

상대습도와 저장온도에 따른 건조마늘 플레이크의 갈변 및 흡습특성

김현구 · 조길석 · 강통삼 · 신효선*

농수산물유통공사 종합식품연구원, *동국대학교 식품공학과

Browning and Sorption Characteristics of Dried Garlic Flakes with Relative Humidity and Storage Temperature

Hyun-Ku Kim, Kil-Suk Jo, Tong-Sam Kang and Hyo-Sun Shin*

Food Research Institute/AFMC, Suwon

* Department of Food Technology, Dongguk University, Seoul

Abstract

The sorption characteristics of dried garlic flakes stored at various relative humidity and storage temperature were studied. At low relative humidity below RH 51%, the sorption equilibrium was easily attained, whereas at higher relative humidity above RH 67%, the flakes were browned by higher equilibrium moisture content. The flakes were browned at relative humidity above 67% at 20°C and 35°C, above 84% at 5°C, respectively. The moisture contents of monolayer value for the flakes were ranging from 5.80% to 6.20% (DB) with varying temperatures. And the necessity of moisture-proof packaging material suggested for the long term storage of the flakes because the lower moisture content and storage temperature, the higher driving force of wetting. Regression equation for browning rate prediction with relative humidity and storage temperature of the flakes was determined.

서 론

건조마늘 제품의 소비는 우리나라에서 연간 약 20~30%가 증가하고 있으나 건조제품의 선택 및 향미 보존 등 품질향상에는 상당한 문제가 있다. 건조마늘 저장중 가장 큰 품질열화의 요인은 갈변으로서 이를 방지하기 위하여 Singh등⁽¹⁾은 마늘가루의 수분함량을 6%로 하여 갈색병에 저장할 것을 추천하였고, Pruthi등⁽²⁾은 마늘가루 allyl sulfide 함량의 감소는 0~2°C에서 가장 낮았고 37°C에서 가장 높았다고 보고하였을 뿐 건조마늘 플레이크의 저장성에 대해서는 그 연구가 별로 보고되어 있지 않다.

따라서 본 연구는 상대습도 및 저장온도가 저장중 건조마늘 플레이크의 갈변 및 흡습에 미치는 특성을 구명하여 건조마늘 플레이크의 이상적인 적정저장조건을 설정하고자 수행된 몇 가지 실험결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 마늘(6쪽마늘, 寒地荊)은 1985년 산으로 경북 의성지역에서 구입하여 탈피후 두께 2.0~2.3mm로 세절하였다. 세절한 마늘 플레이크는 캐비닛 건조기(용량, 70×70×120cm(L×W×H), 동력, 4KW; 팬, ¼Hp)를 사용하여 65°C에서 건조하였고, 건조된 마늘 플레이크는 동일온도 및 습도내에서 방치하여 수분평형이 이루어진 후 사용하였다.

평형수분함량의 측정

Rockland⁽³⁾, wink등⁽⁴⁾ 및 Houston⁽⁵⁾의 방법에 준하였다. 즉, 플라스틱 접시에 약 5g의 건조마늘 플레이크를 담고 이를 각종 포화염용액으로 상대습도 11~84%로 조정된 테시케이터에 넣어 5°C, 20°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-Teller식(BET식)⁽⁶⁾을 이용하였다.

$$\frac{a}{m(1-a)} = \frac{1}{m_1C} + \frac{C-1}{m_1C}a \dots\dots (1)$$

여기서

- a = 수분활성도, % ERH/100
- m = 평형수분함량(Dry basis, %)
- C = 상수
- m_1 = 단분자층 수분함량(Dry basis, %)

흡습엔탈피의 결정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피 ΔH_w 는 Gibbs식⁽⁷⁾을 이용하였다.

