하는 반면에 RH32% 이하의 낮은 상대습도에서는 탈색현상이 발생하였는데, RH32%에서 30일 및 RH11%에서는 25일 만에 탈색현상이 나타났다.

각각 다른 상대습도에서 온도에 따른 평형수분함량을 나타낸 결과는 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다. 즉, Fig. 2 및 Fig. 3에서 보는바와 같이 RH67% 이상에서는 흡습현상이 나타났으며 RH67% 이상의 각 5°C 저장구에서는 계속적으로 수분함량이 증가하는 경향을 보였으나 25°C 및 35°C 저장구에서는 수분함량이 일정수준에 이른다음 곰팡이가 발생하여 CO₂ 및 H₂O로 분해되어 수분함량 자체가 아니라 중량이 감소하는 것으로 판단되었다. 15°C에서는 RH84% 및 91%에서 수분함량이 일정수준에 이른다음 중량이 감소하였으며 RH67% 및 75%에서는 5°C에서와 같은 경향을 보였다. 한편, RH32% 이하에서는 온도에 관계없이 모두 탈색현상과

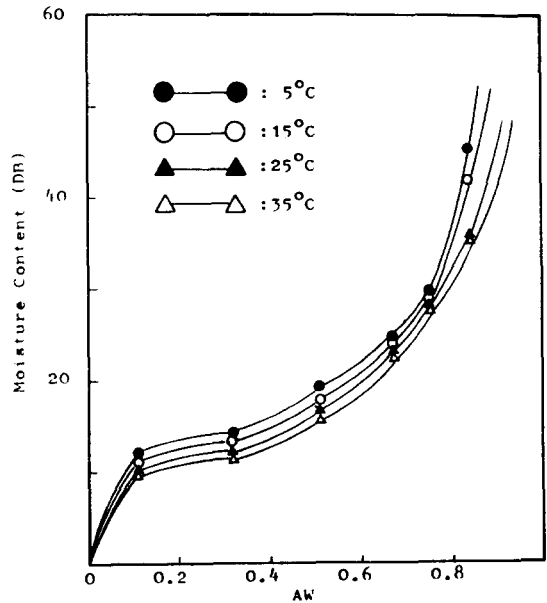


Fig. 4. Sorption isotherm curve of whole red pepper at 5, 15, 25 and 35°C

탈색현상이 나타났으며 RH67% 이상에서는 갈변현상 및 곰팡이가 발생하였다.

이와같은 결과는 통고추가 분말고추에 비하여 평형에 도달하는 시간이 상당히 길어져서 통고추가 분말고추에 비하여 흡습력이 약함을 알 수 있었다. 그리고 고추의 수분함량이 갈변 및 탈색현상과 밀접한 관계가 있음을 예시하고 있는데 이는 분말고추의 수분함량, 갈변현상과 밀접한 관련이 있다고 보고한 김등⁽¹⁾의 결과와 일치하며 고추를 안전하게 저장하기 위해서는 너무 낮거나 너무 높은 상대습도가 아닌 적절한 상대습도를 유지해 주는 것은 건조통고추 저장에 있어서 가장 중요한 것이라 할 수 있다.

건조통고추의 등온흡습곡선

건조통고추의 흡습성물질을 알아보기 위해서 각 온도구에서 평형시킨 다음 등온흡습곡선을 본 결과는 Fig. 4와 같다. 즉, 전형적인 sigmoid 형태로서 온도에 따라서 비슷한 경향을 보였고 온도가 증가함에 따라 흡습량은 감소한 반면 온도가 감소함에 따라서 흡습량은 증가하였다.

한편, 건조통고추의 초기수분함량은 19.30% (DB)였으며 Fig. 4의 등온흡습곡선에서 처음부분 즉 물 분자가 carboxyl group 및 amino group 과 같은 이온결합으로서 polar bond를 형성하며 수분활성도가 낮은 곡선부분으로 이를 단분자층이라 하는데 (1)식을 이용하