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

여기서

- $-\ln \psi$ = 평형상태에서의 수증기 부분압의 자연대수
- ΔH_w = 흡습엔탈피 (KJ/kg)
- R = 기체상수 (8.314 J · K⁻¹ · mol⁻¹)
- T = 절대온도

갈변도의 측정

갈변물질의 분석은 Hendel등⁽⁸⁾의 방법에 의하여 분석하였다. 즉, 乾物로 약 2g의 시료를 2mm 크기 이하로 자른 후 이를 삼각 플라스크에 담고 여기에 200 ml의 증류수를 가하고 35°C의 항온기에서 2시간 방치 후 여과지(Toyo NO.2)로 여과하여 여과한 액의 색도를 420nm에서 측정하였다.

초기수분함량

건조마늘 플레이크의 초기수분함량은 105°C 상압건조법에 의하여 측정하였다.

실험결과의 분석

상대습도 및 저장온도에 따른 건조마늘 플레이크의 갈변도를 추정하기 위하여 상대습도 및 저장온도에 대하여 회귀분석을 실시하여 모델방정식을 도출하였다.

결과 및 고찰

저장상대습도별 평형수분함량

건조식품의 안정성은 이의 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져있다.⁽⁹⁻¹²⁾ 따라서 저장고내 환경온습도 변화에 따라 흡습하는 정도를 알기 위하여 건조마늘 플레이크의 평형수분함량을 조사한 결과는 Fig.1과 같다.

즉, 저장고 내의 상대습도가 51% 이하의 조건에서는 비교적 단시간 내에 수분함량이 평형에 도달하였으나 상대습도 67% 이상에서는 평형수분에 이르는 시간

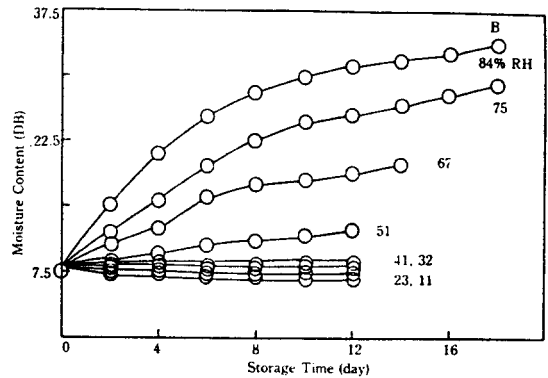


Fig. 1. Moisture contents of garlic flakes during storage under various humidities at 5°C (B = browning point)

이 길어졌고 평형수분함량도 급격하게 증가하였다. 그리고 우리나라의 연평균 온도와 습도는 13°C, 68% 내외이고 7월부터 9월의 3개월간의 평균은 23.9°C, 84%이며 8월 한달 동안의 온도와 습도는 이보다 더욱 높다. Fig.1에서 볼 수 있듯이 건조마늘 플레이크의 초기수분함량은 7.47%(DB)로서 5°C에서 건조마늘 플레이크의 평형수분함량은 RH11%에서 12일후 6.6%(DB), 41%에서 8.3%(DB), 51%에서 12.4%(DB), 67%에서 14일 후 19.9%(DB), 75%에서 18일 후 29.3%(DB) 및 84%에서 33.6%(DB)인 것을 감안한다면 아무리 건조가 잘된 건조마늘 플레이크라 하더라도 우리나라 하절기 기후조건에서는 수분함량이 증가될 수 있기 때문에 갈변현상을 피할 수 없는데 RH 84%에서 18일 만에 갈변현상이 나타났다.

각각 다른 상대습도에서 온도에 따른 건조마늘 플레이크의 평형수분함량을 나타낸 결과는 Fig.2와 같다. 즉, RH 51%에서는 갈변현상이 나타나지 않았지만 RH 67%에서는 20° 및 35°C에서 각각 14일, 12일 만에 갈변현상이 나타났으며, RH 84%에서도 35°C에서는 8일, 20°C에서는 10일 및 5°C에서는 18일 만에 나타났다. 그리고 RH 67% 및 84%의 5°C에서는 계속해서 수분함량이 증가하였으나 RH 84%의 20° 및 35°C에서는 일정수준에 이른다음 감소하였다.

이와같은 결과는 Fig.1 및 2에서 보는바와 같이 건조마늘 플레이크의 수분함량이 갈변현상과 밀접한 관계가 있음을 예시하고 있는데 이는 분말고추 및 통고추의 수분함량이 갈변현상과 밀접한 관련이 있다고 보고한 김등⁽¹³⁻¹⁴⁾의 결과와 일치한다. 따라서 건조마늘 플레이크를 안전하게 저장하기 위해서는 너무 높은 상대습도가 아닌 적절한 상대습도를 유지해 주는 것은 건조마늘 플레이크의 저장에 있어서 가장 중요한 것이라

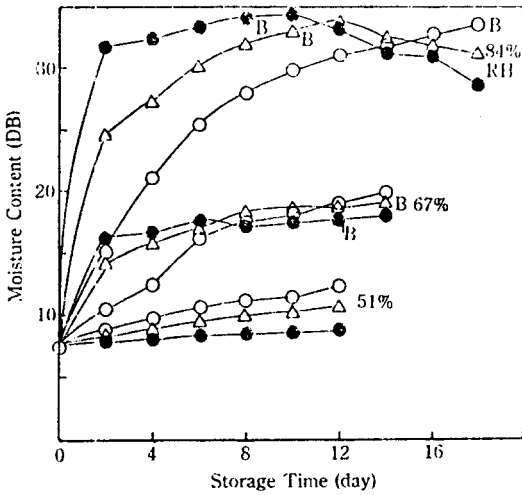


Fig. 2. Moisture contents of garlic flakes at different temperature and relative humidity (B = browning point)
 ○—○: 5°C △—△: 20°C
 ●—●: 35°C

할 수 있다.

건조마늘 플레이크의 등온흡습곡선

건조마늘 플레이크의 흡습성질을 알아보기 위해서 각 온도구에서 평형시킨 다음 등온흡습곡선을 본 결과는 Fig.3과 같다. 즉, 전형적인 sigmoid 형태로서 온도에 따라서 비슷한 경향을 보였고, 온도가 증가함에

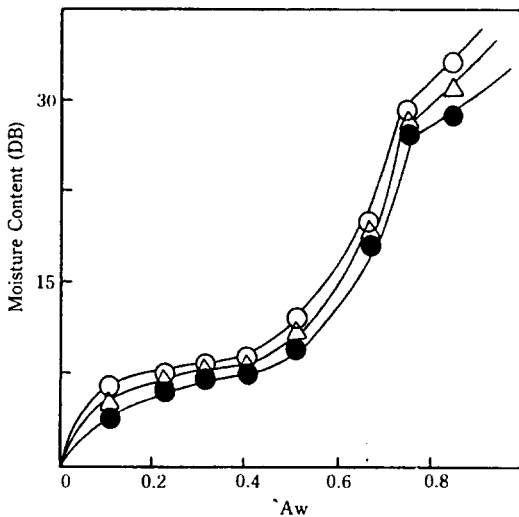


Fig. 3. Sorption isotherm curve of garlic flakes at different temperature
 ○—○: 5°C △—△: 20°C
 ●—●: 35°C

따라 흡습량은 감소한 반면 온도가 감소함에 따라서 흡습량은 증가하였다.

한편, 건조마늘 플레이크의 초기수분함량은 7.47% (DB)였으며, Fig.3의 등온흡습곡선에서 처음부분 즉 물 분자가 carboxyl 및 amino group과 같은 이온결합으로서 polar bond를 형성하며 수분활성도가 낮은 곡선 부분으로 이를 단분자층이라 하는데 (1)식을 이용하여 단분자층 수분함량을 계산하면 Fig.4에서와 같이 5°C서 6.20%(DB)였고, 20°C 및 35°C에서는 각각 5.99%(DB) 및 5.80%(DB)로서 온도가 내려감에 따라서 단분자층의 수분함량은 다소 올라가는 경향을 보였다. 따라서 일반적인 건조식품은 단분자층 수분함량이 적정저장 수분함량이라는 Salwin⁽¹⁵⁾의 보고와 같이 건조마늘 플레이크에서는 역시 온도가 내려감에 따라서 적정저장 수분함량은 다소 증가해도 무방하이라 생각된다.