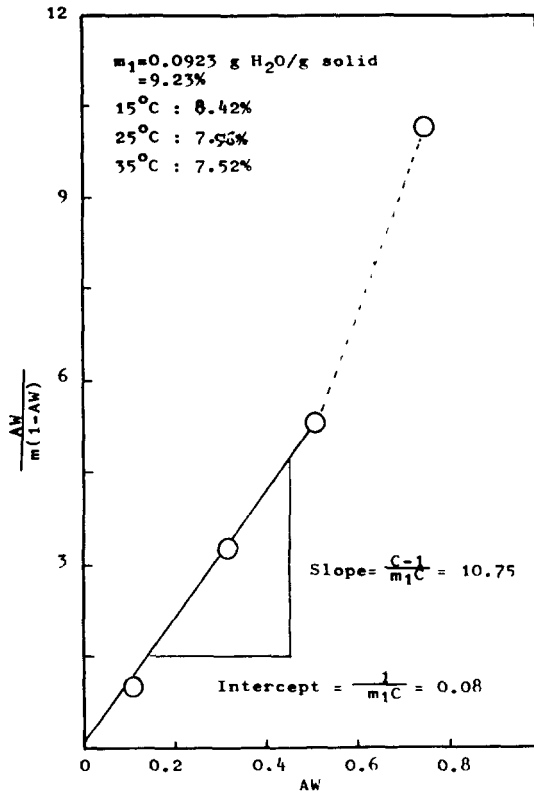


Fig. 5. BET plot for the determination of the "monolayer value" of whole red pepper at 5°C

여 단분자층의 수분함량을 계산하면 Fig. 5에서와 같이 5°C에서 9.23% (DB)였고 15°C, 25°C 및 35°C에서는 각각 8.42% (DB), 7.96% (DB) 및 7.52% (DB)로서 온도가 내려감에 따라서 단분자층의 수분함량은 다소 올라가는 경향을 보였다. 따라서 일반적인 건조식품은 단분자층 수분함량이 적정저장 수분함량이라고 Salwin⁽²⁷⁾이 보고하였으나 건조통고추에서는 단분자층 수분함량 가까에서 저장하면 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3에서 본 바와같이 탈색되므로 탈색도 기준에서 저장 안전 수분함량이 결정되어야 하는데 온도에 따른 건조

Table 1. Monolayer value and optimum storage moisture content of whole red pepper with temperature

Temp. (°C)	Monolayer value	Optimum MC
5	9.23* (8.45)*	19.62* (16.40)**
15	8.42 (7.77)	17.89 (15.18)
25	7.96 (7.37)	16.78 (14.37)
35	7.52 (6.99)	15.65 (13.53)

* Dry Basis
**Wet Basis

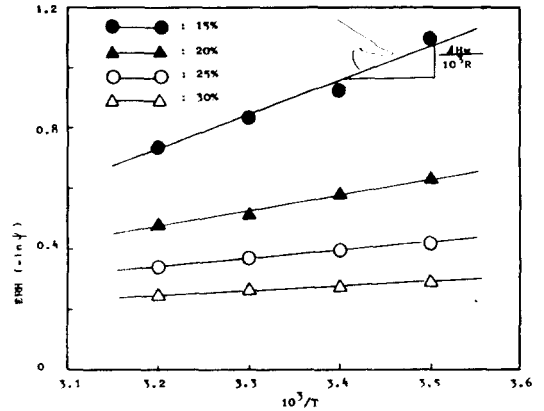


Fig. 6. Determination of enthalpy of wetting for various moisture contents of whole red pepper

통고추의 단분자층값과 탈색도 기준에서 적정 저장 수분함량을 제시한 것은 Table 1과 같다. 즉, 단분자층 값 수분함량 가까에서 저장하면 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3에서 보는 바와같이 탈색되므로 탈색도 기준 저장 한계 수분함량에서 저장하는 것이 바람직하므로 RH 51%에 해당하는 수분함량이 같면 및 탈색이 일어나지 않는 적정 저장 수분함량으므로 이에 해당하는 수분함량은 5°C에서 19.62% (DB)였으며 15°C, 25°C 및 35°C에서 각각 17.89% (DB), 16.78% (DB) 및 15.65% (DB)이므로 건조통고추의 적정 저장 수분함량은 5°C와 35°C 사이의 저장고에 저장할 경우 수분함량이 19.62% (DB)에서 15.65% (DB)로 저장하는 것이 건조통고추를 안전하게 저장하는데 바람직하다고 할 수 있다.

건조통고추의 수분함량에 따른 흡수엔탈피의 변화

온도 및 상대습도에 따라서 건조통고추의 평형수분함량의 변화는 Fig. 6과 같다. 즉, 온도가 하강함에 따라서 각 수분함량별로 평형수분함량은 증가하는 경향이 있으며 수분함량이 낮을수록 평형수분함량의 기울기는 급격히 증가하였고 수분함량이 증가할수록 그 기울기는 둔화하는 경향을 보였다.

그리고 Fig. 6의 각 수분함량별 기울기로부터 (2) 식을 이용하여 흡수엔탈피를 계산하면 Fig. 7과 같다. 즉, 수분함량이 15%일때 흡수엔탈피는 약 569 KJ kg⁻¹으로서 20% 일때보다 약 2.5배, 25% 일때보다 약 5배 및 30% 일때보다 약 8배로서 수분함량이 적을수록 흡수엔탈피는 급격히 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 감자⁽²⁸⁾의 경우와 비슷하다.

이와같은 경향은 분말고추의 흡수엔탈피에 대해서 보고한 김능*의 결과와 일치하며 건조통고추와 같은 건

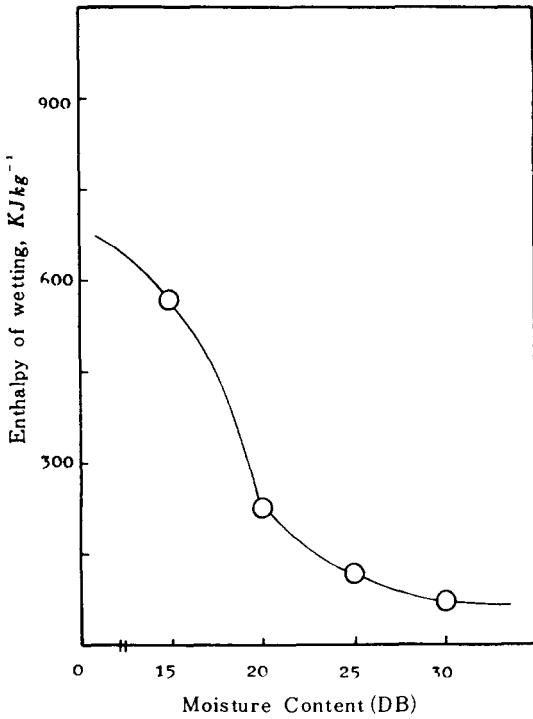


Fig. 7. Variation of enthalpy of wetting with moisture contents of whole red pepper

조식품은 통상 17.65% (DB) 정도의 수분함량에서 저장 및 유통되기 때문에 흡수성이 큰 건조통고추를 저장할 경우 대기의 수분을 효과적으로 차단시켜 줄 수 있는 방습포장재나 기타 적절한 저장조건을 유지해 주는 것이 바람직하다고 하겠다.

평형수분함량 예측을 위한 회귀방정식의 도출

각 온도에서 상대습도만을 측정함으로써 고추의 수분함량을 추정할 수 있는 방법을 제시하기 위하여 상대습도를 독립변수로 하고 평형수분함량을 종속변수로

Table 2. Regression equation for EMC prediction with RH at 5°C

Degree of polynomial	Regression equation	R ²
1 st	$Y=0.570X-2.979$ (1)	0.839
2 nd	$Y=0.014X^2-0.889X+23.571$... (2)	0.961
3 rd	$Y=0.000356X^3-0.041X^2+1.47X-0.072$(3)	0.993

X = RH, Y = EMC

R² = multiple correlation coefficient

15°C : $0.000283X^3-0.031X^2+1.13X+1.706$(4)

(R²=0.994)

25°C : $-0.000104X^3+0.0186X^2-0.636X+15.465$... (5)

(R²=0.976)

35°C : $-0.000107X^3+0.0187X^2-0.622X+14.367$(6)

(R²=0.963)

하여 회귀분석을 실시한 결과는 Table 2 와 같다. 즉, Table 2로부터 5°C에서 상대습도만을 가지고 평형수분함량을 예측할 수 있는 회귀방정식을 1차식으로 도출하면 $Y=0.570X-2.979$ 였으며 2차식은 $Y=0.014X^2-0.889X+23.571$ 및 3차식은 $Y=0.000356X^3-0.041X^2+1.47X-0.072$ 였다. 각 식에서 X는 상대습도, Y는 평형수분함량으로서 일정한 상대습도만 주어지면 건조통고추가 평형에 이른후 그 수분함량을 예측할 수 있다. 즉, 저장중 상대습도만 알면 통고추의 수분함량을 쉽게 산출하는 데에 응용할 수 있으며 이때의 다중상관계수는 1차식에서 0.839, 2차식에서 0.961 및 3차식에서 0.993으로서 3차식으로 회귀했을 때 유의성이 가장 높았으며 이는 15°C, 25°C 및 35°C에서도 5°C에서와 유사한 경향을 보였으며 15°C에서 3차식으로 방정식을 도출할 경우 $Y=0.000283X^3-0.031X^2+1.13X+1.706$ 였으며 25°C 및 35°C에서는 각각 $Y=-0.000104X^3+0.0186X^2-0.636X+15.465$, $Y=-0.000107X^3+0.0187X^2-0.622X+14.367$ 으로서 이때의 다중상관계수는 15°C에서 0.994였으며 25°C 및 35°C에서 각각 0.976 및 0.963으로서 높은 유의성을 보였다. 따라서 이와같은 방정식을 이용하여 실제적인 통고추 저장에 있어서 평형수분함량을 예측하는 데에 응용되어질 수 있다.