수분함량에 따른 흡습엔탈피의 변화

온도 및 상대습도에 따라서 건조마늘 플레이크의 평형수분함량의 변화는 Fig.5와 같다. 즉, 온도가 하강함에 따라서 각 수분함량별로 평형수분함량은 증가하는 경향이였으며 수분함량이 낮을수록 평형수분함량의 기울기는 급격히 증가하였고 수분함량이 증가할수록 그

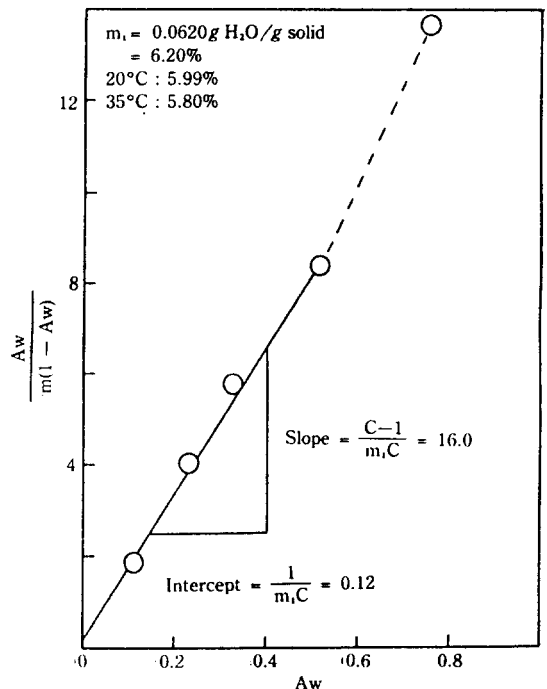


Fig. 4. BET plot for the determination of the "monolayer value" of garlic flakes at 5°C

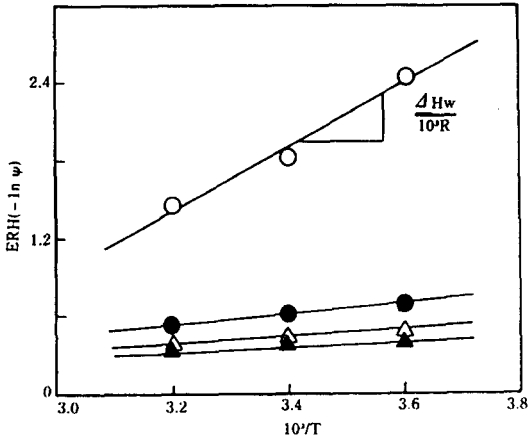


Fig. 5. Determination of enthalpy of wetting for various moisture contents of garlic flakes

○—○: 6% ●—●: 12%
 △—△: 18% ▲—▲: 24%

기울기는 둔화하는 경향을 나타냈다.

그리고 Fig.5의 각 수분함량별 기울기로부터 (2)식을 이용하여 흡습엔탈피를 계산하면 Fig.6과 같다. 즉, 수분함량이 6%일때 흡습엔탈피는 약 1337KJ kg⁻¹으로서 12% 일때보다 약 6배, 18% 일때보다 약 11배 및 24% 일때보다 약 18배로서 수분함량이 적을수록 흡습엔탈피는 급격히 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는

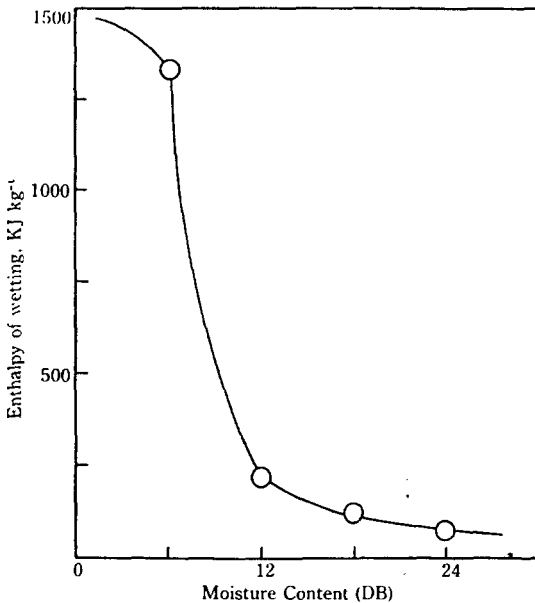


Fig. 6. Variation of enthalpy of wetting with moisture contents of garlic flakes

감자⁽⁷⁾의 경우와 비슷하다.

이와같은 경향은 분말고추 및 통고추의 흡습엔탈피에 대해서 보고한 김등⁽¹³⁻¹⁴⁾의 결과와 유사하며 건조마늘 플레이크와 같은 건조식품은 통상 7~8%(DB) 정도의 수분함량에서 저장 및 유통되기때문에 흡습성이 큰 건조마늘 플레이크를 저장할 경우 대기의 수분을 효과적으로 차단시켜 줄 수 있는 방습포장재나 기타 적절한 저장조건을 유지해 주는 것이 바람직하다고 하겠다.

저장조건이 갈변에 미치는 영향

식품의 갈변은 온도 및 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져있다.⁽¹⁶⁾ 따라서 저장온도 및 상대습도에 따라서 건조마늘 플레이크의 갈변도를 조사한 결과는 Fig. 7과 같다. 즉, 상대습도 51%의 5°C, 20°C 및 35°C에서 저장한 건조마늘 플레이크의 갈변물질을 흡광도로 표시하면 각각 0.037, 0.042 및 0.044로서 초기 0.031에 비하면 완만하게 증가하는 경향을 나타냈으나, 상대습도 67%의 5°, 20° 및 35°C에서 흡광도는 각각 0.040, 0.044, 및 0.048로서 급격하게 증가하기 시작하였고 특히 20°C 이상에서는 그 증가폭이 현저하였다. 따라서 건조마늘 플레이크 저장중 갈변을

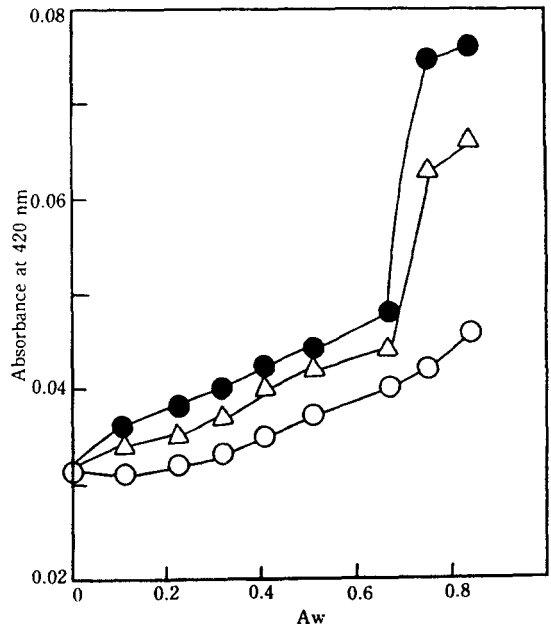


Fig. 7. Effect of relative humidity and storage temperature on browning color development of dried garlic flakes

○—○: 5°C △—△: 20°C
 ●—●: 35°C

막기 위해서는 5°C에서 상대습도 51% 이하에서 저장하는 것이 바람직 하다고 하겠다.

한편, 저장상대습도 및 저장온도에 따라서 건조마늘 플레이크의 갈변도를 추정할 수 있는 방법을 제시하기 위하여 상대습도와 저장온도를 독립변수로 하고 갈변도를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과는 Table 1과 같다.

즉, Table 1로부터 상대습도와 저장온도를 이용하여 건조마늘 플레이크의 갈변도를 예측할 수 있는 회귀방정식을 1차식으로 도출하면 $Y = 0.000388X_1 + 0.000306X_2 + 0.017$ 이었다. 이 식에서 X_1 은 상대습도, X_2 는 저장온도로서 상대습도와 저장온도를 알면 건조마늘 플레이크의 갈변도를 예측할 수 있다. 즉, 건조마늘 플레이크 저장중 상대습도와 저장온도만 알면 건조마늘 플레이크의 갈변도를 쉽게 산출하는 데에 응용할 수 있으며 이때의 다중상관계수는 0.847 이었다. 따라서 이와같은 방정식을 이용하여 실제적인 건조마늘 플레이크의 저장에 있어서 갈변도를 예측하는 데에 응용되어 질수 있다.