요 약

건조통고추를 상대습도 11%에서 84%까지 7단계의 상대습도별로 5°C, 15°C, 25°C 및 35°C 온도구에 저장하면서 통고추의 변색 및 흡습특성을 조사하였다. RH 67% 이상에서는 갈변현상이, RH 84% 이상에서는 곰팡이가 발생하였고 RH 32% 이하에서는 탈색현상이 나타났다. 따라서 50% 내외의 RH 조건이 저장에 적합하였으며 탈색도 기준에서 저장 안전 수분함량은 15.65~19.62% (DB)였으며 이들 건조통고추의 monolayer value는 5°C에서 9.23% (DB), 15°C에서 8.42% (DB), 25°C에서 7.96% (DB) 및 35°C에서 7.52% (DB)로서 온도가 낮을수록 monolayer value는 다소 높아지는 경향을 보였으며 상대습도에 따라서 평형수분함량을 예측할 수 있는 3차 회귀방정식을 도출하였다.

문 헌

1. 농어촌 개발공사 : 시장조사보, 3(1), 74 (1981)
2. Chen, S.L. and Gutmanis, F.: *J. Food Sci.*, 33, 274 (1968)

3. Daoud, H.N. and Luh, B.S.: *Food Technol.*, **21**, 339 (1967)
 4. Van Blaricom, L.O. and Martin, J.A.: *Food Technol.*, **5**, 337 (1951)
 5. De La Mar, R.R. and Francis, F.: *J. Food Sci.*, **34**, 287 (1969)
 6. 김동연, 이종욱 : 한국식품과학회지, **12**, 53 (1980)
 7. Philip, T. and Francis, F.J.: *J. Food Sci.*, **36**, 96 (1971)
 8. 김현구, 박무현, 민병용, 서기봉 : 한국식품과학회지, **16**, 108 (1984)
 9. 이정혜, 최언호, 김형수, 이서래 : 한국식품과학회지, **9**, 199 (1977)
 10. Kanner, J., Mendel, H. and Budowski, P.: *J. Food Sci.*, **43**, 709 (1978)
 11. 김현구, 박무현, 신동화, 민병용 : 식품연구사업보고, p. 304 (1981)
 12. 전재근, 서정식 : 한국농화학회지, **23**, 1 (1980)
 13. 전재근, 서정식 : 한국식품과학회지, **12**, 82 (1980)
 14. 김동연, 이종욱, 신수철 : 한국농화학회지, **25**, 1 (1982)
 15. 전재근, 박상기 : 한국농화학회지, **22**, 18 (1979)
 16. 장규섭, 김재욱 : 한국농화학회지, **19**, 145 (1976)
 17. Lease, J.G. and Lease, E.J.: *Food Technol.*, **10**, 368 (1956)
 18. Rockland, L.B.: *Anal. Chem.*, **32**, 1375 (1960)
 19. Wink, W.A. and Sears, G.K.: *TAPPI*, **33**, 96A (1950)
 20. Houston, D.F.: *Cereal Chem.*, **29**, 71 (1952)
 21. Karel, M. Fennema, O.R. and Lund, D.B.: *Physical Principles of Food Preservation*, Marcel Dekker, New York, p. 237 (1975)
 22. Keey, R.B.: *Introduction to Industrial Drying Operations*, Pergamon Press, Oxford, p. 42 (1978)
 23. Hunter, I.R., Houston, D.F. and Kester, E.B.: *Cereal Chem.*, **28**, 232 (1951)
 24. Labuza, T.P., Cassil, S. and Sinkey, A.J.: *J. Food Sci.*, **37**, 160 (1972)
 25. Salwin, H.: *Food Technol.*, **17**, 1114 (1963)
 26. Labuza, T.P.: *Shelf-Life Dating of Foods*, Food & Nutrition Press, Westport, p. 388 (1982)
 27. Salwin, H.: *Food Technol.*, **13**, 594 (1959)
- (1984년 9월 28일 접수)