Table 1. Regression equation for browning rate prediction with relative humidity and storage temperature of dried garlic flakes

Regression equation	R ²
$Y = 0.000388X_1 + 0.000306X_2 + 0.017$	0.847
Y = Browning rate (Absorbance)	
X_1 = Relative humidity (%)	
X_2 = Storage temperature (°C)	
R ² = Multiple correlation coefficient	

요 약

건조마늘 플레이크를 상대습도 11%에서 84%까지 7단계의 상대습도별로 5°C, 20°C 및 35°C 온도에 저장하면서 건조마늘 플레이크의 갈변 및 흡습특성을 조사하였다. 저장시간에 따른 건조마늘 플레이크의 흡습곡선은 RH 51% 이하에서는 단시간내에 평형에 도달하여 수분함량의 변화가 거의 없었으나, 20°C 및 35°C의 RH 67% 이상에서, 5°C의 RH 84%에서 평형수분함량

이 급격히 증가하여 갈변현상이 나타났다. 건조마늘 플레이크의 단분자층 수분함량은 온도에 따라서 5.80%(DB)에서 6.20%(DB)로서 온도가 내려감에 따라 다소 증가하는 경향을 나타냈고 수분함량 및 저장온도가 낮으면 낮을수록 흡습력이 크기 때문에 건조마늘 플레이크의 장기저장에 방습포장재가 필요하였다. 상대습도 및 저장온도에 따라서 건조마늘 플레이크의 갈변도를 예측할 수 있는 회귀방정식을 도출하였다.

문 헌

1. Singh, L.J., Pruthi, J.S., Sankoran, A.N., Indiramma, K. and Girdhari, L.: *Food Sci.*, **8**, 457 (1959)
2. Pruthi, J.S., Singh, L.J., Indiramma, K., Sankaran, A.N. and Girdhari, L.: *Food Sci.*, **8**, 461 (1959)
3. Rockland, L.B.: *Anal. Chem.*, **32**, 1375 (1960)
4. Wink, W.A. and Sears, G.K.: *TAPPI*, **33**, 96A (1950)
5. Houston, D.F.: *Cereal. Chem.*, **29**, 71 (1952)
6. Karel, M., Fennema, O.R. and Lund, D.B.: *Physical Principles of Food Preservation*, Marcel Dekker, New York, P. 237 (1975)
7. Keey, R.B.: *Introduction of Industrial Drying Operations*, Pergamon Press, Oxford, P. 42 (1978)
8. Hendel, C.E., Bailey, G.F. and Taylor, D.H.: *Food Technol.*, **4**, 344 (1950)
9. Hunter, I.R., Houston, D.F. and Kester, E.B.: *Cereal Chem.*, **28**, 232 (1951)
10. Labuza, T.P., Cassil, S. and Sinkey, A.J.: *J. Food Sci.*, **37**, 160 (1972)
11. Salwin, H.: *Food Technol.*, **17**, 1114 (1963)
12. Labuza, T.P.: *Shelf-Life Dating of Foods*, Food & Nutrition Press, Westport, P. 388 (1982)
13. 김현구, 박무현, 민병용, 서기봉: 한국식품과학회지, **16**, 108(1984)
14. 김현구, 박무현, 신동화, 민병용: 한국식품과학회지, **16**, 437(1984)
15. Salwin, H.: *Food Technol.*, **13**, 594 (1959)
16. Morton, I.D. and Macleod, A.J.: *Developments in Food Science 3A, Food Flavours*, Part A, Introduction, Elsevier Scientific Pub., Amsterdam-Oxford-New York, P. 399 (1982)

(1987년 2월 14일 접수)